

# Onderzoek naar hydraulische kortsluiting bij boezemkaden

In het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier voldoet circa 30 van de 300 kilometer boezemkaden niet op het faalmechanisme piping. Vanwege twijfel aan dit toetsresultaat en omdat een versterking kostbare ingrepen vereist, is nader onderzoek uitgevoerd naar het ontstaan en de gevolgen van hydraulische kortsluiting tussen de boezem en eventuele watervoerende zandlagen.

ING. L. KWAKMAN / ING. M. DOEKE DAM /  
IR. H. VAN HEMERT

Het faalmechanisme piping is een bekend fenomeen bij veel dijken in met name het bovenrivierengebied. De huidige regels voor het toetsen van piping zijn ontwikkeld voor de beoordeling van de primaire keringen in het rivierengebied. Deze regels worden nu ook toegepast voor de beoordeling van boezemkaden. De geohydrologische situatie bij boezemkaden is echter onvergelykbaar met die in het rivierengebied. Het één-op-één toepassen van deze toetsregels kan daarom tot een te conservatief oordeel leiden.

## Boezemkaden versus rivierdijken

Bij het merendeel van de boezemkaden in het beheergebied van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) is normaliter geen sprake van hydraulische kortsluiting (direct contact tussen de boezem en de watervoerende zandlagen). Tussen de boezembodem en watervoerende zandlagen is een slecht waterdoorla-



Weggraven van de boezembodem in de Rekerpolder om hydraulische kortsluiting te creëren voor het onderzoek.

tend klei- en veenpakket aanwezig. Hierdoor is de infiltratie vanuit de boezem zeer beperkt. De stijghoogte en grondwaterstroming in de watervoerende zandlagen worden slechts beperkt beïnvloed door de waterstand in de boezem. In deze situatie kan geen piping optreden. Bij een beperkte dikte van de slecht waterdoorlatende lagen (kleilaag < 2 meter) schrijft de leidraad echter voor wel rekening te houden met de aanwezigheid van een intredepunt (punt waar het buitenwater tot de watervoerende zandlaag toetreedt door het verval over de waterkering) vanwege hydraulische kortsluiting.

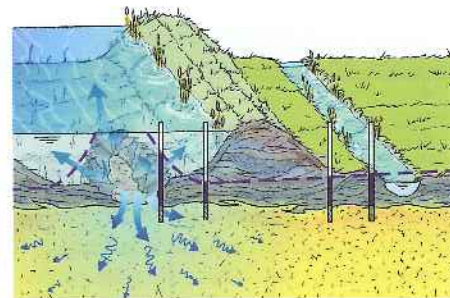
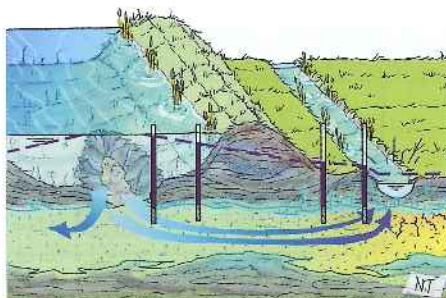
Bij rivierdijken bevindt de rivierbodem zich over het algemeen in de (pleistocene) zand- ondergrond. Hierdoor is sprake van hydraulische kortsluiting tussen het rivier- en grondwater over een groot oppervlak, waardoor ook over een groot oppervlak water kan infiltreren. Bij een hoge rivierwaterstand neemt daardoor de stijghoogte in de watervoerende zandlagen sterk toe, vaak tot op grote afstand van de rivier. Als de waterstand te veel stijgt, kan het maaiveld achter de dijk opdrijven of opbarsten, met het

ontstaan van wellen als gevolg. De stroming van grondwater concentreert zich vervolgens in de richting van de wellen. Als de stroomsnelheid in de wel voldoende hoog is, kan zand worden meegevoerd, met mogelijk piping als gevolg. Bij rivierdijken is dus sprake van een groot infiltrerend oppervlak met een zich concentrerende kwelstroom richting de wel.

In tegenstelling tot rivierdijken is hydraulische kortsluiting bij boezemkaden meestal een lokaal verschijnsel. Het effect is bovendien tijdelijk: door verstopping met fijne deeltjes uit het boezemwater neemt de invloed van een eventuele kortsluiting snel af (zie case Rekerpolder). De hoeveelheid water die kan infiltreren is daardoor beperkt. Het water dat lokaal infiltrert door de boezembodem, kan vervolgens alle kanten op, waardoor alleen in de directe nabijheid van de kortsluiting sprake is van een stijghoogte toename. Het gaat hier dus om een divergerende kwelstroom. Hierbij geldt: hoe groter de transmissiviteit van het zandpakket (kD-waarde m<sup>2</sup>/dag), des te sneller de invloed van de hydraulische kortsluiting op de stijghoogte afneemt en daarmee ook het risico op piping. Als immers bij het uitredepunt (de locatie waar als eerste opbarsten optreedt door een toename van de stijghoogte, meestal de teensloot) nauwelijks sprake

## IN 'T KORT - ONDERZOEK

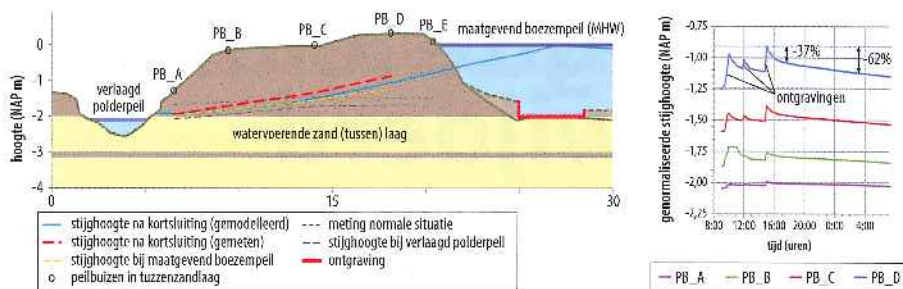
- Regels voor toetsen van piping ontwikkeld voor primaire keringen in rivierengebied
- Geohydrologische situatie boezemkaden onvergelykbaar met rivierengebied
- Modelonderzoek en praktijkproeven naar lokaal optredende hydraulische kortsluiting
- Invloed lokale hydraulische kortsluiting in huidige adviespraktijk vaak overschat



## HYDRAULISCHE KORTSLUITING

Invloed van hydraulische kortsluiting in twee situaties: bij een dunne tussenzandlaag (links, situatie in Rekerpolder) en een dik watervoerend pakket (polder Heerhugowaard).





## REKERPOLDER

Meetresultaten voor de Rekerpolder; links het dwarsprofiel met gemodelleerd en gemeten stijghoogteverloop, rechts het verloop van de stijghoogtes in de tijd (afname door verstopping met fijne deeltjes uit het boezemwater).

is van een toename van de gradiënt, zal geen zandmeevoerende wel ontstaan; als bij die stijghoogte überhaupt nog een risico bestaat op opbarsten.

## Onderzoek

Het Hoogheemraadschap heeft op twee locaties modelonderzoeken en praktijkproeven uitgevoerd naar de invloed van een lokaal optredende hydraulische kortsluiting. Beide locaties worden op basis van de reguliere toetsregels afgekeurd op piping.

Het eerste onderzoek betreft de case boezemkade Rekerpolder. Op deze locatie is een relatief dunne watervoerende zandlaag aanwezig (lage  $kD$ -waarde, dus een laag divergerend effect) en een dijksloot die direct in contact staat met de zandlaag. Deze locatie is daarom in potentie pipinggevoelig als er hydraulische kortsluiting ontstaat.

Het tweede onderzoek betreft de case boezemkade polder Heerhugowaard. Op deze locatie is een dik watervoerend zandpakket aanwezig (hoge  $kD$ -waarde, dus hoog divergerend effect) en een dijksloot waar gemakkelijk opbarsten kan optreden. Vanwege de combinatie van een hoog divergerend effect en een grote afstand van de teensloot tot de kortsluiting is deze locatie weinig pipinggevoelig.

## Rekerpolder

Om een maatgevende belastingsituatie te simuleren, zijn drie handelingen uitgevoerd: het verlagen van het polderpeil in de dijksloot met circa 0,5 meter; het verhogen van het boezempeil met circa 0,5 meter (de eerste twee handelingen resulteerden in een peilverschil van 2,1 meter); en het weggraven van de boezembodem over 15 tot 20  $m^2$  in drie stappen om hydraulische kortsluiting te creëren.

Op deze locatie is een dunne watervoerende zandlaag aanwezig met een relatief lage  $kD$ -waarde. Op alle drie de handelingen is zowel een sterke respons gemeten als berekend (met een 3D hydrologisch model opgebouwd in Groundwater Vistas). Hieruit blijkt dat oorspronkelijk (meting normale situatie) sprake was van een beperkte gradiënt in de watervoerende zandlaag onder de kade (1:55).

Onder de meest extreme belasting neemt de gradiënt toe en ontstaat (nagenoeg) een lineair

verloop tussen het boezempeil en het polderpeil in de zandlaag onder de kade. Bij deze bodemopbouw heeft de hydraulische kortsluiting een grote invloed op de stijghoogte.

Uit de metingen blijkt ook dat de invloed van de hydraulische kortsluiting al weer snel afneemt. Na twee uur is de invloed met 37 procent afgenomen vergeleken met de eerste ontgraving, na circa 24 tot 30 uur (berekend op basis van extrapolatie) is het effect van de ontgraving weer tenietgedaan. Dit is waarschijnlijk het gevolg van inzijging van fijne deeltjes in de boezembodem, waardoor de hydraulische weerstand snel toeneemt en na circa één dag weer grotendeels is hersteld.

Gedurende de uitvoering van de proef zijn geen wellen waargenomen. De hydraulische kortsluiting resulteerde hier alleen tot meer kwel in de dijksloot. Wat bij deze bodemopbouw het risico op piping nog verder verkleint, is de uitstroom van grondwater over het gehele oppervlak van de dijksloot. Hierdoor is geen sprake van een zich concentrerende kwelstroom naar een lokaal uittredepunt (zie kader 'Grondwaterstroming').

## Polder Heerhugowaard

Bij de boezemkade van de polder Heerhugowaard is, om een zo extreem mogelijke belastingsituatie te simuleren, het polderpeil in de dijksloot verlaagd met circa 0,5 meter (dit resulteerde in een peilverschil van 3,3 meter) en daarna is de boezembodem over 10 tot 15  $m^2$  weggegraven om hydraulische kortsluiting te creëren.

Op deze locatie is een dikke watervoerende zandlaag aanwezig met een relatief hoge  $kD$ -waarde. Op het verlagen van het polderpeil met 0,5 meter is een relatief hoge respons gemeten van circa 150 millimeter. Dit is logisch, aangezien de peilverlaging over een relatief groot oppervlak is gerealiseerd. Op het weggraven van de boezembodem is nauwelijks een respons gemeten en berekend: 30 millimeter ter hoogte van de binnenberm. Deze locatie is daarmee in beperkte mate gevoelig voor hydraulische kortsluiting. In de beschouwde situatie kan geen piping ontstaan. Zowel in de initiële situatie als na het creëren van de kortsluiting is immers nauwelijks sprake van een gradiënt ter hoogte van de dijksloot.

## GRONDWATERSTROMING

De proeven geven de indruk dat de (lokale) gradiënt bij het uittredepunt van grote invloed is op de vorming van een zandmeevoerende wel. Deze gradiënt wordt onder andere beïnvloed door de aard van het uittredepunt:

- een teensloot die insnijdt in de zand-ondergrond: tweedimensionale uitstroming, relatief lage stroomsnelheden;
  - een wel bij lokaal opbarsten van de slootbodem: driedimensionale uitstroming, relatief hoge stroomsnelheden.
- Onder vergelijkbare omstandigheden is bij driedimensionale uitstroming sprake van een hogere gradiënt bij het uittredepunt, waardoor een grotere kans bestaat op uitspoeling van zand.

## Bevindingen

De invloed van een lokale hydraulische kortsluiting op de stijghoogte in de watervoerende zandlagen wordt in de huidige adviespraktijk volgens de vigerende Stowa-richtlijnen veelal overschat. Dit kan leiden tot een overschatting van het gevaar voor piping. Daarnaast resulteert het in een te conservatief oordeel over de binnenwaartse macrostabiliteit. Uit de proef- en modelresultaten wordt geconcludeerd dat op locaties met een dik watervoerend zandpakket het optreden van een lokale hydraulische kortsluiting nauwelijks invloed heeft op de stijghoogte. Het effect van een lokale kortsluiting is bovendien tijdelijk; door verstopping met fijne deeltjes uit het boezemwater neemt de invloed weer snel af.

Risicosituaties blijven waarschijnlijk beperkt tot locaties met relatief dunne watervoerende zand(tussen)lagen of de aanwezigheid van dunne klei- of leemlaagjes boven in het watervoerende zandpakket, en tot locaties waar hydraulische kortsluiting kan optreden over een groot oppervlak.

Met een hydrologisch 3D-model is het mogelijk een goede voorspelling te doen van de invloed van een (lokale) hydraulische kortsluiting.

Om de onderzoeksresultaten breder toepasbaar te maken, worden verdere modelstudies en veldonderzoeken uitgevoerd. Dit onderzoek richt zich onder andere op de invloed van hydraulische kortsluiting op de stijghoogte en gradiënt in de zandondergrond onder de kering, zowel voor de grootte van het oppervlak en de duur waarover kortsluiting optreedt als voor diverse andere configuraties van de bodemopbouw. Algemeen gaat de aandacht uit naar de schematisering van geohydrologische uitgangspunten bij de beschouwing van het faalmechanisme piping.

*Leo Kwakman is werkzaam bij Arcadis en Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK), Marten Doeke Dam bij HHNK en Henk van Hemert bij Stowa en HHNK.*