

Scenariostudie materiaal- voorraad, vraag en secundair aanbod in gebouwen

Onderdeel van het werkprogramma Monitoring & Sturing Circulaire
Economie

CML: Janneke van Oorschot, Ester van der Voet

Metabolic: Merlijn Blok, Nico Schouten, Pieter Witteveen

PBL: Bart Rijken, Anton van Hoorn

22 Februari 2022



Dit rapport is tot stand gekomen in het kader van het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie 2019-2023. Dit werkprogramma is een samenwerkingsverband van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden (CML), het Centraal Planbureau (CPB), het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), RVO.nl, Rijkswaterstaat, TNO en de Universiteit Utrecht (UU) onder leiding van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). Het kabinet streeft naar een volledig circulaire economie in 2050. Het doel van het werkprogramma is om de door het kabinet uitgezette koers naar 2050 te kunnen monitoren en te evalueren en de overheid te voorzien van de kennis die nodig is voor de vormgeving of bijsturing van beleid. Meer informatie over het Werkprogramma Monitoring en Sturing Circulaire Economie is te vinden op <https://www.pbl.nl/monitoring-circulaire-economie>.



Monitoring en Sturing Circulaire Economie

Samenvatting

In 2020 is een verkenning uitgevoerd naar de materialen die in gebruik zijn in gebouwen in Nederland (van Oorschot et al., 2020). In die verkenning is nog geen inschatting gemaakt van hoe de voorraad zich vanaf dat punt zou ontwikkelen. Dat onderzoek hebben we in 2021 uitgevoerd. Deze rapportage bevat verkenningen voor de ontwikkeling van deze voorraad, en de stromen daarin (nieuwbouw) en daaruit (sloop) tot 2050. De resultaten daarvan zijn indicatief voor wat er bereikt kan worden op het gebied van de doelen van het Nederlandse circulaire economiebeleid: zoveel mogelijk gebruik van hernieuwbare grondstoffen, hergebruik van producten en grondstoffen en reductie van het gebruik van primaire materialen om problemen m.b.t. milieu en leveringszekerheid te voorkomen (Rijksoverheid, n.d.).

We verkennen de voorraadontwikkeling aan de hand van verschillende scenario's. Ten eerste worden drie bouw-strategieën onderzocht: Baseline, Biobased en Circulair. We combineren deze scenario's met verschillende verstedelijkingsvarianten: Dichtbij (binnen stedelijk gebied), Verbonden (rondom OV punten) en Ruim (buiten stedelijk gebied). De verstedelijkingsvarianten zijn door het PBL gecombineerd met socio-economische scenario's (WLO Hoog en WLO Laag). Hieronder presenteren we een samenvatting van de belangrijkste conclusies.

De voorraad gebouwen gemeten in m² vloeroppervlak neemt in alle verstedelijkingsvarianten toe in de periode 2018-2050. De toename is verschillend voor de verstedelijkingsvarianten en de sociaaleconomische scenariobeelden. De kleinste uitbreiding is voor de combinaties Dichtbij en Verbonden met WLO Laag: 8%. De grootste uitbreiding is 21% voor de combinatie Ruim met WLO Hoog.

In deze studie nemen we niet de m², maar de massa als centrale parameter. Op basis hiervan kunnen we analyseren in hoeverre materiaalkringlopen kunnen worden gesloten. We kunnen concluderen dat de voorraad materialen in de Baseline variant met maximaal 18% stijgt (Ruim met WLO Hoog). Voor de Biobased variant is de voorraadgroei lager vanwege de lichtere bouwmaterialen. Voor Circulair geldt ook een lagere voorraadgroei door een lichter gebouwontwerp. De verschillen met 2018 zijn niet erg groot, kwantitatief in massa noch kwalitatief in samenstelling. De reden daarvoor is dat de voorraad gebouwen in 2018 er in 2050 grotendeels nog steeds staat en de uitbreiding slechts in de orde grootte van procenten ligt. Dat leidt tot de conclusie dat de vernieuwing van de gebouwde omgeving een proces van zeer lange adem is.

Veel sterkere effecten zijn te zien in de stromen gerelateerd aan nieuwbouw. Cumulatief over de periode 2018-2050 blijkt dat de materiaalvraag voor zowel Biobased als Circulair een stuk lager ligt dan voor Baseline. Met deze strategieën kan de primaire materiaalvraag daarom aanzienlijk worden verminderd. Daarnaast daalt de materiaalvraag bij een lagere economische- en bevolkingsgroei (WLO laag). Het Biobased scenario leidt niet alleen tot een lagere vraag, maar ook tot een vraag naar andere materialen: beton en andere constructiematerialen worden gedeeltelijk vervangen door hout.

De cumulatieve materiaalvraag blijkt vergelijkbaar voor de drie verstedelijkingsvarianten. Alhoewel in de variant Dichtbij meer wordt gebouwd dan in de varianten Verbonden en Ruim (door relatief veel vervanging van gebouwen), zijn de nieuwbouw woningen in dit scenario gemiddeld kleiner en efficiënter in materiaalgebruik (veel appartementen) dan in de andere varianten, waar meer grote en materiaal intensieve woningen worden gebouwd (seriële en vrijstaande woningen). In combinatie met de relatief grote secundaire materiaalstroom kan de primaire materiaalvraag in Dichtbij waarschijnlijk het sterkst worden gereduceerd.

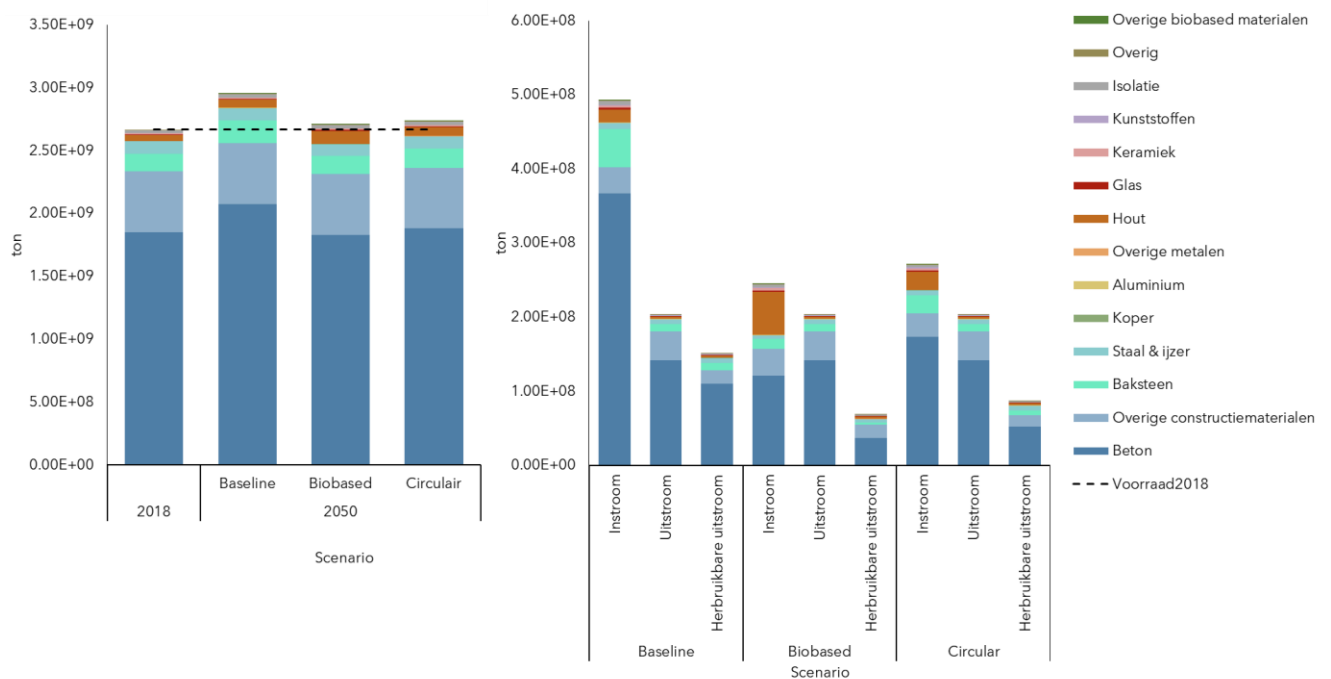
De sloop is identiek voor de drie materiaalscenario's omdat alle gesloopte gebouwen voor 2018 zijn gebouwd. Wel zijn er grote verschillen te zien tussen de sociaaleconomische scenario's en verstedelijkingsvarianten. De sloop is meer dan twee keer zo groot in WLO Hoog als in WLO Laag.

Daarnaast zien we in de variant Dichtbij de grootste cumulatieve sloopstromen, terwijl in Ruim nauwelijks wordt gesloopt. Dit is te verklaren door de modelaanname dat sloop uitsluitend plaatsvindt bij verdichting: het gesloopte gebouw wordt vervangen door een nieuw gebouw. Naar alle waarschijnlijkheid is dat een enigszins beperkende aanname, omdat in de praktijk gebouwen ook wel eens gesloopt worden als ze lang leegstaan. Echter, voor het doel van deze studie is dat niet storend, omdat sloop bij leegstand vermoedelijk maar een klein deel van de voorraad betreft.

De aannames over sloop beperken ook de gemodelleerde inzet van secundair materiaal. De inzet van secundair materiaal blijft in het model achter omdat het aanbod vanuit sloop te laag is. Voor de varianten Biobased en Circulair is de omvang van de sloop wel vergelijkbaar met de materiaalvraag, maar verschilt de compositie van de stromen. Daarnaast laten de huidige technologieën slechts een beperkte recycling toe van de vrijkomende materialen. Innovatie op het gebied van recycling blijft daarom essentieel, ook omdat de materialen die in de komende decennia vrijkomen veelal ongeschikt zijn voor hergebruik op componentniveau.

Tenslotte laat een gevoeligheidsanalyse zien dat het woonoppervlak sterk van invloed is op de materiaalvraag. Een reductie in het vloeroppervlak van woningen met 20% laat een aanzienlijke reductie in de materiaalvraag zien, omdat het overgrote deel van de bouwactiviteiten woningbouw omvat. Het zou daarom interessant zijn om mogelijkheden tot intensiever ruimtegebruik verder te onderzoeken.

Onderstaande figuren geven een samenvatting weer van de resultaten.



Figuur S1 Voorraden materialen in gebouwen in 2018 en in 2050 onder drie verschillende materialisatie-scenario's, en bijbehorende in- en uitstromen cumulatief over de periode 2018-2050.

De linker figuur toont de voorraden in 2018 en voor drie materialisatie-scenario's in 2050, gebaseerd op de combinatie WLO Hoog-Dichtbij. Wat het meest opvalt is dat de verschillende scenario's niet leiden tot grote verschillen in de voorraad. De baseline vertoont een zekere groei, veroorzaakt door een uitbreiding van het aantal woningen. In de andere scenario's is van dezelfde groei uitgegaan, maar een lichtere bouwstijl zorgt ervoor dat de voorraad nauwelijks groeit ten opzichte van 2018.

De instromen, in de rechter figuur, vertonen grotere verschillen. De instroom in zowel Biobased als Circulair is ongeveer de helft van die in Baseline. het Biobased scenario is de instroom het laagst en ook het meest verschillend van samenstelling. De uitstroom is identiek in alle scenario's: het gaat hier om gebouwen die er in 2018 al stonden. Het aandeel daarvan dat opnieuw kan worden ingezet in de bouw verschilt wel; deze is het hoogst in Baseline. De reden daarvoor is dat de beide andere scenario's op een nieuwe manier en deels met andere materialen gaan bouwen, waardoor oud bouw materiaal niet zonder meer is her te gebruiken. Op langere termijn zou het percentage opnieuw inzetbare materialen ook in deze scenario's hoger kunnen worden.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1. Introductie.....	7
2. Methode.....	8
2.1. Aanpak.....	8
2.2. Scenario's.....	10
2.3. Gevoeligheidsanalyse.....	13
3. Resultaten.....	14
3.1. Voorraad gebruiksoppervlak (GO).....	14
3.2. Materiaalvoorraad beginjaar (2018).....	14
3.3. Voorraad, instroom en uitstroom: Baseline scenario.....	15
3.4. Voorraad, instroom en uitstroom: Biobased scenario.....	17
3.5. Voorraad, instroom en uitstroom: Circulair scenario.....	19
3.6. Gevoeligheidsanalyse: veranderingen in gemiddeld GO per woning.....	20
3.7. Hergebruik van secundaire materialen.....	21
3.8. Materiaalvraag en aanbod op ruimtelijk niveau.....	24
4. Discussie.....	26
Limitaties en vervolgonderzoek.....	28
5. Conclusie.....	29
Referenties.....	30
Bijlagen.....	32
Bijlage B1 Materialisatiescenario's.....	32
Bijlage B2. Toelichting Python modellen.....	34
Bijlage B3. Omrekenfactoren.....	38

1. Introductie

In de rapportage *Voorraden in de Maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie* (van Oorschot et al., 2019, 2020) is een inventarisatie gemaakt van een aantal voorraadgroepen: elektronica, elektrische machines, het elektriciteitssysteem, voertuigen, textiel, en gebouwen. De laatst genoemde voorraadgroep, gebouwen, is interessant vanuit een circulaire economie (CE) perspectief, onder andere omdat in deze sector de grootste massa is opgeslagen. Deze materialen vormen mogelijk een waardevolle bron voor secundaire productie, en kan zo bijdragen aan het behalen van de Nederlandse CE doeleinden.

Om een goed beeld te krijgen van beleidseffecten tot 2050 is naast de inventarisatie meer nodig. Zo is het nodig om een inschatting te hebben hoe de voorraad autonoom ontwikkelt, welke variatie daarin maximaal mogelijk is, en tot welke materiaalvraag en uitstroom de voorraadmutaties leiden. Voorstellen voor beleid kunnen dan tegen die inzichten afgezet worden. In deze vervolgstudie is daarom een scenario analyse uitgevoerd naar de dynamiek van de gebouwvoorraad in Nederland. Het doel van deze studie is om inzicht te krijgen in de voorraadopbouw van deze voorraadgroep tot 2050, de bijbehorende vraag naar materialen, en de beschikbaarheid van materialen uit de *urban mine*.

In deze studie gebruiken we de materiaal massa om te analyseren in hoeverre materiaal kringlopen kunnen worden gesloten en hoeveel van de vraag nog met primair materiaal moet worden voorzien. Materiaal massa vormt ook een basis voor het berekenen van de milieu impact en het in kaart brengen van eventuele leveringsrisico's en is daarom een belangrijke meeteenheid voor de circulaire economie.

De onderzoeksvraag die we in deze studie willen beantwoorden is als volgt: **“Hoe ontwikkelt de materiaal-voorraad, vraag en uitstroom in Nederlandse gebouwen zich mogelijk tussen 2018 en 2050 en in hoeverre is het mogelijk om materiaal kringlopen te sluiten?”**. We willen onderzoeken hoe wezenlijk het volume en de aard van de voorraad veranderen onder verschillende sociaaleconomische scenario's en extreem beleid met betrekking tot bouwlocaties en materiaalgebruik. Daarnaast willen we weten in hoeverre aan de vraag kan worden voldaan met secundair materialen. Tot slot onderzoeken we de ruimtelijke spreiding van de materiaalstromen.

Om de vragen te beantwoorden, combineren we een aantal gegevensbestanden. Uitgangspunt voor de analyse zijn de huidige gebouwvoorraad (BAG 2018) en een set recent ontwikkelde ruimtelijke scenario's voor de gebouwvoorraad in 2050 (Hamers et al., 2021). De ruimtelijke scenario's zijn uitgewerkt op een 100 bij 100 meter resolutie, de gebouwvoorraad is uitgedrukt in aantallen woningen (woonfunctie) en de oppervlakte van gebouwen (werkfunctie). Op basis van de ruimtelijke scenario's, en in combinatie met andere indicatoren die van invloed zijn op de dynamiek van de bouw, zoals de ontwikkeling van het woonoppervlak en materiaalgebruik, zijn de materiaal in- en uitstromen binnen de Nederlandse economie in kaart brengen. De aanpak en gebruikte data worden in het volgende hoofdstuk toegelicht, de resultaten in hoofdstuk 3, de discussie in hoofdstuk 4 en de conclusie in H5.

2. Methode

2.1. Aanpak

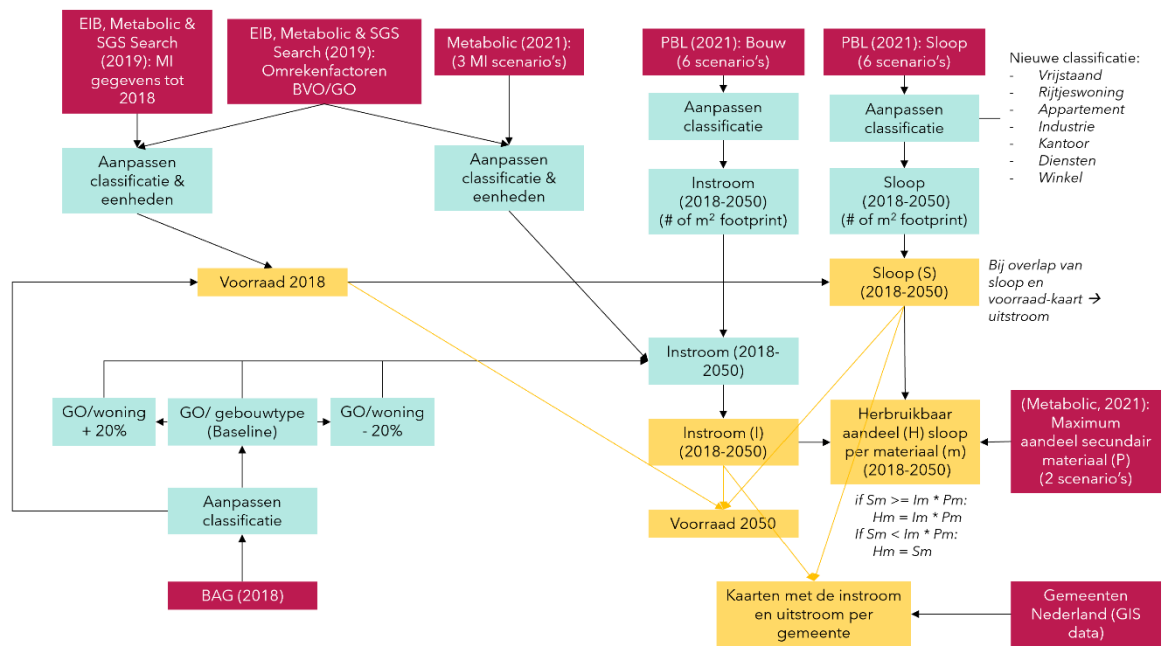
Figuur 1 laat een overzicht zien van de dataverwerking en analyse stappen. Startpunt in de analyse is de huidige gebouwvoorraad. Deze was in een voorgaande studie al in kaart gebracht voor het jaar 2020 (van Oorschot et al., 2020). In Hamers et al (2021) zijn zes ruimtelijke scenario's uitgewerkt voor de gebouwvoorraad in 2050 en daarmee de cumulatieve bouw en sloop tussen de jaren 2018 en 2050. Omdat de scenario's het jaar 2018 nemen als startpunt, rekenen we de materiaalvoorraad opnieuw uit voor dit jaar. Hiertoe vormen de BAG en materiaalintensiteit gegevens van EIB, Metabolic & SGS Search (2019) de basis.

De gebruikte gebouwclassificaties uit voorgaande studie (van Oorschot et al., 2020), gebaseerd op de BAG (2021) en EIB, Metabolic & SGS Search (2021), komen niet goed overeen met de gebruikte gebouwclassificaties van het PBL (Hamers et al., 2021). Om koppeling van de materiaalintensiteit gegevens van EIB, Metabolic & SGS Search (2019) met de PBL scenario's stemmen we eerst de gebouwclassificaties af (Tabel 1).

PBL maakt in zijn scenario studie gebruik van de Ruimtescanner (RS). RS berekent modelmatig de ontwikkeling van bouw en sloop op een 100 bij 100 meter resolutie. Het toekomstig ruimtegebruik in Nederland wordt gemodelleerd op basis van de behoefte aan grond voor meer woningen, voorzieningen en bedrijventerreinen, en inschattingen van de geschiktheid van specifieke locaties voor deze functies. De output gegevens zijn in aantallen woningen en vierkante meter gebouwooppervlak (ook wel footprint genoemd) voor niet woningen. De gebruikte eenheden sluiten echter niet aan op de materiaalintensiteiten van EIB, Metabolic & SGS Search (2019) en Metabolic (2021) in kilogram per vierkante meter bruto vloerooppervlak (kg/m^2 BVO). We moeten daarom de relatie vinden tussen m^2 footprint en woning (PBL) enerzijds en m^2 BVO anderzijds. Hiervoor kunnen we de BAG gebruiken. Echter bevat de BAG alleen informatie over vierkante meter gebruiksoppervlak (GO) per gebouwtype. We hebben daarom eerst de materiaalintensiteiten van Metabolic omgerekend naar kg/m^2 GO. Hiertoe zijn omrekenfactoren, gespecificeerd door EIB, Metabolic & SGS Search (2019) gebruikt (Bijlage B3). Vervolgens hebben we op basis van de BAG (in het jaar 2018) de gemiddelde GO per woning en m^2 footprint niet-woning berekend. Nu kunnen we de eenheden in de PBL scenario's omrekenen van aantallen of m^2 footprint naar m^2 GO, en deze gegevens kunnen weer gekoppeld worden aan de materiaalintensiteiten van Metabolic (omgerekend naar kg/m^2 GO).

De voorraaddata (BAG) en scenariodata (PBL) hebben een ruimtelijke component, wat het mogelijk maakt om de ruimtelijke spreiding van de bouwvoorraad, instroom en uitstroom in kaart te brengen. Voor de voorraad in 2018 kan dat tot op gebouwniveau. De scenariogegevens hebben een resolutie van 100 bij 100 meter. Om de leesbaarheid en relevantie van de gegevens te vergroten, aggregeren we de scenariogegevens naar gemeenteniveau. We analyseren de ruimtelijke spreiding en verhouding tussen de materiaalvraag en materiaaluitstroom voor twee uiteenlopende scenario's: WLO Hoog in combinatie met Dichtbij en WLO Laag in combinatie met Ruim.

We analyseren verschillende scenario's op basis van beschikbare parameters. De eerste parameter is het ruimtelijke scenario voor de gebouwde omgeving gedefinieerd door het PBL (Hamers et al., 2021). De tweede parameter is de materiaalintensiteit van de gebouwen. Hiertoe zijn drie verschillende scenario's ontwikkeld door Metabolic (2021). De derde parameter is het gebruiksoppervlakte (GO) per woning of m^2 footprint. In de volgende secties lichten we de parameters verder toe. Een toelichting van de python modellen en links naar de python bestanden zijn te vinden in bijlage B2.



Figuur 1. Methode: in rood de input data, in blauw de tussenstappen en in geel de eindresultaten.

Tabel 1. Gebouwclassificaties gehanteerd in verschillende studies en classificaties gebruikt in deze studie.

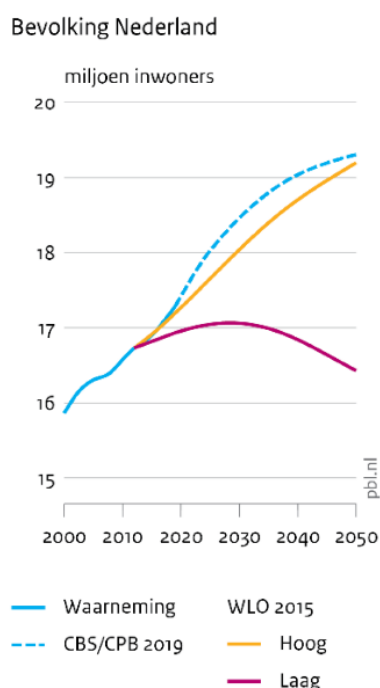
Type	Metabolic (2019)	PBL (2021)	BAG + Woningtypering	Deze studie
Woning	Vrijstaand	Vrijstaand	Vrijstaande woning	
	Serieel	2-onder 1 kap	2-onder 1 kap	Vrijstaand
	Appartement	Appartement	Appartement	Appartement
	Woonflat	Rijtjeswoning	Tussenwoning/geschakeld	Serieel
Utiliteit	Winkel	Detailhandel	Winkelfunctie	Winkel
	Kantoor klein	Nijverheid & logistiek	Industriefunctie	Industrie
	Kantoor groot	Ov. Consumentendiensten	Kantoorfunctie	Kantoor
	Distributie	Overheid kw diensten	Logiesfunctie	Diensten
	Bedrijfshal	Zakelijke dienstverlening	Bijeenkomstfunctie	Overig
	Zorg		Onderwijsfunctie	
	Onderwijs		Gezondheidsfunctie	
			Celfunctie	
			Overige gebruiksfunctie	
			Sportfunctie	
		"		

2.2. Scenario's

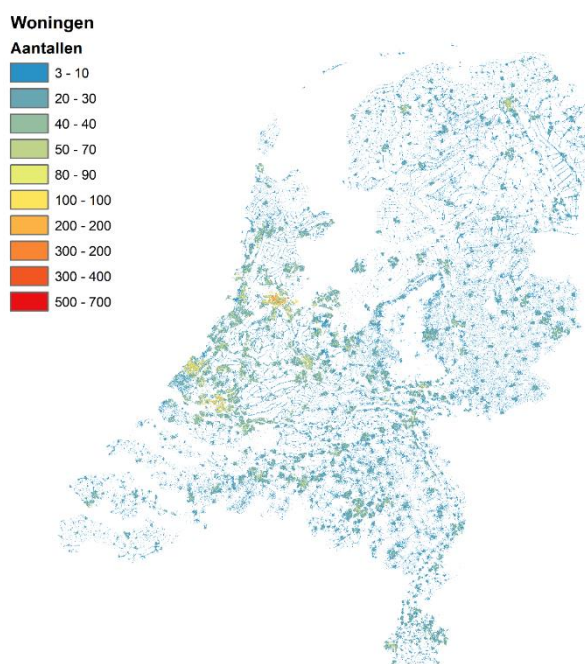
In deze studie onderzoeken we 18 verschillende scenario's op basis van 3 variabelen: 2 socio-economische scenario's (WLO Hoog en Laag), 3 verstedelijkingsscenario's (Dichtbij, Verbonden en Ruim) en 3 materiaalscenario's (Baseline, Biobased en Circulair). We rekenen alle combinaties door. Opvallende en extreme uitkomsten worden uitgelicht en tot slot bespreken we de beleidsimplicaties. In de volgende secties lichten we de scenario's nader toe.

Socio-economische scenario's

In deze studie worden verschillende scenario's uitgewerkt voor de ontwikkeling van de gebouwvoorraad in Nederland tot 2050. Als basis dienen de verstedelijkingsvarianten van het PBL die op hun beurt weer gebaseerd zijn op de socio-economische scenario's van de Welvaart en Leefomgeving: WLO Laag en WLO Hoog (van Eck et al., 2020; De Jong, 2015). De verwachte groei van huishoudens en banen in de WLO scenario's vormen het uitgangspunt. Voor de woningvoorraad is met name relevant dat de huishoudensgroei uiteenloopt van 300.000 in scenario Laag tot 1,1 miljoen in Hoog. In het scenario Hoog loopt dit na 2030 verder op tot bijna 2 miljoen in 2050. Uitgegaan is van een een-op-een vertaling in de groei van het aantal huishoudens en de toename in woningbehoefte. Daarnaast zijn de groei van het aantal banen in WLO Laag en Hoog als uitgangspunt genomen voor de ontwikkeling van oppervlakte werkruimte, specifiek per sector.



Figuur 2. Bevolkingsgroei volgens WLO hoog en laag (van Eck et al., 2020; De Jong, 2015).



Figuur 3. Voorbeeld ruimtelijk scenario PBL: Voorraad woningen (2050) in Scenario Verbonden, WLO Hoog (100 x 100 meter resolutie)

Verstedelijkingsscenario's

Om een idee te krijgen van de mogelijke effecten van deze ontwikkelingen op de uitbreiding van woon- en werklocaties heeft het PBL voor beide scenario's drie verstedelijkingsvarianten doorgerekend (Hamers et al., 2021): (1) Binnenstedelijke bouw in hoge dichtheden, nabij voorzieningen: Dichtbij, (2) Geconcentreerde verstedelijking nabij ov-knooppunten: Verbonden, en (3) verstedelijking in lagere dichtheden, op uitleglocaties: Ruim. De varianten zijn bedoeld als extremen, met de vraag: "Wat zouden de consequenties zijn als zoveel mogelijk wordt ingezet op een bepaald type locatie?" Merk op dat deze drie varianten niet zijn ontwikkeld met het oog op voorliggende studie: het in kaart brengen van materiaalstromen. In de toekomst kunnen varianten worden ontwikkeld die meer specifiek hierop gericht zijn, of meer expliciet rekening hiermee houden.

In Dichtbij wordt voornamelijk gebouwd binnen bestaand bebouwd gebied, zoals bouwterreinen en onderbenutte woon- en werkgebieden. Om efficiënt met de ruimte om te gaan worden voornamelijk appartementen gebouwd. Pas als de vraag niet geheel kan worden voorzien binnen bestaand bebouwd gebied, komen andere locaties in aanmerking, zoals agrarische locaties. De verdichting in stedelijke gebieden resulteert in een relatief hoge vervangingsloop- en bouwlocaties met een lage gebouwdichtheid worden vervangen door gebouwen met een hogere dichtheid.

In de variant Verbonden wordt voornamelijk gebouwd nabij bestaande ov-haltes (trein, metro en tram). De voorkeur ligt hier, net als bij Dichtbij, bij bouwterreinen en onderbenutte woon- en werkgebieden binnen bestaand bebouwd gebied. Appartementen nemen ook in deze variant sterk toe ten opzichte van vrijstaande, twee-onder-een-kap en rijtjeswoningen. Alhoewel in mindere mate dan in de variant Dichtbij, is ook hier sprake van verdichting, en daardoor ook relatief veel vervangingsloop- en bouw.

In de variant Ruim wordt hoofdzakelijk gebouwd buiten bestaand bebouwd gebied. Dit kan op bouw- agrarisch terrein zijn en in onbeschermd natuurgebied. De gebouwdichtheden zijn in dit scenario relatief laag ten opzichte van Dichtbij en Verbonden, en de nadruk ligt op vrijstaande, twee-onder-een-kap en rijtjeswoningen. Omdat in dit scenario nauwelijks sprake is van verdichting, is de vervangingsloop- en bouw laag.

Het aantal woningen en oppervlak niet woningen (werkfunctie) dat wordt gebouwd of gesloopt in drie varianten zijn gebaseerd op scenario's voor het aantal huishoudens in 2050 in de WLO scenario's (zie vorige sectie). De WLO scenario's zijn gebaseerd op lange termijn ramingen voor de economie en bevolkingsgroei. Trendbreuken, zoals de beleidsambitie om 900.000 woningen te bouwen tot 2030 (BZK, n.d.), zijn niet in de scenario's meegenomen. Hetzelfde geldt voor de explosieve groei van het aantal data- en distributiecentra in Nederland. De WLO scenario's geven echter een robuuste brandbreedte, waardoor de resultaten alsnog relevant zijn.

Scenario's materiaalintensiteiten

In een studie van EIB, Metabolic & SGS Search (2019) zijn de materiaalintensiteiten berekend voor 12 gebouwtypen uit verschillende bouwjaren, specifiek voor 20 materialen. Hierbij zijn de cohorten < 1900, 1900-1930, 1930-1970, 1970-2000 en 2000-2014 gedefinieerd. In onze voorgaande studie koppelden we deze gegevens aan de BAG om de materiaalvoorraad in 2020 te berekenen (van Oorschot et al., 2021). Vergelijkbaar met onze voorgaande studie gebruiken we de gegevens nu om de materiaalvoorraad in gebouwen in 2018 te berekenen.

Dit jaar zijn door Metabolic 3 scenario's ontwikkeld voor de materiaalintensiteiten van nieuwbouw tot 2050 (Metabolic, 2021): Baseline, Biobased en Circulair. In alle scenario's voldoen de nieuwe gebouwen aan de BENG (Bijna Energie Neutrale Gebouwen) norm. Dit houdt in dat voor

gebouwen een maximale energiebehoefte en energiegebruik geldt en dat heeft consequenties voor materiaalgebruik voor bijvoorbeeld isolatie en duurzame energievoorziening.

Aanvullend op de BENG norm worden in het Baseline scenario reeds geïdentificeerde trends die relevant zijn voor de bouw doorgetrokken tot 2050, zoals een matige groei in houtbouw (20%), wat overeenkomt met gestelde ambities door een aantal provincies (MRA, 2020).

In het scenario Biobased groeit het aandeel gebouwen dat grotendeels bestaat uit biobased materialen naar 80%. Grootschalige inzet op hout en andere biobased materialen wordt gestimuleerd om de CO₂ uitstoot van de bouw drastisch te verlagen. Cross-laminated timber (CLT) wordt toegepast in kantoren en appartementen en houtskeletbouw (HSB) met CLT vloeren in grondgebonden woningen, scholen en zorggebouwen. Belangrijke materiaalveranderingen omvatten het vervangen van betonnen draagconstructies met HSB en CLT, zandcement vloeren met gipsvezelplaten en PUR/PIR schuim isolatie met vlaswol. Gebaseerd op de productiecapaciteit binnen Nederland en de rest van Europa, de verwachte kostenprijs stijging van traditionele bouwmaterialen, en kostenverlaging van industrieel gefabriceerde houtenwoningen anderzijds, wordt in dit scenario 80% van de nieuwbouw met biobased bouwprofielen gerealiseerd (CoP Houtbouw, 2020).

In het Circulair wordt gebruik gemaakt van circulaire bouwprincipes, zoals losmaakbare verbindingen en herbruikbare onderdelen. Belangrijke veranderingen omvatten het vervangen van betonnen constructies met stalen frames, vervangen van PUR/PIR schuim met steenwol, en standaard baksteen gevelbekleding met mechanisch bevestigbare bakstenen.

Een samenvatting van de scenario aannames wordt gepresenteerd in Tabel 2. Een volledig overzicht van het tot stand komen van de scenario's en de gebruikte scenario aannames is te vinden in de rapportage van Metabolic (2021).

Met de huidige recycling technologieën is het nog niet mogelijk om het sloopmateriaal in geheel hoogwaardig te recyclen. Er gelden daarom beperkingen voor het aandeel secundair materiaal. Tabel 3 laat een overzicht zien van het maximale secundaire aandeel per materiaalstroom. We verwijzen naar de rapportage van Metabolic (2021) voor een uitgebreide toelichting en de gebruikte bronnen.

De volgende aannames worden gemaakt voor het hergebruik van sloopmateriaal. Als de sloop per materiaal (S_m) groter is dan het maximale aandeel secundair materiaal (P_m) in de instroom (I_m), kan een deel van de uitstroom niet worden gebruikt binnen de bouw. Bijvoorbeeld, als het maximale aandeel secundair beton (P_m) 50% is, de vraag (I_m) 1000 ton is, en de sloop (S_m) 800 ton kan slechts 500 ton worden hergebruikt binnen de bouw (H_m). De overige 300 ton blijft over. Wanneer de sloop kleiner is dan het maximale aandeel secundair materiaal in de instroom, kan alle sloop worden hergebruikt. In formulevorm:

$$\text{if } S_m \geq I_m * P_m: H_m = I_m * P_m$$

$$\text{elif } S_m < I_m * P_m: H_m = S_m$$

H_m is het herbruikbare aandeel materiaal uit de sloop.

Tabel 2. Aannames voor de drie materiaalscenario's

	Baseline	Biobased	Circulair
Houtbouw / biobased	20%	80%	20%
Circulair ontwerp	Nee	Nee	Ja
BENG norm	Voldoet		

Tabel 3. Maximum aandeel secundair materiaal in nieuwbouw per materiaal.

Materiaal	Maximaal secundair aandeel
Beton	0.3
Baksteen	0.25
Overige constructiematerialen	0.5
Mortel	0.3
Staal & Ijzer	0.95
Isolatie	0.5
Keramiek	0.25
Glas	0.4
Hout	0.3
Overig	0.08
Kunststoffen	0.75
Aluminium	0.95
Koper	0.95
Overige metalen	0.95
Overige biobased materialen	0.3

2.3. Gevoeligheidsanalyse

Op basis van de BAG 2018 is het gemiddeld gebruiksoppervlak per woning en per m² footprint (gebouwoppervlakte) niet-woningen vastgesteld (Tabel 4). De waarden worden gebruikt om de PBL eenheden om te rekenen naar m² GO, welke vervolgens aan de materiaalintensiteiten van Metabolic kunnen worden gekoppeld. In bovengenoemde scenario's gaan we uit van een constante gebruiksoppervlakte per woning en niet-woning ten opzichte van 2018. Echter, het GO per gebouweenheid kan in de toekomst mogelijk veranderen. Economische groei kan bijvoorbeeld leiden tot een groei van het woningoppervlak (Marinova et al., 2020; Deetman et al., 2020). Trends richting kleiner wonen zijn ook mogelijk, bijvoorbeeld uit duurzaamheids-overwegingen of door stijgende huizenprijzen. Historische trends laten een afname van het woonoppervlak van appartementen zien in Nederland (84 m² naar 80 m² tussen 2012 en 2021) (CBS, 2021). Eengezinswoningen (vrijstaand of serieel) laten juist een kleine groei zien van het gemiddeld woonoppervlak (138 m² naar 141 m² tussen 2012 en 2021). We onderzoeken hoe gevoelig de resultaten zijn voor veranderingen in GO per woning. Daartoe berekenen we hoe de resultaten veranderen wanneer de gebruiksoppervlakte per woning 20% toeneemt of afneemt. We nemen aan dat de GO per m² footprint (niet-woningen) constant blijft in elk scenario.

Tabel 4. Gemiddelde GO per m² footprint en woning, op basis van gegevens uit de BAG (ArcGIS, 2021). In het Baseline scenario blijft de GO per woning en GO / m² footprint niet-woning constant. We onderzoeken daarnaast hoe de resultaten veranderen wanneer de GO per woning 20% toeneemt of afneemt.

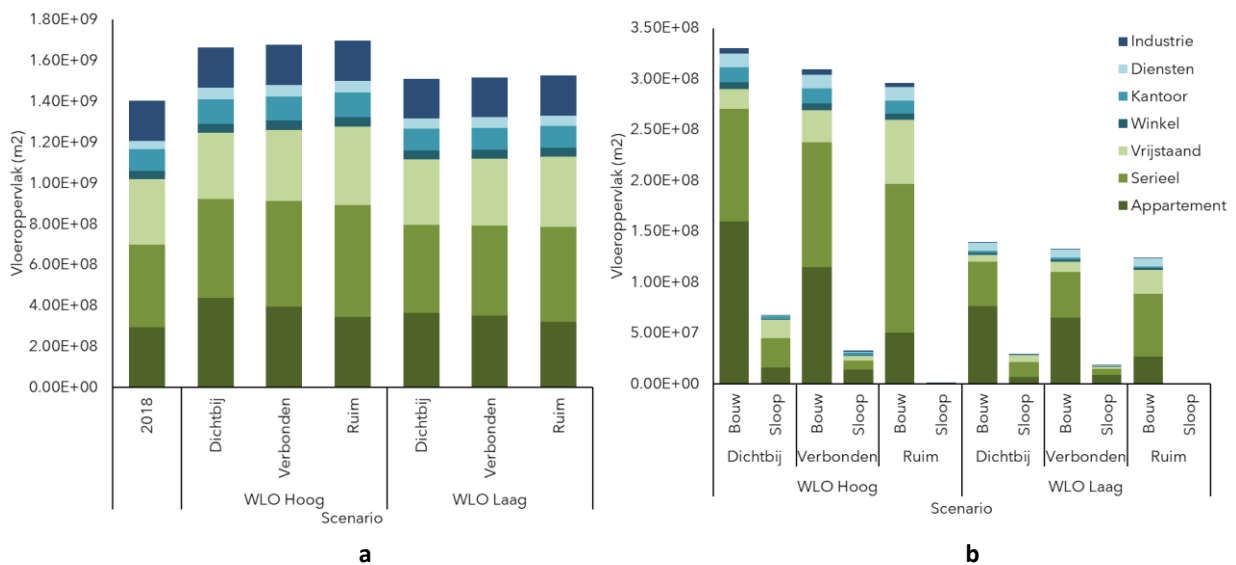
	Vrijstaand	Serieel	Appartement	Winkel	Kantoor	Industrie	Diensten
GO (m²) / footprint	1.3	1.6	2.1	1.3	1.7	1.1	1.6
GO (m²) woning	191	121	110				

3. Resultaten

3.1. Voorraad gebruiksoppervlak (GO)

De scenario's laten een groei in m² gebruiksoppervlakte (GO) zien van tussen de 8% (WLO Laag, Dichtbij en Verbonden) en 21% (Scenario WLO Hoog, Ruim) (Figuur 2a). De voorraadgroei is sterker voor varianten met een hoge groei in het aantal huishoudens en banen (ongeveer 10% hoger in WLO Hoog ten opzichte van WLO Laag) en uitbreiding buiten bestaand stedelijk gebied (1-2% hoger in Ruim dan in Dichtbij of Verbonden).

De cumulatieve bouw en sloop tussen 2018 en 2050 lopen sterker uiteen in de verschillende scenario's (Figuur 2b). De bouw varieert tussen de 124 miljoen m² (Scenario WLO Laag + Ruim) en 330 miljoen m² (Scenario WLO Hoog + Dichtbij), en nihil in de varianten Ruim. In scenario Dichtbij en Verbonden wordt vooral gebouwd op locaties waar weliswaar al gebouwen stonden, maar de woon- en werkdichtheid laag is. Dit resulteert in zowel veel bouw als sloop, alhoewel de bouw groter dan de sloop. De sloop varieert tussen de 110 duizend m² (scenario WLO Laag, Ruim) en 68 miljoen m² (scenario WLO Hoog, Ruim). In de variant Dichtbij worden voornamelijk appartementen gebouwd, terwijl in Verbonden en vooral in Ruim het aandeel seriële woningen en vrijstaande woningen groter is. Omdat appartementen gemiddeld een kleiner oppervlak hebben dan seriële en vrijstaande woningen, en relatief veel wordt gesloopt in de variant Dichtbij, is de voorraadgroei in dit scenario kleiner dan in de varianten Verbonden en Ruim.

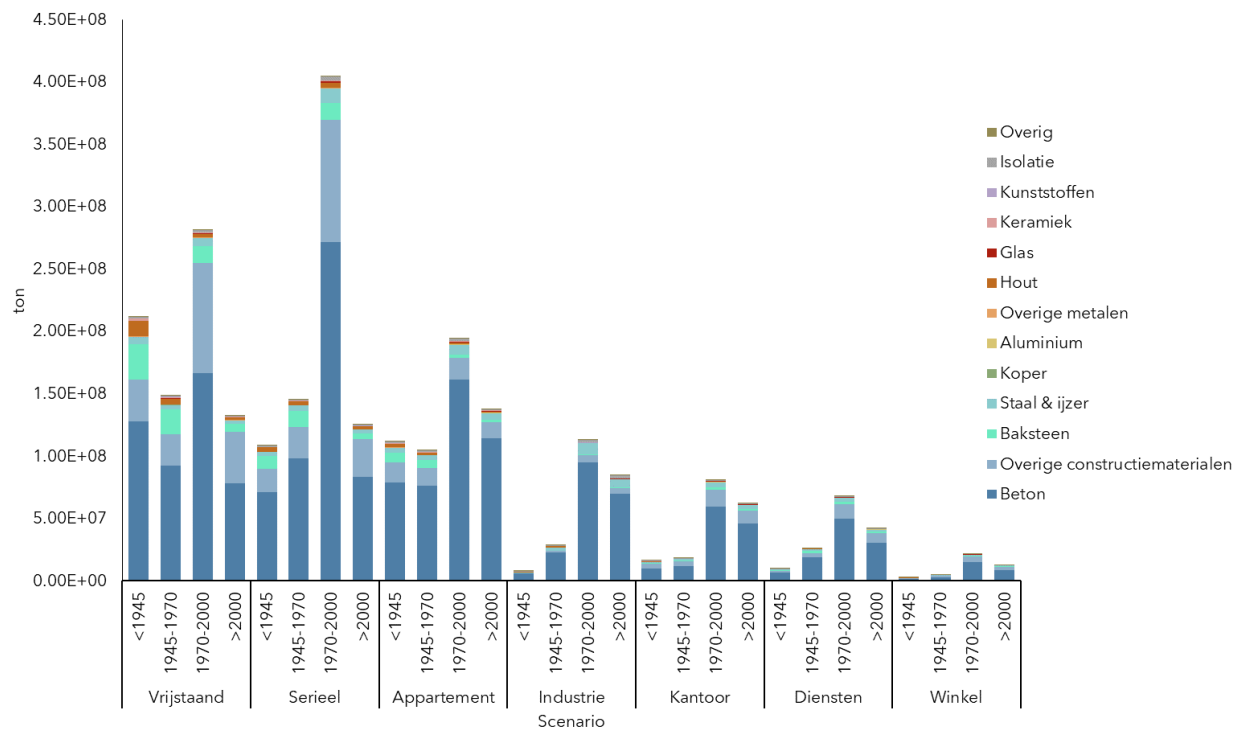


Figuur 2. Ontwikkeling voorraad (a), instroom en uitstroom (b) in vierkante meter gebruiksoppervlakte (GO) voor de varianten WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met PBL scenario's Dichtbij, Verbonden en Ruim.

3.2. Materiaalvoorraad beginjaar (2018)

De materiaalvoorraad in gebouwen (2020) was berekend in een voorgaande studie (van Oorschot et al., 2020). We hebben opnieuw de voorraad berekend voor het jaar 2018, wat het startpunt vormde voor de scenario analyse. Hierbij zijn de gebouwclassificaties aangepast om overeen te komen met de scenario gegevens. De resultaten voor 2018 zijn erg vergelijkbaar met de resultaten van 2020. De grootste voorraden bevinden zich in woningen. Er zijn duidelijke verschillen zichtbaar tussen de bouwcohorten, met uitschieters voor woningen gebouwd tussen 1970 en 2000. Het merendeel van de gebouwen met een industrie, kantoor, diensten of winkelfunctie is gebouwd na 1970. Constructiematerialen vormen de grootste bulk van de materiaalmassa, gevolgd door staal.

Voor een uitgebreide analyse van de materiaalvoorraden verwijzen we naar onze voorgaande studie (van Oorschot et al., 2020).



Figuur 3. Materiaalvoorraad in Nederlandse gebouwen in het jaar 2018, per bouwcohort en specifiek voor 6 bouwtypen.

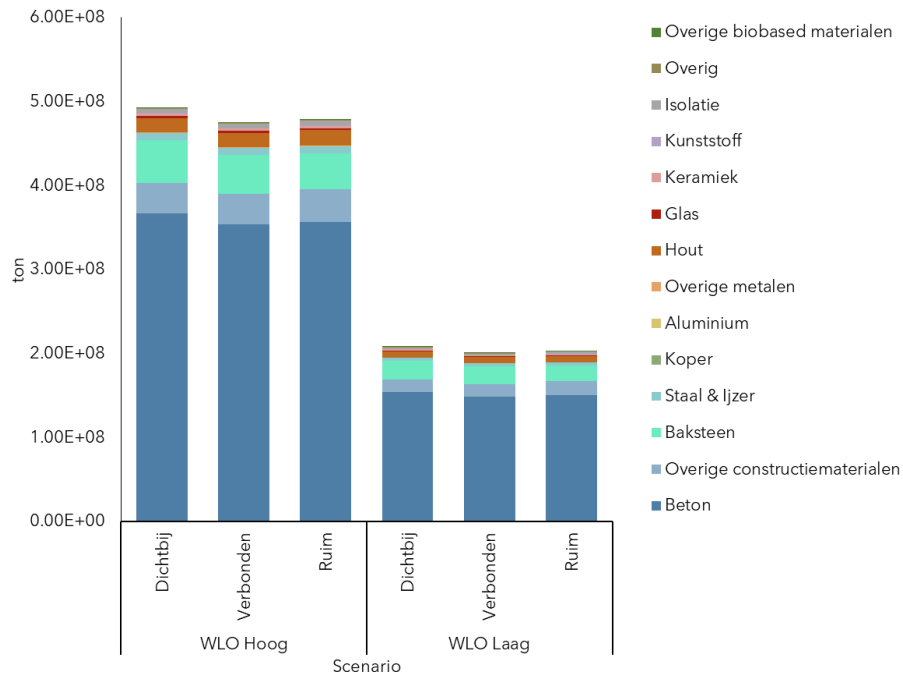
3.3. Voorraad, instroom en uitstroom: Baseline scenario

Voor de Baseline variant zijn 6 bouwscenario's berekend (Figuur 4). De resultaten laten zien dat de materiaalvraag in WLO Hoog aanzienlijk groter is dan WLO Laag: meer dan twee keer zo groot. De verstedelijkingsvariant heeft maar beperkte invloed op de materiaalvraag. De materiaalvraag is respectievelijk 4% en 3% hoger in de variant Dichtbij dan de varianten Verbonden en Ruim (voor hetzelfde WLO scenario). De totale materiaalvraag varieert tussen de 200 miljoen ton (WLO Laag, Verbonden) en 492 miljoen ton (WLO Hoog, Dichtbij). De vraag wordt in de Baseline varianten gedomineerd door beton, baksteen en overige constructiematerialen (92% van de vraag). 2% van de vraag bestaat uit metalen, en 4% uit biobased materialen (voornamelijk hout).

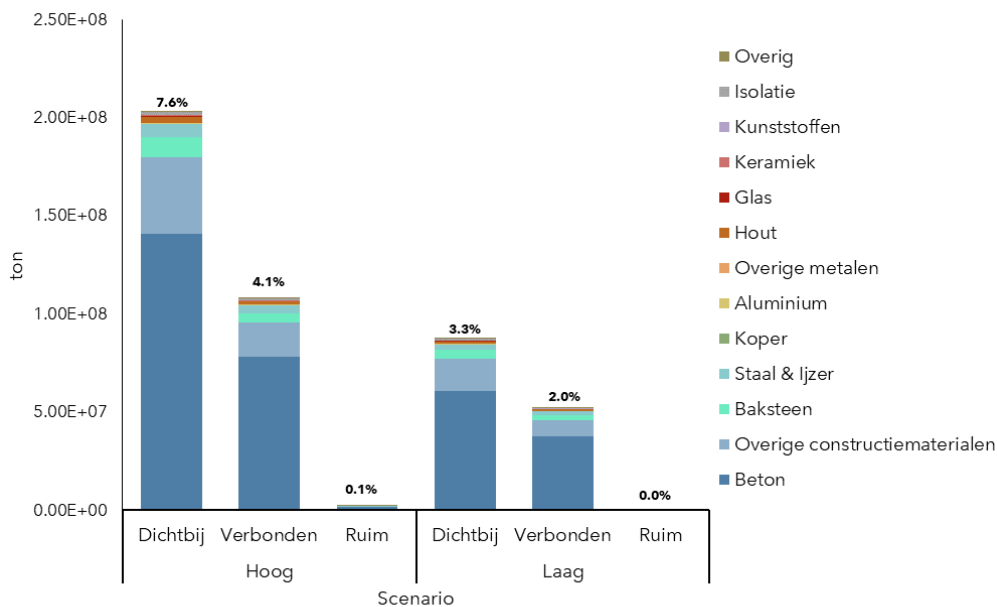
Ook de sloop resultaten verschillen sterk per scenario. De sloop is relatief groot in Dichtbij en Verbonden in vergelijking met scenario Ruim, waar de uitstroom nihil is (Figuur 4). Maximaal 7.6% van de huidige materiaalvoorraad wordt gesloopt en komt daarmee beschikbaar voor hergebruik. De verschillen in sloop tussen de verstedelijkingsvarianten kunnen worden verklaard door de modelaanname. In een scenario met meer bouw binnen bebouwd gebied is er veel sprake van verdichting, waarbij relatief veel gebouwen worden gesloopt en vervangen door nieuwe gebouwen. In een scenario waarin vooral buiten bestaand bebouwd gebied wordt gebouwd blijft de huidige gebouwvoorraad grotendeels staan, waardoor de sloop laag blijft.

De sloop scenario's zijn identiek voor de Baseline, Biobased en Circulair varianten, omdat aangenomen is dat tussen 2018 en 2050 alleen materialen uit gesloopte gebouwen vrijkomen die gebouwd zijn voor 2018. Dit is aannemelijk omdat de levensduur van Nederlandse gebouwen typisch meer dan 32 jaar (de hier bestudeerde periode) omvat.

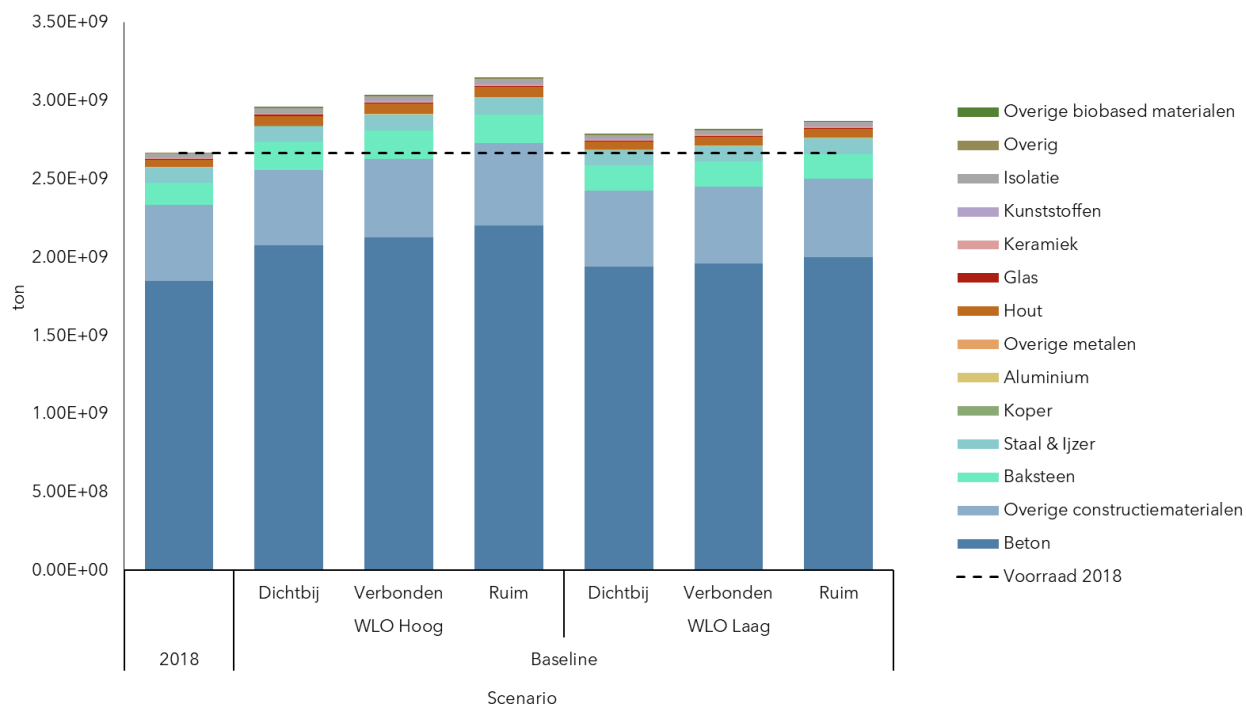
De hier besproken bouw en sloopscenario's resulteren in een voorraadgroei van tussen de 4% en 18% ten opzichte van 2018 (Figuur 6). De totale voorraadmassa in 2050 omvat tussen de 2.79 miljard ton en 3.14 miljard ton. De groei in materiaalmassa is lager dan in gebruiksoppervlakte. Het verschil is te verklaren door de lagere materiaalintensiteiten van nieuwbouw ten opzichte van gebouwen gebouwd tot 2018 (Zie Bijlage B1).



Figuur 4. Cumulatieve bouw voor Baseline scenario's voor WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met PBL scenario's Dichtbij, Verbonden en Ruim.



Figuur 5. Cumulatieve sloop voor Baseline scenario's voor WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met de verstedelijkingsvarianten Dichtbij, Verbonden en Ruim. De data labels presenteren het percentage sloop ten opzichte van de materiaalvoorraad in 2018.

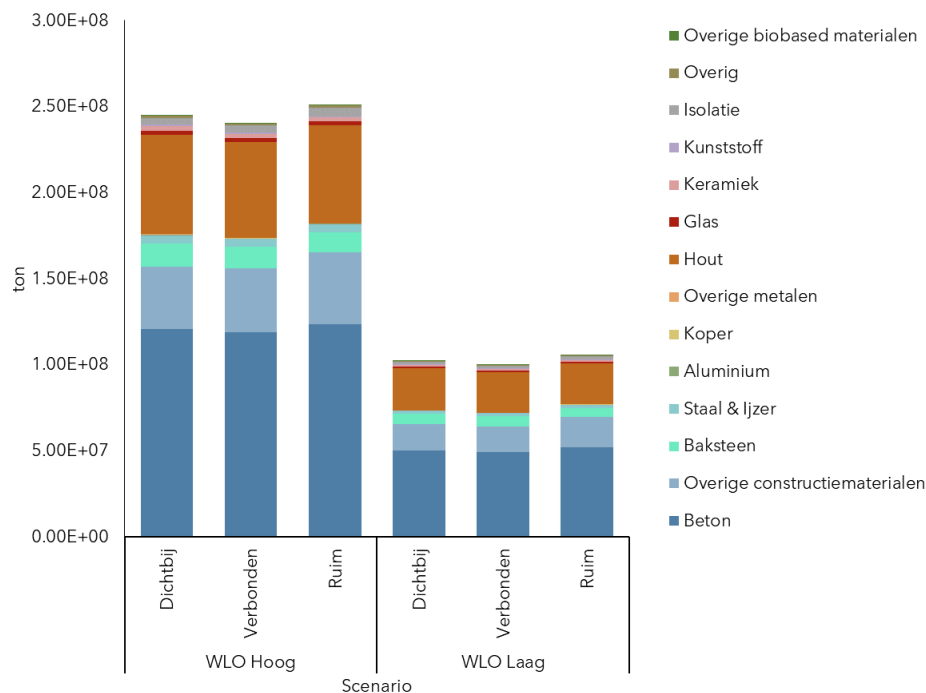


Figuur 6. Voorraad materialen in gebouwen in gebruik in 2050 voor Baseline scenario's voor scenario WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met scenario Dichtbij, Verbonden en Ruim, ten opzichte van 2018 (stippellijn).

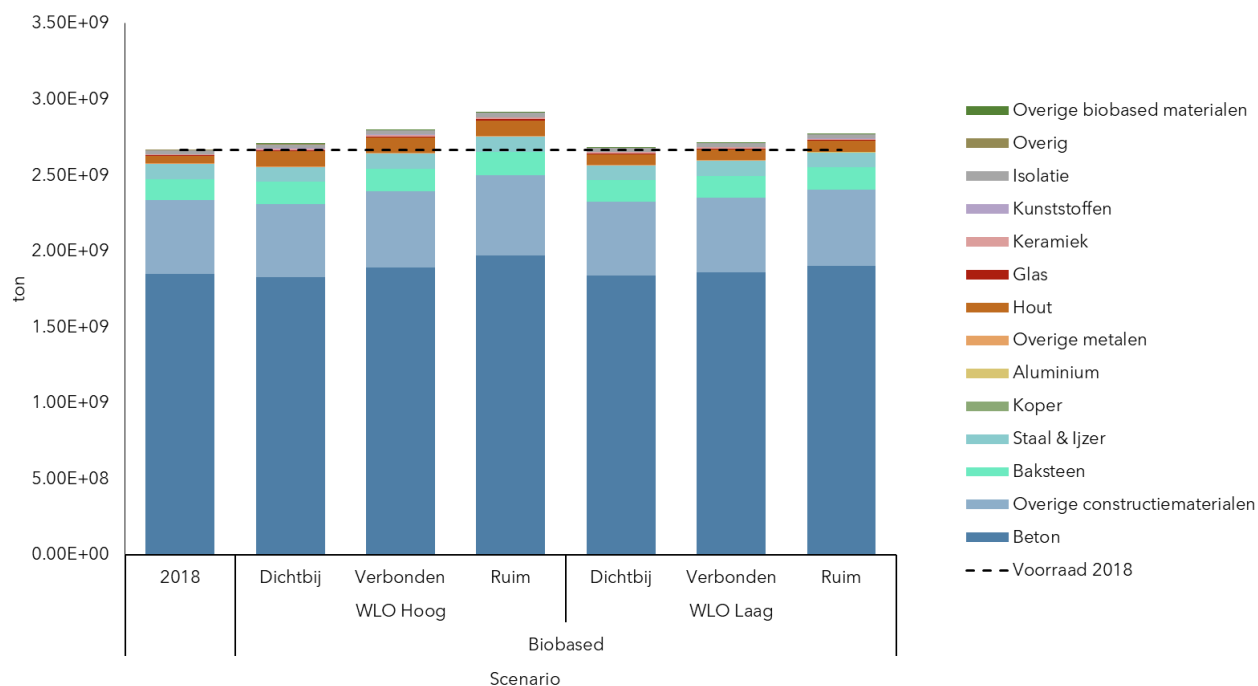
3.4. Voorraad, instroom en uitstroom: Biobased scenario

In de Biobased variant neemt de materiaalvraag met ongeveer de helft af ten opzichte van de Baseline scenario's. De cumulatieve vraag varieert tussen de 100 miljoen (WLO Laag, Verbonden) ton en 251 miljoen ton (WLO Hoog, Ruim) (Figuur 7). De reductie in de vraag (in massa) ten opzichte van de Baseline scenario's komt door het grootschalig vervangen van traditionele constructiematerialen zoals beton, baksteen en staal, met biobased alternatieven: hout en overige biobased materialen (bijvoorbeeld vlaswol en gipsvezels). De vraag naar hout is in de Biobased scenario's ruim 3 keer groter dan de Baseline varianten. De vraag naar beton, overige constructiematerialen en baksteen is in de Biobased scenario's 60% lager dan de Baseline varianten.

De voorraadgroei is door het gebruik van lichte bouwmaterialen aanzienlijk lager in de Biobased scenario's dan de Baseline scenario's. De voorraad groeit in de Baseline scenario's tussen de 1% (WLO Laag, Dichtbij) en 9% (WLO Hoog, Ruim). De verschillen in voorraadgroei tussen WLO Hoog en WLO Laag zijn relatief klein. De totale voorraad neemt toe tot tussen de 2.68 miljard ton en 2.91 miljard ton.



Figuur 7. Cumulatieve bouw voor Biobased scenario's voor WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met de verstedelijkingsvarianten Dichtbij, Verbonden en Ruim.

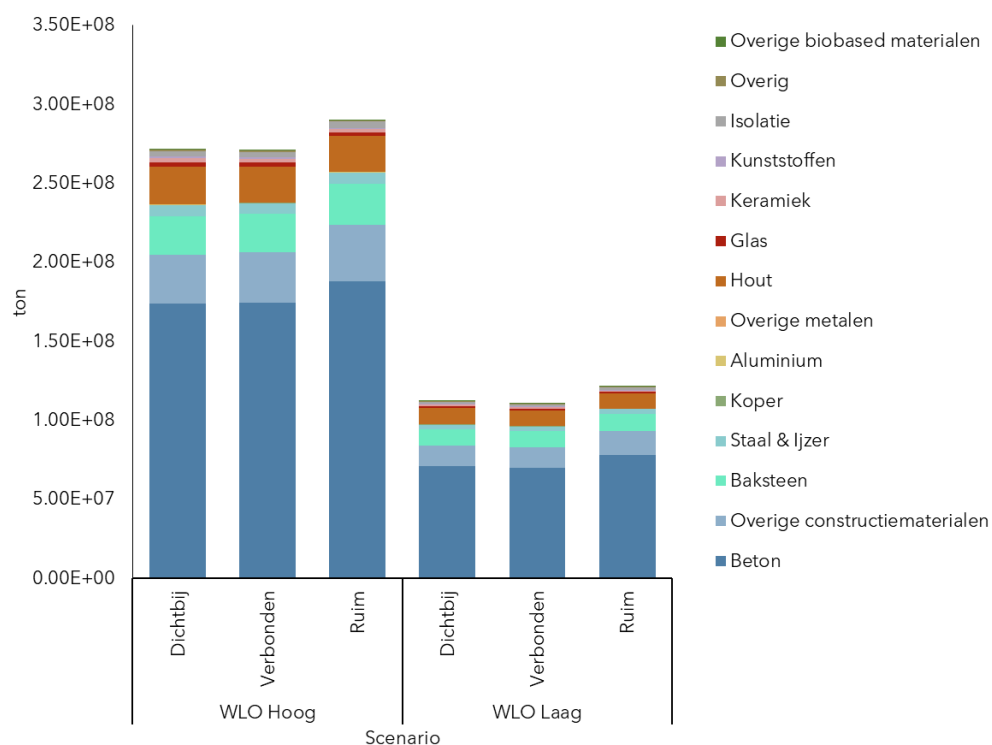


Figuur 8. Voorraad materialen in gebouwen in gebruik in 2050 voor Biobased scenario's voor scenario WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met scenario Dichtbij, Verbonden en Ruim, ten opzichte van 2018 (stippellijn).

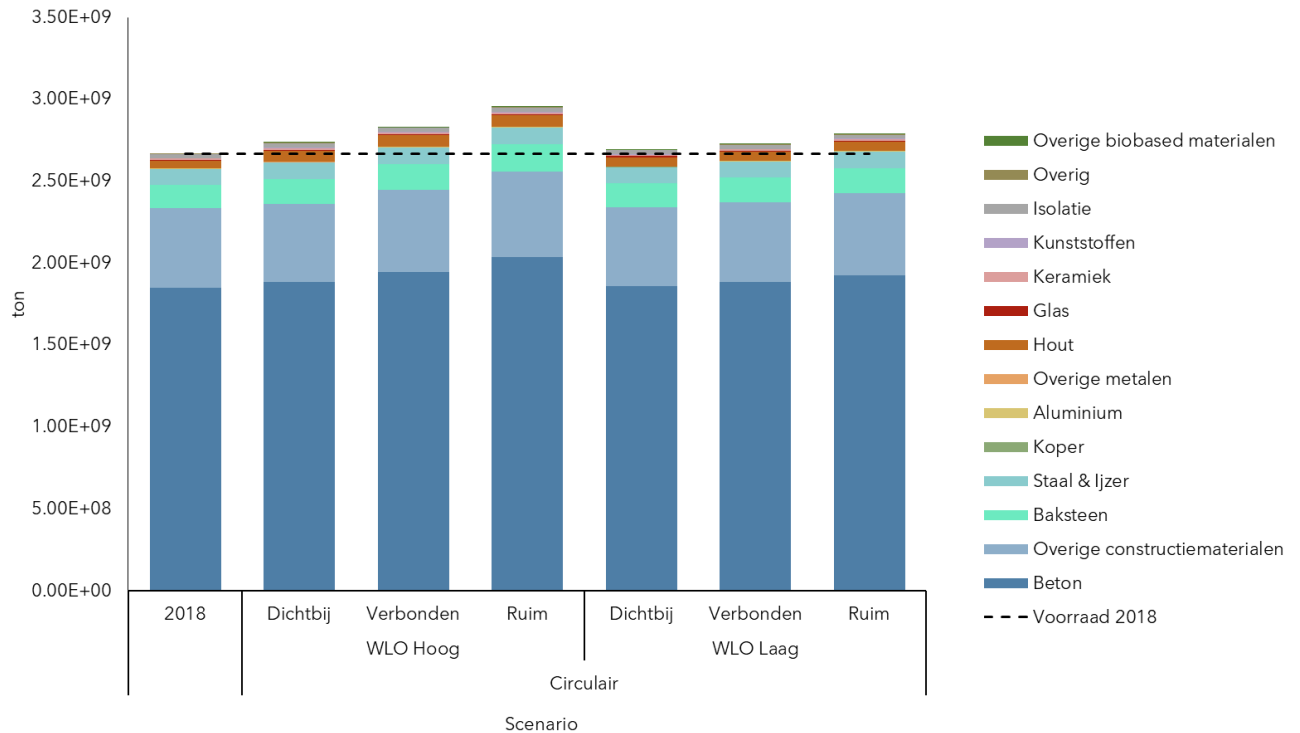
3.5. Voorraad, instroom en uitstroom: Circulair scenario

Net als biobased bouwen verlaagt de implementatie van circulaire bouwprincipes de materiaalvraag aanzienlijk. De cumulatieve materiaalvraag tussen 2018 en 2050 is net iets hoger dan scenario's Biobased. Ook is in de Circulair varianten een verschuiving in de materiaalvraag te zien naar biobased materialen, maar minder extreem dan in de Biobased scenario's. Het aandeel overige constructiematerialen en metalen is in de Circulair scenario's hoger dan in de Baseline varianten. De verschuiving is te verklaren door het vervangen van permanente onderdelen van conventioneel constructiematerialen (zoals beton en baksteen) met demontabele onderdelen die bestaan uit bijvoorbeeld staal, aluminium, anhydriet (een soort gips, valt onder overige constructiematerialen) en hout. De totale materiaalvraag varieert tussen de 110 miljoen ton (WLO Laag, Verbonden) en 290 miljoen ton (WLO Hoog, Ruim).

In de voorraadopbouw van de scenario's zien we een vergelijkbare trend als in de Biobased scenario's. De reductie in vraag door implementatie van circulaire bouwprincipes, de relatief hoge sloop in de scenario's Dichtbij en Verbonden, en relatief lage bouw in de scenario's Ruim resulteren in een geringe voorraadgroei. De groei is wel iets hoger dan de Biobased varianten. In scenario WLO Hoog, Ruim groeit de voorraad met 11%, tot 2.95 miljard ton. In scenario WLO Laag, Dichtbij is de groei het laagst, met een totaal van 2.69 miljard ton in 2050.



Figuur 9. Cumulatieve bouw voor de Circulair scenario's voor WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met de verstedelijkingsvarianten Dichtbij, Verbonden en Ruim.

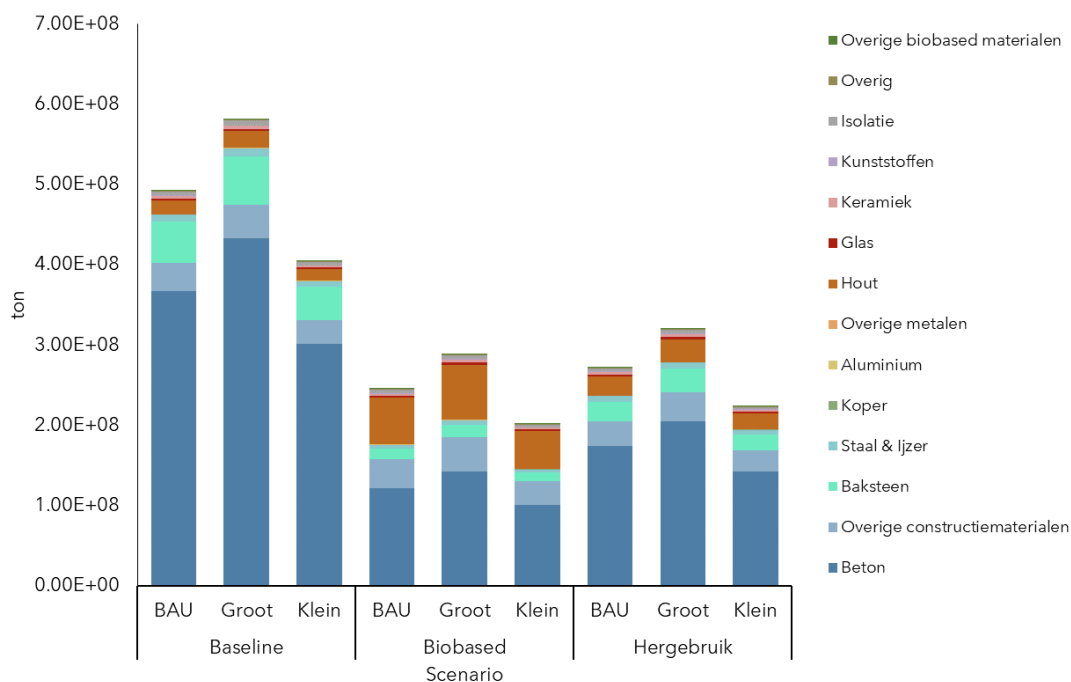


Figuur 10. Voorraad materialen in gebouwen in gebruik in 2050 voor Circulair scenario's voor scenario WLO Hoog en WLO Laag in combinatie met scenario Dichtbij, Verbonden en Ruim, ten opzichte van 2018 (stippellijn).

3.6. Gevoeligheidsanalyse: veranderingen in gemiddeld GO per woning

Naast de ruimtelijke scenario's van het PBL en de materiaalintensiteit scenario's voor gebouwen onderzochten we hoe de resultaten veranderen wanneer het gemiddeld gebruiksoppervlak (GO) per woning met 20% afneemt of toeneemt. Figuur 11 laat de cumulatieve bouw zien voor varianten met WLO Hoog in combinatie met scenario Dichtbij. De resultaten worden substantieel beïnvloed door trends in groter of kleiner wonen. Een respectievelijke toename en afname in het gebruiksoppervlakte met 20% per woning resulteert in een verandering in materiaalvraag rond de 18%. De grote invloed veranderingen in het GO per woning op de totale materiaalvraag laat zien dat het overgrote deel van de nieuwbouw bestaat uit woningbouw.

De voorraad neemt met een verandering in GO van 20% met maximaal 3.3% extra toe of af in de Baseline varianten. Voor de Biobased en Circulair varianten is dit maximaal 1.6% en 1.8% respectievelijk.



Figuur 11. Cumulatieve bouw tussen 2018 en 2050 voor scenario's met de varianten WLO Hoog en Dichtbij. De resultaten zijn gepresenteerd voor de Baseline, Biobased en Circulair scenario's en de scenario's voor het gemiddelde GO per woning (Baseline, GO/woning + 20% en GO/woning - 20%).

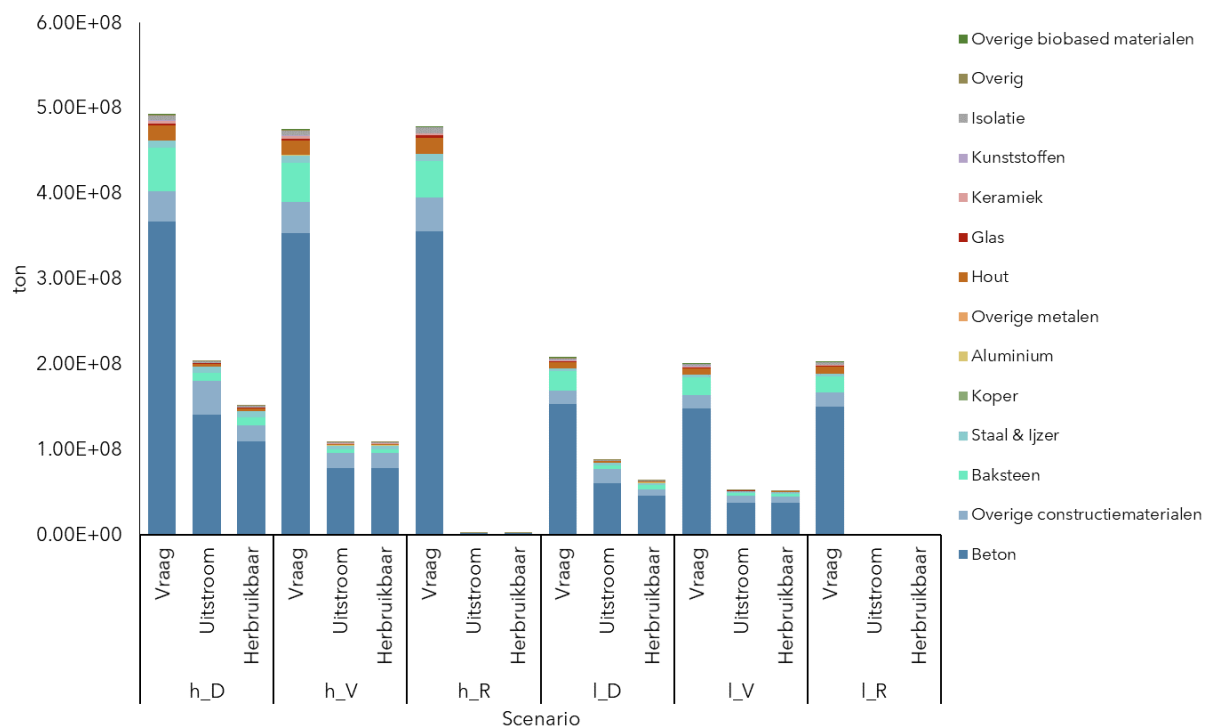
3.7. Hergebruik van secundaire materialen

In de voorgaande secties bespraken we de materiaaluitstroom voor de verschillende scenario's. Hoeveel van de materiaaluitstroom opnieuw kan worden hergebruikt voor nieuwbouw hangt af van het maximaal aandeel secundair materiaal per materiaalstroom. In dit hoofdstuk bespreken we de herbruikbare uitstroom voor de verschillende scenario's.

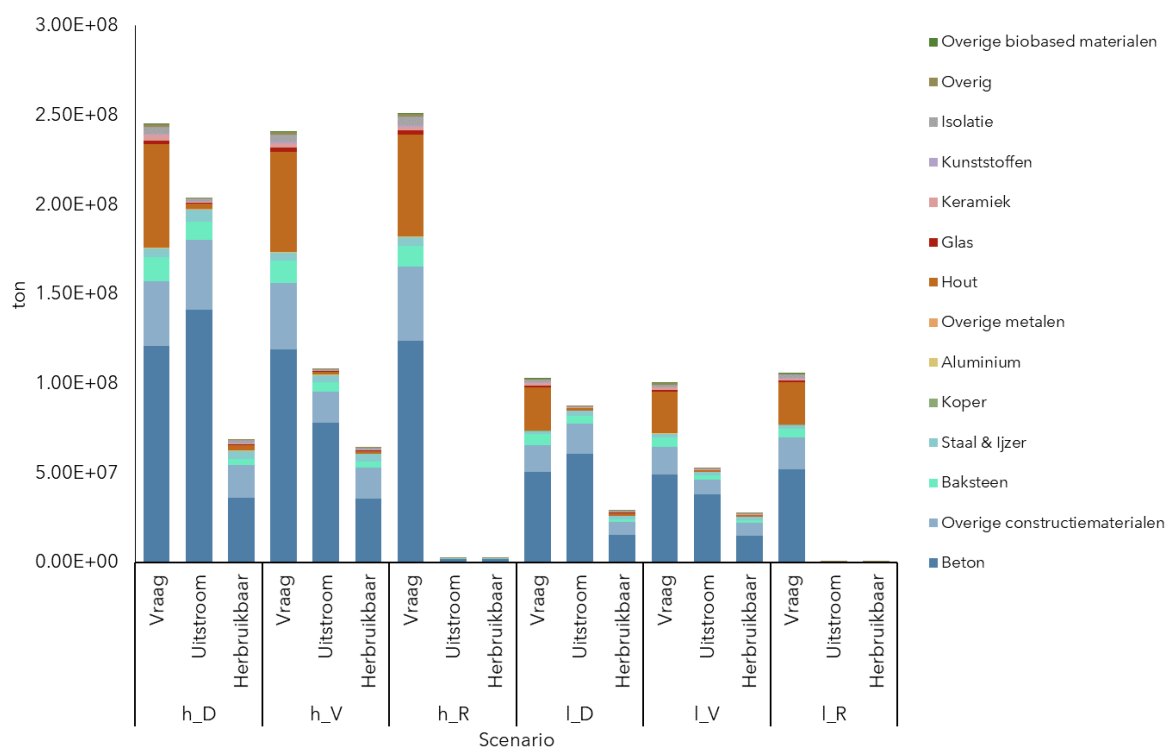
In de Baseline varianten kan maximaal 31% van de vraag met secundair materiaal worden voorzien (Figuur 12). In de Ruim varianten kan minder dan 1% van de vraag worden voorzien met secundair materiaal. Het beperkte aandeel secundair materiaal in Ruim is te verklaren door de geringe sloop. Omdat in de Baseline scenario's de vraag veel groter is dan de uitstroom, kunnen veel van de sloopmaterialen worden gerecycled zonder het maximum secundair aandeel te bereiken. In de varianten Verbonden en Ruim kan nagenoeg al het sloopmateriaal worden hergebruikt. In de variant Dichtbij kan ongeveer 75% worden hergebruikt. In de Dichtbij scenario's kan een deel van het beton, overige constructiematerialen, overige metalen en overige materialen niet worden gerecycled binnen de bouwsector omdat hiervoor het maximum secundair aandeel wordt bereikt.

In de Biobased scenario's is de mismatch tussen de hoeveelheid in- en uitstroom een stuk kleiner dan in de Baseline scenario's, op de varianten Ruim na en met name voor de varianten Dichtbij (Figuur 13). Echter is hier wel een mismatch tussen de samenstelling van de materiaalvraag en de materiaaluitstroom. In de materiaalvraag bestaat een aanzienlijk deel uit hout, terwijl het hout in de materiaaluitstroom gering is. Daarnaast beperkt voor veel materialen het maximum secundair aandeel de herbruikbaarheid van de materialen (binnen de bouw sector). Alleen in scenario Ruim kunnen alle materialen worden hergebruikt, omdat de uitstroom veel lager is dan de materiaalvraag. In de overige scenario's kan 33% tot 59% van de uitstroom worden gerecycled binnen de bouwsector. In totaal kan aan maximaal 28% van de vraag met secundair worden voorzien in de varianten Dichtbij, 27% in de varianten Verbonden, en minder dan 1% in de varianten Ruim.

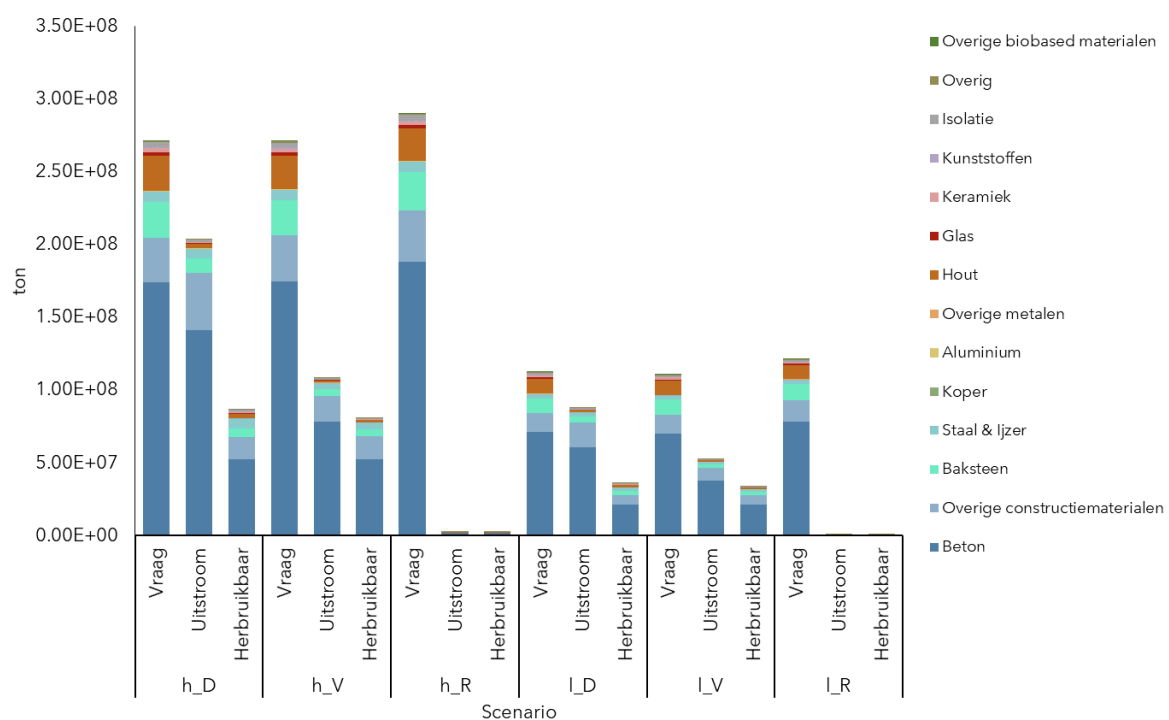
Ook in de Circulaire varianten ligt de instroom vrij dicht bij de uitstroom voor de varianten Dichtbij en in mindere mate voor Verbonden. Daarnaast is de mismatch in de samenstelling van de materiaalvraag en materiaaluitstroom kleiner dan de Biobased scenario's door een kleiner aandeel biobased materialen in de materiaalvraag. Het maximale secundaire aandeel in de instroom ligt daardoor iets hoger dan in de Biobased scenario's: aan maximaal 32% van de vraag kan met secundair materiaal worden voldaan (WLO Hoog, Dichtbij). Net als in de Biobased varianten vormt ook hier het maximum secundair aandeel een beperkende factor in materiaalhergebruik. Alleen in de varianten Ruim kan alle uitstroom worden hergebruikt. In de andere varianten kan 25% (WLO Hoog, Verbonden) tot 59% (WLO Laag, Dichtbij) van de sloopmaterialen niet worden hergebruikt omdat het maximum secundair aandeel is bereikt.



Figuur 12. Materiaalvraag, uitstroom en herbruikbare uitstroom, cumulatief voor de periode 2018 tot 2050 voor de Baseline scenario's.



Figuur 13. Materiaalvraag, uitstroom en herbruikbare uitstroom, cumulatief voor de periode 2018 tot 2050 voor de Biobased scenario's.

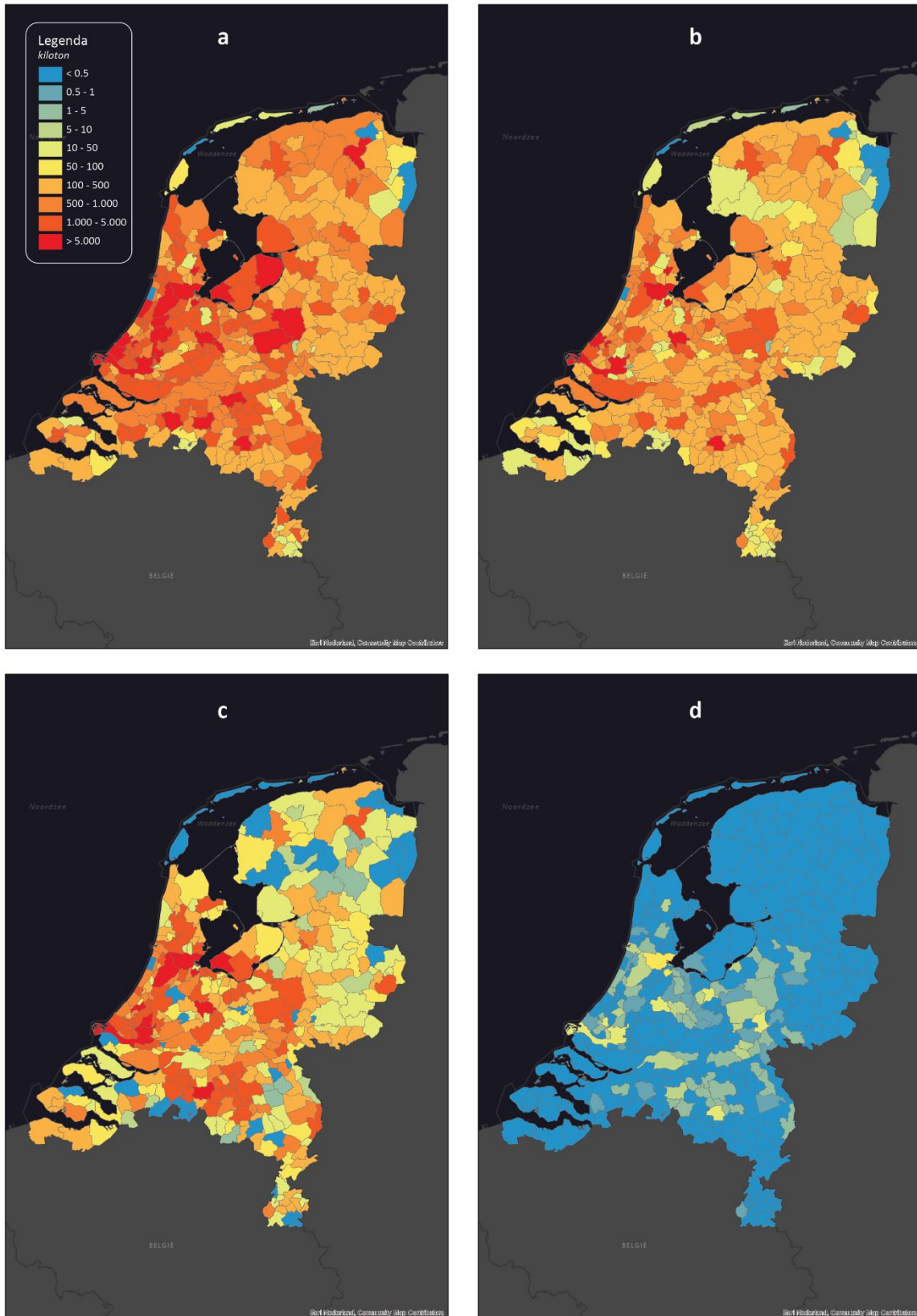


Figuur 14. Materiaalvraag, uitstroom en herbruikbare uitstroom, cumulatief voor de periode 2018 tot 2050 voor de Circulair scenario's.

3.8. Materiaalvraag en aanbod op ruimtelijk niveau

De materiaalvraag en de materiaaluitstroom uit de urban mine kunnen Ruimtelijk worden weergegeven. Figuur 15a en 15b laten de cumulatieve bouw en sloop zien per gemeente in kiloton, voor scenario WLO Hoog, Dichtbij (Baseline). De materiaalvraag en uitstroom verschilt sterk per gemeente. De grootste bouw en sloop activiteiten vinden plaats in stedelijke gebieden: gemeenten in de randstad, het midden van het land en delen van Noord-Brabant (zoals 's Hertogenbosch en Eindhoven). Alhoewel materiaalvraag en aanbod in sommige gemeenten vrij dicht bij elkaar lijken te liggen, is de vraag vaak wel substantieel hoger. Bijvoorbeeld, alhoewel ze dezelfde kleur hebben op de kaarten, is de totale materiaalvraag (Figuur 15a) in de gemeente Amsterdam is met 31000 kiloton 2.7 maal groter dan de totale materiaaluitstroom (Figuur 15b, 11000 kiloton).

De bouw en met name de sloop zijn aanzienlijk lager in scenario WLO Laag + Ruim (Figuur 15c en 15d). Toch blijkt ook hier een relatief grote materiaalvraag en uitstroom in stedelijke gebieden ten opzichte van gemeenten met een lage gebouwdichtheid. De Ruim variant laat een grotere mismatch tussen materiaalvraag en materiaaluitstroom zien dan Dichtbij of Verbonden, omdat de sloop relatief laag is. De maximale materiaalvraag per gemeente is in dit scenario 17000 kiloton (gemeente Almere). De sloop in dezelfde gemeente bedraagt slechts 0.8 kiloton.



Figuur 15. Totalen van alle materialen (in kiloton) in bouw (a, c) en sloop (b, d) per gemeente voor scenario Hoog met Dichtbij (a,b) en scenario Laag met Ruim (c, d) onder Baseline aannames.

4. Discussie

In deze studie onderzochten we de mogelijke ontwikkeling van de totale materiaalvoorraad en materiaalvraag in gebouwen in Nederland tussen het jaar 2018 en 2050. We analyseerden hoe het volume en de aard van de voorraad veranderen onder invloed van verschillend beleid en in hoeverre aan de materiaalvraag kan worden voorzien met secundair materiaal. Tot slot keken we naar de ruimtelijke spreiding van de materiaal vraag en het secundaire materiaal aanbod.

De vernieuwing van de bouwvoorraad is een proces van lange adem.

Onze resultaten laten zien dat de cumulatieve bouw en sloop tussen 2018 en 2050 een beperkte invloed hebben op de samenstelling en omvang van de voorraad in 2050 ten opzichte van 2018 (de maximale groei van de voorraad is 18%). Dit geldt ook voor scenario's met relatief veel bouw activiteiten. De vernieuwing van de gebouwde omgeving is dus een proces van zeer lange adem. Dit betekent dat een transitie naar een Biobased en Circulaire bouwsector een proces is dat verder strekt dan 2050.

Inzet op biobased en circulair bouwen kan de transitie naar een circulaire bouwsector versnellen.

Anders dan de voorraad lopen de omvang en samenstelling van materiaalstromen voor de scenario's sterk uiteen. Sterke inzet op biobased en circulair bouwen verlaagt de materiaalvraag met ongeveer de helft ten opzichte van het Baseline scenario, en sluit daarbij aan bij het beleidsdoel om het gebruik van primaire grondstoffen te verminderen in 2030 (Rijksoverheid, n.d.). Daarnaast sluit het Biobased scenario door een verschuiving van conventionele constructiematerialen (zoals beton, baksteen en staal & ijzer) naar biobased alternatieven (met name hout) aan bij de circulaire doelstellingen geformuleerd door de overheid om zoveel mogelijk hernieuwbare grondstoffen te gebruiken in 2050 (Rijksoverheid, n.d.). Hetzelfde geldt voor het gebruik van circulaire bouwconstructies door een verbetering van de herbruikbaarheid van de materialen.

Mogelijke inzet secundair materiaal groter bij hoge mate van verstedelijking

Onze resultaten laten zien dat voor elk van de drie verstedelijkingsvarianten de materiaalvraag vergelijkbaar is, ook al worden er meer woningen gebouwd in scenario Dichtbij. Dit komt door het grote aandeel appartementen in dit scenario, welke gemiddeld kleiner en minder materiaalintensief zijn dan eengezinswoningen (seriële of vrijstaande woningen). De verschillen in hoeveelheid sloop tussen de verstedelijkingsvarianten zijn veel groter. Verdichting resulteert in de variant Dichtbij in een relatief grote materiaaluitstroom, terwijl in Ruim nauwelijks sloop plaatsvindt. De variant Dichtbij heeft door de relatief grote materiaaluitstroom het meeste potentie om de primaire materiaalvraag te verlagen. Geredeneerd vanuit de circulaire beleid ambities is verdichting dus verkiesbaar boven uitbreiding buiten de stad. Een andere mogelijkheid om de primaire materiaalvraag te verminderen is door in de varianten Verbonden en (met name) Ruim te sturen op kleinere en materiaal efficiëntere woningen.

Er zijn naast circulariteit natuurlijk veel andere argumenten te noemen voor uitbreiding buiten of juist binnen bestaand bebouwd gebied, bijvoorbeeld gerelateerd aan woonwensen, mobiliteit, landbouw, biodiversiteit, recreatie en klimaatadaptatie. De ruimtelijke implicaties van de verstedelijkingsvarianten worden uitgebreid besproken in een recente studie van PBL (2021). Circulariteit is hier nog niet in opgenomen, maar zou wel een interessante toevoeging zijn.

De mogelijkheid tot het sluiten van materiaalkringlopen binnen de bouwsector blijft ten minste tot 2050 beperkt. Om circulariteit te vergroten is innovatie op het gebied van recycling belangrijk.

Uit onze resultaten blijkt voor de Baseline varianten een mismatch tussen de omvang van de materiaalvraag en het secundair aanbod. Voor de Biobased variant is de omvang van de instroom

en uitstroom vergelijkbaar (met name voor de variant Dichtbij), maar is er een grotere mismatch tussen de compositie van de materiaalvraag en het secundaire aanbod. Hetzelfde voor de Circulair bouwen variant, al is de mismatch in compositie hier enigszins kleiner. Een kanttekening bij circulair bouwen is dat circulaire bouwconstructies die nu worden gebouwd waarschijnlijk pas na 2050 beschikbaar komen voor hergebruik of recycling. Materialen die nu beschikbaar komen voor secundaire productie zijn niet afkomstig uit circulair ontworpen gebouwen en daarom vooral geschikt voor herstel strategieën lager op de R-ladder. Echter vormen de huidige recycling technologieën nog een beperkende factor voor de secundaire materiaalproductie. Mogelijke ontwikkelingen in recycling technologie zijn niet meegenomen, maar kunnen het secundair aandeel mogelijk wel aanzienlijk vergroten. Innovatie op het gebied van recycling is dus essentieel om materiaalcringen verder te sluiten.

Het is de moeite waard om mogelijkheden tot intensiever ruimtegebruik te onderzoeken, omdat dit de (primaire) materiaalvraag aanzienlijk kan verminderen.

Onze gevoeligheidsanalyse laat zien dat intensiever ruimtelijkgebruik (door verkleinen van het woonoppervlak) een aanzienlijke impact heeft op de materiaalvraag. Alhoewel we alleen naar woningen keken en hier de meeste winst valt te behalen, zou intensiever ruimtegebruik in overige gebouwen ook kunnen worden onderzocht. Een voorbeeld is het gebruik van flexibele werkplekken. Een bijkomend voordeel van intensiever ruimtegebruik is de mogelijke energiebesparing tijdens de gebruiksfase van het gebouw. Intensiever ruimtegebruik laat dus potentie zien om zowel het energieverbruik gerelateerd aan materiaalproductie als aan gebouwgebruik te verminderen.

Vanuit CE perspectief is een geleidelijke groei in de bouwproductie verkiesbaar boven een plotselinge groei; dit geldt ook specifiek voor biobased gebouwen.

Vanuit circulair oogpunt is de ambitie van het kabinet voor een groei in de bouwproductie van 900.000 woningen tot 2030 een betwifelbare strategie. Een dergelijke groei in woningbouw zou leiden tot een grote disbalans tussen de instroom en uitstroom, en daarmee een grotere primaire materiaalvraag. Een geleidelijke groei zou meer duurzaamheidswinst opleveren, omdat zo een betere balans ontstaat tussen in- en uitstroom. Daarnaast ontstaat er op deze manier meer tijd voor de ontwikkeling van hoogwaardige recycling technologieën, zodat zoveel mogelijk van de materiaaluitstroom hoogwaardig kan worden hergebruikt. Ook is een gematigde groei van het aantal biobased gebouwen belangrijk om de toelevering van biobased materialen en de duurzaamheid daarvan (i.e. verantwoord bosbeheer) te kunnen garanderen. Meer onderzoek is nodig om te beoordelen in welke mate een verantwoorde groei van biobased gebouwen mogelijk is.

Ruimtelijk expliciete scenario's kunnen circulair beleid op verschillende beleidsniveaus ondersteunen

Onze ruimtelijke analyse laat zien dat de resultaten sterk uiteen lopen per gemeente en voor de verschillende socio-economische- en verstedelijkingsscenario's. Dergelijke informatie kan gebruikt worden om circulair beleid op verschillende schaalniveaus te ondersteunen. De resultaten kunnen bijvoorbeeld geaggregeerd worden tot gemeente- of provincieniveau. Op de betreffende schaal kan vervolgens gekeken worden in hoeverre materiaalcringen kunnen worden gesloten, en wat wenselijk is met betrekking tot verstedelijking en bouwstrategie. Op basis van dergelijke inzichten kunnen realistischere circulariteitsdoelstellingen worden geformuleerd. Daarnaast kunnen de ruimtelijke gegevens helpen bij het vormgeven van de infrastructuur rondom inzameling en herstel van de materialen (e.g. het kiezen van een strategische locatie voor sorteer en recycling faciliteiten).

Limitaties en vervolgonderzoek

Dit onderzoek geeft een eerste inzicht in de omvang en samenstelling van voorraden en stromen in gebouwen in Nederland tot 2050. Hoewel dit waardevolle inzichten opleverde, zijn er ook een aantal verbeterpunten en richtingen voor vervolgonderzoek te identificeren.

Dit onderzoek focuste op materiaalvoorraden en stromen. De daaraan gerelateerde milieu impact is in deze studie nog niet berekend. De grote materiaalstromen binnen de bouwsector in combinatie met de hoge energieconsumptie gerelateerd aan de productie van veel van de constructiematerialen resulteert waarschijnlijk in aanzienlijke broeikasgas emissies. Voor secundaire productie zijn deze emissies mogelijk veel lager. Naast broeikasgas emissies vormt landgebruik een belangrijke impact categorie, met name voor houtbouw. Biobased materialen veroorzaken doorgaans weinig CO₂ uitstoot, maar de productie van de materialen behoeft wel veel land. Op basis van landgebruik gegevens kan beter worden ingeschat in hoeverre de toelevering van biobased materialen verantwoord is. Het berekenen van de materiaal gerelateerde milieu impact is daarom, naast inzicht in de massastromen, essentieel ter ondersteuning van klimaatbeleid.

Ten tweede raden we aan om verbouwwerkzaamheden op te nemen in het model. Op basis van eerder onderzoek is te verwachten dat dit soort werkzaamheden resulteren in substantiële materiaalstromen (EIB, Metabolic & SGS Search, 2019). De materiaalstromen worden deels veroorzaakt door de benodigde verduurzaming van de huidige bouwvoorraad. De verduurzaming resulteert mogelijk in een substantiële verhoging van materiaalstromen en materiaal gerelateerde emissies. Vanuit een klimaatperspectief is het interessant om hier beter inzicht in te krijgen.

Tot slot zijn er een aantal verbeterpunten in het model zelf te identificeren. Ten eerste is een betere afstemming van de gebouwclassificaties in de verschillende databronnen belangrijk om een hoger detailniveau te bereiken. Met name de classificaties in het hier gebruikte model en de PBL scenario data kunnen beter op elkaar worden afgestemd omdat deze beiden op de BAG zijn gebaseerd. Ten tweede is meer aandacht nodig voor de gemodelleerde sloop. De hier gebruikte rekenmethode op basis van de BAG en de sloopkaarten van PBL kan waarschijnlijk beter worden afgestemd met de Ruimtescanner. Daarnaast geven de sloopcijfers mogelijk een onderschatting, omdat alleen sloop voor vervanging met een ander gebouw is gemodelleerd in de Ruimtescanner. Ten derde kunnen de resultaten verder uitgesplitst worden per jaar of per decennium, zodat materiaalstromen in meer detail en op kortere termijn kan worden geanalyseerd. In de ruimtescanner wordt al aan een dergelijke uitsplitsing gewerkt. Tot slot zou gekeken kunnen worden of de materiaalscenario's kunnen worden geïntegreerd in de Ruimtescanner, zodat de scenario's eenvoudig en regelmatig (e.g. jaarlijks) kunnen worden geactualiseerd.

5. Conclusie

In dit onderzoek zochten we een antwoord op de volgende vraag: "Hoe ontwikkelt de materiaalvoorraad, vraag en uitstroom in Nederlandse gebouwen zich mogelijk tussen 2018 en 2050 en in hoeverre is het mogelijk om materiaalcringen te sluiten?". Om deze vraag te beantwoorden maakten we gebruik van ruimtelijk expliciete gegevens voor de huidige gebouwvoorraad en scenario's voor de constructie en sloop van gebouwen tussen 2018 en 2050, en koppelden deze aan scenario's voor gebouwmaterialisatie.

De resultaten laten zien dat de vernieuwing van de gebouwvoorraad een langzaam proces is: De verschillende scenario's laten een beperkte groei en verandering van de compositie in de gebouwvoorraad zien. De materiaalstromen laten veel grotere verschillen zien voor de scenario's. In het Baseline scenario zien we dat de materiaalvraag relatief groot is ten opzichte van de materiaaluitstroom. Een grote inzet van biobased materialen en circulair gebouwontwerp kan de materiaalvraag aanzienlijk verminderen. Deze strategieën zijn daarom wenselijk vanuit circulair oogpunt. Toch blijft het ook in deze scenario's lastig om materiaalcringen te sluiten door een mismatch in de samenstelling van de in- en uitstroom, met name in de Biobased variant. Daarnaast zijn de gesloopte gebouwen voor 2050 overwegend niet gebouwd volgens circulaire bouwprincipes, wat de toepasbaarheid van strategieën hoger op de R ladder beperkt. Ook beperken huidige recycling technologieën grootschalige inzet van secundaire materialen. Het verbeteren van recycling technologieën is daarom essentieel om circulariteit binnen de bouwsector te vergroten. Verder is een geleidelijke groei van de gebouwvoorraad en met name van biobased gebouwen waarschijnlijk verkiesbaar boven een abrupte groei. Op deze manier kan aan een groter deel van de materiaalvraag met secundair materiaal worden voldaan, en de herkomst van de biobased materialen uit verantwoorde bosbouw beter worden gewaarborgd.

Naast materiaalkeuze zagen we ook grote verschillen in de materiaalstromen voor de verstedelijkingsvarianten. Bij een hoge mate van verstedelijking (Dichtbij) vinden meer bouw- en sloopactiviteiten plaats, maar worden relatief kleine en materiaal efficiënte woningen gebouwd. Dit, samen met het grotere secundaire materiaal aanbod in Dichtbij, resulteert in een lagere primaire materiaalvraag dan in de varianten Verbonden en Ruim. Voor de ruimtelijke ontwikkeling van de bouwvoorraad ontbreekt nu nog een circulaire beleidsvisie.

Onze gevoeligheidsanalyse laat zien dat intensiever ruimtegebruik door kleiner wonen de primaire materiaalvraag aanzienlijk kan reduceren. Het zou daarom interessant zijn om te onderzoeken in hoeverre intensivering van ruimtegebruik mogelijk is in verschillende sectoren, en hoe dit kan worden opgenomen in beleid.

Tot slot zou een vervolgstudie zich kunnen richten op de inclusie van verbouwwerkzaamheden, omdat deze activiteit naast bouw en sloop waarschijnlijk aanzienlijke materiaalstromen veroorzaakt. Om circulair beleid verder te ondersteunen is naast het analyseren van de materiaalvoorraad en stromen het berekenen van de materiaal gerelateerde milieu impact belangrijk. Deze ontbreekt nog in de huidige studie. Tot slot is een verdere ontwikkeling van het model aan te bevelen, zoals het uitsplitsen van de resultaten per jaar en een betere afstemming van het model met de Ruimtescanner.

Referenties

- ArcGIS (2021). BAG - Basisregistratie Adressen en Gebouwen. <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=ec2f977b4d3c41d8967c36f9b99fd725>
- CBS (2021). Voorraad woningen; gemiddeld oppervlak; woningtype, bouwjaarklasse, regio. <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/82550NED/table?fromstatweb>
- BZK (n.d.). Versnellen woningbouw. <https://www.woningmarktbeleid.nl/onderwerpen/versnellen-woningbouw>
- CoP Houtbouw (2020). Bouwen aan een houten toekomst.
- Deetman, S., Marinova, S., van der Voet, E., van Vuuren, D. P., Edelenbosch, O., & Heijungs, R. (2020). Modelling global material stocks and flows for residential and service sector buildings towards 2050. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118658.
- De Jong, A. (2015). Toekomstverkenning welvaart en leefomgeving. Cahier Demografie. Planbureau voor de Leefomgeving/Centraal Planbureau, Den Haag.
- EIB, Metabolic & SGS Search (2019). Rapport Materiaalstromen, milieu-impact en energieverbruik in de woning- en utiliteitsbouw. <https://www.metabolic.nl/publication/materiaalstromen-milieu-impact-en-energieverbruik-in-de-woning-en-utiliteitsbouw/>
- Hamers, D., Kuiper, R., van der Wouden, R., van Dam, F., van Gaalen, F., van Hoorn, A., ... & Dirx, J. (2021). Grote opgaven in een beperkte ruimte: Ruimtelijke keuzes voor een toekomstbestendige leefomgeving. Planbureau voor de Leefomgeving.
- Marinova, S., Deetman, S., van der Voet, E., & Daioglou, V. (2020). Global construction materials database and stock analysis of residential buildings between 1970-2050. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119146.
- Metabolic (2021). Notitie Toekomstscenario's voor de materialisering van gebouwen. Mogelijke implicaties van de circulaire en energietransitie op het materiaalgebruik in gebouwen tot 2050.
- Miatto, A., Schandl, H., & Tanikawa, H. (2017). How important are realistic building lifespan assumptions for material stock and demolition waste accounts?. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, 143-154.
- Mulder (2021). CLT based opportunities for a resilient housing sector in Zuid-Holland a scenario analysis of a CLT industry in Zuid-Holland. <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:e45dbfe7-a813-4870-8e8e-861a0dd3ac7f>
- MRA (2020). Naar een stevige impuls voor houtbouw in de MRA.
- Rijksoverheid (n.d.). Nederland circulair in 2050. <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/circulaire-economie/nederland-circulair-in-2050>
- RVO (2020). Energieprestatie indicatoren - BENG. <https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/gebouwen/wetten-en-regels/nieuwbouw/energieprestatie-beng/indicatoren>
- Sathre, R., & González-García, S. (2013). Life cycle assessment (LCA) of wood-based building materials. *Eco-Efficient Construction and Building Materials: Life Cycle Assessment (LCA), Eco-Labeling and Case Studies*, 311-337. <https://doi.org/10.1533/9780857097729.2.311>
- van Eck, J. R., Hilbers, H., & Blomjous, D. (2020). Actualisatie invoer mobiliteitsmodellen 2020. Planbureau voor de Leefomgeving.

Van Oorschot, J., van der Zaag, J., van der Voet, E., Van Straalen, V. & Delahaye, R. (2019). Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie. <https://www.universiteitleiden.nl/nieuws/2020/01/de-stad-als-urban-mine>

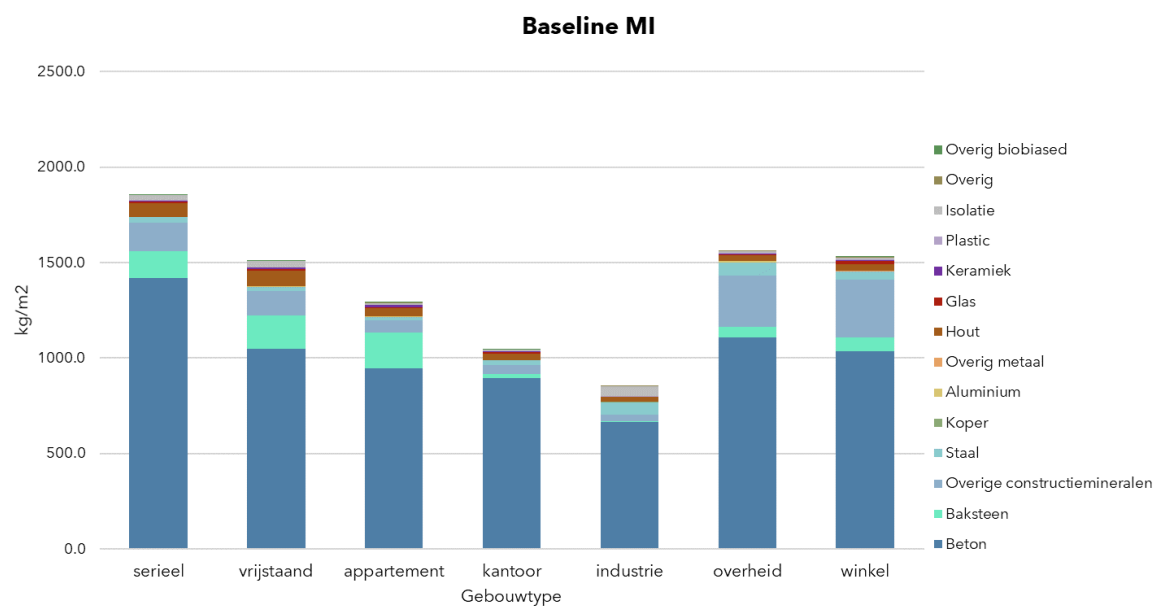
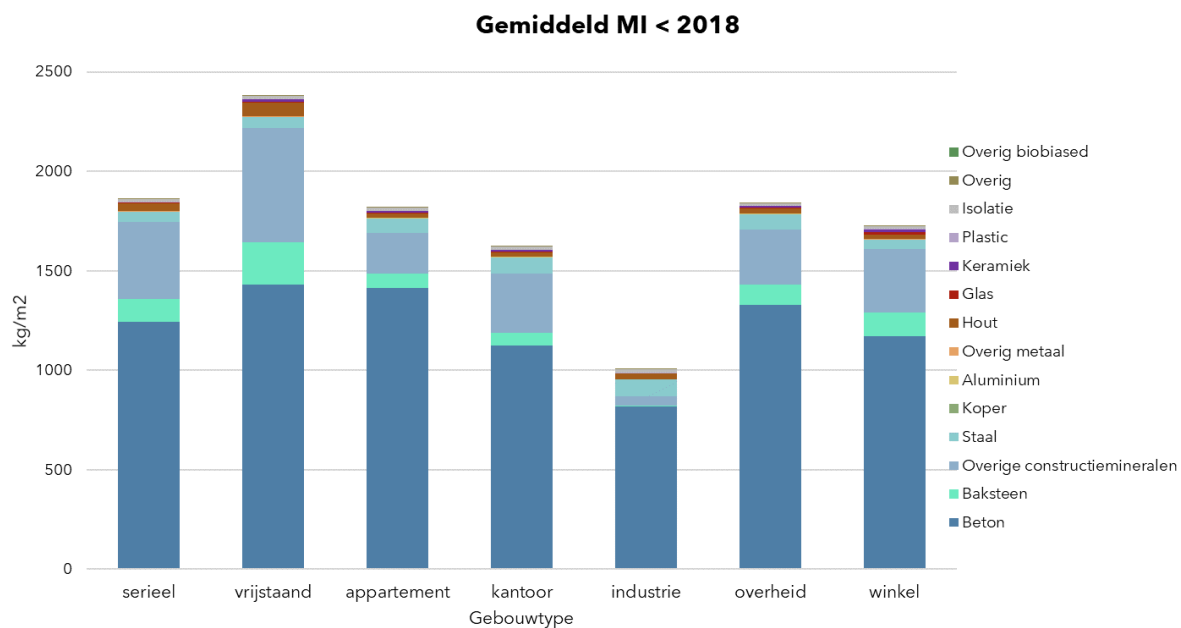
van Oorschot, J., van der Voet, E., van Straalen, V., Tunn, V. & Delahaye, R. (2020). Voorraden in de maatschappij: de grondstoffenbasis voor een circulaire economie. Deel II. <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2021/03/voorraden-in-de-maatschappij-grondstoffenbasis-voor-een-circulaire-economie>

Van Oorschot, J., Roelof, B. M., Van der Horst Verschelling, J. & van der Voet, E. (2020). Scenario's voor de ontwikkeling van de materiaalvoorraad, instroom en uitstroom van het Nederlandse elektriciteitssysteem. https://www.universiteitleiden.nl/binaries/content/assets/science/cml/publicaties_pdf/rapporten/senarios_elektriciteitssysteem_final.pdf

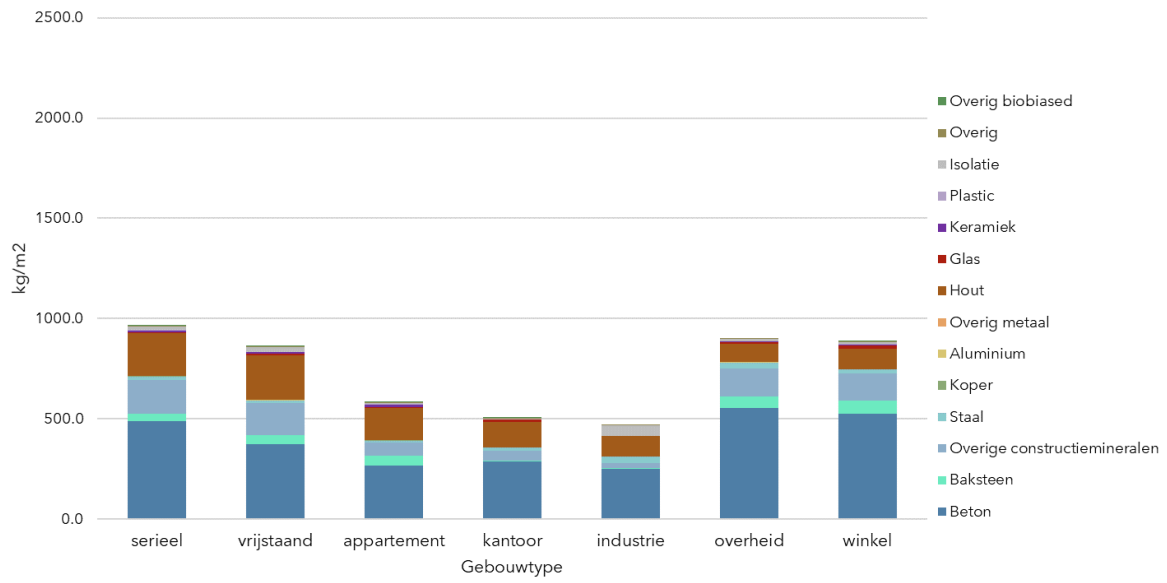
Bijlagen

Bijlage B1 Materialisatiescenario's

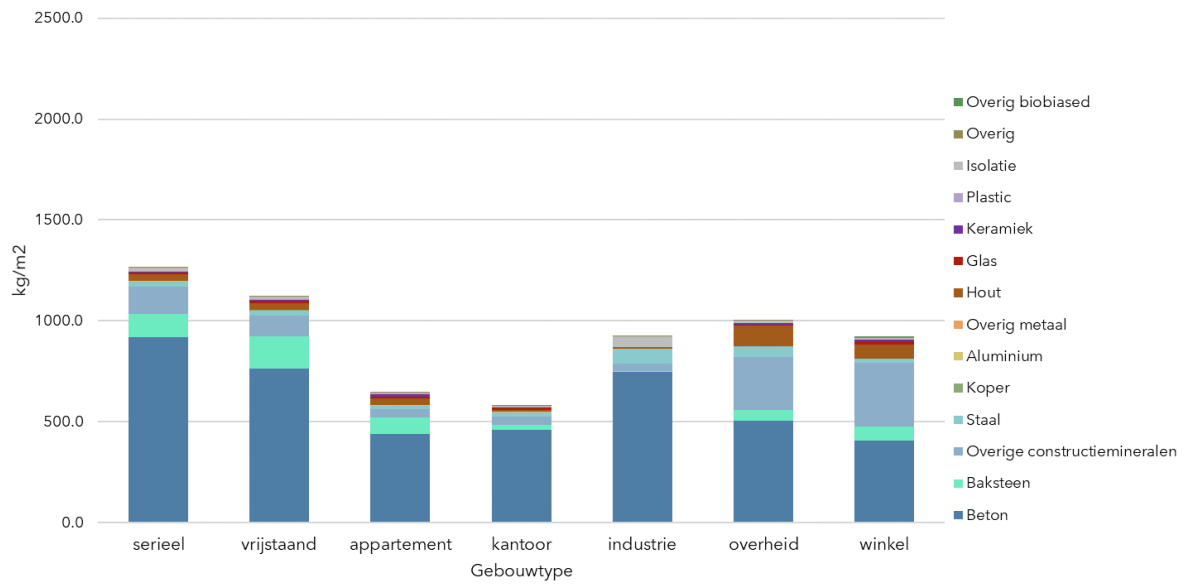
Materiaalintensiteiten in kilogram per vierkante meter gebruiksooppervlak. De waarden zijn afkomstig uit EIB, SGS Search en Metabolic (2019) en Metabolic (2021).



Biobased MI



Hergebruik & Circulair MI



Bijlage B2. Toelichting Python modellen
Flowchart, model uitleg, input data en output data

Link naar data en python modellen:

1. MATERIAALVOORRAAD IN GEBOUWEN IN 2018 BEREKENEN

Model: [BAG_2018_GO_28072021.py](#)

- **Input:**
 - o Gebouwgegevens: BAG (2020), gesplitst per gemeente
 - o Materiaalintensiteiten: MI_GO_Metabolic_2019_reclassified.xlsx
Materiaalintensiteiten voor 7 gebouwtypen (reclassified), 4 bouwcohorten en 11 materialen, in kg/m² GO (omgerekend)
- **Output:**
 - o Ruimtelijke datasets op gebouwniveau met materiaalintensiteiten, opgesplitst per gemeente.
 - o Totale voorraad per materiaal, per bouwtype en per bouwcohort
- **Model:** [BAG_2018_GO_28072021.py](#)
 - o Model laadt de input data in
 - o Per gemeente gegevens over woningtype toevoegen met een "Spatial Join", de dataset "woningtypering"
(<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=283f14dcd39448bd929461d2725be5cb>)
 - o Aanpassen BAG gebouwclassificatie om overeen te komen met materiaalintensiteit gegevens
 - o Materialisatie, specifiek per bouwjaar en bouwtype, opslaan naar ShapeFile (355 gemeenten)
 - o Totale materiaalvoorraad berekenen per materiaal, specifiek per bouwtype en bouwcohort, opslaan naar Excel. Totalen material per bouwjaar, opslaan naar Excel.

2. GO PER WONING EN PANDOPPERVLAK

Model: [Beginstand BAG_GO.py](#)

GO per woning/pand

- **Input:** BAG 2018 (Stap 1)
- **Output:** Excel met omrekenfactoren:
 - o GO_nr_ftprint_BAG.xlsx
- **Model:** [Beginstand_BAG_GO.py](#)
 - o Totaal aantal of footprint kwantificeren per bouwtype in PBL Beginstand data. Totaal GO kwantificeren per bouwtype uit de BAG (2020 min bouw > 2018). Omrekenfactor berekenen

3. VOORBEREIDING PBL DATA

Model: [Reclassify.py](#) / [Int.py](#) / [EbA.py](#) / [RtP.py](#)

- **Input:** PBL originele files
- **Output:** PBL scenario data (bouw, sloop) als Vectorbestand
- **Model:** [Reclassify](#) / [Int](#) / [EbA](#) en [RtP](#)
 - o Eerst wordt de classificatie aangepast om overeen te komen met de andere datasets. De inhoud van de bestanden wordt vervolgens geconverteerd naar Integers (Int), De nullen worden verwijderd (Extract by Attribute), en het raster wordt tot slot omgezet naar een vectorgestand (Raster to Polygon).

4. SLOOP SCENARIO'S

Sloop materialiseren

Model: Sloop_v3.py

***CA. 24 UUR RUN**

- **Input:**
 - BAG 2018 (352 gemeenten), geëxporteerd naar een geodatabase: Voorraden_BAG_gem.gdb
 - Sloop data met edits (Aanpassen classificaties → Int → EbA → RtP), een geodatabase: Sloop_v2/Input_SJ.gdb
 - Format: WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement.shp
- **Output:**
 - Sloop voor elk gebouw en elke gemeente, en 6 scenario's, resulteert in een totaal van 6* 352*7 output files. , opgeslagen in een geodatabase: output_SJ.gdb
 - Format:
WLO_hoog_DichtBij_Sloop_appartement_Achtkarspelen_voorrade
n
- **Model:** Sloop_3.py
 - Spatial join tussen materiaalvoorraden BAG en sloopscenario data van PBL . Aanname: Alle BAG gebouwen van het betreffende bouwtype dat binnen de 100 x 100 meter gridcellen (of veelvouden van die gridcellen, resolutie PBL data) van de PBL sloop data vallen, worden gesloopt.

Summeren van bouwtypen per scenario

Model: Merge_3.py

***CA. 10 MINUTEN RUN**

- **Input:**
 - Output data van vorige stap
- **Output:**
 - Sloop per scenario en bouwtype, opgeslagen als shapefile:
 - Format: WLO_hoog_DichtBij_Sloop_appartement.shp
- **Model:** Merge_3.py
 - Voegt de gemeentes samen, waardoor het aantal kaarten wordt gereduceerd tot 2*3*7

Berekenen totale sloop per materiaal

Model: Sloop_edits_v3.py

- **Input:**
 - Output data van vorige stap
- **Output:**
 - Excel sheets met totale sloop per scenario voor heel Nederland, specifiek per bouwtype.
 - Format: (in de map Totalen_excel):
Totalen_WLO_Hoog_Ruim_Sloop.xlsx
- **Model:** Sloop_edits_v3.py
 - Loopt door de scenario's en berekent totale sloop per bouwtype

Aggregatie naar gemeenteniveau

Model: SJ_Sloop_v3.py

- **Input:** Output vorige stap

- Format: SJ_sloop_v2/SJ_sloop_input/
WLO_hoog_DichtBij_Sloop_appartement.shp
- **Output:** Totaal materiaal sloop per gemeente per gebouwtype en scenario.
 - Alleen voor WLO_hoog_Dichtbij & WLO_laag_Ruim
 - Format: SJ_sloop_v2/SJ_sloop_input/
WLO_hoog_DichtBij_Sloop_appartement.shp
- **Model:** SJ_Sloop_v3.py
 - Aggregeert sloop waarden naar gemeenteniveau voor de verschillende scenario's: 2 * 7 in totaal

Totalen per gemeente berekenen

Model: SJ_Sloop_gem_v3.py

- **Input:** Output vorige stap
 - Format: SJ_sloop_v2/SJ_sloop_output/
WLO_hoog_DichtBij_Sloop_appartement.shp
- **Output:** Totaal materiaal sloop per gemeente.
 - Alleen voor WLO_hoog_Dichtbij & WLO_laag_Ruim
 - Format: SJ_sloop_v2/SJ_sloop_input/
WLO_hoog_DichtBij_Sloop_totaal.shp
- **Model:** SJ_Sloop_v3.py
 - Aggregeert sloop waarden naar gemeenteniveau voor de verschillende scenario's (Totaal van alle gebouwtypen): 2 in totaal

5. Bouw

Model: DSM_bouw_v3.py

- **Input:** Bouw scenario's van het PBL (aangepast en omgezet naar vector bestanden), & Materiaalscenario's PBL
 - **Metabolic:** Data/Metabolic_MI_scenarios_21102021.xlsx
 - **PBL:** Python/ArcPy/Output_ArcPy_v2/RtP/
WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement.shp
- **Output:** Totale bouw per scenario.
 - **Shapefiles** met totale bouw per materiaal op 100 x 100 meter resolutie (3 ruimtelijk x 2 WLO x 3 GO x 3 MI scenario's)
 - Format: Output_DSM_378_v3/
WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement_GO_BAU_M0.shp
 - **Excel** bestanden met totalen voor heel NL (3 ruimtelijk x 2 WLO x 3 GO x 3 MI scenario's) per materiaal
 - Output_DSM_54_v3/
Tot_bouw_WLO_hoog_Dichtbij_Bouw__M0_GO_BAU.xlsx
 - **Excel** met bouw, sloop en beginstand in # woningen en m² niet-woningen.
 - DSM_gridcodes_GO.xlsx
- **Model:** DSM_bouw_v3.py
 - Materialiseert bouw scenario's
 - Berekent de totale bouw sloop en beginstand in # woningen en m² niet-woningen.

Varianten (Shapefiles):

- WLO_hoog / WLO_laag
- _DichtBij / _Verbonden / _Ruim

- _Bouw / _Sloop
- _appartement / _Detailhandel / _Kantoor / _losstaand / _NijverheidEnLogistiek / _Ov_consumentendiensten / _Overheid_kw_diensten / _rijtjeswoning / _twee_onder_1_kap / _vrijstaand / _Zak_dienstverlening

Totalen per gemeente berekenen

Model: *SJ bouw v3.py*

- **Input:** Shapefiles met bouw per bouwtype
 - Alleen doorgerekend voor WLO_hoog_DichtBij_Bouw_""_GO_BAU_M0 & WLO_laag_Ruim_Bouw_""_GO_BAU_M0
 - 2 scenario's x 7 bouwtypen
 - Format: SJ_bouw/SJ_bouw_input.gdb/
WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement_GO_BAU_M0
- **Output:** Totaal materiaal sloop per bouwtype per gemeente.
 - Format: SJ_bouw/SJ_bouw_output.gdb/
WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement_GO_BAU_M0
- **Model:**
 - Aggregeert waarden naar gemeenteniveau voor de verschillende scenario's (per bouwtypen): 2*7 in totaal

Totalen per gemeente berekenen

Model: *SJ bouw gem v3.py*

- **Input:** Shapefiles met bouw per bouwtype
 - Alleen doorgerekend voor WLO_hoog_DichtBij_Bouw_""_GO_BAU_M0 & WLO_laag_Ruim_Bouw_""_GO_BAU_M0
 - 2 scenario's x 7 bouwtypen
 - Format: SJ_bouw/SJ_bouw_input_niet_gdb/
WLO_hoog_DichtBij_Bouw_appartement_GO_BAU_M0
- **Output:** Totaal materiaal sloop per bouwtype per gemeente.
 - Format: SJ_bouw/SJ_bouw_gem/ WLO_hoog_DichtBij_Bouw_totaal.shp
- **Model:**
 - Summeert de totalen per gemeente voor de bouwtypen voor de verschillende scenario's (alle bouwtypen): 2 in totaal

6. HERBRUIKBARE SLOOP

Model: *Secundair aanbod v4 27012022.py*

- **Input:** Totale bouw per scenario en sloop cijfers en maximale secundaire aandelen in instroom per scenario. Samengevat in 1 Excel:
 - Secundair_aanbod_19012022.xlsx
- **Output:** Excel met herbruikbare sloop. En sheets met overschot dat niet gebruikt kan worden per scenario.
 - Sloop_Hergebruik_v6_27012022.xlsx
- **Model:**
 - Kijkt per scenario en per materiaal of de instroom*max secundair aandeel de uitstroom overschrijdt. Berekent vervolgens de herbruikbare sloop en wat overblijft

Bijlage B3. Omrekenfactoren

Metaalintensiteiten zijn met behulp van vormfactoren omgerekend naar GO: $BVO/vormfactor = GO$

$VF_{vrijstaand} = (0.75+0.67)/2$ # gemiddelde van 2-onder-1 kap, vrijstaand

$VF_{serieel} = 0.69$

$VF_{appartement} = 0.92$

$VF_{woonflat} = (0.895+0.915)/2$ # idem aan kantoor groot

$VF_{kantoor_klein} = (0.91+0.935+0.91)/3$ # gemiddelde van kantoor klein (= gemiddelde kantoor klein & middelgroot), bijeenkomst klein (= gemiddelde van bijeenkomst klein & middelgroot) en zorg klein

$VF_{kantoor_groot} = (0.895+0.915)/2$ # gemiddelde van kantoor groot (= gemiddelde kantoor groot & middelgroot), bijeenkomst groot (= gemiddelde van bijeenkomst groot & middelgroot)

$VF_{onderwijs} = (0.92+0.93+0.93)/3$ # gemiddelde van basisschool, middelbare school en hoge school/universiteit

$VF_{zorg} = 0.88$ # zorg groot

$VF_{winkel} = 0.91$

$VF_{bedrijfshal} = (0.97+0.91)/2$ # gemiddelde van bedrijfsruimten klein en overig klein

$VF_{distributie} = (0.99+0.94)/2$ # gemiddelde van bedrijfsruimten groot en overig groot