




Onderzoek hergebruikpotentie

Stalen bruggen

Rijkswaterstaat

10 februari 2023

Project	Onderzoek hergebruikpotentie
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat
Document	Stalen bruggen
Status	Definitief
Datum	10 februari 2023
Referentie	129722/23-002.682
Projectcode	129722
Projectleider	Ir. R. Dijcker
Projectdirecteur	Ir. A.C. de Wit
Auteur(s)	Ir. C.J.F. Hulsebosch, F. Huinink MSc, ir. S.H.L. Lamerichs
Gecontroleerd door	Ir. R. Dijcker
Goedgekeurd door	Ir. R. Dijcker
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 veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	5
1	INLEIDING	7
1.1	Aanleiding	7
1.2	Doel van het onderzoek	7
1.3	Scope en definitie stalen bruggen	8
	1.3.1 Definitie object stalen brug	8
	1.3.2 Scope van hergebruik	9
1.4	Aanleiding keuze stalen bruggen	9
1.5	Aanpak	10
1.6	Leeswijzer	10
2	HERGEBRUIKPOTENTIE STALEN BRUGGEN	11
2.1	Vrijkomende stalen bruggen tot en met 2030	11
	2.1.1 Aantal vrijkomende bruggen	11
	2.1.2 Afmeting van vrijkomende bruggen	12
	2.1.3 Totale schatting vrijkomende bruggen	12
2.2	Hergebruikpotentie: technisch	14
	2.2.1 Inleiding	14
	2.2.2 Hergebruik in het verleden	15
	2.2.3 Type hergebruik	16
	2.2.4 Geschikte nieuwe locatie voor brug	17
	2.2.5 Restlevensduur	19
	2.2.6 Reviseren of versterken van de brug	20
	2.2.7 Verwijderen van oude conservering	21
	2.2.8 Conserveren van het staal	22
	2.2.9 Verplaatsen van de brug	22
	2.2.10 Wet- en regelgeving	23
2.3	Hergebruikpotentie: klimaat- en milieuwinst	23
	2.3.1 Omschrijving activiteiten conventioneel- en hergebruikproces	24
	2.3.2 MKI per levensfase	24
	2.3.3 Milieu-impact hergebruik en sloop-nieuwbouw	28
	2.3.4 Besparing in primaire grondstoffen	29
2.4	Hergebruikpotentie: kosten en baten	29

3	HANDELINGSPERSPECTIEF	32
3.1	Hergebruikproces	32
	3.1.1 Conventionele levensloop stalen bruggen	32
	3.1.2 Proces bij hergebruik	32
3.2	Inzicht in ketenpartners	33
3.3	Barrières en oplossingsrichtingen	36
3.4	Impact op organisatie RWS	38
3.5	Fase markttransformatie	39
3.6	Organisatiemodellen	40
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	42
4.1	Conclusies	42
	4.1.1 Technische hergebruikpotentie	42
	4.1.2 Klimaat- en milieuwinst bij hergebruik	43
	4.1.3 Kosten en baten van hergebruik	43
4.2	Aanbevelingen	44
	Laatste pagina	44
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Bronnenlijst	1
II	Overzicht uitgangspunten milieu-impact berekeningen	2

SAMENVATTING

Rijkswaterstaat heeft de ambitie om in 2030 circulair te werken. Inzet op hergebruik is daar een belangrijk onderdeel van. De hergebruikpotentie van een objecttype is afhankelijk van onder meer de technische eigenschappen, de potentiële milieuwinst en de financiële haalbaarheid. Voor de rol van Rijkswaterstaat is onder meer de fase van markttransformatie en het bijpassende organisatiemodel van belang.

De hergebruikpotentie van stalen bruggen is beperkt. Naar verwachting komen er 20 stalen brug(delen) vrij uit vervangingsprojecten in de periode tot 2030. De vraag naar stalen bruggen in dezelfde periode is onbekend, veel stalen bruggen worden vervangen door betonnen bruggen.

Technisch zijn stalen bruggen beperkt geschikt voor hergebruik. De potentie wordt momenteel voornamelijk beperkt door veelvoorkomende vermoeiingsproblematiek vanuit bruggen die hun einde levensduur naderen/gepasseerd zijn. Bovendien is door gebrek aan data en kennis lastig de vermoeiingsschade te bepalen en restlevensduur aan te tonen. Hergebruik in het hoofdwegennet is vanwege de hoge vermoeiingsbelasting waarschijnlijk lastig waardoor hergebruik op lager niveau met lagere vermoeiingsbelasting aantrekkelijker is. Door de grote afmeting van de meeste stalen bruggen zijn er beperkingen tijdens transport en is matching en inpassing op een nieuwe locatie een uitdaging. Belangrijke aspecten om verder rekening mee te houden bij hergebruik zijn matching en ontbreken van algemene richtlijn en normering waardoor de hergebruikpotentie in de praktijk lastig te bepalen is.

De potentiële milieuwinst bij hergebruik van stalen bruggen is redelijk groot. Voor de periode tot 2030 is de bovengrens van potentiële milieuwinst bij hoogwaardig hergebruik van stalen bruggen EUR 4,8 miljoen MKI en @@ ton CO₂ en de potentiële materiaalbesparing is circa 24 kton staal. Deze winst is vooral het gevolg van het voorkomen van zowel de productie van nieuw staal als het bouwproces van de nieuwe brug. Deze milieuwinst geldt in het geval dat alle 20 brugdelen één op één worden hergebruikt, dit is echter niet aannemelijk. Door het beperkte aantal objecten (stalen bruggen) is de impact per object vrij groot. Het is daarom zeker de moeite waard om hergebruik van stalen bruggen te onderzoeken. De ondergrens, waarbij hergebruik niet plaatsvindt, is EUR 0 MKI. Waarschijnlijker is dat losse elementen van een stalen brug hergebruikt in andere (constructieve) toepassingen, als ligger/kolommen in gebouwen of iets dergelijks.

De financiële haalbaarheid van hergebruik van stalen bruggen is momenteel beperkt. Enerzijds ontstaan er bijkomende kosten door risico's en onzekerheid rondom hergebruik. Anderzijds zijn er opbrengsten als gevolg van besparing in de aanschaf van een nieuwe brug. De opbrengsten zijn naar verwachting in veel projecten vergelijkbaar met of lager dan de kosten die aan de risico's worden gekoppeld. Met de huidige materiaal- en arbeidsprijzen (2022) is daarmee momenteel nog geen aantrekkelijke financiële businesscase voor hergebruik. Echter zal bij lagere risico's, stijgende grondstofprijzen en/of stijgende prijzen voor milieubelasting hergebruik steeds aantrekkelijker worden.

De huidige keten van stalen bruggen is sloop en nieuwbouw. Bruggen die aan vervanging toe zijn worden gesloopt en het staal omgesmolten. Deze keten is dus op materiaalniveau (staal) al circulair, maar op objectniveau (stalen brug) niet.

Vanuit het markttransformatiemodel bevindt de markt zich voor hergebruik van stalen bruggen in fase 1. Dit betekent dat er door de markt wordt gewerkt aan een gezamenlijke erkenning van het probleem (te weinig hergebruik). Om volgende stappen te zetten naar meer hergebruik is het van belang om risico's voor opdrachtnemers te beperken (onder andere opstellen norm en regelgeving, betere samenwerking en risicodeling met opdrachtnemers), ervaring en kennis op te doen (onderzoek, pilots of kleine projecten als katalysator) en financiële aantrekkelijkheid t.o.v. nieuwbouw te vergroten (uitstoot beprijzen). Om dit te faciliteren kan het huidige organisatiemodel 'Rijkswaterstaat organiseert' in stand blijven omdat een sturende rol van RWS cruciaal is in bovengenoemde punten.

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

In de afgelopen eeuw is de wereldwijde vraag naar grondstoffen explosief gestegen. De verwachting is dat de vraag naar grondstoffen in de komende decennia verder toeneemt, door een groeiende wereldbevolking en toenemende consumptie. Dit gaat gepaard met een forse impact op het milieu. Hierdoor wordt het steeds belangrijker om het gebruik van (niet hernieuwbare) grondstoffen zoveel mogelijk terug te dringen en om de beschikbare grondstoffen zo efficiënt en hoogwaardig mogelijk te (her)gebruiken en uitstoot van broeikasgassen terug te dringen.

In september 2016 heeft het Rijk hiertoe het Rijks-brede programma Circulaire Economie (CE) gelanceerd. Hierin wordt het perspectief op een toekomstbestendige, duurzame economie en een leefbare aarde voor toekomstige generaties geschetst. De ambitie van het kabinet is om samen met maatschappelijke partners in 2030 een (tussen)doelstelling te realiseren van 50 % minder gebruik van primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) en om in 2050 100 % hernieuwbare (gerecyclede en biobased) materialen toe te passen.

Rijkswaterstaat (hierna RWS) heeft zelf de doelstelling om in 2030 volledig circulair te werken. In 2017 is daarom het 'Impulsprogramma Circulaire Economie' gestart, dat tot en met eind 2021 loopt, om de kennis te ontwikkelen waarmee handen en voeten gegeven kan worden aan 'circulair werken in 2030'. Om de opgedane kennis ook daadwerkelijk te implementeren in de organisatie, is eind 2019 de strategie 'Naar klimaatneutrale en circulaire Rijksinfrastructuurprojecten'(KCI) vastgesteld door het ministerie van IenW, in samenwerking met RWS en ProRail. Deze strategie, die gericht is op het behalen van meetbare doelen, moet ertoe leiden dat in 2030 alle processen en werkwijzen zo zijn ingericht dat circulair wordt gewerkt, dat deze klimaatneutraal zijn en een reductie van 50 % minder primaire grondstoffen is behaald. Hergebruik van vrijkomende objecten en onderdelen wordt als een van de belangrijkste mogelijkheden gezien om de doelstellingen op korte termijn te realiseren. Rijkswaterstaat wil nadrukkelijk inzetten op hergebruik en hiervoor een organisatie brede hergebruikstrategie ontwikkelen. Als input voor deze strategie is de hergebruikpotentie bepaald voor zeven objecttypen, te weten betonnen prefab liggers, geleiderails, vaste stalen bruggen, stootplaten, oeverconstructies (damwanden), portalen en installaties. Deze rapportage beschrijft de resultaten van het onderzoek naar de hergebruikpotentie van stalen bruggen.

1.2 Doel van het onderzoek

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de hergebruikpotentie van stalen bruggen die vrijkomen in de periode 2022 - 2030. Doel van dit rapport is om inzicht te krijgen in de hergebruikpotentie: een schatting van het aantal stalen bruggen dat vrijkomt en de potentiële milieuwinst die met hergebruik te halen valt. Daarnaast worden praktische en financiële aspecten van het hergebruik onderzocht. Tot slot wordt het handelingsperspectief bekeken door het hergebruikproces, eventuele barrières en oplossingsrichtingen en consequenties te beschouwen. Uiteindelijk worden op basis van het bovenstaande conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

Dit rapport is onderdeel van het onderzoek 'strategie hergebruik' waarin in totaal 7 objecten worden onderzocht. Door het onderzoek wordt inzicht verkregen in de hergebruikpotentie van de verschillende objecten. Op basis van het verkregen inzicht kan RWS een onderbouwde strategie opstellen voor het hoogwaardig hergebruik met focus op de objecten met hoge potentie van hergebruik.

Om het onderzoek 'strategie hergebruik' te structureren zijn door RWS per object de volgende vragen uitgezet:

- hoeveel van het object komt op jaarbasis gemiddeld vrij, uitgaande van MIRT, VenR, en B&O opgave, met daarbij een gevoeligheidsanalyse van de betrouwbaarheid van de aangeleverde data. Dit wordt behandeld in paragraaf 2.1;
- wat gebeurt er momenteel met de vrijkomende onderdelen/objecten gebeurt in de keten. Dit wordt behandeld in paragraaf 3.1;
- wat is de potentie van hergebruik, inclusief scan behoefte/potentiële afnemers/markt, met daarbij de belangrijkste stappen/maatregelen die nodig zijn om hergebruik mogelijk te maken. De hergebruikpotentie (technische, klimaat- en milieuaspect en kosten & baten) worden behandeld in hoofdstuk 2. De belangrijkste stappen in het hergebruikproces staan beschreven in paragraaf 3.1.2. De te nemen maatregelen worden toegelicht in de aanbevelingen in paragraaf 4.2;
- uitwerken milieu en klimaatwinst en vermeden grondstoffen verbruik bij hoogwaardig hergebruik vs. nieuw en recycling. Deze vergelijking wordt gemaakt in paragraaf 2.3;
- uitwerken gemiddelde kosten en baten hoogwaardig hergebruik vs. nieuw en recycling. Deze vergelijking wordt gemaakt in paragraaf 2.4;
- wet- en regelgeving die van toepassing/missend/belemmerend/ in ontwikkeling zijn voor hergebruik. Dit wordt behandeld in paragraaf 2.2.10;
- algemene en object/onderdeel specifieke risico's en belemmeringen voor hergebruik, inclusief voorstellen en beheersmaatregelen. Dit wordt behandeld in paragraaf 3.3;
- impact van hergebruik op de RWS-organisatie. Dit wordt behandeld in paragraaf 3.4;
- inzicht in de ketenpartners voor hergebruik en impact van hergebruik op de betreffende ketenpartners (leveranciers en opdrachtnemers). Dit wordt behandeld in paragraaf 3.2.

1.3 Scope en definitie stalen bruggen

1.3.1 Definitie object stalen brug

Bij het bepalen van de hergebruikpotentie van stalen bruggen worden alleen stalen bruggen met onderstaande kenmerken beschouwd:

- vaste (overspanningen van) bruggen en viaducten (hierna te noemen: bruggen), dus beweegbare bruggen worden **niet** meegenomen;
- bruggen waarvan de hoofdconstructie is gemaakt van staal. Alleen deze hoofdconstructie, inclusief het stalen dek wordt beschouwd. Aanbruggen (in de regel van beton) worden **niet** meegenomen, tenzij bekend is dat deze van staal zijn;
- bruggen in beheer van RWS;
- bruggen momenteel in gebruik.

Veel objecten die qua naamgeving suggereren uit een enkele brug te bestaan, zijn eigenlijk brugcomplexen: verzameling van een aantal bruggen. In dit rapport wordt een stalen brug dus gezien als een stalen object met een enkele overspanning.

Zo bestaat bijvoorbeeld de Van Brienoordbrug (zie ook afbeelding 1.1) uit de volgende bruggen, die dus niet allemaal binnen de scope liggen:

- | | |
|--|------------------|
| - een aantal betonnen aanbruggen | buiten de scope; |
| - 3 beweegbare stalen (parallele) overspanningen | buiten de scope; |
| - 2 grote vaste (parallele) overspanningen | in de scope. |

In paragraaf 2.1 wordt een schatting gemaakt van het aantal vrijkomende stalen bruggen tot en met 2030.

Afbeelding 1.1 Overzicht van het bruggencomplex Van Brienoordbrug. De hoofdo overspanning omvat een stalen brug die binnen de scope van dit onderzoek valt (groen), de betonnen aanbruggen en beweegbare bruggen vallen buiten de scope van dit onderzoek (rood)



1.3.2 Scope van hergebruik

Hergebruik van stalen bruggen kan grofweg op 3 manieren:

- 1 hergebruik van de stalen brug (stalen hoofdconstructie en dek) op een nieuwe locatie als verkeersbrug:
 - 1 hergebruik in zelfde niveau wegennet (hoofdwegennet (HWN), of;
 - 2 hergebruik in lager niveau wegennet (onderliggend wegennet (OWN));
- 2 decompositie van de brug tot gestandaardiseerde, bruikbare onderdelen;
- 3 conventionele sloop, omsmelten van het staal.

Voorliggend document focust op de 1^e manier van hergebruik: inzetten van de complete stalen brug op een andere locatie.

Om de potentie voor hergebruik op de 2^e genoemde manier (decompositie tot bruikbare onderdelen) te inventariseren, wordt momenteel gewerkt aan een herbruikbaarheidsscan. Deze scan kijkt vooral naar de veel voorkomende onderdelen als liggers, landhoofden, schampranden, stootplaten, stalen buispalen en leuning. Het opknippen van grotere stalen brugdelen (bijvoorbeeld een stalen boogconstructie) tot kleinere onderdelen is complexer en haalbaarheid hiervan dient apart te worden onderzocht. Decompositie van brug wordt daarom in dit rapport niet verder beschouwd.

1.4 Aanleiding keuze stalen bruggen

In de vraagspecificatie zijn stalen bruggen door RWS expliciet benoemd als een van de 7 objecten waarvan de hergebruikpotentie in kaart gebracht moet worden. Momenteel is het hergebruik van stalen bruggen voornamelijk laagwaardig, terwijl de bruggen in potentie herbruikbaar zijn met een gelijkwaardige functie.

In de Zwaartepuntanalyse die CE Delft voor RWS heeft gemaakt, is gekeken naar de MKI en klimaatimpact (uitgedrukt in uitstoot van CO₂-equivalenten) van de zowel de aanleg als vervanging en renovatie (hierna: VenR) van een aantal objecten in de periode 2021 tot en met 2030. In de ranglijst VenR staat het object stalen bruggen op basis van zowel MKI als klimaatimpact op plaats 6. Uitgedrukt in MKI is omvat de VenR opgave van stalen bruggen 2.5 % van het totaal tot 2030, uitgedrukt in klimaatimpact is dit 2.7 %.

Bij bovengenoemde zwaartepuntanalyse moet wel worden gesteld dat het een vrij grove analyse betreft met een aanzienlijke onzekerheidsmarge. Daarnaast geldt voor stalen bruggen dat het gaat om grote maar relatief weinig objecten. Door de grootte van de objecten is de impact per object vrij groot is. Het is daarom zeker de moeite waard nader in te gaan op de hergebruikpotentie van stalen bruggen.

1.5 Aanpak

Bij het uitvoeren van het onderzoek dat in dit rapport wordt beschreven, zijn de volgende stappen ondernomen:

- bepalen van het aantal vrijkomende stalen bruggen tot en met 2030 en bijhorende afmetingen op basis van beschikbare gegevens uit verschillende bronnen. Er is een vergelijking van de gegevens uit deze bronnen gemaakt (zie paragraaf 2.1), waarbij vervolgens de meest betrouwbaar geachte bron wordt gekozen om tot een realistische schatting te komen;
- onderzoeken van de technische hergebruikpotentie door te kijken naar het proces van hergebruik bij een stalen brug en de opgedane kennis en leerpunten uit relevante projecten;
- technisch inhoudelijke kennis ophalen voor de hergebruikpotentie bij ervaren collega's (ing. B.S. Hylkema MSEng);
- voor het bepalen van de (winst in) klimaat- en milieu-impact bij hergebruik van stalen bruggen is een MKI- en CO₂-analyse uitgevoerd;
- voor het bepalen van de kosten en baten wordt een vergelijking gemaakt tussen het proces volgens de huidige praktijk van sloop van stalen bruggen, en het proces bij hergebruik. Middels deze vergelijking wordt inzichtelijk gemaakt in welke stappen de twee processen van elkaar verschillen. De stappen die extra nodig zijn voor het hergebruikproces (kosten) worden vervolgens vergeleken met de extra stappen die voor conventionele sloop die worden voorkomen (baten) door de circulaire werkwijze.

Voor het object stalen bruggen geldt dat er een grote variatie is binnen het object type. Door te kijken naar bestaande onderzoeken en beschikbare informatie wordt de hergebruikpotentie van stalen bruggen bepaald, waarbij gehanteerde aannames expliciet worden vermeld. Daarnaast is deze analyse aangevuld met de kennis van experts binnen Witteveen+Bos (W+B). Deze input is verkregen aan de hand van interviews.

1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de hergebruikpotentie van stalen bruggen en zoomt daarbij in op 4 aspecten:

- 1 eerst wordt in paragraaf 2.1 een schatting gemaakt van het aantal vrijkomende stalen bruggen en de afmetingen daarvan. Hiervoor worden verschillende informatiebronnen en methodes naast elkaar gezet, waarna voor de meest nauwkeurige bron en methode wordt gekozen;
- 2 in de technische hergebruikpotentie in paragraaf 2.2 wordt ingegaan op verschillende technische aspecten die een rol spelen bij het hergebruik;
- 3 in paragraaf 2.3 wordt een analyse gemaakt op de klimaat- en milieu-impact van het hergebruik;
- 4 tot slot wordt in paragraaf 2.4 een vergelijking gemaakt tussen de stappen in het conventionele proces van sloop + nieuwbouw en de stappen in het proces van hergebruik, om tot een kwalitatieve financiële vergelijking te komen.

In hoofdstuk 3 wordt het handelingsperspectief geschetst in een aantal stappen

- 1 in paragraaf 3.1 wordt het conventionele proces van sloop + nieuwbouw en het proces van hergebruik bekeken door deze op te breken in stappen, met daarbij een korte omschrijving;
- 2 paragraaf 3.2 geeft inzicht in de verschillende ketenpartners en hun rol in de conventionele keten en keten van hergebruik;
- 3 vervolgens wordt in paragraaf 3.3 een aantal barrières voor hergebruik opgesomd, en wordt per barrière ook een oplossingsrichting geschetst;
- 4 de impact op de RWS-organisatie wordt in paragraaf 3.4 behandeld.

Hoofdstuk 4 geeft in paragraaf 4.1 een opsomming van conclusies die volgen uit het onderzoek. Vervolgens worden in paragraaf 4.2 aanbevelingen gedaan om het hergebruik van stalen bruggen te bevorderen.

Functie van kader

In voorliggend document is getracht om minder relevante processtekst en aannames in een kader te plaatsen, en deze te scheiden van de hoofdtekst in het rapport.

2

HERGEBRUIKPOTENTIE STALEN BRUGGEN

Om de hergebruikpotentie te bepalen van stalen bruggen wordt eerst het aantal vrijkomende stalen bruggen in de periode tot en met 2030 worden bepaald. Uit voorliggend onderzoek is gebleken dat hier geen exacte aantallen over bekend zijn, daarom wordt er een schatting gemaakt.

Naast het aantal vrijkomende stalen bruggen, moeten ook de bijhorende afmetingen van deze vrijkomende stalen bruggen worden bepaald. Voor de afmetingen geldt eveneens dat gedetailleerde informatie ontbreekt en deze afmetingen worden ingeschat.

2.1 Vrijkomende stalen bruggen tot en met 2030

In deze paragraaf wordt het aantal vrijkomende stalen bruggen in de periode 2022 tot en met 2030 bepaald. Cijfermatige onderbouwing van verschillende gehanteerde methodes is te vinden in bijlage III.

2.1.1 Aantal vrijkomende bruggen

Het aantal vrijkomende stalen bruggen t/m 2030 kan op een aantal manieren worden bepaald. In bijlage III worden 3 manieren uiteengezet:

- 1.1 prognose op basis van gerealiseerde sloop uit het verleden (extrapoleren naar toekomst);
- 1.2 prognose op basis van de leeftijd van bruggen;
- 1.3 prognose op basis van geplande sloop.

Omdat alleen met methode 1.3 (prognose op basis van geplande sloop) met vrij grote zekerheid vast te stellen is welke bruggen vrijkomen, wordt daarom voor deze methode gekozen.

Methode 1.3: prognose op basis van geplande sloop

Op basis van projectgegevens van RWS en de Nationale Bruggenbank is een lijst opgesteld met geplande projecten. Voor onderstaande bruggen is vervanging gepland tussen nu en eind 2030:

- Van Brienoordbrug: de Oostboog;
- Merwedeburg: 2 boogbruggen;
- Keizersveerbruggen 6 vakwerkbruggen;
- Balgzandbrug 1 vakwerkbrug;
- Hagesteinbrug 6 bruggen (4 samengestelde staal/beton, 2 plaatligger);
- Groenebrug oost 1 boog;
- Brug Spannenburg 2 samengestelde staal/beton;
- Kelperbrug 1 vakwerkbrug.

Bovenstaande 8 bruggen bestaan samen uit 20 stalen brugdelen (voor definities zie 1.3.1).

2.1.2 Afmeting van vrijkomende bruggen

Voor het bepalen van afmetingen van de vrijkomende bruggen zijn ook verschillende benaderingen mogelijk. In bijlage III worden 3 manieren uiteengezet:

- 2.1. gemiddelde afmetingen uit DISK hanteren;
- 2.2 afmetingen referentie-object uit Dubocalc hanteren;
- 2.3 afmetingen van geplande sloop gebruiken.

Methode 2.3 (afmetingen van geplande sloop) wordt het meest betrouwbaar geacht omdat voor sloop van de geplande bruggen bekend is wat de afmetingen zijn, en om hoeveel overspanningen het gaat. **Daarom wordt voor methode 2.3 gekozen.**

Methode 2.3: afmetingen van geplande sloop

Voor de periode tot en met 2030 staan onderstaande bruggen (bron: nationale bruggenbank en RWS) op de planning om vervangen te worden. De afmetingen zijn afkomstig van de Lijst stalen bruggen (aangeleverd door RWS), waar nodig aangevuld met andere bronnen. Volgens deze methode komen er dus 8 bruggen vrij met in totaal 20 brugdelen.

Tabel 2.1 Overzicht van geplande vrijkomende stalen bruggen

Naam	Onderdelen	Lengte per deel	Breedte	Oppervlakte totaal
Van Brienenoordbrug	1 brugdeel (Oostboog)	308 m	34,82 m	10725 m ²
Merwedebrug	2 boogbrugdelen (of 1, is eigenlijk een dubbele boog)	170 m (2x)	25,2 m	8568 m ²
Keizersveerbruggen	6 vakwerkbrugdelen: - 4 lange brugdelen; - 2 korte brugdelen	100 m (4x) 87,5 m (2x)	15,34 m 15,34 m	8821 m ²
Balgzandbrug	1 vakwerkbrugdeel	53,0 m	11,57 m	613 m ²
Hagesteinbrug	2 plaatligger brugdelen: - hoofdoverspanning oost; - hoofdoverspanning west 4 staal/beton brugdelen: - noordelijke zijoversp. oostbrug; - zuidelijke zijoversp. oostbrug; - noordelijke zijoversp. westbrug; - zuidelijke zijoversp. Westbrug	350,1 m 350,1 m 64,7 m 316,1 m 64,7 m 316,1 m	14,7 m 14,7 m 14,7 m 14,7 m 14,7 m 14,7 m	21488 m ²
Groenebrug oost	1 boogbrugdeel	60,0 m	20,0 m	1200 m ²
Brug Spannenburg	2 staal/beton brugdelen - aanbrug west; - aanbrug oost	13,0 m 52,35 m	9,0 m 9,0 m	588 m ²
Kelperbrug	1 vakwerkbrugdeel	58,1 m	13,4 m	779 m ²

2.1.3 Totale schatting vrijkomende bruggen

Het maken van een nauwkeurige schatting van de vrijkomende stalen bruggen en bijhorende afmetingen blijkt lastig. De verscheidenheid tussen stalen bruggen in vorm en afmetingen is groot, waardoor de schatting een grote onzekerheidsmarge heeft.

Daarom is gekozen te rekenen met stalen bruggen waarvan bekend is dat deze worden vervangen in de periode tot en met 2030, zoals getoond in tabel 2.1. Van deze bruggen zijn de afmetingen bekend en hoeven deze dus niet geschat te worden. Dit betekent dat gekozen wordt voor methode 1.3 2.1.1, gecombineerd met methode 2.3 uit paragraaf 2.1.2 omdat dit de meest betrouwbare inschatting oplevert.

Omdat het vervangen van een stalen brug een ingewikkeld project is waar vele jaren voorbereiding voor nodig zijn, valt het niet te verwachten dat er tot en met 2030 nog meer stalen bruggen worden vervangen dan nu gepland staat. Daarmee is de verwachting dat de geplande vervanging een goed beeld geeft en een realistische schatting oplevert. Om de hoeveelheid aan vrijkomend staal in de vrijkomende bruggen te schatten, wordt een vertaalslag gemaakt van de afmetingen (oppervlaktes dek) van deze bruggen naar hun gewicht. Voor deze schatting wordt een spreiding van 300 tot 500 kg staal per m² brugdek gebruikt om tot een onder- en bovengrenswaarde te komen. De onderbouwing van de gehanteerde hoeveelheid staal per m² brugdek is te vinden in het tekstkader **Afwijking van kengetal 800 kg staal per m² brugdek**.

Onderstaande tabel geeft de schatting weer van hoeveelheid vrijkomend staal van de bruggen voor zowel boven- als ondergrens.

Tabel 2.2 Gewicht aan vrijkomend staal in stalen bruggen in periode t/m 2030, ondergrens en bovengrens

Naam, brugdeel	Berekening hoeveelheid aantal x lengte x breedte x kengetal staal	Subtotaal gewicht in [ton]	
		staal, ondergrens o.b.v. 300 kg / m ²	staal, bovengrens o.b.v. 500 kg / m ²
Van Brienoordbrug Oostboog	1 x 308 m x 34,82 m x 300 ~ 500 kg/m ²	3.217	5.362
Merwedebrug noord- en zuidboog	2 x 170 m x 25,2 m x 300 ~ 500 kg/m ²	2.570	4.284
Keizersveerbruggen lange vakwerkbruggen (4x)	4 x 100 m x 15,34 m x 300 ~ 500 kg/m ²	1.841	3.068
Keizersveerbruggen korte vakwerkbruggen (2x)	2 x 87,5 m x 15,34 m x 300 ~ 500 kg/m ²	805	1.342
Balgzandbrug	1 x 53 m x 11,57 m x 300 ~ 500 kg/m ²	184	307
Hagesteinbrug hoofdoverspanning oost en west	2 x 350,1 x 14,7 x 300 ~ 500 kg/m ²	3.088	5.146
Hagesteinbrug noordelijke zijoverspanningen	2 x 64,7 x 14,7 x 300 ~ 500 kg/m ²	571	951
Hagesteinbrug zuidelijke zijoverspanningen	2 x 316,1 x 14,7 x 300 ~ 500 kg/m ²	2.788	4.647
Groenebrug oost	1 x 60,0 x 20,0 x 300 ~ 500 kg/m ²	360	600
Brug Spannenburg aanbrug west	1 x 13,0 x 9,0 x 300 ~ 500 kg/m ²	35	59
Brug Spannenburg aanbrug oost	1 x 52,35 x 9,0 x 300 ~ 500 kg/m ²	141	236
Kelperbrug	1 x 58,1 x 13,4 x 300 ~ 500 kg/m ²	234	389
totaal		15.834	26.391

De vrijkomende stalen bruggen in de periode tot en met 2030 bevatten naar schatting 15.834 tot 26.391 ton gewicht aan staal.

Afwijking van kengetal 800 kg staal per m² brugdek

Om de hoeveelheid aan vrijkomend staal in de vrijkomende bruggen te schatten, moet een vertaalslag worden gemaakt van de afmetingen (oppervlakte dek) van deze bruggen naar hun gewicht. Hiervoor was in eerste instantie beoogd om het kengetal van 800 kg staal per m² dek te hanteren, afkomstig uit de Dubocalc objectenbibliotheek (zie paragraaf 2.1.2). Op basis van de referentiebruggen blijkt het kengetal van 800 kg staal per m² brugdek een te hoge schatting. **Daarom is gekozen om met een spreiding van 300 tot 500 kg staal per m² brugdek te rekenen.**

Het kengetal van 800 kg/m² is gecontroleerd aan de hand van bruggen waarvan de afmetingen en het gewicht bekend zijn. De informatie voor deze bruggen voor validatie is afkomstig uit openbare bronnen en het Witteveen+Bos projectenarchief. Hieronder wordt een kort overzicht gegeven van de validatiebruggen:

Tabel 2.3 Bepaling van de hoeveelheid staal per oppervlakte brugdek, gebaseerd op referentieprojecten uit W+B projectenarchief

Brug	Bron	Lengte [m]	Breedte [m]	Gewicht staal in hoofddraag- constructie + dek [ton]	Gewicht per oppervlakte dek [kg staal / m ²]
Lekbrug (Vianen)	*1	160	29	2280 (excl. Fietsbrug)	$2280 / (160 * 29) * 1000 = 491$
Van Brienenoordbrug (Westboog)	*2	302	31.56	4800	$4800 / (302 * 31.56) * 1000 = 503$
Haringvlietbrug	*3	106	25.5	800	$800 / (106 * 25.5) * 100 = 296$
Algerabrug	*4	84	20	660	$660 / (84 * 20) * 1000 = 393$

*1 Wikipedia ([https://nl.wikipedia.org/wiki/Lekbrug_bij_Vianen_\(1936\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Lekbrug_bij_Vianen_(1936))), geraadpleegd op 13-09-2022;
Duurzaamheidonderzoek hergebruik boogbrug Vianen, referentie 103073/17-011.567, pagina 16 en 27.

*2 Disk;

Rijnmond.nl (<https://www.rijnmond.nl/nieuws/112550/transport-van-brienenoordbrug-was-groot-spektakel>), geraadpleegd op 13-09-2022.

*3 Nota van uitgangspunten vaste brug Algerabrug, referentie 117583-21-010.428-rapd02, pagina 148.

*4 Projectenarchief Witteveen+Bos (project Herberekening en Ontwerp Versterking Haringvlietbrug loopt nog op moment van schrijven, daarom geen referentienummer beschikbaar).

2.2 Hergebruikpotentie: technisch

2.2.1 Inleiding

In theorie kan iedere stalen brug worden hergebruikt, als er voldoende geld beschikbaar is voor maatregelen en vervanging van beschadigde onderdelen. In de praktijk moet een afweging worden gemaakt om te kijken of de benodigde investering wel opweegt tegen de potentiële milieuwinst (bespaarde milieu-impact). De benodigde investering is afhankelijk van een aantal factoren, die hieronder en in de volgende paragrafen worden behandeld. Stalen bruggen die bijvoorbeeld (vaak door vermoeiing) einde levensduur naderen, zullen een grote en kostbare versterkingsoperatie vereisen waarbij complete onderdelen of dekken vervangen moeten worden. Door de grote variatie in afmeting en type stalen brug is het zaak om deze afweging per brug te moeten maken. Daarbij speelt ook de verwachting dat in de toekomst een groter belang wordt gehecht aan besparing in milieu-impact en dat die besparing daardoor hoger wordt gewaardeerd (nieuwbouw wordt duurder).

Voorliggend document focust op hergebruik van stalen bruggen als geheel (zie paragraaf 1.3). Stalen bruggen zijn geen uniforme objecten en verschillen enorm in omvang en constructieopbouw. Een stalen brug kan zowel alleen een stalen dek, als een vakwerk, vierendeelligger of boogbrug zijn. Of een brug geschikt is voor hergebruik wordt in deze paragraaf toegelicht. In het verleden is hergebruik van stalen bruggen al succesvol gedaan, zie paragraaf 2.2.2.

Bij hergebruik van stalen bruggen als geheel zijn onderstaande zaken belangrijke te beschouwen onderdelen:

- geometrie van de brug dient inpasbaar te zijn in potentiële nieuwe locatie;
- onderzoek naar restlevensduur van de brug:
 - restlevensduur is onder andere afhankelijk van toekomstige functie van de brug;
- reviseren van (vermoeiings)schade/versterken van de brug;
- verwijderen van oude conservering;
- conservering van de brug;
- verplaatsen van de brug:
 - verwijderen;
 - transporteren;
 - eventueel tijdelijk opslaan;
 - plaatsen op nieuwe bestemming.

2.2.2 Hergebruik in het verleden

Het hergebruik van stalen bruggen is geen nieuw idee. Bij het vervangen van de Moerdijkbruggen (bouwjaar 1936, zie afbeelding 2.1) rond 1978 kwamen 10 vakwerkbruggen vrij. Deze zijn alle 10 hergebruikt op een andere locatie:

- Keizersveerbruggen: 6 van de vakwerkbruggen werden hier toegepast. Voor de middelste overspanningen zijn 2 bruggen minimaal ingekort, bij vakwerkbruggen kan dit relatief makkelijk. De keizersveerbruggen zijn momenteel onderdeel van rijksweg A27 en staan op de planning om de komende 10 jaar vervangen te worden;
- Spijkennisbrug: de overige 4 vakwerkbruggen zijn hier opnieuw toegepast, waarbij één van de vakwerkbruggen onderdeel is van het hefdeel. De Spijkennisbrug is onderdeel van een lokaal wegennet bij Spijkennis.

Bovenstaande bruggen zijn 44 jaar na ingebruikname op de nieuwe locatie nog steeds functioneel. Dit toont aan dat hergebruik van grote stalen bruggen zeker mogelijk is.

Afbeelding 2.1 Foto van de oude Moerdijkbruggen (bouwjaar 1936), bestaande uit 10 vakwerkbruggen. Deze 10 bruggen zijn in 1978 allemaal hergebruikt en momenteel nog steeds in gebruik



2.2.3 Type hergebruik

Hoogwaardig hergebruik

Bij hergebruik van stalen bruggen heeft hoogwaardig hergebruik de voorkeur: de stalen brug wordt op een nieuwe locatie geplaatst waar deze eenzelfde functie vervult als op de oude locatie. Een brug in het landelijk hoofdwegennet (snelwegen) wordt bij voorkeur weer in het landelijk hoofdwegennet toegepast.

In de praktijk blijkt dat dit niet altijd mogelijk is, onder andere door vermoeiing van het staal (zie paragraaf 0). In die gevallen kan dan worden gekeken naar hergebruik van de stalen brug in onderliggend wegennet. De brug wordt hierdoor doorgaans minder vaak zwaar belast (minder vrachtverkeer) waardoor deze een langere restlevensduur krijgt, waardoor hergebruik aantrekkelijker is.

Hergebruik in andere functie

Een andere mogelijkheid is het hergebruik in een andere, laagwaardigere, functie. Een stalen brug kan als fiets- en voetgangersbrug dienen, welke minder vermoeiingsbelasting ondervinden. Omdat de belasting op fietsbruggen aanzienlijk lager is dan op verkeersbruggen, is versterking minder (snel) nodig. Gezien de grote breedte van stalen verkeersbruggen zal bij het toepassen als fiets- en voetgangersbrug wel sprake zijn van over dimensionering. Een nieuwe brug voor dezelfde functie kan dan worden gemaakt met minder materiaal.

Een alternatief idee ¹ is om de brug in te zetten voor woonfunctie, zie afbeelding 2.2. Voor zover bekend is dit (binnen Nederland) nog niet eerder toegepast. Er zijn wel voorbeelden van oude bruggen die onderdeel zijn geworden van een gebouw, bijvoorbeeld bij het Westerdokeiland in Amsterdam waar een oude spoorbrug nu dient als onderdeel van een horecagelegenheid.

De laatste optie is om een stalen brug op te knippen in kleine elementen (balken en kolommen) die bruikbaar zijn in andere toepassingen, bijvoorbeeld gebouwen of een samengestelde brug van kleinere

¹ Bron: <https://www.cepezed.nl/nl/project/haalbaarheidsstudie-hergebruik-lekbrug/21400/>.

afmeting. Dit onderzoek richt zich echter op hergebruik van een brug in zijn geheel, daarom wordt de optie van opknippen in dit rapport niet verder onderzocht.

Afbeelding 2.2 Conceptschets voor hergebruik met woonfunctie



2.2.4 Geschikte nieuwe locatie voor brug

Stalen bruggen zijn relatief grote en veelal unieke objecten. Het vinden van een geschikte nieuwe locatie is daarom maatwerk. Daarbij geldt dat hoe groter de brug is, des te lastiger het vinden van een geschikte locatie is. Voor kleine stalen bruggen (< 50 m) is de verwachting dat het proces van matching via de markt kan verlopen. Er zijn voor deze bruggen relatief veel beschikbare bestemmingen en daarom zal de vraag ook hoger zijn. Deze bruggen kunnen worden aangeboden in de Nationale Bruggenbank, waar vraag en aanbod bij elkaar worden gebracht.

Voor grotere bruggen (> 50 m) geldt dat het aantal geschikte nieuwe locaties beperkt is, en dat hier meer sturing voor nodig is vanuit RWS. Als opdrachtgever kan RWS potentiële locaties bijvoorbeeld aanpassen om deze geschikter te maken voor reeds beschikbare herbruikbare bruggen. Dit kan door overspanningen te vergroten of te verkleinen, eventueel door ze op te knippen in meerdere overspanningen.

Als blijkt dat binnen het eigen areaal geen geschikte locatie is, kan nog worden gezocht naar geschikte locaties bij andere overheden (gemeentes en provincies). Dit betekent enerzijds dat de brug wordt ingezet op onderliggend wegennet die veelal buiten de invloed van RWS vallen. Anderzijds zijn er ook voordelen: vooral minder en minder zwaar verkeer en daarmee een potentieel langere levensduur.

Om hergebruik van grote stalen bruggen te bewerkstelligen moet dit in een zo vroeg mogelijk stadium van projecten worden onderzocht en vastgelegd. Vóórdat er een nieuwe brug wordt ontworpen dient onderzocht te worden of er geschikte herbruikbare bruggen beschikbaar komen/zijn. Wanneer dat het geval is dient vooraf het ontwerpproces te worden ingesteld op inpassing van de herbruikbare stalen brug. Het dient vervolgens onderdeel te zijn van de contractvorming en uitvraag naar de aannemer voor het project waarin de beoogde nieuwe locatie van zo'n stalen brug ligt. In het tekstkader hieronder wordt dit proces toegelicht aan de hand van een voorbeeld: de van Brienoord brug.

Onderzoeken hergebruik oostelijke van Brienoordbrug

De oostelijke overspanning in de van Brienoordbrug, de brug met de grootste overspanning, komt naar verwachting in 2027 vrij. Een voorstel uit de markt¹ is om deze brug opnieuw in te zetten bij vervanging van de Merwedeburg.

De technische haalbaarheid van deze optie tot hergebruik is niet onderzocht, het is dus ook niet zeker of dit een realistische oplossing was geweest. Dit kader dient ter toelichting over hoe het proces rondom vervanging van de twee bruggen anders had ingericht had kunnen worden om het hergebruik te onderzoeken en eventueel mee te nemen. (hergebruik, tenzij)

De huidig beoogde vervanging voor de Merwedeburg is echter voornamelijk ingegeven door het vinden van de meest economische oplossing. Er is bij de Merwedeburg gekozen om deze te vervangen met een betonnen brug. Wat daarbij onder andere meespeelt is het verlagen van risico's, waardoor hergebruik van een stalen brug al snel afvalt. Dit is op zichzelf een logische keuze, maar leidt er toe dat binnen de huidige kaders van het project niet voor hergebruik van de van Brienoordbrug wordt gekozen.

Zodra bekend werd dat de oostelijke boog (brugdeel) vrij zou komen na vernieuwen van de van Brienoord brug, had een aantal zaken onderzocht kunnen worden:

- zijn er potentiële locaties waar het brugdeel hergebruikt kan worden?
- kan het brugdeel naar deze locatie worden getransporteerd?
- kan het brugdeel dusdanig worden versterkt en gerepareerd dat deze geschikt is voor hergebruik?

Wanneer uit bovenstaande vragen zou blijken dat dit brugdeel toegepast kan worden als vervanging van de Merwedeburg, kan dit worden verwerkt in het tracébesluit en onderdeel worden van het desbetreffende project. Eventueel kan vervanging van de brug (Merwedeburg in dit geval) los worden geknipt van het aangrenzende project (A27 Houten-Hooipolder). Er kan dan parallel aan het ontwerpen van de inpassing van herbruikbare brug (van Brienoord oostboog in dit geval) ook een nieuwe brug worden ontworpen, zodat bij eventuele tegenslagen nog gekozen kan worden voor een nieuwe brug.

Daarnaast kan bij iedere planstudie geïnventariseerd worden of de te verwijderen stalen bruggen potentie voor hergebruik heeft. Om dit te faciliteren moet de brug zo vroeg mogelijk op de bruggenbank worden geplaatst om matching te faciliteren. Vervolgens kunnen de voorwaarden voor demontage inzichtelijk gemaakt worden, zodat dit in nieuwe projecten duidelijk is.

Bij het geven van een hogere prioriteit aan hergebruik kan de nieuwe bestemming voor een stalen brug worden ontworpen om de brug te laten passen. Zo kan de overspanning worden verkleind door landhoofden deels in de onderliggende (water)weg te plaatsen, of door de overspanning in meerdere delen op te knippen.

In de huidige praktijk is het echter zo dat de nieuwe bestemming eerst wordt ontworpen, waarna pas eventueel wordt gekeken naar een passende herbruikbare brug. Om hergebruik van stalen bruggen te faciliteren, dient dus eerst te worden gekeken of voor de nieuwe bestemming een herbruikbare brug kan worden gevonden (hergebruik, tenzij).

¹ <https://www.bndestem.nl/oosterhout/van-brienoordbrug-kan-naar-a27-ter-vervanging-van-brug-bij-keizersveer-of-merwedeburg~ad653499>.

2.2.5 Restlevensduur

Functie bij hergebruik

De restlevensduur is onder andere afhankelijk van de functie waarin de stalen brug wordt hergebruikt. Bij hergebruik in eenzelfde functie (dus als brug in hoofdwegennet) wordt de stalen brug wederom zwaar belast en moeten maatregelen worden getroffen om te zorgen dat de brug hier tegen bestand is (zie paragraaf 2.2.6). Bij hergebruik van een stalen brug op een onderliggend wegennet zal de brug minder intensief worden belast. Hierdoor zal de brug een langere restlevensduur hebben.

Bij hergebruik op een andere locatie gaat de RBK uit van nieuwbouw en moet een levensduur van 100 jaar worden aangetoond (zie par 2.2.10). Bij hergebruik is dat echter meestal niet realistisch.

Vermoeiing

Van stalen bruggen is bekend dat de restlevensduur sterk wordt bepaald (beperkt) door de vermoeiingscapaciteit van de brug. Het is daarom bij hergebruik belangrijk om de restlevensduur van een stalen brug te bepalen voordat deze wordt hergebruikt. Bij bruggen ontworpen voor 1990 werd veelal geen rekening gehouden met vermoeiing. Deze bruggen zijn in de regel daarom extra gevoelig voor vermoeiing. Daarnaast is ten opzichte van het ontwerp sprake van een sterke toename van zowel aantallen vrachtwagens als het gewicht ervan. Dit uit zich door het ontstaan van vermoeiingsscheuren in het staal.

De vermoeiingsproblematiek kwam voor het eerst aan het licht bij de stalen rijdekken. Vooral de stalen bruggen die een orthotrope rijvloer met troggen hebben, bleken in eerste instantie gevoelig voor vermoeiing. De meest (voor het hoofdwegennet) urgente bruggen met een dergelijk type rijdek zijn inmiddels gerenoveerd, of de renovatie ervan is gepland. Orthotrope rijvloeren met andere typen langs verstijvers (bulbprofielen of strips) gaan naar verwachting op intensief bereden wegen ook het einde van de levensduur naderen.

Naast de lokale vermoeiingsproblematiek in stalen rijdekken zijn er bruggen met globale vermoeiingschade in de stalen hoofdconstructie. Voorbeelden hiervan zijn de Merwedeburg in de A27 (reeds op vermoeiing versterkt), brug Hagestein in de A27 (beheerst met een inspectieregime), de Suurhoffbrug (lokaal en globaal inspectieregime) of de IJsselbrug in de A12 (versterking in voorbereiding).

Voor bruggen die door vermoeiingsproblematiek richting einde levensduur gaan is versterking een grote operatie. Voor deze bruggen dient goed afgewogen te worden of versterking wel de moeite waard is, en of de potentiële milieuwinst opweegt tegen de extra kosten voor de versterkingsoperatie.

Onderzoek

Onderzoek naar de restlevensduur is zeer specialistisch werk, waardoor dit intensief en kostbaar is. Over het algemeen kan worden gesteld dat onderzoek naar restlevensduur voor de meeste stalen bruggen al wordt uitgevoerd, omdat het belangrijk is om inzicht te krijgen in de staat van het huidig areaal. Bij onderzoek naar restlevensduur zijn verschillende benaderingen:

- visuele inspectie, metingen;
- bureaustudie met modellering;
- proefbelasting.

Om meer zekerheid te verkrijgen over de restlevensduur, kan naast onderzoek ook worden gekozen om de brug te versterken. Hier wordt in paragraaf 2.2.6 nader op ingegaan. Meestal wordt bij versterking uitgegaan van een restlevensduur van 30 jaar. Echter kan bij versterking in combinatie met hergebruik ook worden gekeken naar een langere restlevensduur door een onderhoudsregime in te stellen, om de investeringen over een langere periode af te schrijven¹. Het onderhouden van een brug als de van Brienoordbrug tijdens de gebruiksfase blijkt zeer lastig zonder grote verkeershinder te veroorzaken en geniet daarom niet de voorkeur. Voor kleinere bruggen in onderliggend wegennet is de verkeershinder vaak kleiner, en onderhoud daarom een minder ingrijpende maatregel.

¹ Bron: Eerste van Brienoordbrug - Globale uitkomsten herberekening en randvoorwaarden hergebruik (Arup).

Daarnaast is het ook mogelijk een strenger inspectieregime in te stellen (lees: vaker inspecteren), waarmee scheurvorming en bijhorend gevaar vroegtijdig kan worden gesignaleerd.

Verder kunnen sensoren worden toegepast om bijvoorbeeld de rekken of (gerelateerde) spanningswisselingen te monitoren, waarmee meer betrouwbare informatie beschikbaar komt. Daarmee kan de status van een stalen brug gemonitord worden en bovendien de levensduur nauwkeuriger worden bepaald. Sensoring geeft vooral bij nieuwe stalen bruggen een duidelijk beeld van vermoeiingsbelasting, omdat deze vanaf begin levensduur kunnen worden gemonitord en de belasting op de brug kan worden bijgehouden. Bij bestaande stalen bruggen geeft sensoren ook meer inzicht, maar is de exacte restlevensduur van een brug lastiger vast te stellen omdat er meer onzekerheden spelen over de geschiedenis van de belasting.

2.2.6 Reviseren of versterken van de brug

Het versterken of reviseren van een stalen brug wordt uitgevoerd door een specialistisch staalbouwbedrijf. Beschikbaarheid van een werf is hierbij van belang om de brug tijdelijk te kunnen huisvesten. De brug zal hier (in delen) heen getransporteerd dienen te worden of op locatie van de brug dient een werf gecreëerd te worden.

Zoals in paragraaf 2.2.1 wordt gesteld, moet per brug worden afgewogen of de investering in hergebruik opweegt tegen de milieuwinst. Een brug op de VenR lijst (brug op nominatie voor vervanging of renovatie, voornamelijk door vermoeiingsproblematiek) zal relatief veel versterking nodig hebben en daarmee ook een grote investering. Daarnaast geldt dat de nieuwe bestemming ook invloed heeft op de mate van versterking die nodig is. Bij hergebruik op onderliggend wegennet of zelfs als fietsbrug zal waarschijnlijk geen of minder versterking nodig zijn dan wanneer een brug weer in het hoofdwegennet wordt toegepast.

Reviseren

Bij het reviseren van een stalen brug wordt de gesignaleerde schade gerepareerd. Afhankelijk van het type hoofddraagconstructie (boogbrug, vakwerkbrug etc.), het soort toegepaste verbindingen (klinknagels, boutverbindingen of lasverbindingen), de ernst en omvang van de schade variëren de kosten van het reviseren.

Het is voor sommige type bruggen ondoenlijk om alle schade te signaleren. Dan kan in sommige gevallen (bijvoorbeeld bij schade aan hoofdliggers) op basis van inschatting worden gekozen om zwakke plekken (vaak verbindingen) preventief te repareren. Er zijn ook gevallen van schade, bijvoorbeeld rondom klinknagel-verbindingen, waarbij het preventief vervangen van alle schadegevallen een zeer lastige, arbeidsintensieve en dure operatie is. Er moet dan een goede kosten-baten analyse worden gemaakt om te zien of reviseren van de brug wel de moeite waard is.

Versterken

Indien een stalen brug wordt hergebruikt, wordt aangeraden de brug direct te versterken in plaats van alleen te reviseren. Bij versterken wordt materiaal toegevoegd om te zorgen dat de brug een langere restlevensduur heeft en de (vermoeiings)belasting aankan.

Het versterken van een brug om de levensduur te verlengen levert kan bij een stalen brug voor problemen zorgen. Door het toevoegen van materiaal neemt het gewicht van de brug toe. Als gevolg daarvan neemt de belasting op de fundering toe, die daar in veel gevallen niet op ontworpen is.

Bij het hergebruiken van een stalen brug is vóór het plaatsen van de brug op nieuwe locatie wel de mogelijkheid om de bestaande fundering te versterken, of een nieuwe fundering te ontwerpen die de versterkte brug kan dragen. Hiermee is het versterken van een te hergebruiken brug eenvoudiger dan het versterken van een brug die in gebruik is, echter heeft een zwaardere fundering een negatieve impact op de milieu impact van het complete object.

2.2.7 Verwijderen van oude conservering

Veel stalen bruggen zijn vermoedelijk geconserveerd met een verfcoating die chroom 6 bevat. Chroom 6 is een bestandsdeel van de verf die bij langdurige blootstelling zeer schadelijk is voor de gezondheid.

Het toepassen van chroom- (of lood-)houdende verf is sinds 1998 verboden. Veel coatings van stalen bruggen dateren echter van voor 1998, en bevatten dus in potentie chroom 6. RWS gaat er uit voorzorg vanuit dat op alle bestaande stalen bruggen chroom 6 aanwezig is.¹ Daarom voert RWS bij alle te renoveren of vervangen bruggen onderzoek uit naar de aanwezigheid van chroom 6.

Conservering op stalen bruggen heeft volgens de RTD 1032 een levensduurverwachting van 20 of 25 jaar: voor nieuwbouw en vervanging geldt 25 jaar, in geval van onderhoud bij de juiste voorbehandeling 20 jaar. Voor stalen bruggen geldt dus in de regel dat iedere 20 of 25 jaar de conservering vernieuwd moet worden.

Bij het aanbrengen van een nieuwe conservering dient eerst de oude conservering te worden verwijderd. Door het gezondheidsrisico van werken met chroom 6 dient verwijdering van de oude verflagen voorzichtig te gebeuren. Hierdoor is verwijdering van de oude conservering een specialistische klus die voorzichtig en nauwkeurig moet worden uitgevoerd. Verwijdering van de oude conservering is dan ook een belangrijk en kostbaar proces.

Voor het hergebruiken van stalen bruggen dienen de bruggen te worden versterkt en opnieuw geconserveerd. Er kan daarom met grote waarschijnlijkheid worden aangenomen dat verwijderen van de conservering voor iedere stalen brug benodigd zal zijn.

¹ Bron: <https://www.rijkswaterstaat.nl/over-ons/contact/veelgestelde-vragen/chroom6>.

2.2.8 Conserveren van het staal

Na het reviseren of versterken van een stalen brug voor hergebruik dient deze opnieuw geconserveerd te worden. Met conserveren wordt het staal beschermd tegen invloeden van buitenaf (zuurstof, zout en vocht) door het aanbrengen van een beschermlaag die aan het staal hecht.

Conserveren van een stalen brug is een essentieel onderdeel bij het beschermen van de brug en daarmee het verlengen van de levensduur. Het conserveren is kostbaar en levert een grote belasting op het milieu. Hier wordt nader op ingegaan in paragraaf 2.3.2. Ook bij bouwen van een nieuwe stalen brug moet het staal worden geconserveerd, al wordt geschat dat dit circa 20% minder oppervlakte is vergeleken met oudere stalen bruggen.

2.2.9 Verplaatsen van de brug

Verwijderen en verplaatsen

Afhankelijk van de afmeting van de stalen brug is het verwijderen en verplaatsen een project op zich. Het verplaatsen van stalen bruggen gebeurt vaak over water, door deze op pontons te plaatsen. Het verwijderen en op een ponton plaatsen is een complexe operatie die specialistische kennis en materieel vereist. Het verwijderen van de Lekbrug (bij Vianen) bijvoorbeeld eind 2021 kostte in totaal EUR 9,4 miljoen. Een aanzienlijk deel van dit bedrag werd gebruikt om alle voorbereidingen te treffen en het uitvoeren van onderzoeken om de ontmanteling van de brug mogelijk te maken.

Afbeelding 2.3 Opbouw van de hijsconstructie op de Lekbrug



Als de brug op het ponton is geplaatst, wordt deze vervoerd over het water. Voorwaarde hiervoor is dat de afmetingen van de brug hiervoor geen belemmering zijn. Bij grote bruggen als de van Brienoordbrug geldt dat door de afmetingen de mogelijke routes voor het vervoer beperkt zijn. Andere kunstwerken op de vaarroute zorgen voor beperking in de doorvaarbreedte en doorvaarhoogte. Ook de diepte van de waterweg kan een beperking zijn bij het vervoer.

Een optie is om de brug op te 'knippen' in meerdere delen om het vervoer eenvoudiger te maken en meer routes beschikbaar te maken. Hierbij geldt dat hoe meer de brug wordt opgeknipt, des te meer werk het ook weer is om deze in elkaar te zetten.

Opknippen leidt dus tot meer werk en hogere kosten. Echter kan het opknippen wel zorgen dat door verkleining van afmetingen meer routes beschikbaar komen, en daarmee ook meer locaties voor versterking van de brug (werven) en nieuwe bestemmingen voor de brug. Vooral voor grotere bruggen zal het opknippen van de brug soms noodzakelijk blijken omdat er anders niet of nauwelijks vaarroutes beschikbaar zijn om de brug te vervoeren.

Plaatsen op nieuwe bestemming

Na versterking kan de brug op de nieuwe locatie worden geplaatst. Hierbij geldt wederom dat de brug naar de nieuwe locatie moet worden vervoerd en hierbij eventueel hinder ondervindt van andere kunstwerken.

Het plaatsen van de brug op de nieuwe locatie is net zo een specialistische operatie als het verwijderen.

Opslag

Indien de brug na versterking tijdelijk moet worden opgeslagen gebeurt dit waarschijnlijk niet op de werf zelf. Het langer dan nodig bezetten van een werf brengt kosten met zich mee. Opslag kan op een tijdelijke locatie, op het land of eventueel op het water. Opslag op het water is naar verwachting wel duurder omdat hier pontons voor gehuurd moeten worden. Daarnaast zal ook het vervoeren van de brug van werf naar opslagplaats een kostbare operatie zijn.

2.2.10 Wet- en regelgeving

Bij het hergebruik van een stalen brug op een nieuwe locatie moet volgens de RBK (Richtlijn Beoordelen Kunstwerken van RWS) worden uitgegaan van nieuwbouw. De RBK is momenteel niet ingericht op hergebruik. Hierdoor moet een herbruikbare stalen brug voldoen aan strengere (nieuwbouw) eisen dan wanneer deze op zijn oude locatie zou worden versterkt (verbouw). Bij nieuwbouw geldt standaard een aan te tonen restlevensduur van 100 jaar, bij verbouw 30 jaar. Aanpassing van de RBK kan ook hergebruik voor andere periodes dan 30 jaar mogelijk maken.

Hergebruik is mogelijk haalbaarder wanneer uitgegaan wordt van ongewijzigde doorsnede bij gelijkblijvende functie (conform tabel 1-7 van RBK). In dat geval mag worden uitgegaan van het veiligheidsniveau horend bij gebruik (lagere eisen dan bij nieuwbouw en verbouw) en kan worden volstaan met een aantoning van restlevensduur van 30 jaar.

Daarnaast ontbreekt er een richtlijn die het hergebruik van stalen bruggen faciliteert. Gezien de unieke eigenschappen van verschillende stalen bruggen, is het de vraag of het haalbaar is een richtlijn voor hergebruik stalen bruggen op te zetten die gedetailleerd genoeg is om het hergebruik technisch toegankelijker of minder risicovol te maken. Het lijkt daarom realistischer om in te zetten op een protocol met daarin de stappen die nodig zijn om de levensduur in een andere functie te bepalen.

2.3 Hergebruikpotentie: klimaat- en milieuwinst

In deze paragraaf wordt de potentiële klimaat- en milieuwinst onderzocht die behaald kan worden door hergebruik van stalen bruggen. Deze winst ontstaat doordat door bij hergebruik bepaalde activiteiten en bijhorende impact uit het conventionele proces worden voorkomen.

In paragraaf 2.3.1 wordt een opsomming gemaakt van de activiteiten in conventionele proces en het proces van hergebruik. In paragraaf 2.3.2 wordt de MKI per levensfase bepaald. Paragraaf 2.3.3 toont de gecombineerde milieu-impact voor de activiteiten van hergebruik en sloop-nieuwbouw. Paragraaf 2.3.4 gaat in op de tijdelijke besparing aan primaire grondstoffen.

2.3.1 Omschrijving activiteiten conventioneel- en hergebruikproces

Onderstaande tabel geeft een overzicht met daarin een vergelijking in activiteiten die nodig zijn in het conventionele proces en het proces van hergebruik. De milieu-impact gerelateerd aan de combinatie van de verschillende activiteiten van het hergebruikproces moet opwegen tegen de milieu-impact van de staalproductie voor een nieuwe brug, het conventionele proces.

Tabel 2.4 Overzicht van activiteiten in conventioneel proces en proces van hergebruik.

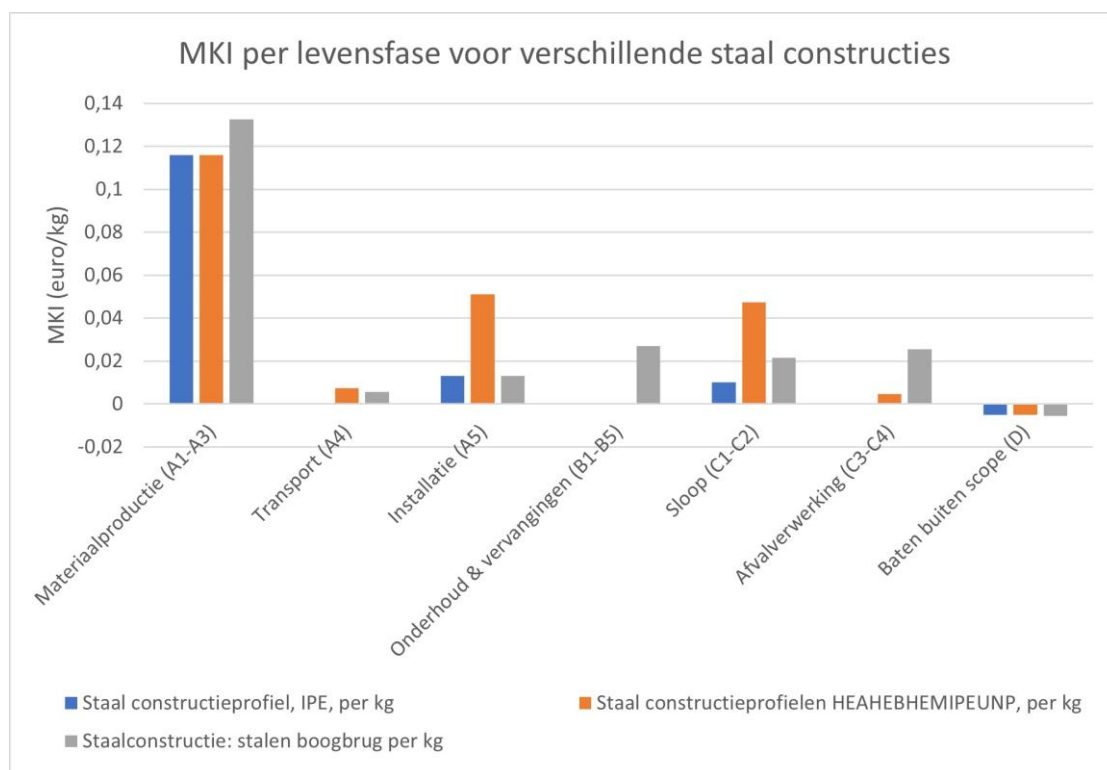
Activiteit	Conventioneel proces	Proces van hergebruik
productie van nieuw staal	ja	minder (5~10 % voor versterking)
vervoer nieuw staal naar werf	ja	minder
bouwen nieuwe brug op werf	ja	nee
demonteren bestaande brug	nee	ja
in stukken snijden bestaande brug	optioneel	nee
transporteren brug naar werf	ja	ja
verder slopen brug	ja	nee
omsmelten/recyclen	ja	nee
verwijderen oude conservering	nee (omsmelten met conservering mogelijk)	ja
repareren/versterken brug	nee	ja
aanbrengen conservering	ja	ja
transport naar opslagplek + opslag	nee	optioneel
transporteren naar nieuwe locatie	ja	ja
installeren op locatie	ja	ja

2.3.2 MKI per levensfase

In de milieukosten indicatie (MKI) wordt de milieu-impact van de gehele levenscyclus van een product beschouwd. Om inzicht te krijgen in het aandeel MKI dat wordt bespaard door hergebruik is het belangrijk inzicht te krijgen in het aandeel MKI dat wordt toegeschreven aan het produceren van de stalen bruggen (A1-A3), het transport (A4) en de installatie op locatie (A5). Wanneer stalen bruggen worden hergebruikt wordt namelijk bespaard op de materiaalproductie (A1-A3). In de levensfases sloop (C1), transport naar de nieuwe locatie (C2) en herinstallatie (A5) vindt extra milieu-impact plaats.

Afbeelding 2.4 geeft de MKI per levensfase weer voor drie NMD-producten die beschikbaar zijn binnen DuboCalc 6.0. Hieruit valt op te maken dat het merendeel van de milieu-impact tijdens de materiaalproductie plaatsvindt. Voor installatie en sloop is significante variatie in MKI tussen de NMD-producten, dat kan verklaard worden door een verschil in uitgangspunten in de totstandkoming van elk NMD-product. Voor transport, reparaties en onderhoud worden specifieke uitgangspunten toegepast die voor het hergebruik van de stalen bruggen relevant zijn.

Afbeelding 2.4 Milieu-impact per levensfase van staalconstructies voor drie NMD-producten beschikbaar binnen DuboCalc 6.0 in euro MKI/kg constructieprofiel



Productie van nieuw staal

Productie van nieuw staal is vooral nodig in het conventionele proces. In het proces van hergebruik is staal nodig voor het repareren/versterken van de brug, dit wordt geschat in de orde-grootte van 5 à 10 % van de totale hoeveelheid staal in de brug.

Staal kan grofweg via twee productiemethoden worden geproduceerd; vanuit ijzererts (primair), of vanuit schroot (recycling). Over het algemeen wordt staal geproduceerd uit schroot ingezet voor toepassingen met minder eisen aan de staalkwaliteit. Staal voor een brug heeft hoge eisen aan de staalkwaliteit. Daarom wordt in de analyse als uitgangspunt genomen dat het brugstaal via de primaire productiemethode is geproduceerd. Voor de materiaalproductie van het staal wordt EUR 120 MKI/ton staal gerekend.

Vervoer nieuw staal naar werf

Staal wordt op veel plekken in de wereld geproduceerd. Het vervoer van het staal naar de werflocatie is zeer project specifiek. In de NMD bepalingsmethode, een document met algemene afspraken voor het maken van milieu-impactanalyses, zijn uitgangspunten opgeschreven die de Nederlandse markt typeren. Op basis van de NMD producten weergegeven in afbeelding 2.4 wordt gevonden dat het transport voor constructiestaal naar de werf EUR 5,5-7,5 MKI/ton staal bedraagt. Voor het staaltransport wordt daarom EUR 6,5 MKI/ton staal gerekend.

Bouwen nieuwe brug op werf

Als representatief is het NMD-product 'Staal constructieprofielen HEAHEBHEMIPEUNP' aangehouden, omdat deze een hogere waarde voor installatie aanhoudt. De redenatie hierachter is dat dit NMD-product de specifieke werkzaamheden voor het versterken van de stalen bruggen beter representeert dan het IPE constructieprofiel, aangezien de bouw van de brug maatwerk betreft. Voor de bouw van de nieuwe stalen brug wordt daarom EUR 52 MKI/ton staal gerekend.

Demonteren en transport vrijkomende brug naar werf

Voor beide situaties, conventionele sloop-nieuwbouw en hergebruik, moet de vrijkomende brug worden gedemonteerd en vervoerd naar een werf om daar verder verwerkt te worden. In het geval van sloop-nieuwbouw kan de brug in stukken worden vervoerd, waar dit in het geval van hergebruik niet logisch wordt geacht. Voor het transporteren van de brug wordt 100 km transport via binnenvaart van vrijkomende locatie naar reparatie- of sloopwerf aangehouden. Voor de milieu-impact is het volgende NMD product toegepast:

- NMD-product: Transport per binnenvaartschip, per tkm.

Voor het brugtransport bij sloop-nieuwbouw wordt 0,7 euro MKI/ton staal gerekend, gelijk aan regulier transport per binnenvaartschip voor een afstand van 100 km. In het geval van hergebruik is maatwerk tijdens het transport vereist, waardoor meer tijd en brandstof nodig zal zijn. Voor het brugtransport bij hergebruik wordt daarom EUR 1,4 MKI/ton staal gerekend voor een afstand van 100 km.

Als onderdeel van het demontageproces moet de brug van zijn plek worden gehesen. Voor het hijswerk zelf zullen waarschijnlijk vijzels worden gebruikt. Echter is hiervoor geen geschikt of vergelijkbaar NMD-product beschikbaar, zie het tekstkader Milieu-impact hijswerkzaamheden onderstaand. De impact van het hijswerk ten opzichte van het gehele sloop-nieuwbouw- of hergebruikproces wordt van beperkte grote geschat, maar daarom niet kwantitatief meegenomen.

Milieu-impact hijswerkzaamheden

Er is getracht de milieu-impact van de hijswerkzaamheden te kwantificeren. Hiervoor zijn enkele aannames uiteengezet met betrekking tot de tijdsduur van het hijswerk en het aantal hijskranen. Dit zijn:

- 100 ton hijsgewicht per kraan;
- 24 - 48 uur gebruiksduur per hijsmoment;
- de brug wordt 4x gehesen:
 - 1 oude locatie naar ponton;
 - 2 ponton naar werf;
 - 3 werf naar ponton;
 - 4 ponton naar nieuwe locatie.

In DuboCalc 6.0 zijn twee relevante NMD-producten beschikbaar voor hijswerkzaamheden. Dit zijn een mobiele kraan en een telekraan van beperkte capaciteit. In realiteit zullen echter waarschijnlijk vijzels worden gebruikt, zoals het geval was bij het transport van de boogbrug bij Vianen. Hier is echter geen NMD-product voor beschikbaar.

Voor de vier hijsmomenten resulteerde dit in een milieu-impact die de productie en installatie van het versterkingsstaal en transport van de brug over water ruim overschrijdt. Dit is hoogstwaarschijnlijk niet realistisch, waardoor moet worden geconcludeerd dat de beschikbare NMD-producten geen representatieve vergelijking geven voor de hijswerkzaamheden. Er is besloten de hijswerkzaamheden daarom niet in de kwantificatie te betrekken, maar dit kwalitatief te beschouwen.

Verder slopen van de vrijgekomen brug

In het geval van sloop wordt de brug opgesneden in kleinere stukken en klaargemaakt voor recycling. Dit is een arbeidsintensief proces waar veel materieel voor nodig is. Daarom wordt hiervoor de sloopfase van het NMD-product 'Staal constructieprofielen HEAHEBHEMIPEUNP', welke een in verhouding hoge waarde voor sloop en transport naar de staalrecycler kent, als representatief beschouwd. Voor de verwerking van de brug voor sloop wordt daarom EUR 47 MKI/ton staal gerekend.

Verwijderen staal conservering voor recycling

Wanneer een stalen brug wordt gesloopt en een nieuwe stalen brug wordt teruggeplaatst is het onwaarschijnlijk dat het staal van de bestaande brug van de conservering wordt ontdaan. Recent hebben RWS, ProRail en het Rijksvastgoedbedrijf collectief een beheersregime opgesteld over het aanbieden van chroom-6 verdacht vrijkomend staal¹.

¹ Bron: <https://www.prorail.nl/samenwerken/leveranciers/veilig-werken/chroom-vi>.

Het verdachte staalschroot moeten worden afgevoerd naar een specifieke verwerker die het omsmelt tot een schone en herbruikbare grondstof dat opnieuw kan worden ingezet in de staalindustrie.

Omsmelten en recycling

Het vrijgekomen staal wordt omgesmolten om nieuw staal te produceren. Constructiestaal is over het algemeen goed te recyclen en behoeft weinig tot geen sorteerwerk meer bij de recycler. Daarom wordt ook voor de omsmelting en recycling uitgegaan van het NMD-product 'Staal constructieprofielen HEAHEBHEMIPEUNP'. Voor de recycling van het brugstaal wordt daarom EUR 4,5 MKI/ton staal gerekend.

Repareren en versterken van de vrijgekomen brug

Voor reparaties en versterkingen is het lastig op voorhand te bepalen welke werkzaamheden nog zijn. Voor de milieu-impact de volgende uitgangspunten aangehouden;

- 5-10 % extra massa staal ter versterking van de brug;
- NMD-product: staal constructieprofielen HEAHEBHEMIPEUNP.

Als representatief is het NMD-product 'Staal constructieprofielen HEAHEBHEMIPEUNP' aangehouden. De MKI van dit profiel product komt redelijk overeen met de aangehouden waarde in de NMD voor een boogbrug (EUR 120/ton vs. EUR 130/ton), zie afbeelding 2.4.

Verwijderen conservering voor hergebruik

In het geval van hergebruik moet de metaalconservering opnieuw worden aangebracht en de oude conservering worden opgeruwd. Hiervoor wordt de sloop en verwerkingsfase (C1-C4) van het NMD product 'Natlaksysteem voor staalconstructies' als representatief beschouwd. Dit product wordt echter uitgedrukt in vierkante meter behandeloppervlak. Daarom moet het behandeloppervlak per vierkante meter brugdek worden afgeschat voor de vrij te komen bruggen. Deze schatting is geverifieerd met ervaren constructeurs en weergegeven in tabel 2.5. Voor de verwijdering van de staalconservering wordt daarom EUR 1,42 MKI/m² behandeloppervlak gerekend.'

Tabel 2.5 Inschatting behandeloppervlak staalconservering per brug voor vrijkomende brugtypes

Brugtype	Behandeloppervlak	Eenheid
Boogbrug	4-7	m ² behandelopp./m ² brugdek
Vakwerkbrug	4-7	m ² behandelopp./m ² brugdek
Staal/betonbrug	2-4	m ² behandelopp./m ² brugdek
Plaatliggerbrug	4-7	m ² behandelopp./m ² brugdek

Naam	Onderdelen	Oppervlakte totaal	Impact verwijderen conservering
Van Brienoordbrug	1 brug (Oostboog)	10725 m ²	10725 * 4~7 * 1,42 = 60918 ~ 106.607 € MKI
Merwedebrug	2 boogbruggen	8568 m ²	8568 * 4~7 * 1,42 = 48.666 ~ 85.166 € MKI
Keizersveerbruggen	6 vakwerkbruggen:	8821 m ²	8821 * 4~7 * 1,42 = 50103 ~ 87.681 € MKI
Balgzandbrug	1 vakwerkbrug	613 m ²	613 * 4~7 * 1,42 = 3482 ~6.093 € MKI
Hagesteinbrug	2 plaatligger bruggen:	10293 m ²	10293 * 4~7 * 1,42 = 58464 ~102.312 € MKI
	4 staal/beton bruggen:	11195 m ²	11195 * 2~4 * 1,42 = 31794 ~ 63.588 € MKI
Groenebrug oost	1 boogbrug	1200 m ²	1200 * 4~7 * 1,42 = 6.816 ~11928 € MKI

Naam	Onderdelen	Oppervlakte totaal	Impact verwijderen conservering
Brug Spannenburg	2 staal/beton bruggen	588 m ²	588 * 2~4 * 1,42 = 1670 ~ 3.340 € MKI
Kelperbrug	1 vakwerkbrug	779 m ²	779 * 4~7 * 1,42 = 4425 ~ 7743 € MKI

Transport naar tijdelijke opslagplek + opslag

Bij hergebruik van stalen bruggen kan het voorkomen dat tijdelijke opslag nodig is voordat de brug op de nieuwe bestemming kan worden geplaatst, zodat de werf niet te lang wordt bezet. In dat geval zal de brug na reparatie, versterking en conservering op een werf eerst naar de plaats van opslag worden vervoerd, om daar vervolgens te worden opgeslagen. De opslag zelf heeft niet of nauwelijks milieu-impact, het extra transport naar de opslagplaats wel. Met de aanname dat de plaats van opslag binnen industrieel gebied ligt en daarom relatief dicht bij de werf, zal de benodigde extra transportbeweging klein zijn. Gezien de beperkte impact van het transport (zie Tabel 2.6) wordt deze impact niet meegenomen.

Overige activiteiten

Het aanbrengen van een nieuwe staalconservering, het transporteren naar de nieuwe locatie en het installeren op de nieuwe locatie moet zowel in het geval van hergebruik als van sloop-nieuwbouw gebeuren. Deze processen zijn dus niet onderscheidend in de vergelijking en vallen tegen elkaar weg.

2.3.3 Milieu-impact hergebruik en sloop-nieuwbouw

Hergebruik versus sloop-nieuwbouw

Op basis van de uitgangspunten zoals beschreven in paragraaf 2.3.2 wordt de milieu-impact van het hergebruiken van de bruggen ingeschat. Een overzicht van de milieu-impact per activiteit is weergegeven in tabel 2.6. Voor conventionele sloop-nieuwbouw wordt de bovengrens van de milieu-impact gevonden als 3,6 - 6,1 miljoen euro MKI. In het geval dat alle 20 brugdelen worden hergebruikt is de bovengrens van de milieu-impact EUR 0,8 - 1,3 miljoen MKI. De milieuwinst door hergebruik is dus **maximaal EUR 4,8 miljoen MKI** (6,1 miljoen - 1,3 miljoen = EUR 4,8 miljoen MKI) en **minimaal EUR 2,9 miljoen** (3,65 miljoen - 0,75 miljoen = EUR 2,9 miljoen MKI). De potentiële klimaatimpact indien alle vrijkomende brugdelen worden hergebruikt is 20.750-34.100 ton uitgedrukt in CO₂-eq en de potentiële materiaalbesparing is 15.000-23.800 ton staal.

Tabel 2.6 Overzicht van milieu-impact voor conventionele sloop-nieuwbouw of hergebruik van de stalen bruggen. Getoonde MKI-waarden zijn op basis van de totale staal massa zoals weergegeven in Tabel 2.2 en het verwerend oppervlak zoals weergegeven in tabel 2.5

Activiteit	Conventionele sloop-nieuwbouw		Hergebruik	
	Laag / hoog	Laag / hoog	Laag / hoog	Laag / hoog
	[€ MKI]		[€ MKI]	
staalproductie	1.900.080	3.166.920	-	-
vervoer nieuw staal naar werf	102.921	171.542	10.292	17.154
bouwen nieuwe brug op werf	823.368	1.372.332	-	-
demonteren en transport vrijkomende brug naar werf	11.084	18.474	22.168	36.947
verdere slopen van vrijgekomen brug	744.198	1.240.377	-	-
omsmelten en recycling	71.253	118.760	-	-
repareren en versterken vrijgekomen brug	-	-	457.603	762.700
verwijderen conservering			268.008	476.962
totaal	3.652.904	6.088.404	758.070	1.293.764

Vergelijking in de tijd

De potentiële maximale milieuwinst die hierboven wordt berekend geldt bij een 1 op 1 vergelijking tussen de activiteiten horend bij sloop en nieuwbouw versus hergebruik. Voor nieuwbouw geldt echter in de regel een levensduur van 100 jaar, terwijl 100 jaar bij hergebruik niet realistisch is en de restlevensduur vooralsnog eerder rond de 30 jaar ligt, al zijn er zeker mogelijkheden om dit te verlengen (zie verder paragraaf 2.2.5).

Op basis van bovenstaande kan worden benaderd welke minimale restlevensduur nodig is waarbij de milieukosten per jaar lager zijn voor hergebruik dan voor sloop-nieuwbouw. De berekende totalen in Tabel 2.6 laten zien dat de milieukosten bij hergebruik ongeveer 1/5 zijn van de milieukosten bij sloop-nieuwbouw. Hiermee kan het 'break-even point' worden bepaald: $1/5 * 100 = 20$ jaar. Dit betekent dat hergebruik gerekend in MKI-kosten per jaar aantrekkelijk is vanaf een restlevensduur van 20 jaar. Hergebruik met een restlevensduur van 30 jaar leidt dus tot zowel absoluut lagere MKI-kosten en lagere MKI-kosten per jaar.

2.3.4 Besparing in primaire grondstoffen

Door het staal in de bestaande bruggen te hergebruiken wordt productie van nieuw staal tijdelijk voorkomen. Het staal in deze bruggen is immers al geproduceerd en de milieu-impact heeft al plaatsgevonden. Wanneer alle bruggen worden hergebruikt is de tijdelijke besparing van primaire grondstoffen 14.300 - 23.800 ton staal. De besparing is tijdelijk, omdat een goed recycling systeem voor staal aanwezig is en het staal ook als schroot grotendeels onderdeel van de staalvoorraad blijft.

2.4 Hergebruikpotentie: kosten en baten

Stalen bruggen zijn dusdanig unieke objecten dat het maken van een kwantitatieve kosteninschatting van de kosten en baten zeer lastig is. Daarom wordt in deze paragraaf slechts een kwalitatieve benadering toegepast.

Voor het bepalen van de kosten en baten wordt een vergelijking gemaakt tussen het proces volgens de huidige praktijk van sloop van stalen bruggen, en het proces bij hergebruik. Middels deze vergelijking wordt

inzichtelijk gemaakt in welke stappen de twee processen van elkaar verschillen. De stappen die extra nodig zijn voor het hergebruikproces (kosten) worden vervolgens vergeleken met de extra stappen die voor conventionele sloop die worden voorkomen (baten) door de circulaire werkwijze.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van de belangrijkste stappen in het conventionele proces van sloop en nieuwbouw van een stalen brug, versus hergebruik.

Tabel 2.7 Processtappen in het conventionele proces van sloop + nieuwbouw en bij hergebruik

Wat	Conventioneel: sloop + nieuwbouw	Hergebruik	Opmerking
engineering en projectmanagement	ja	ja	adviesdiensten zijn nodig bij zowel versterking als nieuwbouw van een brug
verwijderen brug	ja	ja	verwijderen van de brug is in beide processen nodig. Voorbeeld Lekbrug: - lengte 160 m, breedte 29 m; - kosten totale project verwijdering inclusief voorbereidingen EUR 9,4 m
vervoeren naar werf	ja	ja	vervoer naar werf is hoe dan ook nodig, voor sloop of versterking
slopen	ja	nee	sloop is alleen onderdeel van het conventionele proces
verwijderen conservering	nee	ja	bij sloop kan staal inclusief conservering verantwoord worden omgesmolten
reviseren/versterken	nee	optioneel	versterking is alleen onderdeel van proces bij hergebruik
tijdelijk opslaan	nee	optioneel	tijdelijk opslaan is optioneel en niet nodig wanneer een versterkte brug meteen op nieuwe locatie kan worden geplaatst
bouwen nieuwe brug	ja	nee	bouwen van een nieuwe brug is niet nodig bij hergebruik
conserveren	ja	ja	conservering is in geval van nieuwbouw en hergebruik nodig
vervoeren van werf naar nieuwe locatie	ja	ja	zowel een herbruikbare brug als nieuwe brug worden op een werf gemaakt
plaatsen op nieuwe locatie	ja	ja	nieuwe brug kan eventueel in delen worden aangevoerd en op nieuwe locatie in elkaar worden gezet

Tabel 2.7 laat zien dat het conventionele proces van sloop + nieuwbouw en hergebruik veel overeenkomsten hebben. De verwachting is dat de stappen die in beide processen plaatsvinden ook voor vergelijkbare kosten zorgen.

Unieke stappen in het proces van sloop + nieuwbouw zijn het slopen van de brug en het bouwen van een nieuwe brug. Unieke stappen in het proces van hergebruik zijn het verwijderen van de schadelijke conservering, reviseren/versterken en het tijdelijk opslaan (optioneel). Naar verwachting is vooral de nieuwbouw van een brug een significant kostbare stap in het conventionele proces.

Voor hergebruik is versterking een dure stap, maar naar verwachting (veel) minder duur dan nieuwbouw van een brug. Verder zijn de kosten voor het tijdelijk opslaan van een herbruikbare brug variabel en afhankelijk van de tijd: als de herbruikbare brug voor een langere periode moet worden opgeslagen, kan dit tot hoge kosten leiden.

Bij hergebruik is de kans klein dat de brug precies past in de beoogde nieuwe locatie. Een aanpassing van de nieuwe locatie kan ervoor zorgen dat de brug toch goed op de nieuwe bestemming past, zie paragraaf 2.2.4.

Dit betekent wel dat bij de herbruikbare brug sprake is van over dimensionering: er is eigenlijk meer materiaal toegepast dan minimaal nodig. Een nieuwe brug biedt de vrijheid om precies te voldoen aan de gevraagde afmetingen. Hierdoor wordt materiaal en daarmee geld bespaard.

Door het ontbreken van regelgeving (normering, richtlijnen, protocollen), voorbeelden, kennis en ervaring is het hergebruik van stalen bruggen op dit moment omgeven door risico's. Omdat deze risico's kunnen leiden tot potentieel grote budgetoverschrijdingen, zullen deze risico's naar verwachting in voornamelijk de eerste projecten van hergebruik zwaar worden beprijsd. **Daardoor stijgen kosten van hergebruik en is de verwachting dat de totale kosten van hergebruik en nieuwbouw ongeveer gelijk zijn. Het steeds hoger beprijsen van klimaat- en milieu-impact in de toekomst, stijgende grondstofprijzen en het beperken van risico's door regelgeving, ervaring en samenwerking tussen opdrachtgever en opdrachtnemer kan in de toekomst zorgen dat hergebruik financieel aantrekkelijker wordt.**

Zoals in paragraaf 2.2.10 wordt vermeld, moet bij hergebruik op een andere locatie het veiligheidsniveau van nieuwbouw worden aangetoond. Hierbij hoort een restlevensduur van 100 jaar, maar bij hergebruik wordt meestal ingezet op een restlevensduur van 30 jaar. Als je de kosten per jaar zou beschouwen (dus kosten hergebruik deelt door 30, kosten nieuwbouw deelt door 80 of 100) is de verwachting dat nieuwbouw financieel aantrekkelijk is. Door de levensduur bij hergebruik te verlengen (zie paragraaf 0) kan dit financiële verschil worden verkleind. Om dit te bewerkstelligen kunnen richtlijnen en normering worden aangepast of protocollen worden opgesteld die hergebruik met langere levensduur dan 30 jaar (maar korter dan 100 jaar) faciliteren.

3

HANDELINGSPERSPECTIEF

3.1 Hergebruikproces

3.1.1 Conventionele levensloop stalen bruggen

In de huidige (conventionele) levensloop van stalen bruggen worden deze aan het einde van de levensduur verwijderd, naar een werf vervoerd en daar verder afgebroken tot kleine stukken. De kleine stukken worden vervolgens vervoerd naar een staalfabriek en daar om gesmolten om opnieuw gebruikt te worden. Het materiaal van een afgeschreven brug wordt dus grotendeels gerecycled. Omdat Recycling lager op de R-ladder staat dan Re-use is wel sprake van een laagwaardige toepassing (dus niet als onderdeel van een nieuwe stalen brug). Nadeel van dit conventionele proces is dat het omsmelten van het staal een zeer vervuilend proces is dat veel energie verbruikt.

3.1.2 Proces bij hergebruik

In het proces van hergebruik zijn een aantal essentiële stappen te onderscheiden. De meeste stappen zijn in paragraaf 2.2 over de technische hergebruikpotentie ook al behandeld, hieronder worden nogmaals kort genoemd.

Planfase nieuwe brug

Een belangrijke fase in een project van hergebruik stalen brug is de planfase. Het hergebruiken van een stalen brug vergt in vergelijking met bouwen van een nieuwe brug nog meer maatwerk. Er moet in de ontwerpfase tijd en geld worden gereserveerd voor inpassing, definitieve herberekening en ontwerp van de versterking. In de planfase moet het ontwerp op dusdanige manier worden ingericht dat de herbruikbare brug binnen het project kan worden toegepast.

Daarnaast dient, ondanks het voornemen een herbruikbare brug toe te passen, rekening te worden gehouden met een scenario waarin hergebruik om technische reden toch niet haalbaar blijkt. Dit kan leiden tot aanzienlijke vertraging binnen een project, zeker wanneer hier niet op wordt geanticipeerd. Anticiperen kan door bijvoorbeeld ook een inpassingsontwerp te maken voor nieuwbouw, parallel aan het onderzoeken en plannen van hergebruik.

Einde gebruiksfase brug

Na de gebruiksfase wordt gepland de brug te verwijderen, meestal omdat deze zijn einde levensduur bereikt en de levensduur niet meer te verlengen is binnen de projectrandvoorwaarden (tijd, kosten, hinder etc.). Om voor een nieuw project duidelijkheid in de fasering te scheppen dient de impact van demontage van de brug inzichtelijk te worden gemaakt.

Wanneer het einde van de gebruiksfase bekend is kan de vrijkomende brug in zijn geheel of in onderdelen op de nationale bruggenbank worden geplaatst, zodat het voor andere partijen (overheden) inzichtelijk is dat de brug beschikbaar komt. Daarbij is het verstandig de kwaliteit en de levensduur van de (potentieel) herbruikbare brug te bepalen of in te schatten, om te zien of deze überhaupt geschikt is voor hergebruik.

Als er niet meteen een match wordt gevonden of de match qua tijdlijn niet goed aansluit op het demonteren van de oude brug, dient de brug tijdelijk te worden opgeslagen. Hiervoor moet een tijdelijke opslaglocatie worden gezocht.

Verwijderen brug

De brug wordt van de landhoofden verwijderd, meestal omdat deze zijn einde levensduur heeft bereikt. Het verwijderen van een grote brug is een operatie waar veel voorbereiding voor nodig is. Uiteindelijk wordt de brug van de landhoofden getild en op een ponton geplaatst. Deze werkzaamheden worden veelal door een sloopbedrijf of staalbouwer uitgevoerd.

Vervoeren brug naar werf

De brug wordt op een ponton over het water vervoerd naar een werf van een staalbouw specialist.

Verwijderen oude conservering

De oude conservering dient voor aanvang van reparatie te worden verwijderd. Omdat de kans groot is dat deze conservering schadelijke chroom 6 deeltjes bevat, dient dit door een specialistisch bedrijf te worden verwijderd.

Repareren en versterken van de brug

Op de werf wordt de (vermoeiings)schade aan de brug gerepareerd, en wordt de brug eventueel versterkt. Enkele bedrijven zijn hierin gespecialiseerd.

Conserveren van de brug

Na versterking wordt een conserveringslaag aangebracht op de brug. Dit dient in een geconditioneerde omgeving te gebeuren, welke op de bouwwerf gecreëerd kan worden. Recentelijk is de John Frostbrug (Arnhem) op locatie geconserveerd, waarvoor de brug in delen afgesloten voor verkeer moest worden voor het plaatsen van tenten om de geconditioneerde omgeving te creëren.

Vervoeren brug naar nieuwe bestemming

De brug wordt weer op een ponton geplaatst en over het water vervoerd naar de nieuwe bestemming.

Plaatsen brug op nieuwe bestemming

De brug wordt bij de nieuwe bestemming op de landhoofden geplaatst.

Afbouw

De brug wordt afgebouwd, waarbij onder andere installaties worden aangesloten en getest en nieuw asfalt en een voegovergang wordt aangebracht op de brug.

Start nieuwe gebruiksfase

De brug wordt in gebruik genomen op de nieuwe bestemming en er kan weer verkeer overheen rijden.

Eventueel onderhoud, monitoring en inspectie

Tijdens de gebruiksfase dient de brug periodiek te worden onderhouden om de levensduur te garanderen en verlengen. Daarnaast kan (geautomatiseerde) monitoring en inspectie worden gedaan op de brug, om de staat en belasting van de brug in beeld te brengen.

3.2 Inzicht in ketenpartners

In de tabel hieronder wordt een beknopt overzicht gegeven van de ketenpartners en hun rol in de conventionele (huidige) keten en in de keten van hergebruik.

Tabel 3.1 Ketenpartners en hun rol in de conventionele en nieuwe keten

Ketenpartner	Rol in conventionele keten	Rol in keten van hergebruik
architect	ontwerpen nieuwe brug	ontwerpen met beschikbare en herbruikbare brug, visie op historische waarde van oudere bruggen
adviesbureaus	engineering van nieuwe brug	Onderzoek aan de staat van de brug en engineering van versterking herbruikbare brug
bevoegd gezag	verstrekken van vergunning voor nieuwbouw, goedkeuren ontwerp	verstrekken van vergunning voor hergebruik, goedkeuren hergebruik
toetsende instanties	toetsing, goedkeuring en certificering nieuwe brug	toetsing, goedkeuring en certificering herbruikbare brug
innovatieve inspectiebedrijven	onderzoek naar scheuren in bestaande brug	onderzoek in scheuren bij herbruikbare brug, advies voor reparatie en eventueel monitoring van scheuren
kennisinstellingen	onderzoek en kennisontwikkeling van schadedetectie, reparatie en levensduurverlenging	onderzoek en kennisontwikkeling van schadedetectie, reparatie en versterking en levensduurbepaling
staalproducent	omsmelten staal oude brug produceren staal nieuwe brug	produceren staal voor versterking
staalbouw specialist	bouwen nieuwe brug	versterken herbruikbare brug
saneringsbedrijf	eventueel verwijderen oude conservering voorafgaand aan afbreken brug	verwijderen oude conservering
conserveringsbedrijf	conserveren nieuwe brug	conserveren herbruikbare brug
opslagwerf	-	eventueel tijdelijk opslaan herbruikbare brug
hijsspecialist	verwijderen oude brug Plaatsen nieuwe brug	verwijderen en plaatsen herbruikbare brug
nat transportbedrijf	verplaatsen oude brug verplaatsen nieuwe brug	verplaatsen herbruikbare brug naar werf verplaatsen opgeknapte brug naar nieuwe bestemming

Architect

Bij het hergebruik is de rol van de architect anders dan bij nieuwbouw. De architect kan invloed hebben op historische waarde van beeldbepalende elementen, heeft impact op de ruimtelijke kwaliteit van een project en op de materialisatie van de brug. Bij nieuwbouw heeft de architect vaak een grotere ontwerpvrijheid, bij hergebruik wordt de ontwerpvrijheid beperkt door bijvoorbeeld de beschikbare bruggen.

Adviesbureaus

Adviesbureaus hebben zowel in de oude keten als in de nieuwe keten een rol in het leveren van advies en engineering. De werkzaamheden zijn in de nieuwe keten anders dan in de conventionele keten. In de conventionele keten bestaan de werkzaamheden uit het uitwerken van het ontwerp van de architect. In de nieuwe keten zal de staat van de bestaande brug onderzocht moeten worden en vervolgens de (rest)levensduur of eventuele versterking van de brug, of onderdelen daarvan, uitwerken. Daarnaast is binnen het ontwerpproces extra aandacht nodig voor inpassing van de bestaande brug op de nieuwe locatie.

Toetsende instanties

Voor het toetsen en certificeren van een nieuwe brug bestaan normen en regelgeving. Voor het hergebruik van een stalen brug ontbreekt dergelijke regelgeving. De rol van toetsende instanties zal daarom groter worden in de keten van hergebruik, omdat er intensievere samenwerking en meer maatwerk nodig is om samen met ontwerpende partijen en overheid (RWS) tot overeenstemming te komen over een veilig ontwerp.

Inspectiebedrijven

Inspectiebedrijven zijn in zowel de oude als nieuwe keten erg belangrijk, omdat er nog veel te winnen is in het detecteren van schade en het bepalen van bijhorende herstelmogelijkheden. Door schade nauwkeuriger vast te stellen kan de levensduur van stalen bruggen beter worden bepaald. Technische innovaties kunnen helpen bij het inspecteren van bruggen naar schade.

Kennisinstellingen

Kennisinstellingen spelen een belangrijke rol bij hergebruik van stalen bruggen omdat er nog veel te winnen is aan kennis over schade en levensduur van stalen bruggen. De instellingen zetten onderzoek dat bijdraagt aan het vergroten van deze kennis. De instellingen kunnen zich meer gaan toespitsen op het onderzoeken van effectieve reparatie- en versterkingsmaatregelen die kunnen worden toegepast wanneer een stalen brug wordt hergebruikt op een andere locatie.

Staalproducent

De staalproducent krijgt bij hergebruik een kleinere rol. In de conventionele keten is de staalproducent verantwoordelijk voor het omsmelten van het staal van de ontmantelde oude brug. Daarnaast levert (eventueel een andere) staalproducent het staal voor de nieuwe brug.

Bij hergebruik levert de staalproducent alleen het materiaal voor de revisie of versterking van de brug. Omdat voor versterking een stuk minder materiaal nodig is dan voor een compleet nieuwe brug (in het geval van een nieuwe stalen brug) wordt de rol van de staalproducent in de nieuwe keten kleiner.

Saneringsbedrijf

Veel stalen bruggen bevatten waarschijnlijk conserveringslagen met gevaarlijke bestanddelen. In het conventionele keten dient deze conserverings-laag eventueel te worden verwijderd, voorafgaand aan het afbreken van de brug. In de nieuwe keten dient de conserverings-laag hoogstwaarschijnlijk te worden vervangen, waardoor de oude conservering laag moet worden verwijderd.

Conserveringsbedrijf

Zowel voor een brug die wordt hergebruikt als een brug die nieuw is geldt dat deze moet worden geconserveerd. De rol van conserveringsbedrijven verandert niet wezenlijk bij overgang naar een keten van hergebruik.

Hijsspecialist

De hijsspecialist is verantwoordelijk voor het verwijderen van een stalen brug na einde levensduur, en voor het plaatsen van een stalen brug bij een nieuwe ingebruikname. Bij het hergebruik zal de stalen brug waarschijnlijk in zijn geheel worden verwijderd en later op een andere locatie worden geplaatst. In het geval van een nieuwe brug wordt deze eventueel in delen naar de bouwplaats aangeleverd, om daar in elkaar te worden gezet. De rol van de hijsspecialist blijft bij overgang naar keten van hergebruik dus waarschijnlijk gelijk of wordt zelfs groter.

Opslagwerf

Indien een herbruikbare brug niet direct op een nieuwe locatie kan worden toegepast, kan het zijn dat deze ergens tijdelijk moet worden opgeslagen. Bij een opslagwerf kan tijdelijk ruimte worden gehuurd om de brug op te slaan. Overheden kunnen hier een belangrijke rol in spelen door het beschikbaar stellen van terreinen voor opslag.

Nat transportbedrijf

Het transportbedrijf vervoert de verwijderde brug op een ponton over het water naar de plaats van sloop. Daarna wordt een nieuwe brug of herbruikbare brug weer naar de nieuwe bestemming vervoerd, waarbij een nieuwe brug eventueel in delen wordt vervoerd. De rol van het natte transportbedrijf verschilt dus niet veel tussen de conventionele keten en keten van hergebruik.

3.3 Barrières en oplossingsrichtingen

Risico's voor opdrachtnemers

Barrière

Voor het ontwerpen van een nieuwe brug bestaan normen en regelgeving om tot een veilig ontwerp te komen. Het hergebruiken van stalen bruggen is echter nog een relatief onbekend gebied, waar bovendien geen normen voor bestaan om veiligheid van de herbruikbare (en versterkte) brug aan te tonen. Rondom hergebruik spelen dus allerlei onzekerheden, iets wat onder andere ook zorgt voor hogere kosten. De onzekerheid rondom hergebruik zorgt dat opdrachtnemers voor (financiële) zekerheid kiezen door een nieuwe brug te ontwerpen die aan alle normen voldoet.

Oplossingsrichting

Het wordt voor opdrachtnemers aantrekkelijker om een brug te hergebruiken wanneer (een deel van) de onzekerheid wordt weggenomen en de risico's worden verkleind of gemitigeerd. Dit kan op een aantal manieren:

- opstellen van een richtlijn voor hergebruik. Gezien het unieke karakter van stalen bruggen is het wel de vraag of dit haalbaar is. Er kan wel een protocol worden opgesteld dat de benodigde stappen beschrijft om te onderzoeken of een stalen brug herbruikbaar is, hoe deze versterkt moet worden en wat een realistische restlevensduur is bij hergebruik;
- voor aanvang van de aanbestedingsfase dient haalbaarheid van hergebruik te worden onderzocht. Zo ontstaat voor opdrachtnemers meer zekerheid over het hergebruik;
- tijdens ontwerpfase en uitvoering intensieve samenwerking zoeken en risico's delen met opdrachtnemers, bijvoorbeeld door samen te werken in een bouwteam;
- opzetten van pilots, bijvoorbeeld voor het hergebruik van kleinere stalen bruggen. Dit kan als katalysator werken voor het hergebruik van grotere bruggen. Daarnaast kan extra worden geïnvesteerd in de eerste projecten met hergebruik (bijvoorbeeld Van Brienoordbrug). Een eerste succesvol project kan ook dienen als katalysator, en levert daarnaast veel waardevolle leerpunten op.

Kosten

Barrière

Bij het 'uitsmeren' van de kosten voor hergebruik over een periode van restlevensduur van 30 jaar, of het uitsmeren van kosten voor een nieuwe brug over 80 of 100 jaar, zouden de kosten voor nieuwbouw per jaar goedkoper kunnen uitvallen. Daarmee kan het voorkomen dat hergebruik momenteel financieel gezien een minder aantrekkelijk alternatief is dan nieuwbouw.

Oplossingsrichting

Bij hergebruik na versterking is de vereiste restlevensduur meestal 30 jaar. Echter kan worden ingezet op een langere levensduur door toepassen van extra versterkingen of vervanging van risicovolle onderdelen of verbindingen. Daarbij moet wel worden gekeken of de investering in extra versterking opweegt tegen de voordelen, en of voldoende zekerheid kan worden geboden. Daarnaast dienen de huidige richtlijnen (RBK) te worden aangepast om hergebruik voor een periode langer dan 30 jaar te faciliteren.

Daarnaast kan gekozen worden voor instellen van een onderhoudsregime (periodiek onderhoud), eventueel in combinatie met monitoring van de brug. Daarnaast kunnen vooraf maatregelen worden genomen die het onderhoud van de brug makkelijker maken, bijvoorbeeld door te zorgen dat alle belangrijke onderdelen van

de brug goed bereikbaar zijn. Mogelijk wordt hergebruik in de toekomst beter beoordeeld door stijgende grondstofprijzen, CO² beprijzen en dergelijke. Echter is dit momenteel nog geen gangbare praktijk.

Dit kan op een aantal manieren:

- meenemen van klimaat- en milieu impact in projecten (nieuwbouw wordt duurder);
- hergebruik belonen met EMVI-criteria (hergebruik wordt goedkoper);
- hergebruik financieel aantrekkelijk maken door de brug aan andere overheden aan te bieden en slechts compensatie voor gemaakte kosten (voor demontage etc.) te vragen;
- hergebruik voor een langere periode mogelijk maken door de richtlijn (RBK) aan te passen, zodat de kosten over een langere periode kunnen worden 'uitgesmeerd'.

Vermoeiingsschade

Barrière

Stalen bruggen worden vaak vervangen omdat deze het einde van de levensduur hebben bereikt en hun functie niet meer op een veilige manier kunnen vervullen. Vaak speelt vermoeiingsschade hierbij een grote rol. Door een gebrek aan kennis en data van stalen bruggen is het detecteren van schade en het bepalen van een realistische restlevensduur lastig.

Oplossingsrichting

Na einde levensduur worden stalen bruggen verwijderd. Na verwijderen is er de kans om de brug te vervoeren naar een werf en daar te versterken. Door het versterken dient de restlevensduur van de brug met ten minste 30 jaar te worden verlengd. Indien de brug versterkt kan worden door het toevoegen van materiaal en hiermee extra gewicht, kan de nieuwe fundering van de brug op nieuwe locatie hierop worden ontworpen.

Bij het versterken van stalen bruggen waarbij vermoeiingsproblematiek een grote rol speelt moet per object worden gekeken of de investering in extra versterking opweegt tegen de voordelen, en of voldoende zekerheid kan worden geboden. In theorie kan iedere brug worden versterkt en geschikt worden gemaakt voor hergebruik. In de praktijk moet bij keuze voor nieuwbouw of hergebruik een goede afweging worden gemaakt in milieuwinst, kosten, risico's en veiligheid.

Om meer inzicht te krijgen in de staat van stalen bruggen kan worden ingezet op intensieve monitoring van alle stalen bruggen. Zo kan na verloop van tijd inzicht worden verkregen in het gedrag van de stalen bruggen en de ontwikkeling van de schade in de tijd. Dit geeft een beter beeld van de schade van een brug, de benodigdheden van herstel en beperkt risico's.

Matching

Barrière

Bij het hergebruiken van een stalen brug dient er een match te worden gemaakt tussen een beschikbare brug (aanbod) en een benodigde brug (vraag). Voornamelijk voor grotere stalen bruggen geldt dat matching bij hergebruik lastiger is. Ten eerste omdat de vraag en het aanbod relatief klein zijn. Daarnaast kan het lastig zijn om een geschikte nieuwe locatie te vinden waar de brug goed op aansluit. Bovendien is het wenselijk dat de herbruikbare brug niet te lang opgeslagen hoeft te worden, omdat dit hoge kosten met zich mee kan brengen.

Oplossingsrichting

Matching voor kleine stalen bruggen (< 50 m) kunnen worden geregeld via de Nationale Bruggenbank, waar vraag en aanbod bij elkaar worden gebracht. Omdat voor deze bruggen relatief veel nieuwe bestemmingen zijn, zal de vraag vanuit de markt (voornamelijk kleinere overheden) groter zijn. Daarnaast is bijvoorbeeld vervoer van deze kleinere bruggen aanzienlijk minder complex waardoor minder ondersteuning of sturing vanuit de overheid nodig is.

Matching voor grote stalen bruggen (> 50 m) behoeft maatwerk en kan niet alleen aan de markt worden over gelaten. Het is raadzaam dat Rijkswaterstaat hier actiever op gaat sturen wanneer een brug kan worden hergebruikt binnen het eigen areaal. Wanneer dit niet mogelijk blijkt en hergebruik op onderliggend weggennet realistischer is, kan RWS investeren in matching.

Bij het vrijkomen van grote stalen bruggen kan door RWS worden onderzocht of er potentiële locaties zijn op het gebied van:

- geometrie (past de brug op nieuwe locatie?);
- planning (past de brug in het tijdspad van nieuwe locatie?);
- bereikbaarheid (kan de brug de nieuwe bestemming bereiken?) waar de brug kan worden hergebruikt.

Voornamelijk op de eerste twee facetten valt ook te sturen:

- de nieuwe bestemming kan worden aangepast om te zorgen dat deze overeenkomt met een beschikbare brug. Denk hierbij aan het vergroten of verkleinen van de overspanning door landhoofden deels in de onderliggende (water)weg te plaatsen, of door de overspanning in meerdere delen op te knippen;
- in de planning kunnen maatregelen worden genomen om het tijdspad van project rondom oude bestemming (vervanging) en nieuwe bestemming (hergebruik) dicht bij elkaar te brengen. Zo kan een vervanging door (tijdelijke) versterkingsmaatregelen of intensievere monitoring iets worden uitgesteld, of kan juist worden gekozen om een vervanging eerder te plannen zodat hergebruik beter aansluit op nieuwe bestemming;
- qua bereikbaarheid kan in de matching worden gezocht naar oude en nieuwe bestemming die dicht bij elkaar liggen en over water bereikbaar zijn zonder onoverkomelijke obstakels. Sturende maatregelen zijn hiervoor lastig omdat de bestemming van de brug veelal plaatsgebonden is en zich niet of nauwelijks laat verplaatsen.

Daarnaast hebben projecten rondom vervanging van grote stalen bruggen een looptijd van orde-grootte 10 jaar. In de planfase dient al te worden gekeken naar de mogelijkheid van hergebruik zodat het vervolgens in de aanbesteding al wordt meegenomen. Het overwegen van een herbruikbare brug moet daarom de standaard worden als één van de eerste stappen zijn in een planfase.

Transport

Barrière

Voor grotere stalen bruggen is het vervoeren over water naar een nieuwe bestemming of naar een werkplaats lastig omdat andere kunstwerken (bruggen en sluizen) een beperking opleggen van de doorvaarbreedte en doorvaarhoogte.

Oplossingsrichting

Wederom is matching van belang, en kan gekeken worden naar nieuwe locaties die niet worden gehinderd door transportbeperkingen. Daarnaast kan voor het versterken van de brug worden gekeken of het mogelijk is een tijdelijke werkplaats te maken op een locatie die binnen het transportbereik van de brug ligt.

Daarnaast kan worden onderzocht of het tijdelijk 'opknippen' van de brug in meerdere delen een mogelijkheid is, als de brug daardoor wel naar een bestemde locatie kan worden vervoerd.

3.4 Impact op organisatie RWS

Rijkswaterstaat (RWS) en haar manier van werken is gericht op het succesvol voltooien van projecten. Hergebruik van stalen bruggen is echter project-overstijgend en vraagt daarom om een iets andere manier van werken. Om actiever te sturen op hergebruik kunnen de volgende stappen worden genomen:

- verkenning van hergebruik onderdeel maken van het beleid en interne werkprocessen.
 - bij vervanging van een brug eerst onderzoeken of er een andere brug hergebruikt kan worden;

- bij het vrijkomen van een brug de technische hergebruikpotentie onderzoeken en inzichtelijk maken. Zo worden risico's bij hergebruik en hergebruik toegankelijker in andere projecten en voor andere opdrachtgevers (voornamelijk overheden);
- wanneer een herbruikbare brug beschikbaar is, moeten de plannings van de projecten (verwijderen brug en plaatsen brug) op elkaar worden aangesloten. Daarvoor is (extra) ruimte nodig in de plannings van beide projecten om deze op elkaar af te stemmen;
- samenwerking zoeken met andere overheden. Stalen bruggen kunnen worden ingezet op onderliggend wegennet, daarvoor is goede afstemming nodig tussen RWS en andere overheden. Herbruikbare stalen bruggen kunnen door RWS tegen onkostenvergoeding worden aangeboden aan lagere overheden zodat hergebruik voor hen financieel aantrekkelijker wordt;
- investeren in het verzamelen van data over bruggen tijdens de gebruiksfase door toepassen van sensoren. Hiermee kan schade beter worden gesignaleerd en gerepareerd, en kan de restlevensduur beter worden benaderd en aangetoond;
- indien nodig kan RWS investeren in opslaglocaties voor het tijdelijk opslaan van herbruikbare stalen bruggen;
- hergebruik van stalen bruggen leidt tot lagere MKI-kosten dan sloop en nieuwbouw van een stalen brug (zie paragraaf 2.3). Hergebruik is echter wel de weg van de meeste weerstand: er zijn hogere risico's, waarschijnlijk een hogere prijs, er is meer onderhoud en ondersteuning nodig vanuit RWS. Het is daarom raadzaam dat RWS een goede afweging gaat maken tussen de kosten en de baten, en daarbij milieu-impact zwaarder gaat laten meewegen. Om hergebruik en alle bijhorende obstakels te overwinnen is een mentaliteitsverandering nodig, anders blijft sloop en nieuwbouw de meest aantrekkelijke optie.

In paragraaf 3.6 wordt verder ingegaan op de mogelijke organisatiemodellen.

3.5 Fase markttransformatie

Structureel hergebruik van objecten, onderdelen en materialen vraagt om een andere manier van werken dan de manier die lange tijd gebruikelijk was. Het toewerken naar deze nieuwe manier is te zien als een 'markttransformatie'. Ieder van de vier fasen van markttransformatie¹ heeft daarbij eigen kenmerken en vraagt een specifieke inzet van RWS. De vier fasen zijn toegelicht in kader Fasering markttransformatie.

Fasering markttransformatie

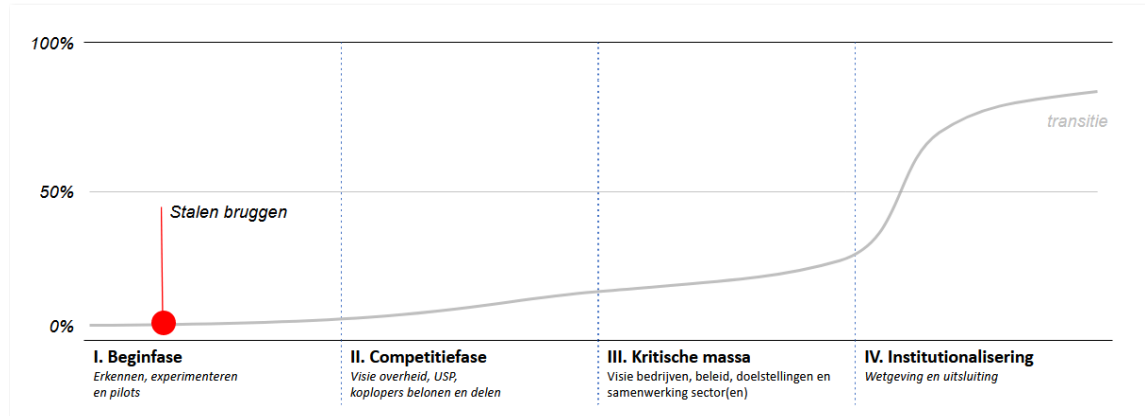
De vier fasen van markttransformatie volgens het model van Simons & Nijhof:

- **Fase 1: Beginfase**
In deze eerste fase wordt gewerkt aan een gezamenlijke erkenning van het probleem. Ook vinden de eerste experimenten en pilots plaats, waarmee duidelijk wordt welke oplossingsrichtingen mogelijk zijn.
 - **Fase 2: Competitiefase**
In deze tweede fase zien meerdere partijen kansen om bij te dragen aan de oplossing, en ontstaat competitief voordeel vanuit koplopers. Daarbij hoort een heldere visie vanuit de overheid over de richting die wordt ingezet.
 - **Fase 3: Kritische massa**
In deze derde fase gaan steeds meer partijen met oplossingen aan de slag, waarbij zij ook pre-competitief samenwerken. Daarbij stellen partijen meetbare doelstellingen en ontwikkelen zowel overheid als bedrijven beleid en strategie.
 - **Fase 4: Institutionalisering**
In deze vierde fase worden de oplossingen het 'nieuwe normaal'. Daarbij worden zaken gevat in wetgeving en richtlijnen. Ook vindt uitsluiting van partijen plaats die niet op deze nieuwe manier werken.
-

¹ Simons & Nijhof (2020) *Changing the Game: duurzame markttransformaties*.

Door per objecttype te bepalen in welke fase van markttransformatie deze zich bevindt, wordt duidelijk welke interventies en inzet hier vanuit Rijkswaterstaat bij horen om versnelling van het transitieproces te realiseren.

Afbeelding 3.1 De positie van stalen bruggen in het 4-fasen model voor markttransformaties



Stalen bruggen

Het hergebruik van stalen bruggen bevindt zich in **fase 1**. Dit is technisch erg complex, doordat stalen bruggen groot zijn en vaak met maatwerk voor een specifieke locatie zijn ontworpen. Daardoor is hergebruik als gehele brug vaak lastig. Ook zijn er geen bekende experimenten, behalve de her-inzet van de Moerdijkbruggen (jaren '60) tot de huidige Keizersveerbruggen.

3.6 Organisatiemodellen

In de huidige manier van werken van Rijkswaterstaat worden stalen bruggen nog vrijwel niet hergebruikt: het zijn maatwerkobjecten, waarbij hergebruik van het object als geheel technisch en organisatorisch complex is. De stap naar 'hergebruik, tenzij' betekent daarom een ander organisatie-model dan de reguliere manier van werken, waarbij RWS het initiatief voor ontwerp en realisatie bij de markt legt.

Mogelijke organisatiemodellen

Op hoofdlijnen zijn er drie organisatie-modellen te onderscheiden in de relatie tussen Rijkswaterstaat en uitvoerende partijen, wanneer we kijken naar rollen en verantwoordelijkheden:

- 'Markt aan het stuur', waarin in het realiseren van de ambities en projecten van Rijkswaterstaat naar marktpartijen wordt gekeken voor de innovatieve ideeën, inhoudelijke expertise en uitvoeringscapaciteit. Daarmee bepalen marktpartijen in feite op welke manier de circulaire ambities in de praktijk worden gebracht.
- 'Ieder zijn eigen expertise', waarin de rollen en verantwoordelijkheden gelijkmatig zijn verdeeld tussen Rijkswaterstaat en marktpartijen. Daarbij neemt Rijkswaterstaat initiatief voor zaken op ketenniveau en werken marktpartijen op projectniveau.
- 'Rijkswaterstaat organiseert', waar Rijkswaterstaat een sterke verantwoordelijkheid naar zich toetrekt om de ambities te realiseren. Daarbij gaat het onder meer om het organiseren van de keten van hergebruik, van opslag, matchmaking, renovatie/reparatie en logistiek tot her-inzet.

Wanneer we kijken naar de markt van stalen bruggen ligt het organiseren van hergebruik op dit moment vrijwel volledig bij Rijkswaterstaat ('Rijkswaterstaat organiseert'). Hergebruik is complex vanwege het maatwerk, technische uitdagingen en risico's en vindt in de praktijk nog nauwelijks plaats (zie paragraaf 3.3). Vanwege de vroege fase van markttransformatie naar hergebruik (fase I, zie paragraaf 3.5) zijn hier nog

pilots en experimenten nodig. Daarbij is er een belangrijk onderscheid tussen hergebruik van de grote, stalen maatwerkobjecten voor Rijkswaterstaat en de kleinere, stalen 'standaard'-objecten vanuit bijvoorbeeld Provincies en Waterschappen. Hergebruik vindt daar al meer plaats, en toekomstig hergebruik wordt vereenvoudigd door de huidige ontwikkeling van onder andere IFD-bouwen (en losmaakbaarheid). Omdat de grote stalen bruggen in beheer van RWS vrijwel allemaal maatwerk zijn, geldt dit hiervoor niet.

Korte-termijnperspectief (1-4 jaar)

Gezien de technische en organisatorische complexiteit lijkt het enig mogelijke organisatiemodel 'Rijkswaterstaat organiseert'. Ook gaat het om een zeer beperkt aantal bruggen (zie paragraaf 2.1.3) waardoor marktpartijen dit niet kunnen optimaliseren door schaalvergroting. Dat het aantal gespecialiseerde aannemers voor staalbouw beperkt is, maakt dat de expertise voor specifieke projecten relatief eenvoudig te vinden is. Op korte termijn zijn dus vooral experimenten nodig, waarbij dit gericht onderzoek vraagt vanuit specifieke objecttypen. Hergebruik vraagt een risicodragende houding van Rijkswaterstaat voor de technische prestaties van de brug: dit is een risico dat individuele marktpartijen niet kunnen afdekken zonder voldoende beschikbare data of grondig onderzoek naar de staat van de brug (zie ook paragraaf 3.4).

Langere-termijnperspectief (5-8 jaar)

Wanneer uit de pilots op kortere termijn blijkt dat hergebruik van grote objecten haalbaar is, is dit iets waar RWS mee door kan gaan. Mocht de hergebruikpotentie van objecten als geheel tegenvallen, dan is een langere-termijnperspectief dat partijen zich vooral gaan richten op demontage van de grote objecten en hergebruik van onderdelen. Omdat het aantal daarvan groter is, lijkt een hybride model hierbij het meest kansrijk: 'ieder zijn eigen expertise'. Wanneer dat niet lukt, is recycling op materiaalniveau altijd een optie. Dit is echter niet anders dan de recycling die momenteel ook al plaatsvindt.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

Om het onderzoek 'strategie hergebruik' te structureren zijn door RWS voor 7 objecten/componenten vragen uitgezet die inzicht geven in de hergebruik potentie. Onderstaand worden de conclusies van het onderzoek naar de hergebruikpotentie van stalen bruggen gepresenteerd. De conclusies zijn verdeeld in conclusies op technisch vlak, klimaat- en milieuwinst, en financieel gebied.

4.1.1 Technische hergebruikpotentie

Hieronder worden de conclusies met betrekking tot de technische hergebruikpotentie uiteengezet:

- tussen 2022 en 2030 komen in totaal 20 stalen brugdelen (zie 1.3.1 voor definitie) vrij uit het RWS areaal die in potentie kunnen worden hergebruikt. Dit is dus een relatief kleine groep objecten;
- hergebruik van stalen bruggen is geen nieuw idee: bij het vervangen van de Moerdijkbruggen rond 1978 kwamen 10 stalen vakwerk-brugdelen vrij. Deze 10 delen zijn allemaal hergebruikt op 2 locaties: de huidige Keizersveerbruggen (snelweg, 6 brugdelen) en de Spijkenisserbrug (N-weg, 4 brugdelen).
- de hergebruikte bruggen uit bovenstaande conclusie zijn 44 jaar later nog steeds in gebruik. Hoewel het slechts om 2 voorbeelden gaat, laat dit wel zien dat hergebruik van stalen bruggen in bepaalde situaties zeker mogelijk is;
- stalen bruggen zijn geschikte objecten voor hergebruik, maar er zijn wel een aantal obstakels bij hergebruik. De grootste technische obstakels zijn vermoeiingsschade, (kosten voor) versterking, veiligheid tijdens resterende levensduur, vervoer van de brug over het water en het vinden van een geschikte bestemming;
- hergebruik in dezelfde functie (verkeersbrug wordt weer verkeersbrug) heeft de voorkeur. Bij bruggen waarbij vermoeiing een grote rol speelt, is hergebruik in dezelfde functie (hoofdwegennet) lastig omdat deze dan weer veelvuldig zwaar worden belast. Dit betekent dat deze bruggen zwaar moeten worden versterkt bij hergebruik, waarbij een goede afweging moet worden gemaakt of de beoogde milieuwinst de investering waard is. Bij hergebruik op onderliggend wegennet wordt de brug minder vaak zwaar belast, wat de levensduur ten goede komt. Als hergebruik als brug voor wegverkeer niet mogelijk blijkt, zijn er andere alternatieven denkbaar (buiten scope van dit onderzoek): inzet van de stalen brug als fiets- en voetgangersbrug, brug met woonfunctie, hergebruik van de brug in onderdelen (stalen balken en kolommen);
- stalen bruggen zijn unieke objecten, hergebruik en het vinden van een nieuwe locatie is maatwerk. Voor kleinere bruggen (< 50 m, dit is slechts 1 v/d 20 brugdelen die vrijkomen) is de verwachting dat dit nog via de markt van vraag en aanbod kan worden geregeld. Voor grotere bruggen (> 50 m) is meer sturing nodig door het unieke karakter van de bruggen en de grotere obstakels bij bijvoorbeeld het vervoer;
- planning van de bouw van een nieuwe (stalen) brug kost ongeveer 10 jaar, planning van hergebruik dient dus ver voor werkelijke project onderzocht en vastgesteld te worden zodat in het werkelijke project (extra) tijd en geld beschikbaar wordt gesteld. Als hergebruik niet in de aanbesteding wordt meegenomen, komt het niet van de grond;
- versterken van bruggen die in gebruik zijn is vaak lastig omdat dit verkeershinder veroorzaakt en/of de fundering het extra gewicht (beperkt probleem) van toegevoegd materiaal niet aan kan. Bij hergebruik (op andere locatie) spelen deze problemen niet;

- het verplaatsen van een grote stalen brug is een complexe operatie. Dergelijke verplaatsingen zijn echter zowel voor de conventionele manier van sloop + nieuwbouw als voor hergebruik nodig. Voorafgaand aan verplaatsing van een brug kan eventueel worden gekozen om deze op te demonteren bij de sectiedelingen, om ze later weer aan elkaar te maken.

4.1.2 Klimaat- en milieuwinst bij hergebruik

Een analyse van de milieu-impact van stalen bruggen staat uitgewerkt in paragraaf 2.3. Hieruit komen de volgende conclusies naar voren:

- het conserveren van een stalen brug is essentieel maar heeft ook grote klimaatimpact. Conservering is nodig bij zowel hergebruik als nieuwbouw en dus niet onderscheidend tussen beide scenario's. Daarom wordt uitsluitend verwijdering van de conservering beschouwd in het geval van hergebruik (zie ook paragraaf 2.3.2);
- in het proces van sloop-nieuwbouw van stalen bruggen zijn de activiteiten met de grootste milieu-impact de materiaalproductiefase en het bouw- en sloopproces op de werf;
- bij hergebruik is het merendeel van de milieu-impact toe te wijzen aan het staal voor versterken van de brug en tijdens het verwijderen de staalconservering;
- de bovengrens voor potentiële milieuwinst bij hergebruik van de 20 geanalyseerde brugdelen is EUR 2,9-4,8 miljoen MKI (20.750-34.100 ton uitgedrukt in CO₂-eq) en een potentiële materiaalbesparing van 15.000-23.800 ton staal, uitgaande van respectievelijk lage en hoge massaschattingen. In de bepaling van de milieu-impact zijn verschillende activiteiten beschouwd voor zowel sloop-nieuwbouw als hergebruik;
- de besparing door hergebruik van stalen bruggen in het areaal van RWS tot 2030 is EUR 0,0-4,8 miljoen MKI, omdat niet kan worden bepaald hoeveel bruggen hergebruikt gaan worden, en het mogelijk is dat hergebruik niet plaatsvindt.

4.1.3 Kosten en baten van hergebruik

De kosten en baten van hergebruik ten opzichte van het huidige proces van sloop en nieuwbouw van Stalen bruggen zijn met elkaar vergeleken in paragraaf 2.4. De conclusies uit die paragraaf worden hieronder opgesomd:

- kijkend naar de stappen die nodig zijn voor sloop en nieuwbouw en voor hergebruik, lijkt hergebruik goedkoper. Hergebruik is echter omgeven door risico's, met name door ontbreken van regelgeving (normering en richtlijnen), kennis en ervaring. Dit kan in een project leiden tot overschrijding van planning en budget, en zullen daarom in de regel zwaar worden beprijsd. Daardoor is de verwachting dat de totale kosten van hergebruik en nieuwbouw momenteel ongeveer gelijk zijn;
- bij hergebruik op een andere locatie wordt in de RBK uitgegaan van veiligheidsniveau voor nieuwbouw met bijhorende restlevensduur van 100 jaar. Het is echter bij hergebruik realistischer om in te zetten op hergebruik van 30 jaar. Als de kosten per jaar beschouwd worden (dus kosten hergebruik deelt door 30, kosten nieuwbouw deelt door 80 of 100) is de verwachting dat nieuwbouw momenteel financieel aantrekkelijker is;
- indien de klimaat- en milieuwinst wordt meegenomen in de vergelijking, pakt dit gunstiger uit voor hergebruik. Dit geldt voor vrijwel ieder object in de vergelijking tussen hergebruik of sloop + nieuwbouw. Echter wordt klimaat- en milieu impact in de huidige praktijk niet of nauwelijks meegenomen waardoor nieuwbouw goedkoper is. De verwachting is wel dat door dringende klimaatproblematiek in de komende jaren een hogere prijs wordt gezet op klimaat- en milieu impact, waardoor nieuwbouw duurder wordt en hergebruik relatief goedkoper.

4.2 Aanbevelingen

Op basis van de conclusies worden hieronder een aantal aanbevelingen gedaan om meer te sturen op het hergebruik van stalen bruggen:

- veel stalen bruggen kennen vermoeiingsproblematiek en zullen daardoor zwaar versterkt moeten worden. Hierbij moet de afweging worden gemaakt of klimaatwinst opweegt tegen de benodigde investering voor versterking om hergebruik te faciliteren. Een eerste stap daarbij is kijken of hergebruik in dezelfde functie haalbaar is. Als dat niet haalbaar is kan worden gekeken naar toepassing in onderliggend wegennet, of zelfs in een andere functie;
- Pas de richtlijn RBK aan en/of stel een protocol op om een restlevensduur anders dan 30 jaar te onderzoeken en aan te kunnen tonen;
- onderzoek of hergebruik voor periode langer dan 30 jaar mogelijk is door extra versterking, inzetten op periodiek onderhoud, instellen van een inspectieregime en uitgebreide monitoring van de brug;
- onderzoek in een vroeg stadium van een project (planstudie) of een stalen brug herbruikbaar is of dat een herbruikbare stalen brug in het project in te passen is. hergebruik van stalen bruggen moet al in de aanbesteding worden meegenomen, en dus al voor aanbesteding van een nieuw project zijn onderzocht;
- verlaag onzekerheid en risico's voor opdrachtnemers zodat hergebruik goedkoper en aantrekkelijker wordt:
 - stel regelgeving of een richtlijn op om duidelijkheid te scheppen voor andere overheden en/of de markt over hergebruik;
 - voor vooraf haalbaarheidsonderzoek uit om de mogelijkheden vast te stellen;
 - door vormen van samenwerking te zoeken die risico's deelt met de markt (bouwteam bijvoorbeeld);
 - extra investeren in de eerste projecten om haalbaarheid aan te tonen en ervaring op te doen met hergebruik;
- maak hergebruik aantrekkelijker, dit kan onder andere op deze manieren:
 - meenemen van klimaat- en milieu impact in projecten (nieuwbouw wordt duurder);
 - hergebruik belonen met EMVI-criteria (hergebruik wordt goedkoper);
 - hergebruik financieel aantrekkelijk maken (herbruikbare brug tegen onkosten aanbieden);
- stuur actiever op het hergebruik van stalen bruggen en zoek naar nieuwe bestemmingen voor stalen bruggen die in de toekomst beschikbaar komen. Onderzoek voor grote bruggen (> 50 m) of het mogelijk is deze in te zetten op andere locaties, en stel wanneer haalbaarheid is aangetoond dit hergebruik vervolgens verplicht in projecten;
- de nieuwe bestemming van een stalen brug kan worden aangepast om te zorgen dat deze geschikt wordt voor een herbruikbare en beschikbare brug. Denk hierbij aan het verkleinen van de overspanning door landhoofden deels in de onderliggende (water)weg te plaatsen, of door de overspanning in meerdere delen op te knippen. Met andere woorden; stel hergebruik centraal in plaats van te ontwerpen op de ideale situatie (hergebruik, tenzij);
- zet sensing in bij nieuwe en bestaande bruggen, om de belasting op de brug te monitoren en de levensduur nauwkeuriger te kunnen bepalen en effectiever te verlengen.

Bijlage(n)

BIJLAGE: BRONNENLIJST

I.1 Literatuur

Voor het opstellen van het onderzoek naar het hergebruik van betonnen prefab liggers is gebruik gemaakt van de bronnen en gegevens zoals vermeld in tabel i.1.

Tabel I.1 Referentielijst

Naam	Omschrijving	Bron
MIRT		
CE Delft Zwaartepuntenanalyse (2021) + Update in Excelbestand (versie 1.1, 10 oktober 2021)	zwaartepuntenanalyse MKI en klimaatimpact transitiepad kunstwerken RWS 2021-2030	CE Delft aangeleverd door RWS
Lijst stalen bruggen (om te delen)	Lijst stalen bruggen met informatie (geometrie, vast/beweegbaar, type hoofdconstructie en dektype)	aangeleverd door RWS
prognoserapport_VenR_2021 (definitief 26102021)	vervanging en Renovatie prognose voor de periode 2021 tot en met 2050	aangeleverd door RWS
materiaalstromen in de bouw en infra, methodologische bijlage	methodologische bijdrage bij het onderzoek naar vrijkomende assets uit Grond-Weg-Waterbouw-sector en de Bouw en Utiliteit	economisch Instituut voor de bouw (EIB) aangeleverd door RWS
Arup - 1 ^e van Brienoordbrug - Globale uitkomsten herberekening en randvoorwaarden hergebruik		aangeleverd door RWS
haalbaarheidsstudie hergebruik Lekbrug	haalbaarheidsstudie voor het hergebruik van de Lekbrug met woonfunctie	https://www.cepezed.nl/nl/project/haalbaarheidsstudie-hergebruik-lekbrug/21400/

I.2 Interviews

Voor het opstellen van het onderzoek naar het hergebruik van Stalen bruggen is gebruik gemaakt van kennis binnen Witteveen+Bos . De experts die geïnterviewd zijn staan in tabel i.2.

Tabel I.2 Geïnterviewde experts Witteveen+Bos organisatie

Naam	Ervaring
ing. B.S. Hylkema MSEng	senior (register)Constructeur Stalen Bruggen, 20 jaar ervaring



BIJLAGE: OVERZICHT UITGANGSPUNTEN MILIEU-IMPACT BEREKENINGEN

Tabel II.1 Uitgangspunten en milieu-impact voor transport via binnenvaart

Naam	Massa brug [ton]		Transport [tkm]		Milieu-impact [euro MKI]	
	laag	hoog	laag	hoog	laag	hoog
Van Brienoordbrug	3.217	5362	321.700	536.200	2.300	3.900
Merwedebrug	2.570	4284	257.000	428.400	1.900	3.100
Keizersveerbruggen (lang vakwerk)	1841	3068	184.100	306.800	1.300	2.200
Keizersveerbruggen (kort vakwerk)	805	1342	80.500	134.200	600	1.000
brug bij Itteren	413	413	41.300	41.300	300	300
Balgzandbrug	184	307	18.400	30.700	100	200

Tabel II.2 Uitgangspunten en milieu-impact versterken brug

Naam	Massa brug [ton]		Massa versterking [ton]		Milieu-impact [euro MKI]	
	laag	hoog	laag 5%	hoog 10%	laag	hoog
Van Brienoordbrug	3.217	5362	161	536	46.600	155.100
Merwedebrug	2.570	4284	129	428	37.300	123.900
Keizersveerbruggen (lang vakwerk)	1.841	3068	92	307	26.600	88.900
Keizersveerbruggen (kort vakwerk)	805	1342	40	134	11.600	38.800
brug bij Itteren	413	413	21	41	6.100	11.900
Balgzandbrug	184	307	9	31	2.600	9.000

Tabel II.3 Uitgangspunten en milieu-impact voor hijswerkzaamheden, per hijsmoment. Deze waarden zijn niet in de kwantificatie betrokken aangezien de beschikbare NMD-producten niet representatief blijken voor de verwachte werkzaamheden, zie kader in paragraaf 2.3

Naam	Aantal kranen		Gebruiksduur		Totaal kraanuren		Milieu-impact	
	laag / hoog	laag / hoog	laag / hoog	laag / hoog	laag / hoog	laag / hoog	[euro MKI/hijsmoment]	laag / hoog
Van Brienenoordbrug	32	54	24 uur	48 uur	768 uur	2592 uur	15.900	53.700
Merwedebrug	26	43	24 uur	48 uur	624 uur	2.064 uur	12.900	48.800
Keizersveerbruggen (lang vakwerk)	19	31	24 uur	48 uur	456 uur	1.488 uur	9.400	30.800
Keizersveerbruggen (kort vakwerk)	8	14	24 uur	48 uur	192 uur	672 uur	4.000	13.900
brug bij Itteren	4	5	24 uur	48 uur	96 uur	240 uur	2.000	5.000
Balgzandbrug	2	4	24 uur	48 uur	48 uur	192 uur	1.000	4.000



BIJLAGE: BEPALEN AANTAL VRIJKOMENDE BRUGGEN EN AFMETINGEN

III.1 Aantal vrijkomende bruggen

Bij het inschatten van het aantal vrijkomende bruggen is gebleken dat weinig informatie beschikbaar is en daardoor lastig om een compleet beeld te krijgen van zowel het huidig areaal (bruggen in gebruik) als de gerealiseerde sloop in het verleden. Daarom wordt in deze paragraaf op een aantal verschillende manieren en op basis van verschillende bronnen een schatting gemaakt van de hoeveelheid vrijkomende stalen bruggen.

Voor prognose van het aantal vrijkomende bruggen in de periode tot en met 2030 zijn 3 benaderingen toegepast, waarvan er uiteindelijk 1 wordt gekozen:

- 1.1 prognose op basis van gerealiseerde sloop uit het verleden (extrapoleren naar toekomst);
- 1.2 prognose op basis van de leeftijd van bruggen;
- 1.3 prognose op basis van geplande sloop.

De prognose met methode 1.1 berust op de geregistreerde sloop uit het verleden. Vraag daarbij is echter of dit nog representatief is voor de periode tot en met 2030 omdat er in het verleden relatief weinig is gesloopt. Een alternatief is daarom om methode 1.2 te gebruiken en de leeftijd van bruggen er bij te betrekken. Methode 1.3 gaat uit van de geplande sloop tot en met 2030 in projecten die gepland zijn of al zijn gestart.

Aantal stalen bruggen in areaal RWS

De bronnen in tabel III.1 zijn gebruikt om een inschatting van het areaal te maken.

Tabel III.1 Overzicht van verschillende bronnen met areaalgegevens over stalen bruggen RWS

Bron	ABC (Actueel Betrouwbaar Compleet)
website RWS (https://www.rijkswaterstaat.nl/wegen/wegbeheer/bruggen): 103 vaste stalen bruggen in beheer	nee
uit NIS (Netwerkmanagement Informatie Systeem), 122 stalen bruggen in gebruik: 88 natte stalen bruggen (ligt in een weg van een andere wegbeheerder maar kruist RWS vaarweg) 34 droge stalen bruggen (ligt in een weg van RWS)	ja
uit DISK (Data Informatie Systeem Kunstwerken) bestand in Nota van Inlichtingen: 17. <i>20210222_materialen_disk.xlsx</i> hoofddraagconstructie van 10 vaste stalen bruggen met vervangingsjaar tussen 2020 en 2030. Vervangingsjaar waarschijnlijk bepaald als stichtingsjaar + 80 en renovatiejaar + 30	nee
bestand <i>210107 Datafile DISK tbv SBIR.xlsx</i> bestand afkomstig uit SBIR voor circulair viaduct 64 vaste stalen bruggen in gebruik en in beheer bij RWS	nee

opgevraagde gegevens DISK bij RWS	ja
119 vaste stalen bruggen in gebruik en in beheer bij RWS geregistreerde sloop: 9 bruggen in afgelopen 35 jaar (= 0.26 brug per jaar, 0.22 % van areaal per jaar) OF 8 bruggen in afgelopen 20 jaar (= 0.40 brug per jaar, 0.34 % sloop van areaal per jaar)	
EIB en Metabolic: <i>Materiaalstromen bouw</i>	nee
110 vaste stalen bruggen in areaalbestand 2019, 109 bruggen in areaalbestand 2020. (109-110) / 110 = 0.9% van areaal gesloopt per jaar (in het rapport staat 1.8 % per jaar, het EID gaf zelf aan dat dat getal niet klopt maar dus 0.9 % per jaar moet zijn)	
bestand <i>CE Delft - RWS_Bruggen en Viaducten tot 2030.xlsx</i>	nee
Vervangen kleine stalen brug: 27 stuks (bruggen niet in areaal RWS) Vervangen middelgrote stalen brug: 1 stuk (Kootstertille = beweegbaar) Vervangen grote brug: 2 stuks (Merwedeburg A27)	
bestand <i>Lijst stalen bruggen (om te delen).xlsx</i>	ja
152 vaste stalen bruggen, 116 unieke objectcodes, dus 116 'brugcomplexen' met minstens 1 stalen brug (stalen aanbruggen in dit geval niet beschouwd)	

Op basis van bovenstaande informatie wordt gekozen om te werken met een huidig areaal van **116 vaste stalen bruggen**, omdat deze lijst het meest compleet lijkt. Daarnaast komt het aantal van 116 vaste stalen bruggen dicht in de buurt bij het aantal uit de NIS (119) en het aantal uit eigen data-analyse van DISK-gegevens (122).

Telling aantal bruggen in DISK

In onderstaande methodes wordt getracht het aantal stalen bruggen dat vrijkomt t/m 2030 te schatten, onder andere op basis van informatie uit DISK. Veel van deze bruggen vallen onder 1 naam, maar bestaan uit meerdere overspanningen en dus eigenlijk meerdere bruggen.

Echter bestaat het merendeel van de overspanningen uit betonnen aanbruggen, die buiten de scope vallen (zie paragraaf 1.3.1). Het blijkt voor een 'stalen brug' (vallend onder 1 naam) in DISK niet goed mogelijk om het daadwerkelijke aantal stalen overspanningen hieruit te onttrekken.

Bij gebrek aan meer informatie wordt daarom in onderstaande methode 1 en 2 aangenomen dat de genoemde stalen bruggen in DISK bestaan uit 1 stalen hoofdoerspanning, en de rest van de overspanningen dus betonnen aanbruggen zijn die buiten de scope vallen.

Methode 3 levert een nauwkeurigere benadering door in te zoomen op geplande sloop en daarin per brug onderscheid te maken in het aantal overspanningen.

Methode 1.1: prognose op basis van gerealiseerde sloop

Op basis van de gerealiseerde sloop komt het EIB uit op 0,9 % sloop per jaar van het areaal stalen bruggen. Omdat hier slechts data van 1 jaar wordt gebruikt, lijkt dit geen betrouwbare schatting.

Uit het opgevraagde database bestand uit DISK volgen de volgende jaartallen voor geregistreerde sloop:

- 1987;
- 2002;
- 2005;
- 2008;
- 2008;
- 2014;
- 2016;
- 2018;
- ?? (sloopjaar onbekend, bouwjaar 1998).

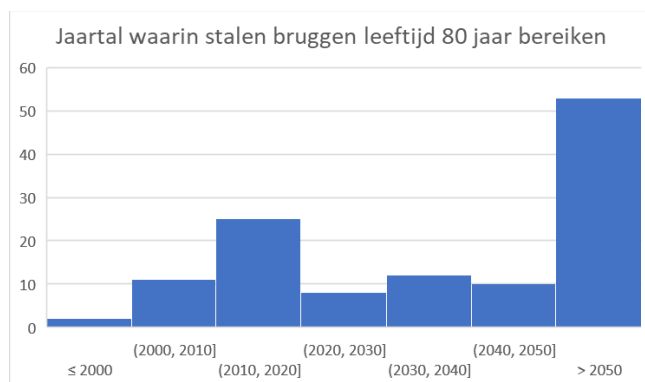
Hieruit volgt dat er minimaal 9 bruggen zijn gesloopt in de afgelopen 35 jaar, dus $9/35 = 0,26$ brug per jaar. Dit komt neer op $0,26 / (116+9) = 0,21$ % sloop van areaal per jaar, gemeten over afgelopen 35 jaar. Kijkend naar gegevens vanaf 2002 zijn er minimaal 8 bruggen in de afgelopen 20 jaar gesloopt, dus $8/20 = 0,4$ brug per jaar. Dit komt neer op $0,4 / (119+8) = 0,32$ % sloop van areaal per jaar, gemeten over afgelopen 20 jaar.

Methode 1.2: prognose op basis van leeftijd van bruggen

In het bestand 17. 20210222_materialen_disk.xlsx dat is meegeleverd in de NVI (nota van inlichtingen) wordt het (verwachte) sloopjaar gebaseerd op een levensduur van 80 jaar. Omdat dit niet voor alle kunstwerken in dat bestand overeenkomt met de gegevens uit DISK, wordt aangenomen dat voor die gevallen de levensduur is gebaseerd op 30 jaar na renoveren.

Afbeelding III.1 toont een overzicht van jaartallen waarin de stalen bruggen hun 80-jarige leeftijd bereiken, volgens gegevens uit DISK. Uit deze gegevens blijkt dat tussen 2020 en 2030 8 bruggen de leeftijd van 80 zullen bereiken.

Afbeelding III.1 Overzicht van jaartal waarin bruggen 80-jarige leeftijd (theoretische einde levensduur) bereiken, op basis van gegevens uit DISK



Methode 1.3: prognose op basis van geplande sloop

Op basis van projectgegevens op de website van RWS en de Nationale Bruggenbank is een lijst opgesteld met geplande projecten. Voor onderstaande bruggen is vervanging gepland tussen nu en eind 2030:

- Van Brienoordbrug: de Oostboog;
- Merwedeburg: 2 boogbrugdelen (midden booggeboorte gedeeld door beide bogen, dus eigenlijk 1 brugdeel);
- Keizersveerbruggen 6 vakwerkbrugdelen;
- Balgzandbrug 1 vakwerkbrugdeel;
- Hagesteinbrug 6 brugdelen (4 samengestelde staal/beton, 2 plaatligger);
- Groenebrug oost 1 boog;
- Brug Spannenburg 2 brugdelen samengestelde staal/beton;
- Kelperbrug 1 vakwerkbrugdeel.

Bovenstaande 8 bruggen bestaan dus uit 20 brugdelen (of 19 als je de Merwedebrug als 1 brugdeel rekent).

Gekozen methode

Voor methode 1.1 is het de vraag of alle sloop in het verleden volledig is geregistreerd in DISK. Daarnaast is de verwachting dat in de komende jaren relatief veel stalen bruggen richting einde levensduur gaan. Vraag is dus of de getallen uit het verleden representatief zijn voor de toekomst. Onze verwachting is dat dit niet zo is, daarom wordt niet voor methode 1.1 gekozen.

Methode 1.2 geeft een schatting op basis van levensduur. Het is echter niet met zekerheid te stellen dat bruggen die hun einde levensduur bereiken ook daadwerkelijk vrijkomen. Sommige bruggen hebben versterking nodig voordat ze hun 80-jarige leeftijd bereiken, waarmee de levensduur vaak wel weer wordt verlengd. Andere bruggen worden dusdanig zwaar belast dat deze de einde levensduur niet zullen halen.

Omdat alleen met methode 1.3 (prognose op basis van geplande sloop) met vrij grote zekerheid vast te stellen is welke bruggen er vrij komen, wordt daarom voor deze methode gekozen.

III.2 Afmeting van vrijkomende bruggen

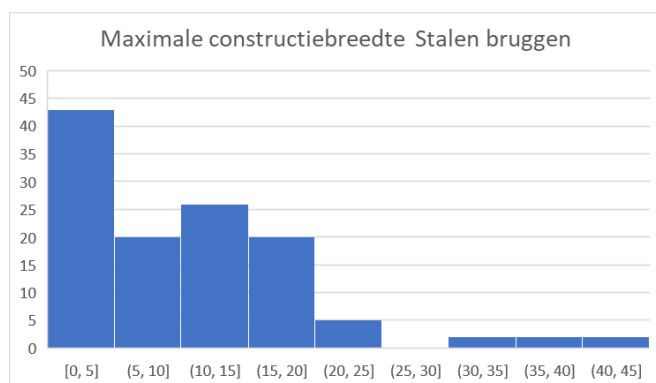
Voor het bepalen van afmetingen van de vrijkomende bruggen zijn ook verschillende benaderingen mogelijk, deze worden hieronder opgesomd en kort uitgewerkt:

- 2.1 gemiddelde afmetingen uit DISK hanteren;
- 2.2 afmetingen referentie-object uit Dubocalc hanteren;
- 2.3 afmetingen van geplande sloop gebruiken.

Methode 2.1: gemiddelde afmetingen uit DISK

In de aangevraagde gegevens uit DISK staan de lengte en de breedte van de bruggen vermeld. De constructiebreedtes van deze bruggen is uiteengezet in Afbeelding III.2. Het gemiddelde van deze breedtes is 11.0 m.

Afbeelding III.2 Verdeling van constructiebreedte stalen bruggen



De lengtes zijn alleen vermeld als totale lengte van alle overspanningen. Hierbij geldt echter dat de overspanningen van de aanbruggen (kleinere bruggen als aanloop naar de hoofdbrug) vaak veel kleiner zijn dan de hoofdoverspanning, en dat de aanbruggen meestal van beton zijn. De lengte van de feitelijke stalen brug, de hoofdoverspanning, is niet goed uit deze data te halen.

Methode 2.2: afmetingen van referentie-object uit Dubocalc

Dubocalc, de Duurzaam Bouwen Calculator ontwikkeld door RWS, bevat een aantal referentieobjecten om de duurzaamheid en milieukosten van aanbestedingen te berekenen en te vergelijken.

In de Dubocalc objectenbibliotheek staan twee referentieobjecten voor stalen bruggen:

- overspanning 80 m, 2x2 rijstroken = 19 m breedte;
- overspanning 80 m, 2x3 rijstroken = 25.5 m breedte.

Voor beide referentieobjecten wordt de hoeveelheid staal berekend uit de hoofdconstructie (stalen boog), inclusief het (orthotroop) dek, gebaseerd op 800 kg staal per m² dek. Omdat een stalen boogconstructie met orthotroop dek een relatief zwaar gedimensioneerde constructie is die vooral wordt toegepast bij grote overspanningen, wordt aangenomen dat de waarde van 800 kg staal per m² dek een bovengrenswaarde is. Met deze bovengrenswaarde kan een bovenwaarde van de hoeveelheid staal per vrijkomende referentiebrug worden bepaald:

- referentiebrug 2x2 rijstroken = 80 m x 19 m x 800 kg/m² = 1216 ton gewicht aan staal;
- referentiebrug 2x3 rijstroken = 80 m x 25.5 m x 800 kg/m² = 1632 ton gewicht aan staal.

Herkomst van kengetal 800 kg staal per m² brugdek

De stalen bruggen uit de objectenbibliotheek van Dubocalc zijn opgesteld door RHDHV. Bij navraag over de herkomst van het kengetal werd het volgende gesteld:

- parameters zijn vastgesteld op basis van expert judgement dus ook de 800 kg/m²;
- de afmetingen van 40 m en 80 m waren destijds op verzoek van RWS.

Methode 2.3: afmetingen van geplande sloop

Voor de periode tot en met 2030 staan onderstaande bruggen (bron: nationale bruggenbank en RWS) op de planning om vervangen te worden.

Afbeelding III.3 Overzicht van geplande vrijkomende stalen bruggen

Naam	Onderdelen	Lengte per deel	Breedte
Van Brienoordbrug	1 brug (Oostboog)	308 m	34,82 m
Merwedebrug	2 boogbruggen	170 m (2x)	25,2 m
Keizersveerbruggen	6 vakwerkbruggen: - 4 lange bruggen; - 2 korte bruggen	100 m (4x) 87,5 m (2x)	15,34 m 15,34 m
Balgzandbrug	1 vakwerkbrug	53,0 m	11,57 m
Hagesteinbrug	2 plaatligger bruggen: - hoofdoerspanning oost; - hoofdoerspanning west	350,1 m 350,1 m	14,7 m 14,7 m
	4 staal/beton bruggen: - noordelijke zijoverspa oostbrug; - zuidelijke zijoversp. oostbrug; - noordelijke zijoversp. westbrug; - zuidelijke zijoversp. westbrug	64,7 m 316,1 m 64,7 m 316,1 m	14,7 m 14,7 m 14,7 m 14,7 m
Groenebrug oost	1 boogbrug	60,0 m	20,0 m
Brug Spannenburg	2 staal/beton bruggen - aanbrug west; - aanbrug oost	13,0 m 52,35 m	9,0 m 9,0 m
Kelperbrug	1 vakwerkbrug	58,1 m	13,4 m

Gegevens over de afmeting zijn uit DISK gehaald, en aangevuld met informatie uit de Lijst stalen bruggen (zie bijlage I.2). In DISK valt op dat de van Brienoordbrug en Merwedebrug zijn ingedeeld bij beweegbare bruggen, terwijl de hoofdoerspanning een vaste stalen brug is. Hierdoor valt te betwijfelen of de in DISK geregistreerde hoeveelheid vaste stalen bruggen uit paragraaf 2.1.1 compleet is.

Gekozen methode

Methode 2.3 (afmetingen van geplande sloop) wordt het meest betrouwbaar geacht omdat voor sloop van de geplande bruggen bekend is wat de afmetingen zijn, en om hoeveel overspanningen het gaat. Daarom wordt voor methode 2.3 gekozen.

