



Hoogeveen, S.J.W.

S1608606

Bachelor eindopdracht

Civiele Techniek

Universiteit Twente

EEN ONDERZOEK NAAR DE TOELAATBARE OVERSLAGDEBIETEN BIJ VARIK

**UNIVERSITY
OF TWENTE.**

SWECO 

Colofon

Titel	Een onderzoek naar de toelaatbare overslagdebieten bij Varik
Versie	3.0
Uitgevoerd bij	Sweco De Holle Bilt 22 3732 HM, De Bilt www.sweco.nl
In opdracht van	Universiteit Twente Faculteit Engineering Technology Cursus: BSc Civiele Techniek Postbus 217 7500 AE Enschede www.cit.utwente.nl
Auteur	S.J.W. (Steven) Hoogeveen S1608606 s.j.w.hoogeveen@student.utwente.nl
Begeleiders	Universiteit Twente Ir. M.R.A. (Matthijs) Gensen PhD kandidaat (WEM) m.r.a.gensen@utwente.nl Sweco Ir. J. (Jana) Steenbergen-Kajabová Senior specialist waterkeringen Jana.steenbergen@sweco.nl
Tweede examinerator	Universiteit Twente Ing. K.M. (Kasper) van Zuilekom Docent, Centre for Transport Studies (CTS) k.m.vanzuilekom@utwente.nl
Plaats	De Bilt
Datum	28 juni 2018

i. Voorwoord

Voor u ligt mijn bachelor opdracht 'Een onderzoek naar de toelaatbare overslagdebieten bij Varik'. Dit is een onderzoek uitgevoerd in opdracht van ingenieursbureau 'Sweco'. Het verslag is geschreven in het kader van mijn afstuderen aan de opleiding Civiele Techniek aan de Universiteit Twente in Enschede. Van april 2018 tot en met juni 2018 ben ik bezig geweest met het onderzoek en het schrijven van dit verslag.

Samen met mijn begeleider vanuit Sweco, Jana Steenbergen-Kajabová, heb ik de onderzoeksvraag voor deze scriptie opgesteld. Het onderzoek dat ik uitgevoerd heb was in zekere mate erg complex vanwege de breedte van dit onderwerp. Na uitvoerig kwantitatief onderzoek heb ik de onderzoeksvraag kunnen beantwoorden, en daarmee ook mijn doelstellingen behaald. Tijdens dit onderzoek stonden mijn begeleider vanuit Sweco, Jana Steenbergen-Kajabová, en mijn begeleider vanuit mijn de Universiteit Twente, Matthijs Gensen, altijd voor mij klaar. Zij hebben steeds mijn vragen beantwoord waardoor ik verder kon met mijn onderzoek.

Bij dezen wil ik graag mijn begeleiders bedanken voor de fijne begeleiding, de feedback en hun ondersteuning tijdens dit traject. Ook wil ik alle respondenten bedanken die mee hebben gewerkt aan dit onderzoek. Zonder hun medewerking en input had ik dit onderzoek nooit kunnen voltooien.

Tot slot wil ik mijn ouders in het bijzonder bedanken. Door het vertrouwen en de morele steun hebben zij mij geholpen dit onderzoek tot een goed einde te brengen.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Steven Hoogeveen

28-4-2018

ii. Samenvatting

Er wordt gesproken van een overschrijding van de uiterste grenstoestand (UGT) wanneer er sprake is van 'verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade'. Dit is in de nieuwe normeringen voor waterkeringen vastgelegd middels wetten. De bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT), oftewel de situatie wanneer de waterkerende functie nog intact is maar ingrijpen wel geboden is, is daarentegen niet duidelijk geformuleerd in Nederland. Veel waterschappen en veiligheidsregio's buigen momenteel hun hoofd over dit aspect tijdens het ontwerpproces omdat er geen duidelijke richtlijnen voor zijn. Dit onderzoek levert een bijdrage om deze richtlijnen te verduidelijken.

De doelstelling van het onderzoek zal zijn om inzicht te verkrijgen in de BGT, met betrekking tot overslag, gezien de verschillende functies van de dijk bij Varik in acht nemend. Het doel zal ook zijn om een eerste inschatting te maken van hoe deze kwantitatieve bevindingen gegeneraliseerd zouden kunnen worden naar eisen of uitgangspunten voor andere dijken. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *Wat is de bruikbaarheidsgrenstoestand, met betrekking tot overslag, gezien de verschillende functies in het traject tussen TG085 en TG095 bij Varik?*

Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag is er een literatuurstudie uitgevoerd in combinatie met interviews met experts van Rijkswaterstaat en Waterschap Rivierenland. Ook is er gebruik gemaakt van het probabilistisch model voor de hydraulische belastingen genaamd Hydra-NL. In dit onderzoek zijn eerst de relevante functies geïdentificeerd. Van deze relevante functies zijn daarna de BGT opgesteld. Vervolgens is er met Hydra-NL nagegaan op wat voor manier er overslag optreedt bij Varik. Uit dit model bleek dat er nagenoeg geen overslag op zal treden bij Varik. Ook bleek uit de resultaten dat er met een eventuele verhoging van het toelaatbaar overslagdebiet bij Varik, tientallen centimeters aan kruinhoogte bespaard kunnen worden.

Of deze besparing van de kruinhoogte rendabel is, is zeer locatie specifiek. Daarom moet er op dijkvakniveau en niet op dijktrajectniveau worden gekeken naar het toelaatbare overslagdebiet. Er is niet één lijn te trekken in een algemeen toelaatbaar overslagdebiet, maar dit kan per locatie onderzocht worden aan de hand van een maatschappelijke kostenbatenanalyse (MKBA).

Voor de toekomst kan er ook geconcludeerd worden dat een verhoging van het toelaatbare overslagdebiet rendabel kan zijn voor specifieke dijken, maar dat de eisen van de BGT niet mogen interfereren met de UGT. De UGT moet altijd de leidende norm zijn bij het dijkontwerp.

Inhoudsopgave

Colofon	3
i. Voorwoord.....	4
ii. Samenvatting.....	5
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding.....	8
1.2 Doelstellingen en onderzoeksvragen	10
1.3 Methodologie	12
1.4 Leeswijzer	13
2 Theoretisch kader.....	14
2.1 Begrippen	14
2.2 Modellen	16
3 Locatieverkenning	18
3.1 De Waal	18
3.2 Landschap en ecologie	18
3.3 Wonen, werken en recreatie.....	19
3.4 Cultuurhistorie en archeologie.....	19
4 Functies bij Varik	20
4.1 Waterkerend	20
4.2 Verkeersinfrastructuur	20
4.3 Functies onder waterbezwaar.....	21
4.3.1 Achter de dijk.....	21
4.3.2 Monumenten.....	21
4.3.3 Glastuinbouw en landbouw	23
4.4 Functies onder bouwbesluit.....	24
4.5 Veiligheid gerelateerde functies	25
4.5.1 Inspectie	25
4.5.2 Reparatie	26
4.5.3 Evacuatie	26
5 Kwantitatieve analyse	27
5.1 Waterkerend	27
5.2 Verkeersinfrastructuur	27
5.2.1 Gemotoriseerd verkeer	27

5.2.2	Personen verkeer	29
5.3	Funcities onder waterbezwaar	31
5.4	Funcities onder bouwbesluit	31
5.4.1	Woningen in de dijk	31
5.4.2	Monumenten	32
5.5	Veiligheid gerelateerde funcities	32
5.5.1	Evacuatie	32
5.5.2	Reparatie	32
5.5.3	Inspectie	33
6	Hydra-nl	34
6.1	Uitgangspunten	34
6.2	Overslagdebiet bij Varik	35
6.3	Relatie HBN en overslagdebiet	36
6.4	Verificatie	39
6.5	Generalisatie en beleid	39
6.5.1	Generalisatie	39
6.5.2	Beleid	40
7	Conclusie	42
8	Discussie	44
9	Aanbevelingen	45
10	Verwijzingen	46
	Bijlage A: Interviews en correspondenties	50
	Bijlage B: Uitgangspunten Hydra-NL	51

1 Inleiding

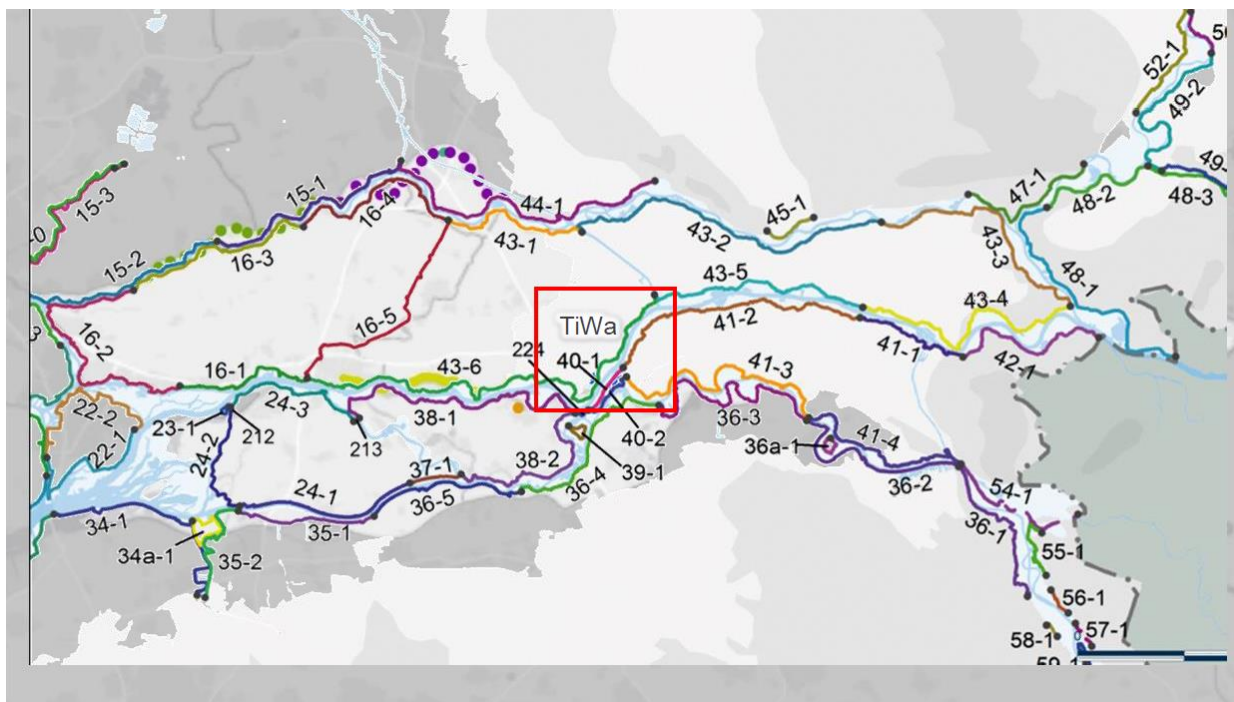
Waterveiligheid is een begrip wat zeer actueel is. Veel landen kampen met overstromingsgevaar door onder andere bodemzetting en een rijzende zeespiegel. Nederland heeft momenteel één van de veiligste delta's (Steketee, 2013). Zaak is om dat zo te houden. Via nauwe samenwerkingen en innovatie kan dit bewerkstelligd worden.

1.1 Aanleiding

In een rivierdelta is het werken aan waterveiligheid nooit af. Na de hoogwaters in 1993 en 1995 volgden in Nederland omvangrijke projecten om de rivieren meer ruimte te geven en de dijken te versterken. De inmiddels vrijwel afgeronde inspanningen uit het programma Ruimte voor de Rivier zijn voor de lange(re) termijn echter niet voldoende door een stijgende zeespiegel, bodemdaling en grotere weer-extremen. (Ministeries I&M en EZ, 2017; Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016)

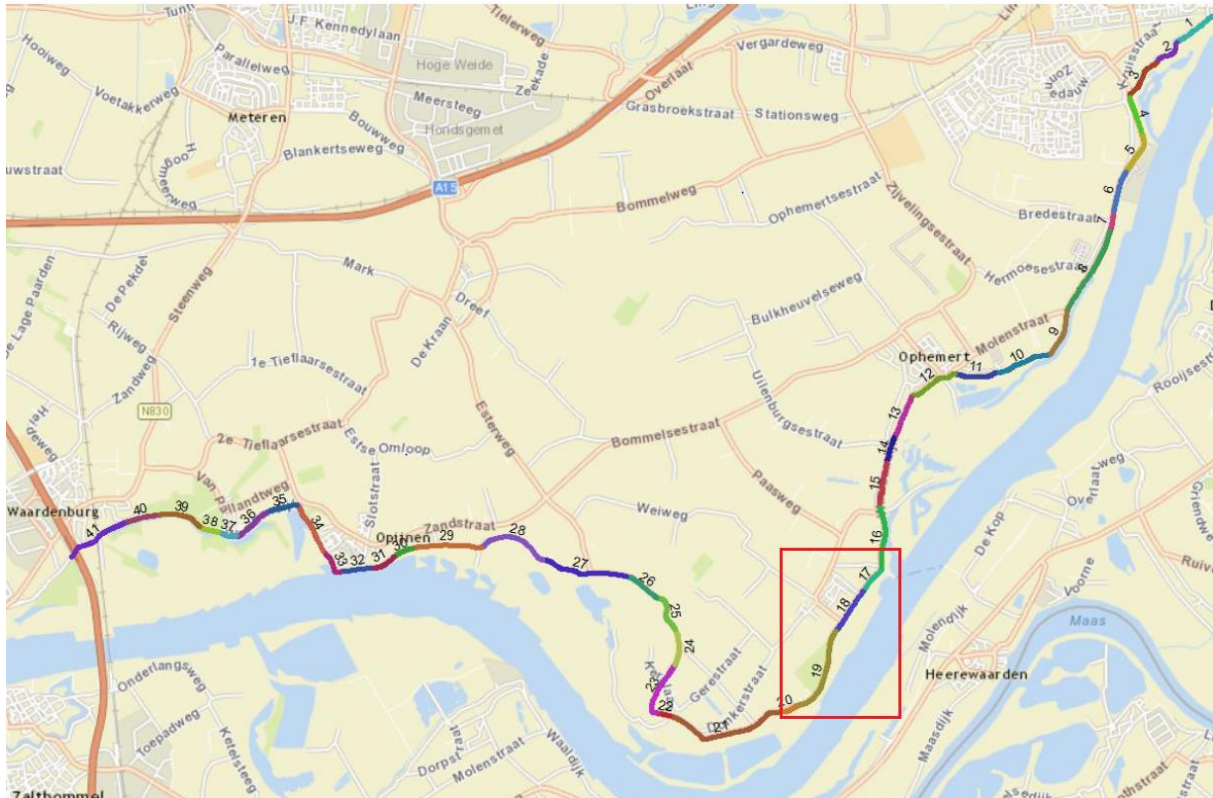
In het Deltaprogramma maken de Ministeries van I&M en EZ plannen om Nederland nu en in de toekomst te beschermen tegen overstromingen. De provincies Gelderland, Noord-Brabant en Zuid-Holland, de aangrenzende gemeentes en de waterschappen Rijn & IJssel en Rivierenland (de regio) hebben samen met Rijkswaterstaat in 2014 de Voorkeursstrategie Waal en Merwedebestrooming opgesteld (Stuurgroep Delta-Rijn, 2013). Met deze strategie zetten zij in op een combinatie van dijkversterking en rivierverruiming.

In 2015 is Waterschap Rivierenland met instemming van het Rijk gestart met een verkenning naar de *dijkversterking Tiel-Waardenburg (TiWa)*. Dit traject bestaat uit de primaire waterkering langs de noordzijde van de rivier de Waal tussen Tiel en Waardenburg. De globale ligging is weergegeven in Figuur 1-1.



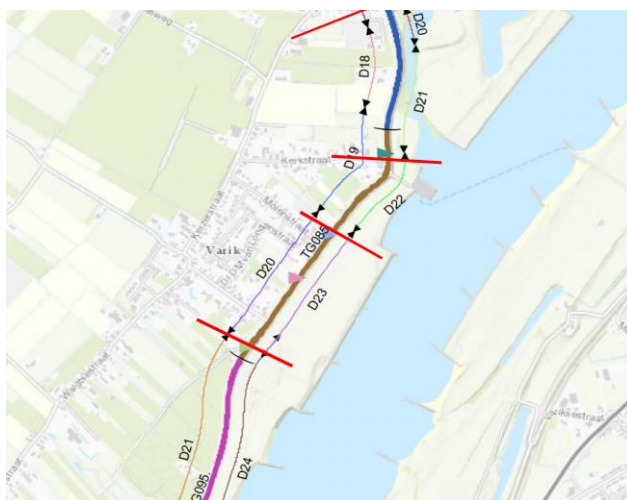
Figuur 1-1 Ligging van TiWa (rood omkaderd) binnen het beheersgebied van Waterschap Rivierenland (Middelkoop - Molenaar, Taekema, Roosendaal, & Moerland, 2018)

De Waterwet van 2017 schrijft voor dit normtraject 43-6 een maximum toelaatbare overstromingskans van 1 / 10.000 per jaar (signaleeringswaarde 1 / 30.000 per jaar) voor (Rijksoverheid, 2018). Dit dijktraject is opgedeeld in 41 dijkvakken, elke met zijn eigen karakteristieken (Middelkoop - Molenaar, Taekema, Roosendaal, & Moerland, 2018). De dijkvakken waarop ingezoomd wordt zijn 17 tot en met 19. Deze bevinden zich bij Varik en zijn te zien in Figuur 1-2.



Figuur 1-2 Ligging dijkvakken 17 tot en met 19 (rood omkaderd)

Deze dijkvakken kunnen vervolgens ook opgedeeld worden aan de hand van dijkpalen. Het betreft dijkpaal TG095 tot en met TG085. Dit traject is in Figuur 1-3 bruin gearceerd. TG085 staat op het noordelijke deel van het traject, terwijl TG085 het meest zuidelijk ligt.



Figuur 1-3 DG095 - DG085 (bruin gearceerd)

De waterkeringen op dit traject voldoen niet aan de wettelijke normen (Brader, Loon, & Minnebruggen, 2016). Het betreft de oude normering uit de derde toets ronde en betreft ook de nieuwe normering die op 1 januari 2017 van kracht is geworden (Rijkswaterstaat, 2017). Daarom is deze dijkversterking opgenomen in het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). In het HWBP-programma zijn de afgekeurde waterkeringen opgenomen en die worden vervolgens geprogrammeerd voor de versterking op basis van de prioritering. Deze prioritering is afhankelijk van de grootte en eventuele gevolgen van falen. Een HWBP-project doorloopt verschillende fasen: de initiatieffase, de verkenningsfase, de plan-uitwerkingsfase en de realisatiefase. De dijkversterking Tiel-Waardenburg bevindt zich op moment van schrijven in de plan-uitwerkingsfase.

Een waterkering moet naast een waterkerende functie vaak nog andere functies vervullen. Zo bevinden zich op vele waterkeringen een weg, huis of een sluis om de passage van schepen mogelijk te maken. Naast de waterkerende functie vervult de dijk dus vaak ook andere functies zoals wonen, werken, verkeer en landbouw. Voor al deze functies zijn eisen te formuleren, niet alleen betrouwbaarheidseisen maar ook gebruikseisen (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tánczos, 2016). Deze gebruikseisen van de dijk zijn niet terug te voeren op de normen uit de Waterwet (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2009). De Waterwet stelt alleen eisen aan 'de kans op het verlies van waterkerend vermogen van de waterkering, met substantiële economische schade of slachtoffers als gevolg' (Rijksoverheid, 2018; Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2009). De eisen met betrekking tot de overige functies van de dijk mogen dan ook afwijken ten opzichte van de eisen van de Waterwet. Deze eisen of 'grenstoestanden' is de overgang van de gewenste situatie, waarbij de waterkering naar behoren functioneert, naar een toestand waarbij dat niet langer het geval is (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tánczos, 2016). Twee soorten grenstoestanden zijn te onderscheiden: de uiterste grenstoestand (UGT) en bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT).

Er wordt gesproken van een overschrijding van de UGT wanneer er sprake is van 'verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade' (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tánczos, 2016). Dit is in de nieuwe normeringen voor waterkeringen vastgelegd middels wetten. De BGT, oftewel de situatie wanneer de waterkerende functie nog intact is maar ingrijpen wel geboden is (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tánczos, 2016), is daarentegen niet duidelijk geformuleerd in Nederland. Veel waterschappen en veiligheidsregio's buigen momenteel hun hoofd over dit aspect tijdens het ontwerpproces omdat er geen duidelijke richtlijnen voor zijn.

1.2 Doelstellingen en onderzoeksvragen

Op basis van de aanleiding kan het doel van het onderzoek geformuleerd worden. Uit deze doelstelling zal een hoofdvraag volgen, die weer opgedeeld kan worden in een vijftal deelvragen. De doelstelling van het onderzoek zal zijn om inzicht te verkrijgen in de BGT, met betrekking tot overslag, gezien de verschillende functies van de dijk bij Varik in acht nemend. Het doel zal ook zijn om een eerste inschatting te maken van hoe deze kwantitatieve bevindingen gegeneraliseerd zouden kunnen worden naar eisen of uitgangspunten voor andere dijken.

Uit deze doelstelling is een hoofdvraag geformuleerd, deze luidt als volgt:

Wat is de bruikbaarheidsgrenstoestand, met betrekking tot overslag, gezien de verschillende functies in het traject tussen TG085 en TG095 bij Varik?

Deze vraag bestaat uit meerdere componenten, en is daardoor ook op te delen in een aantal deelvragen. Uit de hoofdvraag volgen een aantal zaken die duidelijkheid nodig hebben. Wat is overslag? Wanneer spreekt men van een toelaatbare overslag? Welke functies kan een dijk hebben? Uit deze vragen volgen een aantal begrippen waar verder naar gekeken zal worden, dit zijn: 'overslag', 'overstroming', 'overlast' en 'bruikbaarheidsgrenstoestand'. Dit geeft de volgende deelvraag:

(1) *Wanneer wordt er gesproken van 'een overstroming' en 'overlast'?*

Ook zal de situatie in Varik moeten worden onderzocht. Welke functies bevinden zich op en achter de dijk? Naast een waterkerende functie vervullen dijken vaak ook andere functies zoals het faciliteren van verkeer en woningen. Samengevat geeft dit de volgende deelvraag.

(2) *Welke functies kunnen geïdentificeerd worden in het traject tussen TG085 en TG095 bij Varik?*

De eerste twee deelvragen zullen beide een groot deel van het theoretisch kader beslaan. Echter, zal er een koppeling gemaakt moeten worden tussen beide vragen voordat er gekeken kan worden naar de locatie specifieke eisen. De BGT zal hierbij centraal staan, deze zal kwantitatief uitgewerkt worden. De deelvraag die hieruit volgt:

(3) *Wat is de bruikbaarheidsgrenstoestand van de verschillende functies?*

Als eenmaal de bruikbaarheidsgrenstoestand van alle functies bij Varik geïdentificeerd zijn, kan er worden gekeken naar de 'wanneer' vraag. Wanneer treedt de BGT op? Dit is verwerkt in de vierde deelvraag:

(4) *Wat is de verwachte frequentie en debiet van overslag bij Varik?*

De volgende stap in dit onderzoek is om de uitkomsten van deelvraag 3 en 4 te combineren tot een conclusie. Met deze conclusie wordt direct ook de hoofdvraag beantwoord.

De doelstellingen van het onderzoek zijn nu echter nog niet vervuld, er moet nog worden gekeken naar de toepasbaarheid van de uitkomsten voor andere dijken. Er wordt getracht een inschatting te maken wat er voor nodig is om de uitkomsten bij Varik te vertalen naar eisen of uitgangspunten die meegenomen kunnen worden in de ontwerpen van toekomstige dijken. De laatste deelvraag luidt als volgt:

(5) *Hoe kan er een generalisatie gemaakt worden naar eisen of uitgangspunten ten aanzien van de ontwerphoogte van dijken?*

1.3 Methodologie

Voor elke deelvraag is een aparte onderzoeksmethode gewenst. Deze staan hieronder beschreven.

(1) Wanneer wordt er gesproken van ‘een overstroming’ en ‘overlast’?

Deze deelvraag zal beantwoord worden aan de hand van een literatuuronderzoek. Veel informatie hierover zal te vinden zijn in de Handreikingen van de Rijksoverheid. Ook de ‘EurOtop manual’, een Europese handleiding voor overslag, zal veel informatie verschaffen. De Grondslagen voor Hoogwaterbescherming beschrijft de achterliggende principes van de hoogwaterbescherming in Nederland: de totstandkoming van de wettelijke normen en de vertaalslag naar beoordelen, ontwerpen en beheren (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). Deze rapporten zullen vooral het technische aspect van de deelvraag beantwoorden. Voor de (subjectieve) termen zoals ‘overlast’ zullen andere rapporten nodig zijn die een inschatting maken van menselijke belevenis ten opzichte van overstromingen.

(2) Welke functies kunnen geïdentificeerd worden in het traject tussen TG085 en TG095 bij Varik?

Door middel van een veldstudie bij Varik, wordt er een goed beeld verkregen van de situatie zelf. Daarnaast is (onder andere) Sweco al enige tijd bezig met dezelfde locatie, dus de beschikbare data is zeer groot. Voorbeelden hiervan zijn: de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) over het traject Tiel-Waardenburg (TiWa) (Briene & van Hussen, 2018), Ruimtelijk Kwaliteitskader Dijkverbetering TiWa (Brader, Loon, & Minnebruggen, 2016), het verkennende startdocument Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transportverkenning (MIRT) Varik – Heesselt (VaHe) (Provincie Gelderland, 2016). Daarnaast zijn er nog veel nuttige projectbestanden te vinden in de database van Waterschap Rivierenland en op de project site voor de rivierverruiming en dijkversterking van TiWa en VaHe (Provincie Gelderland, 2018). Via deze bronnen zijn de relevante functies rondom de dijk te achterhalen, zoals het nationaal erfgoed, landeigenaren en overige bijzonderheden.

(3) Wat is de bruikbaarheidsgrenstoestand van de verschillende functies?

In dit deel van het onderzoek zal er een verband moeten worden getrokken tussen de verschillende termen van deelvraag 1 enerzijds, en de functies van de dijk van deelvraag 2 anderzijds. Mocht hier geen vanzelfsprekende relatie tussen ontstaan, dan zullen er interviews gehouden met personen van het Waterschap en Rijkswaterstaat. Ook zal er een literatuurstudie uitgevoerd worden om te achterhalen of dit verband al ergens is onderzocht.

(4) Wat is de verwachte frequentie en debiet van overslag bij Varik?

Deze deelvraag zal voornamelijk beantwoordt worden aan de hand van modellen. Rijkswaterstaat heeft meerdere applicaties om het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI) te ondersteunen. Bij deze opdracht zal gebruik gemaakt worden van Hydra-NL (Duits, 2018). Hydra-NL is een probabilistisch model die, in lijn met het WBI 2017, de statistiek berekent van het hydraulische belasting niveau (HBN). In dit geval zal overslag de belangrijkste factor zijn van de hydraulische belasting. De output van dit model zullen kansverdelingen zijn van bepaalde overslagdebieten.

(5) Hoe kan er een generalisatie gemaakt worden naar eisen of uitgangspunten ten aanzien van de BGT van dijken?

Om deze vraag te beantwoorden zullen vooral visies van betrokkenen verzameld moeten worden. Door middel van dezelfde interviews van deelvraag 3 met waterschappen, veiligheidsregio's, ingenieurbureaus en academici kan deze vraag beantwoord worden.

1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 zal het theoretisch kader gepresenteerd worden. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de reeds bekende begrippen en modellen. Hoofdstuk 3 en 4 zullen in het teken staan van de locatieverkenning van Varik. Zowel globaal als in detail. Hoofdstuk 5 gaat verder met de kwantitatieve analyse van de bepaalde functies van Varik. Vervolgens zal Hoofdstuk 6 de gevonden resultaten uit Hydra-NL presenteren. Alle bevindingen van dit onderzoek worden samengevat in de Hoofdstuk 7: Conclusie. Het verslag zal eindigen met de discussie in Hoofdstuk 8 en de aanbevelingen Hoofdstuk 9.

2 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk zal het theoretisch kader aan bod komen. In het theoretisch kader zullen de belangrijkste begrippen, theorieën en modellen gepresenteerd worden. Dit zal het fundament zijn van het onderzoek.

2.1 Begrippen

De meest globale term die te maken heeft met watermanagement is 'overstroming'. Een overstroming is een ramp of een zwaar ongeval (Rijksoverheid, 2018) zoals bedoeld in Artikel 1 van de Wet Veiligheidsregio's. Deze wet stelt als definitie:

Ramp: een zwaar ongeval of een andere gebeurtenis waarbij het leven en de gezondheid van veel personen, het milieu of grote materiële belangen in ernstige mate zijn geschaad of worden bedreigd en waarbij een gecoördineerde inzet van diensten of organisaties van verschillende disciplines is vereist om de dreiging weg te nemen of de schadelijke gevolgen te beperken (Rijksoverheid, 2018).

Overstromingen zijn er in vele soorten en maten, zowel overstromingen met grote gevolgen als overstromingen met kleinschalige overlast. In theorie zouden er verschillende eisen gesteld kunnen worden aan verschillende overstromingsscenario's, afhankelijk van hun gevolgen. De Waterwet noemt echter per traject één maximaal toelaatbare overstromingskans. Deze kans is gedefinieerd als: de kans op verlies van waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het door het dijktraject beschermde gebied zodanig overstroomt dat dodelijke slachtoffers of substantiële economische schade ontstaan' (Rijksoverheid, 2018; Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). Wanneer er sprake is van substantiële economische schade is hierin niet omschreven, omdat dit locatie specifiek is. In de praktijk is het volgende criterium te hanteren (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016): als de waterdiepte in een gebied of buurt met gelijke viercijferige postcode (op basis van het CBS) kleiner is dan 0,2 meter, is er geen sprake van een overstroming. Dit criterium is gebaseerd op de ervaring dat grootschalige schade pas zal optreden bij waterstanden hoger dan 0,2 meter. Hier kan onderbouwd vanaf geweken worden (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016).

Overlast is juridisch en wettelijk niet gedefinieerd. Het kan bijvoorbeeld betekenen dat hemelwater op straat blijft liggen, overlopende rioleringen, of dat er sprake is van overstromend oppervlaktewater of een hogere grondwaterstand (Mols & Schut, 2012). Echter zijn er wel eisen aan de frequente van wateroverlast gesteld (Rijksoverheid, 2015). Deze zijn opgesteld voor verschillende grondgebruikstypes, dit is te zien in Tabel 1.

Normklasse grondgebruikstype	gerelateerd aan	Maaiveldcriterium	Basis werk criterium [1/jr]
Grasland		5 procent	1/10
Akkerbouw		1 procent	1/25
Hoogwaardige land- en tuinbouw		1 procent	1/50
Glastuinbouw		1 procent	1/50
Bebouwd gebied		0 procent	1/100

Tabel 1 Werknormen wateroverlast (Rijksoverheid, 2015)

Het maaiveldcriterium geeft het percentage van de totale oppervlakte aan dat af mag wijken van het basis werk criterium. Het basis werk criterium is de maximale kans op overschrijding.

Er kan overloop of overslag optreden zonder dat de waterkering zijn waterkerend vermogen verliest. Overloop of golfoverslag wordt beschreven als een hoge waterstand of golven die ervoor zorgen dat water over het kunstwerk of dijk stroomt (Rijkswaterstaat, 2016). De hoeveelheid hiervan wordt uitgedrukt in een overslagdebiet met de conventionele eenheid liter per strekkende meter per seconde (l/m/s) (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). Voor overslag is er een ondergrens vastgesteld van 0,03 l/s per meter. Wanneer deze grens wordt bereikt wordt er gesproken van overslag (Allsop, et al., 2016).

Overloop en overslag treedt op wanneer het hydraulisch belasting niveau (HBN) groter is dan de kruinhoogte. Het berekenen van het HBN wordt gedaan door de belangrijkste bedreigingen te bepalen. Bedreigingen voor waterkeringen zijn onder andere wind (golven en opzet), rivierafvoer, stroming en zeewaterstand (Rijkswaterstaat, 2018; Rijkswaterstaat, 2016). In dit verslag is de zeewaterstand irrelevant. Vaak zijn combinaties van deze bedreigingen het meest gevaarlijk. Door het combineren van de bedreigingen en de kansen op deze combinaties worden de benodigde hoogtes en sterktes van waterkeringen berekend.

Een belangrijk aspect waar naar gekeken moet worden zijn de grenstoestanden van zowel de dijk als de functies rondom de dijk. Een grenstoestand is gedefinieerd als de overgang van de gewenste situatie, waarbij de constructie naar behoren functioneert, naar de toestand waarbij dat niet langer het geval is (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016; Rijkswaterstaat, 2016). Er zijn twee typen grenstoestanden te onderscheiden. De uiterste grenstoestand (Ultimate Limit State of UGT) heeft betrekking op een dusdanig verlies van waterkerend vermogen dat een overstroming optreedt. Overschrijding van de UGT wordt ook wel aangeduid als het falen van de waterkering. (Rijkswaterstaat, 2016). Bij een bruikbaarheidsgrenstoestand gaat het over het optreden van schade waarbij nog niet direct sprake is van een overstroming maar ingrijpen noodzakelijk is om aan andere functies dan waterveiligheid te kunnen blijven voldoen (Rijkswaterstaat, 2016).

In dit onderzoek wordt er gekeken naar de BGT en UGT van functies en objecten in relatie tot een overslagdebiet. Vooral voor de UGT zijn bepaalde eisen al vastgelegd (Allsop, et al., 2016). Het merendeel van deze eisen focussen zich op de kruin en binnentalud van de dijk, omdat zij in direct contact staan meteen eventuele overslag. Deze eisen zijn onder te brengen onder algemene vuistregels omdat ze herhaalbaar zijn (Allsop, et al., 2016). Het toelaatbare overslag voor de andere functies is echter zeer locatie specifiek. Algemene vuistregels zijn echter opgesteld voor een aantal functies. De eerste EurOtop Manual uit 2007 geeft tabellen met toelaatbare overslagdebieten voor specifieke situaties als voetgangers, auto's en gebouwen achter de dijken (Pullen, et al., 2007). Echter is er sinds 2007 een grotere focus gelegd op het feit dat toelaatbare overslag erg afhankelijk is van het maximum volume van een golf, en dus direct van de golfhoogte (Allsop, et al., 2016).

Deze golfhoogtes zijn opgesplitst in drie categorieën, de gebruikte categorie voor rivieren is:

$$H_{mo} \leq 1 \text{ m}$$

Dit wilt zeggen dat de golfhoogte maximaal 1 meter is (Allsop, et al., 2016). Voor deze categorie zijn er toelaatbare debieten opgesteld voor verschillende functies of situaties, deze zijn te zien in Tabel 2.

Situatie / functie	Gemiddelde overslag q (l/s per m)	Maximum volume V_{max} (l/m)
Gras bekleding dijk	5-10	500
Gebouwen	1	1000
Apparatuur	1	1000
Voetgangers	10-20	600
Voertuigen (stilstaand)	75	1000-2000
Wegen	Toegankelijk tot er puin meewaait	Toegankelijk tot er puin meewaait
Treinen	75	1000-2000

Tabel 2 Toelaatbare overslagdebieten naar functie (Allsop, et al., 2016).

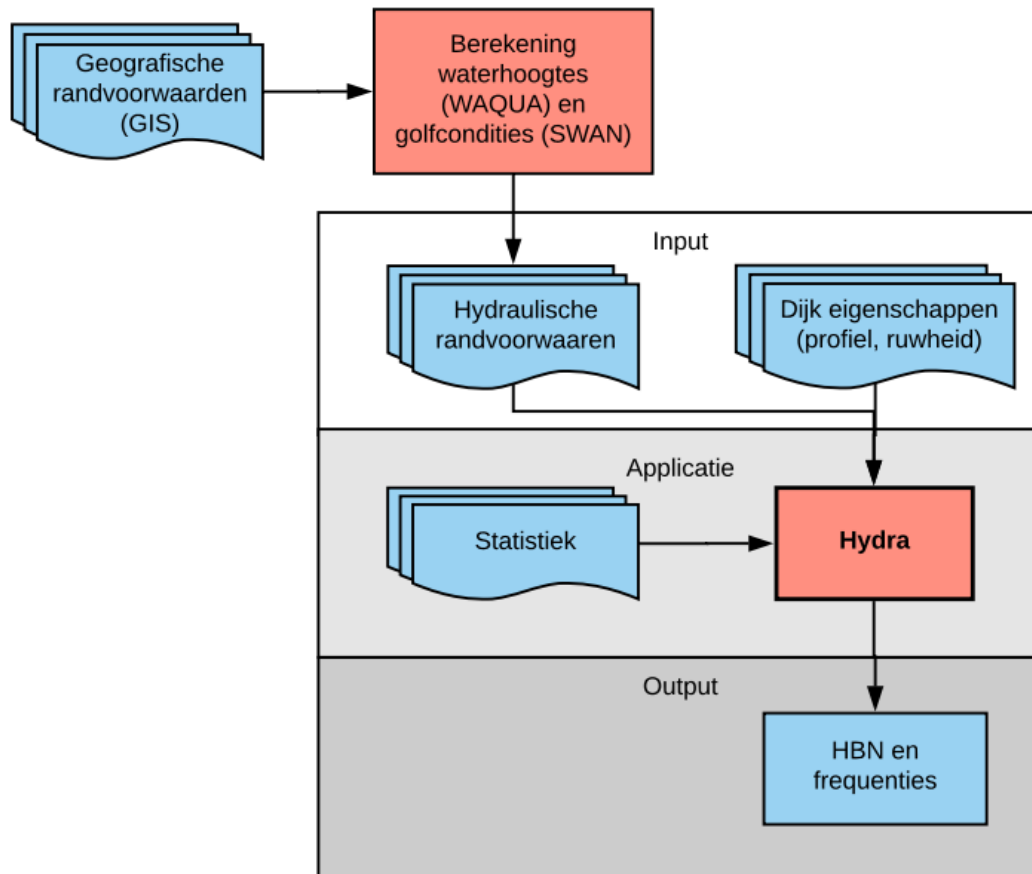
In Tabel 2 wordt de gemiddelde overslag gegeven, dat wilt zeggen dat dit de gemiddelde toelaatbare hoeveelheid is over een bepaalde tijd. Het maximum volume V_{max} geeft het maximale volume aan wat één golf mag hebben die over de dijk slaat.

2.2 Modellen

Voorheen werden er verscheidene applicaties en modellen gebruikt om de overslag te kunnen simuleren en te kwantificeren. Het programma PC-overslag was tot voor kort de standaard tool hiervoor. Dit programma is gemaakt aan de hand van het 'Technisch rapport golfoploop en golfoverslag bij dijken' van de Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW 2002) en voert golfoploop en golfoverslagberekeningen uit aan de hand van de in het rapport beschreven formules en methodieken (van der Meer, 2002).

In Nederland wordt tegenwoordig voornamelijk één applicatie gebruikt als het gaat om het modelleren van overslag. Deze applicatie heet Hydra-NL en is een probabilistisch beoordelingsprogramma voor de veiligheid van dijken in Nederland consistent met het WBI 2017. Met Hydra-NL zijn voor opgeven terugkeertijden waterstanden, significante golfhoogtes, piekperiodes, optredende overslagdebieten en golfcondities te berekenen (Rijkswaterstaat, 2017).

Voor rivieren, meren en de zee gebruikt Hydra-NL verschillende soorten statistische data en input. Dit is weergegeven in Figuur 2-1. De herkomst van deze data ligt grotendeels in andere programma's en applicaties (Geerse, 2011). De oorsprong van het proces ligt bij de geografische randvoorwaarden en databases. Deze randvoorwaarden worden met behulp van applicaties zoals WAQUA en SWAN omgezet naar hydraulische randvoorwaarden. Met WAQUA worden waterstanden, waterstromingen en concentraties van opgeloste stoffen berekend in open wateren (Rijkswaterstaat, 2018). Met SWAN worden de onder andere de golven in tijd en ruimte gemodelleerd, net als de invloed van wind, waterstroming en diepte op golven (Rijkswaterstaat, 2018). Deze applicaties hebben als output hydraulische randvoorwaarden die vervolgens als input worden gebruikt in Hydra-NL. De hydraulische randvoorwaarden vormen naast de dijk eigenschappen de input van de applicatie. De dikeigenschappen bestaan uit onder andere het dijkprofiel en de ruwheid van de bekleding.



Figuur 2-1 Schematisering Hydra

Als de input is de applicatie verwerkt is, zal Hydra-NL op een deterministische wijze output genereren (Rijkswaterstaat, 2018). Deze output bestaat uit onder andere:

- Waterstand
- Golfhoogte en piekperiode
- HBN, als maat voor de benodigde kruinhoogte
- Overslagdebiet
- Golfcondities

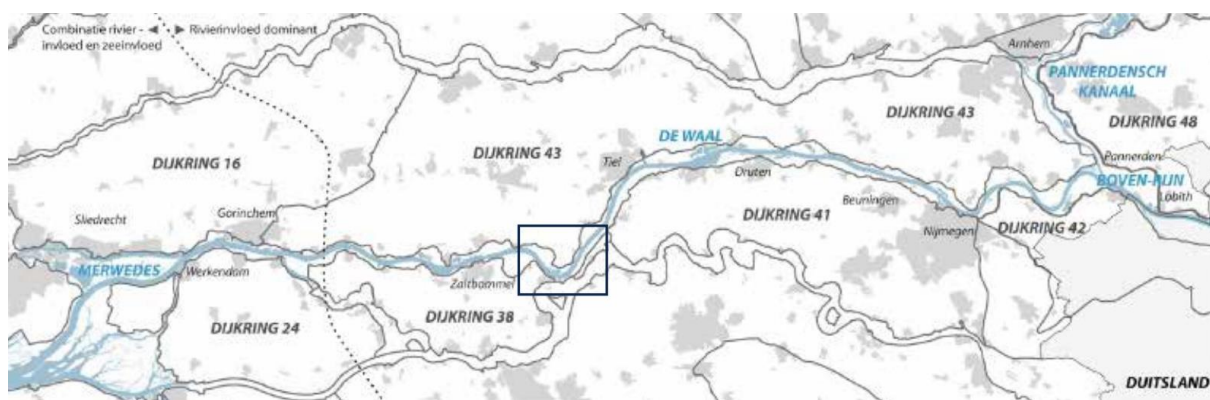
Door middel van de toegepaste statistische onzekerheden in de applicatie, zullen de uitkomsten met onzekerheden en kansverdelingen gegeven worden. Voor dit onderzoek ligt de interesse vooral in het HBN en het overslagdebiet met bijbehorende frequenties.

3 Locatieverkenning

Zoals genoemd in de Inleiding is het projectgebied bepaald op het traject tussen dijkpalen DG095 en DG085. Dit traject is onderdeel van een groter project VaHe die het gebied omvat tussen Varik en Heesselt, oftewel plangebied Varik-Heesselt. Er zal eerst een korte schets worden gegeven van dit gebied alvorens de specifieke functies bij Varik geïdentificeerd kunnen worden.

3.1 De Waal

De locatie waarnaar gekeken wordt ligt in het stroomgebied van de Waal. De Waal is de grootste en breedste rivier van Nederland (Figuur 3-1). De Waal wordt gevoed door de Rijn die bij Lobith Nederland in stroomt. Bij het splitsingspunt Pannerdensch Kop verdeelt het water zich over de Waal en het Pannerdensch kanaal. Ongeveer twee-derde van de hoeveelheid water bij een maatgevend hoogwaterpeil wordt afgevoerd via de Waal.



Figuur 3-1 De Waal met de globale ligging van Varik-Heesselt (rechthoek) (Sweco Nederland B.V., 2018).

De Waal kent veel scheepvaart en watergebonden bedrijvigheid, maar ook recreatie, natuur en landbouw zijn belangrijke pijlers. Het stroomgebied kenmerkt zich door voornamelijk landelijk gebied. Op een aantal plaatsen grenzen steden of dorpen aan de rivier. Ook landbouw is een belangrijke functie van het stroomgebied, zowel in de uiterwaarden als in het binnendijkse gebied is dit vaak van toepassing (Sweco Nederland B.V., 2018). De Waal wordt aan de Noordzijde binnen de perken gehouden door de noordelijke Waalbandijk, dit is een primaire waterkering die de Betuwe (Dijkring 43) beschermt tegenhoogwater vanuit de Waal. De Waalbandijk is ook de benaming voor de weg die op de dijk ligt.

3.2 Landschap en ecologie

De huidige Waalbandijk, is met zijn steilheid, hoogte en verbindende functie voor het gebied een erg dominante ruimtelijke structuur die de dorpen tussen Tiel en Waardenburg aaneen rijgt. De dijk volgt globaal het verloop van de Waal. Door rivierverleggingen liggen vooral tussen Tiel en Gorinchem veel schaadijken. Dit zijn dijken waarbij de winterdijk direct aan het zomerbed ligt, waardoor er geen uiterwaarden aanwezig zijn (Sweco Nederland B.V., 2018). Het omliggende landschap van de dijk is erg rijk aan functies waarbij vrijwel alle elementen en dorpen een nauwe samenhang hebben met het verloop van de dijk door het landschap. Kenmerkend is dat deze functies vaak door lopen tot en met de dijkvoet. Afwisselend liggen weiland, fruitgaarden, bossen en tuinen tegen de binnenteen aan.

Er zijn meerdere ecologische plannen en wetten waar het plangebied onder valt, namelijk; Natura 2000-gebied Rijntakken, Vogelrichtlijn en deels onder de Habitatrichtlijn. Voor de Vogelrichtlijn bestaat

een behoudsdoestelling qua oppervlakte en kwaliteit. Terwijl de Habitatrichtlijn een uitbreidingsdoestelling heeft (Sweco Nederland B.V., 2018).

Het plangebied maakt tevens deel uit van het provinciaal Gelders Natuurnetwerk en/of Groene Ontwikkelzones. Het buitendijkse gebied maakt deel uit van het Kaderrichtlijn Water-lichaam Bovenrijn-Waal (Rijkswaterstaat, 2016), hierin zijn eisen gesteld met betrekking tot de chemische en ecologische kwaliteit van het water.

3.3 Wonen, werken en recreatie

Langs de gehele Waalbanddijk liggen afwisselend dorpen, lintbebouwing (langgerekte aaneengesloten bebouwing) en woningclusters. Op verschillende plaatsen zijn bebouwing en de dijk met elkaar verweven. Zoals te zien is in Figuur 3-2 zijn er verschillende mogelijkheden met betrekking tot bebouwing rond de dijk, bijvoorbeeld: tegen de dijk (links), in de dijk (rechts) en op de dijk. Bouwwerken met een monumentale status staan voornamelijk langs de dijk.



Figuur 3-2 Bebouwing in en tegen een dijk (van der Laag; Sengers & van Westerop, 2012)

Naast de huizen en monumenten bevinden zich ook vrij regelmatig verspreid agrarische bedrijven. Een groot deel van de bedrijvigheid betreft relatief kleinschalige landbouwkundige bedrijven. Het gebied wordt daarnaast gekenmerkt door veel fruitteelt, die in sommige gevallen aanwezig is tot de voet van de dijk. Daarnaast is er sprake van veehouderijen en in mindere mate akkerbouw.

De route over de Waalbanddijk tussen Tiel en Waardenburg wordt recreatief gebruikt. In de zomermaanden vaart er een voetveer tussen Varik en Heerewaarden.

3.4 Cultuurhistorie en archeologie

In het plangebied zijn diverse beschermde cultuur-historische waarden aanwezig. Het gaat hierbij vooral een groot aantal rijksmonumenten en gemeentelijke monumenten (van der Veen, et al., 2016). Uit de archeologische inventarisatie blijkt dat er in het plangebied veel vindplaatsen aanwezig zijn. Het betreft losse vondsten zonder context, maar ook nederzettingsterreinen waarvan de grenzen grotendeels bekend zijn, zoals steenfabrieken, korenmolens en een voormalige Romeinse Villa. Daarnaast is in de Tweede Wereldoorlog de noordoever van de Waal twee keer in staat van verdediging gebracht. Langs het gehele dijktracé Tiel – Waardenburg zijn in die periode ook stellingen en verdedigingswerken aangelegd (van der Veen, et al., 2016).

4 Functies bij Varik

In dit hoofdstuk zullen alle globale functies op en rondom de dijk bij Varik geïdentificeerd en beschreven worden. Dit zal gebeuren aan de hand van een vijftal categorieën, namelijk waterkerend, de verkeersinfrastructuur, de functies die onder het waterbezwaar vallen, de functies die onder et bouwbesluit vallen en tot slot de functies gerelateerd aan de veiligheid.

4.1 Waterkerend

De primaire functie die geïdentificeerd kan worden is de waterkerende functie van de dijk. Zonder de dijk zal het gebied overstromen en zal de schade en de hoeveelheid slachtoffers niet te overzien zijn. Tegenwoordig worden waterkeringen zo ontworpen dat ze niet alleen het water buitenhouden, maar ook dat ze robuust zijn. Dat wil zeggen dat de functie intact blijft bij overbelasting (Newberry, 2009). Een overbelasting wilt in dit geval zeggen dat wanneer de waterstand hoger is dan hoogte van de dijk.

4.2 Verkeersinfrastructuur

De verkeersinfrastructuur kan opgesplitst worden in twee subgroepen; stilstaand verkeer en doorgaand verkeer. Beiden zullen uitgelicht worden. Onder doorgaand verkeer wordt de verplaatsing van mensen en objecten verstaan.

(1) Stilstaand verkeer

Onder stilstaand verkeer vallen vooral stationaire voertuigen zoals geparkeerde auto's en fietsen. Er zijn twee situaties waar geparkeerd kan worden. Direct achter de kruin van de dijk bevindt zich een bestraatte weg, hierop kan op geparkeerd worden, zoals te zien is in Figuur 4-1.



Figuur 4-1 Stilstaand verkeer achter de dijk (Google Maps)

Naast het parkeren op het binnentalud van de dijk, is het mogelijk om te parkeren op de zijwegen op het erf in Varik zelf. Deze parkeerplaatsen zijn te vinden vanaf de voet van de dijk.

Door de doorgetrokken streep op de dijk is parkeren daar niet mogelijk.

(2) Doorgaand verkeer

Doorgaand verkeer kan op verschillende manieren voorkomen. Zowel op de dijk als achter de dijk bevinden zich wegen die doorgaand verkeer mogelijk maken. Op deze wegen vindt naast gemotoriseerd verkeer, ook fietsverkeer en verkeer in vorm van personen plaats. Elke vorm van verkeer zal zijn eigen eisen of uitgangspunten hebben.

4.3 Functies onder waterbezwaar

Een aantal functies zijn samengevat in 'Functies onder waterbezwaar'. De objecten achter de dijk, (bijna alle) monumenten, de glastuinbouw en de landbouw zullen onder deze groep vallen. De keuze voor deze samenvatting komt voort uit de eisen die deze functies met zich mee zullen brengen, deze functies vallen namelijk allen onder het waterbezwaar en het overlast criterium uit het theoretisch kader. Hier wordt in Hoofdstuk 5.3 verder op ingegaan.

4.3.1 Achter de dijk

Met de term 'achter de dijk' wordt het gebied bedoeld vanaf de binnenwaartse voet van de dijk. Bij Varik bevinden zich vele gebouwen achter de dijk. Het gros van deze gebouwen hebben een woonfunctie, daarnaast komen er ook een aantal boerderijen voor direct achter de dijk.

4.3.2 Monumenten

Het stroomgebied van de Waal is erg rijk aan monumenten. In de ontwerpfase van dijk verbeterende projecten dienen deze monumenten altijd in acht genomen te worden. Er dienen speciale vergunningen aangevraagd te worden om wijzigingen te kunnen aan monumenten (Rijksoverheid, 2018). In en rond Varik bevinden zich een aantal rijksmonumenten, van een Rooms-katholieke dorpsschool tot een beschermde deumlijsting.

In Figuur 4-4 is een overzichtsfoto te zien met de locaties van alle monumenten, tevens is hierop is het dijktraject bruin gearceerd. De meeste relevante monumenten staan hieronder beschreven:

(1) De Dikke Toren

De Dikke Toren is wellicht het meest iconische gebouw van Varik, zie Figuur 4-2. Deze toren is gefaseerd opgebouwd, de werkzaamheden startten al in ongeveer 1250 (Stichting Vrienden van de Oude Toren, 2018). De toren verkeerde tot ongeveer 1974 in een zeer slechte staat. Daarom werd een stichting opgericht (Stichting Vrienden van de Oude Toren), die zich beijeren voor het behoud en



Figuur 4-2 De Dikke Toren bij Varik (Zoover; Toren)

restauratie van de Dikke Toren. In 1999 is na veel inspanningen eindelijk de restauratie van de kerk afgerond, waardoor de toren weer heropend kon worden voor bezoek. Met zijn 35 meter aan hoogte is het een fraai uitkijkpunt over de Waal. De toren dankt zijn naam aan het feit dat de muren 1,80 meter dik zijn. Deze Toren bevindt zich direct aan de Waalbandijk.

(2) Symmetrisch dwarshuis

In de buurt van de Dikke Toren, bevindt zich het zogenaamde symmetrische dwarshuis, (Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, 2018). De beschermde onderdelen van dit huis zijn vooral de daken en gevels. Echter staat het hele huis beschreven als monument dus moet het zo behandeld worden.



Figuur 4-3 Symmetrisch dwarshuis Waalbandijk (Scholte)

(3) Rooms-katholieke dorpsschool, pastorie en kerk

Aan de Grotestraat en Kerkstraat in Varik bevinden zich een drietal belangrijke rijksmonumenten. Dit zijn de Rooms-katholieke dorpsschool, de H.H. Petrus en Paulus en de pastorie. Deze monumenten hebben naast een architectuurhistorische waarde, ook een stedenbouwkundige en cultuurhistorische waarde. Echter liggen deze monumenten op plusminus 200 meter van de kruin van de dijk. Ook liggen deze monumenten enigszins verhoogd op het maaiveld, waardoor het overslagdebiet niet direct effect zal hebben op deze gebouwen. Het water zal zich een weg vinden langs de minste weerstand dus worden deze gebouwen ontzien. Deze drie monumenten zullen daarom niet verder mee worden genomen in de analyse.

(4) De Bol

Ten slotte is er nog een vrijstaande stellingmolen bij Varik. Deze molen is gebouwd in 1867 en onlangs nog gerestaureerd. Toen is de molen onder andere één meter opgevijseld waardoor het daadwerkelijke monument één meter boven het maaiveld ligt. De molen wordt momenteel gebruikt als particuliere woning.



Figuur 4-4 Locaties monumenten en dijktraject

4.3.3 Glastuinbouw en landbouw

In het hele projectgebied vindt kleinschalige akkerbouw en fruitteelt plaats. In het projectgebied zijn een paar noemenswaardige locaties aan te wijzen die de functie akkerbouw of fruitteelt vervullen. Dit zijn de meest relevante locaties omdat deze zich bevinden tot aan de voet van de dijk, waardoor ze maatgevend zullen zijn met betrekking tot de overslag. De locaties van de glastuinbouw en landbouw zijn te zien in Figuur 4-5. Glastuinbouw is hierin rood omcirkeld, landbouw is groen omcirkeld. Er wordt hierin een onderscheid gemaakt tussen glastuinbouw en landbouw. Door middel van glastuinbouw kan een gecontroleerde atmosfeer gecreëerd worden wat optimaal is voor de planten. De landbouw bestaat uit zowel fruitteelt als akkerbouw.



Figuur 4-5 Locaties glastuinbouw (rood) en landbouw (groen)

4.4 Functies onder bouwbesluit

Naast de samenvatting van functies onder het waterbezwaar, zijn er ook functies samengevat die vallen onder het bouwbesluit. Ook dit volgt uit de eisen die deze functies met zich meebrengen. In paragraaf 5.4 wordt hier verder op ingegaan. Voor nu wordt er een onderscheid gemaakt tussen functies of objecten in of op de dijk; woningen en een tweetal monumenten

Met bebouwing in / op de dijk wordt bebouwing bedoelt die zich in het gebied bevindt die loopt van de kruin tot de binnenvoet van de dijk. Het buitentalud is bij hoogwater niet relevant met betrekking tot het overslagdebiet, omdat dit talud dan al onder water zal staan. De bebouwing die in en op de dijk voorkomen in het projectgebied, zijn voornamelijk huizen. Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 4-6. Daarnaast komen er nog een zogenaamd 'Veerhuis' en een kerk voor. Het Veerhuis is bedoelt als een *Village Trade Center* om de lokale economie te bevorderen. Daarnaast heeft het ook een woonfunctie en commerciële functie in de vorm van een café. De kerk en Veerhuis zijn te zien in Figuur 4-6.



Figuur 4-6 Het Veerhuis en de Dikke Toren (boven), woning in de dijk (onder) (Veerhuis Varik [Foto])

Naast de kerk bevindt zich ook het Symmetrisch Dwarshuis zoals beschreven in 4.3.2. Voor de overzichtelijkheid is deze daar opgesomd, maar in de verdere analyse zal naast De Dikke Toren ook dit monument onder het bouwbesluit vallen.

4.5 Veiligheid gerelateerde functies

Drie functies die op het oog niet duidelijk zichtbaar zijn maar wel aanwezig zijn hebben te maken met de veiligheid van het achterland. De eerste functie waar op ingegaan wordt is de mogelijkheid tot inspectie van de dijk. Naast inspectie geldt reparatie ook als een functie. De laatste functie waarnaar gekeken wordt is het vermogen van evacuatie van Varik.

4.5.1 Inspectie

Waterkering beheerders hebben de wettelijke zorgplicht voor het waterbeheer en de veiligheid met betrekking tot de waterkeringen. Bij deze zorgplicht hoort het beheer en onderhoud van de waterkeringen (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018). Het inspecteren van waterkeringen geeft

de beheerder actuele informatie over de status van de waterkering: functioneert deze nog of zal deze falen bij hoog water. Het idee achter de inspectie is dat de inspecteur antwoord kan geven op aantal vragen tijdens de inspectie, zoals: Wat zie ik? Wat is de mogelijke oorzaak hiervan? Hoe kan ik de schade met ondersteunende technieken monitoren? Wat zijn mogelijke gevolgen? Waarvoor kan ik de informatie gebruiken (Rijkswaterstaat, 2012)?

Het traject Tiel-Waardenburg valt onder Waterschap Rivierenland. Zij beginnen met het inspecteren van de waterkeringen bij een waterstand van 18,00 m+NAP bij Lobith (Knotter, 2018). Dit doen ze lopend met drie man in zogenaamde patrouillevakken van 10 kilometer. Deze inspecties duren de gehele dag. Mocht de situatie daar om vragen dan kan de inspectie ook deels met een voertuig uitgevoerd worden.

4.5.2 Reparatie

Reparatie van een dijk is een begrip waar momenteel niet veel over bekend is (Knotter, 2018). Door over-dimensionering van onze dijken zijn er in het recente verleden weinig incidenten bekend waarbij noodgedwongen reparaties plaatsvonden. De meeste kennis die vergaard wordt hierover komt voort uit gecontroleerde testen. De aard en vorm van reparatie kan veel vormen aannemen. Een aantal voorbeelden zijn:

- Een tijdelijke barrière om de hoogte van de dijk te vergroten
- Zandzakken aanbrengen ter bevordering van de stabiliteit
- Het aanleggen van een noodkering
- Het opvullen van gaten in de grasmatten

4.5.3 Evacuatie

Bij hoogwater houden dijkwachters honderden kilometers dijken in de gaten, en geven zo nodig opdracht lekkages, instabiel geworden stukken of schade te herstellen. Intussen wordt door speciale crisisteam overleg gevoerd om zo nodig klaar te zijn voor noodsituaties of zelfs evacuaties (Nagtegaal, 2017).

Door de grote inundatie diepte van 7 meter en grote stijgsnelheid van 2,5 meter per uur is er bij een doorbraak geen tijd om aanvullende maatregelen te nemen (Sengers & van Westerop, 2012). Preventieve evacuatie is hierdoor een vereiste. De eerste indicatie voor hoogwater op de rivieren wordt via hoogwaterverwachtingen van Rijkswaterstaat 10 dagen vooraf gegeven (Sengers & van Westerop, 2012). Drie dagen voor het optreden van de piek van het hoogwater is de onzekerheid in de waterstand nog 25 cm. Het waterschap is in staat zwakke plekken in de dijk te benoemen. Het besluit tot evacuatie moet genomen worden bij dergelijke onzekere informatie. Globaal gezien is er per dijkkring in de provincie Gelderland 2,5 dag tijd om mensen in veiligheid te brengen.

In de dorpspolder bij Varik wonen relatief weinig mensen (circa 900, (Booister, 2017)) met naar schatting circa 400-600 auto's (Sweco, 2017). Doordat er twee uitvalswegen het gebied uit zijn kunnen zelfredzame bewoners naar verwachting het gebied binnen enkele uren verlaten. Voor de niet-zelfredzamen en de zelfredzamen zonder vervoer zijn aparte evacuatieplannen met behulp van busvervoer, ambulances en taxi's opgesteld. De verzamelplaatsen voor preventieve evacuatie bevinden zich in Varik. De routes voor evacuatie voor deze doelgroep bevinden zich in het achterland richting Ophemert (Booister, 2017).

5 Kwantitatieve analyse

Niet alle eerder beschreven functies zullen even relevant zijn om uit te werken. Bepaalde functies liggen ver in het achterland, terwijl bij sommige functies vooraf geconcludeerd worden dat deze niet de beperkende factor zullen zijn. In dit hoofdstuk zullen dezelfde categorieën aan bod komen als in Hoofdstuk 4. Er zal onderbouwd een afweging worden gemaakt welk deel van de categorieën kwalitatief uitgewerkt zal worden. Daarna zal er per relevante functie een onderbouwing worden gegeven over hun bruikbaarheidsgrenstoestand. Deze kwantitatieve getallen zullen vervolgens met Hydra-NL worden uitgewerkt. Tot slot zal er een conclusie moeten worden getrokken wat nou maatgevend is bij Varik. In Tabel 3 op de volgende pagina is een samenvatting gegeven van alle relevante en niet relevante functies met de bijbehorende eisen.

5.1 Waterkerend

De waterkerende functie zal in dit verslag buiten de scope vallen. Er zijn vele studies die aandacht besteden aan het bezwijken van een dijk bij overslag (van der Meer, 2002). Daarnaast valt de waterkerende functie onder de UGT en is daardoor niet relevant voor dit verslag. Daarom zal er aangenomen worden dat de dijk onder elk debiet zijn waterkerende functie zal behouden.

5.2 Verkeersinfrastructuur

Het stilstaande verkeer heeft nagenoeg dezelfde uitgangspunten als doorgaand verkeer. Echter hoeven stilstaande gemotoriseerde voertuigen niet daadwerkelijk te bewegen en zitten er geen personen in. De aanwezigheid van personen in een voertuig zal namelijk het risico vergroten. Een terugtrekkende golf kan bijvoorbeeld een auto meesleuren, en een overslaande golf kan een rijdende auto doen kantelen of substantieel van richting veranderen zodat een ongeluk op kan treden. Dit is de reden dat stilstaand verkeer niet relevant zal zijn in deze analyse en daarom wordt er alleen gekeken naar doorgaand verkeer.

Het doorgaande verkeer in deze casus vindt plaats op de Waalbanddijk. Voor de toelaatbare frequentie dat de Waalbanddijk niet meer zijn functie kan uitoefenen, namelijk het mogelijk maken van verkeer, kan er weer worden gekeken naar het basis werk criterium die te zien is in Tabel 1. Die bedraagt voor stedelijk gebied ééns in de 100 jaar. Dit criterium geldt mits de weg niet gebruikt wordt voor het plegen van herstelwerkzaamheden en evacuatiedoelinden. Hier wordt in paragraaf 5.5 verder op ingegaan.

De bruikbaarheidsgrenstoestand van de weg kan opgesplitst worden in twee categorieën, namelijk de bruikbaarheidsgrenstoestand van gemotoriseerd verkeer en dat van personen verkeer.

5.2.1 Gemotoriseerd verkeer

De bruikbaarheidsgrenstoestand voor gemotoriseerd verkeer is heel simpel gezegd het punt waarop auto's of ander verkeer de dijk niet meer verantwoord kunnen betreden.

Het gebruik van gemotoriseerd verkeer kan gevaarlijk zijn bij bepaalde overslagdebieten. Vooral als de waterstand dusdanig is dat het voertuig weg kan drijven. Als de overslagdebieten of stroomsnelheden te groot zijn, kan het voorkomen dat de auto weg schuift. Er zijn verschillende toelaatbare debieten ten gevolge van verschillende golfhoogtes gedefinieerd voor gemotoriseerd verkeer. Deze zijn weergegeven in Tabel 4.

Functie		Relevant ja / nee	Reden	Bruikbaarheidsgrenstoestand	Toelaatbare overschrijdinskans (1/jr)
Waterkerend		Nee	Valt onder de UGT en dus buiten de scope.	-	1/10.000
Verkeersinfrastructuur	Stilstaand verkeer	Nee	De afwezigheid van personen zorgt ervoor dat deze functie niet maatgevend is.	-	-
	Gemotoriseerd verkeer	Ja	-	< 75 l/m/s	1/10
	Personen verkeer	Ja	-	10-20 l/m/s	1/10
Functies onder waterbezwaar	Achter de dijk	Nee	Aanwezigheid sloten, greppels en laaggelegen wegen.	-	-
	Monumenten	Nee	Aanwezigheid sloten, greppels en laaggelegen wegen. Sommige monumenten zijn verhoogd.	-	-
	Glastuinbouw en Landbouw	Ja	-	0,2 meter inundatie	1/25
Functies onder bouwbesluit	Woningen in de dijk	Ja	-	Bouwbesluit	1/25 of 1/50
	Monumenten	Ja	-	Bouwbesluit	1/25 of 1/50
Veiligheid gerelateerde functies	Evacuatie	Nee	Relatief klein gebied om te evacueren. Evacuatieroutes lopen via het binnenland.	-	-
	Inspectie	Ja	-	1-5 l/m/s	1-100x de norm
	Reparatie	Ja	-	N.t.b.	N.t.b.

Tabel 3 Relevante functies en hun bijbehorende BGT

Golfhoogte	Gemiddeld debiet (l/s per m)	Golfvolume (l per m)
3 meter	< 5	2000
2 meter	10 - 20	2000
1 meter	< 75	2000

Tabel 4 Limieten voor gemotoriseerd verkeer bij verschillende golfhoogtes (Allsop, et al., 2016).

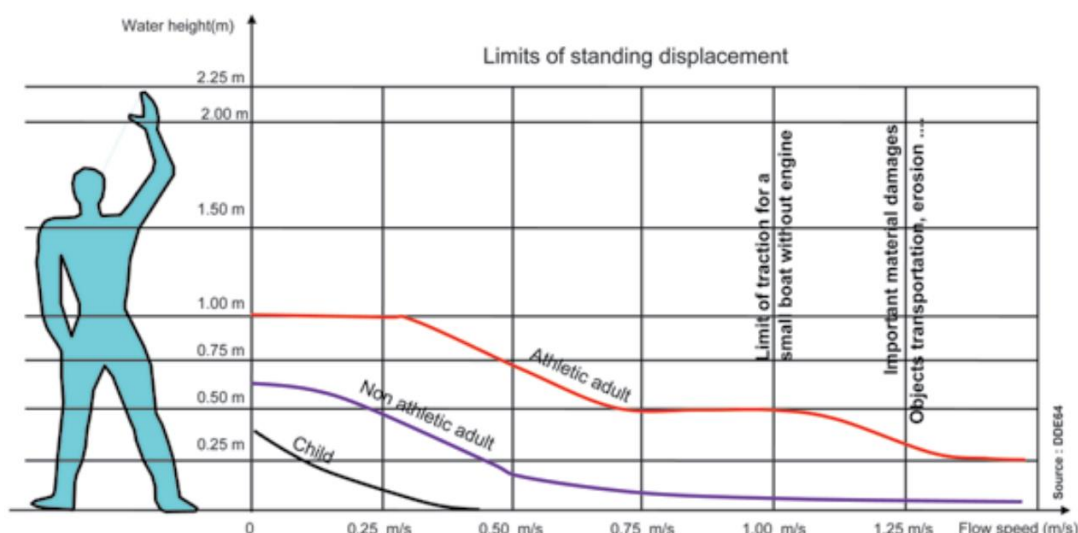
Het grootste probleem bij het rijden door hoog water is echter de boeggolf die ontstaat. Zodra de golfslag hoger komt als de bumper ontstaat er het risico dat het water bij de luchtinlaat komt en de motor water gaat aanzuigen (ANWB, 2018). Zodra er water komt in een draaiende motor dan moet de motor vrijwel altijd vervangen worden. De hoogte waarop de luchtinlaat zit, verschilt echter per voertuig.

5.2.2 Personen verkeer

De bruikbaarheidsgrenstoestand van personen op de dijk of 'personen-verkeer' zal zijn wanneer de dijk niet meer lopend toegankelijk is. Toegankelijkheid kan in deze situatie op verschillende manieren worden opgevat. De dijk kan fysiek niet meer toegankelijk zijn ten gevolge van het verlies van stabiliteit van een persoon door het stromende water. Aan de andere kant kan de dijk nog steeds fysiek wél toegankelijk zijn, maar dat dit zodanige risicovolle situaties oplevert dat het een dodelijk gevolg kan hebben. De literatuur heeft verschillende opvattingen over de kwantitatieve eisen hiervan.

Proeven met betrekking tot de stabiliteit van personen in stromend water, laten zien dat personen bij beperkte waterdieptes en beperkte stroomsnelheden al snel hun stabiliteit verliezen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004). Het toelaatbare product van waterdiepte en stroomsnelheid voor een stilstaand persoon komt neer op ongeveer 1 a 1,5 m² /s. Echter zal een lopend persoon sneller zijn of haar evenwicht verliezen, dus zal de waarde ook lager liggen. Een logische verdeling die uit proeven volgt is een kritische waterdiepte van 0,26 meter en een stroomsnelheid van 3,0 m/s (Jonkman & Penning-Rowse, 2008). Dit zou uitkomen op een gemiddeld overslagdebet van 780 l/m/s.

Een ander onderzoek laat in Figuur 5-1 zien wat de limieten zijn waarop volwassenen en kinderen hun stabiliteit verliezen als een gevolg van de waterhoogte en stroomsnelheid. Opvallend is dat het 'International Levee Handbook' waardes geeft die significant lager liggen dan hierboven gesteld (USACE, 2013). Ook maken zij een onderscheid in of de persoon atletisch is of niet, en of het een volwassene of een kind is.



Figuur 5-1 Limieten voor evacuatie zonder verplaatsing (USACE, 2013)

De Grondslagen voor Hoogwaterbescherming stelt echter dat er pas sprake zal zijn van slachtoffers bij een waterstand van circa 0,2 meter in een postcodegebied (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). Hier wordt niet gesproken over een stroomsnelheid en bijbehorend debiet.

De 'International Levee Handbook', 'Human Instability in Flood Flows' en 'Grondslagen voor Hoogwaterbescherming' gaan allen uit van een constante waterstroom. Deze waterstroom is geldig achter de dijk, maar voor het debiet op de dijk zal er moeten worden gekeken naar de golfeigenschappen en de eisen die de golven met zich meebrengen. In het 'EurOtop Manual' wordt een verband getrokken tussen de golfhoogtes enerzijds en het toelaatbare gemiddelde overslagdebiet en het toelaatbare golfvolume anderzijds. Dit is te zien in Tabel 5.

Golfhoogte	Gemiddeld debiet (l/s per m)	Golfvolume (l per m)
3 meter	0,3	600
2 meter	1	600
1 meter	10-20	600
< 0,5 meter	Geen limiet	Geen limiet

Tabel 5 Limieten voor personen bij verschillende golfhoogtes (Allsop, et al., 2016).

Bij deze hoeveelheden wordt uitgegaan van een aanvaardbaar risico voor personen. Zoals te zien is in bovenstaande tabel gelden er voor golfhoogtes kleiner dan een halve meter geen eisen voor het gemiddelde debiet en golfvolume. De risico's zijn in dat geval verwaarloosbaar klein aldus EurOtop (Allsop, et al., 2016). Voor een rivier kan er worden uitgegaan dat de golfhoogtes niet groter dan 1 meter zullen zijn, dus de geadviseerde waarde 10-20 l/m/s bedraagt.

Uit meerdere gesprekken en interviews (Jorissen, 2018) kwam naar voren dat de bruikbaarheidsgrenstoestand voor personen op 10-20 l/s/m ligt. Echter, in het geval van échte nood kan hier altijd vanaf geweken worden (Knotter, 2018), mocht de waterveiligheid in het geding komen. Dit uit zich bijvoorbeeld tijdens een crisissituatie als de dijk op het punt staat van falen en er een noodreparatie het laatste redmiddel is.

5.3 Functies onder waterbezwaar

Wat betreft de bebouwing op en achter de dijk zullen er een aantal situaties zijn die maatgevend kunnen zijn terwijl andere situaties minder van belang zijn, of ongeschikt zijn. Als er wordt gekeken naar golfoverslag, dan zijn de gebouwen die het water direct tegenkomt het meeste gevoelig voor schade en overlast. Als een golf over de dijk slaat dan zal het water geen andere richting op kunnen dan over de kruin en binnentalud. Mochten er huizen of gebouwen hier gesitueerd zijn dan zal de golf met zijn hoeveelheid ongeveer één op één tegen deze bebouwing stromen. In het achterland vanaf de voet van de dijk heeft het water de ruimte om de weg van de minste weerstand te kiezen, in dit geval het laagst gelegen gebied. Uit de veldstudie is gebleken dat er vele greppels, sloten en laaggelegen wegen zich in het gebied bevinden. Hierdoor zal de waterstand of het water wat de gebouwen bereikt minder hoog en groot zijn dan dat het geval is bij bebouwing op en in de dijk. Om deze reden is de meeste bebouwing achter de dijk niet relevant.

Echter zijn er wel een aantal objecten waarnaar gekeken moet worden. Direct achter de dijk bevinden zich af en toe bebouwing en (glas)tuinbouw en landbouw. Deze functies achter de dijk die zich in een grote polder bevinden zullen voornamelijk onder het waterbezwaar vallen voor hun bruikbaarheidsgrenstoestand. Hoeveel er geaccepteerd wordt volgt uit de grondslagen voor Hoogwaterbescherming en bedraagt 0,2 meter voor een postcodegebied (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). De herhalingstijden zijn te zien in Tabel 1.

Voor de landbouw die zich direct achter de dijk bevindt zal dus een toelaatbare waterhoogte van 0,2 meter gelden met een maximale frequentie van één in de 25 of 50 jaar. Voor huizen zal dit één in de 100 jaar bedragen.

5.4 Functies onder bouwbesluit

In Nederland wordt voor een postcodegebied pas gesproken van een overstroming bij een waterstand van meer dan 0,2 meter. (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016). Echter sinds de huizen in en op de dijk zich boven het maaiveld bevinden zullen deze huizen niet onder deze regeling vallen (Jorissen, 2018).

De huizen die fysiek onderdeel uitmaken van een dijk zijn een aparte discussie. De gebruikelijke richtlijn is dat de beheerder van dijken de huizen niet meeneemt in de waterveiligheidsberekeningen (Jorissen, 2018). Dus dat het als het ware een gat in de dijk is. De veiligheidseis en ontwerprichtlijnen van dijken is gebaseerd op grote vervormingen. Huizen daarentegen moeten ook voldoen aan het Bouwbesluit. Hierin zijn eisen opgenomen ten aanzien van vervormingen. Deze zijn vaak strenger dan de vervormingen die optreden bij waterveiligheidseisen. In potentie heb je een bruikbaarheidsgrenstoestand die strenger is dan de waterveiligheidseis, terwijl de beheerder de huizen niet meerekent in de waterveiligheidsberekeningen.

Er zijn twee soorten functies die onder het bouwbesluit vallen. Dat zijn de woningen in de dijk en de twee monumenten.

5.4.1 Woningen in de dijk

Een van de grootste risico's bij overslag is de schade aan gebouwen. Deze gebouwen zijn doorgaans ontworpen voor een residentieel of commercieel doel zonder dat de potentiële effecten van de overslag zijn overwogen. Uit onderzoek blijkt dat de impulskracht ten gevolge van overslag nagenoeg altijd groter is dan de ontwerpbelasting van de gebouwen. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het

falen van de dragende muren verwacht kan worden (Chen, 2016). Dit onderzoek focust zich op bebouwing bij primaire waterkeringen.

Nu zullen zulke explosieve golven en weersomstandigheden niet verwacht worden bij Varik, toch is het noodzakelijk om een inschatting te maken om waar de grens ligt. Een bruikbaarheidsgrenstoestand voor woningen in de dijk is momenteel niet te definiëren. Dit komt grotendeels door de vele variabelen als wind, golfhoogte, waterstand et cetera. Wel hangen er eisen aan de toelaatbare herhalingstijden van woningen in de dijk. Er wordt gesteld dat er ééns in de 25 jaar schade op mag treden, daarnaast mogen woningen ééns in de 50 jaar niet toegankelijk of beschikbaar zijn (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018).

5.4.2 Monumenten

De monumenten zijn niet allemaal even relevant voor de overslag. Zoals te zien is in Figuur 4-4 liggen de monumenten verspreid door het gebied. De Bol is met haar renovatie 1 meter opgehoogd met behulp van betonnen blokken. Door deze aanzienlijke hoogte boven het maaiveld is het onwaarschijnlijk dat dit gebouw relevant zal zijn. De pastorie, kerk en rooms-katholieke school bevinden zich allemaal plusminus 200 meter achter de dijk. Door dezelfde redenatie als in de vorige alinea kan geconcludeerd worden dat deze monumenten minder relevant zullen zijn dan de monumenten in en op de dijk, namelijk het Dwarshuis en de Dikke Toren.

Deze monumenten zullen dezelfde eisen met zich meebrengen als de woningen in de dijk. Het feit dat deze gebouwen als monument beschouwd worden heeft geen invloed op de BGT van het gebouw (Jorissen, 2018). Ook voor de monumenten is het lastig een bruikbaarheidsgrenstoestand op te stellen. Hiervoor is verder onderzoek nodig. De toelaatbare herhalingstijden komen overeen met de woningen in de dijk en bedragen 25 jaar voor schade en 50 voor niet beschikbaarheid of toegankelijkheid (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018).

5.5 Veiligheid gerelateerde functies

Deze functies worden opgesplitst in drie categorieën; het vermogen tot evacuatie en de mogelijkheid tot inspectie en reparatie van de dijk.

5.5.1 Evacuatie

Zoals aangegeven in 4.5.3 wonen er in Varik relatief weinig personen en zijn er ook relatief weinig voertuigen. Doordat er twee uitvalswegen het gebied uit zijn kunnen zelfredzame bewoners naar verwachting het gebied binnen enkele uren verlaten. Voor de niet-zelfredzamen en de zelfredzamen zonder vervoer zijn aparte evacuatieplannen met behulp van busvervoer, ambulances en taxi's opgesteld. De verzamelplaatsen voor preventieve evacuatie bevinden zich in Varik. De routes voor evacuatie voor deze doelgroep bevinden zich in het achterland richting Ophemert (Booister, 2017).

Voor evacuatie van de niet-zelfredzamen geldt een harde eis van $< 1 \text{ l/m/s}$ (Kok, Jongejan, Nieuwjaar, & Tanczos, 2016; Pullen, et al., 2007). Aangezien de fractie niet-zelfredzamen zo klein is, de hoogwatergolf ver van tevoren voorspeld kan worden en het feit dat de evacuatieroutes in het achterland liggen zal de evacuatie functie niet relevant zijn in deze case.

5.5.2 Reparatie

Door een goede inspectie en monitoring van de waterkering kunnen vele mogelijke problemen in een vroegtijdig stadium opgelost worden. De schades en problemen die naar boven komen tijdens een

crisissituatie en niet vroegtijdig opgepakt konden worden zijn vaak een ander verhaal. Hierbij is vaak grootschalig materiaal nodig om de waterkerende functie intact te houden. Dit grootschalige materiaal zal zorgen voor een zeer grote belasting op een al zwakkere dijk (Jongejan, van Bree, Knoeff, de Visser, & Blinde, 2016). Deze assessment valt echter onder de macrostabiliteit van de dijk, en dus buiten de scope.

Volgens experts is het lastig in te schatten welk overslagdebiet nog toelaatbaar is als het aankomt op reparatie, dit is namelijk afhankelijk van meerdere factoren zoals terreingesteldheid, wind en neerslag (Knotter, 2018). Om een goede inschatting te maken van de BGT dient hier aanvullend onderzoek naar gedaan te worden. Interessante voetnoot hierbij is het feit dat men tijdens een crisissituatie die dijk wel op gaat voor reparatie, hoe zwaar de omstandigheden ook zijn. Een overstroming heeft altijd immense impact op het achterland en alle middelen zullen worden aangewend om dat te voorkomen (VRGZ, 2012).

5.5.3 Inspectie

Om de waterveiligheid te kunnen blijven waarborgen zijn er eisen opgesteld ten behoeve van de inspectie en reparatiemogelijkheden. Inspectie en of reparatie worden niet door de gemiddelde burger uitgevoerd, maar door getrainde professionals. Hierdoor kunnen er mildere eisen worden gesteld aan wat toelaatbaar is (Jorissen, 2018). Waterschap Rivierenland zal de waterkeringen inspecteren vanaf een waterstand van 18,00 m+NAP bij Lobith (Knotter, 2018). Deze inspectie zal lopend uitgevoerd worden door getrainde professionals. Mocht het te gevaarlijk zijn om een dijkinspectie te voet uit te voeren, dan kan besloten worden dit met een auto te doen (Jorissen, 2018).

De BGT van de dijkinspectie zal op het punt liggen waarop het uitvoeren van inspectie niet meer mogelijk is. Hier hoort een toelaatbaar overslagdebiet bij van 1 tot 5 l/m/s (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018). Dit volgt grotendeels uit het feit dat gaten en andere beschadigingen niet duidelijk kunnen worden opgemerkt wanneer er water overheen stroomt. Ook zal een overslagdebiet zorgen voor instabiliteit van de taluds door verzadiging van de graszode. Hierdoor kan men wegzakken tijdens het uitvoeren van een inspectie.

6 Hydra-nl

Nu de eisen voor alle relevante functies opgesteld zijn, kan er worden gekeken of deze bruikbaarheidsgrenstoestanden overschreden worden bij Varik. De applicatie die gebruikt wordt heet Hydra-NL en is een probabilistisch beoordelingsprogramma voor de veiligheid van dijken in Nederland consistent met het WBI 2017. Met Hydra-NL zijn voor opgeven terugkeertijden waterstanden, significante golfhoogtes, piekperiodes, optredende overslagdebieten en golfcondities te berekenen (Rijkswaterstaat, 2017).

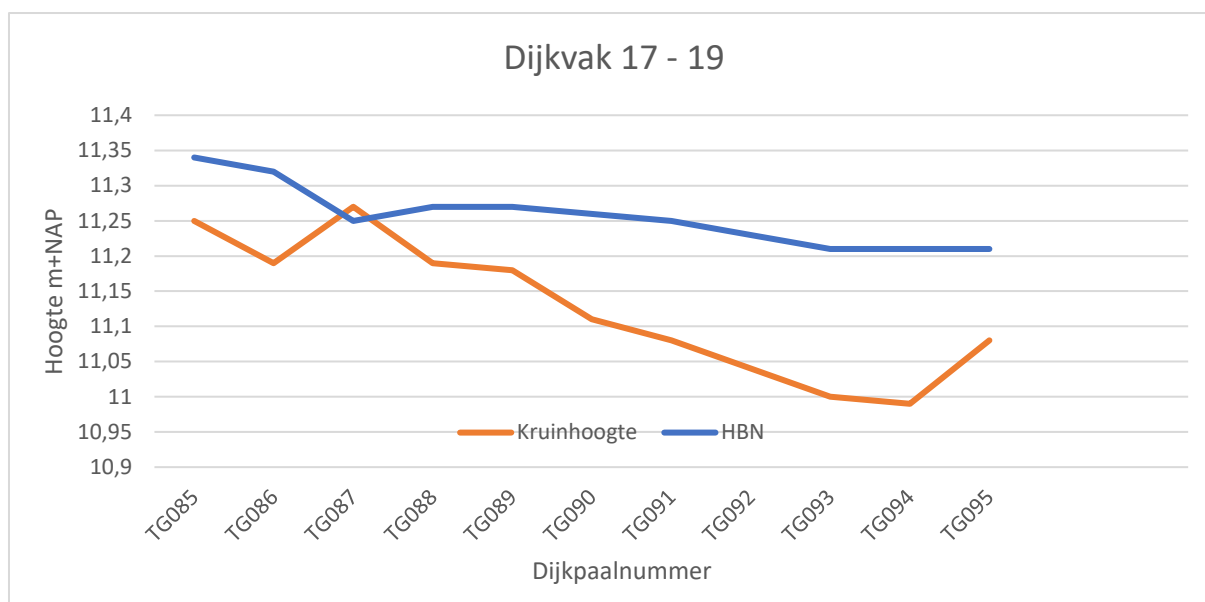
In dit hoofdstuk zal eerst kort beschreven worden welke databases, randvoorwaarden, statistiek en instellingen gebruikt worden in het programma om tot resultaten te komen, oftewel het werkprotocol. Een uitgebreide uitleg van het werkprotocol is te vinden in Bijlage B: Uitgangspunten Hydra-NL. Hierna zullen de resultaten geverifieerd en eventueel gekalibreerd worden aan de hand van de geotechnische onderbouwing dijkontwerp (van Middelkoop - Molenaar, Taekema, Roosendaal, & Moerland, 2018). Tot slot zal er een koppeling gemaakt worden tussen de benodigde kruinhoogte en het hydraulisch belasting niveau (HBN) en een advies tot generalisatie en beleid gedaan worden.

6.1 Uitgangspunten

In Hydra-NL zal er één specifieke locatie doorgerekend worden. Dit zal gaan om de minst gunstige locatie. Sweco heeft in eerder onderzoek al het hele TiWa traject doorgerekend. In Figuur 6-1 zijn de door Sweco berekende kruinhoogtes en HBN te zien. Het benodigde HBN is bepaald op basis van het werkprotocol HR & HBN (van Middelkoop - Molenaar & Taekema, 2017). Hierbij is het HBN inzichtelijk gemaakt per 100 meter waarbij ook de huidige kruinhoogte op de locatie zijn aangegeven. Het HBN is bepaald voor een overslag van 5 l/m/s, een buitentalud van 1:3, zichtjaar 2075 en een terugkeertijd van 1/41.670 jaar.

De terugkeertijd van 1/41.670 komt voort uit de faalkansbegroting die wordt gehanteerd voor primaire keringen. Met een faalkansbegroting wordt een overstromingskansnorm verdeeld over verschillende faalmechanismen. Er wordt daarbij geen rekening gehouden met correlaties tussen faalmechanismen. De faalkansbegroting heeft niets te maken met het verdelen van faalkansen in de ruimte, dat wil zeggen over dijkvakken binnen een dijktraject (Knoeff, 2016). Voor het faalmechanisme 'overslag en overloop' geldt een faalkansbegroting van 24% (Knoeff, 2016), waardoor de faalkanseis uit komt op 1/41.670 jaar.

Uit Figuur 6-1 kan geconcludeerd worden dat dijkpaal TG094 de maatgevende situatie zal geven. Op deze locatie is het verschil tussen het HBN en de huidige kruinhoogte het grootst; 11,21 m+NAP om 10,99 m +NAP.



Figuur 6-1 Kruinhoogte en HBN dijkvak 17-19

De precieze locatie van TG094 in Hydra is te zien in Bijlage B: Uitgangspunten Hydra-NL.

Onderdeel van het bepalen van de ontwerprandvoorwaarden is het rekening houden met het verwachte effect van klimaatverandering (zeespiegelstijging, meerpeilstijging en/of toename rivierafvoer) gedurende de geplande levensduur. Deze verwachtingen zijn onder te verdelen in een viertal meest gangbare klimaatscenario's (Rijkswaterstaat, 2011), te noemen:

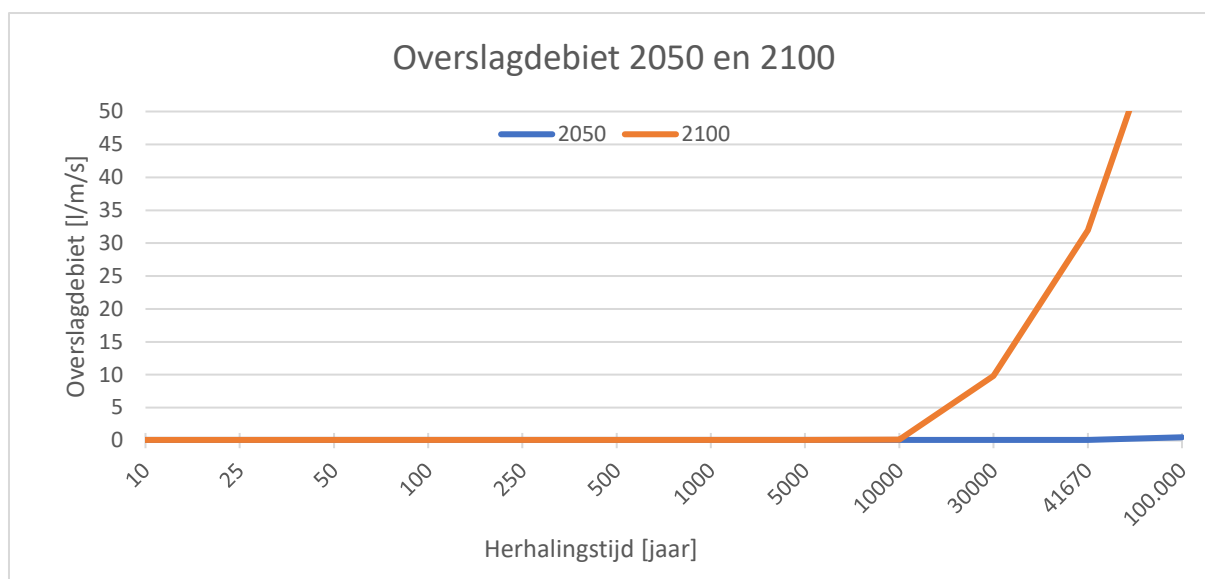
- 2050 RustDruk (RD)
- 2050 StoomWarm (SW)
- 2100 RustDruk (RD)
- 2100 StoomWarm (SW)

Het RD-scenario zal zich onderscheiden door een matige klimaatverandering met een beperkte verandering van lage en hoge afvoeren in rivieren. Het SD-scenario kenmerkt zich door een snelle klimaatverandering met daarin extreem lage en hoge afvoeren van grote rivieren.

Voor klimaat bestaat het referentiejaar uit langjarige reeksen voor temperatuur en neerslag. Voor de twee zichttermijnen is uitgegaan van de jaren 2050 en 2100. Deze jaren zijn globale indicaties. Er zit veel onzekerheid in de snelheid waarmee de ontwikkelingen zich voltrekken. Deze scenario's zullen in Hydra-NL invloed hebben op het gedrag van de afvoerpiek bij Lobith. Bij de resultaten zal duidelijk aangegeven welk scenario gebruikt wordt.

6.2 Overslagdebiet bij Varik

Met behulp van Hydra-NL kan de vierde deelvraag beantwoord worden: *Wat is de verwachte frequentie en debiet van overslag bij Varik?* Voor TG094 zijn er twee klimaatscenario's doorgerekend, namelijk de minst gunstige situaties 2050 SW en 2100 SW. In Figuur 6-2 is het overslagdebiet tegenover de herhalingsdijk te zien wat op zal treden bij Varik in de zichtjaren 2050 en 2100.



Figuur 6-2 Overslagdebiet in zichtjaren 2050 en 2100

In Figuur 6-2 is te zien dat er voor beide zichtjaren tot een herhalingstijd van 10.000 jaar een verwaarloosbaar klein overslagdebiet op zal treden van < 0,1 l/m/s. In het zichtjaar 2050 zal er ook voor hogere herhalingstijden een klein overslagdebiet optreden van ten hoogste 0,5 l/m/s. In het meer onzekere zichtjaar 2100 is het overslagdebiet echter substantieel vanaf een herhalingstijd van 10.000 jaar. Deze grote variatie tussen zichtjaren komt vooral door de grotere onzekerheid in snelheid van ontwikkelingen zoals verstedelijking en klimaat.

Nu in kaart is gebracht hoe het overslagdebiet zich bij Varik gedraagt, kan er een koppeling gemaakt worden met de BGT van alle relevante eisen die in Hoofdstuk 5 gedefinieerd zijn.

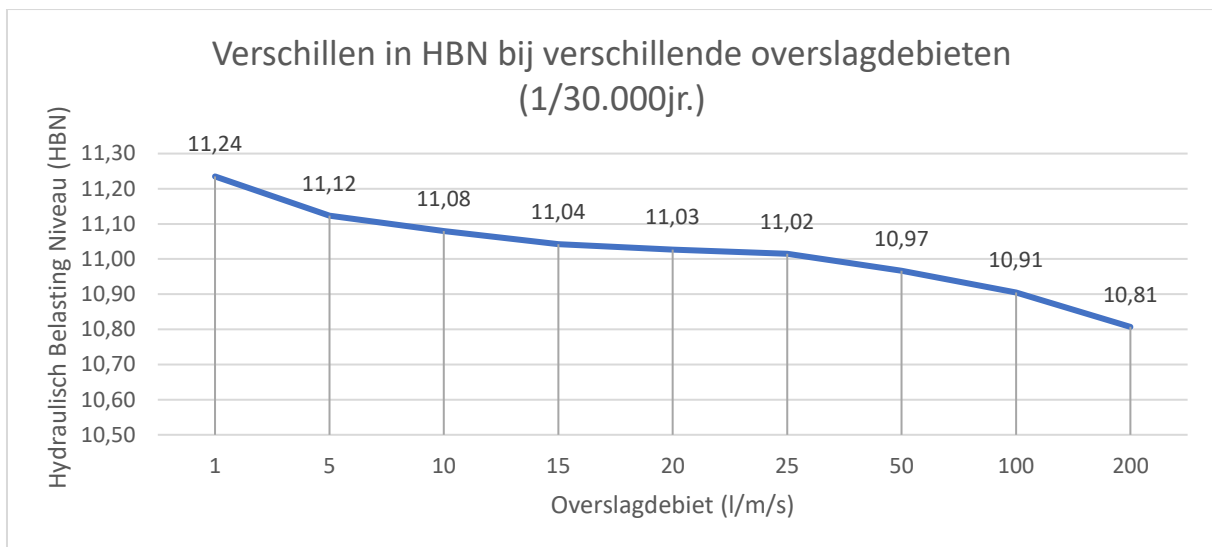
Voor het zichtjaar 2050 kan geconcludeerd worden dat de BGT van geen enkele functie in het geding zal komen. Met een maximum debiet van 0,5 l/m/s met een herhalingstijd van 100.000 jaar kunnen alle functies zoals inspectie, evacuatie en verkeer nog gewoon plaatsvinden.

In het zichtjaar 2100 is nagenoeg eenzelfde situatie. Er wordt vanuit gegaan dat de dijk ontworpen is op een UGT van 1 / 10.000 jaar, en dat de dijk in het ergste geval bij die waterstand zal doorbreken. Met het scenario voor 2100 zal er bij een herhalingstijd van 10.000 jaar nagenoeg geen overslag plaatsvinden, echter is dit wel het punt waarop er overslag in een substantiële mate zal optreden. Dit is goed te zien in Figuur 6-2. De combinatie van de UGT en BGT rond dit punt zal verder worden gesproken in 6.5.

6.3 Relatie HBN en overslagdebiet

Een interessante vraag die momenteel speelt is: *wat is de relatie tussen de benodigde kruinhoogte en een variabel overslagdebiet* (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018)? In welke mate is het toestaan van een groter overslagdebiet gunstig voor de ontwerphoogte van een dijk? Om deze afweging te kunnen maken moeten eerst de overslagdebieten en de herhalingstijden in relatie tot het HBN inzichtelijk gemaakt worden. In Figuur 6-4 is de relatie te zien tussen verschillende overslagdebieten met bijbehorende herhalingstijden en het benodigde HBN. Ook is hierin de huidige kruinhoogte van 10,99 m+NAP te zien.

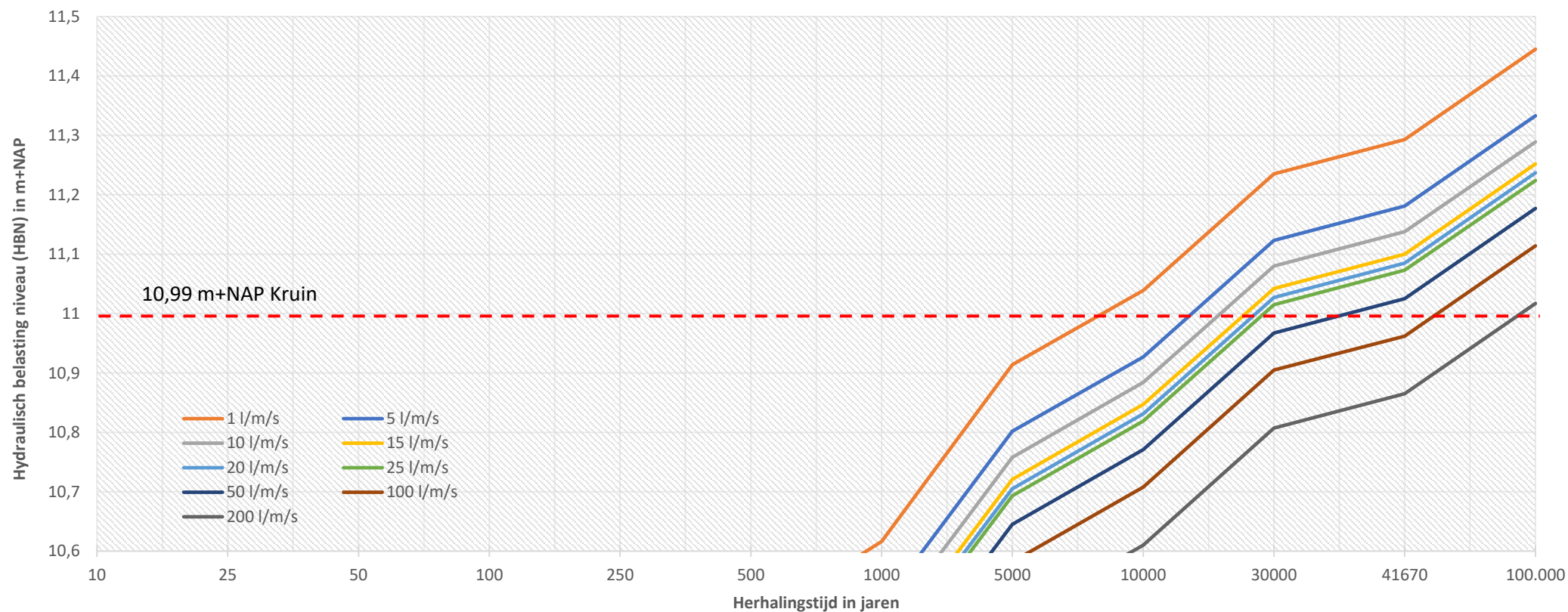
Zoals ook uit Figuur 6-4 blijkt, is dat er pas overslag zal optreden rond een herhalingstijd van 6.000 á 7000 jaar. Wat verder opvalt is het relatief weinige verschil tussen het benodigde HBN bij verschillende overslagdebieten. Een stijging van een toelaatbaar overslagdebiet van bijvoorbeeld 5 l/m/s naar 10 l/m/s bij een herhalingstijd van 30.000 jaar geeft een daling van het HBN van maar 0,04 meter. Dit is verder geïllustreerd in Figuur 6-3. Hier zijn de benodigde HBN uitgezet tegen de verschillende debieten bij een vaste overschrijdskans van 1 / 30.000 jaar.



Figuur 6-3 Verschillen in HBN bij verschillende overslagdebieten (1/30.000jr.)

Momenteel wordt er ontworpen met een toelaatbaar overslagdebiet van 1 l/m/s. Uit de BGT-eisen van verschillende functies kwam onder andere een toelaatbaar overslagdebiet voort van 20 l/m/s voor personen verkeer. Dit zou een verlaging van het HBN betekenen van 0,20 meter. De vraag die speelt is of een dergelijke kruinverlaging rendabel is aangezien er in zo'n situatie aanvullende maatregelen getroffen moeten worden om op een veilige wijze met die 20 l/m/s om te kunnen gaan.

HBN bij kritieke overslagdebieten 2100



Figuur 6-4 HBN bij variabele overslagdebieten en herhalingstijden

6.4 Verificatie

In de geotechnische onderbouwing van de dijkverkenning Tiel-Waardenburg wordt het HBN bepaald voor een terugkeertijd van 41.670 jaar. Dit volgt uit de standaard faalkansverdeling voorgeschreven door het OI2014v4 (Rijkswaterstaat, 2017). Voor golfoploop en overslag komt er een faalkansbegroting van 24% bovenop de door de Waterwet voorgeschreven maximaal toelaatbare overstromingskans van 1/10.000 jaar.

Voor TG094, zichtjaar 2075, een herhalingstijd van 41.670 jaar en een overslagdebiet van 5 l/m/s is er door Sweco berekend dat het HBN daar neer komt op 11,21 m+NAP. Uit de berekeningen uit dit verslag volgt een HBN van 11,18 m+NAP, een verschil van 0,03 meter. Dit verschil kan verklaard worden door het feit dat de hydraulische databases veranderen met de tijd. Het rapport met daarin de geotechnische onderbouwing is op het moment van schrijven ongeveer één jaar oud. In dat jaar kunnen de databases zulke veranderingen ondergaan die dit verschil verklaren.

6.5 Generalisatie en beleid

De doelstellingen van het onderzoek zijn nu echter nog niet vervuld, er moet nog worden gekeken naar de toepasbaarheid van de uitkomsten voor andere dijken. Een inschatting kan gemaakt worden om in schatten wat er voor nodig is om de uitkomsten te vertalen naar eisen of uitgangspunten in de ontwerpen van toekomstige dijken. De laatste deelvraag luidde als volgt:

(5) Hoe kan er een generalisatie gemaakt worden naar eisen of uitgangspunten ten aanzien van de ontwerphoogte van dijken?

Eerst zal er ingegaan worden op de generalisatie waarnaar er kort iets wordt verteld over het benodigde beleid hiervoor.

6.5.1 Generalisatie

Nu de situatie bij Varik in kaart is gebracht kan er geconcludeerd worden dat het wellicht lonend kan zijn om een hoger toelaatbaar overslagdebiet te hanteren in het toekomstige beleid. Echter zijn alle consequenties hiervan nog niet in kaart gebracht. Deze consequenties zijn onder te verdelen in de baten en de lasten.

De baten worden primair uitgedrukt in de eventuele besparing van de kruinhoogte (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018). Deze besparing is echter sterk locatie-specifiek. Op locaties met ongunstige golfcondities (veel strijklengte) is deze besparing significant groter dan op andere plekken. Ook de ligging van de dijk ten opzichte van de dominante windrichting, de hoeveelheid voorland en de aanwezigheid van functies dragen bij aan deze besparing. Of de dijk zich bovenstrooms of benedenstrooms bevindt speelt hierin ook rol (van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018).

De lasten worden voornamelijk bepaald door de extra maatregelen die moeten worden getroffen om het hogere overslagdebiet op een veilige manier te kunnen weerstaan. Hieronder vallen vooral de maatregelen die invloed hebben op de UGT van de dijk, zoals macro- en microstabiliteit. Spelen de factoren van de UGT geen rol, dan kan er gekeken worden naar de BGT van alle functies op de dijk.

Voor een generalisatie moet er worden gekeken op dijkvakniveau in plaats van dijktrajectniveau, aangezien de baten en lasten per dijkvak significant anders kunnen zijn. Er is niet één lijn te trekken in een algemeen toelaatbaar overslagdebiet, dit zal per locatie moeten worden onderzocht. Een MKBA

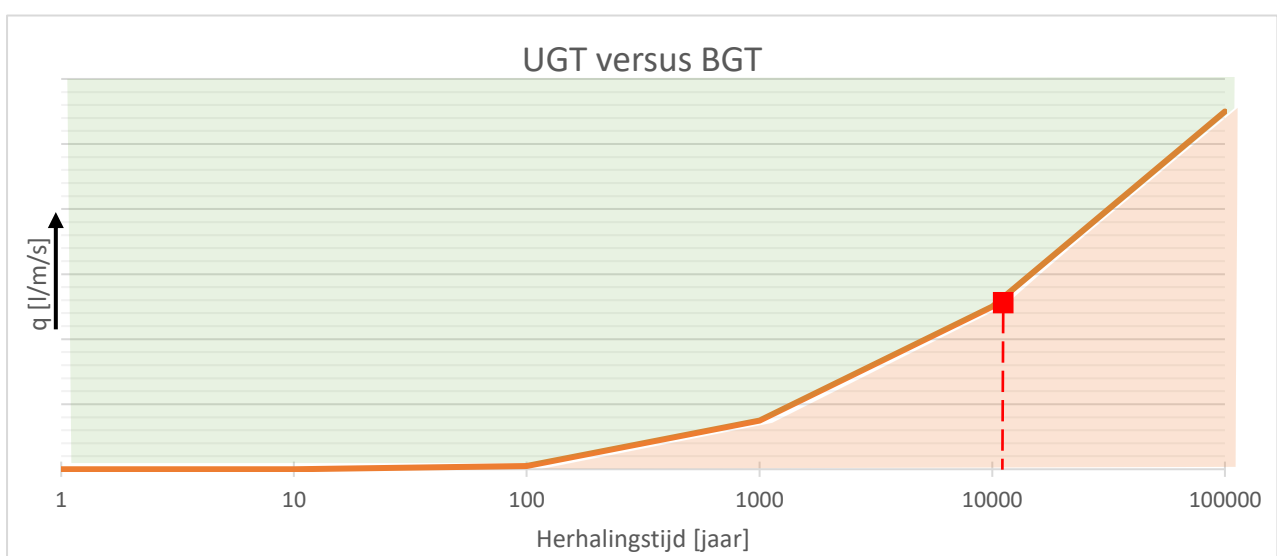
kan hierin ondersteunen om een weloverwogen inschatting te kunnen maken wat rendabel is (Jorissen, 2018; van Hoven, van Steeg, & Zwanenburg, 2018).

6.5.2 Beleid

Bovenstaande generalisatie is te vertalen naar een algemeen beleid dat gehanteerd kan worden in de toekomstige dijkontwerpen. In dit onderzoek is vanaf het begin een duidelijke scheiding gemaakt tussen de UGT en BGT van dijken. In deze paragraaf zullen deze toestanden weer bij elkaar worden gebracht. Er zal worden gekeken naar waar de prioriteit moet liggen en op welke manier de UGT en BGT zullen interfereren.

Momenteel worden alle dijken ontworpen op hun UGT. Deze UGT is gedefinieerd aan de hand van een maximum toelaatbare overstromingskans. Deze toelaatbare overstromingskans komt voort uit een vastgesteld toelaatbaar risico vanuit de overheid. Dit risico wordt gevormd door de kans te vermenigvuldigen met de kosten (Lammers & Vrisou van Eck, 2000). In Figuur 6-5 is het optredend overslagdebiet uitgezet tegen een herhalingstijd voor een standaard dijk. Ook is hier de UGT aangegeven door middel van een rode vierkant. Momenteel ligt het overslagdebiet behorend bij deze herhalingstijd op 1 l/m/s. De vraag die echter naar voren komt is: *Wat is maatgevend in het ontwerpproces (of zou moeten zijn), de BGT of UGT?* Er kunnen zich nu drie situaties voordoen met betrekking tot de eisen van de BGT en UGT.

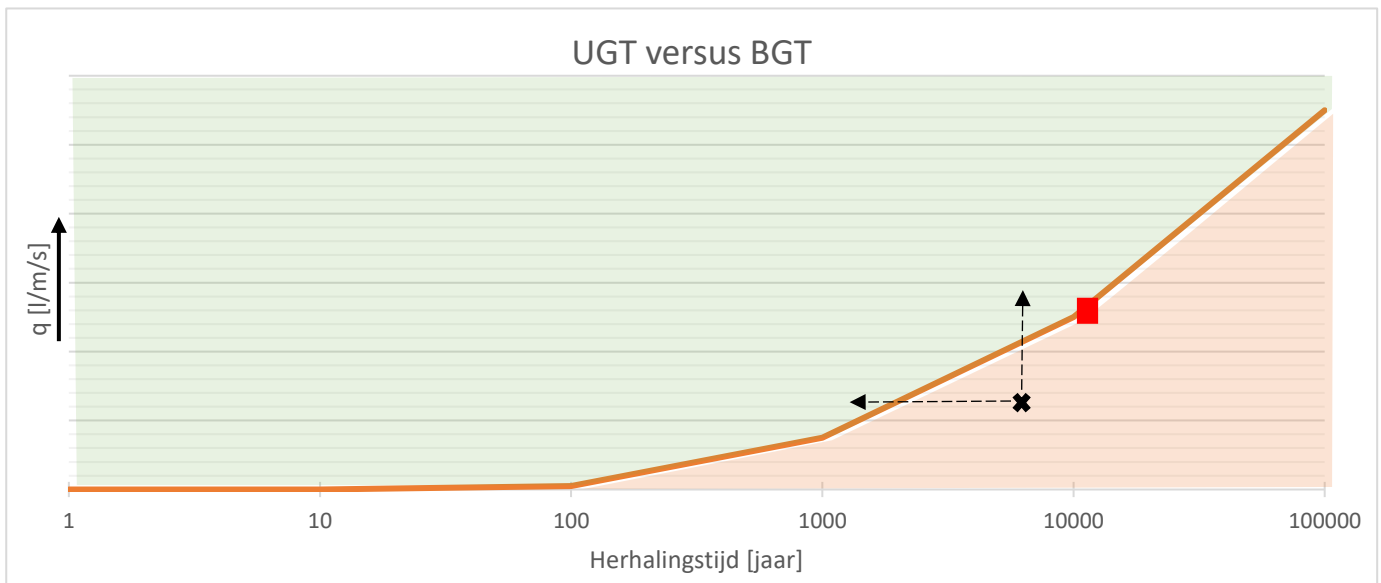
- (1) De BGT heeft een *hoger* toelaatbaar overslagdebiet en een *kleiner* toelaatbare herhalingstijd dan de UGT. In dit geval zal de BGT zich bevinden in het groen gearceerde deel van Figuur 6-5.
- (2) De BGT heeft een *lager* toelaatbaar overslagdebiet en/of een *groter* toelaatbare herhalingstijd dan de UGT. In dit geval zal de BGT zich bevinden in het rood gearceerde deel van Figuur 6-5.
- (3) De BGT heeft een *lager* toelaatbaar overslagdebiet en een *groter* toelaatbare herhalingstijd dan de UGT. In dit geval zal de BGT zich bevinden in het rood gearceerde deel van Figuur 6-5.



Figuur 6-5 Wat is maatgevend? BGT of UGT?

In de eerste situatie zal er geen conflict zijn met de UGT. In deze situatie worden er eisen gesteld die niet op zullen treden bij de dijk. Hierdoor zal de UGT maatgevend zijn en blijven in deze situatie. In de tweede en derde situatie worden er eisen gesteld die strenger zijn dan de eis die vanuit de UGT wordt gesteld. Dit zal en mag nooit maatgevend zijn als het aankomt op het dijkontwerp (Jorissen, 2018), omdat de UGT uit een MKBA volgt.

In de situatie dat er strengere eisen vanuit de BGT dan de UGT geformuleerd worden, zijn er twee manieren om dit op te lossen. Het toelaatbare overslagdebiet kan verhoogd worden totdat deze zich boven de lijn bevindt. De andere oplossing is om een eventueel overslagdebiet vaker toe te laten, dus de herhalingsjijd te verkleinen. Dit is geïllustreerd in Figuur 6-6.



Figuur 6-6 Versoepeling BGT eisen

7 Conclusie

Door het almaar groeiende verstedelijking in Nederland wordt er tegenwoordig gekeken naar de optimalisaties van ruimtes. Ook in de ontwerpfasen van waterkeringen moet er worden gekeken naar optimalisaties. Deze optimalisaties mogen de waterveiligheid niet in de weg staan, maar zij zijn wel nodig om de hedendaagse problemen het hoofd te bieden.

Hedendaags vinden er binnen de Waterschappen, ingenieursbureaus en kenniscentra discussies plaats over het toelaten van een groter overslagdebiet bij dijken. Deze maatregel zou betekenen dat de ontwerphoogte voor de kruin omlaag kan, en daarmee ook ruimtewinst geboekt kan worden. Bij knelpunten in de rivieren in Nederland zou dit kunnen leiden tot wat meer adem als het gaat om waterveiligheid. De doelstelling van dit onderzoek was om meer inzicht te verkrijgen in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) van verschillende functies op en achter de dijk, om de effecten te kunnen inschatten van een hoger toelaatbaar overslagdebiet. Binnen dit onderzoek worden de BGT en uiterste grenstoestand (UGT) in het begin dan ook expres van elkaar gescheiden om een objectief beeld te krijgen van de BGT. De doelstelling was ook om deze kwantitatieve bevindingen te generaliseren naar eisen of uitgangspunten voor andere dijken. Hier zullen de UGT en BGT weer bij elkaar gebracht worden om te kijken wanneer ze zullen interfereren.

In dit verslag is eerst aandacht besteedt aan een case. Het ging hierom om TG085 tot en met TG095 bij Varik op het traject Tiel-Waardenburg. Hier zijn alle functies in kaart gebracht, waarna een onderbouwde afweging is gemaakt of deze relevant zijn of niet voor een eventuele verhoging van het toelaatbare overslagdebiet. De relevante functies bleken: gemotoriseerd verkeer, personen verkeer, glastuinbouw en landbouw, woningen en monumenten in de dijk en inspectie en reparatie van de dijk.

Na deze onderbouwing is de literatuur ingedoken om de BGT van de relevante functies te definiëren. Ook is er aanvullende informatie opgehaald door middel van interviews en mailconversaties met Rijkswaterstaat en Waterschap Rivierenland. Hieruit kon vooral geconcludeerd worden dat een merendeel van de functies onder het 'Waterbezwaar' vallen, een tweetal functies onder het Bouwbesluit vallen en de overige functies elk hun eigen eis heeft met betrekking tot de BGT. Dit is samengevat in Tabel 3.

Vervolgens is er met behulp van Hydra-NL kwalitatief gekeken hoe het overslagdebiet zich momenteel gedraagt bij Varik, en wat de relatie tussen het hydraulisch belasting niveau (HBN) en een eventueel groter toelaatbaar overslagdebiet is. Uit Hydra-NL volgde dat er geen noemenswaardige overslag optreedt bij het zichtjaar 2050, echter zal er met zichtjaar 2100 wel een noemenswaardig overslagdebiet optreden vanaf een herhalingstijd van 10.000 jaar. Hieruit blijkt ook dat een eventuele verhoging van het overslagdebiet kan leiden tot een kruindaling van enkele tientallen centimeters.

Ten slotte zijn de bevindingen van Varik gegeneraliseerd naar een toepasbaar beleid. Voor de generalisatie zelf moet er worden gekeken op dijkvakniveau. Er is niet één lijn te trekken in een algemeen toelaatbaar overslagdebiet, maar dit kan per locatie onderzocht worden aan de hand van een MKBA.

De BGT van dijken mag nooit als maatgevend worden beschouwd bij het ontwerp van waterkeringen. De UGT van de dijk is het gevolg van een wettelijk vastgelegd overstromingsrisico. Deze houdt rekening met de gevolgen van een overstroming (schade en slachtoffers) enerzijds, en de kosten voor een

dijkversterking anderzijds. Eventuele overlast ten gevolge van een overslagdebiet is hierin niet meegenomen.

Voor de toekomst kan er dus geconcludeerd worden dat een verhoging van het toelaatbare overslagdebiet rendabel kan zijn voor specifieke dijken, maar dat de eisen van de BGT niet mogen interfereren met de UGT. De UGT moet altijd de leidende norm zijn bij het dijkontwerp.

8 Discussie

De validiteit van dit onderzoek ligt grotendeels in de betrouwbaarheid van de literatuur. Vooral de BGT zijn gedefinieerd op basis van verschillende publicaties. Of deze publicaties de meest accurate waarden geven is de vraag. Voor bijvoorbeeld de functie 'personenverkeer' zijn in de literatuur veel verschillende waarden gevonden die zeer verschillen. Proeven met betrekking tot de stabiliteit van personen in stromend water, laten zien dat personen bij beperkte waterdieptes en beperkte stroomsnelheden al snel hun stabiliteit verliezen (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004). Echter komen hier veel factoren bij kijken zoals gewicht, lengte, geslacht, watertemperatuur en puin (Jonkman & Penning-Rowsell, 2008). Deze zijn in het verslag niet meegenomen.

Een ander aspect van de validiteit van dit onderzoek ligt in de uitkomsten die volgen uit Hydra-NL. Het gebruik van modellen of applicaties binnen een onderzoek zorgt altijd voor discussiepunten. In Bijlage B en in paragraaf 6.1 wordt verder ingegaan op de uitgangspunten en instellingen van deze applicatie. Op deze manier is het onderzoek reproduceerbaar voor derden. In paragraaf 6.4 wordt ingegaan op de verificatie van het model. Hieruit blijkt dat het model valide genoeg is en waardes geeft die aannemelijk zijn.

Dit onderzoek kent een aantal beperkingen in deze opzet. In deze paragraaf zullen de belangrijkste beperkingen aan bod komen. Ten eerste is er in dit onderzoek gekozen voor een duidelijke afkadering van het projectgebied. Er is voor een traject gekozen van enkele honderden meters, terwijl het gebied als het komt op waterveiligheid als één geheel zou moeten worden gezien. Om een integraal antwoord te kunnen vinden op de eventuele toelating van een hoger overslagdebiet, zal het gebied in een grotere context geplaatst moeten worden. Ook de kombergingseigenschappen van het gebied spelen een grote rol bij de bepaling van een eventueel hoger toelaatbaar debiet. Deze eigenschap is in dit onderzoek niet meegenomen.

Deze opdracht is uitgevoerd voor een locatie die valt onder Waterschap Rivierenland. Aangezien waterschappen redelijk op zichzelf staande instanties zijn kunnen de eisen en het beleid ten opzichte van bijvoorbeeld inspectie en onderhoud variëren. Bepaalde toelaatbare waarden hoeven dus niet per se aan te sluiten bij het beleid van andere waterschappen.

Een andere beperking van dit onderzoek is dat er nu wordt gekeken naar een kleinschalig dorpje. Het uitvoeren van evacuatie van dit gebied is veel eenvoudiger vanwege de geringe omvang. Voor grotere steden zullen er wellicht andere eisen nodig zijn.

9 Aanbevelingen

Voor een verdere implementatie van een toelaatbaar overslagdebiet in toekomstig beleid, dienen er nog een aantal stappen gezet te worden. Het is aanbevolen om een MKBA uit te voeren per functie voor de BGT. Door het uitvoeren van een MKBA kan er onderbouwd een afweging gemaakt worden wat nou toelaatbaar is.

Verder werd er tijdens dit onderzoek opgemerkt dat er weinig samenwerking is tussen verschillende instanties. Waterschappen, overheden en onderzoeksinstellingen voeren nu los van elkaar onderzoeken uit. Als dit gecentraliseerd kan worden kan er wellicht sneller een beleid en visie naar voren komen met betrekking tot de BGT.

Aanvullende onderzoeken zouden zich kunnen richten op de BGT eisen die volgen uit veiligheid gerelateerde functies. Tijdens dit onderzoek merkte ik dat hier vrij weinig kennis en ervaring over is, grotendeels door de hoge standaarden die wij aan waterveiligheid stellen hier in Nederland.

Dit onderzoek focuste zich op secundaire waterkeringen. Bij primaire waterkeringen zal het zoute water een veel grotere rol spelen ten opzichte van zoet water. De eisen van BGT zouden hier veel invloed van kunnen ondervinden.

10 Verwijzingen

- Allsop, N. (2005). *D38: Report on hazard analysis*. Ghent: HR Wallingford Limited.
- Allsop, N., Bruce, T., de Rouck, J., Kortenhaus, A., Pullen, T., Schüttrumpf, H., . . . Zanuttigh, B. (2016). *EurOtop manual on wave overtopping of sea defences and related structures*.
- ANWB. (2018, 5 16). *Rijden bij Wateroverlast*. Opgehaald van ANWB:
<https://www.anwb.nl/auto/nieuws-en-tips/tips-en-advies/rijden-bij-wateroverlast>
- Booister, N. (2017). *Evacuatie dorpspolder Varik-Heesselt*. Houten: Sweco.
- Brader, Loon, V., & Minnebruggen, V. (2016). *Dijkverbetering Tiel - Waardenburg*.
- Briene, M., & van Hussel, K. (2018). *MKBA Dijkversterking Tiel-Waardenburg*. Rotterdam.
- Chen, X. (2016). *Impacts of overtopping waves on buildings on coastal dikes*. Delft: TU Delft.
- Deltares, Rijkswaterstaat. (2016). *Handreiking Innovaties Waterkeringen*. Rijkswaterstaat.
- Duits, M. (2018). *Hydra-NL gebruikershandleiding versie 2.4*. Rijkswaterstaat.
- Geerse, C. (2011). *Hydra-Zoet for the fresh water systems in the Netherlands*. HKV Consultants.
- Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier. (2016). *Handreiking Kunstwerken*. HWBP.
- Jongejan, R., van Bree, B., Knoeff, H., de Visser, M., & Blinde, J. (2016). *KPR Factsheet: Verkeersbelasting en macrostabiliteit*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Jonkman, S., & Penning-Rowsell, E. (2008). *Human instability in flood flows*. Journal of the American Water Resources Association.
- Jorissen, R. (2018, 5 22). *Beleid met betrekking op de bruikbaarheidsgrenstoestanden*. (S. Hoogeveen, Interviewer)
- KNMI. (2018, 6 11). *Windrozen van de Nederlandse Hoofdstations*. Opgehaald van KNMI:
<https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/grafieken/maand/windrozen>
- Knoeff, H. (2016). *KPR Memo: Faalkansbegroting*. Utrecht: Rijkswaterstaat.
- Knotter, H. (2018, 6 1). *Vergadering Deltares - Waterschap Rivierenland*. (S. Hoogeveen, Interviewer)
- Kok, M., Jongejan, R., Nieuwjaar, M., & Tánczos, I. (2016). *Grondslagen voor hoogwaterbescherming*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.
- Lammers, I., & Vrisou van Eck, N. (2000). *Risicobepaling in Nederland en Vlaanderen*.
- Middelkoop - Molenaar, I., Taekema, S., Roosendaal, M., & Moerland, V. (2018). *Verkenning dijkversterking Tiel - Waardenburg*. De Bilt: Sweco.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2009). *Waterwet*.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2004). *Methode voor de bepaling van het aantal slachtoffers ten gevolge van een grootschalige overstroming*. Delft: Dienst Weg- en Waterbouwkunde.

- Ministeries I&M en EZ. (2017). *Deltaprogramma 2018*. Den Haag.
- Mols, J., & Schut, M. (2012). *Gemeentelijke aansprakelijkheid bij wateroverlast*. Wageningen: RIONED, Central Beheer Achmea, OVO.
- Nagtegaal, B. (2017, 9 25). Wanneer leidt hoogwater tot evacuatie? *NRC*.
- Newberry, B. (2009). *Katrina: Macro-Ethical Issues for Engineers*. Springer Science+Business Media B.V.
- Olieman, M. (2018, 6 1). Vergadering Deltares - Waterschap Rivierenland. (S. Hoogeveen, Interviewer)
- Provincie Gelderland. (2016). *Samen werken aan hoogwaterveiligheid - Startdocument MIRT-verkenning Varik-Heesselt*. Arnhem.
- Provincie Gelderland. (2018, 4 11). *Documenten*. Opgehaald van Veilig samenleven met toekomstig hoogwater: <https://varikheesselt.gelderland.nl/Documenten/default.aspx>
- Pullen, T., Allsop, N., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H., & van der Meer, J. (2007). *EurOtop: Wave overtopping of sea defences and related structures*.
- Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed. (2018, 5 3). *Waalbandijk 12, Varik*. Opgehaald van Monumenten.nl: <https://www.monumenten.nl/monument/28986>
- Rijksoverheid. (2015). *Nationaal Bestuursakkoord Water*.
- Rijksoverheid. (2018, 5 3). *Erfgoedwet*. Opgehaald van Wetten.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0037521/2017-09-01#Hoofdstuk4>
- Rijksoverheid. (2018, 4 11). *Waterwet*. Opgehaald van wetten.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk4a>
- Rijksoverheid. (2018, 4 16). *Wet tegemoetkoming schade bij rampen*. Opgehaald van Wetten.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0009637/2016-01-01>
- Rijksoverheid. (2018, 4 18). *Wet Veiligheidsregio's*. Opgehaald van Wetten.nl: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0027466/2018-01-01#Paragraaf1>
- Rijkswaterstaat. (2011). *Deltascenario's*. Ministeries van I&M en EZ.
- Rijkswaterstaat. (2012). *Technische Informatie Uitvoering Inspecties*. STOWA.
- Rijkswaterstaat. (2016). *KRW-Jaarrapportage 2016*.
- Rijkswaterstaat. (2016). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 Bijlage III*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2016). *Waterveiligheid Begrippen begrijpen*. Ons Water.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Handreiking Ontwerpen met Overstromingskansen*. Rijkswaterstaat.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Hydra-NL Gebruikershandleiding versie 2.3*. Lelystrad.
- Rijkswaterstaat. (2017). *Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

- Rijkswaterstaat. (2018, 6 27). *Helpdesk Water*. Opgehaald van WAQUA:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/waqua/>
- Rijkswaterstaat. (2018, 6 27). *Hydra-NL*. Opgehaald van Helpdesk Water:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/omgevings/omgevings/hydra-nl-0/#content-start>
- Rijkswaterstaat. (2018, 6 19). *Hydraulische Belastingen*. Opgehaald van Helpdesk Water:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-wbi/beoordelingsproces/uitvoering/hydraulische/>
- Rijkswaterstaat. (2018, 4 11). *LIWO*. Opgehaald van Helpdeskwater: Landelijk Informatiesysteem Water en Overstromingen (LIWO)
- Rijkswaterstaat. (2018, 6 27). *SWAN*. Opgehaald van Helpdesk Water:
<https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/applicaties-modellen/applicaties-per/watermanagement/watermanagement/swan/>
- Ruimte voor de Rivier. (2009). *Ruimte voor Innovatie*.
- Salland Centraal. (2016, 2 17). *Beladen verkoop van markante woning aan de Dijk in Wijhe [Foto]*. Opgehaald van Weekblad Salland: <http://www.sallandcentraal.nl/salland-centraal/algemeen/raalte-regio/raalte/beladen-verkoop-van-markante-woning-aan-de-dijk-in-wijhe>
- Scholte, J. (sd). *Symmetrisch Dwarshuis Waalbandijk 12*. Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed, Varik.
- Sengers, J., & van Westerop, R. (2012). *Evacuatieplan personen bij dreigende overstroming*.
- Steketee, H. (2013, 3 9). Nederlandse waterbouw poldert in de hele wereld. *NRC*.
- Stichting Vrienden van de Oude Toren. (2018, 5 3). *Geschiedenis*. Opgehaald van De Dikke Toren Varik: http://www.oudetorenvarik.nl/?page_id=138
- STOWA. (2015). *Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen - Module C*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.
- Stuurgroep Delta-Rijn. (2013). *Voorkeursstrategie Waal en Merwedese*. Provincie Gelderland.
- Sweco. (2017). *Notitie: Evacuatie dorpspolder Varik-Heesselt*. De Bilt: Sweco.
- Sweco Nederland B.V. (2018). *Samenwerken aan Hoogwaterveiligheid, Eindconcpet Verkenningsrapport MIRT-verkenning Varik- Heesselt*.
- Toren, V. v. (sd). *De Oude Toren van Varik [Foto]*. Vrienden van de Oude Toren, Varik.
- Twynstra Gudde / Naeff Consult. (2017). *Aanpak nationale Vitale en Kwetsbare functies*. Ministeries I&M en EZ.
- USACE. (2013). *The International Levee Handbook*. Londen: CIRIA.
- van der Laag, R. (sd). DWW 320_23 Rivierdijken, Maas, hoogwater, rechteroever, hmp 323, Noordoost van Maasbommel, huis in binnentalud dijk. [Foto]. *DWW 320 23 Rivierdijken*

Maas hoogwater rechteroever hmp 323 Noordoost van Maasbommel huis in binnentalud dijk ID332681. Rijkswaterstaat, Maasbommel.

- van der Meer, J. (2002). *Technisch Rapport Golfploop en Golfoverslag bij Dijken*. Delft: TAW.
- van der Veen, S., Boshoven, E., Goossens, E., Kok, R., van Hemmen, F., & Verheist, E. (2016). *Kader Ruimtelijke Kwaliteit en Conditionerende onderzoeken (RKC) Dijkverbetering Tiel-Waardenburg (TIWA)*.
- van Hoven, A., van Steeg, P., & Zwanenburg, S. (2018). *Integrale benadering toegestaan overslagdebiet (Concept)*. Utrecht: Deltares.
- van Middelkoop - Molenaar, I., & Taekema, S. (2017). *SES 1.2 Appendix 2: Werkprotocol hydraulische randvoorwaarden en HBN*. De Bilt: Sweco.
- van Middelkoop - Molenaar, I., Taekema, S., Roosendaal, M., & Moerland, V. (2018). *Verkenning dijkversterking Tiel - Waardenburg*. De Bilt: Sweco.
- Vaneuville, Maddens, Collard, Bogaert, De Maeyer, & Antrop. (sd). *Impact op mens en economie t.g.v. overstromingen bekeken in het licht van wijzigende hydraulische condities, omgevingsfactoren en klimatologische omstandigheden*.
- (sd). *Veerhuis Varik [Foto]*. Veerhuis, Varik.
- VisitFyldeCoast. (2018). *Waves overtopping the lower seawall at Blackpool seafront at Anchorsholme*. The Rabbit Patch Ltd., Fleetwood. Opgeroepen op 6 19, 2018, van <https://visitfyldecoast.info/about/seafront/fylde-coast-seafront/>
- VRGZ. (2012). *Rampbestrijdingsplan Dijkdoorbraak en Overstroming*. Nijmegen: VRGZ.
- Zoover. (sd). *Vakantiefoto's Varik [Foto]*. Zoover, Varik.

Bijlage A: Interviews en correspondenties

In dit onderzoek zijn er een aantal interviews uitgevoerd alsmede mailconversaties om achter informatie te komen die nodig is voor dit onderzoek. Hieronder staat gegeven met wie de conversaties waren, wat voor functie ze hebben en wat het doel van het interview of mailtje was.

Datum	Wie	Bedrijf	Functie	Interview / Mail	Onderwerp
22-5-2018	Richard Jorissen	Rijkswaterstaat	Directeur Hoogwaterbeschermingsprogramma	Interview	Implementatie van een toelaatbaar overslagdebiet
23-5-2018	Richard Jorissen	Rijkswaterstaat	Directeur Hoogwaterbeschermingsprogramma	Mail	Aanvullende vragen naar aanleiding van het interview
1-6-2018	Mathijs Bos	WSRL	Senior Technisch Manager	Interview	In dit werkoverleg tussen Deltares en Waterschap Rivierenland stond de behandeling van het concept verslag 'Integrale benadering toegestaan overslagdebiet' centraal. Na dit werkoverleg is er een informeel lunch overleg geweest met de personen van WSRL.
	Hans Knotter	WSRL	Specialist Waterkeringen		
	Jan van Straten	WSRL	Werkvoorbereider Wegen		
	Andre van Hoven	Deltares	Projectleider		
	Suzanna Zwanenburg	Deltares	Adviseur Industrial Hydrodynamics		
	Dirk van Schie	WSRL	Projectsecretaris POVM		
	Meindert Van	Deltares	Dijk Technologie		
	Marieke Olieman	Rijkswaterstaat	Adviseur Rijkswaterstaat gedetacheerd		
	Paul van Steeg	Deltares	Adviseur Kunstwerken en Golven		
1-6-2018	Marieke Olieman	Rijkswaterstaat	Adviseur gedetacheerd bij WSRL	Mail	BGT-eisen Hoogheemraadschap Stichtse Rijnlanden
7-6-2018	Hans Knotter	WSRL	Specialist Waterkeringen	Mail	Aanvullende informatie over inspectie en onderhoud
	Jan van Straten	WSRL	Werkvoorbereider Wegen		

Tabel 6 Overzicht Interviews en mailconversaties

Bijlage B: Uitgangspunten Hydra-NL

Hier worden alle databases, randvoorwaarden, statistiek en instellingen opgesomd worden. In Tabel 7 zijn de technische specificaties van het programma te zien.

Programma	Hydra-NL
Versie	Versie 2.3.5, augustus 2017
Randvoorwaarden	WBI2017 Bovenrijn 43-6 v04
Overschrijdingskansen piekafvoer	GRADE_Ovkans_Lobith_piekafvoer_DM_2050_SW.txt GRADE_Ovkans_Lobith_piekafvoer_DM_2100_SW.txt
Overschrijdingskansen windsnelheid	Ovkanswind_Deelen_2017_metOnzHeid.txt
Momentane kansen windrichtingen	Richtingskansen_Deelen_2017.txt

Tabel 7 Technische specificatie databases

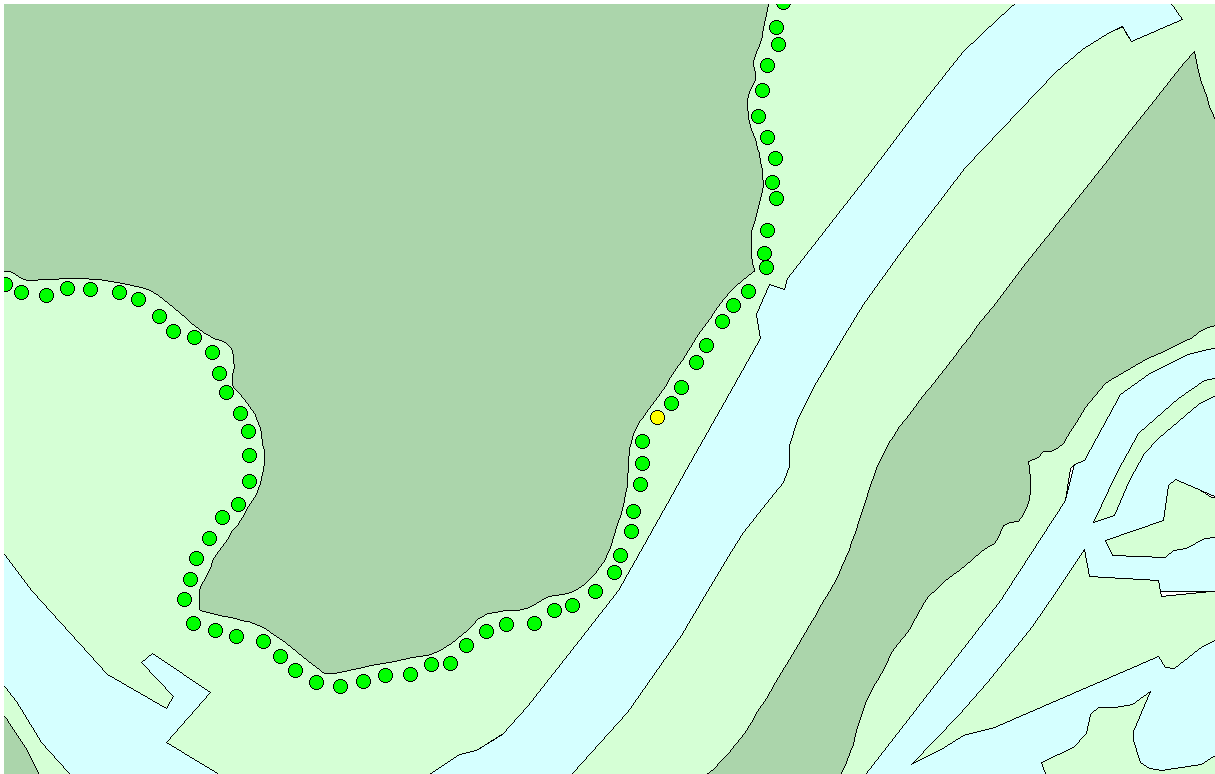
De keuze voor de Generator of Rainfall And Discharge Extremes (GRADE) database werd geadviseerd vanuit Sweco omdat hier al de onzekerheid in zit. Dit is echter alleen de onzekerheid van de waterafvoeren en niet van de onzekerheid binnen Hydra-NL zelf.

De meest ongunstige locatie van het dijktraject zal behandeld worden. Deze locatie wordt onder andere bepaald aan de hand van de dominante windrichtingen en de breedte van de uiterwaarden. Een dominante windrichting zorgt ervoor dat er grotere golfoverslag kan plaatsvinden. Nauwere uiterwaarden zullen het hoogwater als het ware opstuwen zoals bij een bottleneck. Op basis van het KNMI (KNMI, 2018) en de resultaten van de geotechnische onderbouwing van Sweco is de meest ongunstige locatie bepaald op TG094. Deze is te zien in Figuur B-1



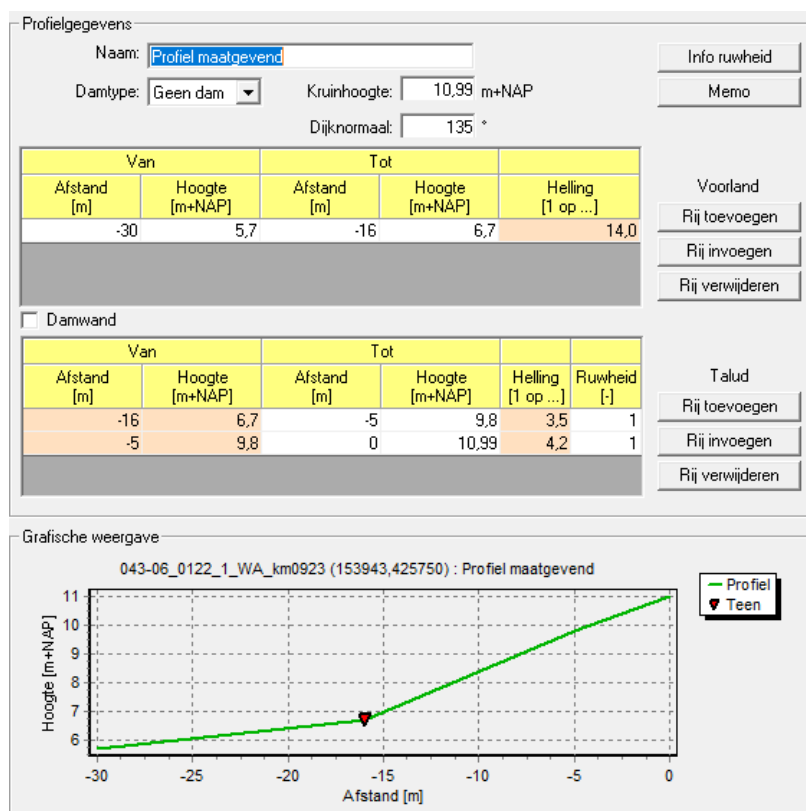
Figuur B-1 TG090 tot en met TG094 (van Middelkoop - Molenaar, Taekema, Roosendaal, & Moerland, 2018)

Door de invoeging van de databases en hydraulische randvoorwaarden zijn alle dijkpalen ook door te rekenen in Hydra-NL. De gekozen locatie in Hydra-NL is geel gemarkeerd in Figuur B-2.



Figuur B-2 Locatie TG094 (geel)

Op basis van de geometrische data beschikbaar gesteld door Sweco van de dijkvakken bij TiWa is er een dijkprofiel opgesteld die gebruikt wordt in Hydra-NL. In Figuur B-3 zijn de afmetingen van het maatgevend profiel te zien. De kruinhoogte bedraagt momenteel 10,99 m+NAP.



Figuur B-3 Dimensies maatgevend profiel Hydra-NL