



# Onderzoek Hergebruik

Oeverconstructies

Rijkswaterstaat

20 februari 2023

Project                      Onderzoek Hergebruik  
Opdrachtgever            Rijkswaterstaat

Document                 Oeverconstructies  
Status                     Definitief  
Datum                     20 februari 2023  
Referentie                129722/23-003.209

Projectcode               129722  
Projectleider             Ir. R. Dijcker  
Projectdirecteur         Ir. A.C. de Wit

Auteur(s)                 F. Huinink MSc  
Gecontroleerd door      Drs.ir. R.E.P. de Nijs, 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

	<b>SAMENVATTING</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>6</b>
1.1	Aanleiding	6
1.2	Doel van het onderzoek	6
1.3	Keuze stalen damwanden	7
1.4	Wat is een stalen damwandconstructie?	7
1.5	Aanpak	8
1.6	Leeswijzer	9
<b>2</b>	<b>HERGEBRUIKPO TENTIE STALEN DAMWANDEN</b>	<b>10</b>
2.1	Vrijkomende en benodigde stalen damwanden tot 2030	10
	2.1.1 Onderbouwing schatting vrijkomende en benodigde damwandlengte	10
2.2	Hergebruikpotentie: technisch	12
	2.2.1 Conditionele staat van damwandplanken	13
	2.2.2 Het type damwandprofiel	15
	2.2.3 Installatiemethode	16
	2.2.4 De bruikbare lengte van de damwand	17
	2.2.5 Technische herbruikbaarheid	17
2.3	Hergebruikpotentie: klimaat- en milieuwinst	18
	2.3.1 MKI per levensfase	18
	2.3.2 MKI voor hergebruik van stalen damwanden	19
	2.3.3 MKI-, CO <sub>2</sub> - en materiaalbesparing door hergebruik damwanden uit areaal RWS	21
	2.3.4 Herberekening MKI-inschatting zwaartepuntanalyse CE Delft	22
2.4	Hergebruikpotentie: kosten & baten	24
	2.4.1 Handel in tweedehands damwandplanken	24
	2.4.2 Kosten voor nieuwe aanschaf en hergebruik	25
<b>3</b>	<b>HANDELINGSPERSPECTIEF</b>	<b>28</b>
3.1	Hergebruikproces	28
	3.1.1 Huidige levensloop damwanden	28
3.2	Ketenpartners	29

3.3	Barrières en oplossingsrichtingen	29
3.4	Consequenties (impact op RWS organisatie)	31
3.5	Fase van markttransformatie	32
3.6	Organisatiemodellen voor hergebruik van stalen damwanden	33
3.6.1	Kortetermijnperspectief (1-4 jaar)	34
3.6.2	Langetermijnperspectief (5-8 jaar)	34
<b>4</b>	<b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>	<b>35</b>
4.1	Conclusies	35
4.1.1	Vrijkomende en benodigde hoeveelheden	35
4.1.2	Technische hergebruikpotentie	35
4.1.3	Klimaat en milieuwinst	36
4.1.4	Kosten en baten bij hergebruik	36
4.1.5	Handelingsperspectieven	36
4.2	Aanbevelingen	37
4.2.1	Alternatieven voor verduurzaming middels hergebruik	37
	<a href="#">Laatste pagina</a>	38
	<b>Bijlage(n)</b>	<b>Aantal pagina's</b>
I	Overzicht projecten uit MIRT 2021	2
II	Projectbeschrijvingen	2
III	Type damwandprofielen	2
IV	(De)installatiemethodes	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 milieu-impact en de financiële haalbaarheid. Voor de rol van Rijkswaterstaat is onder meer de fase van markttransformatie en het bijpassende organisatiemodel van belang.

**De hergebruikpotentie ten opzichte van de opgave 2022-2030 van stalen damwanden is beperkt.** Naar verwachting komt er in de periode tot 2030 ongeveer 40 km stalen damwand vrij uit oeverconstructies. Deze komen vooral vrij uit de renovaties van de Twentekanalen, het Amsterdam-Rijnkanaal en in meer beperkte mate vanuit de Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl en kleinere projecten zoals renovaties aan de Brabantse kanalen. De hoeveelheid vrijkomend materiaal is echter minder dan de verwachte vraag naar stalen damwanden, dit is namelijk 75 km.

**Technisch zijn stalen damwanden goed geschikt voor hergebruik.** Dit komt doordat deze in de basis zijn ontworpen als herbruikbaar en losmaakbaar product. Ook is de maatvoering van stalen damwanden redelijk gestandaardiseerd en worden damwanden vaak in grote aantallen toegepast als lijnobject. Verder is een stalen damwand een relatief simpel en homogeen product. Er is geen alomvattende barrière voor hergebruik van damwanden. Hergebruik wordt dan ook al door de markt toegepast. Belangrijke aspecten om rekening mee te houden bij hergebruik zijn de resterende lengte en mate van afroesting van het damwandstaal.

**De beperking van potentiële milieu-impact door hergebruik van stalen damwanden is beperkt.** Voor de periode tot 2030 is de potentiële milieuwinst bij hergebruik van alle vrijkomende en herbruikbare objecten EUR 478.000,00 MKI (-73 % tot +154 %). De potentiële beperking van klimaatimpact en besparing op primair materiaal zijn hierbij 4.340 ton CO<sub>2</sub>-eq (-73 % tot +154 %) en 5.070 ton staal. Deze winst is vooral het gevolg van het voorkomen van de productie van nieuw staal dat het hergebruik van stalen damwanden vervangt. De gestelde waarden zijn een bovengrens, aangezien hergebruik al plaatsvindt.

**De financiële haalbaarheid van hergebruik van stalen damwanden is goed.** Enerzijds ontstaan er meer kosten door inkorten, (extra) vervoeren, matchen van vraag en aanbod en tijdelijke opslag. Anderzijds zijn er opbrengsten als gevolg van kostenbesparing op nieuw materiaal. De opbrengsten zijn in veel projecten hoger dan de kosten. Met de huidige materiaal- en arbeidsprijzen (2022) is er daarmee een financiële businesscase voor hergebruik. Hergebruik wordt immers al vanuit commercieel perspectief door de markt toegepast.

**Vanuit het markttransformatiemodel bevindt de markt zich voor hergebruik van stalen damwanden uit oeverconstructies zich in fase 3.** Dit betekent dat marktpartijen hergebruik inzetten om concurrentievoordeel te behalen, en dit op steeds meer projecten wordt toegepast. Om volgende stappen te zetten naar meer hergebruik is het van belang dat;

- inzet van hergebruikt materiaal wordt uitgevraagd in BPKV-criteria voor nieuwe projecten,
- de markt wordt gestimuleerd kenbaar te maken waar vrijkomend materiaal kan worden ingezet;
- ontwerpeisen voldoende soepel worden geformuleerd zodat hergebruikte damwanden niet worden uitgesloten.

Om dit te faciliteren kan een richtlijn voor het betrekken van hergebruik in BPKV-criteria worden opgesteld waarmee hergebruik standaard in de uitvraag wordt geborgd en beloond. Omdat hergebruik nu al veel plaatsvindt hoeft dit niet om een ander organisatiemodel te vragen dan het huidige: 'markt aan het stuur'. Door een richtlijn hergebruik damwanden op te stellen kan hergebruik op korte termijn (1-4 jaar) geïnstitutionaliseerd worden waardoor hergebruik van damwanden naar de finale fase van markttransformatie gebracht.

# 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 al in 2030 circulair te werken. Eind 2019 is 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 7 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 oeverconstructies. Hierbij wordt in dit rapport specifiek ingegaan op het hergebruik van stalen damwandconstructies.

### 1.2 Doel van het onderzoek

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de hergebruikpotentie van stalen damwanden 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 damwanden dat vrijkomt en de potentiële milieuwinst die met hergebruik te behalen 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 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;
- 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 (technisch, klimaat- en milieuaspect en kosten & baten) worden behandeld in hoofdstuk 2. De belangrijkste stappen in het hergebruikproces staan beschreven in paragraaf 3.1. 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. Dit wordt behandeld 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 2.2.1;
- 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 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.
- inzicht in de huidige positie in de markttransformatie richting 'hergebruik, tenzij' (paragraaf 3.5);
- inzicht in het huidige organisatiemodel en transformatie op de korte en middellange termijn mogelijk zijn om hergebruik te bevorderen (paragraaf 3.6).

### 1.3 Keuze stalen damwanden

In de vraagspecificatie is aangegeven dat de voornoemde vragen dienen te worden beantwoord voor geleiderails, prefab liggers en stalen bruggen. In de nota 'Eerste inzichten strategie hergebruik' (referentie 129722/22-006.870, d.d. 10 mei 2022) is de selectie van 4 andere objecttypen, te weten; stalen damwanden, verkeersportalen, installaties en stootplaten, onderbouwd. De voorliggende rapportage gaat in op het hergebruik van stalen damwanden.

### 1.4 Wat is een stalen damwandconstructie?

Damwanden worden ingezet voor grond- of waterkerende functies. Zij worden toegepast als tijdelijke constructies in bijvoorbeeld bouwkuipen of permanente constructie in bijvoorbeeld dijken en oever- en kadeconstructies. Daarbij zijn damwanden vaak onderdeel van civiele kunstwerken zoals bruggen, viaducten en sluizen. Damwandconstructies zijn modulair, dat wil zeggen dat deze uit een serie aangeschakelde (gestandaardiseerde) elementen bestaan.

Een stalen damwandconstructie is in hoofdlijnen uit de volgende elementen opgebouwd:

- stalen damwand, beschikbaar in verschillende doorsnedeprofielen;
- gordingen;
- (eventueel) ankers;
- (eventueel) een deksloof.

## Stalen damwanden

Stalen damwanden zijn koud- of warmgevormde stalen platen die in serie staan en grond of water keren. Damwanden worden in veel verschillende maten en combinaties toegepast. Er zijn verschillende doorsnedeprofielen beschikbaar, waarbij de meest bekende U-profielen en Z-profielen zijn. Damwanden 'schuiven' in elkaar middels sloten die in vorm op elkaar zijn afgestemd.

## Ankers

Groutankers, klapankers en legankers maken het mogelijk trekkrachten door te geven aan achterliggende grond. Ankers worden door de damwandplank heen in de grond aangebracht en middels een ankerplaat aan de damwandplank verbonden.

Groutankers bestaan uit een staaf die aan het uiteinde in een cilinder van grout wordt ingebed. Zij halen hun trekcapaciteit uit de schuifspanning tussen het grout en de omliggende grondlaag. Groutankers kunnen over het algemeen meer trekkrachten aan dan klapankers. Klapankers worden met een drijfstaaf en trekstaaf de grond in gedrukt. Hierna wordt de drijfstaaf verwijderd en kan aan de trekstaaf worden getrokken. Door het trekken aan deze trekstaaf en de vorm van het anker kantelt het anker zodat het haaks op de trekstaaf komt te staan. Hierna is het anker gereed en direct belastbaar. Het anker haalt zijn trekcapaciteit uit de grondkolom van de bovenliggende grond. Grout- en klapankers blijven bij verwijdering van de damwandconstructie vaak achter in de grond, omdat verwijdering economisch gezien niet rendabel is.

Een derde ankertype zijn legankers. Hierbij wordt een ankerscherm buiten de invloedzone van de damwand geplaatst en aan de damwand verbonden via trekstangen. Legankers zijn relatief makkelijk te verwijderen, wat positief is voor hergebruikmogelijkheden. Er mocht echter voldoende (horizontale) ruimte tussen de damwand en omliggende obstakels aanwezig zijn zodat het ankerscherm kan worden geplaatst.

## Gordingen

Gordingen zijn stalen balkprofielen die in langsrichting aan een serie stalen damwanden worden bevestigd. Gordingen worden gebruikt om damwandplanken onderling met elkaar te verbinden ten behoeve van stabiliteit en vormvastheid van een rij damwanden. Gordingen worden op damwandplanken gelast of gebout. Herbruikbaarheid van vrijkomende gordingen wordt veelal bepaald door de mate van vervorming op het moment van verwijderen.

## Deksloven

Een deksloof is een horizontale betonnen, houten of stalen balk waarmee de bovenkant van een damwandconstructie wordt bedekt. Hierdoor ontstaat een rechte afdekking van de damwandprofielen. Over het algemeen wordt de deksloof in hetzelfde materiaal als de damwand uitgevoerd. Wanneer de deksloof constructief moet bijdragen aan de krachtafdracht van de constructie worden deksloven van gewapend betonnen toegepast.

## 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 damwanden op basis van beschikbare gegevens uit het Prognoserapport VenR 2021, MIRT projecten, NIS-database en de CE Delft zwaartepuntanalyse. Daarbij is informatie opgehaald uit het eigen projectarchief en van ervaren collega's binnen RWS en Witteveen+Bos (W+B):
  - R. van de Kamp (RWS), met betrekking tot prognose VenR en de verwachte opgaven voor damwandprojecten tot 2030;
  - H. Helmus (RWS), m.b.t. de koploperaanpak damwanden vanuit RWS;
  - M. Onrust MSc (W+B), m.b.t. project Twentekanalen;
  - ir. P. Stuurwold (W+B), m.b.t. project Amsterdam-Rijnkanaal;
  - ir. A. de Wit (W+B), m.b.t. project hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl;



- onderzoeken van de technische hergebruikpotentie door te kijken naar veel voorkomende damwandprofielen en toegepaste elementsamenstelling, de conditionele staat bij vrijkomen en de vorm van installeren. Hiervoor is informatie opgehaald van ervaren collega's en een uitvoerende partij:
  - ir. drs. R. de Nijs, met betrekking tot technische herbruikbaarheid;
  - K. Kranenburg (Beens Groep), met betrekking tot praktische ervaring rondom installatie, verwijderen en hergebruik;
- voor het bepalen van de (winst in) klimaat- en milieu-impact bij hergebruik is een MKI- en CO<sub>2</sub>-analyse uitgevoerd;
- voor het bepalen van de kosten en baten van hergebruik is gebruik gemaakt van een bouwkostenskundige:
  - ing. O. Kerssens;
- het effect van hergebruik op ketenpartners en organisatie is met alle voorgaande personen op hoofdlijnen besproken.

## 1.6 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de hergebruikpotentie van stalen damwanden en zoomt daarbij in op 4 aspecten: het schatten van het aantal vrijkomende objecten en de technische, milieutechnische en financiële aspecten van de hergebruikpotentie. Hoofdstuk 3 gaat vervolgens in op het handelingsperspectief door het hergebruikproces te schetsen, eventuele barrières en oplossingsrichtingen te noemen en de consequenties aan te stippen (vooral op organisatorisch gebied). Tot slot worden in hoofdstuk 4 conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan.

# 2

## HERGEBRUIKPOTENTIE STALEN DAMWANDEN

### 2.1 Vrijkomende en benodigde stalen damwanden tot 2030

Op basis van de V&R-programmering wordt geschat dat in totaal tot 2030 circa 40 km  $\pm$  2 km) stalen damwand vrijkomt. Het aantal strekkende kilometer vrijkomende stalen damwand uit de projecten Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en Twentekanal (TK) is respectievelijk 14 en 22 km. Ondanks dat de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl (HLD) een groot aandeel in de vervangingsopgave tot 2050 kent, komen de stalen damwanden voornamelijk na 2030 vrij waarmee het buiten de tijdshorizon van dit onderzoek valt. De hoeveelheid stalen damwand die bij de HLD voor 2030 vrijkomen wordt ingeschat als maximaal 1 km. Daarnaast komt een beperkte hoeveelheid damwanden vrij bij werkzaamheden aan sluizen. CE Delft schat in dat dit maximaal 3 km damwand is. Deze schatting is eerder bij de revisie van de CE Delft rapportage<sup>1</sup> gecontroleerd door RWS en wordt in dit onderzoek overgenomen.

De totale lengte benodigde damwanden vanuit MIRT en VenR tot 2030 wordt geschat op 75 km (-8, +5 km). In het ARK blijft de kanaallengte gelijk en wordt 14 km (-0,5, + 0,5 km) stalen damwand teruggeplaatst. In het TK wordt 35 km (-0,5, +0,5 km) stalen damwand teruggeplaatst. Voor de HLD is het nog zeer onzeker wat de benodigde hoeveelheid stalen damwand is. De huidige beste schatting hiervoor is 22 km (-4, +4 km). Daarbij wordt aangenomen dat de 3 km vrijkomende damwand uit sluizen wordt vervangen voor nieuw. In de volgende paragrafen is uiteengezet hoe deze inschattingen tot stand zijn gekomen.

#### 2.1.1 Onderbouwing schatting vrijkomende en benodigde damwandlengte

Om de lengte vrijkomende stalen damwandplanken t/m 2030 te bepalen is een aantal stappen doorlopen:

- overzicht maken van geplande werkzaamheden aan kanalen, sluizen en bruggen in het beheer van RWS;
- een schatting maken van het aandeel stalen damwanden in de tracés van deze renovaties;
- een inschatting maken van het type en de maatvoering van de damwanden in deze tracés.

Om inzichtelijk te maken hoeveel stalen damwand mogelijk vrijkomt tot 2030 zijn verschillende bronnen geraadpleegd. Dit zijn een zwaartepuntanalyse door CE Delft, rapportage MIRT 2021, de NIS-database en projecten die binnen Witteveen+Bos bekend zijn. De volgende paragrafen gaan in op de beschikbare informatie uit deze bronnen.

#### Beschikbare informatie vanuit zwaartepuntanalyse CE Delft

CE Delft heeft een zwaartepuntanalyse uitgevoerd van het Transitiepad Kunstwerken tussen 2021-2030 met als hoofddoel om te bepalen waar de focus voor de verduurzaming moet liggen<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> CE Delft (2021). Zwaartepuntanalyse MKI en klimaatimpact Transitiepad Kunstwerken RWS 2021-2030.

Voor oeverconstructies volgt hieruit dat deze de hoogste prioriteit heeft. In de rapportage geeft CE Delft aan dat de zekerheid rondom de volledigheid van de opgave, oftewel het aantal km oeverconstructie dat vervangen zal worden, redelijk onzeker is. Zij baseren zich op het document MIRT 2021<sup>1</sup>. Initieel werd de milieu-impact voor vervanging en renovatie van damwandoevers geschat op M€ 101 MKI, ten opzichte van een totale opgave van M€ 419 MKI. De klimaatimpact is hierbij 806 kt CO<sub>2</sub>-eq. Dit was op basis van de inschatting dat 116 km damwandoever wordt gerenoveerd tot 2030. Deze inschatting viel niet op basis van het MIRT 2021 te reproduceren.

In een revisieronde door RWS is de schatting van CE Delft naar beneden bijgesteld, naar ongeveer 70 km vervanging en M€ 61 MKI. De klimaatimpact is hierbij 487 ton CO<sub>2</sub>-eq. Het is niet volledig te achterhalen hoe de schatting voor 70 km vervanging tot stand is gekomen. Wel is duidelijk dat voor de HLD 60 km vervanging van stalen damwanden wordt geschat. Voor het ARK wordt 17,5 km vervanging geschat. Daarbij wordt 3 km vervanging van damwanden bij sluizen gerekend. Dit telt echter niet op tot 70 km vervanging.

### Beschikbare informatie vanuit MIRT 2021 en V&R 2021

Uit MIRT 2021<sup>2</sup> volgt dat renovatie en vervanging van het ARK en de TK de voornaamste projecten zijn waar aanpassingen aan de oeverconstructie zijn voorzien. Daarnaast wordt voor de vaarweg IJsselmeer-Meppel onderzocht in hoeverre deze geschikt gemaakt kan worden voor binnenvaartschepen van klasse Va en wordt gekeken naar de mogelijkheden om de vaarbreedte van de bochten in de bovenloop van de IJssel aan te passen. In de MIRT 2021 is niet aangegeven wat de grote van de opgave is voor de genoemde projecten. De renovaties aan de ARK en TK omvatten het merendeel van de werkzaamheden aan oeverconstructies vanuit het MIRT tot 2030.

In het prognoserapport VenR 2021<sup>3</sup> worden werkzaamheden aan oeverconstructies voor de projecten ARK en HLD genoemd. Ook hier is niet aangegeven wat de grote van de opgave is voor deze projecten, slechts de financiële aspecten worden beschouwd. Op basis van het MIRT en VenR wordt geconcludeerd dat het merendeel van de werkzaamheden aan oeverconstructies plaatsvinden binnen de projecten HLD, ARK en TK. Dit wordt bevestigd door R. van de Kamp van Rijkswaterstaat. Een overzicht van relevant geachte projecten met betrekking tot vervanging en renovatie van oeverconstructies is opgenomen in Bijlage: Overzicht projecten uit MIRT 2021.

### *Damwanden bij bruggen en sluiscomplexen*

Naast kanaal- of rivieraanpassingen zijn werkzaamheden aan bruggen en sluiscomplexen voorzien. Dit zijn de sluizen Kornwerderzand, Nieuwe Sluis Terneuzen, Roggebotsluis en Wilhelminakanaal Sluis II. Voor bruggen zijn dit de brug bij Oeffelt, Kornwerderzand, acht bruggen die onderdeel uitmaken van de werkzaamheden aan de HLD en de IJsselmeer Ketelbrug. Bij de aanpassing van deze constructies komen mogelijk damwanden vrij. Verder is uitbreiding van het aantal lig- en overnachtingsplaatsen voorzien in de Beneden-Lek en de IJsel. Voor deze uitbreidingen is niet duidelijk of hier damwandconstructies bij vrijkomen.

### Beschikbare informatie vanuit NIS-database

Er is geen alomvattende database beschikbaar waarin per kanaal staat uitgewerkt welk type oeverconstructie aanwezig is. In de NIS database (april 2021) is wel een totaaloverzicht beschikbaar voor het areaal van RWS in 2021. Hierin staat aangegeven dat:

- in totaal 3.426 km vaarweg onder objecttype hoofdtransportas (HTA), hoofdvaarweg (HWW) en overige vaarweg (OVW) binnen het areaal van RWS aanwezig is;
- 2.517 km oever aanwezig is, hieronder vallen verticale oevers en natuurvriendelijke oevers;
- 514 km stalen damwand aanwezig is in verticale oeverconstructies;
- 8 km stalen damwand aanwezig is in verticale oeverconstructies bij havens;

---

<sup>1</sup> Rijksoverheid (2021). Klipbare en toegankelijke versie van het MIRT Overzicht 2021 [online]. Beschikbaar via: <https://www.mirtoverzicht.nl/mirt-overzicht/documenten/publicaties/2021/09/15/mirt-2021>.

<sup>2</sup> Bron: Ministeries IenW, EZK en BZK (2021). MIRT Overzicht 2021.

<sup>3</sup> Bron: Rijkswaterstaat (2021). Prognoserapport 2021 - Vervanging en Renovatie. Prognose voor de periode 2021 t/m 2050.

- 117 km aanleginrichting/afmeervoorziening aanwezig is, waarbij geen onderscheid wordt gemaakt in het type kadeconstructie, en;
- 347 vaste en beweegbare bruggen aanwezig zijn.

In de NIS database is echter niet opgenomen hoeveel van het areaal binnen de vervangingsopgave valt tot 2030. Om toch een inschatting te kunnen maken van de hoeveelheid vrijkomend materiaal is naast de analyse van CE Delft informatie uit bekende renovatieprojecten opgehaald. De volgende paragraaf gaat hier verder op in.

### Beschikbare informatie vanuit renovatie projecten binnen Witteveen+Bos

Projecten waarvan binnen Witteveen+Bos bekend is dat deze vervanging van stalen damwand beschouwen zijn de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl (HLD), het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en de Twentekanalen (TK). Binnen deze projecten is het volgende bekend over de te vervangen kanaallengte en de geschatte lengte van stalen damwandconstructies:

- de Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl<sup>1</sup>:
  - kanaallengte binnen de vervangingsopgave: 120 km, waarvan 200 km oevers;
  - schatting lengte stalen damwand aanwezig: 68 km;
  - schatting benodigde lengte nieuwe stalen damwand (tot 2030): 22 km;
- het Amsterdam-Rijnkanaal<sup>2</sup>:
  - kanaallengte binnen de vervangingsopgave: 15 km;
  - schatting lengte stalen damwand aanwezig: 14 km;
  - schatting benodigde lengte nieuwe stalen damwand: 15 km;
- de Twentekanalen (fase 2)<sup>3</sup>:
  - kanaallengte binnen de vervangingsopgave: 45 km;
  - schatting lengte stalen damwand aanwezig: 22 km;
  - schatting benodigde lengte nieuwe stalen damwand: 35 km.

In bijlage: projectbeschrijvingen staat een omschrijving van de werkzaamheden in deze projecten. Hiervoor is contact opgenomen met verschillende mensen van Witteveen+Bos, RWS en Beens Groep.

### Schatting benodigde damwanden ten opzichte van uitgangspunten zwaartepuntanalyse CE Delft

Zoals beschreven in paragraaf 2.1.2. werd in de zwaartepuntanalyse van CE Delft geschat dat 116 km stalen damwand nodig is tot 2030. Dit is door RWS naar beneden bijgesteld naar 70 km benodigde stalen damwand. In onderhavige analyse wordt 75 km benodigde stalen damwand gevonden. De totaalschatting komt redelijk overeen. Er is wel verschil in de tracé lengte voor nieuwe oeverconstructies per project. Dit kan veelal worden verklaard door het feit dat, na de revisie, CE Delft uitging van 60 km benodigde damwanden voor de HLD. Echter, nader inzicht vanuit Witteveen+Bos over de HLD wijst uit dat dit 22 km is. De werkzaamheden aan de Twentekanalen zijn niet in de schatting van CE Delft opgenomen.

Verder wordt in de zwaartepuntanalyse uitgegaan van een gemiddelde damwandlengte van 12 m. Echter, damwanden binnen ARK en TK zijn naar verwachting minder lang, namelijk 7-10 en 6,5-9,0 m respectievelijk. Voor de HLD is dit afhankelijk van het type oever dat wordt teruggeplaatst; hybride of verticaal. Hierdoor overschat de zwaartepuntanalyse van CE Delft mogelijk de benodigde hoeveelheid damwandstaal en daaraan gerelateerde milieu-impact.

## 2.2 Hergebruikpotentie: technisch

Damwandconstructies zijn in de basis modulair ontworpen, waardoor deze in principe goed herbruikbaar zijn. Planken zijn onderling in de fabriek gekneld of geponst verbonden.

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met A. de Wit (W+B)

<sup>2</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. van de Kamp (RWS)

<sup>3</sup> Bron: Persoonlijk contact met M. Onrust (W+B) en K. Kranenburg (Beens Groep)

Ook zijn afmetingen van stalen damwandprofielen gestandaardiseerd. Voor het hergebruik van stalen damwanden zijn technisch gezien een aantal zaken van belang, welke hieronder worden toegelicht:

- de conditionele staat van de damwandplank, waaronder:
  - de mate van vervorming van de plank;
  - de mate van aantasting door corrosie;
  - de mate van vervorming van het damwandslot;
- het type damwandprofiel:
  - warmgewalste en koudgewalste damwanden;
  - U-profielen, Z-profielen en platte damwandplanken;
  - het slottype;
- installatiemethode:
  - trillen, heien en drukken;
- de bruikbare lengte van de damwand.

## 2.2.1 Conditionele staat van damwandplanken

Bij het hergebruiken van damwandplanken is het belangrijk inzicht te krijgen in de conditionele staat. De conditionele staat kan in veel gevallen pas worden bepaald wanneer deze uit de grond is gehaald. Vervorming van de plank, corrosie (roesten) en vervorming van het damwandslot zijn hierbij de hoofdzaken. Op basis van deze fysieke eigenschappen kan vervolgens de technische hergebruikpotentie worden bepaald. De restlevensduur kan worden ingeschat wanneer de nieuwe functie van de damwandplank in kaart is gebracht. Het maakt namelijk uit of de nieuwe damwand wel of niet verankerd zal worden, en of de plank van voldoende lengte is.

### Vervorming van de damwandplank

Vervormingen aan de damwandplank kunnen optreden tijdens de installatie, tijdens de gebruiksduur in de grond en tijdens het verwijderen van de plank. De aannemer heeft hierbij grote invloed. Om een damwandplank te kunnen hergebruiken moet deze voldoende recht zijn, anders kan deze niet geïnstalleerd worden. Een definitie voor 'voldoende recht' en 'te krom' is niet vastgelegd. Verwacht wordt dat dit op basis van ervaring op de bouwplaats wordt ingeschat. R. de Nijs bevestigt dat damwandplanken steeds beter worden geoptimaliseerd, waardoor deze lichter worden uitgevoerd en hierdoor het verwijderenproces moeilijker wordt en vaker vervormingen optreden. Op voorhand valt het aandeel vervormde planken moeilijk in te schatten.

Om toch inzicht te kunnen krijgen in het aandeel stalen damwanden dat vervormt uit de grond komt, is deze vraag gesteld aan K. Kranenburg. Binnen de Twentekanalen was 20 - 30 % van de getrokken damwanden dermate vervormd (krom) dat deze niet meer opnieuw konden worden gebruikt. Het aandeel planken dat is vervormd verschilt echter voor individuele projecten. Planken van een zwaarder profiel vervormen over het algemeen minder snel en kunnen dus, met het oog op krommingen, vaker worden hergebruikt dan lichtere profielen.

### Vervormingen tijdens installatie

Vervormingen tijdens installatie treden op wanneer de plank in de grond wordt gebracht. Hiervoor zijn verschillende methoden beschikbaar, waarvan de 3 meest voorkomende technieken zijn; trillen (en resoneren), drukken of heien. In Bijlage: (de)Installatiemethodes worden deze methodes verder omschreven.

Bij installatie kunnen vervormingen aan de voet van de damwand ontstaan door verschillen in de samenstelling van de grond. Voor oeverconstructies in Nederland en damwanden met lengte kleiner dan 10 m is dit risico echter klein. Het trillen, resoneren of drukken zelf vervormd de plank niet of in beperkte mate aan de kopzijde. Bij installatie door heien kunnen vervormingen optreden aan zowel de kop van de damwand, door de kracht van heihamer, als de voet van de damwand door de variaties in de grondsamenstelling. Voor damwanden met lengte groter dan 10 m kan slotschade ontstaan door uit het slot lopen.

### Aantasting door corrosie

Doordat damwanden uit staal worden vervaardigd zijn deze onderhevig aan corrosie (roesten). Aantasting door corrosie gaat het meest snel waar de damwand in contact staat met zowel zuurstof als water. Onder de waterlijn vindt corrosie echter alsnog plaats. Corrosie wordt op verschillende manieren tegengegaan of vertraagd;

- 1 coating;
- 2 metallische bescherming (verzinken);
- 3 kathodische bescherming;
- 4 speciale staallegeringen;
- 5 opofferingsdikte.

Voor oeverconstructies in zoetwater wordt corrosie veelal ondervangen door extra staaldikte, oftewel opofferingsdikte, toe te passen.

### Coatings en primers

Coatings en primers kunnen het corrosieproces tot 20 jaar vertragen<sup>1</sup>. De coatings worden in 1 of meer lagen aangebracht. De coatings zijn meestal op basis van epoxyhars of polyurethaanhars. De coatings hebben een goede dekking nodig om te functioneren. De coatings zijn echter kwetsbaar. Bij het inbrengen van damwanden kunnen beschadigingen aan de coatings ontstaan. Voor het deel van de wand dat aan water of lucht grenst kan de coating op de bouwplaats worden hersteld nadat de damwand in beoogde positie is geplaatst.

### Metallische bescherming

Metallische beschermingen, zoals een thermisch verzinken, worden ingezet bij zeer corrosieve omstandigheden, zoals in zout water. Het uitgangspunt voor deze studie is dat damwanden die in zoet water worden ingezet niet verzinkt zijn. Ankerstaven worden soms wel verzinkt<sup>2</sup>, maar zijn geen onderdeel van de scope van deze studie.

### Kathodische bescherming

Kathodische bescherming helpt om corrosie onder de waterlijn tegen te gaan. Dit wordt gerealiseerd door een opofferingsanode aan de damwand te koppelen. Vaak wordt deze methode gecombineerd met een coating. Echter vergt de kathodische bescherming speciale constructieve maatregelen, waar in de ontwerpfase al rekening mee moet worden gehouden. Kathodische bescherming wordt ingezet op plekken waar vervangen van de damwand kostbaar is, of waar de damwand een groot contactoppervlak heeft met zowel water als zuurstof, bijvoorbeeld op plekken waar getijden voorkomen. Het uitgangspunt voor deze studie is dat damwanden die in zoet water worden toegepast niet van kathodische bescherming voorzien zijn. De kosten voor kathodische bescherming wegen hoogstwaarschijnlijk niet op tegen de kosten van opofferingsstaal<sup>3</sup>.

### Speciale staallegeringen

Speciale staallegeringen verminderen de mate van corrosie van het damwandstaal. Door toevoeging van niobium, titanium en vanadium wordt een hogere staalsterkte verkregen, welke ook beter bestand is tegen corrosie.

### Opofferingsdikte

Wanneer een damwandplank wordt hergebruikt moet nog voldoende staaldikte aanwezig zijn voor de ontwerplevensduur van de nieuwe situatie. De mate van corrosie en de dikte van de damwandplank tijdens het verwijderen zijn hiervoor belangrijke parameters, omdat de damwandplank tijdens het verwijderen kan buigen of zelfs breken. Door het kiezen van een zwaarder damwandprofiel wordt een langere levensduur verkregen. Profielen met een grotere wanddikte kunnen een grotere mate van verroesting aan voordat deze hun functie verliezen. Ook hebben deze damwanden minder kans op uitbreken van de hydraulische klem tijdens het verwijderen van de plank.

---

<sup>1</sup> Bron: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/damwanden.shtml#inbrengen>.

<sup>2</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. van de Kamp (RWS).

<sup>3</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. van de Kamp (RWS).

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde corrosiesnelheden welke recent zijn geactualiseerd door RWS op basis van praktijkgegevens. De onderstaande waarden voor afroesten worden onder meer gebruikt door de Nationale Milieudatabase (NMD) bij het opstellen van milieu-impactprofielen. Voor kanaaloevers, zijn variant 2 en 3 het meest representatief, namelijk als permanente constructie die worden toegepast in grond en zoetwater. Binnen een ontwerplevensduur van 50 tot 100 jaar varieert de afroesting dus tussen 1,5-2,6 mm.

Tabel 2.1 Corrosiesnelheden zoals toegepast in de NMD, op basis van praktijkgegevens van RWS

Producten	Variant	Afroesting [mm]	Afroesting [kg/m <sup>2</sup> ]
stalen damwanden	1) tijdelijke toepassing (<5 jaar)	-	-
stalen damwanden	2) toegepast in grond-zoetwater (50 jaar)	1,5	11,7
stalen damwanden	3) toegepast in grond-zoetwater (100 jaar)	2,6	20,3
stalen damwanden	4) toegepast in grond-zoutwater (50 jaar)	2,5	19,5
stalen damwanden	5) toegepast in grond-zoutwater (100 jaar)	3,6	28,1
stalen damwanden	6) toegepast in grond-grond (100 jaar)	2,4	18,7
stalen damwanden	7) toegepast in grond-lucht (100 jaar)	2,2	17,2

### Vervorming van het damwandslot

Het slot is het gedeelte van de damwandplank waarmee damwanden aan elkaar gekoppeld worden. Tijdens installatie en het trekken van damwanden kan het voorkomen dat het damwandslot vervormt. Bij grote vervormingen is de plank niet meer te gebruiken. Het aandeel damwanden dat vervorming van damwandslot oploopt is op voorhand moeilijk te bepalen. Damwanden met een ruim slot vervormen minder snel dan damwanden met een nauw slot en kunnen met een hogere snelheid worden geïnstalleerd<sup>1</sup>. K. Kranenburg geeft aan dat in het project TK slotvervorming bij 10 - 20 % van getrokken damwanden wordt geconstateerd.

## 2.2.2 Het type damwandprofiel

### Koud- en warmgewalste profielen

Een belangrijk onderscheid binnen damwanden is de wijze van walsen, namelijk koudwalsen en warmwalsen. Beide worden in oeverconstructies toegepast, waarbij koudgewalste profielen vaak worden toegepast bij beperkte kerende hoogte en warmgewalste profielen bij grotere kerende hoogte. Als voorbeeld, bij de werkzaamheden aan fase 2 van de TK komen hoofdzakelijk koudgewalste profielen vrij, terwijl bij de werkzaamheden aan het ARK ook warmgewalste profielen vrijkomen. Warmgewalste profielen zijn vaak van grotere dikte en kunnen, indien voldoende resterende planklengte aanwezig is, opnieuw worden ingezet in een watergang met kleinere waterdiepte. Koudgewalste profielen worden dunner uitgevoerd, waardoor deze mogelijk niet genoeg restdikte hebben om opnieuw te worden toegepast. Een bekende Nederlandse producent van koudgewalste profielen is Gooimeer B.V. ArchellorMittal richt zich op warmgewalste, nieuw geproduceerde damwanden van zeer diverse maten. Deze producenten maken samen 90 % - 95 % van de damwanden die worden toegepast in NL<sup>2</sup>. ArchellorMittal levert vrijwel alle damwanden van groter formaat, of specifieke toepassing.

### U-profielen, Z-profielen en platte damwandplanken

Er zijn verschillende typen damwandprofielen in de markt, waarvan U-profielen en Z-profielen het meest vaak voorkomen. Beide profielen kunnen koud en warm gewalst worden. Daarnaast komen platte damwandprofielen, combiwanden en HZ-wanden voor. Bijlage: Type damwandprofielen bevat een korte beschrijving en afbeelding van deze profielen en beschrijft de verschillen op hoofdlijnen.

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met K. Kranenburg (Beens Groep).

<sup>2</sup> Bron: Persoonlijk contact R. van de Kamp (RWS).

## Sloten en verbindingen

De sloten van de planken bepalen of deze op elkaar passen. De sloten haken in elkaar waardoor krachten in de langs richting van de plank kunnen worden doorgegeven. Er zijn verschillende typen sloten in gebruik. Voor snelle installatie is het voordelig dat de sloten niet te nauw sluiten<sup>1</sup>. Vanuit dit oogpunt geeft K. Kranenburg aan dat de voorkeur uitgaat naar Z-profielen, omdat sloten van U-profielen over het algemeen nauwer sluiten.

### *Verbinden van planken met verschillende sloten*

Wanneer sloten niet overeenkomen is het mogelijk een naald of pasplank toe te passen. Een naald wordt op een damwandplank gelast en toegepast bij hoeken. De naald is voorzien van een slot, welke moet aansluiten op de te verbinden damwandplank. Een pasplank is een op maat gemaakte plank welke wordt toegepast als sluitstuk, in langsgaande richting. Het is mogelijk om pasplanken van verschillende sloten te voorzien, waardoor 2 planken met verschillende sloten aan elkaar kunnen worden verbonden.

## 2.2.3 Installatiemethode

Er zijn verschillende methoden voor het installeren van damwandconstructies beschikbaar. De meest toegepaste technieken zijn trillen (of resoneren), drukken of heien. De keuze voor trillen, drukken of heien hangt af van verschillende aspecten. In Nederland worden de meeste damwanden voor oeverconstructies getrild ingebracht vanwege de hoge installatiesnelheid. Pas wanneer dit niet mogelijk of gewenst is worden alternatieve installatiemethoden toegepast.

### Processtappen voor installatie van damwanden

Het installeren van damwanden gaat in verschillende stappen. Voor een rechte lijn gaat dit in een standaard situatie als volgt:

- 1 het stellen en plaatsen van stelgordingen;
- 2 het hijsen van de damwandplank;
- 3 plaatsen van de damwand (aansluiting van sloten);
- 4 intrillen, heien of drukken tot boven de heigordingen;
- 5 controle van rechtstand;
- 6 eventueel plaatsen van het anker;
- 7 verwijderen van stelgordingen;
- 8 intrillen, heien of drukken tot gewenste kophoogte;
- 9 eventueel plaatsen van gording;
- 10 anker verbinden met ankerplaat of gording.

### Restricties voor hergebruik

Voor het intrillen van damwandplanken moet voldoende staaldikte aanwezig zijn ter hoogte van het aangrijpingspunt van het trilblok. Door het intrillen ontstaan lokaal grote spanningen en komt veel warmte vrij. Voor het hergebruik van damwandplanken moet dus voldoende dikte aan de damwandkop aanwezig zijn, of de damwandplank lokaal verstevigd worden door bijvoorbeeld een extra staalplaat aan de kop te verbinden. Wanneer geponste damwanden worden hergebruikt komen deze als dubbele plank weer uit de grond. Hergebruikte geponste damwandplanken kunnen slechts opnieuw in de grond worden getrild, maar niet meer worden gedrukt<sup>2</sup>. Het drukken van damwandplanken gaat namelijk per individuele plank. Hierdoor wordt het aantal toepassingslocaties voor hergebruikte damwandplanken iets lager. Dit effect is beperkt omdat de meeste damwandplanken nog altijd getrild worden aangebracht.

### Verwijderen van damwanden

Voor het verwijderen van damwandplanken worden de processtappen van installatie als het ware omgekeerd doorlopen. Verschillen met de installatie zijn dat de damwand eerst deels wordt vrij gegraven en daarmee ontlast. Hierna worden de ankers en gordingen ontkoppeld en kan de damwandplank uit de grond

---

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met K. Kranenburg (Beens Groep).

<sup>2</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. de Nijs (Witteveen+Bos).



worden getrokken. Damwandplanken worden meestal getild getrokken. Een risico hierbij is het ontstaan van een open volume in de grond. Hierdoor kunnen lokaal zettingen optreden of kan kwel optreden. Op plekken waar dit risico onaanvaardbaar is worden damwanden niet getrokken. Wanneer stalen damwanden worden vervangen wordt de nieuwe damwand vaak voor de oude damwand gezet. Hierbij wordt de nieuwe damwand eerst geplaatst voordat de oude damwand wordt verwijderd.

## 2.2.4 De bruikbare lengte van de damwand

Voor het hergebruik van damwanden is de bruikbare lengte een belangrijke parameter voor de toepassingsmogelijkheden in een nieuwe constructie. Op basis van de projecten TK en ARK is in kader van dit onderzoek een werkhypothese aangenomen dat vrijkomende damwanden gemiddeld 6 m (met spreiding +1, -1 m) lang zijn. Verlies van planklengte kan door verschillende redenen optreden, namelijk:

- buigen/breken van de damwand rond de waterlijn door corrosie:
  - lengteverlies is in ordegrootte van een half tot 1 m, aan de kopzijde;
  - lengteverlies ten opzichte van planklengte 6 m is 8 - 17 %;
- vervorming aan de voet (plooien) door verschillen in de grondsamenstelling:
  - lengteverlies is in ordegrootte van 1 tot enkele ms, aan de teenzijde;
  - lengteverlies ten opzichte van planklengte 6 m is 17 - 33 %;
  - gezien planklengte 6 m is, is niet voorzien dat dit probleem zich vaak voordoet;
- vervorming aan de kop door vermoeiing bij hydraulische klem:
  - lengteverlies is in ordegrootte van een halve m, aan de kopzijde;
  - lengteverlies ten opzichte van planklengte 6,0 m is 0 - 8 %;
- slotschade door uit het slot lopen:
  - lengteverlies vanaf gronddiepte, tot één derde van de planklengte bij verankerde constructies of twee derde van de planklengte bij onverankerde constructies, aan de teenzijde;
  - lengteverlies is in ordegrootte van 1 tot enkele meters, aan de teenzijde;
  - lengteverlies ten opzichte van planklengte 6 m is 0 - 33 %;
- afzagen van damwandlengte waar de plankdikte door corrosie te veel is afgenomen:
  - lengteverlies ongeveer gelijk aan waterdiepte, tot twee derde van de planklengte bij verankerde constructies of één derde van de planklengte bij onverankerde constructies;
  - lengteverlies ten opzichte van planklengte 6 m is 0 - 33 %.

De voorkomingsfrequentie van bovenstaande redenen voor lengteverlies zijn niet bekend en ingeschat op basis van expert judgement. De voorkomingsfrequentie kan op basis van praktijkonderzoek worden bepaald.

## 2.2.5 Technische herbruikbaarheid

Er is geen onderzoek bekend dat de technische herbruikbaarheid van damwanden op basis van praktijkonderzoek vaststelt. Recent is in de verkenningsfase van de HLD een methodiek en data-model opgezet om potentie voor hergebruik te kunnen bepalen (zie tekstkader). Ook is een eerste grove schatting gedaan van de potentie voor hergebruik. Deze eerste analyse geeft een indicatie bij welke oevertrajecten de hergebruikpotentie hoog of laag is. Dit is nog onvoldoende nauwkeurig om daadwerkelijke hergebruikpotentie kwantitatief vast te stellen. De winst is vooral dat een bepalingsmethode voor hergebruik integraal is verankerd in de dataroom van HLD en zodra meer actuele en gedetailleerde informatie beschikbaar komt de hergebruikpotentie nauwkeuriger kan worden bepaald.

---

## Hergebruikscan hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl

Witteveen+Bos heeft een hergebruikscan uitgevoerd voor de HLD. In deze scan is de hergebruikpotentie voor verschillende type oeverconstructies bepaald, waaronder stalen damwandconstructies. In het project HLD wordt volledig gedigitaliseerd gewerkt en gebruik gemaakt van een dataroom. Een digitale inspectie is uitgevoerd voor de hele hoofdvaarweg, waarbij inspecteurs is gevraagd de oeverconstructies te inspecteren op verschillende indicatoren voor hergebruik. Dit maakte het mogelijk om de hergebruikpotentie voor oeverconstructies binnen de HLD op elementniveau al in een vroeg stadium in kaart te brengen.

---

Het is dus lastig om nauwkeurig inzicht te geven in het aandeel herbruikbaarheid. Daarom zijn R. de Nijs en K. Kranenburg gevraagd hiervoor een inschatting te geven op basis van expert judgement. K. Kranenburg geeft hiervoor aan dat binnen het project TK vervorming van damwanden bij 20 - 30 % van het getrokken damwandplanken hergebruik niet mogelijk maakt. Door vervorming van het damwandslot is nogmaals 10 - 20 % van de getrokken damwandplanken niet geschikt voor hergebruik. Dit suggereert dat 50 - 70 % van de damwandplanken na verwijderen deels of volledig herbruikbaar is. In deze schatting is echter nog niet meegenomen welk aandeel van de damwandplanken door corrosie nog voldoende plankdikte heeft om te worden hergebruikt.

R. de Nijs onderschrijft de schatting in orde grootte. Het aandeel planken dat door slotschade of kromming niet geschikt wordt bevonden voor hergebruik schat hij in op 25%. In zijn ervaring gaat het uittrillen van damwandplanken die als oeverconstructie worden toegepast in veel gevallen goed. Damwanden in oeverconstructies zijn normaliter niet overbelast geweest en bezwijken eerder door een tekort aan grondweerstand, bijvoorbeeld door te diep baggeren, waardoor de damwanden inklemming verliezen en vervormen. Een inschatting maken voor het aantal planken dat door corrosie niet kan worden hergebruikt is lastiger.

Op basis van deze schattingen wordt in dit onderzoek verder gerekend met een hergebruikpercentage van 50 - 75 % ten opzichte van het aantal vrijkomende damwandplanken. De nauwkeurigheid van deze schatting is echter redelijk onzeker. Praktijkonderzoek naar het aandeel herbruikbare damwandplanken, waarbij rekening wordt gehouden met verschillende typen ondergrond, waterkarakteristieken en uitval van damwandplanken door kromming, slotschade en corrosie kan de nauwkeurigheid van deze inschatting verbeteren.

## 2.3 Hergebruikpotentie: klimaat- en milieuwinst

### 2.3.1 MKI per levensfase

In sectie 2.2 is beschreven dat 50 - 75 % van de damwanden na het verwijderen mogelijk opnieuw kan worden ingezet. De te hergebruiken damwanden reduceren daarmee de behoefte naar nieuw te produceren damwanden en daaraan gerelateerde milieu-impact. In de milieukosten indicatie (MKI) wordt de milieu-impact van de gehele levenscyclus van een product beschouwt. 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 damwand (A1 - A3), het transport (A4) en de installatie op de bouwplaats (A5). Wanneer damwanden worden hergebruikt wordt namelijk bespaard op de productiefase (A1 - A3) en in de levensfasen sloop (C1), transport naar de nieuwe locatie (C2) en herinstallatie (A5) vindt extra milieu-impact plaats.

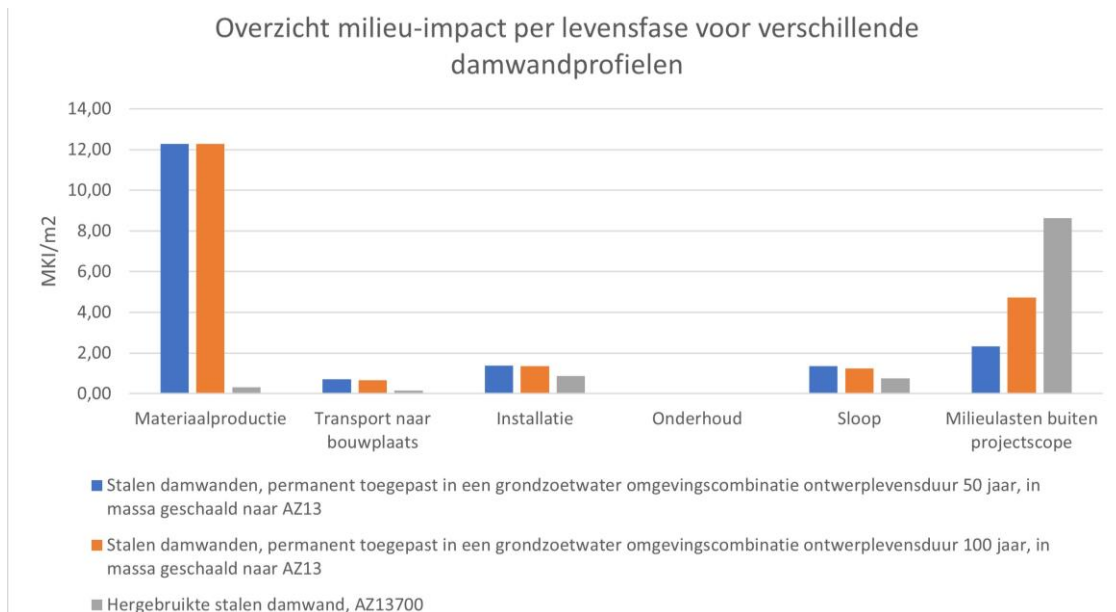
#### MKI per levensfase

Afbeelding 2.1 geeft de MKI per levensfase weer voor stalen damwanden van profiel AZ24-700 voor verschillende grond- of waterkerende toepassingen. De getoonde waarden zijn afkomstig van NMD-producten, beschikbaar in DuboCalc 6.0. De producten hebben datacategorie 3, waardoor een toeslag op de MKI moet worden gerekend. Voor een oeverconstructie is een AZ24-700 een relatief zwaar profiel, echter zijn voor lichtere (nieuwe) profielen in slechts in beperkte mate uitgewerkte NMD-producten beschikbaar.

Doordat damwanden uniform van materiaal en vorm zijn, wordt de aanname gemaakt dat het uitgewerkte NMD-product naar massa geschaald kan worden. Uit projectinformatie, zie paragraaf 2.1.1, blijkt dat vrijkomende profielen in het ARK, TK of HLD van het type AZ12, AZ13 of AZ14 zijn. Een AZ24 profiel bevat 136 kg staal/m<sup>2</sup>, waar een AZ13 106 kg staal/m<sup>2</sup> bevat.

Uit afbeelding 2.1 is op te maken dat voor nieuwe damwanden het grootste deel, namelijk 60 % tot 70 % van de MKI, aan de productiefase (A1-A3) is toe te schrijven. Transport naar de bouwplaats (A4) is goed voor ~4 % van de MKI en het aandeel installatie is ~8 % van de MKI. Sloop is goed voor ~7 % van de MKI. Milieulasten buiten scope worden voornamelijk veroorzaakt door afroesten en materiaal dat achter blijft in de grond en is goed voor 15 % tot 25 % van de MKI. Voor een hergebruikte damwand van hetzelfde profieltype geldt dat de materiaalproductie aanzienlijk lager is, ordegrrootte 3 % van de MKI. Transport naar de bouwplaats (A4), à 2 % van de MKI, installatie, à 8 % van de MKI, en sloop, à 8 % van de MKI, zijn vergelijkbaar met nieuwe damwanden. Het grootste verschil is zichtbaar in de milieulasten buiten scope. Voor hergebruikte damwanden is ~50 % van de MKI. Dit is veelal toe te schrijven aan het verlies van secundair materiaal, waarvoor met nieuwe productie gecompenseerd moet worden.

Afbeelding 2.1 MKI per levensfase voor 2 nieuwe stalen damwanden en een voor hergebruik voor 1 m<sup>2</sup>. De nieuwe damwanden zijn naar massa verschaald van profiel AZ24-700 (137 kg/m<sup>2</sup> naar AZ13-700 (106 kg/m<sup>2</sup>))



### 2.3.2 MKI voor hergebruik van stalen damwanden

De restlevensduur is bij hergebruik een belangrijke parameter. Het is vanuit kostentechnisch en praktisch oogpunt niet waarschijnlijk dat een damwand met een restlevensduur van minder dan 10 jaar nog opnieuw in een oeverconstructie wordt ingezet. Als werkhypothese wordt daarom aangehouden dat een te hergebruiken damwand met een ontwerplevensduur van 100 jaar op een zeker moment vrijkomt en opnieuw wordt gebruikt. De damwand wordt dan verwijderd, getransporteerd en opnieuw geïnstalleerd. In dit geval zit de milieuwinst in de vermeden impact van een nieuwe damwand op de nieuwe bestemming.

#### Milieu-impact direct hergebruik zonder reparaties

De gemiddelde milieu-impact voor een AZ24-700 damwand met ontwerplevensduur 100 jaar is EUR 0,31 MKI/m<sup>2</sup>/jaar. Dit gemiddelde is bepaald op basis van de NMD-producten in afbeelding 2.1. De milieu-impact voor eenzelfde damwand die wordt hergebruikt en dus tweemaal wordt verwijderd (C1, C2), getransporteerd naar de bouwplaats (A4) en geïnstalleerd (A5) is EUR 0,35 MKI/m<sup>2</sup>/jaar. De milieu-impact van het oogsten en herplaatsen van de damwand is circa EUR 3,5 - 4,0 MKI, in het geval dat de damwand

direct kan worden hergebruikt en geen ingrijpende herstelwerkzaamheden vereist. De milieu-impact van de materiaalproductie is hoger, circa EUR 16 MKI. De verhouding tussen de MKI voor materiaalproductie en herinstallatie (zonder ingrijpende herstelwerkzaamheden) is dus grofweg een factor 4. Het hergebruiken van een vrijkomende damwand is dus zeer voordelig vanuit milieu-impact perspectief.

### Milieu-impact van reparaties

De verhouding in MKI voor materiaalproductie en herinstallatie geeft ook een bandbreedte van milieu-impact waarbinnen eventuele reparaties uitgevoerd zouden moeten worden. Wanneer reparaties van een vierkante meter damwand meer dan circa EUR 12 MKI bedragen, is het vanuit milieu-impact niet meer voordelig ten opzichte van het produceren van een nieuwe damwand. Echter, het is op dit moment niet bekend wat de werkzaamheden voor damwandreparaties precies inhouden en welke milieu-impact hierbij wordt verwacht. Het is dus nog niet mogelijk om een nauwkeurig omslagpunt te bepalen voor welke mate van damwandreparaties wel en niet voordelig zijn.

De verwachting is dat de MKI voor reparaties van damwanden relatief klein zal zijn. Ter illustratie, de milieu-impact van het elektrisch booglassen van staal is circa EUR 0,13 MKI per strekkende meter en booglassen is een energie-intensief proces<sup>1</sup>. Om beter inzicht te krijgen in de werkelijke milieu-impact van damwandreparaties is praktijkonderzoek nodig. Aan de hand van vrijkomende damwanden moet inzichtelijk worden gemaakt op welke manier de damwanden gerepareerd kunnen worden. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen kleine reparaties 'on site' en meer ingrijpende reparaties zoals het corrigeren van vervormingen of het inkorten en aan elkaar lassen van 2 deels herbruikbare damwandplanken. De oeverrenovatie van het Amsterdam-Rijnkanaal is het eerstvolgende renovatieproject waar dergelijk onderzoek kan worden overwogen.

### Milieu-impact van opslag

De milieu-impact voor opslag van damwanden is niet bekend. Damwanden worden in de openlucht gestapeld opgeslagen, zie afbeelding 2.2. Het is daarom niet verwacht dat de tijdelijke opslag van stalen damwanden significante milieu-impact teweeg brengt.

Afbeelding 2.2 Damwanden gestapeld opgeslagen in openlucht depot. Bron: K. Kranenburg, Beens Groep



<sup>1</sup> Op basis van het NMD-proces 'Lasverbinding stalen buis', beschikbaar in DuboCalc 6.0.

### 2.3.3 MKI-, CO<sub>2</sub>- en materiaalbesparing door hergebruik damwanden uit areaal RWS

Door damwanden uit het areaal van RWS te hergebruiken en, al dan niet in binnen het areaal van RWS, opnieuw in te zetten wordt milieu-impact bespaard. Dit is onder de veronderstelling dat hergebruik van damwanden de vraag naar nieuwe damwanden (tijdelijk) voorkomt. Tabel 2.2 geeft een overzicht weer van de uitgangspunten voor de berekening waarin het areaal van RWS wordt beschouwd. Hierin is weergegeven wat de lage, hoge en gemiddelde uitgangspunten zijn per relevante parameter voor hergebruik.

#### Uitgangspunten herbruikbaar damwandoppervlak tot 2030

De lengte vrijkomende damwand is in paragraaf 2.1 onderbouwd en gevonden als 40 km ( $\pm 2$  km). De vrijkomende damwanden uit het ARK zijn veelal van het type AZ12-700 of AZ14-700, voor het TK en de HLD zijn dit lichtere profielen zoals bijvoorbeeld De Wendel 5400 planken. Binnen DuboCalc 6.0 is de MKI beschikbaar voor een hergebruikte stalen damwand van profiel AZ13-700. Dit product wordt toegepast in deze berekening en als representatief beschouwd voor het vrijkomende damwandmateriaal uit het ARK. Er is geen MKI beschikbaar voor damwanden van kleinere profielen dan de AZ13-700, dus wordt ook voor deze damwanden met de AZ13-700 gerekend. Voor de vrijkomende damwanden uit het TK en de HLD leidt dit tot een overschatting van de vrijkomende massa. O.b.v. een niet-gecorrodeerde plank is het verschil in massa tussen AZ13-700 en De Wendel 5400 orde grootte 30%.

Ankers zijn niet meegenomen in berekening voor de MKI-, CO<sub>2</sub>- en materiaalbesparing gerelateerd aan het hergebruik van stalen damwanden. Ankers blijven bij verwijdering van de damwandconstructie vaak achter in de grond, omdat deze niet economisch te verwijderen zijn. Bij het plaatsen van een nieuwe damwandconstructie worden dus ook nieuwe ankers geïnstalleerd, ongeacht of de damwandplanken nieuw of hergebruikt zijn. Hierdoor is de milieu-impact voor de ankers niet onderscheidend voor het hergebruik van damwandplanken. Hetzelfde geldt voor gordingen en deksloven, deze zijn niet meegenomen in de berekening voor de MKI-, CO<sub>2</sub>- en materiaalbesparing.

Het hergebruikpercentage van damwandplanken is in 2.2 beschreven en wordt toegepast als 50 - 75 %. Dit betreft het aandeel planken dat geschikt wordt geacht voor hergebruik, nadat planken die worden afgekeurd door vervorming of slotschade van het totaal aantal vrijkomende planken is afgetrokken. Het verlies van damwandlengte is in 2.2.4 beschreven, maar door ontbrekend inzicht in de voorkomingsfrequentie van de verschillende oorzaken voor lengtereductie is het nog niet inzichtelijk hoe groot het verlies aan damwandlengte gemiddeld is. Als werkhypothese wordt daarom een gemiddeld verlies van 20 % van de damwandlengte als uitgangspunt genomen, met een ondergrens van 8 % en bovengrens van 33 %.

De uitgangspunten samengevat:

- oeverlengte vrijkomende damwanden: 40 km ( $\pm 2$  km) zie paragraaf 2.1;
- profieltype vrijkomende damwanden: AZ13-700 zie bijlage II: projectbeschrijvingen;
- aanname lengteverlies bij verwijderen: 20% van planklengte zie paragraaf 2.2.4;
- hergebruikpercentage: 50 % tot 75 % zie paragraaf 2.2.5;
- ankers: niet beschouwd:
  - blijven bij verwijderen vaak achter in de grond;
  - moeten opnieuw worden aangebracht in nieuwe situatie;
  - niet onderscheidend voor hergebruik of nieuw;
- gordingen en deksloven: niet beschouwd. .

Op basis van deze uitgangspunten kan 120.000 m<sup>2</sup> (met een spreiding van -47 %, +69 %) damwand worden hergebruikt tot 2030.

Tabel 2.2 Uitgangspunten en rekenwaarden MKI-, CO<sub>2</sub>- en materiaalbesparing door hergebruik stalen damwanden vanuit areaal RWS tot 2030

	Laag	Gemiddeld	Hoog	Eenheid
vrijkomende constructielengte uit areaal tot 2030	38	40	42	km
hergebruikpercentage	50 %	63 %	75 %	km herbruikbaar/ km totaal
bruikbare lengte vrijkomende damwand	5	6	7	m
percentage lengtebehoud damwandplank	67 %	80 %	92 %	m herbruikbaar/ damwandplank
vrijkomend damwandoppervlak	63.650	120.000	202.860	m <sup>2</sup>

### MKI-, CO<sub>2</sub>- en primair materiaalbesparing

De ontwerplevensduur en de restlevensduur van stalen damwanden zijn een belangrijke parameter voor het bepalen van de MKI, CO<sub>2</sub> en materiaalreductie door hergebruik. Hiervoor wordt als werkhypothese aangenomen dat de ontwerplevensduur van de nieuwe damwanden die door hergebruik worden voorkomen 50 jaar is. De hergebruikte damwanden zullen namelijk veelal worden ingezet in een kleiner kanaal of in een situatie waarin deze minder zwaar belast worden. De restlevensduur van geschikte vrijkomende damwanden wordt aangenomen als 10 tot 30 jaar. In het geval dat een damwand nog 10 jaar kan worden hergebruikt, wordt 20 % van de ontwerplevensduur van een nieuwe damwand voorkomen en daarmee 20 % van de milieu-impact aan besparing gerekend. De milieu-impact voor sloop (C1), transport (C2) en installatie (A4, A5) wordt van deze besparing afgetrokken om het dubbele installatie- en verwijderproces ten aanzien van hergebruik in de milieu-impact mee te nemen. Hetzelfde geldt voor een damwand die nog 30 jaar mee kan, waarvoor 60 % van de milieu-impact van een nieuwe damwand met ontwerplevensduur van 50 jaar wordt gerekend.

Op basis van bovenstaande uitgangspunten kan tot 2030 door hergebruik van stalen damwanden EUR 478.000,00 MKI, 4.340 ton CO<sub>2</sub>-eq en 5.070 ton staal worden bespaard. Hierbij geldt voor alle 3 indicatoren een spreiding van -73 % tot +154 %. Deze spreiding is groot en reflecteert de onzekerheid binnen het hergebruikpotentieel, met name in de hoeveelheid vrijkomend materiaal en de optredende verliezen.

Tabel 2.3 Overzicht verwachte besparing op MKI, CO<sub>2</sub> en primair materiaal door hergebruik van damwanden uit areaal van RWS tot 2030

	Laag	Gemiddeld	Hoog	eenheid	spreiding laag/hoog ten opzichte van gemiddeld
MKI-besparing	127.000	478.800	1.214.100	euro MKI	-73 %, +154 %
CO <sub>2</sub> -besparing	1.151	4.340	11.004	ton CO <sub>2</sub> -eq	-73 %, +154 %
Besparing primair materiaal	1.346	5.070	12.865	ton staal	-73 %, +154 %

### 2.3.4 Herberekening MKI-inschatting zwaartepuntanalyse CE Delft

In de zwaartepuntanalyse van CE Delft worden de milieukosten voor de aanleg van nieuwe damwanden, uitgaande van 70 km lengte en 12 m gemiddelde hoogte, geschat op M€ 61 MKI en 487 kton CO<sub>2</sub>-eq. In totaal wordt gerekend met 840.000 m<sup>2</sup> nieuwe stalen damwand. Uit nader onderzoek is gebleken dat de uitgangspunten t.a.v. km aanleg en ook de hoogte van de damwand gehanteerd door CE Delft moeten

worden bijgesteld. Ook de gehanteerde MKI waarde per damwand lijkt aan de hoge kant op basis van huidige inzichten. Daarom is MKI opnieuw berekent op basis van de uitgangspunten gevonden in deze studie. Op basis van de projectbeschrijvingen in 2.1.1 kan een (grote) schatting van de MKI- en CO<sub>2</sub>-investering voor de aanleg van nieuwe oeverconstructies tot 2030 worden gemaakt. De verwachte lengte nieuwe damwand dit is 75 km (-8, +5 km). Daarbij wordt als uitgangspunt genomen dat de damwandconstructies verankerd worden ontworpen. De ankerlengte is aangenomen als 1,5 keer de damwandhoogte, overeenkomend met de hart-op-hart afstand van 4 damwandprofielen. Tabel 2.4 geeft een overzicht weer van de rekenwaarden die voor de schatting zijn toegepast.

Tabel 2.4 Uitgangspunten en rekenwaarden MKI-, CO<sub>2</sub>- en materiaalinvestering door aanleg nieuwe stalen damwanden tot 2030

	Laag	Gemiddeld	Hoog	Eenheid
constructielengte in areaal tot 2030	68	75	80	km
verwachte hoogte damwand	6,5	8	10	m
benodigd damwandoppervlak	442.000	600.000	800.000	m <sup>2</sup>
benodigde ankerlengte	9,8	12,0	15,0	m
hart-op-hart afstand ankers	-	2,8	-	m
ankerlengte in areaal tot 2030	236.800	321.400	428.600	m

Om de MKI- en CO<sub>2</sub>-investering in te schatten is gebruikt gemaakt van bestaande NMD productkaarten. Hierbij is uitgegaan van een AZ13-700 profiel met schroefinjectieankers met een diameter van Ø 82,5 mm en een wanddikte van 17 mm. In de berekening is ervan uit gegaan dat de constructie zijn gehele ontwerplevensduur (50 jaar) dienst doet. Voor de inschatting zijn uitsluitend de damwanden en de ankers meegerekend. Gordingen en deksloven zijn buiten beschouwing gelaten. Op basis van de uitgangspunten in tabel 2.4 en de NMD-productkaarten is de MKI voor de aanleg van nieuwe damwandplanken M€ 12,4 MKI (-26 %, +33 %), de broeikasgasemissie 120 duizend ton CO<sub>2</sub>-eq (-26 %, +33 %) en de hoeveelheid primair staal 72.500 ton (-26 %, +33 %). Tabel 2.5 geeft een overzicht van de uitkomsten weer.

Tabel 2.5 MKI- en CO<sub>2</sub>-investering aanleg nieuwe stalen damwanden in areaal RWS tot 2030

	Laag	Gemiddeld	Hoog	Eenheid
MKI	9.137.670	12.404.077	16.538.770	euro MKI
CO <sub>2</sub>	88.851	120.612	160.816	ton CO <sub>2</sub> -eq
Primair staal	53.417	72.512	96.682	ton staal

De schatting van CE Delft vond 61 mln euro MKI en 487 kton CO<sub>2</sub>-eq voor de VenR-opgave voor oeverconstructies. De schatting in deze rapportage komt circa 5 keer lager (~20 %) uit voor de MKI en 4 keer lager (~25 %) voor de klimaatimpact dan CE Delft berekende. Op basis van deze herberekening zakken oeverconstructies in de Top 10 prioriteitenlijst naar de tiende positie voor MKI en negende positie voor klimaatimpact.

Tabel 3 - Top 10 MKI in Transitiepad Kunstwerken RWS tussen 2021-2030

#	Opgavecategorie	€ MKI	Aandeel
1	Damwandovers (vervanging & renovatie)	101 miljoen	
2	Betonnen bruggen & viaducten (aanleg)	91 miljoen	
3	Geleiderails (vervanging & renovatie)	64 miljoen	
4	Tunnels & verdiepte wegen (aanleg)	58 miljoen	
5	Geluidswerende voorzieningen (aanleg)	23 miljoen	
		339 miljoen	75%
6	Stalen bruggen (aanleg)	21 miljoen	
7	Geluidswerende voorzieningen (vervanging & renovatie)	19 miljoen	
8	Geleiderails (aanleg)	17 miljoen	
9	3B- & overige installaties (vervanging & renovatie)	14 miljoen	
10	Stormvloedkering (vervanging & renovatie)	8 miljoen	
		419 miljoen	92%

Tabel 5 - Top 10 klimaatimpact in Transitiepad Kunstwerken RWS tussen 2021-2030

#	Opgavecategorie	kton CO <sub>2</sub> -eq.	Aandeel
1	Betonnen bruggen & viaducten (aanleg)	924	
2	Damwandovers (vervanging & renovatie)	806	
3	Tunnels & verdiepte wegen (aanleg)	514	
4	Geleiderails (vervanging & renovatie)	494	
5	Geluidswerende voorzieningen (aanleg)	209	
		2.947	78%
6	Geluidswerende voorzieningen (vervanging & renovatie)	175	
7	Stalen bruggen (aanleg)	164	
8	Geleiderails (aanleg)	129	
9	3B- & overige installaties (vervanging & renovatie)	76	
10	Betonnen bruggen & viaducten (vervanging & renovatie)	53	
		3.544	94%

## 2.4 Hergebruikpotentie: kosten & baten

### 2.4.1 Handel in tweedehands damwandplanken

Er bestaat al een levendige handel in tweedehands damwandplanken<sup>1</sup>. Een aannemer neemt het overnemen van vrijkomende planken mee in zijn/haar tenderafweging. Hier wordt in meegenomen dat het type en de diepte van de planken vaak onbekend zijn. Vrijkomende planken worden door aannemers vaak opnieuw ingezet omdat dit kostentechnisch voordelig is, mits de conditie het toelaat. De staalprijs is hoog en nieuwe planken zijn dus relatief duur. Planken in slechte conditie worden verkocht als schroot. De damwandplanken worden soms ingezet binnen hetzelfde project of in andere RWS projecten, maar ook veelal in toepassingen met lagere functionele eisen of kleinere maatvoering buiten de invloedssfeer van RWS. De kostenbesparing als gevolg van hergebruik van damwanden zal voor een deel verdisconteerd worden in (lagere) inschrijfprijs op projecten waar damwanden vrijkomen, doordat een aannemer intern onderzoekt of er werk-met-werk gemaakt en zal ook leiden tot een lagere inschrijfprijs op het project waar vrijkomende damwand wordt toegepast. De verhouding hier tussen en mate van de kostenreductie is op basis van beschikbare informatie niet te bepalen.

R. de Nijs merkt op dat de markt in tweedehands damwandplanken al functioneert en stelt de vraag of je hierop wilt ingrijpen. K. Kranenburg en O. Kerssens bevestigen deze stelling. Om de mate van hergebruik te verhogen kan een tussenvorm zijn dat de opdrachtgever reparatie-eisen stelt aan vrijkomende planken. Nu bepaald de aannemer wat er gebeurt met de damwanden na verwijderen. Naast de technische mogelijkheden om een damwandplank te hergebruiken maakt een aannemer immers een economische afweging. Wanneer reparatie, stalling en schoonmaak goedkoper is dan nieuwe aanschaf wordt dit al dan niet al toegepast. K. Kranenburg geeft aan dat de grootste kostenpost hierin de gemaakte uren door werknemers is. Het verschil tussen het aantal technisch herbruikbare planken en economisch herbruikbare planken is momenteel niet inzichtelijk.

Verder geeft K. Kranenburg aan dat voor het verwijderen vanuit de opdrachtgever kenbaar moet worden gemaakt of de planken moeten worden getrokken voor hergebruikdoeleinden. Wanneer geen voorwaarden worden gesteld aan het vrijkomende materiaal wordt de uitvoering namelijk geoptimaliseerd op snelheid. In dit geval wordt een stuk minder rekening gehouden met schade aan het vrijkomende materiaal en meer verliezen geaccepteerd. Het zorgvuldig verwijderen vergt in zijn ogen meer tijd, in de orde grootte 20-30%.

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. de Nijs (W+B), O. Kerssens (W+B) en K. Kranenburg (Beens Groep).



## 2.4.2 Kosten voor nieuwe aanschaf en hergebruik

De kosten voor aanschaf en installatie van stalen damwanden zijn erg afhankelijk van de project specifieke uitgangspunten, waardoor kengetallen voor een representatieve situatie lastig te bepalen zijn<sup>1</sup>. In deze paragraaf wordt desondanks getracht hier een eerste inzicht in te geven. Op hoofdlijnen worden in de levenscyclus kosten gemaakt voor materiaalproductie, transport, installatie, opslag en verwijderen. In het geval van hergebruik worden de kosten voor verwijderen, transport, opslag en (her)installeren in feite 2 keer gemaakt. Ook komen hier kosten voor inspectie, eventueel reparatie en matching bij. Deze kosten moeten opwegen tegen de voorziene restlevensduur van de damwandplank i.c.m. de prijs van nieuw staal.

### Overzicht inschatting kosten per processtap

De kosten voor het verwijderen en herplaatsen van een damwand binnen of buiten het project wordt gevonden in ordegrootte van enkele honderden euro's per strekkende meter oever. tabel 2.6 en tabel 2.7 geven een overzicht van de verwachte kosten per processtap voor hergebruik van damwandplanken. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen hergebruik binnen hetzelfde project, waardoor geen kosten voor bijvoorbeeld matching worden gemaakt, en kosten voor hergebruik in een ander project waarbij hiervoor wel kosten worden gemaakt. Voor onderstaande schatting is uitgegaan van een AZ12-700 profiel. De geschatte kosten zijn op basis van algemene uitgangspunten die worden gehanteerd bij het maken van een kostenraming. De prijs voor een nieuwe damwand en oud ijzer, zie tabel 2.8, is afgestemd op basis van recente marktprijzen (oktober 2022) en in de tabel vermelde uitgangspunten. Wanneer de kosten van hergebruik lager zijn dan de kosten voor nieuwe aanleg, is hergebruik financieel voordelig. Op basis van de gehanteerde uitgangspunten wordt gevonden dat de kosten voor het verwijderen en plaatsen van damwanden rond de 250 euro per strekkende meter oever beslaan. De extra kosten voor hergebruik, specifiek het inkorten, (extra) vervoeren, matches van vraag en aanbod en het tijdelijk opslaan, tellen op tot ongeveer 100 euro per strekkende meter oever.

De kosten voor de aanschaf van een nieuwe damwand zijn ordegrootte 1250 euro per strekkende meter oever. De schrootwaarde van vrijkomend damwandstaal is ordegrootte 200 euro per strekkende meter. Het verschil tussen de nieuwprijs en schrootwaarde is dus ordegrootte 1000 euro per strekkende meter. De extra kosten voor hergebruik à 100 euro per strekkende meter zijn dus aanzienlijk lager dan het verschil tussen nieuwprijs en schrootwaarde per strekkende meter. In deze vergelijking is aangenomen dat bij hergebruik van een vrijkomende AZ13-700 een nieuwe damwand van hetzelfde type wordt vermeden. In praktijk kan het voorkomen dat de vrijkomende damwand mogelijk worden ingezet op een locatie met lagere eisen, waardoor daarmee de aanschaf van een damwand van een lichtere en daarmee goedkopere damwand wordt vermeden. Hiermee zal het kosten verschil mogelijk kleiner zijn. Echter het verschil tussen de nieuwprijs en hergebruik is dermate groot dat hergebruik nog steeds (zeer) lucratief zal zijn.

Tabel 2.6 Geschatte financiële kosten voor hergebruik van een AZ13-700 damwandprofiel in hetzelfde project, per processtap. Omgerekende kosten berekend o.b.v. vrijkomende planklengte en -massa van 7 meter en 100 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk

Processtap	Geschatte kosten	Eenheid	Omgerekende kosten	Eenheid
verwijderen bestaande damwand	25,-	€/m <sup>2</sup>	125,-	€/m <sup>1</sup> oever
inspectie, schoonmaak en validatie	100,-	€/uur	35,-	€/m <sup>1</sup> oever
inkorten bestaande damwand	40,-	€/m <sup>1</sup>	50,-	€/m <sup>1</sup> oever
vervoeren per schip in projectgebied	15,-	€/ton	15,-	€/m <sup>1</sup> oever
aanbrengen hergebruikte damwand	25,-	€/m <sup>2</sup>	120,-	€/m <sup>1</sup> oever
<b>opgetelde kosten voor hergebruik per strekkende meter oever</b>			<b>345,-</b>	<b>€/m<sup>1</sup> oever</b>

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met O. Kerssens (Witteveen+Bos).

Tabel 2.7 Geschatte financiële kosten voor hergebruik van een AZ13-700 damwandprofiel in een ander project, per processtap.  
Omgerekende kosten berekend o.b.v. vrijkomende planklengte en -massa van 7 meter en 100 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk

Processtap	Geschatte kosten	Eenheid	Omgerekende kosten	Eenheid
verwijderen bestaande damwand	25,-	€/m <sup>2</sup>	125,-	€/m <sup>1</sup> oever
inspectie, schoonmaak en validatie	100,-	€/uur	35,-	€/m <sup>1</sup> oever
inkorten bestaande damwand	40,-	€/m <sup>1</sup>	50,-	€/m <sup>1</sup> oever
vervoer per schip naar opslagplaats	25,-	€/ton	20,-	€/m <sup>1</sup> oever
matching vraag en aanbod	-	-	10,-	€/m <sup>1</sup> oever
kosten (korte termijn) opslag	-	-	5,-	€/m <sup>1</sup> oever
vervoeren per schip naar projectlocatie	25,-	€/ton	20,-	€/m <sup>1</sup> oever
aanbrengen hergebruikte damwand	25,-	€/m <sup>2</sup>	120,-	€/m <sup>1</sup> oever
<b>opgetelde kosten voor hergebruik per strekkende meter oever</b>			<b>385,-</b>	<b>€/m<sup>1</sup> oever</b>

Tabel 2.8 Geschatte kosten voor een nieuwe damwand, geschatte schrootwaarde bij hergebruik en geschatte schrootwaarde niet herbruikbare damwandplank

Processtap	Geschatte kosten	Eenheid	Omgerekende kosten	Eenheid
leveren nieuwe damwand	1700,-	€/ton	1250,-	€/m <sup>1</sup> oever
vervoeren bestaande damwand naar schroothandelaar	25,-	€/ton	20,-	€/m <sup>1</sup> oever
vervoeren nieuwe damwanden naar projectlocatie	25,-	€/ton	20,-	€/m <sup>1</sup> oever
restwaarde schroot	- 250,-	€/ton	- 200,-	€/m <sup>1</sup> oever
<b>opgetelde kosten voor vervangen en verschromen per strekkende meter oever</b>			<b>1090,-</b>	<b>€/m<sup>1</sup> oever</b>

Omgerekende kosten voor leveren nieuwe damwand zijn berekend op basis van een planklengte van 6 m en plankgewicht van 110 kg/m<sup>2</sup>. Omgerekende kosten voor restwaarde schroot berekend op basis van vrijkomende planklengte en -massa van 7 m en 100 kg/m<sup>2</sup> respectievelijk

### Toelichting kosten per processtap

In onderstaande paragrafen worden de kosten per processtap toegelicht.

#### Aanschafkosten

De staalprijs bepaalt heel sterk de aanschafkosten, in combinatie met de voorraad damwandplanken op dat moment. Hierdoor kan de variatie in aanschafkosten al oplopen tot een factor 2, puur door het moment van aanschaf van het materiaal. Op dit moment is de staalprijs hoog. Bij een hoge staalprijsen wordt hergebruik lucratiever.

#### Installatiekosten

De installatiekosten zijn sterk afhankelijk van de installatiemethode. Parameters die hierbij van belang zijn, zijn installatie of verwijderen vanaf land of water en/of ankers zijn voorzien. Ook maakt het uit of planken getrild of gedrukt moeten worden. Wanneer planken gedrukt ingebracht moeten worden, bijvoorbeeld door restricties door trillinghinder, leidt dit in het algemeen tot hogere kosten. Geponste planken kunnen uitsluitend middels trillen worden geplaatst, niet middels drukken. Ook getrokken geponste planken kunnen in het geval van hergebruik uitsluitend opnieuw via trillen worden geplaatst. De in tabel 2.6 en tabel 2.7 getoonde kosten gaan uit van installatie en verwijderkosten middels trillen. K. Kranenburg geeft aan dat verwijderen voor hergebruik 20-30% meer tijd kost, dit is verrekend in de kosten voor verwijderen.

### *Transport- en opslagkosten*

Kosten voor transport zijn niet anders voor hergebruikte damwandplanken. Er is wel onderscheid tussen transport per truck of transport via water. Kosten voor opslag zijn lastig inzichtelijk te maken. De locatie en tijdsduur zijn hier de meest invloedrijke parameters. K. Kranenburg geeft aan dat vrijkomende damwandplanken veelal op eigen locaties worden opgeslagen. Kosten voor opslag worden echter van beperkte grote geschat, namelijk ordegrootte 10 à 20 per vierkante meter per maand<sup>1</sup>. In het geval van tijdelijke opslag of droog weer kunnen damwanden in de openlucht gestapeld worden opgeslagen, zie afbeelding 2.2. Hierdoor kan op relatief beperkt oppervlak een grote massa damwanden worden opgeslagen, waardoor de kosten voor opslag uitkomt op enkele euro's per damwand per jaar. Een groter effect op de kosten is het verroesten van de damwanden terwijl deze opgeslagen liggen. Wanneer damwanden langer moeten worden opgeslagen neemt de kans op verroesten toe en zullen deze beschermd van de elementen moeten worden opgeslagen. De waardevermindering op lange termijn door opslag is onzeker en is niet verder uitgewerkt binnen de scope van dit onderzoek.

### *Inspectie en validatie*

Kosten voor inspectie, validatie, certificering en reparatie betreffen voornamelijk werknemersuren en zijn afhankelijk van de conditionele staat van de vrijgekomen damwandplank. Voor de inspectie wordt de plank schoongemaakt, vervormingen geanalyseerd en de plankdikte gemeten. Wanneer de damwandplank deels wordt hergebruikt, bijvoorbeeld wanneer deze wordt ingekort, zijn kosten voor licht materieel en bijbehorende werknemersuren voorzien. Daarna volgt de validatie voor hergebruik. Op dit moment worden damwandplanken niet opnieuw gecertificeerd en zijn kosten hiervoor dus moeilijk in te schatten.

Kosten voor schoonmaak en validatie worden afgeschat op basis van de volgende aannames;

- uurloon medewerker is €50,- per uur;
- schoonmaak, diktemeting en validatie vinden parallel aan het verwijderproces plaats op de bouwplaats,
- voor schoonmaak en validatie zijn 2 medewerkers nodig;
- snelheid van verwijderen bestaande damwanden, schoonmaken en diktemeting is 4 planken per uur;
- vrijkomende damwandplanken hebben een breedte van 700 mm per plank.

Op basis van deze aannames zijn de werknemerskosten voor inspectie, schoonmaak en validatie ongeveer 35 €/m<sup>1</sup> oever. Daarnaast zal voor de inzet van schoonmaakmaterieel beperkte kosten worden gemaakt. Als conservatieve schatting wordt daarom 40,- €/m<sup>1</sup> oever in acht genomen. Kosten voor het inkorten van een damwand worden geschat op 40,- €/m<sup>1</sup> af te branden staal.

### *Matching vraag en aanbod herbruikbare damwanden*

Om vraag en aanbod van vrijkomende damwanden te matchen worden kosten door werknemersuren gemaakt. Deze kosten zijn echter niet specifiek inzichtelijk. In de huidige marktsituatie worden deze kosten door de aannemer gemaakt, maar niet specifiek gedocumenteerd. Om toch een eerste schatting te kunnen maken worden de kosten afgeschat aan de hand van de volgende aannames;

- uurloon medewerker is EUR 70,- per uur;
- benodigde tijd voor matching is 2 dagen per kanaalvak;
- binnen 1 kanaalvak zijn de damwanden van eenzelfde type en kunnen daarom als 1 set worden gematcht;
- de lengte van een kanaalvak is 150 meter.

Op basis van deze aannames zijn de kosten voor matching ongeveer 7,50 €/m<sup>1</sup> oever. De gestelde aannames zijn grof en uitsluitend bedoeld als ordegrootte benadering of eerste schatting. Het is waarschijnlijk dat kosten voor matching in de praktijk sterk zullen variëren. Dit zal met name worden bepaald door de benodigde tijd voor matching. Als conservatieve schatting is daarom 10,- €/m<sup>1</sup> oever in acht genomen.

---

<sup>1</sup> Bron: <https://www.fundainbusiness.nl/verhard-buitenterrein/heel-nederland/huur/permaand>.

# 3

## HANDELINGSPERSPECTIEF

### 3.1 Hergebruikproces

#### 3.1.1 Huidige levensloop damwanden

In stappen ziet de levensloop van een stalen damwand als onderdeel van een oeverconstructie er als volgt uit.

##### **Ontwerpfase**

- ontwerp van damwandconstructie;
- bestellen van damwanden. Normaliter moet een bulkorder voor nieuwe damwanden 3 maanden van te voren worden ingepland, kleine aanpassingen kunnen tot 2 maanden van te voren worden doorgevoerd.

##### *Bouwfase*

- staalproductie, via bestaande (primaire) staalproductie of binnen het staal recyclingproces;
- warm of koud walsen, inclusief afwerking;
- transport naar bouwplaats (eventueel via tussenkomst van een handelaar);
- installatie volgens stappen zoals beschreven in paragraaf 2.2.3.

##### *Gebruiksfase*

- oever is in gebruik;
- optioneel onderhoud: de stalen damwanden zelf worden tijdens gebruik in principe niet onderhouden.

##### *Sloopfase*

- verwijderen volgens omgekeerde stappen zoals beschreven in paragraaf 2.2.3:
  - wanneer stalen damwanden worden vervangen wordt de nieuwe damwand vaak voor de oude damwand gezet. Hierbij wordt de nieuwe damwand eerst geplaatst voordat de oude damwand wordt verwijderd;
- bepalen mogelijkheden voor hergebruik van damwandplank en bepalen restlevensduur middels visuele inspectie en diktemeting staalprofiel:
  - dit doet de aannemer. Mogelijk wordt ook de staalkwaliteit achterhaald;
- afweging maken of de damwandplank economisch herbruikbaar is. De kosten voor schoonmaak, reparatie, opslag en transport worden globaal? ingeschat;
- indien economisch herbruikbaar:
  - visuele inspectie, schoonmaak, inkorten en validatie;
  - transport naar opslagdepot van aannemer, tweedehands handelaar of verhuurder;
  - vinden van een geschikte nieuwe locatie of afnemer. Het is niet duidelijk of hier opnieuw certificering plaatsvindt;
  - transport naar bouwplaats;
  - (her)Installatie;
- indien niet economisch herbruikbaar:
  - transport naar schroothandelaar.

### *Afvalverwerking en recycling*

- het staal wordt als schroot toegevoegd in bestaande (primaire) staalproductie of uitsluitend opnieuw gesmolten binnen het staal recyclingproces.

## 3.2 Ketenpartners

De hergebruikketen voor stalen damwanden bestaat al. Deze keten is volledig door de markt gedreven, waarbij reguliere aannemers binnen de waterbouw en handelaren het hergebruik in de praktijk uitvoeren. Alternatieve organisatiemodellen voor hergebruik verschuiven het eigenaarschap tussen RWS en markt, maar vereisen geen nieuwe ketenpartners of processtappen (ten opzichte van de huidige situatie). Verschillende ketenpartners zijn: opdrachtgevers, ontwerpers, eventueel adviesbureaus, grondstoffen leveranciers (ijzererts/legering-erts, kool, schroot), staalproducenten, damwandproducenten (indien warm walsen: staalproducent, indien koud walsen: aparte partij), eventueel handelaren/verhuurders, transporteurs, aannemers, beheerders/assetmanagers, sloopbedrijven/aannemers, reparateurs/laswerven en beheerders van opslaglocaties.

## 3.3 Barrières en oplossingsrichtingen

Een barrière voor hergebruik van damwanden in het algemeen is naar inziens van de geïnterviewde experts niet van toepassing. Stalen damwanden worden, indien financieel voordelig, al veelvuldig hergebruikt. RWS heeft hier vermoedelijk weinig zicht op, omdat het hergebruikproces tot nu toe buiten haar invloedssfeer of zicht plaatsvindt. De vermoedelijke oorzaak hiervan is dat RWS aan het begin van hergebruikscascade staat, waar RWS regulier nieuwe damwandplanken aanschaft en geen zicht heeft op het vervolgproces na de sloop. Damwanden vervallen bij sloop of renovatie veelal aan derden, zoals aannemers, (schroot)handelaren of schrootverwerkers en de staalrecycling. Het is echter niet zo dat RWS geen vruchten plukt van de tweedehands markt in damwanden. Een aannemer neemt vrijkomende materialen namelijk mee in haar tenderoverwegingen en offerteprijs. Door als aannemer hergebruik economisch toe te passen wordt RWS vermoedelijk een scherpere offerteprijs geboden. Hierover is echter op basis van dit onderzoek nog geen harde conclusie te trekken.

### **De eerste positie in de hergebruikscascade**

Doordat RWS aan het begin van de hergebruikscascade staat worden de milieueffectvoordelen van hergebruik nog niet aan RWS verdisconteerd. Een tekort aan zicht bij RWS op de verdere levensloop van de damwanden vormt een barrière voor het in kaart brengen van de financiële en milieukostenaspecten voor hergebruik. Gezien de doelstelling om in 2030 alle processen en werkwijzen zo in te hebben gericht dat circulair wordt gewerkt, dat deze processen klimaatneutraal zijn en een reductie van 50 % minder primaire grondstoffen wordt behaald is het wenselijk voor RWS beter zicht te krijgen op de huidige materiaalstromen.

### *Voorschrijven en rapporteren hergebruikpercentage*

Een mogelijke oplossing voor het tekort aan inzicht is het voorschrijven van een minimum hergebruikpercentage voor vrijkomende damwanden in de offertefase van een kanaalrenovatie. Een tweede optie is het laten rapporteren van hoeveelheden werkelijk hergebruikt materiaal. Het voorschrijven van een minimumpercentage brengt als risico mee dat onvoldoende voorraad aanwezig is om aan de voorgeschreven waarde te voldoen. Dit risico moet dus worden meegenomen in de stellen van het minimumpercentage. Voorafgaand aan het laten rapporteren van de hoeveelheid werkelijk hergebruikt materiaal kan de opdrachtnemer worden gevraagd kennis te geven in welke projecten de opdrachtnemer mogelijkheden voor hergebruik van vrijkomend materiaal ziet.

Ook kan een richtlijn 'zorgvuldig verwijderen' worden opgesteld waarin zo veel mogelijk waarde wordt behouden. Hierbij kan aandacht worden gegeven aan lengtebehoud van vrijkomende planken door lokaal versteving aan te lassen, het noteren en opslaan van diktemetingen tijdens het verwijderen zodat de voorraad vrijkomend materiaal beter inzichtelijk wordt gemaakt of bijvoorbeeld de mogelijkheden van het

omgekeerd terugplaatsen van damwanden waarbij planken met verminderde dikte aan 1 uiteinde alsnog opnieuw kunnen worden ingezet.

#### *Versoepelen technische uitgangspunten*

Een mogelijke oplossing om los te komen van de eerste positie in de hergebruikscascade is het verruimen van de technische uitgangspunten voor vervanging en renovatie van oeverconstructies of het verkorten van de minimale technische ontwerplevensduur. Tunnelprojecten en damwanden uit grote tijdelijke bouwkuipen zijn mogelijk een bron voor herbruikbare damwandplanken voor kanalen in het beheer van RWS. Echter, de grootte van het assortiment beschikbare en geschikte damwandplanken is op dit moment niet bekend. Hierbij speelt ook mee dat in principe damwanden die vrijkomen uit tijdelijke bouwkuipen op dit moment ook al worden hergebruikt.

#### **Verhogen van de economische naar de technische hergebruikpotentie**

Ook kan het aandeel hergebruik nog worden verhoogd. Momenteel wordt hergebruik van damwanden op basis van financiële afwegingen overwogen. De technische hergebruikpotentie ligt waarschijnlijk hoger. Het is echter nu niet mogelijk om dit statistisch te beschouwen en/of marges in te schatten, omdat weinig tot geen data beschikbaar is over het al dan niet hergebruiken van stalen damwanden.

#### *Verhogen van reparaties door aannemer*

Reparaties van vrijgekomen damwanden van beperkte omvang zullen wellicht al worden uitgevoerd, maar reparaties van vrijgekomen damwanden die speciaal materieel of expertise vereisen of extra werknemersuren tot gevolg hebben worden nu niet of nauwelijks overwogen. Een mogelijke oplossing is het bieden van financiële voordelen in de offertefase van kanaalrenovaties voor uitvoerders die het repareren van damwanden specifiek vermelden en uitvoeren. Hierbij blijft het initiatief dan bij de aannemer.

#### *Verhogen van reparaties door RWS*

RWS kan dit initiatief ook naar zich toetrekken door vrijgekomen damwandplanken die niet 'on-site' hersteld kunnen worden terug te nemen en op een aparte locatie laat repareren. Snelle reparaties, zoals het afbranden van een verroeste plek, kunnen on-site worden uitgevoerd. Meer ingrijpende handelingen, zoals het lokaal versterken van damwanden, bijvoorbeeld door lokaal oplassen van plaatmateriaal om zwakke plekken te versterken of het weerstandsmoment te vergroten, of het aan elkaar lassen van reststukken met onvoldoende lengte, worden niet on-site uitgevoerd. Door meer ingrijpende reparaties te faciliteren wordt financiële ondersteuning geboden voor de werknemersuren van reparaties die nu niet door de markt worden beschouwd. Dit vereist echter een meer actieve rol van RWS op het gebied van oogsten, het uitvoeren van genoemde reparaties en het aanbieden van gereviseerde damwanden. De kosten die deze oplossingsrichting met zich meebrengt zijn binnen de scope van dit onderzoek niet verder onderzocht. De maatregel wordt interessant wanneer het potentieverschil tussen de economische en technische hergebruikpotentie voldoende groot blijkt.

#### **Verhogen van de technische hergebruikpotentie**

Een aantal voorbeelden om het technisch hergebruikpotentieel te verhogen zijn:

- het aan elkaar lassen van reststukken met onvoldoende lengte:
  - dit kan eventueel machinaal op een werf om laskwaliteit te garanderen;
  - een verwachte barrière hiervoor is financieel, aangezien:
    - dit een tijdrovend proces kan zijn;
    - niet de juiste machines en mensen met expertise op de plek van oogsten aanwezig zijn;
  - een andere barrière is de betrouwbaarheid van een dergelijke maatwerkoplossing in combinatie met het verlenen van garanties vanuit de opdrachtnemer en met acceptatiebereidheid van de opdrachtgever;
- het omgekeerd terugplaatsen van damwandplanken:
  - de damwanddikte wordt afgestemd op de combinatie van corrosieschade en het maximaal optredend veldmoment. De damwand is over zijn gehele lengte uniform van dikte. De grootste corrosieschade treedt echter op ter hoogte van de waterlijn. Op deze plek is de plank dus het meest kwetsbaar. R. de Nijs noemt een idee waarbij planken omgekeerd opnieuw worden ingebracht. Hierdoor komt de kwetsbare plek dus niet weer op de waterlijn terecht, maar staat dit permanent

onder water. Op deze manier wordt slim gebruik gemaakt van de uniforme dikte, en overcapaciteit, van de damwandplank.

### Vergroten van databeschikbaarheid en praktijkonderzoek

Data voor hergebruik is momenteel weinig beschikbaar. Praktijkonderzoek naar vrijkomende stalen damwanden verhoogt de accuraatheid van de uitgangspunten die in dit rapport zijn aangenomen. Praktijkonderzoek kan ook helpen de overwegingen en beslissingen duidelijk te maken die worden gemaakt wanneer damwanden vanuit economisch worden hergebruikt. Hieruit kunnen opnieuw barrières en oplossingsrichtingen worden opgesteld. Op deze manier kan op iteratieve wijze hergebruik de standaard worden gemaakt. Verder mist een centraal dataoverzicht van eigenschappen van het huidige areaal, een centraal beheerd materialenpaspoort. Dit stelt RWS in staat om voorafgaand aan renovaties in beeld te krijgen wat de staat en hoeveelheid van het aanwezige constructiemateriaal is. Zo is het momenteel vaak niet bekend welk type stalen damwand is geplaatst, welke diepte de damwand heeft of dat de damwand koud- of warmgewalst is. Deze parameters hebben een grote invloed op de mogelijkheden voor hergebruik. Het uitvoeren van een hergebruikscan en de uitkomsten opnemen in materialenpaspoorten kan helpen deze informatie beter te ontsluiten.

### Trend in het ontwerp van damwandconstructies

R. de Nijs merkt op dat damwanden initieel zijn ontworpen als goed losmaakbare, tijdelijke constructies. Tegenwoordig worden stalen damwanden echter steeds vaker voor 'permanente' situaties toegepast. Deze trend heeft 2 kanten. Enerzijds wordt materiaalefficiëntie vergroot, door damwanden meer specifiek voor een locatie gebonden toepassing te ontwerpen. Hierdoor is minder staal nodig, waardoor de milieu-impact van de productiefase lager wordt. Anderzijds beperkt dit de kans op hergebruik van de damwanden doordat minder overcapaciteit resteert tijdens het verwijderen. De kans is kleiner dat damwanden na het verstrijken van de ontwerplevensduur nog inzetbaar zijn en het risico op schade bij verwijderen is groter. Wij bevelen aan om het effect van deze trend op de milieu-impact van de gehele keten verder te onderzoeken.

## 3.4 Consequenties (impact op RWS organisatie)

RWS is werkgever, opdrachtgever en beheerder en heeft daarom grote invloed op de potentie van hergebruik. Hergebruik van damwanden wordt op dit moment door de markt gedaan. Hierdoor heeft dit weinig impact en consequenties voor de RWS organisatie. In paragraaf 3.3 zijn verschillende opties genoemd om het aandeel hergebruik te vergroten. Onderstaande paragrafen gaan in op de consequenties voor RWS.

### Consequentie rapporteren hergebruikpercentage

Met betrekking tot het rapporteren van het hergebruikpercentage vraagt dit meer inzet van uitvoerende ingenieursbureaus in de planuitwerkingsfase van projecten. Dit leidt voor RWS tot een toename in kosten voor onderzoek naar hergebruikopties. Ook vraagt dit van RWS om areaalinformatie compleet te maken, up-to-date te houden en deze informatie breed te ontsluiten of gemakkelijk beschikbaar te maken. Hierbij heeft het compleet maken van areaalinformatie de grootste impact op RWS. Echter, nadat een informatiesysteem is opgezet is de impact op RWS beperkt en is het aan ingenieursbureaus of inspectiediensten hergebruikmogelijkheden aan te tonen. RWS behoudt een rol als opdrachtgever en toetsers.

### Consequentie versoepelen technische uitgangspunten

Het versoepelen van de technische uitgangspunten voor hergebruikte damwanden heeft als gevolg dat hergebruikte damwanden vaker kunnen worden toegepast. Op dit moment wordt bij het ontwerp van een oeverconstructie een hoge ontwerplevensduur gevraagd, bijvoorbeeld 50 jaar, waardoor hergebruikte damwanden met een restlevensduur korter dan 50 jaar niet kunnen worden ingezet. Het verlagen van minimale technische ontwerplevensduur, en daarmee het vaker accepteren van hergebruikte damwanden, heeft als gevolg dat renovaties en werkzaamheden meer frequent worden. Voor RWS vergt dit meer tijd om frequenter projecten voor te bereiden en in de markt te zetten. Een mogelijk gevolg hiervan is dat over de levensduur van de constructie door RWS hogere financiële kosten gemaakt worden. Het uitvoeren van een LCC-beschouwing kan meer inzicht verschaffen in de gevolgen van het frequenter van werkzaamheden.

Daarbij vergt dit meer tijd van de ontwerppartij om aan te tonen dat de hergebruikte damwanden voldoen, bijvoorbeeld voor onderzoek of het bepalen van restlevensduur, en vraagt dit meer tijd van RWS om te toetsen en uiteindelijk akkoord te geven. Ook dit heeft invloed op de kosten van RWS. Een derde punt is een toename van hinder door bouwwerkzaamheden voor de omgeving.

#### Consequentie verhogen van reparaties

Het bieden van financiële voordelen in de offertefase voor uitvoerders die het repareren van damwanden uitvoeren leidt voor RWS in beperkte mate tot hogere kosten. Verder heeft dit weinig consequenties voor RWS. Wanneer RWS het repareren van damwanden naar zich toe trekt heeft dit een grotere consequenties en impact op de organisatie. Dit vraagt namelijk van RWS om de regie te nemen voor het verzamelen en transporteren van vrijkomende damwanden, het in dienst hebben van geschikte werkplaatsen en kundig personeel en het beschikbaar stellen van gereviseerde producten voor bouw- of renovatieprojecten. Dit laatste vergt onder andere het beheer van opslaglocaties en de ontsluiting van productinformatie. Daarbij draagt RWS dan ook de risico's rondom garantie. Al met al heeft dit vergaande impact op de RWS organisatie.

#### Consequenties verhogen van de technische hergebruikpotentie

Het toelaten van gereviseerde damwanden vraagt van RWS om hiervoor toetsingscriteria op te stellen. Dit geldt speciaal voor damwanden waarvoor ingrijpende handelingen zijn verricht, zoals aan elkaar gelaste reststukken of damwanden met corrosieschade die omgekeerd worden teruggeplaatst. Dit vergt geld voor onderzoek, het inlichten van personeel dat toetsingen uitvoert. Het opstellen van nieuwe toetsingscriteria is eenmalig. Een blijvende consequentie is dat het toetsen zelf meer tijd van RWS personeel zal vragen.

#### Consequentie vergroten van databeschikbaarheid

Het vergroten van de databeschikbaarheid vergt het in stand en up-to-date houden van een centraal dataoverzicht. Op dit moment onderhoudt RWS al verschillende databases, zoals bijvoorbeeld de NIS-database. Het beheren van een database is dus op zichzelf niets nieuws. Om hergebruik te faciliteren is de hoeveelheid benodigde data echter groter. Dit vergt mogelijk meer intensief databeheer dan nodig is voor het onderhouden van huidige databases en een uitbreiding van het huidige datasysteem. Verder moeten informatie-eisen voor hergebruik in kaart worden gebracht en inspecteurs worden ingezet om de gewenste informatie te achterhalen. Dit kan RWS zowel zelf ondernemen als uitbesteden. Uitbesteden beperkt de impact op de RWS organisatie, maar leidt waarschijnlijk tot hogere kosten.

### 3.5 Fase van 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 4 fasen van markttransformatie<sup>1</sup> heeft daarbij eigen kenmerken en vraagt een specifieke inzet van RWS. De 4 fasen zijn toegelicht in tekstkader Fasering markttransformatie op de volgende pagina. 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.

---

<sup>1</sup> Simons & Nijhof (2020) *Changing the Game: duurzame markttransformaties*.



---

## Fasering markttransformatie

De 4 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

---

## Markttransformatiefase stalen damwanden uit oeverconstructies

Hergebruik van damwanden bevindt zich in fase 3. Aannemers zetten damwanden vaker opnieuw in zonder dit specifiek als 'hergebruik' te benoemen. Dit gebeurt echter voornamelijk bij andere opdrachtgevers dan RWS, enerzijds omdat deze minder strenge ontwerpeisen hanteren en anderzijds omdat deze damwanden van kleiner formaat gebruiken. De vrijkomende damwanden worden op nieuwe locaties 'als nieuw' ingezet omdat deze, ook in gebruikte toestand, aan de ontwerpeisen van de nieuwe locatie voldoen. Dit maakt hergebruik commercieel aantrekkelijk en, mede door de hoge staalprijs, economisch winstgevend. Daarbij levert het hergebruik winst in milieu-impact op ten opzichte van de productie van nieuwe damwanden. De belangrijkste reden dat deze markttransformatie zich niet in fase 4 bevindt, is dat hergebruik nog niet geïnstitutionaliseerd is.

## 3.6 Organisatiemodellen voor hergebruik van stalen damwanden

In de huidige manier van werken worden damwanden al door marktpartijen hergebruikt. Dit hergebruik vindt echter vaak plaats in een meer laagwaardige functie en bij een andere opdrachtgever. Rijkswaterstaat is eigenaar en beheerder van de damwanden in haar areaal en zet projectmatig opdrachten in de markt om damwanden te vervangen. In onderstaand tekstkader staan zijn 3 mogelijke organisatiemodellen uitgelicht. Omdat hergebruik daar nu al veel plaatsvindt (fase 3, zie paragraaf 3.5), hoeft dit niet om een ander organisatie-model te vragen dan het huidige: 'markt aan het stuur'.

---

### Mogelijke organisatiemodellen

Op hoofdlijnen zijn er 3 organisatiemodellen 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/repairatie en logistiek tot herinzet

Damwanden zijn technisch relatief eenvoudig om her te gebruiken. Op hoofdlijnen zijn er 2 redenen om een damwand te vervangen:

- 1 de damwand voldoet niet meer aan functionele eisen, bijvoorbeeld wanneer de afmetingen van een kanaal worden vergroot;
- 2 de damwand voldoet niet meer aan technische eisen, bijvoorbeeld door corrosie of vervorming.

Wanneer een damwand wegens een wijziging in functionele eisen vrijkomt is de kans aannemelijk dat deze nog restlevensduur heeft en opnieuw kan worden ingezet. De ontwerplevensduur is immers nog niet bereikt. Wanneer een damwand wegens het verstrijken van de ontwerplevensduur vrijkomt is de kans aannemelijk dat deze op de waterlijn dermate gecorrodeerd is dat deze wordt afgekeurd. Onder water en in de grond is de corrosiesnelheid echter lager. Hierdoor is het mogelijk dat een restlengte overblijft dat geschikt is om te hergebruiken. Bij voldoende restlengte kan dit middels direct hergebruik, bijvoorbeeld door omgekeerd terugplaatsen, of hergebruik na reparatie, bijvoorbeeld door 2 (of meer) reststukken aan elkaar te lassen. Omdat hergebruik economisch aantrekkelijk is, doen marktpartijen dit op eigen initiatief. De economische aantrekkelijkheid neemt toe wanneer de staalprijs verder stijgt. Een ander marktorganisatiemodel dan het huidige – ‘markt aan het stuur’ – lijkt daarmee niet nodig of gewenst.

### 3.6.1 Korte termijn perspectief (1-4 jaar)

Hergebruik wordt op dit moment al door marktpartijen opgepakt, waarbij damwanden van RWS bijvoorbeeld worden hergebruikt bij andere opdrachtgevers. Zo worden damwandplanken die vrijkomen uit het Twentekanaal opnieuw ingezet in een kanaal in Noord Holland, zie bijlage: projectbeschrijvingen. Hergebruik van damwanden bevindt zich echter nog niet in de vierde fase van het 4-fasen model. Om de Fase IV te bereiken vraagt dit van RWS om hergebruik het ‘nieuwe normaal’ te maken. Daartoe kunnen de volgende stappen worden gezet;

- 1 neem hergebruik van bestaand materiaal standaard op als BPKV-criterium in uitvragen naar de markt. Vraag de markt inzicht te geven welk en hoeveel hergebruikt materiaal dat zij kunnen inzetten in het nieuwe ontwerp van het betreffende project. Vraag de markt eventuele belemmeringen voor de inzet van hergebruikt materiaal kenbaar te maken als onderdeel van de indiening. Op deze manier kunnen mogelijke barrières voor hergebruik worden geïdentificeerd en in een vroeg stadium worden gecommuniceerd;
- 2 bied ruimte in ontwerpisen. Dit kan bijvoorbeeld door voor specifieke kanaaldelen een kortere ontwerplevensduur te accepteren, zegge 25 jaar in plaats van de huidige standaard van 50 jaar. Ook is het mogelijk om voor specifieke kanaaldelen te experimenteren met de inzet vanuit reststukken vervaardigde damwanden of het omgekeerd terugplaatsen van damwanden;
- 3 neem hergebruik van vrijkomend materiaal standaard op als BPKV-criterium in uitvragen naar de markt. Vraag de markt inzicht te geven waar en hoeveel vrijkomend materiaal zij verwachten in te kunnen in andere projecten. Dit kunnen zowel ander RWS projecten zijn als een projecten bij lagere overheden of particulieren.

Met ontwikkeling van richtlijnen die bovenstaande stappen faciliteren en standaardiseren kan hergebruik de stap zetten naar Fase IV Institutionalisering. Gezien de beperkte scope van dit soort projecten zou dit op relatief korte termijn moeten kunnen. Projecten die hiervoor in aanmerking komen zijn de renovatie van het Amsterdam-Rijnkanaal en de Hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl. Gebruik deze projecten om op korte termijn, oftewel de komende 4 jaar, richtlijnen te testen, te beproeven en waar nodig bij te stellen.

### 3.6.2 Langetermijnperspectief (5-8 jaar)

Op de lange termijn, nadat ervaring is opgedaan met de in de paragraaf korte termijnperspectief (1-4 jaar) beschreven richtlijnen, kunnen deze richtlijnen worden vastgelegd in wetgeving. Hierna is ontwerpen vanuit hergebruik geïnstitutionaliseerd en wordt waardebehoud van bestaand materiaal geborgd in ontwerp- en renovatie-uitvragen.

# 4

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 4.1 Conclusies

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

#### 4.1.1 Vrijkomende en benodigde hoeveelheden

Een analyse van vrijkomende en benodigde hoeveelheden is beschreven in paragraaf 2.1. De conclusies hiervan zijn:

- op basis van de V&R-programmering wordt geschat dat in totaal tot 2030 circa 40 km (-2, +2 km) stalen damwand vrijkomt;
- de vraag naar damwanden vanuit MIRT en VenR tot 2030 wordt geschat op 75 km (-8, +5 km);
- op basis van het MIRT en VenR wordt geconcludeerd dat het merendeel van de werkzaamheden aan oeverconstructies plaatsvinden binnen de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl (HLD), het Amsterdam-Rijnkanaal (ARK) en Twentekanal (TK);
- vrijkomende damwanden in het ARK zijn veelal van het profieltype AZ12, AZ13 of AZ14. Binnen TK of HLD zijn kleinere profielen verwacht, bijvoorbeeld van het type De Wendel 5400;
- een centrale database met areaalinformatie voor hergebruik van damwanden mist. NIS-database is beschikbaar, maar hier wordt de benodigde informatie voor hergebruik niet in gerapporteerd.

#### 4.1.2 Technische hergebruikpotentie

De technische hergebruikpotentie van stalen damwanden is in paragraaf 2.2 toegelicht. De conclusies hiervan zijn:

- damwanden zijn in de basis ontworpen voor hergebruik en lenen zich hier goed voor;
- er zijn verschillende profieltype in gebruik, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen warm- en koudgewalste profielen. U-profielen en Z-profielen zijn het meest gangbaar voor oeverconstructies;
- corrosie, slotschade en vervorming van de damwandplank zijn de primaire technische belemmeringen voor hergebruik. Belemmeringen door corrosie kunnen worden beperkt door damwanden omgekeerd terug te plaatsen. Belemmeringen door reststukken met korte lengte kunnen worden beperkt door 2 (of meer) reststukken te verbinden;
- onafhankelijke data met betrekking tot voorkomensfrequentie technische belemmeringen is niet beschikbaar, alleen door inschatting van experts. Praktijkonderzoek kan hier duidelijkheid over verschaffen.

### 4.1.3 Klimaat en milieuwinst

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

- het merendeel van de milieu-impact is toe te wijzen aan de materiaalproductie;
- de gemiddelde milieu-impact voor een AZ24-700 damwand met ontwerplevensduur 100 jaar is EUR 0,31 MKI/m<sup>2</sup>/jaar. Wanneer geen ingrijpende reparaties zijn voorzien neemt de MKI (door eenmaal extra verwijderen, opslag en opnieuw installeren) met circa 15 % toe;
- milieu-impact van ingrijpende reparaties is nog niet inzichtelijk. Het is niet verwacht dat de milieu-impact met betrekking tot het verbinden van 2 reststukken significant is ten opzichte van recycling.
- op basis van gestelde uitgangspunten kan 120.000 m<sup>2</sup> (met een spreiding van -47 %, +69 %) damwand worden hergebruikt tot 2030;
- tot 2030 kan door hergebruik van stalen damwanden EUR 478.000,00 MKI, 4.340 ton CO<sub>2</sub>-eq en 5.070 ton staal worden bespaard. De zekerheid voor deze schatting is laag, voor alle 3 indicatoren geldt een spreiding van -73 % tot +154 %. Ten opzichte van de opnieuw berekende MKI en klimaatimpact voor de VenR-opgave voor oeverconstructies, uitgewerkt in paragraaf 2.3.4, is de besparing door hergebruik circa 4% voor zowel MKI als klimaatimpact;
- doordat RWS vermoedelijk aan het begin van een hergebruikscascade staat worden de milieueffectvoordelen van hergebruik nog niet aan RWS verdisconteerd.

### 4.1.4 Kosten en baten bij hergebruik

De financiële kosten en baten rondom hergebruik zijn kwalitatief beschreven in paragraaf 2.4. Ook is een eerste inschatting op de financiële gevolgen van hergebruik opgesteld. De conclusies die hieraan kunnen worden gekoppeld zijn:

- er bestaat al een levendige handel in tweedehands damwandplanken. Dit wordt nu door de markt geregeld, vermoedelijk buiten het zicht van RWS om. Verschillende experts betwijfelen of RWS hierop moet ingrijpen;
- de aannemer maakt de afweging of hergebruik plaatsvindt op basis van financiële inschattingen. De afwegingen die een aannemer maakt zijn beperkt inzichtelijk;
- hergebruik van damwanden komt mogelijk al wel terug in de offerteprijs van RWS projecten, doordat een aannemer intern onderzoekt of er werk-met-werk gemaakt kan worden, maar dit kan nog niet met zekerheid worden gesteld;
- de extra kosten die extra worden gemaakt voor hergebruik, zoals inspectie, schoonmaak, inkorten, matching en opslag, bedragen op basis van de gestelde uitgangspunten ongeveer 100,- €/m<sup>1</sup>. Het verschil tussen nieuwprijs en schroot bedraagt ongeveer 1000,- €/m<sup>1</sup>.
- op dit moment is de staalprijs hoog. Dit is positief voor hergebruik, omdat de investering om een damwand te repareren in verhouding gemakkelijker terug te verdienen is.

### 4.1.5 Handelingsperspectieven

Het hergebruikproces van damwanden, barrières en oplossingsrichtingen en hun consequenties op de RWS organisatie zijn beschreven in hoofdstuk 4. Op basis hiervan is de fase van markttransformatie vastgesteld, zijn verschillende organisatiemodellen toegelicht en is een korte- en langetermijnperspectief geschetst. De conclusies die hieraan kunnen worden gekoppeld zijn:

- een algehele barrière voor hergebruik is niet aanwezig en hergebruik wordt toegepast waar dit commercieel aantrekkelijk is. Het initiatief hiervoor ligt momenteel bij de markt;
- verschillende manieren om het aandeel technisch hergebruik te vergroten staan beschreven in paragraaf 3.3. Hiervan zijn inkorten, omgekeerd terugplaatsen en aan elkaar lassen van reststukken kansrijk;
- hergebruik wordt door RWS nog niet standaard uitgevraagd in projecten, waardoor kan worden gesteld dat hergebruik van damwanden in Fase III van markttransformaties is;

- om hergebruik van damwanden naar Fase IV te brengen zijn richtlijnen nodig waarbij:
  - inzet van hergebruikt materiaal wordt uitgevraagd in BPKV-criteria voor nieuwe projecten;
  - de markt wordt gestimuleerd kenbaar te maken waar vrijkomend materiaal in kan worden gezet. Dit kan zowel in het areaal van RWS als bij lagere overheden of particulieren;
  - ontwerpeisen voldoende soepel worden geformuleerd om hergebruikt materiaal toe te laten;
- het zou mogelijk moeten zijn Fase IV voor hergebruik van damwanden binnen 4 jaar te bereiken.

## 4.2 Aanbevelingen

Op basis van bovenstaande conclusies wordt een aantal aanbevelingen gedaan om het aandeel hergebruik van damwanden te vergroten, areaalinformatie beter te ontsluiten en de markttransformatie naar Fase IV te tillen:

- doe praktijkonderzoek naar vrijkomende damwanden en maak onderscheid tussen beperkingen voor hergebruik door corrosie, vervorming van het damwandslot en schade door installatie/verwijderen. Het aantal grootschalige renovatieprojecten is beperkt, dus verken mogelijkheden om dit praktijkonderzoek te combineren met de renovatie van het Amsterdam-Rijnkanaal en aanvullende pilots/praktijkonderzoek bij de HLD in periode 2030 (in voorbereiding op grote vervangingsopgave bij de HLD na 2030);
- breng areaalinformatie voor hergebruikindicatoren in kaart en zet een centrale database op waar deze informatie kan worden ontsloten;
- stel technische uitgangspunten bij, specifiek de minimale ontwerplevensduur, zodat hergebruikte damwanden voor RWS projecten ingezet kunnen worden. Biedt ruimte in uitvragen om op, mogelijk vooraf bepaalde, delen van kanaaltracés hergebruikt materiaal in te zetten;
- stel eisen op voor hergebruik van vrijkomende damwanden uit RWS projecten, ook als deze niet opnieuw binnen RWS projecten worden ingezet. Het hoofddoel hiervan is hergebruik te realiseren op basis van de technische hergebruikpotentie in plaats van de economische hergebruikpotentie die nu door de markt wordt toegepast;
- stem de ontwerpeisen van nieuwe projecten af op het profieltype van vrijkomende damwanden, bijvoorbeeld door natuurvriendelijke of hybride oevers voor te schrijven met beperkte kerende hoogte;
- stel toetsingsprotocollen en toetsingscriteria op voor gereviseerde damwanden, bijvoorbeeld welke uit reststukken zijn vervaardigd;
- doe onderzoek naar milieueffecten van de trend dat damwanden vaker als permanente constructie worden toegepast. Beschouw hierbij de gehele levenscyclus;
- maak aan de Nationale Milieudatabase kenbaar dat beperkt milieuprofielen of MKI-waarden beschikbaar zijn van stalen damwandprofielen die zijn bestemd voor oeverconstructies. De huidige NMD-productkaarten richten zich nu op zwaardere damwandprofielen. Het 'blinde vlekken' initiatief van de NMD biedt ruimte om meer relevante milieuprofielen op te stellen;
- stel een richtlijn op waarin hergebruik van damwanden als BPKV-criterium wordt voorgeschreven en pas dit toe in renovatie en nieuwbouw projecten voor oeverconstructies. Test deze richtlijn bij de renovatie van het Amsterdam-Rijnkanaal. De plannen hiervoor zijn waarschijnlijk al in een vergevorderd stadium, aangezien wordt verwacht dat de werkzaamheden hiervoor eind 2023 of begin 2024 zullen starten. Hier kan dus nog beperkt invloed op worden uitgeoefend. De HLD bevindt zich nog in een vroeg stadium van ontwikkeling waardoor hergebruik van stalen damwanden hier goed geborgd kan worden en de ervaringen vanuit het ARK kunnen worden meegenomen. Ook worden renovaties van kleinere omvang verwacht aan de Brabantse kanalen. Gebruik ook deze projecten om ervaring op te doen met de op te stellen richtlijn voor hergebruik.

### 4.2.1 Alternatieven voor verduurzaming middels hergebruik

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat hergebruik van damwanden in beperkte mate kan bijdrage om de CO<sub>2</sub>/MKI doel voor 2030 te bereiken. De vraag naar damwanden is sowieso een viervoud hoger dan het aanbod van vrijkomende damwanden. Daarom adviseren wij nadrukkelijk om ook in te zetten op alternatieve strategieën om de impact van gebruik van damwanden te vergroten. Te beginnen met beperken van de inzet van stalen damwanden als (permanente kerende constructie) waar dat mogelijk is. Op deze manier

wordt de vraag naar nieuw staal beperkt en zo aan de circulaire transitie bijgedragen via de hoogste R-strategieën: Refuse (R10), Reduce (R9) en Rethink (R8). Bij de HLD wordt hier al op ingezet door de ontwerphilosofie 'natuurvriendelijke oevers, tenzij' te hanteren.

Daarnaast is het zinvol om mogelijkheden te onderzoeken voor de inzet van alternatieve materialen, bijvoorbeeld hout, staal met een hoger recycling percentage of staal geproduceerd in nieuwe generatie staalfabrieken met duurzame energie voorziening en efficiënte productiemethoden. Productievolumes van nieuwe generatie staalfabrieken, zoals het Zweedse SSAB<sup>1</sup>, zijn op dit moment nog laag, maar de verwachting is dat deze in de komende jaren zullen opschalen.

---

<sup>1</sup> Bron: <https://opwegmetwaterstof.nl/waterstofstaal-voor-volvo-group/>.

Bijlage(n)

## BIJLAGE: OVERZICHT PROJECTEN UIT MIRT 2021

Tabel I.1 MIRT projecten met (mogelijke) relatie tot de vervanging en renovatie van oeverconstructies

Regio aanduiding MIRT	Project	Omschrijving MIRT 2021	Relatie met oeverconstructies
nationaal	Amsterdam-Rijnkanaal	vervanging van damwanden en sluisjes	ja
Noord	vaarweg Lemmer-Delfzijl, fase 2	de hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl wordt opgewaardeerd naar een vaarweg klasse Va. De schaalvergroting in de binnenvaart, het grote aantal recreatievaartuigen en de technische staat van de nog niet vervangen objecten, vragen om vervanging en opwaardering van de vaarweg, met name bij de bruggen en sluizen. De acht bruggen die vervangen worden zijn: Spannenburg, Oude Schouw, Uitwellingerga, Schuilenburg, Kootstertille, Paddepoelsterbrug, Gerrit Krolbrug en Busbaanbrug	ja
Noord	sluiscomplex Kornwerderzand	verruiming sluis, bruggen Kornwerderzand en vaargeulen naar de havens voor scheepsklasse R/S 2 (diepgang 4,5 m) en de scheepswerven (diepgang 5,0 m). Er is sprake van een gefaseerde uitvoering van het project. Er wordt gestart met het vervangen van de bruggen en verdiepen en verbreden van de vaargeulen	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Noordwest	vaarweg IJsselmeer-Meppel	bezien is hoe het Molenrak en het Botterrak (vaargeulen IJsselmeer Ketelbrug) geschikt kunnen worden gemaakt voor volledig afgeladen binnenvaartschepen van klasse Vb en kustvaartschepen in R/S-categorie 1. Voor de vaarweg Ketelbrug-Meppel (Schokkerak Meppelerdiep) wordt onderzocht in hoeverre deze geschikt gemaakt kan worden voor binnenvaartschepen van klasse Va	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Zuidwest	capaciteitsuitbreiding ligplaatsen Beneden-Lek	mogelijke realisatie van acht overnachtingsplaatsen. Het onderzoek heeft zich gericht op kades, steigers, de toegangsweg en oeverwerken	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Zuidwest	capaciteitsuitbreiding overnachtingsplaatsen Merwedede	de realisatie van 4 overnachtingsplaatsen in de noordwesthoek van de vluchthaven van Gorinchem	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Zuidwest	Nieuwe Sluis Terneuzen	aanleg van de Nieuwe Sluis Terneuzen. De sluis krijgt de volgende afmetingen: 427 m x 55 m x 16 m	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Zuid	Wilhelmina kanaal Sluis II	het kanaal wordt vanaf de instroom van de Donge tot Sluis III verruimd tot klasse IV. Om aan de opgave te voldoen resteert nog de sloop en herbouw van Sluis II voor klasse IV, de afbouw van de nieuwe Sluis III en de opwaardering van het Wilhelminakanaal naar klasse IV tussen de instroom van de Donge en Sluis II	mogelijk, maar niet inzichtelijk



Regio aanduiding MIRT	Project	Omschrijving MIRT 2021	Relatie met oeverconstructies
Zuid	planuitwerking Oeffelt	De maatregel bestaat uit de verruiming van de doorstroomopening bij de brug op 2 plaatsen (circa 250 m en 120 m), inclusief de weerdverlaging	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Oost	bovenloop IJssel (IJsselkop tot Zutphen)	In de planuitwerking wordt met name gekeken naar de mogelijkheden om de vaarbreedte van de bochten in dit traject van de IJssel aan te passen, waardoor schepen uit klasse Va het traject IJsselkop-Zutphen veiliger en efficiënter kunnen bevaren	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Oost	capaciteits uitbreiding ligplaatsen IJssel	de planuitwerking is gestart voor de mogelijke realisatie van een overnachtingshaven aan de Boven-IJssel. Op basis van een actuele prognose is besloten om elf ligplaatsen te realiseren	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Oost	IJsseldelta Fase 2 regionale percelen	versterking van de Drontermeerdijk (waterschap Zuiderzeeland); Bouw van een schutsluis in de Reevedam (realisatie Reevesluis); Bouw van een nieuwe oeververbinding N307 in combinatie met amoveren van Roggebotsluis en Roggebotkering (provincie Flevoland); Aanbrengen van hoogwatervoorzieningen in recreatiegebied Roggebot (provincie Overijssel)	mogelijk, maar niet inzichtelijk
Oost	Twentekanalen, verruiming (fase 2)	de kanaalgedeelten tussen de IJssel en Sluis Eefde en tussen de sluis bij Delden tot de haven van Enschede en het zijkanaal naar Almelo worden verruimd tot een vaarweg met een krap profiel voor klasse Va. Hierbij worden op een deel van het traject natuurvriendelijke oevers aangelegd en worden vervallen zwaaikommen natuurvriendelijk ingericht	ja



## BIJLAGE: PROJECTBESCHRIJVINGEN

### Projectomschrijving hoofdvaarweg Lemmer-Delfzijl

De HLD bestaat uit 3 kanalen; het Prinses Margrietkanaal, het Van Starckenborghkanaal en het Eemskanaal. Samen tellen deze kanalen op tot een totale kanaallengte van ongeveer 120 km. De aanleiding voor de renovatie is tweeledig. Enerzijds wordt de hoofdvaarweg klaargemaakt voor schepen van CEMT-klasse 5a. Dit betreft een functionele verandering waarvoor de kanalen op verschillende plekken worden uitgediept en verbreed. Anderzijds zijn tracéonderdelen van de hoofdvaarweg aan vervanging toe wegens het verstrijken van de technische levensduur of vanwege slechte conditionele staat. Hiervoor is vervanging van de oeverconstructies nodig. De vervangingsopgave voor de HLD heeft een looptijd tot 2050.

Binnen de HLD wordt onder andere onderzocht of verticale oevers kunnen worden vervangen voor natuurvriendelijke oevers. Het kanaal bestaat momenteel voornamelijk uit houten en stalen verticale oeverconstructies. De schatting is dat 68 km stalen damwandconstructies in de hoofdvaarweg aanwezig zijn. Hiervan is nog niet inzichtelijk of deze in het nieuwe ontwerp opnieuw in hout of staal zullen worden uitgevoerd, of dat hiervoor natuurlijke of hybride oevers (e.g. een kleine verticale oeverconstructie met stortsteen oeverbescherming) terugkomen. Het is dus nog niet inzichtelijk of de huidige 68 km stalen damwandlengte wordt gehandhaafd in het nieuwe ontwerp.

Momenteel wordt een prioritering gemaakt van de kanaalvakken waar renovatie dringend is, op basis van onder andere restlevensduur inschattingen. Uit deze analyses blijkt dat tracés waar stalen damwanden voorkomen een restlevensduur hebben van meer dan 10 jaar. Het is daarom niet te verwachten dat deze tracés hoge prioriteit voor renovatie hebben. Tracés met houten damwanden hebben wel een restlevensduur lager dan 10 jaar. Deze tracés zullen hogere prioriteit hebben. De renovatieopgave tot 2030 zal zich toespitsen op vervanging van damwandconstructies met een lage restlevensduur, dus voornamelijk houten damwandconstructies. Deze tracés vallen onder tranche 4.

A. de Wit, projectdirecteur voor de HLD vanuit Witteveen+Bos, geeft aan dat er waarschijnlijk een beperkte hoeveelheid stalen damwanden zullen vrijkomen tot 2030 en dat in de periode 2030-2050 wel stalen damwanden zullen vrijkomen. De vervanging van deze stalen damwanden valt dus grotendeels buiten de tijdshorizon van dit onderzoek. De hoeveelheid stalen damwand die voor 2030 vrijkomen is moeilijk in te schatten en wordt voor dit onderzoek aangenomen als maximaal 1 km. Een eerste inschatting wijst uit dat deze stalen damwanden voornamelijk verankerde lichte profielen (e.g. AZ12 of AZ14) zijn, met een lengte van 8-10 m. De zekerheid van deze inschatting is echter laag. R. van de Kamp schat in dat de damwanden die in de HLD zijn toegepast een kleiner profieltype hebben.

Het is nog niet duidelijk hoeveel stalen damwand benodigd is tot 2030. Op dit moment is de beste schatting die hiervoor gemaakt kan worden, dat dit ongeveer 22 km is, met:

- als ondergrens: geen stalen damwanden nodig;
- beste schatting: 22 (-4, +4 km).

De damwandlengte voor de te vervangen tracés is heel onzeker, mede doordat nog niet zeker is of verticale of hybride oeverconstructies worden teruggeplaatst.

### Projectomschrijving Amsterdam-Rijnkanaal

De aanleiding voor de vervanging van de oeverconstructies binnen het ARK is renovatie. De damwandconstructie is op verschillende plekken in het kanaal in slechte conditie. Het doel van het project is het in zodanige staat brengen van de damwanden, dat de komende decennia geen groot onderhoud benodigd is. De kanaalfunctie en kanaalklasse blijven gelijk dus er vindt geen verdieping of verbreding van het kanaal plaats. De vervangingsopgave richt zich op de damwandvakken die het einde van hun technische levensduur hebben bereikt of zullen bereiken binnen een periode van 10 jaar. De werkzaamheden voor de renovatie zullen naar verwachting in 2023 van start gaan. Het ARK project leent zich hierdoor mogelijk voor het opdoen van praktische ervaring voor het hergebruik van stalen damwanden. Naar schatting wordt 14 km (met een spreiding van -0,5 km, +0,5 km) stalen damwandoevers vervangen en worden hier opnieuw stalen damwanden teruggebracht. De verwachting is dat de vrijkomende damwanden in matig tot slechte conditie zullen zijn<sup>1</sup>. Het is nog niet duidelijk wat met de vrijkomende damwanden uit het ARK zal gebeuren, maar gezien de hoge staalprijs wordt verwacht dat damwanden met voldoende technische en economische restlevensduur opnieuw zullen worden inzet.

De damwandlengtes voor vrijkomende en benodigde planken is nog niet nauwkeurig inzichtelijk voor het ARK. De te vervangen damwandconstructies bestaan grotendeels uit verankerde stalen damwanden. Slechts op beperkte plekken zijn niet-verankerde constructies aanwezig, hiervoor is echter nog geen inschatting te maken. P. Stuurwold geeft aan dat met betrekking tot de maatvoering van de constructies rekening gehouden kan worden met de volgende profielen en afmetingen:

- verankerde damwanden:
  - damwandprofiel: minimum AZ12 á AZ14 en maximum AZ18;
  - planklengte: 7-10 m, uitgaande van een kerende hoogte van circa 5 m;
- niet-verankerde damwanden:
  - damwandprofiel: minimum AZ18 á AZ24 en maximum AZ28 met in heel uitzonderlijke gevallen AZ36;
  - planklengte: 9-15 m, uitgaande van een kerende hoogte van circa 5 m.

### Projectomschrijving Twentekanal

De aanleiding voor de vervangingsopgave is dat het TK wordt klaargemaakt voor schepen van CEMT-klasse Va (krap profiel). Binnen het project TK wordt 45 km tracé oevers vervangen. Hiervan bestaat 35 km uit damwandconstructies, waarvan 22 km (met een zekerheid van -0,5 km, +0,5 km) stalen damwanden zijn. Dit zijn verankerde constructies en zullen worden vervangen. In totaal wordt 35 km (met een zekerheid van -0,5 km, +0,5 km) stalen damwand nieuw teruggeplaatst. De werkzaamheden voor vervanging van de stalen damwandconstructies zijn gestart.

K. Kranenburg is vanuit Beens Groep, de uitvoerende partij, projectmanager voor TK. Hij geeft aan dat de vrijkomende stalen damwanden veelal van het type De Wendel 5400 zijn, met een lengte van ongeveer 6 m. Ook geeft hij aan dat van de 22 km stalen damwand, ongeveer 12 km geschikt is voor hergebruik. Voor deze damwanden is reeds een nieuwe bestemming gevonden in een kanaal in Noord Holland. De overige 10 km damwand is niet geschikt bevonden en wordt verschroot. De damwandlengte voor het aan te leggen tracé varieert tussen de 6,5-9,0 m.

---

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met P. Stuurwold (W+B).

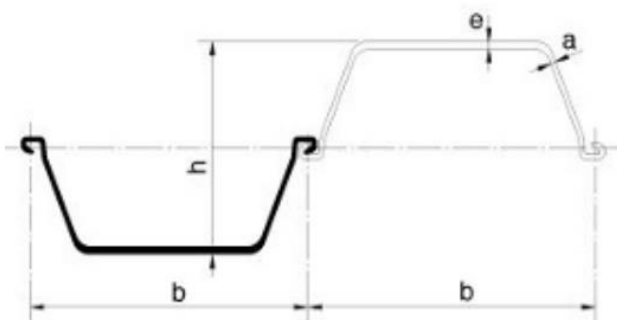


## BIJLAGE: TYPE DAMWANDPROFIELEN

### U-profielen

U-profielen worden sinds het begin 20<sup>e</sup> eeuw voor allerlei constructies toegepast, zo ook in oeverconstructies. Er is een groot assortiment aan U-profielen beschikbaar, waarbij het weerstandsmoment de meest belangrijke parameter is. Bij U-profielen bevindt het damwandslot zich op de neutrale lijn, zie afbeelding III.1. Bij U-profielen geldt een reductie van de momentcapaciteit voor scheve buiging doordat de sloten zich op de centrale lijn bevinden. Hierdoor wordt het staal niet op de meest materiaal efficiënte wijze toegepast. Voor hergebruik van damwanden is deze overcapaciteit echter een positief punt. Doordat de damwanden initieel minder zijn uitgewalst hebben zij in langsrichting meer stijfheid en vaak een hogere restlevensduur dan Z-profielen.

Afbeelding III.1 Schematische afbeelding van een U-profiel

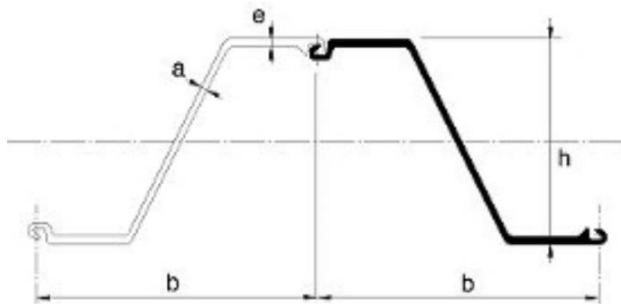


### Z-profielen

Z-profielen worden veel in grondkerende toepassingen gebruikt. Er is een groot assortiment aan Z-profielen beschikbaar, waarbij het weerstandsmoment de meest belangrijke parameter is. Bij Z-profielen bevindt het damwandslot zich op de buitenzijde van het damwandprofiel, zie afbeelding III.2. Z-profielen zijn vaak beter geoptimaliseerd (op materiaal efficiëntie) dan U-profielen, dit heeft onder andere te maken met de locatie van het slot<sup>1</sup>. Door de vorm van de sloten zijn de 2 damwandplanken (links en rechts) uit afbeelding III. niet identiek. Voor Z-planken geldt dat 2 planken samen een set zijn, welke in langsrichting worden herhaald.

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. de Nijs (Witteveen+Bos).

Afbeelding III.2 Schematische afbeelding van een Z-profiel



### Overige damwandprofielen

Naast U- en Z-profielen worden ook andere type damwandprofielen toegepast. Dit zijn HZ-wanden, combiwanden en platte damwanden<sup>1</sup>. HZ-wanden en combiwanden zijn gecombineerde systemen die als hoofdelement uit HZ-balken of stalen buispalen bestaan en dubbele Z-profielen als tussenwanden gebruiken. Deze worden ingezet bij grote horizontale grond- en waterdrukken of bij grote verticale belastingen. Over het algemeen worden platte damwandprofielen gebruikt voor projecten waarbij vast gesteente zich op een betrekkelijk geringe diepte beneden het maaiveld bevindt, de ontgravingsdiepte belangrijk is of verankering van een gewone damwandconstructie moeilijk of onmogelijk is. Deze worden minder vaak toegepast in kerende constructies.

<sup>1</sup> Bron: <https://www.joostdevree.nl/shtmls/damwanden.shtml#inbrengen>.

# IV

## BIJLAGE: (DE)INSTALLATIEMETHODES

### Installatie door trillen

In Nederland wordt het inbrengen van stalen damwanden met behulp van een trilblok het meest toegepast. Voor het trillen wordt een trilblok gebruikt, welke veelal hydraulisch maar soms ook elektrisch aangedreven kan zijn. Met trillen kunnen zetsnelheden van 250 m per week gehaald worden<sup>1</sup>. Echter is dit niet op alle locaties mogelijk door omgevingshinder, hiervoor wordt eerst een trillingenprognose opgesteld. Bij installatie door trillen worden de planken per 2 planken naar beneden getrild. Deze planken zijn dan af fabriek aan elkaar geponst (geklemd verbonden) ten behoeve van de snelheid van installatie. Voorheen werden damwanden van 600 mm lengte geproduceerd, waardoor de in te brengen lengte uitkwam op 1.200 mm. Na verloop van tijd is deze breedte verhoogd naar 700 mm. Door deze ontwikkeling kon sneller worden geïnstalleerd. Wanneer geponste damwanden worden hergebruikt komen deze als dubbele plank weer uit de grond. Hergebruikte geponste damwandplanken kunnen slechts opnieuw in de grond worden getrild, maar niet meer worden gedrukt<sup>2</sup>. Het drukken van damwandplanken gaat namelijk per individuele plank. Hierdoor wordt het aantal toepassingslocaties voor hergebruikte damwandplanken iets lager. Dit effect is beperkt omdat de meeste damwandplanken nog altijd getrild worden aangebracht.

Voor het intrillen van damwandplanken moet voldoende staaldikte aanwezig zijn ter hoogte van het aangrijpingspunt van het trilblok. Door het intrillen ontstaan lokaal grote spanningen en komt veel warmte vrij. Voor het hergebruik van damwandplanken moet dus voldoende dikte aan de damwandkop aanwezig zijn, of de damwandplank lokaal verstevigd worden door bijvoorbeeld een extra staalplaat aan de kop te verbinden.

### Installatie door resoneren

Naast trillen kan de damwandplank ook middels resonantie worden ingebracht. Deze techniek is echter nog vrij nieuw. Voor deze techniek wordt de damwandplank in resonantie (trillingen in eigenfrequentie) gebracht. De damwand wordt in trilling gebracht door een oscillerende cilinder die de damwand in eigenfrequentie brengt. Een voordeel hiervan is dat de grond zo goed als trillingvrij blijft en dat de installatie minder energie kost. De machines zijn echter wel meer kwetsbaar.

### Installatie door drukken

Bij installatie door drukken wordt de damwandplank door hydraulische cilinders in de grond gedrukt. De reactiekracht wordt ontleend aan al in de grond aanwezige planken of aan een ballastframe. Bij installatie door drukken ontstaan geen trillingen en wordt vrijwel uitsluitend toegepast als trillinghinder en/of zetting in de omgeving beperkt moet blijven. Voor de mogelijkheid tot drukken van hergebruikte damwandplanken is de samenstelling van de grond bepalend. Vergeleken met de andere technieken is de installatiesnelheid voor gedrukte damwandplanken significant lager, gedachten gaan uit naar een factor 3, en daarmee de installatie duurder.

---

<sup>1</sup> Bron: Persoonlijk contact met K. Kranenburg (Beens Groep).

<sup>2</sup> Bron: Persoonlijk contact met R. de Nijs (Witteveen+Bos).

### **Installatie door heien**

Bij installatie door heien wordt de damwandplank door middel van valblokken of hydraulisch heihammers in de grond geheid. Installatie door heien wordt met name toegepast als werken met trilblokken niet (meer) mogelijk of wenselijk is, bijvoorbeeld bij installatie van zeer lange damwanden of door de bodemsamenstelling. Ook bij deze techniek kan geluids- en trillingoverlast een rol spelen.

### **Het verwijderen van damwanden**

Voor het verwijderen van damwandplanken worden de processtappen van installatie als het ware omgekeerd doorlopen. Verschillen met de installatie zijn dat de damwand eerst deels wordt vrij gegraven en daarmee ontlast. Hierna worden de ankers en gordingen ontkoppeld en kan de damwandplank uit de grond worden getrokken. Damwandplanken worden meestal getrild getrokken. Een risico hierbij is het ontstaan van een open volume in de grond. Hierdoor kunnen lokaal zettingen optreden of kan kwel optreden. Op plekken waar dit risico onaanvaardbaar is worden damwanden niet getrokken.

