



dienst weg en water bouwkunde

notanr.: WBA-N-89157

Voor- en nadelen van een  
dijkverbetering met be-  
hulp van een tuimelkade.

projectnr.: W 89.12/03.

Dienst Weg- en Waterbouwkunde.  
Hoofdafdeling Waterbouw.  
Afdeling Advies.  
J.C.P. Johanson.  
2 juli 1990.

| <u>Inhoud.</u>                                       | <u>blz.</u> |
|--|-------------|
| 1. Inleiding.  | 1.          |
| 2. Probleemstelling.                                 | 1.          |
| 3. Profiel tuimelkade.                               | 2.          |
| 3.1. Helling buitentalud.                            | 3.          |
| 3.1.1. Tuimelkade ter plaatse van buitenzijde kruin. | 3.          |
| 3.1.2. Tuimelkade ter plaatse van binnenzijde kruin. | 4.          |
| 3.2. Kruinhoogte.                                    | 5.          |
| 3.3. Helling binnentalud.                            | 5.          |
| 3.4. Kruinbreedte.                                   | 5.          |
| 3.5. Conclusies met betrekking tot het profiel.      | 6.          |
| 3.5.1. Ruimtebeslag.                                 | 6.          |
| 3.5.2. Stabiliteit en sterkte.                       | 6.          |
| 3.5.3. Onderhoud.                                    | 6.          |
| 3.5.4. Economische aspecten.                         | 7.          |
| 4. Aanbrengen ophoging.                              | 7.          |
| 4.1. Toe te passen materialen.                       | 7.          |
| 4.2. Aansluiting tussen tuimelkade en bestaand werk. | 8.          |
| 5. Alternatief voor tuimelkade.                      | 8.          |

## 1. Inleiding.

Indien een dijkverhoging noodzakelijk is wordt vaak de kruin in zijn geheel verhoogd. Soms echter is het om uiteenlopende redenen niet mogelijk of wenselijk om een dergelijke verbetering toe te passen. Dan is het vaak wel mogelijk om de dijk te verbeteren met behulp van een tuimelkade.

In deze notitie wordt een aantal overwegingen weergegeven die kunnen leiden tot een beter afgewogen beslissing met betrekking tot de toepassing van tuimelkaden. De voor- en nadelen van een tuimelkade, de plaats op de dijk en de geometrische afmetingen ervan komen hierbij aan de orde. Verder wordt nog een opmerking geplaatst over de toe te passen materialen. Ten slotte worden enige eveneens ruimtebesparende alternatieven besproken.

## 2. Probleemstelling.

Het toepassen van een tuimelkade als dijkversterking wordt overwogen als om bepaalde redenen een aanpassing van de kruin over de volle breedte niet wenselijk of mogelijk wordt geacht. Een tuimelkade biedt dan enige voordelen, zoals het gebruik van minder materiaal. Dit geeft financieel voordeel en beperkt wellicht eventuele zettingen. Als nadeel kan worden genoemd dat een tuimelkade minder breed is dan de kruin bij een vergelijkbare gewone dijkverbetering. Daardoor zal na het ontstaan van eventuele schade sneller falen kunnen optreden dan het geval is bij een dijk met een kruin, die over de volle breedte is verhoogd. Dit geldt echter alleen indien de dijkverbetering wordt uitgevoerd met cohesief materiaal. Bij een dijkverbetering waarbij de kern van de ophoging uit zand bestaat zal dit argument aanzienlijk minder gelden.

### 3. Profiel tuimelkade.

Bij de keuze van de locatie van de tuimelkade op de dijk zijn de volgende mogelijkheden uitgewerkt.

- Plaatsing zoveel mogelijk aan de buitenzijde van de huidige dijk.
- Plaatsing zoveel mogelijk aan de binnenzijde van de huidige dijk.

Beide locaties hebben zowel voor- als nadelen.

De kruinhoogte van de tuimelkade is afhankelijk van de ligging op de oorspronkelijke kruin. Indien de kade aan de binnenzijde wordt geplaatst wordt de golfoploop gereduceerd doordat de huidige kruin van de dijk dan dienst doet als brede buitenberm.

Naast deze reductie van de golfhoogte door de brede buitenbermen dient rekening te worden gehouden met golfopzetverschijnselen als gevolg van "radiation stress" ofwel impulsdruk.

Noch van de reductie van de golfoploop, noch van de extra in rekening te brengen golfopzet is zoveel bekend dat zonder onderzoek een goede voorspelling is te maken. Hiertoe is wellicht modelonderzoek aan te bevelen.

De toegankelijkheid van de waterkering hangt onder extreme omstandigheden zeer sterk af van de keuze van de plaatsing van de tuimelkade. Bij plaatsing aan de binnenzijde is de weg op de dijk niet meer toegankelijk. Dit houdt in dat dijkbewaking onder extreme omstandigheden niet meer mogelijk is. Dit is een nadeel waarmee bij de dimensionering van de tuimelkade rekening moet worden gehouden.

Toepassing van een tuimelkade belemmert het zicht. Afhankelijk van de ligging van de kade wordt het zicht ontnomen op het buitenwater of op het gebied binnendijks. Afgewogen dient te worden of dit om recreatieve redenen als minder gewenst wordt ervaren.

De geometrie van de tuimelkade wordt bepaald naar aanleiding van een aantal overwegingen. Naast de veiligheid speelt o.a. de wijze van uitvoering van maaiwerkzaamheden een belangrijke rol. Dit laatste geldt met name voor de taludhelling van het binnentalud. De helling van het buitentalud kan in ieder geval aanzienlijk minder steil worden uitgevoerd zoals blijkt uit het navolgende.

### 3.1. Helling buitentalud.

#### **3.1.1. Tuimelkade ter plaatse van buitenzijde kruin.**

Zoals bekend wordt de kruinhoogteligging van een dijk bepaald door de sommatie van de te verwachten waterstand, de te verwachten golfoploop en de te verwachten zeespiegelrijzing. Hierbij wordt dan nog een overhoogte in rekening gebracht om zetting van de ondergrond en klink van het nieuw opgebrachte materiaal te compenseren. In de loop van de tijd zal deze overhoogte afnemen.

De formule waarmee de golfoploop wordt bepaald luidt in zijn eenvoudigste vorm:

$$z = 8 * H_s * \text{tga} , \text{ waarin}$$

$z$  = golfoploop (verticaal)

$H_s$  = significante golfhoogte

$\text{tga}$  = taludhelling

De formule, zoals hier gepresenteerd geldt indien de tuimelkade aan de buitenzijde wordt aangebracht. Bij deze voorstelling van zaken worden de eventuele scheve inval van de golven, de aanwezigheid van een buitenberm en de ruwheid van de bekleding niet in de berekening betrokken. Gezien de ligging van de dijk ten opzichte van de heersende windrichting, het ontbreken van een buitenberm op of nabij de stil-waterlijn onder maatgevende omstandigheden en een tamelijk vlakke bekleding van het buitentalud (gras en basalt) is verwaarlozing van deze factoren gerechtvaardigd.

De golfhoogte op een bepaalde locatie is een vast gegeven, voor de eenvoud is deze in het navolgende op 1.0 m aangehouden. De formule voor de oploop in verticale zin wordt dan

$$z = 8 * tga.$$

Het horizontale ruimtebeslag (x) van het buitentalud kan worden weergegeven met de formule  $x = z / tga$ , gesubstitueerd wordt de volgende formule gevonden:

$$x = \frac{8 * tga}{tga} \quad \text{waaruit volgt :} \quad x = 8$$

Het blijkt dus dat de horizontale ruimte die het buitentalud in beslag neemt niet afhangt van de gekozen taludhelling. Een en ander wordt in volgend schema nogmaals duidelijk gemaakt.

| taludhelling | oploop(verticaal) | oploop(horizontaal) |
|--------------|-------------------|---------------------|
| 1 : 2.5      | 3.2 m             | 8.0 m               |
| 1 : 3.0      | 2.7 m             | 8.0 m               |
| 1 : 3.5      | 2.3 m             | 8.0 m               |
| 1 : 4.0      | 2.0 m             | 8.0 m               |

**oploop bij verschillende taludhellingen**

### 3.1.2. Tuimelkade ter plaatse van binnenzijde kruin.

Bij toepassing van een tuimelkade aan de binnenzijde dient de formule voor de golfoploop te worden uitgebreid met een factor tengevolge van de aanwezigheid van de buitenberm. Bij loodrechte inval van de golven is deze factor  $(1-B/L)$  waarin de bermbreedte B en de golflengte L kunnen worden ingevuld. Ten gevolge van de niet optimale hoogteligging van de berm zal de golfdemping niet maximaal zijn. Dit effect is echter gering. Daarom is hieraan in deze nota geen nadere aandacht besteed.

Bij een bermbreedte van 13.0 m en een golflengte van ongeveer 40 m wordt deze factor 0.66. Een golflengte van 40 m behoort bij een golf met een periode  $T = 5$  s onder diepwater condities.

### 3.2. Kruinhoogte.

Uit bovenstaande tabel volgt echter ook dat de hoogte van de tuimelkade in sterke mate afhangt van de gekozen helling van het buitentalud. Uitgaande van deze gegevens is het mogelijk om de kruinhoogte van de tuimelkade te minimaliseren. Bij plaatsing van de tuimelkade aan de binnenzijde van de dijk kan de benodigde hoeveelheid aan te brengen grond op deze wijze aanzienlijk worden beperkt. De uitbouw van het binnentalud kan immers worden verminderd. Dit scheelt afhankelijk van de taludhelling van het binnentalud 7 à 10 m<sup>3</sup> per strekkende meter dijk.

### 3.3. Helling binnentalud.

Indien met een traktor en een daar achter opgestelde maaimachine wordt gemaaid is een taludhelling van ongeveer 1:3 het maximaal haalbare. Indien echter met een maaikorf aan een arm wordt gemaaid kan een taludhelling van 1:2 eveneens worden onderhouden. Gezien de lengte van het binnentalud lijkt het dan echter wel noodzakelijk om het ter plaatse van de binnenteen geplande rijwielpad zodanig te dimensioneren dat het als onderhoudsweg ten behoeve van maaiwerkzaamheden kan worden aangevend. Bij een steiler talud zal het evenwel moeilijker zijn om maaisel te verwijderen waardoor de kosten zullen toenemen.

### 3.4. Kruinbreedte.

Bij het bepalen van de breedte van de kruin van de tuimelkade dient in de overweging te worden betrokken dat bij plaatsing aan de binnenzijde van de dijk geen inspectie van de waterkering mogelijk is onder extreme omstandigheden. Daarom is enige overdimensionering ter compensatie van



dit gemis gewenst. Bij zeedijken is een kruinbreedte van ongeveer 4.0 m gebruikelijk. Onder de hier aanwezige omstandigheden behoort een smallere kruin tot de mogelijkheden. Bij de dimensionering van de kruinbreedte dient wel rekening te worden gehouden met het al dan niet aanwezig zijn van een onderhoudsweg of aangepast fietspad.

### 3.5. Conclusies met betrekking tot het profiel.

Uitgaande van het voorgaande kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

#### **3.5.1. Ruimtebeslag.**

Het ruimtebeslag kan worden geminimaliseerd door de tuimelkade te voorzien van een flauwer buitentalud. De kruinhoogte kan daardoor worden beperkt.

#### **3.5.2. Stabiliteit en sterkte.**

Een taludhelling van 1 : 2 à 1 : 3 zal geen gevaar opleveren voor de stabiliteit van de waterkering wanneer overslag beperkt is tot zeer geringe hoeveelheden. Wel dient rekening te worden gehouden met zettingen en deformaties die kunnen optreden tengevolge van verzwaring van de dijk en uitbreiding van het binnentalud waarbij buiten de oorspronkelijke grondverbetering spanningen worden afgedragen. Als alternatief voor een hoge tuimelkade die de niet-verbeterde ondergrond belast kan worden gedacht aan een normale kruinverhoging waarbij een smallere kruin wordt gerealiseerd.

#### **3.5.3. Onderhoud.**

De wijze van onderhoud is afhankelijk van de taludhelling. Een steil talud is minder eenvoudig te maaien en ook het opruimen van het maaisel

is arbeidsintensiever. Op de kruin of aan de teen van de dijk is, zeker bij toepassing van een steil talud een onderhoudsweg noodzakelijk.

#### **3.5.4. Economische aspecten.**

Door verflauwing van het buitentalud kan de kruinhoogte van de tuimelkade worden beperkt en de hoeveelheid grondverzet worden teruggebracht. Door aanbrengen van een steil binnentalud kan eveneens de hoeveelheid grondverzet worden beperkt. Daartegenover staat dat het onderhoud van gras bij steile taluds minder eenvoudig is en dus kostenverhogend.

#### **4. Aanbrengen ophoging.**

##### **4.1. Toe te passen materialen.**

Bij de dijken, die destijds in het IJsselmeer zijn aangelegd, is in grote hoeveelheden keileem verwerkt. Deze keileem werd onder water gewonnen en kreeg grotendeels een bestemming onder water of onder grondwaterniveau. De keileem blijft dan gedurende de verwerking taai en erosiebestendig. Bij gebruik van keileem boven de freatische lijn of in een toplaag wijzigt het vochtgehalte regelmatig onder invloed van atmosferische omstandigheden. Daardoor vermindert de erosiebestendigheid van het materiaal aanzienlijk. Uitgedroogde keileem is zeer hard en verhindert het totstandkomen van een goede grasmat. Daarom is het beter een bekleding toe te passen van een goede, erosiebestendige klei. Voor de dikte van deze kleilaag wordt bij voorkeur 1.0 m of meer aangehouden. De aanwezige klei op het binnentalud en de kruin van de huidige dijk dient te worden verwijderd. Deze kan, na goedkeuring, naderhand weer als bekleding dienen. Het verwijderen dient met zorg plaats te vinden omdat anders vermenging met het onderliggende zand zal optreden waardoor de kwaliteit aanzienlijk kan verminderen. Goede controle op deze werkzaamheden is daarom zeer gewenst.

Bij toepassing van een hogere tuimelkade kan de kern uit zand of keileem worden opgebouwd. Indien keileem wordt verwerkt dient het vochtgehalte voldoende laag te zijn. Wanneer keileem met een hoger vochtgehalte wordt verwerkt dan het evenwichtsvochtgehalte dat het op de lange duur in de kade zal krijgen, zullen krimpscheuren in de keileem optreden die vele tientallen jaren aanwezig blijven.

#### 4.2. Aansluiting tussen tuimelkade en bestaand werk.

De aansluiting tussen de tuimelkade en het bestaande werk vindt plaats door het aanwezige zandlichaam te laten aansluiten op de eventueel aan te brengen kern van de tuimelkade en de klei van de bestaande kruin aan de afdekkende kleilaag van de tuimelkade. Uit de verstrekte tekeningen blijkt dat tussen de kruin van de huidige dijk en de toekomstige tuimelkade, die aan de binnenzijde is gesitueerd, een lager gelegen gedeelte aanwezig is. Het is denkbaar dat reeds onder normale omstandigheden zich hemelwater ter plaatse van deze verlaging zal verzamelen waardoor de groei van een goede grasmat zal worden verhinderd. Onder extreme omstandigheden zal deze verlaging vol water komen te staan. Dit is niet alleen nadelig voor de grasmat maar komt ook de standzekerheid van het binnentalud niet ten goede. Geadviseerd wordt om deze geul uit te vlakken tot de huidige kruinhoogte en de weg eenzijdig naar buiten afwaterend te maken.

#### 5. Alternatief voor tuimelkade.

Als alternatief voor een tuimelkade dient de mogelijkheid van het plaatsen van een keermuur of een verhoging met caissons te worden genoemd. Na de stormvloedramp in 1953 stond men in het algemeen huiverig tegenover het toepassen van een keermuurtje op een waterkering. Tijdens deze stormvloed werd een groot aantal muren echter niet slechts belast op golfaanval maar diende ook om de waterstand te keren. Hierdoor ontstond onderloopsheid tengevolge waarvan veel dijken met muren zijn bezweken. Uit een nader onderzoek dat in 1981 door de adviesdienst Vlissingen van de toenmalige directie Waterhuishouding en Waterbeweging

is uitgevoerd (nota WWKZ-81.V007) blijkt echter dat een waterkering met een muurtje dat dient om de golfoploop te keren, minstens de zelfde belasting kan weerstaan als een even hoge gewone dijk. Wel dient de nodige aandacht aan de overgang tussen het grondmassief en de muur te worden besteed om onderloopsheid te voorkomen. Als alternatief voor een muurtje kan worden gekozen voor plaatsing van caissons. Dit zijn beton-elementen zonder bodem die aan elkaar worden gekoppeld en met grond worden gevuld. Dergelijke constructies zullen in de onderhoudssfeer enige extra werkzaamheden vereisen. Naast de aandacht voor de overgang tussen de harde elementen en de bekleding van gras zal ook het maaien enigszins arbeidsintensiever zijn, waardoor de kosten van onderhoud wellicht zullen toenemen.