Urban Mining Scan: Gemeente Arnhem

Potentie tot direct hergebruik van bouwmaterialen binnen drie gebiedsontwikkelingen

April 2026





Structural Collective

GEMEENTE Arnhem

Opdrachtgever

Gemeente Arnhem

Jisca van Bommel
Diana de Kroo
Miranda Nagel

Auteurs

Thomas Rieff, *Structural Collective*
Liesbeth Sträter, *Structural Collective*

Data analyse

Thomas Rieff, *Structural Collective*

Fotografie cover

Martijn Baudoin

Ontwerp

Marta Sierra García, *Why This?*

Inhoudsopgave

Samenvatting 04
Introductie 05

Hoofdstuk 1: Context van de Urban Mining Scan 07

Hoofdstuk 2: Materiaalaanbod en -vraag in Arnhem 12

Arnhem: schatting gemiddelde sloop in de stad van 2025 tot 2035
Rijnpark fase 1
Rijnpark fase 2
Schaapsdrift
Laarkwartier

Hoofdstuk 3: Product-Markt Combinaties 33

Baksteen
Kanaalplaatvloeren

Hoofdstuk 4: Activatie van de keten 38

Hoofdstuk 5: Conclusie & aanbevelingen voor Arnhem 41

Bijlage A. Methodologische toelichting 42
Bijlage B. Staal 44
Bijlage C. Biobased scenario's en impact reductie 45
Bijlage D. Tabellen bij de grafieken GWW 49
Bijlage E. Uitwerking 'Gemiddelde sloop' Arnhem 2025-2035 50
Bijlage F. Gebruikte gebouwtypologieen voor sloop en nieuwbouw 52
Bijlage G. Project scope 58

Samenvatting

Doelstelling en context

- De Urban Mining Scan voor Arnhem biedt een eerste handelingsperspectief om beleidsambities om te zetten in meetbare doelstellingen. Het inzicht in de volumes van vrijkomende bouwmaterialen stelt de gemeente in staat om prioriteiten te stellen in haar circulaire strategie voor de stad, als belangrijke opstap richting het bouwen met een positieve impact op klimaat, mens en milieu in de gebiedsontwikkelingen Rijnpark, Laarkwartier en Schaapsdrift.
- Met het zorgvuldig oogsten en hoogwaardig hergebruik van materialen draagt Arnhem bij aan de vraagvermindering van primaire materialen, wat milieu en klimaat-impact vermindert. Verder verlaagt Arnhem direct haar afhankelijkheid van onzekere toeleveringsketens.
- Arnhem neemt een actieve koplopersrol door tegen 2030 minimaal 50% circulair te bouwen en door de milieu-impact en CO_2-uitstoot per nieuwe woning met 50% te verlagen in 2034 ten opzichte van 1990.

De opgave

- Met de ontwikkeling van Rijnpark (circa 7.000 woningen), Schaapsdrift en Laarkwartier die samen ruim 1,1 miljoen m^2 aan nieuwbouw vertegenwoordigen is de Arnhemse bouwopgave groot. Deze ontwikkelingen zijn essentieel om te voorzien in de groeiende behoefte aan woonruimte en utiliteitsgebouwen in de stad.
- Rijnpark is een belangrijke gebiedsontwikkeling voor de circulaire ambities van de gemeente Arnhem waarbij 180.000 m^2 aan gebouwen gesloopt gaat worden. Dit creëert een kans om de industriële zone te transformeren naar een circulaire woon- en werkomgeving.
- Bij een Business-As-Usual aanpak is voor de drie gebiedsontwikkelingen circa 1,33 miljoen ton aan nieuwe materialen nodig.

Aanbevelingen en uitkomsten

- Om de doelstellingen van het klimaatakkoord van Parijs te borgen, is het essentieel dat de gemeente Arnhem haar CO_2-budget voor de bouwopgave definieert.
- Het ongewijzigd voortzetten van traditionele bouwmethoden leidt tot een cumulatieve uitstoot van circa 0,4 miljoen ton CO_2. Om die reden is het noodzakelijk om circulaire en biobased bouwmethoden toe te passen om de klimaatdoelstellingen te behalen.
- Er is in totaal 87,5 Kton aan potentieel direct herbruikbare materialen uit sloop geïdentificeerd, waarmee naar schatting 15,7 kTon aan CO_2-uitstoot vermeden kan worden.
- Hoewel beton de grootste massa vertegenwoordigt, levert hergebruik van staal en bakstenen per kilogram de meeste klimaatwinst op, doordat productie van de nieuwe materialen energie-intensief is.
- Qua massa vertegenwoordigt de betonvraag het overgrote deel van de materiaalvraag met ruim 1 miljoen ton, terwijl sloop in theorie tot 0,4 miljoen ton kan leveren. Met deze uitstroom kan dus een belangrijk deel van de materiaalvraag worden gedekt.
- Het onderzoek vergelijkt drie strategieën: Business-As-Usual (BAU) (traditionele bouw), Transformatie (behoud van bestaande structuren) en Biobased (bouwen met natuurlijke materialen zoals hout, hennep of stro). Het biobased scenario levert de grootste winst op, met een CO_2-reductie van circa 25% tot 26% ten opzichte van de traditionele bouwmethode in gebieden zoals Rijnpark fase 2 en Schaapsdrift.

De volgende stap voor Arnhem

- Er is mogelijk potentie binnen de twee fasen in het gebiedsontwikkelingsproces van Rijnpark om vrijkomende GWW-materialen direct in een latere fase te hergebruiken. Hierbij kan een bouwmaterialendepot ondersteuning bieden in het gebied voor minimale transportbewegingen.
- Door hoogwaardige circulaire oplossingen uit te vragen en MKI zwaar te laten wegen in aanbestedingen, stimuleert de gemeente marktpartijen om te investeren in duurzame technieken en bouwhubs. Zo kan de gemeente Arnhem haar rol pakken als ‘launching customer’.
- Voor circulair slopen en bouwen is er een flexibele houding nodig van twee kanten: kijk samen met de sloopaannemer en de architect, bouwer en ontwikkelaar welke materialen beschikbaar zijn in een bestaand gebouw, en of deze via circulaire sloop energie-efficiënt hergebruikt kunnen worden in het nieuwe ontwerp.

Introductie

Impact van de bouwsector

De bouwsector is verantwoordelijk voor tenminste 11% van de wereldwijde totale uitstoot van broeikasgassen.[1] Niet alleen door het energieverbruik van gebouwen, maar juist ook door de productie van bouwmaterialen (het zogenaamde 'materiaalgebonden CO_2'). 55% van de totale wereldwijde vraag naar materialen (59 miljard ton) is gerelateerd aan de gebouwde omgeving en infrastructuur.[2]

Door decarbonisatie van bouwmaterialen en het toepassen circulaire bouwstrategieën (zoals kleiner bouwen, optoppen en beter benutten van de bestaande voorraad) kan de bouwsector bijdragen aan de doelstellingen van het Klimaatakkoord van Parijs om zo dicht mogelijk bij de 1,5 graden opwarming te blijven.

De Rijksoverheid heeft als doel gesteld om in 2030 het gebruik van primaire grondstoffen met 50% te verminderen en tegen 2050 een volledig circulaire economie te realiseren[3]. Ook streeft men naar 60% reductie van de CO_2-uitstoot in 2030, ten opzichte van de uitstoot in 1990.[4]

Toeleveringszekerheid van bouwmaterialen

In het huidige debat over leveringszekerheid ligt de nadruk vaak op zeldzame aardmetalen uit elektronische componenten, maar er bestaan ook reële risico's voor traditionele bouwmaterialen zoals beton, bitumen, klei, staal en zink. Hoewel deze materialen geologisch ruim aanwezig zijn, zetten factoren als aflopende winningsvergunningen, geopolitieke instabiliteit en het afschalen van EU-productielocaties de fysieke en kwalitatieve beschikbaarheid onder druk.[5] Dit kan leiden tot prijsstijgingen, kwaliteitsverlies of zelfs het stagneren van projecten, terwijl een stabiele toelevering cruciaal is voor de woningbouw, waterveiligheid en het in stand houden van de Rijksinfrastructuur.

Het verlengen van de levensduur, hergebruik en hoogwaardige recycling zijn essentieel om de klimaatrisico's te beperken. Bovendien vermindert een lagere vraag naar primaire grondstoffen direct onze afhankelijkheid van onzekere toeleveringsketens in het huidige geopolitieke klimaat.[6]

Doelstellingen

Voor Arnhem is het belangrijk om de beleidsambities te vertalen naar een concreet meetbaar handelingsperspectief. Om de uitdagingen én potentiële ambities voor Arnhem in kaart te brengen hebben we in dit project de volgende doelen opgesteld:

- Het bieden van inzicht in de vrijkomende producten en materiaalstromen uit de urban mine van Arnhem in de komende jaren, en de potentiële impactreductie die te realiseren is.
- Urban mining kansenanalyse voor de nieuwe gebiedsontwikkelingen en de reductie van de milieu-impact van de nieuwbouw (dit specifiek voor de gebieden Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier).
- Het inzicht in de volumes van vrijkomende bouwproducten en -materialen stelt Arnhem in staat om prioriteiten te stellen in haar circulaire strategie.

Ambities gemeente Arnhem

De gemeente Arnhem onderschrijft de doelen van de Rijksoverheid en heeft als ambitie om de milieu-impact en CO_2-uitstoot per woning als gevolg van nieuwbouw te verlagen met 50% in 2034, ten opzichte van 1990[7]. Om dit doel te bereiken ziet Arnhem hoe belangrijk circulair maar ook biobased bouwen zijn: zo besloot de gemeenteraad dat onderwijsinstellingen vanaf nu zoveel mogelijk circulair gebouwd moeten worden,[8] en heeft Arnhem als algemeen doel om in 2030 in ieder geval 50% circulair te bouwen.[9] Hierbij kijkt de gemeente echter ook naar de verdere ontwikkelingen van indicatoren en prestatieniveaus van Het Nieuwe Normaal.[10] Bij circulaire schoolgebouwen ziet de gemeente dan ook haar rol als niet slechts volgend in de transitie naar circulair bouwen, maar als een partij die de markt actief wil openbreken en leiden:

1 World Green Building Council. (z.d.). Embodied Carbon. https://worldgbc.org/climate-action/embodied-carbon/
2 UNFCCC. (z.d.). Work of the Climate High-Level Champions. https://unfccc.int/climate-action/engagement/marrakech-partnership-for-global-climate-action/actors/meet-the-champions/work-of-the-climate-high-level-champions
3 https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/circulaire-economie-in-2050
4 https://iplo.nl/thema/klimaatverandering/klimaatverandering-beperken-klimaatmitigatie/aanpak-oorzaak-klimaatverandering-klimaatmitigatie/
5 https://www.sloopcirculair.nl/nieuws/2025-5-14-hoogwaardige-betonrecycling-sluit-de-cirkel-lees-verder/
6 https://ce.nl/wp-content/uploads/2023/12/CE_Delft_220438_Risico_en_effecten_verminderde_leveringszekerheid_bouwmaterialen_Def.pdf
7 https://arnhem.bestuurlijkeinformatie.nl/Agenda/Document/f255d975-18ba-4b4d-8ed7-7e652204b9c4?documentId=1221a65d-d785-435e-b308-67f59941b-b81&agendaItemId=3ccfb9dd-fb51-425a-be0a-3d637f5f31b4
8 https://arnhem.bestuurlijkeinformatie.nl/Agenda/Document/d5fce109-e385-43af-baaf-31b7cbc6b1aa?documentId=9ba5b710-983c-465c-91f2-fe6127f3974f&agendaItemId=4d06b5f2-5660-470b-9ab8-15f93728c5be
9 'Op weg naar een circulair Arnhem' (Arnhem)- https://arnhem.notubiz.nl/document/10375560/1/2__Op_weg_naar_een_circulair_Arnhem_%28PvA%29
10 https://www.hetnieuwenormaal.nl/leidraden/nieuwbouw/inleiding/

- Arnhem werpt zich op als eerste grote klant (‘launching customer’). Door zelf proactief te vragen om hoogwaardige circulaire oplossingen, neemt de gemeente het voortouw. Hiermee wordt de marktvraag gecreëerd, wat voor marktpartijen zekerheid biedt om te investeren in duurzame innovatie.
- Arnhem kiest ervoor om nationale standaarden te volgen volgens Het Nieuwe Normaal.[11] Hierin staat bijvoorbeeld voor Het Nieuwe Normaal Sloop (v 0.5) dat er zoveel mogelijk moet worden gesloopt voor hoogwaardig hergebruik van producten.[12]

Bouwopgave

In de gemeente Arnhem ligt de komende jaren een aanzienlijke bouwopgave, gericht op het realiseren van nieuwe woningen om te voorzien in de toenemende behoefte aan woonruimte. Ook de vraag naar utiliteitsgebouwen blijft groeien.

In dit onderzoek kijken we specifiek naar drie belangrijke gebiedsontwikkelings-opgaven voor de stad, namelijk de ontwikkelingen van Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier. De ontwikkeling van Rijnpark is hierin het meest omvangrijk en ambitieus en staat gepland voor eind 2027. Deze gebiedsontwikkeling betreft het transformeren van een binnenstedelijk gemengd bedrijventerrein van circa 70 hectare naar een intensiever gebruikt gebied voor wonen, werken en voorzieningen. De gemeente Arnhem wil in Rijnpark onder meer ruimte bieden aan circa 7.000 woningen, 5.000 banen, maatschappelijke voorzieningen en een stadspark.

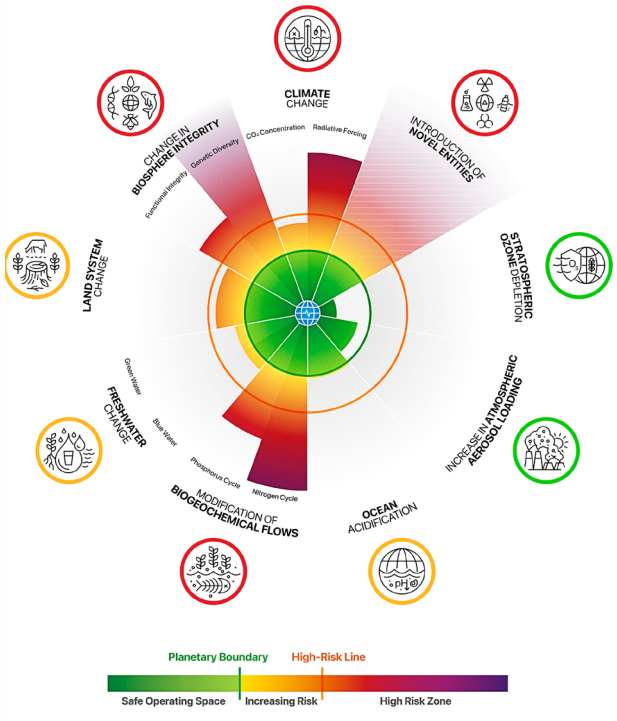
De gebiedsvisie voor Schaapsdrift is uitgewerkt in een stedenbouwkundig plan. In de huidige situatie zijn er 93 woningen en 180 zorgwoningen. In het nieuwe plan staan 623 woningen en 180 zorgwoningen. Het is nog onduidelijk hoeveel van de gebouwen gerenoveerd of gesloopt gaan worden in dit gebied. En in Laarkwartier is in een omgevingsplan vastgelegd dat er minimaal 152 woningen gebouwd gaan worden. In deze ontwikkeling worden er geen gebouwen gesloopt. Er is ook ruimte voor werken, kleine winkels en maatschappelijke functies (samen maximaal 550 m^2).

BIOBASED IN RELATIE TOT CIRCULARITEIT

In een circulair systeem putten we de aarde niet uit, maar leven we van wat de natuur kan herstellen. Dat betekent dat we de uitstoot van CO_2 drastisch verlagen én alleen grondstoffen gebruiken die ecosystemen en watervoorraden sparen of juist versterken. Biobased bouwen (bouwen met natuurlijke materialen zoals hout, hennep, vlas of stro) is een essentieel onderdeel van deze aanpak, mits we de natuur niet overbelasten.

De Nationale Milieudatabase houdt voor de lengte van deze cycli vast aan “Herwinbare, abiotische materialen, mits deze door natuurlijke ecosystemen worden aangevuld of gezuiverd op een mensenlijke tijdschaal (75-100 jaar).[13]” In dit onderzoek nemen we dan ook biobased bouwen mee als een van de scenario’s voor de verschillende gebiedsontwikkelingen.

Dit komt overeen met frameworks als het Nieuwe Normaal, zoals ook door Arnhem zelf aangehouden: in Het Nieuwe Normaal Nieuwbouw (v1.1) staat bijvoorbeeld dat minstens 25% van de massa van grondgebonden woningen, en 20% van de massa van gestapelde woningen, moet bestaan uit ofwel biobased, ofwel hergebruikte of gerecyclede materialen.[14, 15]



11 https://open.arnhem.nl/bekendmaking/Wijziging%20Omgevingsplan%20gemeente%20Arnhem%20-%20Laarkwartier%20-%200005/Bijlage%203%20%20Omgevingskwaliteitsplan%20Laarkwartier.pdf
12 https://www.hetnieuwenormaal.nl/leidraden/sloop/raamwerk/
13 https://milieudatabase.nl/nl/milieuprestatie/circulair-bouwen/wat-is-hernieuwbaarheid/
14 https://www.hetnieuwenormaal.nl/leidraden/nieuwbouw/prestatieniveaus/
15 https://www.stockholmresilience.org/news--events/general-news/2025-09-24-seven-of-nine-planetary-boundaries-now-breached.html

1. Context van de Urban Mining Scan

Methodologie

WAT IS URBAN MINING?

Urban mining van bouwmaterialen is een circulair concept dat zich richt op het terugwinnen en hergebruiken van materialen uit bestaande gebouwen en openbare ruimte. Urban mining brengt in kaart welke materialen aanwezig zijn in een gebied, stad of regio, welke materialen vrijkomen door demontage, renovatie of sloop en welke materialen er nodig zijn voor de toekomstige bouwbehoefte.

Door deze vrijkomende materialen te koppelen aan de behoefte, kan de noodzaak van primair materiaalgebruik worden verminderd en secundair materiaalgebruik worden gestimuleerd. Deze kringloopsluiting reduceert niet alleen de primaire materiaalvraag, maar ook de CO_2-uitstoot en de algehele milieu-impact. De koppeling van CO_2-impactgegevens aan de specifieke volumes van vrijkomende en benodigde materialen maakt de werkelijke klimaatwinst meetbaar.

De scan begint met het in kaart brengen van alle aanwezige materialen inclusief de hoeveelheden, kwaliteiten en potentiële herbruikbaarheid. Daarnaast zorgt de scan voor een inschatting van de benodigde materialen van het beoogde programma voor het gebied. Zo worden kansrijke Product-Markt Combinaties (PMC's) geïdentificeerd met concrete handelingsperspectieven voor implementatie.

URBAN MINING SCAN IN ARNHEM

De urban mining scan is uitgevoerd op basis van de gegevens die de gemeente Arnhem met Structural Collective heeft gedeeld. Hierbij is gebruikgemaakt van het Structural Urban Mining Model, dat in bijlage A nader wordt toegelicht.

De prognose van de benodigde en vrijkomende materiaalstromen tot 2035 voor Arnhem is gemaakt op basis van de een extrapolatie van in het verleden uitgevoerde sloop-opgaven in de gehele stad Arnhem, samen met specifieke informatie over de gebiedsontwikkelingen in Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier. Voor de materiaalvraag van de nieuwbouwplannen is de milieu-impact gekwantificeerd. Deze urban mining scan biedt een kwantificering van de theoretische potentie van materiaalstromen op basis van de op dit moment beschikbare gegevens. Het is hierbij te benadrukken dat het onderzoek een indicatie geeft en geen volledige weerspiegeling van de toekomstige realiteit vormt. Factoren zoals marktveranderingen en technologische innovaties kunnen de situatie in de praktijk beïnvloeden.

SCOPE VAN HET ONDERZOEK

Dit onderzoek richt zich op nieuwbouw, transformatie en sloop binnen de woningbouw en utiliteitssector in de gemeente Arnhem. Er zijn enkele beperkingen die invloed hebben op de analyses:

- Voor de sloopprognose van Arnhem Gehele Stad zijn CBS-sloopgemiddelden van de afgelopen tien jaar geëxtrapoleerd voor de periode 2025-20235. Voor de gebieden Rijnpark en Schaapsdrift is uitgegaan van de specifieke en potentiële projectplannen. Deze datastromen staan los van elkaar en zijn niet cumulatief.
- De belangrijke vernieuwings- en (energetische) renovatieopgaven voor de bestaande voorraad zijn niet meegenomen vanwege beperkte databeschikbaarheid. Energetische renovaties zijn renovaties gericht op het verbeteren van de energieprestaties van gebouwen. Hierdoor kan de werkelijke materiaalvraag en -aanbod (zoals glas) hoger uitvallen.
- Deze studie is een geaggregeerde scan van de verschillende sloop- en nieuwbouwontwikkelingen in de gebieden Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier. We hebben gebruikgemaakt van het Structural Urban Mining-model waarin verschillende typen gebouwen gemodelleerd zijn op basis van gemiddelde materiaal-intensiteiten voor deze gebouwsoorten. Hierbij wordt gewerkt met gemiddelde materiaalintensiteiten per gebouwtype. Hybride of mixed-use constructies zijn daarbij gesplitst in standaardtypen. Zie voor de gebruikte profielen en aannames bijlage F.
- De data bieden een solide basis op strategisch niveau om doelstellingen te zetten. De definitieve match voor hergebruik en recycling vereist een inspectie door experts op de locatie zelf.

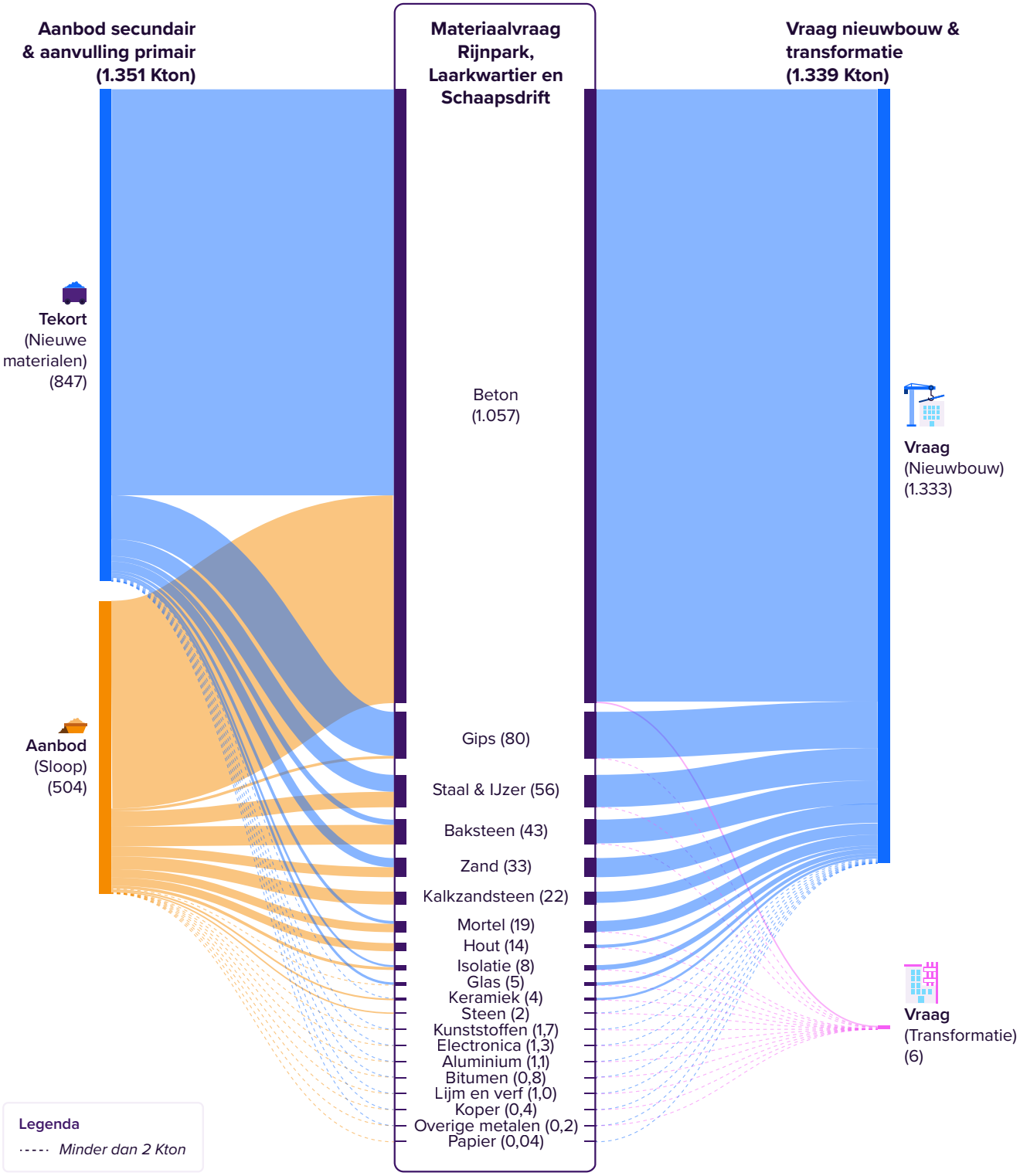
De opgave: sloop en nieuwbouw in Arnhem

De gebiedsontwikkelingen Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier worden in grafiek 1 gevisualiseerd middels de verhoudingen sloop, nieuwbouw en transformatie in vierkante meters van de verschillende activiteiten. Wanneer we kijken naar de verschillen in vierkante meters bij de verschillende gebiedsontwikkelingen en de algemene schatting voor sloop in een gemiddelde periode van 2025 tot 2035, zien we de volgende conclusies:

- **Rijnpark als circulaire kans:** De gebieden Rijnpark Fase 1 en Fase 2 vormen samen de grootste opgave. Hier ligt de nadruk voornamelijk op nieuwbouw (blauw), met in Fase 2 een totaal volume dat de 600.000 m^2 voor nieuwbouw nadert.
- **Sloopvolume gemiddelde sloop:** De categorie 'Arnhem - Gemiddelde Sloop' laat een aanzienlijk volume aan sloop (oranje) zien circa 300.000 m^2. Dit vertegenwoordigt de spreiding van vrijkomende materialen over de rest van de stad die als 'oogst' kunnen dienen voor de geplande nieuwbouwlocaties.
- **Transformatie:** In Rijnpark Fase 1 zien we een klein maar belangrijk aandeel transformatie (roze), waarbij bestaande gebouwen worden hergebruikt voor een nieuwe functie.
- **Kleinschalige gebieden:** Locaties zoals Schaapsdrift en Laarkwartier hebben in verhouding tot de grote ontwikkellocaties een bescheiden omvang, maar bieden genoeg volume om circulaire doelstellingen te formuleren.



Figuur 1: Vergelijking van de geplande bouw- en sloopvolumes (m^2 BVO) voor Rijnpark, Schaapsdrift en Laarkwartier ten opzichte van het stedelijk gemiddelde.



Figuur 2: *Analyse van de materiaalbalans (MFA): Beschikbaarheid uit stedelijke sloop (schatting gemiddelde sloop Arnhem + sloop in de gebiedsontwikkelingen) versus de materiaalvraag bij traditionele bouwmethoden (in Kton).*

Het onderzoek laat zien dat de fysieke bouwopgave zich sterk concentreert op specifieke ontwikkelingen (Rijnpark), terwijl het aanbod van vrijkomende materialen (sloop) meer verspreid over de stad aanwezig is. Dit laat de logistieke uitdaging zien om 'oogst' en 'materiaalvraag' in Arnhem met elkaar te verbinden.

Figuur 2 toont de verhouding tussen de materialen die vrijkomen uit sloop (het aanbod) en de materialen die nodig zijn voor nieuwbouw en transformatie (de vraag) in Arnhem. De belangrijkste observaties zijn:

- **Beton is dominant:** Het grootste volume in de Arnhemse projecten bestaat uit beton, mits we uitgaan van bouwen met business-as-usual praktijken. Hier zien we een kans om een derde van de vraag voor nieuwbouw (ruim 1050 Kton) te dekken met het aanbod uit sloop (circa 360 Kton).
- **Match bij baksteen:** Bij baksteen is er een sterke theoretische match (± 80%). Het aanbod uit sloop ligt zeer dicht bij de vraag voor nieuwbouw, wat dit een uitstekende kandidaat maakt voor lokale circulaire kringlopen.
- **Vraag overstijgt aanbod:** Voor bijna alle materiaalcategorieën, zoals gips en staal, is de vraag voor nieuwbouw groter dan wat er vrijkomt uit sloop.

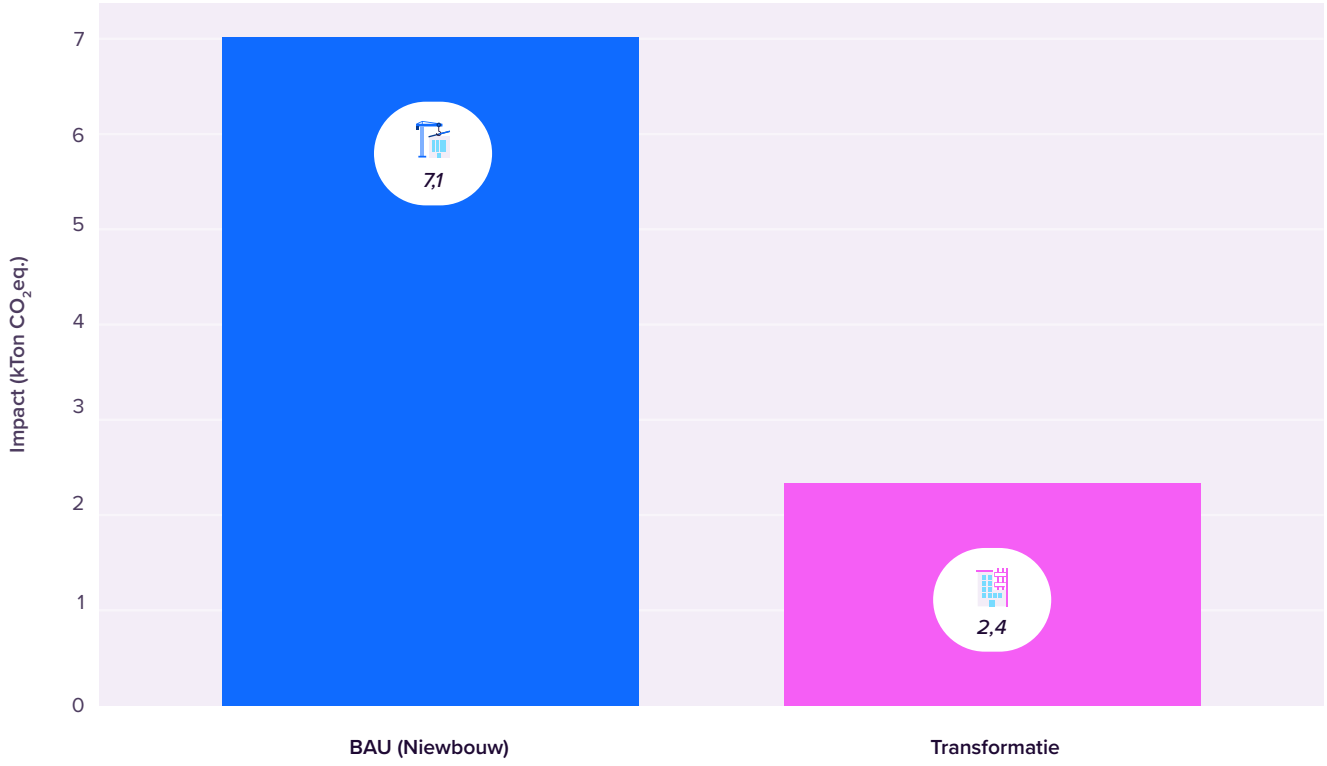
MFA

Deze MFA (Material Flow Analysis) laat zien hoe het totale aanbod aan materialen vanuit gemiddelde sloop in Arnhem, en de sloop in de gebiedsontwikkelingen, zich verhoudt tot de totale materiaalvraag. Het verschil in Kton tussen aanbod & aanvulling en vraag komt van een kleine groep secundaire materialen die niet gebruikt worden voor de vraag naar materialen bij nieuwbouw en transformatie.

- **Transformatie:** Het aandeel materiaalvraag voor transformatie (oranje) is in vergelijking met nieuwbouw (blauw) zeer beperkt qua massa. Transformatie komt voornamelijk voor in Rijnpark fase 1.

We zien dus dat Arnhem voor de bouwopgave nog sterk afhankelijk is van nieuwe materiaalstromen, maar dat er voor specifieke groepen zoals baksteen en staal aanzienlijke kansen liggen voor directe circulaire matching. Hier zullen we verder op ingaan in het hoofdstuk over verschillende Product-Markt Combinaties.

Bouwstrategieën en impactreductie



***Figuur 3** laat zien dat transformatie significante CO_2- reductie oplevert, maar ook anders bouwen (bijvoorbeeld biobased) kan het verschil tussen de verschillende bouwstrategieën groter maken.*

Voor de woningbouwopgave in de verschillende gebiedsontwikkelingen in Arnhem is het essentieel om de gehele bouwketen aan te sporen tot verandering en bouwstrategieën voor CO_2-reductie aan te nemen. Als aanzet voor een toekomstperspectief definiëren wij zes circulaire strategieën, die bijdragen aan het verlagen van de impact van de bouw:[16]

- Hergebruik & Recycling
- Biobased bouwen
- Beter benutten van de huidige voorraad
- Kleiner bouwen
- Industrialisatie van de bouw
- Verduurzaming van de bouwmaterialenindustrie

In dit onderzoek laten we de impact van de circulaire bouwstrategieën ‘Hergebruik & Recyling’ en ‘Biobased bouwen’ zien.[17] Figuur 4 laat zien dat hergebruik CO_2-reductie oplevert, maar dat anders bouwen (bijvoorbeeld biobased) het verschil tussen de verschillende bouwstrategieën groter maakt.

Uit de vergelijking tussen het BAU-scenario (Business As Usual) en het Transformatie-scenario blijkt dat het behouden en transformeren van bestaande structuren direct vruchten afwerpt, met een CO_2-reductie van zo’n 5 Kton. Wat gelijk staat aan 1.000 benzineauto’s die een jaar rijden of het verbruik van 500 huishoudens in één jaar.

Hoewel transformatie de impactreductie toont, laten het hergebruiken van bouwmaterialen en het anders bouwen met het biobased-scenario zien waar de grootste winst ligt. Door materialen die geschikt zijn voor direct hergebruik zoals bakstenen of kanaalplaatvloeren, voor de volle 100% uit secundaire bronnen te oogsten, is het mogelijk om een vermindering in emissies van minstens 20% te realiseren.[18]

Juist omdat de bouwsector zo’n zware stempel drukt op de klimaatdoelstellingen, is het essentieel om ‘anders’ te werk te gaan. Voor Arnhem betekent dit dat het een combinatie moet maken tussen de verschillende circulaire en biobased bouwmethoden. Het is een noodzakelijke randvoorwaarde om de bouwopgave toekomstbestendig te maken en passend binnen de gestelde doelstellingen van de stad.

16 Circulaire Bouw 2035, Metabolic & Copper8. *https://www.copper8.com/wp-content/uploads/2024/01/Circulaire-Bouw-2035-Aanzet-tot-een-toekomstperspectief.pdf*
17 De overige strategieën zorgen - mits bij juiste toepassing - ook voor CO_2-impactreductie in Arnhem maar zijn voor dit onderzoek niet gemodelleerd.
18 De impactreductie door hergebruik in het biobased scenario valt momenteel lager uit. Dit komt doordat er voor biobased materialen minder directe product-marktcombinaties voor hergebruik beschikbaar zijn dan in de traditionele bouw. In theorie is een hoger hergebruikpercentage binnen biobased scenario’s mogelijk door hybride te bouwen, maar deze variant is in deze studie niet meegenomen. Biobased bouwen loont onverminderd, ook omdat de CO_2-opslag nog niet in de data is meegenomen.

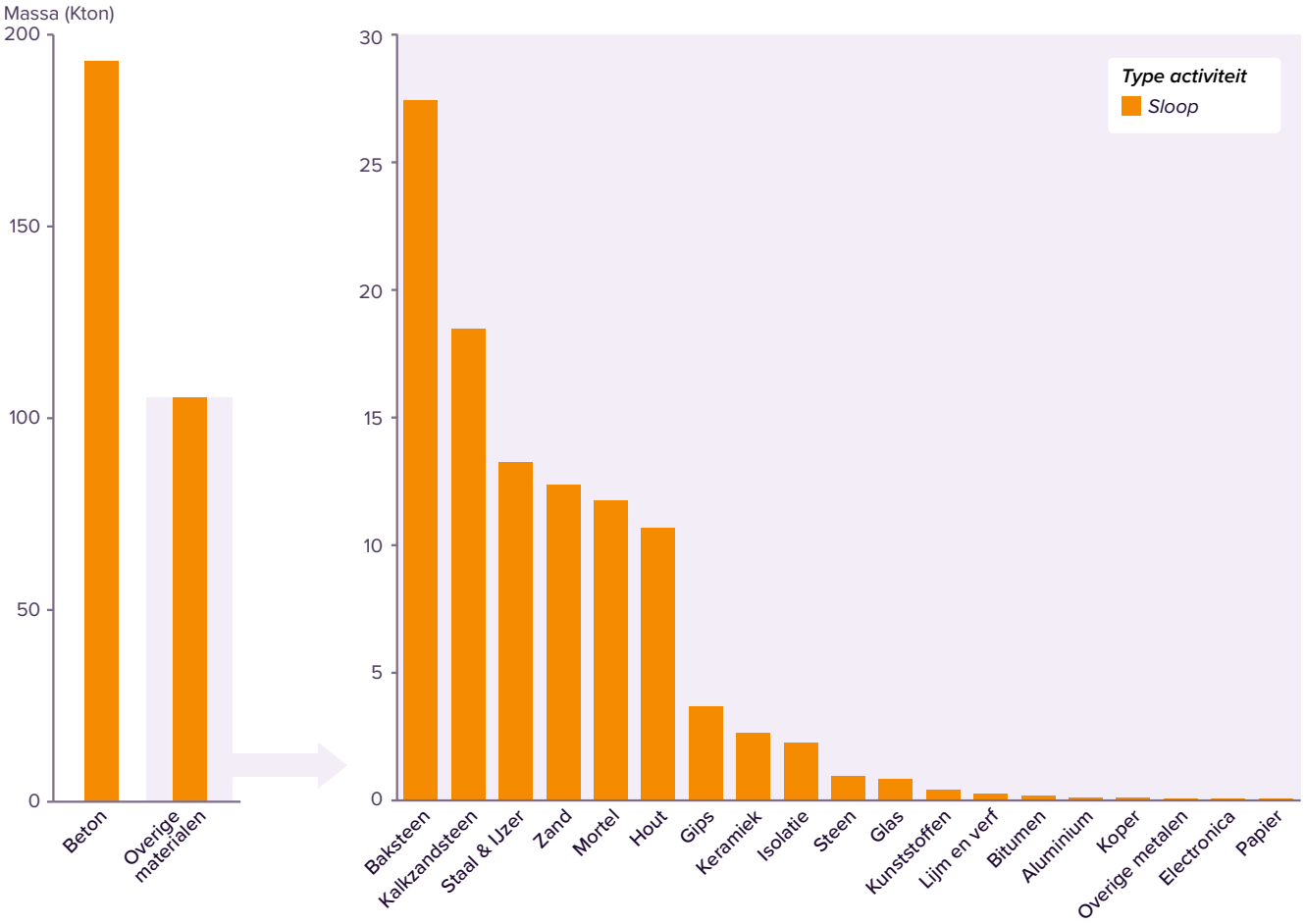
2. Materiaalaanbod en -vraag in Arnhem

In dit hoofdstuk wordt de materiaalbalans van de gemeente Arnhem in kaart gebracht door het aanbod uit de *urban mine* af te zetten tegen de toekomstige materiaalvraag. Om een volledig beeld te krijgen van de circulaire potentie, wordt de analyse op twee niveaus uitgevoerd: de gemiddelde sloopopgave voor de stad tussen 2025 en 2035 en de specifieke opgaven binnen de aangewezen ontwikkelgebieden van Rijnpark Fase 1 en Fase 2, Schaapsdrift en Laarkwartier. Per gebied wordt getoond hoe de keuze voor een traditionele bouwmethode (Business-As-Usual) of een biobased variant de balans tussen vraag en aanbod beïnvloedt. Naast gebouwgebonden materialen wordt voor de Rijnpark-fasen ook de stroom aan materialen uit de openbare ruimte geanalyseerd.

Gemiddelde stad | Rijnpark fase 1 | Rijnpark fase 2 | Schaapsdrift | Laarkwartier

Arnhem: schatting gemiddelde sloop in de stad van 2025 tot 2035

De stedelijke oogst van Arnhem biedt unieke koppelkansen voor nieuwbouw. Waar locaties zoals Rijnpark door hun industriële verleden vooral beton en staal leveren, biedt de rest van de stad een diverser materiaalaanbod. Zo komt de prognose van bijna 30 Kton vrijkomende bakstenen uit de algemene sloop dicht in de buurt met de totale vraag voor de nieuwe bouwopgave. Dit maakt het sluiten van lokale materiaalkringlopen op stedelijk niveau technisch zeer kansrijk.



Figuur 4: Prognose van de vrijkomende materiaalstromen uit de gemiddelde stedelijke sloop in Arnhem voor de periode 2025-2035. (Zie bijlage E voor meer informatie)

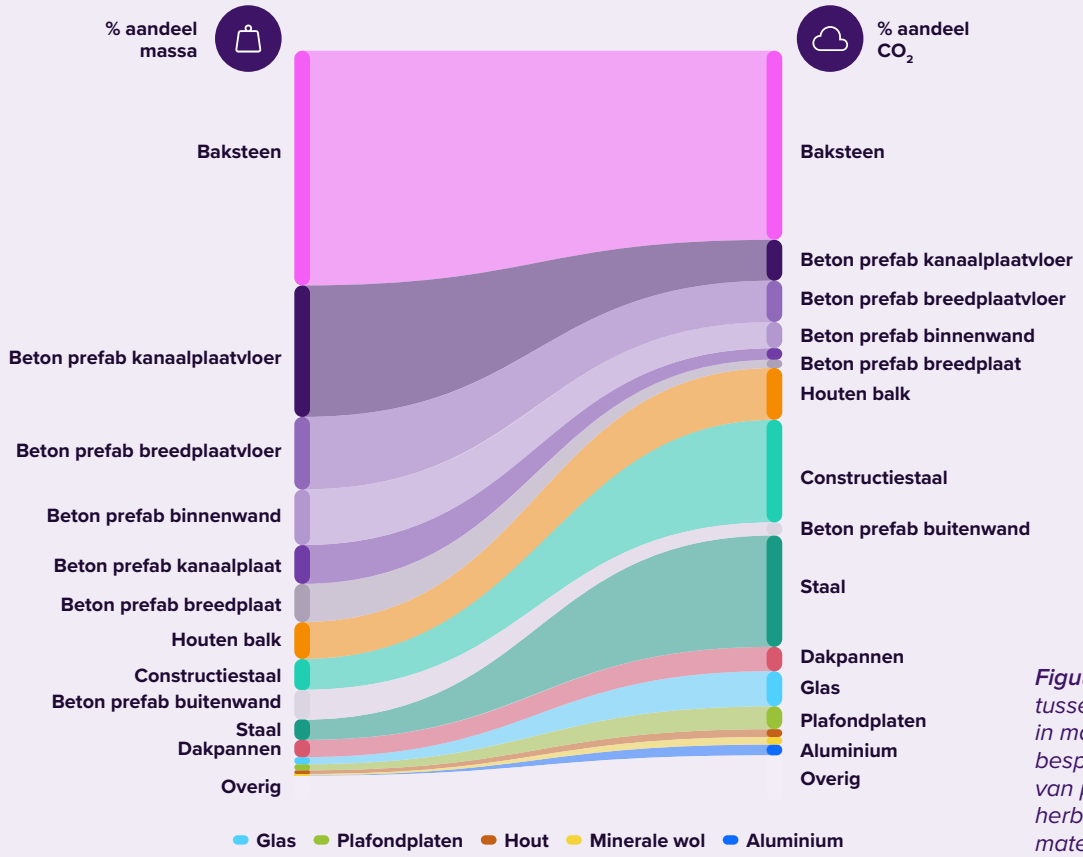
Naast baksteen biedt de stad andere materiaalstromen:

- In het aanbod van circa 300 Kton uit stedelijke sloop vormt beton het grootste volume aan vrijkomend materiaal. Hoewel de vraag voor beton in nieuwbouw (ruim 1.000 Kton) groter is, kan dit aanbod een substantieel deel van de funderingen en constructies in Arnhemse gebiedsontwikkelingen verduurzamen via hoogwaardige recycling of zelfs direct hergebruik van elementen.
- De stadsprognose levert een stroom van circa 13 Kton aan metalen (staal en ijzer) op. Dit zijn materialen met een disproportioneel hoge impact.
- In de Arnhemse wijken komt een aanzienlijke hoeveelheid kalkzandsteen (ruim 18 Kton) en mortel (circa 12 Kton) vrij. Vanuit de gemiddelde sloop in Arnhemse wijken komen materialen vrij zoals baksteen, die bijvoorbeeld nodig zijn voor de binnenwanden en afwerking van nieuwe woningen.

Vrijkomende producten met potentie tot direct hergebruik

Een slimme Arnhemse hergebruikstrategie geeft prioriteit aan de materialen die de hoogste CO_2-last per kilo met zich meebrengen, zoals staal en baksteen. De onderstande grafiek laat zien dat de verhouding tussen massa van direct herbruikbare bouwproducten (links) en de CO_2-besparing (rechts) verschilt per materiaal. De mogelijk direct herbruikbare materialen uit sloop (87,5 Kton) bieden een directe kans om de milieu-impact te verlagen. Door materialen als hoogwaardige bouwproducten te hergebruiken, kan 15,7 Kton CO_2-uitstoot worden vermeden, een reductie van circa 3-4% op de totale bouwopgave voor de drie gebiedsontwikkelingen (in totaal rond de 350 kiloton aan uitstoot). De grootste kansen voor CO_2-reductie liggen bij de volgende materiaalgroepen:

- **Baksteen (grootste impact):** Hoewel baksteen qua massa een aanzienlijk deel vormt (27,41 Kton), is de besparingspotentie flink. Met een CO_2-reductie van 3,96 Kton (ruim 25% van de totale besparing) is het hergebruik van bakstenen effectief.
- **Staal en constructiestaal:** De stalen bouwmaterialen vertegenwoordigen samen een besparing van circa 4,5 Kton CO_2. Vanwege de energie-intensieve productie van nieuw staal, levert hergebruik een significante bijdrage aan de CO_2-reductie.
- **Betonelementen:** Verschillende prefab onderdelen (zoals kanaalplaatvloeren en binnenwanden) vormen samen een groot deel van de vrijkomende massa. Door deze elementen in hun geheel terug te brengen in nieuwe projecten, wordt de materiaalgebonden CO_2 benut.



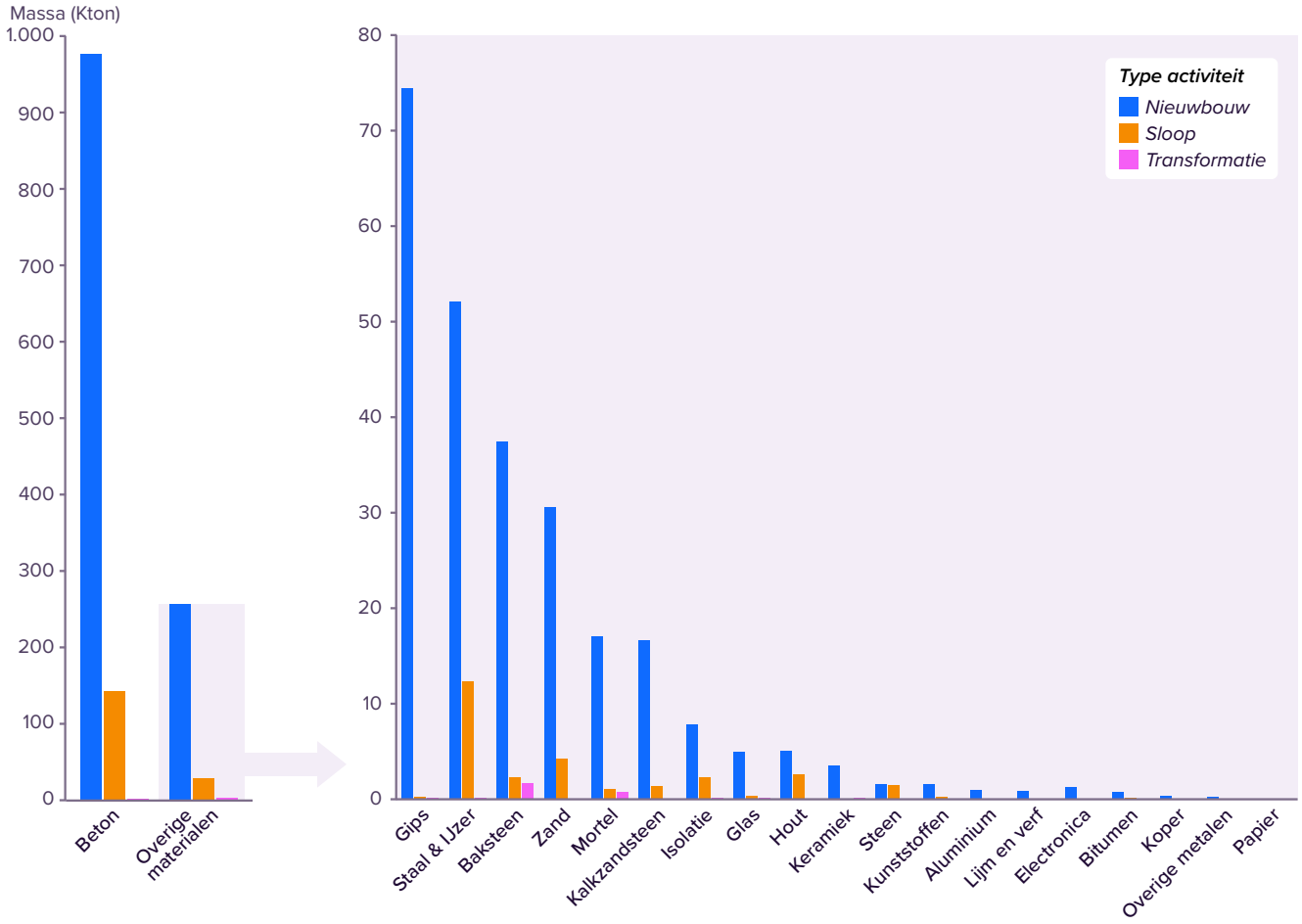
Figuur 5: Verhouding tussen het aandeel in massa en de CO_2-besparingspotentie van potentieel herbruikbare materialen uit sloop.

Rijnpark fase 1

De focus van de analyse ligt op de grootschalige gebiedsontwikkeling van Rijnpark (Fase 1 en 2). De bovenstaande grafieken en kaart (zie bijlage G) tonen de ruimtelijke en materiële stand van zaken in deze locatie:

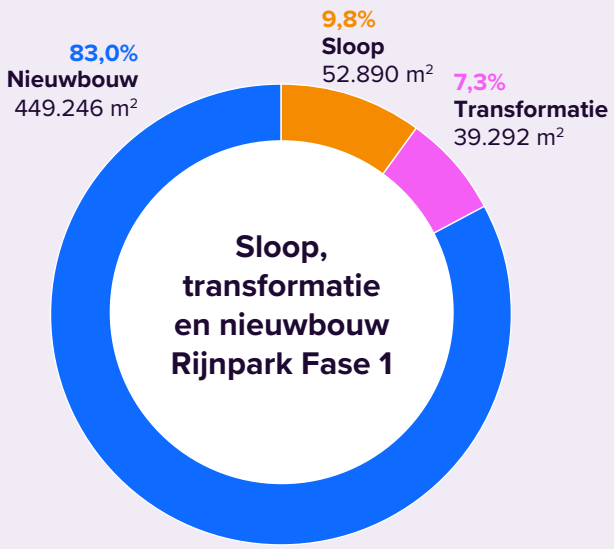
Er is een significant grotere vraag naar materialen voor nieuwbouw (blauw), ten opzichte van de lokale oogst uit sloop (oranje) in Rijnpark zelf.

In Rijnpark is beton de dominante factor qua gewicht, wanneer Arnhem besluit om te gaan bouwen met 'business-as-usual' praktijken. De grafieken laten zien dat voor de nieuwe constructies ruim 1.000 Kton beton nodig is, waarvan de sloop in het gebied circa 150 Kton kan leveren.



Figuur 6: Algemeen overzicht van de massabalans tussen sloop en nieuwbouw in Arnhem Rijnpark, Fase 1 en 2 samengevoegd.

Sloop, transformatie en nieuwbouw Fase 1



Voor de gebiedsontwikkeling van Rijnpark Fase 1 in Arnhem is een gedetailleerde analyse gemaakt van de balans tussen sloop, transformatie en de potentie voor circulair hergebruik. De opgave in Rijnpark Fase 1 wordt gekenmerkt door een sterke focus op verdichting:

- **Nieuwbouw:** Met een oppervlakte van 449.246 m^2 vormt nieuwbouw het grootste deel van de ontwikkeling.
- **Sloop:** Ongeveer 52.890 m^2 aan bestaande bebouwing is aangemerkt voor sloop
- **Transformatie:** Voor 39.292 m^2 aan oppervlakte is gekozen voor behoud en transformatie, waarmee de aanwezige CO_2 in de huidige constructies wordt geborgd.

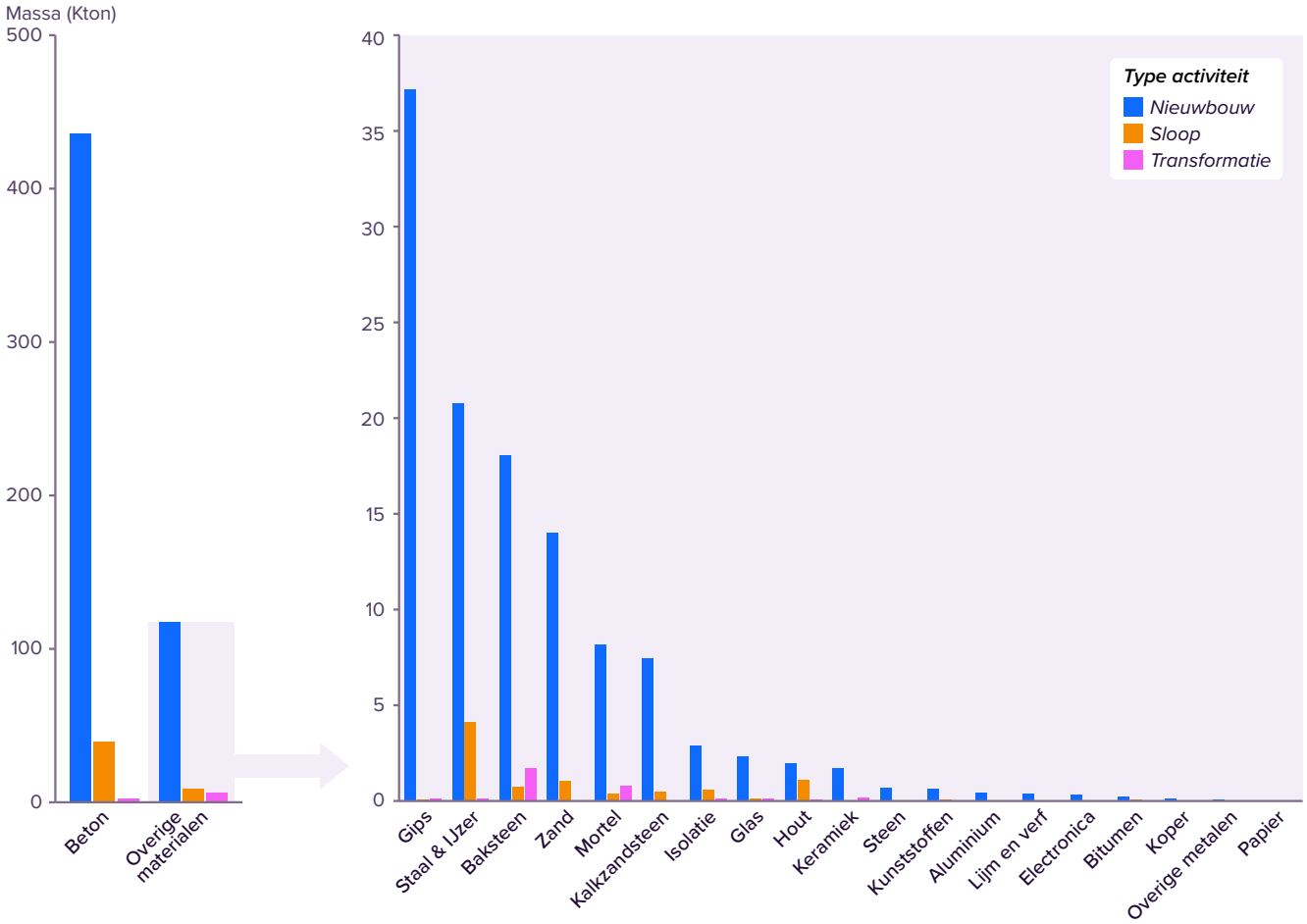
Figuur 7: Verdeling van de totale oppervlakte naar activiteit (nieuwbouw, sloop en transformatie) binnen de gebiedsontwikkeling Rijnpark fase 1.

1 Scenario Transformatie & BAU - Rijnpark Fase 1

De totale materiaalbehoefte voor de nieuwbouwopgave wordt gedomineerd door beton, met een massa van ruim 430 Kton. Andere materialen zoals gips, staal en baksteen volgen op relatief grote afstand. Voor de materiaalvraag vanuit transformatieprojecten is nog eens circa 6 Kton aan materiaal nodig.

Wanneer deze behoefte wordt afgezet tegen de lokaal beschikbare reststromen, zou bijvoorbeeld beton met een oogst-massa van 39 Kton een theoretische 10% van de totale vraag kunnen voorzien. Er is dus zeker potentie voor lokale 'Urban Mining' en toepassing van de materialen in de bouwplannen in deze eerste fase van de gebiedsontwikkeling.

Echter, ook bij volledig hoogwaardig hergebruik van alle vrijkomende materialen uit sloop en transformatie zijn er nog primaire of externe secundaire materialen nodig. Dit onderstreept dat circulariteit voor Rijnpark fase 1 een combinatie moet zijn van circulaire bouwmethoden, met hergebruik, hybride bouwen en biobased materialen.



Figuur 8: Materiaalbehoefte voor de nieuwbouw- en transformatieopgave in Rijnpark fase 1 bij een traditionele bouwmethode (BAU).

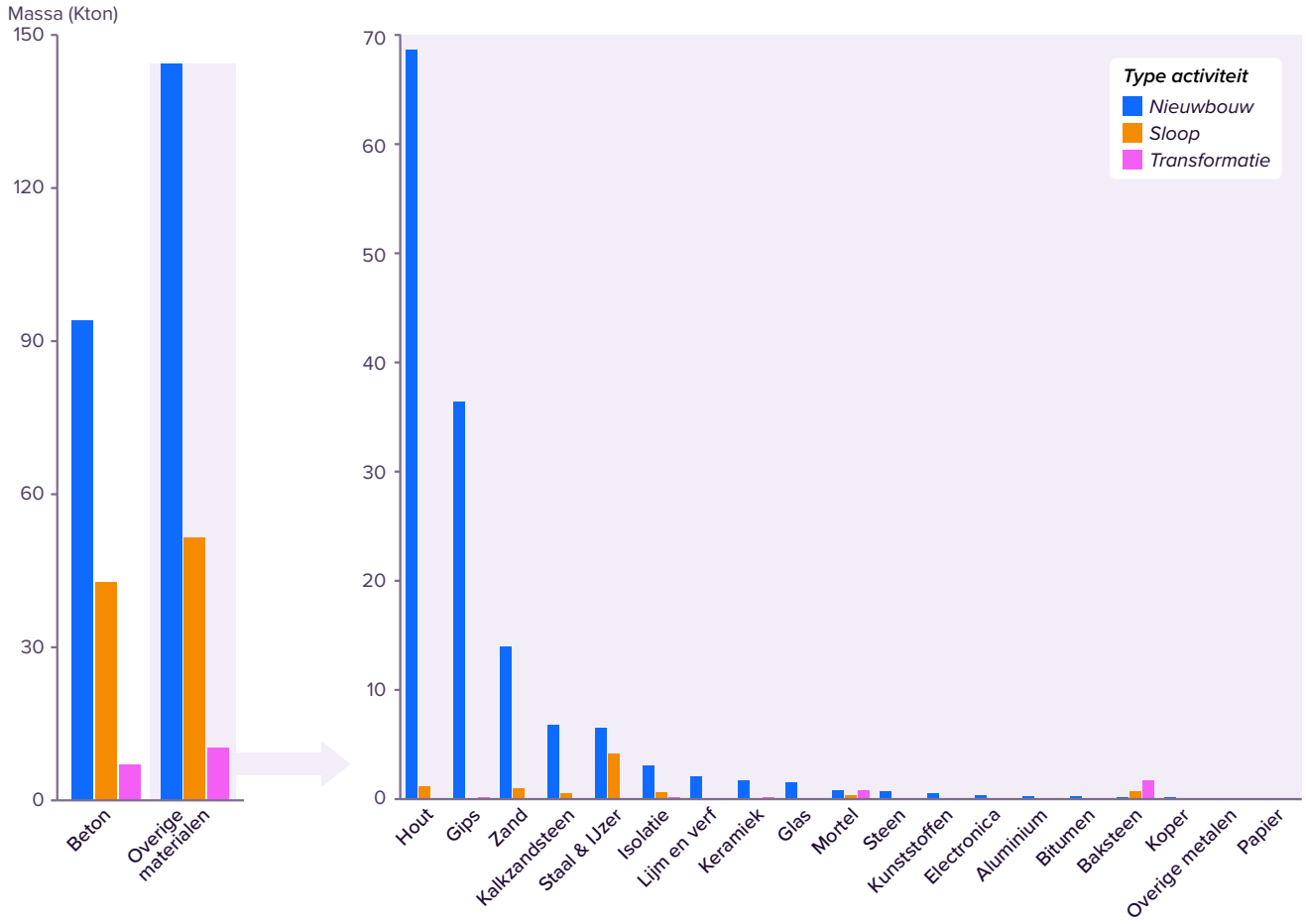
2 Scenario Biobased - Rijnpark Fase 1

Wanneer Arnhem Rijnpark fase 1 grotendeels biobased[19] wordt uitgevoerd, verandert het materiaalprofiel van het project en neemt de totale materiaalvraag van de nieuwbouwopgave af. De maximale behoefte blijft onder de 250 Kton (meer dan 500 Kton). **Dit resulteert in een CO_2-reductie van 26 Kton, een daling van minstens 22% ten opzichte van het 'business-as-usual' scenario.**

De belangrijkste verschuivingen zijn als volgt:

- De behoefte aan nieuw **beton** daalt fors, van ruim 430 Kton naar circa 90 Kton.
- **Hout** heeft een massa van ongeveer 70 Kton, wat een enorme stijging is ten opzichte van de traditionele bouwmethode.
- Materialen zoals **gips** (~35 Kton) en **zand** (~14 Kton) blijven aanwezig, maar zware minerale stromen zoals kalkzandsteen en staal worden tot een minimum beperkt (beide rond de 6-7 Kton).

Deze omslag heeft grote gevolgen voor de circulariteit van het project. Door de reductie in de betonvraag komt de match vanuit de lokale sloop (circa 39 Kton) dichter bij de werkelijke materiaalbehoefte te liggen, dit geldt ook voor de vraag naar de andere materialen.



Figuur 9: Verschuiving in de materiaalvraag voor Rijnpark fase 1 bij de realisatie van biobased scenario.

19 Voor het biobased scenario zijn de m² voor woningbouw (alleen nieuwbouw) vervangen met biobased profielen. Dit betekent dat alle vierkante meters in dit project nu gevuld worden door gemiddelde appartementgebouwen, wat in het geval van Rijnpark met haar hoogbouw een vertekend beeld kan geven. De profielen waar commerciële ruimten gebouwd worden (profiel bedrijfshallen met kantoren), worden vrijwel niet biobased uitgevoerd. Hier is dus uitgegaan is van een Business-as-usual BENG profiel.

3 Vrijkomende producten met potentie tot hergebruik - Rijnpark Fase 1

Aanbod van potentieel herbruikbare materialen (vanuit sloop) in massa en CO_2 impact

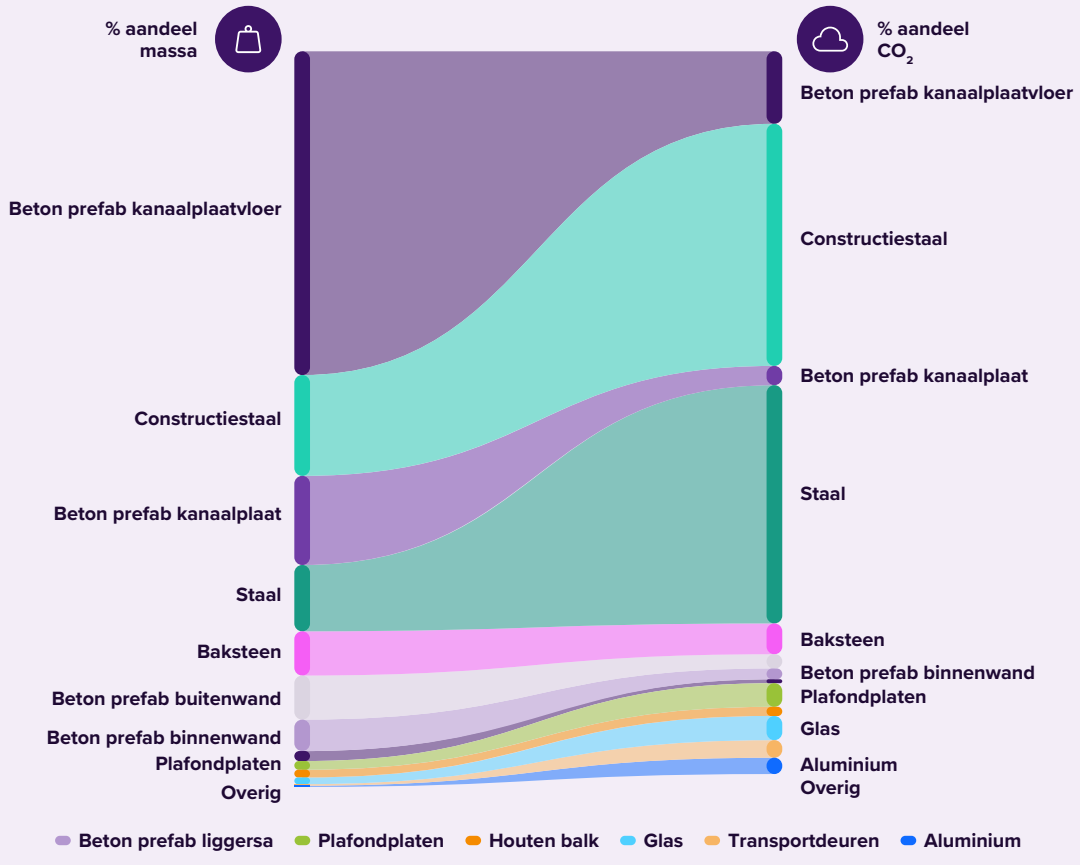
De inventarisatie van vrijkomende en direct herbruikbare materialen voor Arnhem Rijnpark Fase 1 toont aan dat direct hergebruik een totale 'oogst' van 12,4 Kton aan producten kan leveren. Deze hoeveelheid materialen vertegenwoordigt een totale vermeden CO_2-uitstoot van 3,1 Kton CO_2. Hoewel substantieel, betekent dit in de context van de totale Arnhemse opgave (350 Kton) een reductie van circa 1% aan uitstoot voor alle gebiedsontwikkelingen in Arnhem.

Hergebruik van staal is de meest effectieve strategie. Hoewel constructiestaal (1,67 Kton) en overig staal (1,10 Kton) qua gewicht een fractie vormen, zijn ze verantwoordelijk voor ruim 64% van de totale CO_2-besparing.

Beton vormt het grootste volume, met prefab kanaalplaatvloeren (5,37 Kton) als uitschieter. De CO_2-bijdrage is kleiner dan staal: slechts 9,7% (0,30 Kton). Ook overige betonelementen (ca. 2,7 Kton totaal) hebben een beperkte impact op de CO_2-balans.

Overige stromen:

- **Baksteen & plafondplaten** hebben bij hergebruik (0,87 Kton totaal) een aandeel in de CO_2-besparing van ruim 7%.
- **Hout is beperkt aanwezig;** houten balken (0,13 Kton) dragen slechts 1,2% bij aan de totale besparing.
- Voor maximale klimaatwinst in Rijnpark Fase 1 moet de focus liggen op het hergebruik van **staal en beton.**

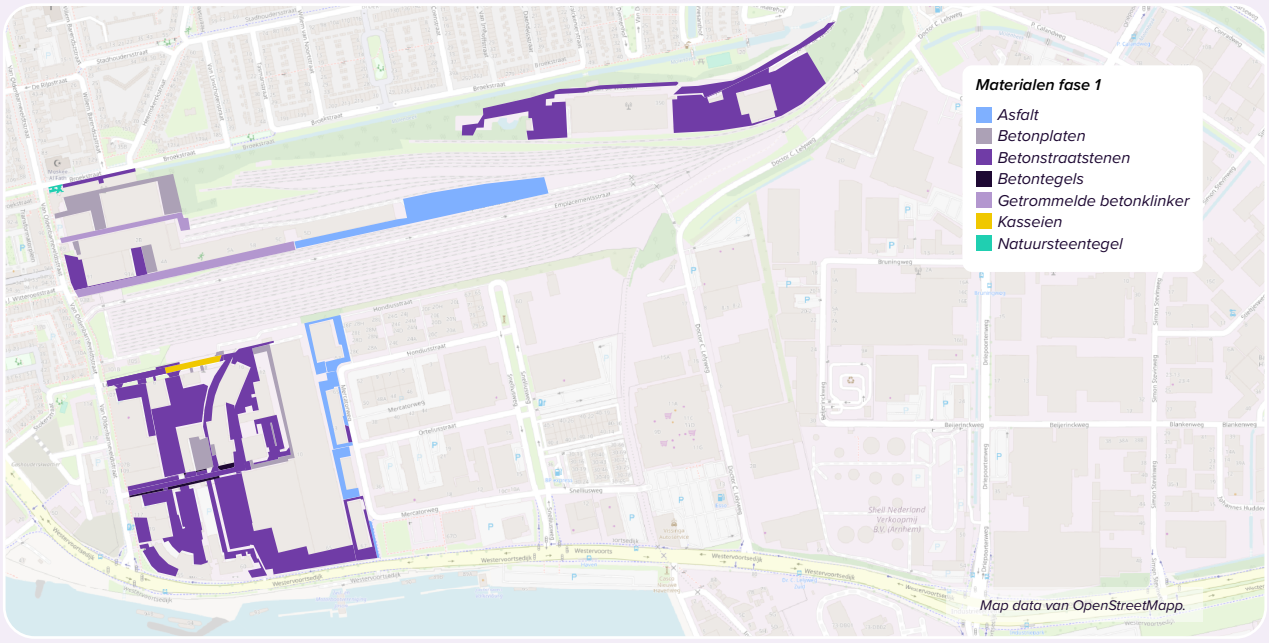


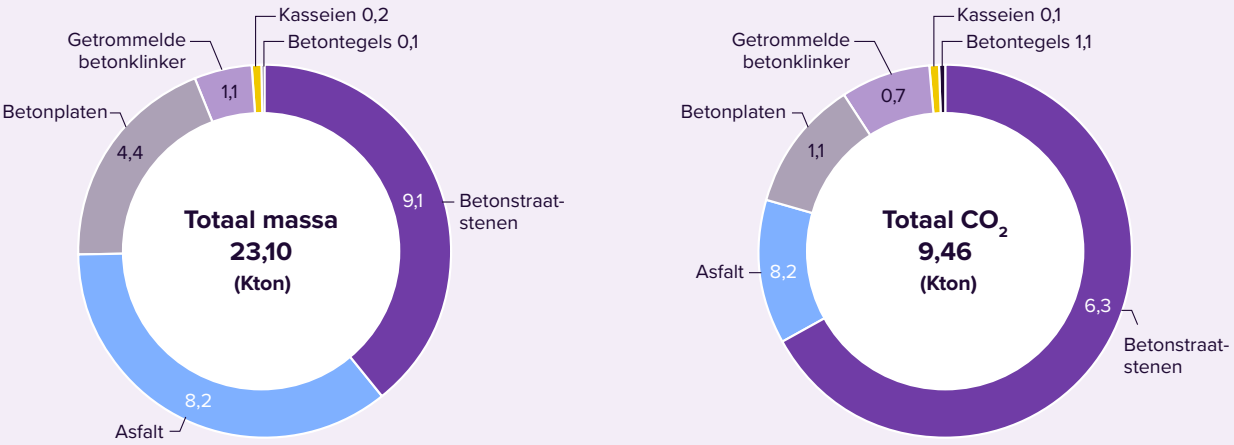
Figuur 10: Inventarisatie van herbruikbare bouwproducten uit de sloop van Rijnpark fase 1 op basis van massa en CO_2-impact.

4 GWW - Rijnpark Fase 1

Naast de gebouwgebonden materialen levert de openbare ruimte in Rijnpark fase 1 een aanzienlijke extra bron voor lokale materiaalwinning op. In totaal komt er uit de bestaande infrastructuur 23,1 Kton aan materialen vrij. Deze voorraad wordt gedomineerd door betonstraatstenen (9,1 Kton) en asfalt (8,2 Kton), die samen het leeuwendeel van de massa vormen. Ook de aanwezige betonplaten leveren met 4,4 Kton een substantiële bijdrage aan de totale massa.

De milieu-impact is 9,5 Kton CO_2 wanneer deze materialen nieuw geproduceerd zouden moeten worden. Betonstraatstenen zijn verantwoordelijk voor het overgrote deel van de impact, namelijk 6,3 Kton CO_2. Asfalt heeft een vergelijkbare massa, maar vertegenwoordigt met 1,2 Kton een aanzienlijk lagere CO_2-waarde. Dit wijst uit dat het hoogwaardig hergebruik van betonbestrating een effectieve strategie is om de CO_2-impact te verkleinen (voor meer informatie over circulaire verwerking van materialen uit de GWW zie de infobox bij GWW Rijnpark Fase 2).





Figuur 11: Beschikbare materialen en bijbehorende milieu-impact uit de openbare ruimte (GWW) in Rijnpark fase 1

Rijnpark fase 2

Sloop, transformatie en nieuwbouw Fase 2



Voor de gebiedsontwikkeling van Rijnpark Fase 2 in Arnhem is eveneens een gedetailleerde analyse gemaakt van de balans tussen sloop en de nieuwe bouwopgave. Waar in Fase 1 transformatie nog een rol speelde, wordt de opgave in Fase 2 gekenmerkt door de grootschalige nieuwbouw:

Nieuwbouw: Met een oppervlakte van 578.000 m^2 vormt nieuwbouw het overgrote deel in deze fase.

Sloop: Er is 126.694 m^2 aan bestaande bebouwing aangemerkt voor sloop

Transformatie: In tegenstelling tot de eerste fase is er voor Rijnpark Fase 2 momenteel geen oppervlakte opgenomen voor behoud en transformatie.

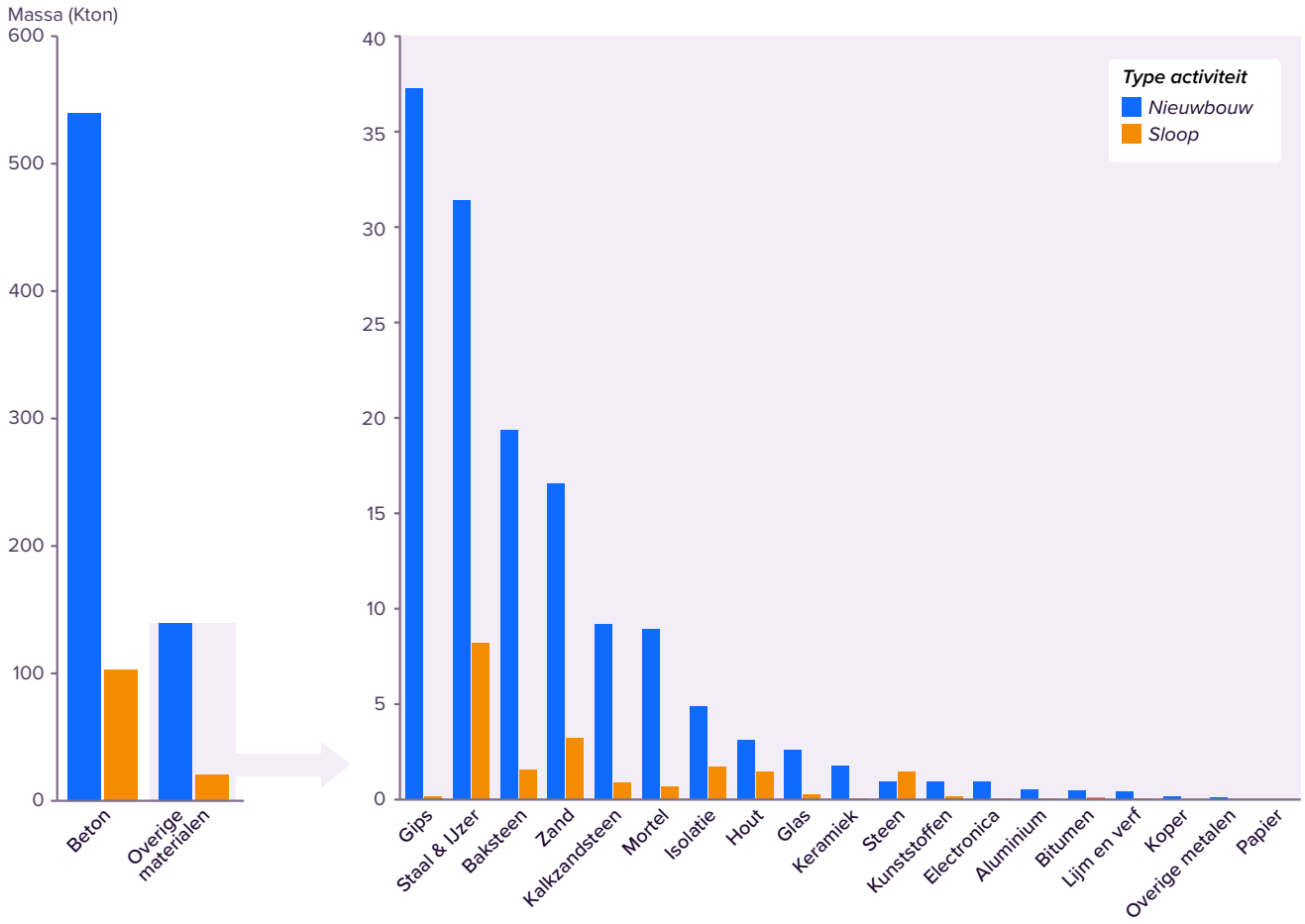
Figuur 12: Verdeling van de oppervlakte tussen grootschalige nieuwbouw en sloop voor de gebiedsontwikkeling Rijnpark fase 2.

1 Scenario Transformatie & BAU - Rijnpark Fase 2

De materiaalanalyse voor Arnhem Rijnpark fase 2 schetst een vergelijkbaar grootschalig beeld van de circulaire opgave, waarbij de volumes nog aanzienlijk groter zijn dan in de eerste fase. De totale materiaalbehoefte voor de nieuwbouwopgave wordt wederom gedomineerd door beton, met een massa van ruim 540 Kton. Andere materialen zoals gips (~40 Kton), staal & ijzer (~30 Kton) en baksteen (~20 Kton) volgen. Omdat er in fase 2 geen transformatieprojecten zijn gepland, is de volledige materiaalvraag gericht op de realisatie van nieuwbouw.

De sloop van de bestaande bebouwing (126.694 m^2) vormt een aanzienlijke bron van materialen. Uit deze sloop komt circa 102 Kton beton vrij. Dit volume is ruim tweeënhalf keer zo groot als in fase 1, en dekt dus in potentie 19% van de totale betonvraag voor de nieuwbouw in fase 2.

De conclusie is dat er potentie is tot het voldoen aan een belangrijk deel van de materiaalvraag met secundaire materialen voor fase 2. Bij volledig hoogwaardig hergebruik van alle vrijkomende materialen blijft het project echter ook voor circa 80% afhankelijk van externe aanvoer. Net als in fase 1 ligt de sleutel in het toepassen van een combinatie van circulaire bouwstrategieën; het toepassen van alternatieve materialen (zoals biobased) of fundamenteel andere bouwmethodieken om de totale primaire materiaalvraagt te verlagen.



Figuur 13: Materiaalbehoefte voor de volledige nieuwbouwopgave in Rijnpark fase 2 volgens traditionele bouwmethoden (BAU).

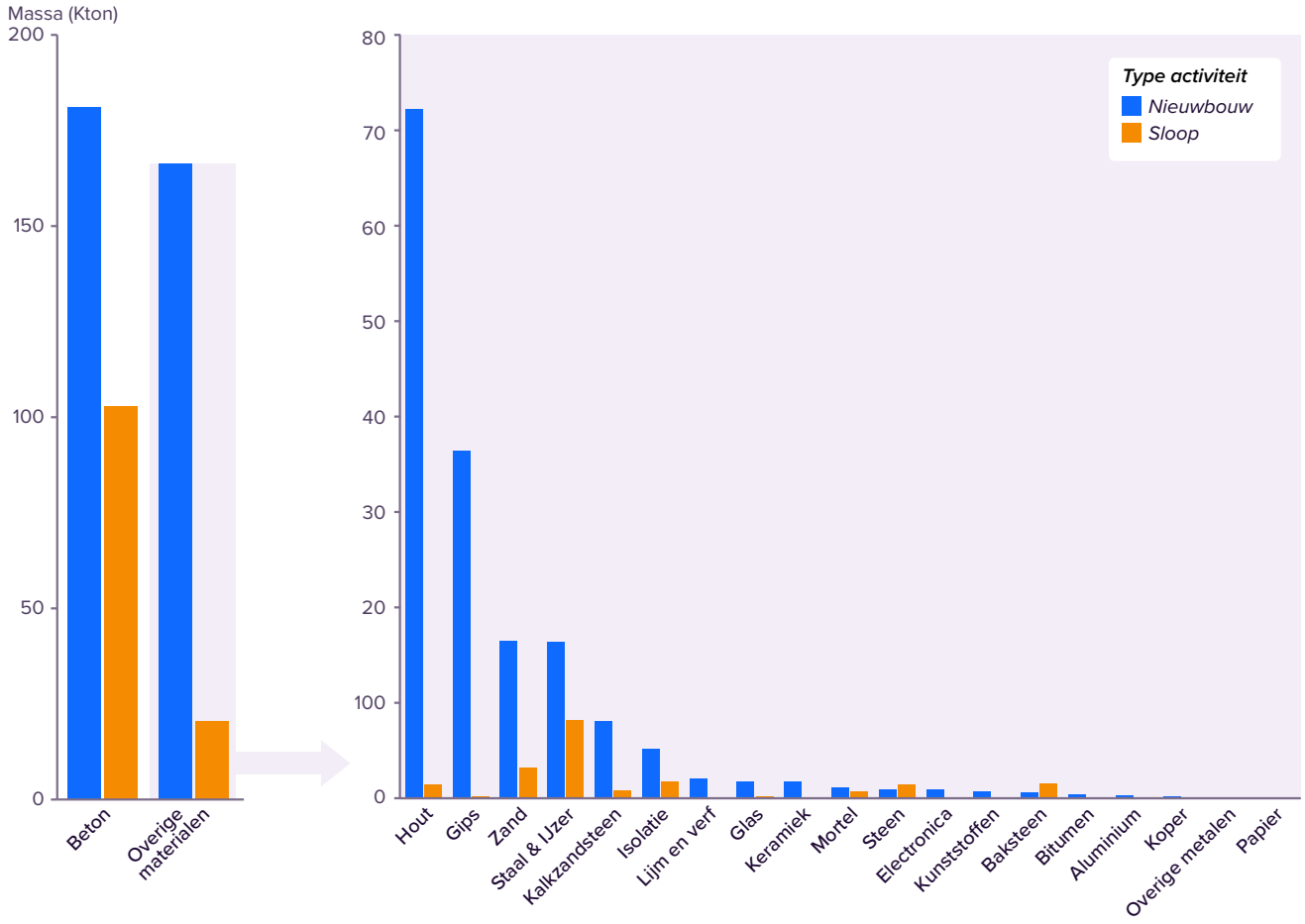
2 Scenario Biobased Rijnpark Fase 2

Wanneer Arnhem Rijnpark fase 2 grotendeels biobased[20] wordt uitgevoerd, waarbij 80% van de gebouwen biobased is, daalt de maximale materiaalbehoefte van meer dan 600 Kton naar rond de 350 Kton. **Dit levert een CO_2-besparing op van minimaal 28 Kton (zie bijlage C) wat neerkomt op een reductie van circa 25% ten opzichte van het business-as-usual scenario.**

De belangrijkste verschuivingen voor fase 2 zijn als volgt:

- De behoefte aan nieuw **beton** voor de bouwopgave daalt fors, van ruim 540 Kton in het BAU-scenario naar circa 180 Kton.
- **Hout** stijgt met een benodigde massa van ongeveer 72 Kton.
- Materialen zoals **gips** (~38 Kton) en **zand** (~18 Kton) blijven in aanzienlijke hoeveelheden nodig. Zware minerale stromen zoals **staal en ijzer** (~15 Kton) en **kalkzandsteen** (~10 Kton) worden beperkt.

Deze omslag heeft, net als in fase 1, grote gevolgen voor de circulariteit van het project.



Figuur 14: Biobased bouwscenario (80% van de gebouwen) op de totale materiaalvraag voor de projecten in Rijnpark fase 2.

20 Voor het biobased scenario zijn de m^2 voor woningbouw (alleen nieuwbouw) vervangen met biobased profielen. Dit betekent dat alle vierkante meters in dit project nu gevuld worden door gemiddelde appartementgebouwen, wat in het geval van Rijnpark met haar hoogbouw een vertekend beeld kan geven. De profielen waar commerciële ruimten gebouwd worden (profiel bedrijfshallen met kantoren), worden vrijwel niet biobased uitgevoerd. Hier is dus uitgegaan is van een Business-as-usual BENG profiel. Zie bijlage F voor een verdere toelichting over de toegepaste gebouwprofielen in Business-As-Usual.

3 Vrijkomende producten met potentie tot hergebruik - Rijnpark Fase 2

Aanbod van potentieel herbruikbare materialen (vanuit sloop) in massa en CO_2 impact

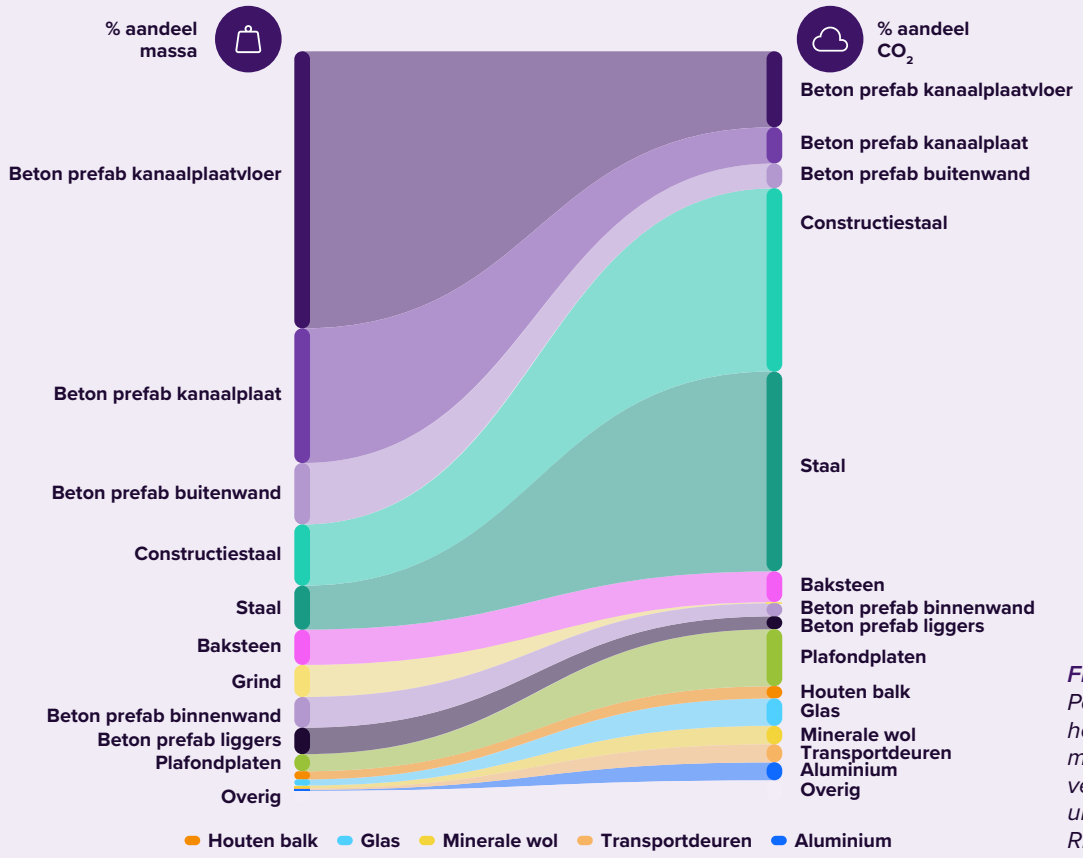
Rijnpark Fase 2 biedt door een hoger sloopvolume een aanzienlijk groter potentieel dan Fase 1: een totale oogst van 33,9 Kton, goed voor 6,7 Kton vermeden CO_2-uitstoot. Dit vertegenwoordigt een reductie van circa 2% op de totale Arnhemse opgave (350 Kton). Ook hier is de discrepantie tussen massa en impact groot:

Direct hergebruik van staal is de meest effectieve strategie voor klimaatwinst. Hoewel gewoon staal (1,99 Kton) en constructiestaal (2,77 Kton) qua gewicht beperkt zijn, leveren zij samen ruim 51% van de totale CO_2-besparing (respectievelijk 26,6% en 24,5%).

Beton vormt wederom de bulk. Prefab kanaalplaatvloeren (12,51 Kton) vormen het grootste deel van de direct herbruikbare massa, maar dragen slechts 10,1% (0,68 Kton) bij aan de mogelijke CO_2-reductie vanuit direct hergebruik. Overige onderdelen zoals kanaalplaten (6,08 Kton), buitenwanden (2,77 Kton) en liggers (1,19 Kton) voegen veel gewicht toe, maar hebben een bescheiden impact (samen <10%).

Overige materialen:

- **Plafondplaten** vallen op door een hoge relatieve impact; slechts 0,77 Kton massa levert 7,6% van de mogelijke CO_2-besparing vanuit direct hergebruik op.
- **Bakstenen en glas** dragen respectievelijk 4,1% (1,59 Kton) en 3,7% bij aan de balans.
- Met 0,37 Kton aan **houten balken** (1,6% CO_2-besparing) blijft dit een klein onderdeel van de totale oogst.



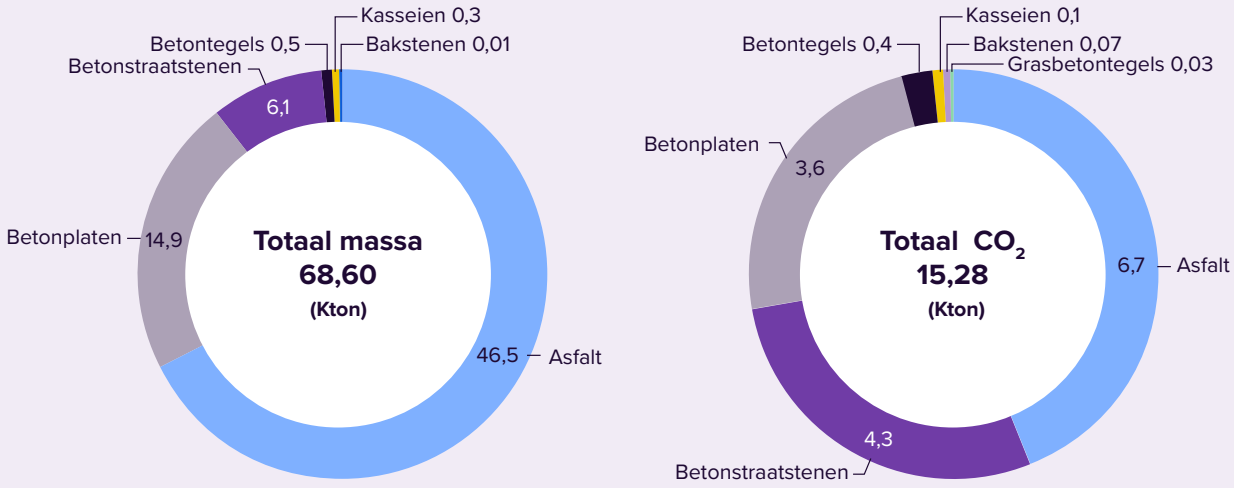
Figuur 15: Potentieel aan herbruikbare materialen en vermeden emissies uit de sloop in Rijnpark fase 2.

4 GWW - Rijnpark Fase 2

Naast de gebouwgebonden materialen levert de openbare ruimte in Rijnpark fase 2 een nog omvangrijkere bron voor lokale materiaalwinning op. In totaal komt er uit de bestaande infrastructuur in deze fase maar liefst 68,60 Kton aan materialen vrij. Deze voorraad wordt qua massa gedomineerd door asfalt (46,5 Kton) en betonplaten (15 Kton), die samen het leeuwendeel van het totale gewicht vormen.

Als deze materialen nieuw geproduceerd hadden moeten worden, had dit 15,28 Kton CO_2 uitgestoten. Hoewel asfalt met 6,7 Kton CO_2 de grootste individuele post vormt, hebben de diverse betonstromen een relatief veel hogere impact per kilogram. De betonstraatstenen (4,3 Kton CO_2) en betonplaten (3,6 Kton CO_2) vertegenwoordigen samen meer dan de helft van de totale CO_2-waarde, terwijl de massa kleiner is dan asfalt. Net als in fase 1 is het hoogwaardig hergebruik van betonverharding de meest effectieve strategie om de CO_2-impact van de openbare ruimte in Rijnpark te verkleinen.





Figuur 16: Beschikbaarheid en milieu-impact van materialen uit de bestaande openbare ruimte (GWW) in Rijnpark fase 2.

Het hergebruik van materialen in de GWW

Om de circulaire ambities voor de GWW in Rijnpark fase 1 en 2 succesvol te realiseren, is het essentieel om niet alleen naar de cijfers te kijken (bijvoorbeeld de massa van 68,60 kTon in Rijnpark fase 2), maar ook bewezen 'best practices' toe te passen bij het hergebruik:

1. Vroege inventarisatie

De kwaliteit van de aanwezige betonplaten en betonstraatstenen (samen goed voor ruim 20 kTon) moeten vooraf nauwkeurig worden beoordeeld op toepasbaarheid. Hierbij is circulariteit te beschouwen als een 'estafette': opdrachtgevers, ontwerpers en aannemers moeten het materiaal als een stokje aan elkaar doorgeven.[21] Door in de ontwerpfase circulaire ambities vast te leggen en ruimte te bieden voor flexibiliteit, kan worden voorkomen dat bruikbare materialen alsnog als afval worden afgevoerd.

2. Standaardisatie & depotbeheer

Het hanteren van een uniforme ontwerprichtlijn (zoals de Puccini-methode in Amsterdam)[22] zorgt ervoor dat materialen uit verschillende deellocaties uitwisselbaar worden en eenvoudiger in voorraad kunnen worden gehouden. Voor de tijdelijke opslag van verschillende betonstraatstenen en bakstenen kan een goed gemanaged depot uitkomst bieden.[23] Hierbij is een sluitende registratie van in- en uitgaande stromen cruciaal om het materiaal tijdig aan nieuwe deeltrajecten binnen Rijnpark te koppelen.

3. Verwerking

De arbeidsomstandigheden zijn vaak een onderschat aspect van hoogwaardig hergebruik. Volgens de Arbowet moeten zowel nieuwe als gebruikte bestratingsmaterialen machinaal worden verwerkt om fysieke overbelasting van stratenmakers te voorkomen.[24] Dit betekent dat vrijkomende stenen in fase 1 en 2 bij voorkeur op pallets moeten worden gerangschikt voor machinale herplaatsing. In de aanbesteding moet hierop worden gestuurd: het gunnen op de laagste prijs kan ertoe leiden dat aannemers kiezen voor handmatige verwerking, wat de duurzame inzetbaarheid van personeel schaadt. Door in het ontwerp al rekening te houden met de maten en vormen die geschikt zijn voor machines, wordt de drempel voor hergebruik van de lokale 'oogst' aanzienlijk verlaagd.

Asfalt

De enorme hoeveelheid asfalt die in Rijnpark vrijkomt, 46,5 kTon in fase 2, biedt een unieke kans voor hoogwaardige recycling. Door niet alleen het asfalt zelf te hergebruiken, maar ook reststromen uit de sloop en de spoorzone te integreren, kan de materiaalvraag worden beperkt.

In Utrecht is op de Archimedeslaan een project uitgevoerd met 100% hergebruikt asfalt.[25] Dit project dient als een direct relevant voorbeeld voor de spoorzone van Rijnpark vanwege de gebruikte materialen:

De toplaag bestaat volledig uit hergebruikt asfalt van lokale bronnen, aangevuld met gebroken stenen uit treinsporen. Gezien de ligging van Rijnpark rondom een spooremplacement is dit type 'urban mining' van spoorballast direct toepasbaar.

Om de hergebruikte mineralen te binden tot een hoogwaardig mengsel, is bitumen toegevoegd dat afkomstig is van oude dakbedekking uit gesloopte gebouwen. In Rijnpark fase 2 komen diverse sloopstromen vrij die als bron voor dit type 'bio-bitumen' of gerecyclede binder kunnen dienen.

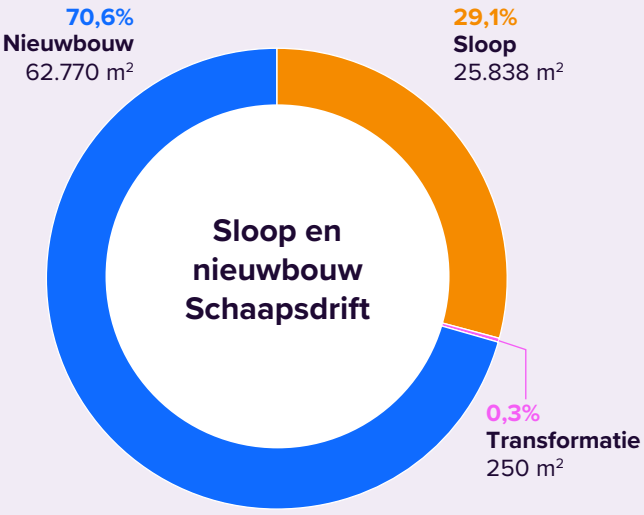
Door het inzetten van volledig elektrisch materieel voor de verwerking van dit circulaire asfalt wordt niet alleen de materiaalvoetafdruk, maar ook de directe CO_2-uitstoot en geluidshinder op de bouwplaats geminimaliseerd.

Hiernaast loont het om te kijken naar de eigen ervaring: Arnhem heeft op de Limburgsingel eerder freesasfalt horizontaal hergebruikt in nieuwe deklagen.[26] Hierbij is ook geëxperimenteerd met het vervangen van fossiele bitumen door plantaardige bindmiddelen (zoals lijnzaadolie), wat de CO_2-uitstoot bij de asfaltcentrale met 30 tot 35% verlaagt.

21 https://www.duurzame-infra.nl/actueel/nieuws/2025/07/07/elementverharding-hergebruiken
22 https://www.amsterdam.nl/leefomgeving/puccinimethode/puccinimethode/
23 https://www.duurzame-infra.nl/actueel/nieuws/2025/07/07/elementverharding-hergebruiken
24 https://www.duurzame-infra.nl/actueel/nieuws/2025/07/07/elementverharding-hergebruiken
25 https://www.utrecht.nl/nieuws/nieuwsbericht-gemeente-utrecht/uniek-in-utrecht-100-hergebruikt-asfalt-archimedeslaan
26 https://www.roelofsgroep.nl/nieuw-asfaltmengsel-maakt-arnhem-stukje-duurzamer/

Schaapsdrift

Sloop, transformatie en nieuwbouw Schaapsdrift



Figuur 17: Opgave in m² sloop, transformatie en nieuwbouw binnen de gebiedsontwikkeling Schaapsdrift.

Voor de gebiedsontwikkeling Schaapsdrift in Arnhem is, net als voor de Rijnpark-fasen, een analyse gemaakt van de verhouding tussen sloop, transformatie en nieuwbouw. De focus ligt hierbij sterk op vernieuwing, waarbij een aanzienlijk deel van de huidige bebouwing plaatsmaakt voor nieuwe volumes.

De verdeling van de oppervlaktes ziet er als volgt uit:

Nieuwbouw: Met een geplande oppervlakte van 62.770m² vormt nieuwbouw het hoofdbestanddeel van deze ontwikkeling.

Sloop: Er is 25.838 m² aan bestaande bebouwing aangemerkt voor sloop. Deze relatief grote sloopopgave ten opzichte van het totaalvolume biedt kansen voor een substantiële lokale 'oogst' aan materialen.

Transformatie: Slechts een zeer klein deel van de bestaande bebouwing wordt behouden en getransformeerd, wat betekent dat de strategie voor circulariteit in dit gebied primair zal rusten op hoogwaardig hergebruik van sloopmaterialen en de keuze voor nieuwe duurzame bouwstoffen.

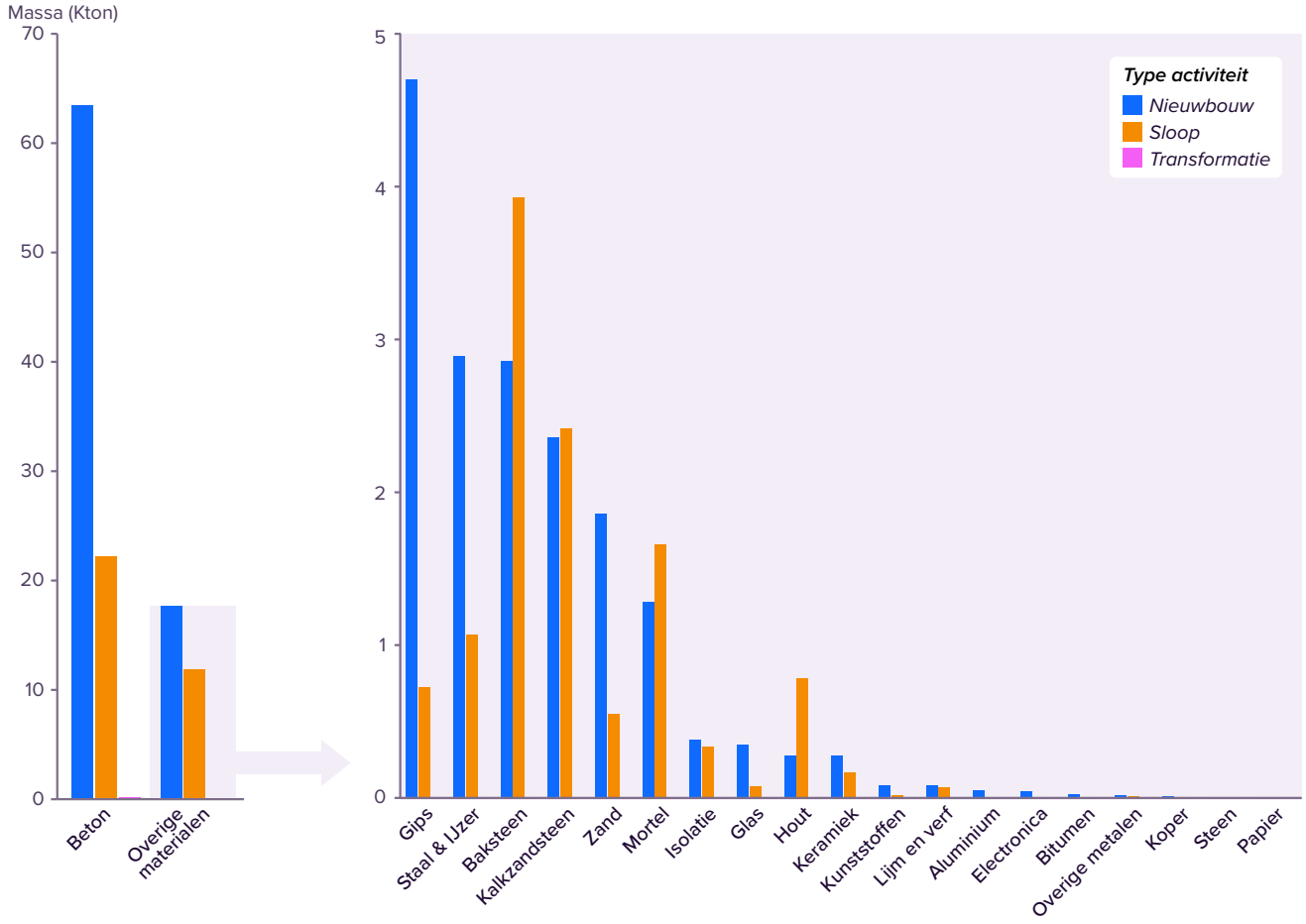
In vergelijking met de Rijnpark-fasen is het aandeel sloop in Schaapsdrift procentueel gezien groter, wat een gunstigere uitgangspositie kan bieden voor de lokale match tussen vrijkomende materialen en de nieuwbouwbehoefte.

1 Scenario Transformatie & BAU - Schaapsdrift

De materiaalanalyse voor Schaapsdrift schetst het beeld dat de verhouding tussen sloop en nieuwbouw beter op elkaar aansluit dan Rijnpark, maar er nog steeds sprake is van een aanzienlijke primaire materiaalbehoefte. De totale materiaalvraag voor de nieuwbouwopgave (62.770 m^2) wordt ook hier gedomineerd door beton, met een benodigde massa van circa 63 Kton. Andere materialen zoals gips (~5 Kton), staal & ijzer (~4 Kton) en baksteen (~3 Kton) volgen op grote afstand.

Wanneer we deze behoefte afzetten tegen de lokaal beschikbare reststromen uit de sloop van 25.838 m^2 aan bebouwing, vallen enkele zaken op:

- **Beton:** Uit de sloop komt circa 22 Kton beton vrij. Hoewel dit aanzienlijk is, dekt het hiermee ongeveer 35% van de totale betonvraag voor de nieuwbouw. Dit is een hogere dekkingsgraad dan in Rijnpark, maar laat nog steeds een gat van 65% over.
- **Baksteen-potentie:** Bijzonder aan Schaapsdrift is dat de hoeveelheid vrijkomende baksteen uit de sloop (~4 Kton) groter is dan de behoefte voor de nieuwbouw (~3 Kton). Dit biedt kansen voor een volledig circulaire inzet van baksteen binnen het gebied.
- **Marginale rol van transformatie:** De bijdrage vanuit transformatie is in deze fase verwaarloosbaar; de ingaande massa bedraagt slechts circa 16 ton (0.016Kton) aan beton.
- Voor Schaapsdrift is er dus nog meer potentie tussen de lokale urban mine match en de bouwplannen. Het overschot aan vrijkomende bakstenen biedt een unieke kans voor hoogwaardig lokaal hergebruik. Om de resterende 65% aan betonbehoefte te verkleinen, is ook voor dit gebied de overstap naar biobased bouwmaterialen of een fundamenteel andere constructiemethode de meest effectieve route.



Figuur 18: Materiaalvraag versus sloopaanbod voor Schaapsdrift bij toepassing van een traditioneel bouwscenario (BAU).

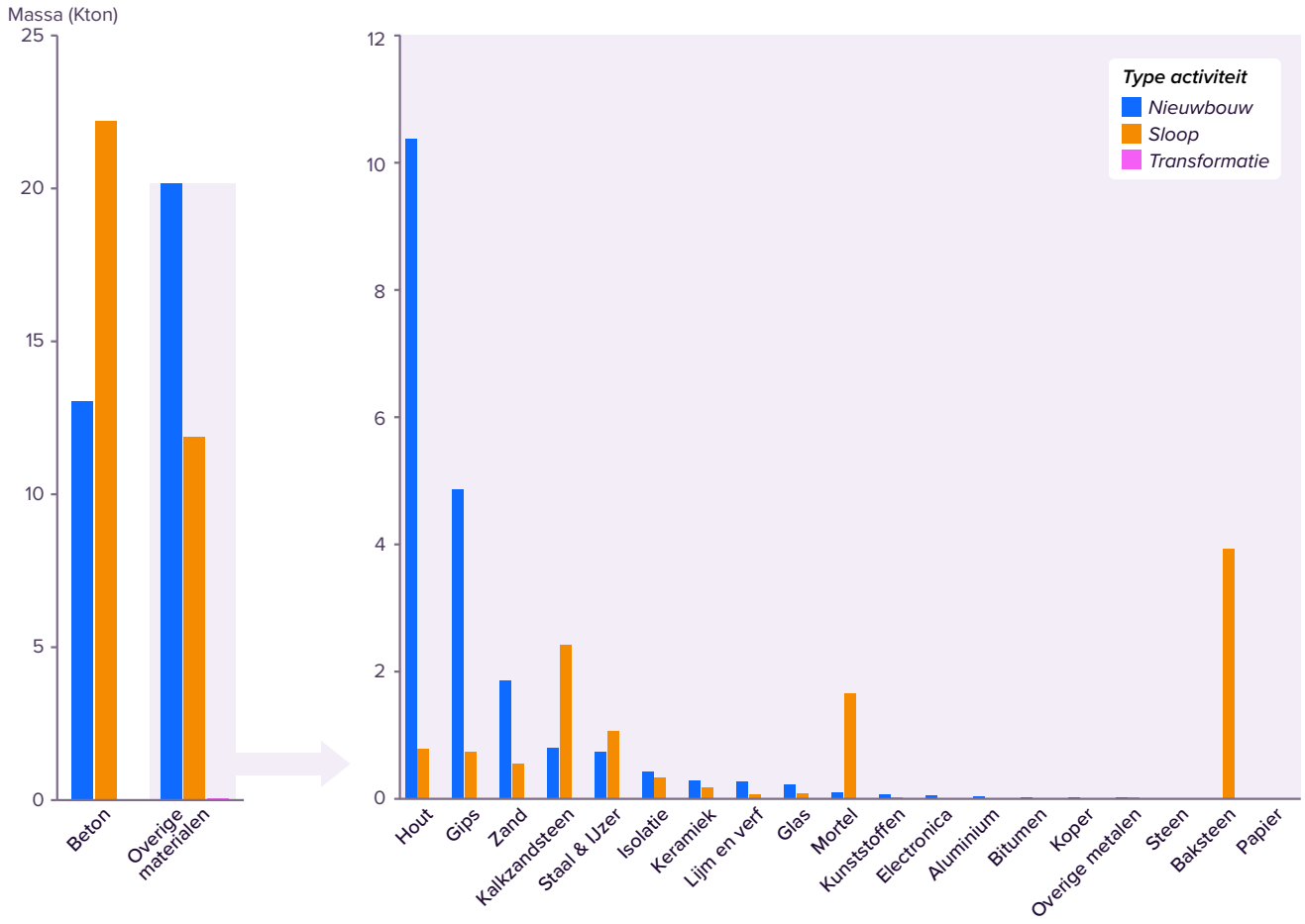
2 Scenario Biobased - Schaapsdrift

Wanneer de gebiedsontwikkeling Schaapsdrift grotendeels biobased wordt uitgevoerd (gebaseerd op een scenario van 80% biobased bouwen), verandert het materiaalprofiel van het project en neemt de totale massa van de nieuwbouwopgave af. In het traditionele scenario is de behoefte voor beton iets meer dan 60 Kton, maar blijft de maximale vraag in het biobased scenario onder de 16 Kton. **Hierbij kan een reductie van bijna 5 Kton aan CO_2-uitstoot, 26% van het BAU-scenario, bewerkstelligd worden (zie bijlage C).**

De belangrijkste verschuivingen voor Schaapsdrift zijn als volgt:

- De behoefte aan nieuw **beton** daalt fors, van circa 63 Kton in het traditionele scenario naar slechts 13 Kton in de biobased variant.
- **Hout** neemt een belangrijke positie in met een benodigde massa van ongeveer 10,3 Kton
- Materialen zoals **gips** (~5 Kton) blijven aanwezig, terwijl de vraag naar zware minerale stromen zoals **kalkzandsteen en staal** daalt naar circa 1 Kton elk.

In tegenstelling tot de Rijnpark-fasen, ontstaat er bij een biobased scenario een overschot aan lokaal beschikbaar materiaal voor Schaapsdrift. De lokale 'voorraad' beton uit sloop bedraagt circa 22 Kton. De behoefte in het biobased scenario is slechts 13 Kton. De gebiedsontwikkeling kan haar betonbehoefte volledig voorzien en 9 Kton secundair beton aan Arnhem leveren.



Figuur 19: Materiaalbalans voor Schaapsdrift in een biobasedscenario voor 80% van de gebouwen + transformatie voor nieuwbouw.

3 Vrijkomende producten met potentie tot hergebruik - Schaapsdrift

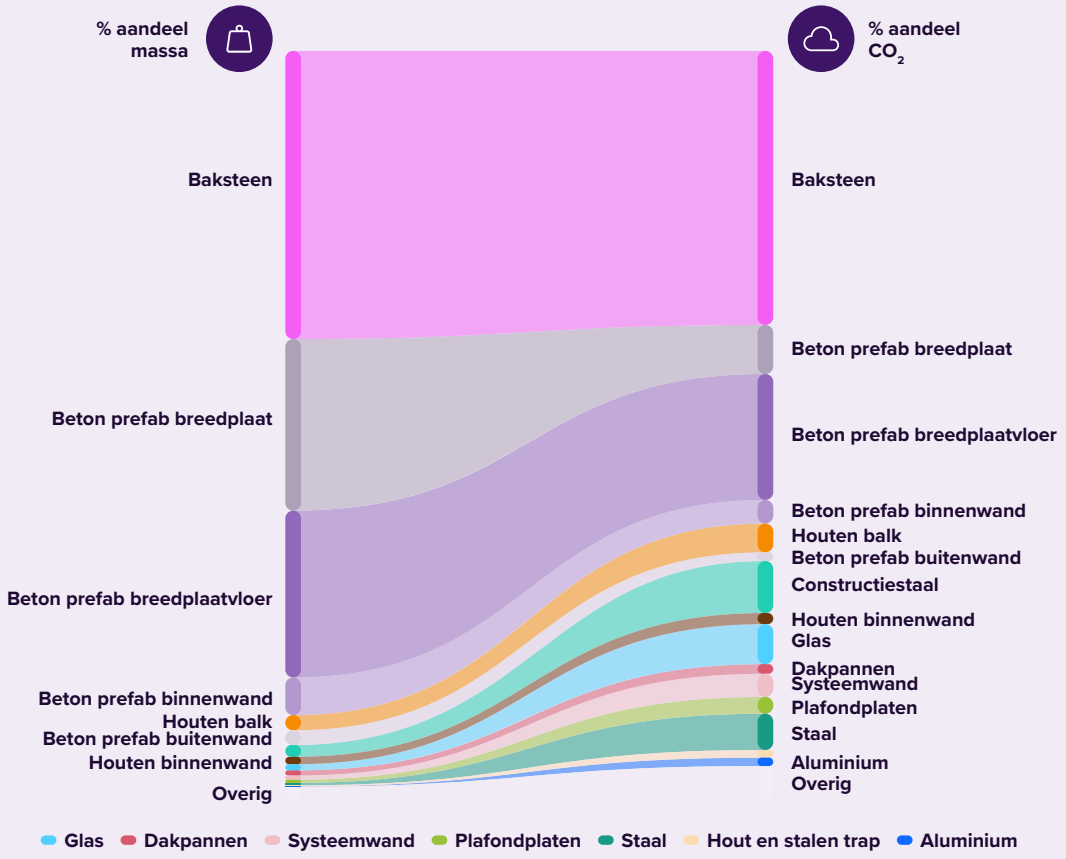
Aanbod van potentieel herbruikbare materialen (vanuit sloop) in massa en CO_2 impact

De vrijkomende materialen voor Schaapsdrift laten een aanbod zien van 10,2 Kton aan potentieel direct herbruikbare producten, gelijk aan een vermeden uitstoot van 1,4 Kton CO_2.

In tegenstelling tot Rijnpark, waar staal de grootste CO_2-besparing opleverde, is bij Schaapsdrift baksteen het meest bepalende materiaal. Met een massa van 3,93 Kton is baksteen ook verantwoordelijk voor 36,6% van de totale CO_2-besparing (0,50 Kton CO_2). Minerale stromen vormen hiernaast de hoofdmoot van de herbruikbare massa:

- **Beton prefab breedplaatvloeren** zijn met 2,28 Kton goed voor 16,8% van de CO_2-winst.
- **Beton prefab breedplaten** leveren met 2,34 Kton een bijdrage van 6,5% aan de totale besparing.
- Andere betonelementen zoals **binnenwanden** (0,51 Kton) en **buitenwanden** (0,20 Kton) dragen cumulatief nog eens ruim 4% bij aan de CO_2-balans.
- **Constructiestaal** (0,16 Kton) en overig staal dragen samen ruim 11% bij aan de vermeden uitstoot. Daarnaast valt de potentie van **glas** op (5,3% besparing) en de aanwezigheid van **houten balken** (0,21 Kton), die goed zijn voor 3,8% van de totale impact.

De strategische focus voor Schaapsdrift ligt bij het hoogwaardig hergebruik van bakstenen en prefab betonelementen. Gezien de eerdere analyse van de biobased nieuwbouwopgave, waarbij een overschot aan baksteen en beton werd geconstateerd, biedt deze specifieke oogst de mogelijkheid om Schaapsdrift als een lokale 'donorlocatie' te laten fungeren.



Figuur 20: Aanbod van potentieel herbruikbare materialen (vanuit sloop).

Laarkwartier

Nieuwbouw Laarkwartier



Figuur 21: Oppervlakte en opgave gebiedsontwikkeling Laarkwartier.

Voor de gebiedsontwikkeling van het Laarkwartier in Arnhem is de situatie anders met een oppervlakte van 15.879 m^2 bestaat de volledige ontwikkeling uit **nieuwbouw**. Deze verdeling heeft directe gevolgen voor de circulariteitsstrategie van het Laarkwartier. In tegenstelling tot Rijnpark of Schaapsdrift is er in dit gebied geen lokaal aanbod van materialen.

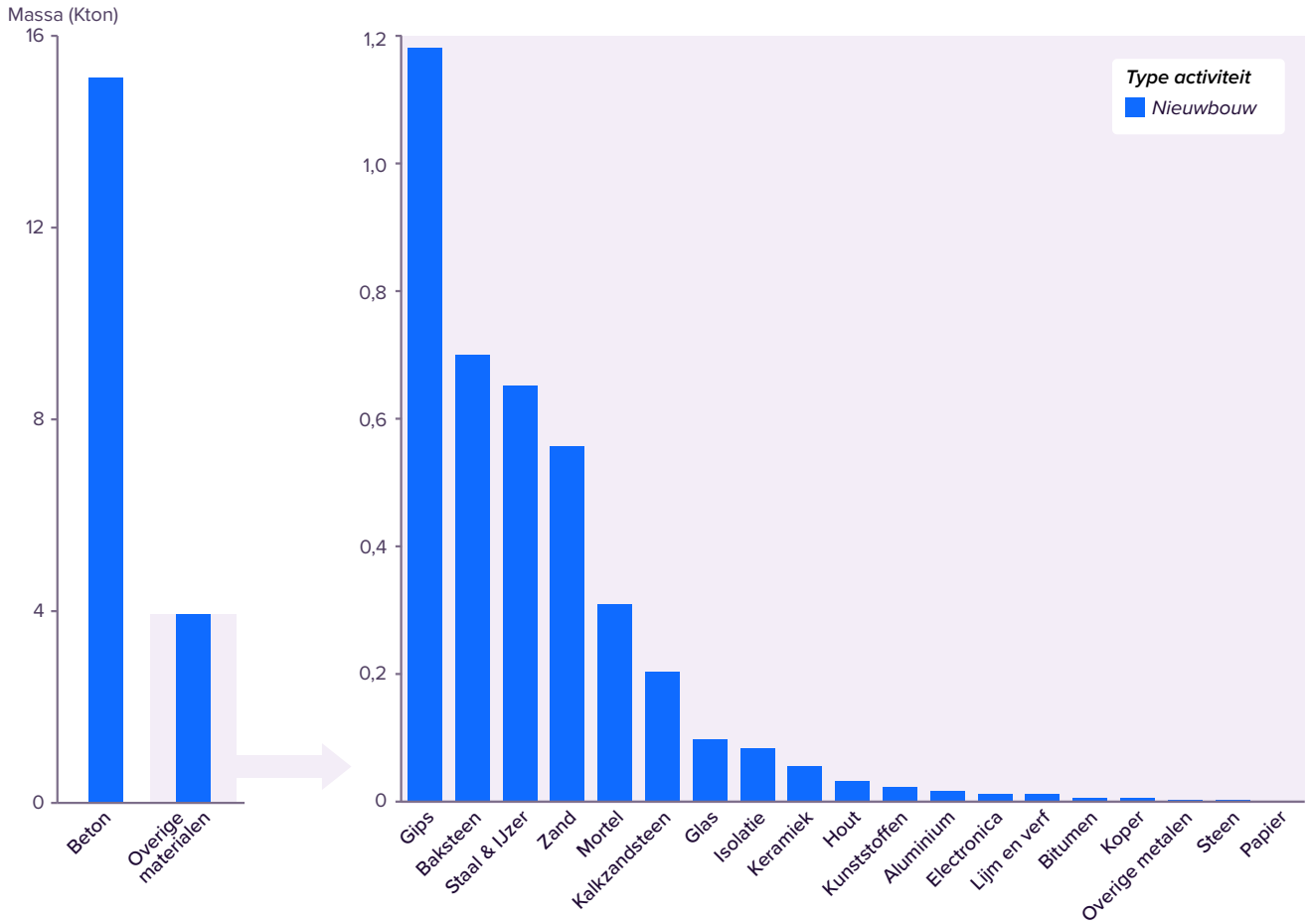
1 Scenario BAU - Laarkwartier

De materiaalanalyse voor het Laarkwartier laat zien dat de volledige ontwikkeling van 15.879 m^2 uit nieuwbouw bestaat en er geen sprake is van sloop of transformatie. De totale materiaalbehoefte moet daarom volledig door externe aanvoer worden gedekt.

In het standaard bouwscenario (BAU) wordt de materiaalvraag voor het Laarkwartier als volgt gekenmerkt:

- **Beton:** De nieuwbouwopgave vereist circa 15 Kton aan beton, wat veruit de grootste massastroom binnen het project vormt.
- Overige materialen: Op grote afstand volgen **gips** (~1,2Kton), **baksteen** (~0,8 Kton), **staal & ijzer** (~0,7Kton) en **zand** (~0,6 Kton).

Voor het Laarkwartier is de circulaire uitdaging niet het matchen van lokale vraag en aanbod, maar het maken van duurzame keuzes bij de ontwerpfase van de gebouwen. De lage milieu-impact kan worden gerealiseerd door het toepassen van biobased materialen of het betrekken van secundaire bouwstoffen van externe locaties (zoals Rijnpark of Laarkwartier)



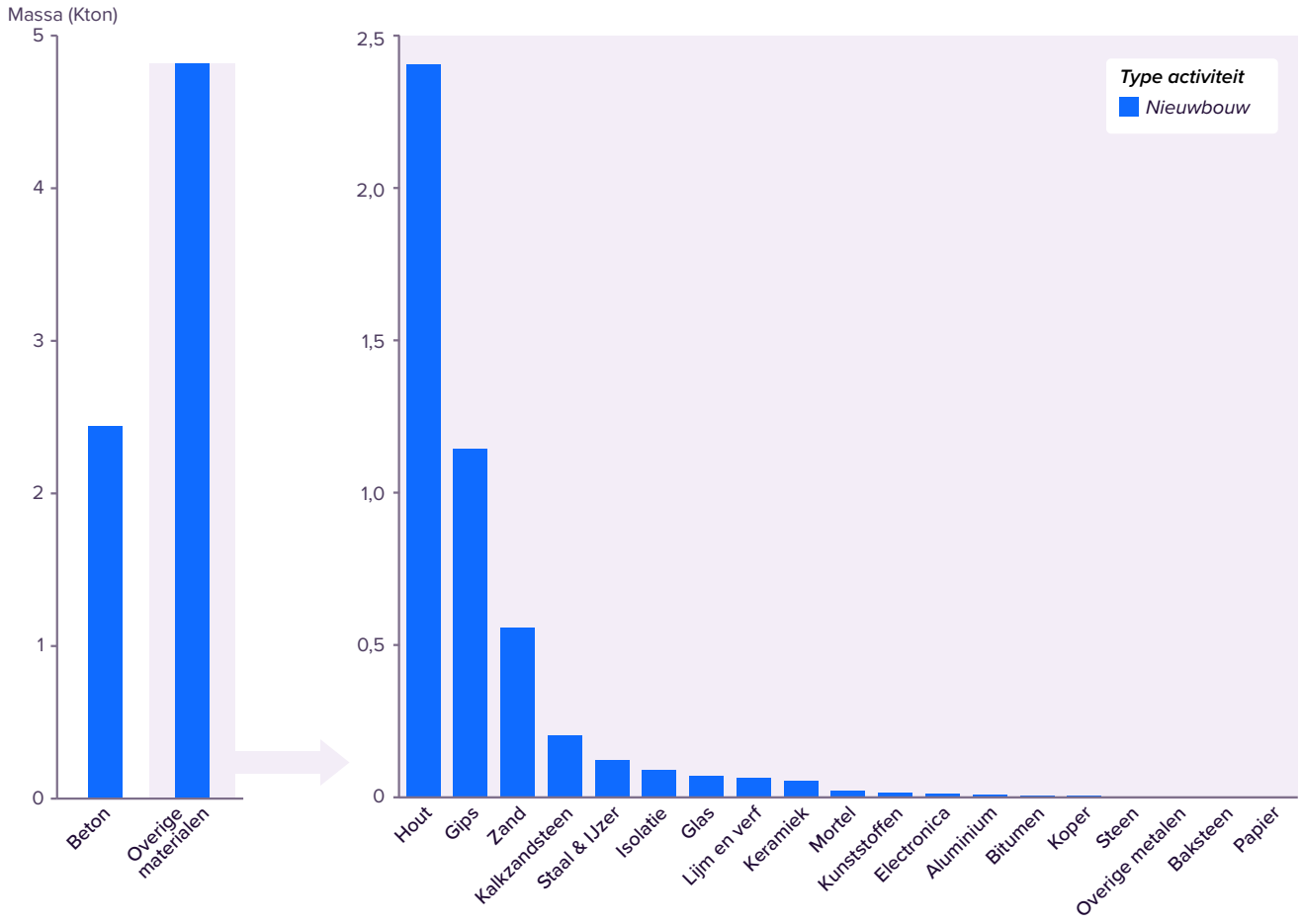
Figuur 22: Inschatting van de benodigde materiaalhoeveelheden voor de nieuwbouw in het Laarkwartier volgens traditionele bouwmethoden (BAU).

2 Scenario Biobased - Laarkwartier

Wanneer het Laarkwartier volgens een biobased scenario wordt ontwikkeld, verandert de materiaalbalans van het project significant. **Door de reductie in de benodigde totale massa is het mogelijk om 1 Kton aan CO_2 te besparen, wat een 25% reductie zou zijn.**

De reflectie op dit scenario kent de volgende kernpunten:

- In het traditionele (BAU) scenario was alleen al voor **beton** circa 15 Kton aan materiaal nodig. In het biobased scenario daalt de totale materiaalvraag per categorie naar een maximum van slechts 2,45 Kton. Dit kan bijvoorbeeld een lichtere constructie betekenen, en tevens minder logistieke bewegingen naar de bouwplaats.
- **Hout** wordt één van de belangrijkste bouwstof met een behoefte van circa 2,45 Kton
- Verschuiving in afwerkingsmaterialen: De vraag naar materialen zoals **gips** (~1,15 Kton) en **zand** (~0,55 Kton) blijft aanwezig, maar de noodzaak voor zware minerale stromen zoals kalkzandsteen en staal wordt geminimaliseerd tot kleine fracties (onder de 0,2 Kton).



Figuur 23: Verschuiving in de materiaalvraag voor Laarkwartier (Biobased voor nieuwbouw).

3. Product-Markt Combinaties

In dit hoofdstuk wordt de vertaalslag gemaakt van de theoretische en kwantitatieve 'voorraad' uit de urban mine naar concrete kansen voor de markt. In deze analyse wordt het potentiële beschikbare volume aan herbruikbaar materiaal gekwantificeerd. Dit wordt genoteerd in de gangbare meeteenheid voor het product (bijv. m^2 aan kanaalplaatvloeren). Er wordt een optimistisch scenario gehanteerd; wanneer pilots in de sector hebben aangetoond dat hergebruik technisch haalbaar is, is dit meegenomen als een reële mogelijkheid voor de Arnhemse opgave. Naast technische haalbaarheid zijn een goed georganiseerde logistiek en een grondige kwaliteitsbeoordeling van de materialen cruciale randvoorwaarden om hergebruik tot een kosteneffectieve en betrouwbare standaard te maken. Het is essentieel dat de bouwketen deze bestaande oplossingen opschaalt en nieuwe toepassingen ontwikkelt die aansluiten op de materialen die vrijkomen in Arnhem.

Wat is een PMC?

Product-Markt Combinaties (PMC's) zijn marktgerichte toepassingen waarbij materialen, componenten of producten uit sloop- en renovatieprojecten opnieuw worden ingezet in de bouw. Dit gebeurt in de vorm van gerecyclede, herbewerkte, opgeknapte of direct hergebruikte materialen. De focus van deze analyse ligt specifiek op hoogwaardige circulaire toepassingen; laagwaardig hergebruik (downcyclen) wordt hierbij nadrukkelijk uitgesloten.

De technische haalbaarheid voor direct hergebruik van verschillende materiaalstromen is aanzienlijk toegenomen in de afgelopen jaren, gedreven door innovatieve 'oogsttechnieken' en nieuwe certificeringsrichtlijnen zoals de NTA 8713 voor staal.[27] Voor prefab beton (kanaalplaten) en staal zijn schaalbare marktmodellen in ontwikkeling. Een goed voorbeeld hiervan is VBI, die voor kanaalplaatvloeren naast een retournamecertificaat voor nieuwe demonteerbare projecten nu ook de mogelijkheid biedt om gereviseerde kanaalplaten met een nieuwe garantie aan te schaffen. Een doorbraak is zichtbaar in in-situ beton, waar recente pilots in Leiden aantonen dat het uitzagen van vloervelden technisch en logistiek haalbaar is, waarmee een enorm volume aan potentiële 'urban mining' wordt ontsloten.[28]

Ook het hergebruik van producten als hout en baksteen is mogelijk, maar leunt nu sterk op arbeidsintensieve processen, waarbij sociale werkplaatsen en gespecialiseerde oogstbedrijven (zoals Re-brick en Klinker Historica)[29] een cruciale schakel vormen. Voor glas vindt een transitie plaats van recycling naar 're-manufacturing', waarbij bestaande ruiten worden geüpgraded naar HR++ standaarden.[30,31]

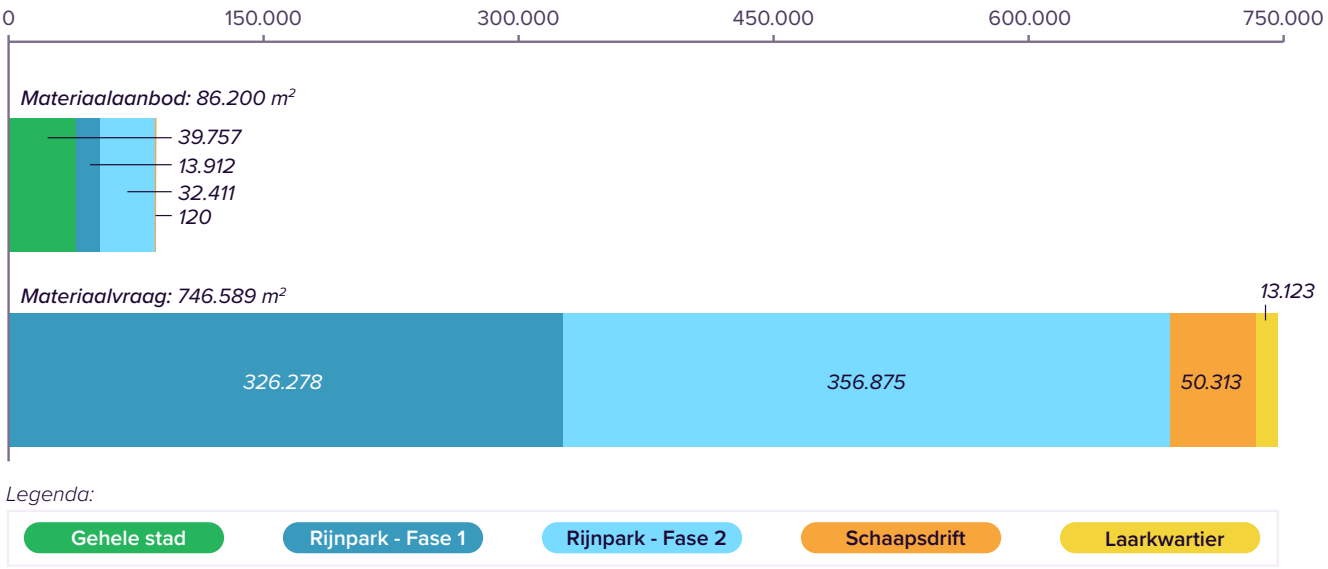
Geselecteerde PMC's

Op basis van de urban mining scan voor Arnhem zijn verschillende producten naar boven gekomen met potentie tot direct hergebruik, zoals te zien in de stukken 'Vrijkomende producten met potentie tot Hergebruik'. Uit deze brede lijst zijn, aan de hand van specifieke selectiecriteria, twee PMC's geselecteerd voor een gedetailleerde verdere uitwerking in dit rapport: kanaalplaatvloeren, door de grote volume waarin deze materiaalstroom gaat vrijkomen in Rijnpark, en bakstenen, vanwege hun aanzienlijke CO_2-impact. Deze twee PMC's bieden niet alleen substantiële kansen voor CO_2-reductie, maar dragen ook bij aan het betrekken van partijen binnen de regio, wat de lokale circulaire economie versterkt.

We zien tevens dat staal qua CO_2-impact een hoge bijdrage heeft, maar direct hergebruik van staal is nog in pilotfase voor gebouwen. Zie Bijlage B voor een aantal case studies en wat informatie over het direct hergebruik van staal en verdere mogelijkheden.

27 https://www.nen.nl/nta-8713-2023-nl-307691
28 https://dusseldorp.nu/projecten/stationspleinleiden
29 https://re-brick.nl/
30 https://www.hva.nl/projecten/2021/9/100-hergebruikt-vlakglas
31 https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/slimme-folies-en-circulaire-ramen-voor-energie-efficiente-gebouwrenovaties-37319

Beton: Prefab kanaalplaatvloeren



Figuur 24: Marktpotentie voor direct hergebruik van kanaalplaatvloeren uit vrijdragende vloeren: Volledig stedelijk aanbod versus de totale vraag in m².

ARNHEMSE POTENTIE KANAALPLAATVLOEREN

De analyse van het aanbod uit (de gemiddelden) van Arnhem Gehele Stad en de specifieke slooplocaties laat zien dat er veel potentie is om kanaalplaatvloeren te hergebruiken.

- In **Rijnpark Fase 1** wordt bij een vraag van 326.278 m² ongeveer 4.3% gedekt door het potentiële lokale aanbod van 13.912 m². In Fase 2 stijgt de vraag naar 356.875 m². Ook stijgt het aanbod van de kanaalplaatvloeren uit lokale bron naar 32.411 m², wat al een dekkingsgraad van 9.1% voorziet. In de hypothese dat de oogst uit Arnhem Gehele Stad hieraan wordt toegevoegd, ontstaat er een vraag voor de twee gebieden van 683.153 m², op een aanbod van 86.080 m² - een dekkingsgraad van ongeveer 12.6%.
- In **Schaapsdrift** is de totale behoefte 50.313 m². Met de projecten voor gemiddelde sloop in de stad als oogstbron van 39.757 m², kan in een aanzienlijk deel van de vraag worden voorzien.
- Het **Laarkwartier** heeft een behoefte van 13.123 m² aan vrijdragende vloeren, terwijl er door de oogst uit de stad potentieel al 39.757m² aan kanaalplaatvloeren beschikbaar komt. Echter komt het materiaal uit de stad over een gemiddelde sloop-periode van tien jaar en zal het niet in.

HAALBAARHEID VAN HERGEBRUIK KANAALPLAATVLOEREN

7% van de totale CO_2-uitstoot in Nederland komt van beton, voornamelijk door de productie van cement.[32] Prefab beton, en specifiek de kanaalplaatvloer, biedt één van de meest effectieve routes voor directe CO_2-reductie door hergebruik. De utiliteitsgebouwen, zoals in Rijnpark, bieden een 'oogst' aan kanaalplaten vanwege hun regelmatige structuur. Deze gebouwen beschikken vaak over grotere oppervlaktes met identieke verdiepingsvloeren, waardoor er grote volumes vrijkomen van exact dezelfde plaattype en lengte.

Er zijn tegelijkertijd specifieke uitdagingen bij het toepassen van deze 'zwaardere' platen in de woningbouw:

Kanaalplaten uit de utiliteitsbouw hebben soms onvoldoende massa voor de huidige geluidsnormen tussen woningen. Om dit op te lossen, is vaak een extra zwevende dekvloer nodig, wat invloed heeft op de totale vloerdikte, maar waarbij de milieudruk ten opzichte van een nieuwe kanaalplaatvloer nog steeds ongeveer 5 keer lager is (20%).[33]

Bij het 'delven' van platen uit de utiliteitsbouw voor gebruik in kleinere woningbouwprojecten, moeten de platen vaak op maat worden gezaagd. Hierbij gaat een deel van de effectieve lengte verloren om aan de nieuwe ontwerpmaten te voldoen (pasplaten).

32 https://betonhuis.nl/betonhuis/de-betonindustrie-en-CO2-wat-de-impact-op-de-totale-uitstoot-nederland
33 https://vbi.nl/nieuws/studie-hergebruik-van-kanaalplaatvloeren/

De dikkere platen uit de utiliteitsbouw (bijv. 320 mm in plaats van 200 mm) kunnen de vrije hoogte in een woning beperken als hier in het ontwerp[34, 35] niet vroegtijdig rekening mee wordt gehouden.

Teruggewonnen materialen moeten systematisch worden getest en beoordeeld op hun technische staat om te bepalen of ze direct herbruikbaar zijn of verdere bewerking nodig hebben. Het gebrek aan consistente garanties op de prestaties en levensduur van hergebruikte betonproducten vormt momenteel nog een barrière voor grootschalige marktacceptatie. Om marktacceptatie te verbeteren, kan de overheid circulaire eisen en prestatieafspraken integreren in aanbestedingen en contracten. Hiernaast zal het echter nodig blijven om, zoals VBI op dit moment al aanbiedt, garanties te geven op direct hergebruikte producten - een proces dat meer eenduidig wordt met nieuwe standaarden zoals de NTA 8.713 voor hergebruikt staal.[36]

Het project Prinsenhof A in Arnhem dient als een belangrijk landelijk voorbeeld voor het circulair delven van beton. Bij de demontage van dit provinciale kantoorgebouw is bewezen dat grootschalig 1-op-1 hergebruik van betonelementen, zoals kanaalplaatvloeren, technisch en organisatorisch haalbaar is. In totaal zijn 594 kanaalplaten (circa 7 kilometer aan lengte) succesvol geoogst en direct hergebruikt in drie nieuwe projecten: een nieuwe sporthal in Arnhem, een circulaire fietsenstalling en een circulair centrum in Heerde. Eén van de grootste barrières voor hergebruik, de garantie op constructieve veiligheid, is opgelost door een samenwerking met de oorspronkelijke leverancier Dycore. Gezamenlijk met de gemeente Arnhem en aannemer Lagemaat is een uitvoeringsprotocol opgesteld voor de garantiestelling van tweedehands kanaalplaatvloeren, dat aansluit bij de eisen van verzekeraars en bouwvergunningen.

Kosten

Hoewel de milieuwinst onbetwist is, liggen de verwachte kosten voor geoogste kanaalplaten 10-15% hoger dan voor nieuwe platen. Dit wordt veroorzaakt door de arbeidsintensieve demontage en logistiek. Echter, in aanbestedingen waar zwaar wordt gestuurd op de Milieu Kosten Indicator (MKI), kan de gebruikte plaat financieel aantrekkelijker worden door de fictieve korting die wordt verleend voor de lage CO_2-score.

Herwinnen zand, grind en cement

Wanneer direct hergebruik technisch of economisch niet haalbaar is (bijv. door beschadiging, vervuiling of constructieve onzekerheid), is hoogwaardige recycling noodzakelijk om de keten te sluiten. Traditioneel breken van beton levert betongranulaat op, waarbij zand, grind en cementsteen aan elkaar blijven kleven. Dit is prima voor wegenbouw, maar minder geschikt voor nieuw hoogwaardig beton.

Een voorbeeld van een innovatie die juist wel laat zien dat recyclaat ook hoogwaardig ingezet kan worden, is de Nederlandse innovatie *SmartCrusher*. De SmartCrusher oefent druk uit waardoor het beton breekt op de zwakste schakel: de binding tussen cement en zand/grind. Hierdoor komen de oorspronkelijke fracties (schoon zand, schoon grind) vrij, die 1-op-1 nieuw zand en grind kunnen vervangen. Ondernemingen zoals *Urban Mine* passen deze innovatieve beton verwerkingstechnieken toe. Zand en grind zijn waardevol in het verminderen van de vraag naar primaire grondstoffen voor nieuw beton. De hoogste CO_2-reductie wordt bereikt met het herwinnen van cement, gezien 56% van de CO_2-emissies van beton voortkomt uit de productie van cement. Nog belangrijker is dat de fractie 'cementsteen' vrijkomt. Deze kan deels worden gereactiveerd of dienen als hoogwaardige grondstof voor nieuwe cementproductie. Hiermee wordt de cirkel gesloten, van beton naar beton.

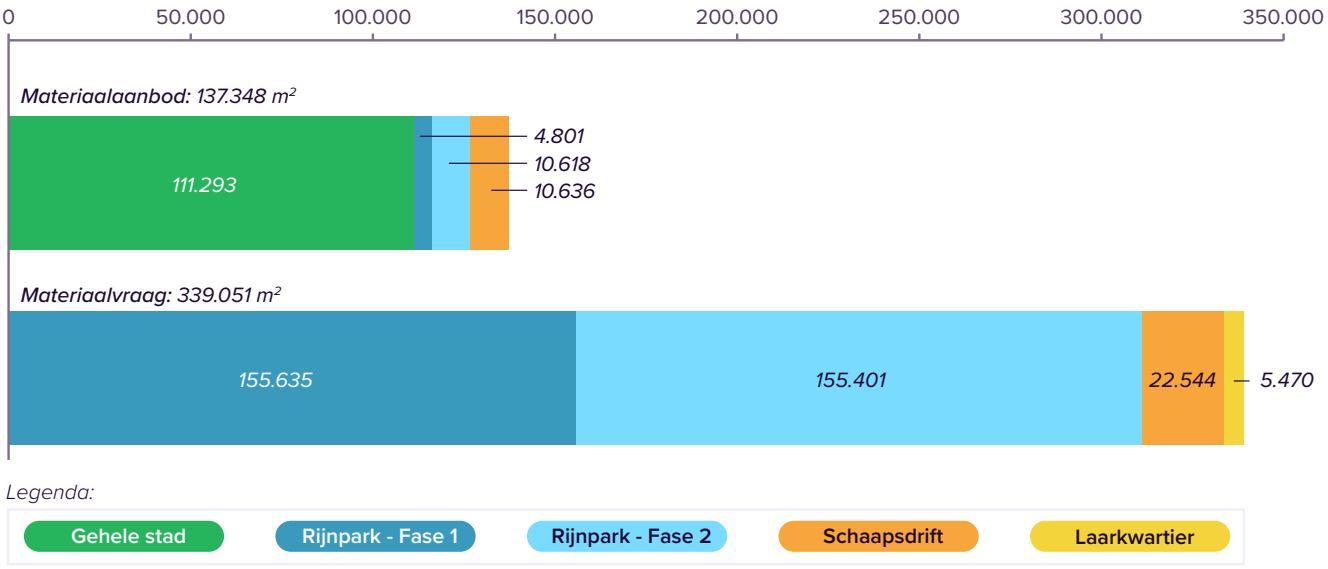
Een ander voorbeeld is het bedrijf *Everox*, dat met partners waaronder de TU Delft aan een innovatieve installatie bouwt om niet-gehydrateerd cement uit betonpuin terug te winnen, dat toegepast kan worden als vervanging van nieuw cement.

34 Voorbeeld voor circulair ontwerpen, zie protocol hergebruik kanaalplaatvloeren: https://www.skgikob.nl/images/afbeeldingen/beoordelingsrichtlijnen/SKG-IKOB-Protocollen/SKG-IKOB_-_Protocol_Circulair_Bouwen_-_Hergebruik_kanaalplaatvloerdelen_V1_d.d._12-03-2020.pdf

35 Voorbeeld voor circulair ontwerpen, zie leidraad Circulair ontwerpen 2.0: https://platformcb23.nl/wp-content/uploads/PlatformCB23_Leidraad_Circulair-ontwerpen.pdf

36 De NTA helpt bij het opstellen van een keuringsdocument om te controleren of het her te gebruiken staal voldoet aan het Bouwbesluit - zie: *https://milieudatabase.nl/nl/actueel/nieuws/nta-8713-hergebruik-van-staal-voorziet-in-een-behoefte/*

Bakstenen



Figuur 25: Marktpotentie voor direct hergebruik van bakstenen uit spouwmuren buitenblad: Volledig stedelijk aanbod versus de totale vraag in m².

ARNHEMSE POTENTIE BAKSTENEN

De analyse van de Product-Markt Combinaties (PMC's) voor bakstenen in Rijnpark Fase 1 biedt een eerste inzicht in hoe specifiek geoogste materialen kunnen worden gematcht met de nieuwe bouwbehoefte. In deze analyse wordt specifiek de match tussen gevelbakstenen die weer als gevelbakstenen ingezet kunnen worden bekeken. Ook uit andere gebouwonderdelen komen potentieel bakstenen vrij.

In plaats van te kijken naar baksteen als één grote reststroom op massabasis, wordt hier voor het bouwelement 'spouwmuren buitenblad' ofwel gevelstenen gekeken in hoeverre de lokale 'oogst' aan de vraag kan voldoen. Een deel van de muuromvang zal bestaan uit metselmortel wat tussen de bakstenen aangebracht is - hier zal hoogwaardige recycling toegepast moeten worden.[37]

De analyse van het aanbod uit (de gemiddelden) van Arnhem Gehele Stad en de specifieke slooplocaties laat zien dat er veel potentie is om bakstenen te hergebruiken:

- In **Rijnpark fase 1** schatten we een behoefte van tenminste 155.635 m² aan gevelstenen, wat betekent dat er met een lokale oogst van ongeveer 4801 m² bakstenen spouwmuur in het buitenblad ongeveer 3-4% van de totale vraag kunnen dekken.
- In **Rijnpark fase 2** verwachten we een vraag van rond de 155.401 m² aan spouwmuren buitenblad, waarbij er rond de 10.617 m² aan bakstenen muur vrijkomt. Hiermee kan ongeveer 6-7% van de totale nieuwe vraag worden gedekt.
- In **Arnhem Gehele Stad** worden in de periode 2025-2035 naar verwachting veel grondgebonden woningen gesloopt, waarbij naar schatting meer bakstenen muren gebruikt zijn. Met een oogst uit de gemiddelde sloop van de stad die weleens rond de 111.000 m² aan spouwmuren buitenblad van baksteen zou kunnen liggen, kan dit een belangrijke bron zijn van bakstenen.
- In **Schaapsdrift** verwachten we een aanbod van ongeveer 10.635 m² aan bakstenen uit het buitenblad. De materiaalvraag ligt rond de 22.544 m², waarmee het gebied dus bijna 50% van haar vraag zou kunnen voorzien uit de lokale oogst.
- In het **Laarkwartier** is er geen lokale oogst om uit te putten, wel een vraag van ongeveer 5.471 m² aan spouwmuren buitenblad.

37 De mogelijke CO_2 besparing bij het hergebruik van de bakstenen zoals beschreven in hoofdstuk 2, is gebaseerd op alleen de bakstenen zonder de mortel.

HAALBAARHEID VAN HERGEBRUIK BAKSTENEN

De Arnhemse baksteenarchitectuur is onderdeel van de lokale identiteit, maar het hoogwaardig hergebruik van het bouwmateriaal wordt in de praktijk vaak bemoeilijkt door de sterke hechting met mortel. Het bouwjaar van een pand is hierbij een belangrijke factor voor de haalbaarheid van een circulaire aanpak. Vooral bij gebouwen van vóór 1950, waar vaker kalkmortel is toegepast, is de kans op succesvol hergebruik groter. Deze zachte mortel maakt het namelijk mogelijk om stenen makkelijk schoon te maken zonder ze te beschadigen. Hierdoor kunnen de stenen relatief eenvoudig worden schoongemaakt en opnieuw worden ingezet. Dit gebeurt al decennia en er is een levendige handel in 'oude waaltjes' en historische gevelstenen.

In de naoorlogse bouwperiode verschoof de praktijk echter naar het gebruik van cementmortel, dat vaak harder is dan de baksteen zelf. Technologische innovaties hebben dit proces echter veranderd door de introductie van gecontroleerde trillingstechnologie. Bedrijven zoals Re-brick maken het hiermee mogelijk om cementresten effectief van de steen te scheiden zonder de structurele integriteit aan te tasten. Deze aanpak richt zich specifiek op grootschalige projecten van meer dan 50.000 stenen, waarbij geoogste partijen worden gereinigd, getest en gepalletiseerd voor levering aan de aannemer.

Kosten

Bij het hergebruik van buitenbladen (gevelstenen) rekent Rebrick met een gemiddeld opbrengstpercentage van 50% tot 70%.[38] Ondanks deze relatief hoge score en de technologische vooruitgang, zorgen de arbeidsintensiviteit van het reinigingsproces en de logistiek ervoor dat een circulaire steen momenteel nog aanzienlijk duurder is dan een nieuwe steen (circa € 0,95 per stuk tegenover € 0,60 voor nieuw). De verwachting is echter dat de kostprijs door verdere mechanisering en schaalvergroting in de toekomst dichter bij die van traditionele stenen komt te liggen.

De milieu-impact van dit hergebruik is substantieel, aangezien het energie-intensieve bakproces in gasovens volledig wordt geëlimineerd. Dit resulteert in een CO_2-reductie van circa 80 - 95% ten opzichte van de productie van nieuwe stenen. Voor de omvangrijke bouwopgave in Arnhem biedt dit een kans om de ecologische voetafdruk van projecten zoals het Rijnpark drastisch te verlagen.

Hoewel er geen specifieke norm is voor hergebruikte metselstenen (zoals de NEN-EN 771-1 voor nieuwe stenen), wordt gewerkt met de BBSM-methodologie om kwaliteitsborging te bieden. De acceptatie van de esthetische 'patina', waarbij kleine maattoleranties en kleurverschillen ontstaan, wordt in de huidige architectuur steeds vaker gezien als een meerwaarde die karakter geeft aan circulaire gevels.

38 Bij de berekeningen in dit hoofdstuk gaan we nog uit van een theoretisch hergebruikpercentage van 100%.

4. Activatie van de keten

Rol van de gemeente

In de transitie naar een circulaire bouweconomie fungeert de gemeente als de cruciale schakel tussen abstract rijksbeleid en de weerbarstige praktijk van lokale bouwprojecten. De invloed van de gemeente strekt zich uit over vier domeinen: regelgeving, facilitering, opdrachtgeverschap en capaciteitsopbouw.

- Vaak kan regelgeving de juiste kaders scheppen zodat het circulaire bouwen wordt gestimuleerd. CircuLaw biedt kennis aan in de vorm van een open-source, online toegankelijk platform waarin het team werkt met een vaste methodiek om wet- en regelgeving te ontsluiten, die transparant en repliceerbaar is. Via het platform Circulaw kan de gemeente Arnhem o.a. modelteksten vinden over de volgende onderdelen:
  - » *Welstandscriteria ter bevordering van circulaire gebouwen*
  - » *Groene leges bij vergunningsaanvragen*
  - » *Erfpacht bij gronduitgifte voor circulaire voorwaarden*
- Door partijen in de keten bij elkaar te brengen, zoals slopers en verwerkers, kan de samenwerking worden versterkt. Dit vergroot de vindbaarheid van partijen en biedt mogelijkheden om in te spelen op specifieke behoeften in de keten. Provincie Noord-Holland beoogt dit door de Circulaire Deal Secundaire Bouwmaterialen, waar overheden, bouwers en opdrachtgevers samen worden gebracht om het circulaire slopen de norm te maken.[39]
- Gemeenten zoals Amsterdam, Utrecht en Rotterdam experimenteren met aanbestedingen waarin niet de laagste prijs, maar de hoogste circulariteitsscore leidend is. Gemeenten verlagen bijvoorbeeld de onrendabele top van circulaire projecten door grondprijzen te koppelen aan circulaire prestaties en door vraagzekerheid te bieden via inkoopbeleid.
- De gemeente kan richting woningcorporaties en andere partners bijdragen aan capaciteitsopbouw en het bevorderen van circulair aanbesteden in zowel demontage- als nieuwbouwprojecten door middel van kennisdeling en workshops.
- De gemeente kan tot slot experts en leveranciers in de kracht zetten door ze vanaf het vroege begin in het project te betrekken. Als deze experts tijdig de kwaliteit kunnen testen voor de haalbaarheid van hergebruik, versnelt dit het proces. Voor beton/kanaalplaatvloeren zijn dit de partijen VBI en Lagemaat, en voor betonrecycling Rutte Groep en Urban Mine. Voor bakstenen zijn mogelijke partijen: Re-Brick, Klinker Historica, Meijs Ingenieurs.

Verschillende Nederlandse gemeenten tonen aan dat circulair opdrachtgeverschap werkt:

- Metropoolregio Amsterdam (MRA): In het actieprogramma Woningproductie is vastgelegd dat de opgave van 105.000 woningen duurzaam moet worden gerealiseerd.
- Gemeente Diemen: Gebruikt gronduitgifte als sturingsmiddel; marktpartijen krijgen alleen toegang tot bouwkavels als zij voldoen aan specifieke GPR-scores en circulariteitseisen.
- Gemeente Utrecht: Hanteert ‘Het Nieuwe Normaal’ in uitvragen, met specifieke eisen voor losmaakbaarheid en het percentage geoogste materialen. Bestratingsmateriaal en straatmeubilair worden direct hergebruikt via eigen depots.

39 *https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Economie_Werk/Circulaire_economie/Circulaire_Deal#:~:text=In%20de%20Circulaire%20Deal%20Secundaire,in%20andere%20bouwprojecten%20worden%20gebruikt*.

Urban Mining in de praktijk: Oogstkaarten en fysieke circulaire bouwhubs

Om de temporele en ruimtelijke mismatch tussen aanbod van sloop en materiaalvraag te overbruggen, is actieve regie noodzakelijk.

- **Digitale infrastructuur:** De gemeente kan dit proces sturen door sloopvergunningen te koppelen aan een verplichte inventarisatie van herbruikbare materialen. Deze data kunnen vervolgens worden ontsloten op digitale platforms zoals *Oogstkaart.nl*. Door inzichtelijk te maken welke materialen waar en wanneer beschikbaar komen, wordt 'Design by Availability' mogelijk: architecten kunnen al in de vroege ontwerpfase rekenen met actuele, vrijkomende materiaalstromen. Dit is met name waardevol voor stromen met een hoge impact of specifiek volume, zoals houten elementen of de prefab betononderdelen uit de Rijnpark-ontwikkelingen.
- **Fysieke bouwhub:** De gemeente Arnhem heeft een bouwhub voor materialen die vrijkomen uit de openbare ruimte in de directe nabijheid van de ontwikkeling in Rijnpark ontwikkeling. Het is essentieel om de materiaalaanbod uit Rijnpark te plannen met de beschikbaarheid in ruimte van deze fysieke bouwhubs.

Case Study

De HER (Rotterdam): De HER is een circulair centrum in Rotterdam-West dat fungeert als hub, werkplaats en kenniscentrum. Het gebouw zelf is een manifest van hergebruik: de staalconstructie is afkomstig van een oud TNO-laboratorium in Delft en is hier opnieuw opgebouwd. De gemeente Rotterdam speelde een beslissende rol door de locatie en middelen beschikbaar te stellen. De HER biedt nu ruimte aan circulaire ondernemers en fungeert als bufferopslag voor geoogste materialen, wat de logistieke druk op binnenstedelijke bouwplaatsen verlicht.



Beeld: Jan van der Meijde, via Rotterdam Circulair.

Kanaalplaatvloeren

Voor de activatie van de keten rondom beton prefab kanaalplaatvloeren kan de gemeente Arnhem haar invloedrijke positie als regisseur van grote gebiedsontwikkelingen en de sloop door de ambities te stellen. Gezien de enorme vraag in gebieden zoals het Rijnpark, waar de stedelijke oogst momenteel slechts 14% tot 19% van de behoefte dekt, moet de gemeente een actieve rol spelen in het opschalen van regionale samenwerking om grotere volumes herbruikbare vloerdelen te ontsluiten. Dit kan door:

- Het opzetten van een digitaal dashboard voor producten als kanaalplaatvloeren, staal en bakstenen, dat de planning van sloopprojecten in de gehele regio synchroniseert met de nieuwbouwfasering, waardoor geoogste platen direct van 'bron naar bestemming' kunnen worden getransporteerd zonder kostbare tussenopslag. Dit digitale dashboard ondersteunt ook de ontwerpfase, aangezien het toepassen van circulaire kanaalplaatvloeren aanpassingen vraagt in het ontwerpproces[40], waarbij materialen al in een vroeg stadium worden geïdentificeerd en ingepland.
- Financiële ondersteuning of subsidies beschikbaar te stellen voor pilotprojecten die te maken hebben met hogere initiële kosten of technische 'leerkosten'.
- Gemeenten en woningcorporaties moeten de kennis in huis hebben om veiligheidsprotocollen en juridische standaarden voor hergebruik te begrijpen en te accepteren. Dit vraagt om gerichte investering in de juiste opleidingen.
- Verzekeraars en bouwvergunningverleners stellen eisen aan de veiligheid van hergebruikte vloeren die nu per project opnieuw worden onderhandeld. Door samen met de leverancier een vaste werkwijze vast te leggen — hoe platen worden beoordeeld, gekeurd en gegarandeerd — wordt hergebruik voorspelbaar en herhaalbaar. Prinsenhof in Arnhem laat zien dat dit werkt.

40 zie voetnoot 34, 35

Bakstenen

De gemeente Arnhem kan circulair slopen en bouwen met bakstenen stimuleren door:

- Opschalingprojecten te coördineren waarbij de gemeente als eerste afnemer optreedt van hergebruikte bakstenen uit eigen sloopprojecten — en tegelijkertijd slopers, reinigers en handelaren verbindt om de keten operationeel klaar te maken voor grotere volumes.
- Samen met andere vastgoedeigenaren circulaire eisen expliciet op te nemen in sloop- en onderhoudscontracten, inclusief voldoende doorlooptijd voor zorgvuldige demontage. Een voorafgaande inspectie van de technische staat en de gebruikte mortel is daarbij essentieel om de economische haalbaarheid per project te bepalen (voor kanaalplaatvloeren geldt hetzelfde principe: een inspectie van de verbindingsdetails en belastinghistorie voorafgaand aan demontage).
- Subsidies toegankelijk te maken of opstartkosten te compenseren bij projecten die nog niet rendabel zijn.
- Te helpen bij het identificeren van verwerkingslocaties die aansluiten op de specifieke sloopstromen in Gelderland, qua type materiaal, volume en planning, hetzij als nieuwe faciliteit, hetzij als uitbreiding van een bestaande.
- Voor de naoorlogse woningvoorraad — waarbij hardere cementmortel na 1950 hergebruik bemoeilijkt — kan de gemeente innovatieve reinigingstechnieken stimuleren via gunningscriteria, bijvoorbeeld door partijen als Rebrick te belonen die dit al in de praktijk toepassen. Arnhem kan daarbij optreden als verbinder tussen sloopprojecten en architecten, en het kenmerkende uiterlijk van oude stenen actief promoten als kwaliteit in plaats van als tekortkoming.
- Door aan te sluiten bij bestaande of te helpen bij het opzetten van regionale opslagnetwerken van bouwmaterialenpartijen, en sloopprojecten actief te koppelen aan deze netwerken, kan de kritieke massa van 50.000 stenen per project worden bereikt die een rendabele businesscase mogelijk maakt.

Aangezien de bakstenen van Arnhem niet in Rijnpark, maar uit de andere onderdelen van de sloop vrijkomen, adviseren wij de gemeente Arnhem om goed in beeld te krijgen wat de gebiedsontwikkelingen in de stad zijn, en waar ze verwachten grote volumes van baksteen te slopen. Door vroegtijdig een inventarisatie te doen, en een testfase waarin de materialen worden getoetst op mate van haalbaarheid van hergebruik, kunnen de marktpartijen op tijd aan tafel komen. Dit vraagt om een strategische benadering van de gemeente Arnhem, waarin de gemeente vooruit loopt op toekomstige ontwikkelingen en de markt hiervan op de hoogte stelt.

5. Conclusie & aanbevelingen voor Arnhem

Van slopen naar oogsten

Het starten met oogsten van bouwmaterialen begint bij de erkenning dat traditionele sloopmethoden fundamenteel niet duurzaam zijn, omdat hierbij waardevolle bouwmaterialen verloren gaan of worden vervuild. Dit sluit aan bij de duurzaamheidsambities van Nederland en de gemeente Arnhem, waar circulair bouwen en hergebruik steeds hoger op de agenda staan. Arnhem vraagt circulair slopen al standaard uit, maar de meerwaarde zit in de consequente toepassing: pas als dit bij elk project gebeurt, ontstaat het volume aan vrijkomende materialen dat nodig is om de keten structureel op gang te brengen. Door hier consistent op te sturen, kan de stad ervoor zorgen dat hergebruik vanzelf de norm wordt in plaats van de uitzondering.

Circulaire bouwstrategieen

Hergebruik van kanaalplaten, bakstenen en constructiestaal dragen aantoonbaar bij aan impactreductie. Naast het zijn van launching customer (zie de volgende alinea 'Actieve sturing van de vraag') heeft de gemeente nog andere instrumenten om hierop te sturen: via circulaire voorwaarden bij gronduitgifte, door de MPG-eisen in eigen projecten aan te scherpen boven de wettelijke minimumdrempel, en door rapportageverplichtingen op materiaalhergebruik op te nemen in samenwerkingsovereenkomsten. Maar de gemeente kan dit niet alleen realiseren; woningcorporaties, ontwikkelaars en aannemers moeten circulair en biobased bouwen niet alleen als gemeentelijke eis zien, maar als onderdeel van hun eigen ambitie.

Actieve sturing van de vraag

Technisch gezien worden in rap tempo nieuwe methoden ontwikkeld om circulair te kunnen slopen en producten her te gebruiken. We kunnen beton inmiddels uitzagen, we kunnen de kwaliteit van oud staal certificeren en we kunnen glas een tweede leven geven. De belemmeringen zitten hem dus niet in het kunnen, maar in het organiseren en financieren. De gemeente kan de circulaire transitie versnellen door actief de vraag naar hergebruikte materialen te stimuleren en zelf als 'launching customer' op te treden. Dit houdt in dat circulaire eisen en milieukosten (zoals de MKI) stevig verankerd moeten worden in aanbestedingen voor maatschappelijk vastgoed en de GWW-sector. Wees de eerste klant bij vastgoed in eigen beheer, nieuwbouw en infra, iets wat Arnhem in principe al is. Door dit ook consequent door te trekken naar circulaire materiaaleisen, bijvoorbeeld zoals bij de eisen voor onderwijsinstellingen, wordt de vraag naar hergebruikte materialen structureel en voorspelbaar. Dit geeft de markt zekerheid om te investeren in de benodigde keten.

Inzetten op hergebruik in de GWW

Er kan actief gestuurd worden op het matchen van vrijkomende GWW-materialen, zoals betonstraatstenen en bakstenen, tussen verschillende projectfasen (bijvoorbeeld van Rijnpark Fase 1 naar Fase 2). Het gebruik van bestaande of nieuwe grondstoffendepots is een noodzakelijke voorwaarde om deze materialen tijdelijk op te slaan en later weer in te zetten in de openbare ruimte. Omdat de gemeente de vrijkomende materialen uit de sloop in Rijnpark zelf beheert, kan zij direct bepalen welke materialen terugkeren in de nieuwe infrastructuur van het gebied, van straatmeubilair tot verharding. Dit biedt ook een kans om een belangrijk knelpunt aan te pakken: hergebruik strandt in de openbare ruimte regelmatig omdat materialen esthetisch niet passen binnen bestaande beeldkwaliteitsplannen. Door bij Rijnpark vanaf het begin rekening te houden met het uiterlijk van hergebruikte materialen, en dit als uitgangspunt mee te geven aan ontwerpers, wordt het gebied een concreet voorbeeld van hoe hergebruik en ruimtelijke kwaliteit elkaar kunnen versterken.

Vraagreductie

Tot slot moeten we niet uit het oog verliezen dat hoger op de r-ladder altijd de voorkeur heeft: blijf als gemeente inzetten op reductie van de vraag, waarbij de nadruk verschuift naar renovatie, levensduurverlenging en compactere bouwprogramma's. Dit is de meest effectieve manier om het gebruik van nieuwe grondstoffen structureel te beperken.

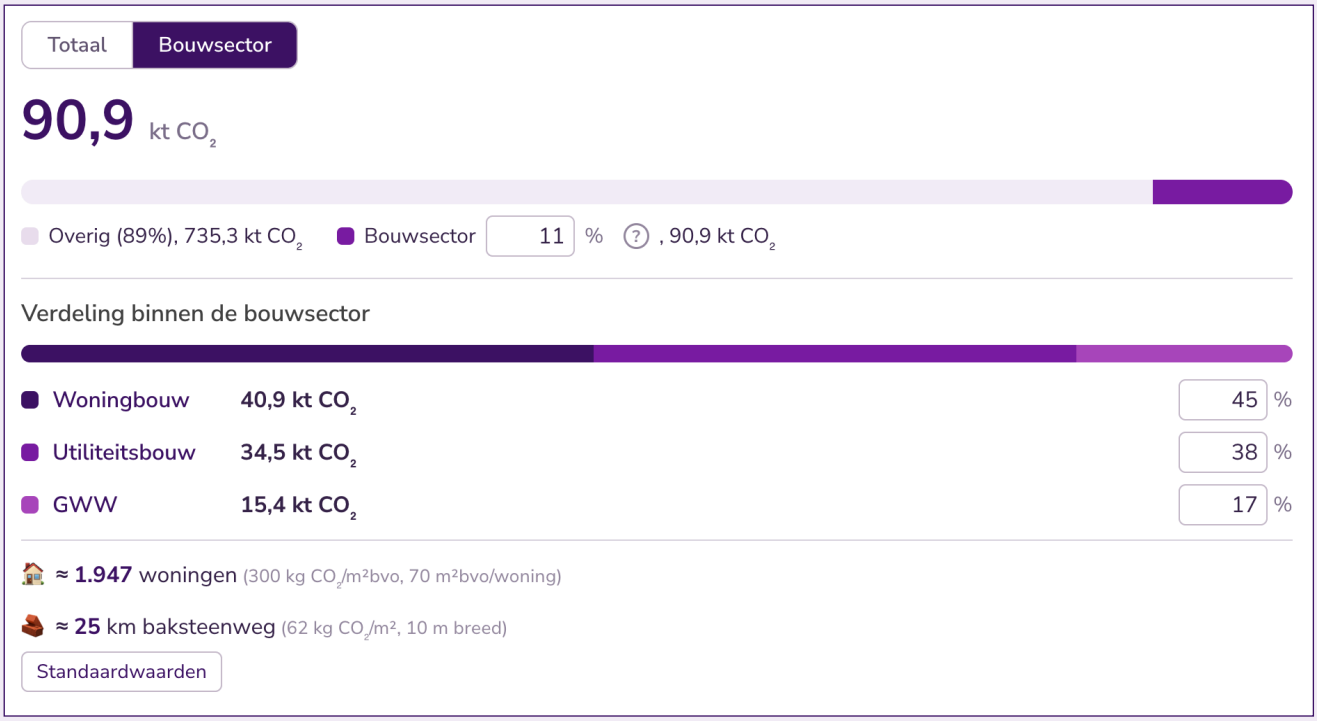
Hanteer een CO_2-budget

In het Klimaatakkoord van Parijs hebben we met vrijwel alle landen ter wereld afgesproken dat de aarde in 2050 met niet meer dan 1,5 à 2 graden Celsius is opgewarmd. Om de ambities waar te maken, moet de gemeente van volgend naar sturend bewegen. De bouwactiviteiten leggen een aanzienlijk beslag op de resterende emissieruimte.

CO_2 zou net als stikstof een kritieke uitstootwaarde moeten krijgen die niet overschreden mag worden, een CO_2-budget. Onderstaand interactieve dashboard, ontwikkeld voor alle gemeenten in Nederland door Structural Collective[41], biedt een handvat om deze abstracte doelen concreet te maken. Het dashboard toont het resterende budget per begin 2026 op basis van verschillende grenswaarden 1,5 tot 2 graden opwarming.

Het CO_2-budget stelt grenzen aan de uitstoot van de gemeente Arnhem, maar helpt ook om de juiste circulaire keuzes te maken in de ontwerpfases. Figuur 26 is een ruwe inschatting en is bedoelt als een instrument om het gesprek te starten. Het stelt de gemeente Arnhem in staat om de verschillende scenario's tegen elkaar af te wegen en zelf de regie te pakken in de afwegingen die zij maakt.

Door een budget te hanteren, voldoet de gemeente aan haar zorgplicht en beperkt zij juridische risico's. Het helpt de gemeente om te blijven investeren in essentiële maatschappelijke functies, terwijl ze aantoonbaar invulling geeft aan de Nederlandse klimaatwet en de bestaanszekerheid van haar burgers beschermt.



Figuur 26: Indicatie van het resterende CO_2-budget voor de bouwsector in Arnhem, berekend op basis van het 1,5°C-scenario met een waarschijnlijkheid van 67%.

41 CO_2-begroting dashboard https://insights.structuralcollective.nl/carbon-budget-dashboard/?sector=construction

Bijlagen

Bijlage A:
Methodologische toelichting

Deze bijlage beschrijft de rekenmethodiek achter de impactanalyse en de materiaalstromen (marktplaats). Het doel van het model is om op basis van algemene projectgegevens (zoals vierkante meters en functies) een gedetailleerde inschatting te maken van de aanwezige materialen, de milieu-impact (CO_2-uitstoot) en het potentieel voor hergebruik.

Het rekenmodel volgt een stapsgewijs proces, dat hieronder wordt toegelicht.

Brongegevens

Het model combineert specifieke projectdata met vaste referentiedatabases:

Project scope: De specifieke invoer van het project, bestaande uit gebouwdelen (groepen), oppervlaktes (m^2) en het type ingreep (sloop, nieuwbouw of transformatie).

Materialenbibliotheek (bible): Een database met fysieke eigenschappen van materialen, zoals soortelijk gewicht (kg per eenheid) en materiaalcategorieën.

Reuse database: Een database met producten die we direct herbruikbaar achten.

Impact database: Bevat de emissiefactoren (GWP - Global Warming Potential) per materiaal, gebaseerd op de levenscyclusfasen A1-A3 (productie) en A5 (bouwproces).

Profielen: Voor elk type gebouw (bijv. “Kantoor jaren ‘80” of “Appartementen nieuwbouw”) is vastgelegd welke materialen er gemiddeld per vierkante meter aanwezig zijn.

Van oppervlakte naar materialen (Materialisatie)

De eerste rekenstap is het vertalen van abstracte vierkante meters naar concrete hoeveelheden materiaal (zie voor een overzicht van de methode achter de totale aantallen vierkante meters per gebouwtype bijlagen E en F). Dit wordt in de analyse de “materiaal-explosie” genoemd.

De berekening

Voor elk gebouwdeel wordt het aantal vierkante meters vermenigvuldigd met het bijbehorende profiel. Daarbij wordt rekening gehouden met het bouwjaar (cohort), omdat een muur uit 1950 andere eigenschappen heeft dan een muur uit 2020.

Formule:

*Oppervlakte (m^2) * Aantal eenheden per m^2 * Gewicht per eenheid = Totaal gewicht (kg)*

Het resultaat is een volledige materiaallijst (inventaris) van het project, alsof het gebouw virtueel uit elkaar is gehaald.

Berekening opwarmings-impact (GWP)

Om de opwarmings-impact te bepalen, kijken we naar de Global Warming Potential (GWP), uitgedrukt in kilogram CO_2-equivalenten (kg CO_2eq).

Baseline (Nulmeting)

Dit is de impact van het project als alles op de traditionele manier zou worden uitgevoerd (reguliere sloop en nieuwbouw met nieuwe materialen).

*Berekening: Totaal gewicht product * CO_2-emissiefactor voor het product per kg.*

Scenario Vergelijking (BAU vs. Transformatie)

Het model vergelijkt verschillende scenario’s (bijvoorbeeld *Business As Usual* versus *Transformatie*). Het verschil in impact wordt bepaald door te kijken welke materialen in het transformatie-scenario nodig zijn per m^2, versus de hoeveelheid materialen die voor nieuwbouw van hetzelfde aantal vierkante meters nodig zijn.

Circulariteit en CO_2-besparing

Het model berekent hoeveel CO_2 er bespaard kan worden door materialen hoogwaardig te hergebruiken in plaats van te recyclen of te storten.

Hergebruik-criteria

Niet alle materialen zijn geschikt voor hergebruik. Het model koppelt elk materiaal aan een 'Product Markt Combinatie' (PMC) en een strategie. Dit wordt gedaan aan de hand van de 'Reuse database', waarvan de belangrijkste producten beschreven staan (als PMC) in hoofdstuk 2.

Strategie: Er wordt alleen gerekend met besparingen als de strategie expliciet op "Hergebruik" staat (en dus niet slechts op "Recyclen").

Ratio: Er wordt een hergebruik-ratio toegepast. Dit is een percentage dat aangeeft welk deel van het materiaal daadwerkelijk in goede staat geoogst kan worden (we nemen hier nu een theoretisch maximum van 100% aan).

Berekening besparing

De CO_2-besparing wordt berekend over het deel van het product dat hergebruikt kan worden. Hierbij wordt een regel van 50% besparing in de totale uitstoot van CO_2eq voor een vervangend nieuw product gehanteerd. We nemen aan dat 100% van de totale massa van de producten hergebruikt kan worden, wat natuurlijk in de praktijk lager uit zal vallen.

Formule Besparing:

*Gewicht * Hergebruik-ratio * CO_2-factor * 0,5*

PMC: Vraag en Aanbod

Tot slot brengt het model vraag en aanbod bij elkaar op element-niveau om te bepalen wat er intern uitgewisseld kan worden.

1. Aanbod (Supply): Alle producten uit de sloop-scenario's die gemarkeerd zijn als herbruikbaar. We pakken hier specifiek een verzameling van materialen (bijvoorbeeld baksteen en mortel in het product baksteenmetselwerk) in een product en rekenen per 'unit', bijvoorbeeld m^2 of stuks.

2. Vraag (Demand): Het totale volume van een bepaald element dat nodig is voor de nieuwbouw- of transformatie. Hier kijken we dus niet naar het product (zoals baksteenmetselwerk) maar eerder in welk element dit product zich bevindt, en hoeveel vraag we schatten dat er zal zijn in het nieuwbouw of transformatie-scenario. We hebben het hier dus eerder over 'spouwmuren buitenblad' waar baksteenmetselwerk een bron zou zijn voor producten die hier gebruikt kunnen worden.

3. Matching: Het model kijkt niet alleen naar het materiaal (bijv. 'hout'), maar naar het functionele element (bijv. 'binnendeur').

Promotie-logica: Omdat een element (zoals een raam) uit meerdere materialen bestaat (glas, hout, aluminium), kijkt het model naar het belangrijkste onderdeel om te bepalen of het hele element herbruikbaar is.

Dit is dus niet 100% accuraat - maar het meest logische met de huidige data-structuur: het betekent bijvoorbeeld dat een bakstenen muur (bestaande uit bakstenen en mortel) nu voor 100% qua m^2 muur meegenomen wordt als 'baksteen', met de aanname dat deze bijvoorbeeld toegepast kunnen worden om de vraag naar 'spouwmuren buitenblad' te vervullen voor nieuwbouw en transformatieprojecten. De mortel zal echter niet direct hergebruikt worden, en dus zit er een uiteindelijk verschil tussen de totale oppervlakte aan puur baksteen, en de mortel die hier voor hergebruik afgehaald wordt.

Resultaat

Het saldo van Vraag en Aanbod toont per element of er een surplus is (producten over voor gebruik elders) of een tekort (er moet materiaal van buitenaf of nieuw worden ingekocht).

Bijlage B:
Staal

Hoewel staal in de basis al voor 90% gerecycled wordt, kost het omsmelten ervan veel energie. Het Consortium Hergebruik Staal (geïnitieerd door BAM en partners) bewijst dat het duurzamer kan door staal niet te recyclen, maar direct hoogwaardig te hergebruiken.[42] Dit levert grote CO_2-winst op, maar vraagt om een fundamenteel ander proces.

- Balken moeten voorzichtig worden verwijderd om beschadiging te voorkomen.
- Validatie (NTA 8713):[43] Om 'oud' staal in een nieuwe constructie te mogen gebruiken, moet de kwaliteit gegarandeerd zijn. Het geoogste staal moet grondig gekeurd worden op materiaalsterkte, samenstelling en toxische stoffen (zoals chroom-6). Dit proces van keuren en certificeren volgt de principes van de NTA 8713, waardoor een gebruikte balk technisch weer als 'nieuw' bouwmateriaal kan worden ingezet.
- Er zijn al partijen zoals Impexstaal en Adex die zorgen voor de logistiek: van demontage en keuring tot opslag en bewerking, zodat er een marktwaardig assortiment ontstaat.

Het werken met geoogst staal vereist een flexibele houding van de architect en bouwer, oftewel 'Material Driven Design'.[44] In plaats van eerst te ontwerpen en dan materialen te bestellen, wordt er ontworpen op basis van de beschikbare 'oogst' (de voorraad). Aangezien er in Arnhem een groot volume aan constructiestaal vrijkomt van het bedrijventerrein Rijnpark, is dit een super relevante stroom.

Echter, ook kan het hier zijn dat vraag en aanbod verspreid zijn in tijd en ruimte. Door netwerken te koppelen, kunnen partijen snel schakelen en ontwerpen aanpassen aan de beschikbare profielen.

Het consortium Hergebruikt Staal heeft al wel een aantal projecten opgeleverd die als voorbeeld kunnen dienen voor een succesvolle aanpak:

- De HER (Rotterdam): Een voormalig laboratorium in Delft is gedemonteerd en de staalconstructie is direct hergebruikt voor de opbouw van dit circulaire milieupark in Rotterdam.
- Doorlaatpost Schiphol: Ook hier is hergebruikt staal toegepast in een nieuwe constructie.

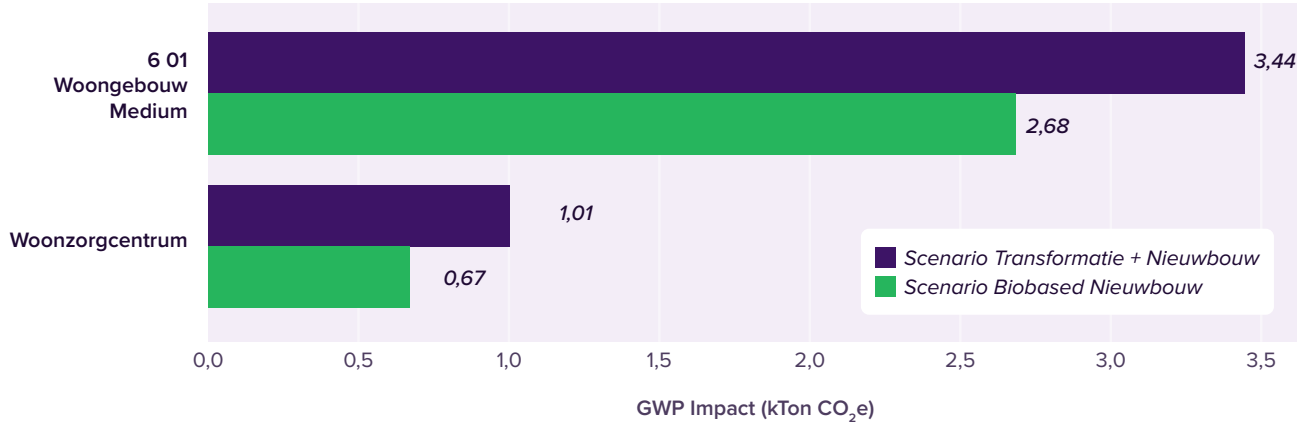
Technisch en financieel lijkt direct hergebruik van (constructie)staal zeker haalbaar. De stap moet echter nog wel gezet worden van projectmatige successen naar een gestandaardiseerd proces, waarbij hergebruikt staal als volwaardig alternatief naast nieuw staal gebruikt kan worden.

40 *https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Economie_Werk/Circulaire_economie/Circulaire_Deal#:~:text=In%20de%20Circulaire%20Deal%20Secundaire,in%20andere%20bouwprojecten%20worden%20gebruikt*.
41 *https://www.noord-holland.nl/Onderwerpen/Economie_Werk/Circulaire_economie/Circulaire_Deal#:~:text=In%20de%20Circulaire%20Deal%20Secundai-*

Bijlage C:
Biobased scenario's en impact reductie

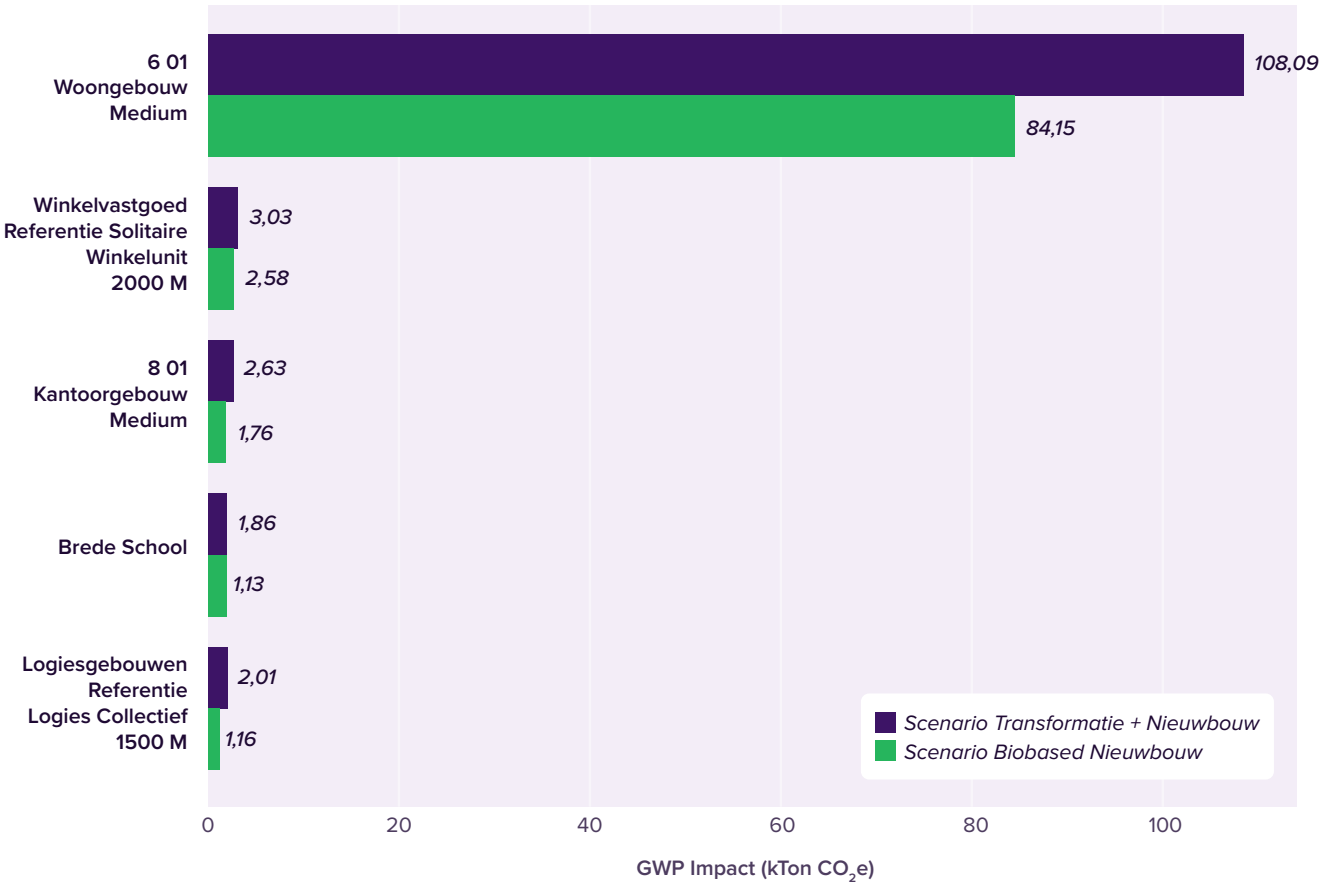
'Total area' is hier kleiner dan het totale m^2 BVO dat ontwikkeld wordt in een gebied, omdat we voor de profielen waarbij er bedrijfshallen met kantoren gebouwd worden naar onze inschatting, we geen biobased profiel hebben toegepast. Dit is waarschijnlijk een lichte onderschatting van het aandeel biobased, aangezien een deel van deze bedrijfshallen juist in een mixed-functie gebouw geplaatst zullen worden waar ze dus wel meer met een biobased methode gebouwd worden. In het scenario Biobased Nieuwbouw wordt ook transformatie meegenomen voor dezelfde gebouwen als scenario Transformatie + Nieuwbouw.

Step 3da: Arnhem - Laarkwartier



Project Group: **Arnhem - Laarkwartier** Total Area: **15.879 m²**	Scenario Transformatie + Nieuwbouw	4,4468 kTon CO_2e	Transformatie	8 01 Kantoorgebouw Medium
	Scenario Biobased Nieuwbouw	3,3507 kTon CO_2e	→ Biobased	8 01 Kantoorgebouw Medium
	Savings	1,0961 kTon CO_2e	Transformatie	6 01 Woongebouw Medium
			→ Biobased	6 01 Woongebouw Medium

Step 3db: Arnhem - Rijnpark - Fase 1



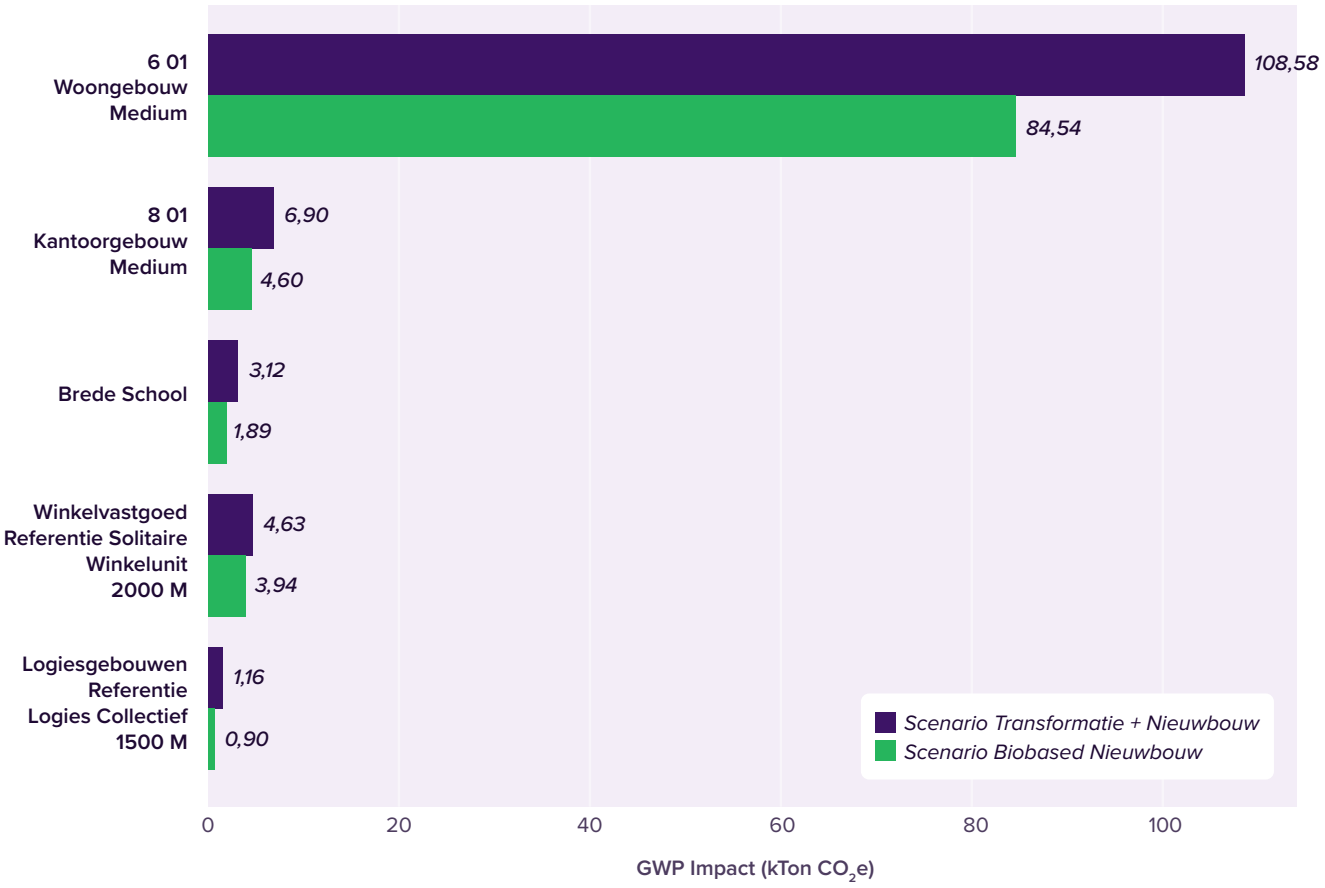
Project Group:
Arnhem - Rijnpark - Fase 1

Total Area:
407,095 m²

Scenario Transformatie + Nieuwbouw	117,6369 kTon CO_2e
Scenario Biobased Nieuwbouw	90,7806kTon CO_2e
Savings	26,8563 kTon CO_2e

Transformatie	Logiesgebouwen Referentie Logies Collectief 1500 M
→ Biobased	Logiesgebouwen Referentie Logies Collectief 1500 M
Transformatie	Brede School
→ Biobased	Brede School
Transformatie	8 01 Kantoorgebouw Medium
→ Biobased	8 01 Kantoorgebouw Medium
Transformatie	Winkelvastgoed Referentie Solitaire Winkelunit 2000 M
→ Biobased	Winkelvastgoed Referentie Solitaire Winkelunit 2000 M
Transformatie	6 01 Woongebouw Medium
→ Biobased	6 01 Woongebouw Medium

Step 3dc: Arnhem - Rijnpark - Fase 2

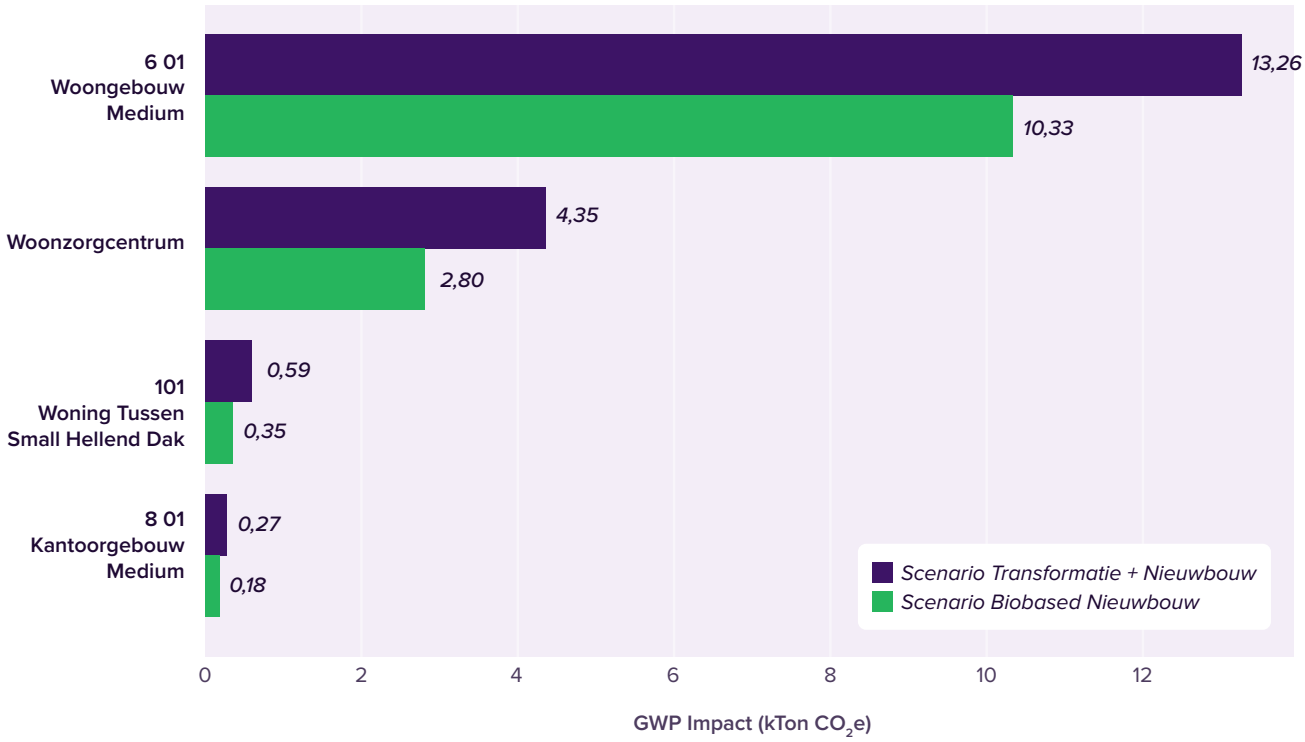


Project Group: **Arnhem - Rijnpark - Fase 2**	
Total Area: **431.233 m²**	

Scenario Transformatie + Nieuwbouw	124,8061 kTon CO_2e
Scenario Biobased Nieuwbouw	95,8782 kTon CO_2e
Savings	28,9280 kTon CO_2e

Transformatie	Logiesgebouwen Referentie Logies Collectief 1500 M
→ Biobased	Logiesgebouwen Referentie Logies Collectief 1500 M
Transformatie	Winkelvastgoed Referentie Solitaire Winkelunit 2000 M
→ Biobased	Winkelvastgoed Referentie Solitaire Winkelunit 2000 M
Transformatie	Brede School
→ Biobased	Brede School
Transformatie	8 01 Kantoorgebouw Medium
→ Biobased	8 01 Kantoorgebouw Medium
Transformatie	6 01 Woongebouw Medium
→ Biobased	6 01 Woongebouw Medium

Step 3dd: Arnhem - Schaapsdrift



Project Group: **Arnhem - Schaapsdrift** Total Area: **61.350 m²**	Scenario Transformatie + Nieuwbouw	18,4822 kTon CO_2e	Transformatie	8 01 Kantoorgebouw Medium
	Scenario Biobased Nieuwbouw	13,6636 kTon CO_2e	→ Biobased	8 01 Kantoorgebouw Medium
	Savings	4,8185 kTon CO_2e	Transformatie	101 Woning Tussen Small Hellend Dak
			→ Biobased	101 Woning Tussen Small Hellend Dak
			Transformatie	Woonzorgcentruml
			→ Biobased	Woonzorgcentruml
			Transformatie	6 01 Woongebouw Medium
			→ Biobased	6 01 Woongebouw Medium

Bijlage D:

Tabellen bij de grafieken GWW

Arnhem Rijnpark Fase 1 & 2 Overzicht GWW

GWW (totaal)

Stap 2c: Volumes fase 1 + fase 2

Materiaaltype	Asfalt	Kasseien	Betonplaten	Betontegels	Betonstraats-tenen	Getrommelde betonklinker	Grind	Bakstenen	Grasbetonte-gels
m^2	75556,77	1733,18	29682,03	5955,93	84385,53	4817,89	122,15	577,29	258,70
kg	54695547,39	526019,69	19412047,13	602144,71	15240026,09	1105040,6	16490,90	95974,01	11589,81
CO_2 (kg)	7913060,75	227601,01	4696290,668	419774,08	10640171,04	737522,41	443,4221	72576,56	33550,94
MKI (EUR)	819790,98	27678,86	527152,84	44193,01	1108825,82	76845,33	53,74813	7504,735	3464,01

GWW Rijnpark fase 1

Stap 2a: volumes Rijnpark fase 1

Materiaaltype	Asfalt	Kasseien	Betonplaten	Betontegels	Betonstraats-tenen	Getrommelde betonklinker	Grind	Bakstenen	Grasbetonte-gels
m^2	11387,78	627,00	6774,35	526,77	50282,56	4817,88	0	0	0
kg	8243615,37	190295,98	4430427,99	53256,66	9081031,45	1105040,6	0	0	0
CO_2 (kg)	1192642,41	82338,28	1071838,41	37126,90	6340128,77	737522,41	0	0	0
MKI (EUR)	123557,43	10013,27	120312,54	3908,649	660712,92	76845,33	0	0	0

GWW Rijnpark fase 2

Stap 2b: volumes Rijnpark fase 1

Materiaaltype	Asfalt	Kasseien	Betonplaten	Betontegels	Betonstraats-tenen	Getrommelde betonklinker	Grind	Bakstenen	Grasbetonte-gels
m^2	64168,99	1106,17	22907,67	5429,159	34102,96	0	122,15	577,28	258,70
kg	46451932,02	335723,71	14981619,13	548888,05	6158994,65	0	16490,90	95974,01	11589,81
CO_2 (kg)	6720418,35	145262,73	3624452,26	382647,18	4300042,27	0	443,42	72576,56	33550,94
MKI (EUR)	696233,55	17665,59	406840,30	40284,37	448112,90	0	53,75	7504,735	3464,01

Bijlage E:

Uitwerking ‘Gemiddelde sloop’ Arnhem 2025-2035 (inschatting)

Stap 1: Sloopdata voor de gemeente Arnhem historisch gezien (CBS). *Voorraad woningen en niet-woningen, 2012-2024W*[45]

	Gebruiks-functie	Woning en niet-woning totaal	Woning	Niet-woning met functie: bijeenkomst	Niet-woning met functie: cel (detentie)	Niet-woning met functie: gezondheids-zorg	Niet-woning met functie: industrie	Niet-woning met functie: kantoor	Niet-woning met functie: logies	Niet-woning met functie: onderwijs	Niet-woning met functie: sport	Niet-woning met functie: winkel	Niet-woning met overig gebruik	Niet-woning met meerdere functies	Niet-woning totaal
	Onderwerp	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop	Sloop
Regio's	*Perioden*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*
Arnhem	2012	212	186	2	0	2	5	2	0	0	2	9	3	1	26
Arnhem	2013	282	262	3	0	0	6	1	0	0	0	1	7	2	20
Arnhem	2014	21	3	0	0	1	12	2	0	0	0	0	W1	2	18
Arnhem	2015	296	255	5	0	2	6	6	1	1	0	5	11	4	41
Arnhem	2016	126	108	3	0	1	3	3	0	0	0	1	6	1	18
Arnhem	2017	71	49	3	0	0	3	2	0	0	0	10	4	0	22
Arnhem	2018	147	124	3	0	0	7	3	0	0	1	1	6	2	23
Arnhem	2019	122	86	4	0	0	9	5	0	2	0	6	10	0	36
Arnhem	2020	70	58	4	0	0	2	1	0	0	0	2	3	0	12
Gemiddelde		127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21

Waarom geen BAG data? Er bleken significante verschillen te zitten tussen de eigen uitwerking van de BAG data en de cijfers hier gepresenteerd door CBS. Besloten om met CBS te gaan want, goed genoeg voor een algemene schatting.

Stap 2: Extrapolatie gemiddelde cijfers sloop naar 2035

	Gebruiks-functie	Woning en niet-woning totaal	Woning	Niet-woning met functie: bijeenkomst	Niet-woning met functie: cel (detentie)	Niet-woning met functie: gezondheids-zorg	Niet-woning met functie: industrie	Niet-woning met functie: kantoor	Niet-woning met functie: logies	Niet-woning met functie: onderwijs	Niet-woning met functie: sport	Niet-woning met functie: winkel	Niet-woning met overig gebruik	Niet-woning met meerdere functies	Niet-woning totaal
Regio's	*Perioden*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*	*Aantal*
Arnhem	2025	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2026	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2027	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2028	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2029	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2030	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2031	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2032	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2033	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2034	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
Arnhem	2035	127	106,2	2,2	0,0	0,6	6,1	2,4	0,1	0,3	0,3	3,0	4,2	1,6	21
TOTAAL		**1398**	**1169**	**25**	**0**	**7**	**67**	**26**	**1**	**3**	**3**	**33**	**47**	**18**	**229**
PERCENTAGE CATEGORIE				10,70%	0,00%	2,95%	29,15%	11,44%	0,37%	1,48%	1,48%	14,39%	20,30%	7,75%	

We hebben vervolgens deze totale volumes aan woningen en niet-woningtypen toegepast op een verdeling naar:

Verschillende woningtypen, een typisch aandeel hiervan in de totale woningmix, en bouwjaren. Hieruit krijgen we een x aantal totaal gesloopte woningen per type (woning tussen, hoekwoning, appartementengebouw etc.) en een x aantal utiliteitsgebouwen (bedrijfshal met kantoor, brede school).

re,in%20andere%20bouwprojecten%20worden%20gebruikt.

Vervolgens hebben we gebruikgemaakt van gemiddelde m^2 bvo's per woningtype, vanuit een interne database. Deze data is vermenigvuldigd met de totale aantallen per type gebouw zoals hiervoor beschreven. Uiteindelijk komen we dan tot de volgende tabel:

Er zit een hoger aandeel van oudere gebouw-cohorten versus nieuwe, wat in de volgende tabel goed te zien is:

SUM of totaal_m^2_bvo ARNHEM	Cohort				
Typologie	**<1945**	**>1945 <1970**	**>1970 <2000**	**>2000 <2018**	**Grand Total**
1.01 Woning, tussen, small (hellend dak) - electric	6505,31	27767,30	6543,61	556,65	41372,85
3.01 Woning, hoek, medium - electric	5045,79	7577,74	1936,31	336,24	14896,08
4.01 Woning, vrij - electric	24005,64	18860,73	10063,38	4051,00	56980,76
6.01 Woongebouw, medium - electric	6546,04	20994,93	6952,62	2505,25	36998,84
8.01 Kantoorgebouw, medium - electric	1730,242022	7241,466269	21719,4587	2725,589035	33416,75603
9.01 Kantoorgebouw XL - electric		556,2162326	788,9884918		1345,204724
bedrijfshal met kantoor	5653,953474	22393,17077	28471,57006	5285,522828	61804,21713
brede school	78,5819398	1266,960344	1683,373149	422,5723841	3451,487817
distributiecentrum		7873,68382	13647,99727		21521,68109
Logiesgebouwen; referentie Logies, collectief 1500 m^2	2,894584951	12,10415574	21,22483996	13,48824641	49,71182705
School VO		588,0611562	1760,946011	116,0019111	2465,009078
Winkelvastgoed; referentie Solitaire winkelunit, 2.000 m^2	3454,3207	4365,428571	7166,002915	1458,349854	16444,10204
Woonzorgcentrum		7153,336264	4835,261538	2504,131868	14492,72967
Grand Total	**53022,78**	**126651,12**	**105590,74**	**19974,80**	**305239,43**

Bijlage F:

Gebruikte gebouwtypologieen voor sloop en nieuwbouw

Toelichting op methodiek en aannames

1. Vereenvoudiging nieuwbouwprofielen In de tabel voor nieuwbouw, specifiek voor de verschillende fasen in Rijnpark, is ervoor gekozen om de volumes te categoriseren in twee hoofdgroepen om de berekeningen werkbaar te houden:

- **Woonruimte:** Alle vierkante meters BVO voor wonen zijn gecategoriseerd onder het profiel Woongebouw medium (bijv. “BENG Woongebouw medium electric beng”).
- **Commerciële ruimte:** Een groot deel van de commerciële vierkante meters zijn meegenomen als ‘losstaande’ bedrijfshal met kantoor (bijv. “BENG bedrijfshal met kantoor beng”). Deze worden dus niet gerekend als mixed-functie waarin ze toegevoegd zouden worden aan een bestaand woongebouw.

Let op: Deze modellering kan afwijken van de daadwerkelijke stedenbouwkundige plannen in Rijnpark Fase 1 en 2. In de realiteit is hier sprake van:

- Veel mixed-use functies (wonen en werken in één gebouw), wat in dit model gesplitst is.
- Meer hoogbouw dan het huidige profiel Woongebouw medium (dat uitgaat van een appartementengebouw van circa 30-50 meter) reflecteert.

2. Materialisering: Biobased vs. BAU

Voor de doorrekening van biobased varianten is een beperking opgetreden bij de utiliteitsbouw. Omdat er geen specifiek biobased profiel beschikbaar was voor het type bedrijfshal met kantoor, zijn deze vierkante meters doorgerekend met een Business As Usual (BAU) profiel. De gerapporteerde impact van de commerciële functies is daardoor conservatiever ingeschat dan wanneer een volledig biobased constructie mogelijk was geweest.

3. Inventarisatie bestaande bouw (Sloop) De tabel met sloopdata maakt onderscheid tussen een generieke groep (“Arnhem - Gemiddelde sloop”) en specifieke projectlocaties (zoals “Arnhem - Rijnpark” en “Arnhem - Schaapsdrift”).

- Gemiddelde sloop: De methodiek hiervoor is toegelicht in Bijlage E van dit document.
- Specifieke locaties (Niet-gemiddelde sloop): Voor de gebouwen in projectgebieden zoals Rijnpark en Schaapsdrift is een gedetailleerde inventarisatie gemaakt.
  - » Gebouwtypen: Deze zijn ingeschat op basis van BAG-data gecombineerd met visuele inspecties via Google Street View om de profielen zo goed mogelijk te laten aansluiten bij de werkelijkheid. (zie ook bijlage G. voor een overzicht van de gebouwen die we ‘gemapped’ hebben.

Toegepaste Biobased profielen

Building Type	BAU profiel	Biobased vervanging
Woongebouw	Woongebouw medium	Biobased Woongebouw medium
Kantoorgebouw	Kantoorgebouw medium	Biobased Kantoorgebouw medium
Woonzorgcentrum	Woonzorgcentrum	Biobased Woonzorgcentrum
Brede School	Brede school	Biobased Brede school
Logiesgebouw	Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500m	Biobased Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500m
Winkelvastgoed	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2000m	Biobased Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2000m
Woning tussen	Woning tussen small hellend dak	Biobased Woning tussen small hellend dak

» Oppervlakte conversie: De BAG levert de Gebruiksoppervlakte (GO). Deze is omgerekend naar Bruto Vloeroppervlakte (BVO) met behulp van de officiële CBS-vormfactoren (tabel T3.2.2.2 uit de CBS-studie 'Materiaalvoorradenmonitor').[46]

» Datering: Het bouwjaar zoals geregistreerd in de BAG is leidend geweest voor de toewijzing aan de historische cohorten (bijv. >1970 <2000) in de tabel.

- Voor <UNCLASSIFIED < gebouwen hebben we geen profiel toegepast of een duidelijke functie/passend gebouwtype kunnen identificeren. Dit zijn vaak kleinere objecten zoals elektra-huisjes.

4. Samenvatting van de data

De volgende tabel geeft hiermee inzicht in de materiaalstromen voor een totaal vloeroppervlak van 1.656.098 m^2, onderverdeeld in:

- **Sloop:** 510.661 m^2
- **Nieuwbouw:** 1.105.895 m^2
- **Transformatie:** 39.542 m^2

Sloop

Projectgroep	Profiel	Cohort	BVO (m^2)
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw XL	>1945 <1970	556
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw XL	>1970 <2000	789
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw medium	<1945	1.730
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw medium	>1945 <1970	7.241
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw medium	>1970 <2000	21.719
Arnhem - Gemiddelde sloop	Kantoorgebouw medium	>2000 <2018	2.726
Arnhem - Gemiddelde sloop	Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m	<1945	3
Arnhem - Gemiddelde sloop	Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m	>1945 <1970	12
Arnhem - Gemiddelde sloop	Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m	>1970 <2000	21
Arnhem - Gemiddelde sloop	Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m	>2000 <2018	13
Arnhem - Gemiddelde sloop	School VO	>1945 <1970	588
Arnhem - Gemiddelde sloop	School VO	>1970 <2000	1.761
Arnhem - Gemiddelde sloop	School VO	>2000 <2018	116
Arnhem - Gemiddelde sloop	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	<1945	3.454
Arnhem - Gemiddelde sloop	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>1945 <1970	4.365
Arnhem - Gemiddelde sloop	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>1970 <2000	7.166
Arnhem - Gemiddelde sloop	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>2000 <2018	1.458
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning hoek medium	<1945	5.046
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning hoek medium	>1945 <1970	7.578
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning hoek medium	>1970 <2000	1.936
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning hoek medium	>2000 <2018	336
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning tussen small hellend dak	<1945	6.505
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning tussen small hellend dak	>1945 <1970	27.767
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning tussen small hellend dak	>1970 <2000	6.544
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning tussen small hellend dak	>2000 <2018	557
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning vrij	<1945	24.006

42 https://www.cirkelstad.nl/nieuws/hergebruik-staal-het-kan-en-is-nodig-voor-een-duurzame-gebouwde-omgeving/
43 https://www.nen.nl/nta-8713-2023-nl-307691

Projectgroep	Profiel	Cohort	BVO (m^2)
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning vrij	>1945 <1970	18.861
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning vrij	>1970 <2000	10.063
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woning vrij	>2000 <2018	4.051
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woongebouw medium	<1945	6.546
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woongebouw medium	>1945 <1970	20.995
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woongebouw medium	>1970 <2000	6.953
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woongebouw medium	>2000 <2018	2.505
Arnhem - Gemiddelde sloop	Bedrijfshal met kantoor	<1945	5.654
Arnhem - Gemiddelde sloop	Bedrijfshal met kantoor	>1945 <1970	22.393
Arnhem - Gemiddelde sloop	Bedrijfshal met kantoor	>1970 <2000	28.472
Arnhem - Gemiddelde sloop	Bedrijfshal met kantoor	>2000 <2018	5.286
Arnhem - Gemiddelde sloop	Brede school	<1945	79
Arnhem - Gemiddelde sloop	Brede school	>1945 <1970	1.267
Arnhem - Gemiddelde sloop	Brede school	>1970 <2000	1.683
Arnhem - Gemiddelde sloop	Brede school	>2000 <2018	423
Arnhem - Gemiddelde sloop	Distributiecentrum	>1945 <1970	7.874
Arnhem - Gemiddelde sloop	Distributiecentrum	>1970 <2000	13.648
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woonzorgcentrum	>1945 <1970	7.153
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woonzorgcentrum	>1970 <2000	4.835
Arnhem - Gemiddelde sloop	Woonzorgcentrum	>2000 <2018	2.504
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	1978	193
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	1995	70
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	2005	81
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	2015	13
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	2017	448
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	2023	145
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Kantoorgebouw medium	>1970 <2000	3.090
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Kantoorgebouw medium	>2000 <2018	6.909
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Bedrijfshal met kantoor	<1945	830
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Bedrijfshal met kantoor	>1945 <1970	1.856
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Bedrijfshal met kantoor	>1970 <2000	27.060
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Bedrijfshal met kantoor	>2000 <2018	4.275
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Distributiecentrum	<1945	4.299
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Distributiecentrum	>1945 <1970	838

Projectgroep	Profiel	Cohort	BVO (m^2)
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Distributiecentrum	>1970 <2000	2.336
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Distributiecentrum	>2000 <2018	447
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	<UNCLASSIFIED <	1968	49
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	<UNCLASSIFIED <	1978	66
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	<UNCLASSIFIED <	1980	278
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	<UNCLASSIFIED <	2007	40
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	<UNCLASSIFIED <	2010	395
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Kantoorgebouw XL	>1970 <2000	10.701
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Kantoorgebouw medium	>1970 <2000	6.360
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Kantoorgebouw medium	>2000 <2018	9.964
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>1945 <1970	5.382
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>1970 <2000	10.770
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m	>2000 <2018	10.925
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Bedrijfshal met kantoor	>1945 <1970	3.135
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Bedrijfshal met kantoor	>1970 <2000	2.858
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Bedrijfshal met kantoor	>2000 <2018	12.010
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Distributiecentrum	>1945 <1970	208
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Distributiecentrum	>1970 <2000	28.461
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Distributiecentrum	>2000 <2018	22.612
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	Garagebox	2025	2.480
Arnhem - Schaapsdrift	Kantoorgebouw medium	>1970 <2000	120
Arnhem - Schaapsdrift	Woning tussen small hellend dak	<1945	2.446
Arnhem - Schaapsdrift	Woongebouw medium	<1945	940
Arnhem - Schaapsdrift	Woongebouw medium	>1970 <2000	5.012
Arnhem - Schaapsdrift	Woonzorgcentrum	>1945 <1970	17.320
Subtotaal			**510.661**

Nieuwbouw

Projectgroep	Profiel	Cohort	BVO (m^2)
Arnhem - Laarkwartier	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	3.900
Arnhem - Laarkwartier	BENG Woongebouw medium electric beng	2025	11.979
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	10.254
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m beng	2025	8.000
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m beng	2025	8.000
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Woongebouw medium electric beng	2025	375.841
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG bedrijfshal met kantoor beng	2025	38.021
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG brede school beng	2025	5.000
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Materiaalvraag Woningen Optopwoning	2019	4.130
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	26.882
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m beng	2025	6.200
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m beng	2025	12.214
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG Woongebouw medium electric beng	2025	377.549
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG bedrijfshal met kantoor beng	2025	146.767
Arnhem - Rijnpark - Fase 2	BENG brede school beng	2025	8.388
Arnhem - Schaapsdrift	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	1.050
Arnhem - Schaapsdrift	BENG Woning tussen small hellend dak electric beng	2025	1.930
Arnhem - Schaapsdrift	BENG Woongebouw medium electric beng	2025	46.120
Arnhem - Schaapsdrift	BENG bedrijfshal met kantoor beng	2025	1.420
Arnhem - Schaapsdrift	BENG woonzorgcentrum beng	2025	12.250
Subtotaal			**1.105.895**

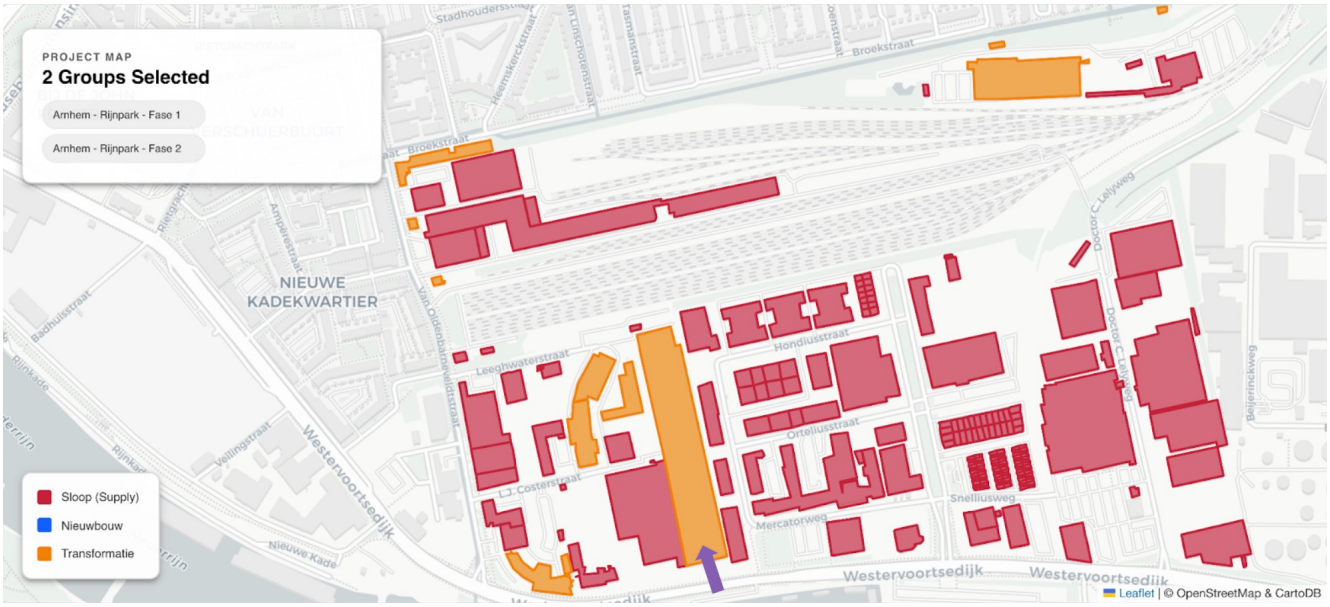
Transformatie

Projectgroep	Profiel	Cohort	BVO (m^2)
Arnhem - Laarkwartier	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	3.900
Arnhem - Laarkwartier	BENG Woongebouw medium electric beng	2025	11.979
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Kantoorgebouw medium electric beng	2025	10.254
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Logiesgebouwen referentie Logies collectief 1500 m beng	2025	8.000
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	BENG Winkelvastgoed referentie Solitaire winkelunit 2 000 m beng	2025	8.000
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	<UNCLASSIFIED <	1978	110
Arnhem - Rijnpark - Fase 1	Transformatie instroom	2025	39.182
Arnhem - Schaapsdrift	Transformatie instroom	2025	250
Subtotaal			**39.542**

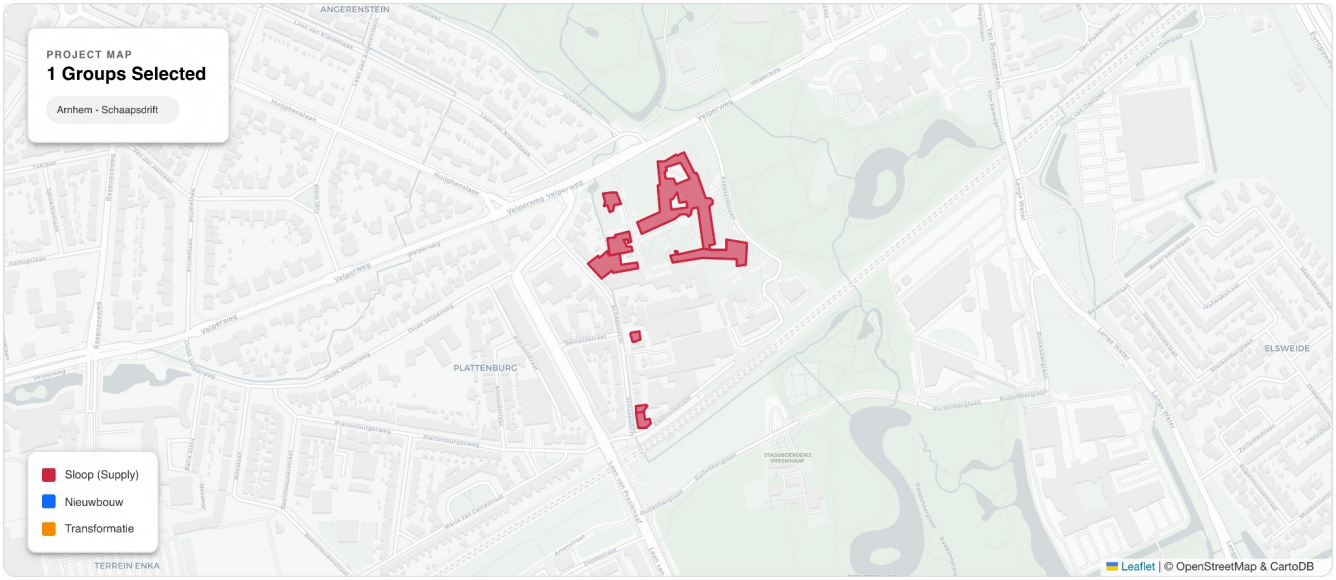
TOTAAL GEBIED	**1.656.098m^2**

Bijlage G:

Project scope: gebouwen geselecteerd voor sloop of transformatie



Paarse pijl: dit gebouw hebben we niet meegenomen in de totale m^2 aan daadwerkelijke transformatie in de impact-vergelijking. We gaan ervan uit dat hier geen transformatie plaatsvindt van kantoor naar woningen. Deze vierkante meters worden wel meegenomen in het algemene overzicht van vierkante meters voor het gebied die getransformeerd gaan worden, echter dus zonder materialisatie voor dit gebouw specifiek.



Structural Collective

info@structuralcollective.nl
structuralcollective.nl
Amsterdam, The Netherlands