

RAPPORT

Materialenstrategie voor 'circulair werken' met beton

Materialenstrategie en format

Klant: Rijkswaterstaat

Referentie: BI6323-MI-RP-230524-1408

Status: Definitief/01

Datum: 19 oktober 2023

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands
Mobility & Infrastructure

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Materialenstrategie voor 'circulair werken' met beton

Sub titel: Materialenstrategie en format
Referentie: BI6323-MI-RP-230524-1408
Uw kenmerk CE in de GWW - perceel 1
Status: Definitief/01
Datum: 19 oktober 2023
Projectnaam: Materialenstrategie beton
Projectnummer: BI6323
Auteur(s): WD, JBJ

Opgesteld door: WD

Gecontroleerd door: JBJ

Datum: 19 oktober 2023

Goedgekeurd door: JBJ

Datum: 19 oktober 2023

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V.. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat.

Inhoud

1	Inleiding	4
2	Aanpak opstellen materialenstrategie	5
2.1	Overwegingen bij het opstellen van de aanpak	5
2.2	Stap A: Inventariseren en ordenen technische oplossingen	6
2.3	Stap B: Selecteren van technische oplossingen	8
2.4	Stap C: Bepalen stakeholder Readiness Level	9
3	Uitwerking materialenstrategie beton	13
3.1	Stap A beton: inventariseren en ordenen	13
3.2	Stap B beton: selecteren van technische oplossingen	13
3.3	Stap C beton: uitwerken oplossingen met de SRL-tool	14
3.4	Materialenstrategie beton	15
4	Onderzoek implementatie op basis van SRL-tool	25
4.1	Vertraagde uitharding	25
4.2	Externe wapening	28
4.3	Verbeterde renovatie van voegovergangen	33
5	Conclusies en advies	36

1 Inleiding

In 2021 is een materialenstrategie, versie 1.1 opgesteld voor de geprioriteerde materiaalketens staal, asfalt, beton en grond¹. De materiaalstrategieën volgen uit de ambitie om in 2030 klimaatneutraal en circulair te werken. De materialenstrategieën richten zich op de volgende drie 'circulaire' doelstellingen:

1. het beschermen van milieukwaliteit;
2. het beschermen van materiaalvoorraden;
3. het beschermen van waarde.

Materialenstrategie moet overzichtelijker, completer en beter aansluiten bij praktijk

De komende jaren wil RWS de materialenstrategieën verder ontwikkelen. Daarvoor zijn bij de voorliggende materialenstrategie door RWS een aantal verbeterpunten gesignaleerd, en wel:

1. de strategie bevat waardevolle maatregelen maar is niet overzichtelijk
2. de maatregelen zijn 'hapsnap' en
3. een aansluiting van de maatregelen met de 'dagelijkse' praktijk van RWS ontbreekt.

Doel: generieke aanpak ontwikkelen materialenstrategie en implementatie

Om aan voorgaande verbeterpunten invulling te geven, is het doel van dit project een aanpak te ontwikkelen voor het opstellen van de materialenstrategieën die tegemoetkomt aan deze punten. Ofwel: een werkwijze die helpt om een materiaalstrategie op te stellen, waarbij in de breedte oplossingen worden gezocht, die overzichtelijk worden weergegeven en waarbij een verbinding wordt gelegd met de praktijk. Vertrekpunt daarbij is geweest gebruik te maken van de circulaire principes in de verwachting dat die sturend zijn voor het vinden, ordenen en richting geven aan oplossingen.

Werkwijze

In dit onderzoek is die 'generieke' aanpak ontwikkeld. Om deze aanpak ook direct te beproeven en aan te scherpen is als casus de voorliggende materialenstrategie voor 'beton'¹ in lijn gebracht en verder uitgewerkt met de ontwikkelde aanpak.

Leeswijzer

Hoofdstuk 2: Beschrijving van de generieke aanpak materialenstrategie

Hoofdstuk 3: Uitwerking materiaalstrategie beton

Hoofdstuk 4: Onderzoek aansluiting dagelijkse praktijk drie technische oplossing voor beton

Hoofdstuk 5: Conclusies en aanbevelingen

Totstandkoming

Het onderzoek is begeleid door verschillende RWS'ers (WVL), van wie de namen bekend zijn bij het projectteam RWS CE in de GWW. Voor elk van de drie technische oplossingen zijn 2 à 3 interviews gehouden met experts van RWS en uit de keten.

¹Rapportage toepassing en toetsing circulaire materialenstrategie. Uitkomsten op basis van betrokkenheid van RWS-experts en externe experts, TwijnstraGudde, augustus 2021.

2 Aanpak opstellen materialenstrategie

2.1 Overwegingen bij het opstellen van de aanpak

Het doel van de rapportage is om een materialenstrategie te ontwikkelen die overzichtelijker is, completer is en beter aansluiten bij praktijk.

Circulaire principes versus circulaire doelstellingen

Bij het opstellen van de materialenstrategie is gebruik gemaakt van de circulaire principes:

- Narrow the loop – minder gebruiken;
- Slow the loop – materialen langer gebruiken;
- Close the loop – materiaalketens sluiten;
- Substitute – duurzamere alternatieven;
- Dispose – verwijderen van ongewenste stoffen.

De principes geven een concrete invulling aan de circulaire doelstellingen. Bijvoorbeeld: narrow the loop, slow the loop en close the loop dragen allemaal bij aan de bescherming van de materiaalvoorraden. Slow the loop en close the loop hebben een relatie met waardebehoud. Substitute en dispose dragen bij aan het beschermen van de milieukwaliteit.

Ordering aan de hand van circulaire principes

De bestaande kennis over circulaire oplossingen voor beton is geordend aan de hand van de circulaire principes in de verwachting dat die sturend zijn voor het vinden, ordenen en richting geven aan oplossingen.

Verskil technische en proces oplossingen

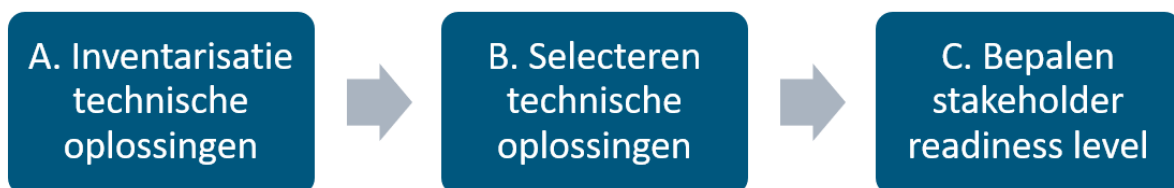
Circulaire oplossingen voor beton kunnen bestaan uit technische oplossingen (zoals andere bindmiddelen) of uit procesoplossingen (zoals aanpassingen van normen). In de bestaande documentatie wordt beide door elkaar gebruikt. In de materialenstrategie beton bleek het voor het overzicht belangrijk om hier verschil tussen te maken.

Stapsgewijze aanpak

Dit hoofdstuk beschrijft een aanpak om te komen tot een materialenstrategie en bestaat uit de volgende stappen:

- het in de breedte **inventariseren** en overzichtelijk ordenen van technische oplossingen die bijdragen aan de circulaire doelen
- het **selecteren** van technische oplossingen die naar verwachting impactvol zijn én die nog niet in onderzoek of ingebed zijn bij RWS
- het onderzoeken van de **stakeholder readiness level**, ofwel de mate waarin de organisatie en omgeving klaar zijn voor de toepassing van de geselecteerde technische oplossingen

Navolgend zijn deze stappen uitgewerkt.



Figuur 1 Schematische weergave van de gevolgde werkwijze

2.2 Stap A: Inventariseren en ordenen technische oplossingen

Stap A bestaat uit:

- A.1 Inventarisatie technische oplossingen
- A.2 Ordenen en aanvullen technische oplossingen in generiek werkblad
- A.3 Aanvullen hiaten technische oplossingen

A.1 Inventarisatie technische oplossingen

De afgelopen jaren is veel (verkenkend) onderzoek uitgevoerd naar technische oplossingen om bij te dragen aan meer circulair werken in de GWW. De aanpak is er op gericht eerst deze bestaande (ideeën en kennis over) technische oplossingen te verzamelen. In hoofdstuk 3 is een uitwerking gegeven voor beton.

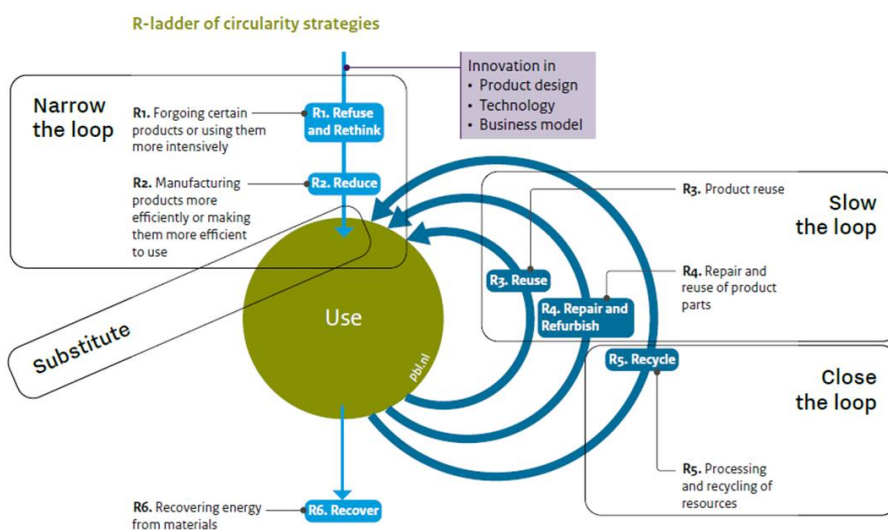
A.2 Ordenen technische oplossingen

Vervolgens worden de technische oplossingen geordend. Hiervoor is een werkblad ontwikkeld. Dit werkblad is opgenomen in tabel 2. In dit werkblad worden de gevonden technische oplossingen geordend naar:

Kolom 1: Circulaire principe: de eerste ordening (de eerste kolom in het werkblad) is de indeling naar circulaire principe. Een technische oplossing wordt ingedeeld bij het principe waar een technische oplossing op aansluit. De gebruikte 'circulaire principes' zijn (zie ook figuur 1):

- Narrow the loop: minder gebruiken
- Slow the loop: materiaal langer gebruiken
- Close the loop: recyclen van materiaal
- Substitute: materiaal vervangen door duurzame alternatieven
- Dispose: verwijderen uit de keten

Bijvoorbeeld: oplossingen die bijdragen aan een langere levensduur sluiten aan op 'slow the loop'. Het principe 'dispose' is aanvullend toegevoegd. 'Dispose' gaat uit van het verwijderen van restanten uit de lineaire economie, die onwenselijk zijn om terug te brengen in een circulaire economie, om bijvoorbeeld milieutechnische redenen of omdat ze hoogwaardige verwerking van materialen in de weg staan.



Figuur 1 Circulariteitsladder (R-ladder) met circulaire principes

Kolom 2: Principle indicator: met de principe indicator (tweede kolom) is een nadere onderverdeling gegeven van het circulaire principe. Bijvoorbeeld voor het principe 'slow the loop' zijn de volgende indicatoren onderscheiden:

- Gebruiksduur van het 1e gebruik: gericht op langer 1e gebruik;
- Herbruikbaarheid (2e en 3e gebruik): gericht op hergebruik na 1e gebruik;
- Hergebruik: gericht op daadwerkelijk hergebruik.

Kolom 3: Schaalniveau: de circulaire principes kunnen op verschillende 'schaalniveaus' van toepassing zijn. Onderscheiden zijn functie, product en materiaal. Zie ook navolgend kader.

Ter verduidelijking twee voorbeelden van de indeling van technische oplossingen
Om één en ander te verduidelijken zijn in de navolgende tabel en tekst twee voorbeelden gegeven voor de principes 'narrow the loop' en 'close the loop'.

Tabel 1 Voorbeeld indeling materialenstrategie: een uitwerking van circulaire principes en technische oplossingen die invulling geven aan dat principe

Circulair principe	Principe indicator	Schaalniveau	Technische oplossing
Narrow the loop	Hoeveelheid materiaal	Functie Product Materiaal	Voorbeeld 1: Vertraagde uitharding
Slow the loop	Gebruiksduur - 1e gebruik	Functie Product Materiaal	
	Herbruikbaarheid - 2e en 3e gebruik	Functie Product Materiaal	Voorbeeld 2: Standaardisatie van elementen
	Hergebruik	Functie Product Materiaal	

Voorbeeld 1: vertraagde uitharding

Door 'vertraagde uitharding' kan worden bespaard op de hoeveelheid cement in beton, waarbij dit eenzelfde eindproduct met dezelfde kwaliteit oplevert. Deze oplossing sluit aan op het principe 'narrow the loop' (minder materiaal). Dit is een oplossing op **materiaalniveau**.

Voorbeeld 2: standaardisatie van elementen

Door standaardisatie van elementen is er een betere herbruikbaarheid van elementen na einde gebruik. Dit resulteert in een langere gebruiksduur en sluit aan op het principe 'slow the loop' en op de nadere onderverdeling daarvan 'herbruikbaarheid (2^e en 3^e gebruik)'. Het is een oplossing op **productniveau**.

Met deze ordening zijn alle technische oplossingen in te delen. Het indelen van oplossingen zorgt voor geordend van technische oplossingen die gericht zijn op eenzelfde principe. In de praktijk zullen waarschijnlijk niet alle kolommen van toepassing zijn. In dat geval kunnen deze leeg gelaten worden. Ook worden de hiaten duidelijk waar geen technische oplossingen gevonden zijn.

Kolom 4: Beschrijving van de technische oplossing. In deze kolom staat de technische oplossing beschreven.

Kolom 5: Fase: beschrijft de (project)fase waarin de oplossing van toepassing is (ontwikkelfase, bouwphase, gebruiksfase of hergebruiksfase);

Kolom 6: Stand van zaken: beschrijft de stand van zaken van de technische oplossing binnen RWS. Hierbij zijn de volgende opties mogelijk:

- In discussie: verschillende standpunten binnen RWS, (nog) geen eenduidig beleid of visie. Oplossingen 'in discussie' worden dus (nog) niet opgepakt in de organisatie;
- In verkenning: verkennen van mogelijkheden voor de oplossing, bijvoorbeeld door het uitzetten van onderzoek of uitvoeren van pilots;
- In uitvoering: oplossing wordt toegepast binnen RWS.;
- Status onbekend: het is onbekend wat de status is van de oplossing.
- Geen actieve sturing: RWS stuurt niet actief op het stimuleren van de oplossing. Een reden hiervoor kan zijn dat de marktontwikkelingen al zodanig zijn dat RWS de keus maakt om dit niet zelf actief te stimuleren. Een andere reden kan zijn dat RWS de oplossing niet wenselijk vindt en deze om die reden niet wil stimuleren. In de tabel wordt dit per oplossing toegelicht.

Kolom 7 Procesoplossingen uit inventarisatie: dit zijn acties die gedaan kunnen worden om de technische oplossing te implementeren. Uit ervaring bij het uitvoeren van de inventarisatie (beton) blijkt dat het belangrijk voor het overzicht is om verschil te maken tussen technische oplossingen en procesoplossing. Een technische oplossing binnen de betonstrategie is bijvoorbeeld 'optimalisatie van de korrelpakking'. Procesoplossingen zijn bijvoorbeeld sturing op MKI en validatieruimte voor nieuwe mengsels in projecten. Het verschil maken tussen een technische oplossing en een procesoplossing is essentieel gebleken in het overzichtelijk houden van een lijst. Procesoplossingen zijn vaak gekoppeld aan technische oplossingen, maar kunnen ook gekoppeld zijn aan de principe indicator (bijvoorbeeld minder nieuwbouw). Het feit dat procesoplossingen gekoppeld zijn aan een technische oplossing wil niet zeggen dat procesoplossingen op de tweede plaats komen. Voor een succesvolle transitie naar een circulaire economie is een combinatie van zowel de technische oplossingen als de procesoplossingen nodig.

Naast deze standaard antwoorden kan een kolom worden toegevoegd om een uitgebreidere beschrijving te geven van de stand van zaken, betrokken afdelingen of personen etc.

A.3 Aanvullen hiaten technische maatregelen

Zoals voorgaand aangegeven kunnen door de ordening van oplossingen ook hiaten zichtbaar worden. Zo zijn er wellicht in bekende bronnen geen oplossingen gevonden gericht op herbruikbaarheid. Als extra stap kan een werksessie worden belegd met experts gericht op het aanvullen van deze hiaten.

2.3 Stap B: Selecteren van technische oplossingen

Nadat in stap A het overzicht is afgerond kan een prioritering worden gemaakt voor implementatie. Echter vaak is het zinvol om eerst kansrijke technische oplossingen verder te onderzoeken op de stakeholder readiness level (SRL).

Selectie oplossingen voor SRL-analyse

Voor selectie van oplossingen om verder te onderzoeken zijn oplossingen met de status 'in discussie' interessant. De reden voor het kiezen van oplossingen met status 'in discussie' is dat het van deze oplossingen waardevol is om inzichtelijk te hebben: waarom zijn deze oplossingen in discussie en worden ze niet verder opgepakt? Wat zijn de belangrijkste knelpunten?. Ook bij oplossingen met de status 'in verkenning' kan het uitvoeren van een SRL-analyse zinvol zijn. Een SRL-analyse (zie stap C) is geschikt om de knelpunten in kaart te brengen, en daarmee een beter beeld te krijgen van wat er nodig is om de oplossing te implementeren. Voor oplossingen met status 'in uitvoering' is dit niet meer nodig – de oplossing is tenslotte al in uitvoering. En bij oplossingen met 'geen actieve sturing' heeft RWS besloten hier niet actief op te sturen, waardoor verder onderzoek naar hoe dit te implementeren niet zinvol is. Oplossingen met 'status onbekend' zijn over het algemeen nog te vaag gedefinieerd en/of niet ver genoeg uitontwikkeld om

al te kunnen toepassen en daarom op dit moment nog niet geschikt om al de implementatie van te onderzoeken.

Vervolg na SRL-analyse

De uitkomst van de SRL-analyse geeft een goed overzicht van de knelpunten. Op basis hiervan kan een plan voor implementatie van de oplossing gemaakt worden, waarmee de belangrijkste belemmeringen weggenomen kunnen worden. Mocht op basis van de SRL-tool naar voren komen dat de belemmeringen dusdanig groot zijn, of de meerwaarde van de oplossing te beperkt dan kan uiteraard ook besloten worden om niet verder te sturen op de implementatie van de oplossing.

Selectiecriteria voor implementatie

Naast een SRL-analyse kunnen ook andere overwegingen een rol spelen in het selecteren van technische oplossingen voor verdere implementatie. Een selectie criterium kan bijvoorbeeld zijn de verwachte impact in het halen van de circulaire doelen, bijvoorbeeld door de verwachte materiaalbesparing, materiaalhergebruik, levensduurverlenging of vermindering van CO₂-emissies aan te geven. Dit kan kwantitatief berekend worden, maar dat is complex. Eenvoudiger is om de beoordeling in eerste instantie kwalitatief uit te voeren, op basis van expert judgement. Deze stap is voor de materialenstrategie beton niet uitgevoerd.

2.4 Stap C: Bepalen stakeholder Readiness Level

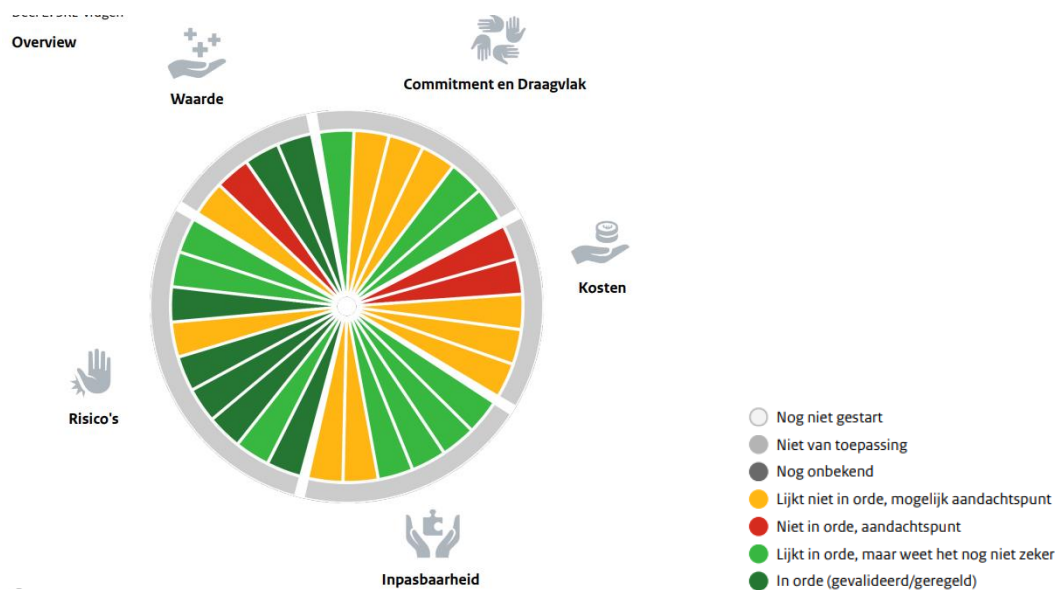
De stakeholder readiness level (SRL) geeft aan in hoeverre de organisatie en omgeving klaar zijn voor een innovatie en is online te raadplegen.² Deze tool is ontwikkeld door RWS als hulpmiddel om innovaties in de praktijk te brengen. De tool helpt om inzichtelijk te maken waar knelpunten zitten die nog geregeld moeten worden voor implementatie van technische oplossingen.

In de SRL-tool wordt gekeken naar de volgende componenten:

- **Waarde:** de meerwaarde van de innovatie voor de eindgebruiker
- **Draagvlak:** het enthousiasme en de hindermacht in de organisatie
- **Kosten:** kosten voor ontwikkeling en toepassing
- **Inpasbaarheid:** inpasbaarheid in bestaande processen en de veranderdruk die een innovatie meebrengt
- **Risico's:** snelle check of risico's bekend en beheersbaar zijn.

In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van een visuele uitkomst van de SRL-tool. Onderstaand wordt inzicht gegeven in wat de 'taartpunten' in de figuur inhouden.

² [Stakeholder Readiness Level tool \(srl-tool.nl\)](https://srl-tool.nl)



Figuur 2 Voorbeeld van een visuele weergave van een ingevulde SRL

Onder 'waarde' zijn de volgende aspecten meegenomen (elke bullet vertegenwoordigt een 'taartpunt' uit de figuur):

- Meerwaarde voor RWS-opgaven;
- Meerwaarde voor RWS-focuspunten (Assetmanagement 2.0, Klimaatadaptatie, Duurzaamheid en Leefomgeving, Data en informatievoorziening, Smart Mobility, Opgavegericht Samenwerken);
- Meerwaarde voor andere gebruikers;
- Generieke maatschappelijke baten.

Onder 'commitment en draagvlak' zijn de volgende aspecten opgenomen:

- Bestuurlijk draagvlak intern RWS
- Is een opdrachtgever intern RWS aanwezig;
- Is een projectleider intern RWS aanwezig;
- Heeft de projectleider een duidelijke opdracht en voldoende mandaat;
- Is er draagvlak intern RWS;
- Is er draagvlak in de omgeving.

Onder kosten is meegenomen:

- Zijn ontwikkelkosten van toepassing;
- Zijn meerkosten van toepassing;
- Wat is de investeringsbereidheid van externe partijen;
- Wat is de investeringsbereidheid van RWS;
- Is er een businessmodel voor alle partijen die investeren.

Onder inpasbaarheid is meegenomen:

- Past de innovatie binnen huidige wet- en regelgeving;
- Past de innovatie binnen kaders- en richtlijnen van RWS;
- Past de innovatie binnen de inkoopstrategie van RWS;
- Past de innovatie binnen werkprocessen van RWS;
- Past de innovatie binnen werkprocessen van de aannemer;

- Wat is de 'veranderdruk' voor medewerkers (is bv sprake van verandering van de aard van de werkzaamheden of verandering in werkzekerheid).

Is er sprake van risico's op het vlak van:

- Betrouwbaarheid;
- Beschikbaarheid;
- Onderhoudbaarheid;
- Securiteit (veiligheid, de gevoeligheid van het systeem voor verstoringen van buitenaf, zoals vandalisme of diefstal);
- Geborgenheid (voldoet het systeem aan veiligheidseisen, zijn er veiligheidsrisico's);
- Gezondheid;
- Milieu/omgeving;
- Economie;
- Politiek.

Voor meer toelichting op de individuele aspecten wordt verwezen naar de beschrijvingen op de SRL-website³.

³ [Stakeholder Readiness Level tool \(srl-tool.nl\)](https://www.srl-tool.nl)

Tabel 2 Generiek format materialenstrategie

1.Circulair principe	2.Principe-indicator	3.Schaalniveau technische oplossing	4.Technische oplossing	5.Fase technische oplossing	6.Stand van zaken technische oplossing	7.Procesoplossingen uit inventarisatie
		<i>Onderscheiden niveaus: Functie, product en materiaal</i>	<i>Beschrijving technische oplossing (meer dan 1 oplossing per niveau mogelijk)</i>	<i>Onderscheiden fase:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Ontwikkelfase • Bouwfase • Gebruiksfase • Hergebruiksfase 	<i>Opties:</i> <ul style="list-style-type: none"> • In discussie • In verkenning • In uitvoering • Status onbekend • Geen actieve sturing 	<i>Beschrijving van gerelateerde procesoplossingen voor implementatie technische oplossing (aanpassingen normen, kennisdeling, pilots etc.)</i>
Narrow the loop	Hoeveelheid materiaal	Functie: minder functie				
		Product: minder product voor dezelfde functie				
		Materiaal: minder materiaal voor hetzelfde product				
Slow the loop	Gebruiksduur - 1e gebruik	Functie: adaptief				
		Product: lange technische levensduur (nieuw)				
		Product: levensduur verlengen (bestaand)				
	Herbruikbaarheid - 2e en 3e gebruik	Product: herbruikbaarheid (nieuw)				
	Hergebruik	Product: hergebruik (bestaand)				
Close the loop	Recyclebaarheid	Materiaal: geen belemmeringen voor recycling (nieuw)				
	Recycling	Materiaal: recycling				
Dispose		Materiaal: verwijderen voor recycling onwenselijke stoffen (bestaand)				
Substitute	Alternatieve grondstoffen	Product: alternatief product				
		Materiaal: alternatieve, duurzame (biobased) materialen/ bestanddelen				

3 Uitwerking materialenstrategie beton

3.1 Stap A beton: inventariseren en ordenen

De handelingsperspectieven uit de materialenstrategie van TwijnstraGudde (2021) zijn geordend volgens de circulaire principes en besproken in het projectteam. Ook zijn deze aangevuld met handelingsperspectieven uit andere onderzoeken en rapportages. De volgende bronnen zijn gebruikt voor het aanvullen van de technische oplossingen in de materialenstrategie:

- Rapportage toepassing en toetsing circulaire materialenstrategie. Uitkomsten op basis van betrokkenheid van RWS-experts en externe experts, TwijnstraGudde, augustus 2021.
- Betonakkoord, zo doen we dat bij Rijkwaterstaat, Transitiepad Kunstwerken RWS, oktober 2022
- Voorstel uitwerking handelingsperspectieven beton, intern RWS, juli 2022
- Voorstel kennisactieplan voor beoordelen en borgen van constructieve veiligheid en duurzaamheid van niet-traditionele betonconstructies, TNO, september 2021
- Expertsessie klimaat en circulair. Handelingsperspectieven en visie op duurzaam beton. RWS intern, november 2022

De inventarisatie is aangevuld met de huidige stand van zaken van de oplossingen binnen RWS, op basis van input van RWS-experts. Het resultaat is in tabellen 4 tot en met 8 op de volgende pagina's opgenomen.

Een hiaat dat naar voren komt uit de inventarisatie is dat geen technische oplossing gedefinieerd is bij 'minder functie'. Dit is verklaarbaar doordat dit meer een beleidsvraagstuk is dan een technische oplossing. Uiteindelijk is het wel een impactvolle beslissing of nieuwbouw noodzakelijk is. Voor de materialenstrategie beton is besloten om de lege regel in de tabel te laten staan, zodat deze stap zichtbaar blijft in het overzicht. Wanneer van toepassing kunnen procesoplossingen ook aan de principe indicator worden gekoppeld, zonder dat een technische oplossing aan gekoppeld is.

3.2 Stap B beton: selecteren van technische oplossingen

Uit de technische oplossingen zijn in overleg met RWS de volgende drie oplossingen geselecteerd om verder te onderzoeken met de SRL-tool⁴ (zie toelichting in par 2.3):

1. Vertraagde uitharding van beton
2. Versterking van betonconstructies (of anders gewapend beton) door externe wapening (plakwapening)
3. Voegovergang, aanleg/onderhoud voor een langere levensduur

Deze oplossingen zijn geselecteerd uit alle oplossingen met status 'in discussie', omdat dit de meest interessante categorie binnen stand van zaken is om verder te onderzoeken (zie ook par 2.2.). Voor de drie geselecteerde oplossingen geldt dat deze binnen RWS niet of langzaam van de grond komen, terwijl de RWS-experts van mening zijn dat dit mogelijk interessante oplossingen zijn voor het behalen van de circulaire doelstellingen.

Na het uitvoeren van interviews bleek dat er al trajecten en onderzoeken waren uitgevoerd bij sommige oplossingen en dat deze dus eigenlijk 'in verkenning' waren. De reden dat ze in eerste instantie als 'in discussie' aangemerkt waren komt omdat er intern bij RWS discussie is over implementatie van de oplossingen. De discussie vindt dus eigenlijk 2 keer plaats: voorafgaand aan de beslissing om een verkenning uit te voeren. Vervolgens kan er na de verkenning weer discussie ontstaan over (de noodzaak van) een vervoltraject voor implementatie.

⁴ [Stakeholder Readiness Level tool \(srl-tool.nl\)](#)

3.3 Stap C beton: uitwerken oplossingen met de SRL-tool

Voor elk van de oplossingen zijn 2 à 3 interviews gehouden met experts van RWS en uit de keten. De vragen uit de SRL-tool zijn hierbij als leidraad gebruikt (zie toelichting in hoofdstuk 3). De inhoudelijke uitwerking van de SRL-analyse is opgenomen in hoofdstuk 4.

3.4 Materialenstrategie beton

Tabel 3 Technische oplossingen 'narrow the loop'

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
Narrow the loop	Hoeveelheid beton/	Functie: minder nieuwbouw	-	-	-	-
	Hoeveelheid cement	Product: minder beton voor dezelfde functie	Innovatieve ontwerp- en uitvoeringsmethodes: <ul style="list-style-type: none"> • Extreme vormoptimalisatie ondersteund door NLFEA (bijv. honingraatprofiel doorsneden) • Gebruik 3D geprint beton (oplossing 20 Betonakkoord) • Slankere constructies door optimaliseren betonmengsels (Beton op maat, oplossing 23) 	Ontwikkel-fase	In discussie	<ul style="list-style-type: none"> • Regelgeving aanpassen om innovatieve uitvoeringsmethode mogelijk te maken.
		Materiaal: minder cement voor hetzelfde product	Toepassen CEM III (laag klinkergehalte)	Bouwfase	In uitvoering	<ul style="list-style-type: none"> • CEM III of CEM VI gevraagd vanuit duurzaamheid en enkele technische eisen (RTD1033) • Sturing op MKI. De sturing op MKI én circulariteit kan verbeterd worden door naast de MKI ook te sturen op levensduureisen en hergebruikspotentieel. Mogelijk is dit in de toekomst verder te ontwikkelen tot een 'multicyclische' MKI waarin meerdere levenscycli van een product worden meegenomen.
			Innovatieve uitvoeringsmethodes <ul style="list-style-type: none"> • Slimmere bouwplanning (oplossing 10 Betonakkoord) - voorkeur prefab in de winter, in-situ storten alleen maart-okt. Cementreductie door te voorkomen dat in koudere maanden extra CEM 	Bouwfase	In uitvoering	In uitvoering: <ul style="list-style-type: none"> • Sturing op MKI • Validatieruimte voor nieuwe mengsels in projecten. Deze ruimte is specifiek bedoeld voor op laboratoriumniveau gevalideerde mengsels die opgeschaald worden naar projecten. Omdat de TRL-



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
			<p>I wordt toegevoegd om het uitharden te versnellen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Versnellers inzetten (oplossing 14 Betonakkoord) (versnelde uitharding, cementreductie) • Optimalisatie korrelpakking voor cementreductie (oplossing 1 Betonakkoord) • Verlagen water/cement factor 			<p>niveaus lager zijn dan normaal en er onzekerheid is over de levensduur of kwaliteit van een betonproduct, is het belangrijk de locaties bewust te kiezen. Voor lage TRL-niveaus (6-7) zijn elementen van geluidsschermen zeer geschikt, omdat deze makkelijk vervangbaar zijn. Voor hogere TRL-niveaus (8-9) kan gedacht worden aan (eco)duikers, L-wanden of vleugelwanden</p> <p>In uitvoering (nog niet volledig):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toetsen op prestatieniveau zodat regelgeving de mogelijkheden niet belemmert.
			<p>Vertraagde uitharding (oplossing 22 Betonakkoord) (eindsterkte bereiken >28 dagen - kan alleen als kunstwerk pas later belast wordt).</p>	Bouwfase	In discussie	<p>Markt probeert het te introduceren. Laat ruimte voor toevoeging secundaire grondstoffen. CUR Aanbeveling voor 90-daagse druksterkte is beschikbaar, maar wordt weinig gebruikt.</p>

Tabel 4 Technische oplossingen Slow the loop

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
Slow the loop	Gebruiksduur - 1e gebruik	Functie: adaptief	Adaptief ontwerp gericht op optimalisatie technische levensduur.	Ontwikkel-fase	In discussie	<ul style="list-style-type: none"> • Langetermijn beleidsafwegingen, doelstellingen van lenW naar RWS. Bv opdrachten zonder duurzaamheid. Ministerie schrijft oplossing voor, geen randvoorwaarden op bv capaciteit. Functioneel uitvragen van lenW naar RWS nodig, met een lange termijnperspectief. Onze infrastructuur kent een grote mate van continuïteit qua locatie en functionaliteit. De fluctuatie (of: groei) kan mogelijk uitgewerkt worden middels toekomstscenario's m.b.t. verkeer c.q. water debieten. • Onderzoek loopt naar voor welke kunstwerken een extreem lange levensduur >>100 jaar gewenst is (levensduur vs. gebruiksduur).



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
		Product: lange technische levensduur (nieuw)	Ontwerp gericht op optimalisatie technische levensduur	Ontwikkel-fase	Status onbekend	De eerste stap is ontwerpen vanuit de levenscycluskosten (LCC)). Dat betekent een afweging maken tussen aanleg en V&R, met elke eigen budget en eigen belangen (=cultuurverandering binnen RWS). Aanvullend daarop kan breder gekeken worden en ontwerpen voor maximale meervoudige waarde door gebruik van een multicyclische Maatschappelijke Kosten Baten Analyse (MKBA). In de MKBA worden brede baten voor de samenleving meewegen (zoals verkeersdoorstroming, ecologische waarde in combinatie met de levenscycluskosten).
			Zodanig ontwerpen dat onderdelen met een kortere levensduur tijdens de gebruiksfase eenvoudig vervangen kunnen worden: aansluitingen moeten losmaakbaar en toegankelijk zijn (betere onderhoudbaarheid, repareerbaarheid)	Ontwikkel-fase	In uitvoering	"RWS ontwerpt" --> regelgeving (kaders)
			Aanleg van hoge kwaliteit voor lange levensduur. Voorbeeld voegovergangen: er wordt geen tijd genomen om het goed aan te leggen (want: streven naar weinig overlast). Echter, daardoor worden cruciale betonelementen aangetast, met als gevolg vermindering van de levensduur van de constructie of een potentiële onveilige situatie. Daarnaast zorgt het ervoor dat eerder onderhoud nodig is (zorgt uiteindelijk voor meer overlast, kosten en CO2-uitstoot).	Bouwfase	In discussie	Kwaliteitsmanagement van het bouwproces. Cultuurverandering ook binnen RWS: tijd geven voor aanleg.
		Product: levensduur verlengen (bestaande objecten)	Zet slimme monitoringstechnieken in voor levensduurverlenging (oplossing 11 Betonakkoord). Nieuwe monitoringstechnieken kunnen ondersteunen om inzicht te geven in de capaciteit van constructie-elementen, maar ook ter ondersteuning van het bepalen hoeveel (verkeers)belasting een constructie in het verleden	Gebruiks-fase	In discussie	<ul style="list-style-type: none"> Onderzoek wat de monitoringstechnieken op areaalniveau opleveren (op de langere termijn) en afhankelijk daarvan vervolgstappen definiëren. Pilots met digital twins, maar nog geen generieke oplossingen/strategie. Preventie vaak geen prioriteit in budget. Onderzoek nodig om te onderbouwen wat dit op areaalniveau oplevert (op langere termijn). Dan



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
			heeft gehad. De informatie wordt opgeslagen in slimme 'chips', zodat deze bij het constructie-element aanwezig blijft. Op deze manier kunnen elementen hergebruikt worden in een lopend project of geplaatst op een marktplaats omgeving. Zorg is of de chips niet korter meegaan dan het kunstwerk.			discussie aangaan zodat onderbouwde keuzes te maken.
			Constructies behouden (11) Levensduurverlenging - soms tot langer dan de oorspronkelijk beoogde technische levensduur	Gebruiks-fase	In ver-kenning	<ul style="list-style-type: none"> Onderzoek naar levensduurverlenging loopt vanuit TP KW. Waarde toekennen aan eigen/bestaand beton van RWS (functionele, technische en economische waarde). Onderdeel hiervan is dat duidelijk is wat de conditie en de geschiedenis is van de belasting van het materiaal. Sluit aan bij CB'23 richtlijnen. Kan ook bijdragen aan inzichtelijk maken van preventief onderhoud.
			Toepassen van (nieuwe) versterkingstechnieken voor beton waarmee bestaande kunstwerken opgewaardeerd kunnen worden, zoals: * externe wapening, * overlagingstechnieken,	Gebruiks-fase	In ver-kenning	<ul style="list-style-type: none"> Pilots voor overlagen. Externe wapening wordt beperkt toegepast
			Toepassen van (nieuwe) levensduur verlengende technieken zoals: * coatings, * kathodische bescherming e.d.	Gebruiks-fase	In discussie	<ul style="list-style-type: none"> Kathodische bescherming wordt regelmatig toegepast. In discussie voor voorschrijven coatings. Specialisten RWS zijn nog terughoudend vanwege nadelen o.a. voor onderhoud, maar volgen ontwikkelingen.
	Herbruikbaarheid - 2e en 3e gebruik	Product: herbruikbaarheid (nieuw)	Standaardisatie van elementen die vaak aangepast moeten worden, zoals viaducten over de snelweg of geluidsschermen, sluisdeuren. Onderdeel van de standaardisatie is modulair en adaptief ontwerpen, en onlosmaakbare combinaties van beton met ander materialen in een werk verminderen.	Ontwikkel-fase	In ver-kenning	<ul style="list-style-type: none"> Ophalen waar modulair/ demontabel bouwen nog meer mogelijk en wenselijk is, wat er gebeurt in de organisatie en waar we staan (geluid: PPO, bruggen & viaducten: GPO). Een afweging op basis van MKI is hierbij wenselijk, op basis van meerdere levenscycli. Waarbij de afweging gemaakt moet worden hoeveel hogere MKI acceptabel is als die in een 2^e of 3^e leven wordt 'terugverdiend'.

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
						<ul style="list-style-type: none"> Opstellen standaardisatiekader brugdekken (lengte prefab liggers, standaardisatie van aansluitingen/verbindingen) Dit wordt of RTD of NTA. Grote slag! Concept kader 2023 af. Daarna mogelijk kader voor onderbouw kunstwerken (meer maatwerk - lastiger te standaardiseren)
			Materialenpaspoort	Bouwfase	In verkenning	Materialenpaspoort aanleveren en bijhouden tijdens de levenscyclus - circulair logboek
			Ontwikkel perspectief voor modulaire en demontabele componenten , niet alleen voor nieuw, ook voor bestaande kunstwerken	-	Status onbekend	-
			Specificaties voor een tweede leven voor nieuwe producten	Ontwikkel-fase	In discussie	T.z.t. verklaring van circulariteit aan beton(product) leveranciers vragen (na ontwikkeling keurings- en certificatiesystematiek). Op basis van CROW-CUR richtlijn 2, CB'23 richtlijn over specificaties voor een tweede leven (CB'23 werkgroep werkt hieraan). Of levenscyclusinformatie (paspoort/ logboek)
				-	Status onbekend	Evaluatie ontwikkeling model (Leidraad 3.0 CB '23) voor beoordeling mate van circulariteit van materialen en componenten , zodat het in aanvulling op de MKI een onderdeel kan worden in de uitvraag voor projecten.
	Her-gebruik	Product: hergebruik (bestaand)	Testmethode voor herbruikbaarheid ontwikkelen van bestaande areaal (in het bijzonder door metingen i.p.v. berekeningen)	Gebruiks-fase	Status onbekend	Meetprotocol voor kwaliteit en restlevensduur herbruikbare componenten (vb. liggers)
			Hergebruik vrijkomende elementen	(Her) gebruiks-fase	In uitvoering	Pilots, via KCI-budgetten: bijvoorbeeld via Bruggenbank, of V&R project hergebruik liggers.



Tabel 5 Technische oplossingen Close the loop

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
Close the loop	Recyclebaarheid	Materiaal: geen belemmeringen voor recycling (nieuw)	Hoogwaardige betonrecycling in de toekomst mogelijk maken (van beton dat nu nieuw wordt toegepast)	Ontwikkel-fase	In discussie	<ul style="list-style-type: none"> Toets 'circulaire risico's' van additieven en mengsels (stoffen als AVI bodemas/ AEC granulaten en cellenbeton) aan de CROW-CUR richtlijn 2: Beoordelingssystematiek grondstoffen op geschiktheid voor circulair beton" (dit test uitloging, technische prestatie en tweede levenscyclus als wegfundering). Richtlijn opnemen in de RTD. Uitsluiten IBC/ immobilisaat (en evt. cellenbeton) voor beton.
				Bouwfase	In verkenning	<ul style="list-style-type: none"> Verplichte aanlevering van gegevens (zoals samenstelling) in een opleverdossier t.b.v. vergemakkelijken toekomstige recycling ROK/RTD1001 maakt al gebruik van een paspoort - moeilijkheid zit in waar en hoe de gegevens worden vastgelegd/eenduidig aangeleverd. (ook CB23)
					In discussie	Afstemming binnen RWS/ I&W over positionering/kwalificatie van voor circulair beton relevante grondstof stromen in relatie tot immobilisatie.
				Ontwikkel-fase	in discussie	Beoordelen circulariteit van beton met vezels. Dit betreft dan met name het recycleproces en de kwaliteitsaspecten van het betongranulaat. Technisch geen hoog risico, eventueel eerst in kaart brengen 'circulariteit'.
					In discussie	Onderzoek terugwinbaarheid van basalt wapening bij recycling van dergelijk beton. Technisch geen hoog risico, eventueel eerst in kaart brengen 'circulariteit'.



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
	Recycling	Materiaal: recycling	Hoogwaardige recycling technieken waarbij zand, grind en cement uit beton worden teruggewonnen .	Hergebruikfase	In uitvoering	<p>RTD1033 stuurt in afstemming met betonakkoord op steeds hogere percentages schone stromen van grof toeslagmateriaal (4-16mm), fijn toeslagmateriaal (0,125-4mm) en fijne fractie als vulstof/cementvervanger (<0,125mm). Tijdspad loopt tot 2030.</p> <ul style="list-style-type: none"> • RWS is betrokken bij het onderzoek voor de CUR127 'Beton met betongranulaat als fijn en/of grof toeslagmateriaal'; • Vervolgtraject voor nog betere/eenvoudigere kwalificering loopt; • Openstaande vragen op vlak van registratie, inkoop en controle.
Standaard voorschrijven van vaste percentages betongranulaat voor nieuw beton in projecten (maximaal) 30% .			Ontwikkel-fase	In uitvoering	Is opgenomen in RTD1033. Gebruik contracteisen Verduurzaming beton uit de RTD 1033.	
In 2030 wordt minimaal 50% secundair materiaal gebruikt, bij voorkeur uit de betonketen of bouwsector			Ontwikkel-fase	In verkenning	Onderzoek loopt naar hoe zinvol het is om hogere percentages voor te schrijven, in het geval dat RWS meer beton uit de markt haalt dan dat het zelf aan betongranulaat aanlevert.	
Toepassen van de fijne fractie en ultra fijne fractie (cement) van beton in nieuw beton als bijvoorbeeld cementvervanging (vulstof of geactiveerde cement)			Bouwfase	Geen actieve sturing	Verwachting specialisten RWS dat deze ontwikkeling doorzet zonder actieve sturing vanuit RWS, omdat de markt op NL en EU niveau sterk inzet op het vinden van een hoogwaardige oplossing voor de fijne fractie.	
Het proces van carbonatatie (CO ₂ -vastlegging in beton) versnellen. Dit is de natuurlijke CO ₂ -kringloop. (Evt. in combinatie met basalt wapening, want carbonatatie is ook het			Bouwfase	Geen actieve sturing	Innovaties zoals Carbstone die gebruik maken van carbonatatie worden ontwikkeld. RWS is terughoudend voor gewapend beton vanwege de versnelde carbonatatie en het risico op wapeningscorrosie en het feit dat het niet toegepast kan worden bij in-situ beton.	



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
			proces dat leidt tot corrosie van betonstaal).			
			Het verbeteren van de kwaliteit van betonpuin-arm granulaat (perspectief wegenbouw). Gedacht kan worden aan de toevoeging van cement, kalk of gemalen staalslak. ⁵	Bouwfase		<ul style="list-style-type: none"> Onderzoeken hoeveel betonpuin nog uit de keten voor de wegenbouw kan worden onttrokken waarbij de kwaliteit van het menggranulaat acceptabel is. Dit kan wellicht gekoppeld worden aan een marktonderzoek (vraag en aanbod) van EIB gericht op RWS. Onderzoeken MKI-impact van toevoegingen aan betonpuin-arm granulaat.

Tabel 6 Technische oplossingen Dispose

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
Dispose		Materiaal: - verwijderen voor recycling onwenselijke stoffen (bestaand)	Verwijderen van vervuiling bij hoogwaardige recycling van bestaand beton	(Her)-gebruiksfase	Status onbekend	<ul style="list-style-type: none"> Ontwikkelen protocol voor beoordeling ZZS in puin en granulaten. Afweging hierbij is hoe ver RWS wil gaan met scheidingstechnieken om een meer of minder zuivere grondstof te krijgen. Voor hoogwaardige recycling is verregaande scheiding nodig, maar het gevolg is dat er een grotere reststroom overblijft die niet altijd nuttig toepasbaar is en mogelijk gestort moet worden.

⁵ N.B. dit is geen oplossing gericht op het product beton, echter wel een oplossing die voortkomt uit 'Close the loop' van beton, omdat hoogwaardig hergebruik van beton een risico vormt voor de kwaliteit van de wegfundering. Daarom is gekozen deze oplossing hier wel op te nemen.

Tabel 7 Technische oplossingen Substitute

Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
Sub- stitute	Alter- natieve grond- stoffen	Product: alternatief product	Gebruik alternatieven voor beton (zoals houten object i.p.v. betonnen object)	Ontwikkel- fase	In uitvoering	Via uitvraag lagere MKI, RTD1033, koploeraanpak. Nieuwe materialen zonder regelgeving, eerst via pilots, om ervaring op te doen tot aan reguliere toepassing
		Materiaal: alternatieve bindmiddelen	<ul style="list-style-type: none"> • Alternatieve bindmiddelen: Klinkervervanging (Betonakkoord oplossing 9) • Hydraulische SCMs (bijv. slak), puzzolane SCMs (bijv. vliegas), Kalksteen Geopolymeerbeton - betonproducten/ constructief/ alternatieve bindmiddelen) (Betonakkoord oplossing 5) (klinkerloze bindmiddelen o.b.v. alkali-activatie) Cement met nieuwe klinkersoorten (bijv. belietcement) • Gemengde bindmiddelen met lager klinkergehalte (bv ultrafijn gemalen betongranulaat) • Schonere cementsoorten (groene energie/ CO2-neutraal) Betonakkoord oplossingen 1,4 en 16 	Ontwikkel- fase	In uitvoering	Opgenomen in 'Betonakkoord, zo doen we dat bij RWS'.
		Materiaal: alternatieve toeslagmaterialen	Overige alternatieve (biobased) toeslagmaterialen voor betonproducten	Ontwikkel- fase	Status onbekend	



Circ. Princ.	Principe indicator	Niveau	Technische oplossing	Fase	StaVaZa techn. oploss.	Procesoplossingen uit inventarisatie
		Materiaal: alternatieve wapening	<ul style="list-style-type: none"> • Gebruik van alternatieve wapening (basaltwapening, vezels uit polymeren, mineralen of biomaterialen) ter vervanging van staven of netten (Betonakkoord oplossing 21). Vaak met voordeel dat minder dekking op de constructieve stalen wapening nodig is doordat risico op corrosie daalt. Vezel versterkt beton: <ul style="list-style-type: none"> ○ Fibre Reinforced Concrete (FRC) bijv. met staalvezels of andere materialen, ○ Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) bijv. met staalvezels of andere, materialen, ○ Engineered Cementious Composite (ECC) 	Ontwikkel-fase	In discussie	Opstellen regelgeving voor alternatieve wapening is nodig voor brede toepassing. Vezel versterkt beton wordt in TNO 'Kennisactieplan beton' benoemd, maar is in die rapportage niet geselecteerd als innovatie die verder wordt uitgewerkt.
			Staalsoort met lage MKI (Betonakkoord oplossing 15)	Ontwikkel-fase	Status onbekend	Onderdeel van sturing op MKI. Daarnaast wordt vanuit het Bouwakkoord staal ⁶ gestuurd op verduurzaming van de staalsector, waaronder ook MKI-verlaging.
			Andere niet-traditionele voorspanoplossingen	Ontwikkel-fase	Geen actieve sturing	Op dit moment stuurt RWS hier niet actief op, de ontwikkelingen op dit vlak worden in een verdere toekomst verwacht,

⁶ Het akkoord is te raadplegen via <https://bouwakkoordstaal.nl/>

4 Onderzoek implementatie op basis van SRL-tool

Drie van de oplossingen uit de tabellen in hoofdstuk 3 zijn geselecteerd voor verdere uitwerking (zie ook paragraaf 3.2). Uit de selectie kwam naar voren dat de volgende oplossingen met de SRL onderzocht worden:

- vertraagde uitharding;
- externe wapening;
- verbeterd onderhoud van voegovergangen.

De uitwerking van deze 3 oplossingen met de SRL-tool is in het vervolg van dit hoofdstuk opgenomen. Dit is de uitwerking van stap C van het generieke format zoals beschreven in paragraaf 3.3.

4.1 Vertraagde uitharding

Vertraagde uitharding is het gebruik maken van de doorgaande sterkteontwikkeling van beton. Het is gangbaar de eindsterkte te nemen na 28 dagen. Echter, de sterkteontwikkeling van beton gaat geleidelijk door. Door de sterkte te nemen van het beton op een later moment (bijvoorbeeld na 56 of 90 dagen) kan dezelfde sterkte bereikt worden met toevoeging van minder cement. Volgens het Betonakkoord kan hiermee 22,5 ton per jaar aan CO₂-uitstoot bespaard worden, uitgaande van dat 10% van de toepassingen hiervoor geschikt is, en dat per toepassing 10% cement gereduceerd wordt.

Voor vertraagde uitharding zijn drie interviews gehouden: twee specialisten van RWS en één specialist van een aannemer.

Waarde

Meerwaarde beperkt door eisen milieuklasse

De geïnterviewden geven aan dat de meerwaarde van vertraagde uitharding bij in-situ beton in kunstwerken van RWS beperkt is. De milieuklassen zijn maatgevend voor de hoeveelheid gebruikt cement, en door te voldoen aan de milieuklassen wordt de uitharding vaak ook al binnen 28 dagen behaald.

Vertraagde uitharding kan daarentegen wel meerwaarde hebben in combinatie met alternatieve bindmiddelen, die over het algemeen langzamer uitharden dan cement. De eisen die RWS stelt zijn hoog; een stapeling van eisen. Eén kunstwerk heeft veel verschillende milieuklassen. Hier ligt een kans om dit te versimpelen en hierbij ook milieuwinst te boeken. De meeste winst zit bij kleinschalige elementen zoals randelementen, balkons, trappen.

Ook liggen er mogelijk kansen bij het gebruik van prefab liggers, omdat bij prefab vaak meer cement wordt toegevoegd dan voor het halen van de gewenste sterkte nodig is, alleen om het productieproces te versnellen door hogere vroege sterkte te halen.

Vertraging versus beschikbaarheid

Vertraagde uitharding conflicteert als waarde met de waarde van snelheid. Voor RWS zit dat in de relatie met beschikbaarheid van het kunstwerk. Voor de aannemer speelt het snel beschikbaar hebben van de bekisting voor een volgend project een rol. En voor de prefab-producent geldt hetzelfde voor de snelheid van het productieproces. Echter, op basis van de interviews leek dit een minder zwaarwegende belemmering dan de milieuklasse-eisen. Een kunstwerk wordt niet meteen belast en daardoor is in de planning van in-situ beton vaak wel een oplossing voor vertraagde uitharding te vinden (voor prefab worden belemmeringen en kansen in de paragraaf kosten verder toegelicht).

Commitment en draagvlak

Wel draagvlak, maar geen kartrekker in organisatie

Voor oplossingen die bijdragen aan de doelen op gebied van CO₂-reductie is bestuurlijk veel enthousiasme en draagvlak en ruimte voor experiment. Vertraagde uitharding wordt in sommige projecten onderzocht. Er zijn echter geen interne opdrachtgever en projectleider binnen RWS bekend om dit onderwerp echt op de kaart te zetten. Voor de omgeving wordt geen impact verwacht.

Kosten

Vertraagde uitharding verhoogt kosten, met name voor prefab liggers

Vertraagde uitharding is een bekende oplossing, ontwikkelkosten zijn niet van toepassing bij toepassing in in-situ beton. Voor vertraagde uitharding bij prefabbeton (eventueel in combinatie met alternatieve bindmiddelen) zijn wel ontwikkelkosten van toepassing.

De kosten voor deze ontwikkeling zijn nog niet bekend en hangen samen met standaardisatie. In de huidige situatie worden veel liggers door project specifieke (architectonische) eisen individueel geëngineerd. Een producent maakt ze dus steeds net iets anders. Productie gebeurt dus op bestelling, in de huidige situatie is er geen voorraad. Bij de productie worden liggers gemaakt in de fabriek met behulp van kapitaalintensieve apparatuur. In een gangbaar proces worden liggers na 12 uur uitharden verplaatst. De ochtendploeg maakt de ligger en de avondploeg verplaatst de ligger zodat de volgende ochtend weer een ligger gemaakt kan worden. De 12 uur uitharding verlengen heeft dus direct gevolgen voor de productiecapaciteit en daarmee ook kosten. Bij prefab-producenten zijn er (indirecte) kosten doordat de kapitaalintensieve apparatuur en het onderhoud aan die apparatuur doorberekend moeten worden aan een lagere hoeveelheid liggers. Bij in-situ toepassing van vertraagde uitharding speelt mee dat bekisting later in te zetten is door de aannemer.

Een inschatting is dat de prijs van prefab liggers door vertraagde uitharding 30-50% toeneemt, afhankelijk van type product. Hierdoor worden aanschafkosten voor RWS hoger. Een indicatief voorbeeld voor een brugligger:

- Het aandeel van het brugdek is ca. 40% van de aanbiedingsprijs. Voor een standaard viaduct (15x60) van 900 m² is dat circa 1,8 miljoen (bij €2000/ m²). Circa 1 miljoen zijn de kosten voor de liggers.
- Een 30-50% toename van de kostprijs van de liggers is ca 300.000-500.000 euro, circa 15-25% van de totale kosten.

Deze kosteninschatting is gemaakt op basis van één interview en het is daarom aan te raden om dit te verifiëren bij meerdere partijen voor een beslissing te nemen over haalbaarheid in relatie tot kosten.

Investeringsbereidheid producenten

Het omschakelen naar vertraagde uitharding van prefab liggers betekent een transitie voor de prefab-producent, die een nieuw productieproces moet ontwikkelen.

De investeringsbereidheid van de producenten zal afhangen van het verwachte rendement en financiering vanuit RWS. Op dit moment is dat een struikelblok: de onderzoeken dragen niet bij aan het rendement maar vergoeden alleen de onkosten. Wanneer voor de producent de 'kostprijs- plus' vergoed wordt zodat de onderzoeken ook bijdragen aan het rendement schept dit meer mogelijkheden voor de producenten. Plus een aanvulling op de koploperaanpak: partijen die innovaties ontwikkelen zouden ook bij toepassing als eerste aan de beurt moeten komen. Dit is juridisch lastig.

In de basis is er een businessmodel mogelijk voor zowel in-situ als prefabbeton. Voor een aannemer die in-situ beton vertraagd laat uitharden, zijn er kostenvoordelen door minder cement toe te voegen. Dat wordt vaak weer tenietgedaan door extra werkzaamheden door langere bewerkingstijd en extra drukproeven.

Standaardisatie prefab-elementen als kans

Door standaardisatie vereenvoudigt niet alleen toekomstig hergebruik, het kan ook de productie van liggers vereenvoudigen, door vaste eisen, vaste afmetingen. Dat heeft het voordeel dat producenten op voorraad kunnen produceren. Dat scheelt tijdsdruk en geeft mogelijk ruimte voor vertraagde uitharding.

Standaardisatie is zo positief voor de businesscase, doordat producenten meer vooruit kunnen produceren en hun productielijn dus effectiever kunnen inzetten (i.p.v. steeds wisselende eisen per project, die steeds individueel geëngineerd moeten worden). Bedrijfskundig zijn er voor producenten waarschijnlijk wel mogelijkheden voor een andere planning (zoals elke 18u een ligger produceren i.p.v. elke 12u).

Inpasbaarheid

Wennen aan standaard eisen: minder architectonische vrijheid

Bij sturing op vertraagde uitharding bij prefab-liggers is er een sterke samenhang met standaardisatie. Dit vraagt aanpassingen van mensen om hieraan te wennen. De grootste impact is er op de architectonische eisen: doordat nu veel liggers vanwege architectonische eisen voor elk project anders zijn en eigenlijk in de huidige situatie dus steeds opnieuw een prototype wordt ontwikkeld. Vertraagde uitharding past binnen de gangbare aanbestedingssystematiek van RWS.

Risico's

Risico op toename nachtwerk bij vertraagde uitharding prefabbeton

Er zijn geen risico's gerelateerd aan vertraagde uitharding van in-situ beton doordat alle veiligheids- en milieueisen gevolgd moeten worden. Vertraagde uitharding bij prefab-liggers heeft impact op de werkprocessen van de producent, waaronder een verschuiving van werktijden. Wanneer van productietijden van 12 naar 18u overgeschakeld wordt kan dit zorgen voor meer nachtwerk, als processen van de ochtend naar de avond gaan. Dat is een Arbo-risico, doordat werken in de nacht samenhangt met een groter risico op het krijgen van gezondheidsproblemen, zoals slaapproblemen, diabetes en hart- en vaatziekten. Ook is er 's nachts een groter risico op ongevallen, waarschijnlijk door vermoeidheid. Ook kan gebrek aan personeel voor nachtwerk een risico vormen.

Opgemerkt wordt dat het risico op nachtwerk gemitigeerd kan worden door een uitharding van 24 uur in plaats van 12 uur. Een nadeel hiervan is dat de productiecapaciteit van de liggers daarmee afneemt.

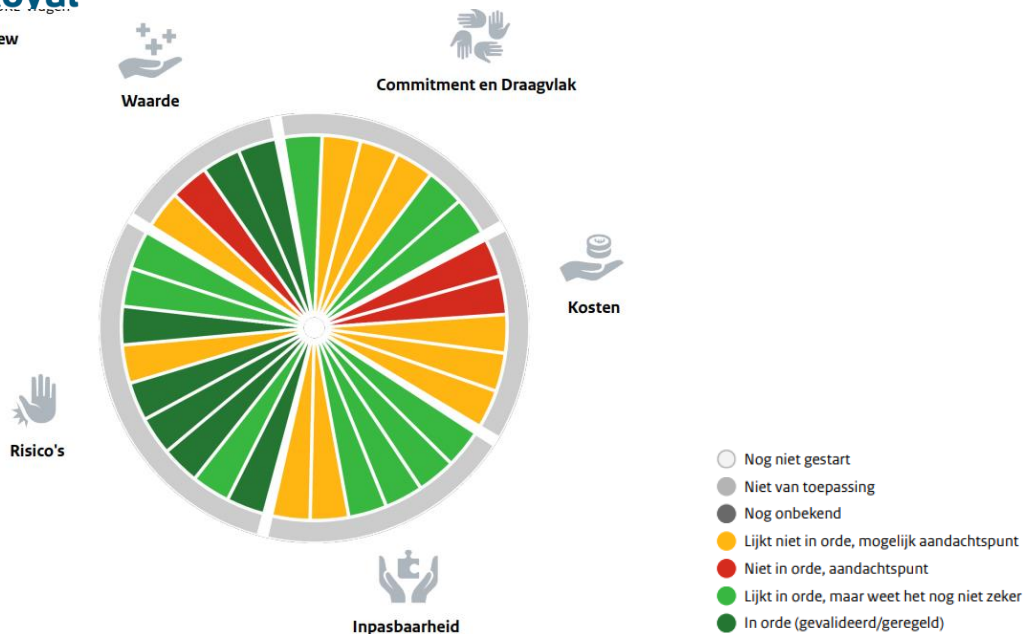
Samenvatting belangrijkste knelpunten

In figuur 3 zijn de knelpunten zoals hiervoor beschreven visueel weergegeven. De belangrijkste knelpunten (rood) zijn:

- Waarde: In situ: de eisen uit de milieuklassen zijn zodanig dat vertraagde uitharding geen meerwaarde heeft (cement nodig voor halen milieuklasse);
- Kosten: Prefab: hogere productiekosten door een langer durend proces.

Daarnaast zijn aandachtspunten (oranje):

- Draagvlak: Binnen RWS zijn er nog geen kartrekkers (interne opdrachtgever, projectleider);
- De inpasbaarheid in werkprocessen (bij de aannemer/ prefab betonproducent);
- Risico op toename van nachtwerk bij de producenten.



Figuur 3 SRL-tool overzicht verdraagde uitharding

4.2 Externe wapening

Externe wapening- plakwapening is het versterken van bestaande betonconstructies met een koolstofvezelwapening, omdat de constructies niet beschikken over voldoende draagvermogen of zijn verzwakt door overbelasting en/of (brand)schade. Dit is een relatief eenvoudige maatregel, waardoor het kunstwerk versterkt wordt en sloop en nieuwbouw van het kunstwerk wordt voorkomen. De koolstoflamellen worden met een epoxy lijmmortel op de betonnen ondergrond gemonteerd. De versterking wordt uitgevoerd volgens CUR-aanbeveling 91 “versterken van gewapend betonconstructies met uitwendig gelijmde koolstofvezelwapening”.

Externe wapening kan uitgevoerd worden met koolstofvezel (lamellen) of stalen strips. Het voordeel van koolstofvezel is dat het niet gevoelig is voor corrosie en een grotere sterkte heeft dan staal, waardoor minder materiaal nodig is. Naast lijmwapening is ook externe wapening in de vorm van beugels van ‘memory steel’ mogelijk. Met memory steel is een vorm van actieve versterking (met voorspanning).

Het aanbrengen van koolstoflamellen is al bij meerdere kunstwerken van RWS uitgevoerd en is klaar voor toepassing (TRL 9). Bij kunstwerken waar gebrek aan dwarskracht een probleem is het aanbrengen van externe wapening nog in ontwikkeling (TRL7).

Voor externe wapening zijn drie interviews gehouden: met een adviseur binnen RWS, een adviseur bij een ingenieursbureau en een leverancier van wapening.

Waarde

Levensduurverlenging tegen relatief lage kosten, maar lastig bij dwarskrachtproblematiek

Externe wapening draagt het bij aan de circulaire doelstellingen van RWS, door het verlengen van de levensduur en het voorkomen van primair materiaalgebruik (voor nieuwbouw). Het terplekke versterken van een kunstwerk bespaart daarnaast kosten en vermindert overlast door een kortere uitvoeringsduur.

Wanneer sprake is van dwarskrachtproblematiek (met name bij T-liggers met een in het werk gestorte druklaag) dan is koolstofvezelwapening minder geschikt omdat de plekken waar dit geplakt moet worden heel slecht bereikbaar zijn. Ook spelen er vragen rond het blijven plakken van de wapening rond de hoeken.

Door de krachten in het systeem zou deze kunnen worden 'losgetrokken' van de betonnen ligger. Memory steel is bij deze dwarskrachtproblematiek misschien een mogelijkheid, maar dit is nog niet toegepast in kunstwerken.

Lagere milieu-impact verwacht, maar nog niet berekend

Koolstofvezel is een materiaal dat bij productie sterk verhit wordt en daardoor een relatief hoge CO₂-uitstoot heeft. Echter, de verwachting is dat de CO₂-en MKI voor renovatie met koolstofvezelwapening lager zijn dan bij sloop en nieuwbouw van een kunstwerk. Dit is nog niet berekend. De externe wapening is aan het einde van de levensduur relatief makkelijk te verwijderen (bij verhitting laat de lijm los).

Commitment en draagvlak

Voldoende draagvlak, maar gebrek aan specialistische kennis

Er is bestuurlijk draagvlak. Specialistische kennis ontbreekt echter vaak bij RWS en bij de aannemer. RWS geeft aan dat in het proces zorgvuldig wordt afgewogen wat mogelijk is, en dat versterken vaak afvalt door technische beperkingen. Hierbij werd in het interview niet aangegeven of dit ging over externe wapening bij dwarskrachtproblematiek of in het algemeen. De marktpartij geeft aan dat door tendereisen waarin sloop en nieuwbouw wordt gevraagd de mogelijkheden om renovatie aan te bieden beperkt zijn. Het lijkt er dus op dat de marktpartijen hier meer kansen zien dan RWS.

Minder draagvlak bij dwarskrachtproblematiek

Voor het versterken van liggers met dwarskrachtproblematiek wordt externe wapening nog niet gezien als een bevredigende oplossing door de geïnterviewde van RWS. Nadelen (bij bijvoorbeeld Ringvaartviaduct in de A4) waren dat het rijdek moest worden doorboord, dit zorgde voor langdurige stremming van verkeer. Daarnaast was voor de externe wapening véél meer materiaal nodig dan alleen de koolstoflamellen, doordat de liggers zijn versterkt door grote hoeveelheden beton aan te brengen. Ook zijn beugels aangebracht (Nijkerkerbrug in de N301).

In het plan van aanpak Proeftuin Innovatieve Dwarskrachtversterking⁷ is het als volgt geformuleerd: RWS heeft behoefte aan een oplossing om kunstwerken te versterken conform het versterkingsniveau voor de huidige capaciteit. Het gaat hierbij om prefab omgekeerde T-liggers met relatief dunne lijven. In de praktijk gaat het om circa 250 bruggen en viaducten van vóór 1974 waar de dwarskrachtcapaciteit van de liggers mogelijk onvoldoende is. In het PvA zijn de volgende voorwaarden geformuleerd: 1) moet aangebracht kunnen worden zonder verkeers hinder 2) zonder noemenswaardige verkleining van het profiel van vrije ruimte onder het dek 3) binnen 2 jaar gereed (TRL 7-9) 4) die eenvoudig op te schalen is.

Gebrek aan kartrekker met doorzetmacht en budget

Binnen RWS is geen kartrekker of projectleider op dit onderwerp bekend. Wel is er in 2021 door een kernteam van GPO een concept plan van aanpak voor een *living lab* opgesteld voor het ontwikkelen van oplossingen die ook voldoen wanneer sprake is van dwarskrachtproblematiek⁷ en is al uitgewerkt (door TNO) hoe innovatieve concepten voor versterking van omgekeerde T-liggers met een in het werk gestorte druklaag gevalideerd kunnen worden. Door gebrek aan budget en personele capaciteit is de proeftuin echter (nog) niet uitgevoerd.

Kosten

Ontwikkelkosten bij dwarskrachtproblematiek

⁷ Concept Plan van Aanpak. Proeftuin Innovatieve Dwarskrachtversterking: versterken van prefab liggers van bruggen en viaducten. RWS GPO – innovatie en markt 2021. Kernteam Proeftuin Innovatieve Dwarskrachtversterking. Versie 0,2 Concept

Externe wapening van omgekeerde T-liggers bij dwarskrachtprobleem is nog niet volledig ontwikkeld, circa niveau TRL 7. Om dit naar een volledig uitontwikkeld product te brengen zijn investeringen, doorontwikkeling en praktijktests nodig. Voor aannemers wordt het interessant om te investeren als ze van tevoren weten de oplossing op circa 4-5 kunstwerken kunnen toepassen om zo de kosten terug te verdienen. Tot voor kort was dit niet mogelijk. De koploperaanpak en het *living lab* bieden mogelijk wel kansen voor zo'n productiestraat. Echter het budget voor het *living lab* is er tot nog toe niet.

In gevallen waar geen sprake is van dwarskrachtproblematiek is externe wapening een bewezen techniek, en zijn ontwikkelkosten niet van toepassing.

Uitvoeringskosten gelijk of lager dan sloop en nieuwbouw

Zonder dwarskrachtproblematiek geldt dat de kosten van renovatie gelijk of lager zijn dan de kosten van sloop en nieuwbouw van een kunstwerk. Wanneer ook de milieukosten worden meegerekend wordt het verschil nog groter, want de milieukosten van renovatie zijn laag vergeleken met sloop en nieuwbouw. Doordat de techniek in de utiliteitsbouw al vaak wordt toegepast, zijn er gespecialiseerde partijen in Nederland die een renovatie met externe wapening kunnen uitvoeren. Bij uitvoering met dwarskrachtproblematiek is hier nog minder ervaring mee, maar wordt ook aangenomen door de geïnterviewden dat de uitvoeringskosten gelijk of lager zijn aan sloop en nieuwbouw.

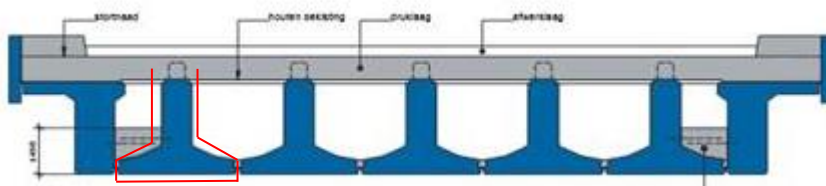
Inpasbaarheid

Externe wapening past binnen normen

Externe wapening past binnen de normen en regels die RWS hanteert. Toetsing gaat nu volgens CUR-aanbeveling '91. Echter er is ook behoefte aan een technische norm om het door te rekenen. Die is in de maak, de CEN 250. Wanneer die er is kunnen ook producten met CE-markering geleverd worden. De geïnterviewde leverancier is al bezig met het verkrijgen van deze CE-markering.

Werkprocessen (uitvoering) bij dwarskrachtproblematiek complex

Het plakken van koolstoflamellen wanneer geen sprake is van dwarskrachtproblematiek is voor een aannemer een eenvoudige klus. Er zijn voldoende gespecialiseerde (onder)aannemers zijn die dit kunnen uitvoeren. Bij dwarskrachttekort wordt het echter complexer, en wordt de bereikbaarheid van de ligger in de praktijk een probleem (zie figuur 5). Ook moet de externe wapening in het dek verankerd worden.



Figuur 4 Omgekeerde T-liggers met druklaag. De rode lijn geeft aan waar langs de ligger versterkt moet worden, met verankering in het dek (bron: concept PvA proeftuin innovatieve dwarskrachtversterking, 2021).

Risico's

Epoxylijm gevoelig voor Uv-straling en warmte

Bij externe wapening geldt dat het wapeningsmateriaal (koolstofvezel) gevoelig is voor aantasting door Uv-straling en hogere temperaturen. Hiervoor kunnen extra maatregelen getroffen worden, zoals een coating van het materiaal als UV-bescherming of isolatiemateriaal of brandwerende bekleding tegen de hitte. Hitte kan veroorzaakt worden door brand, maar ook bij onderhoud (asfalteren). De epoxylijm laat los bij meer dan 60 graden.

Milieubelastende onderdelen wapeningsmaterialen

Verwacht wordt dat externe wapening een lagere milieu-impact heeft dan sloop en nieuwbouw. De wapening is aan het einde van de levensduur eenvoudig te verwijderen en heeft daarom geen impact op de recyclebaarheid van het beton. Echter, er zijn ook aspecten aan externe wapening die niet zo milieuvriendelijk zijn:

- Koolstofvezel wordt gemaakt na sterke verhitting en kent een hoge CO₂-uitstoot (wel relatief sterk en lichtgewicht dus daardoor minder materiaal nodig).
- De lijm was tot voor kort gebaseerd op benzeen. Biobased alternatieven zijn nog niet onderzocht.
- Epoxylijm is erg gevoelig voor vocht, bij aanbrengen wordt het beton met grote branders (op diesel/kerosine) gedroogd.
- Om te voorkomen dat wapening loslaat door de warmte van asfalterwerkzaamheden kan een isolatielaag aangebracht worden onder het asfalt.. Dit heeft ook een (hoge) milieu-impact.

Samenvatting belangrijkste knelpunten

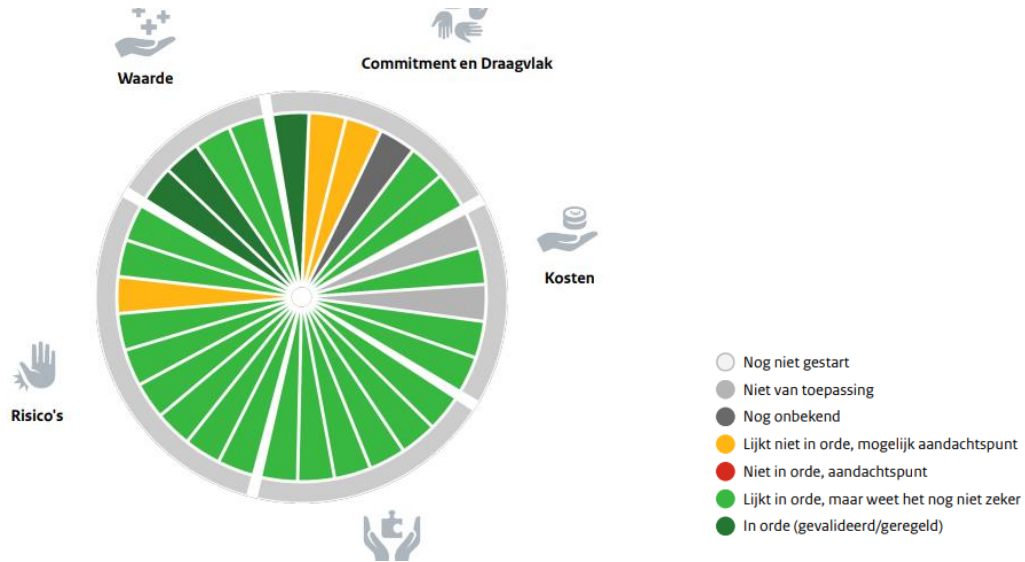
In figuur 5 is de SRL-uitkomst visueel weergegeven voor het toepassen van externe wapening wanneer er geen sprake is van dwarskrachtproblematiek. Hierbij zijn er geen grote knelpunten. Bij commitment en draagvlak zijn de twee oranje 'taartpunten' aangemerkt omdat er geen sprake is van een intern projectleider en opdrachtgever. Bij risico's is de taartpunt oranje omdat de externe wapening minder milieuvriendelijke stoffen kent.

Wanneer sprake is van dwarskrachtproblematiek (figuur 6) zijn de belangrijkste belemmeringen:

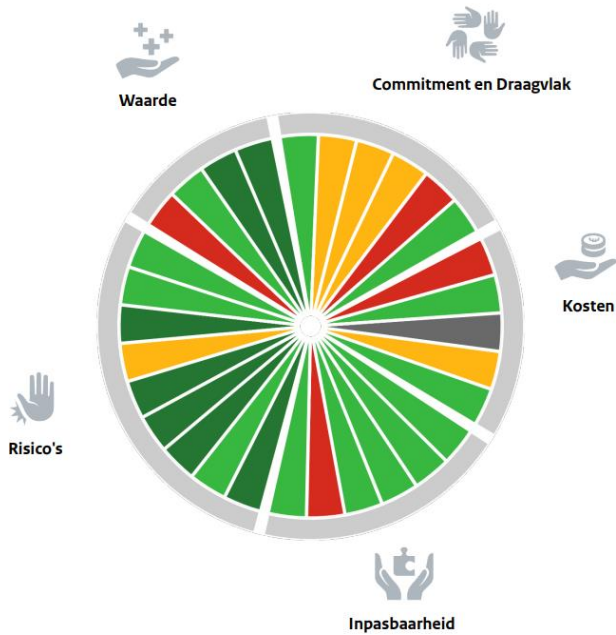
- De meerwaarde en het daarmee het draagvlak bij dwarskrachtproblematiek is nog niet voldoende
- Ontwikkelkosten zijn nodig voor doorontwikkeling van de oplossing
- Het aanbrengen van de wapening is complex

Aandachtspunten zijn:

- De gevoeligheid voor hitte van het materiaal
- De milieu-impact van de externe wapening



Figuur 5 SRL-tool overzicht externe wapening wanneer geen sprake is van dwarskrachtproblematiek.



Figuur 6 SRL-tool overzicht externe wapening wanneer sprake is van dwarskrachtproblematiek

4.3 Verbeterde renovatie van voegovergangen

Voegovergangen vormen de overbrugging tussen het vaste wegdek en het wegdek van een viaduct of ander kunstwerk. Ze zorgen voor opvangen van het krimpen en uitzetten van de viaducten en beschermen de onderliggende constructies tegen vocht en dooizout tijdens de winter. In de huidige praktijk van Rijkswaterstaat worden de voegovergangen niet altijd optimaal aangelegd en/of onderhouden. Dit heeft tot gevolg dat de voegen kunnen gaan lekken, waardoor schade ontstaat aan de onderliggende hoofdconstructie en opleggingen. Dit kan ertoe leiden dat het kunstwerk voortijdig moet worden vervangen. Door goede omstandigheden van aanleg van de voegen (overdag) en jaarlijks klein onderhoud (variant 1c uit CE Delft onderzoek)⁸ haalt het kunstwerk een levensduur van 100 jaar en worden de maatschappelijke kosten geminimaliseerd.

Voor het invullen van de SRL-tool is één interview gehouden met een specialist van RWS. Daarnaast is informatie gehaald uit het eerdergenoemde rapport van CE Delft en uit interne documentatie van RWS.

Waarde

Verbeterde renovatie van voegovergangen heeft maatschappelijke meerwaarde

Een hogere kwaliteit voegovergangen geeft voor RWS en maatschappelijke waarde een meerwaarde. Het onderzoeksrapport heeft aangetoond dat een verbetering van inspectie en uitvoer van een voegovergang renovatie maatschappelijke voordelen biedt: minder kosten, een kortere wegafsluiting (over de levensduur van het kunstwerk, doordat minder vaak renovatie of vervanging nodig is) en een langere levensduur van het kunstwerk. Dit werkt ook positief door in de duurzaamheidsdoelstellingen (klimaatneutraal en circulair).

Commitment en draagvlak

Draagvlak aanwezig, aansluiting binnen de organisatie kan beter

Bestuurlijk is er draagvlak voor deze maatregel. Sinds 2020 is een team bezig met het verbeteren van onderhoud van voegovergangen. Het team heeft de problemen en mogelijke oplossingen in kaart gebracht. Dit team is zelf actief van start gegaan, met o.a. ketensessies, pilots en het laten uitvoeren van een impactanalyse door CE Delft.⁹

Het team vindt op sommige punten nog moeilijk aansluiting in de organisatie (bijvoorbeeld met AM 2.0). De animo om dit binnen RWS op te pakken is nog niet hoog, voegen zijn een klein onderdeel van het geheel waar nog weinig aandacht voor is. Binnen de sector wordt door de hele keten samengewerkt binnen het 'platform Voegovergangen'.

Het veranderen van de werkwijze vergt veel inzet. Een risico voor het draagvlak is dat de maatregel op korte termijn leidt tot een langere afsluiting van de weg, doordat meer tijd wordt genomen voor de uitvoering. Op de langere termijn zal de hinder echter minder zijn doordat de levensduur van de voeg sterk wordt verlengd.

Kosten

Korte termijn investeringen leiden tot lange termijn kostenverlaging

Het verbeterd voegonderhoud is een bewezen techniek waarvoor geen ontwikkelkosten meer van toepassing zijn. De kosten voor verbeterd voegonderhoud kunnen op korte termijn beperkt hoger uitvallen. Op de langere termijn leidt dit echter juist door een kostenverlaging doordat de kwaliteit hoger is en de

⁸ Verbeterd onderhoud van voegovergangen. Een analyse van de maatschappelijke impacts. CE Delft, oktober 2022

⁹ Verbeterd onderhoud van voegovergangen. Een analyse van de maatschappelijke impacts. CE Delft, oktober 2022

vervangingskosten daarmee lager worden. Dat komt mede doordat vervolgschade beperkt wordt: een lekkende voeg kan leiden tot vervanging van een (deel van) een kunstwerk. Verbeterde renovatie van voegovergangen verlaagt ook het risico op gevolgschade. Op dit moment is er een focus op snelheid van uitvoering, en niet op kwaliteit van de uitvoering. De aannemer heeft daarmee een geen incentive voor het leveren van hogere kwaliteit.

Inpasbaarheid

Aanpassingen van interne werkprocessen nodig

De inkoopstrategie van RWS focust op snelheid van uitvoering en niet op lange termijn kwaliteit. In de basis zijn er geen belemmeringen in de inkoopstrategie om verbeterd onderhoud uit te vragen, maar het vraagt wel om aanpassingen in de inkoopstrategie en contractvorming ten opzichte van de huidige situatie.

Ook zijn aanpassingen van de werkprocessen nodig. Op dit moment zijn er relatief veel calamiteiten, vaak verwaarloosde assets, die leiden tot urgente zij-invliegers. Die worden als meerwerk tegen hoge kosten hersteld. Deze zij-invliegers komen steeds tussendoor waardoor de capaciteit daaraan besteed wordt en er weinig ruimte is voor procesverbetering. Procesverbetering kan leiden tot het verminderen van het aantal urgente zij-invliegers, wanneer informatie uit inspecties beter wordt meegenomen in de programmering en uitvoering.

Het team RWS'ers dat aan het 'verbeterd onderhoud van voegovergangen heeft gewerkt' heeft de volgende knelpunten geïdentificeerd¹⁰:

Inspecties

- De informatie uit toestandsinspecties wordt niet goed gebruikt. Om dit te verbeteren is een nieuw IAK-contract ontwikkeld.
- De toestandsinspectie wordt niet goed uitgevoerd (bijv. door vuil) waardoor de omvang van de schade niet voldoende zichtbaar is. Als oplossing hiervoor is de verbeterde toestandsinspectie geïntroduceerd, waarbij ook de voeg wordt schoongespoten.
- Er wordt geen onderscheid gemaakt tussen standaard en complexe (maatwerk) situaties, zodat niet goed op de complexiteit geanticipeerd wordt.

Programmering

- Instandhoudingsadvies (IHA) is verouderd waardoor de situatie anders (vaak slechter) is dan de situatie waarop de programmering is gebaseerd. Prioritering wordt gemaakt op basis van onvolledige informatie. Om dit aan te passen is budgettaire ruimte nodig en softwarematige aanpassingen om data goed over te zetten naar verschillende gebruikte systemen.
- Afwegingen worden op korte termijn beschikbaarheid en kosten gebaseerd, en niet op basis van waardebehoud, duurzaamheid en levenscycluskosten. Ook wordt te weinig uitvoeringstijd gereserveerd.

Realisatie

Ook ontbreekt specifieke kennis, zowel binnen RWS (PPO) als bij aannemers. Omdat de voegovergangen vaak meegenomen worden als onderdeel van grotere werkzaamheden wordt dit niet specifiek uitgevraagd aan specialistische aannemers (die er wel zijn). Doordat kennis binnen RWS ontbreekt wordt niet altijd de alle benodigde informatie meegegeven aan de aannemer. Ook gebruikt de aannemer vaak standaard ontwerpen, werkplannen e.d. waardoor dit niet specifiek genoeg is. Hier wordt door RWS te weinig op getoetst en gestuurd (mogelijk ook door gebrek aan kennis over/ focus op de voegovergang).

¹⁰ Gebaseerd op het document "Stand van zaken Verbetertraject Voegovergangen incl. Kr8-sessies. Hoe nu verder? 19 april 2023

Risico's

Langere afsluiting nu zorgt voor minder afsluitingen in de toekomst

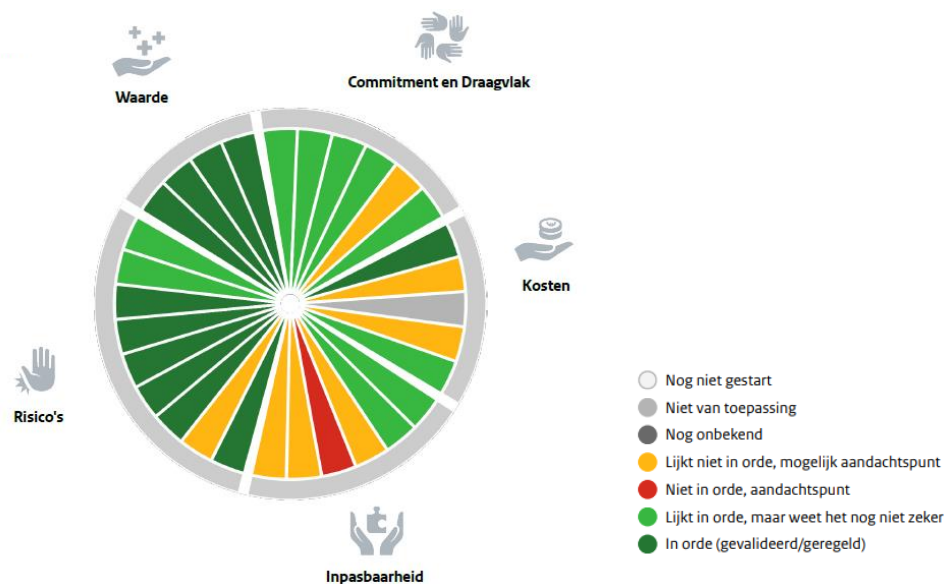
De verbeterde voegovergang kent weinig risico's. Op korte termijn is de beschikbaarheid minder, doordat langere afsluitingen gebruikt worden voor een hogere kwaliteit uitvoering. De hoeveelheid toekomstige afsluitingen wordt echter verminderd, waardoor het op de lange termijn geen risico is voor de beschikbaarheid. Ook op andere thema's zoals onderhoudbaarheid en milieu zijn geen risico's maar juist positieve effecten te verwachten.

Samenvatting belangrijkste knelpunten

De belangrijkste knelpunten zijn visueel weergegeven in figuur 6.

Belangrijkste aandachtspunten zijn:

- het interne proces bij RWS, dat nog niet gestroomlijnd is. Hier zijn veel verbetervoorstellen voor gedaan;
- onvoldoende specialistische kennis op gebied van voegovergangen bij RWS en hoofdaannemers.



Figuur 5 SRL-tool Verbeterde uitvoering voegovergangen.

5 Conclusies en advies

In 2021 is een materialenstrategie opgesteld voor de materiaalketens staal, asfalt, beton en grond¹¹. De materiaalstrategie volgt uit de ambitie om in 2030 klimaatneutraal en circulair te werken. Gericht op een aantal verbeterpunten is in dit onderzoek een 'generieke' aanpak opgesteld voor het verder ontwikkelen en opstellen van de materiaalstrategieën voor de verschillende materialen. Een materialenstrategie geeft de mogelijke oplossingen om de circulariteit van de materialen te vergroten. De materialenstrategie geeft een overzicht op organisatieniveau en is dus geen projectstrategie. Afhankelijk van het type project en de fase waarin het zich bevindt kunnen verschillende oplossingen uit de materialenstrategie gebruikt worden in projecten. Met de casus beton is de aanpak voor een generieke materialenstrategie getoetst en aangescherpt. De bevindingen van de begeleiders van RWS en onderzoekers en zijn:

Aanpak leidt tot meer overzicht

Door het ordenen van 'circulaire' technische oplossingen volgens de circulaire principes van het PBL¹² (en een nadere uitwerking ervan in principe indicatoren) wordt de strategie overzichtelijk gepresenteerd. In het overzicht is verschil gemaakt in technische oplossingen en procesmatige oplossingen. Het onderscheid tussen beide (technisch/ proces) bleek bij het opstellen van de materialenstrategie beton essentieel in het verkrijgen van overzicht. De procesoplossingen zijn gekoppeld aan een technische oplossing waar ze betrekking op hebben.

De principe indicator 'minder nieuwbouw' is een uitzondering. Deze leidt niet zo zeer tot technische oplossingen, maar is meer een resultante van een voorafgaande afweging om met minder nieuwbouw of met alternatieve oplossingen dezelfde functionaliteit te realiseren. Het format van de materialenstrategie geeft de mogelijkheid om procesoplossingen in de tabel toe te voegen aan de principe indicator, ook zonder een technische oplossing te benoemen.

Strategie completer

Door het ordenen van technische oplossingen naar de circulaire principes en ook de aangrijpingsniveaus van die oplossingen (functie, product en materiaal) worden hiaten in kennis en/of ontwikkeling duidelijk. Waar zinvol kunnen hiaten aangevuld worden wat tot een completer overzicht leidt.

Betere verbinding met de praktijk

De aanpak sluit beter aan bij de praktijk door een combinatie van: 1) het samen met RWS-deskundigen ordenen en beschrijven van oplossingen 2) het vaststellen van de stand van zaken van technische oplossingen binnen RWS en 3) het verkennen in hoeverre RWS en de omgeving klaar zijn voor de geselecteerde oplossingen.

Materialenstrategie helpt bij selecteren technische oplossingen

Het geordende overzicht van de materialenstrategie is een goed startpunt voor het selecteren van oplossingen die meer aandacht nodig hebben voor implementatie. Het gaat dan met name om technische oplossingen met een groot potentieel en die niet goed van de grond komen in de organisatie. Deze oplossingen identificeren en analyseren met behulp van het stakeholder readiness level levert inzicht dat van meerwaarde is voor de implementatie van de technische oplossingen en zo bijdraagt aan het realiseren van de circulaire doelen. Het identificeren met de SRL-tool maakt de oplossing specifieker. Bijvoorbeeld 'externe wapening' is één oplossing, maar hierbij zijn twee situaties geïdentificeerd (met en zonder dwarskrachtproblematiek) waar een groot verschil in toepassingsmogelijkheden zit. De analyse met de

¹¹ *Rapportage toepassing en toetsing circulaire materialenstrategie. Uitkomsten op basis van betrokkenheid van RWS-experts en externe experts, TwijnstraGudde, augustus 2021.*

¹² *Circulaire principes: 1) narrow the loop 2) slow the loop 3) close the loop 4) dispose 5) substitute*

SRL-tool brengt knelpunten in beeld op het vlak van waarde, kosten, draagvlak, inpasbaarheid en risico's. Dit geeft aanknopingspunten voor implementatie: welke belemmeringen moeten worden opgelost voor een succesvolle implementatie van de technische oplossing.

Generiek toepasbaar

Doordat de aanpak uit gaat van de circulaire principes en algemene kenmerken is deze bruikbaar voor alle soorten materialen. Het format is geschikt voor het krijgen van overzicht en als basis voor prioritering van oplossingen, en kan zo een bijdrage leveren aan het halen van de circulaire doelstellingen.

Aanbevelingen

Beoordelen (verwachte) impact voorafgaand aan SRL-analyse

In dit onderzoek zijn de oplossingen om uit te werken met de SRL-tool geselecteerd in samenspraak met de begeleidingscommissie op basis van expert judgement. Voor het vervolg is het te overwegen om een oplossingen te selecteren op basis van enkele criteria, zoals verwachte impact op circulariteit, CO₂-reductie en kosten. Dit kan op basis van berekeningen of een eenvoudiger 'expert judgement' inschatting met plussen en minnen.

Plan van aanpak implementatie

De SRL-analyse in deze rapportage is gebaseerd op een beperkt aantal interviews. We bevelen daarom aan om de SRL-analyse in een breder verband te valideren. Bijvoorbeeld in een werksessie met brede vertegenwoordiging van betrokkenen, zowel vanuit RWS als van marktpartijen.

Daar waar de SRL een positief beeld oplevert over de stakeholder readiness level is de volgende stap een plan van aanpak op te stellen dat de nodige voorwaarden creëert voor implementatie. Voor beton geeft dit onderzoek meerdere aangrijpingspunten voor: vertraagde uitharding, externe wapening en verbeterd onderhoud van voegovergangen.

Discussie op twee momenten

Eén van de opties om de status van een oplossing aan te geven is 'in discussie'. In eerste instantie werd hiermee bedoeld dat nog onvoldoende consensus over de oplossing om met een verkenning te starten. Echter bleek dat de discussie op meerdere momenten in het traject plaatsvindt. Ook na de verkenning kan discussie plaatsvinden over de vraag of RWS de oplossing actief moet stimuleren of implementeren. Het is zinvol om het verschil hiertussen aan te geven.

Draagvlak

In de SRL-tool wordt onder draagvlak gevraagd naar een interne opdrachtgever en een projectleider met voldoende doorzetmacht en budget. Wanneer de SRL-analyse uitgevoerd wordt bij oplossingen die nog in discussie zijn, dan scoren deze daardoor minder goed op draagvlak. Omdat het belangrijke randvoorwaarden zijn voor implementatie bevelen we aan de SRL-tool zo te laten, maar oplossingen waarbij dit een knelpunt is hier niet op te laten afvallen in het selectieproces.

Brede toetsing

De materiaalstrategie is geen instrument voor monitoring. In hoeverre RWS de circulaire doelen bereikt, zal op een andere wijze getoetst moeten worden. Op het niveau van individuele technische oplossingen is het wel van belang om een brede toets op de drie circulaire doelen uit te voeren. De technische oplossingen zijn immers veelal een uitwerking van één circulair principe.

Actueel houden

De ontwikkeling van oplossingen die bijdragen aan de circulaire doelen staat niet stil. Om een compleet overzicht te houden is het van belang om de strategie periodiek te actualiseren.