

BSc-thesis

Een Quick tool voor het modelleren van de vereiste
erosiebestendigheid van de graszode van de IJsseldijk.



Datum:	30 Juni, 2017
Naam:	J.J. Twijnstra
Studentnummer:	S1598058
Opleiding:	Bachelor Civiele Techniek
Onderwijsinstelling:	Universiteit Twente
Instituut:	Waterschap Vallei en Veluwe
Begeleider:	dr. J.J. Warmink
2 ^e Examiner:	T.J.H. Rovers MSc

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Een Quick tool voor het modelleren van de vereiste erosiebestendigheid van de graszode van de IJsseldijk.' Het onderzoek voor deze scriptie naar de vereiste erosiebestendigheid is uitgevoerd bij Waterschap Vallei en Veluwe in Apeldoorn. Deze scriptie is geschreven in het kader van mijn bachelor afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit van Twente en in opdracht van stage instituut Waterschap Vallei en Veluwe. Van april 2017 tot en met juni 2017 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van de scriptie.

Samen met mijn stagebegeleider van het waterschap, Reindert Stellingwerff, heb ik de onderzoeksmethode voor deze scriptie bedacht. Het onderzoek dat ik heb uitgevoerd was zeer data-afhankelijk. Na uitvoerig zoekwerk naar de beschikbaarheid van de benodigde data, met hulp van collega Adrie van Ruiten, ben ik de tool gaan modelleren en uiteindelijk toe gaan passen.

Tijdens dit onderzoek stonden Reindert Stellingwerff, de collega's van het waterschap en de begeleider vanuit mijn opleiding, Jord Warmink, altijd voor mij klaar. Zij hebben mijn vragen in de onderzoeksperiode vaak kunnen beantwoorden waardoor ik verder kon met mijn onderzoek. Ik heb veel van Reindert Stellingwerff geleerd in de onderzoeksperiode.

Bij dezen wil ik graag mijn begeleiders van harte bedanken voor de goede begeleiding en ondersteuning bij dit onderzoek. Ook wil ik André van Hoven (projectleider Deltares) van harte bedanken voor het delen van expertkennis.

Tevens wil ik mijn collega's van het Waterschap graag bedanken voor de fijne samenwerking. Ik heb op een leuke en effectieve wijze met hen kunnen sparren over mijn onderzoek. Daarbij hebben mijn collega's mij geholpen bij het verkrijgen van data.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Jetze Jan Twijnstra

Enschede, 30 juni 2017

Samenvatting

Sinds Januari 2017 zijn er nieuwe normen voor de veiligheidsbeoordeling voor dijken, gereguleerd in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium. Een van de faalmechanismen waar Waterschap Vallei en Veluwe op basis van de nieuwe normen op toetst tot het jaar 2023, is het faalmechanisme van de erosie van de kruin en het binnentalud. Momenteel wil het waterschap een Quick tool, om in te schatten wat de vereiste erosiebestendigheid van de graszode is, op basis van de nieuwe normen. Deze inschatting is dan ook het doel van het onderzoek. De ingeschatte vereiste erosiebestendigheid werkt door als streefbeeld voor risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in dagelijks beheer van het waterschap.

In deze paper wordt het modelleren en het toepassen van de Quick tool gepresenteerd. De Quick tool kan door het waterschap worden ingezet, om op een snelle wijze de vereiste erosiebestendigheid van de graszode (uitgedrukt in een vereist grastype) van een trajectdeel van de IJsseldijk te bepalen. Voor deze bepalingen, wordt eerst gekeken welke data nodig en beschikbaar is. Vervolgens wordt gekeken hoe overslag gemodelleerd kan worden en hoe deze overslag vertaald kan worden naar een vereist grastype. De Quick tool berekent de golfoverslag semi-probabilistisch, op basis van de bestaande dijk- en rivierkarakteristieken. Tot slot wordt de toepasbaarheid van de Quick tool bepaald.

Het belangrijkste resultaat van het onderzoek is een kaart die aangeeft wat de vereiste grastypen zijn en waar, zodat door de beheerder snel kan worden gekeken waar een hoge en lage eis is aan de kwaliteit van de grasmat. De Quick tool is toegepast op een enkel trajectdeel met beperkte inputdata. Als de tool met meer data en met meer gedetailleerde data wordt toegepast, is de Quick tool nog waardevoller voor het waterschap. De conservatieve aannames (door gebrek aan data) van de Quick tool, sluiten goed aan bij de conservatieve beslissingen van de beheerder. De Quick tool modelleert op dezelfde wijze als PC-Overslag, maar is in tegenstelling tot PC-Overslag toepasbaar op een trajectdeel en dus een snelle scan. De Quick tool resultaten zijn goed toepasbaar in het maken van risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer.

Voor een nauwkeuriger resultaat van de Quick tool wordt aanbevolen om:

- PC-Overslag te gebruiken als het hoogste grastype de graszode onvoldoende erosiebestendig is voor een nauwkeurigere berekening.
- Gedetailleerdere data van de dijkarakteristieken te gebruiken.
- Gebruik te maken van de nieuwe classificatie methode.
- De data van grondsoortkwaliteit van de deklaag van de kruin en het binnentalud naar boven te halen.
- De resultaten van Grastoets te valideren met de resultaten van de Quick tool.

Inhoudsopgave

Voorwoord	2
Samenvatting	3
Figurenlijst	6
1. Introductie	7
1.1. Context	7
1.2. Probleemstelling	9
1.3. Onderzoeksvragen	10
1.4. Leeswijzer	10
2. Methoden	11
2.1. Data verzamelen voor de Quick tool	11
2.1.1. Input data	11
2.1.2. Parameterwaarden	13
2.2. Het modelleren van overslag	17
2.3. Vertaalslag van overslagdebiet naar vereiste erosiebestendigheid	19
2.4. Evaluatie van de Quick tool	21
2.4.1. Intern	21
2.4.2. Extern	22
3. Resultaten	23
3.1. Dataverzameling voor de Quick tool	23
3.2. Quick tool resultaat voorbeeld enkel dwarsprofiel 232	25
3.3. Resultaat evaluatie	26
3.3.1. Intern	26
3.3.2. Extern	30
3.4. Gemodelleerd golfoverslag	32
3.5. Vereiste grastype en vereiste erosie bestendigheid	34
4. Discussie	36
4.1. Methode discussie en resultaat	36
4.2. Quick tool in relatie tot het management doel	38
4.3. Quick tool in relatie tot de context van het hedendaagse hoogwaterbescherming	38
5. Conclusie	39
5.1. Antwoord op de onderzoeksvragen	39
5.1.1. Deelvragen	39
5.1.2. Hoofdvraag	40
5.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek	41
Referenties	43
Bijlage	1
Bijlage 1. Tool ontwerp	1

Bijlage 1.1. Profielcalculaties	1
Bijlage 1.2. Invloedsfactor calculatie	3
Bijlage 1.3. Brekerparameter calculatie	6
Bijlage 1.4. Gemiddeld overslagdebiet calculatie	7
Bijlage 1.5. Overslagvolume per golf	8
Bijlage 2. Grond categorieën	10
Bijlage 3. Quick tool code (1)	11
Bijlage 4. Quick tool code (2)	12
Bijlage 5. Combinaties talud, grond en gras bij overslagdebiet	19
Bijlage 6. Quick tool output	22
Bijlage 7. Plots per dwarsprofiel	25
Bijlage 8. Dijkvakindeling	27
Bijlage 9. Bepaling van windrichting	28

Figurenlijst

<i>Figuur 1: Opbouw en indeling van de grasbekleding (Muijs, 1999)</i>	7
<i>Figuur 2: Faalmechanismen van waterkeringen (Waterschap Rivierenland, 2014)</i>	8
<i>Figuur 3: Basismodel van een dijk met belangrijkste componenten (Deltares, 2017)</i>	8
<i>Figuur 4: Samenhang van conceptuele externe stappen van de Quick tool</i>	11
<i>Figuur 5: Schematisering van hydraulisch processen benodigd voor bepaling golfoverslag (Rijkswaterstaat WVL, 2012)</i>	12
<i>Figuur 6: Koppeling van schematiseringshandleidingen met hoofdactiviteiten voor faalmechanisme toetsingen</i>	12
<i>Figuur 7: Conceptuele stappen van de Quick tool</i>	14
<i>Figuur 8: Definitieschets voor bepaling van de waarden voor berekening $\tan(\alpha)$</i>	15
<i>Figuur 9: De vrije kruinhoogte</i>	15
<i>Figuur 10: Visualisatie 3D-matrix erosiebestendigheid</i>	19
<i>Figuur 11: Type grasmat als functie van bedekking en doorworteling (TAW, 1994)</i>	20
<i>Figuur 12: Risk Assessment Method Evaluation Criteria (Covello & Merkhofer, 1993)</i>	21
<i>Figuur 13: Voorbeeld eenvoudig dwarsprofiel 90</i>	23
<i>Figuur 14: Voorbeeld gedetailleerd dwarsprofiel 90</i>	24
<i>Figuur 15: Voorbeeld leggetekening dwarsprofiel 90</i>	24
<i>Figuur 16: Geschematiseerd (trapezium) dwarsprofiel 232</i>	25
<i>Figuur 17: Quick tool tussenresultaten per berekenstap</i>	25
<i>Figuur 18: Gevoeligheidsanalyse voor de aanname van de hoek van golfaanval γ_B op het gemiddeld overslagdebiet</i>	27
<i>Figuur 19: Gevoeligheidsanalyse naar invloed van grondcategorie op resultaat grastype</i>	29
<i>Figuur 20: Trajectdeel IJsseldijk rondom 'kapje' van Leuvenheim</i>	32
<i>Figuur 21: Relatie tussen kruinhoogte ten opzichte van golfhoogte</i>	32
<i>Figuur 22: Plot gemiddeld overslag debiet (Quick tool output), met 5% overschrijdingskans bij 1:3000 per jaar</i>	33
<i>Figuur 23: Ruimtelijk overzicht van het vereiste grastype bij IJ_1_52-1_dk_00200 t/m IJ_1_52-1_dk_00235</i>	34

1. Introductie

Deze sectie presenteert de context van de opdracht, de probleemstelling, de onderzoeksvragen en deze sectie sluit af met een leeswijzer.

1.1. Context

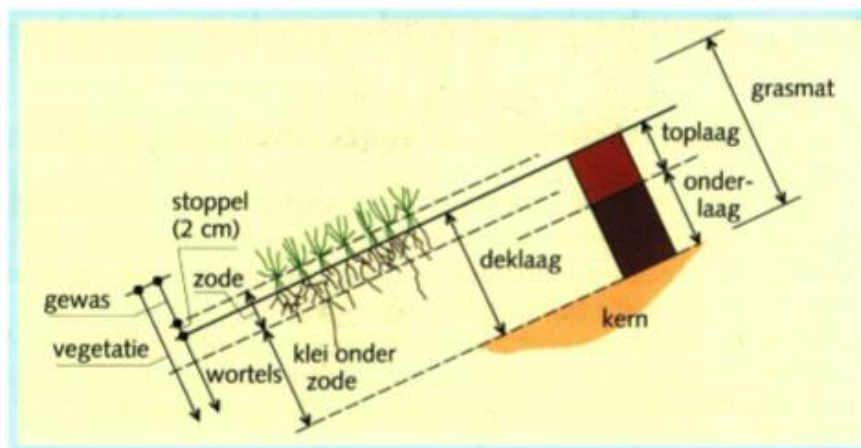
Organisatie

Waterschap Vallei en Veluwe zorgt voor veilige dijken, schoon en voldoende oppervlaktewater en gezuiverd afvalwater in het gebied tussen de IJssel, de Neder-Rijn, de Utrechtse Heuvelrug en de Randmeren. Het hoofdkantoor van het waterschap is gevestigd te Apeldoorn. Binnen het waterschap bevinden zich verschillende afdelingen met elk een eigen vak en discipline. Het onderzoek is uitgevoerd binnen de afdeling Planvorming. Het onderzoek omvat de discipline watermanagement, ecologie en hydrologie. De afdeling Planvorming maakt tactische plannen en monitort het watersysteem. De afdeling bestaat uit drie teams, namelijk: team Schoon Water, team Veilig, Voldoende en Verbonden Water en team Waterketen en Stedelijk Water. Het onderzoek is uitgevoerd binnen het team Veilig, Voldoende en Verbonden Water. Het beheergebied van het waterschap heeft een oppervlakte van circa 246×10^3 hectare met 1,1 miljoen inwoners (Waterschap Vallei en Veluwe, 2017). De focus in dit onderzoek ligt op de IJsseldijk. De IJsseldijk is een primaire dijk en bevindt zich aan de Oostzijde van het beheergebied.

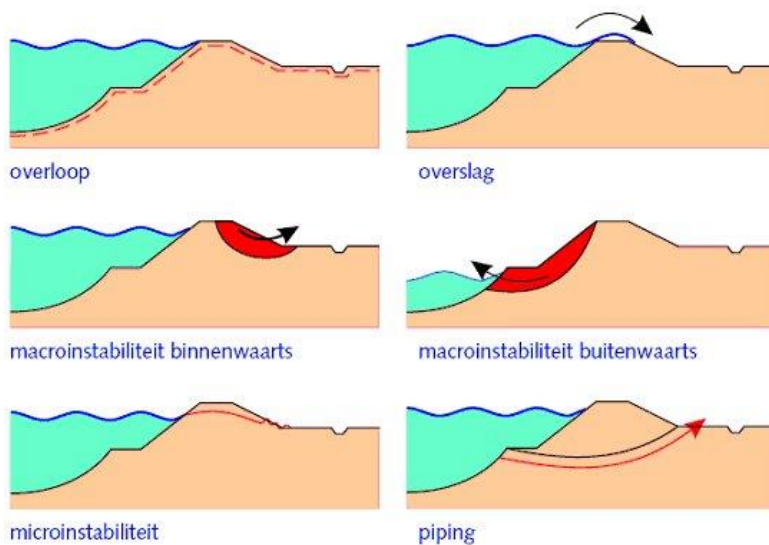
Waterkeringsveiligheid

In Nederland, bestaan de primaire dijken uit meer dan drieduizend kilometer zand- en klei-gebaseerde constructies. Bij dijken wordt gefocust op de diverse functies waarover deze dijken beschikken en de waarde van de grasbekleding voor het beschermde gebied. De IJsseldijk functioneert als primaire waterkering. De grasbekleding van is de hoofdcomponent voor de preventie van erosie van grond en afschuiving/macro-instabiliteit. Een grasbekleding, met een toplaag en onderlaag (zie Figuur 1) kan afhankelijk van verschillende belastingvormen, verschillende vormen van erosie en faalgedrag laten zien (Rijkswaterstaat WVL, 2012). Er zijn verschillende fysieke mechanismen die tot falen leiden, namelijk faalmechanismen. Voor grasbekleding zijn vier faalmechanismen te onderscheiden, namelijk:

- Afschuiving van het buitentalud, door een snel afnemende waterstand en een hoge grondwaterstand.
- Erosie van het buitentalud, door golfklap en golfoploop.
- Afschuiving van het binnentalud, door een hoge water- en grondwaterstand.
- Erosie van de kruin en het binnentalud, door golfoverslag, zie Figuur 2.

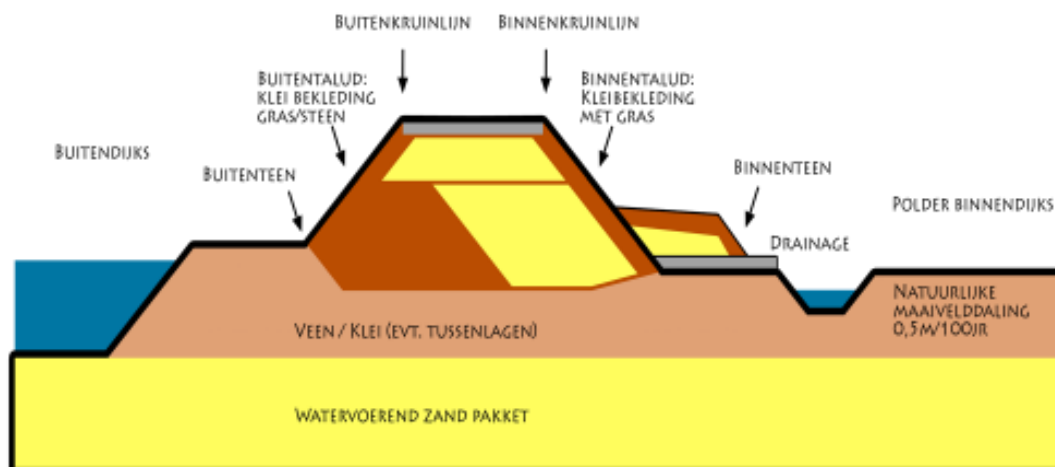


Figuur 1: Opbouw en indeling van de grasbekleding (Muijs, 1999)



Figuur 2: Faalmechanismen van waterkeringen (Waterschap Rivierenland, 2014)

In Figuur 3 zijn de locaties van de componenten kruin en binnentalud weergegeven. Dit onderzoek betreft uitsluitend het faalmechanisme van de erosie van de kruin en het binnentalud. De erosie van grond van de graszode maakt een dijk instabiel. Gebleken is dat erosie vooral wordt veroorzaakt door de grote overslagvolumes, dus de belasting is afhankelijk van zowel het overslagdebiet als de golfhoogte (Rijkswaterstaat, WVL, 2016c).



Figuur 3: Basismodel van een dijk met belangrijkste componenten (Deltares, 2017)

Sinds Januari 2017 zijn er nieuwe normen voor de veiligheidsbeoordeling voor dijken, gereguleerd in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) (Helpdesk Water, 2017a). Het is een landelijk geldende wettelijk beoordelingsinstrumentarium voor het beoordelen van dijkveiligheid. Het waterschap toetst al de dijken in het managementgebied, gedurende een periode van zes jaar op basis van de nieuwe normen. Een van de onderdelen waarop getoetst wordt is de erosie van de graszode.

Risico bepaling voor beheer

Momenteel wil het Waterschap een inschatting hebben van de vereiste erosiebestendigheid van de graszode, op basis van de nieuwe normen. Dit werkt door als basis voor risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer. Het dagelijks beheer van het waterschap is conservatief, omdat het waterschap de veiligheidstaak te behartigen heeft.

Het waterschap wil een snelle manier, waarmee de vereiste erosiebestendigheid van de graszode van een trajectdeel van de IJsseldijk kan worden bepaald. Niet alleen Waterschap Vallei en Veluwe heeft belang bij deze Quick tool, maar ook andere waterschappen in Nederland onderkennen het belang. Dit kwam naar voren op de Kennisdag inspectie waterkeringen 2017 van de STOWA. De nadruk ligt op het woord 'Quick'. Met een Quick tool wil het Waterschap een snelle inschatting maken, zodat het Waterschap alvast het beheer kan aanpassen, indien dat nodig is. Door de Quick tool hoeft niet zes jaar gewacht te worden, totdat alle primaire dijken zijn getoetst.

Streefbeeld

Het Waterschap heeft het doel om streefbeelden te maken voor de grasbekleding, met het beheer als uiteindelijk doel. Het integrale streefbeeld combineert de vereisten van de grasbekleding vanuit de veiligheidsfunctie met verschillende nevenfuncties, namelijk: transport, recreatie, landschap, natuur en gebouwde omgeving. Het doel om een integraal streefbeeld te creëren, is een bestuurlijke ambitie die in het Waterbeheerprogramma van het Waterschap is opgenomen. Een lokaal streefbeeld voor de grasbekleding wordt een specifiek grastype voor een dijkvak.

De Quick tool vormt het eerste ingrediënt om een integraal streefbeeld voor de IJsseldijk vast te stellen. Met de Quick tool wil het Waterschap data van waterstanden, rivierbodemprofielen, dijkprofielen en hydraulische belastingen koppelen aan een overslagdebiet. Dit overslagdebiet vertaalt zichzelf naar een vereist grastype per dijkvak van een trajectdeel. Het vereiste grastype wordt gebruikt om in een kaart per dijkvak aan te geven, wat de vereiste erosiebestendigheid is. Erosiebestendigheid wordt dus uitgedrukt in een grastype.

1.2. Probleemstelling

Met het computerprogramma PC-Overslag, behorende bij het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002), kan het overslagdebiet worden bepaald, maar het toepassen van het PC-Overslag sluit niet aan bij het doel van het waterschap. Het doel is namelijk het vinden van een snelle methode om de vereiste erosiebestendigheid te bepalen van een trajectdeel en PC-Overslag is alleen handmatig toepasbaar op losse dwarsprofielen.

Volgens de schematiseringshandleidingen en de factsheets van het WBI, zijn de volgende data benodigd: data van de dijkhoogte, data van de dijkoriëntatie, data van de dijkprofiel en data van het grondmateriaal van de deklaag (binnentalud). De data van de dijkoriëntatie zijn nodig voor de berekening van de golfhoogte bij de dijkteen, die worden veroorzaakt door wind. De data van de dijkhoogte en het dijkprofiel van het buitentalud zijn nodig om het potentiële golfoverslagdebiet te berekenen, samen met de data van de hydraulische belasting bij de dijkteen. Verder zijn de data van het dijkprofiel van het binnentalud, data van het grondmateriaal van de deklaag en het berekende potentiële overslagdebiet nodig voor het bepalen van het vereiste grastype.

De probleemstelling is:

Het Waterschap heeft een streefbeeld nodig voor het onderhoud van de grasbekleding, maar op dit moment is de vereiste veiligheid vertaald naar vereiste erosiebestendigheid niet bekend voor alle locaties. Daarom wil het Waterschap een Quick tool voor het bepalen van de vereiste erosiebestendigheid voor de verschillende type dijkvakken van een trajectdeel van de IJsseldijk.

1.3. Onderzoeksvragen

Op basis van de probleemstelling en het doel van het waterschap zijn de onderzoeksvragen opgesteld.

De hoofdvraag is:

Hoe kan overslag gemodelleerd worden, om de vereiste erosiebestendigheid van de IJsseldijk te bepalen op basis van de hoofdparameters: dijkhoogte, dijkoriëntatie, dijkprofiel en grondmateriaal van de deklaag van het binnentalud?

Om antwoord te geven op de hoofdvraag, zijn de volgende deelvragen afgeleid:

1. Welke data zijn nodig en beschikbaar voor de Quick tool, naast dijkhoogte, dijkoriëntatie en dijkprofiel?
2. Hoe kan het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s per dijkvak worden gemodelleerd?
3. Hoe kan het gemiddeld overslagdebiet worden vertaald naar een vereiste erosiebestendigheid, uitgedrukt in een vereist grastype?
4. Hoe goed is de tool toepasbaar?

1.4. Leeswijzer

In sectie 2 zijn de onderzoeksmethoden gepresenteerd voor: de dataverzameling voor de tool, het toolontwerp voor overslagdebietmodellering, de vertaalslag van overslagdebiet naar vereiste erosiebestendigheid uitgedrukt in een vereist grastype en tot slot de evaluatie voor de Quick tool. In sectie 3 zijn de onderzoeksresultaten gepresenteerd, namelijk: de dataverzameling, het gemodelleerd overslagdebiet, de vereiste erosiebestendigheid uitgedrukt in vereiste grastype en tot slot de toepasbaarheid van de Quick tool. In sectie 4 is wordt een discussie gegeven en de conclusies en aanbevelingen staan in sectie 5.

2. Methoden

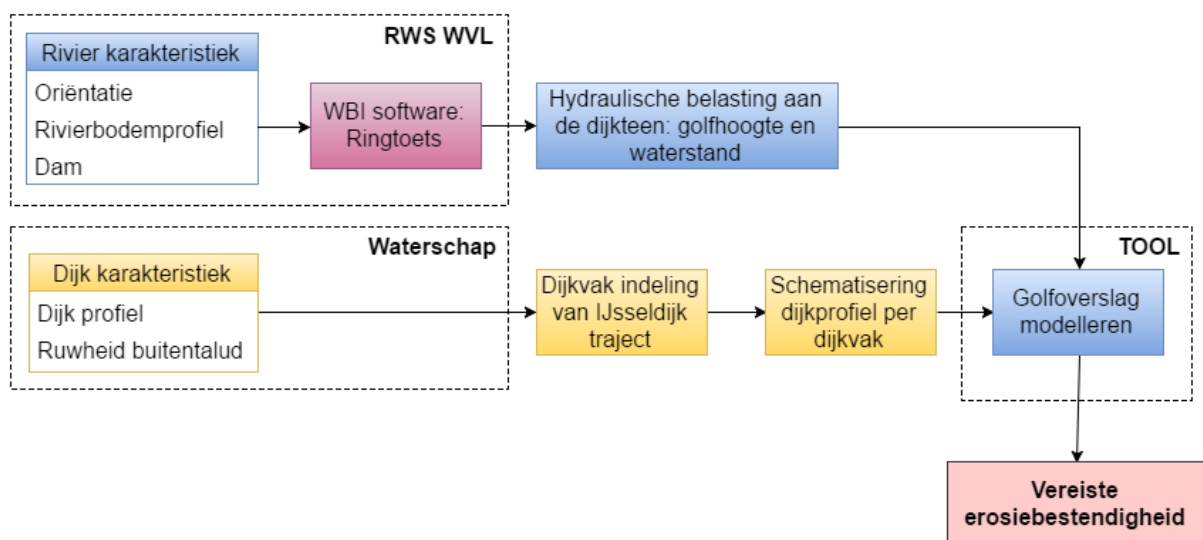
In deze sectie worden de methoden beschreven, namelijk: de methode voor het verzamelen van data voor de Quick tool, de methode voor het ontwerpen van de Quick tool voor overslagdebiet, de methode voor de vertaalslag van overslagdebiet naar vereiste erosiebestendigheid en tot slot de methode voor het bepalen van de toepasbaarheid van de Quick tool.

2.1. Data verzamelen voor de Quick tool

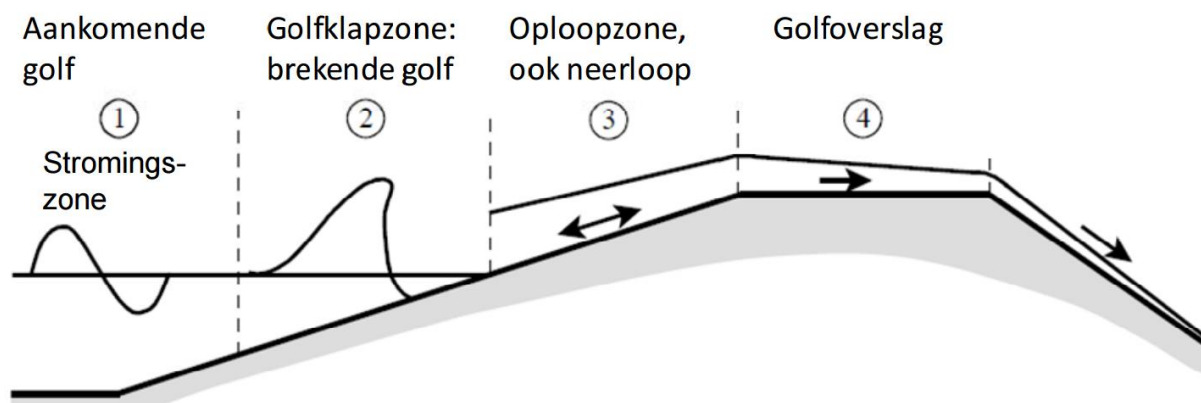
Dijkhoogte, dijkoriëntatie, dijkprofiel en grondmateriaal van de deklaag van het binnentalud zijn de hoofdparameters en het doel van deze methode was om te bepalen welke data verder benodigd waren voor de Quick tool. Het proces van data verzamelen en modelleren gingen samen. Er werd allereerst vastgesteld welke data beschikbaar waren, om te voorkomen dat er een Quick tool werd ontworpen waarbij de benodigde data ontbreken. Voordat de Quick tool werd gemodelleerd, was er rekening gehouden met de mogelijkheid dat gedurende het modelleringsproces ontdekt werd dat er meer data nodig bleken te zijn. Twee verschillende type data zijn nodig voor de Quick tool, namelijk inputdata en parameterwaarden.

2.1.1. Input data

Om een goede eerste stap te maken in het bepalen en verkrijgen van de benodigde inputdata, is een conceptueel stappenplan gemaakt. De conceptuele stappen en de samenhang tussen de conceptuele stappen, wordt gepresenteerd in Figuur 4. De inputdata horende bij de stappen, bestaan uit ruwe data van de dijkarakteristieken en de rivierkarakteristieken die nodig zijn voor het modelleren van golfoverslag, zie Figuur 5. De bron van de inputdata, is de database van het waterschap en de database van Rijkswaterstaat WVL. Het conceptuele stappenplan is onderbouwd met schematiseringshandleidingen van het WBI, die refereren naar de technische adviesrapporten van de TAW (in 2005 is de TAW overgegaan in het Expertise Netwerk Wateringen).

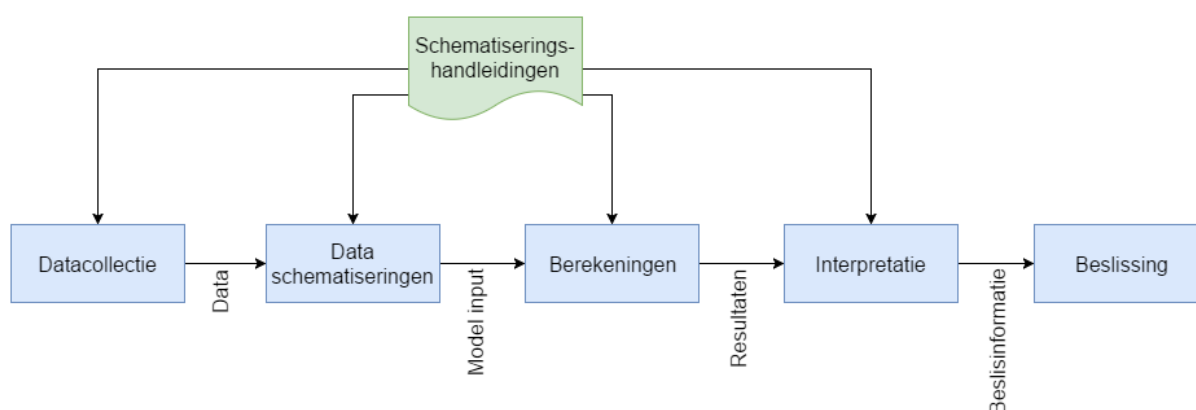


Figuur 4: Samenhang van conceptuele externe stappen van de Quick tool



Figuur 5: Schematisering van hydraulisch processen benodigd voor bepaling golfoverslag (Rijkswaterstaat WVL, 2012)

De toetsing van een primaire dijk op een faalmechanisme bestaat uit vijf in serie uit te voeren hoofdactiviteiten, zie Figuur 6. De schematiseringshandleidingen vormen de onderlinge relatie tussen de eerste vier hoofdactiviteiten van faalmechanismetoetsing. In dit onderzoek zijn de schematiseringshandleidingen gebruikt voor: datacollectie, dataschematiseringen en berekeningen. Bij de hoofdactiviteit 'Interpretatie' vindt een toets-oordeel plaats. In dit onderzoek is het gewenste resultaat een vereiste erosiebestendigheid en geen toets-oordeel van de huidige erosiebestendigheid, dus worden de hoofdactiviteiten 'Interpretatie' en 'Beslissing' niet toegepast in het onderzoek. Deze hoofdactiviteiten moeten door het waterschap worden volbracht, met WBI-software.



Figuur 6: Koppeling van schematiseringshandleidingen met hoofdactiviteiten voor faalmechanisme toetsingen

De schematiseringshandleidingen die zijn gebruikt ter onderbouwing van het conceptuele stappenplan, zijn hieronder kort toegelicht:

WBI-schematiseringshandleidingen

Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijkteen (Rijkswaterstaat, WVL, 2016a):

Deze schematiseringshandleiding laat zien hoe dammen en bodemprofielen in het voorland geschematiseerd kunnen worden. Het voorland is het gebied tussen de uitvoerlocatie op de rivier en de dijkteen. Zowel dammen als bodemprofielen hebben invloed op de hydraulische condities bij de dijkteen.

Schematiseringshandleiding hoogte (Rijkswaterstaat, WVL, 2016b):

Deze schematiseringshandleiding laat zien hoe het dijktoprofiel (buitendijks) geschematiseerd kan worden. Dit is nodig voor het bepalen van golfoploop en golfoverslag.

Schematiseringshandleiding grasbekleding (Rijkswaterstaat, WVL, 2016c):

Deze schematiseringshandleiding laat zien hoe data verzameld moeten worden, welke data verzameld moeten worden, hoe de data geschematiseerd moeten worden en hoe de hydraulische belastingen kunnen worden berekend voor het bepalen van de erosie van de kruin en het binnentalud.

Hydraulische belasting bij de dijkteen

Met de WBI-software Ringtoets (Helpdesk Water, 2017b) is bij de norm het toetspeil en de significante golfhoogte H_{m0} (van piek tot dal rondom de stilwaterlijn, zie Figuur 5) bepaald bij de teen van de dijk, op basis van marginale statistiek met een jaarlijkse overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm (Helpdesk Water, 2017c). De norm van het onderzochte trajectdeel is 1:3000 per jaar. Dit is de signaleringswaardenorm ("De signaleringswaarde is een overstromingskans voor een traject die een signaal afgeeft dat de dijk op termijn versterkt moet worden. De waarde is zo gekozen dat er voldoende tijd is voor uitvoering van een verbeteractie" (STOWA, 2016)). Wat er in detail onder de motorkap van de Ringtoets-software speelt, zal niet worden behandeld in dit verslag, maar Ringtoets beschouwd voornamelijk het volgende: oriëntatie van de dijknormaal, het rivierbed van het voorland en de aanwezige dammen in het voorland. De ruwe input data van de rivierkarakteristieken zijn met Ringtoets omgezet tot de hydraulische belasting aan de teen van de dijk, namelijk de significante golfhoogte en het toetspeil. Alle input voor Ringtoets is beschikbaar in de database van Hydra NL. De significante golfhoogte en het toetspeil uit Ringtoets worden gebruikt als input voor de Quick tool.

Dijkvakindeling van traject

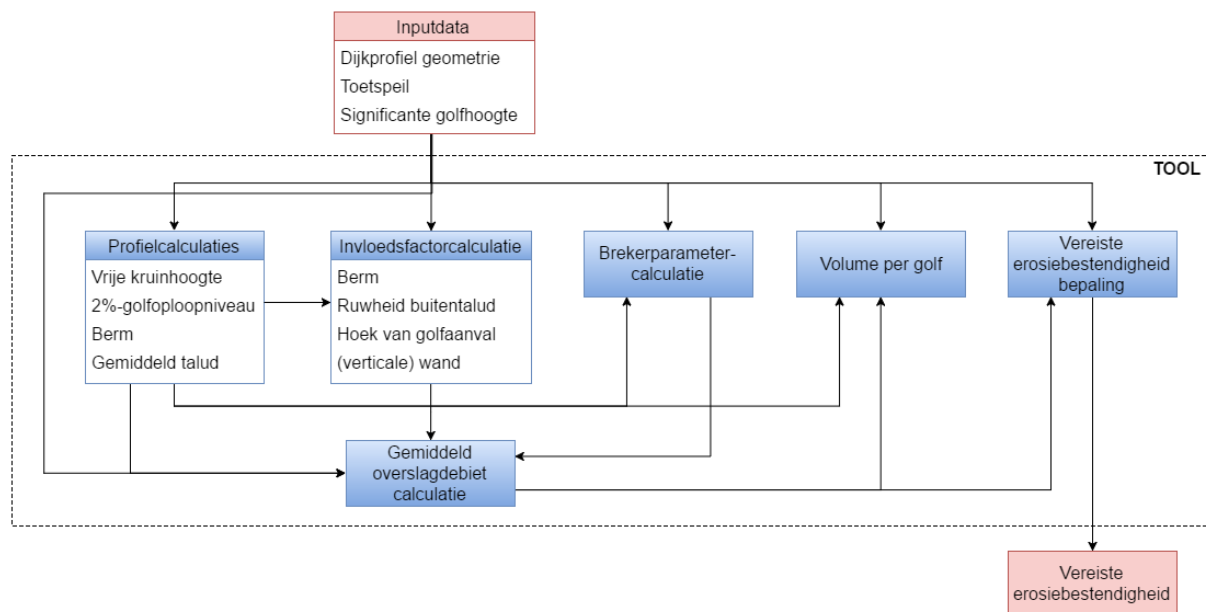
Het trajectdeel dat is onderzocht en waar de inputdata voor gewonnen zijn, is het trajectdeel van dijkvak IJ_1_52-1_dk_00200 tot en met IJ_1_52-1_dk_00235. De lengte van het trajectdeel is 3500 m en het trajectdeel bevat 36 dwarsprofielen. De afstand tussen de dwarsprofielen is 100 m, dus is het traject homogeen verdeeld.

Schematisering van dijkprofiel per dijkvak

Waterschap Vallei en Veluwe heeft beschikking over de x- en z-data van de kruin- en teenlijnen van de IJsseldijk. De kruin- en teenlijnen schematiseren de dijk als een trapezium in drie segmenten. Bij sommige dwarsprofielen is ook een kniklijn aanwezig in het binnentalud, hierdoor bestaat de profielschematisering uit 4 segmenten, zie voorbeeld in Figuur 13. Bovendien heeft het Waterschap Vallei en Veluwe beschikking over x- en z-data van de dwarsprofielen die uit meerdere segmenten zijn geschematiseerd, zie Figuur 14. Met de x- en z-waarden van een dwarsprofielen kan het gemiddelde talud van het profiel worden bepaald, die benodigd is voor de oploop- en overslagberekening. Schematiseringen van de dwarsprofielen zijn dus al gedaan.

2.1.2. Parameterwaarden

Om een goede eerste stap te maken in het bepalen van benodigde parameterwaarden, is een conceptuele Quick tool gemaakt, zie Figuur 7. De conceptuele Quick tool geeft de conceptuele stappen en de samenhang tussen de conceptuele stappen binnen de Quick tool weer. De conceptuele Quick tool is ingepast in Figuur 4. De stappen beschrijven het fenomeen van golfoverslag, in gemiddeld overslagdebiet en in volume per golf. Bovendien beschrijven de stappen de afleiding van de vereiste erosiebestendigheid.



Figuur 7: Conceptuele stappen van de Quick tool

Na het opstellen van de conceptuele Quick tool, was het mogelijk om de benodigde parameterwaarden af te leiden. De parameterwaarden benodigd voor de stappen bestaan uit default waarden, empirische waarden en aangenomen waarden. De bronnen van de parameterwaarden zijn de technische adviesrapporten van de TAW (default waarden en empirische waarden) en de expertkennis van André van Hoven (aangenomen parameterwaarden). Van Hoven is projectleider bij het onderzoeksinstituut Deltares en expert op het gebied van dijkstabiliteit. Daarbij heeft Van Hoven zeven jaar deelgenomen in golfoverslagproeven. De technische adviesrapporten die worden gebruikt ter onderbouwing van de Quick tool zijn hieronder kort toegelicht:

TAW technische rapporten

Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken (TAW, 2002):

Dit technisch adviesrapport laat zien hoe golfploop en golfoverslag berekend kan worden. Bovendien, laat het rapport zien hoe deze berekeningen kunnen worden gedaan voor versimpelde dijkprofielen (buitendijks, zie Figuur 3).

Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding (TAW, 1998):

Dit technische adviesrapport bevat onderzoeksresultaten met conclusies en aanbevelingen.

Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding (TAW, 1998):

Dit technische adviesrapport laat zien hoe de vereiste erosiebestendigheid kan worden bepaald en waar de vereiste erosiebestendigheid van af hangt.

Hieronder worden per conceptuele stap van de Quick tool (zie Figuur 7) de benodigde parameters gepresenteerd, voor de berekeningen van de Quick tool (de uitleg van de berekening volgt in sectie 2.2.):

Profielcalculatie

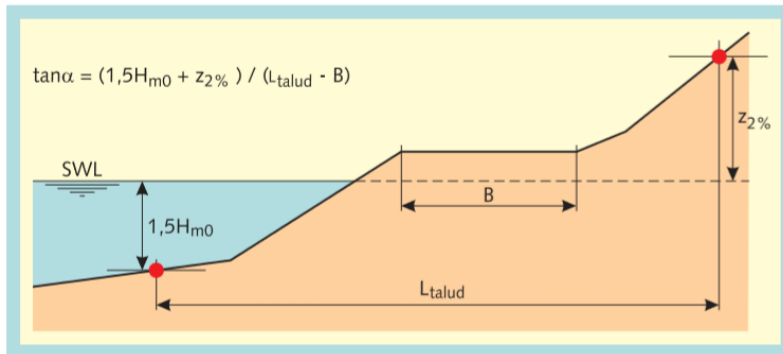
“De golfploophoogte wordt gegeven door $z_{2\%}$. Dat is het golfploopniveau, verticaal gemeten ten opzichte van de stilwaterlijn, waarbij het aantal oplopen dat dit niveau overschrijdt 2% is van het aantal inkomende golven” (TAW, 2002). Voor de bepaling van het representatieve taludhelling $\tan\alpha$, is een

schatting van de 2%-golfoploophoogte nodig, zie Figuur 8. De formule van de representatieve taludhelling $\tan\alpha$ is (TAW, 2002):

$$\tan(\alpha) = (1,5 \cdot H_{m0} + z_{2\%}) / (L_{talud} - B) \quad (1)$$

Waarin:

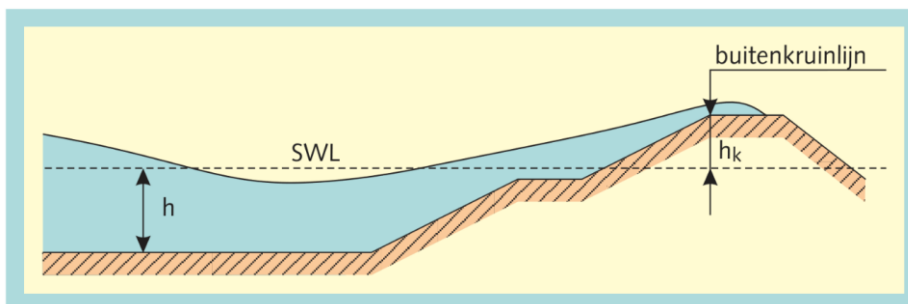
- L_{talud} = horizontale lengte tussen twee punten op het buitentalud op $z_{2\%}$ boven en $1,5 \cdot H_{m0}$ onder de stilwaterlijn (SWL) [m]
- B = bermbreedte horizontaal gemeten [m]



Figuur 8: Definitieschets voor bepaling van de waarden voor berekening $\tan(\alpha)$

Inschatting golfoploophoogte

Het 2%-golfoploophoogte $z_{2\%}$ is in eerste instantie niet bekend, omdat deze wordt berekend met de representatieve taludhelling. Er is daarom een schatting gemaakt van $z_{2\%} = 1,5 \cdot H_{m0}$, zoals aanbevolen door het rapport van de TAW (2002). Als de geschatte waarde groter is dan de vrije kruinhoogte h_k (zie Figuur 9), dan geldt $z_{2\%} = h_k$.



Figuur 9: De vrije kruinhoogte

Invloedsfactor calculatie

Het gemiddeld overslagdebiet rekt met invloedsfactoren van berm, ruwheid op het talud, scheve golfaanval en (verticale) wand. De invloedsfactoren hebben een waarde van kleiner of gelijk aan 1. Gras heeft als invloedsfactor de waarde 1 (TAW, 2002), zie Bijlage 1.2. De invloedsfactor van de ruwheid van het buitentalud wordt standaard op de waarde 1 aangenomen, aangezien volgens het waterschap de dijkvakken van de IJsseldijk alleen zijn bekleed met gras. De invloedsfactor van de hoek van golfaanval is ook op 1 gezet (dit is bij een loodrechte hoek van golfaanval op de dijk), omdat van de meest belastende situatie wordt uitgegaan. De reden voor deze aanname is dat Ringtoets de significante golfhoogte bepaald, zonder hierbij te vermelden wat de windrichting (bepaalt de hoek van golfaanval) is.

Brekerparameter calculatie

Voor de calculatie van de brekerparameter, moet de spectrale golfperiode bekend zijn. Volgens het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002) moet langs de rivier een golfspectrum worden bepaald, waaruit het nulde moment en het eerste negatieve moment van het spectrum afgeleid moeten worden: $T_{m-1,0} = m_{-1}/m_0$. Deze bepalingen vielen niet binnen het doel van het onderzoek, namelijk een 'Quick' tool. Daarom is gekozen om de spectrale golfperiode te bepalen door het volgende verband (Roskam, 2007):

$$T_{m-1,0} = \text{spectrale golfperiode: } T_{m-1,0} = c \cdot \sqrt{H_{m0}} \text{ [s]} \quad (2)$$

Waarin:

- c = constante tussen 3,2 en 3,5 [-]

De parameter c wordt gesteld op een waarde van 3,25, als aanname. Deze aanname is gemaakt op aanbeveling van Van Hoven. De brekerparameter werkt door in de berekening van de golfoverslag, zie Figuur 7. Er wordt verder op de brekerparameter ingegaan in Bijlage 1.3.

Volume per golf calculatie

De gemiddelde golfperiode, benodigd voor de calculatie van het volume per golf, wordt bepaald door het volgende verband (Roskam, 2007):

$$T_m = \text{gemiddelde golfperiode: } T_m = c \cdot \sqrt{H_{m0}} \text{ [s]} \quad (3)$$

Waarin:

- c = constante met een aangenomen waarde van $\sqrt{11}$ (Roskam, 2007)[-]

De stormduur, ook benodigd voor de calculatie van het volume per golf, wordt op basis van de schematiseringshandleiding grasbekleding van de WBI (2016c) in de Quick tool op 12 uur gesteld. Het overslagvolume is bepaald voor een vervolgonderzoek naar cumulatieve overslagbelasting met het volgende model (Hoven, 2016):

$$D = \sum_{i=1}^N (U_i^2 - U_c^2) \quad (4)$$

Waarin:

- D = cumulatieve overbelasting
- N = aantal golfoverslaggebeurtenissen
- U_i = snelheid overslaande golf
- U_c = kritische stroomsnelheid (afhankelijk van graskwaliteit)
- $D \approx 4000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ = meerdere plekken schade
- $D_{crit} = 7000 \text{ m}^2/\text{s}^2$ = falen gras (nog niet onderlagen)

Hier wordt verder op ingegaan in de aanbeveling in sectie 5.2. Daarbij is het volume per golf bepaald voor adviezen aan de beheerder.

2.2. Het modelleren van overslag

Met het computerprogramma PC-Overslag, behorende bij het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002), kan het overslagdebiet worden bepaald voor een enkel dwarsprofiel. Het modelleren van golfoverslag in de Quick tool is gedaan op basis van het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002). De Quick tool modelleert dus op dezelfde wijze als PC-Overslag, maar is in tegenstelling tot PC-Overslag toepasbaar op een trajectdeel (PC-Overslag is alleen handmatig toepasbaar op een enkel dwarsprofiel per berekening). De modelprocessen en de berekeningen van de Quick tool worden beschreven in Bijlage 1. De Quick tool is gemodelleerd in MATLAB (2016) en de MATLAB-scripts inclusief commentaarregels zijn te vinden in de Bijlage 3 en Bijlage 4.

Overslag

In Figuur 5 is een visualisatie van golfoverslag weergegeven. “Golfoverslag is het gemiddeld debiet per strekkende meter breedte q , bijvoorbeeld in m^3/m per s of in l/m per s” (TAW, 2002). De Quick tool gebruikt verschillende formules om het gemiddeld overslagdebiet te berekenen bij drie domeinen van de brekerparameter (zie Bijlage 1.4). De domeinen zijn:

- $\xi_0 \leq 5$
- $\xi_0 \geq 7$
- $5 < \xi_0 < 7$

$\xi_0 \leq 5$

Het gemiddeld overslagdebiet wordt door de Quick tool berekend met de volgende formules:

$$q = \frac{0,067}{\sqrt{\tan(\alpha)}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,75 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_B \cdot \gamma_v}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (5)$$

$$\text{met als maximum: } q = 0,2 \cdot \exp\left(-2,6 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_B}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (6)$$

Waarin:

- q = gemiddeld golfoverslag debiet per strekkende meter kruin [$\text{l}/\text{m}/\text{s}$]
- α = hoek van het gemiddelde talud [$^\circ$]
- h_k = kruinhoogte ten opzichte van stilwaterlijn [m]
- H_{m0} = significante golfhoogte [m]
- ξ_0 = brekerparameter [-]
- γ_b = invloedsfactor berm, ruwheid buitentalud, hoek van golfaanval, en een (verticale) wand op het talud, zie Bijlage 1.2 [-]

Deze formules zijn gebaseerd op de formules 24 en 25 van de TAW (2002, p. 30). De betrouwbaarheid van formules 24 en 25 van de TAW (2002) wordt gegeven door de coëfficiënt 4,75 als een normaal verdeelde stochast op te vatten met een gemiddelde 4,75 en een standaardafwijking $\sigma = 0,5$.

$\xi_0 \geq 7$

Het gemiddeld overslagdebiet wordt door de Quick tool berekend met de volgende formules:

$$q = 10^C \cdot \exp\left(-\frac{h_k}{\gamma_f \cdot \gamma_B \cdot H_{m0} \cdot (0,33 + 0,022 \cdot \xi_0)}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (7)$$

Waarin:

- C = normaal verdeelde stochast met een gemiddelde van $-0,92$ (met $10^{-0,92} = 0,12$) en een standaardafwijking van $0,24$.

De formule is gebaseerd op de formule 26 van de TAW (2002, p. 33).

$$5 < \xi_0 < 7$$

De logaritme van het gemiddeld overslagdebiet wordt lineair geïnterpoleerd tussen $5 < \xi_0 < 7$. Hiervoor berekent de Quick tool eerst het gemiddeld overslagdebiet met (5) en (6), bij $\xi_0 = 5$ en het gemiddeld overslagdebiet met (7), bij $\xi_0 = 7$.

Semi-probabilistisch

De Quick tool rekent met probabilistische golfoploop- en golfoverslagformules van het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002). De spreiding in de onzekerheden en invoergegevens van de formules worden meegenomen in constanten van de formules van de TAW (2002). Deze constanten zijn partiële veiligheidsfactoren. Het gemiddeld overslagdebiet resultaat is semi-probabilistisch, omdat er ook met deterministische waarden (aannames) wordt gerekend.

Aannames

De Quick tool modelleert met de volgende aannames:

- Golven hebben een loodrechte hoek van golfaanval ten opzichte van de dijk (zie sectie 2.1.2).
- Spectrale golfperiode is: $T_{m-1,0} = 3,25 \cdot \sqrt{H_{m0}}$ [s] (zie sectie 2.1.2).
- Gemiddelde golfperiode: $T_m = \sqrt{11} \cdot \sqrt{H_{m0}}$ [s] (zie sectie 2.1.2).
- Grondcategorie = 3 (zie sectie 2.3).

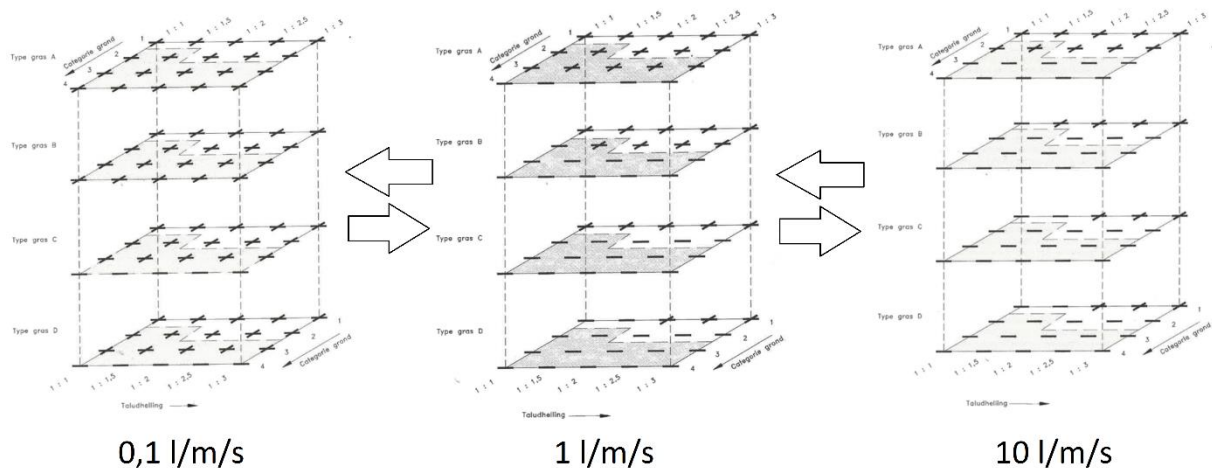
Voor deze aanname van de rechte hoek van golfaanval en van de grondcategorie wordt met een gevoeligheidsanalyse nagegaan, hoe sterk de waarde van de uitvoer verandert als gevolg van een kleine verandering van de waarde van de aanname ten opzichte van de basis-casus van de aanname. De gevoeligheidsanalyseresultaten wordt gegeven in sectie 3.3.1. Er wordt geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor de spectrale golfperiode en de gemiddelde golfperiode, omdat deze niet nauwkeurig bepaald kunnen worden.

2.3. Vertaalslag van overslagdebiet naar vereiste erosiebestendigheid

Volgens de Handreiking Constructief ontwerpen van de TAW (1994) hangt de erosiebestendigheid van de grasmat af van vier parameters, namelijk: gemiddeld overslagdebiet, helling van binnentalud, grondcategorie en grastype. De Handreiking Constructief ontwerpen bevat onderzoeksresultaten die aantonen welke combinaties van overslagdebiet, type grond, grastype en taludhelling kritiek zijn voor erosie. Deze combinaties zijn gepresenteerd in Bijlage 5, waar met een plusteken wordt aangegeven welke combinaties een toelaatbare erosie geven en met een minteken wordt aangegeven welke combinaties een ontoelaatbare erosie geven. Onderscheid wordt gemaakt tussen drie gemiddelde overslagdebieten, vijf taludhellingen, vier grond categorieën en vier grastypen.

Gemiddelde overslagdebieten

Er zijn drie 3D-matrices, waar het gaat om de volgende debieten: 0,1 & 1 & 10 l/m/s. Ter visualisatie zijn in Figuur 10, de 3D-matrices verkleind weergegeven van respectievelijk 0,1 & 1 & 10 l/m/s. Het gemiddelde overslagdebiet worden berekend door de Quick tool. Als de Quick tool een gemiddeld overslagdebiet berekend, met een waarde kleiner dan 0,1 l/m/s, dan wordt aangenomen dat er altijd voldoende erosiebestendigheid is volgens de schematiseringshandleiding grasbekleding (2016c) van de WBI.



Figuur 10: Visualisatie 3D-matrix erosiebestendigheid

Binnentalud helling

Per 3D-matrix wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende taludhellingen: 1:1 & 1:1,5 & 1:2 & 1:2,5 & 1:3. De helling wordt afgelezen uit de input (profielgegevens) van de Quick tool.

Grond categorie

Per 3D-matrix wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende categorieën grond (TAW, 1994):

- Categorie 1: Dit is 'vette' klei en is weinig erosiegevoelig.
- Categorie 2: Dit is een klei ligt tussen 'vette' en 'schrale' klei in en weinig tot matig erosiegevoelig.
- Categorie 3: Dit is een schrale klei, met sterke erosiegevoeligheid.
- Categorie 4: Dit is een zandgrond.

In Bijlage 2 is de gedetailleerde beschrijving van het onderscheid in grondcategorieën gegeven. Op basis van het inzicht van het waterschap wordt aangenomen dat op de te onderzoeken dijkvakken de grond van categorie 3 is. Deze conservatieve aanname is gemaakt, omdat er geen snelle manier was om de grond gegevens te verkrijgen, hier wordt verder op ingegaan in sectie 4.1 en sectie 5.2. Om inzicht te krijgen in het effect van verschillende grondcategorieën, bepaald de Quick tool de grastypen

voor grondcategorieën 1 & 2 & 3. De Quick tool bepaalt het grastype niet voor grondcategorie 4, omdat deze volgens de inzichten van het waterschap niet voorkomt op de IJsseldijk.

Type gras

Per 3D-matrix wordt er onderscheid gemaakt tussen vier categorieën gras op basis van doorworteling en bedekking, namelijk grastype A & B & C & D, zie Figuur 11. Grastype D wordt omschreven als: “geen of hoegenaamd geen begroeiing” (TAW, 1994).

D	B	A	A	Doorworteling
D	C	B	A	Sterk
D	C	C	B	Matig
D	D	D	D	Weinig
				Geen

50% 70% 85% 100%

Bedekking

Figuur 11: Type grasmat als functie van bedekking en doorworteling (TAW, 1994)

Het gemiddeld overslagdebiet, de helling van het binnentalud en de grondcategorie zijn bekend. De enige onbekende is het type gras, dus deze kan worden afgeleid op basis van de voldoende erosiebestendige combinaties in de 3D-matrices. De vereiste erosiebestendigheid wordt dus uitgedrukt in een vereist grastype. Deze afleiding zit bij de Quick tool ingebouwd en de output van de Quick tool geeft per dijkvak aan wat het vereiste grastype is.

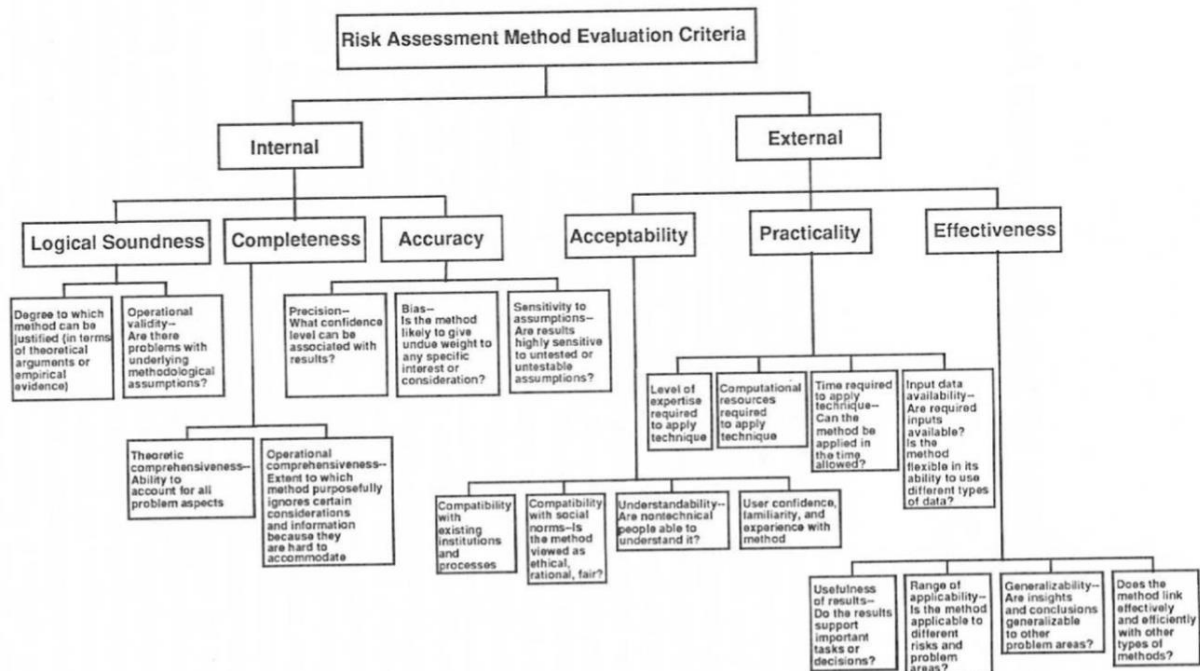
Het gaat in dit onderzoek om het vereiste grastype, dus wordt de laagst mogelijke kwaliteit grastype gekozen, mits de combinatie voldoende erosiebestendigheid biedt. Als bijvoorbeeld blijkt dat grastype A & B voldoen, dan wordt B het resultaat. Het kan ook voorkomen dat de combinatie met de hoogste graskwaliteit niet voldoet, dan wordt dit aangegeven in de output van de Quick tool als:

“Gras type = A (onvoldoende erosiebestendig)”

Als dit het geval is bij een dijkvak, dan zal er dijkversterking moeten worden toegepast. De onvoldoende erosiebestendige grastype A behoort in de classificering van grastypen tot grastype A en is dus niet een extra klasse.

2.4. Evaluatie van de Quick tool

De evaluatie van de Quick tool wordt gedaan op basis van de methode van Covello en Merkhofer (1993), namelijk: 'Risk Assessment Method Evaluation Criteria'. In Figuur 12 staan de criteria en overwegingen die bij deze methode horen overzichtelijk weergegeven in een blokkenschema. Deze sectie presenteert de criteria en overwegingen die zijn afgeleid van de methode van Covello en Merkhofer (1993).



Figuur 12: Risk Assessment Method Evaluation Criteria (Covello & Merkhofer, 1993)

2.4.1. Intern

Aan de hand van de volgende interne criteria wordt de kwaliteit van de Quick tool en de resultaten geëvalueerd:

Logisch kloppend

- In hoeverre kan de Quick tool wetenschappelijk worden onderbouwd (op basis van theoretische argumenten)?
- Operationele validiteit: zijn er problemen met de onderliggende methodologische aannames?

Compleet

- Theoretische compleetheid: omvat de Quick tool al de probleem aspecten?
- Operationele compleetheid: in hoeverre negeert de Quick tool bewust bepaalde overwegingen en informatie, omdat deze te lastig te plaatsen zijn in de Quick tool en niet nodig zijn voor het resultaat?

Accuraat

- Precisie: Wat is het betrouwbaarheidsinterval horende bij de resultaten?
- Bias: Geeft de Quick tool een onnodig gewicht aan specifieke belangen of overwegingen?
- Gevoeligheid van aannames: Zijn de resultaten erg gevoelig voor niet geteste of niet testbare aannames?

2.4.2. Extern

Aan de hand van de volgende externe criteria wordt de toepassing van de Quick tool in de gegeven context beoordeeld:

Acceptabel

- Is de Quick tool compatibel binnen het waterschap en met fysische processen?
- Compatibiliteit met sociale normen – is de Quick tool ethisch, rationeel, eerlijk?
- Begrijpen – Is het mogelijk voor niet technische mensen de Quick tool te begrijpen?
- Vertrouwen gebruiker, herkenbaarheid en ervaring met de methode?

Praktisch

- Benodigd niveau van expertise, voor het toepassen van de Quick tool?
- Benodigd rekenkundige apparatuur, voor het toepassen van de Quick tool?
- Benodigde tijd voor het toepassen van de Quick tool – kan de Quick tool worden toegepast in de toegestane tijd?
- Inputdata beschikbaarheid: is de benodigde inputdata beschikbaar? Is de methode flexibel in het gebruik van andere inputdatatypen?

Effectief

- Is het resultaat bruikbaar – werken de resultaten door in belangrijke taken en beslissingen?
- Breedte van toepasbaarheid – is de Quick tool toepasbaar voor verschillende risico's en probleemgebieden?
- Generalisatie – zijn bevindingen en conclusies te generaliseren voor ander probleemgebieden?
- Is er een effectief verband tussen de effectiviteit en efficiëntie van de methode met ander methoden?

3. Resultaten

In deze sectie wordt de dataverzameling, de toolresultaten voor 1 voorbeelddwarsprofiel, de evaluatie, het gemodelleerd gemiddeld overslagdebiet en het vereiste grastype gepresenteerd.

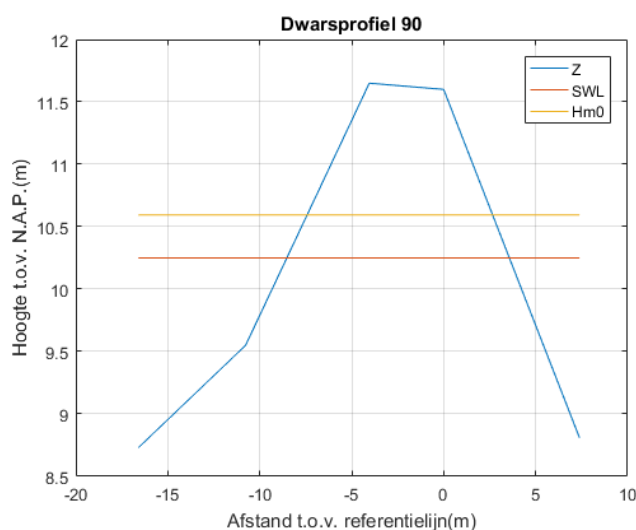
3.1. Dataverzameling voor de Quick tool

Op basis van de X- en Z-coördinaten worden de breedte en de hellingen van de profieldelen afgeleid met Excel-formules. Hieronder is een lijst weergegeven met alle inputdata die worden ingeladen door de Quick tool:

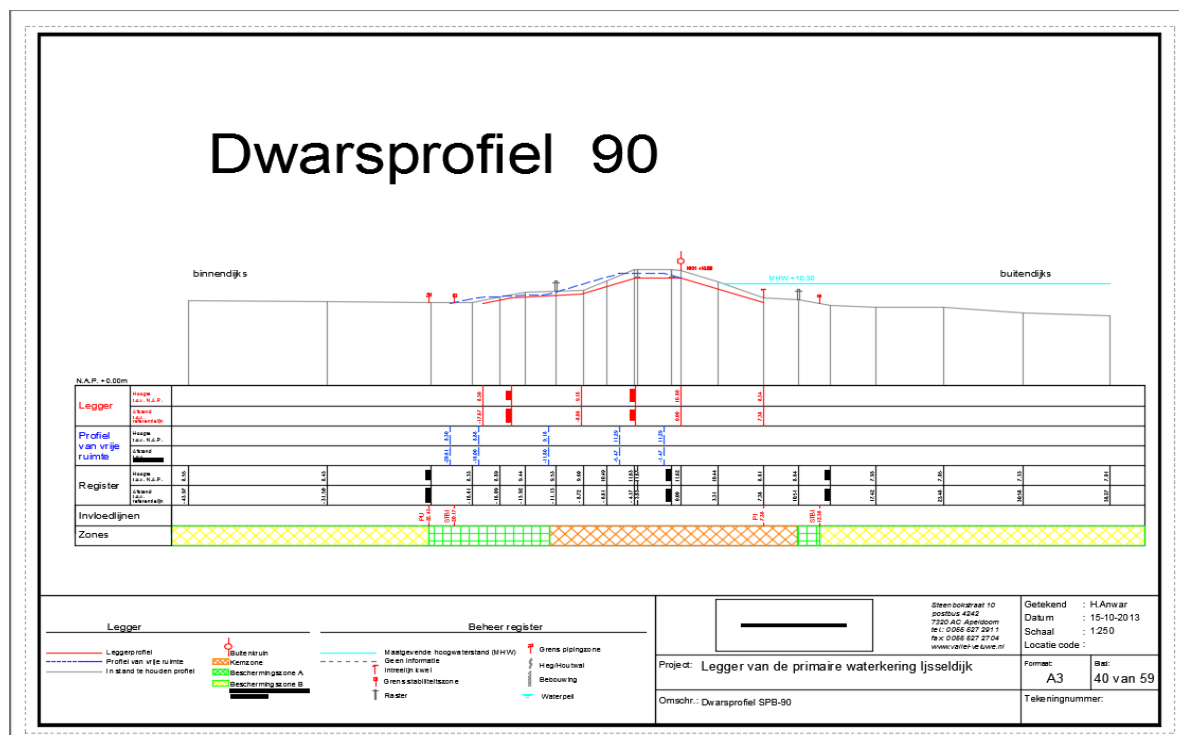
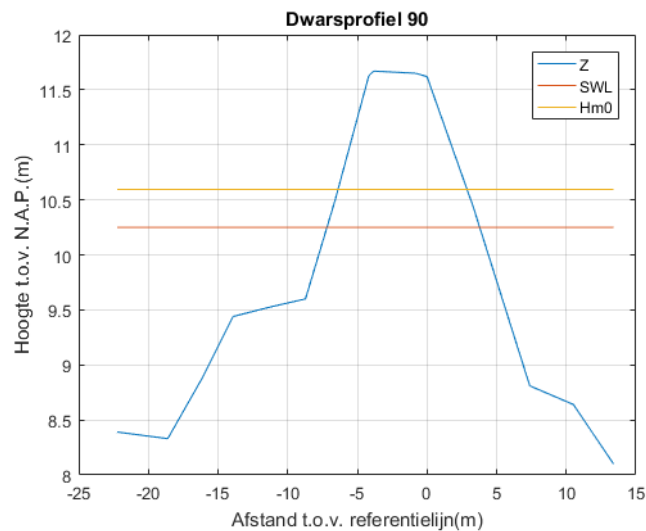
- Rivierkarakteristiek:
 - Waterstand bij de norm.
 - Golfhoogte bij de norm.
- Dijkkarakteristiek:
 - X- en Z-coördinaten van profielpunten buitentalud.
 - Breedte van profieldelen, op basis van X- en Z-coördinaten.
 - Helling van profieldelen, op basis van X- en Z-coördinaten.
 - Bekleding van profieldelen buitentalud.

De geschematiseerde profielen die door de Quick tool worden gebruikt in dit onderzoek zijn eenvoudige trapezium profielen. De data van dwarsprofielen die uit meerdere segmenten zijn geschematiseerd, waren niet snel beschikbaar, daarom worden de trapezium schematiseringen gebruikt. De invloed van bermen vervallen, omdat deze niet in de eenvoudige trapeziumprofielen zijn opgenomen/geschematiseerd. Omdat het gaat om een snelle tool, past het gebruik van eenvoudige schematisering. Hier wordt verder op ingegaan in de aanbeveling, zie sectie 5.2. De Quick tool beschikt wel over de mogelijkheid gedetailleerdere dwarsprofielen in te lezen en hier berekeningen mee te maken.

In Figuur 13 is een voorbeeld gegeven van een eenvoudig trapezium dwarsprofiel en in Figuur 14 is een voorbeeld gegeven van een gedetailleerd dwarsprofiel. In beide figuren, zijn dwarsprofielen van dwarsprofiel 223 geschematiseerd (dwarsprofiel 223 is de nieuwe benaming van dwarsprofiel 90). Het binnentalud en het buitentalud bevinden zich respectievelijk aan de linkerzijde en de rechterzijde, bij beide bovenstaande figuren. Figuur 13 en Figuur 14 hieronder zijn beide door de Quick tool geplote. De gedetailleerde schematisering is op basis van het leggerprofiel, zie Figuur 15.



Figuur 13: Voorbeeld eenvoudig dwarsprofiel 90

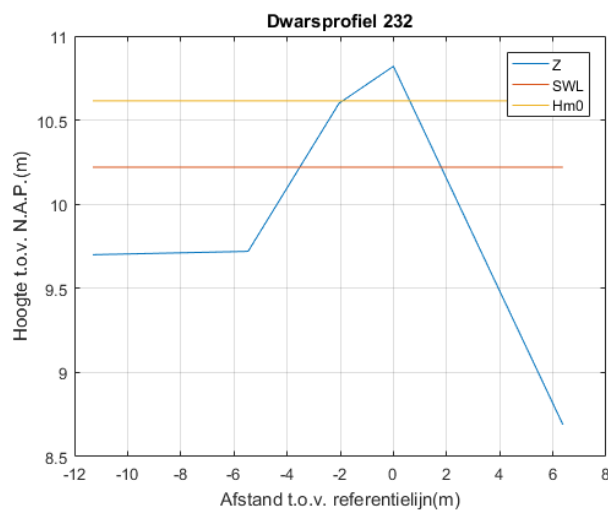


3.2. Quick tool resultaat voorbeeld enkel dwarsprofiel 232

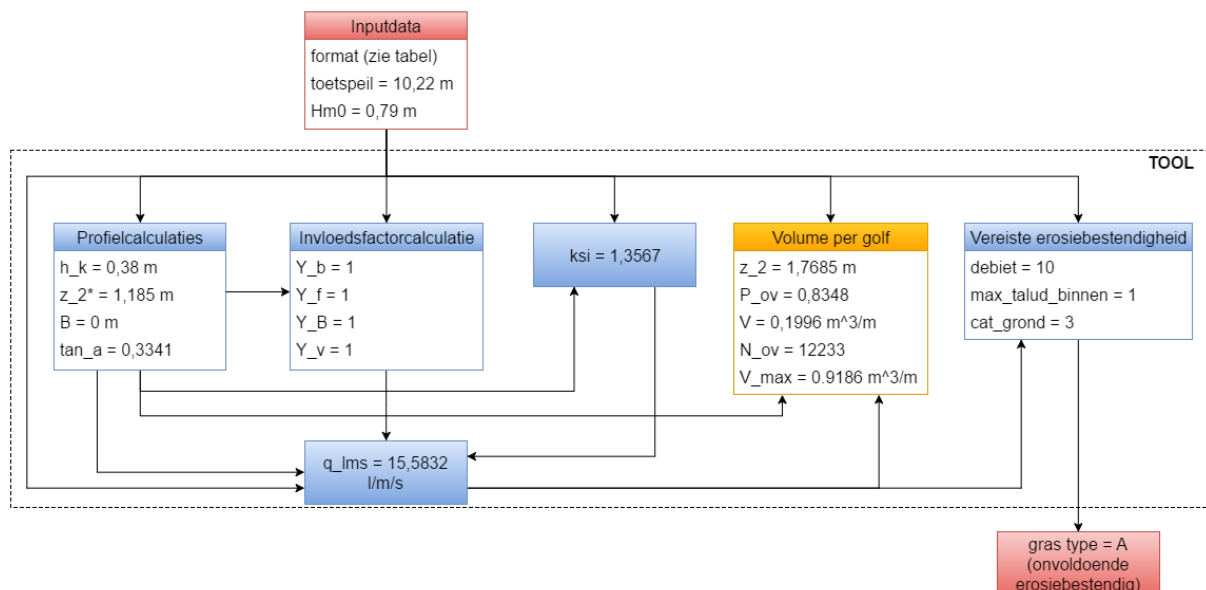
In deze sectie worden de resultaten gegeven voor 1 voorbeelddwarsprofiel, namelijk dwarsprofiel 232. Er is gekozen voor dit dwarsprofiel, omdat dit dwarsprofiel als resultaat het grootse overslagdebiet heeft van het onderzochte trajectdeel. In Tabel 1 zijn de input gegevens gepresenteerd en Figuur 16 is gepresenteerd hoe deze gegevens door de Quick tool worden geplote. In Figuur 17 is in een blokkenschema gepresenteerd, wat de tussenresultaten per berekenstap van de Quick tool zijn, met als eindresultaat grastype A.

Tabel 1: Input dwarsprofiel 232

X org	Z	X rel	dX	1:m	toetspeil	Hm0
6,38	8,69	0,0000	6,3755	2,9932	10,22	0,79
0,00	10,82	6,3755	2,0453	-9,2970		
-2,05	10,60	8,4208	3,4202	-3,8866		
-5,47	9,72	11,8411	5,8454	-292,2698		
-11,31	9,70	17,6865	0,0000	0,0000		



Figuur 16: Geschematiseerd (trapezium) dwarsprofiel 232



Figuur 17: Quick tool tussenresultaten per berekenstap

3.3. Resultaat evaluatie

3.3.1. Intern

Hier is aan de hand van interne criteria, de kwaliteit van de Quick tool en de resultaten geëvalueerd.

Logisch kloppend

- In hoeverre kan de Quick tool worden onderbouwd (op basis van theoretische argumenten)?
De Quick tool is ontworpen aan de hand van het Technisch adviesrapport van de TAW (2002). Dit rapport bevat formules, regels, gegevens en definities, die gebruikt zijn in de Quick tool. Voor de berekening zijn alleen aannames gemaakt voor de invloedsfactor van de scheve golfaanval, spectrale golfperiode, de gemiddelde golfperiode en de grondcategorie. De spectrale golfperiode is een aanname gebaseerd op een aanbeveling van de expertkennis van Van Hoven en de aanname van de gemiddelde golfperiode is wetenschappelijk onderbouwd. Voor de aanname van de scheve hoek van golfaanval en de aanname van de grondcategorie, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd, zie pagina 27 tot en met pagina 29.
- Operationele validiteit: zijn er problemen met de onderliggende methodologische aannames?
De aanname dat de invloedsfactor van de golfaanval 1 is (rechte hoek van golfaanval), bevat het probleem dat het te conservatief voor de nieuwe WBI is. De aannames van de spectrale golfperiode en de gemiddelde golfperiode bevatten geen problemen. De aanname van de grondcategorie bevat het probleem dat het resultaat binair is (grastype A of D) en dus ook te conservatief (er is al snel een hoge kwaliteit gras nodig). Dit probleem wordt veroorzaakt door de opbouw van de matrices.

Compleet

- Theoretische compleetheid: omvat de Quick tool al de probleemaspecten?
Theoretisch is de Quick tool compleet. Alle probleemaspecten die nodig zijn voor het bepalen van het gemiddeld overslagdebiet volgens de TAW (2002), zijn bepaald door de inputdata en door aannames.
Om te controleren of de Quick tool compleet is, is aanbevolen door Van Hoven om te testen hoe de uitkomst van de Quick tool zich verhoudt met de uitkomst van de WBI-software. Deze test is een vergelijking van resultaten van de berekening van een enkel dwarsprofiel. Hier wordt verder op ingegaan in de aanbeveling in sectie 5.2.
- Operationele compleetheid: in hoeverre negeert de Quick tool bewust bepaalde overwegingen en informatie, omdat deze te lastig te plaatsen zijn in de Quick tool of niet nodig zijn voor het resultaat?
Gezien de databeschikbaarheid waarmee de Quick tool wordt gevoed, is methodologisch alles gedaan. De hoek van golfaanval en de grondcategorie wordt door de Quick tool genegeerd. De hoek van golfaanval wordt genegeerd door deze conservatief aan te nemen op nul graden (loodrecht op het dwarsprofiel) en de grondcategorie wordt genegeerd door deze conservatief aan te nemen op categorie 3. Een methode om de hoek van golfaanval te bepalen wordt besproken in de aanbeveling in sectie 5.2.

Accuraat

- Precisie: Wat is het betrouwbaarheidsinterval horende bij de resultaten?
Het gemiddeld overslagdebiet resultaat heeft een overschrijdingskans van 5% bij 1:3000 per jaar, maar een betrouwbaarheidsinterval van de resultaten van de Quick tool is niet relevant in dit onderzoek. Vanuit het doel van de beheerder, wordt het vereiste grastype bepaald. Het gemiddeld overslagdebiet plus de foutmarge kan alleen conservatief leiden tot een hogere kwaliteit vereiste grastype.

Het resultaat van de Quick tool al erg veilig is. Met veilig wordt bedoeld dat de kans dat het berekende gemiddelde overslagdebiet optreedt, klein is. Dit komt door opsomming van de volgende oorzaken:

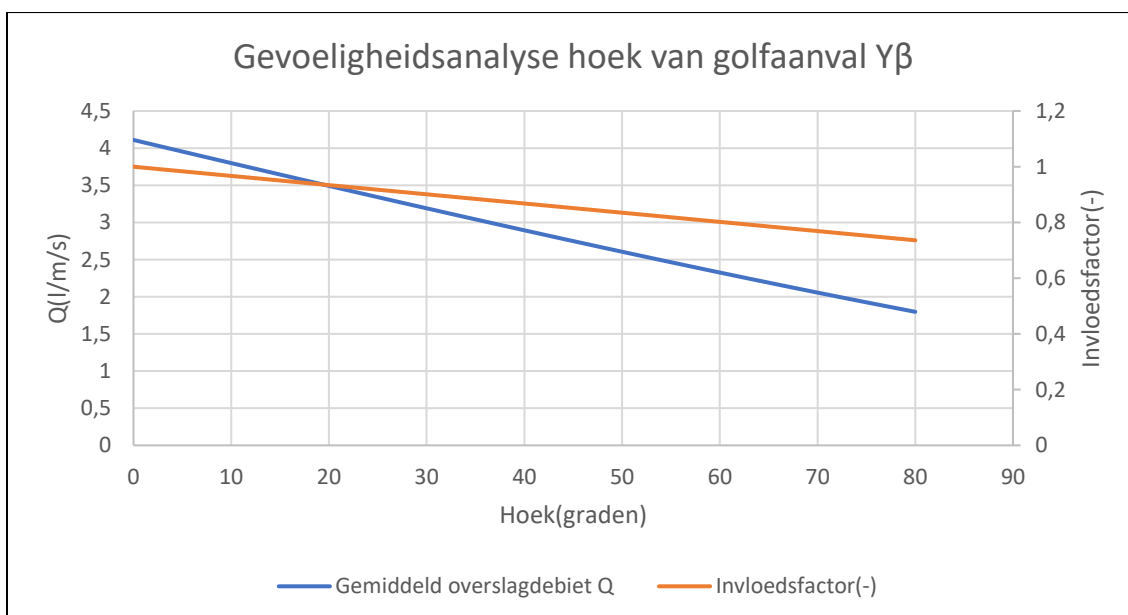
- Toetspeil en golfhoogte zijn beide bepaald op basis van strenge norm, namelijk bij de signaleringswaarde van 1:3000 per jaar.
- Het toetspeil en de golfhoogte zijn niet gecorreleerd, zoals bij zeedijken waar een hoge waterstand leidt tot hogere golven. Bij rivieren is dit niet het geval.
- De hoek van golfaanval op nul is aangenomen bij elk dwarsprofiel.
- De grondcategorie is op categorie 3 aangenomen bij elk dwarsprofiel.
- Eventuele invloeden van ruwe profielen zijn als gras (glad) geschematiseerd.
- De invloed van bermen wordt niet meegenomen in de Quick tool, doordat gebruik is gemaakt van trapezium schematiseringen van de dwarsprofieldata.
- Bias: Geeft de Quick tool een onnodig gewicht aan specifieke belangen of overwegingen? Bias speelt geen rol in de Quick tool, omdat de Quick tool puur fysisch is.
- Gevoeligheid van aannames: Zijn de resultaten erg gevoelig voor aannames?

In deze sectie worden gevoeligheidsanalyseresultaten gepresenteerd van de aanname van de rechte hoek van golfaanval en van de aanname van grondcategorie.

- Gevoeligheidsanalyse voor de aanname hoek van golfaanval $\gamma\beta$:

De invloedsfactor van de scheve golfaanval is op 1 gezet, waardoor conservatief (worst-case-scenario) wordt aangenomen dat de golf loodrecht op dijk staat. In Figuur 18 hieronder, is te zien wat het effect is van de hoek van golfaanval op het gemiddeld overslagdebiet in een gegeven situatie. Het resultaat van deze gevoeligheidsanalyse is dat in de gegeven situatie het gemiddeld overslagdebiet 56,274% kleiner is bij een scheve golfaanval van 80° , ten opzichte van het gemiddeld overslagdebiet bij een loodrechte golf op de dijk bij 0° . Boven de 80° golfaanval is de invloedsfactor gelijk aan de invloedsfactor bij 80° golfaanval (TAW, 2002). Daarom is alleen gekeken naar het domein van 0° golfaanval tot en met 80° golfaanval.

Deze aanname heeft dus een grote invloed op het gemiddeld debiet en dus kan het voorkomen dat niet het vereiste grastype wordt bepaald, maar een onnodig hogere kwaliteit grastype. Het vereiste grastype kan een grastype van lagere kwaliteit zijn, als het werkelijke gemiddeld overslagdebiet onder een grenswaarde van 0,1 & 1 & 10 l/m/s valt (hier zijn de 3D-matrices op gebaseerd), terwijl de Quick tool boven de betreffende grenswaarde valt.

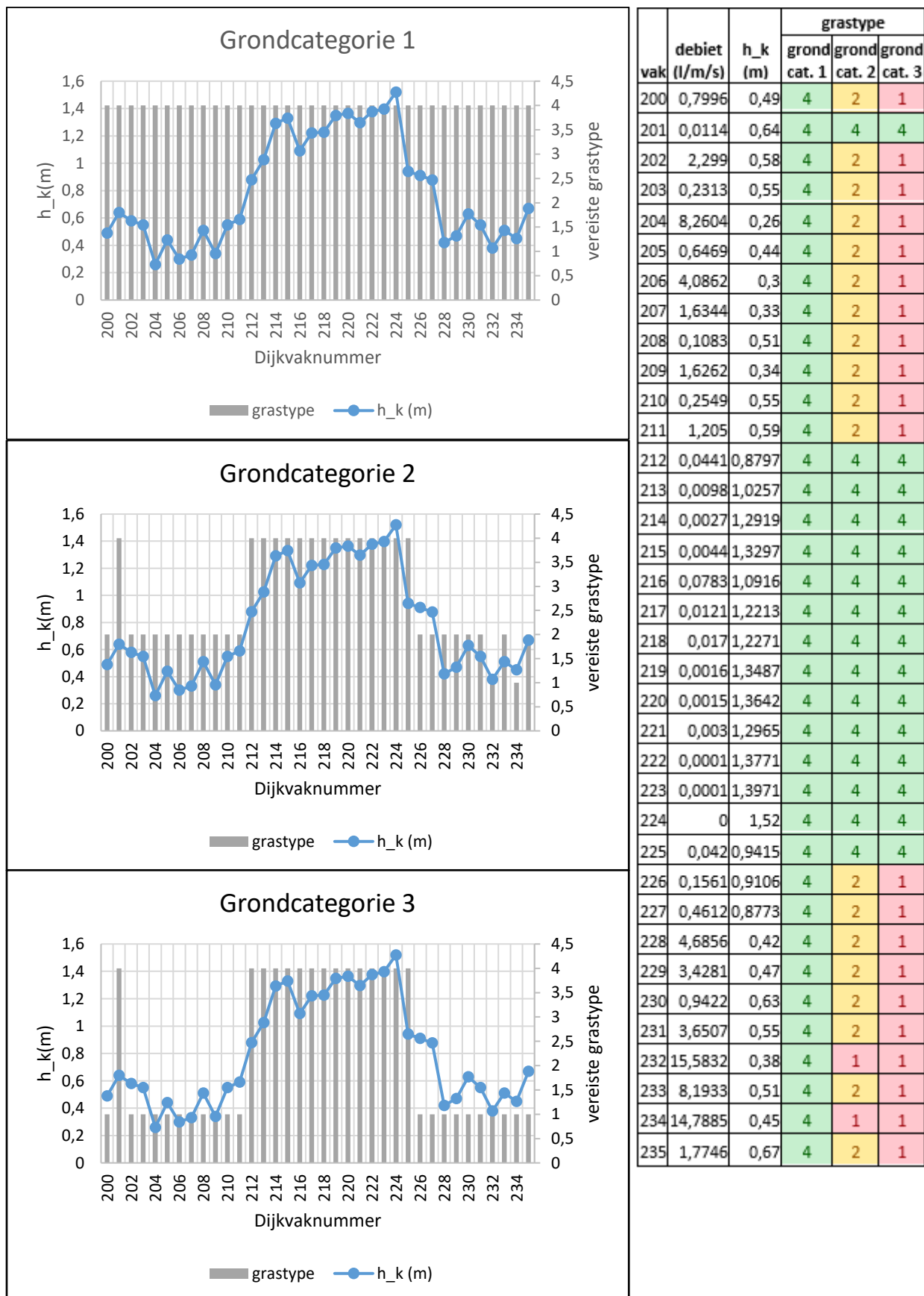


Figuur 18: Gevoeligheidsanalyse voor de aanname van de hoek van golfaanval $\gamma\beta$ op het gemiddeld overslagdebiet

- Gevoeligheidsanalyse van de grondcategorie:

Wat direct opvalt aan de resultaten van het grastype, is dat deze alleen van type A of type D zijn. Dit wordt veroorzaakt door het gebruik van de grondcategorie = 3 en de opbouw van de 3D-matrices uit Bijlage 5. Op advies van het waterschap, is conservatief aangenomen dat de grondcategorie overall categorie 3 is. Het waterschap weet dat de deklaag van het binnentalud van de IJsseldijk varieert tussen categorie 1 tot en met categorie 3 (en nooit categorie 4). Onderzoek naar de locatie van deze meer kleiige (hogere categorie) deklaag is nodig, hier wordt verder op ingegaan in de aanbeveling in sectie 5.2.

In Figuur 19 is een de gevoeligheidsanalyse gepresenteerd naar de invloed van de grondcategorie op het grastype. Het resultaat van dit onderzoek is dat bij grondcategorie 1, geen vereiste is aan de erosiebestendigheid (alle grastypen zijn grastype D). Bij grondcategorie 2, ook matige vereisten zijn aan de erosiebestendigheid (grastype B komt hier grotendeels voor in plaats van grastype A). Dus is het bepalen van de grondcategorie van belang om een goede vereiste grastype te bepalen. Pas als het gemiddelde overslagdebiet groter is dan 0,1 l/m/s, moet de beheerde de grondcategorie bepalen door deze uit het beheerregister naar boven te halen of door de grondcategorie te bepalen door bodemonsters. Het argument hiervoor is dat bij elk gemiddeld overslagdebiet kleiner dan 0,1 l/m/s, grastype D wordt gepresenteerd (zie Figuur 19). Dit betekent dat er geen vereiste erosiebestendigheid is.



Figuur 19: Gevoeligheidsanalyse naar invloed van grondcategorie op resultaat grastype

3.3.2. Extern

Hier is aan de hand van externe criteria, de toepassing van de Quick tool in de gegeven context beoordeeld.

Acceptabel

- Is de Quick tool compatibel binnen het waterschap en met fysische processen?
De Quick tool is compatibel binnen het waterschap en met fysische processen. De Quick tool is compatibel binnen het waterschap, omdat het inputformat en het outputformat aansluit met het databasebeheer. Ruwe data zijn aangeleverd door Adrie van Ruiten (GIS-specialist) van de databasebeheerafdeling van het waterschap en deze ruwe data zijn met een spreadsheet in Excel geconverteerd naar het inputformat. De output van de Quick tool is een tabel die vanuit de 'Command Window' van Matlab gekopieerd kan worden naar Excel.
De Quick tool is compatible met fysische processen, omdat de data van fysische processen uit Ringtoets via Excel door de Quick tool kunnen worden ingelezen.
- Compatibiliteit met sociale normen – is de Quick tool ethisch, rationeel, eerlijk?
De tool is ethisch. De Quick tool zelf kijkt alleen naar fysische processen, maar er zijn enkele conservatieve aannames gemaakt van parameterwaarden van de Quick tool. Het resultaat werkt door als basis voor risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in dagelijks beheer. Het dagelijks beheer van het waterschap is conservatief, omdat het waterschap de veiligheidstaak te behartigen heeft. De conservatieve aannames van de Quick tool sluiten goed aan bij de conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer van het waterschap.
- Begrijpen– Is het mogelijk voor niet technische mensen de Quick tool te begrijpen?
Het is mogelijk voor niet technische mensen om de Quick tool te gebruiken, maar om specialistische onderdelen van de Quick tool te begrijpen, wordt aangeraden om de methode in dit rapport en de commentaarregels in de Matlab-code te bestuderen.
- Vertrouwen gebruiker, herkenbaarheid en ervaring met de methode?
Van Hoven heeft de toegepaste methode als herkenbaar ondervonden. Echter vertrouwt Van Hoven alleen de uitkomst van de Quick tool op basis van een validatie van het Quick toolresultaat met het resultaat van de WBI-software hoogtetoets, zie aanbeveling in sectie 5.2.

Praktisch

- Benodigd niveau van expertise, voor het toepassen van de Quick tool?
Voor het toepassen van de Quick tool is geen expertise nodig op het gebied van golfoverslag en grastype bepaling. In Matlab wordt met 1 druk op de run-knop alles uitgerekend en in tabelvorm als output weergegeven.
- Benodigd rekenkundige apparatuur, voor het toepassen van de Quick tool?
Een computer is nodig voor het toepassen van de Quick tool. Voor de verzameling van inputdata is Ringtoets nodig en Arc-GIS. Een GIS-specialist kan op basis van ingevlogen hoogte en foto data de kniklijnen bepalen van het trapezium-profiel.
- Benodigde tijd voor het toepassen van de Quick tool – kan de Quick tool worden toegepast in de toegestane tijd?
De Quick tool heeft een korte rekentijd. Het kost de Quick tool slechts 32,430 s om 36 dwarsprofielen uit te rekenen.
- Inputdata beschikbaarheid: is de benodigde inputdata beschikbaar? Is de methode flexibel in het gebruik van andere inputdatatypen?
De inputdata zijn beschikbaar en deze moeten in een format van het type 'Microsoft Excel-werkblad' worden geplaatst. De Quick tool beschikt over de flexibele mogelijkheid om met gedetailleerde schematiseringen van dwarsprofielen te rekenen.

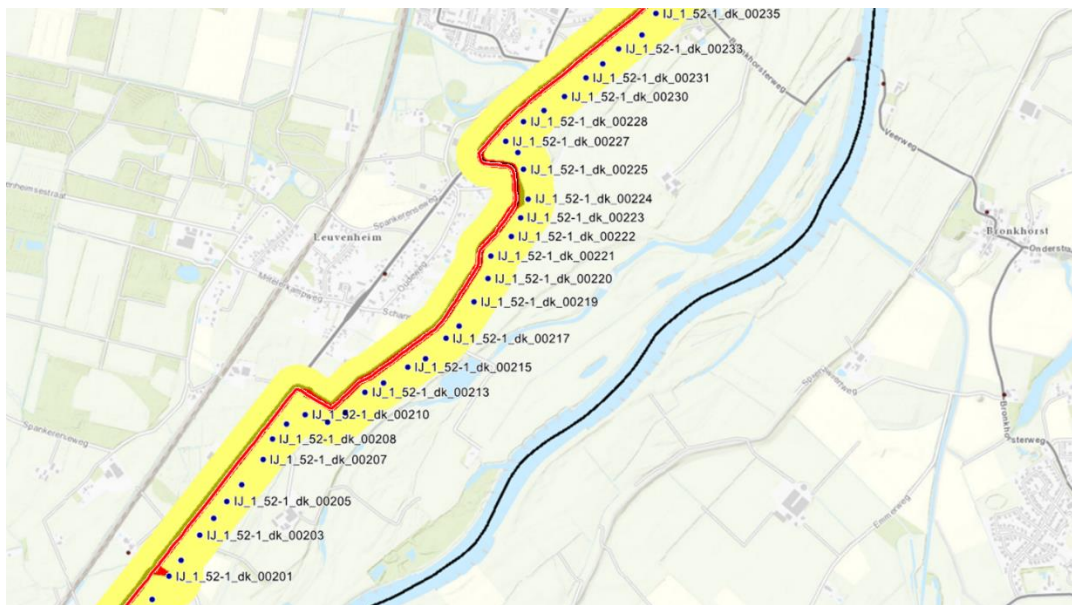
Effectief

- Is het resultaat bruikbaar – werken de resultaten door in belangrijke taken en beslissingen?
Het resultaat is bruikbaar en de resultaten van de vereiste erosiebestendigheid werken door in de beslissingen van het beheer. Voorbeeld: Als een aanvraag wordt gedaan om een tuin te plaatsen op het binnentalud van de dijk, kan dit op grond van de Quick toolresultaten worden toegestaan (als er geen erosiebestendigheid vereist is) of afgekeurd (als er wel erosiebestendigheid vereist is).
- Breedte van toepasbaarheid – is de Quick tool toepasbaar voor verschillende risico's en probleemgebieden?
De Quick tool is volledig toepasbaar op andere primaire dijken, mits deze dijken waterkeringen zijn bij bovenrivieren, aangezien de tool daarop is afgestemd. De Quick tool is dus niet specifiek voor de IJsseldijk afgestemd. De Quick tool kan eventueel met uitbreidingen en aanpassingen, ook op andere faalmechanismen van grasbekleding worden toegepast bij bovenrivierdijken. De Quick tool kan ook afgestemd worden op andere primaire dijken zoals bijvoorbeeld benedenrivierdijken.
- Generalisatie – zijn bevindingen en conclusies te generaliseren voor andere probleemgebieden?
De Quick tool is direct toepasbaar voor ander dijktrajecten van de IJsseldijk en andere primaire dijken aan bovenrivieren. Na enige aanpassing van de Quick tool kan de Quick tool ook op andere faalmechanismen (erosie buitentalud, afschuiving binnen- en buitentalud) met betrekking tot grasbekleding worden toegepast.
- Is er een effectief verband tussen de effectiviteit en efficiëntie van de methode met ander methoden?
 - Ringtoets GEKB
De Quick tool is effectief ten opzichte van Ringtoets, aangezien het doel (een snelle scan) wordt behaald door de Quick tool. De Quick tool heeft namelijk een korte rekenduur en is dus een snelle scan.
 - PC-Overslag
De Quick tool is ook sneller dan PC-Overslag, want PC-Overslag kan alleen handmatig per los dwarsprofiel worden toegepast. PC-Overslag is in vergelijking met de Quick tool arbeidsintensief en tijdsintensief. PC-Overslag is wel nauwkeuriger, maar nauwkeurigheid is minder belangrijk dan de snelheid van het verkrijgen van resultaten, gezien het doel van het waterschap.

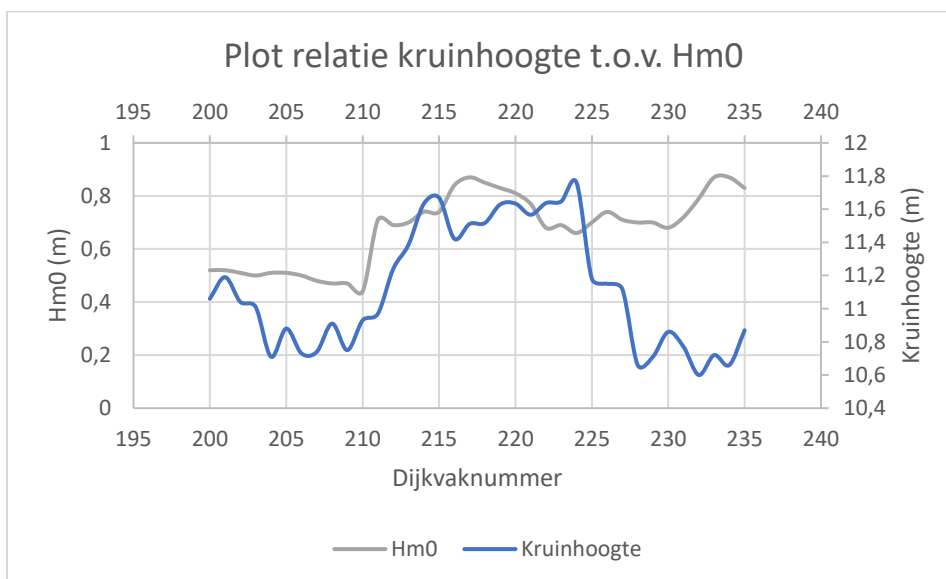
3.4. Gemodelleerd golfoverslag

Locatie

Het trajectdeel dat is onderzocht, zijn de dijkvakken IJ_1_52-1_dk_00200 t/m IJ_1_52-1_dk_00235. Dit is rondom het 'kapje van Leuvenheim', zie Figuur 20. Deze locatie is gekozen, omdat volgens het waterschap dit een interessant trajectdeel is om de Quick tool te testen en toe te passen. De reden hiervoor is dat de oriëntatie van de dijk ten opzichte van de stijk lengte, resulteert in een grote golfhoogte bij het 'kapje van Leuvenheim'. Dit is te zien in Figuur 21. Het kapje begint, stroomopwaarts gezien (vanuit het Zuiden) bij dijkvak IJ_1_52-1_dk_00210 en eindigt bij dijkvak IJ_1_52-1_dk_00227, zie Figuur 20. Niet alleen de golfhoogte stijgt bij dijkvak IJ_1_52-1_dk_00210, maar ook de kruinhoogte, zie Figuur 21.



Figuur 20: Trajectdeel IJsseldijk rondom 'kapje' van Leuvenheim



Figuur 21: Relatie tussen kruinhoogte ten opzichte van golfhoogte

Gemiddeld overslagdebiet resultaat

Het gemiddeld overslagdebiet is een tussenresultaat, die doorwerkt in de bepaling van de vereiste erosiebestendigheid, uitgedrukt in een vereist grastype (wordt besproken in sectie 3.5). In Figuur 22 is het gemiddeld overslag debiet weergegeven, die door de Quick tool bepaald is. Wat opvalt is, dat het bij het 'kapje van Leuvenheim' weinig tot geen overslag optreedt. Dit komt voornamelijk doordat de waarde van de kruinhoogte hier groot is, zie Figuur 21. Het grootste gemiddeld overslagdebiet treedt op bij het dwarsprofiel van dijkvak 232, namelijk: $Q_{gem} = 15,5832 \text{ l/m/s}$, met een 5% overschrijdingskans bij de 1:3000 per jaar norm (signaleringswaarde).



Figuur 22: Plot gemiddeld overslag debiet (Quick tool output), met 5% overschrijdingskans bij 1:3000 per jaar

Overslagvolume

Bij IJ_1_52-1_dk_00232 geeft de Quick tool de volgende output:

- *Gemiddeld overslagdebiet* = 15.5832 l/m/s
- P_v = kans dat het overslagvolume groter dan of gelijk aan V is: $P_v = 0,95$
- P_{ov} = kans op overslag per golf: $P_{ov} = 0.834754$
- N_{ov} = aantal overslaande golven: $N_{ov} = 12233$
- V = volume van overslaande golven per strekkende meter kruin: $V = 0.199629 \text{ m}^3/\text{m}$
- V_{max} = maximaal volume van overslaande golven per strekkende meter kruin: $V_{max} = 0.91859 \text{ m}^3/\text{m}$
- *Gras type* = A (onvoldoende erosiebestendig) (zie sectie 3.5)

Voor de beheerder is het interessant om te weten wat de totale volume is, die in de 12 uur durende storm, over de dijk slaat. In een dichtbevolkt achterland kan een groot volume water, namelijk voor overlast zorgen. Om inzicht hierin te krijgen wordt V (volume per golf per meter) vermenigvuldigd met N_{ov} , (aantal golven die over de dijk slaan).

Per dwarsprofiel is de Quick tool in staat om plots te maken van het dwarsprofiel, golf spectrum en de kans op golfhoogte, zie hiervoor Bijlage 7. De code van de Quick tool is gegeven in Bijlage 3 en Bijlage 4.

3.5. Vereiste grastype en vereiste erosie bestendigheid

In Figuur 23 is het resultaat van het vereiste grastype ruimtelijk gepresenteerd. In Tabel 2 is ook het vereiste grastype gepresenteerd, met de bijhorende gemiddelde overslagdebieten. Wat opvalt is dat als het gemiddelde overslagdebiet groter is dan $0,1 \text{ l/m/s}$, dat het vereiste grastype A is. De oorzaak hiervan is het gebruik van grondcategorie 3 (zie Figuur 19). Deze grondcategorie is gevoelig voor erosie.



Figuur 23: Ruimtelijk overzicht van het vereiste grastype bij IJ_1_52-1_dk_00200 t/m IJ_1_52-1_dk_00235

Tabel 2: Vereiste grastype met bijhorend overslagdebiet

Dijkvaknummer	Qgem (l/m/s)	Grastype*
200	0,7996	1
201	0,0114	4
202	2,299	1
203	0,2313	1
204	8,2604	1
205	0,6469	1
206	4,0862	1
207	1,6344	1
208	0,1083	1
209	1,6262	1
210	0,2549	1
211	1,205	1
212	0,0441	4
213	0,0098	4
214	0,0027	4
215	0,0044	4
216	0,0783	4
217	0,0121	4
218	0,017	4
219	0,0016	4
220	0,0015	4
221	0,003	4
222	0,0001	4
223	0,0001	4
224	0	4
225	0,042	4
226	0,1561	1
227	0,4612	1
228	4,6856	1
229	3,4281	1
230	0,9422	1
231	3,6507	1
232	15,5832	1
233	8,1933	1
234	14,7885	1
235	1,7746	1

*Toelichting grastype:

- Gras type 1 = A;
- Gras type 2 = B;
- Gras type 3 = C;
- Gras type 4 = D;

Onvoldoende erosiebestendigheid

In Bijlage 6 is te zien dat IJ_1_52-1_dk_00232 en IJ_1_52-1_dk_00234 met grastype A, onvoldoende erosiebestendig zijn. Er staat: "Gras type = A (onvoldoende erosiebestendig)". Als uit nader onderzoek blijkt dat deze dwarsprofielen werkelijk grondcategorie 3 hebben, zal dijkversterking moeten worden toegepast. Mogelijkheden zijn: grondverbeteringen, binnen talud flauwer maken en dijkverhoging. Bij grondcategorie 2 hebben IJ_1_52-1_dk_00232 en IJ_1_52-1_dk_00234 ook grastype A (zie Figuur 19), maar deze is wel erosiebestendig. De combinatie met grondcategorie 3 en een overslagdebiet groter dan 10 l/m/s (zie $Q_{\text{gem}}(\text{l/m/s})$ bij Dijkvaknummer 232 en 234 in Tabel 2), resulteert altijd in een onvoldoende erosiebestendige grastype A, ongeacht de taludhelling. De reden hiervoor is de opbouw van de 3D-matrix bij 10 l/m/s .

4. Discussie

In deze sectie vindt de discussie plaats over de methode, de resultaten, de Quick tool in relatie tot het management doel en tot slot de Quick tool in relatie tot de context van het hedendaags hoogwaterbeheer.

4.1. Methode discussie en resultaat

Quick tool ten opzichte van PC-Overslag

In Tabel 3 zijn de voordelen en nadelen van de Quick tool ten opzichte van PC-Overslag gegeven. Het enige nadeel dat de Quick tool heeft ten opzichte van PC-Overslag, is dat de resultaten van de Quick tool minder precies zijn. Dit is een klein nadeel, aangezien voor het doel van het modelleren niet een precies resultaat vereist is. Het doel was namelijk om een snelle tool te ontwikkelen, waarvan het resultaat inzicht geeft in de vereiste erosiebestendigheid. PC-Overslag kan worden toegepast als het resultaat van de Quick tool een onvoldoende erosiebestendig grastype A is (zie aanbeveling in sectie 5.2).

Tabel 3: Voor en nadelen van de Quick tool ten opzichte van PC-Overslag

Voordelen	Nadelen
De Quick tool geeft sneller resultaten dan PC-Overslag, omdat: - In de Quick tool inputgegevens niet handmatig worden ingevoerd en in PC-Overslag wel. - De Quick tool is toepasbaar op trajecten/trajectdelen en PC-Overslag is alleen toepasbaar op losse profielen.	De Quick tool resultaten zijn minder precies dan de resultaten van PC-Overslag.
De Quick tool bepaald de vereiste erosiebestendigheid en PC-Overslag doet dit niet.	

Gedetailleerdere schematiseringen dijkprofielen

De berekeningen in de Quick tool zijn gemaakt met de x- en z-data van de kruin- en teenlijnen van de IJsseldijk. De kruin- en teenlijnen schematiseren de dijk als een trapezium in drie segmenten (bij sommige dwarsprofiel is ook een kniklijn aanwezig in het binnentalud, hierdoor bestaat de profielschematisering uit 4 segmenten), zie Figuur 13. Waterschap Vallei en Veluwe heeft beschikking over x- en z-data van de dwarsprofielen die uit meerdere segmenten zijn geschematiseerd in Autocad, maar deze waren niet snel beschikbaar als input voor de Quick tool. De Quick tool kan preciezere berekeningen maken, als gedetailleerdere schematiseringen van dijkprofielen gebruikt. De Quick tool is zo gemodelleerd, dat berekeningen gemaakt kunnen worden met gedetailleerde schematiseringen (schematiseringen van meer dan 1 buitentalud segment en dus worden berminvloeden meegenomen). Dus wordt er aanbevolen om de gedetailleerde schematiseringen beschikbaar te krijgen en om deze toe te passen.

Gedetailleerdere dijkvakindeling

De Quick tool heeft een standaard dijkvakindeling van dwarsprofielen met een onderlinge afstand van 100 m. Als uitgangspunt is door het Waterschap Vallei en Veluwe gekozen om met dit detailniveau van dijkvakindeling het onderzoek met te starten. Gedurende het onderzoek is ondervonden dat een dijkvakindeling op basis van overgangen in karakteristieken van de IJssel (hydraulische belasting) en

IJsseldijk(keringssterkte) niet realiseerbaar was in de beschikbare tijd van de onderzoeksperiode. Het gaat hierbij om de volgende benodigde data:

- Hydraulische belasting bij de dijkteen
 - Strijklengte
 - Hoek van golfaanval
 - Bodemprofiel van het voorland
 - Dammen
- Keringssterkte
 - Dijkprofiel:
 - Buitendijks profiel
 - Kruinhoogte
 - Binnendijks profiel
 - Bekledingstype buitentalud
 - Grondsoort binnentalud

Met de beschikbaarheid van bovengenoemde data, kan de Quick tool een nauwkeuriger resultaat geven. De meest kritieke belasting- en sterktegevallen kunnen met deze data bepaald worden en de beheerder wil juist van deze kritieke situaties op de hoogte zijn, zie aanbeveling in sectie 5.2.

Bepaling van hoek van golfaanval

Eerder in deze sectie is besproken dat de hoek van golfaanval bepaald moet worden, zodat de dijkvakindeling gedetailleerder kan worden uitgevoerd. Naast de dijkvakindeling, kan met de hoek van golfaanval ook de invloedsfactor van de hoek van golfaanval berekend worden. Zoals vermeld in sectie 2.1.2., is de hoek van golfaanval bij elke berekening aangenomen als $\beta = 0$. Met de werkelijke invloedsfactor (bepaald aan de hand van de werkelijke waarde van β) zal het gemiddelde golfoverslagdebiet kleiner zijn bij alle dijkvakken (tenzij de hoek van golfaanval exact gelijk aan nul graden is). Dit blijkt uit de gevoeligheidsanalyse die gepresenteerd is in sectie 3.3.1.

Classificatie zodekwaliteit

In de WBI2017 is de zodekwaliteit geclassificeerd als (Rijkswaterstaat, WVL, 2016c): gesloten, open en fragmentarisch. De in dit onderzoek gebruikte classificatie van zodekwaliteit (grastype A tot en met grastype D) is verouderd. Vanwege methodologische reden, is deze verouderde classificatie toch gebruikt, omdat op basis hiervan een vertaling van gemiddeld overslagdebiet naar vereiste erosiebestendigheid kon worden gemaakt. De nieuwe classificatie van zodekwaliteit moet dus nog ingebouwd worden in de tool, zie aanbeveling in sectie 5.2.

Bepaling van grondsoort

Als de data van grondsoort van de deklaag van de kruin en het binnentalud niet in het beheerregister van het waterschap aanwezig zijn, dan moeten nieuwe bodemmonsters van de deklaag genomen worden. De gegevens zijn in de onderzoeksperiode niet gevonden in het beheerregister. De grondsoort is van belang, omdat onder andere hierop het grastype wordt bepaald.

Samenvattend

De Quick tool is opgezet en getest, maar alleen toegepast op een enkel trajectdeel en met beperkte inputdata. Als de tool met meer data en meer gedetailleerde data wordt toegepast, is de tool nog waardevoller voor het waterschap en als Quick scan sneller dan PC-Overslag.

4.2. Quick tool in relatie tot het management doel

Het doel van de Quick tool is om op een snelle manier de vereiste erosiebestendigheid uitgedrukt in het vereiste grastype te bepalen. De vereiste erosiebestendigheid vormt een basis voor het management doel, namelijk het maken van risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer. Het dagelijks beheer van het waterschap is conservatief, omdat het waterschap de veiligheidstaak te behartigen heeft. De conservatieve aannames van de Quick tool sluiten dus goed aan bij de conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer van het waterschap.

Met de kaart (zie Figuur 23) kan door de beheerder snel worden gekeken waar een hoge en lage eis is aan de kwaliteit van de grasmat en dus ook waar het overslag bij dijken toegestaan kan worden. Dagelijks beheer van de grasmat van het binnentalud vindt plaats door de volgende taken: maaien, vergunningverlening voor aangevraagde beplanting (denk aan tuinen met struiken en bomen) en controle op huidige illegale beplanting. Struiken en bomen kunnen de grasmat verslechteren.

4.3. Quick tool in relatie tot de context van het hedendaagse hoogwaterbescherming

De Quick tool wijkt af van de wetgeving (de nieuwe normen van de WBI2017), doordat de Quick tool te conservatief is. De tool is te conservatief, omdat er aannames worden gemaakt bij het bepalen van het gemiddeld overslag debiet en bij het bepalen van de vereiste erosie bestendigheid. Naast de aannames, zijn de gebruikte methoden ook conservatief, namelijk de methode van de TAW (2002) om een gemiddeld overslagdebiet (tegenwoordig wordt er niet meer gebruikt gemaakt van het gemiddeld overslagdebiet, maar van een faalkans) te bepalen. Ook de methode voor het bepalen van het grastype met de 3D-matrixen is te conservatief.

De tool sluit goed aan in relatie tot het management doel, maar minder goed in relatie tot de context van het hedendaagse hoogwater bescherming. De hedendaagse methode van hoogwaterbescherming is nog niet beproeft. Het is onbekend hoe 'save' de hedendaagse methode van hoogwaterbescherming is en hoe conservatief deze nieuwe methode van de WBI is. Er speelt dus nog onzekerheid binnen de methode van de WBI2017.

Vanuit het risico gestuurd beheer en onderhoud, ligt er een relatie met de Quick tool en de graszode classificatie methode van de WBI2017 (open, gesloten en fragmentarisch). Er ligt namelijk een relatie in de zorgplicht. Bij de zorgplicht moet aan getoond worden waar open, gesloten en fragmentarische graszoden voldoen en de Quicktool kan hiervoor gebruikt worden om te kijken waar interessante plekken liggen. Dus dient de Quick tool als voorverkenning van de Grastoets (onderdeel van Ringtoets waarmee bepaald kan worden waar open, gesloten en fragmentarische graszoden voldoen).

5. Conclusie

In deze sectie wordt antwoord gegeven op de deelvragen, de hoofdvraag en tot slot worden de aanbevelingen gepresenteerd.

5.1. Antwoord op de onderzoeksvragen

5.1.1. Deelvragen

1. *Welke data zijn nodig en beschikbaar voor de Quick tool, naast dijkhoogte, dijkoriëntatie en dijkprofiel?*

De data die nodig zijn voor de Quick tool (naast dijkhoogte, dijkoriëntatie en dijkprofiel) zijn:

- Het toetspeil bij de 1:3000 per jaar norm.
- De significante golfhoogte bij de 1:3000 per jaar norm.
- De hoek van golfaanval.
- De grondsoort van de deklaag van de kruin en het binnentalud.

De 1:3000 per jaar norm is de signaleringswaarde. De data die beschikbaar waren bij het toepassen van de Quick tool waren alleen het toetspeil en de significante golfhoogte. Voor een nauwkeuriger resultaat van de tool moeten de hoek van golfaanval en de grondsoort van de deklaag van de kruin en binnentalud nog worden bepaald. Daarbij moet er meer data beschikbaar worden gemaakt, om een gedetailleerdere schematisering van de dijkprofielen en een gedetailleerdere dijkvakindeling te maken.

2. *Hoe kan het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s per dijkvak worden gemodelleerd?*

Het modelleren van het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s is gedaan op basis van het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002). Met het computerprogramma PC-Overslag, behorende bij het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken (TAW, 2002), kan ook het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s worden bepaald. De Quick tool modelleert dus op dezelfde wijze als PC-Overslag, maar is in tegenstelling tot PC-Overslag toepasbaar op een trajectdeel en dus een snelle scan.

De Quick tool rekent met probabilistische golfoploop- en golfoverslagformules van het Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002). Het gemiddeld overslagdebiet wordt berekend met een 5% overschrijdingskans bij de 1:3000 per jaar norm. Het gemiddeld overslagdebiet resultaat is semi-probabilistisch, omdat er ook met deterministische waarden (aannames) wordt gerekend.

3. *Hoe kan het gemiddeld overslagdebiet worden vertaald naar een vereiste erosiebestendigheid, uitgedrukt in een vereist grastype?*

Volgens de Handreiking Constructief ontwerpen van de TAW (1994), hangt de erosiebestendigheid van de grasmat af van vier parameters, namelijk: gemiddeld overslagdebiet, helling van binnentalud, grondcategorie en grastype. Het gemiddeld overslagdebiet, de helling van het binnentalud en de grondcategorie zijn bekend. De enige onbekende is het type gras, dus deze kan worden afgeleid op basis van de voldoende erosiebestendige combinaties in de 3D-matrices. De vereiste erosiebestendigheid wordt dus uitgedrukt in een vereist grastype.

Het gaat in dit onderzoek om het vereiste grastype, dus wordt de laagst mogelijke kwaliteit grastype gekozen, mits de combinatie voldoende erosiebestendigheid biedt. Het kan ook voorkomen dat de combinatie met de hoogste graskwaliteit niet voldoet. Als dit het geval is bij een dijkvak, dan zal er dijkversterking moeten worden toegepast. De onvoldoende erosiebestendige grastype A behoort in de classificering van grastypen tot grastype A en is dus niet een extra klasse.

4. *Hoe goed is de Quick tool toepasbaar?*

Gezien de databeschikbaarheid waarmee de Quick tool wordt gevoed, is methodologisch alles mogelijk gemaakt (los van de methoden in de aanbeveling). De Quick tool omvat theoretisch alle probleemaspecten die nodig zijn voor het bepalen van het gemiddeld overslagdebiet volgens de TAW (2002). De tool bevat conservatieve aannames en aannames op basis van expert kennis van Van Hoven en literatuur van Roskam (2007). Het doel van de Quick tool, het op een snelle manier de vereiste erosiebestendigheid uitgedrukt in het vereiste grastype bepalen, is behaald omdat de Quick tool een korte rekentijd heeft. Het kost de Quick tool namelijk 32,430 s om 36 dwarsprofielen uit te rekenen. De Quick tool is dus snel toepasbaar.

Het management doel is het maken van risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer. De vereiste erosiebestendigheid helpt hierbij om een basis/streefbeeld te vormen voor deze afwegingen en beslissingen. Met de kaart (zie Figuur 23) kan door de beheerder snel worden gekeken waar een hoge en lage eis is aan de kwaliteit van de grasmat en dus ook waar het overslag bij dijken toegestaan kan worden. De conservatieve aannames van de Quick tool sluiten goed aan bij de conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer van het waterschap. De Quick tool resultaten zijn dus goed toepasbaar in het maken van risico-afwegingen en conservatieve beslissingen in het dagelijks beheer.

5.1.2. Hoofdvraag

De hoofdvraag is:

Hoe kan overslag gemodelleerd worden, om de vereiste erosiebestendigheid van de IJsseldijk te bepalen op basis van de hoofdparameters: dijkhoogte, dijkoriëntatie, dijkprofiel en grondmateriaal van de deklaag van het binnentalud?

Door te kijken naar welke data nodig en beschikbaar zijn voor het modelleren en toepassen van de Quick tool. Het modelleren van het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s kan vervolgens worden gedaan op basis van het Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken van de TAW (2002). De hoofdparameters dijkhoogte, dijkoriëntatie en dijkprofiel worden meegenomen in de overslagberekening.

Het gemiddeld overslagdebiet in l/m/s wordt vervolgens vertaald naar een vereiste erosiebestendigheid. De vereiste erosie bestendigheid kan worden afgeleid op basis van de voldoende erosiebestendige combinaties in de 3D-matrices van de Handreiking Constructief Ontwerpen van de TAW (1994). De vereiste erosiebestendigheid wordt dus uitgedrukt in een vereist grastype. De hoofdparameters dijkprofiel en grondmateriaal worden meegenomen in de afleiding van de vereiste erosiebestendigheid. De vereiste grastypen kunnen vervolgens in een kaart worden weergegeven, zie Figuur 23.

5.2. Aanbevelingen voor verder onderzoek

In deze sectie worden de aanbevelingen voor verder onderzoek gegeven, namelijk aanbevelingen over: het gebruik van PC-Overslag, schematiseringen van dijkprofielen, dijkvakindelingen, cumulatieve overslagdebieten, bepaling van de hoek van golfaanval, bepaling van de grondsoort en tot slot het valideren van de Quicktool door een resultaten vergelijking met WBI-software.

PC-Overslag

Mocht het resultaat van de Quick tool een onvoldoende erosiebestendig grastype A zijn, dan kan een preciezere berekening van de overslag worden gemaakt met PC-Overslag, waarmee vervolgens een preciezere bepaling van het vereiste grastype kan worden gemaakt. Het toepassen van PC-Overslag wordt dus aanbevolen, als het resultaat van de Quick tool een onvoldoende erosie bestendig grastype A is.

Gedetailleerdere schematiseringen dijkprofielen

Er wordt aanbevolen om gedetailleerdere schematiseringen van dijkprofielen te gebruiken als input voor de Quick tool, omdat de Quick tool dan een preciezere berekening kan maken van de overslag. De Quick tool is zo gemodelleerd, dat berekeningen gemaakt kunnen worden met gedetailleerde schematiseringen (schematiseringen van meer dan 1 buitentalud segment). Met gedetailleerdere schematiseringen worden de invloeden van bermen op de golfoverslag meegenomen.

Gedetailleerdere dijkvakindeling

De tool maakt gebruik van bestaande dijkvakindeling van lengtes van 100 m, waarbij om de 100 m een dwarsprofiel wordt doorgerekend. Er wordt aanbevolen om data te verzamelen van de situatie tussen de huidige dwarsprofielen in en er wordt aanbevolen om (de tot nu toe onbekende) data te verzamelen van het volgende:

- Hydraulische belasting bij de dijkteen.
 - Strijklengte.
 - Hoek van golfaanval.
 - Bodemprofiel van het voorland.
 - Dammen.
- Keringssterkte.
 - Dijkprofiel:
 - Buitendijks profiel.
 - Kruinhoogte.
 - Binnendijks profiel.
 - Bekledingstype buitentalud.
 - Grondsoort binnentalud.

Daarbij wordt aanbevolen om de tool uit te breiden met een algoritme die de overgangen bepaald van de genoemde data en dan kunnen op die overgangen de dijkvakgrenzen worden getrokken, zie bijlage8. Binnen de gekozen dijkvakgrenzen moet een representatief profiel als volgt worden gekozen:

In principe zijn de dijkvakken zodanig gekozen dat er binnen een dijkvak weinig variatie is met betrekking tot de fysieke kenmerken van de dijk. Als - binnen een kleine resterende variatie - een keuze gemaakt moet worden, dan wordt aanbevolen te kiezen voor het dwarsprofiel met:

- De laagste kruin.
- De gladste profieldelen. ☐
- De kleinste bermbreedte.

(Rijkswaterstaat, WVL, 2016b)

Cumulatieve overbelastingmethode

De huidige beoordeling wordt niet meer uitgevoerd op basis van gemiddelde overslagdebieten, maar op de bijdrage van elke individuele golf op potentiële schade aan de grasbekleding (Helpdesk Water, 2017d). Aanbevolen wordt om de faalkans van de grasmat te bepalen op basis van cumulatieve overbelasting door golven. De volumes per golf zijn hiervoor nodig en deze kunnen door de Quick tool worden bepaald, zie Bijlage 1.5 voor de vertaalslag van gemiddeld overslagdebiet naar volume.

Classificatie zodekwaliteit

In de WBI2017 is de zodekwaliteit geclassificeerd als (Rijkswaterstaat, WVL, 2016c): gesloten, open en fragmentarisch. De nieuwe classificatie van de zodekwaliteit is nog niet ingebouwd in de tool. Er wordt aanbevolen om gebruik te maken van de nieuwe classificatie methode.

Bepaling van hoek van golfaanval

Er wordt aanbevolen om de hoek van golfaanval te bepalen voor dijkvakindeling en voor de bepaling van de betreffende invloedsfactor. Deze is niet bepaald omdat de onderzoeksperiode hiervoor te kort was.

Een methode om de hoek van golfaanval te bepalen, is door de windrichting te bepalen waarbij de effectieve strijklengte het grootst is, ten opzichte van de locatie van een dwarsprofiel, zie Bijlage 9. De hoek van de windrichting ten opzichte van het dijknormaal is de dan de hoek van golfaanval. Hiervoor zal een losstaande snelle Quick tool van gemaakt moeten worden. De aanname die hierbij gemaakt wordt, is dat de significante golfhoogte, die berekend is door Ringtoets, hoort bij de bepaalde windrichting (met de grootste strijklengte). Ringtoets berekend de significante golfhoogte op basis van marginale statistiek en niet louter op basis van de windrichting met de grootste effectieve strijklengte. De door significante golfhoogte van Ringtoets en de windrichting met de grootste strijklengte zijn wel gecorreleerd.

Bepaling van grondsoort

Er wordt aanbevolen om de data van grondsoort van de deklaag van de kruin en het binnentalud op te zoeken in het beheerregister van het waterschap. Als deze niet gevonden worden, dan moeten nieuwe bodemonsters van de deklaag genomen worden. De grondsoort is van belang, omdat onder ander hierop het grastype wordt bepaald. De gevoeligheidsanalyse in sectie 3.3.1 laat zien dat als met grondcategorie 1 wordt gemodelleerd, dat alle dwarsprofielen voldoen met grastype D en als met grondcategorie 2 wordt gemodelleerd, dat er ook dwarsprofielen zijn die grastype B als resultaat hebben.

Validatie met WBI-software

De resultaten van de Grastoets (onderdeel van Ringtoets) van 1 dwarsprofiel zijn berekend door het waterschap. Echter is nog niet duidelijk hoe deze resultaten geïnterpreteerd moeten worden en was het dus niet mogelijk om de resultaten van Grastoets naast de resultaten van de Quick tool te leggen als validatie. Aanbevolen wordt om uit te zoeken wat de resultaten van de Grastoets berekening betekenen en deze dan naast de resultaten van de Quick tool te leggen ter validatie. Dit wordt ook aanbevolen door Van Hoven.

Referenties

- Avans Hogeschool. (2017). *Golven 2a Strijk lengte rivier en binnenmeer*. Opgehaald van Avans Hogeschool:
https://mymedia.avans.nl/media/Golven+2a+Strijk+lengte+rivier+en+binnenmeer/0_wziq3s6a
- Covello, V., & Merkhofer, M. (1993). *Risk Assessment Methods: Approaches for Assessing Health and Environmental Risks*. Springer Science & Business Media.
- Deltares. (2017). *sterktenoodmaatregelen*. Opgehaald van Deltares: <http://v-web002.deltares.nl/sterktenoodmaatregelen/index.php/Help:Inhoud>
- Helpdesk Water. (2017a). *Over het WBI*. Opgehaald van Helpdesk Water:
[https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/wbi/](https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/wbi/)
- Helpdesk Water. (2017b). *Ringtoets (RisKeer)*. Opgehaald van Helpdesk Water:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/omgevings/omgevings/ringtoets/>
- Helpdesk Water. (2017c). *Hydraulische belastingen*. Opgehaald van Helpdesk Water.
- Helpdesk Water. (2017d). *Wettelijk Beoordelings instrumentarium 2017: Toetsspoor Grasbekledingen*. Opgehaald van Helpdesk Water.
- Hoven, A. v. (2016). *Theorie beoordeling grasbekleding*. Opgehaald van STOWA:
<http://edepot.wur.nl/406400>
- Inc., T. M. (2016). MATLAB 2016a. Natick, Massachusetts, Verenigde Staten.
- Muijs, J. (1999). *Grasmat als dijkbekleding TAW*. Nivo, drukkerij & DTP service.
- Rijkswaterstaat. (2017). Opgehaald van <https://beeldbank.rws.nl>
- Rijkswaterstaat WVL. (2012). *Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Opgehaald van Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde.
- Rijkswaterstaat, WVL. (2016a). *Schematiseringshandleiding hydraulische condities bij de dijken WBI 2017*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat, WVL. (2016b). *Schematiseringshandleiding hoogte WBI 2017*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat, WVL. (2016c). *Schematiseringshandleiding grasbekleding WBI 2017*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Rijkswaterstaat, WVL. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 Bijlage III Sterkte en veiligheid*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Roskam, B. (2007). *vuistregels voor de nauwkeurigheid van golfparameters*.
- STOWA. (2016). *documenten*. Opgehaald van STOWA:
<http://www.stowa.nl/Upload/documenten/waterbegrippenspread.pdf>
- TAW. (1994). *Handreiking Constructief ontwerpen*.
- TAW. (1998). *Technisch Rapport Erosiebestendigheid van Grasland als Dijkbekleding*. TAW.
- TAW. (2002). *Technisch Rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*. TAW.
- Waterschap Rivierenland. (2014). *Faalmechanismen*. Opgehaald van Waterschap Rivierenland:
<http://www.dijkverbetering.waterschaprivierenland.nl/common/dijkverbetering/faalmechanismen.html>
- Waterschap Vallei en Veluwe. (2017). *Kengetallen*. Opgehaald van vallei-veluwe: <https://www.vallei-veluwe.nl/organisatie/kengetallen/>

Bijlage

Bijlage 1. Tool ontwerp

Bijlage 1.1. Profielcalculaties

De Quick tool maakt calculaties op basis van het technisch rapport golfoploop en overslag bij dijken (2002) van: vrij kruinhoogte, golfoploophoogte, berm, gemiddeld binnentalud en bepaling binnentalud.

Vrije kruinhoogte

De vrije kruinhoogte h_k is het hoogteverschil tussen de stilwaterlijn en de kruinhoogte. De Quick tool bepaalt de maximale hoogte van de dijk en trekt hier stilwaterlijn (toetspeil) van af. De Quick tool bepaalt de maximale hoogte van de kruin binnen een horizontale afstand van maximaal 3 m van de buitenkruinlijn (Rijkswaterstaat, WVL, 2017).

Golfoploophoogte

Zie sectie 2.1.2 in het rapport voor de uitleg van de inschatting van de golfoploophoogte.

Berm

Voor de berekening van de invloedsfactor van de berm, moet de Quick tool eerst controleren of er een berm aanwezig is, door te kijken of er een profielsegment is met helling flauwer dan 1:15. De TAW (2002) definieert een berm namelijk als: “een stuk uit een dijkprofiel waarbij de helling mag variëren tussen horizontaal en 1:15”. Mocht er een berm zijn, dan berekent de Quick tool waarden waarmee de invloedsfactoren van de berm kunnen worden bepaald. Hier wordt verder op ingegaan in Bijlage 1.2.

Gemiddeld buitentalud

Het buitentalud van de IJsseldijk, bestaat niet overal uit een recht talud. Er komen bermen voor en talluddelen met verschillende hellingen. In Bijlage 1.2 wordt de berm en de invloed van de berm behandeld.

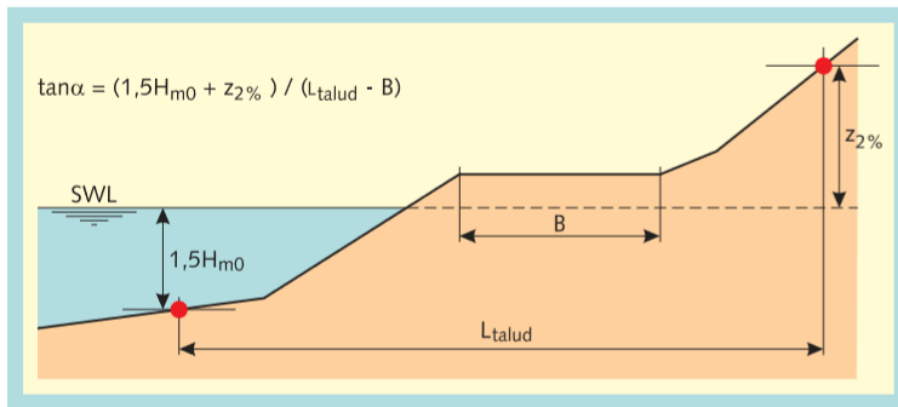
Aangezien de taludhelling in de berekening van de golfoploop via de brekerparameter een rol speelt, moet een representatieve taludhelling worden gedefinieerd als het talud uit delen met verschillende hellingen bestaat. Eventuele bermen worden daarbij buiten beschouwing gelaten, omdat de berminvloed namelijk apart in rekening wordt gebracht.

(TAW, 2002, p. 12).

De formule van de representatieve taludhelling $\tan\alpha$ is (zie Figuur 24):

$$\tan(\alpha) = (1,5 \cdot H_{m0} + z_{2\%}) / (L_{talud} - B) \quad (8)$$

De Quick tool leest de bermbreedte B en de significante golfhoogte H_{m0} af uit de inputdata. Het 2%-golfoploophoogteniveau $z_{2\%}$ is geschat op $z_{2\%} = 1,5 \cdot H_{m0}$, zoals aanbevolen door het rapport van de TAW (2002), zie sectie 2.1.2.



Figuur 24: Definitieschets voor bepaling van de waarden voor berekening $\tan(\alpha)$ (TAW, 2002, p. 13)

De L_{talud} moet worden bepaald voor de berekening van de representatieve taludhelling, zie Figuur 8. Vanaf de stilwaterlijn (SWL) worden de snijpunten met het profiel bepaald, onder de stilwaterlijn op een verticale afstand van $1,5 \cdot H_{m0}$ en boven de stilwaterlijn op een verticale afstand van $z_{2\%}$. De horizontale afstand tussen de snijpunten is de waarde van L_{talud} . Als de z-waarde $SWL - 1,5 \cdot H_{m0}$ beneden de z-waarde van data van de teenlijn uitkomt, dan wordt L_{talud} berekend vanaf de teenlijn.

Bepaling binnentalud

De Quick tool leest de steilste taludhelling in het binnen talud in. De helling van het binnentalud wordt gebruik voor de bepaling van het vereiste grastype.

Bijlage 1.2. Invloedsfactor calculatie

De Quick tool rekent met invloedsfactoren, namelijk invloedsfactoren: berm, ruwheid buitentalud, hoek van golfaanval en (verticale) wand.

Invloedsfactor berm γ_b

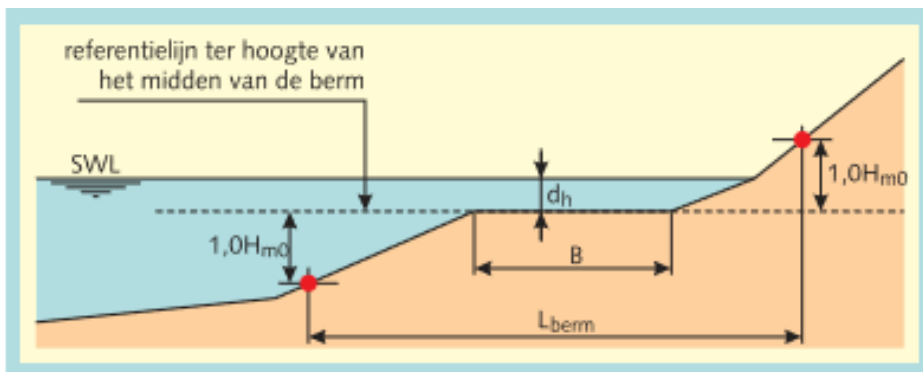
De invloedsfactor van de berm is opgebouwd uit twee invloedsfactoren, namelijk de invloedsfactor van de breedte van de berm en de invloedsfactor van de ligging van de berm. Beide invloedsfactoren zijn opgenomen in de volgende formule (TAW, 2002, p. 18):

$$\gamma_b = 1 - \frac{B}{L_{berm}} \left(0,5 + 0,5 \cdot \cos \left(\pi \frac{d_h}{x} \right) \right) \text{ met: } 0,6 \leq \gamma_b \leq 1,0 \quad (9)$$

Waarin:

- γ_b = invloedsfactor berm [-]
- B = bermbreedte [m]
- L_{berm} = invloedlengte [m]
- d_h = bermdiepte ten opzichte van SWL [m]
- x = zie (10).

De factor van de breedte van de berm wordt bepaald door de verhouding tussen de bermbreedte B en de lengte L_{berm} waarover de berm invloed heeft op de golfoploop. De Quick tool leest de bermbreedte B uit de inputdata. Vervolgens berekent de Quick tool de waarde van L_{berm} zoals weergegeven in Figuur 25. Hiervoor berekent de Quick tool eerst de z -waarde van het midden van de berm. De berm wordt horizontaal geschematiseerd ter hoogte van de z -waarde van het midden van de berm. Bij deze z -waarde wordt verticaal op een afstand van $1,0 \cdot H_{m0}$ aan weerszijden de snijpunten met het profiel bepaald. De verticale invloed zone van de berm is $z_{berm} - 1,0 \cdot H_{m0}$ en $z_{berm} + 1,0 \cdot H_{m0}$.



Figuur 25: Definitieschets voor de bepaling van de waarden voor berekening γ_b (TAW, 2002, p. 17)

De factor van de ligging van de berm wordt bepaald door een cosinus functie, waarin d_h de verticale afstand is van de het midden van de berm tot de stilwaterlijn, zie formule (TAW, 2002, p. 18):

$$r_{dh} = 0,5 - 0,5 \cdot \cos \left(\pi \frac{d_h}{x} \right) \text{ met:} \quad (10)$$

- $x = z_{2\%}$ als $z_{2\%} > -d_h > 0$ (Berm boven stilwaterlijn)
- $x = 2 \cdot H_{m0}$ als $2 \cdot H_{m0} > d_h \geq 0$ (Berm beneden stilwaterlijn)
- $r_{dh} = 1$ als $-d_h \geq z_{2\%}$ of $d_h \geq 2 \cdot H_{m0}$ (Buiten invloedsgebied)

Invloedsfactor ruwheid buitentalud γ_f

Op basis van het resultaat van een korte GIS-analyse en uit de inzichten van het waterschap is aangenomen dat de bekleding van het buitentalud van de IJsseldijk volledig bestaat uit gras. Bij gras hoort de γ_f -waarde 1, zie Figuur 26.

Referentietype	γ_f
Beton	1,0
Asfalt	1,0
Dichte betonblokken	1,0
Gras	1,0
Vilvoordse steen	0,85
Basalt	0,90
Haringman	0,90
Fixtone, open steenasfalt	0,90
Armorflex	0,90
Kleine blokjes over 1/25 van het oppervlak	0,85
Kleine blokjes over 1/9 van het oppervlak	0,80
1/4 van steenzetting 10 cm omhoog	0,90
Ribbels (optimale afmetingen)	0,75
Breuksteen, twee lagen dik	0,55
Breuksteen, een enkele laag	0,70

Figuur 26: Invloedsfactor ruwheid (TAW, 2002, p. 19)

Invloedsfactor hoek van golfaanval γ_β

De invloedsfactor van de hoek van golfaanval kan worden bepaald met de volgende formule (TAW, 2002, p. 16):

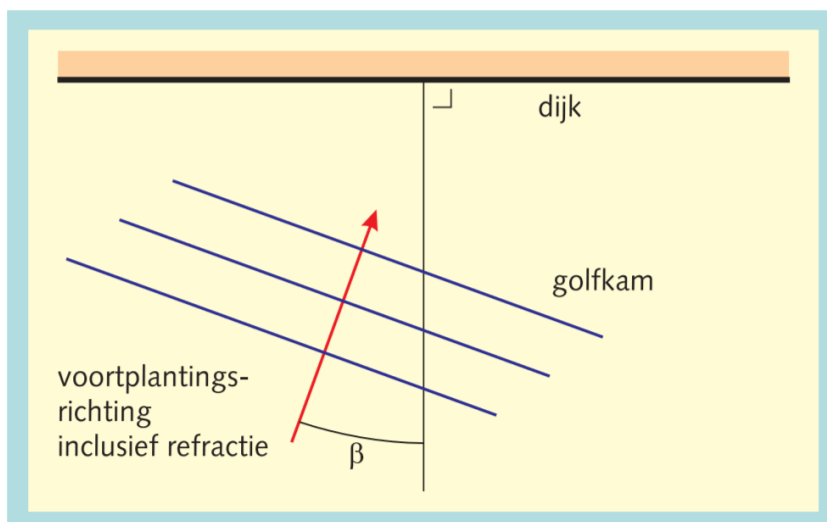
$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033|\beta| \text{ met: } (0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ) \quad (11)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0,0033 \cdot 80 \text{ met: } (|\beta| > 80^\circ)$$

Waarin:

- γ_β = invloedsfactor hoek van golfaanval [-]
- β = hoek van golfaanval [°]

Hierin is β gedefinieerd als de hoek van de voortplantingsrichting van de golf met de normaal van de dijk, zie Figuur 27.



Figuur 27: Definitie hoek van golfaanval (TAW, 2002, p. 15)

Invloedsfactor (verticale) wand γ_v

Volgens de TAW (2002, p. 22) geldt: “De invloedsfactor voor een verticale wand op een talud bedraagt $\gamma_v = 0,65$. Bij een talud 1:1 is deze invloedsfactor $\gamma_v = 1$ ”. De Quick tool controleert of een profielsegment een helling heeft die steiler is dan 1:1 en interpoleert dan als volgt (TAW, 2002, p. 22):

$$\gamma_v = 1,35 - 0,0078 \cdot \alpha_{wand} \quad (12)$$

Waarin:

- γ_v = invloedsfactor (verticale) wand [-]
- α_{wand} = hoek van wand met horizontaal [°]

Na een klein onderzoek is de conclusie gemaakt dat op het onderzochte IJsseldijktraject geen profielsegmenten voorkomen met een steilere helling dan 1:1 en geen wanden van 90°. De interpolatie mogelijkheid is geïmplementeerd in de Quick tool, zodat de Quick tool breder inzetbaar is dan alleen het onderzochte traject.

Bijlage 1.3. Brekerparameter calculatie

De breker parameter wordt definieert door (TAW, 2002, p. 8):

$$\xi_0 = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{s_0}} \quad (13)$$

Waarin:

- ξ_0 = brekerparameter [-]
- s_0 = golfsteilheid: $s_0 = 2 \cdot \pi \cdot H_{m0} / (g \cdot T_{m0}^2)$ [-]
- g = versnelling van de zwaartekracht [m/s^2]
- $T_{m-1,0}$ = spectrale golfperiode: $T_{m-1,0} = c \cdot \sqrt{H_{m0}}$ [s] (Roskam, 2007)
- c = constante: *parameter* = 3,25 [-]

Bijlage 1.4. Gemiddeld overslagdebiet calculatie

Bij het berekenen van het gemiddeld overslagdebiet, wordt door de Quick tool rekening gehouden met (zeer) ondiepe voorlanden, door onderscheid te maken met formules op basis van de brekerparameter. De Quick tool gebruikt verschillende formules om het gemiddeld overslagdebiet te berekenen bij drie domeinen van de brekerparameter. De domeinen zijn:

- $\xi_0 \leq 5$
- $\xi_0 \geq 7$
- $5 < \xi_0 < 7$

$\xi_0 \leq 5$

Het gemiddeld overslagdebiet wordt door de Quick tool berekend met de volgende formules:

$$q = \frac{0,067}{\sqrt{\tan(\alpha)}} \cdot \gamma_b \cdot \xi_0 \cdot \exp\left(-4,75 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\xi_0 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_B \cdot \gamma_v}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (14)$$

$$\text{met als maximum: } q = 0,2 \cdot \exp\left(-2,6 \cdot \frac{h_k}{H_{m0}} \cdot \frac{1}{\gamma_f \cdot \gamma_B}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (15)$$

Waarin:

- q = gemiddeld golfoverslag debiet per strekkende meter kruin [l/m/s]
- α = hoek van het gemiddelde talud [°]
- h_k = kruinhoogte ten opzichte van stilwaterlijn [m]
- H_{m0} = significante golfhoogte [m]
- ξ_0 = brekerparameter [-]
- γ_b = invloedsfactor berm, ruwheid buitentalud, hoek van golfaanval, en een (verticale) wand op het talud, zie Bijlage 1.2 [-]

Deze formules zijn gebaseerd op de formule 24 en 25 van de TAW (2002, p. 30).

De betrouwbaarheid van formule 24 van de TAW wordt gegeven door de coëfficiënt 4,75 als een normaal verdeelde stochast op te vatten met een gemiddelde 4,75 en een standaardafwijking $\sigma = 0,5$.

$\xi_0 \geq 7$

Het gemiddeld overslagdebiet wordt door de Quick tool berekend met de volgende formules:

$$q = 10^C \cdot \exp\left(-\frac{h_k}{\gamma_f \cdot \gamma_B \cdot H_{m0} \cdot (0,33 + 0,022 \cdot \xi_0)}\right) \cdot \sqrt{g \cdot H_{m0}^3 \cdot 1000} \quad (16)$$

Waarin:

- C = normaal verdeelde stochast met een gemiddelde van $-0,92$ (met $10^{-0,92} = 0,12$) en een standaardafwijking van $0,24$.

De formule is gebaseerd op de formule 26 van de TAW (2002, p. 33).

$5 < \xi_0 < 7$

De logaritme van het gemiddeld overslagdebiet wordt lineair geïnterpoleerd tussen $5 < \xi_0 < 7$. Hiervoor berekent de Quick tool eerst het gemiddeld overslagdebiet met (14) en (15), bij $\xi_0 = 5$ en het gemiddeld overslagdebiet met (16), bij $\xi_0 = 7$.

Bijlage 1.5. Overslagvolume per golf

Zoals eerder in sectie 2.1.2, wordt volume per golf wordt bepaald voor nader onderzoek van de vereiste erosiebestendigheidsbepaling (zie de aanbeveling in sectie 5.2) en voor adviezen aan de beheerder. Voor de berekening van het overslagvolume per golf, bepaald de Quick tool eerst de golfoploophoogte $z_{2\%}$.

Golfoploop

Eerder is een inschatting van de golfoploop gemaakt, om het gemiddeld talud te bepalen. De brekerparameter is berekend met dit gemiddeld talud en wordt gebruikt voor een probabilistische berekening in de Quick tool van de golfoploop, met volgende formule van de TAW (2002, p. 10):

$$\frac{z_{2\%}}{H_{m0}} = 1,65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \quad (17)$$

Met een maximum voor grotere ξ_0 van:

$$\frac{z_{2\%}}{H_{m0}} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4,0 - \frac{1,5}{\sqrt{\xi_0}}\right) \quad (18)$$

“De spreiding voor extreme waarden kan worden beschreven met een variatiecoëfficiënt (standaardafwijking, gedeeld door gemiddelde) ten opzichte van het gemiddelde en bedraagt: $V = \sigma / \mu = 0,07$ ” (TAW, 2002).

De formules (17) en (18) zijn in de Quick tool omgeschreven tot:

$$z_{2\%} = 1,65 \cdot \gamma_b \cdot \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \xi_0 \cdot H_{m0} \quad (19)$$

Met een maximum voor grotere ξ_0 van:

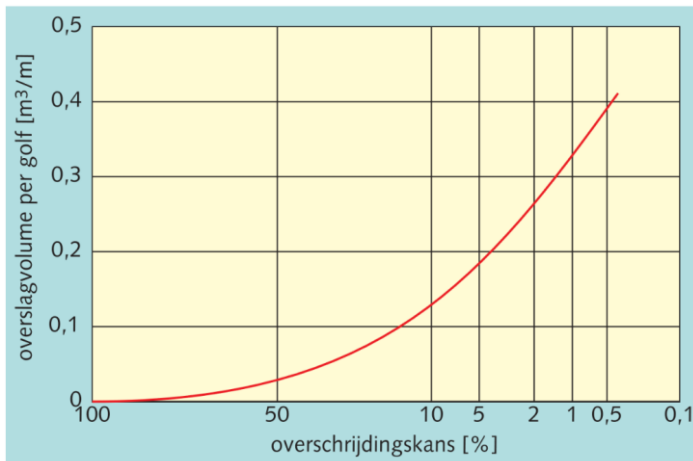
$$z_{2\%} = \gamma_f \cdot \gamma_\beta \cdot \left(4,0 - \frac{1,5}{\sqrt{\xi_0}}\right) \cdot H_{m0} \quad (20)$$

Kans op overslag

De kans op overslag wordt door de Quick tool berekend met de volgende formule (TAW, 2002):

$$P_{ov} = \exp\left(-\left(\sqrt{-\ln(0,02)} \cdot \frac{h_k}{z_{2\%}}\right)^2\right) \quad (21)$$

De golfoploopverdeling van (21) komt overeen met een Rayleigh-verdeling. Ter illustratie is een kansverdelingsfunctie gegeven in Figuur 28, gebaseerd op deze formule.



Figuur 28: Kansverdelingsfunctie voor overslagvolumes per golf (TAW, 2002)

Overslagvolume bij overschrijdingskans

Het volume voor een bepaalde overschrijdingskans P_v volgt uit de volgende formules (TAW, 2002, p. 36-37):

$$V = a \cdot (-\ln(1 - P_v))^{\frac{4}{3}} \quad (22)$$

Waarin:

$$\bullet \quad a = \frac{0,84 \cdot T_m \cdot q}{P_{ov}} \quad (23)$$

Verwachtingswaarde van maximale volume van grootste golf

De eerste schatting van de verwachtingswaarde van de maximale volume van de grootste golf wordt door de Quick tool verkregen met de volgende formules (TAW, 2002, p. 36-37):

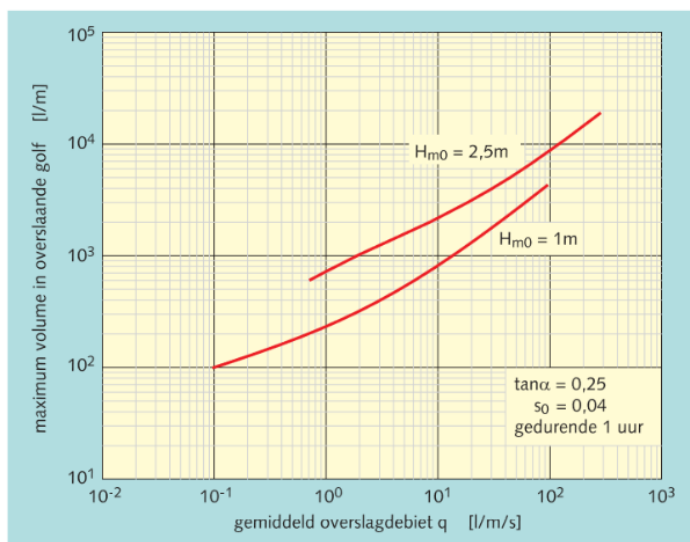
$$V_{max} = a \cdot (\ln(N_{ov}))^{\frac{4}{3}} \quad (24)$$

Waarin:

$$\bullet \quad N_{ov} = \text{aantal overslaande golven: } N_{ov} = P_{ov} \cdot N \quad (25)$$

$$\bullet \quad N = \text{aantal inkomende golven tijdens stormduur (= 12 uur): } N = \frac{43200}{T_m} \quad (26)$$

Ter visualisatie is in Figuur 29, voor twee situaties de relatie weergegeven van het gemiddeld overslagdebiet en de verwachtingswaarde van het maximale volume van de grootste overslaande golf.



Figuur 29: Relatie tussen gemiddeld overslagdebiet en maximum volume van de grootste overslaande golf (TAW, 2002)

Bijlage 2. Grond categorieën

Per 3D-matrix wordt onderscheid gemaakt tussen de volgende categorieën grond:

- Categorie 1: Dit is 'vette' klei en is weinig erosiegevoelig. "Deze heeft een vloeigrens groter dan 45% en een plasticiteitsindex die groter is dan $0,73 \times (\text{de vloeigrens} - 20)$ en waarbij het zandgehalte lager is dan 40%" (TAW, 1994).
- Categorie 2: Dit is een klei ligt tussen 'vette' en 'schrale' klei in en weinig tot matig erosiegevoelig. "Deze heeft een vloeigrens lager dan 45% en een plasticiteitsindex die groter is dan 18% en waarbij het zandgehalte lager is dan 40%" (TAW, 1994).
- Categorie 3: Dit is een schrale klei, met sterke erosiegevoeligheid. "Deze heeft een plasticiteitsindex die lager is dan 18% of dan $0,73 \times (\text{de vloeigrens} - 20)$ en/of een zandgehalte hoger dan 40%. De grond heeft echter wel een lutumgehalte van tenminste 8%" (TAW, 1994).
- Categorie 4: Dit is een zandgrond, namelijk: grond met een lutumgehalte (lutum is de benaming voor gronddeeltjes die kleiner zijn dan $2 \mu\text{m}$) lager dan 8% (TAW, 1994).

Bijlage 3. Quick tool code (1)

```
clear,clc
%input
dijkvak_num1 = 200; %eerste dijkvak in de Quick tool input

%initialisatie
profiel_data = xlsread('profiel_data.xlsx',1);
peil_en_golf = xlsread('HR_data.xlsx',1);
Aantal_profielen = sum(profiel_data(:,1)==0);
Tabel = zeros(Aantal_profielen,4);

%start en eind rijen bepalen van de profielen
Profiel_start = find(profiel_data(:,1)==0)-1;
Profiel_eind = [find(profiel_data(:,1)==0)-2;length(profiel_data(:,1))];
Profiel_eind = Profiel_eind(Profiel_eind~=0);

%loop van profielberekeningen
for num = 1:Aantal_profielen
    disp(['Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00',num2str(dijkvak_num1 - 1 + num)])
    Tabel(num,1) = dijkvak_num1 - 1 + num; %tellen vanaf 200

    format_1 = profiel_data(Profiel_start(num):Profiel_eind(num),:);
    format_2 = peil_en_golf(num,:);

    [q_lms,gras_type,h_k] = quick_Quick_tool_functie(format_1,format_2);
    Tabel(num,2) = q_lms;
    Tabel(num,3) = gras_type;
    Tabel(num,4) = h_k;

    disp('----- ')
end

disp(' Dijkvak    Q_gem    Grastype* h_k    Kruinhoogte')
disp(Tabel);
disp([' *Gras type 1 = A; ', 'Gras type 2 = B; ', 'Gras type 3 = C; ', 'Gras type 4 = D;'])
```

Bijlage 4. Quick tool code (2)

```
function [q_lms,gras_type,h_k,kruinhoogte] = quick_Quick_tool_function(format_1,format_2)
```

input Quick tool

```
g = 9.81;           %versnelling van de zwaartekracht [m/s2]
C = -0.92;          %normaal verdeelde stochast met een gemiddelde van -0.92 en een
                    %standaardafwijking van 0.24
cat_grond = 3;      %categorie grond van het binnentalud [-] bepaald door Reindert
P_v = 0.95;         %kans dat het overslagvolume groter dan of gelijk aan v is [-]

%0: niet plotten; 1: plotten
plot_waterstandsverloop = 0;
plot_profiel = 0;
plot_golfspectrum = 0;
plot_golfhoogtekans = 0;

toetspeil = format_2(1,1); %stilwaterlijn [m]
Hm0 = format_2(1,2);      %significante golfhoogte bij de teen van de dijk [m]
```

berekeningen profiel

```
%berekening h_k
rij_buitenkruinlijn = find(format_1(:,1)==0); %celrij buitenkruinlijn [-]
buitenkruin_h = format_1(rij_buitenkruinlijn,2); %buitenkruinhoogte [m]

z_binnenprofiel = format_1(rij_buitenkruinlijn:length(format_1(:,1)),2); %z-waarden van het
buitenprofiel [m]
x_binnenprofiel = format_1(rij_buitenkruinlijn:length(format_1(:,1)),1); %z-waarden van het
buitenprofiel [m]

%h_k op 3 meter afstand van de buitenkruinlijn
for n = 1:length(z_binnenprofiel-rij_buitenkruinlijn)-1
    if (3 > abs(x_binnenprofiel(n))) && (3 <= abs(x_binnenprofiel(n+1)))
        h_k_3m = (3/(abs(x_binnenprofiel(n+1))-
abs(x_binnenprofiel(n))))*(z_binnenprofiel(n+1)-z_binnenprofiel(n))+z_binnenprofiel(n)-
toetspeil; %[m] (interpoleren)
    end
end

%maximale h_k binnen 3 meter van de buitenkruinlijn
h_k_max = z_binnenprofiel(max(find(abs(x_binnenprofiel)<3)))-toetspeil; %[m]

if h_k_3m > h_k_max
    h_k = h_k_3m; %vrije kruinhoogte (afstand toetspeil tot hoogste z_waarde binnen
verticale afstand van 3 meter van de buitenkruinlijn) [m]
else h_k = h_k_max;
end

Kruinhoogte = h_k+toetspeil;

%berekening h_k t.o.v. buitenkruinlijn
h_bkl = buitenkruin_h - toetspeil; %vrije kruinhoogte (afstand toetspeil tot
buitenkruinlijn) [m]
z_buitenprofiel = format_1(1:rij_buitenkruinlijn,2); %z-waarden van het buitenprofiel [m]
```

```

%berekeningen berm
talud_buiten = format_1(1:(rij_buitenkruinlijn-1),5); %celrij met hellingen van taluddelen
buitendijk [-]
for i=1:rij_buitenkruinlijn-1
    if talud_buiten(i)>15
        B = format_1(i,4); %bermbreedte [m]
        berm_rij = i; %rijnummer van de berm [-]

        %berekening d_h
        z_waarde_bermmidden = (format_1(berm_rij,2)+format_1(berm_rij+1,2))/2; %z-waarde van
        het midden van de berm [m]
        d_h = toetspeil - z_waarde_bermmidden; %afstand
        berm, verticaal gemeten ten opzichte van de stilwaterlijn [m]

        %berekening L_berm
        for n = 1:rij_buitenkruinlijn-1
            if ((z_waarde_bermmidden + Hm0) > z_buitenprofiel(n))&&((z_waarde_bermmidden +
Hm0) <= z_buitenprofiel(n+1))
                L_berm_B = format_1(n,1)-((z_waarde_bermmidden + Hm0) -
z_buitenprofiel(n))*(format_1(n,5)); %x-waarde B van uiteinde L_berm [m]
            elseif (z_waarde_bermmidden + Hm0) > buitenkruin_h
                L_berm_B = 0; %x-waarde B buitenkruin is uiteinde voor L_berm [m]
            end
            if ((z_waarde_bermmidden - Hm0) > z_buitenprofiel(n))&&((z_waarde_bermmidden -
Hm0) <= z_buitenprofiel(n+1))
                L_berm_A = format_1(n,1)-((z_waarde_bermmidden - Hm0) -
z_buitenprofiel(n))*format_1(n,5); %x-waarde A van uiteinde L_berm [m]
            elseif (z_waarde_bermmidden - Hm0) < z_buitenprofiel(1)
                L_berm_A = format_1(1,1); %x-waarde A buitendijkteen is uiteinde voor L_berm
[m]
            end
        end
        L_berm = abs(L_berm_B - L_berm_A); %bermlengte [m]

    elseif max(talud_buiten)<15
        B = 0;
    end
end

%berekening L_talud
z_2_schatting = 1.5*Hm0; %dit kan precieser, zie pagina 13 TAW bovenaan en onderaan de pagina
[m]
if z_2_schatting>h_bkl
    z_2_schatting = h_bkl; %overslag over de buitenkruinlijn[m]
end

for n = 1:rij_buitenkruinlijn-1
    if ((toetspeil + z_2_schatting) > z_buitenprofiel(n))&&((toetspeil + z_2_schatting) <
z_buitenprofiel(n+1))
        L_talud_B = format_1(n,1)-((toetspeil + z_2_schatting) -
z_buitenprofiel(n))*format_1(n,5); %x-waarde B van uiteinde L_talud [m]
    elseif (toetspeil + z_2_schatting) == buitenkruin_h
        L_talud_B = 0; %x-waarde B buitenkruin is uiteinde voor L_talud [m]
    end
    if ((toetspeil - 1.5*Hm0) > z_buitenprofiel(n))&&((toetspeil - 1.5*Hm0) <
z_buitenprofiel(n+1))
        L_talud_A = format_1(n,1)-((toetspeil-1.5*Hm0) - z_buitenprofiel(n))*(format_1(n,5));
%x-waarde A van uiteinde L_talud [m]
    end
end

```

```

elseif (toetspeil - 1.5*Hm0) < z_buitenprofiel(1)
    L_talud_A = format_1(1,1);    %x-waarde A buitenkruin is uiteinde voor L_talud [m]
end
end
L_talud = abs(L_talud_B - L_talud_A);    %taludlengte [m]

%berekening gemiddeld buitentalud
tan_a    = (1.5*Hm0 + z_2_schatting)/(L_talud-B);    %taludhelling [-], zie figuur 7 TAW

%bepaling binnentalud
max_talud_binnen = abs(max(format_1(find(format_1(:,5) < 0),5))); %steilste taludhelling van
het binnentalud 1: [-]

```

berekening invloedsfactor berm

```

%if (B > 0.25*L_0)&(B < L_0) ZIE FORMULE 18
if B~=0
    r_B    = B/L_berm;    %invloed bermbreedte [-]

    if (d_h<0)&&(z_2_schatting>abs(d_h))&&(abs(d_h)>0)    %d_h is negatief als berm boven de
    stilwaterlijn ligt
        r_dh    = 0.5+0.5*cos(pi*d_h/z_2_schatting);    %invloed bermligging [-]
    elseif (2*Hm0>d_h)&&(d_h>=0)
        r_dh    = 0.5+0.5*cos(pi*d_h/(2*Hm0));
    elseif (abs(d_h)>=z_2_schatting)|| (d_h>=(2*Hm0))
        r_dh = 1;
    end

    Y_b    = 1-r_B*(1-r_dh);    %invloedsfactor van berm [-]
    if Y_b < 0.6
        Y_b = 0.6;
    elseif Y_b > 1
        Y_b = 1;
    end
elseif B == 0
    Y_b = 1;
end

```

berekening invloedsfactor ruwheid buitentalud

```

Y_f = 1;    %invloedsfactor van ruwheid buitentalud [-]

```

berekening invloedsfactor hoek van golfaanval

```

beta = 0; %hoek van golfaanval[graden] (dit is een defaultwaarde!)
if (abs(beta) >= 0) && (abs(beta) <= 80)
    Y_B = 1 - 0.0033*beta;    %invloedsfactor van hoek van golfaanval [-]
elseif abs(beta) > 80
    Y_B = 1 - 0.0033*80;
end

```

berekening invloedsfactor (verticale) wand

```

for i=1:rij_buitenkruinlijn-1
    if talud_buiten(i)<1
        graden = atand(1/talud_buiten(i));    %helling van (verticale) wand/taluddeel [graden]
        Y_v = 1.35 - 0.0078 * graden;    %invloedsfactor (verticale) wand [-]
    else
        Y_v = 1;
    end
end

```

```
end
end
```

berekening brekerparameter

http://www.modelit.nl/modelit/documentatieRWS/Wavix/Reports/Vuistregels_nauwk_golfpars.pdf

```
Tm_1_0 = 3.25*sqrt(Hm0);           %spectrale golfperiode bij de teen van de dijk, op basis
van aanname modelit [s]
s0      = 2*pi*Hm0/(g*Tm_1_0^2);    %golfsteilheid [-]
ksi      = tan_a/sqrt(s0);           %brekerparameter [-]
L0      = Hm0/s0;                   %golflengte [m]
```

berekening gemiddeld overslagdebiet

```
%De overgang naar (zeer) ondiepe voorlanden, waarbij de golfoverslag groter
%wordt dan met de formules in paragraaf 3.1, ligt ongeveer bij brekerparameter = 6. Om
%geen discontinuïteit te creëren, worden de formules in paragraaf 3.1
%aangehouden voor brekerparameter < 5 en geldt de formule voor (zeer) ondiepe
%voorlanden voor brekerparameter > 7, met als minimum waarde de formules uit paragraaf
%3.1. In het tussenliggende gebied wordt de logaritme van q lineair
%geïnterpoleerd tussen 5 < brekerparameter < 7. (TAW,2002)

if ksi <= 5
    q = 0.067/sqrt(tan_a)*Y_b*ksi*exp(-4.75*h_k/Hm0*ksi*Y_b*Y_f*Y_B*Y_v)*sqrt(g*Hm0^3);
    %gemiddeld overslagdebiet [m3/m/s], formule 24 TAW gemiddeld overslagdebiet met 4.75 als
    %normaalverdeelde stochast; mean=4.75; stdev=0.5; [m3/m/s]
    q_max = 0.2*exp(-2.6*h_k/Hm0*Y_f*Y_B)*sqrt(g*Hm0^3);    %maximum gemiddeld overslagdebiet
    [m3/m/s], formule 25 TAW
    if q > q_max
        q = q_max;
    end
elseif ksi >= 7
    q = (10^C)*exp(-h_k/(Y_f*Y_B*Hm0*(0.33+0.022*ksi)))/sqrt(g*Hm0^3); %formule 27 TAW
    %probabilistisch gemiddeld overslagdebiet
elseif (ksi > 5) && (ksi < 7)
    q_a = 0.067/sqrt(tan_a)*Y_b*5*exp(-4.75*h_k/Hm0*ksi*Y_b*Y_f*Y_B*Y_v)*sqrt(g*Hm0^3); %q bij
    ksi=5
    q_max_a = 0.2*exp(-2.6*h_k/Hm0*Y_f*Y_B)*sqrt(g*Hm0^3); %formule 25 TAW maximum
    overslagdebiet [m3/m/s]
    if q_a > q_max_a
        q_a = q_max_a;
    end
    q_b = (10^C)*exp(-h_k/(Y_f*Y_B*Hm0*(0.33+0.022*7)))/sqrt(g*Hm0^3); %q bij ksi=7
    q = ((ksi-5)/(7-5))*(q_b-q_a)+q_a; %interpolatie tussen q(ksi=5) en q(ksi=7)
end

q_lms = q*1000; %gemiddeld overslagdebiet [l/m/s]

disp(sprintf(...
    ' Gemiddeld overslagdebiet = %g l/m/s', ...
    q_lms))
```

bepaling golfspectrum (Bretschneider)

https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-017j-design-of-electromechanical-robotic-systems-fall-2009/assignments/MIT2_017JF09_p04.pdf

```
% disp(sprintf(...
```

```
% 'Square Root of Integral of Area of S: %g; 4*Hsig: %g', ...
% sqrt(sum(S)*mean(diff(wvec))), 1/4*Hm0));
```

overslagvolumes per golf

bepaling z_2

```
z_2 = ksi*Hm0*1.65*Y_b*Y_f*Y_B; %formule 5a TAW
if z_2/Hm0 > Y_f*Y_B*(4.0-1.5*sqrt(ksi))
    z_2 = Hm0*Y_f*Y_B*(4.0-1.5*sqrt(ksi)); %formule 5b TAW
end

% Kans op overslag
P_ov = exp(-(sqrt(-log(0.02))*h_k/z_2)^2); %de kans op overslag [-]
Tgem = sqrt(Hm0*11); %gemiddelde periode [s] bron: modelit.nl pagina 24
a = 0.84*Tgem*(q_lms/1000)/P_ov; %formule 29 TAW
V = a*(-log(1-P_ov))^(4/3); %overslagvolume bij overschrijdingskans [m^3/m]
N = 12*3600/Tgem; %aantal golven tijdens stormduur van 12 uur [-]
N_ov = P_ov*N; %aantal overslaande golven [-]
V_max = a*(log(N_ov))^(4/3); %maximale volume van 1 golf [m^3/m]

disp(sprintf(...
    ' Pv = %g', ...
    P_ov))
disp(sprintf(...
    ' Pov = %g', ...
    P_ov))
disp(sprintf(...
    ' Nov = %g', ...
    N_ov))
disp(sprintf(...
    ' V = %g m^3/m', ...
    V))
disp(sprintf(...
    ' Vmax = %g m^3/m', ...
    V_max))
```

bepaling gras type

```
matrix = xlsread('erosiebestendigheidsmatrixen.xlsx',1); %matrix met de combinaties van
taludhelling, grondcategorie, type gras, overslagdebiet
debiet = q*1000; %overslagdebiet [l/m/s]

if max_talud_binnen < 1.5
    max_talud_binnen = 1;
elseif (max_talud_binnen >= 1.5)&&(max_talud_binnen < 2)
    max_talud_binnen = 1.5;
elseif (max_talud_binnen >= 2)&&(max_talud_binnen < 2.5)
    max_talud_binnen = 2;
elseif (max_talud_binnen >= 2.5)&&(max_talud_binnen < 3)
    max_talud_binnen = 2.5;
elseif max_talud_binnen >= 3
    max_talud_binnen = 3;
end

if debiet <= 0.1
    gras_type = 4;
    disp(' Gras type = D')
elseif (debiet>0.1)&&(debiet <= 10)
```

```

    debiet = 1;
else
    debiet = 10;
end
if debiet > 0.1
    if
    find((matrix(:,1)==max_talud_binnen)&(matrix(:,2)==cat_grond)&(matrix(:,3)==debiet)&(matrix(:,5)==1))
        voldoet_matrix_rij =
    find((matrix(:,1)==max_talud_binnen)&(matrix(:,2)==cat_grond)&(matrix(:,3)==debiet)&(matrix(:,5)==1));
        if matrix(max(voldoet_matrix_rij),4)==4
            gras_type = 4;
            disp(' Gras type = D')
        elseif matrix(max(voldoet_matrix_rij),4)==3
            gras_type = 3;
            disp(' Gras type = C')
        elseif matrix(max(voldoet_matrix_rij),4)==2
            gras_type = 2;
            disp(' Gras type = B')
        elseif matrix(max(voldoet_matrix_rij),4)==1
            gras_type = 1;
            disp(' Gras type = A')
        end
    else
        gras_type = 1;
        disp(' Gras type = A (onvoldoende erosiebestendig)')
    end
end
end

```

plots

```

%plot profiel
if plot_profiel == 1
    X_waarden = format_1(:,1);
    Z_waarden = format_1(:,2);
    SWL_rij = ones(length(X_waarden),1)*toetspeil;
    Hm0_rij = ones(length(X_waarden),1)*(Hm0/2+toetspeil);
    figure(1);clf;
    plot(X_waarden,Z_waarden,X_waarden,SWL_rij,X_waarden,Hm0_rij);
    legend('Z','SWL','Hm0');
    grid;
    title('Dwarsprofiel n');
    xlabel('Afstand t.o.v. referentielijn(m)');
    ylabel('Hoogte t.o.v. N.A.P.(m)');
end

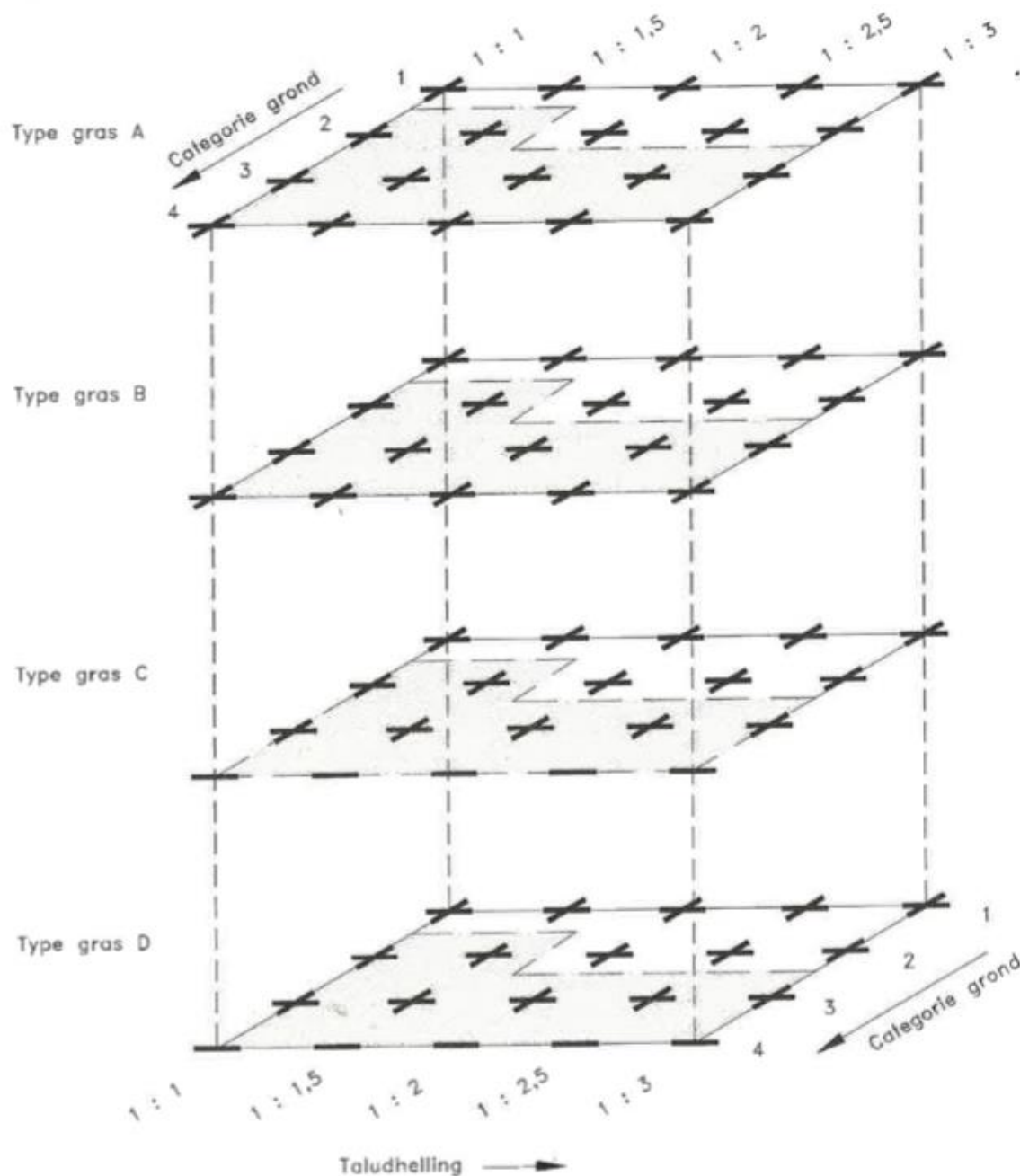
%plot golfspectrum
if plot_golfspectrum == 1
    figure(2);clf;
    wm = 2*pi/Tgem;
    wvec = [.1:.01:10];
    for j = 1:length(wvec),
        w = wvec(j) ;
        S(j) = 5/16 * wm^4 / w^5 * Hm0^2 * exp(-5 * wm^4 / 4 / w^4) ;
    end;
    % disp(sprintf(...

```

```
% 'Square Root of Integral of Area of S: %g; 4*Hsig: %g', ...  
% sqrt(sum(S)*mean(diff(wvec))), 1/4*Hm0));  
plot(wvec,S,'Linewidth',2);  
grid;  
title('Golf spectrum');  
xlabel('frequency \omega, rad/s');  
ylabel('S(\omega)');  
print -deps hw1_bret.eps  
end  
  
%plot kans op golfhoogte  
if plot_golfhoogtekans == 1  
    figure(3);clf;  
    x = [0:0.001:2];  
    p = raylpdf(x,Hm0);  
    plot(x,p)  
    grid;  
    title('Kans op golfhoogte');  
    xlabel('Golfhoogte(m)');  
    ylabel('Kans(-)');  
    print -deps hw1_bret.eps  
end  
end
```

[Published with MATLAB® R2016a](#)

Bijlage 5. Combinaties talud, grond en gras bij overslagdebiet



Figuur 5a Combinatie van talud, grond en gras bij overslagdebiet 0,1 l/m/sec

Verklaring:

+ combinatie met aanvaardbaar weinig erosie

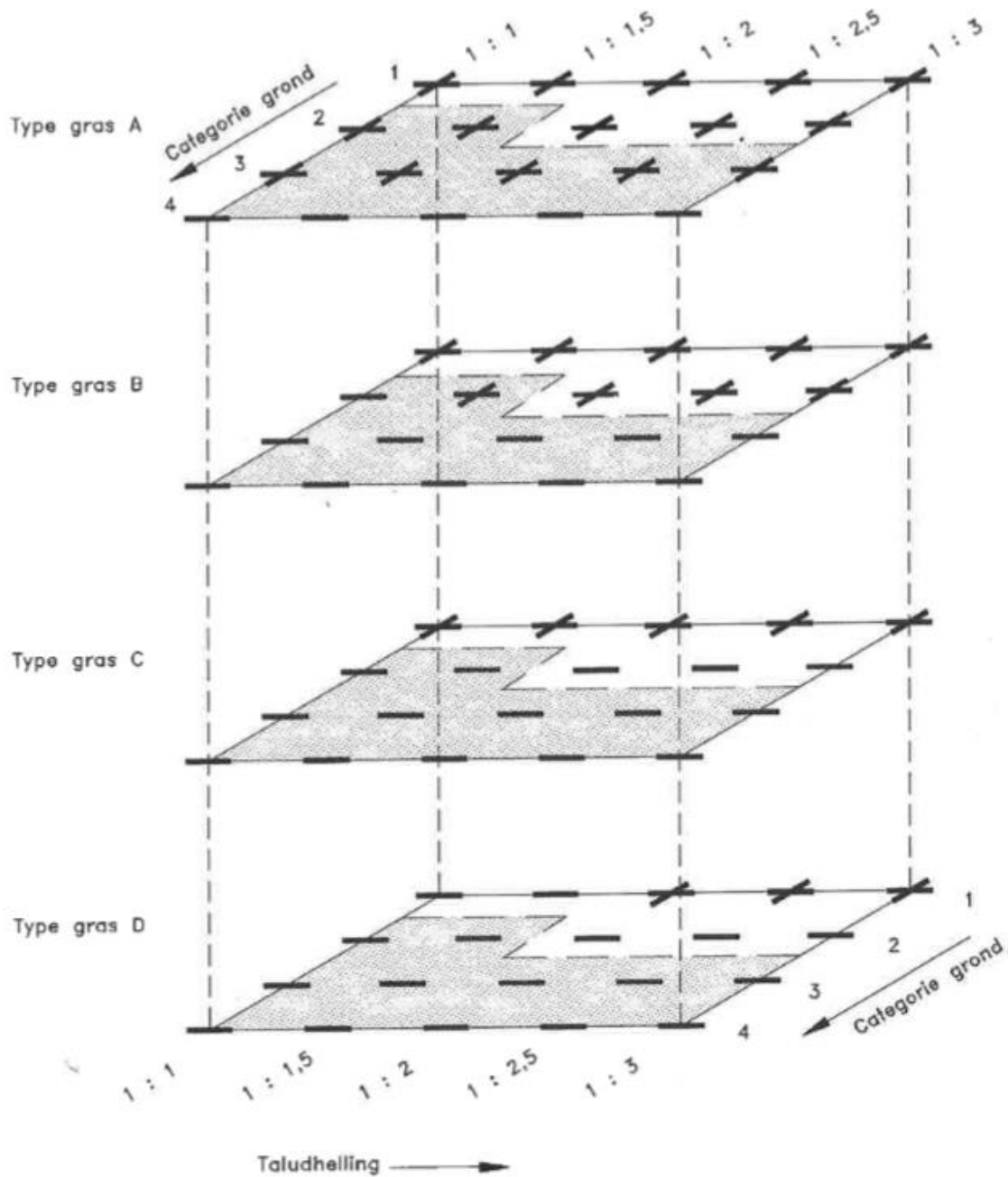
- combinatie met te veel erosie

Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven

Type gras zie figuur 2

Categorie grond zie paragraaf 2.5.2

Figuur 30: Combinatie van talud, grond en gras bij overslagdebiet 0,1 l/m/s (TAW, 1994)



Figuur 5b Combinaties van taluds, grond en gras bij overslagdebiet 1 l/m/sec

Verklaring:

+ combinatie met aanvaardbaar weinig erosie

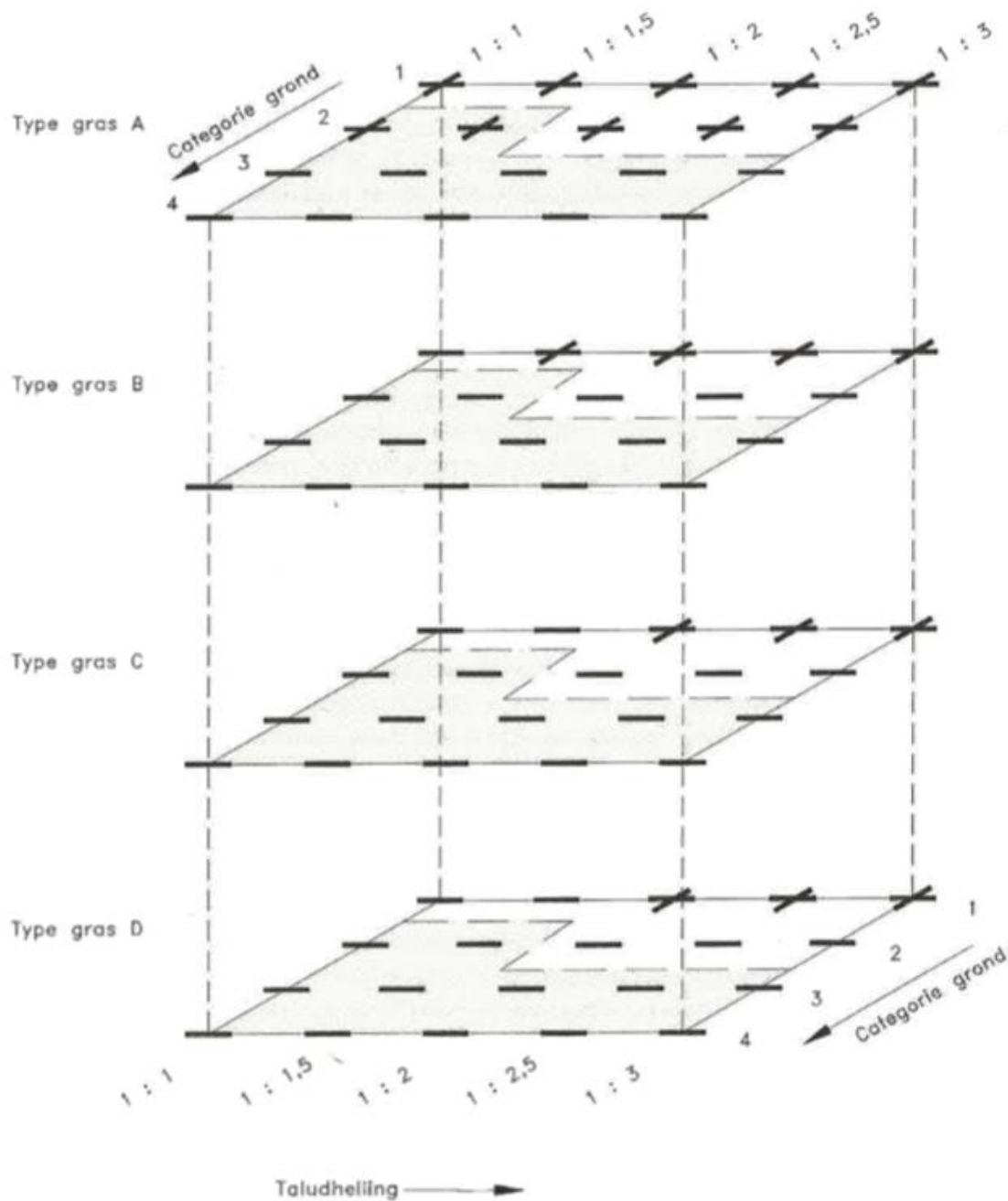
- combinatie met te veel erosie

Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven

Type gras zie figuur 2

Categorie grond zie paragraaf 2.5.2

Figuur 31: Combinatie van talud, grond en gras bij overslagdebiet 1 l/m/s (TAW, 1994)



Figuur 5c Combinaties van talud, grond en gras bij overslagdebiet 10 l/m/sec

Verklaring:

- + combinatie met aanvaardbaar weinig erosie
- combinatie met te veel erosie
- Gearceerd: mogelijk niet stabiel tegen afschuiven
- Type gras zie figuur 2
- Categorie grond zie paragraaf 2.5.2

Figuur 32: Combinatie van talud, grond en gras bij overslagdebiet 10 l/m/s (TAW, 1994)

Bijlage 6. Quick tool output

```

Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00200
Gemiddeld overslagdebiet = 0.79964 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.413752
Nov = 7473.54
V = 0.0167675 m^3/m
Vmax = 0.071817 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00201
Gemiddeld overslagdebiet = 0.0114455 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.246964
Nov = 4460.86
V = 0.000402082 m^3/m
Vmax = 0.00159061 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00202
Gemiddeld overslagdebiet = 2.29897 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0373792
Nov = 681.761
V = 0.528446 m^3/m
Vmax = 1.49191 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00203
Gemiddeld overslagdebiet = 0.231271 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.33492
Nov = 6169.4
V = 0.00587461 m^3/m
Vmax = 0.0244429 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00204
Gemiddeld overslagdebiet = 8.26038 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.78892
Nov = 14389.2
V = 0.0899632 m^3/m
Vmax = 0.423513 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00205
Gemiddeld overslagdebiet = 0.646889 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.560179
Nov = 10217.1
V = 0.00992205 m^3/m
Vmax = 0.0444953 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00206
Gemiddeld overslagdebiet = 4.08622 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.739932
Nov = 13629.9
V = 0.0469817 m^3/m
Vmax = 0.219504 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00207
Gemiddeld overslagdebiet = 1.63445 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.685781
Nov = 12892.9
V = 0.0198664 m^3/m
Vmax = 0.0920961 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00208
Gemiddeld overslagdebiet = 0.108319 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.390542
Nov = 7420.04
V = 0.0022877 m^3/m
Vmax = 0.00978793 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00209
Gemiddeld overslagdebiet = 1.62623 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.653811
Nov = 12422
V = 0.0205159 m^3/m
Vmax = 0.0946088 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00210
Gemiddeld overslagdebiet = 0.254889 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.127955
Nov = 2512.57
V = 0.0158976 m^3/m
Vmax = 0.0572278 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00211
Gemiddeld overslagdebiet = 1.20496 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.580051
Nov = 8966.54
V = 0.0210596 m^3/m
Vmax = 0.0926645 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00212
Gemiddeld overslagdebiet = 0.0440937 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.266227
Nov = 4174.61
V = 0.00165524 m^3/m
Vmax = 0.0064792 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00213
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00981119 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.168619
Nov = 2625.1
V = 0.000585702 m^3/m
Vmax = 0.00212414 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00214
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00265935 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0886881
Nov = 1342.88
V = 0.00031034 m^3/m
Vmax = 0.00099958 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00215
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00441204 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0660592
Nov = 1000.24
V = 0.00069125 m^3/m
Vmax = 0.00210588 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00216
Gemiddeld overslagdebiet = 0.0782731 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.268203
Nov = 3811.64
V = 0.00321811 m^3/m
Vmax = 0.0124139 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00217
Gemiddeld overslagdebiet = 0.0120547 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.179703
Nov = 2509.47
V = 0.000752794 m^3/m
Vmax = 0.00270932 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00218

```

```

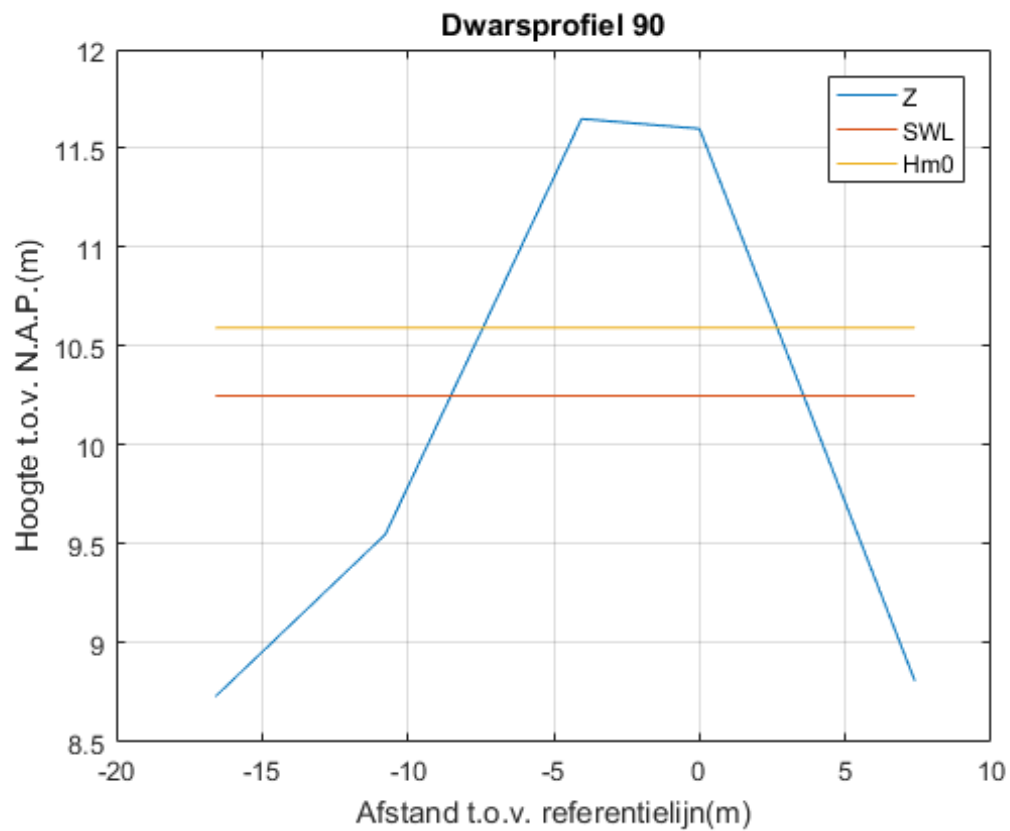
Gemiddeld overslagdebiet = 0.0169774 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.180472
Nov = 2549.69
V = 0.00104348 m^3/m
Vmax = 0.00376568 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00219
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00164972
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0956393
Nov = 1367.37
V = 0.000189071 m^3/m
Vmax = 0.000611021 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00220
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00151605
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0864986
Nov = 1251.85
V = 0.000189784 m^3/m
Vmax = 0.000603349 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00221
Gemiddeld overslagdebiet = 0.00302289
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0990352
Nov = 1470.05
V = 0.000322249 m^3/m
Vmax = 0.00105536 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00222
Gemiddeld overslagdebiet = 0.000113914
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0302696
Nov = 478.122
V = 3.73368e-05 m^3/m
Vmax = 9.78365e-05 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00223
Gemiddeld overslagdebiet = 0.000120356
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.0305045
Nov = 478.329
V = 3.94313e-05 m^3/m
Vmax = 0.000103334 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00224
Gemiddeld overslagdebiet = 3.53687e-07
l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.00407623
Nov = 65.3542
V = 8.48098e-07 m^3/m
Vmax = 1.32227e-06 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00225
Gemiddeld overslagdebiet = 0.042034 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.242559
Nov = 3776.2
V = 0.0017444 m^3/m
Vmax = 0.00671888 m^3/m
Gras type = D
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00226
Gemiddeld overslagdebiet = 0.156116 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.274477
Nov = 4156.02
V = 0.00588668 m^3/m
Vmax = 0.0230261 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00227
Gemiddeld overslagdebiet = 0.461166 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.153209
Nov = 2368.34
V = 0.0305151 m^3/m
Vmax = 0.108743 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00228
Gemiddeld overslagdebiet = 4.68556 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.74526
Nov = 11602.4
V = 0.0632871 m^3/m
Vmax = 0.289034 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00229
Gemiddeld overslagdebiet = 3.42805 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.701181
Nov = 10916.1
V = 0.049213 m^3/m
Vmax = 0.222807 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00230
Gemiddeld overslagdebiet = 0.942212 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.473614
Nov = 7480.96
V = 0.0197375 m^3/m
Vmax = 0.0845503 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00231
Gemiddeld overslagdebiet = 3.65075 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.558017
Nov = 8565.81
V = 0.0667904 m^3/m
Vmax = 0.291919 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00232
Gemiddeld overslagdebiet = 15.5832 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.834754
Nov = 12233
V = 0.199629 m^3/m
Vmax = 0.91859 m^3/m
Gras type = A (onvoldoende
erosiebestendig)
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00233
Gemiddeld overslagdebiet = 8.19328 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.761997
Nov = 10641
V = 0.120664 m^3/m
Vmax = 0.544294 m^3/m
Gras type = A
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00234
Gemiddeld overslagdebiet = 14.7885 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.807078
Nov = 11270.5
V = 0.205628 m^3/m
Vmax = 0.935226 m^3/m
Gras type = A (onvoldoende
erosiebestendig)
-----
Dijkvak: IJ_1_52-1_dk_00235
Gemiddeld overslagdebiet = 1.77459 l/m/s
Pv = 0.95
Pov = 0.597893
Nov = 8548.14
V = 0.0325332 m^3/m
Vmax = 0.142149 m^3/m
Gras type = A
-----

```

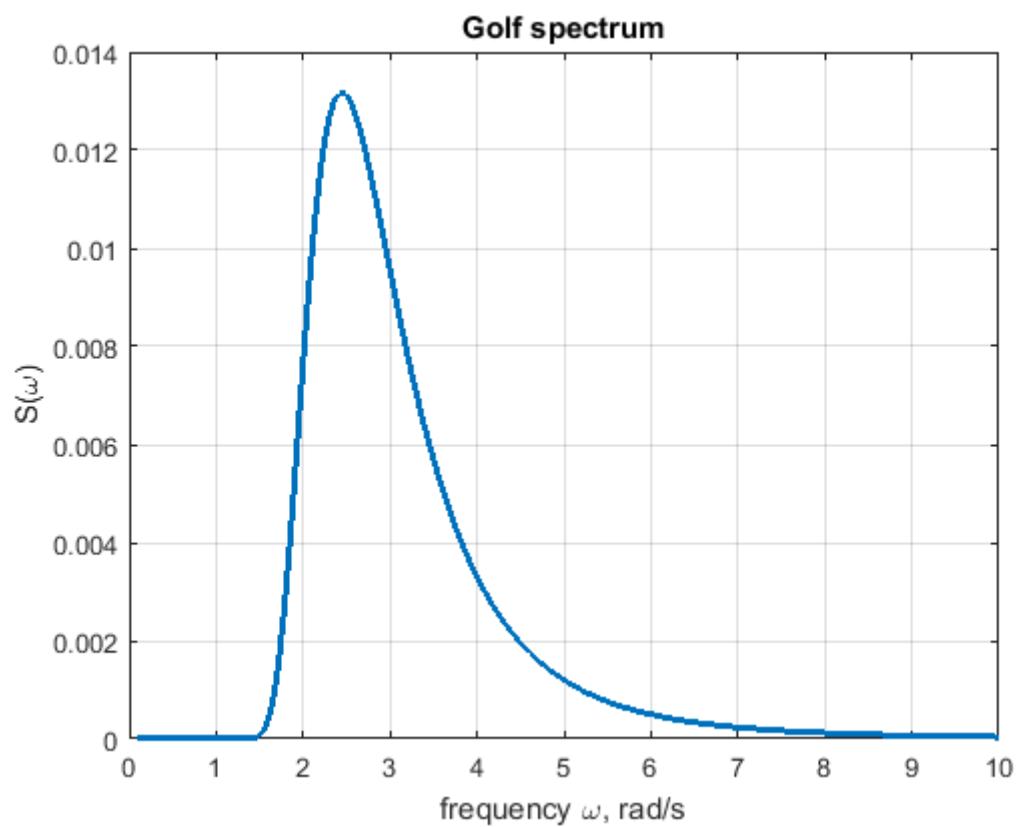
Dijkvak	Q_gem	Gras type*	h_k	Kruinhoogte
200.0000	0.7996	1.0000	0.4900	11.0600
201.0000	0.0114	4.0000	0.6400	11.1900
202.0000	2.2990	1.0000	0.5800	11.0400
203.0000	0.2313	1.0000	0.5500	11.0100
204.0000	8.2604	1.0000	0.2600	10.7100
205.0000	0.6469	1.0000	0.4400	10.8800
206.0000	4.0862	1.0000	0.3000	10.7300
207.0000	1.6344	1.0000	0.3300	10.7400
208.0000	0.1083	1.0000	0.5100	10.9100
209.0000	1.6262	1.0000	0.3400	10.7500
210.0000	0.2549	1.0000	0.5500	10.9300
211.0000	1.2050	1.0000	0.5900	10.9700
212.0000	0.0441	4.0000	0.8797	11.2397
213.0000	0.0098	4.0000	1.0257	11.3857
214.0000	0.0027	4.0000	1.2919	11.6319
215.0000	0.0044	4.0000	1.3297	11.6697
216.0000	0.0783	4.0000	1.0916	11.4216
217.0000	0.0121	4.0000	1.2213	11.5113
218.0000	0.0170	4.0000	1.2271	11.5171
219.0000	0.0016	4.0000	1.3487	11.6287
220.0000	0.0015	4.0000	1.3642	11.6342
221.0000	0.0030	4.0000	1.2965	11.5665
222.0000	0.0001	4.0000	1.3771	11.6371
223.0000	0.0001	4.0000	1.3971	11.6471
224.0000	0.0000	4.0000	1.5200	11.7600
225.0000	0.0420	4.0000	0.9415	11.1815
226.0000	0.1561	1.0000	0.9106	11.1506
227.0000	0.4612	1.0000	0.8773	11.1173
228.0000	4.6856	1.0000	0.4200	10.6600
229.0000	3.4281	1.0000	0.4700	10.7100
230.0000	0.9422	1.0000	0.6300	10.8600
231.0000	3.6507	1.0000	0.5500	10.7700
232.0000	15.5832	1.0000	0.3800	10.6000
233.0000	8.1933	1.0000	0.5100	10.7200
234.0000	14.7885	1.0000	0.4500	10.6600
235.0000	1.7746	1.0000	0.6700	10.8700

*Gras type 1 = A; Gras type 2 = B; Gras type 3 = C; Gras type 4 = D;

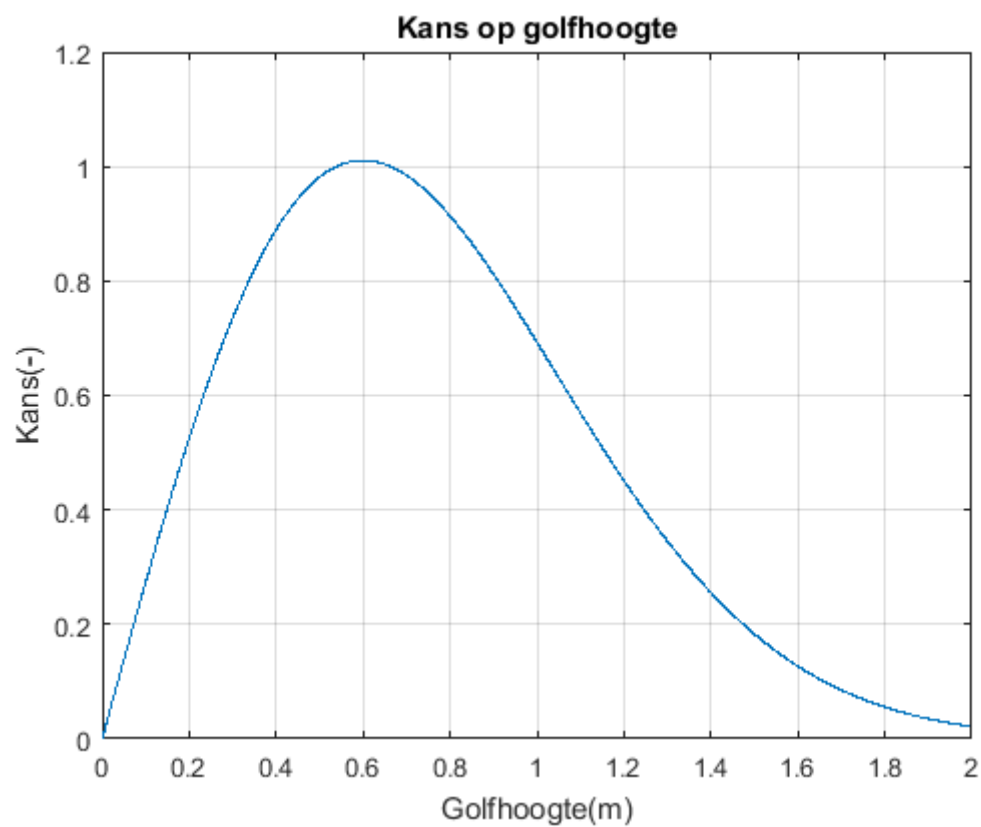
Bijlage 7. Plots per dwarsprofiel



Figuur 33: Plot dwarsprofiel 90

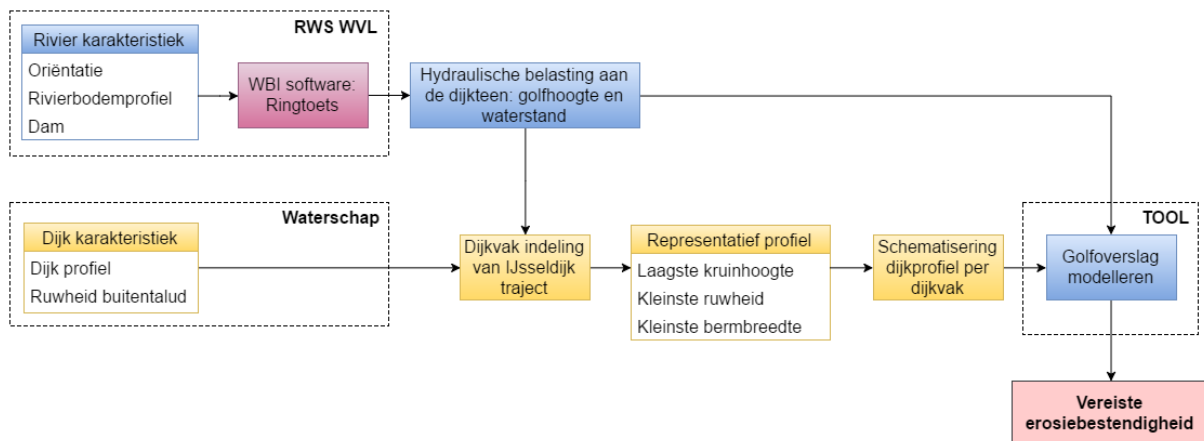


Figuur 34: Plot golfspectrum dwarsprofiel 90



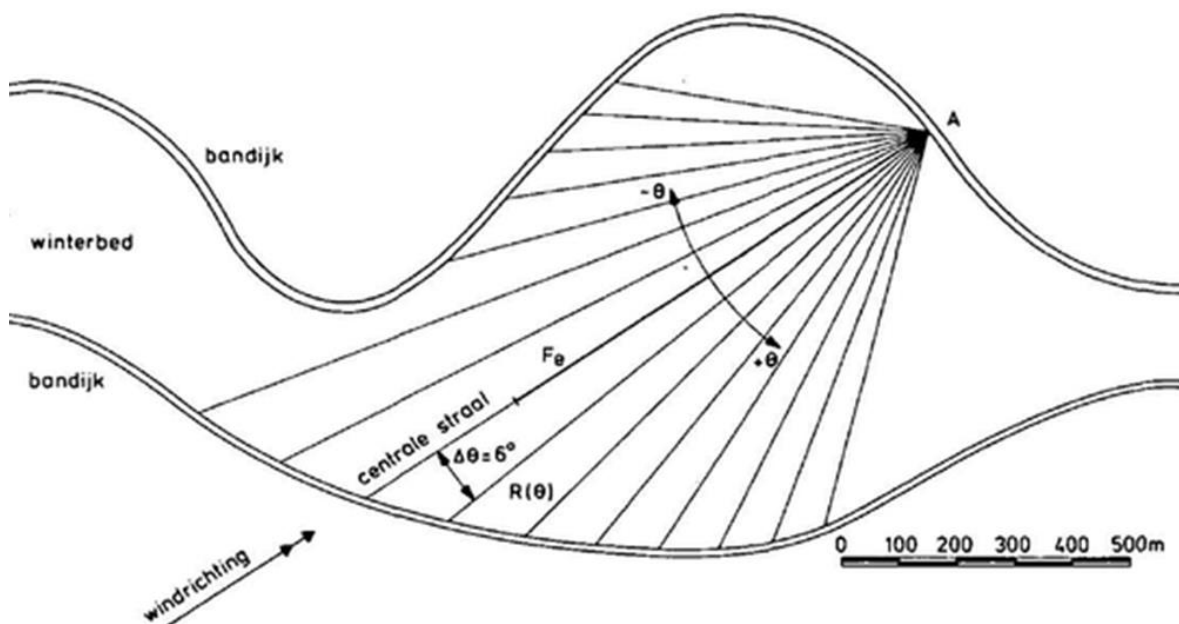
Figuur 35: Plot kans op golfhoogte dwarsprofiel 90

Bijlage 8. Dijkvakindeling



Figuur 36: Gedetailleerdere dijkvakindeling methode

Bijlage 9. Bepaling van windrichting



θ in graden	$\cos \theta$	$\cos^2 \theta$	$R(\theta)$ in meters	$R(\theta) \cdot \cos^2 \theta$	De effectieve strijklengte, F_e volgt uit: $F_e = \frac{\sum R(\theta) \cdot \cos^2 \theta}{\sum \cos \theta}$ $F_e = \frac{11220}{13,512} = 830 \text{ m}$
- 42	0,743	0,552	520	287	
- 36	0,809	0,654	570	373	
- 30	0,866	0,750	640	480	
- 24	0,914	0,835	720	601	
- 18	0,951	0,904	830	750	
- 12	0,978	0,956	1340	1281	
- 6	0,995	0,990	1240	1228	
0	1,000	1,000	1140	1140	
6	0,995	0,990	1050	1040	
12	0,978	0,956	980	937	
18	0,951	0,904	920	832	
24	0,914	0,835	880	735	
30	0,866	0,750	830	623	
36	0,809	0,654	780	510	
42	0,743	0,552	730	403	
$\sum \cos \theta = 13,512$ $\sum R \theta \cdot \cos^2 \theta = 11220$					

Figuur 37: Bepaling van windrichting (Avans Hogeschool, 2017)