

Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam

ROBAMCI fase 3



Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam

ROBAMCI fase 3

Annegien Tijssen
Kathryn Roscoe
Robin Nicolai (HKV)
Jasper Bink (BZIM)
Rene Faes (Iv-Infra)
Justin Sap (Witteveen & Bos)

Titel

Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam

Project

11200692-003

Kenmerk

11200692-003-ZWS-0004

Pagina's

67

Trefwoorden

Risk-based asset management, risico-gestuurde inspectie, zorgplicht, WBI, graserosie

Samenvatting

Dit rapport bevat de resultaten van de ROBAMCI case “Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam”. Deze case is uitgevoerd in een samenwerking tussen Rijkswaterstaat (RWS), Deltares, HKV lijn in water, Witteveen en Bos, IV-Infra en BZIM. Het doel van de case is om voor de Oesterdam te komen tot een duidelijkere samenhang tussen de eisen vanuit het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI), de middelen voor inspectie vanuit de Digigids en de nu door de beheerder (RWS) gehanteerde aanpak van risico-gestuurd inspecteren en het daaraan gekoppelde onderhoud. De onderliggende vraag is of de huidige, op de Digigids gebaseerde, visuele inspectie geschikt om aan te tonen dat de Oesterdam aan de veiligheidseisen voldoet.

In deze case is voor het toetsspoor ‘graserosie buitentalud’ en meer in het bijzonder het deelmechanisme ‘erosie door golfoploop’ voor vier schadebeelden onderzocht hoe visuele inspectie gekoppeld kan worden aan de WBI beoordelingscategorieën. Uit de koppeling van de zodekwaliteit van de grasbekleding op de Oesterdam aan de WBI beoordeling blijkt dat de grasbekleding voldoet aan de norm in het geval van een gesloten of een open zode. Door de visuele inspectie te koppelen aan WBI beoordelingscategorieën kan de beheerder door middel van inspectie aantonen dat de kering voldoet aan de veiligheidseisen en dat daarmee aan de zorgplicht voldaan wordt. In dit rapport zijn eisen opgesteld waaraan visuele inspecties moeten voldoen om een eenduidige uitspraak te kunnen doen over de zodekwaliteit van de grasbekleding. Dit heeft geresulteerd in een inspectiemethode die is vergeleken met de huidige inspectiepraktijk. Hierbij is ook aandacht besteed aan de rol van datakwaliteit bij het inspecteren en monitoren van assets, in het bijzonder bij het invulling geven aan de zorgplicht.

De belangrijkste constatering in deze case is dat de visuele inspecties op basis van de Digigids niet afdoende zijn voor de beheerder van de Oesterdam om aan te tonen dat aan de zorgplicht voldaan wordt. Hiervoor is in deze case een voorstel gedaan tot verbetering van de visuele inspectiemethode en een model om de inspectieresultaten te vertalen naar een waterveiligheidsoordeel.

Het advies aan Rijkswaterstaat is om een werkgroep samen te stellen die de huidige inspectienormen en richtlijnen in één handboek samenvat. Voor een juiste input voor dit handboek wordt geadviseerd het opgestelde model binnen deze case uit te breiden met alle schadebeelden en andere faalmechanismen, zoals genoemd in de Digigids en WBI2017. Door dit voor alle schadebeelden te doen is direct de koppeling met de waterveiligheid gemaakt en kan de beheerder bij een correcte registratie van de inspectiegegevens het risico op functieverlies van de assets aantoonbaar beheersen.

In deze studie is met de ontwikkeling van een spreadsheet(model) een eerste aanzet gedaan voor een uniform registratiesysteem voor inspecties van vier schadebeelden. De spreadsheet is vooral bedoeld om duidelijk te maken wat inspecteurs moeten inspecteren, welke grootheden zij moeten meten en vastleggen. Het model doet op basis van huidige inspecties

Titel

Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam

Project

11200692-003

Kenmerk

11200692-003-ZWS-0004

Pagina's

67

een prognose voor de kwaliteit van de graszode in het stormseizoen. Hieruit volgt of menselijk ingrijpen nodig is. Door systematisch en op uniforme wijze de visuele inspecties over de tijd te registreren kan meer inzicht in het verouderingsproces van (onderliggende factoren van) de schadebeelden worden verkregen en kunnen de modelprognoses worden verbeterd. Dit biedt weer de mogelijkheid om de voorgestelde inspectie-intervallen aan te scherpen, de invloed van menselijk ingrijpen in te schatten en het onderhoudsregime te optimaliseren. De aanpak is toepasbaar op andere schadebeelden en faalmechanismen.

Met de juiste registratie van de juiste parameters en het regelmatig en met een vast interval inspecteren kan ook een stap worden gezet naar een meer gedetailleerde risicoanalyse van de Oesterdam. Op basis daarvan kan vervolgens gedifferentieerd worden in inspectie-intervallen voor verschillende secties. Risicovolle secties kunnen dan vaker geïnspecteerd worden dan secties met weinig risico. Ook deze aanpak kan in het handboek opgenomen worden.

Referenties

--

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
0.1	okt. 2018	Annegien Tijssen		Ferdinand Diermanse		Gerard Blom	

Status

definitief

Inhoud

Afkortingen	iii
1 Introductie	1
1.1 ROBAMCI	1
1.2 Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam	2
1.3 Aanpak en leeswijzer	2
2 Koppeling graskwaliteit aan WBI-beoordeling	5
2.1 Introductie	5
2.2 Oploopmodel	5
2.3 WBI beoordeling	6
2.3.1 Indeling in categorieën	6
2.3.2 Signaleringsnorm en ondergrens	6
2.3.3 Faalkansbegroting en lengte-effect	7
2.4 Invoer van het oploopmodel	9
2.4.1 Belastingvariabelen	9
2.4.2 Oesterdam profielen	11
2.4.3 Voorland	12
2.5 Resultaten	13
2.5.1 Eerste profiel	13
2.5.2 Tweede profiel	14
2.6 Conclusies	17
3 Relatie tussen visuele inspectie en graskwaliteit	19
3.1 Introductie	19
3.2 Huidige aanpak door de beheerder (RWS)	19
3.3 Relatie tussen visuele inspectie op basis van Digigids en graszodekwaliteit voor WBI-beoordeling	20
3.3.1 WBI2017 beoordelingsmethodiek	20
3.3.2 Digigids	21
3.4 Te inspecteren grootheden voor een-op-een koppeling tussen visuele inspectie en WBI-beoordeling	22
3.4.1 Afdekking	22
3.4.2 Kale plekken	22
3.4.3 Onkruid	23
3.4.4 Bedekkingsgraad	23
3.5 Conclusies	24
4 Koppeling visuele inspectie aan WBI-beoordeling	25
4.1 Introductie	25
4.2 Methode	25
4.3 Resultaten	31
4.4 Conclusies	32
5 Beoordeling huidige inspectie en beschikbare gegevens	35
5.1 Introductie	35
5.2 Vergelijk verschillende inspectiemethoden	35

5.2.1	NEN2767	35
5.2.2	CUR117	36
5.2.3	STOWA 2012 – Inspectiewijzers waterkeringen	36
5.2.4	Algemeen	37
5.3	Informatie Kwaliteitsmodel	38
6	Conclusies en aanbevelingen	41
7	Literatuurlijst	43

Bijlage(n)

A	Methode ter bepaling van de minimale inspectiefrequentie van grasbekleding voor faalmechanisme GEBU (oploop) met uitwerking voor schadebeeld graverij klein	A-1
A.1	Samenvatting	A-1
A.2	Model voor faalkans graserosie buitentalud oploop	A-1
A.3	Schatting intensiteit	A-3
A.4	Kans op kwaliteitscategorie gegeven schadebeeld	A-3
A.5	Eenduidige relatie Digigids en WBI2017	A-3
A.6	Grafische weergave van het model	A-4
A.7	Berekening optimaal inspectie-interval voor de grasbekleding van de Oesterdam	A-6
A.8	Discussie en doorkijk	A-9
B	Graskwaliteit bepalen door visuele inspectie	B-1
C	Definitie relevante schadebeelden Digigids	C-1
D	Relatietabel Digigids en WBI2017 voor grasbekleding "Koppeling tussen Digigids en termen van kwaliteit van de grasmat conform beoordelingsmethodiek WBI 2017"	D-3
E	Resultaten gevoeligheidsanalyse	E-1

Afkortingen

GEBU	Graserosie buitentalud
GEBU oploop	Graserosie buitentalud door golfoploop
GWW-sector	Grond-, Weg- en Waterbouw-sector
IKM	Informatie Kwaliteitsmodel
ROBAMCI	Risk and Opportunity Based Asset Management of Critical Infrastructures
WBI	Wettelijke Beoordelings Instrumentarium

1 Introductie

1.1 ROBAMCI

Systematisch risico-gebaseerd beheer van publieke assets in de Grond-, Weg- en Waterbouw-sector (GWW-sector), zoals dijken, kunstwerken, waterlopen en ondergrondse infrastructuur is minder ver ontwikkeld dan in veel andere sectoren. Daarmee blijven efficiencykansen onbenut. De (financiële) afwegingen en een efficiënte inpassing van infrastructuur worden steeds complexer. Beheerders binnen en buiten Nederland zijn zich in toenemende mate bewust van de noodzaak van een systematische en transparante aanpak om het systeem van assets en hun functies te beheren, en de ermee gemoeide uitgaven te verantwoorden.

Kennis over, ervaring met en data van assets zijn versnipperd. Er is weinig integrale focus in de governance en organisatie van het beheer van de functies van publieke assets, waardoor informatie, kennisontwikkeling en besluitvorming op verschillende niveaus elkaar onvoldoende versterken. Daarom is met partijen uit de driehoek overheid-bedrijfsleven-kennisinstellingen het programma ROBAMCI (Risk and Opportunity Based Asset Management of Critical Infrastructures) opgezet.

Doel van het programma ROBAMCI is om kennis, methoden en tools te ontwikkelen en implementeren, waarmee ten eerste significante efficiencywinst kan worden bereikt over de levensduur van 'publieke assets', en ten tweede de transparantie van het beslisproces over aanleg, beheer en onderhoud en verbetering/vervanging wordt vergroot.

Om bovenstaande doelstelling te bereiken is het nodig om systeemeisen en bedrijfswaarden uit te drukken in termen van aanvaardbaar risico op verlies van de systeemfunctie, en niet meer alleen op het niveau van individuele assets of ouderdom. Daarnaast zullen afwegingen gebaseerd moeten worden op gekwantificeerde risico's en de verandering van deze risico's door veroudering van assets. Als beheerders samenwerken met als doel het effectief in stand houden van een functionerend systeem, op basis van gekwantificeerde kennis van de verandering van risico's door veroudering kunnen de meest effectieve interventies worden gedaan aan assets in ruimte en tijd.

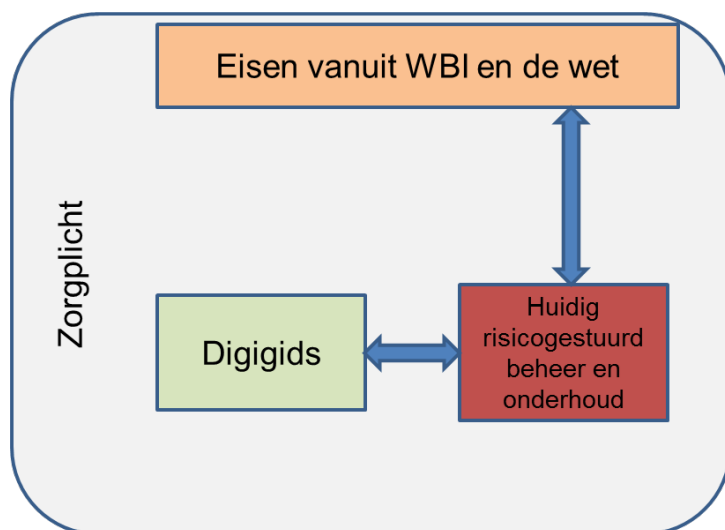
In ROBAMCI wordt aan de hand van concrete cases uit het gehele veld van de publieke GWW sector aangetoond dat de ROBAMCI-aanpak zorgt voor een beter presterend systeem met minder kosten en minder onverwachte kosten. De ROBAMCI-aanpak kan niet voorkomen dat de kosten van het beheer van publieke assets in de toekomst zullen stijgen door klimaatverandering en intensiever gebruik van assets, maar met de ROBAMCI aanpak zullen deze kosten veel minder stijgen dan wanneer de huidige aanpak wordt voortgezet.

1.2 Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam

In dit rapport worden de resultaten van de case “Risico-gestuurd inspecteren voor de Oesterdam” gepresenteerd. Deze case is uitgevoerd in een samenwerking tussen Rijkswaterstaat, Deltares, HKV lijn in water, Witteveen en Bos, IV-Infra en BZIM.

Het doel van deze case is om voor de Oesterdam te komen tot een duidelijkere samenhang tussen de eisen vanuit het Wettelijk Beoordelings Instrumentarium (WBI), de middelen voor inspectie vanuit de Digigids en de nu door de beheerder gehanteerde aanpak van risico-gestuurd inspecteren en het daaraan gekoppelde onderhoud. Daarnaast wordt er geïnterviewd of de visuele inspecties op basis van de Digigids leiden tot voldoende inzicht in het functioneren van de kering of dat aanvullende metingen/inspecties noodzakelijk zijn om de veiligheid te kunnen garanderen.

Met de overgang naar het nieuwe WBI, worden de primaire waterkeringen eens in de twaalf jaar in detail getoetst. De beheerder is verantwoordelijk voor het beheersen van het risico middels het aantoonbaar (zorgplicht) treffen van benodigde maatregelen zijnde beheer, onderhoud en inspectie. De onderliggende vraag voor deze studie is dan ook: “Is de huidige, op de Digigids gebaseerde, visuele inspectie geschikt om aan te tonen dat de kering aan de veiligheidseisen voldoet?”



Figuur 1.1 Relatie zorgplicht, WBI, Digigids, en beheer en onderhoud

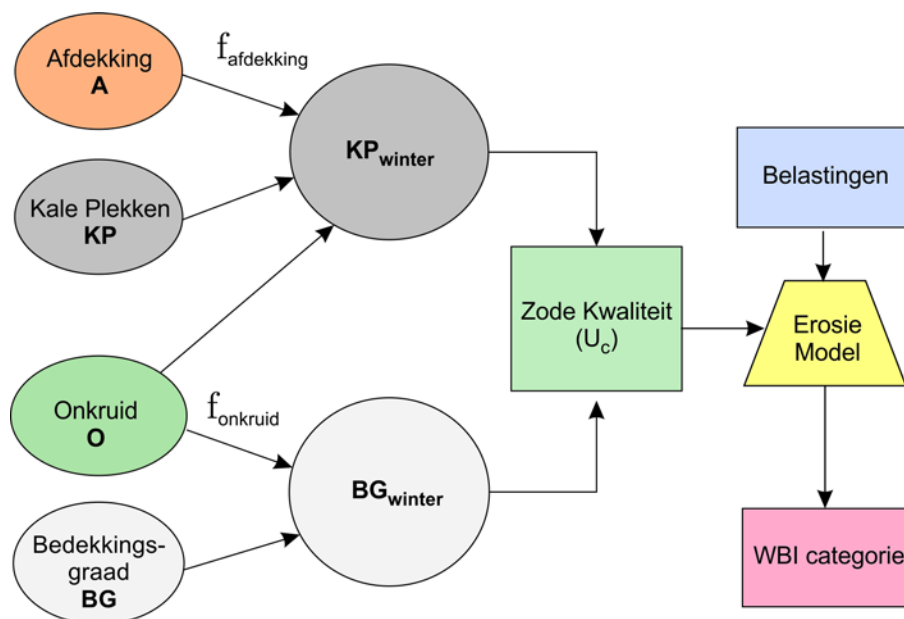
1.3 Aanpak en leeswijzer

In deze case hebben we voor het toetsspoor ‘graserosie buitentalud’ en meer in het bijzonder het deelmechanisme ‘erosie door golfoploop’ voor vier schadebeelden onderzocht hoe visuele inspectie gekoppeld kan worden aan de WBI beoordelingscategorieën. Door de visuele inspectie te koppelen aan WBI categorieën kan de beheerder door middel van inspectie aantonen dat de kering voldoet aan de veiligheidseisen en daarmee aan de zorgplicht voldoen.

De schadebeelden die in deze case aan bod komen zijn:

- Afdekking;
- Kale plekken;
- Onkruid;
- Bedekkingsgraad.

Om de relatie te leggen tussen de graskwaliteit (voor inspectie) en de wettelijke veiligheidseisen wordt gebruik gemaakt van de faalmodellen uit het WBI. Hieruit blijkt dat met name de zodekwaliteit kritiek blijkt te zijn voor het al dan niet voldoen aan de WBI-beoordelingsnormen. Huidige inspecties van grasbekleding worden uitgevoerd op basis van de Digigids. Er bestaat echter geen eenduidige koppeling tussen de visuele inspecties op basis van de Digigids en de graskwaliteit categorieën zoals gedefinieerd in WBI. In deze case hebben we onderzocht waar visuele inspecties aan moeten voldoen om op basis van deze inspectie wel een uitspraak te kunnen doen over de mate waarin de dam voldoet aan de veiligheidsnorm voor het toetsspoor graserosie buitentalud.



Figuur 1.2 Koppeling visuele inspectie met wettelijke veiligheidseisen uit WBI

Eerst tonen we in hoofdstuk 2 aan hoe voor de Oesterdam de zodekwaliteit gekoppeld is aan de beoordelingscategorieën van WBI. In andere woorden, in dat hoofdstuk laten we zien hoe op basis van graskwaliteit er een uitspraak gedaan kan worden over in welke mate de dam (niet) aan de norm voldoet. In hoofdstuk 3 beschrijven we de eisen waaraan visuele inspectie moet voldoen om een eenduidige uitspraak te kunnen doen over de graszode kwaliteit. Vervolgens wordt in hoofdstuk 4 een methode beschreven waarmee op basis van visuele inspectie aangetoond kan worden in welke WBI categorie de dam valt voor dit toetsspoor (op basis van de gekozen schadebeelden). Deze methode kan uitgebreid worden naar andere schadebeelden en faalmechanismen, maar dat valt buiten de scope van deze case. In hoofdstuk 5 vergelijken we de nieuw voorgestelde inspectiemethode met huidige inspectiepraktijk. Daarnaast besteden we in datzelfde hoofdstuk aandacht aan de rol van data en datakwaliteit bij het monitoren van assets, en in het bijzonder bij het invulling geven aan de zorgplicht.

2 Koppeling graskwaliteit aan WBI-beoordeling

2.1 Introductie

In deze paragraaf beschrijven we de vertaalslag van de graskwaliteit naar een WBI-beoordeling. In de huidige analyse beschouwen we daarbij alleen het toetspoot 'graserosie buitentalud' (GEBU) en meer in het bijzonder het deelmechanisme 'erosie door golfoploop' (GEBU oploop). Als dit mechanisme plaats vindt erodeert de grasbekleding met als gevolg dat de onderliggende bodemlaag na verloop van tijd onbeschermde is. Deze bodemlaag kan vervolgens ook gaan eroderen, hetgeen uiteindelijk kan leiden tot een dijkdoorbraak.

Om de relatie te leggen tussen de graskwaliteit en de WBI-beoordeling maken we gebruik van het cumulatieve overbelastingsmodel dat wordt toegepast binnen het WBI. Dit model beschrijft de beschadiging van de grasmat ten gevolge van een belasting, rekening houdend met de duur en de variatie in de golfhoogte en daarmee oploophoogtes gedurende een storm. Het model heeft een aantal sterkte- en belasting parameters nodig als invoer. De parameters die van belang zijn voor een WBI beoordeling zijn in de volgende secties besproken.

2.2 Oploopmodel

Het cumulatieve overbelastingmodel, zoals het gebruikt wordt binnen WBI, berekent de cumulatieve schade die ontstaat in de loop van een storm. In het model worden individuele golven binnen een storm beschouwd. De schade als gevolg van een individuele golf wordt alleen in rekening gebracht in het model als de oploop-snelheid op een punt op het talud, aangeduid met parameter z_{eval} groter is dan de kritische oploopsnelheid U_c . De waarde van U_c is afhankelijk van de graskwaliteit: hoe hoger de kwaliteit, des te hoger de waarde. De schade wordt opgeteld over alle golven van de storm, en de dijk wordt, volgens dit cumulatieve overbelastingmodel, geacht te falen als een bepaalde kritische grenswaarde wordt overschreden. Schades die in een (visuele) inspectie worden waargenomen zijn van invloed op de waarde van U_c van de bekleding.

De cumulatieve schade als gevolg van de belasting van de golven wordt berekend met de volgende vergelijking:

$$D = \sum_i \max(\alpha_m U_i^2 - \alpha_s U_c^2, 0) \quad (1)$$

In deze vergelijking is D de cumulatieve schade aan de grasmat, U_i is de golfoploopsnelheid van de i^{de} golf, α_s is een sterkte-reducerende factor, α_m een belasting-verhogende factor (beide α -waarden worden doorgaans gelijk gesteld aan 1; in dat geval hebben ze geen verhogend of reducerend effect) en U_c is de kritieke waarde van de oploopsnelheid. De grasmat wordt geacht te falen als D een kritieke grenswaarde D_{crit} overschrijdt. De default-waarde van D_{crit} is gelijk aan $7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$.

Naast bovenstaande parameters moet in het model een geometrie en ruwheid van het talud worden opgegeven, alsmede het taludniveau z_{eval} , waarvoor de cumulatieve overbelasting wordt berekend. Doorgaans is dit het laagste punt op het talud met een grasbekleding (d.w.z. de overgang van harde naar grasbekleding), omdat hier de belasting het grootst is. Tot slot dient de belasting geschematiseerd te worden. Daarvoor wordt een belastingverloop opgegeven, met op elk tijdstip de waterstand h , significante golfhoogte H_s en piek golfperiode T_p . De belasting is afhankelijk van de faalkanseis; in de volgende paragraaf gaan we in op de keuze van de faalkanseis(en) ten behoeve van de WBI beoordeling.

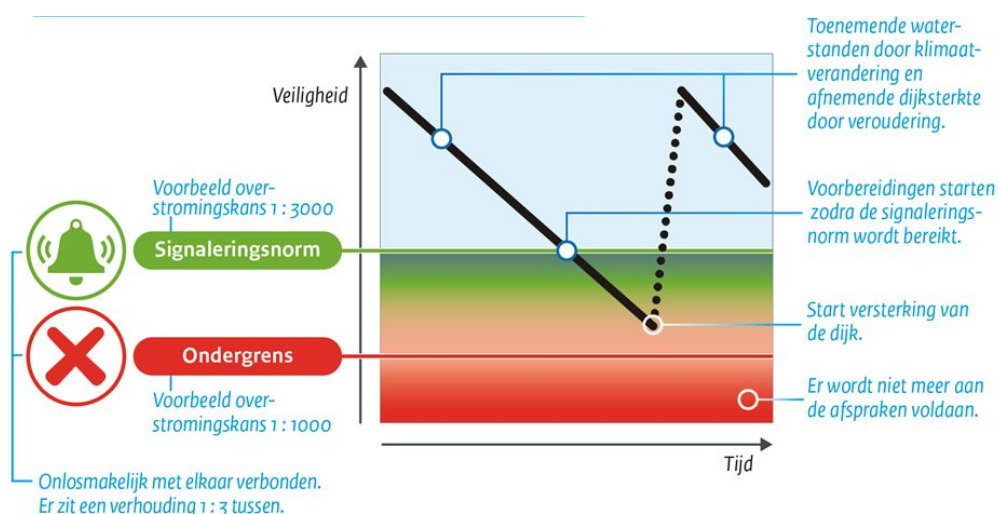
2.3 WBI beoordeling

2.3.1 Indeling in categorieën

Vanaf 2017 worden de primaire waterkeringen beoordeeld aan de hand van een norm die is uitgedrukt in termen van een toegestane overstromingskans. Echter, het zal in de periode 2017-2023 niet mogelijk zijn om voor alle toetssporen en vakken een overstromingskans te berekenen. Het eindresultaat van de beoordeling zal daarom in de regel niet een berekende overstromingskans zijn van het dijktraject, maar een oordeel over de mate waarin aan de norm wordt voldaan. Er zijn diverse categorieën gedefinieerd waarmee duiding gegeven kan worden aan de mate waarin de kering voldoet ("afstand tot de norm").

2.3.2 Signaleringsnorm en ondergrens

Voor een goed begrip van de grenswaarden van de categorieën is het van belang bekend te zijn met de termen 'signaleringsnorm' ($P_{\text{eis;sign}}$) en 'ondergrens' ($P_{\text{eis;ond}}$) voor een dijktraject. Beide normen zijn overstromingskansen waaraan de kering getoetst wordt. De signaleringsnorm is de overstromingskans per jaar waarvan overschrijding wordt gemeld aan de minister. Voor deze waarde geldt dat deze voor een periode overschreden mag worden. Het overschrijden van de signaleringsnorm is een 'signaal' dat de kering mogelijk binnen afzienbare tijd in aanmerking komt voor versterking. De ondergrens is de faalkans per jaar waarop het dijktraject tenminste berekend moet zijn. De ondergrens is in de regel groter dan de signaleringsnorm. De signaleringsnorm is voor veel dijktrajecten een factor 3 kleiner dan de ondergrens. Er zijn echter ook dijktrajecten waarvoor deze waarden aan elkaar gelijk zijn.



Figuur 2.1 Schematische weergave signaleringsnorm en ondergrens.

2.3.3 Faalkansbegroting en lengte-effect

De norm is gedefinieerd als een faalkanseis per traject, rekening houdend met alle mogelijke manieren van falen en met de lengte van het traject. Falen van een traject kan immers plaatsvinden in alle dijkvakken van het traject en het gevolg zijn van verschillende faalmechanismen. Voor elke individuele combinatie van dijkvak en faalmechanisme zal daarom moeten gelden dat de faalkans tenminste kleiner is dan een van de norm afgeleide faalkanseis, omdat anders het traject niet voldoet. Deze faalkanseis wordt daarom per combinatie zo opgesteld dat als iedere combinatie aan haar faalkanseis voldoet, ook automatisch vaststaat dat het traject als geheel voldoet.

De vertaalslag van de faalkanseis per dijktraject naar de faalkanseis per toetsspoor per vak (of doorsnede) gebeurt in twee stappen:

Stap 1: verdeling normkans over de toetssporen

In de eerste stap wordt de normkans van het dijktraject verdeeld over de diverse toetssporen. Deze “faalkansbegroting” is binnen WBI2017 generiek opgesteld voor alle dijktrajecten. Bijvoorbeeld voor dijktrajecten is voor het toetsspoor “opbarsten en piping” 24% gereserveerd. Indien het dijktraject een veiligheidsnorm van $1/1.000^e$ per jaar heeft, betekent dit dat aan het toetsspoor “opbarsten en piping” een faalkanseis van $0,24 \cdot 1/1.000 = 0,00024 \approx 1/4.000^e$ opgelegd wordt. Met andere woorden: de totale kans op een dijkdoorbraak in het dijktraject als gevolg van het toetsspoor “opbarsten en piping” moet kleiner zijn dan $1/4.000^e$, anders kan het dijktraject niet worden goedgekeurd op dit toetsspoor. De faalkansbegroting is gebaseerd op ervaringen uit het verleden ten aanzien van het relatieve belang van toetssporen, en pragmatische keuzes.

Stap 2: vertaling faalkanseis dijktraject naar faalkanseis per doorsnede

In de tweede stap wordt, per toetsspoor, de faalkanseis van het dijktraject vertaald naar een faalkanseis per vak of per doorsnede. Deze vertaalslag wordt in het kader van het project WBI2017 generiek vastgesteld. De vertaalslag wordt vastgesteld op basis van ervaringen ten aanzien van het lengte-effect. Voor toetssporen waarvoor het lengte-effect klein is, betekent dit dat de faalkanseis op doorsnedeniveau relatief weinig verschilt van de faalkanseis per dijktraject. Omgekeerd, voor toetssporen met een relatief groot lengte-effect zal dit verschil groter zijn, hetgeen aanleiding geeft tot relatief strenge faalkanseisen op doorsnedeniveau.

Samenvattend

De faalkanseis voor een toetsspoor-vak, toetsspoor-doorsnede of kunstwerk wordt bepaald door de norm per dijktraject te combineren met het toegewezen percentage van de faalkansbegroting (N) en het lengte-effect (L_f) die voor het betreffende toetsspoor gelden. Dit leidt tot de volgende formules voor de vertaalslag van de signaleringsnorm en ondergrensnorm naar een doorsnede-eis:

$$P_{eis;sign;dsn} = \frac{N \cdot P_{eis;sign}}{L_f} \quad \text{en} \quad P_{eis;ond;dsn} = \frac{N \cdot P_{eis;ond}}{L_f}$$

Faalkanseis voor de Oesterdam

In deze case houden we de in WBI2017 vigerende faalkanseisen aan om vast te stellen of een kering aan de norm voldoet voor het toetsspoor GEBU. De Oesterdam heeft een signaleringsnorm van $P_{eis;sign} = 1/30.000$ en een ondergrensnorm van $P_{eis;ond} = 1/10.000$. Deze normen gelden voor het gehele normtraject. De lengte-effect factor, L_f is voor het GEBU toetsspoor gelijk aan 2. Het faalkansbudget voor GEBU is gelijk aan 5%, d.w.z. $N = 0,05$. Op basis van deze gegevens kunnen we diverse faalkanseisen afleiden, zie Tabel 2.1. Deze waarden zijn de basis van de grenswaarden tussen de vijf beoordelingscategorieën waarmee duiding gegeven wordt aan de mate waarin de kering aan de norm voldoet ("afstand tot de norm"), zie Tabel 2.2.

De kanseisen worden in deze methode direct vertaald naar belastingen (waterstanden). Dat wil zeggen: om na te gaan of de kering voldoet aan een bepaalde faalkanseis P_{eis} , wordt een (semi-probabilistische) berekening uitgevoerd met een belasting/waterstand met een overschrijdingskans gelijk aan P_{eis} , conform het WBI. Dat betekent dat $P_{f;dsn}$, de faalkans voor GEBU oploop op vakniveau, niet exact wordt berekend. Uit de semi-probabilistische rekenmethode volgt in welke categorie de kans valt.

Tabel 2.1 Faalkanseisen voor het toetsspoor graserosie buitentalud voor trajecten en doorsnedes

Faalkanseis	Betekenis	Formule	Waarde (kans per jaar)
$P_{eis;sign}$	De signaleringsnorm op trajectniveau	Definitie	$1/30.000^e$
$P_{eis;ond}$	De ondergrensnorm op trajectniveau	Definitie	$1/10.000^e$
$P_{eis;sign;dsn}$	De signaleringsnorm op doorsnedeniveau voor het toetsspoor GEBU oploop	$N \cdot P_{eis;sign} / L_f$	$[(0,05) \cdot (1/30000)] / 2 = 8,3 \cdot 10^{-7}$
$P_{eis;ond;dsn}$	De ondergrensnorm op doorsnedeniveau voor het toetsspoor GEBU oploop	$N \cdot P_{ond;traj} / L_f$	$[(0,05) \cdot (1/10000)] / 2 = 2,5 \cdot 10^{-6}$

Tabel 2.2 WBI categorieën, scores en bijbehorende grenswaarden (zie Rijkswaterstaat, 2017)

Categorie	Bovengrens categorie	Kanswaarde bovengrens categorie	Toetsresultaat*	Score
I	$\frac{1}{30} \cdot P_{eis;sign;dsn}$	$2,8 \cdot 10^{-8}$	goedgekeurd	I_v
II	$P_{eis;sign;dsn}$	$8,3 \cdot 10^{-7}$	goedgekeurd	II_v
III	$P_{eis;ond;dsn}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	goedgekeurd	III_v
IV	$P_{eis;ond}$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	mogelijk	IV_v
V	$30 \cdot P_{eis;ond}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	afgekeurd	V_v
VI	-	-	afgekeurd	VI_v

*Strikt gesproken is in de nieuwe manier van toetsen geen sprake meer van goedkeuren en afkeuren, maar van een "rapportcijfer" (de zes scores).

2.4 Invoer van het oploopmodel

2.4.1 Belastingvariabelen

De bepalende belastingvariabele voor het oploopmodel is de oploopsnelheid U , zie vergelijking (1). Deze snelheid is afhankelijk van de belastingvariabelen waterstand en golfhoogte en golfperiode, en daarnaast afhankelijk van de geometrie en ruwheid van het talud. Vanwege het cumulatieve karakter van het oploopmodel is het van belang een tijdsverloop voor deze drie variabelen (waterstand, golfhoogte en golfperiode) te kiezen, de duur en het aantal golven (bepaald door de golfperiode en totale stormduur) heeft immers veel invloed op de totale schade aan de graszode op het buitentalud. Voor het tijdsverloop wordt in WBI een standaard waterstandsverloop gebruikt (zie verderop in deze paragraaf) die zó geschaald wordt dat de piek van de hydrograaf overeenkomt met de waarde die geselecteerd is op basis van de gebruikte methode. Hierbij hebben we er voor gekozen om de golfhoogte en golfperiode constant te houden. In deze case wordt dezelfde semi-probabilistische methode toegepast als in WBI. In deze methode is de (piek-)waterstand gelijk aan de waterstand waarvan, samen met de golfperiode en golfhoogte, de overschrijdingskans gelijk is aan de faalkanseis in de categorieën gegeven in Tabel 2.2.

De drie belastingvariabelen zijn niet onafhankelijk van elkaar, zeker niet in kustsystemen. Om rekening te houden met afhankelijkheid passen we het belastingenmodel voor bekledingen uit het WBI toe. Met dit model worden de waterstand en de daarvan afhankelijke golfhoogte en piekperiode berekend voor een gegeven faalkanseis.

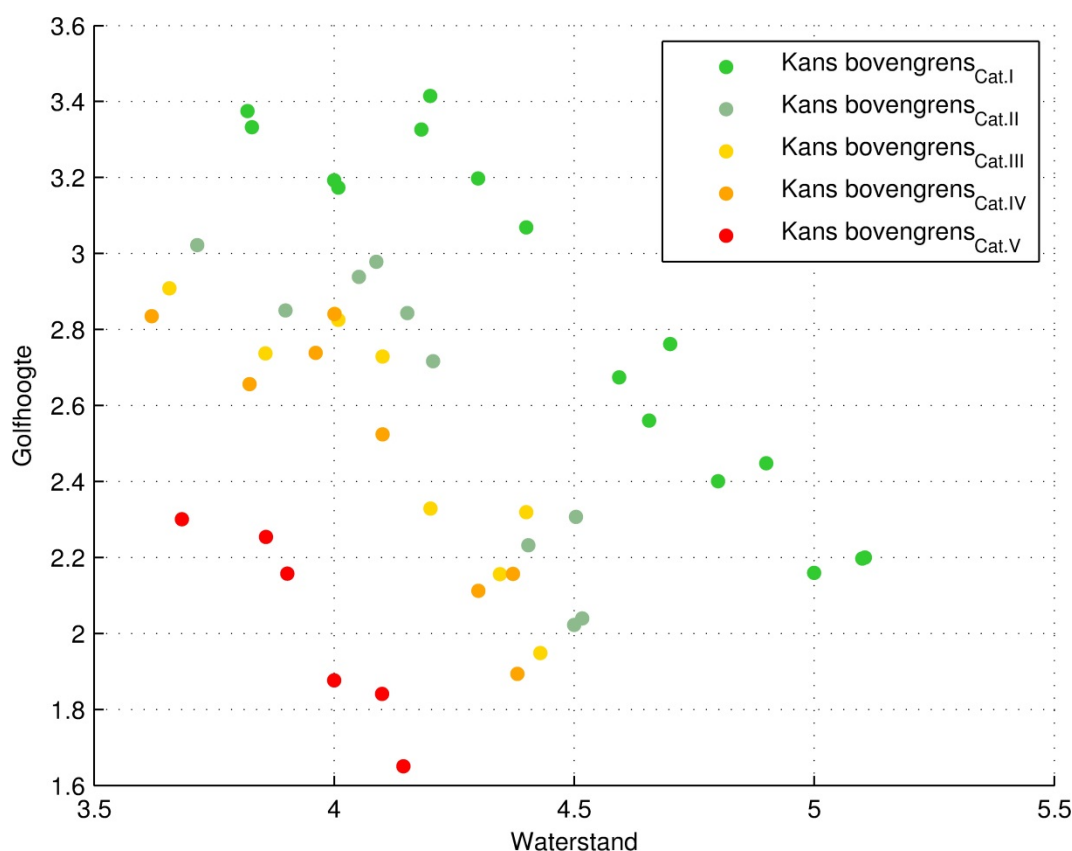
Er zijn verschillende combinaties van waterstand, golfhoogte en piekperiode met dezelfde overschrijdingskans. Voor een gegeven faalkanseis kunnen we derhalve meerdere combinaties kiezen. Figuur 2.2 toont golfhoogte-waterstand condities voor de Oesterdam, behorende bij de beoordelingscategorieën uit de vorige paragraaf. Als een doorsnede van de Oesterdam in staat is om categorie I condities te keren, krijgt deze doorsnede de score I_v .

Als de doorsnede *niet* in staat is om categorie I condities te keren maar *wel* om categorie II condities te keren, krijgt deze kering de score II_v . Als de doorsnede *niet* in staat is om categorie V condities te keren, dan krijgt de kering de score VI_v .

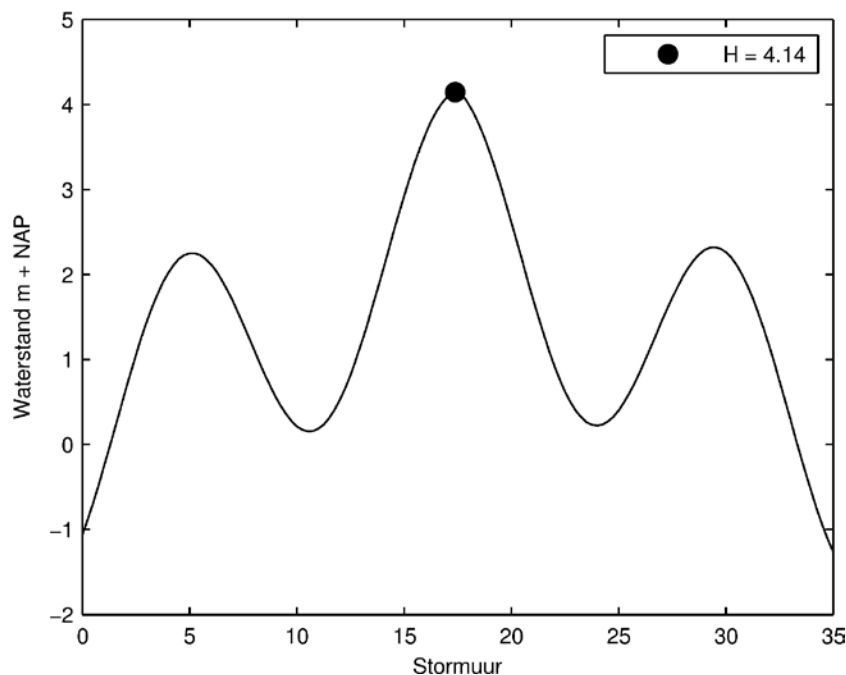
Omdat van te voren niet vast te stellen is welke van de combinaties per categorie tot de hoogste belasting leidt, rekenen we alle combinaties door met het oplooptmodel. De Oesterdam kan alleen voldoen aan de criteria van een categorie als het alle door te rekenen condities kan keren.

Zoals eerder gezegd wordt een standaard waterstandsverloop gehanteerd om de tijdsafhankelijke belasting te bepalen. In de Oosterschelde is de totale tijdsduur van de geschematiseerde stormopzet 35 uur. Figuur 2.3 toont de vorm van de waterstandsverloop. Dit is een voorbeeld met een piekwaterstand van 4,14 m+NAP.

Het verloop van Figuur 2.3 heeft betrekking op een toestand met open Oosterschelde-kering. Als de Oosterscheldekering gesloten is komen dergelijke hoge waterstanden niet voor bij de Oesterdam. De kering hoort in principe gesloten te zijn onder deze extreme condities omdat waterstanden boven NAP+4m ontoelaatbaar worden geacht. Het kan echter gebeuren dat de kering ten onrechte niet (volledig) sluit door menselijk of mechanisch falen. De kans hierop is klein, maar vanwege de strenge faalkanseisen worden de keringen ook getoetst op gebeurtenissen met een zeer kleine kans van voorkomen.



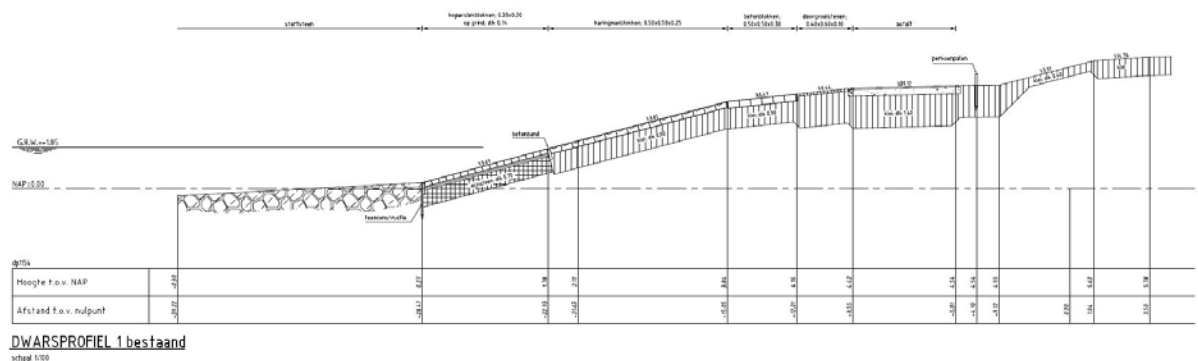
Figuur 2.2 Golfhoogte-waterstand combinaties voor de Oesterdam, behorende bij de beoordelingscategorieën uit de vorige paragraaf (Tabel 2.2).



Figuur 2.3 Geschematiseerd tijdsverloop van de waterstand; voorbeeld van een storm met een piekwaterstand van 4,14 m + NAP.

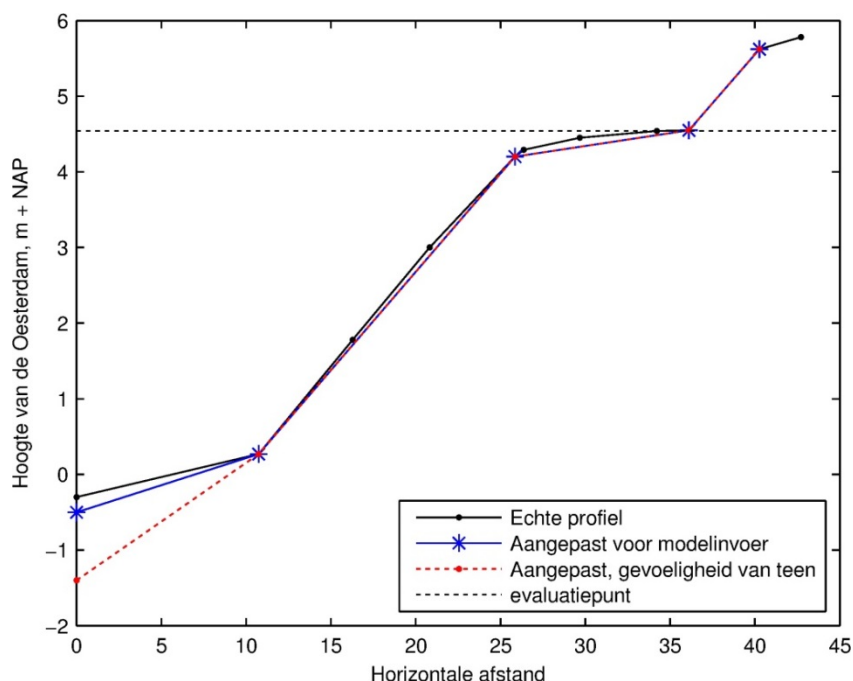
2.4.2 Oesterdam profielen

Naast de belasting heeft het mechanisme-model ook input nodig over het profiel van de kering. In deze studie hebben we profielen gebruikt die door RWS beschikbaar zijn vastgesteld na het uitvoeren van renovaties in 2011. We hebben het profiel van Figuur 2.4 gebruikt als invoer van het model.



Figuur 2.4 Profiel van de Oesterdam op een representatieve locatie.

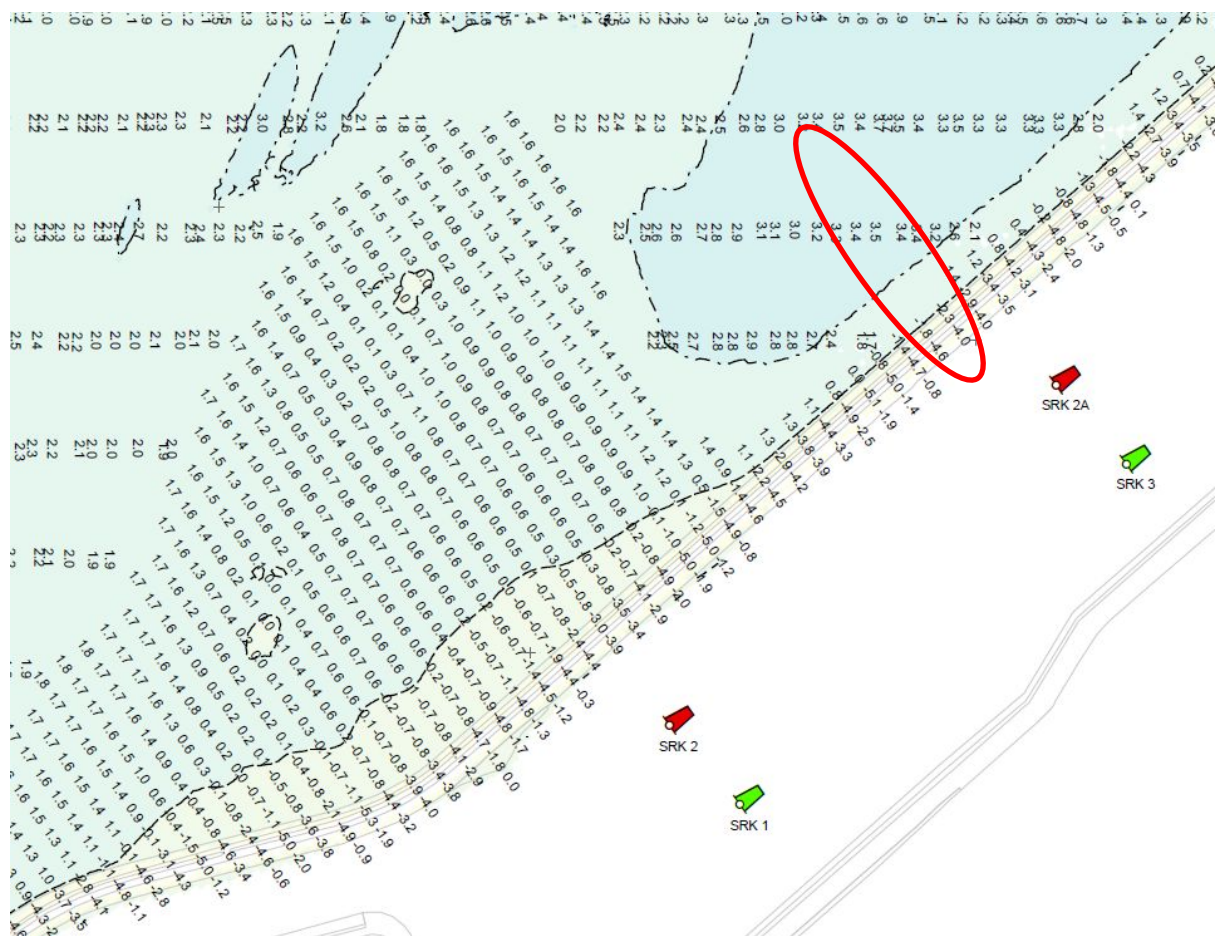
Het profiel van Figuur 2.4 moest in de schematisatie iets aangepast worden (zie Figuur 2.5) om te voldoen aan de toepassingsvoorwaarden van het oplooppmodel. Het belangrijkste verschil zit bij de teen; die is in de schematisatie van het model iets lager dan het origineel. Figuur 2.5 toont nog een profiel, waarbij de teen nog lager ligt. Dit profiel is geïntroduceerd om de gevoeligheid van het model voor de ligging van de teen te bepalen. De teen van dit profiel hebben we op -1.4 m + NAP gelegd omdat dat de laagste waarde is over alle profielen die door RWS zijn aangeleverd. Het evaluatiepunt is conform WBI aangenomen op het laagste punt van de grasbekleding. De verwachting is dat hier de belasting het grootst zal zijn.



Figuur 2.5 Aanpassing aan de schematisatie van het Oesterdam profiel ten behoeve van de graserosieberekeningen.

2.4.3 Voorland

Het is mogelijk om de invloed van voorlanden op de hydraulische belasting in rekening te brengen. Het profiel van het voorland van de Oesterdam is bepaald op basis van aangeleverde bathymetrie-data van RWS (zie Figuur 2.6). Als voorland hebben we in deze studie het rood omcirkelde gebied gekozen. Die hebben we gekozen omdat de helling daar steiler is, met een grotere berekende belasting tot gevolg. Dit is dus een conservatieve keuze.



Figuur 2.6 Het voorland bij de locatie van de doorsnede (rode ovaal).

2.5 Resultaten

We geven hieronder de resultaten voor de twee profielen die we hebben geanalyseerd (zie Figuur 2.4). We hebben bepaald bij welke taludhoogte een verlaagde graskwaliteit geen invloed meer heeft op de veiligheid. Hierbij maken we gebruik van de drie graszodecategorien zoals gedefinieerd in WBI (zie 3.3.1 voor een gedetailleerde beschrijving). We vonden voor beide profielen geen locatie op het talud waar fragmentarisch gras tot goedkeuring leidt, dus fragmentarisch gras mag nooit ontstaan.

2.5.1 Eerste profiel

Voor het eerste profiel in Figuur 2.4 ('aangepaste voor model invoer'), zien we dat bij open en gesloten zoden de doorsnede een WBI score van I_v haalt. Dit betekent dat bij open en gesloten zoden geen sprake is van benodigde actie. Bij fragmentarisch gras, gaat de score hard omlaag, naar categorie VI_v . Dit betekent dat fragmentarisch gras altijd vermeden moet worden en het gras op tijd geïnspecteerd moet worden om te zorgen dat fragmentarisch gras nooit ontstaat. Tabel 2.3 geeft de maximale schades (over alle berekende belastingcombinaties) per WBI categorie, en per graskwaliteit.

Groene cellen geven aan dat de schade onder de kritische grens D_{crit} ($7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$) uitkomt, en rode cellen geven aan dat de schade boven D_{crit} uitkomt. Tabel 2.4 vat de gehaalde scores en het bijbehorende toetsresultaat samen voor de drie graskwaliteiten. Deze tabel kan worden gebruikt om de koppeling te maken met de inspectiebeelden (uit de Digigids).

Tabel 2.3 Maximale schades per WBI categorie (m^2/s^2), voor het eerste profiel. Rode cellen geven aan dat de schade groter is dan de kritische schade ($7.000 \text{ m}^2/\text{s}^2$); groene cellen geven aan dat de schade onder de kritieke waarde ligt.

WBI categorie	Gesloten zode	Open zode	Fragmentarisch	Score
I	11	4500	38000	I _v
II	5	3600	40000	II _v
III	4	3400	34000	III _v
IV	3	3200	35000	IV _v
V	1	2200	22000	V _v

Tabel 2.4 WBI score en toetsresultaat per graskwaliteit

Zodekwaliteit	WBI Score	Toetsresultaat
Gesloten	I _v	Goedgekeurd
Open	I _v	Goedgekeurd
Fragmentarisch	VI _v	Afgekeurd

2.5.2 Tweede profiel

Voor het tweede profiel in Figuur 2.5 ('aangepast, gevoeligheid van teen'), zien we dat bij gesloten zode de doorsnede een WBI score van I_v haalt, maar voor open zode, de score II_v is (zie

Tabel 2.5 en Tabel 2.6). Omdat de bedrijfswaarde vaststelt dat de dam (op doorsnedeniveau) niet slechter dan II_v scoort, moeten we zorgen dat de zode gesloten of open is.

Tabel 2.5 laat zien dat de maximale schade bij open zoden, voor WBI categorie I maar net boven D_{crit} valt. Een open zode brengt dus een risico met zich mee. We hebben gekeken op welke taludhoogte de schade weer onder D_{crit} valt. Met een evaluatiepunt van 4,6 m+NAP in plaats van 4,54 m+NAP, valt de maximale schade weer net onder D_{crit} . Tabel 2.7 laat zien hoe de maximale schade verandert met toenemende hoogtes van de evaluatiepunt.

Bij fragmentarisch gras gaat de score weer fors omlaag, naar WBI score VI_v (afkeuring), net als bij het andere profiel. De conclusie hiervoor is dus hetzelfde: fragmentarisch gras moet altijd vermeden worden, en het gras moet op tijd worden geïnspecteerd om te zorgen dat fragmentarisch gras nooit ontstaat.

Tabel 2.5 Maximale schades per WBI categorie (m^2/s^2), voor het tweede profiel (lagere teen). Rode cellen geven aan dat de schade groter is dan de kritische schade ($7000 m^2/s^2$); groene cellen geven aan dat de schade onder die waarde ligt

WBI categorie	Gesloten zode	Open zode	Fragmentarisch	Score (als voldaan)
I	59	7320	45032	I _v
II	36	5947	44649	II _v
III	30	5516	36784	III _v
IV	26	5200	37481	IV _v
V	9	3418	24111	V _v

Tabel 2.6 WBI score en toetsresultaat per graskwaliteit, tweede profiel

Graskwaliteit	WBI score	Beoordeling
Gesloten	I _v	voldoende
Open	II _v	voldoende
Fragmentarisch	VI _v	onvoldoende

Tabel 2.7 WBI score en toetsresultaat per graskwaliteit, tweede profiel

Graskwaliteit	Evaluatiepunt	Maximale schade (m^2/s^2)
Open zode	4,54	7.320
Open zode	4,60	6.864
Open zode	4,75	6.768
Open zode	4,80	6.491

2.6 Conclusies

De beoordeling van het toetsspoor grasbekleding buitentalud – golfoploop – leidt tot een gunstige WBI score I_v indien de kwaliteit van de graszode gesloten of open is. De WBI score is gevoelig voor de ligging van de teen van het dijkprofiel. Hoe lager de teen is gelegen, hoe slechter de score. Een conservatieve keuze voor de hoogteligging van de teen (de laagste waarde over alle profielen) leidt er toe dat de WBI score voor een open zode iets minder goed is (II_v) en dit is nog steeds voldoende. Indien de graszode op de Oesterdam fragmentarisch is, dan is de WBI score in ieder geval ongunstig. De uitkomsten bieden de mogelijkheid om visuele inspecties zo te plannen dat de kwaliteit van de graszode dusdanig blijft dat de grasbekleding aan de WBI norm voldoet.

3 Relatie tussen visuele inspectie en graskwaliteit

3.1 Introductie

In het vorige hoofdstuk hebben we een koppeling gemaakt tussen de kwaliteit van de graszode en de WBI beoordeling voor GEBU oploop. Echter om de onderliggende vraag of de huidige, op de Digigids gebaseerde, visuele inspectie geschikt is om aan te tonen dat de kering aan de wettelijke veiligheidseisen voldoen, moet er een link gelegd worden tussen de visuele inspectie en de graskwaliteit.

In dit hoofdstuk bespreken we eerst de huidige eisen voor inspectie en beheer & onderhoud in het kader van de bedrijfswaarde 'veiligheid'. Daaruit blijkt al snel dat er op dit moment geen 1-op-1 koppeling bestaat tussen visuele inspecties en de eisen die er vanuit WBI aan graskwaliteit gesteld worden. In paragraaf 3.4 bespreken we de dan ook hoe de visuele inspectie op basis van de Digigids aangepast kan worden, zodat de visuele inspecties wel 1-op-1 gekoppeld kunnen worden aan de kwaliteitseisen vanuit WBI aan graszoden.

3.2 Huidige aanpak door de beheerder (RWS)

Definitie bedrijfswaarde 'veiligheid'

Het in stand houden van de waterkerende functie(s) conform de wettelijke normen van het WBI waarbij geldt dat het niveau van de waterkerende functie niet achteruit mag gaan ten opzichte van de huidige situatie.

Bij deze bedrijfswaardedefinitie wordt opgemerkt dat RWS wil voorkomen dat, wanneer zij bijvoorbeeld een grasmat overdragen voor beheer en onderhoud aan een aannemer, en de grasmat is van WBI-kwaliteit A+, de aannemer net zolang geen onderhoud pleegt totdat de grasmat op kwaliteitsniveau C zit. Feitelijk gezien voldoet de grasmat dan nog wel aan de normering, maar de aannemer heeft dan wel veel minder beheer uitgevoerd. RWS wil dat A+ niveau handhaven. Belangrijke reden voor het handhaven van het A+ niveau is dat gras bij schade langzaam herstelt onder relatief grote inspanning.

Tabel 3.1 Huidige bedrijfswaardenmatrix ten aanzien van veiligheid.

Bron: Excel-bestand, Oesterdam FMECA en Normkostenmodel Oesterdam prototype, versie 1.1, aangeleverd door de beheerder.

Kans dat het faalmechanisme zich gedurende de komende planperiode manifesteert				Risicomatrix t.b.v. IHP Dijk	
≤ 1% (≤1 op 100)	1%-15% (≈ 1 op 10)	15%-50% (≈ 1 op 3)	>50% (>1 op 2)	Gevolgen	Veiligheid
					N.V.T.
					<Verwaarloosbare materiële schade (≤ 50 k€).
					Beperkte materiële schade (50 k€ - 250 k€).
					Omvangrijke materiële schade (250 k€ - 1000 k€).
					Zeer omvangrijke materiële schade (> 1000 k€).

De gevolgen van optreden van het faalmechanisme zijn gelinkt aan het begroten van de onderhoudswerkzaamheden (zie tabel Tabel 3.1) en beschrijven geen kwaliteitsnorm in de verschillende risicoklassen (goed (groen), redelijk (geel), matig (oranje) en slecht (rood)) uit de bedrijfswaardenmatrix. Daarom wordt voor de inspectie van grasbekledingen aangesloten op de Digigids van STOWA waarbij de kwaliteit van de grasmatten in verschillende kwaliteitscategorieën is verdeeld voor diverse schadebeelden.

3.3 Relatie tussen visuele inspectie op basis van Digigids en graszodekwaliteit voor WBI-beoordeling

3.3.1 WBI2017 beoordelingsmethodiek

In de nieuwe beoordelingsmethodiek WBI2017 wordt voor de kruin en het binnentalud met de termen “gesloten”, “open” en “fragmentarisch” een indicatie gegeven van de kwaliteit van de grasmatten en daarmee de erosiebestendigheid van de bekleding.

De begroeiing die karakteristiek is voor deze drie graszodecategorïeën is als volgt beschreven (zie Infram, 2017):

- **Gesloten graszode:** Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m² zijn en gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 van zulke gaten.
- **Open graszode:** Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m² zijn en gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 van zulke gaten.
- **Fragmentarische zode:** Taludbegroeiing met meer dan 25% van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25 m, veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.

3.3.2 Digigids

De Digigids maakt voor de elementgroep 'grasbekledingen' onderscheid tussen 17 schadecategorieën, met meerdere shadebeelden per categorie. Per shadebeeld wordt de ernst geclassificeerd in "goed", "redelijk", "matig" en "slecht" op basis van shadeomvang. Het inspectieoppervlak in de Digigids bedraagt 25 m². Hetgeen betekent dat de beoordeling van de shadeomvang per 25 m² beschouwd dient te worden.

De uitdaging is om de shadebeelden uit de Digigids te relateren aan de WBI-normering. Deze shadebeelden zijn namelijk niet 1-op-1 te relateren aan een WBI beoordelingscategorie (zie ook hoofdstuk 0). In overleg met de beheerder is besloten om de scope van deze case te beperken tot de elementgroep grasbekleding en de shadebeelden graverij klein, afdekking, kale plekken, onkruid en bedekkingsgraad.

We hebben de beschrijving van 'open', 'gesloten' en 'fragmentarische' graszoden uit WBI2017 vergeleken met de beschrijving van de shadebeelden in de Digigids. In bijlage D van deze notitie is een gedetailleerder beschrijving gegeven van deze koppeling tussen de shadebeelden uit de Digigids en de drie graszodecategorïeën uit de WBI2017. Uit deze vergelijking tussen de Digigids en de drie graszodecategorïeën uit de WBI2017 kan geconstateerd worden dat het onderscheidend vermogen van de Digigids ten opzichte van de drie graszodecategorïeën uit WBI beperkt is. Zo kunnen voor de schadecategorie 'kale plekken' de shadebeelden 'goed' en 'redelijk' zowel als graszodecategorïeën 'gesloten' als 'open' geïnterpreteerd worden. Aan de schadecategorieën 'onkruid' en 'afdekking' kunnen geen graszode categorieën worden toegekend. De score van de schadecategorieën 'onkruid' (groot en klein) wordt in de Digigids bepaald aan de hand van vegetatiesoort. In de definitie van de WBI2017 is geen vegetatiesoort opgenomen, waardoor ook deze schadecategorie niet te koppelen valt aan een WBI2017 graszodecategorie. De score van de schadecategorie 'afdekking' wordt bepaald aan de mate van afdekking. In de definities van de WBI2017 is geen mate van afdekking opgenomen, waardoor dit niet te koppelen is.

3.4 Te inspecteren grootheden voor een-op-een koppeling tussen visuele inspectie en WBI-beoordeling

Om tot een goed inspectieresultaat te komen en te voldoen aan de zorgplicht, is het van belang om aantoonbaar het risico op functieverlies van de assets te beheersen. De visuele inspecties op basis van de Digigids zijn hier niet afdoende voor, zoals hierboven aangetoond. Om wel aantoonbaar controle te hebben over de assets dient er regelmatig geïnspecteerd te worden en dienen belangrijke parameters vastgelegd te worden. Onderstaand is per in deze case beschouwd schadebeeld beschreven welke grootheden op welke manier vastgelegd dienen te worden om hier aan te voldoen.

In het rapport 'Eisen grasbekledingen' (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017), wordt gesteld dat, voor tijdig onderhoud voor behoud van een goede grasmant, vanaf de start van het groeiseizoen tot aan de start van het stormseizoen elke 2 à 3 weken de grasmant visueel geïnspecteerd moet worden. Gedurende het stormseizoen tot aan het volgende groeiseizoen dient één keer per maand geïnspecteerd te worden en na elke situatie met hevige regenval of storm. Daarbij wordt gesteld dat het ideale moment om te inspecteren net na een maaibeurt is omdat dan schadebeelden het makkelijkst vast te stellen zijn.

3.4.1 Afdekking

In het rapport 'Eisen grasbekledingen' (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017) wordt met betrekking tot afdekking gesteld dat, afhankelijk van de afmetingen van deze afdekking dit binnen een bepaalde tijd verwijderd moet worden om schade aan de grasmant te voorkomen. Gesteld wordt dat aaneengesloten afdekkingen van meer dan 5 vierkante meter of langer dan 50 meter binnen 3 dagen verwijderd moeten worden. Aaneengesloten afdekkingen tussen 1 en 5 vierkante meter of langer dan 10 meter moeten binnen 7 dagen verwijderd worden en afdekkingen die niet aaneengesloten zijn moeten binnen twee weken verwijderd worden. Daarbij wordt wel opgemerkt dat het afhankelijk is van de mate van afdekking en de weersomstandigheden (en dus seizoen) hoe snel verstikking optreedt door afdekking. Deze eisen geven dan ook een veilige periode aan waarbinnen afdekking nog niet zal leiden tot kale plekken. In de Inspectiewijzer Waterkeringen (Bakkenist, Dam, Nat, Thijs, & Vries, 2012) wordt afdekking niet als apart onderdeel behandeld. Het wordt alleen benoemd als belangrijke oorzaak voor kale plekken. Door gebruik te maken van luchtfotografie kan snel op grote schaal vastgelegd worden waar afdekking van de grasmant aanwezig is.

Er vanuit gaande dat grote afdekkingen alleen zullen ontstaan door niet-opgeruimd maaisel, kan gesteld worden dat, om verstikking van de grasmant te voorkomen, tweewekelijks geïnspecteerd dient te worden op afdekkingen. Bij deze inspectie dient de locatie en omvang (al dan niet aaneengesloten) van de afdekking en het tijdstip van inspecteren vastgelegd te worden. Vervolgens dient men er voor te zorgen dat deze afdekking binnen twee weken is afgevoerd. Daarnaast dient ook na elke maaibeurt gecontroleerd te worden of al het maaisel afgevoerd is. Indien dit niet het geval is dient de locatie vastgelegd te worden en dient dit maaisel zo snel mogelijk, maar uiterlijk binnen drie dagen afgevoerd te worden.

3.4.2 Kale plekken

Kale plekken dienen opgelost te zijn voor de start van het stormseizoen, maar vormen tijdens het groeiseizoen geen probleem. Het is mogelijk dat kale plekken (gedeeltelijk) vanzelf dichtgroeien met gras. Het is echter ook mogelijk dat deze plekken dichtgroeien met onkruid.

Wanneer deze plekken tijdens het stormseizoen niet met gras bedekt zijn, zijn dit plekken die erg gevoelig zijn voor erosie. Kale plekken kunnen het gevolg zijn van afdekking, vertrapping door mensen of dieren, spoorvorming, etc. Van kale plekken dient tijdens de inspectie de locatie en de afmetingen vastgelegd te worden. Daarnaast dient het tijdstip van inspectie vastgelegd te worden. Er dient voor gezorgd te worden dat de kale plekken dichtgegroeid zijn voor de start van het stormseizoen. Om dit te bewerkstelligen zal in ieder geval ruim voor het stormseizoen, in augustus geïnspecteerd moeten worden. Op die manier is er dan nog genoeg tijd om kale plekken te verhelpen. Na reparatie van deze kale plekken dient elke twee weken gecontroleerd te worden of de gerepareerde stukken ook daadwerkelijk met gras begroeien.

Ook zal na hevige regenval/storm in het stormseizoen geïnspecteerd moeten worden, zodat bij eventueel ontstane kale plekken noodmaatregelen genomen kunnen worden. Het is daarbij van belang om van deze plekken de locatie en omvang vast te leggen, zodat na het stormseizoen deze plekken definitief gerepareerd kunnen worden. Ook dient na het stormseizoen geïnspecteerd te worden op kale plekken zodat deze verholpen kunnen worden voor onkruid de kans krijgt deze plekken op te vullen. In de Inspectiewijzer Waterkeringen wordt gesteld dat het vastleggen van kale plekken, net als het vastleggen van afdekking, kan gebeuren met behulp van luchtfotografie (Bakkenist, Dam, Nat, Thijs, & Vries, 2012). Dit kan ook gedaan worden door een inspecteur over de dam te laten lopen en de grasmat te laten inspecteren.

3.4.3 Onkruid

In het rapport 'Eisen grasbekledingen' (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017) wordt gesteld dat een score "redelijk" op een oppervlak van 25 vierkante meter uit de Digigids acceptabel is. Dit betekent dat maximaal 10% van een oppervlak van 25 vierkante meter bedekt mag zijn met klein onkruid (akkerdistel, brandnetel, ridderzuring en/of mos) (STOWA, 2016). Concentraties (stukken onkruid groter dan 1 vierkante meter) dienen verwijderd te worden. Verdringende eenjarige onkruiden dienen daarnaast als kale plek beschouwd te worden, omdat deze gedurende het stormseizoen geen weerstand zullen bieden (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017). Voor onkruid geldt hetzelfde als voor de kale plekken: het is belangrijk dat deze plekken voor het stormseizoen weer volgroeid zijn met gras. Onkruid heeft, in tegenstelling tot kale plekken, echter de neiging om tijdens het groeiseizoen verder uit te breiden (Bakkenist, Dam, Nat, Thijs, & Vries, 2012). Daarom is het van belang regelmatig op onkruid te inspecteren, namelijk iedere maand gedurende het groeiseizoen. Op die manier kan tijdig ingegrepen worden voor het onkruid zich verder verspreidt.

3.4.4 Bedekkingsgraad

In het rapport 'Eisen grasbekleding' (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017) wordt gesteld dat voor de bedekkingsgraad de grasmat altijd moet voldoen aan de gesloten grasmat volgens WBI. Specifiek voor deze case is echter gebleken dat een open grasmat ook nog een voldoende WBI-score geeft. Gezien de koppeling die gelegd is tussen WBI en Digigids in deze case voor de bedekkingsgraad en onkruid, betekent dit dat gemiddeld op een stuk van 25 vierkante meter een oppervlak van 85% bedekt moet zijn met gras om aan de WBI beoordelingseis te voldoen (STOWA, 2016). Daarbij moet concentratie van grote plantafstanden voorkomen worden. Het is daarbij van belang dat de grasmat voor de start van het stormseizoen weer aan de kwalificatie gesloten grasmat voldoet. Wanneer de plantafstand te groot wordt is de kans op vorming van onkruid groter. Om dit te voorkomen dient regelmatig, eens per maand, geïnspecteerd te worden.

Op die manier kan op tijd ingegrepen worden om te voorkomen dat onkruid zich snel kan uitbreiden en het probleem groter wordt.

3.5 Conclusies

Voor de verschillende schadebeelden dienen verschillende grootheden vastgelegd te worden op verschillende intervallen. In onderstaande tabel is hier een samenvatting weergegeven.

Tabel 3.2 Samenvatting te inspecteren grootheden per schadebeeld en aanbevolen inspectiefrequentie volgens het rapport 'Eisen grasbekleding' (Steendam, Dorst, Bakker, & Mom, 2017)

Schadebeeld	Vast te leggen grootheid	Inspectiefrequentie groeiseizoen (april – oktober)	Inspectiefrequentie stormseizoen (november – maart)
Afdekking	- Locatie afdekking - Omvang afdekking (cm²) - Tijdstip inspectie - Aaneengesloten ja/nee	Iedere 2 weken Extra na maaibeurt	Iedere maand Extra na hevige regenval/storm
Kale plekken	- Locatie kale plek - Afmeting kale plek - Tijdstip inspectie	In augustus en april Na reparatie: iedere 2 weken	Na hevige regenval of storm
Onkruid	- Locatie onkruid - Afmetingen onkruid - Verspreiding onkruid - Tijdstip inspectie	Iedere maand	
Bedekkingsgraad	- Bedekkingsgraad (% per 25 m²) - Locatie inspectie - Tijdstip inspectie	Iedere maand	

Deze tabel dient als startpunt voor het risico-gebaseerd inspecteren. Op basis van de regelmatig, met een vast interval, uitgevoerde inspecties kunnen gevoelige, risicovolle locaties geïdentificeerd worden. Op basis daarvan kan vervolgens gedifferentieerd worden in inspectie-intervallen voor verschillende secties. Risicovolle secties (secties waar vaker schadebeelden optreden) kunnen dan vaker geïnspecteerd worden dan secties met weinig risico (secties waar weinig schadebeelden worden waargenomen). Voorlopig is de boodschap aan de inspecteur dat hij/zij bij twijfel de schade hoger moet inschatten.

4 Koppeling visuele inspectie aan WBI-beoordeling

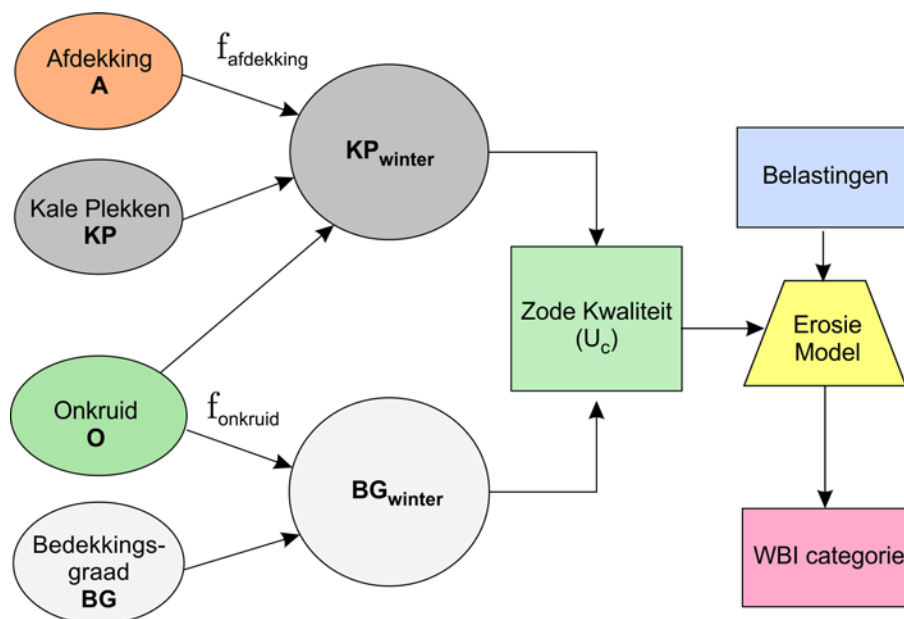
4.1 Introductie

Nu we de koppeling hebben gemaakt tussen de visuele inspectie en de kwaliteit van de graszode (hoofdstuk 3), en de koppeling tussen de graskwaliteit en de WBI beoordeling (hoofdstuk 2), kunnen we de vraag beantwoorden hoe visuele inspectie gebruikt kan worden om aan te tonen of er aan de wettelijke zorgplicht voldaan wordt. Hiertoe werken we in paragraaf 4.2 een methode uit voor de schadebeelden afdekking, kale plekken, onkruid klein en bedekkingsgraad. De resultaten van (gevoeligheds)testen met deze methode zijn samengevat in paragraaf 4.3.

4.2 Methode

Uit gesprekken met de beheerder blijkt dat de schadebeelden afdekking, kale plekken, onkruid klein en bedekkingsgraad relevant zijn voor de Oesterdam. Visuele inspectie van deze schadebeelden aan de hand van de Digigids levert inzicht op in de huidige schade aan de grasmat, maar dit kan niet direct worden gerelateerd aan de zodekwaliteit (zie ook hoofdstuk 3). In het bijzonder niet aan de zodekwaliteit in het winterhalfjaar (stormseizoen).

Figuur 4.1 visualiseert het verband tussen de (inspectieresultaten van) vier schadebeelden en de zodekwaliteit in het winterhalfjaar. De linkerzijde van de figuur betreft de situatie ten tijde van een inspectie. De pijlen leggen een relatie tussen de huidige situatie en de toekomstige situatie in het winterhalfjaar. De zodekwaliteit bepaalt uiteindelijk in welke WBI categorie de bekleding valt (zie hoofdstuk 2).



Figuur 4.1. Schematische weergave verbanden schadebeelden en WBI categorie

Afdekking van de grasbekleding kan leiden tot verstikking en op den duur tot kale plekken. Mogelijke oorzaken voor afdekking zijn vallende bladeren (in de herfst) of achtergebleven

maaisel. Tijdens inspectie geobserveerde bestaande kale plekken blijven mogelijk kale plekken tot in het winterhalfjaar.

Klein onkruid, zoals akkerdistel, brandnetel, ridderzuring en mos, verzwakt het wortelstelsel van het gras en heeft invloed op de afstand tussen de grasplanten. De aanwezigheid van veel onkruid kan tot kale plekken en een lage bedekkingsgraad leiden in het winterhalfjaar.

De bedekkingsgraad is gedefinieerd als het gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking. De score bij de inspectie is een indicator voor de score in het winterhalfjaar.

In de Schematiseringshandleiding Gras (Rijkswaterstaat WVL, 2018) is de zodekwaliteit gedefinieerd in termen van (i) aantal en grootte van kale plekken, en (ii) de bedekkingsgraad. Deze grootheden kunnen we dus gebruiken om iets over de zodekwaliteit (in het winterhalfjaar) te zeggen. Zoals in hoofdstuk 0 toegelicht is de zodekwaliteit de (enige) sterkte-parameter van het erosiemodel waarmee wordt berekend in welke WBI categorie toetsspoor GEBU oploopt valt.

N.B. De definitie van de zodekwaliteit staat in paragraaf 3.3.2 en in Bijlage B. De definities van de Digigids schadebeelden en bijbehorende scores staan in Bijlage C.

Hieronder is stap voor stap een model uitgewerkt dat een kwantitatief verband legt tussen de visuele inspecties volgens de Digigids en de zodekwaliteit in het winterhalfjaar. Het eerste uitgangspunt hierbij is dat er geen menselijke interventies plaats vinden. Het tweede is dat de waarden van de in paragraaf 3.4 gedefinieerde grootheden worden ingeschat en geregistreerd bij de visuele inspectie. De visuele inspectie wordt verondersteld plaats te vinden over stukken ter grootte van 25 m².

Registraties

De volgende variabelen moeten worden geregistreerd bij de visuele inspectie (per 25 m²):

- Datum inspectie.
- Locatie inspectie.
- Lengte en breedte afdekking.
- Lengte en breedte kale plekken.
- Percentage onkruid dat verspreid aanwezig is over het oppervlak.
- Lengte en breedte van ieder cluster onkruid, indien aanwezig.
- Bedekkingsgraad als percentage tussen 0% en 100%.

Voor de registratie van afdekking, kale plekken en clusters onkruid kan het beste een drempelwaarde worden gehanteerd om een overvloed aan onnodige gegevens te voorkomen. Te denken valt aan een minimale oppervlakte van 20 cm². Dit is een waarde die beheerders moet vast stellen. De waarden kunnen worden gebaseerd op hun eigen ervaringen of die van inspecteurs, maar de beheerders kunnen ook de STOWA (Digigids) om advies vragen.

Afdekking (inspectie) => Kale plekken (winterhalfjaar)

Hoe hoger het percentage afgedekt gras op het inspectiemoment is, hoe groter de kans is dat kale plekken ontstaan als verder geen (menselijke) interventies plaats vinden. Aan de andere kant geldt dat achtergelaten maaisel in, zeg, juni, nog veel kans heeft om te vergaan of weg te waaien en het gras eronder nog veel tijd heeft om te herstellen. Achtergelaten maaisel in oktober blijft wellicht langer liggen, waardoor een grotere kale plek kan ontstaan. De relatie tussen afdekking en kale plekken in het winterhalfjaar wordt beschreven met een parameter $f_{afdekking}$ die een waarde tussen 0 en 1 aanneemt. Vermenigvuldiging van deze parameter met het percentage afgedekt gras geeft de hoeveelheid kale plekken. De parameter is tijdsafhankelijk. De beheerder moet de waarden van de parameter (per maand) zelf schatten of laten vaststellen.

Kale plekken (inspectie) => Kale plekken (winterhalfjaar)

We veronderstellen een één-op-één verband tussen het aantal kale plekken op het inspectiemoment en het aantal kale plekken in het winterhalfjaar. Dit is een enigszins conservatieve aanname, aangezien op sommige plekken nog gras of andere vegetatie kan groeien in de tussentijd.

N.B. Voor het WBI is niet alleen het aantal kale plekken, maar ook de grootte van de kale plekken van belang. Plekken groter dan $15 \times 15 \text{ cm}^2$ (225 cm^2) zijn niet toegestaan ofwel leiden tot een fragmentarische zode. Daarom moet ook de grootte van kale plekken vastgelegd worden tijdens de inspectie.

Onkruid klein (inspectie) => Kale plekken (winterhalfjaar)

Het aantal clusters klein onkruid draagt bij aan het aantal kale plekken in het winterhalfjaar. Evenzo draagt de omvang van verspreid klein onkruid bij aan de grootte van kale plekken in het winterhalfjaar.

Kale plekken (winterhalfjaar) -> prognose kwaliteit graszode

De volgende gegevens worden gebruikt om de toestand met betrekking tot kale plekken in het winterhalfjaar te bepalen:

1. Het aantal kale plekken in het winterhalfjaar als gevolg van de nu zichtbare afdekking. De oppervlakte van de kale plekken in het winterhalfjaar wordt berekend als $f_{afdekking} \cdot A_{afdekking}$, waarbij $A_{afdekking}$ de oppervlakte is van de nu waargenomen afdekking.
2. Het aantal nu waargenomen kale plekken.
3. Het aantal te verwachten kale plekken als gevolg van nu waargenomen clusters onkruid.
4. Het aantal te verwachten kale plekken in het winterhalfjaar als gevolg van de nu zichtbare afdekking waarvan de oppervlakte groter is dan 225 cm^2 . De oppervlakte van de kale plekken in het winterhalfjaar wordt berekend als $f_{afdekking} \cdot A_{afdekking}$, waarbij $A_{afdekking}$ de oppervlakte is van de nu waargenomen afdekking is.
5. Het aantal nu waargenomen kale plekken waarvan de omvang groter is dan 225 cm^2 .
6. Het aantal kale plekken als gevolg van nu waargenomen clusters onkruid waarvan de oppervlakte groter is dan 225 cm^2 .

De aantallen bij punten 1 t/m 3 worden opgeteld. De som wordt vergeleken met de grenswaarde: 5 plekken (groter dan de drempelwaarde) per inspectievlak van 25 m². Ook de aantallen bij punten 4 t/m 6 worden opgesteld. De som wordt vergeleken met de grenswaarde: geen plekken. Dit kwantitatieve stappenplan voor kale plekken heeft twee mogelijke uitkomsten. De eerste is dat geen van beide grenswaarden wordt overschreden. In dat geval is de prognose dat de kwaliteit van de graszode gesloten is (los van de andere schadebeelden), aangezien er gemiddeld over 25 m² niet meer dan 5 beschadigingen groter dan 0,15 x 0,15 m² zijn. De tweede is dat minimaal één grenswaarde wordt overschreden, in welk geval de prognose is dat de zode fragmentarisch is.

Merk op dat de WBI definitie van open graszode wat betreft kale plekken niet of nauwelijks afwijkt van de definitie van een gesloten zode. Het verschil zit in het toegestane percentage van het oppervlak met open plekken van een bepaalde representatieve grootte (zie bijlage B). De in paragraaf 3.4 gedefinieerde te inspecteren grootheden zijn gerelateerd aan het aantal kale plekken en op de grootte van die plekken. Deze worden vergeleken met het toegestane aantal beschadigingen in de beschrijving van de graszodecategorieën. De representatieve grootte van open plekken in de definitie van WBI heeft een plaats in dit stappenplan via de visuele inspectie van de bedekkingsgraad (zie hieronder).

Onkruid klein (inspectie) => Bedekkingsgraad (winterhalfjaar)

Doordat onkruid de plaats inneemt van gras, beïnvloedt het de bedekkingsgraad. Het verband tussen onkruid en de bedekkingsgraad is gemodelleerd door de factor $f_{onkruid}$. Deze factor is de fractie van het waargenomen percentage van het oppervlak bedekt met onkruid dat in het winterhalfjaar onbedekt zal zijn. Voorlopig is de waarde 1 gehanteerd, zodat alle grond waarop onkruid groeit als onbedekt zal worden geclassificeerd. De beheerder zal de definitieve waarde moeten vaststellen.

Bedekkingsgraad => Bedekkingsgraad (winterhalfjaar)

Indien geen onkruid aanwezig is, dan wordt aangenomen dat de waargenomen bedekkingsgraad ook in winterhalfjaar aanwezig is. Indien wel onkruid aanwezig is, dan wordt de waargenomen bedekkingsgraad verminderd met het percentage onkruid. In formulevorm:

$$BG_{whj} = BG_{nu} - f_{onkruid} \cdot A_o$$

met BG_{nu} het waargenomen percentage van het oppervlak bedekt met vegetatie, BG_{whj} het verwachte percentage van het oppervlak bedekt met vegetatie in het winterhalfjaar en A_o het waargenomen percentage onkruid.

Bedekkingsgraad (winterhalfjaar) => indicatie kwaliteit graszode

Uit de beschrijving van de kwaliteit van de graszode volgen duidelijke grenzen voor het percentage van het oppervlak dat bedekt is met vegetatie (zie bijlage B). Deze grenzen wijken af van de grenzen die in Digigids worden gehanteerd voor de scores goed, redelijk, matig en slecht.

Tabel 4.1 Bepaling kwaliteit graszode

Bedekkingsgraad	Prognose kwaliteit graszode
$BG_{whj} \geq 90\%$	Gesloten
$75 \leq BG_{whj} < 90\%$	Open
$BG_{whj} < 75\%$	Fragmentarisch

Kwaliteit graszode => WBI score

De slechtste van de twee scores voor bedekkingsgraad en kale plekken bepaalt de WBI score, want de scores van de beide schadebeelden zeggen allebei iets over een separaat aspect van de WBI definitie. Dit is in Tabel 4.2 samengevat. Alleen indien de prognose voor beide schadebeelden “gesloten zode” is, dan is de ‘overall’ prognose van de kwaliteit ‘gesloten zode’. De relatie tussen de kwaliteit van de graszode naar een WBI score is gelegd in Hoofdstuk 0.

Tabel 4.2 Bepaling kwaliteit graszode

Bedekkingsgraad	Kale plekken	Kwaliteit graszode
Gesloten	Gesloten	Gesloten
Gesloten	Open	Open
Gesloten	Fragmentarisch	Fragmentarisch
Open	Gesloten	Open
Open	Open	Open
Open	Fragmentarisch	Fragmentarisch
Fragmentarisch	Gesloten	Fragmentarisch
Fragmentarisch	Open	Fragmentarisch
Fragmentarisch	Fragmentarisch	Fragmentarisch

Implementatie in spreadsheet

Bovenstaande relaties zijn als formules verwerkt in een spreadsheet (zie Figuur 4.2 - Figuur 4.4). De resultaten van de visuele inspecties zijn invoer voor de prognose van de zodekwaliteit in het winterhalfjaar. Op dit moment zijn de verouderingsparameters nog niet op expert judgement of waarnemingen gebaseerd. Door structureel de visuele inspecties uit te voeren volgens bovenstaande aanpak, ontstaat bewijsmateriaal om de verouderingsparameters op basis van deze waarnemingen (en eventueel in combinatie met expert judgement) te bepalen.

Inspectie maand	Afdekking		Kale Plekken		Onkruid (verspreid)		Onkruid (geclusterd)		Bedekkingsgraad
	Lengte (cm)	Breedte (cm)	Lengte (cm)	Breedte (cm)	Verspreid? (1/0)*	Percentage	Lengte (cm)	Breedte (cm)	Percentage
6 juni	100 10	30 6	15 10	10 20	1	10	20	10	95
					* 1 = ja, 0 = nee				
Bedekkingsgraad:		open							
Kale Plekken:		gesloten							
Combined Zode:		open							
WBI categorie:		A+							
Kleurcode									
	waarneming inspectie invullen (indien van toepassing)								
	geen waarde invullen								
	berekende resultaat								

Figuur 4.2. Tabblad invoerscherm inspecties

Expertinvoer					
Drempel	20	area (cm ²) above which an open spot is considered a 'kale plek'			
Onkruid factor	1	fraction of onkruid that becomes open in the winter			
Maand #	Afdekking factor	Naam maand			
1	0.05	januari			
2	0.05	februari			
3	0.05	maart			
4	0.05	april			
5	0.05	mei			
6	0.05	juni			
7	0.05	juli			
8	0.05	augustus			
9	0.05	september			
10	0.05	oktober			
11	0.05	november			
12	0.05	december			

Figuur 4.3. Tabblad expertschattingen c.q. instellingen modelparameters

Afdeking (nu)		Kale plekken (obv Afdeking_nu)			Kale Plekken				Onkruid (verspreid)	Onkruid (clusters)			Bedekkingsgraad		
Grootte (cm2)	Grootte (cm2)	Boven drempelwaarde?	Groter dan 15x15 cm2?	Aantal plekken groter dan drempelwaarde	Grootte (cm2)	Boven drempelwaarde?	Groter dan 15x15 cm2?	Aantal plekken groter dan drempelwaarde	Percentage (berekend)	Grootte (cm2)	Boven drempelwaarde?	Groter dan 15x15 cm2?	Aantal plekken groter dan drempelwaarde	Percentage	
3000	150	1	0	1	150	1	0	2	10	200	1	0	1	95	
60	3	0	0		200	1	0			0	0	0			
0	0	0	0		0	0	0			0	0	0			
0	0	0	0		0	0	0			0	0	0			
0	0	0	0		0	0	0			0	0	0			
Berekeningen															
Aantal kale plekken (winter)				4											
Aantal kale plekken (winter) > 15 cm x 15 cm				0											
KP (winter)	0	----->		KP interpretation											
BG (winter) %	85			1	max 5 kale plekken of NO MORE than 15 cm x 15 cm (I did NOT include the area that this relates to (1 m2), or the criterion that no more than 5 in 25 m2) -> gesloten zode										
more than 5 kale plekken OR at least one more than 15 cm x 15 cm -> fragmentarische zode															

Figuur 4.4. Tabblad modelberekeningen

Methode 'graverij klein'

Wij hebben in eerste instantie voor het schadepbeeld "graverij klein" een methode uitgewerkt om het minimale inspectiefrequentie van de grasmat te bepalen. Deze methode gaat uit van een eenduidige relatie tussen Digigids inspectiescores en de kwaliteit van de graszode in WBI2017. Het ontstaan van muizenholletjes en molshopen over de tijd is met een Poisson proces gemodelleerd, waardoor de kans op aantal gaten over de tijd kan worden geschat. De kwaliteit van de graszode is direct gerelateerd aan het aantal gaten in de bekleding (muizenholten, molshopen). Daardoor kan met het verouderingsmodel de kans op een gesloten, open of fragmentarische zode over de tijd worden geschat. Zonder visuele inspecties is de faalkans GEBU oploopt een functie van deze kansen. De tijd waarin de faalkans GEBU oploopt tot een waarde die hoger is dan de bovengrens van categorie III definieert daarom de maximale toelaatbare duur tussen twee inspecties (zie paragraaf 2.3),.

Bijlage A bevat de uitwerking van deze methode en de resultaten van de toepassing op een voor de Oesterdam representatief dijkprofiel. De voornaamste conclusie is dat de inspectiefrequentie sterk afhangt van de (in de praktijk onbekende) snelheid waarmee muizenholten en molshopen ontstaan. Deze kan beter worden geschat op basis van expert judgement of waarnemingen. Op basis van hoofdstuk 2 en bijlage D van dit rapport is een artikel geschreven (Klerk et al., 2018).

De methode voor graverij klein is niet toegepast op de schadebeelden afdekking, kale plekken, onkruid klein en bedekkingsgraad. Voor deze vier schadebeelden ontbreekt ten eerste een scherpe eenduidige relatie tussen Digigids inspectiescores en WBI categorieën. Ten tweede zijn enkele van de vier schadebeelden aan elkaar gerelateerd. Toepassing van het tijdsafhankelijke model voor “graverij klein” op deze aan elkaar gerelateerde schadebeelden is arbeidsintensief. Daarbij is de kwaliteit van de modeluitkomsten afhankelijk van de ingeschatte verouderingsparameters. Daarom is (in dit hoofdstuk) gekozen voor een aanpak die meer inzicht in de verouderingsmechanismen geeft, en hoe een verbeterde aanpak voor inspectie dat kan ondersteunen.

4.3 Resultaten

De implementatie van het stappenplan in een spreadsheet is gecontroleerd door verschillende scenario's in te voeren en aldus een gevoeligheidsanalyse uit te voeren. Hieronder zijn de uitkomsten van de testen besproken.

Gevoeligheid model

De implementatie in een spreadsheet is getest op de gevoeligheid voor de invoerparameters. Hierbij is gekeken naar de knik- of omslagpunten wat betreft de invoer voor de verschillende schadebeelden. Dit zijn de waarden of aantallen die bij kleine verandering tot een andere score leiden. Dit is gedaan per schadebeeld en ook voor het totaalbeeld. Bijlage E bevat screenshots van de testen met een eerdere versie.

Afdekking en kale plekken

Wanneer één van de kale plekken door afdekking boven de 225 cm² (15x15 cm²) komt in het winterhalfjaar verschuift het resultaat voor kale plekken naar fragmentarisch. Wanneer een kale plek in het winterhalfjaar groter is dan de drempelwaarde wordt dit meegeteld als een kale plek. Kleinere plekken tellen niet mee als kale plek. Er wordt dan alleen geregistreerd dat op deze locatie sprake is van afdekking. Plekken kleiner dan de drempelwaarde hebben geen invloed op het uiteindelijke inspectieresultaat, deze worden niet meegerekend in de bepaling van het inspectieresultaat. Bij meer dan 5 kale plekken (inclusief die afkomstig van afdekking) wordt het de grasmat als fragmentarisch beoordeeld. Ook als de oppervlakte van één of meer plekken groter is dan 225 cm² wordt de grasmat als fragmentarisch beoordeeld. Onder deze grenzen wordt de score “gesloten” gegeven. De score “open” is niet mogelijk voor kale plekken.

Onkruid en kale plekken

Geclusterde plekken onkruid hebben invloed op kale plekken en het percentage onkruid verspreid over het oppervlak heeft invloed op de bedekkingsgraad. Wanneer het oppervlak van een cluster onkruid boven de 225 cm² (15x15 cm²) komt, wordt dit meegerekend als een kale plek van die afmeting en dus wordt de score voor kale plekken “fragmentarisch”. Ook als meer dan 5 clusters onkruid worden gevonden, dan is de score “fragmentarisch”. Indien het waargenomen aantal clusters onkruid en het waargenomen aantal kale plekken groter dan 5 is, dan is de score ook “fragmentarisch”.

Merk op dat het oppervlak van het onkruid objectief door middel van een meetlint vastgesteld kan worden. Aan de hand van het vastgelegde oppervlak aan onkruid kunnen prioriteiten worden gesteld. Hoe dichter het oppervlak van het onkruid bij deze 225 cm² komt hoe hoger de prioriteit zal moeten zijn.

Bedekkingsgraad en onkruid

De bedekking wordt berekend door het oppervlak aan onkruid af te halen van de bedekkingsgraad. Daarbij is het van belang de grenzen te kennen waar het inspectieresultaat zal leiden tot een gesloten, open of fragmentarische graszode. Hierin kan 1 procent het verschil maken tussen een gesloten en een open score of tussen een open en een fragmentarische score. Een totaalscore (bedekkingsgraad minus onkruid) van boven de 90% geeft de score “gesloten”, boven de 75 % tot en met 90% geeft een score “open” en 75% of lager geeft een score “fragmentarisch”. Een inspecteur stelt dit percentage visueel vast. Deze grenzen lijken vrij hard en zijn dit voor het inspectieresultaat ook. Voor de beheerder is het percentage echter van net zo veel belang. Een open graszode met een bedekkingsgraad van bijna 90% heeft minder aandacht nodig dan een graszode met een bedekkingsgraad van iets meer dan 75%. In het laatste geval gaat de kwaliteit van de graszode richting fragmentarisch en kan mogelijk nog tijdig worden ingegrepen door gras te zaaien.

Inschatten verouderingsproces

Uit de testen blijkt dat de huidige implementatie van de methode in een spreadsheet geschikt is voor het invoeren van de resultaten van een enkele inspectie. Voor het inschatten van het verloop van schadebeelden over de tijd (het verouderingsproces) is het noodzakelijk om alle inspectieresultaten op dezelfde manier te registreren in een database. Uit deze database kan dan bijvoorbeeld een grafiek gemaakt worden met het verloop van de conditie van de graszode over de tijd. Daarmee kan in één oogopslag bekeken worden of bepaalde stukken van de dam gevoeliger zijn voor een bepaald schadebeeld dan andere, zodat hier beter op ingespeeld kan worden. In deze grafieken dient dan per schadebeeld een lijn te worden opgenomen en één totaallijn van de verschillende schadebeelden gecombineerd.

Door telkens op dezelfde manier te inspecteren en dit eenduidig en consistent vast te leggen is het verouderingsproces goed in beeld te brengen en is de beheerder beter in staat om aan de zorgplicht voor de Oesterdam te voldoen.

4.4 Conclusies

In dit hoofdstuk is een relatie gelegd tussen visuele inspecties en de WBI-beoordeling. Nagegaan is of de Digigids scores voor de schadebeelden graverij klein, onkruid klein, kale plekken, bedekkingsgraad en afdekking geschikt en voldoende zijn voor het beheer en onderhoud van de Oesterdam.

Voor het schadebeeld “graverij klein” is een (nagenoeg) eenduidige relatie gelegd tussen de Digigids scores van visuele inspecties en de WBI-beoordeling. Deze relatie maakt het mogelijk de minimale lengte van het inspectie-interval te bepalen. Hiertoe is een goede schatting van het aantal molshopen / muizenholen per tijdseenheid benodigd.

Een eenduidige relatie tussen visuele inspecties conform de Digigids en WBI2017 kwaliteit van de graszode bestaat niet voor de schadebeelden “onkruid klein”, “kale plekken”, “bedekkingsgraad” en “afdekking”. Dit hoofdstuk bevat richtlijnen voor het uitvoeren van visuele inspecties op deze schadebeelden die aansluiten op WBI2017. We hebben ook een methode opgesteld om de visuele inspecties te vertalen naar WBI2017 scores. Uit de toepassing van deze methode volgt of de grasmat op dit moment maatregelen behoeft.

De huidige implementatie is vooral bedoeld als voorbeeld voor wat en hoe te inspecteren en te meten. Een uitbreiding kan bestaan uit het systematisch op uniforme wijze registreren van visuele inspecties over de tijd, waardoor inzicht in het verouderingsproces van (onderliggende factoren van) de schadebeelden wordt verkregen. Deze uitbreiding biedt ook de mogelijkheid om de inspectie-intervallen uit hoofdstuk 3 aan te scherpen. Daarnaast kan deze aanpak uitgebreid worden naar andere schadebeelden en faalmechanismen.

5 Beoordeling huidige inspectie en beschikbare gegevens

5.1 Introductie

In dit hoofdstuk worden de voors en tegens van huidige inspectiemethoden besproken, en daar waar mogelijk een vergelijk gemaakt met de voorgestelde aanpak in deze case. Daarnaast zullen de inspectiedata van de afgelopen inspectieronde beoordeeld worden met behulp van het Informatie Kwaliteitsmodel (IKM) dat in het ROBAMCI programma ontwikkeld is. Daarbij is ook aandacht voor hoe de kwaliteit van de data verbeterd kan worden, onder andere door de in dit onderhevige rapport beschreven aanpak.

5.2 Vergelijk verschillende inspectiemethoden

De Oesterdam wordt momenteel geïnspecteerd conform de NEN2767 (conditiemeting). Deze methode is in de basis ontwikkeld voor de beoordeling van de conditie van gebouwen. In een later stadium zijn hier o.a. terreinen, installaties en civieltechnische kunstwerken aan toegevoegd. In de onderstaande paragrafen wordt een aantal inspectie normen/richtlijnen samenvattend toegelicht.

5.2.1 NEN2767

De NEN2767 is een gestandaardiseerde methode voor het bepalen van de conditie (veroudering) van een object. Een belangrijk onderdeel van de NEN2767 conditiemeting is de decompositie van het te inspecteren object. Het object wordt opgedeeld in elementen (hoofdonderdeel) en bouwdelen (constructieonderdeel). Aan deze elementen en bouwdelen worden vervolgens gebreken toegekend. Afhankelijk van het gebrek schrijft de NEN2767 een 'ernst' voor.

De grootste kanttekening bij het toepassen van de NEN2767 is ontbreken van een risicobeoordeling. Het risico aspect is binnen de NEN2767 niet opgenomen. Hierdoor bestaat de kans dat gebreken die een risico voor het object veroorzaken niet in de rapportage naar voren komen (conditiescore 1-2 op een schaal van 5). Zo is het in de NEN2767 niet van belang waar het gebrek is geconstateerd. Daarbij wordt de omvang van het gebrek gerelateerd aan de omvang van 'het gehele bouwdeel'. Doordat de omvang is gerelateerd aan 'het gehele bouwdeel' is de kans vrij groot dat een lokaal (ernstig en risicovol) gebrek niet in de rapportage naar voren komt als zijnde 'slechte conditie'. Een voorbeeld:

5 m² grasbekleding is volledig beschadigd en telt als kale plek. Ten opzichte van het gehele bouwdeel (uitgaande van 100 m¹ dam) is 5 m² < 1% van 'het gehele bouwdeel'. Hierdoor scoort het bouwdeel grasbekleding 'goed', terwijl het gebrek wel degelijk een risico voor de dam initieert. In de recente NEN2767-rapportage van de Oesterdam zijn meerdere dergelijke gebreken gerapporteerd. In de aanpak zoals beschreven in onderhevig rapport zal een dergelijk gebrek wel als risicovol naar voren komen indien het leidt tot fragmentarische zode, wat dan weer leidt tot een VI_v score in de WBI beoordelingscategorieën.

5.2.2 CUR117

Voor civiel technische kunstwerken is de CUR117 ontwikkeld. Deze CUR-aanbeveling bevat een overzicht van verschillende inspectie- en rapportage klassen. Per klasse worden de volgende parameters omschreven:

- Doel;
- Beschrijving;
- Te leveren producten door de opdrachtnemer;
- Te leveren producten door de opdrachtgever;
- Kenmerken van de uitvoering (o.a. inzet hulpmaterieel);
- Inzet personeel (kennis en ervaring);
- Frequentie van de uitvoering.

Voor het uniform uitvragen van de inspecties aan civiel technische kunstwerken is de CUR117 een goede basis. Voornamelijk het vastleggen van de wens en de verwachting geeft helderheid voor zowel opdrachtnemers als opdrachtgevers. Het verdient aanbeveling een soortgelijke richtlijn op te stellen voor de inspectie van waterkeringen (kort en bondig).

5.2.3 STOWA 2012 – Inspectiewijzers waterkeringen

In de (STOWA, 2012) staat goed omschreven welke schadebeelden op locatie aangetroffen kunnen worden en wat hiervan de oorzaken/gevolgen kunnen zijn. Het document bevat veel praktische achtergrondinformatie. Wat ontbreekt is een geüniformeerde vastlegging van de registratie van de gebreken. Het is zeer belangrijk dat bij een uitvraag wordt vastgelegd hoe de gebreken worden vastgelegd. Hierbij moeten de te registreren parameters uniform worden bepaald. In paragraaf 3.4 is per beschouwd schadebeeld beschreven wat de kritische parameters/grootheden voor dit schadebeeld zijn. Wanneer deze parameters niet correct worden uitgevraagd is het niet mogelijk om de inspectierapportage te koppelen aan het opgestelde toetsmodel. In de STOWA is een 'relatie met toetsing' aangegeven. Deze relatie is echter alleen aangegeven met een 'vinkje'. Op basis van de resultaten binnen deze case wordt geadviseerd dit deel van de STOWA aan te vullen met de op te nemen grootheden/parameters, zodat de toetsing ook daadwerkelijk uitgevoerd kan worden.

Relatie met toetsing				
Faalmechanisme		☒ overlopen	☐ wegschuiven	☐ piping
		☒ golfslag	☒ afschuiven buitentalud	☐ erosie buitentalud
		☒ afschuiven binnentalud	☐ micro instabiliteit	☐ erosie vooroever
Toetsspoor	Hoogte (HT)	☒ Golfoverslag	☒ Overloop	
	Stabiliteit (ST)	☐ Piping / Heave	☐ Microstabiliteit	☐ Aansluiting primaire kering
		☐ Macrostabiliteit buiten	☒ Bekleding	☐ Winderosie
			☐ Achterloopsheid/vergr.	☐ Aansluiting op grondlich.

Figuur 5.1 'relatie' tussen schadebeeld onkruid en de toetsing, zoals opgenomen in de STOWA

5.2.4 Algemeen

Het doel van inspecties is het vastleggen van de toestand van een object. Een waterkering (dam) is een zeer groot divers object, waardoor een uniforme registratie van de gebreken onmisbaar is. Wanneer gebreken geconstateerd worden is het van grote waarde om de ontwikkeling van dit gebrek te kunnen volgen. Een uniforme opname is hiervoor onmisbaar. Voor waterkeringen geldt dat ook de locatie van een gebrek een belangrijke parameter is. Het verdient aanbeveling de gebreken in een GIS-systeem op te nemen, zodat visueel de locatie van de gebreken zichtbaar wordt. Op basis van de visualisatie (o.a. heat maps) kunnen patronen herkend worden.

Een mogelijke aanpak voor een risico gestuurde benadering is om op basis van de doorsneden van de dam en mogelijke belastingen de dam op te knippen in 'risico-secties'. Iedere sectie krijgt hierbij een 'risicoscore'. Het is mogelijk relevant om bij het geconstateerde gebrek aan te geven in welk risicogebied dit gebrek zich manifesteert. Een deel van de dam dat een zeer gunstige doorsnede heeft en niet zwaar belast wordt heeft mogelijk een andere inspectie-/onderhoudsbehoefte dan een ongunstiger en zwaarder belaste sectie.

Het is van het grootste belang dat de uitvraag richting de opdrachtnemer uniform, smart en éénduidig is. In de uitvraag dienen de op te nemen parameters met bijbehorende randvoorwaarden vermeld te zijn. Daarbij moeten de gebreken digitaal worden geregistreerd. Momenteel worden de inspectierapportages als .pdf-bestand ingediend. Hierdoor kost het een grote inspanning om de kostbare inspectiegegevens te controleren, te interpreteren en toe te passen. Daarnaast kan de opdrachtnemer aan de hand van de pdf-rapportages niet goed gecontroleerd worden. Het handmatig vergelijken van inspectieresultaten in verschillende perioden aan de hand van forse .pdf-rapportages is zeer arbeidsintensief.

Binnen deze case wordt bovenstaande noodzaak voor een geüniformeerde opname van de constateringen 'in het veld' nogmaals benadrukt. Zonder geüniformeerde opname is het doen van een onderbouwde uitspraak over de veiligheid van het object niet mogelijk. Binnen deze case zijn vier schadebeelden beschouwd, hetgeen heeft geresulteerd in een goede definitie van het inspectie interval en op te nemen parameters/grootheden (zie §3.5). Om de gehele dam op te kunnen delen in betrouwbare 'risicosecties' kan de gehanteerde aanpak voor de vier schadebeelden worden uitgebreid naar de overige schadebeelden. Door voor alle schadebeelden/faalmechanismen de gewenste parameters/grootheden vast te leggen en te koppelen aan de WBI score ontstaat een uniforme veiligheidsbeoordeling over de gehele dam.

De combinatie tussen de risicobeoordeling op 'dwarsdoorsnede' niveau en uniforme vastlegging van de gebreken tot WBI score kan tot een nauwkeurige indeling van 'risicosecties' van de gehele dam leiden. Op basis van deze secties kan vervolgens het inspectie- en onderhoudsinterval worden afgestemd.

Kort samengevat heeft het uitbreiden van het beoordelingsmodel met alle schadebeelden twee grote (cruciale) voordelen:

- Uniforme vastlegging van de gebreken, waarmee onderbouwd een uitspraak over de veiligheid van de gehele dam gedaan kan worden.
- Onderbouwing voor het betrouwbaarder en nauwkeuriger maken van de object risico analyse.

5.3 Informatie Kwaliteitsmodel

Het Informatie Kwaliteitsmodel kan gebruikt worden om de ingewonnen data te beoordelen op kwaliteit. Dit wordt gedaan aan de hand van een aantal stappen. Deze stappen zijn hieronder toegelicht.

De eerste stap in de toepassing van het IKM is het vaststellen van de relevante variabelen. De relevante variabelen voor de schadebeelden in deze case zijn steeds de locatie van het schadebeeld, het tijdstip van inspecteren en de omvang van het schadebeeld.

Na het vaststellen van de relevante variabelen dient, als tweede stap, geïnventariseerd te worden welke gegevens beschikbaar zijn. In dit geval zijn de enige beschikbare gegevens het inspectierapport (Inspection, 2018). Zoals eerder benoemd, zijn hierin niet de relevante variabelen vastgelegd.

De derde stap in de toepassing van het IKM is het visualiseren en kwantificeren (in het geval van kwalitatieve data) van de ingewonnen data. Door de data te visualiseren is snel te onderscheiden of er uitschieters in de data te vinden zijn. Wanneer dit het geval is zal hier een verklaring voor gevonden moeten worden. Uitschieters die niet te verklaren zijn moeten uit de data gefilterd worden. De data die in deze case voorgesteld wordt om in te winnen is al kwantitatief van aard en zal dus niet meer gekwantificeerd hoeven te worden.

De vierde stap is het geven van een kwaliteitsoordeel aan de data. Hoe hoger dit oordeel, hoe betrouwbaarder de data wordt geacht. Dit kwaliteitsoordeel wordt gebaseerd op een viertal punten, te weten:

1. Beschikbaarheid van data
Hierbij wordt gekeken of de data voldoende aaneengesloten datapunten bevat, of dat het slechts losse punten zijn. Daarnaast moet de data in het goede format aanwezig zijn. Bij goede kwaliteit data zijn de datapunten aaneengesloten. In deze case betekent dat dus dat de relevante variabelen in het format zoals in dit rapport voorgesteld opgenomen moeten worden.
2. Uitschieters
Uitschieters kunnen voorkomen door meetfouten, maar kunnen ook extreme waarden voorstellen. Wanneer er veel onverklaarbare uitschieters in de dataset aanwezig zijn verlaagt dit de kwaliteit van de data.
3. Aantal datareeksen
Door gebruik te maken van meerdere datareeksen is het mogelijk om de data onderling te valideren. In deze case betekent dit dus dat er op regelmatige tijdstippen data aanwezig moet zijn. Dit betekent dat er frequent geïnspecteerd moet worden. Door deze onderlinge validatie wordt het kwaliteitsoordeel (de betrouwbaarheid) verhoogd.
4. Ruimtelijke verdeling van meetpunten
Wanneer men over een langer traject een uitspraak wil doen dienen de datapunten ruimtelijk verdeeld te zijn. Wanneer er op een langer traject slechts op enkele punten data beschikbaar zijn, wordt het lastig iets te zeggen over het hele traject.

Op basis van deze vier punten wordt vervolgens een oordeel gegeven over de kwaliteit van de data van 1 (hele lage kwaliteit) tot 5 (hele hoge kwaliteit) sterren. Voor een precieze toelichting van het toekennen van de sterren wordt verwezen naar de rapportage van het Informatie Kwaliteitsmodel (Rinsema, Pals, Zomer, & Korving, 2018).

De vijfde stap in het IKM is vervolgens het gebruik van Expert Judgement. De Expert Judgement kan op twee manieren gebruikt worden. Wanneer voldoende data beschikbaar is kan het gebruikt worden om de data te valideren. Wanneer er weinig tot geen data beschikbaar is kan Expert Judgement gebruikt worden om een eerste inschatting te maken van de missende data.

De laatste stap in het Informatie Kwaliteitsmodel is het kwantificeren van de onzekerheid voor toepassing in de ROBAMCI Toolbox. In deze case wordt deze Toolbox echter niet gebruikt, waardoor deze stap niet van toepassing is.

Door het doorlopen van dit IKM kan een oordeel gegeven worden aan de kwaliteit van de ingewonnen data. Daardoor kan ook iets gezegd worden over de betrouwbaarheid van de ingewonnen data en de inspectie. Wanneer deze betrouwbaarheid hoog is kan men zich steeds meer toe gaan leggen op risico gestuurd inspecteren. Als bijvoorbeeld met een hoge mate van betrouwbaarheid kan worden gesteld dat een bepaald traject minder gevoelig is voor het optreden van schadebeelden kan daar met een lagere frequentie geïnspecteerd worden.

6 Conclusies en aanbevelingen

De belangrijkste constatering in deze case is dat de visuele inspecties op basis van de Digigids niet afdoende zijn voor de beheerder van de Oesterdam om aan te tonen dat aan de zorgplicht voldaan wordt. Hiervoor is in deze case een voorstel gedaan tot verbetering van de visuele inspectiemethode en een model om de inspectieresultaten te vertalen naar een waterveiligheidsoordeel.

Daarnaast is het duidelijk dat door het niet uniform digitaal ter beschikking stellen van inspectiegegevens (conditiemeting laat ruimte voor interpretatie en oplevering in .pdf), de waarde van deze data significant afneemt. De gegevens uit het verleden zijn daardoor niet toepasbaar voor interpretatie in de toekomst en zullen na enkele jaren als 'verloren' worden beschouwd. Dit leidt tot desinvestering van de inspectiekosten, onnodig hoge onderhoudskosten, onbetrouwbare voorspellingen van het gedrag van de dam en onvoldoende grip op de waterveiligheid.

Het advies aan Rijkswaterstaat is om een werkgroep samen te stellen die de huidige inspectienormen en richtlijnen in één handboek samenvat. Voor een juiste input voor dit handboek wordt geadviseerd het opgestelde model binnen deze case uit te breiden met alle schadebeelden en andere faalmechanismen, zoals genoemd in de Digigids en WBI2017. Door dit voor alle schadebeelden te doen is direct de koppeling met de waterveiligheid gemaakt en is de beheerder bij een correcte registratie van de inspectiegegevens in control voor wat betreft beoordeling op waterveiligheid en de zorgplicht.

Het aanleveren van inspectiegegevens in pdf vorm moet per direct worden stopgezet. De gegevens moeten te allen tijde minimaal in bewerkbaar .xlsx format worden opgenomen. Wanneer in de toekomst een uniform registratiesysteem voor inspectie, onderhoud en toetsing is ontwikkeld, kan de data die nu worden verzameld altijd (mogelijk met wat omwegen) in dit systeem opgenomen worden.

In deze studie is met de ontwikkeling van een spreadsheet(model) een eerste aanzet gedaan voor een uniform registratiesysteem voor inspecties van vier schadebeelden. De spreadsheet is vooral bedoeld om duidelijk te maken wat inspecteurs moeten inspecteren, welke grootheden zij moeten meten en vastleggen. Het model doet op basis van huidige inspecties een prognose voor de kwaliteit van de graszode in het stormseizoen. Hieruit volgt of menselijk ingrijpen nodig is. Door systematisch en op uniforme wijze de visuele inspecties over de tijd te registreren kan meer inzicht in het verouderingsproces van (onderliggende factoren van) de schadebeelden worden verkregen en kunnen de modelprognoses worden verbeterd. Dit biedt weer de mogelijkheid om de voorgestelde inspectie-intervallen aan te scherpen, de invloed van menselijk ingrijpen in te schatten en het onderhoudsregime te optimaliseren. De aanpak is toepasbaar op andere schadebeelden en faalmechanismen.

Met de juiste registratie van de juiste parameters en het regelmatig en met een vast interval inspecteren kan ook een stap worden gezet naar een meer gedetailleerde (sectie-gerichte) risicoanalyse van de Oesterdam. Op basis daarvan kan vervolgens gedifferentieerd worden in inspectie-intervallen voor verschillende secties. Risicovolle secties (secties waar vaker schadebeelden optreden) kunnen dan vaker geïnspecteerd worden dan secties met weinig risico (secties waar weinig schadebeelden worden waargenomen). Ook deze aanpak kan in het handboek opgenomen worden.

7 Literatuurlijst

Bakkenist, S., Dam, O., Nat, A., Thijs, F., & Vries, W. (2012). Inspectiewijzers Waterkeringen; Technisch Deel. Amersfoort: STOWA.

Steendam, G., Dorst, K., Bakker, J., & Mom, R. (2017). Eisen grasbekleding. Maarn: Infram BV.

STOWA (2016). Grasbekledingen; Gras. Opgehaald van Digigids 2016: <http://digigids.hetwaterschapshuis.nl/index.php?album=grasbekledingen/gras> (laatst geraadpleegd op 25 september 2018)

Het Waterschapshuis (2016). Digigids 2016.

Handreiking grasbekleding. <https://handreikinggrasbekleding.nl/> (laatst geraadpleegd op 25 september 2018)

Schematiseringshandleiding Gras. WBI2017. Definitief. Versienummer 3.0. Rijkswaterstaat, Water Verkeer en Leefomgeving. Uitgegeven door Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 17 april 2018.

Risk based inspection of flood defence dams: an application to grass revetments. W.J. Klerk, K.L. Roscoe, A. Tijssen, R.P. Nicolai, J. Sap en F. Schins. Accepted for publication in the Proceedings of IALCCE2018.

Informatie Kwaliteit Model; Rapportage Fase 3 Robamci. Rinsema, J.G.; Pals, N.; Zomer, W.S.; Korving, H. (2018).

STOWA (2012) Inspectiewijzers waterkeringen; technische informatie uitvoering inspecties 2012 PIW14

Assemblagetool WBI2017. Rijkswaterstaat, 2017

<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/aanleg-onderhoud/aanleg-onderhoud/assemblagetool/>

Eisen grasbekledingen, versie 2.0, 17-10-2017, Infram

A Methode ter bepaling van de minimale inspectiefrequentie van grasbekleding voor faalmechanisme GEBU (oploop) met uitwerking voor schadebeeld graverij klein

A.1 Samenvatting

Deze bijlage beschrijft een methode om de minimale inspectiefrequentie van de grasmat te bepalen ten behoeve van het faalmechanisme graserosie buitentalud oploop (GEBU oploop). De methode is uitgewerkt voor het schadebeeld graverij klein. De methode veronderstelt dat de kwaliteit van de grasmat in de tijd achteruitgaat. Na een inspectie conform WBI2017 is de kwaliteit van de grasmat bekend (gesloten, open of fragmentarische zode) en kan de faalkans GEBU oploop worden bepaald. Tussen twee inspecties is het verloop van de faalkans onzeker. De faalkans hangt af van schades (muizenholen, molshopen) die zich willekeurig in de tijd voordoen. De kwaliteit van de grasmat is gerelateerd aan de opgetreden schade. De minimale inspectiefrequentie is de reciproque van de tijdspanne waarin de kwaliteit van de grasmat zodanig kan verslechteren dat de onzekere faalkans groter is dan de in WBI2017 gestelde faalkanseis. Op deze manier legt de methode een verband tussen het dagelijkse onderhoud van de grasmat en de wettelijke beoordeling van de waterkering. Ter illustratie is de methode toegepast op een voor de Oesterdam representatief dijkprofiel.

A.2 Model voor faalkans graserosie buitentalud oploop

We beschouwen het faalmechanisme graserosie buitentalud oploop ofwel GEBU oploop. Samen met de kansverdeling van de hydraulische belasting op de waterkering bepaalt de kwaliteit van de grasmat de kans op optreden van dit faalmechanisme. Voor de beoordeling van de waterkering op GEBU (oploop) zijn binnen WBI2017 de kwaliteitscategorieën “open graszode”, “gesloten graszode” en “fragmentarische zode” gedefinieerd voor de grasmat. Een waterkering met een grasmat met “fragmentarische zode” voldoet niet aan de toepassingsvoorwaarden van het WBI en moet direct in de beheer- en onderhoudscyclus worden aangepakt.

De waterkering moet op ieder moment voldoen aan de norm. Vanuit de zorgplicht moet RWS de kwaliteit van de grasmat op een niveau hebben zodanig dat de faalkans niet groter is dan de norm. Via visuele inspecties kan RWS nagaan wat de kwaliteit van de grasmat is. Uitdaging hierbij is dat inspecties conform de Digigids tot een inschatting van de kwaliteit van het gras leiden die niet direct gerelateerd is aan de kwaliteitscategorieën die in WBI2017 worden gehanteerd. We concentreren ons hier op de vraag wat de minimaal benodigde inspectiefrequentie is.

Om dat te beantwoorden stellen we eerst een model op voor de faalkans GEBU (oploop) op een bepaald tijdstip sinds de laatste inspectie. Deze faalkans hangt af van de conditionele faalkansen gegeven de verschillende kwaliteitscategorieën van de grasmat en de kansen op die kwaliteitscategorieën.

De kans op faalmechanisme GEBU op tijdstip t na de laatste inspectie is:

$$P_f(t) = P(\text{Falen door GEBU op tijdstip } t) = \sum_{k \in G} P(\text{GEBU}(t) | K(t) = k) P(K(t) = k) =$$

$$P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{open}) P(K(t) = \text{open}) + P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{gesloten}) P(K(t) = \text{gesloten}) +$$

$$P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{fragmentarisch}) P(K(t) = \text{fragmentarisch}). \quad (1)$$

Hierbij is $K = \{K(t)\}_{t \geq 0}$ de kwaliteit van de grasmat over de tijd volgens de WBI2017 indeling. De kwaliteit op tijdstip t neemt waarden aan in $G = \{\text{open, gesloten of fragmentarisch}\}$. De kwaliteit van de grasmat kan worden bepaald door een visuele inspectie uit te voeren. Hieronder maken we onderscheid tussen visuele inspecties conform de Digigids (<http://digigids.hetwaterschapshuis.nl/>) en conform WBI2017 (schematiseringshandleiding grasbekleding). Eerstgenoemde inspecties leveren een Digigids score op, die in principe kan worden gerelateerd aan een WBI2017 categorie. In Tabel A.1 is dit uitgewerkt voor schadebeeld graverij klein.

Tabel A.1 Relatietabel schadebeeld graverij klein. * Voor fragmentarische waarde is een zeer lage waarde gekozen voor de kritieke oploopsnelheid. Eigenlijk valt een grasmat met kwaliteit "fragmentarische zode" buiten het toepassingsbereik van WBI2017.

Digigids score	Aantal locaties van muizenholen en/of molshopen	Kwaliteit grasmat WBI2017	Kritieke stroom- of oploopsnelheid
Goed	0	Open zode of Gesloten zode	4,3 m/s 6,6 m/s
Redelijk	1-5	Open zode of Gesloten zode	4,3 m/s 6,6 m/s
Matig	6-15	Fragmentarische zode	1 m/s *
Slecht	> 16	Fragmentarische zode	1 m/s *

De conditionele kansen $P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{fragmentarische zode})$, $P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{open zode})$ en $P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{gesloten zode})$ kunnen worden bepaald met Ringtoets, waarbij de kritieke stroomsnelheid gelijk is aan respectievelijk 1 m/s, 4,3 m/s en 6,6 m/s. Hierbij zijn onder andere gegevens over het profiel en de geometrie van de waterkering nodig.

Voor verschillende schadebeelden corresponderen de Digigids scores echter niet 1-op-1 met de WBI2017 klassen. Zo kunnen de scores "goed" en "redelijk" corresponderen met zowel een open als een gesloten graszode. Aan de andere kant relateren de scores "matig" en "slecht" aan een fragmentarische zode. Deze wisselwerking is voor iedere categorie k te modelleren als een kans

$$P(K(t) = k) = \sum_{n \geq 0} P(K(t) = k | N(t) = n) P(N(t) = n). \quad (2)$$

Hierbij is $N = \{N(t)\}_{t \geq 0}$ een stochastisch proces dat de Digigids score voor het schadebeeld over de tijd beschrijft. We werken het model verder uit voor schadebeeld graverij klein. Onder graverij klein valt het graven van muizen en mollen. We modelleren het aantal muizenholen en molshopen over de tijd als een Poisson proces. Dat is, $N = \{N(t)\}_{t \geq 0}$ is het aantal van zulke locaties over de tijd. Dan geldt dat de kansverdeling van het aantal locaties op tijdstip t gegeven is door

$$P(N(t) = n) = \exp(-\lambda t) \frac{(\lambda t)^n}{n!}. \quad (3)$$

Hierbij is λ de intensiteit van het proces (1/tijdseenheid). Het verwachte aantal gebeurtenissen gedurende tijdstap t is gelijk aan $E(N(t)) = \lambda t$. Dit verklaart de interpretatie van λ als het verwachte aantal gebeurtenissen per tijdseenheid. In dit geval dus bijvoorbeeld het aantal muizenholen per jaar.

De term $P(K(t) = k | N(t) = n)$ in vergelijking (2) representeert de conditionele kans op kwaliteitscategorie k op tijdstip t gegeven n molshopen/muizenholen op dat tijdstip. De conditionele kans $P(K(t) = k | N(t) = n)$ is bij gegeven k voor slechts enkele waarden van n ongelijk aan 0.

Met een schatting van de conditionele kansen $P(K(t) = k | N(t) = n)$ en een schatting van de intensiteit λ kunnen we nu de faalkans $P_f(t)$ voor het schadebeeld graverij klein bepalen.

A.3 Schatting intensiteit

We kunnen de intensiteit van het proces schatten op basis van in het verleden over de tijd geobserveerde aantallen muizenholen en molshopen. Dit stelt wel eisen aan de dataverzameling en historische informatie die beschikbaar is ten aanzien van waargenomen schades uit het verleden.

A.4 Kans op kwaliteitscategorie gegeven schadebeeld

Een inschatting van de conditionele kansen $P(K(t) = k | N(t) = n)$ volgt uit inspecties en ervaringen uit het verleden. Voor schadebeeld “graverij klein” kan de koppeling bijvoorbeeld als volgt zijn: de scores “goed” en “redelijk” zijn beide in 50% van de gevallen gekoppeld aan een grasmatt met kwaliteit “open zode” en in 50% van de gevallen aan een grasmatt met kwaliteit “gesloten zode”. Aan de andere kant, is het ook niet onlogisch om te veronderstellen dat visuele inspecties genoeg informatie opleveren om de kwaliteit van de grasmatt conform WBI2017 in te schatten.

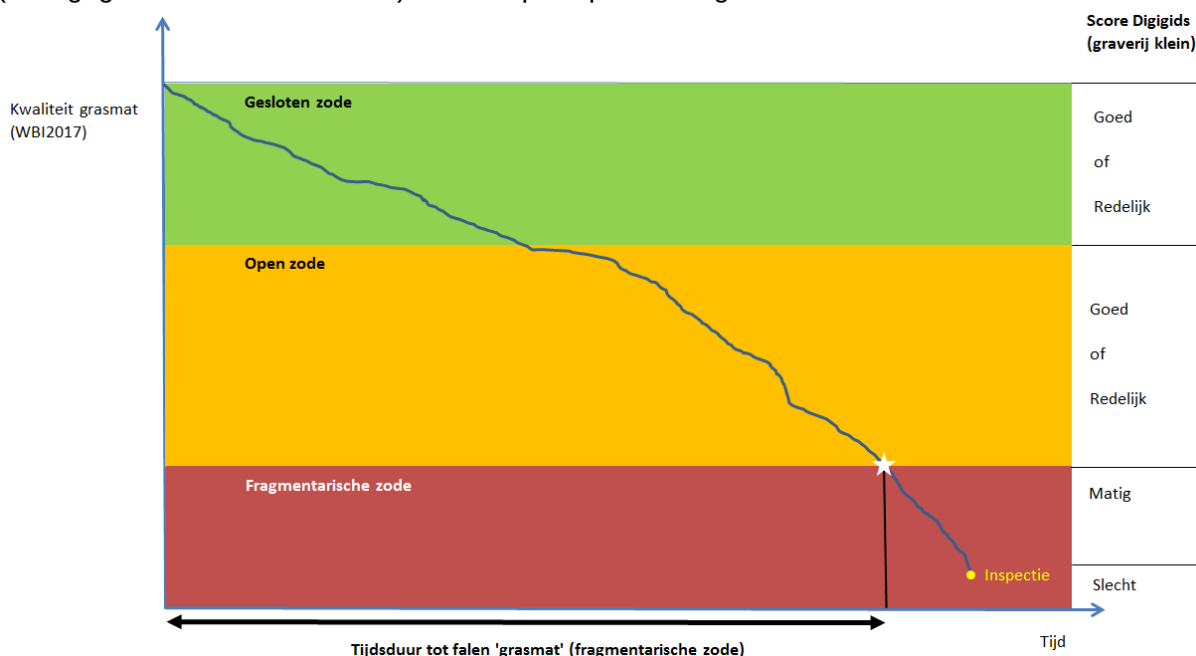
A.5 Eenduidige relatie Digigids en WBI2017

Bij de uitwerking van de case gaan we uit van een eenduidige relatie tussen de Digigids score en de kwaliteit van de grasmatt. Met andere woorden, we relateren de score “goed” aan “gesloten zode” (met kans 1), “redelijk” aan “open zode” (met kans 1) en “matig” & “slecht” aan “fragmentarische zode” (met kans 1). De faalkans in vergelijking (1) is nu gegeven door:

$$\begin{aligned} P_f(t) &= P(\text{Falen door GEBU op tijdstip } t) = \sum_{k \in G} P(\text{GEBU}(t) | K(t) = k) P(K(t) = k) = \\ &P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{gesloten}) P(N(t) = 0) + P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{open}) P(1 \leq N(t) \leq 5) + \\ &P(\text{GEBU}(t) | K(t) = \text{fragmentarisch}) P(N(t) \geq 6). \end{aligned} \quad (4)$$

A.6 Grafische weergave van het model

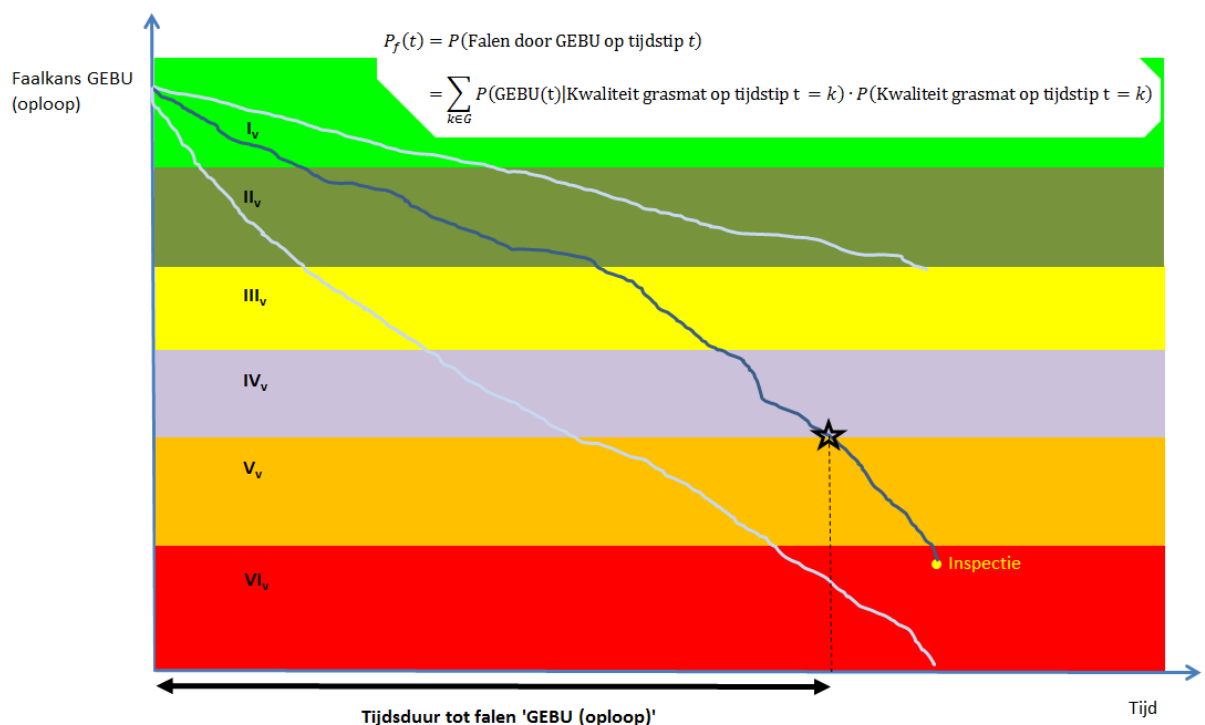
In Figuur A.1 is ter illustratie uitgewerkt hoe de kwaliteit van de grasmat zich kan ontwikkelen over de tijd (blauwe lijn). Het kan ook anders gebeuren (sneller of langzamer), want de achteruitgang of de schade over de tijd ligt vooraf niet vast. De kwaliteit is dus een stochastisch proces. Het vertrekpunt is een hoge kwaliteit (gesloten zode), maar na verloop van tijd verslechtert de kwaliteit van de grasmat. In WBI2017 termen loopt de kwaliteit terug van een gesloten zode via een open zode naar een fragmentarische zode. De bijbehorende Digigids scores zijn aan de rechterzijde getoond. Op een zeker moment wordt een inspectie uitgevoerd met als resultaat score “slecht” (gele bolletje). Kennelijk zijn er veel molshopen en muizenholen. De score “slecht” komt overeen met een fragmentarische zode. Iets eerder in de tijd is de kwaliteit van de grasmat van open zode in fragmentarische zode overgegaan (weergegeven door de witte ster). Dit is in principe een ongewenste situatie.



Figuur A.1 Kwaliteit van de grasmat in termen van Digigids en WBI2017 als functie van de tijd (voorbeeld).

In Figuur A.2 representeert de blauwe ononderbroken lijn een mogelijk verloop van de faalkans GEBU oploopt over de tijd. Het vertrekpunt is een inspectie waaruit blijkt dat de kwaliteit van de grasmat “gesloten zode” is. Ofwel, de faalkans is gelijk aan de met Ringtoets berekende faalkans voor een grasmat met een gesloten zode. Na verloop van tijd neemt het aantal locaties met “graverij klein” toe en verslechtert de kwaliteit van de grasmat (zie Figuur A.1). Zolang er geen visuele inspectie is uitgevoerd, is de precieze toestand echter niet bekend. De faalkans GEBU oploopt is dus onzeker. Deze is namelijk afhankelijk van de kansverdeling van de kwaliteit van de grasmat, zoals hierboven is toegelicht. De twee lichtblauwe ononderbroken lijnen in Figuur A.2 geven twee andere mogelijke verlopen van de onzekere faalkans over de tijd weer.

Op een zeker moment bereikt de onzekere faalkans GEBU een te hoge waarde (weergegeven door de zwarte ster in Figuur A.2). Dit wordt enige tijd later pas opgemerkt bij de inspectie van de grasmatt (gele bolletje). Dan blijkt dat de kwaliteit van de grasmatt “fragmentarische zode” is. De faalkans is dan gelijk aan $P(\text{GEBU}(t)|K(t) = \text{fragmentarisch})$; de conditionele faalkans gegeven “fragmentarische zode”. De faalkans voldoet niet aan de faalkanseis in categorie V en valt daarom in categorie VI. Dit betekent dat de waterkering op het moment van inspectie niet voldoet aan de eis die WBI2017 stelt aan de waterkering.



Figuur A.2 Faalkans GEBU (oploop) als functie van de tijd (voorbeeld). Ononderbroken blauwe lijn is een realisatie. Ononderbroken lichtblauwe lijnen zijn twee andere mogelijke realisaties.

Wat bepalen we nu precies met dit model? Het model moet inzicht geven in het inspectie-interval. Tussen twee inspecties moet de kwaliteit van de grasmatt niet zodanig verslechteren dat de faalkans GEBU oploop te groot wordt. Met andere woorden, de tijd tussen twee inspecties moet niet groter zijn dan de tijdsduur tot afkeuren, zoals door de zwarte ster is aangeduid. Ofwel, de maximale lengte van het inspectie-interval volgt uit het moment waarop de berekende faalkans GEBU (oploop) groter is dan de norm.

Technisch-wiskundige berekening faalkans GEBU oploop met imperfecte visuele inspectie
 De onzekere faalkans, de blauwe ononderbroken lijn in Figuur A.2, wordt benaderd via de vergelijkingen (1)-(3). Op het moment dat voldoende gegevens beschikbaar zijn om een berekening met Ringtoets te maken (WBI2017) kan de faalkans *echt* worden bepaald. Dat is het geval als een inspectie is uitgevoerd, waarbij de kwaliteit van de grasmatt is vastgesteld conform WBI2017. De faalkans op inspectietijdstip τ is dan gelijk aan $P(\text{GEBU}(\tau)|K(\tau) = k)$ met k de geobserveerde kwaliteit van de grasmatt.

Indien een inspectie conform Digigids is uitgevoerd bestaat er mogelijk nog onzekerheid over de kwaliteit van de grasmatt conform WBI2017. Dit is het geval als de Digigids score “goed” of “redelijk” is en niet de aanname boven vergelijking (4) maken. Het aantal molshopen en

muizenholen is bekend (stel m) en dus is de kans op precies dit aantal gelijk aan 1. De beste schatting van de kans op kwaliteit "open zode" en "gesloten zode" volgt dan uit de conditionele kansen $P(K(\tau) = k | N(\tau) = m)$ voor $k = \{\text{open zode, gesloten zode}\}$. Op die manier kan $P(K(\tau) = k)$ worden berekend.

A.7 Berekening optimaal inspectie-interval voor de grasbekleding van de Oesterdam

Voor een representatief dijkprofiel van de Oesterdam is de WBI2017 beoordeling uitgevoerd conform de specificaties in de Assemblagetool (zie RWS, 2017 en Tabel A.2). Dit betekent dat voor beide profielen bij alle overschrijdingsfrequenties in Figuur A.3 de cumulatieve schade is berekend en is vergeleken met de kritieke waarde. Tabel A.3 vat de uitkomsten samen. Een fragmentarische zode leidt voor beide profielen tot een cumulatieve belasting die hoger is dan de kritieke waarde. Dit levert categorie VI_v op. Het dijkvak met het representatieve profiel valt in de categorie I_v ongeacht of de kwaliteit van de grasmat gesloten of open zode is. Voor het profiel waarin de ligging van de teen het meest ongunstig is voor de belasting is, doet de kwaliteit van de grasmat (gesloten of open) er wel toe.

Tabel A.2 Categorieën in de Assemblagetool (RWS, 2017).

Cat.	Aanduiding categorie toetsoordeel per vak per toetsspoor	Begrenzing categorie
		$P_{f;dsn}$ Faalkans per vak (doorsnede of kunstwerk) [1/jaar]. $P_{eis;sig}$ Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;ond}$ Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]. $P_{eis;sig;dsn}$ Faalkanseis per doorsnede of kunstwerk [1/ jaar]
I_v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f;dsn} < \frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn}$
II_v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;sig;dsn}$
III_v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;ond;dsn}$
IV_v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde	$P_{eis;ond;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;ond}$
V_v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis;ond} < P_{f;dsn} < 30P_{eis;ond}$
VI_v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f;dsn} > 30P_{eis;ond}$

Grenzen kansen GEBU oploop		Faalkanseis per vak waarbij de toetseis en hydraulische belastingen van de gedetailleerde toets moet worden afgeleid per categorie toetsoordeel voor dit toetsspoor	
<i>Formule</i>		<i>Categorie</i>	
$1/30 * P_{\text{sign;dsn;oploop}}$	I_v	2.78E-08	1/jaar
$P_{\text{sign;dsn;oploop}}$	II_v	8.33E-07	1/jaar
$P_{\text{ond;dsn;oploop}}$	III_v	2.50E-06	1/jaar
$P_{\text{ond;traj;oploop}}$	IV_v	1.00E-04	1/jaar
$30 * P_{\text{ond;traj;oploop}}$	V_v	3.00E-03	1/jaar
	VI_v	> 0.003	

Figuur A.3 Grenzen van de WBI2017 categorieën voor de beoordeling van GEBU oploop.

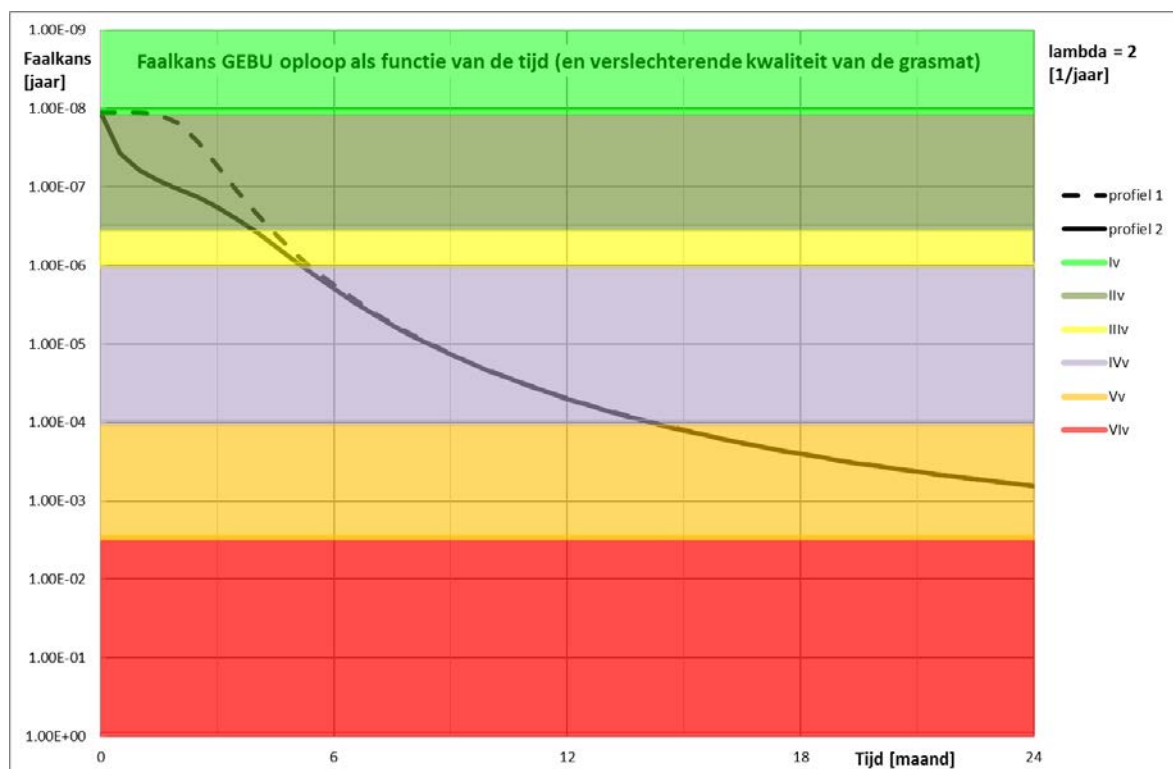
Tabel A.3 Resultaten toepassing WBI2017 op twee dijkprofielen.

Dijkprofiel	Gesloten zode	Open zode	Fragmentarische zode
1. Representatief profiel	I_v	I_v	VI_v
2. Profiel 1 met aangepaste teen	I_v	II_v	VI_v

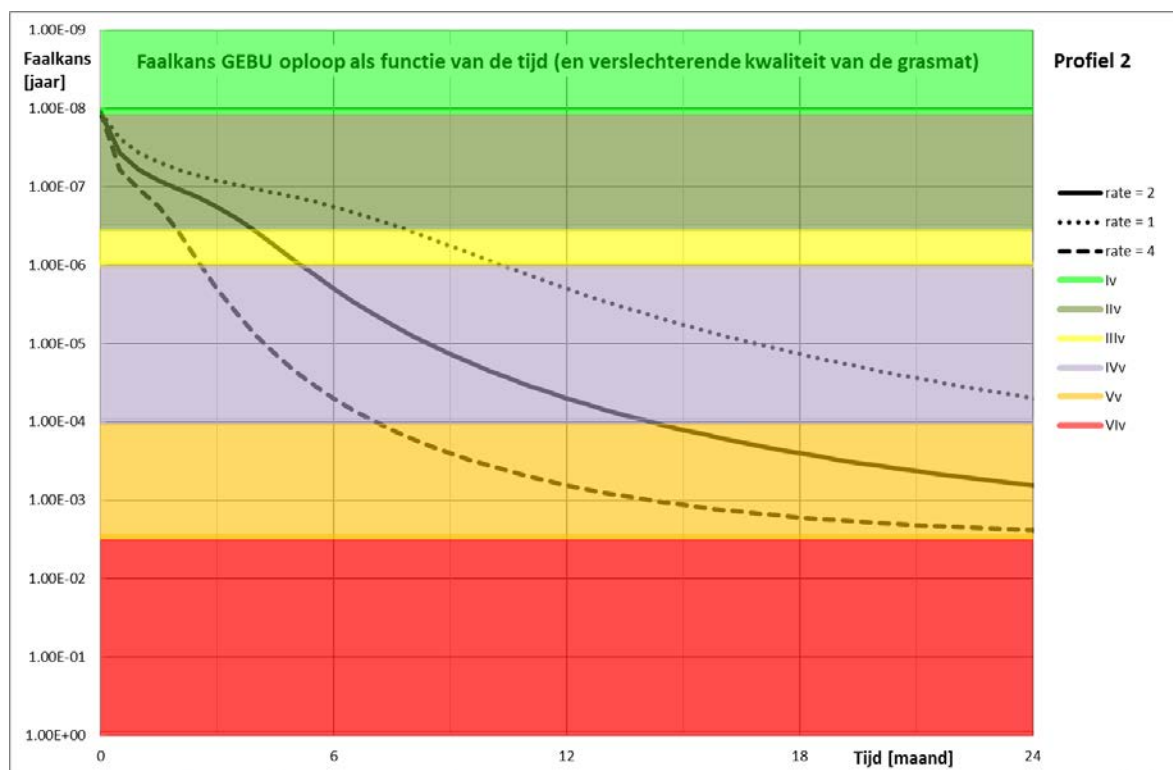
In het vervolg is gerekend met de bijbehorende faalkanseisen uit Figuur A.3. Voor categorie VI_v ofwel voor de fragmentarische zode is met de waarde $3E-03$ [1/jaar] gerekend. Zoals eerder opgemerkt wordt vergelijking (4) gebruikt om de faalkans over de tijd te bepalen.

Met bovenstaande gegevens en een keuze voor de intensiteit van het Poisson proces kan de faalkans over de tijd worden berekend en gevisualiseerd op een manier zoals in Figuur A.2. In Figuur A.4 is voor beide profielen bij een intensiteit van twee muizenholen/molshopen per jaar de faalkans berekend. De faalkans behorende bij profiel 1 ligt enige tijd boven de waarde van de faalkans behorende bij profiel 2. Het maximale inspectie-interval is voor beide profielen 14 maanden. De kans op meer dan 6 hopen en dus een fragmentarische zode is na 14 maanden weliswaar zeer klein ($4E-04$), maar de conditionele faalkans gegeven een fragmentarische zode is dusdanig groot ($3E-03$) dat het product van de twee kansen ($1,2E-06$) groter is dan de bovengrens van categorie IV_v ($1E-06$). Dit is een heel duidelijk voorbeeld van de risicomethode (kans x gevolg), waarbij het gevolg van een grasmat met fragmentarische zode een te hoge faalkans GEBU oploop is.

In Figuur A.5 is de invloed van de intensiteit van het Poisson proces op het verloop van de faalkans gevisualiseerd voor dijkprofiel 2. Een tweemaal zo hoge intensiteit heeft een grotere snelheid van het aantal molshopen ofwel een snellere achteruitgang van de grasmat als gevolg. Het maximale inspectie-interval lijkt lineair te zijn in de intensiteit: 7 maanden voor intensiteit=1, 14 maanden voor intensiteit=2, 28 maanden voor intensiteit=4.



Figuur A.4 Faalkans GEBU voor de twee dijkprofielen bij een gegeven verloop van de kwaliteit van de grasmat over de tijd (gemiddeld 2 muizenholen of molshopen per jaar).



Figuur A.5 Faalkans GEBU voor verschillende verlopen van de kwaliteit van de grasmat over de tijd bij dijkprofiel 2.

A.8 Discussie en doorkijk

De methode in deze bijlage legt een relatie tussen de wettelijke beoordeling van de grasbekleding op het buitentalud (GEBU) van primaire waterkeringen en het dagelijkse beheer en onderhoud van de grasmat vanuit de zorgplicht. De kritieke oploopsnelheid (U_c) is in de methode de enige sterkteparameter met betrekking tot gras die varieert op basis van de graskarakteristieken. Deze parameter is in WBI2017 gerelateerd aan de zodeklasse. De zodeklasse wordt lokaal bepaald. De bijbehorende kritieke oploopsnelheid (D_{max}) is een (generieke) constante die is gebaseerd op een verzameling experimenten. Het vaststellen van de zodeklasse kan hoofdzakelijk visueel, mogelijk door af en toe een plag te steken conform de schematiseringshandleiding voor grasbekledingen. Het is nog wel van belang dat de visuele inspecties conform de Digigids goed aansluiten op de categorieën in WBI2017. De hier gepresenteerde methode gaat uit van een eenduidige koppeling.

De gevoeligheid van de faalkans voor de sterkte van de grasmat en de mate waarin deze verslechtert over de tijd bepalen met welke frequentie de beheerder visuele inspecties moet (laten) uitvoeren om de zodeklasse vast te stellen om nog tijdig te kunnen ingrijpen. Een fragmentarische zode is ongewenst en leidt in principe tot een negatieve beoordeling van de waterkering. Dat maakt dat de snelheid waarmee de sterkte ofwel de kwaliteit van de grasmat verslechtert de meeste invloed heeft op de inspectiefrequentie.

Voor de toepassing en uitbreiding van de methode gelden de volgende aandachtspunten:

- De verslechtering van de kwaliteit van de grasmat met betrekking tot schadebeeld "graverij klein" is als een Poisson proces gemodelleerd. Het schatten van de intensiteit van dit Poisson proces stelt eisen aan de gegevensverzameling. Mogelijk kan op basis van expert judgment al een eerste goede inschatting worden gemaakt die op basis van inspecties kan worden aangepast. Indien experts menen dat het ontstaan van molshopen en muizenholen een niet-homogeen proces is (bijvoorbeeld seizoensafhankelijk), dan kan het aantal locaties graverij klein als een niet-homogeen Poisson worden gemodelleerd.
- Bij het bepalen van de schade via visuele inspectie moet op dijkvakniveau worden gewerkt en moet hetzelfde oppervlakte als in WBI2017 worden beschouwd (25 m^2). De visuele inspectie dient te worden uitgevoerd conform de schematiseringshandleiding voor grasbekledingen.
- De keuze voor een bepaald dijkprofiel en de keuze voor het wel of niet meenemen van een voorland moet gebeuren aan de hand van de schematiseringshandleiding WBI2017.
- De huidige beoordeling van de waterkering op GEBU betreft een semi-probabilistische berekening zonder afgeleide faalkans. De opgestelde methode gebruikt nu de klassegrenzen van de assemblagetool voor de faalkansen. De grenzen kunnen meer dan een orde grootte verschillen. Het verdient aanbeveling om WBI2017 uit te breiden met een volledig probabilistische faalkansberekening voor GEBU.
- De opgestelde methode is uit te breiden naar andere schadebeelden, zoals graverij groot. Diverse schadebeelden kunnen ook worden gecombineerd. Dit vergt een duidelijke omschrijving van de relatie tussen de Digigids scores en WBI2017 categorieën.

- Een mogelijke uitbreiding van het model betreft de kosten van inspectie en onderhoud.
- De methode is ook toepasbaar op andere faalmechanismen met betrekking tot de bekledingen van de primaire waterkering. Bij steenbekledingen kunnen bijvoorbeeld trekproeven worden uitgevoerd. Die kunnen veel informatie geven over de effectieve inklemming van de stenen, wat weer waardevolle input levert voor de wettelijke beoordeling.

B Graskwaliteit bepalen door visuele inspectie

De schematiseringshandleiding gras (WBI2017) stelt dat de drie categorieën zodekwaliteit kunnen worden onderscheiden met visuele inspectie. De inspectie omvat het schatten van de bedekking van een recentelijk gemaaid talud bij het lopen over de grasbekleding. Regelmatig, vooral als het gras hoger is dan ca. 0,1 m, moet in meer detail de dichtheid van de begroeiing aan het grondoppervlak worden geïnspecteerd. De representatieve grootte van open plekken tussen de planten wordt hier als criterium gehanteerd voor de mate van openheid van de begroeiing. De representatieve plantafstand is het visueel globaal geschatte gemiddelde (voor een stuk van zo'n $0,3 \times 0,3 \text{ m}^2$) van de afstand tussen planten waar deze uit de grond komen. De begroeiing die karakteristiek is voor deze drie graszodecategorieën is als volgt beschreven (Rijkswaterstaat, 2018):

- gesloten graszode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ zijn en gemiddeld over 25 m^2 niet meer dan 5 van zulke beschadigingen.
- open graszode: Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve grootte van open plekken tussen de planten minder dan ongeveer 0,1 m, welke in niet meer dan 25 % van het oppervlak tot 0,25 m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1 m) beschadigingen per vierkante meter van de grasmat groter dan $0,15 \times 0,15 \text{ m}^2$ zijn en gemiddeld over 25 m^2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
- fragmentarische zode: Taludbegroeiing met meer dan 25% van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25 m. Dit betreft veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.

C Definitie relevante schadebeelden Digigids

Afdekking	Afdekken van grasbekleding door bladval of maaisel dat niet is geruimd (25m ²)
Goed	Geen afdekking van grasbekleding
Redelijk	Geen aaneengesloten afdekking van grasbekleding
Matig	Lokale kleine plekken met volledige afdekking van grasbekleding
Slecht	Grote aaneengesloten plekken met volledige afdekking van grasbekleding

Kale plekken	Lokale plekken in bekleding waar gewas en stoppels ontbreken als gevolg van langdurige afdekking, vee, spoorvorming, etc.
Goed	Geen kale plekken
Redelijk	Minder dan 3 plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is
Matig	Maximaal 5 plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is
Slecht	6 of meer plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is of 1 of meer plekken groter dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is

Bedekkingsgraad	de gemiddelde bedekking van een oppervlak van 5 bij 5 meter met vegetatie van gras en kruiden (per 25 m ²)
Goed	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 85%
Redelijk	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 70% en kleiner dan 85%
Matig	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 60% en kleiner dan 70%
Slecht	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking kleiner dan 60%

Onkruid groot	ongewenste grote vegetatiesoorten die zodevorming belemmeren, afsterven en grote kale plekken geven
Goed	geen Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad
Redelijk	1 plant van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad
Matig	2 planten van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad
Slecht	3 of meer planten van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad

Onkruid klein	ongewenste vegetatiesoorten die zodevorming belemmeren maar andere soorten niet volledig verdringen
Goed	geen Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en / of Mos
Redelijk	minder dan 10 % is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en / of Mos
Matig	meer dan 10% en minder dan 25 % is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en /of Mos
Slecht	25 % of meer is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring, Mos

Graverij klein	graafsporen van muizen en mollen
goed	Geen sporen van muizen of mollen
Redelijk	Maximaal 5 locaties van muizenholen en molshopen
Matig	Minimaal 6 en maximaal 15 locaties van muizenholen en molshopen
Slecht	16 of meer locaties van muizenholen en molshopen

D Relatietabel Digigids en WBI2017 voor grasbekleding "Koppeling tussen Digigids en termen van kwaliteit van de grasmat conform beoordelingsmethodiek WBI 2017"

	Staat van onderdeel (conform Digigids)			
Onderdeel of type schade conform Digigids	Score	Omschrijving	Kwaliteit grasmat op basis van WBI 2017	bijbehorende definitie uit de WBI2017
Bedekkingsgraad	Goed	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 85%	Gesloten graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Redelijk	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 70% en kleiner dan 85%	Open graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Matig	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking groter dan of gelijk aan 60% en kleiner dan 70%	Fragmentarische zode	Taludbegroeiing met meer dan 25% van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25m, veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen

	Staat van onderdeel (conform Digigids)			
Onderdeel of type schade conform Digigids	Score	Omschrijving	Kwaliteit grasmat op basis van WBI 2017	bijbehorende definitie uit de WBI2017
	Slecht	gemiddeld oppervlak met vegetatiebedekking kleiner dan 60%		waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.
Graverij klein	Goed	geen sporen van mollen of muizen	Gesloten graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
			Open graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Redelijk	maximaal 5 locaties van muizenholen en molshopen	Gesloten graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat

	Staat van onderdeel (conform Digigids)			
Onderdeel of type schade conform Digigids	Score	Omschrijving	Kwaliteit grasmat op basis van WBI 2017	bijbehorende definitie uit de WBI2017
				groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
			Open graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m2 zijn en gemiddeld over 25 m2 niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Matig	minimaal 6 en maximaal 15 locaties van muizenholen en molshopen	Fragmentarische zode	Taludbegroeiing met meer dan 25% van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25m, veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.
	Slecht	16 of meer locaties van muizenholen en molshopen		
Afdekking	Goed	Geen afdekking van grasbekleding		
	Redelijk	Geen aangesloten afdekking van grasbekleding		
	Matig	Lokale kleine plekken met volledige afdekking van grasbekleding		Geen onderverdeling te maken naar kwaliteitsgras conform WBI 2017. Dit om de reden dat WBI geen mate van afdekking opneemt in de definitie per kwaliteitsklasse

	Staat van onderdeel (conform Digigids)			
Onderdeel of type schade conform Digigids	Score	Omschrijving	Kwaliteit grasmat op basis van WBI 2017	bijbehorende definitie uit de WBI2017
	Slecht	Grote aaneengesloten met volledige afdekking van de grasbekleding		
Kale plekken	Goed	Geen kale plekken	Gesloten graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar globale visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 10% van het oppervlak tot 0,2m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m ² zijn en gemiddeld over 25 m ² niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Redelijk	minder dan 3 plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is	Open graszode	Op het oog continue grasmat gedomineerd door grasblad en met, naar visuele inspectie, een representatieve plantafstand minder dan ongeveer 0,1m, welke in niet meer dan 25% van het oppervlak tot 0,25m mag bedragen. Er mogen niet meer dan 2 ondiepe (minder dan 0,1m) beschadigen per vierkante meter van de grasmat groter dan 0,15 x 0,15 m ² zijn en gemiddeld over 25 m ² niet meer dan 5 van zulke gaten.
	Matig	maximaal 5 plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is	Fragmentarische zode	Taludbegroeiing met meer dan 25% van het oppervlak plantafstanden groter dan 0,25m, veelal slechts individuele, losstaande planten, of pollen waartussen eventueel bodembedekkende kleinere planten die geen gesloten grasmat vormen.
	Slecht	6 of meer plekken kleiner dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatie weg is of 1 of meer plekken groter dan 0,15 m bij 0,15 m waar vegetatieweg is		

	Staat van onderdeel (conform Digigids)			
Onderdeel of type schade conform Digigids	Score	Omschrijving	Kwaliteit grasmat op basis van WBI 2017	bijbehorende definitie uit de WBI2017
Onkruid (groot)	Goed	geen Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad	Geen onderverdeling te maken naar kwaliteitsgras conform WBI 2017. Dit om de reden dat WBI geen vegetatiesoort opneemt in de definitie per kwaliteitsklasse	
	Redelijk	1 plant van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad		
	Matig	2 planten van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad		
	Slecht	3 of meer planten van Reuze Berenklaauw, Japanse Duizendknoop of Groot Hoefblad		
Onkruid (klein)	Goed	geen Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en / of Mos	Geen onderverdeling te maken naar kwaliteitsgras conform WBI 2017. Dit om de reden dat WBI geen vegetatiesoort opneemt in de definitie per kwaliteitsklasse	
	Redelijk	minder dan 10 % is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en / of Mos		
	Matig	meer dan 10% en minder dan 25 % is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring en /of Mos		
	Slecht	25 % of meer is bedekt met Akkerdistel, Brandnetel, Ridderzuring, Mos		

E Resultaten gevoeligheidsanalyse

Hieronder enkele aanbevelingen op basis van testresultaten met een eerdere versie van de implementatie in een spreadsheet (Excel). Tevens staat aangegeven welke aanbevelingen zijn overgenomen in de nieuwe versie.

- **Afdekking**
 - o Om het nog objectiever te maken is het misschien een idee om in plaats van 'grootte' te vragen de lengte en breedte in te vullen. Dit kan dan automatisch naar een oppervlakte omgerekend worden in het model. Daardoor hoeft de inspecteur niet zelf te gaan rekenen. Ditzelfde geldt voor de afmetingen van kale plekken en onkruid.
Dit advies is overgenomen. Wij hebben de lengte en breedte toegevoegd aan de spreadsheet.
- **Kale plekken**
 - o Bij de kale plekken wordt het aantal kale plekken opgeteld, onafhankelijk van de afmeting. Als hier echter 0 wordt ingevuld wordt deze gewoon meegerekend als kale plek. Het lijkt hier verstandig hetzelfde criterium te hanteren als bij afdekking: een kale plek wordt pas als kale plek gezien boven een bepaalde drempelwaarde, zeg 20 cm².
Dit advies is overgenomen. Alleen kale plekken groter dan de drempelwaarde worden meegeteld.
 - o Het herstel van kale plekken door afdekking staat nu op een vast percentage per maand. Het lijkt logischer dit tijdens het groeiseizoen hoger te zetten en tijdens het stormseizoen op 0. In de winter groeit gras niet of nauwelijks.
Experts moeten het percentage inschatten.
- **Inspectiemaand**
 - o Wanneer hier februari, april, augustus of december ingevuld wordt volgt een fout. Daarnaast wordt de grootte van de kale plek in de winter nu berekend als zijnde 5% van de afmeting tijdens de inspectie, onafhankelijk van in welke maand geïnspecteerd is. Dit lijkt niet de bedoeling. Het is logisch dat er een deel van de kale plek vermindert, maar 95% lijkt wat veel. Daarnaast is dit per maand verschillend.
Dit komt overeen met het tweede punt bij kale plekken.
- **Onkruid**
 - o Voor het onderdeel onkruid kan een percentage ingevuld worden, ook al is dit niet verspreid. Dit wordt dan gewoon meegenomen in de berekening. Dat lijkt niet de bedoeling. Dit geldt ook andersom, als het wel verspreid is kan gewoon een afmeting ingevuld worden, welke dan wordt meegenomen.
Invoercontrole toegevoegd. Let wel: verspreiding onkruid (oppervlakte) en geclusterd kunnen allebei van toepassing zijn!
 - o Voor onkruid wordt, wanneer het niet verspreid is, alleen gekeken of het groter is dan 15x15 cm. Zo ja, dan is de score voor kale plekken fragmentarisch. Zo nee, dan wordt hier niets mee gedaan. Het zou dan nog wel als een kale plek meegerekend moeten worden. Ook hier kan weer hetzelfde criterium van 20 cm² gebruikt worden. Dus tussen 20 cm² en 225 cm² wordt het meegerekend als 1 kale plek.
Dit advies is overgenomen en de criteria zijn aangepast. Meer dan 5 kale groter dan 20 cm² plekken of 1 of meer kale plekken groter dan 225 cm² leiden tot de score 'fragmentarisch'.

Afdekking

inspection_WBI_engine_NL - Excel

Inspectiemaand	Afdekking	KP winter (door Afdekking)			Kale Plekken		Onkruid		Bedeckingsgraad		
	Grootte	Boven strempelwaarde	Groter dan 15x15 cm?	Alfmeting (cm2)	Groter dan 15x15 cm?	Aantal kale plekken	Verspreid? ja of nee	Percentage	Alfmeting (cm2)	Groter dan 15x15 cm?	Percentage
juni	4500	225	1	0	150	0	2	ja	10	0	90
juli	1001	225,05	1	0	200	0	0			0	
augustus	0	0	0	0	0	0	0			0	
Stormvrijzeen:											
Bedeckingsgraad:		open									
Kale Plekken:		fragmentarisch									
Combined Zoder:		fragmentarisch									
WBI categorie:		D									
Color key:		inspection entry									
		no entry needed/allowed									
		calculated cell									
Background data and calculation											
Threshold		20									
onkruid factor		1									
area (cm*2) above which an open spot is considered a 'kale plek'											
fraction of onkruid that becomes open in the winter											
januari		0,05									
februari		0,05									
maart		0,05									
april		0,05									
mei		0,05									
juni		0,05									
juli		0,05									
augustus		0,05									
WB2017		gesloten 0 A+									
		open 1 A+									
		fragmentarisch 2 D									
Calculations		KP (winter) 1 fragmentarisch									
		KP interpretation 0									
Kritieke waarden kale plekken											
max 2 kale plekken of NO MORE than 15 cm x 15 cm (it DID NOT include the area that relates to 1 m2), or the criterion that no more than 5 in 25 m2 -> gesloten											

Kale plekken

Microsoft Excel - Jasper Bink

Bestand Start Invoegen Pagina-indeling Formules Gegevens Controleeren Beeld Help Font PDF Vertel wat u wilt doen

Plakken Kopieeren Opslaan Kopieeren / plakken Opslaan

Onkruid

The following table represents the data from the 'Onkruid' inspection spreadsheet shown in the screenshots.

Inspectiemaand	Afdekking Grootte (cm²)	KP_winter (door Afdekking) Grootte (cm²)	Boven drempelwaarde?	Groter dan 15x15 cm?	Afmeting (cm²)	Groter dan 15x15 cm?	Aantal kale plekken	Verspreid? Ja of Nee	Onkruid Verspreid? Afmeting (cm²)	Groter dan 15x15 cm?	Bedekkingsgraad Percentage
juni	4500	225	1	0	225	0	2	Ja	15	0	90
juni	4501	225,05	1	1	226	1				0	
		0	0	0	0	0				0	
		0	0	0	0	0				0	
		0	0	0	0	0				0	
Bedekkingsgraad: fragmentarisch Kale Plekken: fragmentarisch Combined Zode: fragmentarisch WBI categorie: D											
Color key: Inspection entry no entry needed/allowed calculated cell											
Background data and calculations Threshold: 20 area (cm²) above which an open spot is considered a 'kale plek' onkruid factor: 1 fraction of onkruid that becomes open in the winter WBI2017 gesloten 0 A+ open 1 A+ fragmentarisch 2 D Calculations KP (winter) 1 fragmentarisch KP interpretation 0 Kritieke waarden kale plekken max 2 kale plekken of NO MORE than 15 cm x 15 cm (I did NOT include the area that this relates to (1 m²), or the criterion that no more than 5 in 25 m² -> gesloten											