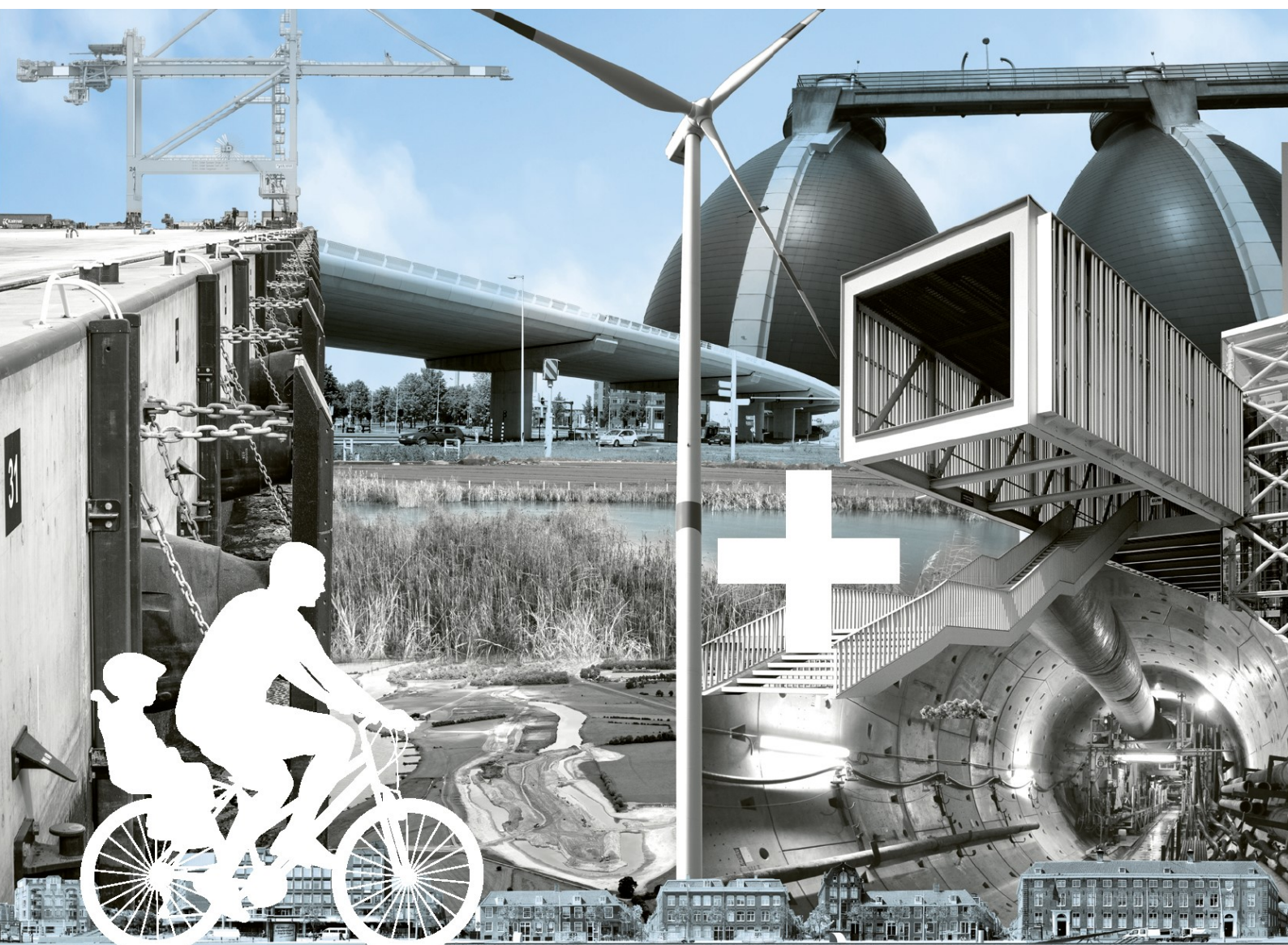




Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW

Versie 1.0

Een tool voor ontwerpers, voor het meten van losmaakbaarheid

9 februari 2023

Project
Opdrachtgever

Beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW
Een tool voor ontwerpers, voor het meten van losmaakbaarheid



Document
Status
Datum
Referentie

Versie 1.0
Definitief
9 februari 2023
128350_23-002.604

Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

128350
Ir.ing. M.E.M. Schäffner
K.A. Haans MSc

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

W.J. ter Heijden MSc, W.S. Scheepens MSc
Ir.ing. M.E.M. Schäffner, M. van Vliet MSc (Alba Concepts)
Ir.ing. M.E.M. Schäffner

Paraaf

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
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 vervaelvoudigd 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	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Leeswijzer	5
1.3	Aanpak ontwikkeling beoordelingsmethode losmaakbaarheid in de GWW	5
1.4	Dankwoord	7
2	HET BELANG VAN LOSMAAKBAARHEID IN EEN CIRCULAIRE BOUWECONOMIE	8
2.1	Losmaakbaarheid in de GWW	8
2.2	Definitie van losmaakbaarheid	8
3	SCOPE VAN DE BEOORDELINGSMETHODE	11
3.1	Toepassingsgebied	11
3.2	Detailniveaus	12
3.3	Classificering	15
3.4	Levensduur	16
4	DE BEOORDELINGSMETHODE VOOR LOSMAAKBAARHEID IN DE GWW	17
4.1	Factoren opgenomen in de beoordelingsmethode	17
4.1.1	Theoretische vs praktische losmaakbaarheid	17
4.1.2	Technische factoren	18
4.2	Losmaakbaarheidsindex per onderdeel	21
4.3	Randvoorwaarden	22
4.4	Stappenplan van de beoordelingsmethode	23
5	DISCUSSIE EN VERVOLG	30
	Laatste pagina	31

Bijlage(n)

Aantal pagina's

I Uitwerking voorbeeldcasussen

13

II Begeleidingsteam en gesproken experts

1

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Vanaf 2030 is het de ambitie dat alle overheidsaanbestedingen circulair en klimaatneutraal zijn. Losmaakbaarheid van bouwwerken is een belangrijke sleutel om hoogwaardig hergebruik zonder waardeverlies mogelijk te maken. Om de mate van losmaakbaarheid te toetsen, heeft Alba Concepts een meetmethode ontwikkeld voor de Burger- en Utiliteitsbouw (B&U): **Circular Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid versie 2.0 (2021) [1]**. In 2021 hebben zij tevens een verkenning naar een uniforme meetmethode voor losmaakbaarheid in de grond-, weg- en waterbouw (GWW) afgerond, in opdracht van Rijkswaterstaat namens het Transitieteam Circulaire Bouweconomie (**Verkenning uniforme meetmethode voor Losmaakbaarheid in de GWW, 2021 [2]**). De hoofdconclusie van dit onderzoek was dat de basisuitgangspunten van de meetmethode voor de B&U toepasbaar zijn voor de GWW, maar dat er wel een doorontwikkeling plaats moet vinden om aan specifieke kenmerken van de GWW-sector te voldoen. Dit rapport biedt een beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW versie 1.0, waarvoor deze hoofdconclusie als basis heeft gediend.

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 licht het belang en de definitie van losmaakbaarheid toe. Hoofdstuk 3 behandelt de scope van de beoordelingsmethode. Hoofdstuk 4 bespreekt stap voor stap hoe de beoordelingsmethode is opgebouwd; welke factoren moeten worden getoetst en met welke overige factoren rekening gehouden moet worden. Hoofdstuk 5 gaat in op discussiepunten van de methode en de opties voor doorontwikkeling.

Tool beoordelingsmethode losmaakbaarheid in de GWW

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW versie 1.0 bestaat, naast de oplevering van dit rapport, uit een tool (in Excel). Deze tool helpt de gebruiker om de mate van losmaakbaarheid van zijn of haar GWW-object te bepalen. Sommige aspecten uit de beoordelingsmethode zijn hier ondergebracht (onder andere het stappenplan en de decompositie van GWW-objecten). De tool is als separate bijlage online te downloaden.

1.3 Aanpak ontwikkeling beoordelingsmethode losmaakbaarheid in de GWW

De ontwikkeling van de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW versie 1.0 is gebaseerd op de conclusies van de verkenning meetmethode voor losmaakbaarheid in de B&U. Hieruit zijn uitgangspunten opgesteld en afwegingen gemaakt voor de ontwikkeling van een beoordelingsmethode voor de GWW. Deze afwegingen zijn getoetst en besproken met een hiervoor opgezet begeleidingsteam. Het begeleidingsteam had als functie om de kwaliteit van het proces en de producten te borgen. Dat team was zorgvuldig samengesteld en bestond uit adviseurs, ingenieurs, ontwerpers, opdrachtgevers en architecten. Een lijst van de deelnemers is opgenomen in bijlage II. Tussen juli en december 2022 hebben er vier begeleidingsteam-overleggen plaatsgevonden.

De aanpak van dit onderzoek bestond uit een aantal iteratieve stappen:

- 1 aanscherpen scope en uitgangspunten:
 - verkenning analyseren en uitgangspunten vaststellen (scope definiëren)
 - definitie van losmaakbaarheid vaststellen;
 - type GWW-objecten classificeren;
- 2 ontwikkelen voorstel voor aanpassingen en aanpak op hoofdlijnen:
 - factoren voor opname in beoordelingsmethode vaststellen;
 - randvoorwaarden definiëren;
 - GWW-casussen verzamelen en beoordelingsmethode toepassen op casussen;
- 3 toetsen en aanscherpen in de praktijk:
 - beoordelingsmethode toepassen op casussen;
 - resultaten van uitgewerkte casussen met specifieke GWW-experts bespreken (zie bijlage II) en input verwerken;
 - input vanuit de praktijk ophalen en verwerken;
- 4 opleveren rapport en tool.

Door de iteratieve aanpak is de beoordelingsmethode meermaals getoetst door het begeleidingsteam en betrokken experts, en zijn de resultaten hiervan in de beoordelingsmethode verwerkt.

Lopende initiatieven

Binnen de GWW is de urgentie om meer losmaakbaar te bouwen al aanwezig. Zo is er bijvoorbeeld voor beweegbare bruggen de 'NTA Industrieel, Functieloos en Demontabel (IFD) bouwen' ontwikkeld. Het is van groot belang voor het draagvlak en de bruikbaarheid van de beoordelingsmethode, dat de ontwikkeling aansluit bij andere relevante kennisinitiatieven. Daarom is er voor dit onderzoek contact gezocht met NEBEST. NEBEST is via het Strategic Business Innovation Research (SBIR-)programma 'Circulaire Viaducten' bezig met circulaire viaducten en element-hergebruik. In dit kader hebben zij ook een 'herbruikbaarheidsscan' ontwikkeld. Ook is er contact geweest met Platform CB'23 - actieteam Toekomstig Hergebruik (waar losmaakbaarheid een belangrijk issue is) en Het Nieuwe Normaal (HNN, specifiek voor de leidraad Infra) dat door Cirkelstad met de markt wordt ontwikkeld. De uitvoerenden van dit onderzoek zijn tevens aangesloten bij deze initiatieven.

Referenties

De volgende bronnen zijn gebruikt in het opstellen van de beoordelingsmethode:

- [1] DGBC & Alba Concepts (2021), Circular Buildings - een meetmethodiek voor losmaakbaarheid versie 2.0;
 - handleiding voor de meetmethode voor losmaakbaarheid in de B&U-sector;
 - deze handleiding bevat de uitgangspunten die voor de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW zijn overgenomen;
- [2] Alba Concepts (2021), Verkenning uniforme meetmethode voor Losmaakbaarheid in de GWW;
 - in deze verkenning wordt de bruikbaarheid van de meetmethode voor losmaakbaarheid uit de B&U- sector voor de GWW-sector onderzocht;
 - de conclusies en aanbevelingen van dit onderzoek dienen als basis voor de ontwikkeling van de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW;
- [3] Pieter Beurskens (2021), The development of an evaluation method to support circular building design;
 - proefschrift waarin een methode is ontwikkeld voor het bepalen van de hergebruikpotentie voor gebouwen;
 - de aanpak uit dit proefschrift werkt, samen met de meetmethode voor de B&U, als basis voor het uitwerken van een beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW.

Waar bovenstaande bronnen in het rapport worden aangehaald, wordt gerefereerd aan het getal in blokhaken.

1.4 Dankwoord

Voor de ontwikkeling van deze beoordelingsmethode gaat speciale dank uit naar een aantal personen. De beoordelingsmethode Losmaakbaarheid in de GWW is tot stand gekomen door een samenwerking tussen Witteveen+Bos en Alba Concepts. Vanuit Witteveen+Bos hebben Wouter ter Heijden, Maarten Schäffner en Wiebke Scheepens bijgedragen. Vanuit Alba Concepts waren Mike van Vliet en Jan Jaap Blüm betrokken. Daarnaast is er vanuit NEBEST (door onder andere Wouter van den Berg) een review uitgevoerd op de conceptbeoordelingsmethode voor betere aansluiting en inzichten vanuit de ervaringen uit de praktijk (SBIR-programma). Gedurende het proces is het projectteam (Witteveen+Bos en Alba Concepts) bijgestaan door een begeleidingsteam. Dit begeleidingsteam gaf commentaar op de voortgang en keuzes die gemaakt werden.

Het begeleidingsteam bestond uit:

- Tom Jansen (VolkerWessels Infra);
- Bernard Smit (Dura Vermeer);
- Menno Rubbens (Cepezed, lid transitieteam Circulaire Bouweconomie);
- Wouter de Vries (Witteveen+Bos);
- Pieter Beurskens (Van Wijnen);
- Marieke Plegt (RWS PPO);
- Bas Bongaerts (RWS PPO);
- Esther Heijink (RWS WVL, transitiebureau Circulaire Bouweconomie);
- Claartje Vorstman (RWS WVL, transitiebureau Circulaire Bouweconomie).

HET BELANG VAN LOSMAAKBAARHEID IN EEN CIRCULAIRE BOUWECONOMIE

Om binnen een circulaire bouweconomie hergebruik optimaal te faciliteren, is het van belang dat onderdelen uit bouwwerken¹ los te maken zijn. Losmaakbaarheid is nodig om wat vast zit hoogwaardig vrij te laten komen voor hergebruik. Door bouwwerken zo te ontwerpen, dat verbindingen niet vast maar losmaakbaar zijn, wordt een randvoorwaarde gecreëerd om onderdelen te hergebruiken en waardedegradatie en afval te voorkomen.

2.1 Losmaakbaarheid in de GWW

Er zijn enkele verschillen tussen de B&U en GWW, die maken dat de meetmethodiek van de B&U [2] niet één-op-één voor de GWW kan worden overgenomen. De belangrijkste verschillen tussen de B&U en GWW die relevant zijn voor de doorvertaling van de beoordelingsmethode zijn:

- **verschil in type objecten.** Binnen de GWW zijn er veel verschillende typen objecten, zoals bruggen, sluizen, 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 (meestal) onderdeel van een lijnstructuur/ netwerk, zoals een viaduct over een snelweg of een sluis in een vaarweg. Onderdelen van het ene object zijn daardoor 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;
- **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.

Deze punten zijn meegenomen in de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW.

2.2 Definitie van losmaakbaarheid

GWW-werken zijn opgebouwd uit verschillende materialen, producten en elementen die met elkaar verbonden zijn. De mate waarin en de manier waarop deze verbindingen verbroken kunnen worden, zodat een object hoogwaardig herbruikbaar is, bepaalt de mate van losmaakbaarheid.

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 afbreuk te doen aan de functie van het object, de verschillende onderdelen of aansluitende objecten, zodat bestaande waarde beschermd wordt en hoogwaardig hergebruik mogelijk is.

¹ De term 'bouwwerk' refereert aan GWW-werken in het algemeen (bijvoorbeeld ook wegen, dijken)

Binnen de bovenstaande definitie zijn 'objecten' de GWW-werken, en de mogelijke schaalniveaus de elementen, producten of materialen die in het bouwwerk zijn opgenomen. In paragraaf 3.2 wordt dit detailniveau verder toegelicht. Hoogwaardig hergebruik refereert aan één-op-één hergebruik zonder schade te veroorzaken door sloop of het hoeven doen van aanpassingen.

De definitie voor losmaakbaarheid kan aangevuld worden met bevindingen uit het proefschrift van de heer P. Beurskens [3]. Hierin is een methode ontwikkeld voor het bepalen van de hergebruikpotentie voor gebouwen. In de definitie van terugvordering van producten ('reclaim') speelt losmaakbaarheid een rol bij het zorgvuldig kunnen demonteren van onderdelen. De volgende paragrafen gaan dieper in op het verband tussen losmaakbaarheid en herbruikbaarheid. De definitie voor terugvordering van de heer P. Beurskens wordt voor de beoordelingsmethode als aanvulling op de bovenstaande definitie gebruikt:

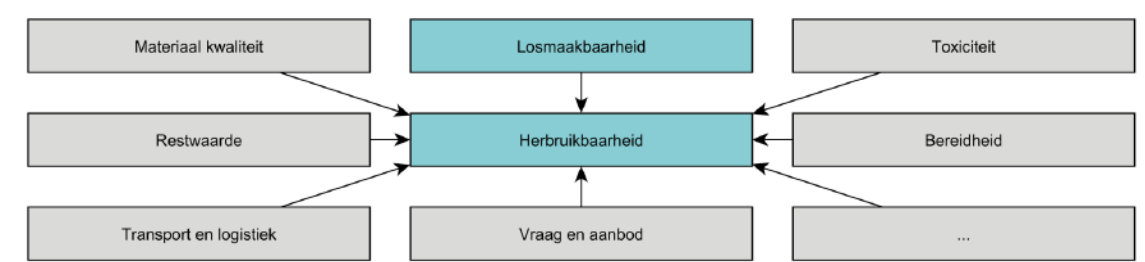
'Terugvordering [vertaald van 're-claim'] gaat over de niet-destructieve [afbreuk] en zorgvuldige demontage, inzameling, scheiding en mogelijke sortering van bouwproducten, met het doel dat deze direct kunnen worden hergebruikt zonder behoefte aan verdere behandeling.'

Naast hergebruik is losmaakbaarheid ook relevant voor de flexibiliteit/aanpasbaarheid, de onderhoudbaarheid en het kunnen repareren en vervangen van GWW-objecten en hun onderdelen. Voor onderdelen met een kortere levensduur dan de objecten waar zij onderdeel van uitmaken, en die dus één of meerdere malen moeten worden vervangen tijdens de levensduur, is het van belang dat zij 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 object. Voor onderdelen met een langere levensduur dan het object zelf is het interessant om deze onderdelen zonder schade gemakkelijk los te kunnen maken voor hergebruik in een ander object.

Losmaakbaarheid en herbruikbaarheid

Zoals in hoofdstuk 1 werd aangegeven, is losmaakbaarheid onderdeel van de transitie naar een circulaire bouwconomie. Hierbij is belangrijk te noemen dat losmaakbaarheid een middel is en geen doel op zichzelf. Het is waarschijnlijker dat een product in de originele staat herbruikbaar is als het losmaakbaar is - maar dit is geen garantie. Losmaakbaarheid is één van de aspecten van hergebruik. Om binnen een circulaire economie vrijkomende objecten, onderdelen en materialen optimaal te kunnen hergebruiken, is het naast losmaakbaarheid ook belangrijk om andere aspecten mee te nemen, zoals: materiaalkwaliteit, (het voorkomen van) toxiciteit, vraag en aanbod, transport en logistiek, restwaarde en bereidheid (zie afbeelding 2.1)¹.

Afbeelding 2.1 Losmaakbaarheid binnen de context van herbruikbaarheid (afkomstig van DGBC & Alba Concepts, 2021)

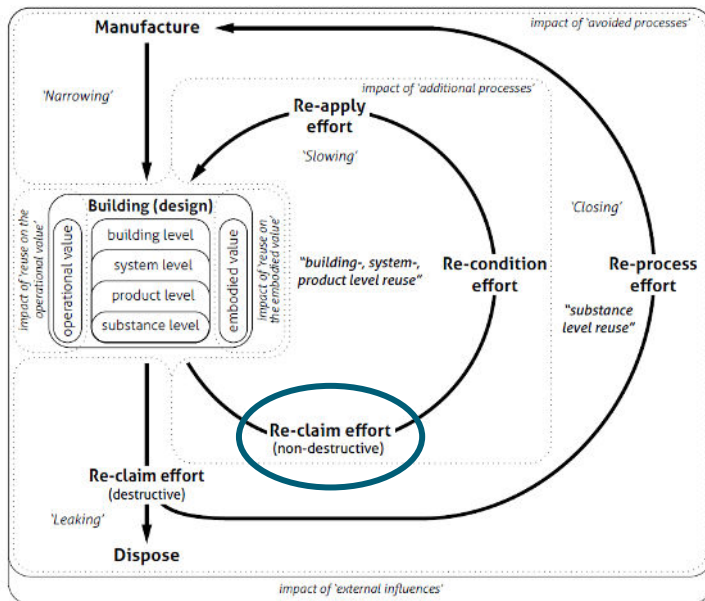


Binnen de hergebruikspotentie-methode van Beurskens [3] is de rol van losmaakbaarheid (in het 're-claim effort') binnen de circulaire economie weergegeven in een conceptueel raamwerk (zie afbeelding 2.2). Hierin komt naar voren dat de losmaakbaarheid van een onderdeel om niet-destructieve handelingen gaat, zodat het onderdeel weer toegepast kan worden in een nieuw gebouw. Voor losmaakbaarheid gaat het dus alleen om de eerste stap in deze 'loop'. Het aanpassen, reinigen, repareren en opnieuw testen en certificeren

¹ Deze aspecten zijn ter indicatie.

(re-conditioning effort en re-apply effort) zijn geen onderdeel van de losmaakbaarheid, maar wel van belang bij de herbruikbaarheid.

Afbeelding 2.2 Conceptueel raamwerk voor de hergebruik (Beurskens, 2021)



Losmaakbaarheid en oogstbaarheid

Vanuit de praktijk zijn er diverse voorbeelden waar onderdelen van objecten toch worden hergebruikt, hoewel ze niet losmaakbaar waren ontworpen (bijvoorbeeld betonnen brugliggers met aangestorte verbindingen die losgezaagd worden). Het is daarom goed om ook een onderscheid te maken tussen losmaakbaarheid en oogstbaarheid. Bij losmaakbaarheid gaat het specifiek om hoe makkelijk een product los te maken is, zonder permanente schade aan het product zelf en omliggende producten te veroorzaken. Bij oogstbaarheid gaat het over of het product überhaupt uit het object gehaald kan worden voor hergebruik, waarbij aanpassingen en schade aan omliggende onderdelen een minder belangrijke rol spelen. De brugligger met aangestorte druklaag bezit een slechte mate van losmaakbaarheid doordat de druklaag destructief verwijderd dient te worden, maar de ligger is wel oogstbaar doordat de druklaag doorgezaagd kan worden. Met andere woorden: het is praktisch mogelijk om de brugligger uit het bestaande object te halen voor hergebruik. Binnen de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW wordt enkel gekeken naar losmaakbaarheid (zie hoofdstuk 3 en 4).

SCOPE VAN DE BEOORDELINGSMETHODE

Dit hoofdstuk licht de scope van de beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW toe. De scope richt zich op het toepassingsgebied van de beoordelingsmethode, het detailniveau voor de toepassing, classificering van GWW-objecten en de levensduur. Hieronder worden de algemene uitgangspunten voor de beoordelingsmethode samengevat.

Uitgangspunten

De volgende uitgangspunten zijn opgesteld voor het toepassen van de beoordelingsmethode:

- de GWW kenmerkt zich door een grote variëteit in objecten; de losmaakbaarheidsindex kun je toepassen voor al deze GWW-objecten. De beoordelingsmethode is dus uniform en niet object-specifiek;
- de losmaakbaarheidsindex kun je toepassen in iedere fase van het ontwerpproces (van schetsontwerp tot uitvoeringsontwerp) en daarna ten behoeve van onderhoud, vervanging en einde levensduur, (verdere toelichting in sectie 3.1);
- de losmaakbaarheidsindex wordt bepaald voor ieder onderdeel van een bouwwerk dat in de betreffende ontwerpfase in het ontwerp is opgenomen (verdere toelichting in sectie 3.2).

3.1 Toepassingsgebied

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW kan voor verschillende toepassingsgebieden dienen:

- ter ondersteuning van ontwerpers en constructeurs om te optimaliseren op losmaakbaarheid van ontwerpen;
- als objectieve tool voor opdrachtgevers om ontwerpen en/of inschrijvingen van aanbestedingen te beoordelen (en voor opdrachtnemers om aan te tonen dat hun aanbieder losmaakbaar is);
- als onderdeel van een materialenpaspoort, waarmee de relevante informatie over de mate van losmaakbaarheid van onderdelen en de wijze waarop deze kunnen worden gedemonteerd, worden vastgelegd;
- als tool voor beheerders om onderhoud snel en circulair uit te kunnen voeren;
- ter ondersteuning voor slooppartijen voor het inventariseren en realiseren van zoveel mogelijk schadevrije demontage om maximaal hergebruik van onderdelen te faciliteren;
- als tool voor productontwikkelaar en leveranciers om standaardisatie te bevorderen (link naar IFD bouwen).

De beoordelingsmethode losmaakbaarheid in de GWW versie 1.0 is momenteel gericht op de ontwerptoepassing. Hij is ontwikkeld om de losmaakbaarheid van objecten te kwantificeren en ontwerpers daarmee te ondersteunen om tot meer losmaakbare ontwerpen te komen. De beoordelingsmethode draagt zo bij aan het identificeren van losmaakbare onderdelen of varianten in het ontwerp. Tevens legt het verbeterpunten bloot, waarop het ontwerp geoptimaliseerd kan worden.

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW is toe te passen in alle fases van het ontwerpproces, van schetsontwerp (SO), voorlopig ontwerp (VO), tot en met uitvoeringsontwerp (UO). Hoe eerder de beoordelingsmethode wordt toegepast in het ontwerpproces, hoe meer invloed deze kan hebben op de mate van losmaakbaarheid van het ontwerp. De voorkeur gaat dus uit naar een vroegtijdige toepassing in het ontwerpproces. Hier dient wel rekening gehouden te worden met het abstractieniveau

binnen het ontwerp (zie paragraaf 3.2). Het is mogelijk dat sommige verbindingen nog niet ver genoeg uitgewerkt zijn. Het beoordelen van het GWW-object op losmaakbaarheid gebeurt aan de hand van representatieve details van het ontwerp. Dit bepaalt direct ook het detailniveau voor de toepassing van de beoordelingsmethode. De beoordelingsmethode is zo ingericht dat, onafhankelijk van het detailniveau van het ontwerp, er altijd een losmaakbaarheidsindex bepaald kan worden. Dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4.

De huidige focus van de beoordelingsmethode voor de toepassing in de ontwerpfase staat niet op zichzelf. De hierboven genoemde toepassingsgebieden zijn met elkaar verweven. Het ontwerpproces wordt gezien als eerste stap, waaruit de overige toepassingen voortvloeien. Als het toepassen van de methodiek voor losmaakbaarheid in het ontwerp van GWW-objekten verder ontwikkeld wordt en verankerd raakt, vormt dit een basis voor vervolgstappen, zoals uiteindelijk het mogelijk meenemen van de losmaakbaarheidsindex in gunningscriteria en/of contractuele eisen.

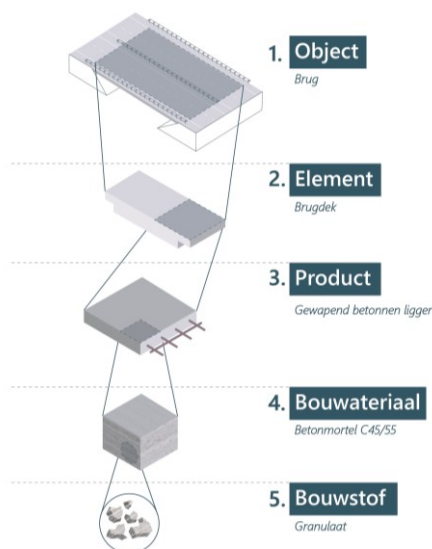
3.2 Detailniveaus

GWW-objekten kunnen worden beschouwd op verschillende abstractieniveaus. De leidraad Circulair Ontwerpen van Platform CB'23¹ 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 3.1 weergegeven.

Afbeelding 3.1 Hiërarchie van GWW-werken



¹ PlatformCB23_Leidraad_Circulair-Ontwerpen_versie1.pdf, p47

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 er uitgegaan van niveau 3 'product' als basisniveau. Dit niveau wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4. Voor de uniformiteit van de beoordelingsmethode is niveau 3 'product' als basisdetailniveau gekozen zodat het aansluit op de methode van de B&U. Indien gewenst mag de losmaakbaarheid ook op een dieper niveau worden bepaald, zolang het ook op niveau 3 wordt berekend. De ontwerper en opdrachtgever zijn verder ook vrij om op een hoger detailniveau (zoals 1 'object' of 2 'element') aan te geven dat het losmaakbaar moet zijn.

De diepere detailniveaus, niveau 4 'bouw materiaal' en niveau 5 'bouwstof', worden verder binnen deze beoordelingsmethode buiten scope gelaten. Wanneer er op bouw materiaalniveau los gemaakt wordt, gaat het al snel over destructief scheiden van verschillende bouwstoffen en vervolgens het recyclen daarvan. Voor de transitie naar een circulaire economie is dit ook belangrijk - en losmaakbaarheid kan hier ook een rol in spelen - maar de scope van dit onderzoek is in de 1.0 versie gericht op (hoogwaardig) hergebruik op het niveau van producten of hoger.

Standaard decompositie GWW-objecten

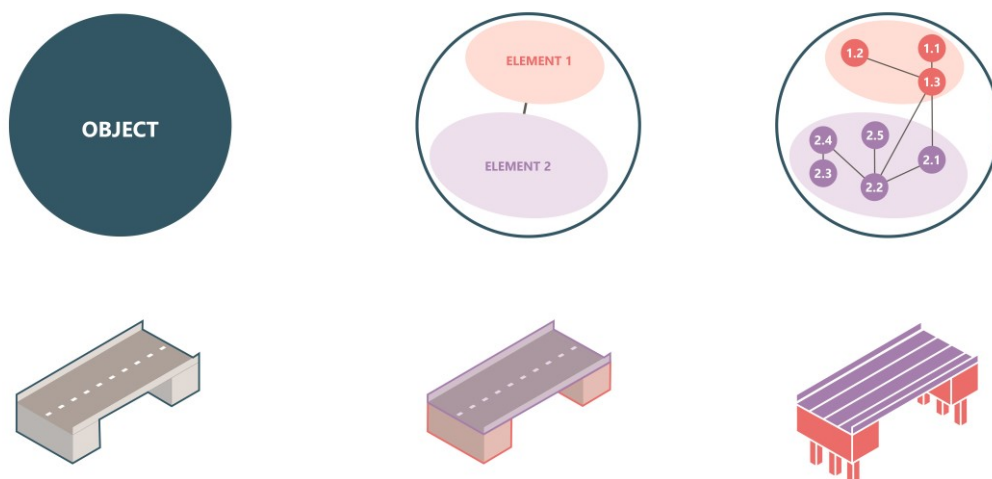
Door de hoeveelheid aan type objecten/werken in de GWW is er, in tegenstelling tot de B&U, geen standaard detailniveau voor GWW-objecten beschikbaar. Om de ontwerper bij het toepassen van de beoordelingsmethode te ondersteunen, wordt er gerefereerd naar de decomposities van diverse GWW-objecten zoals opgenomen in de DuboCalc objectenbibliotheek. Dit dient als handvat. De gehele lijst van objecten uit de DuboCalc objectenbibliotheek is onderdeel van de Excel tool, die als bijlage van deze beoordelingsmethode wordt geleverd. Deze lijst omvat niet alle mogelijke objecten; ontbrekende objecten kunnen aangevuld worden. De decompositie dient uiteindelijk aan te sluiten op het ontwerp en de ontworpen onderdelen. Afstemming tussen ontwerper en opdrachtgever is daarbij van belang.

Een voorbeeld van een decompositie voor een brug is opgenomen in tabel 3.1. Voor alle producten uit de lijst geldt dat deze dienen te worden opgenomen mits deze van toepassing zijn; is het bijvoorbeeld een brug zonder trap, dan kan dit product buiten beschouwing worden gelaten.

Tabel 3.1 Voorbeeld van een decompositie voor een brug (object, niveau 1), gebaseerd op DuboCalc objectenbibliotheek

Element (niveau 2) in object	Product (niveau 3) in element
fundering/ landhoofd	- prefab betonpalen (inclusief wapening) - beton landhoofden (inclusief wapening) - beton vleugelwanden - stootplaten - taludbekleding onder landhoofden
brugdek	- druklaag - prefab betonliggers - wapening liggers - dwarsvoorspanning
verharding	- deklaag op brugdek - onderlaag op brugdek - gietasfalt langs schampstroken - kleeflagen
overig toebehoren	- trap - geleiderails - benodigheden voor bekabeling/verlichting/installaties

Afbeelding 3.2 Visuele weergave van decompositie brug (object, 1) naar product (3)



Het definiëren van een basisdetailniveau voor de objecten is voor GWW objecten lastiger dan bij de B&U. Bij de B&U is het detailniveau in BIM-software (zoals Revit) snel gekoppeld aan standaardisering van producten volgens de NL/SfB-codering (waar ook de Milieu Prestatie Gebouwen (MPG) aan gekoppeld wordt). Eenzelfde type codering mist binnen de GWW. Indien er in de toekomst een soortgelijke codering binnen de GWW ontwikkeld wordt, dan ligt het voor de hand om het basisdetailniveau van de beoordelingsmethode hierop aan te laten sluiten.

Losmaakbaarheidsindex van bouwwerk

Binnen de B&U wordt de losmaakbaarheidsindex uiteindelijk bepaald voor het gehele gebouw. Binnen de GWW wordt de losmaakbaarheidsindex bepaald per onderdeel (bestaande uit een product en de verbinding naar een ander product, zie hoofdstuk 4). Aangezien de beoordelingsmethode in deze fase is toegespitst op ontwerpers, willen we de losmaakbaarheid per productonderdeel beoordelen om tot ontwerpverbeteringen te komen. Daarom bepalen wij in deze fase géén centrale losmaakbaarheidsindex op objectniveau. In een volgende versie zou het gebruik van een normalisatiefactor om tot één losmaakbaarheidsindex te komen, wel onderdeel kunnen worden van de beoordelingsmethode (dit is o.a. relevant voor aanbestedingseisen). Er is nader onderzoek nodig, welke normalisatiefactor geschikt is en wat de effecten zijn op de eindscore. Enkele mogelijkheden zijn weergegeven in tabel 3.2.

Tabel 3.2 Mogelijke wegingsfactoren om tot één losmaakbaarheidsindex voor een bouwwerk te komen

Mogelijke wegingsfactor	Beschrijving	Kritiek/nadelen
MKI	hoe hoger de MKI van een product, hoe zwaarder de losmaakbaarheidsindex van dit product meetelt	een MKI is (nog) niet standaard voor ieder product binnen de GWW beschikbaar. Daarnaast is het ook niet per definitie zo dat producten met een hoge MKI goed losmaakbaar moeten zijn (bijv. een betonnen fundering die lange tijd blijft staan)
gewicht	hoe hoger het gewicht van een product, hoe zwaarder de losmaakbaarheidsindex van dit product meetelt	idem MKI: ook hier geldt dat een product met het meeste gewicht niet per se goed losmaakbaar moet zijn (bijv. een betonnen landhoofd dat lange tijd blijft staan)
aantal keer	hoe vaker het product voorkomt, hoe zwaarder de losmaakbaarheidsindex van dit product meetelt	lastig te kwantificeren bij een doorlopend lijnobject

Mogelijke wegingsfactor	Beschrijving	Kritiek/nadelen
levensduur	hoe korter de levensduur van een product, hoe zwaarder de losmaakbaarheidsindex van dit product meetelt	ook als product een langere levensduur heeft ten opzichte van de projectlevensduur is het van belang dat deze goed losmaakbaar is (restlevensduur betekent dat het opnieuw kan worden toegepast)

3.3 Classificering

Binnen de GWW is er een verscheidenheid aan objecten. Voor het ontwikkelen van een uniforme beoordelingsmethode zijn alle type GWW-objecten binnen de volgende drie 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.

Een GWW-object kan binnen één van deze drie klassen vallen of opgebouwd zijn uit een combinatie van deze klassen. Een viaduct is bijvoorbeeld op zichzelf een afgebakend object, maar bevat doorlopende lijnobjecten (bijv. 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. Per klasse kan er op die manier een bandbreedte voor de losmaakbaarheidsindex worden bepaald waardoor er geen scheve vergelijkingen worden getrokken. Verder heeft de klasse invloed op welke specifieke aspecten relevant zijn voor de losmaakbaarheid van onderdelen; dit wordt verder toegelicht in hoofdstuk 4.

Afbeelding 3.3 Classificering van GWW-objecten



GWW-objecten binnen een netwerk

Zoals in de paragraaf 2.1 (Losmaakbaarheid in de GWW) is aangegeven, zijn GWW-objecten onderdeel van een netwerk (zie ook afbeelding 3.4). 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 paragraaf 4.1). Het gaat hier specifiek om het wegennetwerk.

Afbeelding 3.4 Luchtfoto van infrastructuurnetwerk met daarop onder andere GWW-objecten zoals een stroomweg, tunnel/aquaduct, brug en gemaal



3.4 Levensduur

Binnen de meetmethode voor de B&U wordt de Lagenmethode van Brand¹ 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. Zoals in hoofdstuk 2 benoemd, is de levensduur binnen losmaakbaarheid om meerdere redeneren 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.

Binnen de GWW speelt levensduur voornamelijk bij objecten die eerder vervangen of gesloopt dienen te worden door veranderende functionele eisen. De manier waarop levensduur in de beoordelingsmethode is opgenomen, wordt in hoofdstuk 4 verder toegelicht.

¹ Voor toelichting over de Lagen van Brand, zie pagina 16 van Platform CB'23 (2021), Framework Circulair Bouwen https://platformcb23.nl/images/downloads/20190704_PlatformCB23_Framework_Circulair_Bouwen_Versie_1.0.pdf

4

DE BEOORDELINGSMETHODE VOOR LOSMAAKBAARHEID IN DE GWW

Een beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid moet een indicatie geven hoe losmaakbaar een GWW-werk is (of afzonderlijke elementen en producten ervan zijn). De beoordelingsmethode wordt toegepast in het ontwerpproces, om losmaakbare onderdelen te identificeren en tot een losmaakbaar ontworpen bouwwerk te komen. Dit hoofdstuk licht toe welke aspecten in de beoordelingsmethode zijn opgenomen en welke stappen moeten worden doorlopen. In paragraaf 4.1 worden de factoren toegelicht die opgenomen zijn in de beoordelingsmethode. In paragraaf 4.2 wordt toegelicht hoe de losmaakbaarheidsindex bepaald wordt. In paragraaf 4.3 worden de randvoorwaarden voor bij de losmaakbaarheidsindex toegelicht en in paragraaf 4.4 wordt het stappenplan van de beoordelingsmethode toegelicht.

4.1 Factoren opgenomen in de beoordelingsmethode

4.1.1 Theoretische vs praktische losmaakbaarheid

De beoordelingsmethode kan verschillende typen factoren beoordelen die voor losmaakbaarheid relevant zijn. Deze zijn:

- **technisch:** ontwerpaspecten die bepalen op welke manier producten met elkaar verbonden zijn;
 - bijvoorbeeld: het type verbinding;
- **procesmatig:** bouwwerkzaamheden die bepalen op welke manier producten te demonteren zijn bij einde levensduur;
 - bijvoorbeeld: benodigde ervaring, veiligheid bij demontage, tijd;
- **financieel:** de financiële haalbaarheid van het demonteren van een losmaakbaar bouwwerk bij levensduur. Dit beïnvloedt de keuze voor demontage in plaats van sloop;
 - bijvoorbeeld: demontagetijd, demontagekosten.

Er kan aan de hand van bovengenoemde factoren gesproken worden van een **theoretische** losmaakbaarheid en een **praktische** losmaakbaarheid.

- de theoretische losmaakbaarheid bevat technische factoren: hoe producten en/of elementen fysiek te demonteren zijn in het ontwerp;
- de praktische losmaakbaarheid bevat de procesmatige en financiële factoren: hoe daadwerkelijk geborgd wordt dat het ontwerp bij einde levensduur ook losmaakbaar is. De praktische losmaakbaarheid wordt ook beïnvloed door overige factoren zoals materiaaldegradatie door weersinvloeden, het effect van de bouwwerkzaamheden op de omliggende infrastructuur en de manier van demontage.

De beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid in de GWW focust op het bepalen van de **theoretische losmaakbaarheid**, dat wil zeggen op de technische aspecten. Praktische overwegingen linken aan de definitie voor *re-claim* van Beurskens, zoals gepresenteerd in sectie 2.1; dit is een belangrijke aanvulling op de theoretische losmaakbaarheid, maar valt niet in de scope van dit onderzoek. Aspecten van de praktische losmaakbaarheid worden buiten beschouwing gelaten of komen terug als randvoorwaarden.

Bij het interpreteren van de losmaakbaarheidsindex van een object, is het cruciaal om bewust te zijn van de context waarin het object zich bevindt. Omdat de losmaakbaarheidsindex een theoretische beoordeling is,

vallen er belangrijke aspecten weg die van belang zijn bij de uiteindelijke, praktische losmaakbaarheid van het object. Om die reden worden er aanvullend op de meetbare, technische factoren, ook randvoorwaarden geformuleerd. Dit zijn factoren die niet direct invloed hebben op de theoretische losmaakbaarheid van een object, maar wel van invloed (kunnen) zijn op de uiteindelijke losmaakbaarheid. Deze randvoorwaarden zijn:

- **externe invloeden:** effecten vanuit de omgeving op de verbinding tussen elementen, zoals weersinvloeden (water, hitte) of strooizout;
- **functiebehoud netwerk:** mate van verhindering van de functie van het object en het omliggende infrastructurele netwerk (zijnde het wegennetwerk) tijdens werkzaamheden aan het object;

Deze randvoorwaarden zijn meer kwalitatief van aard en hoeven dus niet te worden gemeten, maar de gebruiker van de beoordelingsmethode wordt gestimuleerd om deze in acht te nemen middels een aantal vragen. In een vervolgtraject kan worden onderzocht of - en zo ja, op welke manier - deze randvoorwaarden kunnen worden gekwantificeerd en of er additionele randvoorwaarden worden toegevoegd (zie 5.2).

4.1.2 Technische factoren

De meetmethode voor de B&U [1] identificeert de vier meest relevante losmaakbaarheidsfactoren. Uit de verkenning [2] blijken deze ook voor de GWW het meest relevant.

Bij het bepalen van de losmaakbaarheidsindex wordt uitgegaan van de omgekeerde bouwvolgorde; dat wil zeggen dat er vanuit wordt gegaan dat producten die boven het product in kwestie zijn gemonteerd, buiten beschouwing worden gelaten. Een brugdek is bijvoorbeeld tijdens de bouw op het landhoofd geplaatst en om onderdelen van het landhoofd te verwijderen, dient vaak het dek eerst verwijderd te worden.

De vier losmaakbaarheidsfactoren zijn onderverdeeld in twee categorieën die de mate van losmaakbaarheid van het product representeren. De twee 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 er na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde nog steeds 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.

De vier factoren worden hierna ieder apart toegelicht, inclusief de waardering van de beoordeling. Uiteraard zijn er overige factoren die ook invloed kunnen hebben op de losmaakbaarheid van een object, mogelijk wordt de beoordelingsmethode in de toekomst uitgebreid met méér factoren.

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 4.1 hieronder. De subcategorie geeft voorbeelden van type verbindingen die in de hoofdcategorie kunnen voorkomen, maar dit is geen volledige lijst. Een product kan dus meermaals een losmaakbaarheidsindex van de connectie (LIC) krijgen toegekend, afhankelijk van het aantal producten waarmee het verbonden is.

Voorbeeld

Betonnen aanstortverbindingen scoren bijvoorbeeld 0,1 terwijl losse zandlichamen 1,0 scoren.

Tabel 4.1 Scores type verbinding, uit [1]

Type verbinding		Score
droge verbinding	- los (geen bevestigingsmateriaal) - klikverbinding	1,00
verbinding met toegevoegde elementen	- bout- en moerverbinding - veerverbinding - hoekverbindingen - schroefverbinding - verbindingen met toegevoegde verbindingselementen	0,80
directe integrale verbinding	- pin-verbindingen - spijkerverbinding	0,60
zachte chemische verbinding	- kitverbinding - schuimverbinding (pur)	0,20
harde chemische verbinding	- lijmverbinding - aanstortverbinding - lasverbinding - cementgebonden verbinding - chemische ankers - harde chemische verbinding	0,10

Toegankelijkheid van de verbinding (ToV)

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 4.2. Daarnaast wordt er enkel gekeken naar de eerst omliggende producten. Om bij de zandlaag te komen onder een asfaltweg moet de asfaltlaag kapot gefreest te worden (0,1) om bij de funderingslaag te komen. Om bij de zandlaag te komen, hoeft enkel de funderingslaag (die los bevestigd is) verwijderd te worden, dus scoort die 0,8 (toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken). Dit voorkomt negatieve dubbeltellingen.

Voorbeeld

Bout- en moerverbindingen van een leuningwerk van een brug zijn vrij toegankelijk en scoren 1,0.

Tabel 4.1 Score toegankelijkheid verbinding, uit [1]

Toegankelijkheid verbinding (ToV)	Score
vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,00
toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,80
toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade	0,60
toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,40
niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,10

Randopsluiting (RO)

Met de factor randopsluiting wordt beoordeeld hoe producten in het object zijn geplaatst en in hoeverre deze toegankelijk zijn na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde. Is er na het volgen van de omgekeerde bouwvolgorde nog steeds een belemmering voor het eruit halen van het product? Dan is er sprake van randopsluiting. 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 4.3.

Voorbeeld

Geleiderails hebben geen belemmering en zijn daardoor zonder belemmering uit te nemen, dus 1,0.

Landhoofden van bruggen zijn gesloten waardoor er volledige belemmering is om het uit te nemen, dus 0,1.

Tabel 4.2 Score randopsluiting, uit [1]

Randopsluiting (RO)	Score
open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten. Je kunt een product minimaal vanaf één toegankelijke kant volledig uit de samenstelling demonteren	1,00
overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten. Om producten (tussentijds) uit een samenstelling te demonteren, moet je eerst andere producten demonteren	0,40
gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten. Bijv.: seriematige producten die onderling verbonden zijn met een hard chemische verbinding, producten die volledig in het werk gevormd zijn	0,10

Doorkruisingen (DK)

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 bij einde levensduur te demonteren. Deze factor is extra van belang als de producten afwijkende levensduren hebben. De mogelijke scores zijn opgenomen in tabel 4.4.

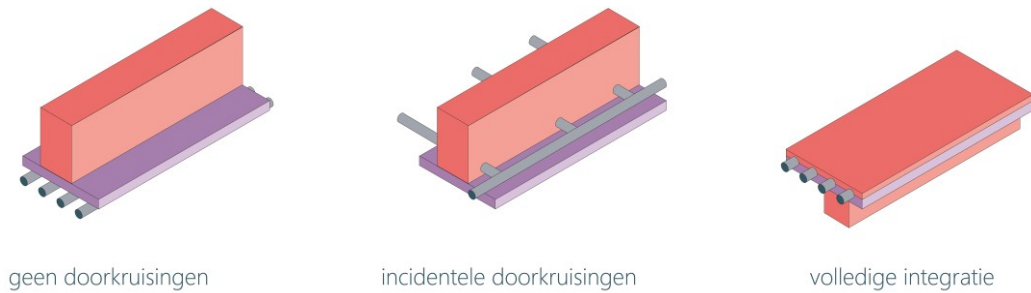
Voorbeeld

Rioleringswerken doorkruizen grond- of betonlagen waardoor er integratie van producten is, dus 0,1.

Tabel 4.3 Score doorkruisingen, uit [1]

Doorkruisingen (DK)	Score
geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen	1,00
incidentele doorkruisingen van producten of elementen uit verschillende lagen	0,40
volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen	0,10

Afbeelding 4.1 verschillende vormen van doorkruisingen volgens score tabel 4.3



4.2 Losmaakbaarheidsindex per onderdeel

Voor ieder onderdeel in het ontwerp (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 (LI_c) en de losmaakbaarheidsindex van de samenstelling (LI_s). Afbeelding 4.2 en de paragrafen hieronder lichten de berekening toe.

Afbeelding 4.2 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:

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

Waarbij:

LI_c = 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:

LIs = 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.

4.3 Randvoorwaarden

Voor de beoordelingsmethode zijn er naast de kwantitatieve factoren ook kwalitatieve randvoorwaarden meegenomen. Deze randvoorwaarden hebben uiteindelijk invloed op of het 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 strooizout. 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.

Functiebehoud netwerk

Objecten in de GWW zijn (vaak) onderdeel van een groter infrastructureel netwerk. Het losmaken van elementen kan invloed hebben op het functioneren van dit netwerk, bijvoorbeeld doordat er een weg- of tunnelafsluiting nodig is. Om hier rekening mee te houden, is functiebehoud van het wegennetwerk opgenomen als randvoorwaarde. Functiebehoud wordt voor nu op objectniveau bekeken; in de

doorontwikkeling van de beoordelingsmethode kan dit specifiekier worden uitgewerkt per element. Per object dient er antwoord te worden gegeven op de volgende vraag:

Zorgt het losmaken van producten of elementen met een kortere levensduur dan die van het bovenliggende element of object, voor een verandering van de functie van het gehele object of het netwerk waar het 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 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.

4.4 Stappenplan van de beoordelingsmethode

Om de losmaakbaarheidsindex van een GWW-werk te bepalen, worden de volgende stappen doorlopen. Deze worden hierna stap voor stap verder toegelicht, aan de hand van een voorbeeld van een geluidsscherm (zie kaders). Voor het uitvoeren van het stappenplan is de bijlage van deze rapportage (de Exceltool) van belang voor het doorlopen van het stappenplan.

Het stappenplan is als volgt:

- 1 decompositie van GWW-werk vergelijken met basisdetailniveau;
- 2 classificering van object aangeven (afgebakend, lijn component, lijn doorlopend);
- 3 opstellen van een relatieschema op basis van de constructief detailtekeningen/doorsneden:
 - A. aanwezige producten in het GWW-werk noteren, incl. de levensduur en hoe vaak het product in het ontwerp voorkomt;
 - B. clusters van producten specificeren (met andere woorden: welke producten samen één element vormen);
 - C. verbindingen tussen producten noteren (op basis van de omgekeerde bouwvolgorde);
 - D. **optioneel:** de producten en verbindingen uit stap A en B invullen op een relatieschema-canvas naar gemiddelde levensduur en omgekeerde bouwvolgorde;
- 4 scores aan de vier factoren toekennen per onderdeel;
- 5 randvoorwaarden bepalen per onderdeel.

Voor de beoordelingsmethode is geprobeerd om in het stappenplan een transparante vertaling te maken van ontwerpdetail tot losmaakbaarheidsindex. Op deze manier is de toepassing in het ontwerp laagdrempelig en makkelijk te interpreteren.

1. Decompositie van GWW-werk vergelijken met basisdetailniveau

Het bepalen van de losmaakbaarheidsindex kan op verschillende momenten binnen het ontwerpproces. Om de losmaakbaarheidsindex te bepalen heeft de ontwerper enkel detailtekeningen of doorsneden nodig waaraan een representatieve decompositie van het GWW-werk bepaald kan worden. Het detailniveau van de decompositie dient overeen te komen met het basisdetailniveau, zijnde het productniveau (zie paragraaf 3.2). Voor verscheidene GWW-werken is hiervoor een voorbeeldcompositie (gebaseerd op DuboCalc Objectenbibliotheek) opgenomen in de bijhorende tool van de beoordelingsmethode. Indien de decompositie van het GWW-werk op een abstracter detailniveau dan het basisdetailniveau is (bijvoorbeeld element of object), dient de ontwerper hier eerst een ontwikkelslag in te slaan of dit expliciet aan te geven (bijvoorbeeld omdat er enkel nog maar aangegeven is wat het landhoofd en dek is bij een brug). De ontwerper of opdrachtgever heeft uiteraard ook de keuze om de losmaakbaarheidsindex ook op een dieper detailniveau te bepalen.

2. Classificering van het object aangeven

Er wordt gespecificeerd of het GWW-object een afgebakend object is, een lijnobject met componenten of een doorlopend lijnobject (zie paragraaf 3.3 en afbeelding 4.3). Bij een afgebakend object is er een duidelijke grens van het object; lijnobjecten met componenten zijn geschakeld door herhaaldelijke onderdelen; doorlopende lijnobjecten lijken qua relatieschema-canvas op een afgebakend object, maar hier is er geen duidelijke grens, of het object loopt over een aanzienlijke afstand door.

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

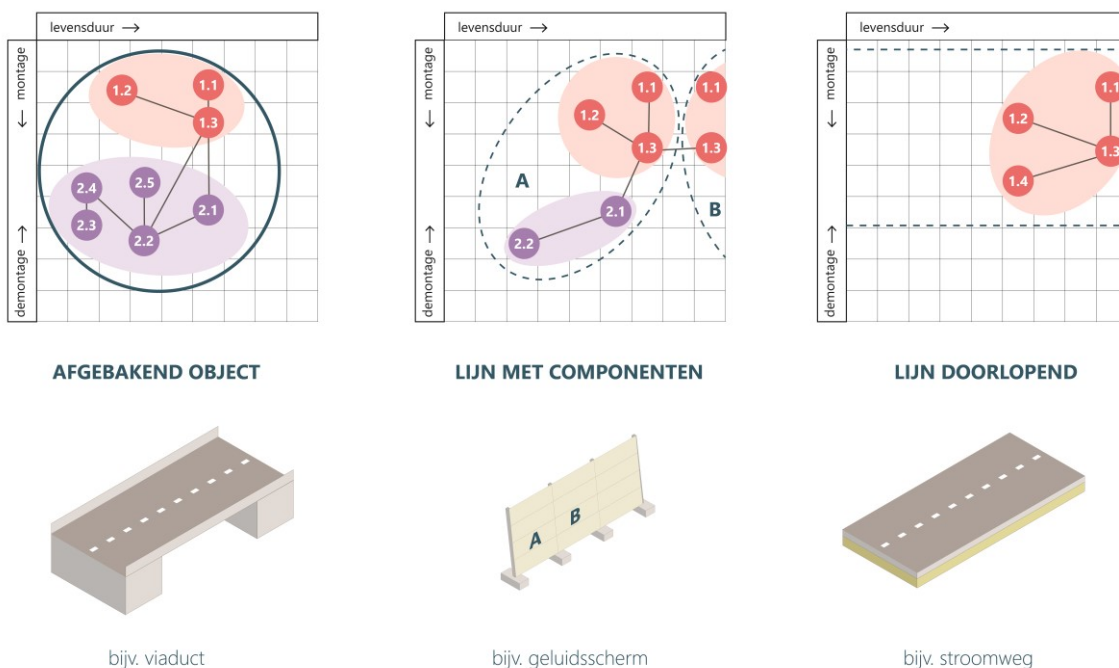
Lijnobject uit componenten

- 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 één 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.

Afbeelding 4.3 Classificering van objecten op basis van relatieschema-canvas en clustering



Voorbeeld stap 2: geluidsscherm

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

- wat is de afstandsindicatie waarover de losmaakbaarheid van het object wordt berekend?
 - voor de berekening wordt ter simplificatie aangenomen dat er tien geluidsschermen aaneengesloten zijn, met één vluchtdoor en één 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.

3.A Aanwezige producten noteren

Aan de hand van de details die beschikbaar zijn, 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 dient te worden aangegeven wat de gemiddelde levensduur is en hoe vaak dit product voorkomt in het ontwerp.

3.B Clustering van producten specificeren

In de tabel met producten kunnen clusters van producten aangegeven worden die samen één element vormen. Vanuit deze clustering is het interessant om te kijken naar het verschil in levensduur tussen clusters die aan elkaar verbonden zijn en tussen de producten die een cluster (=element) opmaken. Indien deze verschillende levensduren hebben, wordt losmaakbaarheid een nog relevanter aspect om als ontwerper mee te nemen.

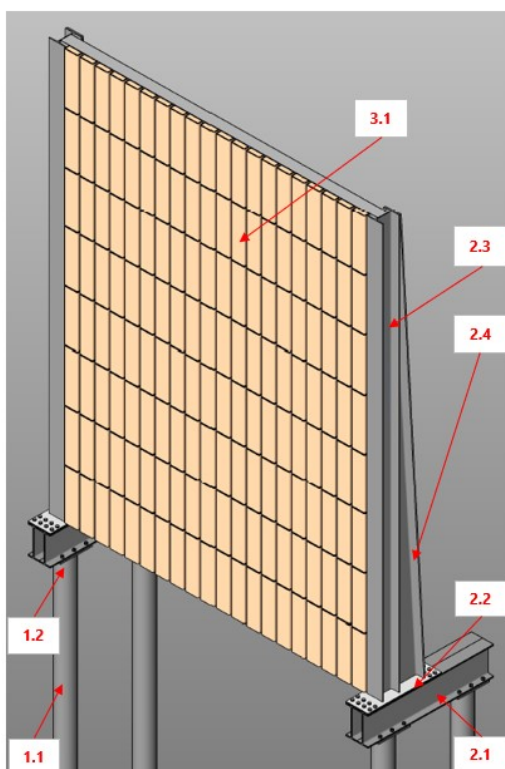
Voorbeeld stappen 3.A-B: geluidsscherm

Voor de voorbeelduitwerking is geen detailtekening maar een 3D-schets beschikbaar. Hierop zijn de verschillende producten genoteerd. Tabel 4.5 toont de verschillende producten met productidentificatienummers (ID) en welke producten samen één element vormen; afbeelding 4.4 toont de 3D-weergave met daarin de product-ID.

Tabel 4.4 Overzicht producten en elementen aanwezig in een geluidsscherf

Elem.ID	Element	Prod.ID	Product	Levensduur [jaar]	Aantal keer
1.	fundering	1.1	stalen buispaal	50	26
1.	fundering	1.2	kopplaat	50	26
2.	stijl	2.1	kokerprofiel	50	13
2.	stijl	2.2	voetplaat	50	26
2.	stijl	2.3	HEA-kolom	50	13
2.	stijl	2.4	T-profiel	50	13
3.	panelen	3.1	panelen	50	80
4.	vluchtdeur	4.1	betonpoer	50	1
4.	vluchtdeur	4.2	stalen frame incl. vluchtdeur	50	1
5.	coulisse	5.1	coulisse	50	1

Afbeelding 4.4 Genummerde producten in een geluidsscherf. Niet afgebeeld: producten 4.1, 4.2, 5.1



3.C Verbindingen tussen producten noteren

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 in kolom A of B wordt geplaatst.

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 3.C: geluidsschermb

Voor het geluidsschermb is de totale opsomming van producten en verbindingen in tabel 4.6 weergegeven.

Tabel 4.5 Overzicht producten en verbindingen aanwezig in een geluidsschermb

Elem. ID	Element	Prod.ID (A)	Product (A)	Levens-duur (prod. A)	Prod. ID (B)	Product (B)	Levens-duur (prod. B)	Verbinding
1.	fundering	1.1	stalen buispaal	50	nvt	grond	∞	los
1.	fundering	1.2	kopplaat	50	1.1	stalen buispaal	50	lassen
2.	stijl	2.1	kokerprofiel	50	1.2	kopplaat	50	bouten, moeren
2.	stijl	2.2	voetplaat	50	2.1	kokerprofiel	50	bouten, moeren
2.	stijl	2.3	HEA-kolom	50	2.2	voetplaat	50	lassen
2.	stijl	2.4	T-profiel	50	2.2	voetplaat	50	lassen
2.	stijl	2.4	T-profiel	50	2.3	HEA-kolom	50	lassen
3.	panelen	3.1	panelen	50	2.3	HEA-kolom	50	los
3.	panelen	3.1	panelen	50	3.1	panelen	50	los
4.	vluchtdeur	4.1	betonpoer	50	2.2	voetplaat	50	los
4.	vluchtdeur	4.2	stalen frame inclusief vluchtdeur	50	4.1	betonpoer	50	boutankers
5.	Coulisse	5.1	coulisse	50	2.3	HEA-kolom	50	bouten, moeren

3.D [Optioneel] Relatieschema-canvas invullen

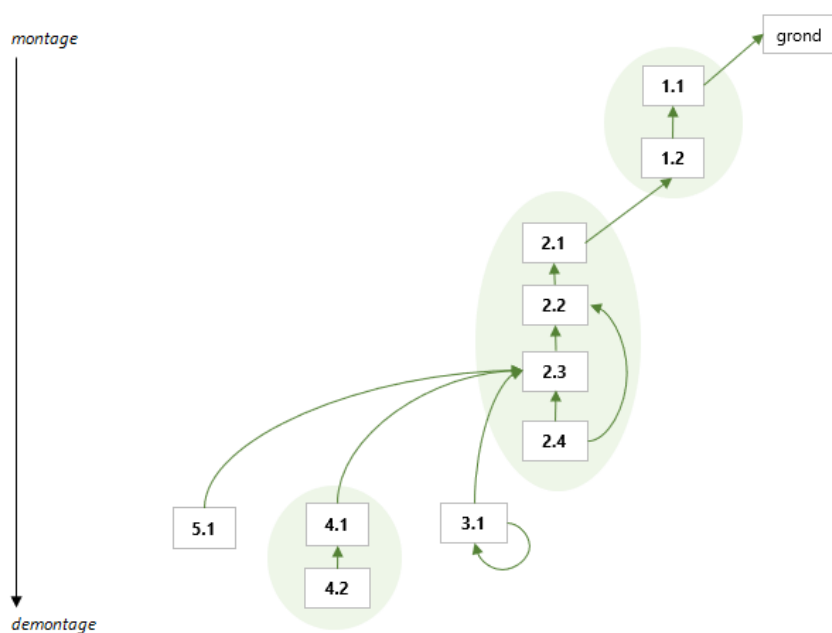
De producten, inclusief de verbindingen daartussen, worden in het relatieschema-canvas ingevuld. Hierbij wordt de bouwvolgorde (montage, bovenaan canvas) gehanteerd en dienen de producten ingedeeld te worden aan de hand van gemiddelde levensduur. Omgekeerd (van onderaf) geeft dit schema de demontagevolgorde aan.

Het gebruik van het relatieschema-canvas is optioneel bij het toepassen van de beoordelingsmethode. Het relatieschema-canvas kan helpen om de complexiteit en integraliteit van producten inzichtelijk te maken. Daarnaast kan het voor een ontwerper ook gebruikt worden om ontwerpverbeteringen door te voeren (bijvoorbeeld: kunnen de producten en bijbehorende verbindingen minder complex worden ontworpen?). De clustering van producten tot elementen kan daarnaast de losmaakbaarheid op elementniveau inzichtelijk maken (mits gewenst voor de ontwerper). Deze clustering kan in het relatieschema inzichtelijk gemaakt worden. Het relatieschema-canvas is bedoeld als visueel hulpmiddel voor de gebruiker en hoeft dus alleen ingevuld te worden als de gebruiker dat wenst.

Voorbeeld stap 3.D: geluidsschermb

Het relatieschema-canvas voor het geluidsschermb is in afbeelding 4.5 opgenomen. De groene ovals geven de clustering van elementen weer. In deze weergave is ervoor gekozen om de indeling naar levensduur los te laten aangezien alle producten dezelfde levensduur hebben. De pijl die bij product 3.1 naar zichzelf verwijst, heeft betrekking op de panelen die onderling verbonden zijn.

Afbeelding 4.5 Relatieschema-canvas voor een geluidsscherm



4. Scores aan factoren toekennen

Per onderdeel (product en verbinding, zoals uitgewerkt in stap 3.C) 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 paragraaf 4.1 en 4.2).

Voorbeeld stap 4: geluidsscherm

Ter illustratie toont tabel 4.7 voor één onderdeel de uitwerking voor alle factoren. Tabel 4.8 toont vervolgens per onderdeel de losmaakbaarheidsindex van de connectie, de samenstelling en het onderdeel. Voor een uitgebreide uitwerking wordt verwezen naar bijlage I.

Tabel 4.6 Voorbeeld score per factor voor de HEA-kolom verbonden met de voetplaat

Product (A)	Product (B)	TV	ToV	RO	DK
2.3 HEA-kolom	2.2 voetplaat	las- verbinding	toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten	geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten uit verschillende lagen
		0,1	0,8	0,1	1,0

Tabel 4.7 Losmaakbaarheidsindex per onderdeel voor een geluidsscherm

Elem. ID	Element	Prod.ID (A)	Product (A)	Prod.ID (B)	Product (B)	Llc	Lls	Llo
1.	fundering	1.1	stalen buispaal	nvt	grond	0,889	1,000	0,941

1.	fundering	1.2	kopplaat	1.1	stalen buispaal	0,178	0,182	0,180
2.	stijl	2.1	kokerprofiel	1.2	kopplaat	0,800	1,000	0,889
2.	stijl	2.2	voetplaat	2.1	kokerprofiel	0,800	1,000	0,889
2.	stijl	2.3	HEA-kolom	2.2	voetplaat	0,178	0,182	0,180
2.	stijl	2.4	T-profiel	2.2	voetplaat	0,178	0,182	0,180
2.	stijl	2.4	T-profiel	2.3	HEA-kolom	0,182	0,182	0,182
3.	panelen	3.1	panelen	2.3	HEA-kolom	1,000	1,000	1,000
3.	panelen	3.1	panelen	3.1	panelen	0,889	1,000	0,941
4.	vluchtdeur	4.1	betonpoer	2.2	voetplaat	0,889	1,000	0,941
4.	vluchtdeur	4.2	stalen frame inclusief vluchtdeur	4.1	betonpoer	0,800	1,000	0,889
5.	coulisse	5.1	coulisse	2.3	HEA-kolom	0,800	1,000	0,889

5. Randvoorwaarden bepalen

Er zijn vragen opgesteld aan de gebruiker van de beoordelingsmethode om na bepaling van de losmaakbaarheidsindex ook bepaalde randvoorwaarden in acht te nemen. Deze zijn per randvoorwaarde in paragraaf 4.2 toegelicht.

Conclusie stappenplan

De losmaakbaarheidsindex inclusief de randvoorwaarden geven inzicht in de mate van losmaakbaarheid van het product of onderdeel van het GWW-object. Met de losmaakbaarheidsindex kan bepaald worden welke (cruciale) onderdelen er laag scoren en waar binnen de definitie van losmaakbaarheid aandachtspunten zijn voor het ontwerpproces en -optimalisaties.

DISCUSSIE EN VERVOLG

De beoordelingsmethode losmaakbaarheid in de GWW is een versie 1.0. Dit betekent dat er op basis van deze versie, in de toekomst leer- en verbeterpunten doorgevoerd moeten worden. Hiervoor zijn enkele discussiepunten en vervolgstappen geformuleerd.

De beoordelingsmethode is toegepast op diverse casussen met reactie en input van experts van Witteveen+Bos. Daarnaast is de methode op 24 november 2022 gepresenteerd tijdens een kennissessie voor de sector. De volgende GWW-objecten zijn gebruikt als casus voor het toepassen van de beoordelingsmethode:

- geluidsscherm;
- ophaalbrug;
- klinkerweg;
- spoor;
- het circulaire viaduct;
- (traditioneel) viaduct;
- sluis;
- tunnel;
- asfaltweg;
- riolering.

De casussen van de objecten 'geluidsscherm', 'ophaalbrug', 'klinkerweg' en 'spoor' zijn opgenomen in bijlage I van dit rapport.

Voor de doorontwikkeling en aanscherping van de methodiek wordt aanbevolen deze in de praktijk toe te gaan passen, en de opgedane inzichten te verzamelen, analyseren en waar relevant in de methode te verwerken. Een aantal zaken die in ieder al nu al zijn gesignaleerd om nader te onderzoeken zijn:

- de ervaringen van ontwerpers met de beoordelingsmethode verzamelen en evalueren:
 - het ophalen van leerervaringen en (eventuele) omissies in de methodiek door gebruik van de beoordelingsmethode versie 1.0;
 - het eventueel opzetten van een objectenbibliotheek om resultaten uit te wisselen;
 - inzicht in de bandbreedte van losmaakbaarheid (wanneer is het 'goed genoeg') in de GWW;
- praktische vs theoretische losmaakbaarheid: uit gesprekken met onder andere NEBEST kwam naar voren dat in de praktijk andere factoren meespelen in het hergebruik van onderdelen. Belangrijk aandachtspunt hierbij is het verschil tussen losmaakbaarheid en oogstbaarheid (zie paragraaf 2.2). Factoren die mogelijk in de praktijk voor losmaakbaarheid relevant zijn:
 - beschikbare demontagetechniek;
 - bereikbaarheid locatie;
 - gewicht, afmeting en/of materiaaltype van de producten.

Hoewel deze factoren meer ingaan op de praktische toepassing en er in dit onderzoek expliciet is afgebakend op de theoretische losmaakbaarheid (zie paragraaf 4.1), is het wel belangrijk om ze nader te beschouwen met behulp van ervaringen uit de praktijk. Uiteindelijk is het wel van belang dat de beoordelingsmethode daadwerkelijk tot circulaire meerwaarde leidt;

- hieraan gelieerd is de vraag of 'tijd' of 'moeite' (energie) als ontwerpvariabele een rol zou moeten spelen in de beoordelingsmethode. Afwegingen die met demontagetijd rekening houden, kunnen leiden tot andere ontwerpbesluiten;
- belangrijk om lessen uit de 'as built'-situatie ophalen. Op deze manier kan de theoretisch bepaalde losmaakbaarheid aan de voorkant, worden vergeleken met hoe het ontwerp daadwerkelijk gerealiseerd is;
- wanneer is een onderdeel voldoende losmaakbaar? Sommige onderdelen hebben een lage losmaakbaarheidsindex. Dit komt bijvoorbeeld doordat het gestort of gestapeld in de grond is gebouwd. Er is nu nog onvoldoende data beschikbaar om conclusies te trekken over wanneer een losmaakbaarheidsindex 'goed genoeg' is. Dit kan ook verschillen per objectklasse (afgebakend, lijnobject met componenten of doorlopend lijnobject). Dit dient verder uitgezocht te worden;
- mogelijk kan een normalisatiefactor voor de beoordelingsmethode worden uitgewerkt om tot één losmaakbaarheidsindex per product, element en object te komen. Hiermee wordt uniformiteit van de beoordelingsmethode geborgd (bijvoorbeeld voor later gebruik in aanbestedingseisen). Er is nader onderzoek nodig welke normalisatiefactor geschikt is, wat de effecten zijn op de eindscore en hoe een normalisatiefactor voor de GWW gebruikt dient te worden. Bij het hanteren van een éénpunts-score voor een object zal het altijd van belang blijven om ook de losmaakbaarheidsscores van de verschillende producten te blijven rapporteren ter inzicht;
- de randvoorwaarden kunnen nader worden onderzocht en mogelijk gekwantificeerd. Ook kunnen additionele randvoorwaarden worden toegevoegd. Het zou bijvoorbeeld in het kader van hergebruik nuttig kunnen zijn om in de tabel waarin de producten worden genoteerd (stap 3.A uit de beoordelingsmethode), ook te noteren wat voor deze producten de beperkende factor is voor de levensduur (zoals vermoeiing of afroesting). Daarnaast is het ook relevant om te onderzoeken hoe de randvoorwaarden in aanbestedingseisen meegenomen dienen te worden;
- implementatie van de losmaakbaarheidsindex in andere toepassingsgebieden (paragraaf 3.1), bijvoorbeeld hoe het kan worden opgenomen in materiaalpaspoorten van GWW-werken of hoe losmaakbaarheid geëist kan worden in aanbestedingen;
- de beoordelingsmethode dient aan te sluiten bij parallel-lopende initiatieven zoals opname in Het Nieuwe Normaal Infra en gebruik in Platform CB'23 Actieteam Toekomstig Hergebruik (zie paragraaf 1.3). Hierdoor wordt meer draagvlak gecreëerd en landt het beter in de praktijk. Binnen HNN Infra is deze beoordelingsmethode voor losmaakbaarheid al opgenomen;
- deze rapportage en bijbehorende tool (of volgende versie) kunnen naar het Engels worden vertaald t.b.v. bijvoorbeeld een Europese normcommissie Circulair Bouwen. De beoordelingsmethode van losmaakbaarheid in de B&U is ook al in het Engels beschikbaar.

Bijlage(n)



BIJLAGE: UITWERKING VOORBEELDCASUSSEN

Deze bijlage toont voor een aantal objecten de uitwerking van de losmaakbaarheidsindex in de Exceltool. Het betreft:

- geluidsscherm;
- ophaalbrug;
- spoor;
- klinkerweg.

Voor ieder object zijn ook een aantal inzichten n.a.v. de uitwerking opgesomd. De objecten worden stuk voor stuk toegelicht.

Algemene inzichten

- in de GWW komen veel gestorte verbindingen voor. Dit krijgt in de huidige opzet van de beoordelingsmethode een dubbele lage score: zowel in het type verbinding als in de randopsluiting. Tegelijkertijd kunnen dergelijke verbindingen in de praktijk worden doorgezaagd en kunnen onderdelen op die manier alsnog worden hergebruikt (link naar oogstbaarheid, zie sectie 2.2). Het zou dus kunnen worden heroverwogen op wat voor manier een dergelijke verbinding scoort. Dit komt ook terug in de discussie, sectie 5.1;
- bij de bepaling van de LI is het waardevol om samen met de ontwerper of demontagepartij na te gaan hoe het object daadwerkelijk uit elkaar wordt gehaald bij vervanging/einde levensduur (hoe ziet de omgekeerde bouwvolgorde er daadwerkelijk uit), ter check.

Geluidsscherp

De uitwerking in de Exceltool is te zien in de hierna volgende pagina's. Een aantal inzichten na het uitwerken van de losmaakbaarheidsindex van de onderdelen in het geluidsscherp is:

- het is belangrijk om het gekozen abstractieniveau scherp te hebben, ook als de detailtekening of ontwerpbeschrijving hiervan afwijkt. In de beschrijving van het ontwerp worden de boutankers die in de betonpoer zijn gestort, expliciet genoemd als zijnde een apart product, terwijl dit verbindingselementen zijn. De losmaakbaarheidsindex wordt op productniveau bepaald, dus deze boutankers vallen buiten beschouwing;
- bij de panelen geldt dat er losse verbindingen zijn, maar dat deze wel op elkaar gestapeld zijn. De factor randopsluiting scoort in dat geval positief, aangezien het allemaal losse verbindingen die naar boven toe open zijn;
- om de verbinding tussen componenten explicieter te berekenen zou de factor 'tussencomponent' kunnen worden toegevoegd aan de beoordelingsmethode.

Input sheet

In te vullen door ontwerper

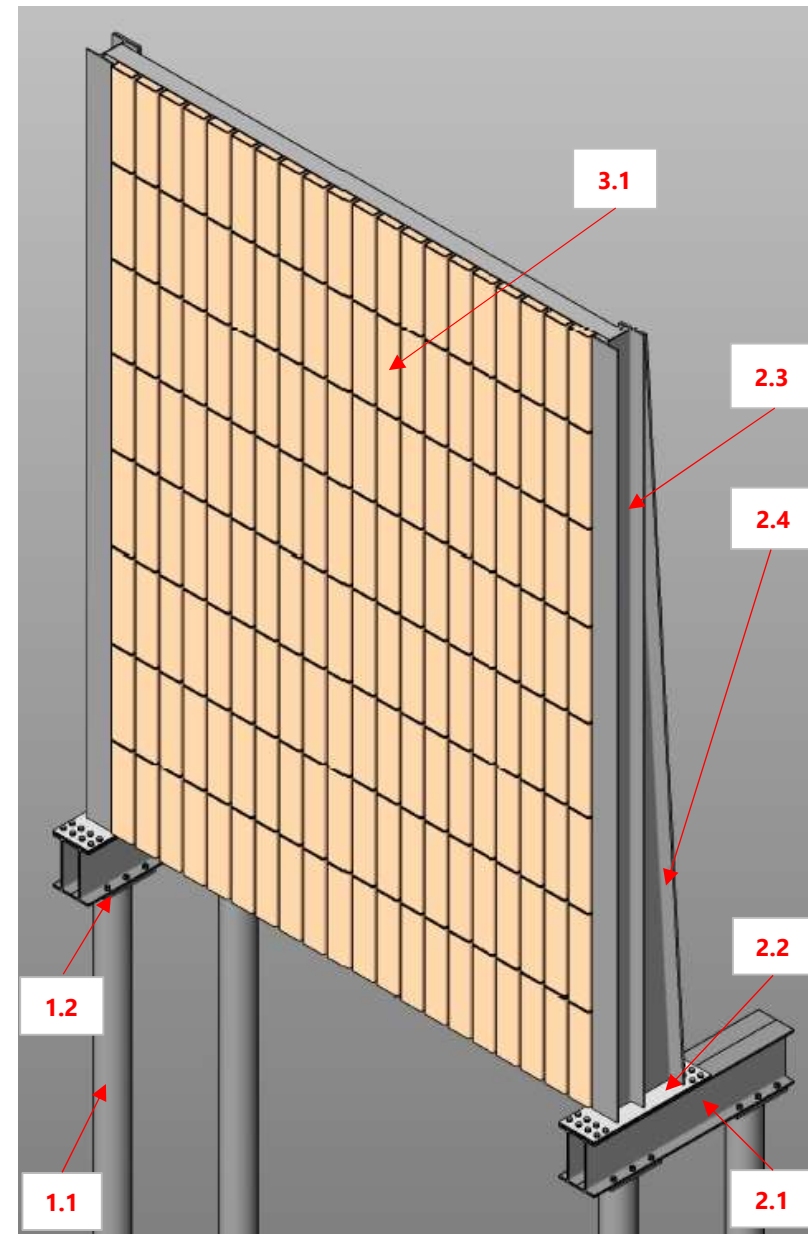
Versie: Concept 02
Datum: 24-nov-22

Naam:	MJPEG geluidsschermen
Object:	Geluidsscherm
Classificering:	Lijnobject met componenten
Ontwerpvariant	1B

Tabel 1: Aanwezige elementen en producten

[illegible]

Detailtekening(en)



niet afgebeeld op detailtekening:

4.1

4.2

5.1

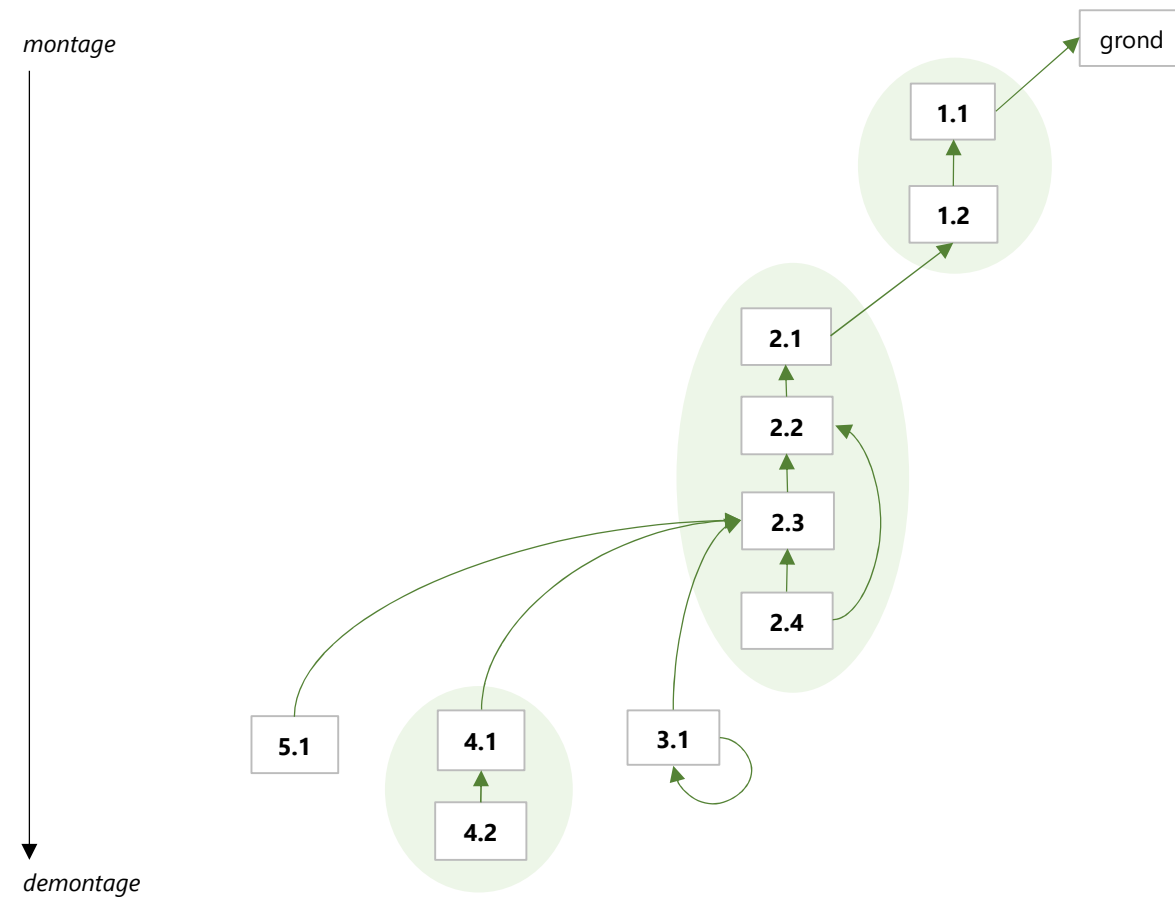
Levensduur check aan?

nee

Tabel 2: Overzicht producten en verbindingen

[illegible]

Relatieschemacanvas: Producten en verbindingen



Reken sheet

In deze sheet worden de vier factoren voor iedere verbinding tussen twee producten gescoord.
De rij waarin de gebruiker actief is licht geel op ter visuele ondersteuning.
Let op! Als je later in tabel 2 (tabblad 'input sheet') een rij tussendoor invoegt, bewegen de rijen in tabel 3 hieronder niet automatisch mee!

- Bij de berekening zijn volgende **uitgangspunten** van belang:
1. De losmaakbaarheid wordt voor iedere verbinding tussen twee producten berekend, waar geldt dat: product A is verbonden met product B, volgens de omgekeerde bouwvolgorde. Wat dit betekent voor de scoring per factor is in tabblad 'Factoren' toegelicht;
 2. De randopsluiting en doorkruisingen hebben dan betrekking op product A.

Tabel 3: Overzicht factoren per product en verbinding

Rij ID	Elem.ID	Element	Product...		... is verbonden met...		Hoe verbonden?	Opmerking	Type verbinding	Sub-categorie	Score	Toegankelijkheid verbinding		Score	Randopsluiting		Score	Doorkruisingen		Score	LI connectie	LI samenstelling	LI product
			Prod.ID	Product (A)	Prod.ID	Product (B)																	
1	1.	Fundering	1.1	Stalen buispaal	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941			
2	1.	Fundering	1.2	Kopplaat	1.1	Stalen buispaal	Lassen		Harde chemische verbinding	Lasverbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180			
3	2.	Stijl	2.1	Kokerprofiel	1.2	Kopplaat	Bouten, moeren		Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889			
4	2.	Stijl	2.2	Voetplaat	2.1	Kokerprofiel	Bouten, moeren		Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889			
5	2.	Stijl	2.3	HEA kolom	2.2	Voetplaat	Lassen		Harde chemische verbinding	Lasverbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180			
6	2.	Stijl	2.4	T-profiel	2.2	Voetplaat	Lassen		Harde chemische verbinding	Lasverbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180			
7	2.	Stijl	2.4	T-profiel	2.3	HEA kolom	Lassen		Harde chemische verbinding	Lasverbinding	0,1	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,182	0,182	0,182			
8	3.	Panelen	3.1	Panelen	2.3	HEA kolom	Los	Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	1,000	1,000	1,000				
9	3.	Panelen	3.1	Panelen	3.1	Panelen	Los	Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941				
10	4.	Vluchtdeur	4.1	Betonpoer	2.2	Voetplaat	Los	Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941				
11	4.	Vluchtdeur	4.2	Stalen frame incl. vlucht	4.1	Betonpoer	Boutankers	Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889				
12	5.	Coulisse	5.1	Coulisse	2.3	HEA kolom	Bouten, moeren	Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889				

Resultaten

Tabel 4 toont een samenvattend overzicht van de aanwezige producten in het ontwerp en de losmaakbaarheidsscore voor de connectie (verbinding tussen product A en product B), de samenstelling (product A) en het onderdeel (product A en de verbinding naar product B) geldt.

Een LI van 1,00 is het best mogelijke, een LI van 0,00 het slechtst.

De kolom met de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel geeft een kleurenschaal aan van hoog tot laag. Dit zijn relatieve kleurschalen.

Bij een lage LI is het van belang om na te gaan:

- Hoe vaak komt dit onderdeel voor? Indien dit heel weinig is, is het minder relevant dat het goed losmaakbaar is;
- Hebben product A en product B een afwijkende levensduur? In dat geval is het extra relevant dat het goed losmaakbaar is;
- Is de LI van de connectie heel hoog en de LI van de samenstelling laag? Dan is het extra van belang om naar het ontwerp van product A te kijken, en behoeft de verbinding naar product B minder aandacht. Andersom geldt dit uiteraard hetzelfde.

Tabel 4: Overzicht losmaakbaarheidsindex per product en verbinding

Elem. ID	Element	Prod. ID (A)	Product (A)	Levensduur product (A)	Prod. ID (B)	Product (B)	Levensduur product (B)	Aantal keer	LI connectie	LI samenstelling	LI onderdeel
1.	Fundering	1.1	Stalen buispaal	50	nvt	Grond	∞	26	0,889	1,000	0,941
1.	Fundering	1.2	Kopplaat	50	1.1	Stalen buispaal	50	26	0,178	0,182	0,180
2.	Stijl	2.1	Kokerprofiel	50	1.2	Kopplaat	50	13	0,800	1,000	0,889
2.	Stijl	2.2	Voetplaat	50	2.1	Kokerprofiel	50	26	0,800	1,000	0,889
2.	Stijl	2.3	HEA kolom	50	2.2	Voetplaat	50	13	0,178	0,182	0,180
2.	Stijl	2.4	T-profiel	50	2.2	Voetplaat	50	13	0,178	0,182	0,180
2.	Stijl	2.4	T-profiel	50	2.3	HEA kolom	50	13	0,182	0,182	0,182
3.	Panelen	3.1	Panelen	50	2.3	HEA kolom	50	80	1,000	1,000	1,000
3.	Panelen	3.1	Panelen	50	3.1	Panelen	50	80	0,889	1,000	0,941
4.	Vluchtdeur	4.1	Betonpoer	50	2.2	Voetplaat	50	1	0,889	1,000	0,941
4.	Vluchtdeur	4.2	Stalen frame incl. vluchtc	50	4.1	Betonpoer	50	1	0,800	1,000	0,889
5.	Coulisse	5.1	Coulisse	50	2.3	HEA kolom	50	1	0,800	1,000	0,889

Ophaalbrug

De uitwerking in de Exceltool is te zien in de hierna volgende pagina's. Een aantal inzichten na het uitwerken van de losmaakbaarheidsindex van de onderdelen in de ophaalbrug is:

- hoewel de brug volgens de principes van IFD is ontworpen, zijn er toch een aantal lage scores op losmaakbaarheid. Dit komt door monolieten onderdelen (uit constructieve veiligheid) en het hebben van een asfalt deklaag. Zolang hier geen alternatieven voor zijn, zal dit terug blijven komen in GWW-bouwwerken;
- de overgangen naar het omliggende netwerk scoren goed: hier is over nagedacht door het toepassen van losmaakbare voegovergangen;
- het feit dat de brug IFD ontworpen is, zou nog duidelijker in de LI scores naar voren kunnen komen door levensduur van de producten als wegingsfactor mee te nemen in de beoordeling; dan wegen bijv. de vastgestorte funderingselementen minder zwaar mee;
- remming- en geleidewerken zijn nu geen onderdeel van de analyse, terwijl deze wel een cruciaal onderdeel van een brug zijn.

Input sheet

In te vullen door ontwerper

Versie: Concept
Datum: 29-nov-22

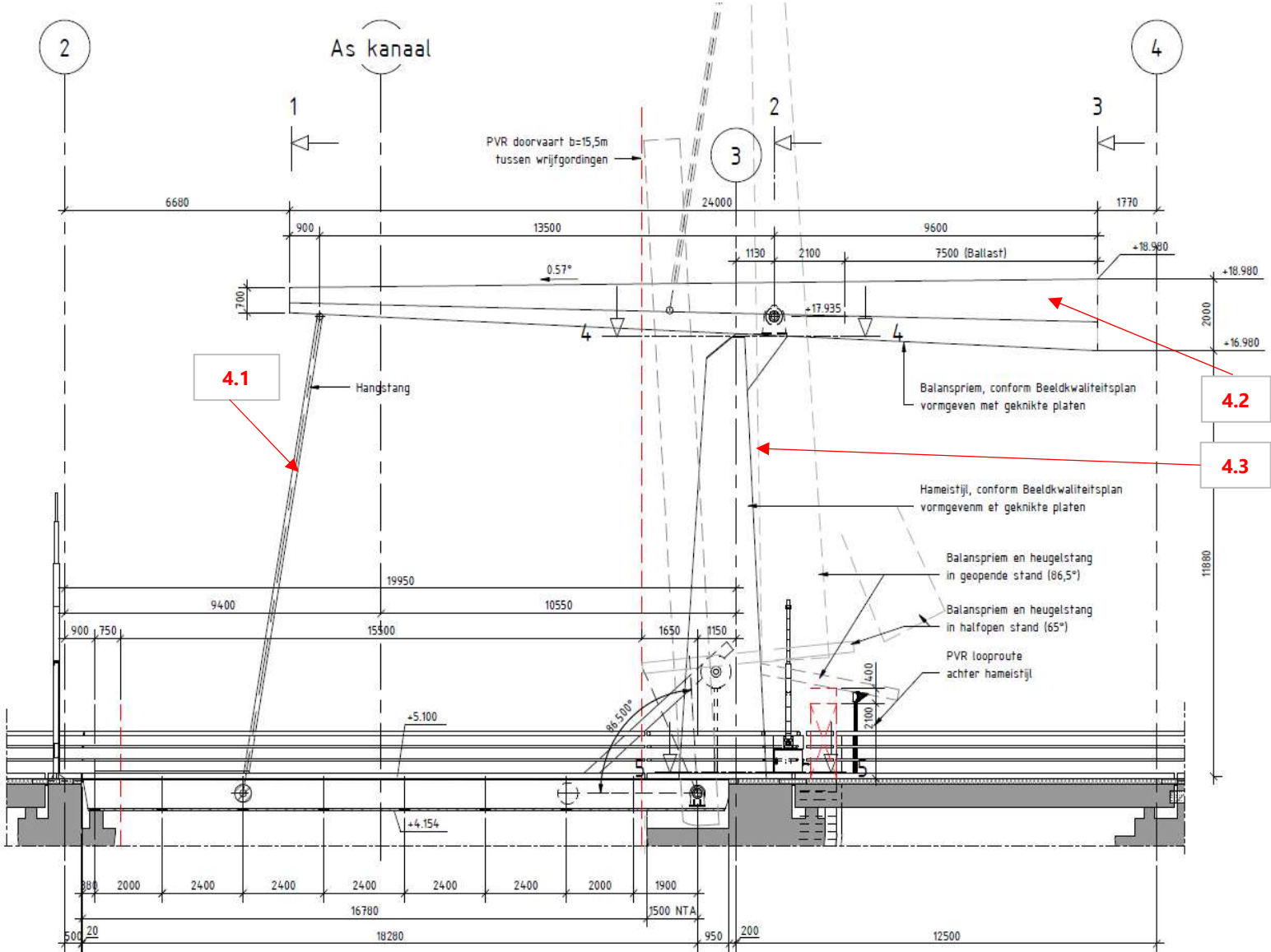
Naam: Ophaalbrug
Object: Beweegbare brug
Classificering: Afgebakend object
Ontwerpvariant: nvt

Tabel 1: Aanwezige elementen en producten

Elem.ID	Element	Prod.ID	Product	Levensduur [jaar]	Aantal keer
1.	Fundering	1.1	Funderingspalen	100	
1.	Fundering	1.2	Damwanden	100	
1.	Fundering	1.3	Gording	100	
1.	Fundering	1.4	Landhoofd	100	
1.	Fundering	1.5	Oplegpijler	100	
1.	Fundering	1.6	Kelderpijler	100	
1.	Fundering	1.7	Vleugelwand	100	
2.	Stootplaat	2.1	Zand	100	
2.	Stootplaat	2.2	Zandcement	100	
2.	Stootplaat	2.3	Stootplaat	50	
3.	Brugdek	3.1	Dek aanbrug (beton ligger)	100	
3.	Brugdek	3.2	Stalen brugdek	100	
3.	Brugdek	3.3	Asfalt deklaag	14	
3.	Brugdek	3.4	Schambeton	50	
4.	Bovenbouw	4.1	Hangstang	40	
4.	Bovenbouw	4.2	Balanspriem	40	
4.	Bovenbouw	4.3	Hameistijl	40	
5.	Trappen	5.1	Betonnen trap	100	
6.	Overig toebehorer	6.1	Geleiderails	40	
6.	Overig toebehorer	6.2	Verlichting en stoplichten	30	
6.	Overig toebehorer	6.3	Slagbomen	30	
6.	Overig toebehorer	6.4	Mantelbuis voor bekabeling	75	
6.	Overig toebehorer	6.5	Kabels	25	

Detailtekening(en)

Bovenbouw, zij-aanzicht:



niet afgebeeld op detailtekening:

- 1.7
- 5.1
- 6.5
- 3.4
- 6.4

Reken sheet

In deze sheet worden de vier factoren voor iedere verbinding tussen twee producten gescoord.
De rij waarin de gebruiker actief is licht geel op ter visuele ondersteuning.
Let op! Als je later in tabel 2 (tabblad 'Input sheet') een rij tussendoor invoegt, bewegen de rijen in tabel 3 hieronder niet automatisch mee!

- Bij de berekening zijn drie **uitgangspunten** van belang:
- De losmaakbaarheid wordt voor iedere verbinding tussen twee producten berekend, waar geldt dat: product A is verbonden met product B, volgens de omgekeerde bouwvolgorde. Wat dit betekent voor de scoring per factor is in tabblad 'Factoren' toegelicht;
 - De randopsluiting en doorkruisingen hebben dan betrekking op product A.

Tabel 3: Overzicht factoren per product en verbinding

Rij ID	Elem.ID	Element	Product... Prod.ID Product (A)	Product... Prod.ID Product (B)	... is verbonden met...	Hoe verbonden?	Opmerking	Type verbinding	Sub-categorie	Score	Toegankelijkheid verbinding	Score	Randopsluiting	Score	Doorkruisingen	Score	LI connectie	LI samenstelling	LI product
1	1.	Fundering	1.1	Funderingspalen	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
2	1.	Fundering	1.2	Damwanden	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
3	1.	Fundering	1.4	Landhoofd	1.1	Funderingspalen	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180
4	1.	Fundering	1.5	Oplegpijler	1.1	Funderingspalen	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180
5	1.	Fundering	1.6	Kelderpijler	1.1	Funderingspalen	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180
6	1.	Fundering	1.7	Vleugelwand	1.4	Landhoofd	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,178	0,182	0,180
7	1.	Fundering	1.3	Gording	1.2	Damwanden	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889
8	2.	Stootplaat	2.1	Zand	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
9	2.	Stootplaat	2.2	Zandcement	2.1	Zand	Hard chemisch		Harde chemische verbinding	0,1	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,100	0,182	0,129
10	2.	Stootplaat	2.3	Stootplaat	2.2	Zandcement	Hard chemisch		Harde chemische verbinding	0,1	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,100	0,182	0,129
11			nvt	Grond	2.3	Stootplaat	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
12	3.	Brugdek	3.1	Dek aanbrug (beton ligt	1.4	Landhoofd	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
13	3.	Brugdek	3.1	Dek aanbrug (beton ligt	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	1,0	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	1,000	1,000	1,000
14	3.	Brugdek	3.2	Stalen brugdek	1.5	Oplegpijler	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
15	3.	Brugdek	3.2	Stalen brugdek	1.6	Kelderpijler	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889
16	3.	Brugdek	3.3	Asfalt deklaag	3.1	Dek aanbrug (beton ligt	Hard chemisch		Harde chemische verbinding	0,1	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,100	0,182	0,129
17	3.	Brugdek	3.3	Asfalt deklaag	3.2	Stalen brugdek	Hard chemisch		Harde chemische verbinding	0,1	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,100	0,182	0,129
18	3.	Brugdek	3.4	Schambeton	3.3	Asfalt deklaag	Hard chemisch		Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,160	0,182	0,170
19	4.	Bovenbouw	4.1	Hangstang	3.2	Stalen brugdek	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
20	4.	Bovenbouw	4.2	Balanspriem	4.1	Hangstang	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
21	4.	Bovenbouw	4.3	Hameistijl	4.2	Balanspriem	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
22	4.	Bovenbouw	4.3	Hameistijl	3.2	Stalen brugdek	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
23	5.	Trappen	5.1	Betonnen trap	1.6	Kelderpijler	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,182	0,182	0,182
24	6.	Overig toebehoren	6.1	Geleiderails	3.3	Asfalt deklaag	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
25	6.	Overig toebehoren	6.2	Verlichting en stoplicht	3.3	Asfalt deklaag	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
26	6.	Overig toebehoren	6.3	Slagbomen	3.3	Asfalt deklaag	Verbinding met toegevoegde elementen		Verbinding met toegevoegde elementen	0,8	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
27	6.	Overig toebehoren	6.4	Mantelbuis voor bekabe	3.1	Dek aanbrug (beton ligt	Vastgestort		Harde chemische verbinding	0,1	Niet toegankelijk – onherstelbare schade aan het product of omliggende producten	0,1	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Volledige integratie van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,100	0,182	0,129
28	6.	Overig toebehoren	6.5	Kabels	6.4	Mantelbuis voor bekabe	Los		Droge verbinding	1,0	Toegankelijk met extra handelingen met volledig herstelbare schade	0,6	Overlapping, gedeeltelijke belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,4	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	0,1	0,750	0,160	0,264

Resultaten

Tabel 4 toont een samenvattend overzicht van de aanwezige producten in het ontwerp en de losmaakbaarheidsscore voor de connectie (verbinding tussen product A en product B), de samenstelling (product A) en het onderdeel (product A en de verbinding naar product B) geldt.

Een LI van 1,00 is het best mogelijke, een LI van 0,00 het slechtst.

De kolom met de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel geeft een kleurenschaal aan van hoog tot laag. Dit zijn relatieve kleurschalen.

Bij een lage LI is het van belang om na te gaan:

- Hoe vaak komt dit onderdeel voor? Indien dit heel weinig is, is het minder relevant dat het goed losmaakbaar is;
- Hebben product A en product B een afwijkende levensduur? In dat geval is het extra relevant dat het goed losmaakbaar is;
- Is de LI van de connectie heel hoog en de LI van de samenstelling laag? Dan is het extra van belang om naar het ontwerp van product A te kijken, en behoeft de verbinding naar product B minder aandacht. Andersom geldt dit uiteraard hetzelfde.

Tabel 4: Overzicht losmaakbaarheidsindex per product en verbinding

		Product...		... is verbonden met...							
		Levensduur		Levensduur							
Elem.ID	Element	Prod.ID	Product (A)	product (A)	Prod.ID	Product (B)	product (B)	Aantal keer	LI connectie	LI samenstelling	LI onderdeel
1.	Fundering	1.1	Funderingspalen	100	nvt	Grond	∞		0,889	1,000	0,941
1.	Fundering	1.2	Damwanden	100	nvt	Grond	∞		0,889	1,000	0,941
1.	Fundering	1.4	Landhoofd	100	1.1	Funderingspalen	100		0,178	0,182	0,180
1.	Fundering	1.5	Oplegpijler	100	1.1	Funderingspalen	100		0,178	0,182	0,180
1.	Fundering	1.6	Kelderpijler	100	1.1	Funderingspalen	100		0,178	0,182	0,180
1.	Fundering	1.7	Vleugelwand	100	1.4	Landhoofd	100		0,178	0,182	0,180
1.	Fundering	1.3	Gording	100	1.2	Damwanden	100		0,800	1,000	0,889
2.	Stootplaat	2.1	Zand	100	nvt	Grond	∞		0,889	1,000	0,941
2.	Stootplaat	2.2	Zandcement	100	2.1	Zand	100		0,100	0,182	0,129
2.	Stootplaat	2.3	Stootplaat	50	2.2	Zandcement	100		0,100	0,182	0,129
		nvt	Grond		2.3	Stootplaat	50		0,889	1,000	0,941
3.	Brugdek	3.1	Dek aanbrug (beton ligg	100	1.4	Landhoofd	100		0,889	1,000	0,941
3.	Brugdek	3.1	Dek aanbrug (beton ligg	100	nvt	Grond	∞		1,000	1,000	1,000
3.	Brugdek	3.2	Stalen brugdek	100	1.5	Oplegpijler	100		0,889	1,000	0,941
3.	Brugdek	3.2	Stalen brugdek	100	1.6	Kelderpijler	100		0,800	1,000	0,889
3.	Brugdek	3.3	Asfalt deklaag	14	3.1	Dek aanbrug (beton ligg	100		0,100	0,182	0,129
3.	Brugdek	3.3	Asfalt deklaag	14	3.2	Stalen brugdek	100		0,100	0,182	0,129
3.	Brugdek	3.4	Schampbeton	50	3.3	Asfalt deklaag	14		0,160	0,182	0,170
4.	Bovenbouw	4.1	Hangstang	40	3.2	Stalen brugdek	100		0,889	1,000	0,941
4.	Bovenbouw	4.2	Balanspriem	40	4.1	Hangstang	40		0,889	1,000	0,941
4.	Bovenbouw	4.3	Hameistijl	40	4.2	Balanspriem	40		0,889	1,000	0,941
4.	Bovenbouw	4.3	Hameistijl	40	3.2	Stalen brugdek	100		0,889	1,000	0,941
5.	Trappen	5.1	Betonnen trap	100	1.6	Kelderpijler	100		0,182	0,182	0,182
6.	Overig toebehoren	6.1	Geleiderails	40	3.3	Asfalt deklaag	14		0,889	1,000	0,941
6.	Overig toebehoren	6.2	Verlichting en stoplic	30	3.3	Asfalt deklaag	14		0,889	1,000	0,941
6.	Overig toebehoren	6.3	Slagbomen	30	3.3	Asfalt deklaag	14		0,889	1,000	0,941
6.	Overig toebehoren	6.4	Mantelbuis voor bekabel	75	3.1	Dek aanbrug (beton ligg	100		0,100	0,182	0,129
6.	Overig toebehoren	6.5	Kabels	25	6.4	Mantelbuis voor bekabel	75		0,750	0,160	0,264

Spoor

De uitwerking in de Exceltool is te zien in de hierna volgende pagina's. Een aantal inzichten na het uitwerken van de losmaakbaarheidsindex van de onderdelen in het spoor zijn:

- de LI scoort (zeer) goed, enkel de rails scoren slecht op de connectie vanwege de lasverbinding.

Input sheet

In te vullen door ontwerper

Versie:

Datum:

Naam:

Object:

Classificering:

Ontwerpvariant

Spoor

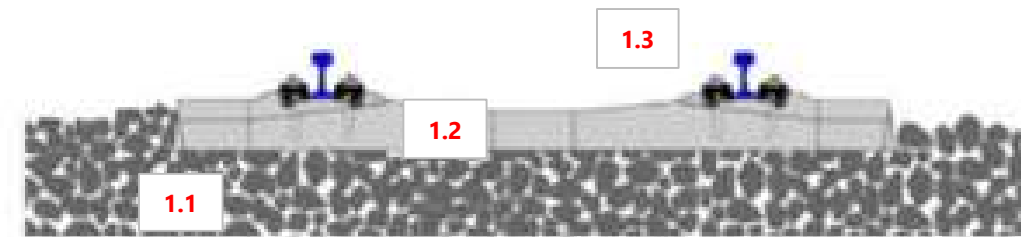
Spoorrails

Lijnobject doorlopend

Tabel 1: Aanwezige elementen en producten

Elem.ID	Element	Prod.ID	Product	Levensduur [jaar]	Aantal keer
1.	Ballaststpoor	1.1	Ballastlaag	50	1
1.	Ballaststpoor	1.2	Dwarsligger	50	1
1.	Ballaststpoor	1.3	Rails	50	1

Detailtekening(en)



Levensduur check aan?

ja

Tabel 2: Overzicht producten en verbindingen

[illegible]

Reken sheet

In deze sheet worden de vier factoren voor iedere verbinding tussen twee producten gescoord.
De rij waarin de gebruiker actief is licht geel op ter visuele ondersteuning.
Let op! Als je later in tabel 2 (tabblad 'input sheet') een rij tussendoor invoegt, bewegen de rijen in tabel 3 hieronder niet automatisch mee!

- Bij de berekening zijn volgende **uitgangspunten** van belang:
- 1. De losmaakbaarheid wordt voor iedere verbinding tussen twee producten berekend, waar geldt dat: product A is verbonden met product B, volgens de omgekeerde bouwvolgorde. Wat dit betekent voor de scoring per factor is in tabblad 'Factoren' toegelicht;
 - 2. De randopsluiting en doorkruisingen hebben dan betrekking op product A.

Tabel 3: Overzicht factoren per product en verbinding

Rij ID	Elem.ID	Element	Product...		... is verbonden met...		Hoe verbonden?	Opmerking	Type verbinding	Sub-categorie	Score	Toegankelijkheid verbinding		Score	Randopsluiting	Score	Doorkruisingen	Score	LI connectie	LI samenstelling	LI product
			Prod.ID	Product (A)	Prod.ID	Product (B)						Score	Score								
1	1.	Ballastspoor	1.1	Ballastlaag	nvt	Grond	los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941	
2	1.	Ballastspoor	1.2	Dwarsligger	1.1	Ballastlaag	los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941	
3	1.	Ballastspoor	1.3	Rails	1.2	Dwarsligger	bout en moer		Verbinding met toegevoegde elementen	Bout- en moerverbinding	0,8	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,800	1,000	0,889	
4	1.	Ballastspoor	1.3	Rails	1.3	Rails	gelast		Harde chemische verbinding	Lasverbinding	0,1	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,182	1,000	0,308	

Resultaten

Tabel 4 toont een samenvattend overzicht van de aanwezige producten in het ontwerp en de losmaakbaarheidsscore voor de connectie (verbinding tussen product A en product B), de samenstelling (product A) en het onderdeel (product A en de verbinding naar product B) geldt.
Een LI van 1,00 is het best mogelijke, een LI van 0,00 het slechtst.
De kolom met de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel geeft een kleurenschaal aan van hoog tot laag. Dit zijn relatieve kleurschalen.

- Bij een lage LI is het van belang om na te gaan:
- Hoe vaak komt dit onderdeel voor? Indien dit heel weinig is, is het minder relevant dat het goed losmaakbaar is;
 - Hebben product A en product B een afwijkende levensduur? In dat geval is het extra relevant dat het goed losmaakbaar is;
 - Is de LI van de connectie heel hoog en de LI van de samenstelling laag? Dan is het extra van belang om naar het ontwerp van product A te kijken, en heeft de verbinding naar product B minder aandacht. Andersom geldt dit uiteraard hetzelfde.

Tabel 4: Overzicht losmaakbaarheidsindex per product en verbinding

		Product...		... is verbonden met...									
Elem.ID	Element	Prod.ID	Product (A)	Levensduur Product (A)	Prod.ID	Product (B)	Levensduur Product (A)	Aantal keer	LI connectie	LI samenstelling	LI onderdeel		
1.	Ballaststpoor	1.1	Ballastlaag	50	nvt	Grond	∞		0,889	1,000	0,941		
1.	Ballaststpoor	1.2	Dwarsligger	50	1.1	Ballastlaag	50		0,889	1,000			
1.	Ballaststpoor	1.3	Rails	50	1.2	Dwarsligger	50		0,800	1,000	0,889		
1.	Ballaststpoor	1.3	Rails	50	1.3	Rails	50		0,182	1,000	0,308		

Klinkerweg

De uitwerking in de Exceltool is te zien in de hierna volgende pagina's. Een aantal inzichten na het uitwerken van de losmaakbaarheidsindex van de onderdelen in de klinkerweg zijn:

- mogelijk interessant om later nog type materiaal te analyseren: bijvoorbeeld of het menggranulaat gebonden of ongebonden is, heeft invloed op hoe makkelijk het weg te halen is. Gebonden menggranulaat is moeilijker te verwijderen en moet stuk voor stuk worden opgebroken;
- ook de dikte van de materiaallagen speelt hierin een rol, in hoe lang het duurt/hoe lastig het is om het product weg te halen (procesmatige factor);
- LI is afhankelijk van welk stuk van de weg wordt bekeken - ligt het riool bijvoorbeeld aan de rand van de weg of in het midden, dit heeft invloed op de werkzaamheden en functiebehoud.

Input sheet

In te vullen door ontwerper

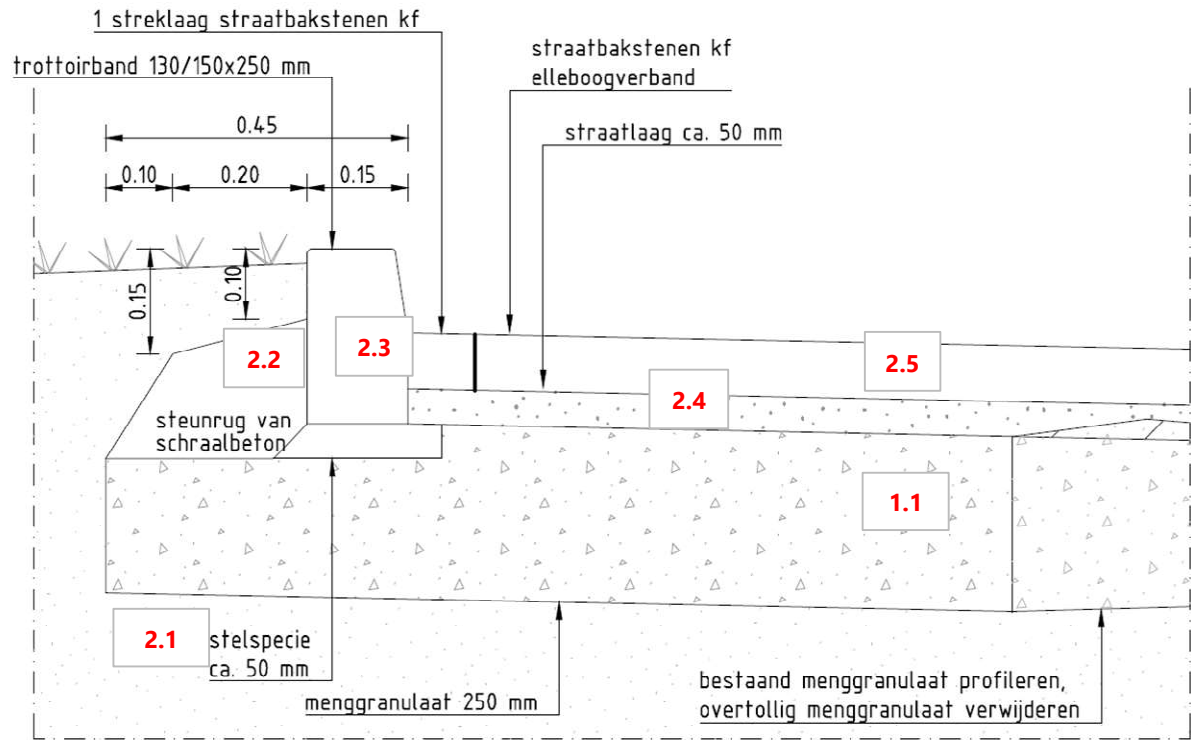
Versie: Concept
Datum: 29-nov-22

Naam: nvt
Object: Klinkerweg
Classificering: Lijnobject doorlopend
Ontwerpvariant nvt

Tabel 1: Aanwezige elementen en producten

Elem.ID	Element	Prod.ID	Product	Levensduur [jaar]	Aantal keer
1.	Fundering	1.1	Menggranulaat	100	
2.	Straat	2.1	Stelspecie	100	
2.	Straat	2.2	Steunrug	50	
2.	Straat	2.3	Trottoirband	50	
2.	Straat	2.4	Straatlaag	100	
2.	Straat	2.5	Straatbakstenen	25	

Detailtekening(en)

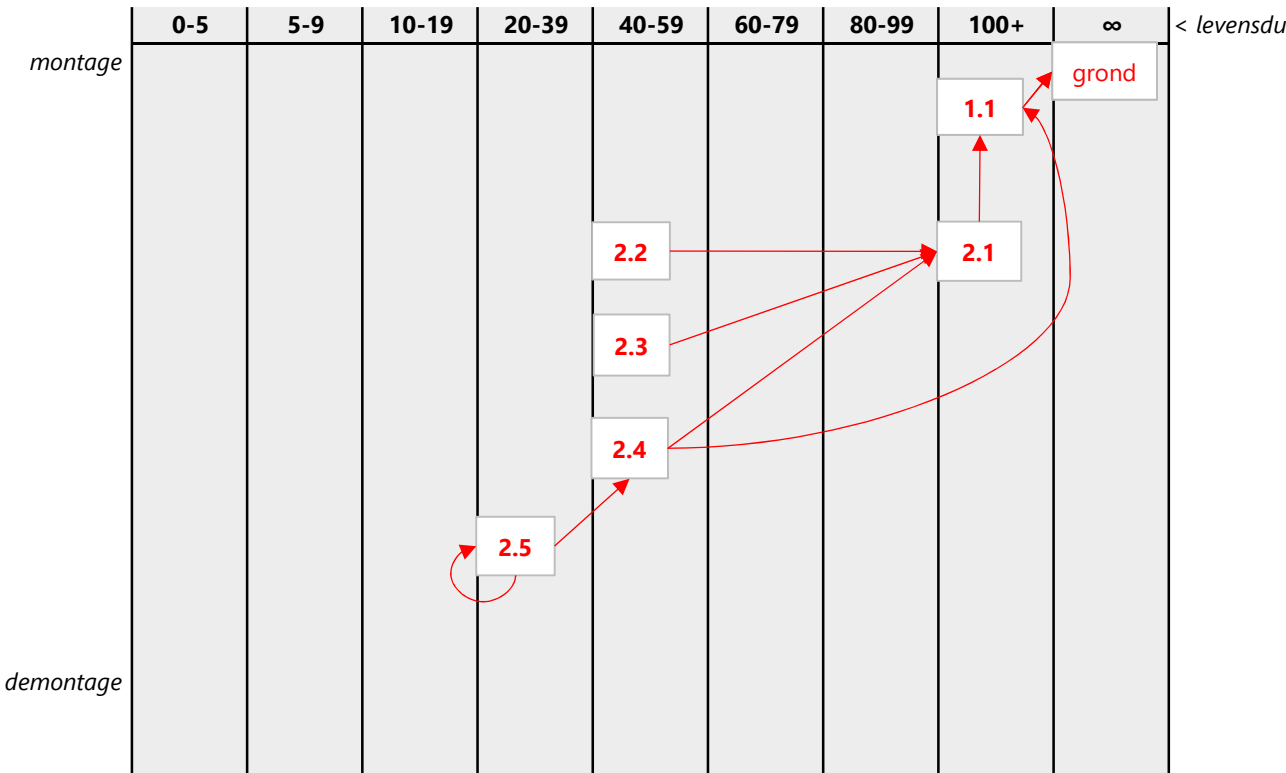


ja

Tabel 2: Overzicht producten en verbindingen

[illegible]

Relatieschemacanvas: Producten en verbindingen



Reken sheet

In deze sheet worden de vier factoren voor iedere verbinding tussen twee producten gescoord.
De rij waarin de gebruiker actief is licht geel op ter visuele ondersteuning.
Let op! Als je later in tabel 2 (tabblad 'Input sheet') een rij tussendoor invoegt, bewegen de rijen in tabel 3 hieronder niet automatisch mee!

- Bij de berekening zijn volgende **uitgangspunten** van belang:
1. De losmaakbaarheid wordt voor iedere verbinding tussen twee producten berekend, waar geldt dat: product A is verbonden met product B, volgens de omgekeerde bouwvolgorde. Wat dit betekent voor de scoring per factor is in tabblad 'Factoren' toegelicht;
 2. De randopsluiting en doorkruisingen hebben dan betrekking op product A.

Tabel 3: Overzicht factoren per product en verbinding

Rij ID	Elem.ID	Element	Product...		... is verbonden met...		Hoe verbonden?	Opmerking	Type verbinding	Sub-categorie	Score	Toegankelijkheid verbinding	Score	Randopsluiting	Score	Doorkruisingen	Score	LI connectie	LI samenstelling	LI product
1	1.	Fundering	1.1	Menggranulaat	nvt	Grond	Los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
2	2.	Straat	2.1	Stelspecie	1.1	Menggranulaat	Hard chemische verbinding		Harde chemische verbinding	Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,160	0,182	0,170
3	2.	Straat	2.2	Steunrug	2.1	Stelspecie	Hard chemische verbinding		Harde chemische verbinding	Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,160	0,182	0,170
4	2.	Straat	2.3	Trottoirband	2.1	Stelspecie	Hard chemische verbinding		Harde chemische verbinding	Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,160	0,182	0,170
5	2.	Straat	2.4	Straatlaag	2.1	Stelspecie	Hard chemische verbinding		Harde chemische verbinding	Harde chemische verbinding	0,1	Toegankelijk met extra handelingen met gedeeltelijk herstelbare schade	0,4	Gesloten, volledige belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	0,1	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,160	0,182	0,170
6	2.	Straat	2.4	Straatlaag	1.1	Menggranulaat	Los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
7	2.	Straat	2.5	Straatbakstenen	2.4	Straatlaag	Los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Toegankelijk met extra handelingen die geen schade veroorzaken	0,8	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	0,889	1,000	0,941
8	2.	Straat	2.5	Straatbakstenen	2.5	Straatbakstenen	Los		Droge verbinding	Los (geen bevestigingsmateriaal)	1,0	Vrij toegankelijk zonder extra handelingen	1,0	Open, geen belemmering voor het (tussentijds) uitnemen van producten of elementen.	1,0	Geen doorkruisingen - modulaire zonering van producten of elementen uit verschillende lagen.	1,0	1,000	1,000	1,000

Resultaten

Tabel 4 toont een samenvattend overzicht van de aanwezige producten in het ontwerp en de losmaakbaarheidsscore voor de connectie (verbinding tussen product A en product B), de samenstelling (product A) en het onderdeel (product A en de verbinding naar product B) geldt.
Een LI van 1,00 is het best mogelijke, een LI van 0,00 het slechtst.
De kolom met de losmaakbaarheidsindex van het onderdeel geeft een kleurenschaal aan van hoog tot laag. Dit zijn relatieve kleurschalen.

- Bij een lage LI is het van belang om na te gaan:
- Hoe vaak komt dit onderdeel voor? Indien dit heel weinig is, is het minder relevant dat het goed losmaakbaar is;
 - Hebben product A en product B een afwijkende levensduur? In dat geval is het extra relevant dat het goed losmaakbaar is;
 - Is de LI van de connectie heel hoog en de LI van de samenstelling laag? Dan is het extra van belang om naar het ontwerp van product A te kijken, en behoeft de verbinding naar product B minder aandacht. Andersom geldt dit uiteraard hetzelfde.

Tabel 4: Overzicht losmaakbaarheidsindex per product en verbinding

		Product...			... is verbonden met...						
				Levensduur			Levensduur				
Elem.ID	Element	Prod.ID	Product (A)	product (A)	Prod.ID	Product (B)	product (B)	Aantal keer	LI connectie	LI samenstelling	LI onderdeel
1.	Fundering	1.1	Menggranulaat	100	nvt	Grond	∞	0	0,889	1,000	0,941
2.	Straat	2.1	Stelspecie	100	1.1	Menggranulaat	100	0	0,160	0,182	0,170
2.	Straat	2.2	Steunrug	50	2.1	Stelspecie	100	0	0,160	0,182	0,170
2.	Straat	2.3	Trottoirband	50	2.1	Stelspecie	100	0	0,160	0,182	0,170
2.	Straat	2.4	Straatlaag	100	2.1	Stelspecie	100	0	0,160	0,182	0,170
2.	Straat	2.4	Straatlaag	100	1.1	Menggranulaat	100	0	0,889	1,000	0,941
2.	Straat	2.5	Straatbakstenen	25	2.4	Straatlaag	100	0	0,889	1,000	0,941
2.	Straat	2.5	Straatbakstenen	25	2.5	Straatbakstenen	25	0	1,000	1,000	1,000



BIJLAGE: BEGELEIDINGSTEAM EN GESPROKEN EXPERTS

Speciale dank gaat uit naar Mike van Vliet (Alba Concepts) voor zijn bijdrage aan dit onderzoek vanuit zijn kennis van losmaakbaarheid in de B&U.

Ook grote dank aan het begeleidingsteam dat gedurende het onderzoek input heeft geleverd op de ontwikkeling van de beoordelingsmethode, bestaande uit:

- Tom Jansen (VolkerWessels Infra);
- Bernard Smit (Dura Vermeer);
- Menno Rubbens (Cepezed, lid transitieteam Circulaire Bouweconomie);
- Wouter de Vries (Witteveen+Bos);
- Pieter Beurskens (Van Wijnen).
- Jan Jaap Blüm (Alba Concepts);
- Marieke Plegt (RWS PPO);
- Bas Bongaerts (RWS PPO);
- Esther Heijink (RWS WVL, transitiebureau Circulaire Bouweconomie);
- Claartje Vorstman (RWS WVL, transitiebureau Circulaire Bouweconomie);

Verdere dank gaat uit naar Wouter van den Berg en collega's van NEBEST, die een review hebben uitgevoerd op de conceptbeoordelingsmethode voor inzichten uit, en betere aansluiting met, de ervaringen uit de praktijk (SBIR-programma).

Ten slotte is er voor het uitwerken van de casussen contact geweest met experts vanuit Witteveen+Bos, met dank aan:

- Jaap-Willem Boersma: algemeen losmaakbaarheid, geluidsscherm;
- Stephanie Lamerichs: algemeen losmaakbaarheid, brug;
- Gerwin Schut: brug;
- Julian Bodar: asfaltweg;
- Mike van den Noord: sluis;
- Bert Jongstra: spoor;
- Wouter de Vries: ophaalbrug;
- Wouter Lubberman: tunnel;
- Marnix Coldromp: klinkerweg.

Buiten de scope van dit project liep er vanuit Rijkswaterstaat het project Circulaire Brug (Jan Dirk van Duijvenbode, documentnummer: 60220965-O-001). De conceptmethode van losmaakbaarheid is vroegtijdig gedeeld voor toepassing in dit project.

