



# Doorontwikkeling Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW

Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW Versie 2.0

Rijkswaterstaat

29 februari 2024

Project Opdrachtgever Doorontwikkeling Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW  
Rijkswaterstaat

Document Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW Versie 2.0  
Status Definitief  
Datum 29 februari 2024  
Referentie 136041/24-002.980

Projectcode 136041  
Projectleider Ir. ing. M.E.M. Schöffner  
Projectdirecteur Ir. S.H.L. Lamerichs

Auteur(s) W.S. Scheepens MSc, M.A.H. Vieveen MSc  
Gecontroleerd door Ir. S.H.L. Lamerichs  
Goedgekeurd door Ir.ing. M.E.M. Schöffner b/a. ir. S.H.L. Lamerichs

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer  
Daalsesingel 51c  
Postbus 24087  
3502 MB Utrecht  
+31 (0)30 765 19 00  
www.witteveenbos.com  
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

## INHOUDSOPGAVE

1	<b>INTRODUCTIE</b>	<b>4</b>
1.1	Aanleiding	4
1.2	Opzet van de opdracht	4
1.3	Referentielijst	6
1.4	Dankwoord	6
1.5	Leeswijzer	6
2	<b>BEOORDELINGSMETHODE LOSMAAKBAARHEID 2.0 VOOR DE GWW - TOOL VOOR ONTWERPERS</b>	<b>7</b>
2.1	Achtergrond	7
2.2	Toepassingsgebied van de beoordelingsmethode	9
2.2.1	Beoogde gebruiker	9
2.2.2	Abstractieniveau	9
2.2.3	Type objecten	10
2.2.4	Classificering	11
2.2.5	Levensduur	13
2.2.6	Praktische vs. theoretische losmaakbaarheid	13
2.3	Opzet van de beoordelingsmethode	14
2.3.1	Vragenlijst om scope te bepalen	14
2.3.2	Uitgangspunten	17
2.3.3	Factoren	17
2.3.4	Losmaakbaarheidsindex per onderdeel	20
2.3.5	Randvoorwaarden	21
2.3.6	Concluderende vragen	22
2.3.7	Bepalen losmaakbaarheidsindex: stappenplan	23
3	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>29</b>
	Laatste pagina	29
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Inventarisatie van inzichten lopende onderzoeken en initiatieven	3
II	Bevindingen light toets	9
III	Overzicht verbeterpunten van 1.0-methode naar 2.0-methode	2
IV	Begeleidingsteam en gesproken experts	1

# 1

## INTRODUCTIE

### 1.1 Aanleiding

In 2050 is Nederland circulair. In het **Nationaal Programma Circulaire Economie 2023-2030**<sup>1</sup> staan maatregelen om de komende jaren tot een meer circulair Nederland te komen. Een van de genoemde doelen voor de bouw betreft het hoogwaardig hergebruik van (elementen uit) kunstwerken. Losmaakbaarheid van bouwwerken, zowel objecten, elementen als componenten, is een belangrijke sleutel om hoogwaardig hergebruik zonder waardeverlies mogelijk te maken. Dit speelt ook een belangrijke rol in het programma Klimaatneutrale en Circulaire Infraprojecten (KCI), waar het de ambitie is om in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te werken.

In december 2022 is door Witteveen+Bos een rapport opgeleverd met een beoordelingsmethode voor **losmaakbaarheid in de GWW versie 1.0**<sup>2</sup>. Het rapport dat voor u ligt beschrijft de doorontwikkeling van deze beoordelingsmethode naar de vernieuwde 2.0-versie voor losmaakbaarheid in de GWW. Aanvullend heeft er onderzoek plaatsgevonden ten behoeve van ideeën voor de mogelijke doorontwikkeling van de beoordelingsmethode voor bredere toepassing en de visie op losmaakbaarheid in de GWW in bredere zin. Dit advies is te lezen in het rapport 'Doorontwikkeling Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW - Vervolg traject voor losmaakbaarheid in de GWW' [Ref. 1].

### 1.2 Opzet van de opdracht

De opdracht is in verschillende onderdelen uitgevoerd:

#### **Afstemming met lopende ontwikkelingen en initiatieven**

Allereerst is er aansluiting gezocht bij relevante ontwikkelingen en initiatieven die aan de beoordelingsmethode losmaakbaarheid raken. Het doel hiervan was om de samenwerking - waar relevant - op te zoeken en om te borgen dat relevante ontwikkelingen worden meegenomen in dit onderzoek. Er gebeurt veel op het gebied van circulair bouwen en het is essentieel dat we daarin de aansluiting opzoeken en resultaten van gerelateerde onderzoeken integreren. Uit de inventarisatie/ afstemming volgt dat er veel gelieerde onderzoeken zijn waar losmaakbaarheid een rol speelt of kan spelen, maar er geen directe impact vanuit deze onderzoeken is op het doorontwikkelen van de beoordelingsmethode. De bevindingen zijn in Bijlage I samengevat.

#### **'Light' toets**

Voor bepaalde objecten is de verwachting dat de beoordelingsmethode weinig toegevoegde waarde heeft, of losmaakbaarheid misschien überhaupt niet relevant is. Deze hypothese is getoetst en is vervolgens beschouwd of losmaakbaarheid op een alternatieve manier te bevorderen is (zoals bijvoorbeeld middels een standaard-detailering).

---

<sup>1</sup> <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030>.

<sup>2</sup> <https://circulairebouweconomie.nl/achtergrond/nieuwe-methode-voor-beoordeling-losmaakbaarheid-in-de-gww-gelanceerd/>.

Deze 'light' toets is uitgevoerd voor 4 typen objecten: een riolering, asfaltweg, geluidsscherm en een verkeerskundige draagconstructie (VDC). De objecten riolering, asfaltweg en geluidsscherm zijn in een brainstormsessie behandeld.

Voor de VDC is er apart contact geweest met 2 experts. De bevindingen zijn samengevat in sectie 2.2.2 en de uitgebreide analyse is terug te vinden in Bijlage II.

#### Testcases: deelnemers en kennissessies

Voor het doorontwikkelen van de beoordelingsmethode is er inzicht nodig in de toepasbaarheid van de beoordelingsmethode in de praktijk, de juistheid van de uitkomsten, en het gebruikers gemak voor ontwerpers. Hiertoe zijn testcases uitgevoerd op 4 verschillende geselecteerde objecten: een viaduct, een beweegbare en een vaste (stalen) brug en een tunnel.

In oktober en november 2023 is een traject doorlopen waarbij deelnemers uit de markt de beoordelingsmethode 1.0 op een door hun gekozen praktijkcasus hebben toegepast. Het doel van de testcases was om leerervaringen op te halen en op basis daarvan punten te identificeren waarop de beoordelingsmethode verbeterd en verfijnd kan worden. De testcases en deelnemers die in het onderzoek hebben meegedraaid, staan samengevat in tabel 1.1. Het traject bestond uit 3 bijeenkomsten:

- 1 kennissessie 1, introductiesessie: instructie van de bestaande beoordelingsmethode versie 1.0 en het belang van losmaakbaarheid voor circulariteit;
- 2 kennissessie 2, ervaringen delen: ervaringen bij het toepassen van de beoordelingsmethode ophalen en eerste verbeterpunten/ leerpunten ophalen;
- 3 kennissessie 3, laatste ervaringen delen: verdere ervaringen/ verbeterpunten/ leerpunten ophalen en het bespreken van voorstellen voor het aanpassen van de beoordelingsmethode.

Tabel 1.1 Overzicht van de deelnemers in de testcases

Objecttype	Deelnemer(s)	Organisatie
viaduct (SBIR Circulaire Viaducten)	Timo van Beek	Boskalis
beweegbare brug	Max Metselaar	Vialis
vaste brug (staal)	Dennis Alsemgeest/ Niels Buiting	IV-Infra
tunnel (auto)	Albert Rodenhuis	Dura Vermeer
tunnel (fiets)	Maikel van Deursen/ Ingeborg van der Linden	Van der Linden Beton

#### Advies over vervolgtraject

Naast het verbeteren van de beoordelingsmethode op zichzelf, is advies opgesteld voor een vervolgtraject en de toekomstige doorontwikkeling van de beoordelingsmethode en losmaakbaarheid in de GWW. Dit advies komt voort uit een brainstormsessie d.d. 1 december 2023 en overleggen met het begeleidingsteam d.d. 23 november 2023 en 31 januari 2024 en is te lezen in het rapport 'Doorontwikkeling Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW - Vervolg traject voor losmaakbaarheid in de GWW' [Ref. 1].

#### Afstemming met begeleidingsteam

Gedurende de opdracht is er een begeleidingsteam betrokken geweest, om te reflecteren op de opzet en (tussen)resultaten van het onderzoek. Het begeleidingsteam is aanwezig geweest bij de light toets om mee te denken, heeft gereflecteerd op de voorgestelde verbeterpunten voor de beoordelingsmethode en heeft meegedacht over de doorontwikkelingsrichtingen van de beoordelingsmethode en losmaakbaarheid in het algemeen. De leden van het begeleidingsteam staan in tabel 1.2.

Tabel 1.2 Begeleidingsteam

Naam	Functie	Organisatie
Bernard Smit	circulair manager	Dura Vermeer
Mike van Vliet	consultant losmaakbaarheid & Building Circularity Index	Alba Concepts
Jan Grit	manager Kenniscentrum Duurzaamheid	VolkerWessels
Edwin Thie	senior adviseur duurzame bruggen en viaducten	Rijkswaterstaat (GPO)
Jan van Asten	technisch adviseur duurzaamheid kunstwerken	Rijkswaterstaat (GPO)
Marieke Plegt	ontwerpmanager RWS Ontwerpt	Rijkswaterstaat (PPO)
Mirko van Vliet	adviseur duurzaam inkopen GWW	Rijkswaterstaat (GPO)

### 1.3 Referentielijst

Hieronder de lijst met gebruikte verwijzingen/referenties.

- Ref. 1. Doorontwikkeling Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW - Vervolgtraject voor Losmaakbaarheid in de GWW, Witteveen+Bos, 29 februari 2024 (136041\_24-003.018)
- Ref. 2. Excel tool: beoordelingsmethode Losmaakbaarheid, Witteveen+Bos, 29 februari 2024 (136041\_24-003.034)

### 1.4 Dankwoord

Voor het uitvoeren van dit onderzoek en de totstandkoming van de beoordelingsmethode 2.0 gaat speciale dank uit naar een aantal personen:

- het begeleidingsteam dat gedurende het proces het projectteam heeft bijgestaan (bestaande uit de personen samengevat in tabel 1.2);
- de aanwezigen bij de light toets: het begeleidingsteam, met aanvullend Frank van Gennip (gemeente Utrecht) en Buizerd de Jong (Hollandscherm);
- de deelnemers die de beoordelingsmethode 1.0 hebben toegepast en getest (bestaande uit de personen samengevat in tabel 1.1);
- het projectteam vanuit Rijkswaterstaat: Jorien Visser, Esther Heijink en Claartje Vorstman;
- en allen die hebben meegedacht gedurende de opdracht en hun advies en visie gedeeld hebben.

Dit rapport is het resultaat van de vele brainstorms, discussies en gesprekken die gevoerd zijn. Dank!

### 1.5 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 licht de beoordelingsmethode 2.0 toe. Hier komt de context van de GWW, de definitie van losmaakbaarheid, het toepassingsgebied van de beoordelingsmethode en de opzet van de beoordelingsmethode aan bod. Hoofdstuk 3 beschrijft de conclusies en aanbevelingen.

#### **Tool: Beoordelingsmethode losmaakbaarheid 2.0 in de GWW**

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW versie 2.0 bestaat, naast de oplevering van dit rapport, uit een tool (in Excel). Deze tool helpt de gebruiker om de beoordelingsmethode toe te passen en daarmee de mate van losmaakbaarheid van zijn of haar ontwerp te bepalen. De aspecten uit de beoordelingsmethode zoals beschreven in sectie 2.3 zijn hierin ondergebracht. De tool is als separate bijlage online te downloaden [Ref. 2].

# 2

## BEOORDELINGSMETHODE LOSMAAKBAARHEID 2.0 VOOR DE GWW - TOOL VOOR ONTWERPERS

Dit hoofdstuk beschrijft de beoordelingsmethode losmaakbaarheid 2.0. Sectie 2.1 beschrijft de achtergrond van losmaakbaarheid in de GWW en de definitie voor losmaakbaarheid die wordt aangehouden. Sectie 2.2 gaat in op het toepassingsgebied van de beoordelingsmethode zoals: wie is de gebruiker, voor welk type objecten is de methode geschikt, en welk abstractieniveau geldt er. In sectie 2.3 komt de opzet van de beoordelingsmethode aan bod en wordt de uiteindelijke berekening van de losmaakbaarheidsindex toegelicht.

### 2.1 Achtergrond

#### Meetmethode losmaakbaarheid in de B&U en beoordelingsmethode losmaakbaarheid 1.0 in de GWW

In 2019 is de eerste versie van de meetmethode losmaakbaarheid voor de B&U opgesteld. Sindsdien is die meetmethode doorontwikkeld<sup>1</sup> en breed toegepast in de markt. De meetmethode losmaakbaarheid in de B&U vormde de basis voor de eerste versie van de beoordelingsmethode losmaakbaarheid voor de GWW, die eind 2022 is opgeleverd<sup>2</sup>. Het fundament van beide methodes is gelijk, echter is er een aantal aspecten waarop gebouwen en GWW-werken aanzienlijk verschilt. Alba Concepts heeft in 2022 een verkenning uitgevoerd naar de toepasbaarheid van de meetmethode uit de B&U voor de GWW<sup>3</sup>, waarin de verschillen tussen deze sectoren - die één-op-één overname van de meetmethode verhinderen - worden toegelicht. Een samenvatting daarvan is hieronder overgenomen. Om die reden is de beoordelingsmethode losmaakbaarheid voor de GWW apart doorontwikkeld.

#### Losmaakbaarheid in de GWW

De B&U en GWW verschillen op enkele punten, die maken dat de meetmethodiek van de B&U niet één-op-één voor de GWW over te nemen is. De belangrijkste verschillen tussen de B&U en GWW die relevant zijn voor de doorvertaling van de beoordelingsmethode zijn:

- **grote variëteit aan verschillende types objecten.** Binnen de GWW zijn er veel verschillende typen objecten, zoals bruggen, sluisen, geluidsschermen, beschoeiing, remmingswerken, die in vorm en opbouw erg van elkaar verschillen. Deze objecten zijn onderling lastiger met elkaar te vergelijken dan gebouwfuncties binnen de B&U. Daardoor kunnen de uitkomsten qua losmaakbaarheid sterk van elkaar verschillen;
- **objecten als onderdeel van een netwerk.** Binnen de GWW hebben objecten een lijnstructuur of zijn (veelal) onderdeel van een lijnstructuur/netwerk, zoals een viaduct over een snelweg of een sluis in een vaarweg. Onderdelen van het ene object zijn daardoor vaak ook onderdeel van een ander object. Denk aan een deklaag van asfalt op een brug, die onderdeel is van de weg waarin de brug ligt. Dit heeft consequenties voor de losmaakbaarheid. Daarnaast heeft een brug of sluis een bepaalde functie binnen dit netwerk, wat bij onderhoud of demontage kan zorgen voor (soms tijdelijk) functieverlies van het netwerk;

---

<sup>1</sup> <https://www.dgbc.nl/publicaties/circular-buildings-een-meetmethodiek-voor-losmaakbaarheid-v20-41>.

<sup>2</sup> <https://circulairebouweconomie.nl/achtergrond/nieuwe-methode-voor-beoordeling-losmaakbaarheid-in-de-gww-gelanceerd/>.

<sup>3</sup> <https://circulairebouweconomie.nl/wp-content/uploads/2022/05/Verkenning-uniforme-meetmethode-losmaakbaarheid-GWW.pdf>.

- **externe invloeden.** De objecten binnen de GWW zijn over het algemeen meer onderhevig aan externe invloeden, zoals het weer of strooizouten. Deze invloeden kunnen de losmaakbaarheid van onderdelen (vooral de verbindingen) gedurende de levensduur verslechteren. Hierdoor kan een verschil optreden tussen de theoretische losmaakbaarheid (in het ontwerp) en de praktische losmaakbaarheid (in het werk).

### Definitie van losmaakbaarheid

Voor 'losmaakbaarheid' in de GWW hanteren wij de volgende definitie:

*De losmaakbaarheid van een GWW-werk is de mate waarin het betreffende object in volledige en originele staat demontabel is op een bepaald schaalniveau, zonder daarbij schade aan te richten aan het object, de verschillende onderdelen of aansluitende objecten, zodat bestaande waarde beschermd wordt.*

Binnen deze definitie geldt dat:

- GWW-werken zijn opgebouwd uit verschillende materialen, producten en elementen die met elkaar verbonden zijn. De in de definitie genoemde 'objecten' zijn de GWW-werken, de mogelijke schaalniveaus zijn de elementen, componenten, producten of materialen die in het bouwwerk zijn opgenomen. In sectie 2.2.3 wordt dit detailniveau verder toegelicht;
- losmaakbaarheid is een **middel** voor het beschermen van waarde, en is geen doel op zichzelf. Het beschermen van waarde betreft onder andere:
  - hoogwaardig hergebruik van onderdelen faciliteren. Hoogwaardig hergebruik refereert aan één-op-één hergebruik zonder schade aan het object of aan het te verwijderen onderdeel te veroorzaken door demontage of het hoeven doen van aanpassingen. (Als een product zo is ontworpen dat het juist voor verschillende toepassingen inzetbaar is, vervalt het 'één-op-één' aspect in deze definitie);
  - flexibiliteit/ aanpasbaarheid van onderdelen en het object borgen;
  - onderhoudbaarheid/ vervangbaarheid van onderdelen en het object vergemakkelijken;
  - repareerbaarheid van onderdelen en het object vergemakkelijken;
- het belang van losmaakbaarheid is afhankelijk van de mate waarin een object of een onderdeel potentie heeft voor hergebruik na de levensduur, danwel tijdens de levensduur van het object moet kunnen worden aangepast, vervangen of gerepareerd.

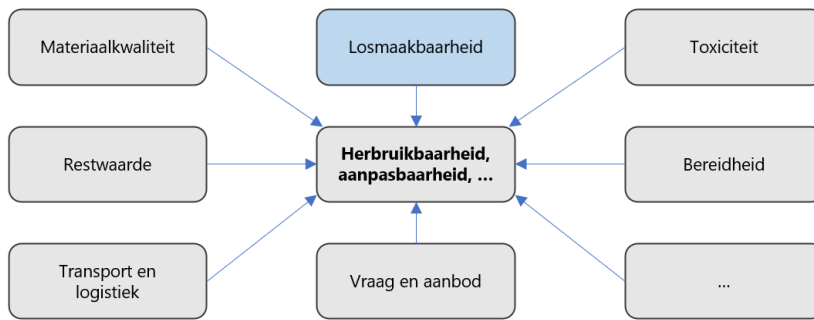
Losmaakbaarheid gaat dus niet alleen om het eenmalig los kunnen maken van onderdelen - het gaat ook (juist!) om het opnieuw goed installeren van onderdelen, op zo een manier dat het vervolgens ook weer goed los te maken is. Dit borgt toepassing in meerdere levenscycli van elementen en levensduurverlenging van objecten.

Voor onderdelen met een kortere levensduur dan het object zelf, die dus één of meerdere malen moeten worden vervangen tijdens de objectlevensduur, is het van belang dat deze losmaakbaar zijn zonder dat er schade aan het object zelf of het aansluitende netwerk wordt veroorzaakt. Denk bijvoorbeeld aan het kunnen vervangen van installaties in een tunnel of aan geleiderails op een viaduct. Voor onderdelen met een langere levensduur dan het object zelf is het tevens van belang om deze onderdelen zonder schade gemakkelijk los te kunnen maken voor verdere toepassing in een ander object.

Hoewel losmaakbaarheid zodoende een **middel** voor het beschermen van waarde is, biedt het nog geen garantie voor het beschermen van die waarde. Daarvoor zijn ook andere aspecten van belang, te denken aan materiaalkwaliteit, (het voorkomen van) toxiciteit, afstemming vraag en aanbod, mogelijkheden voor transport en logistiek, restwaarde en bereidheid (zie afbeelding 2.1). Dit komt nader terug in sectie 2.2.6.



Losmaakbaarheid Versie 2.0, Alba Concepts (2021)



## 2.2 Toepassingsgebied van de beoordelingsmethode

### 2.2.1 Beoogde gebruiker

De beoordelingsmethode is gericht op de ontwerptoepassing. De methode is ontwikkeld om de losmaakbaarheid van en binnen objecten in kaart te brengen en ontwerpers daarmee te ondersteunen om tot meer losmaakbare ontwerpen te komen. De methode biedt inzicht voor een ontwerper in:

- potentiële denkrichtingen voor een losmaakbaar ontwerp;
- variantenstudies voor aspecten van een object waarvan de milieulasten of kosten hoog zijn, waar levensduren niet overeenkomen, en waar aanpasbaarheid of onderhoud verwacht wordt;
- uit de kennissessies bleek dat het hiernaast ook helpt om een object waarvan vervanging of demontage gepland staat met de methode te beoordelen, om zo vooraf scherp te hebben bij welke verbindingen extra voorzorgsmaatregelen voor het losmaken benodigd zijn.

In het ontwerpproces van objecten moet allereerst bepaald worden of, en op welk niveau, losmaakbaarheid van het object en de afzonderlijke onderdelen gewenst is. Dat is afhankelijk van de mate waarin een object of een onderdeel potentie heeft voor hergebruik na de levensduur, dan wel tijdens de levensduur moet kunnen worden aangepast, vervangen of gerepareerd. Om de gebruiker hierbij te ondersteunen is een vragenlijst opgesteld, die helpt de scope te bepalen (zie alinea 2.3.1). Vervolgens helpt de beoordelingsmethode bij het losmaakbaar ontwerpen van de onderdelen waarvoor losmaakbaarheid relevant is gebleken.

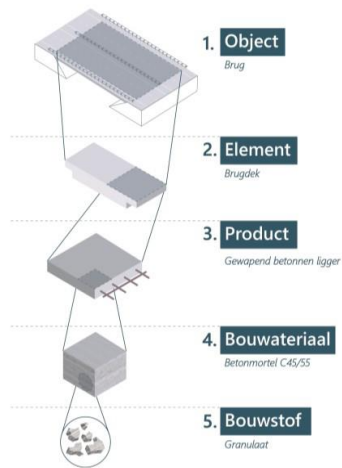
### 2.2.2 Abstractieniveau

GWW-objecten kunnen worden beschouwd op verschillende abstractieniveaus. De leidraad Circulair Ontwerpen van Platform CB'23 hanteert de onderstaande niveaus voor GWW-werken (overeenkomstig met de leidraad Paspoorten voor de Bouw):

- 1 object (bijvoorbeeld een viaduct);
- 2 element (bijvoorbeeld een brugdek);
- 3 product (bijvoorbeeld een voorgespannen betonnen ligger);
- 4 bouw materiaal (bijvoorbeeld beton + voorspanstaal);
- 5 bouwstof (bijvoorbeeld betonzand, grind, betongranulaat, cement, gemalen hoogovenslak, vulstof, hulpstoffen, ruw staal, schroot).

De relatie tussen deze niveaus is in afbeelding 2.2 weergegeven.

Afbeelding 2.2 Hiërarchie van GWW-werken



De losmaakbaarheid is voor ieder niveau relevant. Het kan interessant zijn om een geheel object (bijvoorbeeld een brug) los te maken van zijn plek of slechts onderdelen ervan (bijvoorbeeld het brugdek). Voor de beoordelingsmethode wordt uitgegaan van niveau 3 'product' als basisniveau.

Daarbij worden sommige materialen, die in een specifieke functie worden ingezet, ook als product gezien, bijvoorbeeld: zand, granuliet, grond, specie. Niet altijd is het van belang om op product niveau de verbindingen te beoordelen. Bepaalde objecten (bijvoorbeeld een paal vast gelast aan een kopplaat) zouden als geheel kunnen worden hergebruikt, en hebben tussendoor geen verwachte aanpassingen of onderhoud nodig. In zo'n geval kan een ontwerper overwegen om dit geheel als een element te beoordelen en het product niveau achterwege te laten.

Indien gewenst mag de losmaakbaarheid ook op een dieper niveau worden bepaald. Wanneer er op 4 'bouw materiaalniveau' of 5 'bouwstof' los gemaakt wordt, gaat het al snel over destructief scheiden van verschillende bouwstoffen en vervolgens het recyclen daarvan. De ontwerper en opdrachtgever zijn verder ook vrij om op een hoger detailniveau (zoals 1 'object' of 2 'element') losmaakbaarheid voor te schrijven. Het abstractieniveau dient vooraf gekozen te worden op basis van het beoogde doel waarvoor de ontwerper de methode inzet.

### 2.2.3 Type objecten

De verwachting is dat er objecten zijn waarop de beoordelingsmethode weinig toegevoegde waarde heeft, of waar losmaakbaarheid misschien überhaupt niet relevant is. Deze hypothese is getoetst en beschouwd of losmaakbaarheid op een alternatieve manier te bevorderen is (zoals bijvoorbeeld middels een standaard-detailtering). In deze analyse zijn 4 objecten beoordeeld: een riolering, wegverharding, een geluidscherm, en een verkeerskundige draagconstructie (VDC). De uitgebreide bevindingen van deze light toets zijn te vinden in bijlage II.

#### Riolering

Voor een riolering is het vooral relevant om naar de toegankelijkheid van de riolering te kijken om vervangingen of onderhoud te plegen. De rioleringsbuis zelf is over het algemeen al goed losmaakbaar en er worden veel standaardelementen toegepast. Hierdoor ligt de verantwoordelijkheid voornamelijk bij de producent. Losmaakbaarheid kan in specifieke gevallen relevant zijn, maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig. Wel is de denkwijze van beoordelingsmethode met betrekking tot het toepassen van ontwerpprincipes van belang bij productinnovatie, zoals voor bijvoorbeeld voor een hoge druk riolering.

### Wegverharding

Voor een wegverharding leidt de beoordelingsmethode niet tot relevante (nieuwe) inzichten. De score valt met name laag uit voor asfaltlagen waar hergebruik een mindere rol speelt. Als we breder naar de wegconstructie kijken, zoals asfalt en de bijbehorende randobjecten, dan is losmaakbaarheid nog wel interessant als ontwerpinstrument; maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig. Wel is het nuttig om de denkwijze van beoordelingsmethode als ontwerpprincipes toe te passen voor een innovatief wegontwerp.

### Geluidsscherm

Voor een geluidsscherm is de beoordelingsmethode relevant om de standaard te optimaliseren (eenmalig) of bij innovatieve nieuwe ontwerpen eenmalig te kunnen helpen in het optimaliseren van standaardisatie. Vervolgens is de beoordelingsmethode inzetbaar bij het uitvoeren bij het ontwerp van alternatieve geluidsschermen met specifieke eisen.

### Verkeerskundige draagconstructie

Voor VDC's (portalen) is er weinig ontwerp vrijheid en naar verwachting worden er nog weinig nieuwe portalen geplaatst. De focus ligt met name op onderhoud. Losmaakbaarheid speelt nog een rol bij de fundering, maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig. Een alternatief middel om losmaakbaarheid terug te laten komen in het ontwerp van portalen, zou zijn om specifieke ontwerpmaatregelen voor het losmaakbaar maken van de fundering (funderingspalen en betonpoeren) te ontwikkelen.

### Algemene conclusie

In het algemeen blijkt de beoordelingsmethode minder bruikbaar voor de objecten van de light toets. De beoordelingsmethode en de denkwijze losmaakbaarheid kan worden toegepast in onderzoeken naar standaardisatie. De aspecten waarop in de methode beoordeeld wordt, zijn wel waardevol om te gebruiken in ontwerpprocessen voor niet-standaard of nieuwe objecten en elementen, in de vorm van richtlijnen.

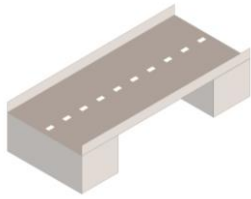
## 2.2.4 Classificering

Binnen de GWW is er een verscheidenheid aan objecten. Voor het ontwikkelen van een uniforme beoordelingsmethode zijn alle typen GWW-objecten binnen de volgende 3 klassen geplaatst:

- **afgebakend object:** dit zijn bouwwerken die als enkelvoudig object in de omgeving staan en niet aansluitend worden herhaald. Het object is (meestal) wel onderdeel van een groter infrastructuurnetwerk, zoals een weg of kanaal. Voorbeelden van afgebakende objecten zijn bruggen of sluizen;
- **lijnobject met componenten:** dit zijn objecten die een lijn vormen door het herhaaldelijk plaatsen van aparte componenten. Deze componenten zijn aan elkaar geschakeld. Voorbeelden hiervan zijn beschoeiingen of geluidsschermen;
- **lijnobject doorlopend:** dit zijn objecten die een lijn vormen door het toepassen van een continu product. De producten zijn doorlopend en vaak in het werk gegoten. Voorbeelden hiervan zijn asfaltwegen of spoorrails.

Afbeelding 2.3 Classificering van GWW-objecten

**AFGEBAKEND OBJECT**



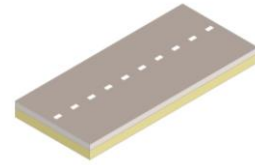
bijv. viaduct

**LIJN MET COMPONENTEN**



bijv. geluidsscherm

**LIJN DOORLOPEND**



bijv. stroomweg

Een GWW-object kan binnen één van deze 3 klassen vallen of opgebouwd zijn uit een combinatie van deze klassen. Een viaduct is bijvoorbeeld op zichzelf een afgebakend object, maar bevat doorlopende lijnobjecten (bijvoorbeeld een wegdek) en lijnobjecten met componenten (bijvoorbeeld geleiderails). Deze classificering helpt om verschillende typen GWW-objecten toch gemakkelijk aan elkaar te relateren, als deze binnen dezelfde klasse vallen. Verder heeft de klasse invloed op welke specifieke aspecten relevant zijn voor de losmaakbaarheid van onderdelen; dit wordt verder toegelicht in sectie 2.3.7.

**GWW-objecten binnen een netwerk**

Zoals in de paragraaf 1.1 (losmaakbaarheid in de GWW) is aangegeven, zijn GWW-objecten onderdeel van een netwerk (Afbeelding 2.4). Dit netwerk is opgebouwd uit de classificering zoals hierboven genoemd: bijvoorbeeld een weg met een brug en daarlangs een geluidsscherm. De losmaakbaarheid van een GWW-object heeft ook invloed op dit netwerk. Dit geldt bijvoorbeeld voor een brug die tijdens onderhoud niet bruikbaar is, wat hinder oplevert voor het wegennetwerk waar de brug onderdeel van is. Dit wordt ook functieverlies genoemd. Het netwerk waar het GWW-object onderdeel van is, is meegenomen in de beoordelingsmethode (zie sectie 2.3.5). Het gaat hier specifiek om het wegennetwerk.

Afbeelding 2.4 Luchtfoto van infrastructuurnetwerk met daarop onder andere GWW-objecten zoals een stroomweg, tunnel/aquaduct, brug en gemaal



## 2.2.5 Levensduur

Binnen de meetmethode voor de B&U wordt de Lagenmethode van Brand<sup>1</sup> gebruikt voor de afbakening en categorisering van producten. De beoordelingsmethode voor de GWW wijkt hiervan af door de Lagen van Brand niet te hanteren, omdat er voor de GWW niet voor alle objecten een even passende benadering is van deze lagen. Daarom is er gekeken naar het ordenende principe achter de Lagen van Brand: de levensduur. De levensduur binnen losmaakbaarheid is om meerdere redenen relevant:

- wanneer een product een kortere levensduur heeft dan het object waar het deel van uitmaakt, moet het tussentijds vervangen worden;
- wanneer een product een langere levensduur heeft dan het object, heeft het product na de sloop/demontage van het object nog een restlevensduur en kan het nuttig hergebruikt worden;
- wanneer producten met verschillende levensduren met elkaar verbonden zijn, dienen deze gemakkelijk van elkaar los te maken zijn;
- wanneer een object eerder vervangen of gesloopt wordt dan de ontwerplevensduur door veranderende functionele eisen.

De term levensduur kan verschillend worden geïnterpreteerd, daarom hanteren we verschillende definities op basis van de definities uit het Lexicon Circulaire Bouw van Platform CB'23:

- **technische levensduur (van een object):** periode waarin een object voldoende betrouwbaar de gewenste functies kan blijven vervullen. Dezelfde definitie hanteren we voor technische levensduur van een element of product;
- **ontwerplevensduur:** de geplande levensduur waarin het object de gewenste functies zal blijven vervullen op zijn huidige locatie;
- **functionele levensduur:** levensduur van een (deel)object waarbinnen het geschikt blijft voor zijn huidige functie en op zijn huidige locatie wordt gebruikt.

## 2.2.6 Praktische vs. theoretische losmaakbaarheid

Losmaakbaarheid is onder te verdelen in een **theoretische** losmaakbaarheid en een **praktische** losmaakbaarheid. Losmaakbaarheid in de praktijk hangt af van meer aspecten dan wat is opgenomen in de beoordelingsmethode. Praktische aspecten die relevant zijn voor losmaakbaarheid in relatie tot hergebruik en vervangingsopgaves zijn (zie ook afbeelding 2.1):

- de mate van veroorzaakte hinder (en voertuig-verliesuren) door de werkzaamheden voor het losmaken van het object of onderdelen ten behoeve van vervanging, onderhoud, reparatie, aanpassing en/of hergebruik;
- de transporteerbaarheid van het object, de elementen of producten;
- materieelinzet en benodigde investering in het losmaken van elementen in tijd (in verband met hinder gebruik object) en kosten (bijvoorbeeld het losslijpen van lasverbindingen van spoorwegen die in praktijk herbruikbaar zijn);
- materiaaldegradatie door gebruiksfase, zoals weersinvloeden, carbonatatie, corrosie et cetera, in relatie tot hergebruik op element of product niveau (zie afbeelding 2.1);
- procesmatige en financiële aspecten die borgen dat het ontwerp bij einde levensduur ook losmaakbaar is.

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW focust op het bepalen van de **theoretische losmaakbaarheid**, dat wil zeggen op de technische aspecten, aan de hand van 4 factoren (zie sectie 2.3.3). De theoretische losmaakbaarheid beschouwt hoe producten en/of elementen fysiek te demonteren zijn in het ontwerp. Aspecten van de praktische losmaakbaarheid worden in de berekening van de losmaakbaarheidsindex buiten beschouwing gelaten; deze komen wel als aandachtspunten terug in de vragenlijst (sectie 2.3.1) of komen terug als randvoorwaarden (sectie 2.3.5).

---

<sup>1</sup> Voor toelichting over de Lagen van Brand, zie pagina 10 van de Meetmethodiek Losmaakbaarheid in de B&U: <https://www.dgbc.nl/publicaties/circular-buildings-eeen-meetmethodiek-voor-losmaakbaarheid-v20-41>.

## 2.3 Opzet van de beoordelingsmethode

De opzet van de 2.0-versie van de beoordelingsmethode is aangepast ten opzichte van de 1.0-versie. Onderstaande secties gaan in op de opzet van de 2.0-versie. Allereerst worden de verschillende aspecten die onderdeel uitmaken van de beoordelingsmethode uitgebreid toegelicht (secties 2.3.1 t/m 2.3.5). In sectie 2.3.7 wordt het gehele stappenplan van de beoordelingsmethode doorlopen. In bijlage III is een overzicht opgenomen van de doorgevoerde verbeterpunten in deze beoordelingsmethode, ten opzichte van de 1.0-versie.

### 2.3.1 Vragenlijst om scope te bepalen

Om de juiste scope en het gewenste abstractieniveau te bepalen, is een vragenlijst opgenomen die voorafgaand aan het uitwerken van de beoordelingsmethode wordt ingevuld. Hiermee wordt de gebruiker geholpen om de juiste scope te bepalen en wordt de beoordelingsmethode toegespitst op specifieke onderdelen van het object. Dit helpt om de gebruikersinteractie te verbeteren en de juiste inzichten te verkrijgen.

Een voorselectie op de te beschouwen elementen/producten/producten wordt gemaakt door de onderstaande vragen te stellen, gericht op circulaire doelen en strategieën. De elementen/productenelementen/producten die als antwoord op onderstaande vragen komen, zijn relevant om mee te nemen in de analyse. Afhankelijk van de gestelde ambities op hergebruik, aanpasbaarheid, onderhoudbaarheid, repareerbaarheid, of standaardisatie, kan extra aandacht worden gelegd op de beoordeling van specifieke elementen/producten/producten voor eventuele verbeteringen van de losmaakbaarheid van het ontwerp.

#### 1. Aanwezige elementen/producten in ontwerp

De gebruiker dient allereerst globaal het ontwerp en de aanwezige elementen/producten te bekijken. Daarbij wordt per product genoteerd:

- de MKI;
- de massa;
- de technische levensduur;
- de te verwachten functionele levensduur;
- de toepassing en beschikbaarheid van kritieke of schaarse materialen;
- de economische waarde.

Het noteren van bovenstaande informatie is optioneel maar wordt wel sterk aangemoedigd. Het helpt de gebruiker om inzicht te krijgen in het belang van losmaakbaarheid per onderdeel. Dit komt terug in onderstaande vragen. Het is niet nodig om op de komma nauwkeurige informatie te noteren; het gaat om het maken van afwegingen omtrent het belang van losmaakbaarheid per onderdeel of tussen onderdelen.

#### 2. Circulaire doelen

Losmaakbaarheid bevordert circulair bouwen, en circulariteit is een middel om hogere duurzaamheidsdoelstellingen te halen. Deze doelstellingen zijn, zoals gedefinieerd door Platform CB'23:

- beschermen van milieu;
- beschermen van materiaalvoorraden;
- beschermen van bestaande en toekomstige waarde.

De rol van losmaakbaarheid wordt aan deze doelstellingen gekoppeld:

#### *Milieu-impact*

Om milieu-impact op lange termijn te beperken, is het van belang dat producten met een hoge milieu-impact, zo lang mogelijk in gebruik kunnen blijven:

- welke elementen/producten hebben een hoge MKI?
- welke elementen/producten hebben een grote massa?

Voor producten met een hoge MKI en/of massa kan het extra relevant zijn om deze goed losmaakbaar te ontwerpen zodat onderhoud of hergebruik in de toekomst te bevorderen. Dit kan op langere termijn de milieu impact beperken. Een aandachtspunt zijn verbindingen en andere technische oplossingen die leiden tot extra of ander materiaalgebruik en een hogere MKI. In dat geval kan het juist relevant zijn om deze niet losmaakbaar uit te voeren.

#### *Materiaalvoorraden*

Het beschermen van materiaalvoorraden linkt aan het gebruik van primair en secundair materiaal, en het gebruik van kritieke of schaarse materialen<sup>1</sup>. In de vragenlijst koppelen we het belang van losmaakbaarheid aan producten met kritieke of schaarse materialen:

- in welke producten zijn kritieke of schaarse materialen aanwezig?

Voor producten met kritieke of schaarse materialen kan het extra relevant zijn om deze goed losmaakbaar te ontwerpen.

#### *Waardebehoud*

Waardebehoud is een breed begrip dat zowel functionele, technische als economische waarde kan omvatten. In dit deel van de vragenlijst bakenen we af op economische waarde. Relevante aspecten met betrekking tot functioneel en technisch waardebehoud komen in de overige vragen terug:

- welke producten hebben een hoge economische waarde?

Voor producten met een hoge economische waarde is het extra relevant om deze goed losmaakbaar te ontwerpen.

### **3. Circulair ontwerpen**

Hieronder zijn onderwerpen beschreven die bijdragen aan verschillende aspecten van circulair ontwerpen/bouwen. De selectie van onderdelen in het ontwerp waar losmaakbaarheid relevant is, is mede afhankelijk van de doelstellingen op, of het belang van, deze aspecten.

#### *Hergebruik*

Indien er een hergebruikstrategie voor het object en de onderdelen daarbinnen beschikbaar is, dient daarmee rekening te worden gehouden in het ontwerp. Zo niet, kan het belang van hergebruik aan de hand van de volgende vragen worden bepaald:

- welke producten komen voort uit de analyse van de circulaire doelen (stap 2 van de vragenlijst)?
- welke producten hebben een hoge waarschijnlijkheid van hergebruik als element of product in de (verre) toekomst?
  - bijvoorbeeld: producten waarvan de technische levensduur langer is dan de ontwerplevensduur van het object;
  - is hergebruik waarschijnlijk op element- of productniveau? Indien hergebruik op elementniveau plaatsvindt, is losmaakbaarheid op productniveau minder relevant;
- zijn de producten transporteerbaar?
- heeft de achterliggende of dragende constructie een langere of kortere (te verwachten) levensduur dan de functionele levensduur van het object? Bij een langere levensduur is hergebruik hiervan extra belangrijk.

---

<sup>1</sup> Voor een overzicht van kritieke en schaarse materialen in de EU, zie: [https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials\\_en](https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en)

### *Aanpasbaarheid*

- met het oog op de vereiste flexibiliteit in functie van het object: is de verwachting dat de technische levensduur van het object gehaald wordt, of is het waarschijnlijk dat het object vanuit functionele wijzigingen eerder moeten worden aangepast (uitgebreid, verzwaard, verlengd, verkort, verplaatst)? Zo ja, welke elementen/producten zijn daarbij betrokken? Voor deze elementen/producten is losmaakbaarheid relevant;
- NB: van bepaalde objecten is bekend dat deze regelmatig vóór het einde van de levensduur gesloopt moeten worden vanwege functionele wijzigingen aan het netwerk waar zij onderdeel van zijn, zoals viaducten. Zo worden bijvoorbeeld bij Rijkswaterstaat viaducten standaard ontworpen op een levensduur van 100 jaar, terwijl het regelmatig voorkomt dat deze viaducten halverwege de ontwerplevensduur al aangepast of gesloopt worden.

### *Onderhoudbaarheid*

- welke elementen/producten hebben geplande onderhoudsmaatregelen tijdens de levensduur van het object waarvoor losmaken vereist is?
- welke producten hebben een kortere levensduur dan de objectlevensduur, en daarbij dus een hoge waarschijnlijkheid aan benodigde vervanging?
- zijn er systemen die elkaar doorkruisen? Houd dan in het ontwerp rekening met het kunnen onderhouden, verplaatsen en aanpassen van beide systemen (bijvoorbeeld, in het geval van een afvoersysteem dat later wordt ingebouwd, en vervolgens niet meer door de deur past).

Voor deze elementen/producten is losmaakbaarheid relevant.

### *Repareerbaarheid*

- welke elementen/producten hebben een hoge waarschijnlijkheid op potentiële beschadigingen en dus een hoge waarschijnlijkheid van potentiële losse vervangingen of reparaties? Voor deze elementen/producten is losmaakbaarheid relevant:
  - denk hierbij niet enkel aan onderdelen met korte levensduren: ook als de (technische) levensduur van het product/ element lang is, kan het om andere redenen (bijvoorbeeld een aanrijding) al eerder vervangen moeten worden.

### *Standaardisatie*

- welke gestandaardiseerde producten zijn te gebruiken in het ontwerp? Voor deze elementen/producten is losmaakbaarheid relevant.

### *Robuust ontwerp*

- welke onderdelen hebben naar verwachting een lange(re) technische en functionele levensduur (dan het object)?
- voor welke onderdelen kan losmaakbaarheid een risico opleveren voor het blijven functioneren tijdens de levensduur?
- voor welke onderdelen leidt losmaakbaarheid tot complexiteit, veel duurdere oplossingen danwel (veel) meer materiaalgebruik?

Voor deze elementen/producten kan losmaakbaarheid juist minder relevant zijn.



### 2.3.2 Uitgangspunten

De gebruiker wordt gevraagd om een aantal uitgangspunten omtrent het ontwerp/ het object te noteren om de navolgbaarheid van het toepassen van de beoordelingsmethode te bevorderen.

Dit bevat:

- het objecttype;
- de status van de ontwerpfase;
- het doel van het project (demontage, VenR, nieuwbouw);
- de ontwerplevensduren van het object en de elementen/producten;
- praktische aspecten van losmaakbaarheid: van welke werkzaamheden wordt uitgegaan bij vervangingen en demontage?
- de antwoorden op de vragen uit de vragenlijst (sectie 2.3.1);
- eventuele aanvulling ten bate van navolgbaarheid op basis van eigen inzicht.

### 2.3.3 Factoren

De beoordelingsmethode bestaat uit 4 factoren die voor ieder onderdeel in kaart worden gebracht. De 4 losmaakbaarheidsfactoren zijn onderverdeeld in 2 categorieën die de mate van losmaakbaarheid van het product representeren. De 2 categorieën zijn:

- **losmaakbaarheidsindex van de connectie (Lic):** heeft betrekking op de verbinding tussen product A en product B en wordt bepaald door:
  - 1 **type verbinding:** op welke manier zijn product A en product B met elkaar verbonden;
  - 2 **toegankelijkheid van de verbinding:** hoe gemakkelijk is het om bij deze verbinding te komen, wordt er daarmee schade aan deze of omliggende producten toegebracht en in hoeverre is die schade te herstellen. Voor producten met dezelfde levensduur als de projectlevensduur van het object, heeft dit betrekking op de omgekeerde bouwvolgorde bij einde levensduur. Voor producten met een kortere levensduur dan de projectlevensduur, geldt de omgekeerde bouwvolgorde bij vervangingswerkzaamheden;
- **losmaakbaarheid van de samenstelling (Lis):** heeft betrekking op hoe product A in het object is opgenomen en wordt bepaald door:
  - 3 **randopsluiting:** is het product vrij uitneembaar of is er na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde een belemmering om product A uit het object te halen (doordat deze door andere producten, bijvoorbeeld zijdelings, wordt ingesloten);
  - 4 **doorkruisingen:** lopen er andere producten door product A heen of zijn deze geheel geïntegreerd.

Een product A kan dus meermaals een losmaakbaarheidsindex van de connectie (Lic) krijgen toegekend, afhankelijk van het aantal producten waarmee het verbonden is.

De 4 factoren worden hierna ieder apart toegelicht, inclusief de waardering van de beoordeling.

#### Type verbinding (TV)

Producten kunnen middels diverse typen verbindingen met elkaar verbonden zijn. Voor ieder product A dat met een product B verbonden is, wordt de verbinding in kaart gebracht en ingedeeld in de categorieën van tabel 2.1 hieronder. De subcategorie geeft voorbeelden van type verbindingen die in de hoofdcategorie kunnen voorkomen, maar dit is geen volledige lijst. Bij toegepaste verbindingen die niet in tabel 2.1 voorkomen kan de gebruiker zelf nagaan waar het type verbinding het meest op lijkt. Daarbij is het van belang om stil te staan bij de vraag of de verbinding zonder schade demonteerbaar is.

#### Voorbeelden:

- betonnen aanstortverbindingen scoren 0,1;
- losse zandlichamen scoren 1,0;
- een chemisch anker (injectie-anker) heeft aan de ene kant een vaste (hard chemische) verbinding; aan de andere kant een verbinding met toegevoegde elementen. Dit scoort als een hard chemische verbinding (0,1).

Tabel 2.1 Scores type verbinding

Type verbinding		Score
droge verbinding	<ul style="list-style-type: none"> <li>- los (geen bevestigingsmateriaal);</li> <li>- klikverbinding;</li> <li>- overige droge verbindingen</li> </ul>	1,0
verbinding met toegevoegde elementen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bout- en moerverbinding;</li> <li>- veerverbinding;</li> <li>- hoekverbindingen;</li> <li>- schroefverbinding;</li> <li>- overige verbindingen met toegevoegde; verbindingselementen</li> </ul>	0,8
directe integrale verbinding	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pin-verbindingen;</li> <li>- spijkerverbinding;</li> <li>- klinknagels en popnagels;</li> <li>- overige integrale verbindingen</li> </ul>	0,6
zachte chemische verbinding	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kitverbinding;</li> <li>- schuimverbinding (pur);</li> <li>- overige zachte chemische verbindingen</li> </ul>	0,2
harde chemische verbinding	<ul style="list-style-type: none"> <li>- lijmverbinding;</li> <li>- aanstortverbinding;</li> <li>- lasverbinding;</li> <li>- cementgebonden verbinding;</li> <li>- chemische ankers;</li> <li>- overige harde chemische verbindingen</li> </ul>	0,1

### Toegankelijkheid verbinding

Toegankelijkheid van de verbinding toetst of men direct bij het verbindingselement kan komen en in hoeverre er daardoor schade ontstaat aan de directe of omliggende producten. De toegankelijkheid van de verbinding betreft de situatie in de omgekeerde bouwvolgorde. Voor producten met dezelfde levensduur als de projectlevensduur van het object, betekent dit de situatie bij einde levensduur. Voor producten met een kortere levensduur dan de projectlevensduur, betekent dit de omgekeerde bouwvolgorde bij vervangingswerkzaamheden. De verschillende scores zijn opgenomen in tabel 2.2. Daarnaast wordt er enkel gekeken naar de eerst omliggende producten. Dit voorkomt negatieve dubbeltellingen.

#### Voorbeelden:

- bout- en moerverbindingen van een leuningwerk van een brug zijn vrij toegankelijk en scoren 1,0;
- om bij de funderingslaag onder een asfaltweg te komen, moet eerst de asfaltlaag kapot gefreesd worden. Dit scoort 0,1. Om vervolgens bij de zandlaag onder de funderingslaag te komen, hoeft enkel de funderingslaag - die los bevestigd is - verwijderd te worden. Dit scoort 0,8.

Tabel 2.2 Scores toegankelijkheid verbinding

Toegankelijkheid verbinding (ToV)	Score
vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0
toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken aan het product of omliggende producten	0,8
toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,6
toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,4
niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1

## Randopsluiting

Met de factor randopsluiting wordt beoordeeld hoe producten in het object zijn geplaatst en in hoeverre deze toegankelijk zijn. Dit speelt voor zowel tussentijdse vervangingen alsook einde levensduur demontage. Daarbij geldt dat randopsluiting bij tussentijdse vervangingen een belangrijkere rol speelt dan bij einde levensduur demontage; immers, in het tweede geval wordt de gehele constructie sowieso uit elkaar gehaald.

Idealiter zijn producten direct vrij uitneembaar uit het object, zonder dat andere producten daarvoor hoeven worden weggehaald (met oog op tussentijds vervangen). Als dat niet mogelijk is, kijkt deze factor naar het volgen van de **omgekeerde bouwvolgorde**. Is er na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde nog steeds een belemmering voor het demonteren van het product? Dan valt de score lager uit. Bij 'gedeeltelijk ingesloten' geldt dat er aan minimaal een rand van het product overlapping is en andere producten moeten worden gedemonteerd alvorens het betreffende product vrij uitneembaar is. Bij 'volledig ingesloten' is er aan minimaal 2 randen van het product overlapping met andere producten en moeten deze worden gedemonteerd alvorens het betreffende product vrij uitneembaar is. Het verschil tussen gedeeltelijke en volledige insluiting zit in de benodigde werkzaamheden/ moeite/ kans op schade bij het demonteren van omliggende producten, dat in het geval van gedeeltelijke insluiting lager is. Volledige insluiting geldt ook in gevallen van hard-chemische verbindingen en in het werk gestorte producten.

Deze factor is van belang bij producten die door andere producten worden ingesloten (fysiek, of door het hebben van een hard chemische verbinding) en bij seriematige producten die elkaar insluiten (zoals bijvoorbeeld bij riolering het geval is). De verschillende scores zijn opgenomen in tabel 2.3.

**Voorbeeld:** het leuningwerk op een brug is vrij toegankelijk en kan direct worden losgehaald zonder dat andere producten moeten worden weggehaald; de score is 1,0.

Tabel 2.3 Scores randopsluiting

Randopsluiting (RO)	Score
product is direct vrij uitneembaar <b>zonder de omgekeerde bouwvolgorde te volgen</b>	1,0
vrij toegankelijk: er is <b>na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde géén</b> belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van het product of element	0,6
gedeeltelijk ingesloten: er is <b>na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde gedeeltelijke</b> belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van het product of element	0,4
volledig ingesloten: er is <b>na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde volledige</b> belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van het product of element	0,1

## Doorkruisingen

Het begrip 'doorkruisingen' betekent dat producten door elkaar heen lopen of compleet met elkaar zijn geïntegreerd. Hierdoor zijn er meer handelingen nodig om het product tussentijds of bij einde levensduur te verwijderen. Deze factor is extra van belang als de producten afwijkende levensduren hebben. Doorkruising van producten hoeft geen probleem te vormen als producten gemakkelijk, zonder grote moeite of schade, uit elkaar gehaald kunnen worden. Het verschil tussen incidentele doorkruisingen en volledige integratie zit in de frequentie van de doorkruising en dus de benodigde moeite of schade die bij demontage optreedt. De mogelijke scores zijn opgenomen in tabel 2.4. Afbeelding 2.1 demonstreert de verschillende opties.

**Voorbeeld:** bij betonnen tunnelelementen die een gat hebben waar kabels los in liggen, is weliswaar sprake van 2 producten die elkaar doorkruisen, maar omdat de kabels los in het gat liggen en zonder schade eruit te halen zijn, vormt dit geen belemmering voor demontage. Dit scoort een 1,0.

Tabel 2.4 Scores doorkruisingen

Doorkruisingen (DK)	Score
geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen	1,0
incidentele doorkruisingen van producten of elementen die verhinderen dat het product zonder schade uit de constructie kan worden gehaald bij vervanging- of verwijderwerkzaamheden	0,4
volledige integratie van producten of elementen die verhinderen dat het product zonder schade uit de constructie kan worden gehaald bij vervanging- of verwijderwerkzaamheden	0,1

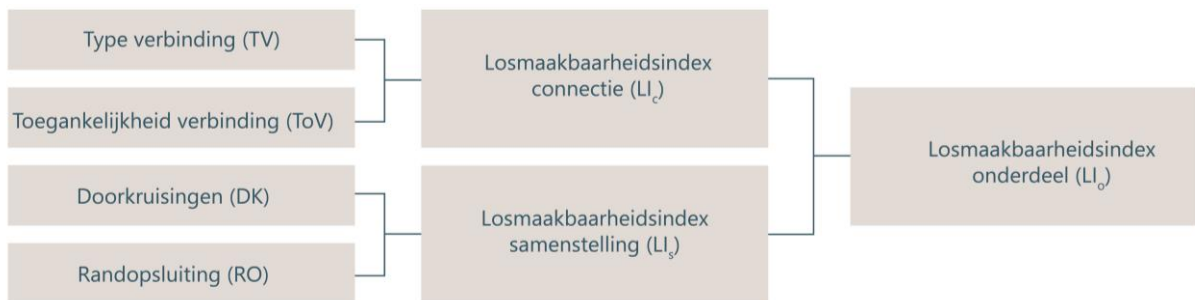
Afbeelding 2.5 Verschillende vormen van doorkruisingen volgens score tabel 2.4



### 2.3.4 Losmaakbaarheidsindex per onderdeel

Voor ieder onderdeel in het object (bestaande uit product A en de verbinding naar product B) wordt de losmaakbaarheidsindex (LI) bepaald. Dit gebeurt op basis van de losmaakbaarheidsindex van de connectie (LIC) en de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (LIS). Gezamenlijk vormt dit de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel (LIO). Afbeelding 2.2 en de paragrafen hieronder lichten de berekening toe.

Afbeelding 2.6 Factoren voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van een element of product



#### Losmaakbaarheidsindex van de connectie

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van de connectie is:

$$LIC = \frac{2}{\frac{1}{TV} + \frac{1}{ToV}}$$

Waarbij:

LIC = losmaakbaarheidsindex van de connectie tussen product A en product B;

TV = type verbinding van product A naar product B;

ToV = toegankelijkheid verbinding van product A naar product B.

### Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling

De formule voor het bepalen van de Losmaakbaarheidsindex van de samenstelling is:

$$LI_s = \frac{2}{\frac{1}{RO} + \frac{1}{DK}}$$

Waarbij:

$LI_s$  = losmaakbaarheidsindex van de samenstelling van product A;

$RO$  = randopsluiting van product A;

$DK$  = doorkruisingen van product A.

### Losmaakbaarheidsindex van het onderdeel

De formule voor het bepalen van de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel is:

$$LI_o = \frac{2}{\frac{1}{LI_c} + \frac{1}{LI_s}}$$

Of:

$$LI_o = \frac{4}{\frac{1}{TV} + \frac{1}{ToV} + \frac{1}{RO} + \frac{1}{DK}}$$

Waarbij:

$LI_o$  = losmaakbaarheidsindex van het onderdeel.

## 2.3.5 Randvoorwaarden

Voor de beoordelingsmethode zijn er naast de kwantitatieve factoren ook kwalitatieve randvoorwaarden meegenomen. Deze randvoorwaarden hebben uiteindelijk invloed op of het product/ element/ object praktisch losmaakbaar is. Deze randvoorwaarden zijn:

- externe invloeden;
- functiebehoud netwerk.

### Externe invloeden

Onder externe invloeden verstaan we effecten vanuit de omgeving op het GWW-werk, zoals het weer (regen, ijzel, hitte) of stroomloosheid. Hierbij kijken we specifiek naar de verbindingselementen van het bouwwerk en houden wij externe invloeden op het product als geheel buiten beschouwing. Verbindingen zoals boutverbindingen kunnen bijvoorbeeld verroesten waardoor de demontage uiteindelijk lastiger is. De relevantie van externe invloeden als factor is afhankelijk van het type verbinding en het is dus niet vanzelfsprekend dat dit moet worden opgenomen in de beoordelingsmethode. Per product dient er antwoord te worden gegeven op de volgende vraag:

**Zijn er verbindingen die bloot worden gesteld aan externe invloeden, die de kwaliteit van de verbindingselementen aantasten?**

- ja:
  - voer waar mogelijk ontwerp- of conditioneringsaanpassingen door om de verbindingselementen te beschermen (waarbij maatregelen die op een andere manier de duurzaamheid slecht beïnvloeden dienen te worden voorkomen - zoals bijvoorbeeld een chemische coating), of kies voor (zover mogelijk binnen de eisen) een type verbinding waar externe invloeden niet of minder voor aantasting zorgen;
- nee:
  - geen aanvullende aandachtspunten;
- weet ik niet:
  - voer aanvullend onderzoek uit om de externe invloeden te bepalen.

### Funcatiebehoud netwerk

Objecten in de GWW zijn (vaak) onderdeel van een groter infrastructureel netwerk. Het losmaken van producten of elementen kan invloed hebben op het functioneren van dit netwerk. Om hier (voor zo ver mogelijk) rekening mee te houden, is functiebehoud van het wegennetwerk opgenomen als randvoorwaarde. Het gaat hierbij om tussentijdse vervangingen van/ werkzaamheden aan onderdelen in het object. Als het om volledige vervanging van het object gaat, is het object (en dat deel van het netwerk) simpelweg niet operationeel. Per object dient er antwoord te worden gegeven op de volgende vraag:

#### Zorgt het losmaken van producten of elementen voor een verandering van de functie van het object of het netwerk waar dit onderdeel van is?

- ja:
  - ga na of het mogelijk is om het ontwerp op dusdanige wijze aan te passen, dat het losmaken van het element niet meer tot hinder leidt, bijvoorbeeld door de toegankelijkheid van de verbinding te verbeteren of het product anders te positioneren;
- nee:
  - geen aanvullende aandachtspunten;
- weet ik niet:
  - onderzoek de mate van functiebehoud door het demonteren van elementen met het projectteam.

**Voorbeeld:** vervangingen van lampen in straatverlichting, kapotte of versleten verkeersborden, kleine delen van hekwerken langs wegen of bruggen, of defecte apparatuur in een verkeersregelininstallatie, kunnen meestal snel en efficiënt worden uitgevoerd en hoeft de weg niet (volledig) voor te worden afgesloten.

### 2.3.6 Concluderende vragen

Onderstaande vragen worden na afloop van de beoordeling gesteld om een beeld te krijgen in welk opzicht de losmaakbaarheid van het object voor beperkingen zorgt. Deze komen voort uit de vragenlijst (sectie 2.3.1):

- zijn er lage scores op onderdelen met hoge MKI, hoge massa, waarin kritieke of schaarse materialen benodigd zijn, of die een hoge economische waarde hebben?
  - zijn er lage scores op onderdelen die mogelijk hergebruikt zouden kunnen worden na einde ontwerplevensduur (bijvoorbeeld standaardelementen of -producten)?
  - zijn er lage scores op onderdelen die mogelijk aangepast moeten worden ten behoeve van functie wijzigingen?
  - zijn er lage scores op onderdelen die onderhouden dienen te worden tijdens de ontwerplevensduur?
  - zijn er lage scores op onderdelen die mogelijk gerepareerd of vervangen dienen te worden tijdens de ontwerplevensduur?
  - zijn er lage scores tussen producten met onderling afwijkende levensduren?
  - komt het onderdeel waarbij een lage score is geconstateerd, vaak voor in het ontwerp?
- Indien het antwoord op de vraag ja is:
- 1 kunnen er ontwerpmaatregelen genomen worden om de losmaakbaarheid te verbeteren?
  - 2 of is er een praktische manier voorzien waarmee de producten ondanks de lage (theoretische) score, alsnog goed, zonder schade, losmaakbaar en herbruikbaar zijn?
- zijn er lage scores bij onderdelen, waarvoor wel een praktische manier wordt voorzien om te kunnen demonteren en hergebruiken? Dan hoeft de lage score niet een probleem te zijn.

**Voorbeeld:** een chemisch anker is in de beoordelingsmethode geclassificeerd als vaste verbinding met een lage losmaakbaarheidsindex, maar kan in de praktijk voor lage kosten worden losgeboord. Hierdoor kunnen de elementen waar het anker in vast zat weer worden hergebruikt. In de uitvoering is deze vaste verbinding dan toch (tegen kosten) als losmaakbaar te beschouwen. In dit geval beoordeelt de gebruiker zelf of de lage theoretische score daadwerkelijk een probleem is.

## 2.3.7 Bepalen losmaakbaarheidsindex: stappenplan

Om de losmaakbaarheidsindex van een GWW-werk te bepalen, worden 7 stappen doorlopen. De stappen worden in de secties hierna stap voor stap verder toegelicht. Bij sommige stappen is ter illustratie een voorbeelduitwerking van een geluidsschermbaan toegevoegd (zie kaders). Voor het uitvoeren van het stappenplan is de bijlage van deze rapportage (de Exceltool) behulpzaam.

Het stappenplan is als volgt:

- 1 bepaal de scope:
  - A. doorloop vragenlijst;
  - B. noteer aanwezige producten, inclusief (optioneel) de bijbehorende MKI, massa, levensduur en economische waarde;
- 2 geef classificering van object aan (afgebakend, lijn component, lijn doorlopend);
- 3 noteer uitgangspunten;
- 4 analyseer opbouw van het object op basis van de constructieve detailtekeningen/doorsneden:
  - A. specificeer clusters van producten (producten die samen 1 element vormen);
  - B. noteer verbindingen tussen producten (op basis van de omgekeerde bouwvolgorde);
- 5 bepaal de scores van de 4 factoren per onderdeel en bereken de losmaakbaarheidsindex;
- 6 bepaal de randvoorwaarden per onderdeel;
- 7 analyseer de concluderende vragen.

### Stap 1: Bepaal de scope

#### 1A. Doorloop vragenlijst

Doorloop de vragen zoals opgenomen in sectie 2.3.1, om de scope en het abstractieniveau voor toepassing van de beoordelingsmethode te bepalen.

#### 1B. Noteer aanwezige producten

Aan de hand van de details die beschikbaar zijn, en de selectie vanuit de vragenlijst (stap 1), worden de aanwezige producten genoteerd en genummerd. Start bij de onderbouw van het object (de fundering of grond waar het op gesitueerd is) en volg de bouwvolgorde. Per product kunnen de volgende aspecten worden aangegeven:

- de MKI;
- de massa;
- de technische levensduur;
- aanwezigheid kritieke of schaarse materialen;
- de economische waarde.

---

### Voorbeeld stap 1B: geluidsschermbaan

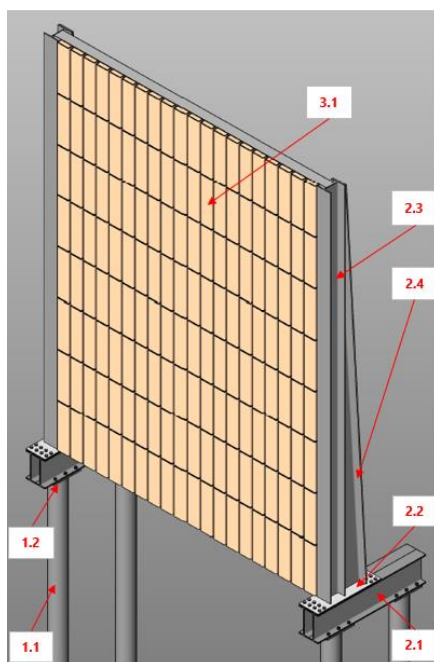
**Tabel 2.5** toont de verschillende producten met product-identificatienummers (ID) die uit de vragenlijst zijn gekomen als relevante onderdelen voor de losmaakbaarheidsanalyse. **Afbeelding 2.7** toont een 3D-schets van het voorbeeld geluidsschermbaan met daarin de product IDs zoals opgenomen in de tabel hieronder.

---

Tabel 2.5 Overzicht relevante producten in geluidsscherm (Let op: de MKI-waardes, economische waardes en massa die hier worden gepresenteerd zijn ingevuld naar schatting en dienen niet als absolute waarheid te worden beschouwd)  
Ntb = nader te bepalen

Prod.ID	Product	MKI [EUR MKI]	Massa [kg]	Technische levensduur <sup>1</sup> [jaar]	Kritieke, schaarse materialen	Economische waarde <sup>2</sup> [EUR]
1.1	stalen buispaal	15 tot 150	300	100	mogelijk (legeringselementen)	950
1.2	kopplaat	2.77/ m <sup>2</sup>	ntb	100	mogelijk (legeringselementen)	ntb
2.1	kokerprofiel	1,23/ m <sup>2</sup>	250	100	mogelijk (legeringselementen)	750
2.2	voetplaat 20 mm	ntb	150	100	mogelijk (legeringselementen)	450
2.3	HEA 340 kolom	250	850	100	mogelijk (legeringselementen)	2.550
2.4	T-profiel	200	760	100	mogelijk (legeringselementen)	ntb
3.1	panelen	80	40	50	nee	3.450
4.1	betonpoer	110	500	100	nee	1.300
4.2	stalen frame incl. vluchtdeur	ntb	150	50	mogelijk (legeringselementen)	2.500
5.1	coulisse	ntb	ntb	50	mogelijk (legeringselementen)	ntb

Afbeelding 2.7 3D-schets van het geluidsscherm met gelabelde producten. Niet afgebeeld op deze detailtekening zijn de vluchtdeur en coulisse (producten 4.1, 4.2 en 5.1)



<sup>1</sup> Wanneer de technische levensduur van het product potentieel hoger licht dan de ontwerp levensduur van het object, wordt geadviseerd dit in te vullen in deze kolom en mee te nemen in de afwegingen.

<sup>2</sup> De economische waarde van de producten is ingeschat op basis van prijspeil van Q4 2023. Daarbij zijn alleen levering van de producten meegenomen, aanbrengen is hierin niet meegewogen.



## Stap 2: Classificering van object

Specificeer of het object een afgebakend object, een lijnobject met componenten of een doorlopend lijnobject is (zie sectie 2.2.4):

- bij een afgebakend object is er een duidelijke grens van het object;
- lijnobjecten met componenten zijn geschakeld door herhaaldelijke onderdelen;
- doorlopende lijnobjecten hebben geen duidelijke grens, of het object loopt over een aanzienlijke afstand door.

Specifiek bij lijnobjecten is er een aantal aspecten waar de ontwerper extra naar dient te kijken voor mogelijke ontwerpoptimalisaties:

### Lijnobject uit componenten

- wat is de afstandsindicatie waarover de losmaakbaarheid van het object wordt berekend? Dit heeft invloed op het aantal keer dat de componenten (en dus de producten en de verbinding tussen componenten) voorkomen;
- wat is de verbinding tussen componenten? Waaruit bestaat die verbinding?
- is deze verbinding een apart verbindingselement of een bestaand product?
  - indien het een bestaand product is, wordt het al meegenomen in de berekening; indien het een apart verbindingselement is, dient de ontwerper rekening te houden met de manier waarop deze is opgenomen in het ontwerp.

### Doorlopend lijnobject

- voor een doorlopend lijnobject is vooral de dwarsdoorsnede belangrijk. De ontwerper dient aan te geven of 1 dwarsdoorsnede representatief is voor de gehele lengte van het object, of dat er overgangen zijn binnen het object dat wordt beschouwd. Het criterium bij dat laatste, is dat de samenstelling van het object aanzienlijk verandert. In dit geval dient de losmaakbaarheidsindex apart voor de verschillende samenstellingen te worden berekend:
  - hiervoor is ook de afstandsindicatie waarover de losmaakbaarheid van het object wordt berekend belangrijk. Dit heeft invloed op het aantal keer dat overgangen voorkomen;
- de manier waarop overgangen binnen het traject zijn vormgegeven is belangrijk om rekening mee te houden (bijvoorbeeld aparte rails-onderdelen: zijn aan elkaar gelast):
  - hierbij is het ook van belang om rekening te houden met eventuele gestapelde structuren: bijvoorbeeld een riolering onder een asfaltweg - voor beide lijnobjecten zijn de overgangen van belang, en deze kunnen anders zijn ontworpen.

---

## Voorbeeld stap 2: geluidsscherm

Een geluidsscherm is geclassificeerd als een lijnobject met componenten, waar ieder geluidsscherm uit producten bestaat die 1 component vormen. Zoals aangegeven, worden de volgende vragen beantwoord:

- wat is de afstandsindicatie waarover de losmaakbaarheid van het object wordt berekend?
    - *voor de berekening wordt een beperkte scope opgenomen met 10 aaneengesloten geluidsschermen, 1 vluchtdeur en 1 coulisse;*
  - wat is de verbinding tussen componenten? Waaruit bestaat die verbinding?
    - *componenten zijn aaneengesloten middels een stalen HEA kolom. Dit is een droge verbinding;*
  - is deze verbinding een apart verbindingselement of een bestaand product?
    - *de HEA kolom is een bestaand product dat al in de berekening wordt meegenomen.*
- 

## Stap 3: Noteer uitgangspunten

Noteer de uitgangspunten van het ontwerp die relevant zijn om de toepassing van de beoordelingsmethode te begrijpen:

- het objecttype, de status van de ontwerpfase;
- het doel van het project (demontage bestaand object of onderdelen, vervangingen renovatie (V&R) van een bestaand object, aanleg van een nieuw object);
- de ontwerplevensduren van het object, elementen en producten;
- de antwoorden op de vragen uit de vragenlijst (stap 1).

## Stap 4: Analyseer opbouw van object

### 4A. Specificiceer clusters van producten

In de tabel met aanwezige producten (stap 1B) kunnen clusters van producten aangegeven worden die samen 1 element vormen. Vanuit deze clustering is het interessant om te kijken naar het verschil in levensduur tussen elementen die aan elkaar verbonden zijn en tussen de producten die samen een element opmaken. Indien deze verschillende levensduren hebben, wordt losmaakbaarheid een nog relevanter aspect om als ontwerper mee te nemen (dit komt ook terug in stap 1 van de vragenlijst). Het geval van producten met afwijkende levensduren die aan elkaar verbonden zijn is als voorbeeld te zien in tabel 2.6.

### 4B. Noteer verbindingen tussen producten

Op basis van de **omgekeerde bouwvolgorde** worden de verbindingen tussen producten genoteerd. Hierbij geldt altijd de verbinding van product A met product B. Indien het producten zijn die zijdelings (volgens de omgekeerde bouwvolgorde tegelijkertijd zijn geplaatst) verbonden zijn, is het niet van belang welk product A of B is.

GWW-werken zijn (vaak) onderdeel van een groter infrastructureel netwerk. Daarom worden niet enkel de verbindingen *tussen* producten, maar ook de verbindingen tussen een product en het omliggende netwerk genoteerd (mits dit van toepassing is). Bijvoorbeeld de verbinding van het asfalt op een brugdek met het asfalt van het omliggende wegennetwerk.

### Voorbeeld stap 4A-B: geluidsscherm

Tabel 2.6 toont de verschillende producten met product-identificatienummers (ID) en welke producten samen 1 element vormen. Tevens toont de tabel welke producten A met producten B verbonden zijn, en met welk type verbinding. Ter illustratie is de technische levensduur van de producten in de tabel opgenomen. MKI, massa, kritieke/ schaarse materialen en economische waarde zijn voor dit voorbeeld buiten beschouwing gelaten. Er is te zien dat er weinig producten zijn met afwijkende levensduren; de panelen en de HEA kolom hebben bijvoorbeeld afwijkende levensduren (50 vs. 100 jaar) maar aangezien deze los in elkaar zitten is dit geen probleem.

Tabel 2.6 Overzicht producten en verbindingen aanwezig in een geluidsscherm. Nvt = niet van toepassing

Elem. ID	Element	Prod. ID A	Product A	Levens-duur A	Prod. ID B	Product B	Levens-duur B	Verbinding
1.	Fundering	1.1	Stalen buispaal	100	nvt	Grond	∞	Los
1.	Fundering	1.2	Kopplaat	100	1.1	Stalen buispaal	100	Lassen
2.	Stijl	2.1	Kokerprofiel	100	1.2	Kopplaat	100	Bouten, moeren
2.	Stijl	2.2	Voetplaat	100	2.1	Kokerprofiel	100	Bouten, moeren
2.	Stijl	2.3	HEA kolom	100	2.2	Voetplaat	100	Lassen
2.	Stijl	2.4	T-profiel	100	2.2	Voetplaat	100	Lassen
2.	Stijl	2.4	T-profiel	100	2.3	HEA kolom	100	Lassen
3.	Panelen	3.1	Panelen	50	2.3	HEA kolom	100	Los
3.	Panelen	3.1	Panelen	50	3.1	Panelen	50	Los
4.	Vluchtdeur	4.1	Betonpoer	100	2.2	Voetplaat	100	Los
4.	Vluchtdeur	4.2	Stalen frame incl. vluchtdeur	50	4.1	Betonpoer	100	Boutankers
5.	Coulisse	5.1	Coulisse	50	2.3	HEA kolom	100	Bouten, moeren

### Stap 5: Bepaal factoren en bereken losmaakbaarheidsindex

Per onderdeel (product A, met verbinding naar product B) worden de factoren van de losmaakbaarheidsindex beoordeeld. Gezamenlijk bepalen deze de losmaakbaarheidsindex van de connectie en samenstelling, die samen de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel opmaken (zie secties 2.3.3 en 2.3.4).

#### Voorbeeld stap 5: geluidsscherm

Ter illustratie is hieronder voor 1 onderdeel de uitwerking van alle factoren en de bijbehorende losmaakbaarheidsindex getoond, in tabel 2.7. Tabel 2.8 toont vervolgens voor alle onderdelen de losmaakbaarheidsindex van de connectie, de samenstelling en het onderdeel. Vanuit deze tabel is goed te zien dat het geluidsscherm modulair ontworpen is: de scores vallen over het algemeen hoog uit, met uitzondering van de lasverbindingen.

Een onderdeel ter illustratie:

- product A: kokerprofiel (ID 2.1) is verbonden met product B: kopplaat (ID 1.2);
- de bijbehorende scores van factoren zijn als volgt:

Tabel 2.7 Voorbeeld score per factor voor de HEA kolom verbonden met de voetplaat

type verbinding	bout- en moerverbinding	0,80
toegankelijkheid verbinding	toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,80
<b>losmaakbaarheid van connectie</b>		<b>0,80</b>
randopsluiting	vrij toegankelijk: er is na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde géén belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van het product of element	0,60
doorkruisingen	geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen	1,00
<b>losmaakbaarheid van samenstelling</b>		<b>0,75</b>
<b>losmaakbaarheid van onderdeel</b>		<b>0,77</b>

Het totaaloverzicht van de losmaakbaarheidsindex van alle onderdelen is als volgt:

Tabel 2.8 Losmaakbaarheidsindex per onderdeel voor een geluidsscherm

Product A	Levensduur	Verbonden met product B	Levensduur	L <sub>lc</sub>	L <sub>ls</sub>	L <sub>lo</sub>
stalen buispaal	100	grond	∞	0,89	0,75	<b>0,81</b>
kopplaat	100	stalen buispaal	100	0,18	0,75	<b>0,29</b>
kokerprofiel	100	kopplaat	100	0,80	0,75	<b>0,77</b>
voetplaat	100	kopplaat	100	0,80	0,75	<b>0,77</b>
HEA kolom	100	voetplaat	100	0,18	0,18	<b>0,18</b>
T-profiel	100	voetplaat	100	0,18	0,18	<b>0,18</b>
T-profiel	100	HEA kolom	100	0,18	0,18	<b>0,18</b>
panelen	50	HEA kolom	100	1,00	1,00	<b>1,00</b>
panelen	50	panelen	50	1,00	1,00	<b>1,00</b>
betonpoer	100	voetplaat	100	0,89	0,75	<b>0,81</b>
stalen frame incl. vluchtdeur	50	betonpoer	100	0,80	0,75	<b>0,77</b>
coulisse	50	HEA kolom	100	0,80	0,75	<b>0,77</b>

### Stap 6: Bepaal randvoorwaarden

Er zijn 2 randvoorwaarden opgesteld als vragen aan de gebruiker om na bepaling van de losmaakbaarheidsindex in acht te nemen. Deze zijn in sectie 2.3.5 toegelicht.

### Stap 7: Analyseer concluderende vragen

Er zijn concluderende vragen aan de gebruiker opgesteld, om na bepaling van de losmaakbaarheidsindex een beeld te krijgen in welk opzicht de losmaakbaarheid van het object voor beperkingen zorgt, of onderdelen met lage scores anders kunnen worden ontworpen, en of onderdelen met lage scores daadwerkelijk een probleem zijn met oog op de praktische mogelijkheden voor demontage. Deze zijn in sectie 2.3.6 toegelicht.

---

#### pVoorbeeld stap 7: geluidsscherm

Tabel 2.5 (overzicht van de producten en hun eigenschappen) en tabel 2.8 (losmaakbaarheidsindex per onderdeel) geven tezamen inzicht in hoe losmaakbaar ieder onderdeel ontworpen is. Op basis van de vragen uit sectie 2.3.6 wordt er nagegaan welke lage scores om extra aandacht vragen. Ter illustratie:

- zijn er lage scores op onderdelen met hoge MKI, hoge massa, waarin kritieke of schaarse materialen benodigd zijn, of die een hoge economische waarde hebben?
    - *aangezien het geluidsscherm modulair ontworpen is, zijn er weinig lage scores;*
    - *een lage score geldt in elk geval voor zowel de HEA kolom als het T-profiel. Deze hebben een hoge massa, lange levensduur, hoge economische waarde (naar inschatting) en bevatten zeer waarschijnlijk legeringselementen met daarin kritische materialen;*
  - zijn er lage scores op onderdelen die mogelijk hergebruikt zouden kunnen worden na einde ontwerplevensduur (bijvoorbeeld standaardproducten of -elementen)?
    - *dit geldt voor de HEA kolom en T-profiel. Dit hoeft niet erg te zijn, mits deze als element worden hergebruikt aangezien ze aan elkaar gelast zijn. Indien de producten apart worden hergebruikt, moet worden nagegaan of de lasverbinding in de praktijk zonder schade aan de producten kan worden doorgeslepen. Zo niet, moet er worden nagegaan of een andere - beter losmaakbare - verbinding mogelijk is;*
    - *dit geldt mogelijk ook voor de stalen buispaal van de fundering, indien het geluidsscherm zelf wordt vervangen en de funderingspalen nog behouden kunnen blijven. Er moeten worden nagegaan of de kopplaat van de stalen buispaal verwijderd kan worden zonder schade aan de buispaal aan te richten. Zo niet, moet er worden nagegaan of een andere - beter losmaakbare - verbinding mogelijk is;*
  - zijn er lage scores tussen producten met onderling afwijkende levensduren?
    - *weinig. Dit geldt voor de panelen (50 jaar) met de HEA kolom (100 jaar), maar deze zijn los verbonden dus dit is geen probleem. Een aandachtspunt is het stalen frame met de vluchtdeur (50 jaar) dat via boutankers verbonden is met de betonpoer (100 jaar). Hier moet worden nagegaan of dit in de praktijk zonder schade los te maken is of dat er een andere - beter losmaakbare - verbinding mogelijk is.*
-

# 3

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Losmaakbaar ontwerpen kan een positieve bijdrage leveren aan doelstellingen voor, hergebruik, vervangings- en onderhoudswerkzaamheden, reparaties, en beoogde aanpasbaarheid van een object. De praktijktoetsen van het gebruik van de beoordelingsmethode 1.0 door middel van de light-toets en de kennissessies hebben laten zien dat dergelijke doelstellingen voorop gesteld moeten worden in het toetsen en beoordelen van de verbindingen. Dat heeft ertoe geleid dat de 2.0 versie verder is toegespitst op de relatie van losmaakbaarheid tot deze (projectspecifieke) doelstellingen. Hiernaast is ook het objecttype en de daarbij wel- of niet-horende ontwerpvrijheid relevant om te bepalen hoe en óf de beoordelingsmethode te gebruiken.

### Toepassingsgebied van de methode

De toepasbaarheid van de beoordelingsmethode losmaakbaarheid verschilt per objecttype. Via de light-toets is geconcludeerd dat de beoordelingsmethode relevant is voor objecttypes en contractvormen met voldoende ontwerpvrijheid; voor meer 'ontwerp vaste', seriematige objecten of producten (bijvoorbeeld geluidsschermen) kan de beoordelingsmethode worden ingezet voor standaardisatietrajecten of -onderzoeken. Vervolgens kan voor deze objecten op losmaakbaarheid worden gestuurd via standaarddetails en/of eisen, in plaats van de inzet van de beoordelingsmethode als ontwerptool.

### Gebruikersgemak van de methode

De beoordelingsmethode is gericht op de ontwerp-toepassing:

- om de losmaakbaarheid van en binnen ontwerpvarianten in kaart te brengen en ontwerpers daarmee te ondersteunen om tot meer losmaakbare ontwerpen te komen;
- of ter onderbouwing of validatie van de losmaakbaarheid van objecten of onderdelen.

De beoordelingsmethode losmaakbaarheid kan daarmee worden gezien als een instrument in een gereedschapskist om tot meer circulaire bouwwerken te komen. Daarnaast is tijdens de kennissessies gebleken dat de beoordelingsmethode kan helpen bij demontage-opgaven, om op voorhand inzicht te geven in welke onderdelen van het object extra aandacht vereisen bij demontage.

In elk geval raden wij de lezer aan om de beoordelingsmethode losmaakbaarheid 2.0 vooral toe te passen in zijn of haar ontwerpen en zich het gedachtegoed van losmaakbaar ontwerpen - en circulair ontwerpen in algemene zin - eigen te maken. Zo leggen we samen een benodigd puzzelstuk richting meer waardebehoud in de GWW.

Bijlage(n)

## BIJLAGE: INVENTARISATIE VAN INZICHTEN LOPENDE ONDERZOEKEN EN INITIATIEVEN

In beginsel is er aansluiting gezocht bij relevante ontwikkelingen en initiatieven die aan de beoordelingsmethode losmaakbaarheid raken. Het doel hiervan was om de samenwerking - waar relevant - op te zoeken en om te borgen dat relevante ontwikkelingen worden meegenomen in dit onderzoek. Er gebeurt veel op het gebied van circulair bouwen en het is essentieel dat we daarin de aansluiting opzoeken en resultaten van gerelateerde onderzoeken integreren. Uit de inventarisatie/ afstemming volgt dat er veel gelieerde onderzoeken zijn waar losmaakbaarheid een rol speelt of kan spelen, maar er geen directe conclusies zijn die wij voor aanvang van ons onderzoek moeten opnemen. De bevindingen zijn hieronder samengevat.

### **Buyer Group Circulaire viaducten en bruggen (lopend)**

De Buyer Group Circulaire Viaducten en Bruggen kijkt onder andere naar IFD-bouwen waarin losmaakbaarheid ook als thema speelt. Op dit moment wordt aan de inkoopstrategie voor circulaire viaducten geschreven. De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid heeft hun aandacht. Mogelijk zal de Buyer Group eisen voor losmaakbaarheid opstellen.

### **Platform CB'23 - Actieteam Toekomstig Hergebruik, werkgroep Losmaakbaarheid (afgerond - overgedragen aan CROW en ISSO)**

Vanuit Platform CB'23 is er een eerste Leidraad - Losmaakbaar detailleren opgesteld. Daarin is er ingegaan op standaard-detailleringen voor verschillende objecten. Het gekozen abstractieniveau - of een object losmaakbaar (of herbruikbaar) is als geheel object, element, product of materiaal - leidt tot verschillende conclusies. De praktische werkvolgorde is van belang voor de praktische losmaakbaarheid van het gehele object. Bij de praktische hergebruikspotentie na einde levensduur moet goed beoordeeld worden wat in de toekomst ook praktisch mogelijk is. Men moet alert blijven bij dit soort afwegingen bij het beoordelen op losmaakbaarheid, omdat losmaakbaarheid geen doel op zichzelf is, maar een middel (ten behoeve van levensduurverlenging, adaptief bouwen, gemakkelijke vervanging & onderhoud, hergebruik, of recycling in de toekomst) voor het behalen van de 3 doelen van circulariteit. Extra investering in materialen en maatregelen voor verhoogde losmaakbaarheid moeten daarbij opwegen tegen de beoogde waarde voor die doelen. De leidraad stimuleert losmaakbaar ontwerpen, maar heeft geen relatie met de beoordelingsmethode.

### **Het Nieuwe Normaal Infra (lopend)**

Het Nieuwe Normaal (HNN) werkt aan het ontwikkelen van een eenduidige taal voor circulair bouwen. Er is een leidraad voor Gebouw, Gebied en Infra. Het raamwerk van HNN Infra bestaat uit 10 thema's, waar losmaakbaarheid (en de beoordelingsmethode) er één van is. Dit raamwerk is in ontwikkeling; op 7 december 2023 wordt HNN Infra versie 1.0 officieel gepubliceerd. Witteveen+Bos is een van de partijen die meewerkt aan het opstellen van het raamwerk. Er is afstemming geweest over welke aspecten vanuit dit onderzoek alvast kunnen worden meegenomen in de 1.0-versie van HNN Infra.

## Het Betonakkoord (lopend)

Het betonakkoord betreft een nationaal ketenakkoord voor de verduurzaming van de betonsector. Een van de doelen van het betonakkoord betreft het realiseren van 100 % hoogwaardig hergebruik van beton, in de vorm van grondstoffen, elementen en componenten. Losmaakbaarheid draagt daaraan bij en is als belangrijke circulaire en tevens duurzame parameter opgenomen in het Bouwwaardemodel (een ontwikkeling vanuit het betonakkoord). Op dit moment wordt gewerkt aan de Bouwwaardemodelindex (BWM-index), waar het concept losmaakbaarheid in terugkomt. Het doel is dat de BWM-index begin 2024 gereed is. In oktober 2023 stemmen wij opnieuw af, om de ontwikkelingen in de losmaakbaarheidsindex naast de ontwikkelingen van de BWM-index te leggen. Verder wordt opgemerkt dat ook het staalakkoord bouw, een ander nationaal ketenakkoord, met de BWM-index aan de slag zal gaan.

## Afstudeeronderzoeken van studenten (afgerond)

Twee afstudeerders hebben een onderzoek afgerond bij Witteveen+Bos, dat sterk raakt aan losmaakbaarheid in de GWW. De belangrijkste conclusies en aandachtspunten zijn hieronder samengevat:

- fietstunnel als LEGO-set - Onderzoek naar het opstellen van een standaard modulaire fietstunnel:
  - A: Içer en H.A.R. van de Ven vanuit Avans Hogeschool hebben de losmaakbaarheidsindex toegepast voor een variantenstudie van een modulair ontworpen fietsbrug. Hieruit komt naar voren dat de praktische losmaakbaarheid niet goed wordt beoordeeld, omdat bijvoorbeeld de producten als asfalt deklaag en het zandcement dezelfde losmaakbaarheidsindex hebben, doordat beide producten een chemische verbinding hebben. Dit terwijl het losmaken van zandcement van andere producten in de praktijk beter te realiseren is dan het frezen van asfalt van een betonconstructie;
- losmaakbaarheid voor kunstwerken 2023:
  - B: Akdamar en R. van Blankers vanuit Hogeschool Windesheim, hebben onderzocht hoe de losmaakbaarheidsindex succesvol kan worden ingezet bij kunstwerken. Wanneer losmaakbaarheid zou worden ingezet als gunningscriterium, dient men alert te zijn op de ruime hoeveelheid interpretatiemogelijkheden die het systeem bevat. De beoordeling van de losse verbindingen sluit niet altijd aan bij de decompositiemogelijkheden in de praktijk, met name bij zware constructies. Om dit op te lossen zou (factor)gewicht meegenomen kunnen worden in de beoordeling.

## Oprachten binnen de RoK CE-GWW die aan losmaakbaarheid raken

Binnen de raamovereenkomst CE-GWW lopen verschillende opdrachten die aan losmaakbaarheid raken, hieronder een kort overzicht:

- perceel 3, Paspooten bestaande bouw (lopend):
  - uitgevoerd door Witteveen+Bos. Er is gekeken naar geleiderails, damwanden en verkeersportalen. Het doel van het onderzoek was om een uniform weergave-format te ontwikkelen voor de informatiebehoefte van materiaalpaspoorten voor deze 3 constructies. Een van de informatievelen die hierin is opgenomen is 'inschatting losmaakbaarheid';
- perceel 3, Datagap en databeschikbaarheid incl. praktijkcasus damwanden (lopend):
  - uitvoering door Witteveen+Bos, loopt van september tot december 2023. In dit project worden damwanden vanuit het Amsterdam Rijnkanaal geplaatst bij de Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl; middels deze praktijkcasus kan de informatiebehoefte voor hergebruik van de damwanden (vanuit het eerder uitgevoerde project hierboven) worden gevalideerd en geverifieerd. De rol van losmaakbaarheid zal hier ook in terugkomen; hierover stemmen wij rond oktober/november opnieuw af;
- perceel 4, Basisinformatie constructie geluidsschermen (lopend):
  - uitvoering door We-Boost. Afronding gepland voor oktober 2023. In dit project wordt de leidraad voor modulaire geluidsschermen geüpdatet. Het aspect losmaakbaarheid komt hier ook in terug. Wij hebben afgestemd met We-Boost en houden elkaar op de hoogte van de projectontwikkelingen;
- perceel 4, Afwegingskader circulariteit (lopend):
  - uitvoering door Witteveen+Bos. Het afwegingskader circulariteit heeft als (lange termijn) doel om een uniform en gedragen afwegingskader te ontwikkelen, dat handvatten biedt om projecten, ontwerpvarianten of maatregelen te beoordelen op circulariteit. Een dergelijke beoordeling vraagt enerzijds om het kunnen meten en afwegen van circulariteit, en anderzijds om inzicht in het kunnen sturen op circulariteit. Losmaakbaarheid is in dit kader opgenomen als ontwerpstrategie om te sturen op circulariteit. De ontwikkelingen van de beoordelingsmethode die relevant zijn voor het afwegingskader worden meegenomen;



- perceel 5, Deelprojecten Opstellen handleiding duurzame geleiderails en geluidsschermen (lopend):
  - hiervoor lopen verschillende trajecten. Witteveen+Bos is betrokken bij de handleiding voor geleiderails en geluidsschermen. Voor geleiderails bestaan al verplichte ontwerpeisen waar onder andere demonteerbaarheid in terugkomt. De beperkende factor voor hergebruik is op dit moment de beperkte beschikbaarheid. Voor geluidsschermen is er een verschil tussen de onder- en de bovenbouw (de fundering vs. het scherm zelf). De onderbouw zit redelijk vast in de bodem (lastig uit de bodem te halen omdat het zo diep zit), de bovenbouw is gemakkelijker los te maken. Er zit een tegenstrijdige wisselwerking tussen het niveau van losmaakbaarheid en MKI & hergebruik materialen, vanwege 1) een stijging in productie van meer verschillende materialen en 2) moeizamer hergebruik van huidig areaal door aangepaste afmetingen van materialen. In de handleiding voor geluidsschermen is gebruik van de beoordelingsmethode losmaakbaarheid (de 1.0-versie) opgenomen;
- perceel 3, Infobehoeft hergebruik beton, staal en hout (afgerond):
  - losmaakbaarheid is hier niet relevant geweest. Het onderzoek ging in op materiaalniveau: welke informatie er nodig is voor recycling.

### Input van gebruikers

Er zijn geen externe gebruikers geweest die zichzelf hebben gemeld om feedback op de 1.0-methode te delen. Bij Witteveen+Bos intern hebben wij volgende input ontvangen:

- in het gebruik van de Excel-tool komen de hoofddoelen niet helder genoeg naar voren;
- de beoordelingsmethode is nuttig gedurende het ontwerptraject ter sturing, maar is minder sterk als een op zichzelf staand middel; daarvoor hebben we de MKI als gedragen middel:
  - idee dat geopperd wordt: zou de losmaakbaarheidsindex kunnen worden doorvertaald naar de MKI in de vorm van een MKI-reductie?
- er mist voor de ontwerper nog een concrete trigger om echt wat te veranderen/verbeteren met betrekking tot de losmaakbaarheid in het ontwerp. Kan het instrument worden uitgebreid met mogelijke handelingsrichtingen voor de ontwerper hoe het ontwerp - na analyse van de resultaten - meer losmaakbaar kan worden ontworpen?

Deze input is behandeld in het traject met de testcases en deelnemers, zie sectie 1.3. Waar relevant zijn de punten verwerkt in de 2.0-versie.



## BIJLAGE: BEVINDINGEN LIGHT TOETS

Er zijn objecten waarvan we verwachten dat de beoordelingsmethode weinig toegevoegde waarde heeft, of waar losmaakbaarheid misschien überhaupt niet relevant is. We hebben deze hypothese getoetst en bekeken of losmaakbaarheid op een alternatieve manier kan worden bevorderd (zoals bijvoorbeeld middels een standaard-detailering). Deze light toets is uitgevoerd voor een riolering, asfaltweg, geluidsscherm en een verkeerskundige draagconstructie (VDC). De objecten riolering, asfaltweg en geluidsscherm zijn in een brainstormsessie behandeld. Voor de VDC is er apart contact geweest met 2 experts. De secties hieronder lichten voor de 4 behandelde objecttypen toe, wat de uitwerking en conclusies uit de light toets waren.

### II.1 Riolering

#### Achtergrondinformatie over objecttype

- een riolering is een voorbeeld van een lijnobject uit componenten;
- rioolontwerpen zijn redelijk standaard;
- uitvoeringsspecificaties volgen uit de RAW-standaard;
- een riolering bestaat uit herhalende buiselementen die op elkaar aansluiten (vaak door in elkaar te schuiven). De diameter van het riool is bepalend voor de materiaalkeuze. Er wordt voornamelijk PVC of beton gebruikt;
- uitvoering van tussentijdse reparaties is afhankelijk van het materiaaltype. Bij PVC kan er tussentijds een element uit worden gehaald omdat het genoeg flexibiliteit biedt; bij beton kan dit niet en zal óf de hele streng in een keer moeten worden losgemaakt (en eventueel worden vervangen) óf wordt de schade op zo een manier gerepareerd dat het betreffende element kan blijven zitten (bijvoorbeeld door specie aan te brengen op de beschadiging).

#### Ontwerp van riolering

- vaak schuiven de buiselementen in elkaar middels mof- en spie-einden. Tussen de mof en spie bevindt zich een elastische rubberen ring. Hiermee is de verbinding waterdicht en flexibel om mee te bewegen met grond die werkt;
- aansluiting op de rest van het riool, putten of knevelinlaat gebeurt ook via een rubberen ring:
  - putten zijn vaak standaardtypen. Er kunnen ook speciale putten worden toegepast, bijvoorbeeld wanneer het riool wordt aangesloten op een bestaand stelsel. Dan wordt de put om het riool dichtgemetseld en wordt de buis die er doorheen loopt opengebroken;
  - noot: deze onderdelen zijn niet meegenomen in de light toets;
- bij persleidingen is er sprake van hoge druk en kunnen verbindingen worden toegepast die permanent aan elkaar hechten in plaats van mof/spie-schuifstelsel;
- als de riolering gevoelig is voor zettingen, kan deze op palen worden gefundeerd. In de bovenkant van de houten palen wordt een hakkelbout geplaatst, deze worden mee ingestort in specie. Boven op de specie komt metselspecie om de buis te bevestigen.

### bevindingen light toets

- veelal losse/ makkelijk losmaakbare verbindingen (bijvoorbeeld rubberen ring) en is goed toegankelijk. de toegankelijkheid is echter sterk afhankelijk van wat er boven het riool ligt, zoals bijvoorbeeld een wegconstructie - zeker in het geval van tussentijds onderhoud aan het riool of als het riool een andere constructie doorkruist, zoals een brug. Dan is niet de losmaakbaarheid van het riool een issue, maar de toegankelijkheid van het riool via de 'losmaakbaarheid' van de bovengelegen constructie. Dat is van belang wanneer de riolering moet worden vervangen en de constructie waarin/ waaronder deze ligt nog niet, maar ook bij onderhoudswerkzaamheden aan de riolering, bijvoorbeeld een lekkage. Daartoe is het ook handig als de riolering in onderdelen te vervangen is en dus losmaakbaar. In geval van betonnen rioleringen komt het eigenlijk nooit voor dat er lokale schade is, waardoor een onderdeel vervangen moet worden;
- de lagere scores komen vooral door de randopsluiting van de buiselementen (de buiselementen die in elkaar schuiven en het geotextiel dat om de buis heen geplaatst is);
- de echt lage scores komen door 2 specifieke gevallen: (1) als het een persleiding is met permanente verbindingen, of (2) indien er bij de fundering specie wordt toegepast;
- er zijn weinig bijzonderheden met betrekking tot levensduren;
- de resultaten van de light toets voor het riool zijn samengevat in Tabel II.1. De laatste 3 rijen van de tabel relateren aan het geval dat het riool gevoelig is voor zettingen en er funderingspalen met specie worden toegepast.

Tabel II.1 Resultaten losmaakbaarheidsindex riool, \*mof-spie verbinding, \*\*permanente verbinding

Product A	Levensduur	Verbonden met product B	Levensduur	Llc	Lls	Llo
granuliet	100	grond	∞	0,89	1,00	<b>0,94</b>
zand	999	granuliet	100	0,89	1,00	<b>0,94</b>
houten beschoeiing	100	grond	∞	0,89	1,00	<b>0,94</b>
granuliet	100	houten beschoeiing	100	0,89	0,57	<b>0,70</b>
geotextiel	999	zand	999	0,89	0,57	<b>0,70</b>
geotextiel	999	IT PVC buis	50	0,89	0,57	<b>0,70</b>
IT PVC buis*	50	IT PVC buis*	50	0,69	0,57	<b>0,62</b>
IT PVC buis**	50	IT PVC buis**	50	0,16	0,18	<b>0,17</b>
zand	999	geotextiel	999	0,89	1,00	<b>0,94</b>
specie	100	funderingspalen	100	0,10	0,18	<b>0,13</b>
metselspecie	100	specie	100	0,10	0,18	<b>0,13</b>
IT PVC buis	50	metselspecie	100	0,10	0,18	<b>0,13</b>

### Uitkomsten na brainstormsessie

- ontwerper heeft te maken met veel standaardelementen. Hierdoor is er beperkte ontwerpvrijheid. Losmaakbaarheid is daarom meer relevant voor de producent van de onderdelen; een riolering is an sich al erg goed losmaakbaar, enkel in specifieke gevallen niet, zoals bij persriolering. In dat geval worden vastere verbindingen zoals lijm toegepast tussen de buiselementen. Hier zijn beter losmaakbare alternatieven voor gewenst, maar de verwachting is niet dat gebruik van de beoordelingsmethode daar een sleutelrol in speelt (eerder: productinnovatie);
- het gaat bij een riolering met name om hoe toegankelijk het is tijdens de beheer- en onderhoudsfase. Dit wordt bepaald door wat erboven ligt: als dit bijvoorbeeld een asfaltweg is, is tussentijds onderhoud van de riolering een stuk lastiger.

Dit is een relevanter vraagstuk dan de losmaakbaarheid van de buis zelf:

- door gebrek aan ruimte onder de bodem bestaat hier soms weinig keuzevrijheid;
- betonnen rioleringen hebben doorgaans een lange technische en functionele levensduur, waardoor losmaakbaarheid minder relevant is. Er komen niet op grote schaal betonnen rioleringsbuizen vrij. Dit is ook het geval bij Pvc-buizen en hier speelt nog dat het probleem bij verwijderen niet in de losmaakbaarheid zit, maar het feit dat ze breken bij het omhoog halen. De behoefte aan herbruikbaarheid is hier beperkt; het materiaal is goedkoop. Recycling ligt hier meer voor de hand. Dat wil niet zeggen dat je niet moet streven naar meer hergebruik, maar losmaakbaarheid zal daarbij niet het grootste issue zijn;
- er ligt meer nadruk op robuustheid en goede onderhoudbaarheid van de riolering. Bij tussentijdse reparaties ligt de voorkeur bij bijvoorbeeld 'relinen', waarbij een epoxylaag aan de binnenzijde van het buisdeel wordt aangebracht. Op die manier hoeft niet het hele riool opengebroken te worden en wordt de levensduur verlengd, maar neemt de losmaakbaarheid af;
- in de test-beoordeling is de hele 'constructie' waarin de riolering ligt ook meegenomen. Feitelijk is dit geen onderdeel van het object riolering en zou je dit voor de beoordeling van de losmaakbaarheid van dit object ook niet hoeven mee te nemen.

De beoordelingsmethode is een te uitgebreide methodiek om een eenvoudige constructie zoals een riolering te toetsen op losmaakbaarheid; het gebruik van de beoordelingsmethode leidt hier niet tot meerwaarde. Hooguit zouden standardeisen of -details voor verschillende rioleringsvarianten kunnen worden gedefinieerd. Losmaakbaarheid kan in specifieke gevallen een rol spelen, zoals in het geval van grondzettingen (gebruik funderingspalen met specie) of bij innovatieve of nieuwe oplossingen, maar daarvoor is het gebruik van de beoordelingsmethode naar verwachting niet relevant.

## II.2 Wegverharding

### Achtergrondinformatie over objecttype

- bij een asfaltweg is er altijd sprake van asfalt onder-, tussen- en deklagen;
- een weg is een doorlopend lijnobject, waarbij het van belang is om de afstand van het object mee te nemen. Het wegontwerp dat voor de 'light' toets is geanalyseerd is circa 600 m lang.

### Bevindingen light toets

- het lijkt onnodig om *alle* producten in kaart te brengen en te analyseren: het is wellicht praktischer om globaal een scan te doen van welk type producten we met elkaar verbonden zien (asfalt op asfalt, asfalt tegen goottegels, betontegels tegen opsluitband, et cetera) en hoe vaak deze voorkomen, om daar vervolgens de losmaakbaarheid van te beoordelen. Voor de 'light' toets is niet iedere afzonderlijke verbinding beoordeeld, enkel de 'unieke';
- grofweg zien we enkel 2 typen verbindingen terugkomen: ofwel een hard chemische verbinding (asfalt) ofwel een losse verbinding;
- er zijn veel uiteenlopende levensduren, dit is vooral van belang bij de hard chemische verbindingen;
- de lage scores komen zonder uitzondering voor bij de onderdelen die raken aan asfalt:
  - hoewel de asfaltlagen als 'typisch' onlosmaakbaar kunnen worden beschouwd, scoren ze een 0,13 en niet maximaal laag. Dit komt door 2 aspecten: (1) de factoren die in de berekening zijn opgenomen: doorkruising heeft niet de laagste score want de lagen doorkruisen elkaar niet, en (2) de opbouw van de berekening is zo, dat de reciproke van iedere factor wordt meegenomen. Om die reden is de laagste score 0,1 en niet 0;
- de resultaten van de light toets voor de weg zijn samengevat in Tabel II.1.

Tabel II.1 Resultaten losmaakbaarheidsindex weg

Product A	Levensduur	Verbonden met product B	Levensduur	Llc	Lls	Llo
zand voor zandbed	∞	grond	∞	0,89	1,00	<b>0,94</b>
hydraulisch menggranulaat	100	zand voor zandbed	∞	0,89	1,00	<b>0,94</b>
asfalt onderlaag	45	hydraulisch menggranulaat	100	0,10	0,18	<b>0,13</b>
asfalt tussenlaag	45	Asfalt onderlaag	45	0,10	0,18	<b>0,13</b>
asfalt deklaag	14	asfalt tussenlaag	45	0,10	0,18	<b>0,13</b>
SMA	15	asfalt deklaag	14	0,10	0,18	<b>0,13</b>
goottegel	25	SMA	15	0,18	0,18	<b>0,18</b>
goottegel	25	geleideband	50	1,00	1,00	<b>1,00</b>
BSS	25	geleideband	50	1,00	1,00	<b>1,00</b>
goottegel	25	SMA	15	0,18	0,18	<b>0,18</b>
goottegel	25	inritband	50	1,00	1,00	<b>1,00</b>
inritband	50	asfalt deklaag	14	0,18	0,18	<b>0,18</b>
betontegel	25	opsluitband	50	1,00	1,00	<b>1,00</b>

### Uitkomsten na brainstormsessie

- de beoordelingsmethode lijkt niet relevant voor wegverhardingen;
- de wegverharding scoort voornamelijk slecht op 1 aspect: het asfalt. Dit inzicht is bij de deelnemers van de brainstorm ook zonder de methodiek duidelijk en het uitwerken van de losmaakbaarheidsscores is hierbij momenteel geen extra toevoeging;
- er moet flink geïnnoveerd worden op asfalt in de toekomst, omdat we af moeten van bitumen. In deze innovatieslag met betrekking tot asfaltwegen is het wenselijk om losmaakbaarheid mee te nemen. Het is nog te vroeg om te bepalen welke rol de index hierbij kan spelen:
  - het achterliggende idee van de methodiek kan waardevol zijn in deze innovatieslag, omdat het nadenken over de aparte aspecten inzicht geeft in hoe onderdelen van het object zich tot elkaar verhouden op het gebied van losmaakbaarheid;
- de asfaltlagen worden bij onderhoud/ einde levensduur (laagwaardiger) weg gefreesd ten behoeve van recycling; één op één hergebruik van een stuk asfalt wegdek gebeurt niet. Wel wordt levensduurverlenging toegepast, bijvoorbeeld met verjongingscremes;
- een asfaltconstructie functioneert niet op zichzelf, en maakt onderdeel uit van een breder ontwerp met randelementen e.d. Deze randelementen van de weg zijn wel goed te analyseren met de index (bijvoorbeeld kolk);
- de principes van de index worden als verdiepende ontwerpprincipes gezien, om in de toekomst te gebruiken voor het ontwerp van een innovatieve weg. In een nieuwe weg spelen elementen naast het asfalt, zoals de verbindingen met andere objecten en doorkruisingen binnen het object, mogelijk een grotere rol dan in het huidige wegontwerp.

## II.3 Geluidsscherm

### Achtergrondinformatie over objecttype

- er is een variëteit in afmetingen en materialen van componenten bij geluidschermen door onder andere verschillende windklassen;
- een geluidsscherm is een voorbeeld van een lijnobject uit componenten:
  - bij reparaties/ vervangingen is het van belang om de aaneenschakeling van de componenten te analyseren;
- naast de componenten die het geluidsscherm vormen, is het van belang om de vluchtdeuren en coulisses mee te nemen in de beoordeling.

## Bevindingen licht toets

Er zijn 2 ontwerpen van geluidsschermen geanalyseerd voor de licht toets: een type geplaatst in de grond en een type geplaatst op een viaduct.

### Geluidsschermen in grond

- de geluidsschermen die voor de licht toets zijn geanalyseerd, zijn afgebakend op 10 geluidsscherm componenten met 1 coulisse en 1 vluchtdeur;
- weinig bijzonderheden met betrekking tot levensduur; deze zijn grotendeels gelijk;
- er zijn geen doorkruisingen;
- het geluidsscherm is ontworpen op losmaakbaarheid en dat komt ook terug in de resultaten: veel hoge scores >0,8; enkel de producten die aan elkaar gelast zijn, scoren laag (stalen buispaal en kopplaat, voetplaat en HEA kolom).

### Geluidsschermen geplaatst op viaduct

- ankerplaat is gestort in viaduct (beton); anker loopt door voetplaat heen voor bevestiging aan het stalen T-profiel;
- glaspanelen zijn ingeklemd met rubber tussen het stalen T-profiel en stalen hoekprofiel:
  - T-profiel en hoekprofiel zijn aan elkaar verbonden door middel van bouten en zijn gemakkelijk vervangbaar;
- de stijl kun je een aantal keer vervangen, de ankers niet;
- uit analyse volgt dat fundering laag scoort (<0,2): dit komt doordat de ankerplaat is ingestort en door het gebruik van specie. De schermen zelf (stijl en paneel) scoren hoog (>0,8);
- geen bijzonderheden met betrekking tot levensduur; deze zijn allemaal gelijk;
- de resultaten van de licht toets voor het geluidsscherm zijn samengevat in tabel II.3.

### Eindoordeel

- de losmaakbaarheidsindex scoort in beide gevallen geluidsscherm laag bij de fundering; de platen/schermen zelf zijn goed losmaakbaar. In plaats van toepassing van de beoordelingsmethode zou op voorhand aan de ontwerper kunnen worden meegegeven dat er naar losmaakbaarheid van de fundering moet worden gekeken;
- doordat het aantal producten redelijk beperkt is, is de inspanning voor het uitvoeren van de beoordelingsmethode niet heel groot.

Tabel II.3 Resultaten losmaakbaarheidsindex geluidsscherm

Product A	Levensduur	Aantal keer	Verbonden met product B	Levensduur	Llc	Lls	Llo
Geluidsschermen geplaatst in grond							
stalen buispaal	100	26	grond	∞	0,89	1,00	0,94
kopplaat	100	26	stalen buispaal	100	0,18	0,18	0,18
voetplaat	100	26	kopplaat	100	0,80	1,00	0,89
HEA kolom	100	13	voetplaat	100	0,18	0,18	0,18
panelen	50	80	HEA kolom	100	1,00	1,00	1,00
panelen	50	80	panelen	50	1,00	1,00	1,00
betonpoer	100	1	voetplaat	100	0,89	1,00	0,94
stalen frame incl. vluchtdeur	50	1	betonpoer	100	0,80	1,00	0,89
coulisse	50	1	HEA kolom	50	0,80	1,00	0,89

Product A	Levensduur	Aantal keer	Verbonden met product B	Levensduur	LI <sub>c</sub>	LI <sub>s</sub>	LI <sub>o</sub>
Geluidsschermen geplaatst op viaduct							
ankerplaat	100		viaduct	100	0,10	0,10	<b>0,10</b>
voetplaat	100		ankerplaat	100	0,16	0,16	<b>0,16</b>
staal T-profiel	100		voetplaat	100	0,80	1,00	<b>0,89</b>
staal hoekprofiel	100		staal T-profiel	100	0,80	1,00	<b>0,89</b>
glaspaneel	50		staal T-profiel	100	0,80	1,00	<b>0,89</b>
glaspaneel	50		staal hoekprofiel	100	0,80	1,00	<b>0,89</b>

### Uitkomsten na brainstormsessie

- een standaardtype geluidsscherm is vaak al grotendeels losmaakbaar, met uitzondering van de fundering. Dit is een logisch gevolg van de manier van monteren, waarbij het ontwerpproces is geoptimaliseerd om een snelle montage mogelijk te maken. Het uitvoeren van de beoordelingsmethode zal naar verwachting niet leiden tot nieuwe inzichten. Wel zijn er nog een aantal stappen te doorlopen in het verder standaardiseren van de losse producten en afmetingen;
- de fundering heeft een hoge losmaakbaarheidsscore in de beoordeling van de 'light' toets. Dit is geen representatieve beoordeling van een gemiddeld geluidsscherm, omdat deze meestal met beton wordt ingegoten om de stijfsterkte te behalen. Hier zijn wel alternatieve oplossingen voor, maar daar wordt in praktijk niet vaak voor gekozen vanwege de kostencomponent;
- voor geluidsschermen met een specifieke eis, zoals brandwerendheid, kan een exercitie van de losmaakbaarheidsindex wel lonend zijn om inzicht te geven in de verbindingen in het nieuwe ontwerp en aandacht te geven aan losmaakbaar ontwerp;
- er is behoefte om in de beoordeling te werken met een realistische levensduur:
  - er is geen representatief overzicht van de praktische levensduren van producten:
    - er zijn elementen zoals rubbers die vaker vervangen moeten worden en dus bepalend zijn voor de levensduur;
  - de levensduur van een product kan langer zijn dan de gestelde levensduureis van het object (zoals een stalen kolom; bij goed onderhoud zou deze het 200 jaar vol kunnen houden);
- de relevantie van losmaakbaarheid hangt af van de mate van benodigd aanpasbaarheid van functie, de potentie van hergebruik en vervanging en onderhoud bij defecten;
- de beoordelingsmethode zou eenmalig kunnen helpen in het optimaliseren van standaardisatie van geluidsschermen; vervolgens zou men de beoordelingsmethode alleen hoeven gebruiken bij het ontwerp van alternatieve geluidsschermen met een specifieke eis.

## II.4 Verkeerskundige draagconstructie (VDC)

### Achtergrondinformatie over objecttype

- een VDC is een afgebakend object;
- VDC's (zoals portalen) worden gebouwd volgens de standaard RWS VDC 2005 of 2011<sup>1</sup> en hebben te maken met ontwerpkaders, eisen en voorwaarden voor hergebruik die zijn vastgesteld door RWS;
- hierdoor is er sprake van hoge mate van standaardisatie in het ontwerp;
- het is mogelijk om van de ontwerpkaders af te wijken, bijvoorbeeld als de beoogde afmetingen van de VDC buiten de bandbreedte vallen zoals opgenomen in de ontwerpkaders. Dit wordt per contract besloten;
- in het ontwerpkader is onder andere opgenomen:
  - standaard portalen: bestaande uit 2 kolommen (stalen kokerprofielen met kolomkop) en een vakwerkligger (stalen ronde buisprofielen met kopplaat). Er zijn hierbinnen 4 categorieën, geschikt voor verschillende functies: type II-1 (beseiningsportaal), type CB (combi-portaal), type S (signaliseringsportaal) en type D (dynamisch route-informatiepaneel, DRIP). De ophangconstructie verschilt per type paneel;
  - standaard fundaties: voor iedere portaalcategorie bestaan standaard poeren (7 poertypes). De keuze voor funderingspaal wordt per locatie bepaald;
- VDC's lenen zich goed voor hergebruik, dit gebeurt ook al. De verantwoordelijk hiervoor ligt bij de opdrachtnemer.

### Ontwerp van portaal

Een portaal heeft een ontwerplevensduur van 50 jaar en bestaat in algemene zin uit:

- funderingspalen in de grond;
- betonpoeren die op funderingspalen worden geplaatst (cementverbinding);
- kolommen die op de betonpoeren worden gemonteerd (stelbouten en ankerstaaf met moer, ondersabeling (toevoegen van mortel in de tussenruimte));
- een vakwerkligger die aan de kolommen wordt gemonteerd (voorspanbouten);
- panelen die door middel van verbindingen met toegevoegde elementen worden bevestigd; het specifieke type verbinding verschilt per type paneel en ligger<sup>2</sup>

### Bevindingen light toets

- de beoordelingsmethode losmaakbaarheid is relatief eenvoudig uit te voeren vanwege een relatief overzichtelijk ontwerp met weinig verschillende elementen/ producten;
- de ontwerplevensduren liggen over het algemeen op 1 lijn (50 jaar), enkel de panelen hebben een kortere levensduur (25 jaar), maar deze zijn sowieso ontworpen om gemakkelijk te kunnen vervangen;
- de losmaakbaarheidsindex komt goed naar voren. Enkel de betonpoer met funderingspaal scoort laag vanwege de cementverbinding;
- de resultaten van de 'light' toets voor het portaal zijn samengevat in tabel II.4.

Tabel II.4 Resultaten losmaakbaarheidsindex portaal

Product A	Levensduur	Aantal keer	Verbonden met product B	Levensduur	Llc	Lls	Llo
funderingspaal	50	4	grond	∞	0,89	1,00	0,94
poer	50	4	funderingspaal	50	0,18	0,18	0,18
kolom	50	2	poer	50	0,89	1,00	0,94
vakwerkligger	50	1	kolom	50	0,89	1,00	0,94
paneel	25	3	vakwerkligger	50	0,89	1,00	0,94

<sup>1</sup> <https://www.rijkswaterstaat.nl/zakelijk/werken-aan-infrastructuur/bouwrichtlijnen-infrastructuur/portalen-en-uithouders#documenten>.

<sup>2</sup> Voorbeelden: <https://www.agmi.nl/upload/docs/montage-instructie-paneelborden-vakwerkportaal.pdf>.



## Input van experts

- portalen zijn goed losmaakbaar en veel vrijkomende portalen zijn geschikt voor hergebruik. Dit gebeurt ook vaak in de praktijk. Onderdelen zijn robuust en de levensduureisen worden vaak goed behaald;
- liggers kunnen ingekort of verbreed worden, als dat voor de nieuwe locatie gewenst is. Voor de kolommen is dit iets lastiger; in het geval dat er langere of kortere kolommen benodigd zijn, worden deze vervangen;
- als onderdelen worden hergebruikt, wordt de conservering verwijderd en nieuwe conservering aangebracht. Met nieuwe bouten kunnen de 'oude' onderdelen opnieuw aan elkaar worden gemonteerd;
- de standaardspecificaties bestaan al sinds eind 1970, waarbij weinig veranderingen hebben plaatsgevonden. Hierdoor zijn variaties in het ontwerp van portalen beperkt en is er vanwege de eisen aan modulair ontwerp sprake van een hoge losmaakbaarheid:
  - er zijn bepaalde poeren per type portaal waarbij de ankerpatronen moeten kloppen (VDC 2005 en VDC 2011 verschillen in uitvoering waardoor deze niet op elkaar aansluiten). Het ontwerp van een tussenplaat zou ervoor kunnen zorgen dat verschillende ankerpatronen op elkaar passen. Dan zou de betonpoer voor alle portalen bruikbaar kunnen zijn;
- de theoretische losmaakbaarheidsindex en de praktische demontabelheid komen soms niet overeen:
  - funderingspalen scoren hoog op de losmaakbaarheidsindex maar zijn in praktijk lastig uit de grond te halen en blijven vaak zitten waarbij er soms een nieuw object op wordt gelegd of wordt afgezaagd tot een aantal meter onder de grond op basis van richtlijnen van RWS;
  - een aanstortverbinding (zoals de 'ondersabeling') wordt laag beoordeeld op de losmaakbaarheidsindex, maar in de praktijk wordt het eraf bikken bij onderhoud of hergebruik van de kolom als makkelijk ervaren (dit wordt ook voorgeschreven in de **handleiding voor hergebruik**);
- een resterend aandachtspunt voor losmaakbaarheid is de funderingspalen. Soms zijn deze lastig te verwijderen uit de grond en worden ze gekopt, waarbij een deel achterblijft:
  - bij verwijdering van de fundering kunnen negatieve effecten optreden (verzakkingen), en een getrokken betonpaal is niet herbruikbaar vanwege de paalkop die is beschadigd bij het verwijderen van de poer en de verminderde betrouwbaarheid van de paal;
  - op dit moment is een betonpoer niet direct herbruikbaar tenzij deze op dezelfde plek wordt ingezet. Poeren zonder fundatiepalen ('op staal gefundeerd') kunnen hergebruikt worden;
  - er zijn ontwikkelingen geweest in het ontwerp van een modulaire poer, met het doel dat deze in delen naar de bouwplaats – met lichtere transportwagens/ kranen - wordt vervoerd en daar wordt samengebouwd en gedemonteerd;
- naar verwachting worden er komende decennia niet veel nieuwe portalen bijgeplaatst, behalve bij selectieve nieuwe wegebouw. Hierdoor zal er de komende jaren voornamelijk focus liggen op vervanging en onderhoud;
- de beoordelingsmethode lijkt niet relevant voor portalen. Sturen op losmaakbaarheid kan door specifieke ontwerpmaatregelen door te voeren voor het losmaakbaar maken van de fundering (funderingspalen en betonpoeren).

## II.5 Samenvatting van objecten in light toets

Voor de objecten van de light toets blijkt de beoordelingsmethode minder bruikbaar. De aspecten waarop beoordeeld wordt, zijn wel waardevol om te gebruiken in ontwerpprocessen voor niet-standaard of nieuwe objecten en elementen, in de vorm van richtlijnen. Naar aanleiding van de bevindingen uit secties II.1-II.4 hierboven, zijn de conclusies voor de geanalyseerde objecten samengevat in tabel II.5.

Tabel II.5 Samenvatting bruikbaarheid beoordelingsmethode voor objecten in light toets

Objecttype	Relevantie beoordelingsmethode?	Overwegingen	Alternatief middel voor losmaakbaarheid
riolering	nee	het is vooral relevant om naar de toegankelijkheid van de riolering te kijken; de rioleringsbuis zelf is over het algemeen al goed losmaakbaar. Er worden veel standaardelementen toegepast, dus de verantwoordelijkheid ligt eerder bij de producent. Losmaakbaarheid kan in specifieke gevallen relevant zijn maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig	denkwijze van beoordelingsmethode als ontwerpprincipes toepassen bij productinnovatie (zoals voor hoge druk riolering)
wegverharding	nee	beoordelingsmethode leidt niet tot relevante (nieuwe) inzichten; score valt vooral laag uit voor asfaltlagen waar hergebruik een mindere rol speelt. Als we breder naar de wegconstructie kijken (asfalt + randobjecten), dan is losmaakbaarheid nog wel interessant als ontwerpinstrument, maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig	denkwijze van beoordelingsmethode als ontwerpprincipes toepassen bij innovatief wegontwerp
geluidsscherm	relevant om standaard te optimaliseren (eenmalig) of bij innovatieve nieuwe ontwerpen	de beoordelingsmethode zou eenmalig kunnen helpen in het optimaliseren van standaardisatie; vervolgens alleen uitvoeren bij het ontwerp van alternatieve geluidsschermen met een specifieke eis	inzetten op standaardisatie, met name ontwikkeling en sturing nodig voor keuzes in funderingen
verkeerskundige draagconstructie (portalen)	nee	er is weinig ontwerpvrijheid en naar verwachting worden er nog weinig nieuwe portalen geplaatst; de focus ligt met name op onderhoud. Losmaakbaarheid speelt nog een rol bij de fundering, maar daarvoor zijn berekeningen met de beoordelingsmethode niet nodig	specifieke ontwerpmaatregelen voor het losmaakbaar maken van de fundering (funderingspalen en betonpoeren)



## BIJLAGE: OVERZICHT VERBETERPUNTEN VAN 1.0-METHODE NAAR 2.0-METHODE

De beoordelingsmethode losmaakbaarheid 2.0 is op verschillende vlakken aangepast ten opzichte van de 1.0-versie. In tabel III.1 staat een puntsgewijs overzicht met de doorgevoerde wijzigingen. De doorgevoerde wijzigingen zijn thematisch ingedeeld, gestructureerd naar thema's die op basis van de kennissessies werden herkend. De thema's zijn:

- 1 doel van losmaakbaar ontwerpen;
- 2 theoretische vs. praktische losmaakbaarheid;
- 3 verscherping van de 4 factoren;
- 4 levensduur;
- 5 overige.

Tabel III.1 Overzicht van doorgevoerde wijzigingen in de beoordelingsmethode 2.0

Doorgevoerde wijzigingen per thema	Manier van aanpassing
<i>1. Doel van losmaakbaar ontwerpen</i>	
vragenlijst opnemen die voorafgaand aan het uitwerken van de beoordelingsmethode moet worden ingevuld. Dit helpt de gebruiker om de scope en het abstractieniveau te bepalen en zorgt ervoor dat er losmaakbaar wordt ontworpen daar waar het relevant is	vragenlijst opgesteld met daarin volgende aspecten: <ul style="list-style-type: none"><li>- voor het bepalen van de scope:<ul style="list-style-type: none"><li>· verschillende doelen van losmaakbaarheid;</li><li>· verwachte levensduur van het object, elementen en producten;</li><li>· verwacht onderhoud van object, elementen en producten;</li><li>· reparatie/ kans op beschadigingen;</li><li>· vereiste flexibiliteit in functie;</li><li>· potentie voor hergebruik;</li><li>· MKI;</li><li>· massa;</li><li>· benodigdheid kritieke/ schaarse materialen;</li><li>· economische waarde;</li></ul></li><li>- voor het bepalen van het abstractieniveau:<ul style="list-style-type: none"><li>· waarschijnlijkheid van toekomstig hergebruik van object, element of product;</li><li>· waarschijnlijkheid van potentiële losse vervangingen/ reparaties;</li><li>· belang aanpasbaarheid;</li><li>· variëteit in levensduren</li></ul></li></ul>
<i>2. Theoretische vs. praktische losmaakbaarheid</i>	
invulpagina van Excelsheet uitbreiden met een veld waarin gebruiker uitgangspunten i.r.t. het ontwerp noteert. Dit bevordert de navolgbaarheid van de berekening voor een andere gebruiker of naslagwerk van de berekening. Dit helpt ook om de theoretische resultaten van de methode in de praktische context van het project te plaatsen	in de Excelsheet is een veld toegevoegd waarin de gebruiker uitgangspunten in relatie tot het ontwerp noteert. Hierin kan de gebruiker bijvoorbeeld noteren: <ul style="list-style-type: none"><li>- het objecttype;</li><li>- de status van de ontwerpfase;</li><li>- het doel van het project (demontage, VenR, nieuwbouw);</li><li>- de ontwerplevensduren van het object en de elementen/producten;</li><li>- praktische aspecten van losmaakbaarheid: van welke werkzaamheden wordt uitgegaan bij vervangingen en demontage?</li><li>- de antwoorden op de vragen uit de vragenlijst</li></ul>

Doorgevoerde wijzigingen per thema	Manier van aanpassing
<b>3. Verscherping van de 4 factoren</b>	
herdefinitie van de factor 'randopsluiting'	<ul style="list-style-type: none"> <li>- hoogste score (1,0) is voor als product vrij uitneembaar is, zonder omgekeerde bouwvolgorde;</li> <li>- onderscheid aangebracht tussen einde levensduur demontage &amp; tussentijds vervangen</li> </ul>
herdefinitie van de factor 'doorkruisingen'	scores worden uitgebreid met specificering '...die verhinderen dat het product zonder schade uit de constructie kan worden gehaald bij vervanging- of verwijderwerkzaamheden'
herdefinitie van de factor 'type verbinding'	scores uitgebreid met voorbeeldverbindingen die veelvoorkomend zijn in de GWW
tekst voor factor 'toegankelijkheid verbinding' aanscherpen	tekst '... aan product of omliggende producten' is helder in beschrijving van de factor meegenomen
<b>4. Levensduur</b>	
in de beoordelingsmethode voorschrijven op technische levensduur. Afwijkende levensduur ten opzichte van. technische of ontwerplevensduur uitvragen als onderdeel van de vragenlijst & uitgangspunten	<p>in de vragenlijst en het overzicht van uitgangspunten nemen we een onderdeel op over:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- (afwijkende) levensduren van producten en het object;</li> <li>- te verwachten functionele levensduur: is de verwachting dat de technische levensduur van het object ook gehaald wordt of dat het vanuit functionele wijzigingen naar alle waarschijnlijkheid eerder zal moeten worden aangepast (uitgebreid, verzwaard, verlengd, verkort, verplaatst..)?</li> <li>- of de achterliggende of dragende constructie een langere of kortere (te verwachten) levensduur heeft ten opzichte van. het object</li> </ul> <p>door te vragen naar het beoogde gebruik en (on)verwacht onderhoud/ vervangingen, wordt de onzekere of variabele levensduur kwalitatief meegenomen en kan de gebruiker selecteren of het wel of niet relevant is dat een onderdeel losmaakbaar ontworpen wordt</p>
heldere definities opnemen voor technische, ontwerp en functionele levensduren	in het rapport en de Exceltool zijn heldere definities opgenomen voor de verschillende typen levensduur op (o.b.v. het Lexicon Circulaire Bouw van Platform CB'23)
<b>5. Overige</b>	
definitie 'losmaakbaarheid' aanscherpen	nuance aangebracht: niet alleen 1-op-1 hergebruik voor dezelfde functie als hoogst-haalbare doel. Als een product op een manier is ontworpen dat het voor verschillende toepassingen kan worden ingezet, is dat ook van grote waarde, en aanpasbaarheid/ onderhoudbaarheid/ repareerbaarheid zijn tevens doelen voor losmaakbaarheid. Definitie is aangepast naar '...zodat bestaande waarde beschermd wordt'
begrip van het concept 'losmaakbaarheid' benadrukken	in het gehele rapport van de beoordelingsmethode is het zeer relevant dat de gebruiker begrijpt op welke manier losmaakbaarheid bedoeld wordt: het gaat niet alleen om het eenmalig los kunnen maken van onderdelen - het gaat ook (juist!) om het opnieuw goed vast kunnen maken van onderdelen, op zo een manier dat het vervolgens ook weer goed los te maken is. Dit is in het rapport benoemd
randvoorwaarden aanscherpen	verduidelijkend aangebracht in wat er bedoeld wordt met 'hinder' en 'functiebehoud' en de relatie hiervan met losmaakbaarheid
opzet van de berekening verhelderen	<p>in de berekening is aangepast:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- onderscheid object/ product/ element consistent invullen;</li> <li>- 'aantal keer' onlogische kwantiteit: gewicht of volume toevoegen, of type materiaal</li> </ul>
Exceltool updaten	de Excel is aangepast in lijn met de doorgevoerde wijzigingen en is gebruiksvriendelijker opgezet

# IV

## BIJLAGE: BEGELEIDINGSTEAM EN GESPROKEN EXPERTS

Speciale dank gaat uit naar een aantal personen voor hun bijdrage aan dit onderzoek:

Het projectteam losmaakbaarheid vanuit Rijkswaterstaat:

- Jorien Visser (RWS WVL);
- Esther Heijink (RWS WVL);
- Claartje Vorstman (RWS WVL).

Het begeleidingsteam, dat gedurende het onderzoek input heeft geleverd op de ontwikkeling van de beoordelingsmethode:

- Bernard Smit (Dura Vermeer);
- Mike van Vliet (Alba Concepts);
- Jan Grit (VolkerWessels);
- Edwin Thie (RWS GPO);
- Jan van Asten (RWS GPO);
- Marieke Plegt (RWS PPO);
- Mirko van Vliet (RWS GPO).

De deelnemers, die de beoordelingsmethode hebben toegepast op casussen:

- Timo van Beek (Boskalis);
- Max Metselaar (Vialis);
- Dennis Alsemgeest en Niels Buiting (IV-Infra);
- Albert Rodenhuis (Dura Vermeer);
- Maikel van Deursen en Ingeborg van der Linden (Van der Linden Beton).

Experts die bij de 'light' toets aanwezig waren of hun input apart met ons hebben gedeeld:

- Buizerd de Jong (Hollandscherm);
- Frank van Gennip (Gemeente Utrecht);
- Arjan Schaareman (RWS GPO);
- Marjolein van der Klauw (RWS GPO).

