

GEO KUNST

20E JAARGANG NUMMER 3 JULI 2016
ONAFHANKELIJK VAKBLAD VOOR
GEBRUIKERS VAN GEOKUNSTSTOFFEN



*Spelen met geokunststof 5;
NGO-workshop 21 april 2016: geokunststoffen
in waterkerende constructies
“De derde jeugd van de waterbouw”*

*Afgezonken
folieconstructies in
beperkt ruimtebeslag*

KATERN VAN

GEO
TECHNIEK

Afgezonken folieconstructies in beperkt ruimtebeslag

Ondergronds bouwen met geokunststoffen

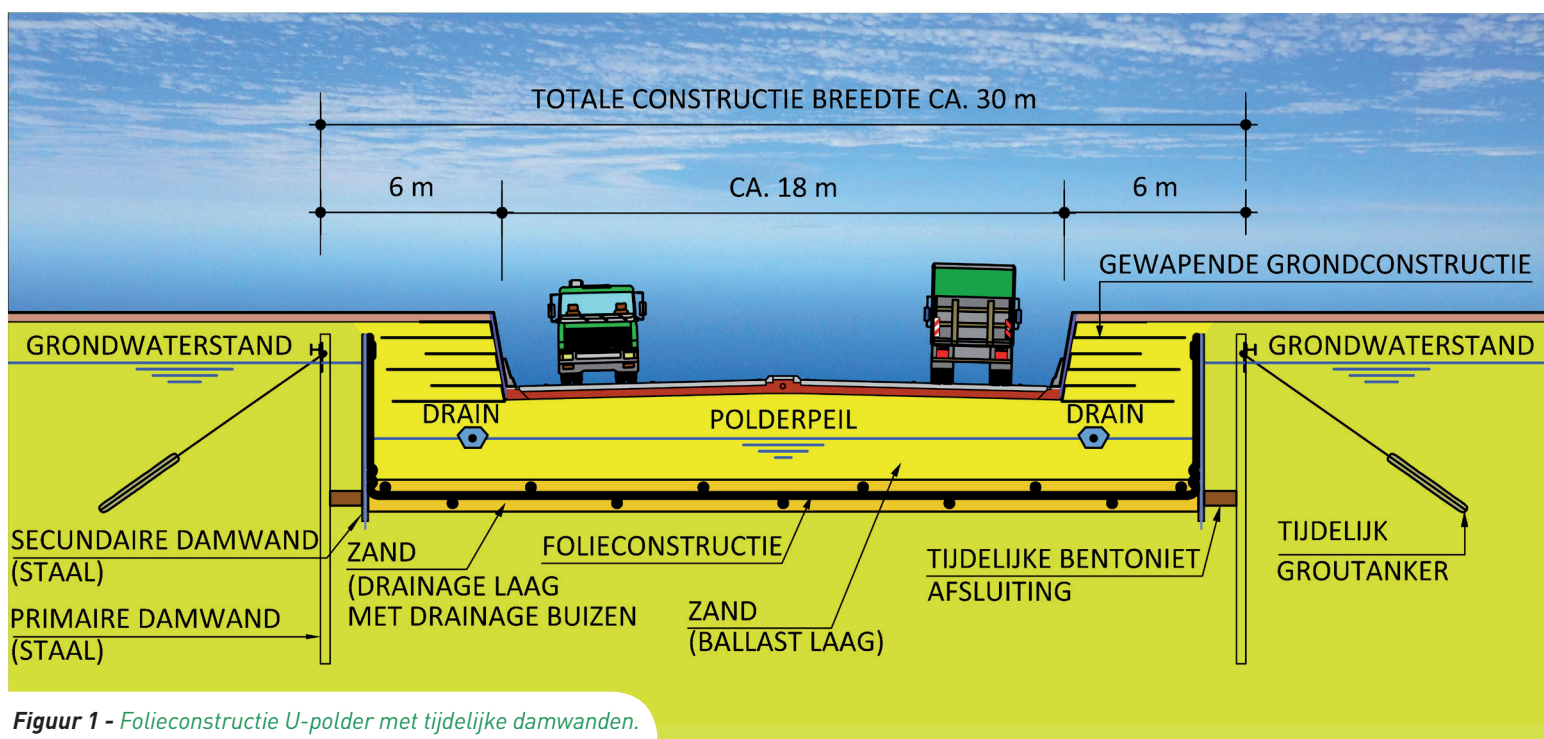
Ing. R.H. Gerritsen
Witteveen+Bos



drs. D.H. van Regteren
Genap



R.H. Knulst
Rijkswaterstaat



Figuur 1 - Folieconstructie U-polder met tijdelijke damwanden.

Bron: Witteveen+Bos, 2016.

Inleiding

Folieconstructies kunnen worden toegepast als een kunstmatige waterdichte afsluiting bij ondergrondse constructies voor weg, spoor- en waterwegen. Voorbeelden van civiele toepassingen zijn toeritten van tunnels, aquaducten en verdiepte liggingen van wegen (onderdoorgangen) maar ook binnenstedelijke projecten als het aanleggen van parkeergarages. In Nederland zijn er ervaringen met het afzinken van folieconstructies tot maximaal 27 meter onder het maaiveld. De functie van de folieconstructie is het creëren van een kunstmatige waterkering op de bodem van de bouwput. Wanneer de folieconstructie is aangevuld met zand, wordt de grondwaterstand in de bouw-

put verlaagd tot een lager niveau dan buiten de bouwput. Hierdoor wordt als het ware een kunstmatige polder gecreëerd, zie figuur 4.

De meest eenvoudige manier om folieconstructies aan te brengen is in een open ontgraving. Uitvoering van ondergrondse constructies met een onderwater talud van 1 : 3 (verticaal: horizontaal) kan resulteren in extreem grote ontgravingoppervlaktes, met afmetingen tot 250 meter breed en 800 meter lang, zie als voorbeeld figuur 5 van het aquaduct RW31 Langdeel. Dit ruimtegebruik kan alleen worden toegepast in dunbevolkt buitengebied met weinig obstakels.

In stedelijk gebied is deze ruimte veelal niet

beschikbaar, doordat er op korte afstand vaak gebouwen, ondergrondse constructies, spoorlijnen, wegen of kabels/leidingen aanwezig zijn. De breedte van de folieconstructie kan daarbij beperkt worden door de folieconstructie af te zinken tegen verticale damwanden (bouwputwanden).

Werkmethode en materialen

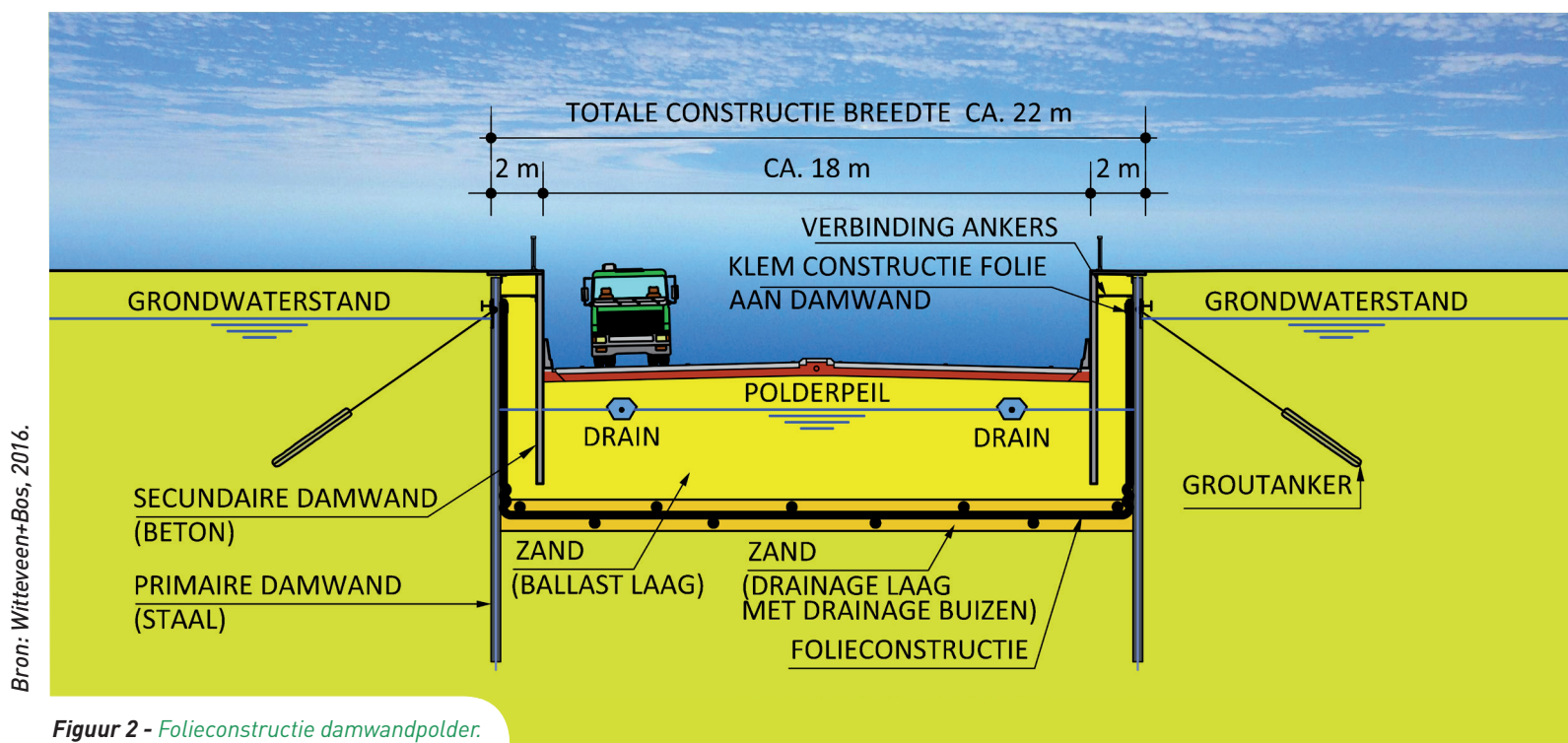
Een voordeel van het afzinken van folieconstructies bij ontgravingen is dat het niet nodig is om grondwater te onttrekken. Afzinken minimaliseert de mogelijke impact op de omgeving. Hierbij moet gedacht worden aan bijvoorbeeld de omgevingsinvloed ten gevolge van deformaties (zetting) of verdrogingeffecten.

Samenvatting

Folieconstructies kunnen worden gebruikt voor waterdichte afsluitingen van ondergrondse constructies. Vanwege de hoge grondwaterstand in Nederland zijn diepe en grootschalige folieconstructies over het algemeen afgezonken. Dit geeft vaak problemen met het ruimtebeslag, aangezien in stedelijke gebieden de beschikbare realisatieruimte beperkt is. De breedte kan beperkt worden door gebruik te maken van ontwerp concepten als de U-polder en de damwandpolder. Als vervolg op praktijkproeven in het verleden zijn verschillende projecten inmiddels succesvol uitgevoerd. Het

succes hangt af van een integrale aanpak ten aanzien van ontwerp- en uitvoeringsaspecten, risicobeheersing en kwaliteitsborging tijdens de uitvoering. De bouwmethode is vaak gebruikt en geschikt in Nederlandse omstandigheden, echter heeft ook zeker potentie voor buitenlandse projecten.

Dit artikel betreft het eerste deel uit een serie van twee.



Door gebruik van PVC-p foliemateriaal met een iets hoger volumiek gewicht dan water, zal de folie door zijn eigen gewicht willen zinken. Met gebruik van drainagebuizen op de bodem en taluds van de bouwput, wordt het water van onder de folie naar de bovenzijde gepompt waardoor het water binnen de foliekuip iets hoger staat dan het water buiten de bouwput. Door het circuleren van grondwater zal de folieconstructie geleidelijk en op een beheerste wijze afzinken, zie hiervoor figuur 3.

De materiaaleigenschappen en de kwaliteitsnormen voor het PVC-p folie zijn in tabel 1 weergegeven. Normaliter wordt de folieconstructie geprefabriceerd in een fabriek van losse foliebanen tot een grote samengestelde oppervlakte. Het voordeel hiervan is dat de omstandigheden in de fabriek optimaal zijn voor het verbinden van de folie. Door 2 meter brede rollen PVC-p folie aan elkaar te maken met hete bout of hoog frequente lassen, kan in de fabriek de exacte 3-dimensionale vorm van de bouwput gemaakt worden. Zo mogelijk wordt het PVC-p folie in één geheel naar de bouwplaats vervoerd. Bij eerdere projecten zijn folieconstructies geprefabriceerd in delen tot een oppervlakte van circa 5000 m². Wanneer de folie te groot wordt om als een geheel uit te voeren, kan deze ook in verschillende subdelen vervoerd worden en op locatie aan elkaar gelast worden. Hierbij wordt gebruik gemaakt van kanaallasmachines en testkanalen. Deze testkanalen worden vervolgens met luchtdruk getest op lekken. De folieconstructie wordt opgevouwen op een harmonicamanier, waardoor het foliepakket op eenvoudige wijze te ontvouwen is. Door de verticale begrenzing zal het foliepakket zorgvuldig moeten worden voorbereid. Voor het aanbrengen van de folie kan gebruik worden gemaakt van een speciaal ponton. De folie kan tevens met behulp van lierconstructies vanaf de zijkanten of kopse kant op het

water worden getrokken. Deze werkmethode wordt tegenwoordig het meest toegepast voor het aanbrengen van een folieconstructie in den natte. Het positioneren van de folieconstructie gaat met behulp van drijflichamen bevestigd aan de folie. Door de luchtdruk in de drijflichamen weg te nemen en grondwater van onder de folie boven op de folie te pompen, begint de folieconstructie te zinken. Door het opzetten van een lichte wateroverhoogte zal de folie goed aanliggen tegen de ondergrond en wanden. Voor het verkrijgen van zekerheid kan hierna de lekdichtheid worden getest door middel van een geoelektrische of geofysische lekdetectiemeting (CUR 221, 2009).

Concepten

Rijkswaterstaat en verschillende marktpartijen hebben een aantal concepten ontwikkeld en proeven uitgevoerd om het ruimtebeslag van folieconstructies te beperken. Hoewel de concepten circa twintig jaar geleden zijn ontwikkeld, kunnen deze nog steeds worden gezien als innovatief ten opzichte van traditionele bouwmethoden met onderwater beton en trekpalen. De belangrijkste concepten hierbij zijn:

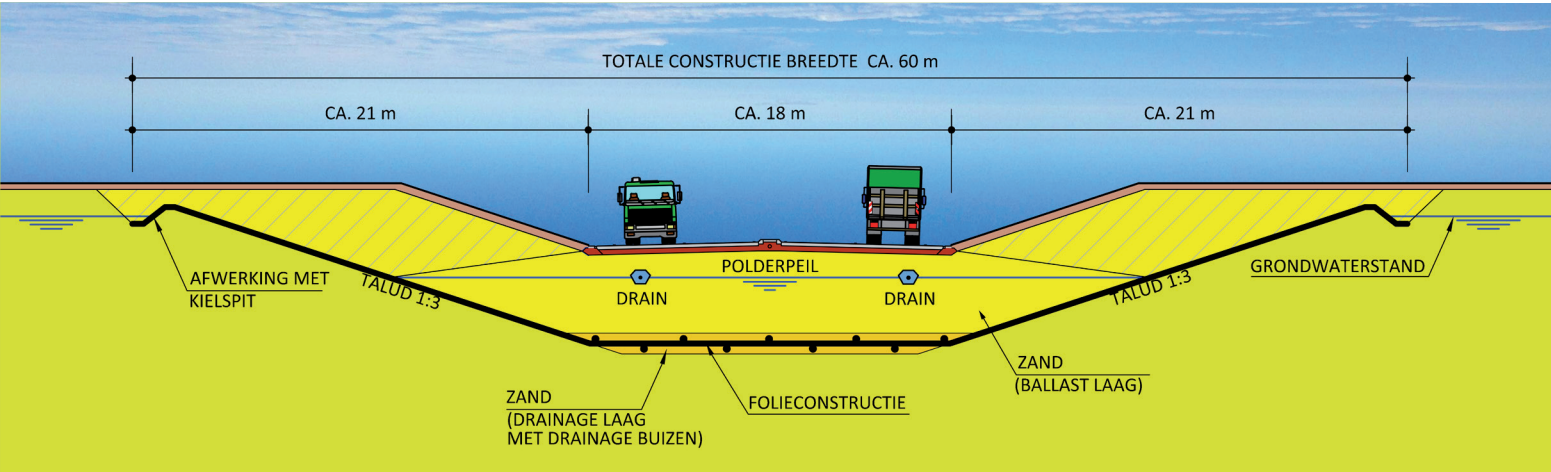
- 1. Folieconstructie U-polder
- 2. Folieconstructie damwandpolder

De concepten worden hieronder in meer detail beschreven. Om de haalbaarheid van de concepten te bewijzen zijn in het verleden verschillende praktijkproeven uitgevoerd. Als vervolg hierop zijn de concepten doorontwikkeld, en zijn de afgelopen jaren verschillende projecten succesvol gerealiseerd met deze bouwmethoden.

Concept U-polder

De U-polder is een folieconstructie die zo min mogelijk gebruik maakt van harde constructieve elementen, zoals damwanden en beton. Het bouwproces begint met het plaatsen van de tijdelijke grondkerende constructies, bijvoorbeeld tijdelijke stalen damwanden en daarna het uitgraven van de bouwput in den natte tot de aanbrengdiepte van de folieconstructie. De folieconstructie wordt gemaakt in een U-vorm, met hierbij een horizontaal deel tussen de wanden. Het concept van de U-polder is weergegeven in figuur 1. De verticale stabiliteit wordt behaald door de ballastlaag van aanvulmateriaal op de folie. Tijdens de uitvoering wordt de horizontale stabiliteit behaald door een primaire stalen damwand toe te passen, zo nodig verankerd met groutankers. Deze constructieve onderdelen zijn tijdelijk en kunnen na de uitvoering verwijderd worden. Na ontgraving van de bouwkuip kan een secundaire permanente voorzetwand worden

Tabel 1: Eigenschappen foliemateriaal Aquatex® - polyvinylchloride (PVC-p)			
Gegevens	Normen	Eenheid	Waarde
Dikte		mm	1,0-1,1
Gewicht		gr/m²	± 1300
Dichtheid	DIN 53479	gr/cm³	1,25 ± 0,03
Treksterkte (L/T)	DIN 53455	N/mm²	≥ 18
Rek bij breuk (L/T)	DIN 53455	%	≥ 300
Scheur weerstand (L/T)	DIN 53363	N/mm	≥ 100
Dimensionele stabiliteit (6 uur bij 80°)	DIN 53377	%	≤ 2



Figuur 4 - Afgezonken folieconstructie met natuurlijke taluds en brede ontgraving.

Bron: Witteveen+Bos, 2016.

geplaatst, deze bestaat uit vlakke profielen. De folie wordt vervolgens afgezonken en bevestigd aan de permanente voorzetwand. Tussen de tijdelijke en permanente wand kan een afsluiting worden aangebracht van cement-bentoniet. Na het aanvullen met zand kan binnen de folieconstructie het polderpeil worden ingesteld. De horizontale stabiliteit kan in de bouwfase beheerst worden door het grondwater tussen de tijdelijke en permanente voorzetwand te onttrekken, waardoor de waterdruk achter de verticale folie wordt verlaagd of geheel wordt weggenomen. Door de cement-bentoniet afsluiting wordt het debiet in deze tijdelijke fase beperkt, met beperking van mogelijke omgevingseffecten. Voor de afbouw wordt de horizontale stabiliteit van de folieconstructie bereikt met een grondkering aan de binnenzijde van de folie. Vanuit geotechnisch oogpunt is dit de 'actieve' gronddruk aan de kant van de folieconstructie. Deze kering kan op verschillende manieren uitgevoerd worden, bijvoorbeeld een betonnen L-wand of een gewapende grondconstructie. De kering aan de binnenzijde bepaalt het visuele beeld van de U-polder.

Concept damwandpolder

De damwandpolder is een folieconstructie welke geplaatst wordt tussen twee permanente grondkerende constructies (bv. stalen damwanden). Het ruimtebeslag wordt zoveel mogelijk beperkt door gebruik te maken van een constructieve secundaire stabiliteitswand aan de binnenzijde van de folieconstructie (De Vries, et. al, 2001). Het concept van de damwandpolder is te zien in figuur 2.

De primaire wanden kunnen afhankelijk van de omstandigheden worden verankerd met grou-tankers. Na een natte ontgraving tussen de damwanden en bescherming van de damwan-den, wordt de folieconstructie afgezonken in een U-vorm. De verticale stabiliteit wordt verzekerd door het aanbrengen van aanvulmateriaal met zand als ballastlaag. De secundaire wand wordt geïnstalleerd wanneer de ballastlaag is aange-bracht. De secundaire wand bepaalt het visuele beeld van de polder tijdens de gebruiksfase. Met een architect kan het visueel gewenste eind-beeld gedefinieerd worden door keuze van ma-teriaal, motieven en gewenste overgangen.

Een zeer belangrijke voorwaarde voor het ont-werpconcept is het overbrengen van de con-structieve krachten vanuit de secundaire wand. Deze krachten moeten opgenomen worden door inbedding in het ballastmateriaal aan de onder-zijde en een constructieve verbinding tussen de secundaire en primaire wand aan de bovenzijde.



Figuur 5 - Folieconstructie in open ontgraving drijvend op het wateroppervlak voor afzinken.

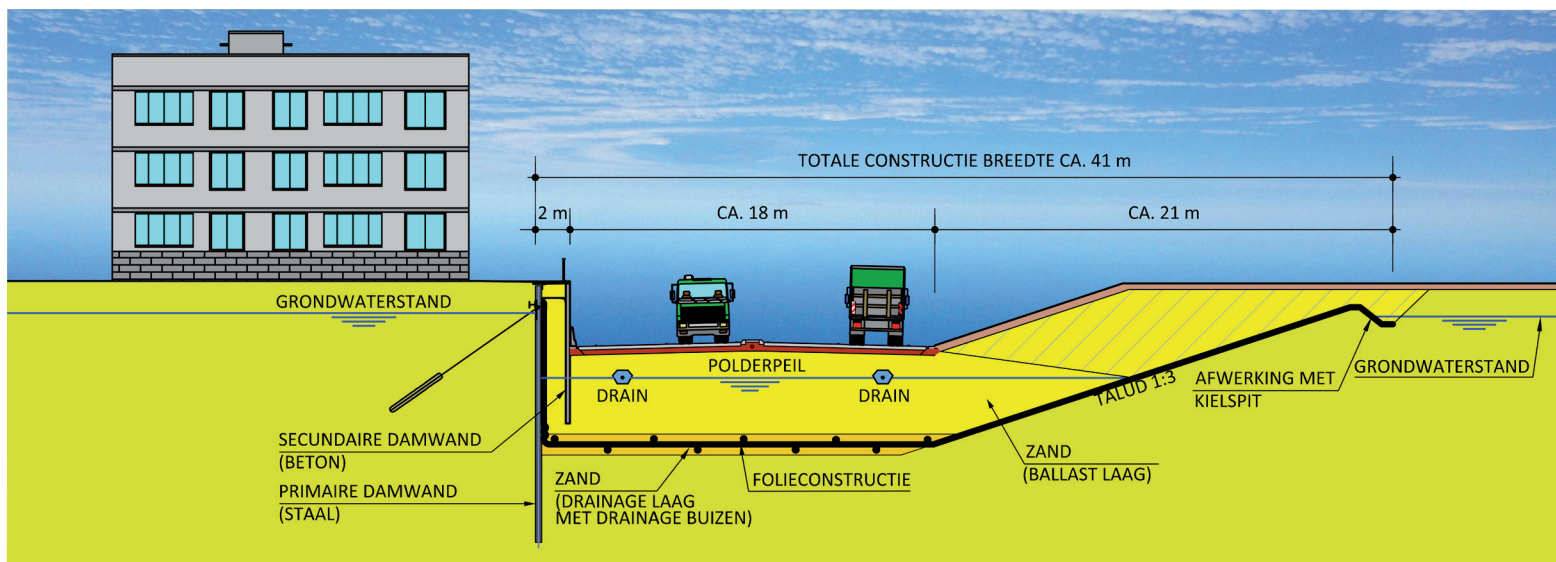
Bron: Aquaduct RW31 Langdeel, Genap, 2008.

Tabel 2: Constructiebreedte van de bouwput (verdiepte wegligging met 4 rijbanen, 4 meter onder maaiveld)			
Concept variant	Weg-breedte [m]	Aanvullende eenzijdige constructie-breedte [m]	Totale constructie-breedte [m]
1. Beton en damwanden (traditioneel)	18	2	22
2. Natuurlijke polder (natuurlijk talud, gebruik van grondlagen)	18	12	42
3. Folieconstructie met natuurlijk talud	18	21	60
4. Folieconstructie U-polder	18	6	30
5. Folieconstructie damwandpolder	18	2	22
Opmerking: voor de genoemde varianten kunnen tijdelijke of permanente verankeringen nodig zijn voor de grondkerende constructies (methoden 1, 4 en 5). Het ruimtebeslag van de ondergrondse verankeringen is niet meegenomen in de bovenstaande vergelijking.			



Figuur 6 - Afzinken van folieconstructie vanaf een speciaal ponton.

Bron: praktijkproef Ouddorp, Rijkswaterstaat, 1995.



Figuur 7 - Verticale begrenzing in combinatie met natuurlijk talud als projectspecifieke oplossing.

Bron: Witteveen+Bos, 2016.

Eventueel resterende horizontale krachten kunnen worden overgebracht naar de groutankers achter de primaire wand.

Duurzaamheid

Speciale aandacht moet worden gegeven aan bescherming van de folieconstructie tegen de gevolgen van calamiteiten met een uitslaande brand of agressieve vloeistoffen. Hoewel het risico op dergelijke calamiteiten klein is, dient voor constructies met een lange ontwerplevensduur (50 tot 100 jaar) of hoge RC-klasse goed nagedacht te worden over beschermingsmaatregelen voor de folieconstructie. Bescherming tegen mogelijk hoge temperaturen van brand kan worden gedaan worden door de voorwand te voorzien van een brandwerende bekleding. Tevens zou de afstand tussen beide wanden vergroot kunnen worden. Met een grotere gronddekking wordt hiermee een natuurlijke isolatie aan de voorzijde van de folieconstructie verkregen. Met behulp van eventuele brandproeven kan de effectiviteit van de maatregelen worden getoetst. Voor calamiteiten met agressieve vloeistoffen (tankwagens) kan een calamiteitenfolie worden aangebracht. Op locaties met een hoog risicoprofiel moet er extra aandacht gegeven worden aan de berekeningen, materiaal specificaties en detaillering van de folieconstructie.

Vergelijking ruimtebeslag

In tabel 2 is een vergelijking van het ruimtebeslag bij verschillende constructiemethoden van een vierbaansweg in een verdiepte ligging van circa vier meter onder maaiveldniveau uitgewerkt. Dit voorbeeld laat zien dat het ruimtebeslag van de folieconstructie dam-

wandpolder zeer vergelijkbaar is met die van de traditionele bouwmethode met damwanden en beton. Een folieconstructie U-polder heeft meer ruimte nodig doordat er natuurlijke taluds of keermuren aanwezig zijn. Deze constructiemethode gebruikt echter alsnog minimaal een factor 2 minder ruimte dan een open ontgraving. Vergelijkingen met onder andere de breedte zijn ook eerder beschouwd in een afstudeeronderzoek van Aartsen, 1995.

Praktijkproef U-polder Ouddorp

Het U-polder concept is door Rijkswaterstaat naar voren gebracht om hiermee een kostenbesparing te realiseren ten opzichte van traditionele bouwmethoden (betonconstructies, onderwater beton). In samenwerking met drie bouwbedrijven is in 1995 een praktijkproef uitgevoerd bij de N57 in Ouddorp, Zuid Holland. De belangrijkste onderdelen die daarbij onderzocht zijn betreffen het aanbrengen van de folie tegen een verticale wand onderwater, risico's op beschadiging en stabiliteit van de U-polder. Met de praktijkproef werd vastgesteld dat het haalbaar was om de folieconstructie succesvol onderwater aan te brengen (zie figuur 6). Met behulp van een additionele stalen voorzetwand was het mogelijk om de folie verticaal af te zinken en werd het risico op beschadiging van de folie beheerst (Van de Ruit et. al., 1995).

Praktijkproef damwandpolder Voorburg

In 2001 werd door Rijkswaterstaat een praktijkproef uitgevoerd voor de haalbaarheid van een damwandpolder. Het belangrijkste doel van de praktijkproef was onderzoek te doen naar een tweetal kritische uitvoeringsaspecten:

1. Realisatie van een vlakke voorzetconstructie voor de constructieve damwanden met een economisch en relatief eenvoudige ontwerp.
2. Beheersing van risico's met betrekking tot de waterdichtheid van de folieconstructie tijdens de installatie van een tweede wand door het gebruik van een wovnen en non-wovnen geotextiel.

Tijdens de praktijkproef zijn verschillende manieren getest om de damwandkassen af te schermen met wapeningsnetten in plaats van platte profielen met drainagegaten. Tijdens de proef zijn verschillende configuraties getest van stalen wapeningsnetten variërend in staaf diameter en openingsgrootte. Het resultaat is eerder gepubliceerd in het blad Geotechniek (Hemelop, 2002). De conclusies waren dat het mogelijk zou moeten zijn om de holle damwandkassen af te schermen met verstevigde netten met daarnaast aan weerszijde van de folie een extra geotextiel. Een non-wovnen geotextiel op de wapeningsnetten minimaliseert het risico op beschadiging van de folie door scherpe randen en voorkomt dat de waterdichte folie tussen de openingen van de staven wordt gedrukt. Een geweven geotextiel aan de voorzijde beschermt de folie tegen hoge trekkrachten die optreden door het aanvullen met zand en installatie van de secundaire wand op korte afstand van de folie. Deze secundaire damwand is tijdens de proef geïnstalleerd op variërende afstanden van 0,35 tot 1,0 m van de primaire damwand. Het effect van de installatie werd gemeten door verplaatsingssensoren op het geweven geotextiel. De maximale rek in het geotextiel was tijdens het aanvullen 2 tot 2,5%. Bij de installatie van de secundaire

wand op korte afstand kwam hier nog circa extra 0,5% rek bij.

Specifieke toepassingen

Bij folieconstructies wordt er vaak vanuit gegaan dat aan weerszijden dezelfde constructiewijze wordt toegepast. Echter, het is ook mogelijk om verschillende bouwwijzen te combineren (zie figuur 7). Met aanpassingen kan het ontwerp worden ingepast aan projectspecifieke omstandigheden. Zo kan bij een lokale beperkte ruimte aan 1 zijde van het werk een ander concept worden toegepast. Wanneer een obstakel gepasseerd is, daarbij eventueel weer worden overgegaan naar een grotere constructiebreedte. Met een geleidelijke overgang van verticale begrenzingen naar een natuurlijk talud, dient er grote aandacht besteed te worden aan de wijze hoe de folie hierin geplaatst moet worden. Dit om te voorkomen dat er in de folie ongewenste grote trekkrachten en rekken optreden.

Eerder werden de innovatieve folieconstructies alleen toegepast bij infrastructurele projecten. Echter, ook in andere projecten is er veel potentie voor toepassing van folieconstructies. Afgezonken folieconstructie kunnen ook worden toegepast bij ondergrondse parkeergarages of andere grote kelders. In Nederland zijn er verschillende referentieprojecten waar bouwputten met behulp van folieconstructies van een tijdelijke waterafdichting zijn voorzien. Voorbeelden hiervan zijn projecten in Kampen en Hilversum (zie figuur 8). Tevens kunnen ze worden gebruikt als tijdelijk afsluitende laag voor de realisatie van ondergrondse tanks en bassins. Denk hierbij aan waterzuiveringsinstallaties. Naast tijdelijke toepassingen kunnen folieconstructies ook gebruikt worden voor permanente waterafsluiting van ondergrondse constructies. Hierbij moet aandacht gegeven worden aan de detaillering van het bevestigingssysteem, de kwaliteit van het toegepaste materiaal, duurzaamheid van de folie en robuuste drainagefaciliteiten (afvoer hemelwater en lekwater).

Conclusies

De breedte van een folieconstructie kan met behulp van verticale begrenzingen aanzienlijk beperkt worden. Dit artikel laat twee concepten zien met folieconstructie met verticale begrenzingen: de U-polder en de damwandpolder. De damwandpolder kan nagenoeg dezelfde constructiebreedte hebben als een traditionele werkwijze met een betonconstructie. Folieconstructies met verticale begrenzingen gebruiken aanzienlijk minder ruimte dan traditionele folieconstructies onder een talud met open ontgra-



Figuur 8 - Bouwput met een afgezonken folieconstructie in aanleg.

Bron: Hilversum, Genap, 2002.

ving. Door vermindering van de breedte is het mogelijk om folieconstructies toe te passen bij lastige situaties, waarin de beschikbare ruimte beperkt is, zoals een stedelijke omgeving. Dit artikel laat de volgende voordelen zien van folieconstructies met verticale begrenzingen:

- Het minimaliseren van de aanlegkosten en constructiebreedte.
- Goede kwaliteitsborging door prefabricatie van de folieconstructie in fabrieksomstandigheden (off-site) en mogelijke inzet van een lekdetectiemethode.
- Minimaliseren van omgevingseffecten: geen grootschalige verlaging van de grondwaterstand door bemaling, beperking omvang funderingswerken en vermindering geluidsoverlast.
- Duurzaam bouwen, beperking CO₂ uitstoot, beperking van gebruik primaire en milieubelastende bouwstoffen.

In de volgende editie van Geokunst zal deel twee van het artikel worden opgenomen. In dit tweede en laatste deel zal worden ingegaan op een verdere vergelijking van de concepten in de constructiemethode, bouwkosten en risico's. Tevens wordt ingegaan op verschillende projectervaringen, waaronder de recent gerealiseerde Doornboslaan in Breda.

Meer informatie over folieconstructies in verdiepte infrastructuur kan worden verkregen tijdens een cursus georganiseerd door PAO techniek en management, zie <https://paotm.nl/nl/>.

Referenties

- Ruit, van de, G.M. januari 1995, Rapportage proefproject U-polder, Rijkswaterstaat.
- Aartsen, R.J., augustus 1995, De economische haalbaarheid van de U-polder als nieuwe methode voor het verdiept aanleggen van wegen, TU Delft.
- Vries, de J, Jansen W, januari 2001, Damwandpolder: Een innovatieve manier voor een verdiepte aanleg, Cement.
- Hemelop, D.W., Oktober 2002, Praktijkproef damwandpolder, Geotechniek.
- CUR 221, 2009, Folieconstructies voor verdiepte infrastructuur.
- Meester, H, Gerritsen, R.H., 2009, Folieconstructies met damwand- en U-polder in Assen, Land+Water.
- Gerritsen, R.H., 2012, Innovatieve ondergrondse constructies: folieconstructies in beperkte ruimte, Centrum voor ondergronds bouwen (COB), presentatie jaarcongres COB.
- Gerritsen, R.H., Van Regteren, R.H, Knulst, R., 2014, Submerged geomembrane systems: innovative polder-constructions in limited space, Geo-art, special edition / Proceedings, 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin.

Copyright figuren: zie bronvermelding bij figuren.