

# Met faalkansbomen waterkeringen beoordelen

**De Waterwet schrijft voor dat stelselmatige beoordeling van waterkeringen nodig is om te beoordelen of ze aan de norm voldoen. Hiervoor is een keur aan instrumenten ontwikkeld, die meer of minder ingewikkeld zijn. Met de faalkansbomen-aanpak kan een verrassend simpele aanpak ontstaan.**

De eisen voor de primaire keringen zijn opgenomen in de Waterwet, in de vorm van maximaal toelaatbare jaarlijkse overstromingskansen. De waterkeringbeheerder moet aantonen dat de overstromingskans van de kering kleiner is dan deze overstromingskans. De jaarlijkse kansen variëren van 1/100 tot zelfs 1/1.000.000. Om de overstromingskans te bepalen, is het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI) ontwikkeld. Dit instrumentarium biedt echter niet voor alle situaties een uitkomst. Dit geldt met name voor complexere vraagstukken waarbij meerdere elementen in een waterkering gezamenlijk de veiligheid borgen. Denk daarbij aan een voorland met damwand inclusief en een achterliggende gronddijk. Door het ontbreken van instrumentarium kan het voorkomen dat de damwanden en/of voorlanden niet of onvolledig worden meegenomen in de bepaling van de overstromingskans. Dit leidt tot een te conservatieve situatie en mogelijk tot onnodige afkeuringen.

## IN 'T KORT - Faalkansbomen

De eisen voor de primaire keringen zijn opgenomen in de Waterwet

Om de overstromingskans te bepalen, is het WBI ontwikkeld

Met de nieuwe waterveiligheidsnormen is een nieuwe aanpak geïntroduceerd

Met de faalkansbomenaanpak kan een verrassend simpele aanpak ontstaan



Overzicht voorland; het voorbeeld van de Maasboulevard. (Bron: Beeldbank RWS)

Een oplossing binnen de zogenaamde Toets op Maat van het WBI kan zijn om complexe rekenmodellen te gebruiken, maar dit is arbeidsintensief. En in veel van deze situaties volstaat ook een eenvoudige aanpak: de faalkansbomen-aanpak. Om deze aanpak goed te kunnen begrijpen, introduceren we allereerst enkele basistechnieken uit de risico-analyse, namelijk fouten- en gebeurtenisbomen en gebruik van expertmeningen. Daarna toont een voorbeeld hoe de aanpak in de praktijk werkt.

## Nieuwe aanpak

Met de nieuwe waterveiligheidsnormen in de Waterwet in 2017 is een nieuwe aanpak geïntroduceerd voor het beoordelen van primaire waterkeringen: niet meer de overbelastingaanpak (waarin de waterkering de 'maatgevende' waterstand plus golven aantoonbaar veilig moet keren) maar de overstromingskansbenadering (waarin een zo goed mogelijke inschatting van de overstromingskans wordt gemaakt). De strenge normen in de Waterwet zijn erop gericht om een catastrofale overstroming te voorkomen; dat is een overstroming met dodelijke slachtoffers en substantiële economische schade.

## Twee soorten bomen

Waterkeringen kunnen echter op meerdere manieren falen, dit worden de faalmechanismen genoemd. In het WBI zijn directe mechanismen beschreven die direct tot overstroming kunnen leiden (zoals Gras Erosie Kruin Binnentalud (GEKB), piping en macrostabiliteit), en indirecte mechanismen zoals bijvoorbeeld het afschuiven van het voorland of zettingsvloeiing. De verschillende faalmechanismen kunnen heel goed in een foutenboom worden weergegeven, waarbij in de huidige praktijk het begin van falen wordt gemodelleerd, en allerlei vervolprocessen buiten beschouwing worden gelaten. In een gebeurtenisboom worden de verschillende onderdelen van de aanwezige waterkering meegenomen die achtereenvolgens moeten falen voordat een overstroming kan plaatsvinden.

## Verhaal van de dijk

De huidige aanpak in Nederland wordt gedomineerd door een modelmatige aanpak: alles waar geen model voor beschikbaar is, wordt niet meegenomen. Recent is naar voren gebracht (zie bijvoorbeeld het artikel in Land en Water van december 2017: Eén Amerikaanse dijk, drie methoden voor beoordeling) dat

het ook anders kan: "Een belangrijk verschil is dat de Amerikanen de focus minder op software leggen, maar veel meer op 'het gesprek' en expert judgment. Zij beoordelen met behulp van het uitwerken van gebeurtenissenbomen, aangevuld met sommen en rekenmodules."

Met andere woorden: het gaat niet alleen om iets rekenkundig aan te tonen, maar ook om het verhaal van de dijk: op welke manier kan falen optreden, en welke factoren hebben hierop invloed? En als er geen software voorhanden is, kan via een expertinschatting de meest aannemelijke getalswaarden worden verkregen.

## Kennisonzekerheid

Belangrijk element in de nieuwe aanpak is dat naast de 'natuurlijke onzekerheid' (elk jaar is de belasting op de waterkering anders) ook de 'kennis onzekerheid' is opgenomen. Denk bijvoorbeeld aan de ondergrond van een waterkering: hiervoor worden scenario's van aannemelijke ondergronden gemaakt die elk een kans van voorkomen krijgen. Deze aanpak betekent ook dat de oude eis van aantoonbaarheid verandert in aannemelijkheid: het moet aannemelijk worden gemaakt dat de waterkering voldoet aan de gestelde veiligheidseisen.

De verantwoordelijkheid ligt hiervoor bij de beheerder van de waterkering, en dit kan ook zonder dat er een protocol van het Rijk aanwezig is.

## Voorbeeld Maasboulevard

Het voorbeeld heeft betrekking op de Maasboulevard in Rotterdam, liggend langs de Maas in dijkkring 14 (traject 14\_2 met een signaleringsnorm van 1/100.000 per jaar). Langs de Maasboulevard is op verschillende locaties voorland aanwezig. Het voorland wordt aan de waterzijde beschermd door een



Aanzicht damwand.

damwand die ook gebruikt wordt als afmeer-voorziening. Deze damwand is in beheer bij de havenbedrijf. Buiten de bebouwing is over het hele voorland verharding aanwezig (klinkers en asfalt). Het voorland bestaat onder andere uit zand en puin, hieronder is klei aanwezig.

In de eenvoudige beoordeling voor de voorlandsporen (golffafslag, afschuiving en zettingsvloeiing) is het niet mogelijk de faalkans als verwaarloosbaar te definiëren omdat de damwand in deze sporen niet wordt meegenomen. Daarom wordt bij de bepaling van de faalkans van de kering ook rekening gehouden met de kans dat het voorland niet aanwezig is.

Voor de analyse kunnen zowel foutenbomen als gebeurtenisbomen worden gebruikt. We maken hier gebruik van een foutenboom omdat daarmee eenvoudig verschillende faalpaden meegenomen kunnen worden, in dit geval golffafslag, afschuiving van het voorland en zettingsvloeiing.

In de faalkansboom is de faalkans bepaald voor het faalmechanisme Gras Erosie Kruin Binnentalud (GEKB). De overige faalmechanismen kunnen op vergelijkbare wijze worden beoordeeld.

De topgebeurtenis in de foutenboom is het falen van de waterkering door GEKB. De kans

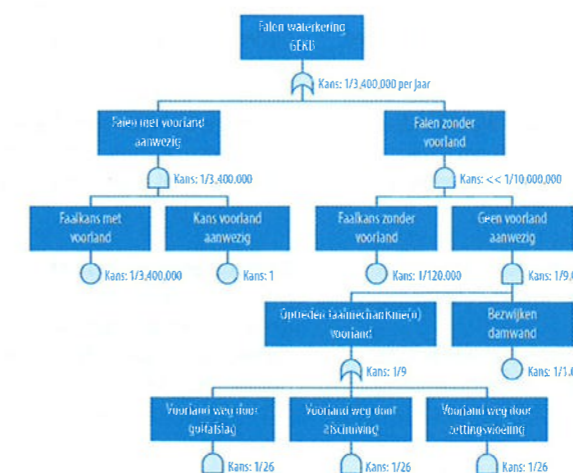
die hier wordt berekend, is de kans dat de waterkering faalt als gevolg van erosie van de grasbekleding op de kruin en het binnentalud. Dit gebeurt door golfoverslag of overloop. Voorland heeft een reducerend effect op golffoogte en daarmee op de faalkans. Waar voorland aanwezig is, moet dit effect in rekening worden gebracht. Omdat er ook een kans bestaat dat het voorland onder normatieve omstandigheden niet meer aanwezig is, dient ook het scenario zonder voorland te worden meegenomen. In de figuur zijn verschillende gebeurtenissen gedefinieerd, en zijn de kansen ingeschat via expert judgment en een faalkansberekening van de situatie met en zonder voorland met het WBI instrumentarium. Bij een aantal knopen is de kans lastig te bepalen, en is een conservatieve keuze gemaakt. In de foutenboom is te zien dat er kansen zijn gehanteerd van 1, en dat bijvoorbeeld voor herstelwerkzaamheden een hele week is ingeschat, waardoor de kans op falen tijdens het winterseizoen van 26 weken ingeschat is op 1/26.

Met eenvoudige en conservatieve aannamen kan hier worden aangetoond dat de waterkering voor GEKB hier aan de norm voldoet en wordt een uitgebreide analyse van de damwand en de bekleding van het voorland uitgespaard.

## Reststerkte

De gehanteerde aanpak zoals in dit artikel beschreven kan ook voor vele andere waterkeringen worden toegepast, bijvoorbeeld voor het inschatten van reststerkte van de waterkering, dat is de sterkte van de kering nadat het begin van falen (bijvoorbeeld falen van bekleding) is opgetreden. Deze aanpak past uitstekend in de nieuwe aanpak voor het beperken van overstromingsrisico's.

Bob Maaskant is senior adviseur waterveiligheid bij HKV en technisch manager van de POV Voorlanden, Douwe Yska is adviseur waterkeringen bij het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard en Matthijs Kok is hoogleraar Waterveiligheid aan de TU Delft en is senior adviseur bij HKV.



Ingevulde foutenboom.