



Consequentie snelle daling waterpeil op waterkering

Een snelle daling van het waterpeil in een boezemsysteem kan ontstaan door een kadebreuk of door de inzet van een bergingsgebied. Bij de inzet van een bergingsgebied kunnen hierdoor mogelijk geotechnische problemen ontstaan. Doordat de hoge waterspanning in een verzadigde dijk, bij snelle daling van het waterpeil, niet gelijktijdig mee daalt, kan een afschuiving of uitspoeling van het buitentalud ontstaan.

1. INLEIDING
2. GERELATEERDE ONDERWERPEN EN DELTAFACTS
3. STRATEGIE MEERLAAGSVEILIGHEID
4. SCHEMATISCHE WEERGAVE
5. TECHNISCHE KENMERKEN
6. MAATREGELEN EN OPLOSSINGSRICHTINGEN
7. KOSTEN EN BATEN
8. PRAKTIJKERVERINGEN EN LOPEND ONDERZOEK
9. KENNISLEEMTES
10. BRONNEN & LINKS
11. ERVARINGEN
12. DISCLAIMER

1. Inleiding

De aanleiding om over dit onderwerp na te denken is de [dijkdoorbraak in Wilnis](#), die leidde tot een snelle daling van het boezempeil waardoor schade aan de buitentaluds van de boezemkaden ontstond. Het inzetten van een waterbergingsgebied zou kunnen leiden tot een vergelijkbare snelle daling van het boezempeil. Bij inzet van een bergingsgebied bestaat de mogelijkheid dat een afschuiving van het buitentalud of uitspoeling ontstaat door de snelle waterpeildaling, terwijl de hoge waterspanning

in de verzadigde dijk niet gelijktijdig mee daalt..

Overigens dient opgemerkt te worden dat het niet bekend is of dit probleem zich ook al werkelijk voorgedaan heeft bij de inzet van waterberging.

2. Gerelateerde onderwerpen en Deltafacts

Trefwoorden: bergingsgebied, normering boezemkades, waterberging, instabiliteit buitentalud, peildaling.

Deltafacts: [stabiliteit veenkades](#) (mede onder klimaatverandering).

3. Strategie meerlaagsveiligheid

Meerlaagsveiligheid is onder te verdelen in:

1. **Preventie,**
2. Ruimtelijke ordening,
3. Crisisbeheersing.

Dit onderwerp behoort tot preventie, waarbij het gaat om een ongewenst gevolg van een maatregel, namelijk instabiliteit en of schade bij inzet van een bergingsgebied.

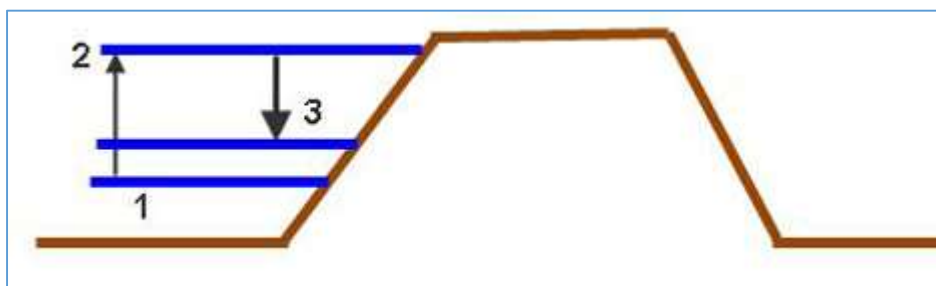
4. Schematische weergave

Snelle daling van waterpeil in een boezemsysteem kan ontstaan door:

- kadebreuk
- inzet bergingsgebied

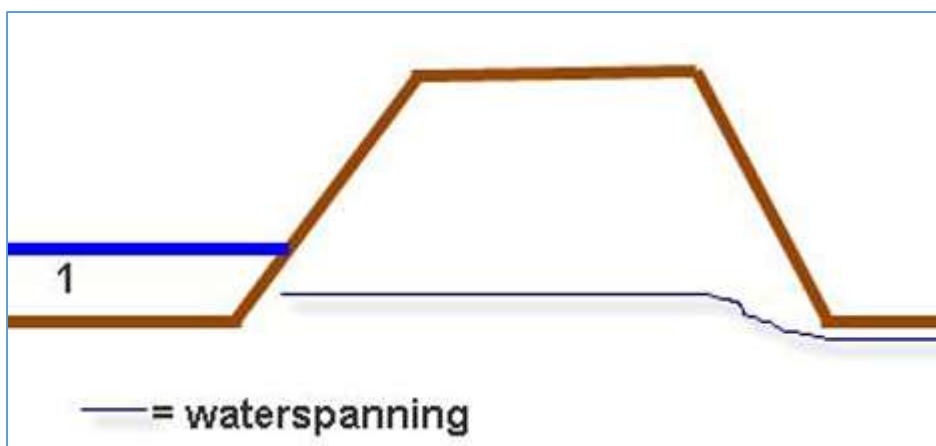
Bergingsgebieden worden ingezet in het boezemsysteem om ervoor te zorgen dat boezemkades voldoen aan de veiligheidsnormen. Ze worden gebruikt om een overmaat aan water in het boezemstelsel tijdelijk uit de boezem te halen en de lokale waterstand te verlagen. De inzet van een bergingsgebied is hiermee een gereguleerd systeem, waarbij waterberging wordt ingezet om het peil te handhaven. In plaats van het verhogen van een kering wordt gekozen om de waterstand in de boezem te verlagen en te bergen in het bergingsgebied. Het bergingsgebied is hierdoor een gebied in de ruimtelijke ordening gekenmerkt als landelijk gebied met een waterbergingsfunctie. In geval van een mogelijk effect van de snelle daling van het waterpeil op de waterkering, moet sprake zijn van een substantiële daling. Te

denken valt aan 0,5 m tot 1,0 m relatief snelle verlaging (interview met Meindert Van – Deltares). In de meeste gevallen zal dit effect bij inzet van een bergingsgebied bij een boezem niet optreden, omdat het vaak om een peildaling van niet meer dan 30 cm gaat (vergelijkbaar met een daling bij inzet van een boezemgemaal). Op de plek van de inlaat zal de daling wel groter kunnen zijn, echter hier wordt de inlaatconstructie op aangepast. Daarnaast zou het bergingsgebied zo ontworpen moeten zijn, dat een beheerste, gecontroleerde peildaling plaatsvindt. Dit wordt bepaald door de locatie van het bergingsgebied en de plek van inlaat in de boezem. Het ontwerp moet ervoor zorgen dat de stroomsnelheid niet te groot is. Dit in verband met mogelijke erosie van de bodem van de boezem. Een grote peildaling in de boezem is echter wel het geval bij een bres of doorbraak, in dat geval is echter geen sprake van een beheersmaatregel maar van een calamiteit. Onderstaand figuur geeft het verloop van het waterpeil weer voor 3 situaties.



1. Normaal boezempeil
2. Hoog boezempeil, door neerslag en bemaling polders
3. Verlaagd boezempeil door berging

Situatie 1: neutrale situatie (normaal boezempeil)



In situatie 1 is er een normaal peil met een lage waterspanning in de waterkering. De grondwaterstroming zoekt zijn weg naar het achterliggende polderpeil.

Situatie 2: hoog waterpeil

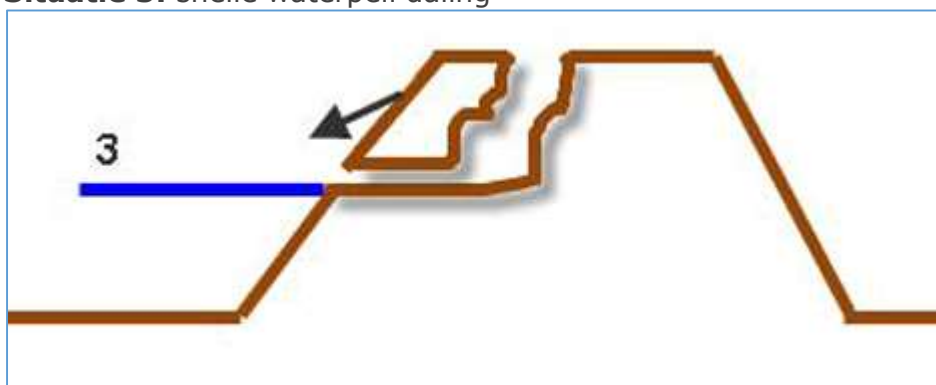


In situatie 2 is er een verhoogd boezempeil als gevolg van hevige regenval of verhoogde waterafvoer. De hoge waterstand zorgt voor een hogere waterspanning in de waterkering, waardoor het water de dijk verder infiltreert en de grondwaterstand hierdoor op een nog hoger niveau in de waterkering komt te liggen.

Een belangrijke factor is de doorlatendheid van de dijk, welke afhankelijk is van het type grondsoort en de staat waar deze in verkeert. In principe is klei het minst doorlatend, daarna veen en als laatste zand. Structuurvorming en scheuren in de dijk kunnen de doorlatendheid aanzienlijk in negatieve zin beïnvloeden.

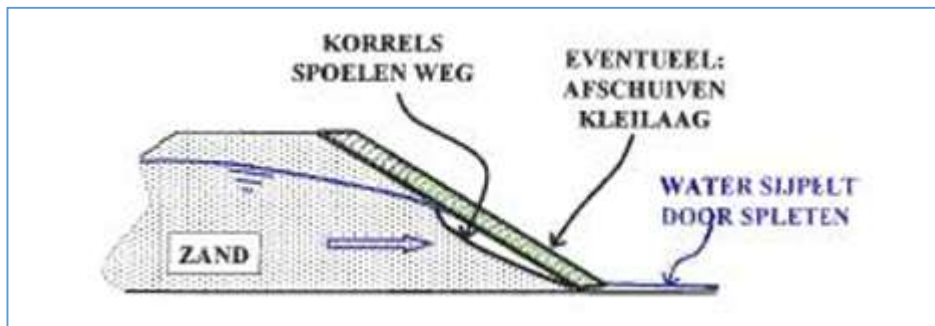
Het optreden van een afschuiving aan de buitenzijde (faalmechanisme) wordt tegen gegaan door de hoge boezemwaterstand. Wanneer deze (plotseling) wegvalt kan de stabiliteit kritiek worden (situatie 3). De precieze verzadiging van een dijk is 'dijkspecifiek', vanwege de complexiteit van de dijkopbouw.

Situatie 3: snelle waterpeil daling



In situatie 3 is er sprake van een snelle daling van het waterpeil, waarbij de tegenwerkende waterdruk voor de dijk wegvalt en het geïnfiltreerde water uit het dijklichaam kan stromen. Tegelijkertijd heeft het water gezorgd voor extra gewicht in de dijk. In combinatie met de waterspanning en het wegvallen van de tegenwerkende waterdruk kan dit zorgen voor verschillende faalmechanismen:

- buitenwaartse instabiliteit; grote neerwaartse verschuiving van een moot grond doordat een glijvlak in het (buiten)talud ontstaat (situatie in afbeelding 3)
- micro-instabiliteit; kleine deeltjes brokkelen af door uitspoeling van grondwater. Problemen met betrekking tot de micro-instabiliteit kunnen zowel optreden bij het binnentalud als het buitentalud.



Bron: figuur 1.3 uit de Groot (2008)

- Erosie van de dijkskern zodra deze door een afschuiving of deformaties bloot komt te liggen. Dit zal met name het geval zijn bij zandig dijksmateriaal.

Leidend voor situatie 3 zijn de volgende twee parameters:

- Doorlatendheid van de grondsoort van de dijk in verband met effect op hoogte waterspanning en snelheid verzadiging van de waterkering. Structuurvorming en scheuren kunnen de doorlatendheid aanzienlijk beïnvloeden.
- Sterkte van de grond in verband met effect op de grondafschuiving.

5. Technische kenmerken

Het effect van een snelle daling van het waterpeil kan worden beredeneerd aan de hand van onderstaande formule:

$$\tau = c + \sigma' \cdot \tan\varphi$$

Met:

τ = schuifspanning

c = cohesie (plakkracht)

σ' = effectieve of korrelspanning (= grondspanning – waterspanning)

φ = hoek van inwendige wrijving

De sterkte wordt uitgedrukt door de schuifspanning. De schuifspanning (sterkte) neemt af als het waterpeil stijgt, immers neemt dan de effectieve spanning af omdat de waterspanning toeneemt. Dit wordt in eerste instantie nog gecompenseerd omdat het hoge water voor de dijk, de dijk voldoende tegendruk biedt. Als het waterpeil snel zakt, valt de steun- of tegendruk van het water weg, terwijl de dijk nog een lagere sterkte heeft. Hierdoor kan een afschuiving ontstaan.

De hoeveelheid peildaling, de snelheid en de consequenties daarvan op de stabiliteit van de dijk hangen voornamelijk af van:

- hydraulische ruwheid talud en watersysteem
- oppervlakte van het boezemsysteem
- steilheid talud en vooroever
- aanwezigheid beschoeiing en kwaliteit hiervan
- materiaal opbouw dijk (type/soort dijkmateriaal, taludbekleding, structuur, scheuren e.d.)
- diepte boezem.

Het bereiken van een kritiek moment is hierdoor locatie afhankelijk.

Hoewel een eventuele afschuiving zal zorgen voor reparatiekosten, zal de veiligheid niet snel in het geding komen, behalve bij bebouwing in het oeverland. Er vindt waarschijnlijk geen directe inundatie van het achterland plaats bij de lage waterstand. Een gevaar vormt het opnieuw stijgen van water, aangezien de dijk dan nog verzadigd is of nog niet gerepareerd is. In deze situatie zou inundatie kunnen optreden.

Een vergelijkbaar mechanisme van falen als gevolg van een snelle peildaling is bekend in geval van irrigatiegebieden waar slootoevers inzakken na het stoppen van de wateraanvoer. Ook de waterdaling in een sluiskolk kan leiden tot eenzelfde mechanisme.

6. Maatregelen en oplossingsrichtingen

In een situatie, waarbij sprake kan zijn van eerst een hoog peil met vervolgens een

snelle peildaling kan gedacht worden aan een aantal maatregelen en oplossingsrichtingen:

- Compartimenteren van het boezemsysteem (in geval van een kadebreuk).
- De snelheid van het dalen van het waterpeil beperken door de aansturing van de kunstwerken of door keuze van de locatie (bijvoorbeeld in de buurt van een meer, in het geval van de inzet van een waterbergingsgebied).
- Bij dijkversterking rekening houden met een snelle daling en daarop de stabiliteit van het buitentalud dimensioneren. Dit kan bijvoorbeeld door middel van het preventief aanleggen van een extra steunberm of een constructie, om te voorkomen dat de dijk afschuift.
- Een dikke laag klei aanleggen op de dijk om de doorlatendheid te beperken.

Bij hoog water de scheepsvaart stil leggen in verband met de golven en trillingen (extra belasting). Dit zelfde kan gelden voor vrachtwagens. Als een dijk verzadigd is kan het gewicht en de trillingen veroorzaakt door een vrachtwagen voor een extra risico op afschuiving zorgen. In geval van snelle daling, zou de weg over de dijk voor vrachtverkeer kunnen worden afgesloten.

7. Kosten en baten

Kosten worden veroorzaakt door reparatie van de afschuiving, schade als gevolg van de kadebreuk en/of benodigde mitigerende maatregelen. Er kan mogelijk ook schade aan afgemeerde (woon)boten ontstaan, of aan andere aanwezige objecten ter plaatse van het buitentalud c.q. de vooroever.

8. Praktijkervaring en lopend onderzoek

In 2011 liep er een onderzoek bij waterschap Hunze en Aa's, zie [ervaringen](#)

In 2015 is de Leidraad regionale keringen geactualiseerd. Hierbij is ook gekeken naar de buitenwaartse stabiliteit en de belastingsscenario's die hierbij worden genoemd.

Deze zijn opgenomen in de Leidraad. De leidraad is te vinden onder [deze link](#).

9. Kennisleemtes

De eerste en belangrijkste kennisleemte is dat het niet bekend is of dit probleem zich voordoet en onder welke omstandigheden.

Met name ten aanzien van waterspanningsontwikkelingen bij dijken onder maatgevende omstandigheden, maar ook beïnvloeding door scheurvorming,

waardoor mogelijk ook waterspanningstoename en afname van sterkte, is relatief nog weinig bekend.

Het overstromingsrisico wordt algemeen bepaald als het product van de kans op een gebeurtenis en gevolg van die gebeurtenis. Hoe erg is in dit licht een afschuiving na snelle peildaling? Er zal sprake zijn van kosten voor herstelwerkzaamheden, maar waarschijnlijk geen inundatie. Er zal namelijk pas sprake zijn van een overstroming als snelle waterdaling en –stijging in een hoge frequentie elkaar opvolgen. De kans hierop is echter niet bekend en zou aanleiding kunnen vormen voor verder onderzoek.

Stabiliteitsproblemen bij snelle daling komen weinig voor, vooral in onderzoekswereld wordt verwacht dat problemen kunnen ontstaan. Het uitgangspunt is dat binnenwaartse instabiliteit gelijk is aan buitenwaartse instabiliteit, waardoor dezelfde sommen worden gebruikt. Dit is echter niet verder onderbouwd.

Bij de afschuiving van de veenkade van Wilnis is na de grote afschuiving ook in de boezem op diverse plaatsen een buitenwaartse afschuiving geweest door de snelle peildaling in de boezem (orde 1 meter verlaging), maar dit is verder niet onderzocht. Wel is hierdoor ook schade ontstaan aan afgemeerde (woon)boten.

Bij de calamiteit begin 2000 bij de schutsluis in Delfzijl (Farmsum) is het peil in het Eemskanaal zeer sterk gedaald in enkele uren. Nabij de sluis zal dit circa 1 tot 2 meter zijn geweest. Nergens zijn de dijken langs het Eemskanaal afgeschoven of is er toen andere schade aan de dijken opgetreden.

10. Bronnen & links

- Groot, M. B. de (ed.) (2008). Micro-stabiliteit binnentalud zanddijk. Deltares Rapportage in opdracht van Delft Cluster (CO-418020-0009 maart 2008).
- Ministerie van Infrastructuur en milieu, Rijkswaterstaat: Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017; [Wettelijk BeoordelingsInstrumentarium 2017](#) (WBI2017)
- Rijkswaterstaat, Water, Verkeer en Leefomgeving (WVL): Handreiking ontwerpen met overstromingskansen; [Ontwerp Instrumentarium 2014](#) (OI2014v4 d.d. februari 2017).

- STOWA, Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeingen; d.d. 28-05-2015 ([Stowa LTV Regionale Waterkeingen](#))

Gezien het algemene karakter van deze Deltafact is het met name gebaseerd op de kennis van de experts; voor specifieke literatuur vragen kunt u zich tot hen wenden.

Deze Deltafact is opgesteld door Deltares, 22 december 2011 en laatst geactualiseerd in januari 2019.

Auteurs

- C. Zwanenburg (Deltares)
- H.J. de Bruijn (Deltares)
- L. van Vliet

De Deltafact is mede gebaseerd op externe interviews met:

- F. van Kruiningen (Hoogheemraadschap Delfland)
- H. van der Leij (Waterschap Hunze en Aa's)

11. Ervaringen

Lessons Learned van de hoogwatersituatie in 1998 m.b.t. inzet bergingsgebied

Interview op 22 november 2011 met dhr. H. van der Leij van Waterschap Hunze en Aa's.

In 1998 zijn er verschillende bergingsgebieden ingezet om het hoge water te accommoderen. Zo zijn o.a. de Omer en Oostpolder vol gezet.

De volgende positieve effecten van het inzetten van het bergingsgebied zijn ervaren:

- relatief weinig bodemschade
- een aantal dijken langs het Drents diep waren destijds vrij laag, waardoor het water er al eerder overheen liep en het boezempeil elders minder snel steeg.

Een negatief effect kan de uitspoeling van de kanaalbodem zijn en de schade in de polder. In 1998 is in de Tussenklappolder, door uitspoeling van de bodem, bijna de dijk tegenover de bres ingezakt. De bodem was volledig weggesleten en de teen van de dijk aan de overkant was ook bijna weggeschuurd. Om deze reden is de



Foto Tussenklappolder ' 98

Tussenklappenpolder (Groningen, Zuidbroek) bij de nieuwe aanwijzing niet meer opgenomen als bergingsgebied.

Aangebrachte voorziening met de inzichten uit 1998:

- Opening in de dijk om een gebied versneld onder te kunnen laten lopen.
- Om kwetsbare objecten in het bergingsgebied zijn dijken met coupure geplaatst.
- Er is een model voor waterstandsvoorspelling van de boezem gemaakt
- Volgorde in inzet bergingsgebied aangebracht. Het blijkt van groot belang dat de bergingsgebieden in een goede volgorde worden ingezet, waarbij de richting van het hoge water bepalend is.
- Kwelschermen plaatsen en plaatselijke versterkingen in grond.
- Overstortdrempels en bekleding van de dijk en de kanaalbodem om uitspoeling aan kanaal- en polderkant in de bodem te voorkomen.

Binnen het waterschap wordt onderzoek gedaan met een computermodel (Finite Element Analysis (FEA)) dat faalmechanismes rondom retentiegebieden in kaart brengt. Door het snel terugtrekkende water kan in bepaalde grondsoorten en onder bepaalde omstandigheden een negatieve poriën-waterdruk ontstaan waardoor de kans op het afschuiven van het talud groter wordt. Met FEA wordt het verloop van dit proces in kaart gebracht. Uit de eerste analyse komt naar voren dat het

bergingsgebied Winschoten te maken kan krijgen met afschuiving bij een snelle daling van het waterpeil in de boezem.

Workshop Effect uitzakken peil op waterkering, januari 2018

IMPRES (Improving predictions and management of hydraulic extremes) workshop

Op 25 januari 2018 heeft een workshop met experts plaats gevonden waarin gediscussieerd en geanalyseerd is wat de effecten kunnen zijn van droogte en uitzakking (verlaging) van het waterpeil en de freatische lijn op de veiligheid van waterkeringen. De belangrijkste conclusies waren:

- Het 'uitzakken' van de freatische lijn kan een negatief effect hebben op de veiligheid van waterkeringen (uitdroging, krimp, scheurvorming e.d.). Dit hoeft echter a priori niet altijd te leiden tot een achteruitgang van de stabiliteit van de waterkering. Vaak kan er ook geen directe relatie gelegd worden met (daling van) het boezempeil.
- Een snelle toename van een peilverhoging (na langdurige peilverlaging) kan wel een veiligheidsrisico vormen, met name voor de binnenwaartse stabiliteit.
- Anderzijds kan een snelle peilverlaging een veiligheidsrisico vormen voor de buitenwaartse stabiliteit.
- Op basis van de workshop en berekeningen is de conclusie, dat de veiligheidseffecten bij uitzakken van het boezempeil met 0,25 m klein zijn. Verlaging in de orde van 0,25-0,50 m is echter niet zomaar overall toepasbaar en kan veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Het risico van (onomkeerbare) effecten door een dergelijke verlaging moet goed worden ingeschat. Naast waterveiligheid kunnen ook andere aspecten een belangrijke rol spelen.

12. Disclaimer

De in deze publicatie gepresenteerde kennis en diagnosemethoden zijn gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteur(s) en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit deze publicatie.