Werk en toekomst in circulair slopen

Een systeemdynamische analyse

Kathelijne Bax, Anne de Vries, Ellemarijn de Geit, Frank Krause, & Anneke Goudswaard

TNO 2026 R10133

Januari 2026



Inhoud



- Aanleiding
- Systeemdynamica
- Het exploratieve model
- Scenario’s
- Lessen uit het model
- Vervolgstappen

Aanleiding

Deze publicatie maakt deel uit van een breder TNO project gericht op het onderzoeken van de rol die arbeidsondersteunende technologie in de bouw kan spelen bij het versnellen van de duurzaamheidstransitie en op het onderzoeken van het effect van technologische en procesinnovaties op arbeid.

Dit deelproject heeft in dit kader een specifieke focus op de sloopsector en de duurzaamheidstransitie naar circulair slopen (t.o.v. regulier slopen). De sloopsector kampt met een forse arbeidskrapte, die extra uitdagingen met zich meebrengt voor het realiseren van circulaire ambities. Het vinden van voldoende vakmensen voor specialistische werkzaamheden, zoals het zorgvuldig demonteren en scheiden van materialen, is cruciaal om circulair slopen op te schalen. Dit maakt het des te belangrijker om technologie en procesinnovaties in te zetten die zowel de productiviteit kunnen verhogen als het werk aantrekkelijker maken (of houden).

De aanleiding voor het project komt niet alleen voort uit externe druk, maar ook uit de wens om de kennis binnen de bouw- en installatiesector over de relatie tussen duurzaamheidsinnovaties en arbeid te versterken. Om meer inzicht te krijgen in de complexiteit van de problematiek en de relaties tussen innovatie en arbeid is in dit deelproject een exploratief systeemdynamisch model ontwikkeld. Dit model helpt om de onderlinge afhankelijkheden tussen factoren beter te begrijpen en ondersteunt het identificeren van effectieve interventies.

Dit rapport is exploratief van karakter en biedt een werkwijze die verder kan worden uitgewerkt en onderbouwd teneinde meer grip te krijgen op bevorderende en belemmerende factoren bij verduurzaming in de bouw.



Systeemdynamica

Systeemdynamica (SD) is een analysemethode die zich richt op het begrijpen van complexe systemen waarin veel factoren elkaar beïnvloeden. Met systeemdynamica worden onderlinge relaties expliciet gemaakt in modellen, zoals in een Causaal Lus Diagram (CLD) of in een kwantitatief simulatiemodel. Deze modellen brengen feedbacklussen en vertragingen in kaart, waardoor inzicht ontstaat in hoe interventies op korte en lange termijn doorwerken. Een belangrijk voordeel is dat scenario's kunnen worden doorgerekend: wat gebeurt er als we een bepaalde beleidsmaatregel invoeren? Welke combinaties van interventies hebben het meeste effect? Dit maakt systeem dynamica niet alleen een analysetool, maar ook een instrument voor besluitvorming.

Het proces is participatief. Stakeholders en experts leveren input voor het model, zodat verschillende perspectieven worden geïntegreerd. Dit vergroot het draagvlak en helpt om blinde vlekken te identificeren. Door simulaties te koppelen aan historische data kan het model worden gevalideerd en gebruikt om trendbreuken te verkennen. Zo ondersteunt systeemdynamica het ontwikkelen van coherente systeemstrategieën die bijdragen aan duurzame verandering.

Samengevat geeft systeemdynamica:

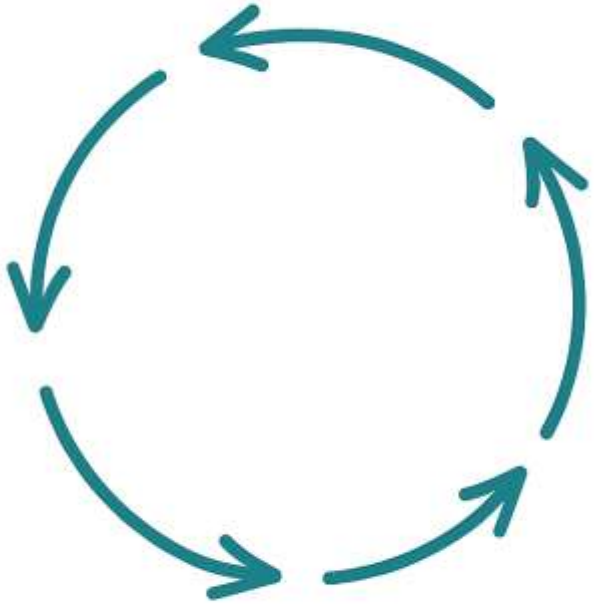
- Inzichten in de onderlinge relaties tussen componenten die problematisch systeemgedrag veroorzaken
- Inzichten van korte en lange termijn effecten d.m.v. feedback
- Inzichten in interventiepunten: knoppen om aan te draaien
- Een visualisatie met een versimpelde versie van de werkelijkheid (modelkader)

Voor dit project is een exploratief model ontwikkeld, met als doel het verkennen van de sector en het begrijpen van onderlinge relaties tussen variabelen, zonder direct te streven naar exacte voorspellingen.



Het exploratieve model

Tijdens dit project is een kwantitatief model ontwikkeld. Het model en de geïdentificeerde feedback lussen worden gepresenteerd op de volgende pagina's in de vorm van een Causaal Lus Diagram (CLD). Een CLD is een visuele methode om de dynamieken in het systeem weer te geven. Het laat zien hoe verschillende variabelen elkaar beïnvloeden via oorzaak-gevolgrelaties. In een CLD worden pijlen gebruikt om verbanden tussen variabelen aan te geven, waarbij een plus - of minteken toont of een verandering in de ene variabele eenzelfde richting (+) of een tegengestelde richting (-) veroorzaakt in de andere. Door deze relaties te verbinden ontstaan feedback lussen, die versterkend (positieve feedback) of stabiliserend (negatieve feedback) kunnen werken. Zo helpt een CLD om inzicht te krijgen in patronen en interacties die het gedrag van een systeem op de lange termijn bepalen. Een CLD geeft een simplistisch beeld van de realiteit, alleen de variabelen die relevant zijn voor de probleemstelling worden geïncludeerd. Voor de CLD zijn kern variabelen geïdentificeerd tijdens een brainstromsessie met het project team. Ook zijn verschillende artikelen* gebruikt als input voor de CLD.



Kern variabelen:

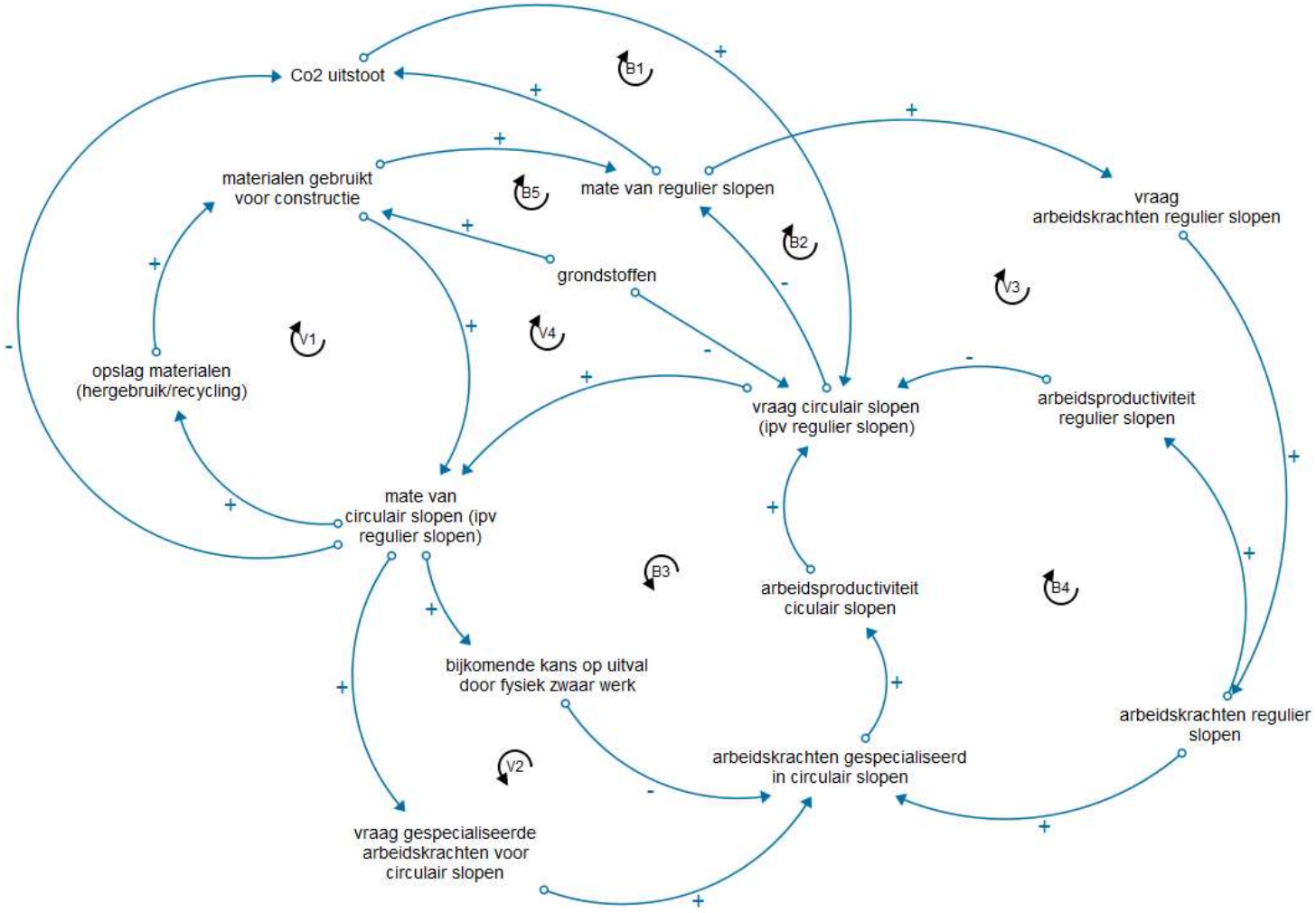
- C02 geproduceerd door de sloopsector (regulier/circulair)
- Arbeidskrachten (regulier/circulair)
- Arbeidsproductiviteit (in kton/persoon/jaar)
- Kton gesloopte materialen (regulier/circulair)
- Kosten (meegenomen per m3 sloopwerk)

*Krause, F., de Vries, A., de Geit, E., & Goudswaard, A. (2025). Arbeidsbesparende en -ondersteunende technologie bij circulair afbreken. Bouwbelang, 1, 30–32. TNO.
Goudswaard, A., Oosterhout, J., van Rhijn, G., Verhoef, H., & van den Bergh, R. (2024). Verkenning van de mogelijkheden voor arbeidsondersteunende technologie in de bouw. TNO.

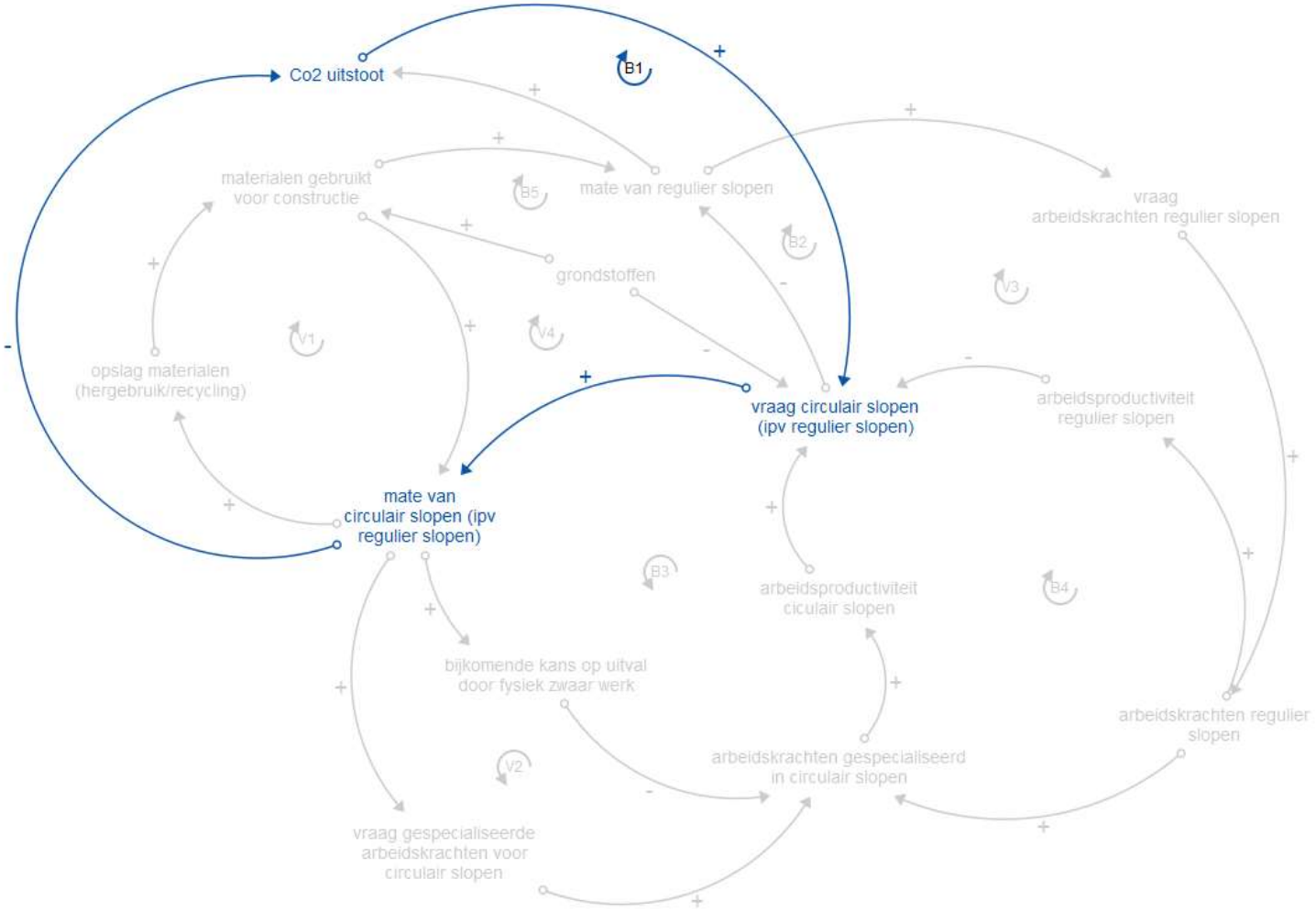
Causaal Lus Diagram (CLD)

De volgende pagina's geven verschillende feedback lussen weer die de mate van circulair slopen beïnvloeden.

- De CLD geeft geen informatie over de sterkte van de impact van de ene variabele op de andere. Ook geeft het geen informatie over de status van het systeem; het toont alleen aan dat er een relatie bestaat tussen de geïdentificeerde variabelen.
- De relaties en lussen worden in de voorbeelden op de volgende pagina's in isolatie besproken onder de aanname dat de rest van het model gelijk blijft. Uiteraard is de werkelijkheid complexer en werken lussen op elkaar in.
- De lussen worden vaak beschreven aan de hand van een voorbeeld hoe de variabelen elkaar kunnen beïnvloeden. Bijvoorbeeld, als de vraag voor circulair slopen stijgt, zal de mate van circulair slopen ook stijgen. Dit geeft een ***positieve relatie*** aan. Deze relatie kan ook in tegenovergestelde richting functioneren (als de vraag voor circulair slopen daalt, zal de mate van circulair slopen ook dalen), en dat geldt voor alle relaties in het model. Bij een ***negatieve relatie***, leidt een daling van het een tot een stijging van het ander, of andersom.



Balancerende lus – B1

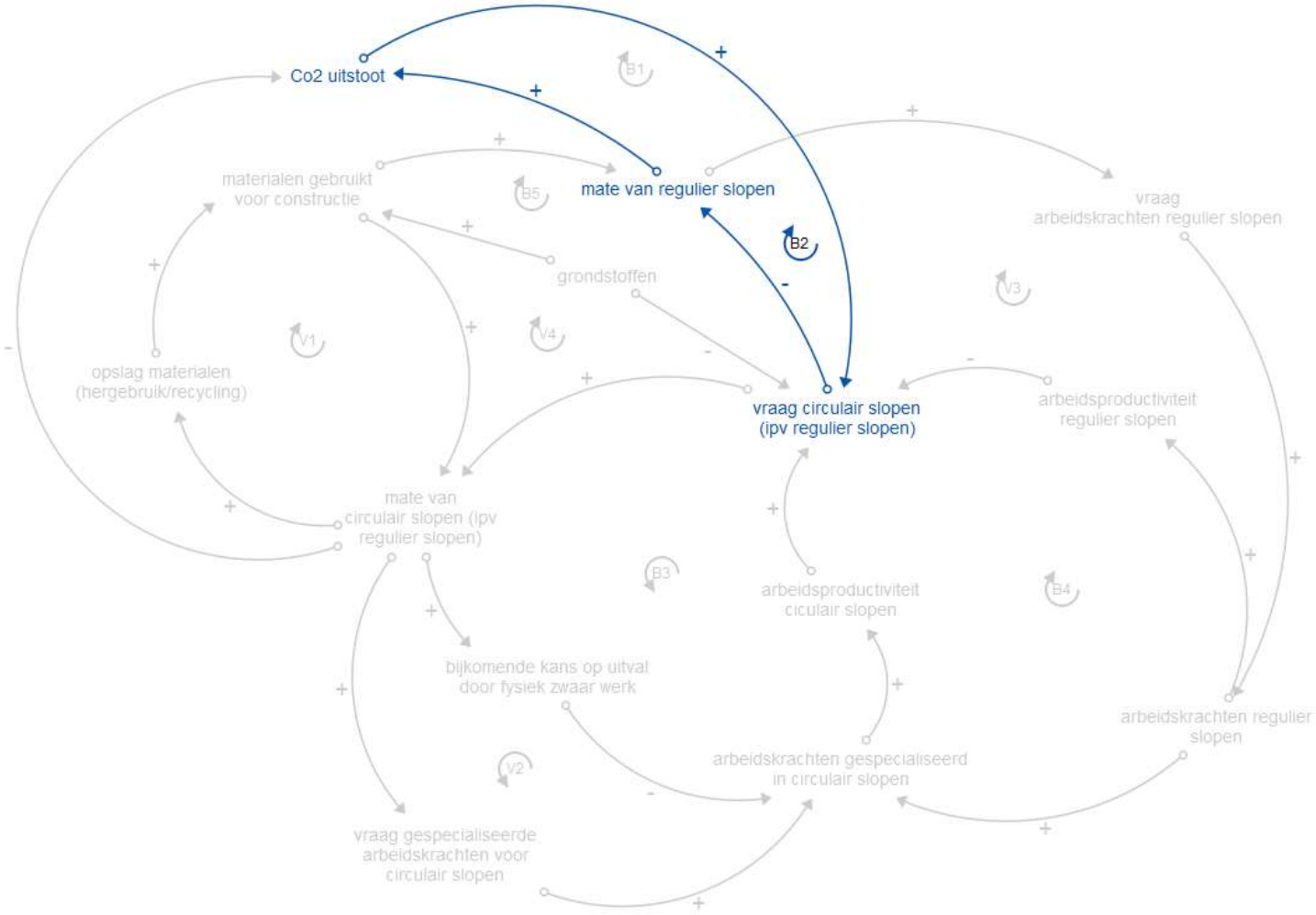


Balancerende lus B1

- **CO_2-uitstoot**
  Een hogere CO_2-uitstoot vergroot de druk om duurzamere oplossingen te kiezen.
- **Vraag naar circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Wanneer de aandacht voor CO_2-uitstoot toeneemt, stijgt de vraag naar circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen**
  Een hogere vraag leidt tot een grotere mate van circulair slopen. Ook dit is een positief verband (+).
- **CO_2-uitstoot**
  Door meer circulair slopen i.p.v. regulier slopen neemt de CO_2-uitstoot relatief af (-)

Deze lus heeft een balancerend effect: door een toename in CO_2, stijgt de vraag naar circulair slopen als duurzamer alternatief t.o.v. regulier slopen. Deze overstap kan de relatieve CO_2-uitstoot vervolgens verlagen.

Balancerende lus – B2

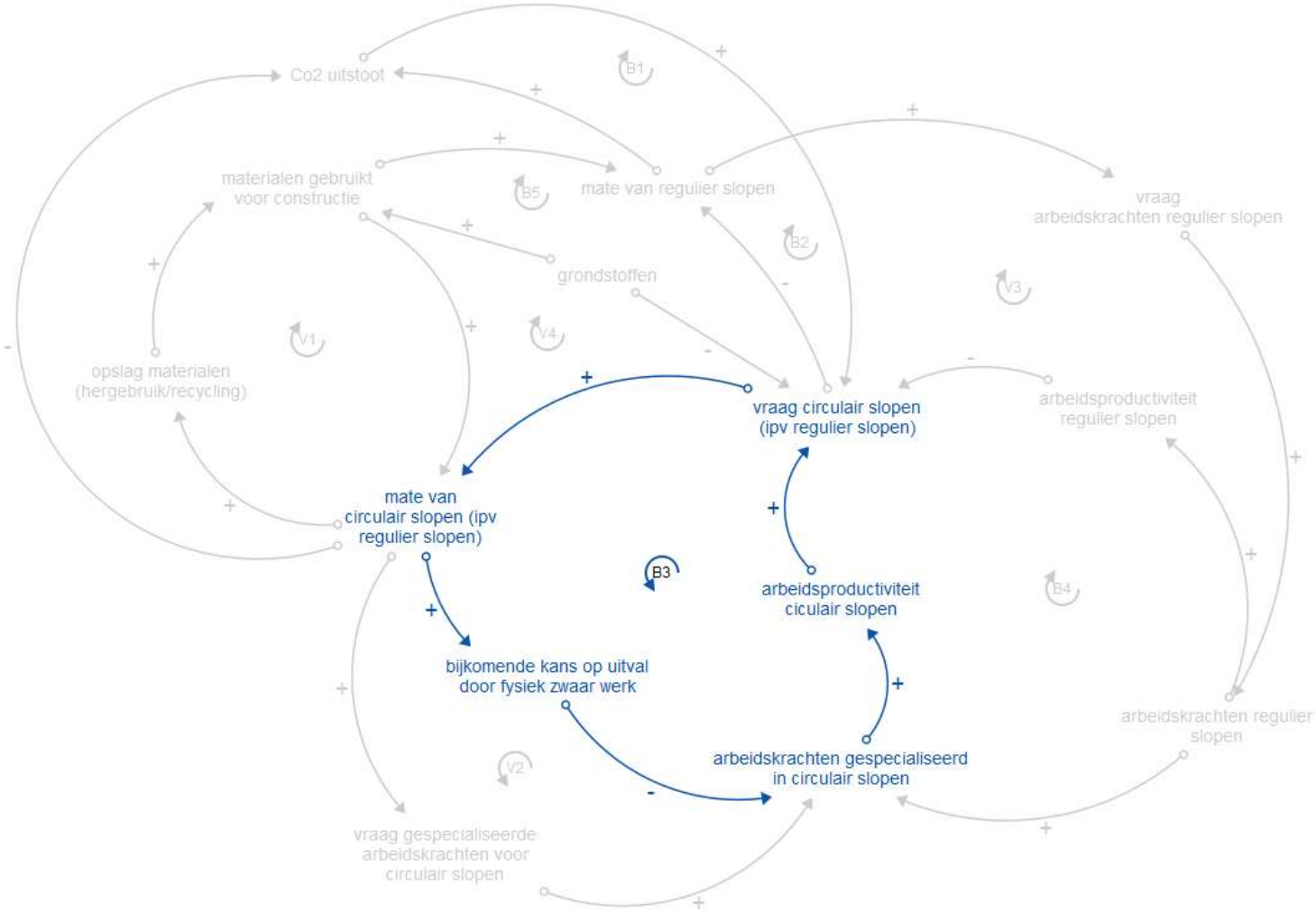


Balancerende loop B2

- **CO_2-uitstoot**
  Een hogere CO_2-uitstoot vergroot de druk om duurzamere oplossingen te kiezen.
- **Vraag naar circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Wanneer de aandacht voor CO_2-uitstoot toeneemt, stijgt de vraag naar circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen**
  Circulair slopen als alternatief voor regulier slopen betekent een lagere vraag voor regulier slopen. Dit leidt tot een lagere mate van regulier slopen. Dit is een negatief verband (-).
- **CO_2-uitstoot**
  Minder regulier slopen leidt tot minder CO_2 uitstoot. Andersom zou een toename in de mate van regulier slopen leiden tot een toename van de Co2 uitstoot. Dit is een positief verband (+).

Deze loop heeft een balancerend effect: door een toename in CO_2, stijgt de vraag naar circulair slopen als duurzamer alternatief t.o.v. regulier slopen. Deze overstap kan de relatieve CO_2-uitstoot vervolgens verlagen.

Balancerende lus – B3



Balancerende lus B3

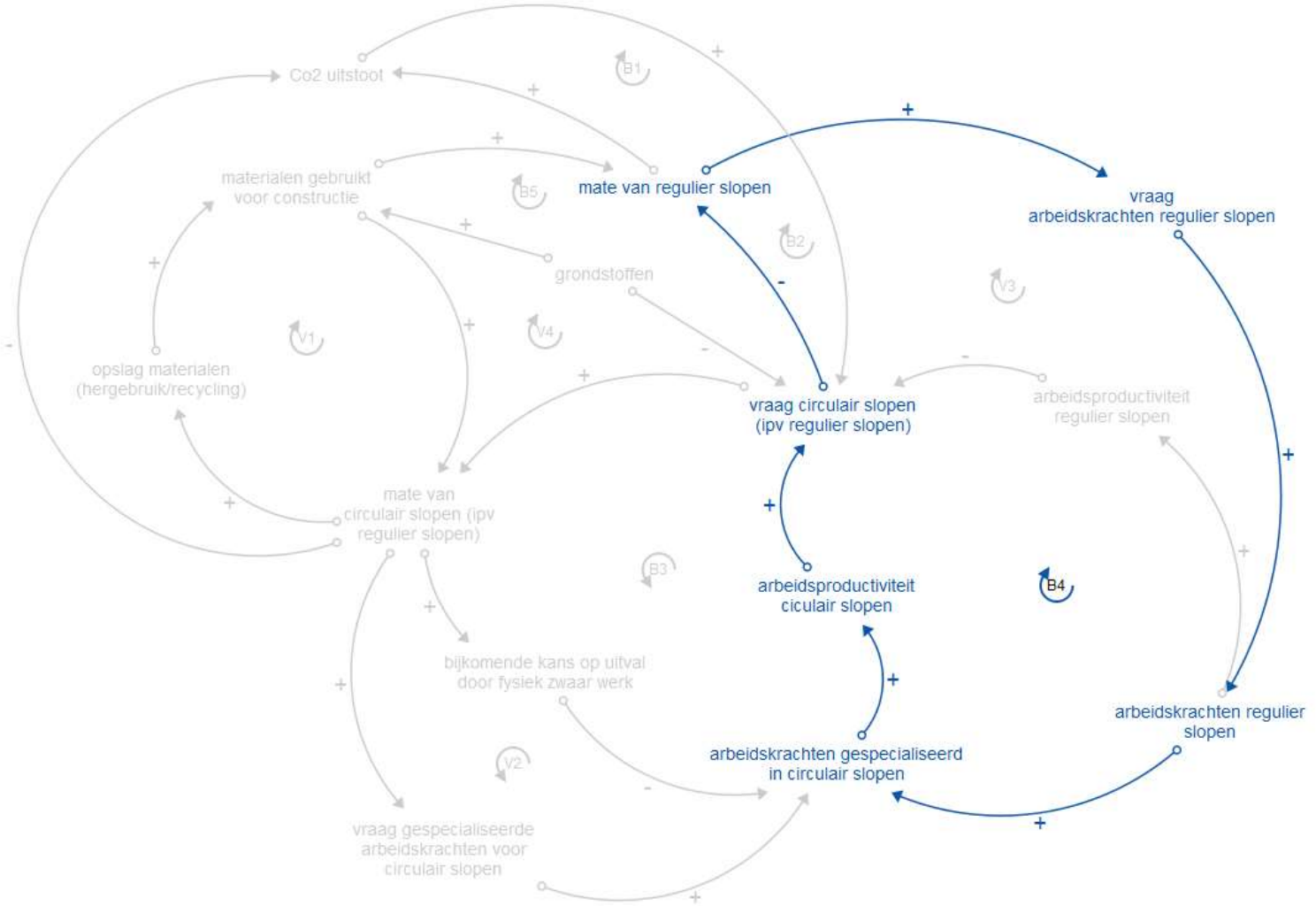
- **Vraag naar circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Een hogere vraag leidt tot een grotere mate van circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Circulair slopen vereist veel handwerk en is daardoor fysiek zwaarder dan regulier slopen. Een toename in circulair slopen kan het risico op uitval door fysieke overbelasting vergroten. Dit is een positief verband (+).
- **Kans op uitval door fysiek zwaar werk**
  Meer uitval door fysieke overbelasting leidt tot minder arbeidskrachten in de circulaire sloopsector. Ook maakt een toename in uitval het werk minder aantrekkelijk wat wederom leidt tot minder arbeidskrachten. Dit is een negatief verband (-).
- **Arbeidskrachten gespecialiseerd in circulair slopen**
  Een afname van arbeidskrachten in de circulaire sloopsector verlaagt de arbeidsproductiviteit* in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidsproductiviteit circulair slopen**
  Een afname van productiviteit maakt circulair slopen minder efficiënt en minder aantrekkelijk t.o.v. regulier slopen wat leidt tot een lagere vraag naar circulair slopen. Dit is ook een positief verband (+).

Deze loop heeft dus een balancerend effect: een toename in circulair slopen kan leiden tot meer uitval door fysieke overbelasting, wat kan leiden tot een lagere arbeidsproductiviteit in deze sector. Dit kan de aantrekkelijkheid van circulair slopen beïnvloeden en de vraag hiernaar doen afnemen.

*Arbeidsproductiviteit beschouwen we hier als zowel de productiviteit per gewerkt uur per werknemer en de totaal beschikbare arbeidscapaciteit.

Krause, F., de Vries, A., de Geit, E., & Goudswaard, A. (2025). Arbeidsbesparende en -ondersteunende technologie bij circulair afbreken. Bouwbelang, 1, 30–32.

Balancerende Loop – B4

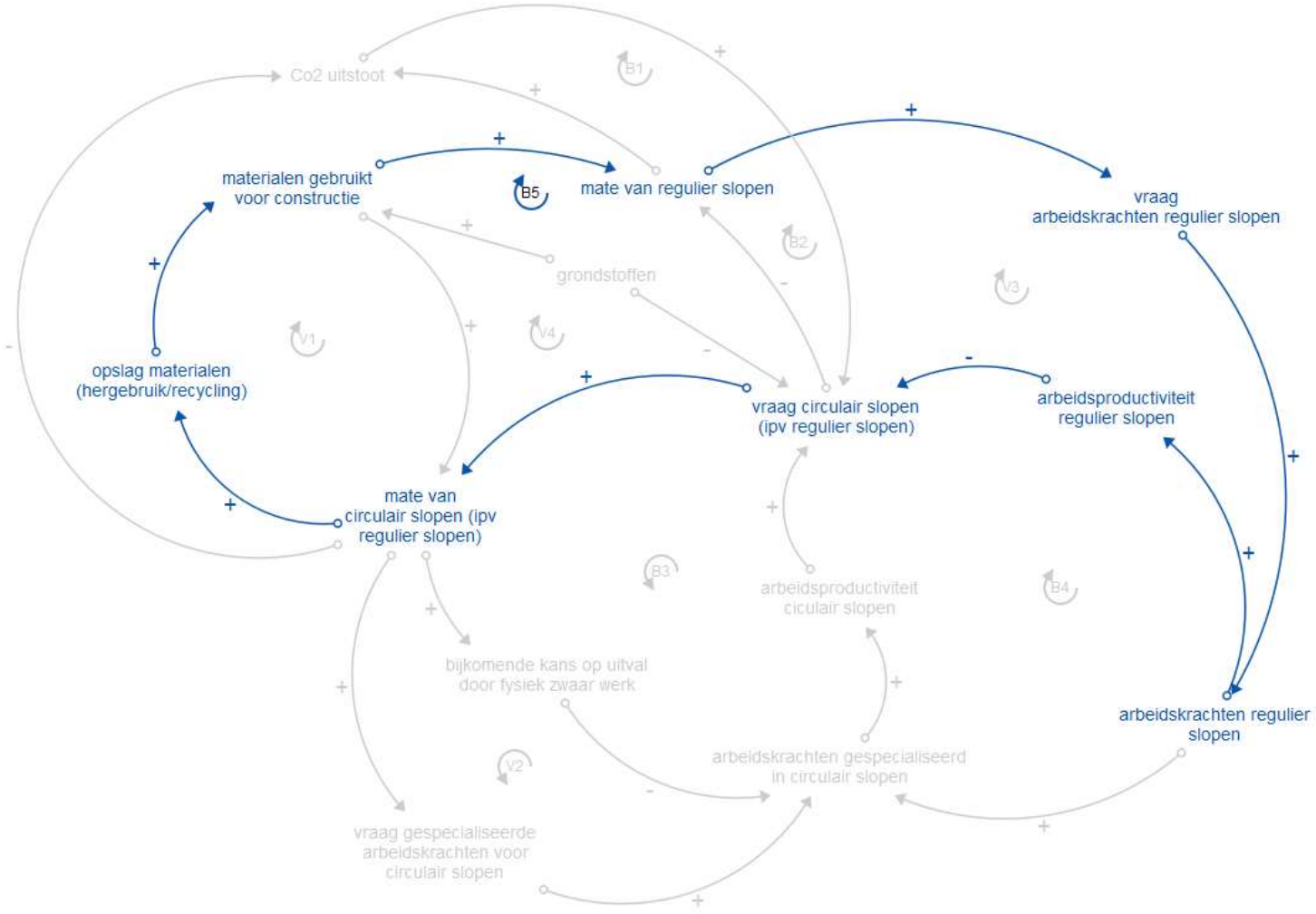


Balancerende loop B4

- **Mate van regulier slopen**
  Wanneer de mate van regulier slopen toeneemt, stijgt ook de vraag naar arbeidskrachten regulier slopen. Dit is een positieve relatie (+).
- **Vraag arbeidskrachten regulier slopen**
  Een toenemende vraag naar arbeidskrachten in de reguliere sloopsector leidt (met vertraging) tot meer arbeidskrachten in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidskrachten regulier slopen**
  Arbeidskrachten in de reguliere sloopsector kunnen eventueel doorstromen naar de circulaire sloopsector door zich te specialiseren. Zo kan een toename van arbeidskrachten in de reguliere sloopsector leiden tot een toename van arbeidskrachten in de circulaire sloop. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidskrachten gespecialiseerd in circulair slopen**
  Een toename van arbeidskrachten in de circulaire sloopsector vergroot de arbeidsproductiviteit in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidsproductiviteit circulair slopen**
  Een toenamen van productiviteit maakt circulair slopen efficiënter en aantrekkelijk wat kan leiden tot een hogere vraag naar circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Vraag circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Circulair slopen als alternatief voor regulier slopen betekend een lagere vraag voor regulier slopen. Dit leidt tot een lagere mate van regulier slopen. Dit is een negatief verband (-).

Deze loop heeft een balancerend effect: een toename in de mate van regulier slopen kan zorgen voor een toename in arbeidskrachten in de reguliere, maar ook in de circulaire sloopsector. Dit verhoogt de arbeidsproductiviteit van beide sectoren. Deze loop includeert de arbeidsproductiviteit van de circulaire sector. Zodra deze arbeidsproductiviteit toeneemt, zal de vraag voor circulair slopen ook toenemen over tijd. Als er meer circulair wordt gesloopt, zal er minder regulier worden gesloopt.

Balancerende lus - B5



Balancerende lus B5

- **Mate van regulier slopen**
  Wanneer de mate van regulier slopen toeneemt, stijgt de vraag naar arbeidskrachten regulier slopen. Dit is een positieve relatie (+).
- **Vraag arbeidskrachten regulier slopen**
  Een toenemende vraag naar arbeidskrachten in de reguliere sloopsector leidt (met vertraging) tot meer arbeidskrachten in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidskrachten regulier slopen**
  Een toename in arbeidskrachten in de reguliere sloopsector zorgt ook voor een hogere arbeidsproductiviteit in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidsproductiviteit regulier slopen**
  Als de arbeidsproductiviteit van regulier slopen toeneemt, zal dit een aantrekkelijkere optie zijn dan circulair slopen, zo kan de vraag naar circulair slopen ook afnemen. Dit is een negatief verband (-).
- **Vraag circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Als de vraag voor circulair slopen afneemt, zal de mate van circulair slopen ook afnemen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Een afname van circulair slopen, leidt tot een lagere opslag van materialen. Dit is een positief verband (+).
- **Opslag materialen (hergebruik/recycling)**
  Een afname in de opslag van materialen zal ook leiden tot een afname van beschikbare materialen voor constructie van nieuwe gebouwen. Dit is een positief verband (+).
- **Materialen gebruikt voor constructie**
  Een afname in constructie, zal (met vertraging) leiden tot een afname van de mate van slopen. Dit is een positief verband (+).

Deze lus heeft een balancerend effect: als er meer regulier wordt gesloopt, worden ook minder materialen hergebruikt. Dit zou op den duur gevolgen hebben voor de constructiesector (die dan meer afhankelijk zou zijn van grondstoffen). Als er minder gebouwd wordt, wordt op de lange termijn ook minder gesloopt.

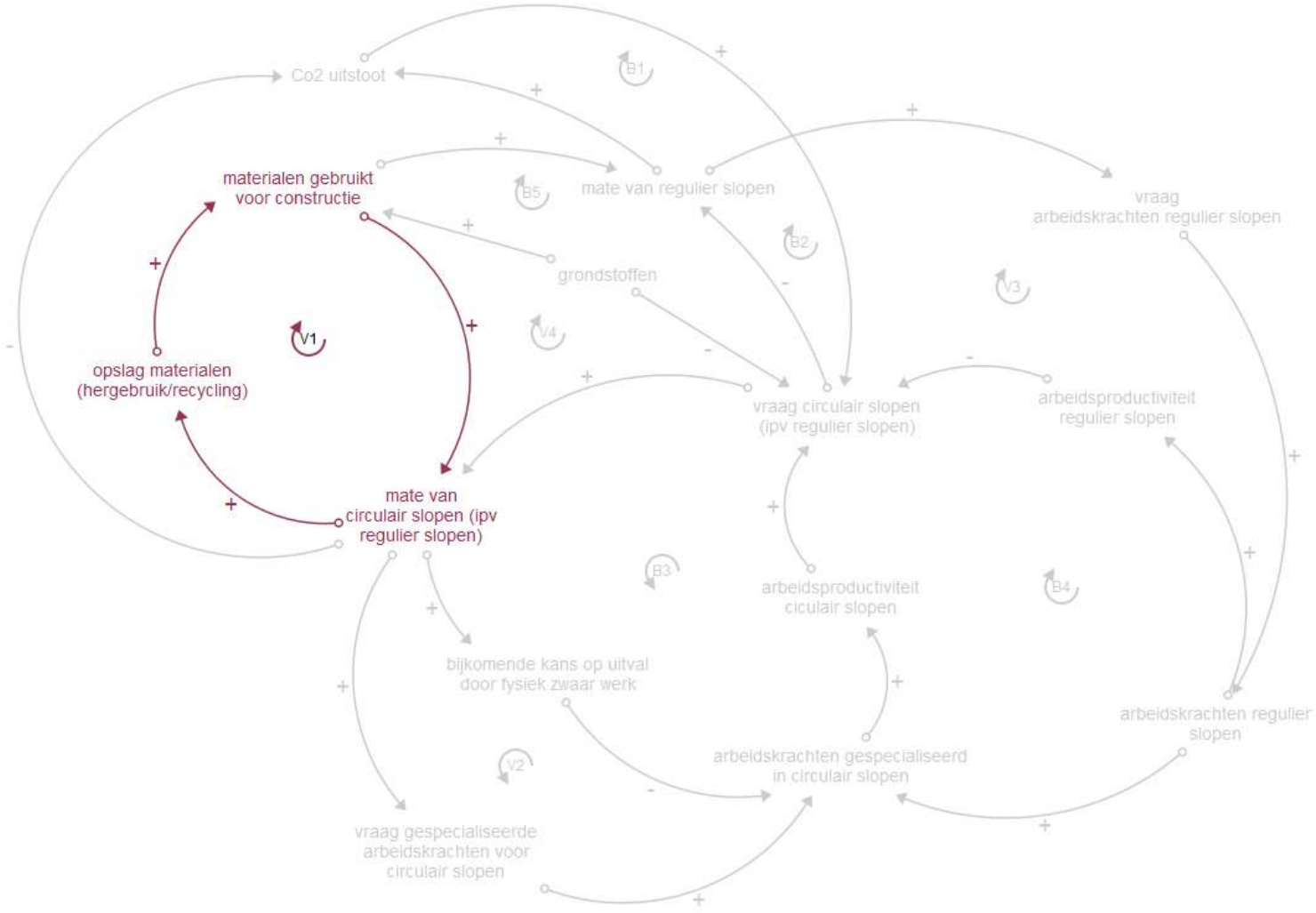
Versterkende lussen – V1

Versterkende lus V1

- **Materialen gebruikt voor constructie**
  Een toename in constructie, zal (met vertraging*) leiden tot een toename van de mate van slopen in het algemeen. Dit kan dus ook leiden tot een grotere mate van circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Een toename van circulair slopen, leidt tot een hogere opslag van materialen. Dit is een positief verband (+).
- **Opslag materialen (hergebruik/recycling)**
  Een toename in de opslag van materialen die bedoeld zijn om te worden hergebruikt zal leiden tot een toename van deze materialen voor constructie van nieuwe gebouwen. Dit is een positief verband (+).

Deze lus heeft een versterkend effect: als er meer gebouwd wordt, kan er ook meer circulair gesloopt worden. Een toename in circulair slopen leidt tot een toename van materialen die hergebruikt kunnen worden, wat constructie kan stimuleren.

*deze vertraging is de levensduur van een gebouw

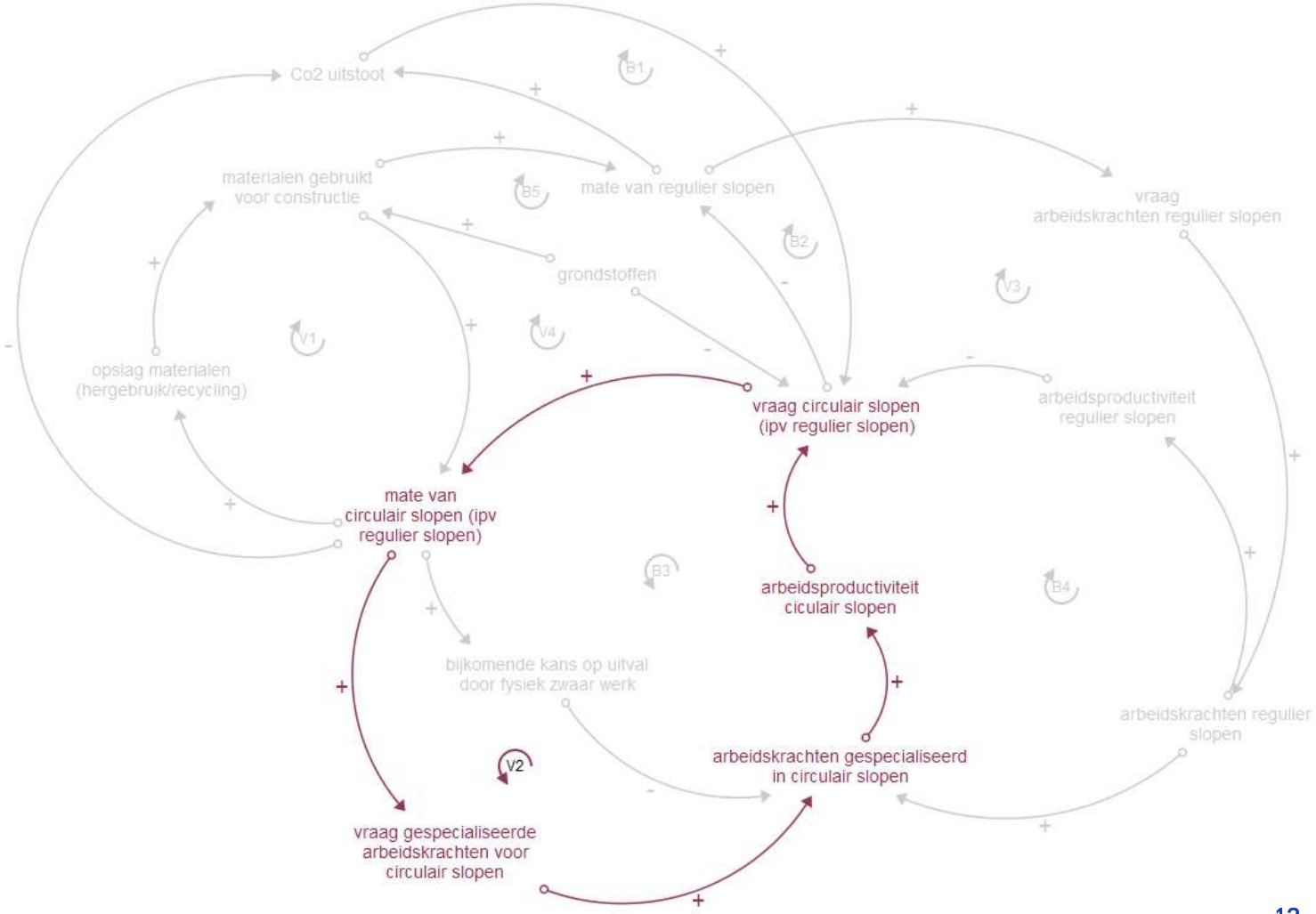


Versterkende lus – V2

Versterkende lus V2

- **Vraag naar circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Een hogere vraag naar circulair slopen leidt tot een grotere mate van circulair slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Als de mate van circulair slopen stijgt, zal de vraag naar arbeidskrachten gespecialiseerd in circulair slopen ook stijgen. Dit is een positief verband (+).
- **Vraag gespecialiseerde arbeidskrachten voor circulair slopen**
  Een toename in de vraag van arbeidskrachten leidt (met vertraging) tot een toename in arbeidskrachten in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidskrachten gespecialiseerd in circulair slopen**
  Een toename van arbeidskrachten in de circulaire sloopsector vergroot de arbeidsproductiviteit in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidsproductiviteit circulair slopen**
  Een toename van productiviteit maakt circulair slopen efficiënter en aantrekkelijker wat leidt tot een hogere vraag naar circulair slopen. Dit is ook een positief verband (+).

Deze lus heeft een versterkend effect en gaat ervan uit dat de arbeidsmarkt reageert op de vraag naar circulair slopen. Als er meer vraag is naar gespecialiseerde arbeidskrachten zullen deze (met enige vertraging) ook toenemen. Dit verhoogt de productiviteit en dus aantrekkelijkheid van de sector, wat de vraag verder zal doen stijgen.

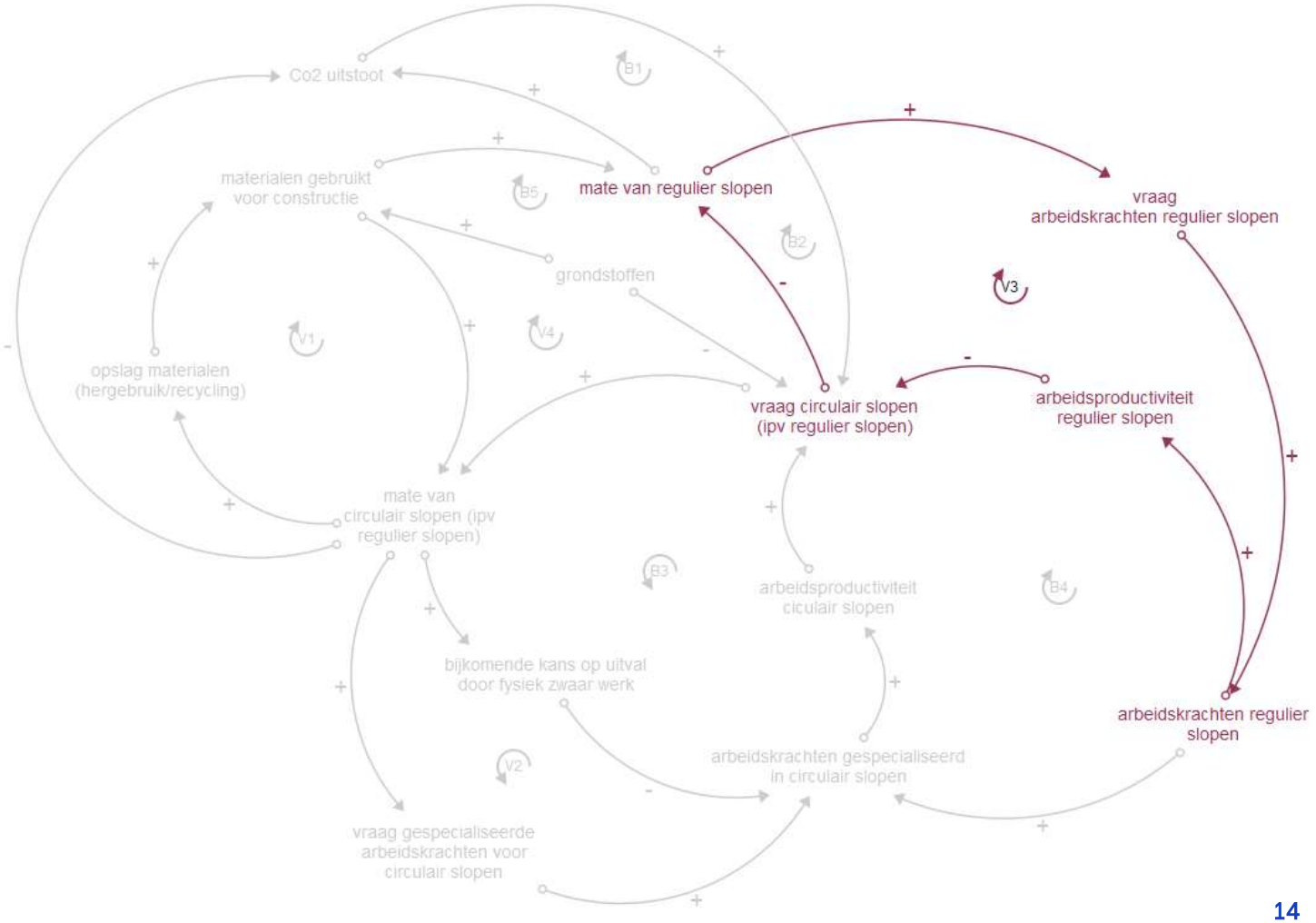


Versterkende lus – V3

Versterkende lus V3

- **Mate van regulier slopen**
  Wanneer de mate van regulier slopen toeneemt, stijgt de vraag naar arbeidskrachten regulier slopen. Dit is een positieve relatie (+).
- **Vraag arbeidskrachten regulier slopen**
  Een toenemende vraag naar arbeidskrachten in de reguliere sloopsector leidt (met vertraging) tot meer arbeidskrachten in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidskrachten regulier slopen**
  Een toename in arbeidskrachten in de reguliere sloopsector zorgt ook voor een hogere arbeidsproductiviteit in deze sector. Dit is een positief verband (+).
- **Arbeidsproductiviteit regulier slopen**
  Als de arbeidsproductiviteit van regulier slopen toeneemt, zal dit een aantrekkelijkere optie zijn dan circulair slopen, zo kan de vraag naar circulair slopen ook afnemen. Dit is een negatief verband (-).
- **Vraag circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Als de vraag voor circulair slopen afneemt, zal de mate van regulier slopen toenemen. Dit is een negatief verband (-).

Deze lus heeft een versterkend effect: als de vraag stijgt voor regulier slopen, zal de arbeidsmarkt hierop reageren (met enige vertraging). Dit heeft een effect op de arbeidsproductiviteit van de reguliere sloopsector, wat het een aantrekkelijkere optie maakt t.o.v. circulair slopen. Zo zal de mate van regulier slopen verder toenemen.

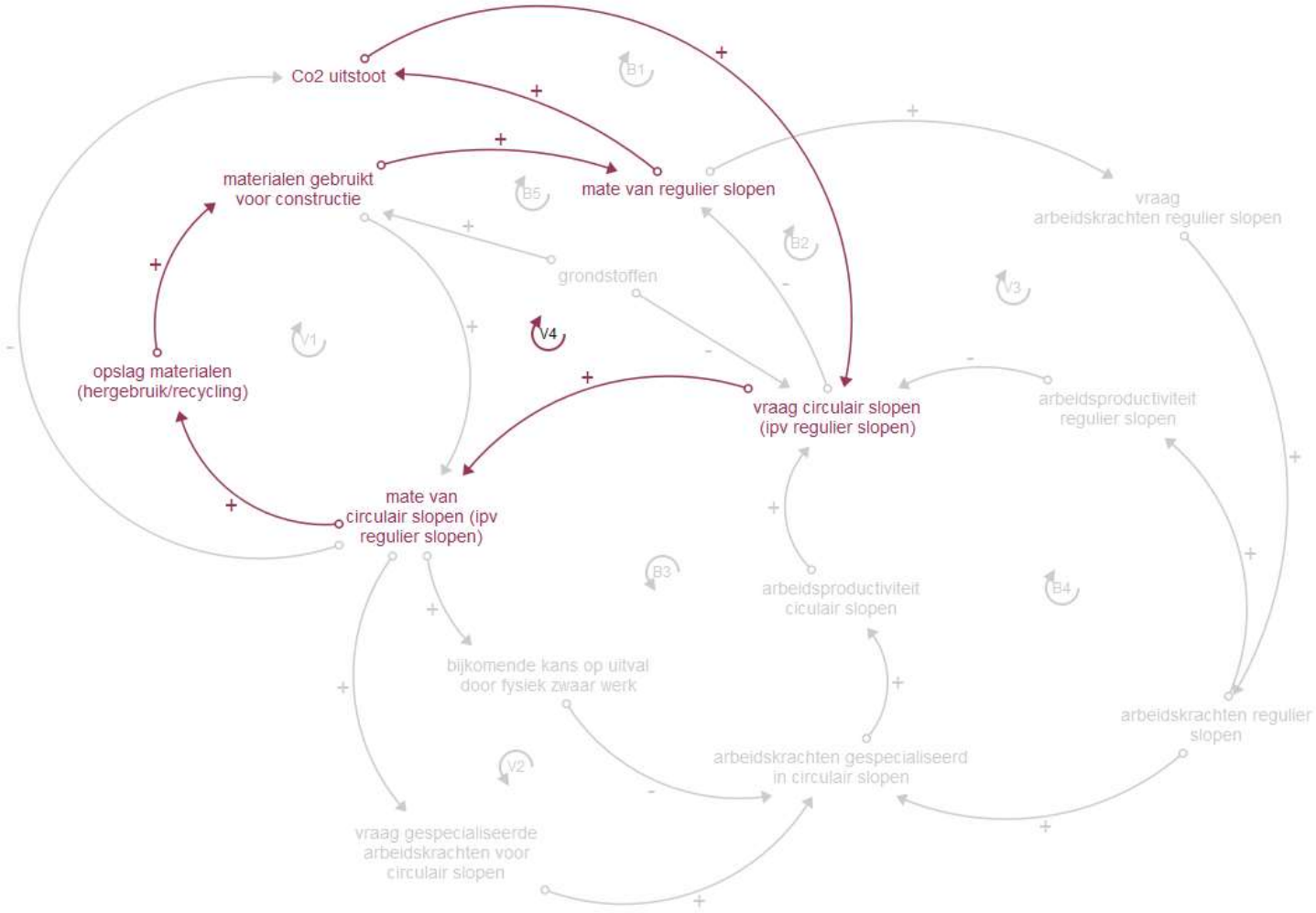


Versterkende lus – V4

Versterkende lus V4

- **Materialen gebruikt voor constructie**
  Een toename in constructie, zal (met vertraging) leiden tot een toename van de mate van slopen. Dit kan dus ook leiden tot een grotere mate van regulier slopen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van regulier slopen**
  Wanneer de mate van regulier slopen toeneemt, stijgt ook de CO_2 uitstoot. Dit is een positieve relatie (+).
- **CO_2 uitstoot**
  Als de CO_2 uitstoot toeneemt, zal (met eventuele vertraging) de vraag naar circulair slopen als alternatief toenemen. Dit is een positief verband (+).
- **Vraag circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Als de vraag voor circulair slopen toeneemt, zal de mate van circulair slopen ook toenemen. Dit is een positief verband (+).
- **Mate van circulair slopen (ipv regulier slopen)**
  Een toename van circulair slopen, leidt tot een grotere opslag van materialen. Dit is een positief verband (+).
- **Opslag materialen (hergebruik/recycling)**
  Een toename in de opslag van materialen zal ook leiden tot een toename van beschikbare materialen voor constructie van nieuwe gebouwen. Dit is een positief verband (+).

Deze lus heeft een versterkend effect. Meer constructie leidt uiteindelijk tot meer regulier slopen en hogere CO_2 uitstoot, wat de vraag naar circulair slopen vergroot, waardoor meer materialen worden opgeslagen en opnieuw beschikbaar komen voor nieuwe constructie.



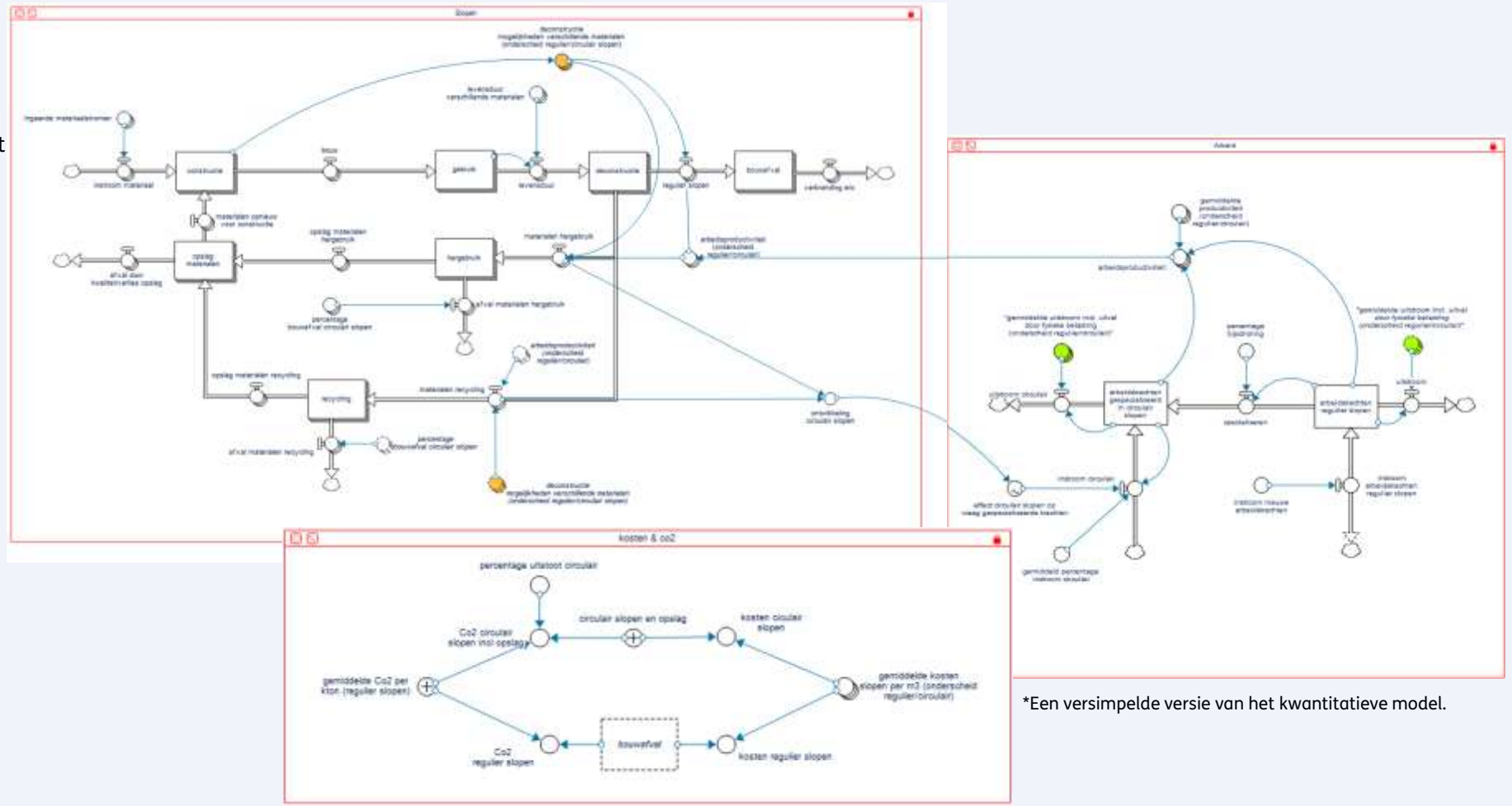
Kwantitatief Model

Vervolgens zijn de feedback lussen van de CLD vertaald naar een kwantitatief model. Hierdoor zijn lussen van de CLD niet direct herkenbaar in het kwantitatieve model.

Voor het kwantitatieve model is input gebruikt van de volgende bronnen:

- Economisch Instituut voor de Bouw (EIB)
- Uitvoeringsinstituut Werknemersverzekeringen (UWV)
- Planbureau voor de Leefomgeving (PBL)
- VERAS (Brancheverenging voor sloopaannemers en asbestverwijderingsbedrijven)
- Rijksoverheid
- Etc.

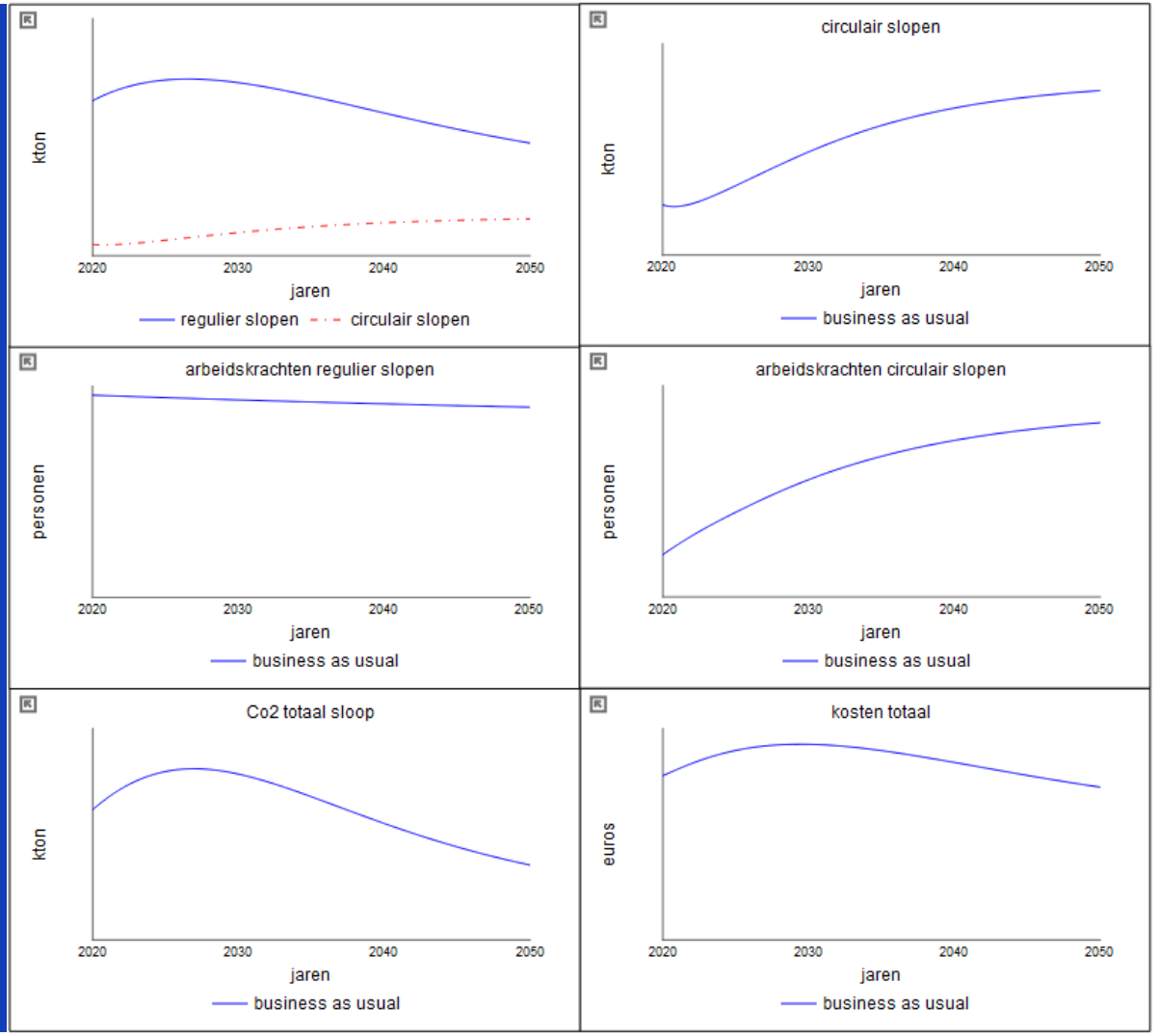
De volgende pagina's laten de trends van het model zien onder verschillende scenario's.



*Een versimpelde versie van het kwantitatieve model.

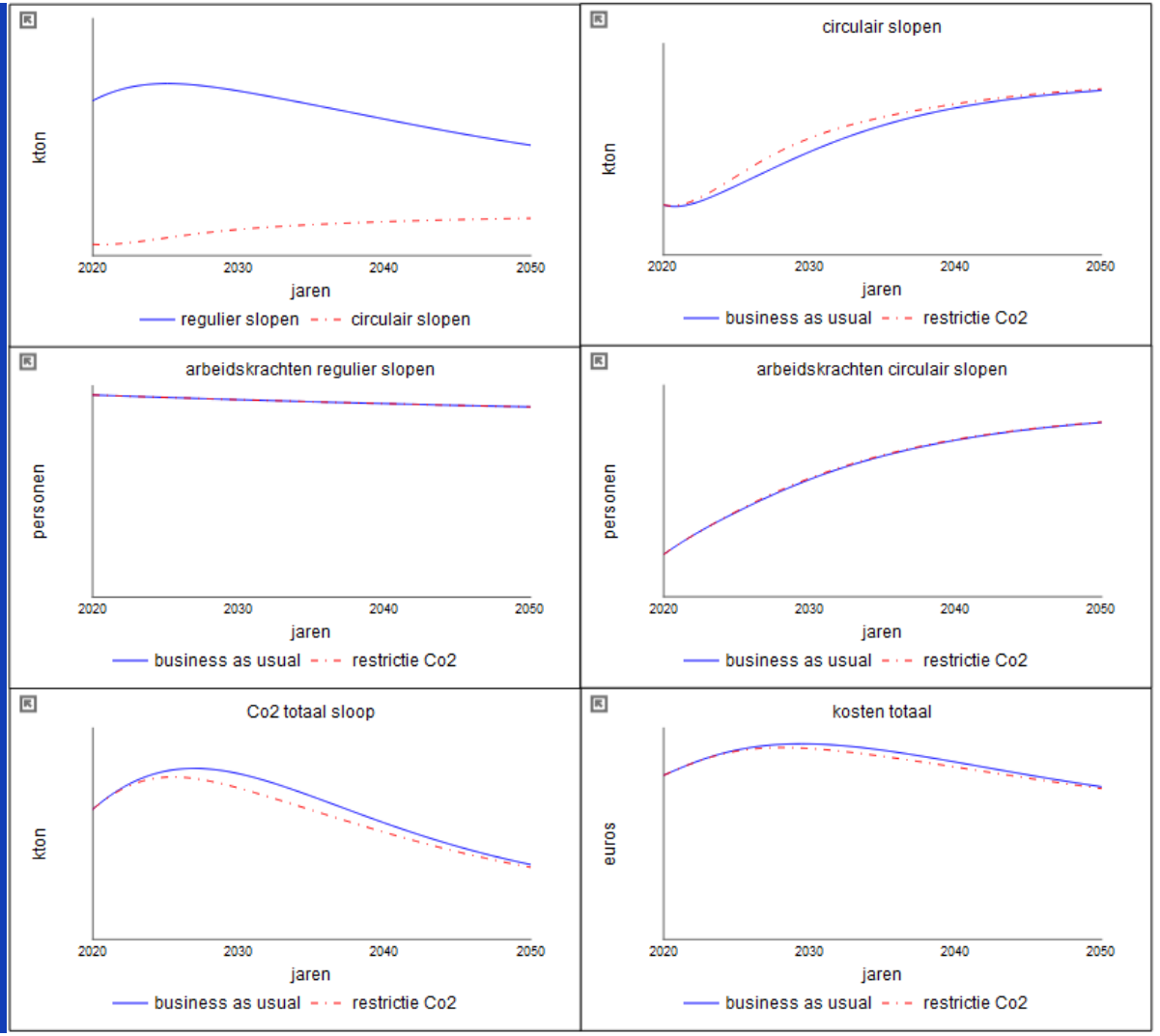
Scenario: Business as Usual

- Dit scenario geeft de trendontwikkeling weer onder de normale gang van zaken.
- Zoals in de eerste grafiek gezien kan worden, wordt er verwacht dat het aandeel van circulair slopen de komende jaren zal toenemen.
- Dit is o.a. te verklaren door de versterkende lus V2 – als er meer vraag is naar circulair slopen, en dus gespecialiseerde arbeidskrachten, zullen deze (met enige vertraging) ook toenemen. Dit verhoogt de productiviteit en dus aantrekkelijkheid van de sector, wat de vraag verder zal doen stijgen.
- Ook dragen verschillende balancerende lussen bij aan dit trendgedrag:
  - lus B1 en B2 includeren CO_2 uitstoot. Als deze toeneemt, zoals te zien is in de grafiek linksonder, zal de vraag voor een duurzamer alternatief voor regulier slopen toenemen.
  - lus B5 heeft ook invloed op de toename van circulair slopen. De sloopsector is afhankelijk van de materialen waarmee gebouwd wordt. Door schaarste van grondstoffen, zal de optie om materialen her te gebruiken (d.m.v. circulair slopen) aantrekkelijker worden.



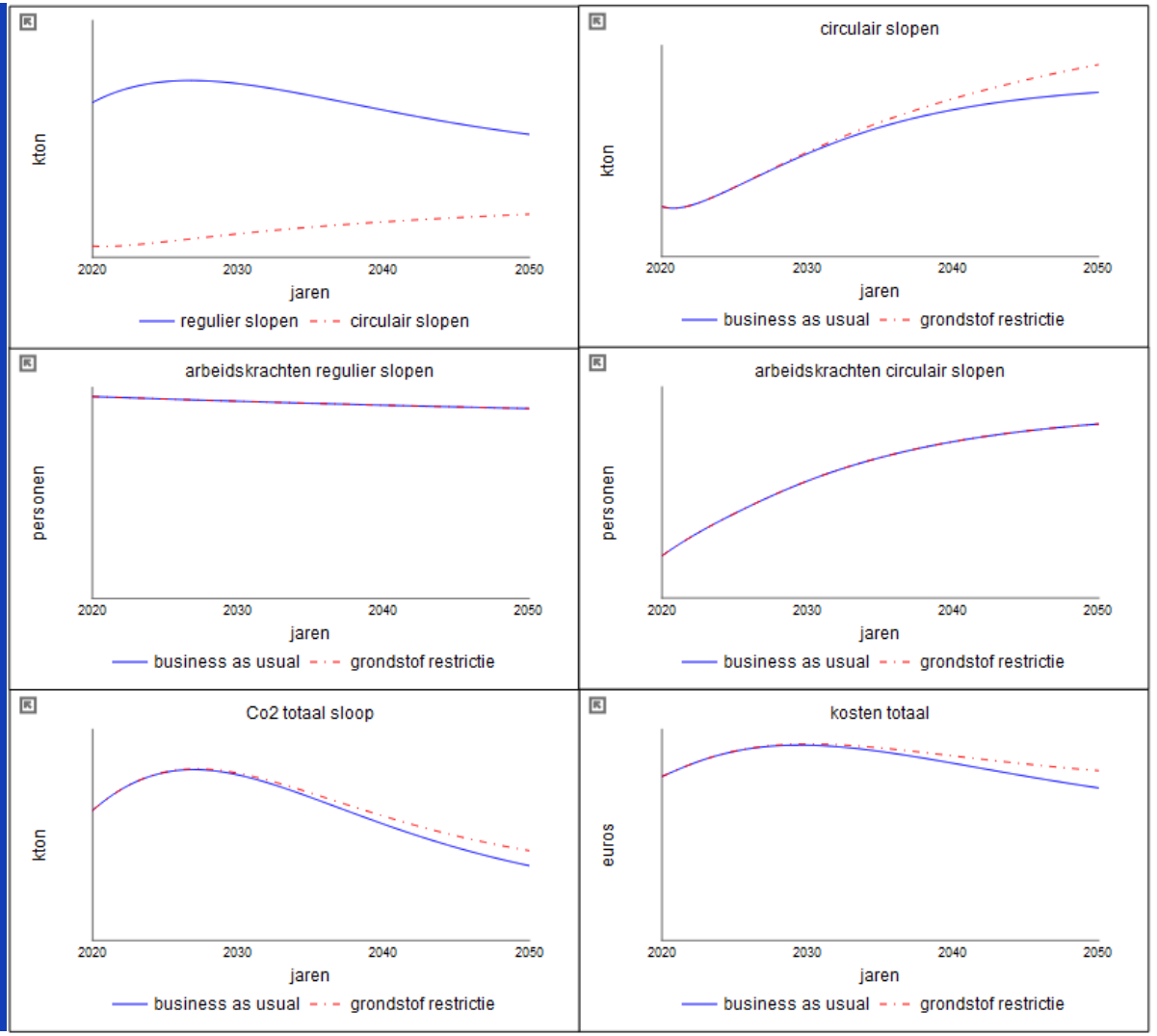
Scenario: Invloeden CO_2 Uitstoot

- Hier wordt het *business as usual* scenario vergeleken met een scenario dat sterker corrigeert op CO_2 uitstoot.
- Dit betekent dat zowel lus B1 als lus B2 een groter effect heeft op de rest van het systeem, wat de vraag tot circulair slopen doet toenemen.
- In de grafiek rechtsboven is te zien dat dit effect voornamelijk zichtbaar is in de eerste tien jaar. Dat is omdat de mate van circulair slopen reageert op de CO_2 uitstoot. In de grafiek linksonder is te zien dat deze toeneemt, wat ervoor zorgt dat circulair slopen ook toeneemt. Zodra de uitstoot weer afneemt, wordt dat ook weerspiegelt in de mate van circulair slopen.



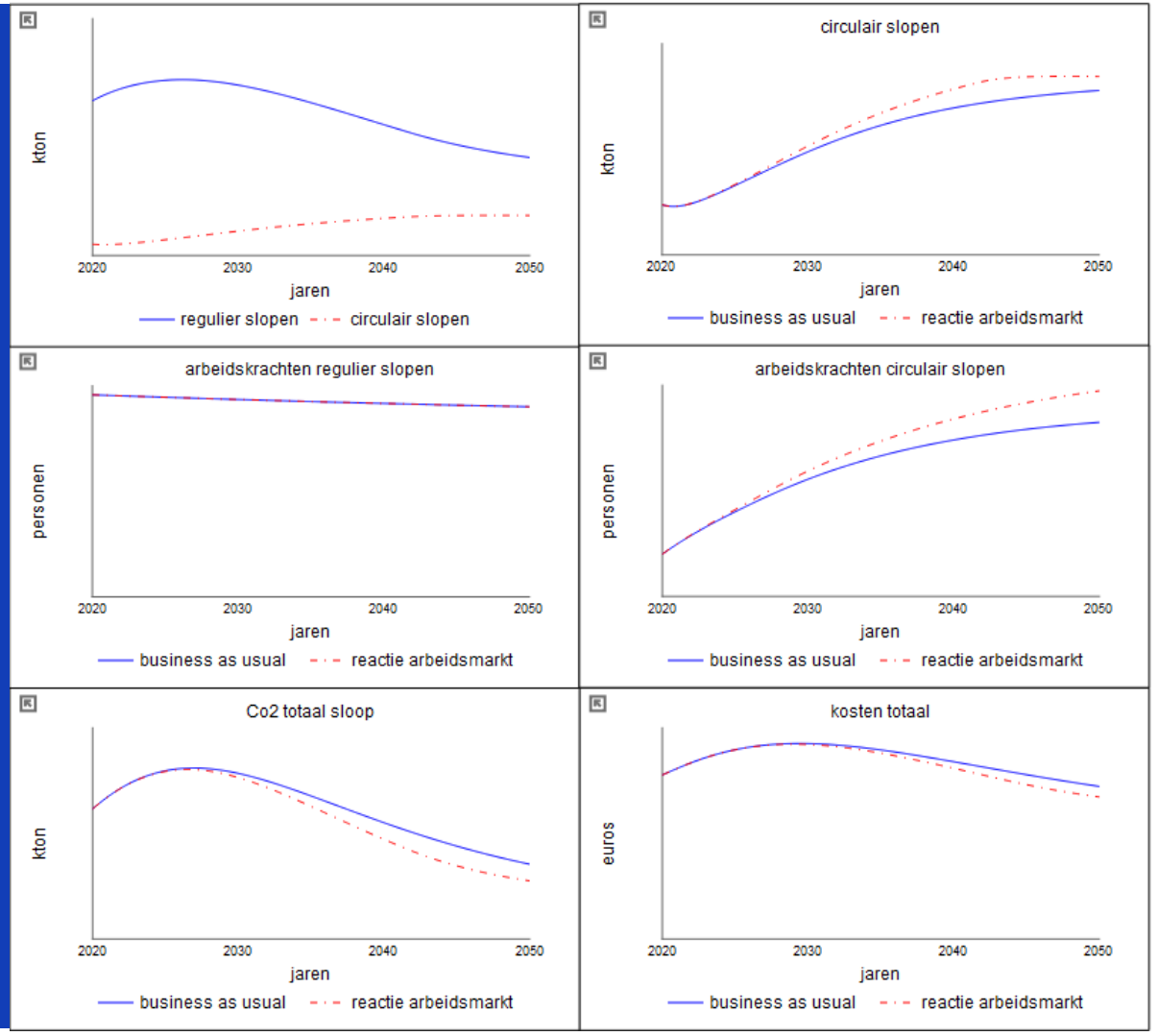
Scenario: Grondstof Restrictie

- Hier wordt het *business as usual* scenario vergeleken met een scenario met een toenemende schaarste aan grondstoffen.
- Dit betekent dat lus B5 een groter effect heeft, wat de vraag tot circulair slopen doet toenemen.
- In de grafiek rechtsboven is te zien dat dit effect voornamelijk zichtbaar is in de laatste tien jaar. Dat is omdat grondstof- en materiaalgebruik invloed hebben op de constructiesector. Er is een vertraging aanwezig in het systeem voordat dit effect zichtbaar wordt voor de sloopsector.



Scenario: Reactie Arbeidsmarkt

- Hier wordt het *business as usual* scenario vergeleken met een scenario waar de arbeidsmarkt sterker reageert op de stijgende vraag naar circulair slopen t.o.v. regulier slopen.
- Dit betekent dat lus V2 in sterkte toeneemt, wat zorgt voor een groei in arbeidskrachten en circulair slopen. Dit illustreert dat arbeid een grote rol speelt in de mate van adoptie van het circulair slopen.
- Ook hier is het effect niet direct zichtbaar in het trendgedrag. Dit komt omdat zowel de vraag, als de markt met een vertraging reageren op elkaar.



Lessen uit het exploratieve model

Success to the Successful

Het concept *"Success to the Successful"* beschrijft een situatie waarin twee of meer partijen strijden om dezelfde beperkte middelen (zoals geld, tijd of arbeidskrachten). Degene die initieel een voorsprong heeft, krijgt meer middelen toegewezen, waardoor die partij nóg succesvoller wordt. Dit versterkt zichzelf: de ander krijgt minder middelen en raakt steeds verder achterop. Kort gezegd: dit concept bestaat uit twee positieve feedback lussen die ongelijkheid in het systeem vergroot, omdat succes leidt tot meer succes, terwijl minder succes leidt tot nog minder kansen.

Een soortgelijk patroon kan worden herkend in het ontwikkelde model (lus V2 en V3). Een toenemende arbeidsproductiviteit van circulair slopen heeft een stimulerend effect op de vraag hiernaar. Echter, de toename van arbeidsproductiviteit van regulier slopen kan een afremmend effect op de vraag naar circulair slopen hebben als dit de aantrekkelijkheid van regulier slopen vergroot. Regulier slopen is een grotere sector t.o.v. circulair slopen wat het in verschillende opzichten een lucratievere optie kan maken om in te investeren. Zoals beschreven in het *business as usual* scenario, zijn er ook andere factoren in het model aanwezig die deze dynamiek beïnvloed, lus B1 en B2 kunnen de mate van regulier slopen bijvoorbeeld afremmen omdat de hoge CO_2 uitstoot van regulier slopen ongewenst is. Ook is het hergebruiken van materialen een drijfveer om te investeren in circulair slopen.

"*Success to the Successful"* illustreert het belang om bewuste interventies uit te voeren om de gewenste feedback lussen te versterken en de ongewenste lussen af te remmen omdat er een inherente dynamiek in het systeem aanwezig is die de mate van circulair slopen belemmert. De goede lussen in beweging zetten is cruciaal.

Arbeid als beperkende factor

Arbeidsproductiviteit vormt een restrictie voor de versterkende lussen. Om de vraag naar circulair slopen te vergroten is het dus van belang om de arbeidsproductiviteit in deze sector te vergroten.

- V2: deze lus geeft het effect weer van arbeidsproductiviteit op de vraag naar circulair slopen. Dit kan op verschillende manieren worden gestimuleerd (bijv. door te investeren in digitale werkinstructies, AI toepassingen om het werkproces te optimaliseren, inventarisatiesoftware etc.).
- B3: deze balancerende lus geeft het effect van fysieke belasting weer op de arbeidsproductiviteit van arbeidskrachten in de circulaire sloopsector. Als deze lus in sterkte toeneemt, zal lus V2 af worden geremd. Het is dus van belang om de fysieke belasting te verminderen (bijv. door tilhulpmiddelen, taakrotatie, robotica/exoskeletten etc.).

Vervolgstappen

Exploratief model

Dit exploratieve model geeft eerste inzichten in de relaties die aanwezig zijn in de sloopsector. Om de complexiteit van het probleem beter weer te geven is aanvullende data nodig uit de literatuur en van verschillende experts en stakeholders. Benodigde informatie is o.a.:

- Momenteel wordt naar de sector als geheel gekeken, maar arbeid is ook een knelpunt in specifieke schakels van de keten. Welke bottlenecks in het sloopproces worden veroorzaakt door de arbeidskrapte? Hoe gebeurt dat precies?
- Welke stakeholders sturen de markt aan als het gaat om circulair slopen? Hoe werkt dit proces precies?
- Welke interventiemogelijkheden zijn er die de arbeidsproductiviteit kan verhogen als het gaat om circulair slopen? Wat voor impact hebben deze verschillende interventies?
- In het huidige model wordt de variabele ‘opslag materialen’ opgevat als de beschikbaarheid van materialen die hergebruikt kunnen worden. In de praktijk omvat opslag echter veel meer: het fysieke beheer, de logistiek en kwaliteitsborging spelen o.a. een cruciale rol binnen de circulaire sloopsector. Deze complexiteit komt in het huidige model nog niet tot uitdrukking, terwijl dit onderdeel juist een prominente plaats zou moeten krijgen.

Manieren om model te valideren

Naast verdere aanvullingen aan de model structuur, moet het model verder gevalideerd worden. Dit kan op verschillende manieren:

- Tijdens een sessie met experts/stakeholders het model toetsen/valideren
- Historische data vergelijken met de output van het model
- Verschillende aanvullende validatie testen kunnen worden uitgevoerd (sensitiviteit analyse, extreme conditie testen etc.)

Projectnummer	060.63793/01.04
Rapportnummer	TNO 2026 R10133
Contact TNO	Anneke Goudswaard
Telefoon	+31 (0)6 211 345 77
E-mail	anneke.goudswaard@tno.nl

Health & Work
Sylviusweg 71
2333 BE LEIDEN
Postbus 2215
2301 CE LEIDEN
www.tno.nl

T 088 860 75 00
info@tno.nl

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

© 2026 TNO

TNO innovation for life