


POVM Beter benutten actuele sterkte

Activiteit 5 - Werkwijzer Bewezen
Sterkte
Concept

POV



**MACRO
STABILITEIT**

Auteur: dr.ir. W. Kanning
Datum: augustus 2016

Versie: 2

Samenvatting

Deze concept werkwijzer richt zich op bewezen sterkte analyses van primaire waterkeringen voor het faalmechanisme macrostabiliteit van het binnentalud (STBI). Deze concept werkwijzer dient ter ondersteuning voor het goed opzetten van het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' en mogelijke proefbelastingen binnen dit project. De concept werkwijzer is niet bedoeld voor het maken van volledige bewezen sterkte analyses.

Het concept bewezen sterkte doelt op het gebruik van overleefde belastingen om de sterkte en de veiligheid van een dijk beter in te schatten. Het mogelijk gebruik van Bewezen Sterkte (BS) is in 2015 in een stroomversnelling geraakt door een verkenning van de mogelijke toepassing van BS op de Markermeerdijken (MMD) door Schweckendiek en van der Krogt (2015). De dijkversterking van deze MMD is tevens een van de referentieprojecten binnen de Project Overstijgende Verkenning Macrostabiliteit (POVM). In navolging van deze studie is door Rijkswaterstaat een meerjarig ontwikkeltraject voor de toepassing van bewezen sterkte opgezet, waaronder in 2016 een nadere uitwerking van BS voor de Markermeerdijken. Tegelijkertijd is binnen het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' (met referentieproject Hollandsche IJssel) gewerkt aan een Actuele Sterkte onderzoek welke veel raakvlakken heeft met de RWS studie en vooral een grote component voor proefbelastingen heeft. Deze werkwijzer heeft als doel de gebruiker te ondersteunen in het maken van BS analyses, voornamelijk in onderzoeksprojecten.




Deze concept werkwijzer zal met de in de loop der tijd opgedane ervaring verder worden uitgebreid en gedetailleerd. Verwachting is dat deze werkwijzer in de nabije toekomst met het toepassen van proefbelastingen in relatie tot macro-stabiliteit zal worden uitgebreid. De werkwijzer zal op termijn ook worden aangevuld met uitgewerkte cases (Hollandse IJssel en Markermeerdijken)

Activiteit 5 waaronder deze concept werkwijzer werkzaamheden vallen, bevat tevens het beschrijven van de beschikbare historische gegevens van de Hollandse IJsseldijken, echter dit is separaat gerapporteerd. Het rapport 'Haalbaarheid bewezen sterkte POVM' dat ook onderdeel vormt van deze activiteit zal ook separaat worden gerapporteerd.

Eind augustus wordt een nieuwe versie verwacht van de werkwijzer (in het kader van het methode ontwikkelingsspoor).

Referentie

1220518-005-GEO-0005

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	augustus 2016	dr.ir. W. Kanning		dr.ir. T. Schweckendiek ing. A.P.C. Rozing		dr.ir. M.S. Sule	

Status
concept

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding en doel.....	3
2	Veiligheidsfilosofie	6
2.1	Algemene bepaling benodigde veiligheid.....	6
3	Bewezen sterkte methode	8
3.1	Algemene principe bewezen sterkte.....	8
3.2	Reduceerbare onzekerheid.....	9
3.3	Omgaan met onzekerheden in een BS analyse	9
3.4	Verwacht effect BS	9
3.5	Stappen in een bewezen sterkte analyse.....	9
4	A-priori analyses	10
4.1	Schematisatie	10
4.2	Probabilistische toetsanalyse	10
5	Bewezen sterkte analyse	12
5.1	Observatie	12
5.1.1	Keuze observatie.....	12
5.2	Samenhang tussen toets en observatie.....	13
5.2.1	Gecorreleerde variabelen.....	13
5.3	BS analyses op basis van een toets en een ontwerpsituatie.....	14
5.3	BS analyses op basis van scenario's	14
6	Referenties	15

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Het Project Overstijgende Verkenning Macrostabieleit (POVM) heeft ten doel nieuwe ontwikkelingen in het versterken van dijken te ondersteunen en waar nodig verder te ontwikkelen. Een belangrijke factor in het ontwerpen van een dijkversterking is het omgaan met onzekerheden in de sterkte-eigenschappen van de ondergrond en het dijklichaam. Doel van het POVM-onderzoek 'Beter benutten actuele sterkte' is om de bestaande rekentechnieken verder te ontwikkelen in combinatie met gerichte monitoring, zodat er met minder onzekerheden ontworpen kan worden. Hierdoor is er kans op verkleining van de versterkingsopgave, dan wel het beperken van de versterkingsmaatregel. Met deze verder te ontwikkelen werkwijze wordt meer recht gedaan aan de werkelijke sterkte van dijken.

Binnen het HWBP zijn te versterken dijken opgenomen die in het verleden belastingen (denkende aan o.a. hoge buitenwaterstanden) hebben weerstaan hoger dan of vergelijkbaar met de ontwerpbelastingen (ontwerp waterstanden) waarop die dijken dienen te worden ontworpen. Hoewel een dijk zodanig moet worden ontworpen dat de ontwerpbelasting met voldoende zekerheid kan worden opgenomen, leidt dit soort observaties toch tot de vraag of er bij het ontwerp niet noodgedwongen teveel onzekerheden worden meegenomen. Ook is de vraag of er geen gebruik kan worden gemaakt van het feit dat de dijk bij deze hoge belastingen net onder de ontwerpbelasting in elk geval niet is bezwaken.

In de nabije toekomst zullen de normen veranderen (van overschrijdingskans naar overstromingskansbenadering) en er zal hoogstwaarschijnlijk van ongedraineerd materiaal gedrag worden uitgegaan, omdat dit het grondgedrag beter beschrijft. Met al ontwikkelde rekentechnieken en nog te ontwikkelen technieken/kennis kan in combinatie met gerichte monitoring (waaronder aanvullend terrein- en labonderzoek en monitoring van de waterspanningen), de actuele sterkte van dijken beter worden bepaald. Door dit voortschrijdende inzicht is de verwachting dat de sterkte ofwel macrostabieleit van deze dijken kan worden opgewaardeerd met het gevolg dat de versterkingsmaatregel van deze dijken aanzienlijk kan worden geoptimaliseerd (scope verkleining) en er zelfs een kans is dat voor delen van de afgetoetste dijkvakken wellicht versterkingen kunnen worden voorkomen.

Het concept bewezen sterkte doelt op het gebruik van overleefde belastingen om de sterkte en de veiligheid van een dijk beter in te schatten. Hoe dichter de eerdere belasting de maatgevende belasting is genaderd, hoe meer combinaties van ongunstige parameters kunnen worden uitgesloten en hoe hoger de bijgewerkte betrouwbaarheid van de dijk. In het ideale geval heeft de dijk al een belasting gehad die hoger is dan de maatgevende belasting.

Het mogelijk gebruik van Bewezen Sterkte (BS) is in 2015 in een stroomversnelling geraakt door een verkenning van de mogelijke toepassing van BS op de Markermeerdijken (MMD) door Schweckendiek en van der Krogt (2015). De dijkversterking van deze MMD is tevens een van de referentieprojecten binnen de Project Overstijgende Verkenning Macrostabieleit (POVM). In navolging van BS studie MMD is door Rijkswaterstaat een meerjarig ontwikkeltraject voor de toepassing van bewezen sterkte opgezet, waaronder in 2016 een nadere uitwerking van BS voor de Markermeerdijken. Tegelijkertijd wordt binnen het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' (met referentieproject Hollandsche IJssel) gewerkt aan een Actuele Sterkte onderzoek welke veel raakvlakken heeft met de RWS studie en vooral een grote component voor proefbelastingen heeft. Deze concept werkwijzer dient ter

ondersteuning voor het goed opzetten van het POVM project 'Beter benutten actuele sterkte' en mogelijke proefbelastingen binnen dit project. De concept werkwijzer is niet bedoeld voor het maken van volledige bewezen sterkte analyses. Deze concept werkwijzer zal met de in de loop der tijd opgedane ervaring verder worden uitgebreid en gedetailleerd.

Binnen het Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken (TRAS; ENW 2009) wordt Bewezen Sterkte ook behandeld. De binnen deze werkwijzer behandelde technieken sluiten hier niet op aan en methodes uit het TRAS kunnen dan ook niet zonder meer binnen deze werkwijzer meegenomen worden.

Dit rapport valt onder activiteit 5 van het POVM project Beter benutten actuele sterkte. De mogelijkheid bestaat dat de bewezen sterkte uit het verleden niet leidt tot voldoende reducering van de onzekerheden en daarmee onvoldoende leidt tot het halen van de doelstelling, namelijk het onderbouwd verkleinen van de versterkingsopgave. In dat geval is het mogelijk om met een proefbelasting een waarneming toe te voegen. In de POVM Beter benutten actuele sterkte valt dit onder activiteit 7.

1.2 Afbakening

De werkwijzer richt zich op bewezen sterkte analyses van primaire waterkeringen voor het faalmechanisme macrostabiliteit van het binnentalud (STBI). Er wordt verondersteld een overleefde situatie aanwezig te zijn, dit kan zowel een historische situatie als de situatie tijdens dagelijkse omstandigheden zijn. Deze werkwijzer richt zich uitsluitend op het beoordelen van bestaande dijken in termen van faalkansen. Ontwerpsituaties worden niet beschouwd. Aanverwante zaken zoals het gebruik van proefbelastingen en overige faalmechanismen vallen buiten de scope van deze werkwijzer. Verwachting is dat deze werkwijzer in de nabije toekomst met het toepassen van proefbelastingen in relatie tot macro-stabiliteit zal worden uitgebreid. De werkwijzer zal op termijn ook worden aangevuld met uitgewerkte cases (Hollandse IJssel en Markermeerdijken).

Voor de stabiliteitsbepaling wordt uitgegaan van de binnen het Wettelijk Beoordelings-Instrumentarium (WBI) ontwikkelde methode. Dit houdt onder andere in het rekenen met ongedraineerde schuifsterkte (CSSM) op basis van opgegeven grensspanningspunten en bepalingen van waterspanningen met behulp van de Waternet Creator. Ongedraineerd materiaal gedrag benadert de werkelijke situatie in de ondergrond beter en wordt als de norm gezien. Ook grondlagen die gedraineerd reageren (bijvoorbeeld een zandkern) kunnen met de huidige BS systematiek beoordeeld worden.

1.3 Veronderstelde voorkennis

De gebruiker van deze werkwijzer wordt verondersteld voldoende kennis te hebben om een probabilistisch stabiliteitsanalyse te maken zoals bijvoorbeeld uitgevoerd in het project VNK2, echter met de stabiliteitsmodellering zoals uitgewerkt in WBI2017. Ook dient de gebruiker probabilistische sommen te kunnen interpreteren.

1.4 Software

Voor de nodige stabiliteitsanalyses kan D-Geo Stability (DGS) worden gebruikt en voor probabilistische en BS analyses een customized versie van de Probabilistic ToolKit (PTK) welke ten tijde van het schrijven van deze werkwijzer beiden bij Deltares nog in ontwikkeling zijn.

2 Veiligheidsfilosofie

2.1 Algemene bepaling benodigde veiligheid

Voor de veiligheidsfilosofie wordt aangesloten op het WBI en OI (Rijkswaterstaat, 2015). Hierin wordt de doorsnede-eis ($P_{eis,dsn}$) waaraan de dijk moet voldoen als volgt bepaald:

$$P_{eis,dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N} \quad (1)$$

Waarin:

$P_{eis,dsn}$ Faalkanseis die per doorsnede aan een faalmechanisme wordt gesteld (per jaar).

P_{max} Maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject (per jaar).

ω Faalkansruimtefactor voor het betreffende faalmechanisme (-).

N Lengte-effectfactor (-)

En

$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b} \quad (2)$$

Waarin:

a Fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme (-).

b Lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme (m).

$L_{traject}$ Lengte van het dijktraject waarop de norm van toepassing is (m).

2.2 Eis macrostabiliteit

Voor macrostabiliteit gelden de volgende default waarden:

$$\omega = 0.04$$

$$a = 0.033$$

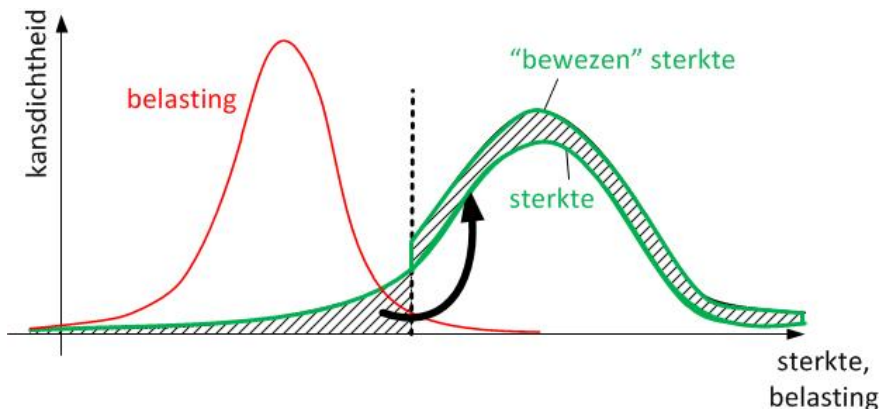
$$b = 50 \text{ m}$$

Op basis van de maximaal toelaatbare overstromingskans van het dijktraject en de lengte van dijktraject kan nu een stabiliteitseis voor een doorsnede worden afgeleid.

3 Bewezen sterkte methode

3.1 Algemene principe bewezen sterkte

Het algemene principe van bewezen sterkte is dat op basis van een zonder problemen (schade die invloed heeft op STBI) overleefde belastingobservatie de faalkans wordt bijgesteld. Hiermee toont de overleefde belasting aan dat bepaalde waarden van sterkte parameters waarschijnlijk onderschat worden. In onderstaande figuur staat dit schematisch weergegeven voor de verdeling van de belasting (bijvoorbeeld buitenwaterstand) en een verdeling van de sterkte (bijvoorbeeld kritische waterstand). Met de observatie van een bepaalde waterstand (zwarte stippellijn) kunnen sterktes lager dan deze observatie niet voorkomen. De kansdichtheid van de sterkte die niet kan voorkomen (het gearceerde deel links van de zwarte stippellijn) wordt herverdeeld over de rest van de sterkte (het gearceerde deel rechts van de zwarte stippellijn). Het effect hiervan is dat de verwachte sterkte groter is dan voor de observatie, wat de faalkans doet afnemen. In de meeste gevallen bestaat het sterkte model van een dijk uit meerdere variabelen. Hierbij leidt een overleefde observatie voornamelijk tot het uitsluiten van parameterscombinaties welke in het licht van de observatie niet mogelijk zijn. Dit leidt weer tot een aangepaste, verlaagde faalkans. Voor meer informatie wordt verwezen naar Schweckendiek en van der Krogt (2015) en Schweckendiek (2016).



Figuur 3.1 Schematische weergave bewezen sterkte

Binnen een bewezen sterkte analyse dient onderscheid te worden gemaakt tussen twee situaties:

1. De toets: dit zijn de (toekomstige) condities waarin een dijk moet voldoen.
2. De observatie: dit zijn de omstandigheden ten tijde van de (overleefde) observatie.

Bij de (overleefde) observatie is het van belang dat het mechanisme STBI door de observatie uitgesloten kan worden. Eventueel mag er schade zijn geobserveerd en kan BS voor STBI worden meegenomen als kan worden uitgesloten dat deze schade door STBI is ontstaan.

3.2 Reduceerbare onzekerheid

Sommige onzekere variabelen zijn constant (gecorrleerd) in de tijd (tussen observatie en toets), zoals schuifsterkte parameters. Andere onzekere variabelen zoals de ligging van het freatisch vlak of de buitenwaterstand zullen variëren in de tijd (ongecorrleerd). Alleen van variabelen welke constant zijn in de tijd (gecorrleerd) kan de onzekerheid gereduceerd worden. Dit zullen doorgaans sterkte parameters zijn.

Bewezen sterkte kan dus worden toegepast als er minimaal een onzekerheid gecorrleerd in de tijd is, en dus reduceerbaar. Voor een verdere behandeling van gecorrleerde en ongecorrleerde variabelen wordt verwezen naar (Schweckendiek, 2016).

3.3 Omgaan met onzekerheden in een BS analyse

Binnen een bewezen sterkte analyse moet dus duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen de (in de tijd) gecorrleerde en ongecorrleerde variabelen. Er zijn verschillende methodes om een bewezen sterkte analyse te maken (zie Schweckendiek, 2016). In deze werkwijzer wordt uitgegaan van de methode “fragility curves”, voornamelijk vanwege de efficiëntie (beperkte rekentijden) van de methode. Binnen deze methode worden de situatie tijdens de beoordeling en de observatie gemodelleerd met fragility curves (deze geven de relatie tussen waterstand en faalkans). Met de fragility curves kunnen binnen de BS methode slechts de gecorrleerde variabelen worden meegenomen. Variabelen die ongecorrleerd zijn in de tijd dienen als aparte scenario's te worden beschouwd.

3.4 Verwacht effect BS

In het algemeen wordt het meeste effect, dat wil zeggen de grootste bijstelling van de faalkans, verwacht in een BS analyse in geval van:

- De faalkans voor een groot deel wordt bepaald door reduceerbare onzekere variabelen.
- De stabiliteit van de dijk beperkt afhankelijk is van de buitenwaterstand.
- Het verschil tussen de beoordelingssituatie en de observatie klein is.
- De belasting tijdens de observatie relatief dicht bij de belasting van de beoordeling ligt.

3.5 Stappen in een bewezen sterkte analyse

De volgende stappen dienen te worden doorlopen in een a-priori analyse:

1. A-priori analyses: hierin worden probabilistische analyses van de toets uitgevoerd.
2. Bewezen sterkte analyses: hierin wordt de observatie gemodelleerd en worden toets en observatie gecombineerd tot een nieuwe inschatting van de faalkans.

De a-priori analyses worden verder uitgewerkt in hoofdstuk 4, de bewezen sterkte analyses in hoofdstuk 5.

4 A-priori analyses

Het startpunt van een bewezen sterkte analyse is de probabilistische a-priori analyse van toets. Hiertoe dient eerst een schematisatie te worden opgesteld.

4.1 Schematisatie

In de schematisatie worden de keuzes voor een representatieve modelering van de stabiliteit onderbouwd. In deze werkwijzer wordt verondersteld dat D-GeoStability (DGS) met “.dsx” files wordt gebruikt voor stabiliteitsanalyses. De volgende stappen dienen te worden doorlopen in de schematisatie:

- Geometry: Bepalen en invoeren geometrie (voor toets) en ondergrond opbouw in DGS.
- Laagopbouw.
- Geohydrologie: Bepalen waterspanningen met behulp van de WaternetCreator (WNC). Hiervoor dienen lek lengte, indringingslengte en freatische lijn te worden opgegeven.
- Schuifsterkte parameters: Bepalen schuifsterkte parameters per grondlaag (bijvoorbeeld schuifsterkte ratio S , grensspanning en sterktoename exponent m voor ongedraineerde lagen; hoek van inwendige wrijving voor gedraineerde lagen)
 - Bepalen grensspanningen per grondlaag en deze invoeren in grensspanningspunten. Aanbevolen wordt grensspanningspunten per laag onder en naast de dijk te definiëren.
- Overige schematisatiekeuzes.

De stabiliteitsfactor (met representatieve en gemiddelde waarden) en spanningen dienen vervolgens te worden gecontroleerd, bijvoorbeeld of de stabiliteitsfactor afneemt voor een toenemende buitenwaterstand. Als de stabiliteitsfactor niet afneemt met buitenwaterstand dient de schematisatie nader beschouwd te worden, dit levert onder ander problemen op met de BS analyse. Grote verschillen in stabiliteitsfactor op basis van representatieve of gemiddelde waarden duidt in het algemeen op een relatief grote bijdrage van de schuifsterkte.

Het resultaat van de schematisatie is een toets .dsx file.

4.2 Probabilistische toetsanalyse

Een probabilistische toetsanalyse wordt gefaciliteerd in een customized versie van de Probabilistic Toolkit (PTK, Deltares). Het uitgangspunt is de in de vorige paragraaf gecreëerde schematisatie in D-Geostability (dsx file) waarmee in de PTK een fragility curve wordt gemaakt. Aanvullende informatie die hiervoor nodig is:

- Spreidingen en gemiddelden in schuifsterkte parameters.
- Spreidingen in grensspanningen.
- Spreidingen in waterspanningsparameters.

Overigens zijn er ook voor het bepalen van de representatieve waarde van de parameters in de vorige paragraaf doorgaans ook gemiddelde waarden en spreidingen nodig.

Met behulp van de PTK kan de fragility curve worden bepaald. Als ook de verdeling van de waterstand wordt ingevoerd (bijvoorbeeld op basis van MHW, decimeringshoogte en normfrequentie), kan ook de jaarlijkse faalkans van de dijk worden bepaald. Als deze niet aan de norm (zie Hoofdstuk 2) voldoet, is een BS analyse mogelijk interessant.

5 Bewezen sterkte analyse

5.1 Observatie

5.1.1 Keuze observatie

Allereerst dient er een keuze voor een te modelleren (overleefde) observatie te worden gemaakt. Dit kan een (hoge) overleefde historische waterstand zijn, of bijvoorbeeld dagelijkse omstandigheden. Ook andere belastingen dan waterstanden (bijvoorbeeld regenval, verkeer) kunnen van belang zijn voor de keuze van de observatie.

Overwegingen welke observatie het meeste effect zal hebben in een BS situatie zijn:

- Nauwkeurigheid observatie: van dagelijkse omstandigheden is goed bekend, of kan dit worden, wat de waterspanningen en overige belastingen zijn tijdens de observatie. Dit is minder het geval voor een historische observatie. De onzekerheden in de historische observatie dienen vaak (conservatief) verdisconteerd te worden, wat het effect minder kan maken.
- Afhankelijkheid macrostabiliteit van buitenwaterstand: in geval de waterstand een grote invloed heeft op de stabiliteit, zal een (hogere) historische observatie meer BS effect hebben dan een dagelijkse observatie.
- Verschil tussen observatie en toets. Observaties uit het verleden hebben mogelijk een groter verschil in bijvoorbeeld geometrie door zettingen dan een dagelijkse observatie wat het effect van BS beperkt.

Een aanpak voor de keuze tussen een dagelijkse en historische observatie kan zijn om eerst de dagelijkse omstandigheden te beschouwen en te bepalen of de dijk door BS voldoet. Als dit niet het geval is kan alsnog een historische situatie worden geanalyseerd. Voor het verzamelen van benodigde gegevens zal voor een historische observatie in het algemeen veel meer inspanning moeten worden geleverd.

Voor meer inzicht in eventueel benodigde historische gegevens wordt verwezen naar het TRAS (paragraaf 4.1; ENW 2009) of Van Hoven (2016).

5.1.2 Verschillen met de toets

Voor de observatie dient een aparte schematisatie te worden gemaakt. Het uitgangspunt kan hierbij de toets zijn, welke wordt aangepast op de situatie van de observatie. Het is dus belangrijk de verschillen tussen toets en observatie goed in kaart te brengen, deze kunnen bijvoorbeeld zijn:

- Verkeer: Verkeer was mogelijk niet aanwezig maar dient in de toets mogelijk wel meegenomen te worden.
- Bebouwing: hier mag geen sterkte aan worden ontleend in de toets, maar heeft mogelijk wel geholpen in de observatie.
- Zettingen: zettingen zorgen voor verschillen in geometrie.

Het is van belang dat er een conservatieve observatie schematisatie wordt gemaakt indien onzekerheden in de observatie niet expliciet verdisconteerd kunnen worden. Dit alles leidt tot een schematisatie welke mogelijk een andere fragility curve heeft dan de toets.

5.2 Samenhang tussen toets en observatie

5.2.1 Gecorreleerde variabelen

Essentieel voor een bewezen sterkte analyse is inzicht in welke onzekerheden reduceerbaar (gecorrleerd in tijd) en wel niet reduceerbaar (ongecorrleerd in tijd) zijn. Dit kan mogelijk verschillen per case, een algemeen overzicht is gegeven in onderstaande figuur. De verschillende variabele zijn gerangschikt naar categorie (grond, geohydrologisch, belasting, schematisatie). Ook is er een categorie of variabele als continue stochasten gemodelleerd kunnen worden; als dit het geval is kunnen ze in de fragility curve worden meegenomen. Vervolgens wordt een indicatie gegeven of de parameters gecorrleerd in de tijd kunnen worden verondersteld en hiermee reduceerbaar zijn. Uiteindelijk wordt de implementatie van de variabelen behandeld. In principe worden zo veel mogelijk variabelen in de fragility curve meegenomen om het aantal berekeningen beperkt te houden. Echter variabelen als laagopbouw kunnen niet in de fragility curve worden opgenomen en zullen als scenario moeten worden behandeld. Deze worden vervolgens gemodelleerd als losse schematisaties. Ook een variabele zoals freatische lijn kan niet opgenomen worden in de fragility curve en zal ook als scenario behandeld moeten worden.

Variable	Category	Can be modeled as continuous stochastic variable?	Correlated in time (fully)	Implementation
Su-ratio, S	Soil property	yes	yes	in fragility curve
Strength increase exponent, m	Soil property	yes	yes	in fragility curve
Yield stress, σ_y	Soil property	yes	yes	in fragility curve
Volumetric weight, γ	Soil property	yes	yes	deterministic
Friction angle sand, ϕ	Soil property	yes	yes	in fragility curve
Outside water level, WL	Geohydrological	yes	no	"outside" fragility curve
Leakage Length outside, LL _{out}	Geohydrological	yes	yes	in fragility curve
Leakage Length inside, LL _{in}	Geohydrological	yes	yes	in fragility curve
Intrusion Length, IL	Geohydrological	yes	no	in fragility curve
Phreatic line	Geohydrological	yes	no	scenario
Polder water level	Geohydrological	yes	no	deterministic (best estimate)
Traffic load	External Load	yes	no	deterministic (design value)
Settlements	Schematization	no	yes	deterministic (best estimate)
Soil layering	Schematization	no	yes	scenario
Model uncertainty	Model	yes	yes	in fragility curve

Tabel 5.1 Overzicht variabelen in bewezen sterkte analyse

5.3 BS analyses op basis van een toets en een ontwerpsituatie

De minst gecompliceerde BS analyse is op basis van een fragility curve voor de toets en een fragility curve voor de observatie. Het is vooral van belang om conservatieve keuzes voor de observatie te maken in geval onzekerheden tijdens de observatie niet expliciet gemodelleerd kunnen worden (zodat het effect van BS niet overschat wordt). Dit vereenvoudigt de analyse maar vermindert ook mogelijk het effect van BS. Conservatieve keuzes zijn:

- Verkeer. Door verkeer niet mee te nemen in de observatie en wel in de toets ontstaat het meest conservatieve effect.
- Freatisch vlak. Het freatisch vlak kan tijdens de observatie lager zijn geweest dan in de toets, wat mogelijk in overleven heeft geresulteerd. Een laag freatisch vlak tijdens de observatie en een hoog freatische vlak tijdens de toets is de meest conservatieve benadering.
- Autonome bodemdaling. Het binnendijkse maaiveld zal tijdens de observatie waarschijnlijk hoger zijn geweest. Een hoog maaiveld tijdens de observatie is de meest conservatieve benadering.
- Etc.

Als de goede schematiseringen zijn gemaakt kan met behulp van de twee schematisaties en fragility curves (toets en observatie), de BS analyse worden uitgevoerd in (bijvoorbeeld) de PTK om de bijgestelde faalkans te bepalen.

5.3 BS analyses op basis van scenario's

Zoals in hoofdstuk 4 beschreven kan ook een BS analyse worden gemaakt op basis van scenario's. Dit kan zijn omdat variabelen niet in de fragility curve gemodelleerd kunnen worden (bijv. ondergrondscenario's) of omdat de variabelen niet gecorreleerd zijn in de tijd (bijv. freatische lijn). Een andere reden kan zijn om minder conservatieve keuzes zoals genoemd in paragraaf 5.1 te maken. De scenario's dienen in een aparte schematisatie te worden gemodelleerd. Als deze zijn ingevoerd moet nog worden opgegeven:

- Scenario kansen. De kans van optreden van dit afwijkende scenario.
- Correlatie in de tijd van scenario's. Voor bijvoorbeeld ondergrondscenario's geldt dat deze niet zullen veranderen in de tijd en dus volledige gecorreleerd zijn. Het freatisch vlak is doorgaans niet gecorreleerd in de tijd.

Op basis van deze informatie berekent de PTK de geüpdatet faalkans door BS. Ook kunnen eventueel bijgewerkte scenario kansen worden bepaald. De kans op een bepaald ondergrondscenario kan bijvoorbeeld door een overleefde situatie sterk verminderen.

6 Referenties

ENW – Expertise Netwerk Waterkeren (2009). Technisch Rapport Actuele sterkte van dijken. 27 maart 2009.

Hoven, A. van (2016). POVM Beter benutten actuele sterkte KIJK, activiteit 5 – deel Historische gegevens. Deltares rapport 1220518-005

Rijkswaterstaat (2015). Achtergrondrapport Ontwerpinstrumentarium 2014 - Behorende bij Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen (OI2014v3). Versie juli 2015.

Schweckendiek, T. en M. van der Krogt (2015). Verkenning Bewezen Sterkte MMD

Schweckendiek, T. (2016). Background report reliability updating using past performance (in preparation).

Schweckendiek et al. (2016). Cases reports. (in preparation)

TAW – Technische Adviescommissie Waterkeringen (2009). Technisch Rapport Actuele Sterkte van Dijken