

Memo

Werkgroep

Kennis



Ministerie van Verkeer en Waterstaat
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
Projectbureau Zeeweringen

Betreft (actie en nr.)
Alternatieve teenconstructies
Actie 229

Afschrift aan
WG Kennis
Bram Leenhouts

Vraagsteller
Bram Leenhouts

Datum

Beantwoord door
Ruud Bosters
Doorkiesnummer

Datum
September 2004
Bijlage(n)
Figuur 1 t/m 4

Status

Kenmerk
K-04-09-28

Alternatieve teenconstructies

Inhoud

1. Inleiding	2
2. Huidige teenconstructie en werkwijze bij aanleg	2
3. Functies en analyse teenconstructie	2
4. Functie-eisen en conclusies omtrent huidige constructie	4
5. Alternatieven	5
5.1 Alternatief 1: Hogere betonband, geen teenschot en ingieten	5
5.2 Alternatief 2: Geen betonband en ingieten	5
5.3 Alternatief 3: Langere betonband	6
6. Evaluatie alternatieven	6

Directie Zeeland
Projectbureau Zeeweringen
P/a Postbus 1000, 4330 ZW Middelburg
P/a Waterschap Zeeuwse Eilanden, Kanaalweg 1, Middelburg

Telefoon (0118) 62 13 70
Fax 0118 - 62 19 93
E-mail y.provoost@dzl.rws.minvenw.nl
Fout! Onbekende naam voor documenteigenschap.

1. Inleiding

Deze memo vormt een samenvatting van eerdere notities omtrent teenconstructies en doet voorstellen voor het aanpassen van deze constructie.

2. Huidige teenconstructie en werkwijze bij aanleg

De huidige teenconstructie bestaat uit 3 onderdelen:

1. Vierkante hardhouten (FSC-)paaltjes met een doorsnede van 0,07 x 0,07 m en een lengte van 1,8 m;
2. Een teenschot, bestaande uit 3 planken met een doorsnede van 0,20 x 0,02 m;
3. Een afgeschuinde betonband met een afmeting van 1,0 x 0,5 x 0,12/0,07 m.

De werkwijze bij de aanleg van een teenconstructie en een nieuwe bekleding is als volgt:

1. Ontgraven teen;
2. Eventueel aanbrengen grondverbetering van fosforslakken;
3. Verticaal wegdrücken paaltjes (h.o.h. 0,2 m) in een rechte lijn;
4. Planken van het teenschot tegen de paaltjes spijkeren;
- 5a. Bij een toplaag **dikker** dan 0,4 m: Filterdoek en filter aanbrengen, betonband tegen de planken in of op het filter zetten (doek tussen planken en betonband);
- 5b. Bij een toplaag **dunner** dan 0,4 m: Betonband tegen de planken zetten, filterdoek en filterlaag aanbrengen (doek tussen betonband en toplaag);
6. Toplaag aanbrengen tegen de bovenzijde van de betonband;
7. Teenbestorting aanbrengen tegen de onderzijde van de teenconstructie.

Afhankelijk van de dikte van de toplaag steekt de betonband dus in de ondergrond of rust op de filterlaag. Dit is weergegeven in figuur 1.

Figuur 1: Teenconstructies bij dunne ($D < 0,4$ m) en dikke ($D = 0,5$ m) toplaag

3. Functies en analyse teenconstructie

De teenconstructie heeft de volgende functies:

1. Bekistingsfunctie;
2. Beperken horizontale vervormingen;
3. Verdelen belasting;
4. Schadebeperking bij oeverval of -erosie;
5. Voorkomen erosie van het filter bij dikke toplaag.

Bekistingsfunctie

De belangrijkste functie van de teenconstructie is het vormen van een rechte lijn waar de betonzuilen van de toplaag mechanisch tegenaan gezet kunnen worden. In theorie zou de toplaag ook direct tegen de (dan eerst aan te brengen) kreukelberm aangebracht kunnen worden, maar in de praktijk kan op deze manier nauwelijks een rechte lijn gecreëerd worden.

Beperken horizontale vervormingen

Bij een werk in uitvoering kan eenvoudig aangetoond worden dat één of meerdere losse zuilen die op een net gestorte filterlaag op een talud gezet worden, niet naar beneden schuiven, ook al worden ze niet ondersteund. De maatgevende horizontale of schuine belastingen op de teenconstructie tijdens de uitvoering zijn dan ook geen statische belastingen maar kleine stootbelastingen die op kunnen treden tijdens het mechanisch zetten van de toplaag en het aanbrengen van de teenbestorting.

Na aanleg zal de toplaag zich in de eerste winter door hydraulische belastingen gaan zetten, hetgeen eveneens resulteert in horizontale belastingen.

Als de bekleding zich eenmaal gezet heeft en geheel of gedeeltelijk ingezand is, zal de schuifweerstand van het filter groot zijn. Hydraulische belastingen worden dan voornamelijk door de bekleding zelf opgenomen en de teenconstructie wordt nauwelijks nog horizontaal belast.

De teenconstructie en de kreukelberm vormen één ondersteunend geheel en nemen de horizontale belastingen op door te vervormen. De horizontale belasting neemt daarbij sterk af en de spanning die na de eerste winter in de teenconstructie achterblijft is beperkt.

De vervorming van de teenconstructie mag niet te groot zijn. Eisen hiervoor bestaan niet, maar 5 cm lijkt een redelijke waarde: Gezien de beperkte lengte van de paaltjes en de doorgaans slappe ondergrond kan nl. reeds tijdens de aanleg gemakkelijk een vervorming van enige cm optreden.

De vervormingseis bepaalt of de teenconstructie gezien mag worden als een verloren bekisting. De stenen in de kreukelberm zijn meestal van een zodanige omvang dat ze geen contact maken met het teenschot/betonband, en geheel aanleunen tegen de paaltjes. Als het teenschot of de paaltjes wegrotten, ontstaat er ruimte, waardoor de bekleding door hydraulische belastingen tijdens stormen kan gaan 'nazetten' en in de loop der tijd zo'n 2 à 5 cm verder naar beneden kan zakken.

Bij het wegrotten van het hout wordt gedurende de rottingsperiode de initiële vervorming van de constructie dus ongeveer verdubbeld. Indien er van uitgegaan wordt dat het teenschot gezien zijn beperkte dikte toch wel wegrot (ongeacht de houtkwaliteit), kan door het toepassen van duurzame paaltjes de vervorming slechts met ca. 3 cm beperkt worden. Het is de vraag of dit een duurzaamheidseis van 50 jaar voldoende rechtvaardigt.

Verdelen belasting

De betonband verdeelt de belasting over 4 à 5 paaltjes en voorkomt zo ongelijkmatige vervormingen. Verder is de betonband afgeschuind, zodat de toplaag er gemakkelijker tegenaan gezet kan worden en de belastingen van de toplaag gelijkmatiger opgenomen worden.

Het aantal paaltjes per strekkende meter is arbitrair bepaald. Bij een recent werk aan de Willem-Annapolder stonden paaltjes voor een overgangsconstructie aan de teen h.o.h. 0,3 m. Ondanks de zeer slappe ondergrond was ook na plaatsing van de toplaag geen vervorming van de rechte lijn zichtbaar.

De h.o.h.-afstand van de paaltjes (en daarmee de lengte van de betonband) kan geoptimaliseerd worden met grondmechanische berekeningen die de paalafstand en de vervorming van de teenconstructie aan elkaar relateren.

Schadebeperking bij oeversval of -erosie

Recent werd door de beheerder gesteld dat bij een oeversval de paaltjes van een duurzame teenconstructie vaak voorkomen dat de bekleding beschadigd wordt, zodat het herstel alleen bestaat uit het aanbrengen van een nieuwe kreukelberm. De relevantie van deze functie dient getoetst te worden aan de frequentie van voorkomen van oeversvallen. Dit zou kunnen betekenen dat voor bepaalde dijkvakken duurzame paaltjes toegepast worden, terwijl voor andere dijkvakken volstaan kan worden met niet-duurzame paaltjes.

Voorkomen erosie van het filter bij dikke toplaag

Bij een dikke toplaag ($D > 0,4$ m) staat de betonband in of op het filter en bevindt het filterdoek zich tussen het teenschot en de betonband (zie figuur 1). Zonder teenschot zou de steenslag van het filter in dit geval dus tegen het doek hangen en tussen de paaltjes uitpuilen. Het doek is hier niet voor gemaakt en de kans is dus groot dat het op een gegeven moment gaat scheuren, waarna het filtermateriaal tussen de paaltjes door kan verdwijnen. Het teenschot dient dit te voorkomen. Daarbij wordt impliciet aangenomen dat tegen de tijd dat het teenschot weggerot is, de kreukelberm zodanig ingeslibd is, dat het filtermateriaal niet meer kan eroderen.

4. Functie-eisen en conclusies omtrent huidige constructie

Uit het voorgaande blijkt dat momenteel de volgende functie-eisen worden gehanteerd:

1. De teenconstructie moet een rechte lijn vormen, waar de betonzuilen mechanisch tegenaan gezet kunnen worden;
2. De toplaag mag geen vervorming ondergaan door het weggroten van de paaltjes;
3. De constructie dient de belasting te spreiden over breedtes van minimaal 1 m;
4. Op locaties met oeversvallen dient de teenconstructie duurzaam te zijn om ook bij het verdwijnen van de kreukelberm de bekleding te kunnen ondersteunen;
5. Het filter mag niet eroderen.

Verder worden de volgende conclusies getrokken:

1. De totale vervorming van een duurzame teenconstructie gedurende de levensduur wordt geschat op 5 à 7 cm. Bij niet-duurzaam hout komt hier nog zo'n 3 cm bij;
2. Momenteel wordt voor de paaltjes een h.o.h. afstand gehanteerd van 0,2 m. In de praktijk blijkt dat ook een h.o.h. afstand van 0,3 m voldoet;
3. Bij een dunne toplaag ($D < 0,4$ m) is geen teenschot nodig. Indien een betonband met een hoogte van 0,6 m wordt toegepast is nooit een teenschot nodig, waarmee de constructie robuuster en minder vervormbaar wordt.

5. Alternatieven

Hierna worden drie alternatieve teenconstructies gepresenteerd, die in toenemende mate afwijken van de huidige constructie, maar zonder daarbij de functie-eisen geweld aan te doen.

De alternatieven zijn gebaseerd op de volgende principes:

1. Door het toepassen van een betonband, die minimaal 10 cm hoger is dan de toplaag, kan een teenschot achterwege blijven;
2. Door tussen de paaltjes in te gieten wordt de belasting direct overgebracht op de kreukelberm, met als voordelen:
 - a. De paaltjes mogen wegrotten;
 - b. De paaltjes kunnen loodrecht op het talud geplaatst worden, waardoor de betonband niet afgeschuind hoeft te zijn of geheel weggelaten kan worden;
3. Door een langere betonband toe te passen en het aantal paaltjes te reduceren, wordt de belasting direct overgebracht op de kreukelberm en mogen de paaltjes wegrotten.

5.1 Alternatief 1: Hogere betonband, geen teenschot en ingieten

Houten paaltjes (h.o.h. 0,2 of 0,3 m) worden verticaal weggedrukt in een rechte lijn. Er wordt geen teenschot geplaatst en de betonband, die minimaal 10 cm hoger is dan de toplaag, wordt rechtstreeks tegen de paaltjes gezet. Vervolgens worden het filterdoek en het filter aangebracht. De onderkant van de betonband bevindt zich nu op hetzelfde niveau of iets dieper dan de onderkant van het filter, zodat het filter altijd opgesloten blijft.

Na aanbrengen van de toplaag en de teenbestorting wordt er tussen de paaltjes ingegoten, zodat de betonband de belasting direct en bovendien veel gelijkmatiger op de kreukelberm over kan brengen en de paaltjes weg mogen rotten. Dit alternatief is weergegeven in figuur 2.

Wegens het ingieten kunnen de paaltjes overigens ook loodrecht op het talud (dus scheef) geplaatst worden. De betonband hoeft in dat geval niet meer afgeschuind te zijn.

Op locaties met oevervallen mogen de paaltjes niet wegrotten en dienen duurzaam te zijn. Bij verticaal weggedrukte paaltjes vervalt dan de noodzaak tot ingieten (maar dient wel een afgeschuinde betonband toegepast te worden).

Figuur 2: Alternatief 1

5.2 Alternatief 2: Geen betonband en ingieten

Houten paaltjes (h.o.h. 0,2 à 0,5 m) worden loodrecht op het talud (dus scheef) weggedrukt. Hierna wordt een teenschot aangebracht. Een betonband blijft achterwege. Na aanbrengen van filterdoek, filter, toplaag en teenbestorting wordt tussen de paaltjes ingegoten zodat de belasting direct en gelijkmatig op de kreukelberm over wordt gebracht en de paaltjes weg mogen rotten (behalve bij frequente oevervallen). Dit alternatief is weergegeven in figuur 3.

Bij een teenschot van hout leidt het wegrotten hiervan, evenals bij de huidige constructie, in de loop van de tijd tot een vervorming van 2 cm. Waar de paaltjes wegrotten ontstaan gaten die zullen inslibben. Indien het teenschot weggerot is en de toplaag ingeslibd of ingegoten is, zorgen deze gaten tevens voor ventielwerking. In theorie ontstaat ook ruimte voor filtermigratie, maar veel minder dan bij het

wegrotten van het teenschot bij de huidige constructie of dan bij de klassieke constructie van basaltzuilen direct tegen perkoenpalen.

Figuur 3: Alternatief 2

5.3 Alternatief 3: Langere betonband

Houten paaltjes (h.o.h. 0,5 m) of wat langere betonpaaltjes (h.o.h. 2 m) worden verticaal weggedrukt in een rechte lijn. Direct tegen de paaltjes wordt een betonband geplaatst die minimaal 10 cm hoger is dan de toplaag en een lengte heeft van 5 m. Vervolgens worden het filterdoek, het filter, de toplaag en de teenbestorting aangebracht.

Door de grotere lengte van de betonband kan de h.o.h.-afstand tussen de paaltjes groter worden. De teenbestorting ligt daardoor direct tegen de betonband, en de horizontale belastingen worden rechtstreeks overgedragen. Ingieten is niet nodig en bij toepassing van houten paaltjes mogen deze wegrotten (behalve bij frequente oevervallen). Dit alternatief is weergegeven in figuur 4.

De h.o.h.-afstand van de paaltjes en de lengte van de betonband zijn hier arbitrair gekozen. Geadviseerd wordt deze te optimaliseren met grondmechanische berekeningen die de maximale h.o.h.-afstand van de paaltjes bepalen.

Figuur 4: Alternatief 3

6. Evaluatie alternatieven

De alternatieven 1 en 2 beogen niet goedkoper te zijn dan de huidige constructie, maar wel functioneler en robuuster. Het toepassen van niet-duurzame paaltjes betekent een besparing, maar de bijbehorende ingieting betekent extra kosten. Beide alternatieven kunnen echter worden toegepast zonder nader onderzoek.

Bij alternatief 1 is het weglaten van het teenschot een besparing: Bij een toplaag dikker dan 0,4 m is weliswaar een hogere betonband nodig, maar deze investering is eigenlijk toch al noodzakelijk omdat de huidige constructie op dit punt behoorlijk gammel is.

Alternatief 2 is minder robuust dan alternatief 1. Het lijkt goedkoper dan alternatief 1 omdat in plaats van een betonband een teenschot (al dan niet van hout) toegepast wordt. Of het werkelijk goedkoper is hangt af van de arbeidskosten van het aanbrengen.

Alternatief 3 is eveneens robuust, maar richt zich op een minimum aan materiaal en mankracht en is daardoor vermoedelijk het goedkoopste. Er wordt bespaard op de paaltjes zonder dat er ingegoten hoeft te worden en het *aantal* aan te brengen betonbanden is veel kleiner. Wel vereist alternatief 3 nog een beperkt nader onderzoek, zijnde grondmechanische berekeningen die de maximale h.o.h.-afstand bepalen van de houten of betonnen paaltjes.

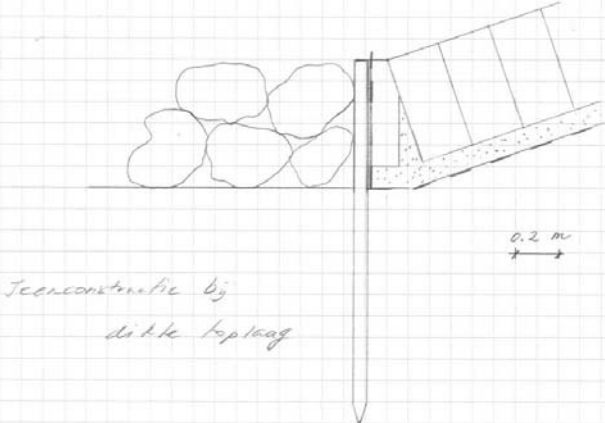
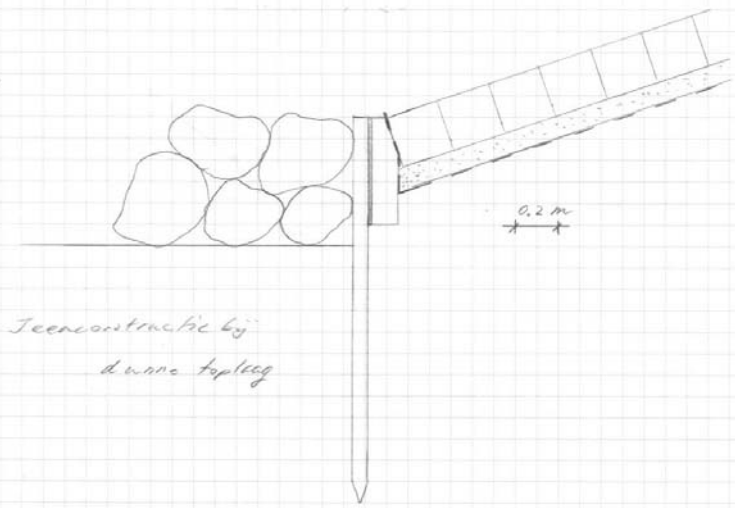


Figure 1

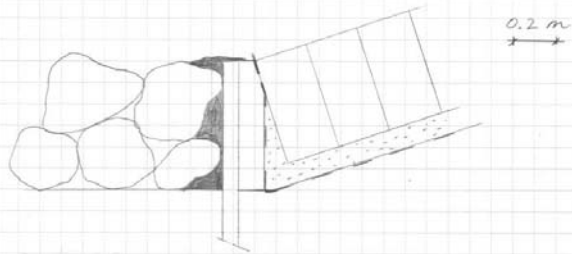


Figure 2: Alternatief 1

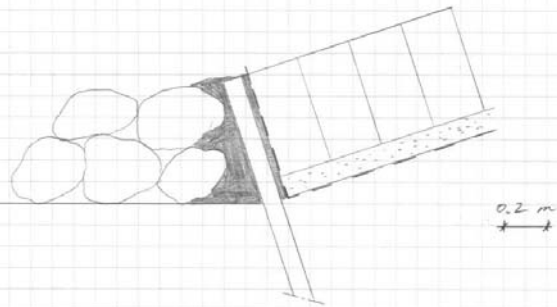


Figure 3: Alternatief 2

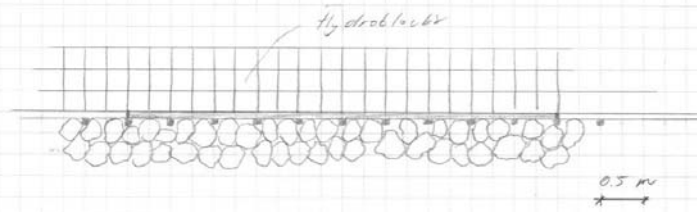


Figure 4: Bovenlaag alternatief 3