
Product-methodeblad nummer 10

**Keermuur aan buitenzijde verbreding,
bestaande uit panelen met
grondwapening (zoals Terre Armée)**

Inhoudsopgave

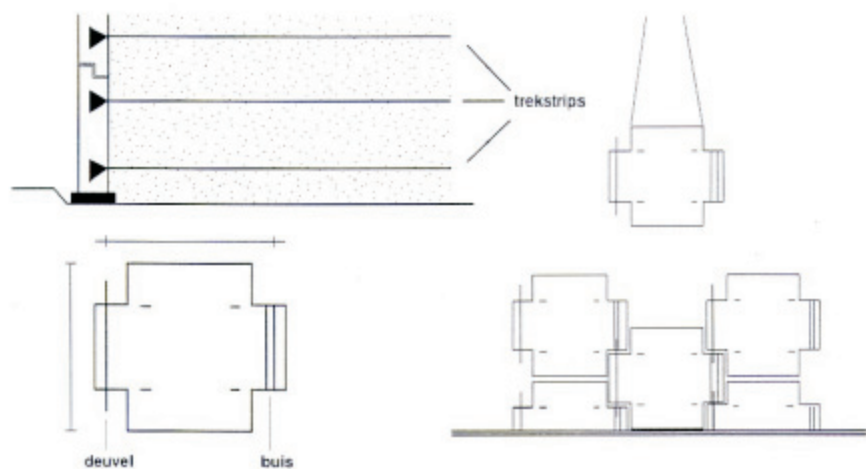
10.1 Algemeen	193
10.1.1 Principe methode	193
10.1.2 Technische levensduur	195
10.1.3 Voor- en nadelen	196
10.1.4 Beperkingen	197
10.2 Ontwerpfase	197
10.2.1 Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek	197
10.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten	198
10.2.3 Ontwerpdetails	199
10.2.4 Effect op bestaande weg	200
10.2.5 Effect op omgeving	200
10.2.6 Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen	200
10.2.7 Raming aanlegkosten	202
10.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen	202
10.2.9 Duurzaam bouwen	204
10.2.10 Verdere aandachtspunten	205
10.3 Uitvoeringsfase	205
10.3.1 Uitvoeringsmethoden	205
10.3.2 K.A.M.-zaken	206
10.3.3 Besteksteksten	207
10.4 Beheer en onderhoud	207
10.5 Ombouw / sloop	208
10.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding	208
10.5.2 Sloop	208
10.6 Referenties	209
10.6.1 Ervaringen	209
10.6.2 Literatuur	209

Keermuur aan buitenzijde verbreding, bestaande uit panelen met grondwapening (zoals Terre Armée)

10.1 Algemeen

10.1.1 Principe methode

Dit product-methodeblad betreft de bouwmethode waarbij aan de buitenzijde van de wegverbreding een keermuur wordt geplaatst, bestaande uit prefab betonpanelen met grondwapening, zie figuur 10.1. Hierdoor is een aanzienlijke ruimtebesparing mogelijk.



Figuur 10.1 Principe keermuur aan buitenzijde verbreding, bestaande uit prefab betonpanelen met grondwapening (systeem Terre Armée)

Bij wegverbreedingen op slappe ondergrond kan deze constructie onder bepaalde omstandigheden worden toegepast, namelijk:

- bij een beperkte verbreding van een aardebaan waarbij de slappe lagen vroeger grotendeels zijn verwijderd (cunet methode) of weggeperst en de keermuur binnen de bestaande aardebaan valt; de keermuur zal in dit geval slechts een beperkte zetting ondergaan; voor de wapeningslengte geldt de beperking dat deze bij voorkeur niet onder de bestaande verharding mogen komen te liggen; de wapeningslengte is mede afhankelijk van de kerende hoogte
- eventueel kan een grondvervanging worden uitgevoerd waarbij een deel van de slappe lagen wordt vervangen door zand; naast een bestaande aardebaan is deze methode gecompliceerd vanwege de ontgraving die hierbij nodig is
- ook kan de ondergrond eerst worden voorbelast door een tijdelijke zandterp inclusief extra overhoogte aan te brengen; na voltooiing van de voorbelasting, dat wil zeggen als de verwachte restzetting gereduceerd is tot circa 0,2 m, wordt de terp grotendeels afgegraven en wordt de gewapende grond constructie opgebouwd; deze methode vergt in de voorbelastingsfase veel tijd en ruimte
- tenslotte kunnen de zettingen worden gereduceerd door het installeren van draagkrachtige elementen in de slappe grond beneden het gehele

gewapende massief, zoals geokunststof omhulde zandpalen; deze methode is kostbaar.

In dit product-methodeblad wordt alleen de eerst genoemde toepassing beschouwd. Er is dan geen sprake van slappe ondergrond. Wordt een van de andere methoden (voorbelasten; draagkrachtige elementen) gebruikt, dan is ook het betreffende product-methodeblad van toepassing.

Onder een keermuur, bestaande uit panelen met grondwapening, wordt verstaan een grondmassief met een zeer steile (hoek met de horizontaal $\geq 70^\circ$) of verticale begrenzing, die zijn inwendige stabiliteit ontleent aan in het grondmassief aangebrachte wapening, die door wrijving op het contactvlak van grond en wapening trekkrachten kan overdragen. Gewapende grond kan uit verschillende materialen worden opgebouwd:

- de grond, veelal bestaande uit korrelig, goed verdichtbaar aanvulmateriaal zoals bijvoorbeeld ophoogzand
- de bekleding, die de verticale of steile begrenzing en het aanzicht vormen van het grondmassief, veelal in de vorm van prefab betonpanelen
- de wapeningselementen, bestaande uit langwerpige strippen (van kunststof of geribd staal), kunststof geogrids of stalen laddervormige wapening.

De globale uitvoeringsvolgorde is als volgt:

- verwijderen teelaarde en dergelijke tot draagkrachtige zandlaag
- storten van een betonnen (stampbeton) stelstrook
- aanbrengen en verdichten van zand tot bovenkant stelstrook
- aanbrengen eerste laag prefab betonpanelen op stelstrook; deze eerste laag panelen tijdelijk ondersteunen (schoorstampels).

Daarna wordt de wand verder opgebouwd door de volgende werkzaamheden te herhalen:

- aanbrengen en verdichten laag ophoogzand, dikte afhankelijk van de verticale afstand tussen de wapeningslagen, bijvoorbeeld 0,375 m
- aanbrengen van wapeningsstrippen en bevestigen aan de panelen
- aanbrengen en verdichten laag ophoogzand
- aanbrengen volgende laag prefab betonpanelen (zonder stampels).

Als bekleding van het gewapend massief komen in aanmerking:

- gestapelde betonpanelen met beperkte afmetingen, bijvoorbeeld circa 1,5 x 1,5 m²
- betonpanelen over de volle hoogte van het massief
- stalen roosterelementen met daarachter een vulling van breuksteen (bijvoorbeeld Terra Trel); de breuksteen wordt met een geotextiel gescheiden van het gewone aanvulmateriaal.

De prefab betonnen panelen van Terre Armée worden tegenwoordig geleverd in een dikte van 0,14 m en zijn, afhankelijk van de gronddruk, voorzien van een wapening. Tot een kerende hoogte van ongeveer 5,0 m kunnen de panelen ongewapend worden uitgevoerd. De panelen hebben een kruisvorm

met een totale breedte en hoogte van 1,5 m. Aan ieder element worden 3 tot 6 (bij landhoofden soms 10 tot 12) wapeningsstrippen bevestigd. De strippen zijn 45 x 5 mm² of 50 x 4 mm² en liggen in hoogte op een h.o.h.-afstand van 0,75 m. De lengte van de wapeningsstrippen bedraagt doorgaans circa 0,6 à 0,7 x de kerende hoogte van de constructie.

Een keermuur in gewapende grond is in principe een op staal gefundeerde constructie. Dit houdt in dat de ondergrond aan bepaalde eisen moet voldoen wat betreft draagkracht en zettingsgedrag. Een gewapend massief met prefab beton panelen kan zonder schade zettingen tot 0,1 à 0,2 m opnemen, mits de hoekverdraaiing beperkt blijft tot 1 à 1,5%. Bij grotere zakkingen kan een meer flexibele bekleding (zoals met breuksteen gevulde schanskorven) uitkomst bieden.

Door de aanwezigheid van wapening gedraagt het grondmassief zich als een cohesief materiaal met een grote hoek van inwendige wrijving. De wapening dient voor het verzekeren van zowel het inwendig krachtenevenwicht als de uitwendige stabiliteit. Het laatste is echter zelden maatgevend, mits sprake is van een draagkrachtige ondergrond. De uittrekkraft van de wapening wordt voor een belangrijk deel geleverd doordat de wapening in goed verdichte en kwalitatief hoogwaardige grond worden geplaatst.

De snelheid waarmee een gewapend massief kan worden opgebouwd, wordt vooral bepaald door het grondwerk (de aanvoer, het aanbrengen en het verdichten van het zand).

10.1.2 Technische levensduur

De technische levensduur van de constructie wordt hoofdzakelijk bepaald door de wapening.

Bij stalen wapening (bijvoorbeeld in de vorm van strippen) speelt de snelheid van de corrosie van het staal een rol. Door de corrosie neemt de staaldoorsnede af en de staalspanning toe. Door diverse maatregelen (zie §10.2.4) kan de corrosie worden beperkt zodat op het einde van de gebruiksduur de optredende staalspanning nog altijd de toelaatbare waarde niet zal overschrijden. Als maatregelen kan gedacht worden aan eisen aan het ophoogmateriaal, een beschermingslaag op het staal (bijvoorbeeld zink) en een overdikte (opofferingsdikte). Bij zwerfstromen (bijvoorbeeld in de nabijheid van het spoor of andere spanningsbronnen) kunnen soms aanvullende maatregelen nodig zijn. De werkelijke levensduur is uiteindelijk langer, want het kan nog vele jaren duren voordat het staal daadwerkelijk bezwijkt. Gewapend grondconstructies kunnen dusdanig worden gedimensioneerd dat een levensduur van 100 jaar of meer mogelijk is.

Bij kunststof wapening (zoals geogrids en stripvormige wapening) wordt ook rekening gehouden met een afname van de sterkte in de tijd. Met behulp van partiële factoren voor de verschillende mechanismen van aantasting, wordt in het ontwerp de sterkte van de wapening gereduceerd, zodat aan het einde van de gebruiksduur de optredende spanning de toelaatbare waarde zal overschrijden.

10.1.3 Voor- en nadelen

Voor- en nadelen van de ophogingsmethode met een keermuur aan buitenzijde van de verbreding, bestaande uit panelen met grondwapening ten opzichte van de conventionele zandophoging met verticale drains zijn gegeven in tabel 10.1. Daarnaast gelden de voor- en nadelen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode, zoals beschreven in de betreffende product-methodebladen.

Aspect	Voordeel	Nadeel	Toelichting
kosten		hoog	
bouwtijd	kort		bouwtijd wordt langer indien er grote zettingen worden verwacht en een combinatie met andere uitvoeringsmethode moet worden toegepast
zetting gebruiksfase	neutraal	neutraal	bij grote zettingen is deze methode niet geschikt
ruimtebeslag	weinig		
complexiteit uitvoering	eenvoudig		
ervaring met uitvoering	veel		materieel is ruim beschikbaar
aanwezigheid van risico's *)		beperkt	onzekerheid omtrent eventuele corrosie / aantasting van de wapening
levensduur	lang		afhankelijk van eventuele corrosie / aantasting
status in relatie tot Bouwstoffenbesluit	bekend		
risico schade bestaande weg	neutraal	neutraal	bij grote zettingen, en dus groot risico op schade aan de bestaande weg, is deze methode niet geschikt
risico schade kabels/leidingen	beperkt		De riolering wordt binnen de constructie geplaatst.
risico belendingen	beperkt		
overig	zie toelichting		de constructie heeft een mooi uiterlijkde constructie kan snel worden afgebroken en worden hergebruikt op een andere locatie. De stripvormige wapening ligt meestal onder de verharding. Bij het vervangen van de strippen moet de verharding worden opengebrouwen.

*) waaronder begrepen onzekerheid in de grondparameters, onvolkomenheid van ontwerpmodellen, uitvoeringstechnische onzekerheid / beheersbaarheid; een verdere uitsplitsing staat in § 10.2.8

Tabel 10.1 Voor- en nadelen van een keermuur aan buitenzijde verbreding, bestaande uit prefab betonpanelen met grondwapening

10.1.4 Beperkingen

De in §10.1.3 genoemde nadelen kunnen een beperking voor de toepassing vormen. Daarnaast zijn er de volgende beperkingen.

Gewapende grondconstructies met prefab betonpanelen zijn alleen toepasbaar indien de zettingen beperkt zijn en de uitwendige stabiliteit voldoende verzekerd is. Op slappe grond is de methode niet direct toepasbaar. Eerst dient de draagkracht en het zettingsgedrag van de ondergrond te zijn verbeterd zodat de verwachte restzetting beperkt is tot circa 0,2 m.

De benodigde ruimte voor de aanleg van een gewapende grondconstructie wordt bepaald door de lengte van de wapening, die voornamelijk afhankelijk is van de eisen aan de uitwendige stabiliteit (verhinderen van diepe glijvlakken). Als vuistregel voor de lengte wordt 0,6 tot 0,7 maal de kerende hoogte aangehouden. Bij smalle verbredingen kan het daarom nodig zijn een deel van het bestaande weglichaam af te graven, hetgeen extra complicaties met zich meebrengt zoals verkeershinder of de noodzaak een dure tijdelijke grondkerende constructie aan te brengen.

Daarnaast gelden de beperkingen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode, zoals beschreven in de betreffende product-methodebladen.

10.2 Ontwerpfase

10.2.1 Benodigd grond- en laboratoriumonderzoek

Het benodigd grondonderzoek is afhankelijk van de Geotechnische Categorie waarin een object valt. Rijkswegen vallen in het algemeen in Geotechnische Categorie 2 volgens NEN 6740 art. 6.2 [7]. Het standaard grondonderzoek staat vermeld in hst. 4.7.3 van *Construeren met grond* [3] en in §2.4 van *Bepaling geotechnische parameters* [17]. Het doel van het grondonderzoek is het vaststellen van de bodemopbouw, de grondwaterpeilen, het volumieke gewicht van de grondlagen, de samendrukkings- en de schuifweerstandseigenschappen.

Bij wegverbredingen dient het grondonderzoek ook informatie te verschaffen over de uitgestrektheid van het bestaande weglichaam in de ondergrond.

Sonderingen

De onderlinge afstand tussen de sonderingen is met name afhankelijk van de samendrukbaarheid van de grond en de variatie van de bodemopbouw. Bij toepassing van een Terre Armée constructie wordt geadviseerd de afstand tussen de sonderingen te beperken tot 25 m (overeenkomstig NEN 6740) om een indruk te krijgen omtrent de homogeniteit van de bodemopbouw. De sonderingen dienen tot in de onderliggende draagkrachtige zandlaag te worden doorgezet.

Voor een goede karakterisering van de laagopbouw dient naast de conusweerstand ook de plaatselijke wrijving te worden gemeten. De elektrische sondeermethode met sonderingen volgens klasse 2 van NEN 5140 [14] dient te worden toegepast.

Afhankelijk van de resultaten dienen aanvullende sonderingen te worden uitgevoerd.

Boringen, peilbuizen en laboratoriumonderzoek

Bij toepassing van de methode in een nagenoeg zettingsvrije aardebaan, is geen uitgebreid laboratoriumonderzoek benodigd. In eerste instantie zijn daarom geen diepe boringen vereist. Er dient echter tenminste één handboring met een diepte van 1 m te worden uitgevoerd.

De grondwaterstand in het bestaande weglichaam dient door middel van peilbuizen (h.o.h. afstand 250 m) te worden vastgesteld. Een inzicht in de fluctuatie van de waterstanden is alleen te verkrijgen indien metingen over geruime tijd worden uitgevoerd. Een indicatie omtrent het polderpeil kan worden verkregen met behulp van Waterstaatskaarten, bodemkaarten van Stiboka, gegevens van het DINO-loket van TNO-NITG (www.nitg.tno.nl) en door waterpassing van het slootpeil.

Een schatting van de (sterkte)parameters kan worden ontleend aan tabel 1 van NEN 6740 [12]. Indien zetting of stabiliteit kritisch blijken te zijn, dienen alsnog boringen en laboratoriumonderzoek te worden uitgevoerd. Hiervoor wordt verwezen naar de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeterings-methode.

Afhankelijk van de specifieke omstandigheden (bijvoorbeeld locale ervaring) kan het nodig zijn het grondonderzoek uit te breiden.

10.2.2 Geotechnische ontwerpaspecten

Het geotechnisch ontwerp omvat in hoofdzaak:

- het ontwerp van de gewapende grondconstructie met betrekking tot de inwendige stabiliteit tijdens aanleg en in de gebruiksfase; de verschillende leveranciers, zoals Terre Armée B.V., maken dit ontwerp zelf en kunnen hiervoor ook garant staan; de inwendige stabiliteit betreft de mechanismen breuk van de wapening, aanhechting van de wapening, breuk van de verbinding paneel - wapening en breuk van het paneel; daarnaast dienen de deformaties van het gewapende massief te worden gecontroleerd
- de controle van de uitwendige stabiliteit en de zakking van het gewapende massief; de uitwendige stabiliteit betreft de mechanismen horizontaal schuiven, kantelen, overschrijding draagkracht ondergrond en afschuiven volgens een diep glijvlak; bij slappe, ingesloten grondlagen, moet ook het mechanisme zijdelings wegpersen (squezen) beschouwd worden.

Voor het ontwerp van een gewapende grondconstructie wordt verwezen naar het in 2000 verschenen CUR-rapport 198 *Kerende constructies in gewapende grond. Taludhelling groter dan 70°* [7]. Dit is een richtlijn voor het ontwerp en de uitvoering van constructies in gewapende grond. Daarnaast wordt verwezen naar *Ouvrages en Terre Armée: guide specifications et règles d'art* [4] en de buitenlandse richtlijnen in BS8006 [8], NF P 94-220 [9], en EBGeo [10].

Daarnaast bestaat het geotechnisch ontwerp uit de bepaling van :

- de eindzetting
- het zettingsverloop in de tijd en bepaling van de restzetting, de bepaling van de bouwtijd
- het effect op de omgeving, zoals kabels en leidingen en belendingen
- het effect op de bestaande weg in het geval van een wegverbreding.

Ook omvat het geotechnisch ontwerp de aspecten die zijn beschreven in de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode.

Het geotechnisch ontwerp resulteert in een advies omtrent:

- de opbouw van de gewapende grondconstructie (met name aantal en lengte wapeningsstrippen); dwarsdoorsnede
- eventuele extra maatregelen in verband met zettingen
- eventuele extra maatregelen in verband met corrosie
- eventuele maatregelen voor de verzekering van de uitwendige stabiliteit, zoals een grondverbetering of grondstabilisatie
- de verdichting van het ophoogzand
- het traject waarvoor het advies geldt en de wijze waarop de overgangen naar trajecten waar andere methoden zijn gebruikt, moeten worden uitgevoerd
- te verwachten verhardingsonderhoud in de gebruiksfase
- geotechnische risico-analyse, monitorings- en maatregelenplan tijdens uitvoering en gebruiksfase conform §10.2.8
- te verwachten omvang van en maatregelen tegen de schade aan kabels, leidingen en belendingen
- eventuele extra maatregelen om de stabiliteit van het bestaande weglichaam tijdens aanleg te waarborgen.

Daarnaast bevat het geotechnisch advies de aspecten die zijn beschreven in de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode.

10.2.3 *Ontwerpdetails*

Afhankelijk van de gebruiksduur wordt stalen wapening voorzien van een beschermingslaag (vaak door middel van thermisch verzinken) en/of een opofferingsdikte. De mate van corrosie is sterk afhankelijk van de grondsoort en het aanwezige water. Daarom worden eisen gesteld aan de chemische samenstelling van het aanvulmateriaal en worden maatregelen genomen om de toetreding van water te beperken (zie §10.3.2). Om de corrosie verder te beperken, kan boven en achter de constructie een folie aangebracht worden die ervoor zorgt dat regen- en dooiwater (hoog zoutgehalte bij wegen) niet in de constructie kan doordringen.

Aan de achter- en voorzijde van het gewapende massief kunnen drainagevoorzieningen nodig zijn om te voorkomen dat het massief en het weglichaam verzadigd raken met water. Ook moet een hemelwaterafvoer aangebracht worden.

Om tijdens het gebruik van een Terre Armée massief controle te hebben op de corrosie van de wapeningsstrippen, wordt een aantal extra strippen in de constructie opgenomen, die niet meedoen aan de krachtsoverdracht. De strippen hebben een beperkte lengte. Op bepaalde tijdstippen worden ze vanaf de voorzijde uit de constructie getrokken ter controle van de corrosie, zie *Terre Armée nader bekeken* [5].

10.2.4 Effect op bestaande weg

Het aanbrengen van een zandlichaam (gewapende grondconstructie) veroorzaakt zettingen en horizontale deformaties. Deze kunnen leiden tot scheurvorming in de verharding. Een groot deel van de vervormingen van de bestaande weg treedt op tijdens de aanleg van de verbreding. In het geval van een nagenoeg zettingsvrije aardebaan zijn de te verwachten zettingen klein. In het geval dat de aardebaan nog grote zettingen zal ondergaan, kan in het algemeen geen gewapende grondconstructie met een bekleding van pefan betonpanelen worden toegepast

Bij een smalle verbreding kan het nodig zijn de wapeningsstrippen deels in het bestaande weglichaam in te graven. In dit geval dient de stabiliteit van het bestaande weglichaam te zijn gewaarborgd, eventueel met toepassing van tijdelijke grondkerende constructies. De methode wordt dan kostbaar en het verkeer zal hinder van de werkzaamheden ondervinden zodat het voor de hand ligt een andere methode toe te passen.

Daarnaast gelden de effecten die zijn beschreven in de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode.

10.2.5 Effect op omgeving

Bij toepassing in een nagenoeg zettingsvrije aardebaan zijn de te verwachten effecten op de omgeving gering.

Daarnaast gelden de effecten die zijn beschreven in de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode.

10.2.6 Relevante wetgeving en doorlooptijd vergunningen

Op de volgende pagina is in tabelvorm weergegeven welke vergunningen naar alle waarschijnlijkheid moeten aangevraagd en wat daarbij de te verwachten doorlooptijd is.

Daarnaast zijn de vergunningen nodig die zijn beschreven in de product-methodebladen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode.

10.2.7 Raming aanlegkosten

De onderstaande kosten zijn, tenzij anders vermeld, exclusief BTW, VAT (Voorbereiding-Administratie-Toezicht) en winst en risico en betreffen prijspeil 2004.

Voor Terre Armée constructies gelden de volgende richtprijzen:

• TerraClass keerwand tot 4,5 m hoogte	€	110,- /m ²
• TerraClass keerwand tot 4,5 - 7,5 m hoogte	€	129,- /m ²
• TerraClass keerwand tot 7,5 - 11,0 m hoogte	€	140,- /m ²
• Montage van de TerraClass keerwanden	€	35,- /m ²
• Aanbrengen stelstrook onder de wanden	€	25,- /m ¹
• Leveren en verwerken aanvulmateriaal	€	11,- /m ³

Opmerking: TerraClass staat voor de klassieke prefab betonpanelen, zie figuur 10.1.

Voor constructies met geogrids kunnen de volgende richtprijzen worden gehanteerd:

Bekledingstype	Hoogte 3 m	Hoogte 5 m	Hoogte 7 m
TensarWall 1	€ 200,- /m ²	€ 240,- /m ²	€ 290,- /m ²
Keystone	€ 210,- /m ²	€ 250,- /m ²	€ 300,- /m ²
Landshape	€ 250,- /m ²	€ 290,- /m ²	€ 340,- /m ²
Omslagmethode	€ 145,- /m ²	€ 180,- /m ²	€ 230,- /m ²
Staaldraad elementen	€ 150,- /m ²	€ 190,- /m ²	€ 235,- /m ²

De genoemde kosten betreffen levering en aanbrengen van de geogrid-wapening, bekleding, aanvulzand en drainagevoorzieningen in het gewapende deel van de constructie.

Bovengenoemde prijzen zijn afhankelijk van de marktontwikkelingen en aannemer.

Voor de prijzen van de toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethode wordt verwezen naar de betreffende product-methodebladen.

10.2.8 Risico's, monitoring en maatregelen

Risicofactoren

Bij de hier beschouwde methode zijn de grootste risicofactoren:

- het ontwerp van de gewapende grondconstructie, dat wil zeggen de sterkte van de wapening, de aanhechting van de wapening (de mate van verdichting van het ophoogzand), de verbinding wapening - paneel en de sterkte van het paneel
- de uitwendige stabiliteit
- de corrosie / aantasting van de wapening.

Daarnaast spelen de onderstaande onzekerheden een rol. Bij toepassing van de methode op een vrijwel zettingsvrije ondergrond, zijn deze onzekerheden echter van ondergeschikt belang.

- de bepaling van de samendrukkingseigenschappen van de slappe lagen

- de bepaling van de doorlatendheid van de slappe lagen
- de bepaling van de sterkteparameters van de slappe lagen
- de bepaling van de stijfheidseigenschappen van de slappe lagen
- de gangbare ontwerpmodellen, met name voor de bepaling van de vervorming van de bestaande baan bij een verbreding
- de mate waarin de verharding op de bestaande baan, kabels, leidingen en belendingen de extra belasting van de ophoging kunnen weerstaan.

Bij toepassing van een methode ter verbetering van de draagkracht van de ondergrond (zoals voorbelasting en geokunststof omhulde zandpalen) spelen de onzekerheden zoals beschreven in de product-methodebladen van de betreffende ophoog- of grondverbeteringsmethode.

De bovengenoemde onzekerheden leiden tot de volgende ongewenste gebeurtenissen:

- falen van de Gewapende grondconstructie door gebrek aan inwendige stabiliteit en daardoor het uitlopen van de bouwtijd of het moeten uitvoeren van aanvullende maatregelen
- falen van de Gewapende grondconstructie door gebrek aan uitwendige stabiliteit of door te grote zettingen en / of zettingsverschillen en daardoor het uitlopen van de bouwtijd of het moeten uitvoeren van aanvullende maatregelen
- falen van de Gewapende grondconstructie door een kortere levensduur van de wapening dan verwacht, bijvoorbeeld door ongunstige en onvoorziene milieuumstandigheden (tijdens de beheer fase).

Bij toepassing van de methode bij de verbreding op een vrijwel zettingsvrije ondergrond, leiden de genoemde onzekerheden tot de volgende ongewenste gebeurtenissen, die echter beperkt zijn:

- een te grote zetting in de gebruikfase, waardoor onvoorzien verhardingsonderhoud nodig is
- instabiliteit tijdens de aanleg en de eindsituatie
- schade aan de omgeving, zoals kabels en leidingen en belendingen
- schade aan de bestaande weg.

Bij toepassing van een methode ter verbetering van de draagkracht van de ondergrond (zoals voorbelasting en geokunststof omhulde zandpalen) zijn de ongewenste gebeurtenissen aanwezig zoals beschreven in de product-methodebladen van de betreffende ophoog- of grondverbeteringsmethode.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een geotechnische risico-analyse gemaakt. Hierbij wordt nagegaan of een realistische variatie van de meest onzekere parameters er toe leidt dat het ontwerp niet meer voldoet aan het Programma van Eisen. In dat geval wordt voor het desbetreffende risico een monitorings- en maatregelenplan opgesteld, of wordt het ontwerp of het Programma van Eisen bijgesteld.

Monitoring

Door monitoring kunnen de risico's worden beheerst:

- tijdens de opbouw regelmatig metingen te verrichten (zetting, horizontale deformatie) van de gewapende grondconstructie
- het instrumenteren van wapening (rekstrookjes of rekmeters) waarmee de kracht in de wapening kan worden bepaald; deze metingen worden slechts bij uitzonderlijke projecten toegepast
- het plaatsen van korte controlestrips in de gewapende grondconstructie en deze regelmatig te controleren op corrosie (gebruik fase).

Bij toepassing van een methode ter verbetering van de draagkracht van de ondergrond (zoals voorbelasting en geokunststof omhulde zandpalen) dient de monitoring te worden uitgevoerd zoals beschreven in de product-methodebladen van de betreffende ophoog- of grondverbeteringsmethode.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een monitoringsplan gemaakt. Hierin wordt beschreven wat, hoe, waar, wanneer en door wie wordt gemeten, hoe de gegevens worden opgeslagen en gepresenteerd. Ook wordt voor elke meting vooraf aangegeven, wat de verwachtingswaarde van de te meten grootte is, en wat de grenswaarde is waarbij sprake is van een ontoelaatbare afwijking.

Maatregelen

Bovengenoemde ongewenste gebeurtenissen kunnen op verschillende manieren worden beheerst, namelijk door:

- bij het falen van de gewapende grondconstructie, de wand weer gedeeltelijk afbreken en het ontwerp aanpassen
- het aanbrengen van grondankers indien de wapening te sterk wordt aangetast, resulterend in te grote vervormingen en/of breuk (beheer fase); in een dergelijk geval moeten de panelen ieder afzonderlijk worden verankerd.

Bij toepassing van een methode ter verbetering van de draagkracht van de ondergrond (zoals voorbelasting en geokunststof omhulde zandpalen) dienen zo nodig de maatregelen te worden uitgevoerd zoals beschreven in de product-methodebladen van de betreffende ophoog- of grondverbeteringsmethode.

Als onderdeel van het ontwerp wordt een maatregelenplan opgesteld. Hierin wordt aangegeven welke van bovengenoemde maatregelen wordt toegepast als uit de monitoring blijkt dat de grenswaarden van één van de gemeten grootheden wordt overschreden.

10.2.9 Duurzaam bouwen

Opgemerkt dient te worden dat met het begrip duurzaam bouwen niet zozeer de levensduur wordt bedoeld, maar met name de milieuduurzaamheid.

Typering gebruikte bouwstoffen

Voor het zand wordt verwezen naar de *Leidraad Bouwstoffen* [16]. Natuurlijk zand is veelal als schone grond of categorie 1 bouwstof aan te merken. Bij

zeezand is de categorie-indeling afhankelijk van het succes van de ontziltingsstap (chloride kan kritisch zijn). Toegepast ontzilt zeezand is meestal categorie 1 bouwstof.

Opmerkingen

Bij een Terre Armée constructie in de C2-bocht op de Maasvlakte is in verband met de minder gunstige omstandigheden (gebruik van ontzilt zeezand) een speciale staalsoort voor de strippen gebruikt.

De betonpanelen voldoen aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit.

Staal is een niet-steenachtig materiaal en valt derhalve niet onder de werkingssfeer van het Bouwstoffenbesluit.

Terugwinbaarheid / hergebruik

Het ophoogzand en de onderdelen van de gewapende grondconstructie (bekledingspanelen en wapening) zijn eenvoudig terugwinbaar. Kostentechnisch gezien is het de vraag of terugwinning van het ophoogzand zinvol is, daar transportkosten hoog zijn in verhouding tot de zandprijs.

Extra milieumaatregelen

Niet van toepassing.

10.2.10 Verdere aandachtspunten

Geen opmerkingen.

10.3 Uitvoeringsfase

10.3.1 Uitvoeringsmethoden

Na verwijdering van de teelaarde en dergelijke wordt op het aanlegniveau van de keerwand een betonnen (stampbeton) stelstrook gestort.

De gewapende grondconstructie wordt opgebouwd in lagen waarbij afwisselend betonpanelen, ophoogzand en wapening worden geplaatst. Deze werkzaamheden worden herhaald totdat de gewenste hoogte is bereikt. Simultaan met de opbouw van de gewapende grondconstructie wordt de ophoging achter het gewapend massief aangebracht. De voegen tussen de panelen kunnen worden afgedicht met smalle stroken geokunststof filterdoek. Nadat de wand op hoogte is, wordt doorgaans een folie aangebracht op en achter de constructie ter beperking van de indringing van dooi- en regenwater. Aan de achter- en voorzijde van het massief kunnen drainagevoorzieningen worden aangebracht om te verhinderen dat het gewapende grondmassief en/of het weglichaam verzadigd raakt. Ook wordt een hemelwaterafvoer aangebracht.

Het ophoogzand dient te worden aangebracht in lagen, die goed worden verdicht. Volgens *Terre Armée* [6] dient de verdichtingsgraad minimaal 95% van de optimale Proctordichtheid te zijn bij keermuren en minimaal 98% bij landhoofden van bruggen en viaducten

Het ophoogzand wordt in het algemeen door middel van vrachtwagens of dumptrucks aangevoerd, waarna het door bijvoorbeeld een bulldozer of laadschop in dunne lagen van maximaal 0,5 m wordt uitgereden. Voor een verdere omschrijving wordt verwezen naar de *Handleiding Wegembouw* [2]. Algemene eisen voor de verdichtingsgraad zijn gegeven in §22.02.06 van de *Standaard RAW-bepalingen* [3]. Nadere informatie is te vinden in *Verdichting van de zandbaan* [18].

Voor uitvoeringsaspecten van verder toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethoden wordt verwezen naar de betreffende product-methodebladen.

10.3.2 K.A.M.-zaken

In deze paragraaf worden de K.A.M.-zaken beschouwd die betrekking hebben op de uitvoering (K.A.M. staat voor Kwaliteits-afname controle, ARBO en veiligheidszaken en Milieu).

Kwaliteits-afname controle

Op de bouwplaats dienen te worden gecontroleerd:

- betonpanelen (afmetingen, ingestorte bevestigingspunten)
- wapening (afmetingen, kwaliteit, eventuele beschermingslaag)
- verbindingsbouten (afmetingen, beschermingslaag)
- geokunststof filterdoek (afmeting en kwaliteit)
- folie (kwaliteit).

Aan het zand waaruit de Terre Armée constructie wordt opgebouwd kunnen eisen worden gesteld om de corrosie van de wapeningsstrippen te beperken:

- elektrische weerstand van de verzadigde grond moet groter zijn dan 1000 ohm.cm voor toepassing boven water en 3000 ohm.cm voor toepassingen onder (zoet) water
- pH-waarde van het water moet liggen tussen de 5 en de 10
- het gehalte chloor-ionen moet kleiner zijn dan 1000 mg/kg
- de hoeveelheid zwavel moet kleiner zijn dan 300 mg/kg voor toepassingen boven water en 100 mg/kg voor toepassingen onder water
- er mogen geen organische deeltjes aanwezig zijn.

Bij afwijkende eigenschappen van het ophoogmateriaal dienen de corrosievoorzieningen van de wapeningsstrippen te worden aangepast of dient een speciale staalsoort te worden gekozen.

Voor kunststof wapening gelden over het algemeen minder strenge eisen aan de aanvulgrond dan voor een stalen wapening.

In §22.02.06 van de *Standaard RAW Bepalingen* [3] worden eisen gesteld aan draineerzand en ophoogzand. Hierover wordt het volgende opgemerkt:

- de eisen gesteld aan ophoogzand zijn dermate ruim, dat slecht drainerend materiaal met veel fijne deeltjes zou mogen worden toegepast (art. 22.06.01 50% mag kleiner zijn dan 63 mm); gebruik van zand dat aan deze eisen voldoet, kan leiden tot taludinstabiliteit vanwege verzadiging met water; uit dit oogpunt zijn voor het

ophoogzand strengere eisen noodzakelijk dan in de *Standaard RAW Bepalingen* [3] worden aangegeven; het aanbrengen van een drainagevoorziening achter het gewapende massief kan daarom zinvol zijn

- voor de zandophoging kan het beste matig fijn tot matig grof zand met maximaal 5 à 10 % fijne deeltjes (<63 mm) worden gebruikt.

Eisen voor de verdichting van de zandophoging zijn gegeven in §22.02.06 van de *Standaard RAW Bepalingen* [3] en in de vorige §10.3.1.

Daarnaast zijn er nog eisen aan de opslag van de materialen, gesteld door leveranciers van de wapening en betonpanelen.

ARBO en veiligheidszaken

Bij de aanleg zijn geen bijzondere maatregelen of voorzieningen noodzakelijk.

De aanleg gebeurt grotendeels machinaal, zodat er geen fysiek zware arbeid hoeft te worden verricht.

Milieu

Door het toenemende belang van milieuvriendelijke constructies, waarbij ook begroeiing mogelijk moet zijn, zijn beplantbare betonpanelen ontworpen. Dergelijke toepassingen vragen evenwel de nodige aandacht en onderhoud.

Voor kwaliteit-, arbo- en milieuaspecten van verder toegepaste ophoog- of grondverbeteringsmethoden wordt verwezen naar de betreffende product-methodebladen.

10.3.3 Besteksteksten

Voor gewapende grondconstructies zijn geen standaard besteksbepalingen aanwezig. Door de leveranciers zijn vaak uitvoeringsrichtlijnen opgesteld, zie bijvoorbeeld *Praktische handleiding* [15] van Terre Armée.

Belangrijk voor de aannemer is dat deze de juiste grondgegevens heeft ter bepaling van het in te zetten materieel.

10.4 Beheer en onderhoud

Aandachtspunten voor de wegbeheerder omvatten:

- zetting van de verbreding in de gebruiksfase
- corrosie / aantasting van de wapening
- activiteiten in de berm boven het gewapend massief waardoor de wapening aangetast kan worden
- hemelwaterafvoer
- drainage
- riolering.

Corrosie van stalen wapening

Om tijdens de gebruiksduur van de constructie controle te hebben op de corrosie van de wapening, kunnen een aantal extra wapeningselementen

(zoals strippen) in de constructie te worden opgenomen. Deze elementen doen niet mee aan de krachtoverdracht en hebben een beperkte lengte, zodat ze na verloop van tijd met geringe kracht vanaf de voorzijde uit de constructie kunnen worden getrokken. In het laboratorium wordt van de uitgetrokken elementen de mate van corrosie bepaald. Wordt geconstateerd dat de corrosie te snel verloopt, dan kunnen tijdig maatregelen worden genomen. Deze kunnen bestaan uit het plaatsen van grondankers.

Activiteiten in de berm boven het gewapend massief

Een ontgraving boven het gewapend massief, bijvoorbeeld in verband met kabels en leidingen, is slechts in beperkte mate toegestaan. Om te voorkomen dat de aanhechting van de wapening aangetast wordt en/of de wapening beschadigd wordt, dient altijd een zandlaag ter dikte van 0,35 à 0,40 m boven de bovenste wapeningslaag aanwezig te blijven.

Hemelwaterafvoer

Het afwaterend vermogen van de hemelwaterafvoer dient regelmatig te worden gecontroleerd. Bij een falende hemelwaterafvoer bestaat het risico dat het gewapende grondmassief en het weglichaam verzadigd raken met water.

10.5 Ombouw / sloop

10.5.1 Toekomstige ombouw / uitbreiding

Toekomstige ombouw en/of uitbreiding kunnen met dezelfde methode of een alternatieve methode worden uitgevoerd.

Een verhoging van de keerwand is alleen mogelijk als hiermee bij het ontwerp van de huidige wand hiermee rekening is gehouden. Met name betreft dit de wapening.

Als bij een toekomstige uitbreiding een methode wordt gekozen waarbij een spanningsverhoging in de ondergrond ontstaat, moet rekening worden gehouden met deformaties (verticaal en mogelijk ook horizontaal) van de dan aanwezige ophogingen.

Indien de gewapende grondconstructie als evenwichtsconstructie wordt uitgevoerd, dient ook een toekomstige ombouw of uitbreiding als evenwichtsconstructie te worden uitgevoerd.

10.5.2 Sloop

De aardebaan en de gewapende grondconstructie kunnen eenvoudig worden verwijderd.

De vrijkomende bouwstoffen, inclusief de verzinkte metalen wapeningsstrippen, zijn eenvoudig opnieuw te gebruiken. Vrijkomende geogrid wapening zal in het algemeen niet opnieuw gebruikt worden.

10.6 Referenties

10.6.1 Ervaringen

Gewapende grondconstructies worden vooral toegepast bij landhoofden van bruggen en viaducten en bij een begrenzing. Deze constructie is onder andere toegepast:

- landhoofden viaduct A28 bij Amersfoort
- landhoofden viaduct A73 bij Boxmeer
- voor het verkeersplein Ekkerswijer in de A2 ten noorden van Eindhoven
- het klaverblad Vught
- de kruising van de A2 met de spoorlijn Uden-Boxtel
- tankstation Zoetermeer
- opritten C2-bocht Europaweg op de Maasvlakte te Rotterdam
- landhoofden viaducten van de aansluiting A59-A16 bij Zevenbergen
- landhoofden en bastions viaducten A58 omleiding Etten-Leur.

10.6.2 Literatuur

- [1] *Construeren met grond*, CUR publicatie 162, 1992
- [2] *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Onderbouw, Deel II Techniek*, RWS DWW, december 1991
- [3] *Standaard RAW Bepalingen*, CROW-publicatie, 2000, inclusief Wijziging december 2002
- [4] *Ouvrages en Terre Armée: guide specifications et règles d'art*, Laboratoire Central des Posts et de Chaussées de Paris, Services d'Etudes technique des Routes et Autoroutes, Bagnoux 1979
- [5] *Terre Armée nader bekeken*, H.L. Jansen, L.W.A. van den Elzen en E. Luppens in *Cement XXXV* nr. 7 1983
- [6] *Terre Armée*, S&E-publicatie 29, 1990
- [7] *Kerende constructies in gewapende grond. Taludhelling groter dan 70°*, CUR rapport 198, september 2000
- [8] BS 8006 *Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills*, British Standards Institution, London, 1995 / 1999
- [9] NF P 94-220 *Soil Reinforcement. Backfilled structures with inextensible and flexible reinforcing strips or sheets. Design*, AFNOR, Paris, July 1992
- [10] EBGeo, *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen*, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., Essen, 1996
- [11] *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Verhardingen*, DWW, 1998
- [12] *Handleiding Wegenbouw, Ontwerp Overgangsconstructies*, DWW, 1995
- [13] NEN 6740 *Geotechniek. TGB 1990. Basiseisen en belastingen*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1997
- [14] NEN 5140 *Geotechniek, Bepaling van de conusweerstand en de plaatselijke wrijvings weerstand van grond. Elektrische sondeermethode*, Nederlands Normalisatie-Instituut, 1996
- [15] *Praktische handleiding voor de uitvoering van werken in Terre Armée*, Uitgegeven door Terre Armée B.V. te Breda
- [16] *Leidraad Bouwstoffen* Rijkswaterstaat, RWS DWW, maart 2000
- [17] *Bepaling geotechnische parameters*, CUR-rapport 2003-7, 2003
- [18] *Verdichting van de zandbaan*, CROW-rapport 04-04, 2004