



Tauw

UNIVERSITEIT TWENTE.

Golfoverslag in bebouwd gebied

Locatiestudie naar stedelijke gebieden waar wateroverlastproblemen kunnen optreden als gevolg van golfoverslag waarbij de dijk niet faalt

DIT DOCUMENT IS VERTROUWELIJK.

Golfoverslag In Bebouwd Gebied

Locatiestudie naar stedelijke gebieden waar wateroverlastproblemen kunnen optreden als gevolg van golfoverslag waarbij de dijk niet faalt

BACHELOR OF SCIENCE THESIS

Ter verkrijging van de graad van Bachelor of Science in de Civiele Techniek aan de
Universiteit Twente

W.J. van Os

s1464817

1 juli 2016

Afstudeercomité:

Dr. Wijnberg, K.M.
Universiteit Twente
Water Engineering & Management
Coastal engineering

Al-Jibouri, S.H.S.
Universiteit Twente
Construction Management & Engineering

Ir. Van Dam, R.M.
Tauw
Dijken en Waterveiligheid
Waterbouwkundige constructies

Faculteit Construerende Technische Wetenschappen (CTW) · Universiteit Twente

Foto op het voorblad (van Reeken, 2011)

Afbeelding: oever en kade langs de IJssel in Deventer met de Wilhelminabrug

Foto gemaakt op 31 oktober 2011 door Harry van Reeken



UNIVERSITEIT TWENTE.

Copyright © W.J. van Os, 2016

All rights reserved. Reproduction or translation of any part of this work in any form by print, photocopy or any other means, without the prior permission of either the author, members of the graduation committee or Tauw is prohibited.

Samenvatting

In de nieuwe normering voor het ontwerpen van waterkeringen (OI2014 en WTI 2017) wordt een hoger golfoverslagdebiët toegestaan. Er is een onderzoek gedaan naar de gevolgen van golfoverslag voor de debieten van de nieuwe normering. Tauw heeft een model ontwikkeld, genaamd GIDS®, waarmee in kaart kan worden gebracht in welke gebieden wateroverlast optreedt bij golfoverslag. Om dit model gericht toe te passen, is behoefte aan een overzicht van locaties waar golfoverslag een rol kan spelen.

Het doel van dit onderzoek is om *een overzicht te creëren van stedelijke locaties langs de grote rivieren waar potentieel wateroverlastproblemen kunnen optreden ten gevolge van golfoverslag waarbij de dijk nog niet faalt.*

Om dit doel te bereiken is onderzocht nabij welke stedelijke gebieden grote golfhoogtes kunnen voorkomen en voor welke stedelijke gebieden de potentiële consequenties ten gevolge van golfoverslag het grootst zijn, indien de kering nog niet faalt.

In het onderzoek zijn voor locaties om de 100 meter langs het rivierengebied golfhoogtes berekend. Daarna zijn stedelijk locaties – dat zijn bebouwde kommen – geselecteerd op de grootte van de berekende golfhoogte van nabijgelegen rivierlocaties. Er zijn twee criteria gebruikt voor het selecteren van de locaties op golfhoogte:

1. Stedelijke locaties nabij keringen waarvoor de berekende golfhoogte groter is dan 0,5 meter
2. Circa 50 stedelijke locaties nabij keringen met de grootste berekende golfhoogtes

De resultaten van de selecties op golfhoogte zijn meegenomen in het vervolg van het onderzoek. Dit gedeelte is parallel uitgevoerd voor beide datasets met tussenresultaten. Het vervolg betreft een Multicriteria analyse waarmee locaties zijn geselecteerd en geprioriteerd op de grootte van de potentiële consequentie veroorzaakt door golfoverslag. Hierin zijn de factoren 'percentage verharding', 'aantal panden' en 'type waterkering' meegenomen. Het percentage verharding is de omgekeerde indicator voor de infiltratie capaciteit van het gebied. Door infiltratie kan water van golfoverslag afgevoerd worden waardoor minder schade optreedt. Het aantal panden geeft een indicatie voor de waarde in het gebied voor zowel de economische als de sociale waarde. Bij meer waarde is de mogelijke schade groter. Met de factor 'type waterkering' wordt onderscheid gemaakt tussen locaties die (deels) worden beschermd door een kade(muur) en locaties die geheel worden beschermd door een dijk. Voor kades zijn namelijk veel hogere golfoverslagdebieten toegestaan, wat kan leiden tot meer wateroverlast en dus tot meer schade.

Van de stedelijke locaties nabij keringen waarvoor de golfhoogte groter is dan 0,5 meter, zijn voor de volgende gebieden de potentiële consequenties van golfoverslag het grootst: Deventer, Arnhem, Doesburg, Woudrichem, Wessum, Gennep, Giesbeek, Haaften, Millingen aan de Rijn en Grave. De vijf eerst genoemde plaatsen worden deels beschermd door een kade. Gezien de lagere eisen ten aanzien van golfoverslag zijn voor deze plaatsen de potentiële gevolgen mogelijk groter.

Van de circa 50 stedelijk locaties nabij keringen met de grootste berekende golfhoogtes hebben de volgende plaatsen relatief veel verharding en veel economische en sociale waarde nabij de rivier: Cuijk, Herten, Roermond, Heijen, Neer, Gennep, Millingen aan de Rijn, Ochten, Boxmeer en Gendt. Hiervan hebben de plaatsen Cuijk, Herten, Roermond, Heijen en Neer een kade. Daarom kunnen bij deze plaatsen de gevolgen bij golfoverslag groter zijn.

Geconcludeerd kan worden dat bij de genoemde plaatsen overstromingsproblemen kunnen optreden ten gevolge van golfoverslag.

Door te selecteren op berekende golfhoogtes groter dan 0,575 meter, bestaat het resultaat uit circa 50 locaties. Circa 50 locaties nabij keringen met de grootste golfhoogtes is daarmee een strenger selectie criterium dan golfhoogtes groter dan 0,5 meter. De plaatsen die behoren tot de circa 50 locaties met grootste golfhoogtes, zijn daarom gevoeliger voor golfoverslag dan de andere locaties uit de resultaten, zover deze niet overeenkomen. De locaties waarbij geselecteerd is op 0,5 meter zijn echter gevoeliger voor de potentiële gevolgen bij golfoverslag.

Voorwoord

Voor u ligt de rapportage van het afstudeeronderzoek “Golfoverslag in Stedelijk gebied – een locatiestudie naar stedelijke gebieden met grote potentiële gevolgen bij golfoverslag”. Een onderzoek naar stedelijke gebieden waar wateroverlastproblemen kunnen optreden als gevolg van golfoverslag waarbij de dijk niet faalt. Dit document geschreven door Annemarie van Os, geschreven ter afronding van de studie Civiele Techniek aan de Universiteit Twente.

Hoewel het uitdagend was om een efficiënte aanpak te vinden zodat het resultaat zo betrouwbaar mogelijk en goed toepasbaar is, heb ik uiteindelijk een mooi resultaat mogen neerzetten. Tijdens het onderzoek heb ik kennis opgedaan over golfoverslag en overstromingen en vaardigheden opgedaan, zoals GIS-vaardigheden, onderzoekvaardigheden en academische schrijfvaardigheden.

Ik wil mijn begeleider vanuit de Universiteit Twente, Kathelijne Wijnberg, bedanken voor haar hulp, feedback en tips. Daarmee heeft zij geholpen om het onderzoeksplan neer te zetten en uit te kunnen voeren.

Roelant van Dam heeft samen met Sharon Clevers mij begeleid vanuit Tauw. Ik wil hen bedanken voor alle betrokkenheid, hulp en adviezen. Daarbij denk ik in het bijzonder terug aan de hulp bij het opzetten van het onderzoek en de goede feedback en tips die zij me hebben gegeven.

Mark de Weerd wil ik in bijzonder bedanken voor zijn hulp met het bepalen van de strijklengtes met GIS. Het heeft veel meer tijd gekost dan gedacht, desondanks heeft hij mij kunnen en willen helpen. Rienco Groenewold en Rob Ligtenberg wil ik eveneens bedanken dat ze mij meerdere malen op weg hebben geholpen met GIS.

Daarnaast wil ik de nog niet genoemde mensen van de afdeling waarop ik de opdracht heb uitgevoerd voor de vrijgemaakte tijd en mogelijkheid van het stellen van vragen. Ondanks de drukbezette agenda hebben zij steeds even tijd voor mij vrij gemaakt. Daarnaast wil ik hen bedanken voor het kijkje dat ze mij hebben gegeven in de keuken bij Tauw. Door de gesprekken, lezingen en vergaderingen heb ik veel geleerd over het bedrijf en de ‘advieswereld’.

Tot slot wil ik ook graag mijn familie en vrienden bedanken voor hun tips en steun tijdens de Bachelor opdracht.

Deventer, Tauw

W.J. (Annemarie) van Os

1 juli 2016

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	I
VOORWOORD.....	III
1 INLEIDING	1
1.1 AANLEIDING	1
1.2 PROBLEEMBESCHRIJVING.....	1
1.3 ONDERZOEKSDOELEN EN ONDERZOEKSVRAGEN.....	2
1.4 SCOPE	2
2 THEORETISCH KADER.....	4
2.1 GOLFOVERSLAG.....	4
2.2 FYSISCHE ASPECTEN VAN GOLFOVERSLAG.....	4
3 METHODEN	6
3.1 FACTOREN.....	6
3.2 OVERZICHT METHODE.....	7
3.2.1 <i>Data</i>	7
3.2.2 <i>Criteria en de selectiemethode</i>	7
3.3 GEBIEDEN MET GROTE POTENTIËLE GOLFHOOGTES	9
3.3.1 <i>Overzicht methode</i>	9
3.3.2 <i>Aanname representatieve waterdiepte</i>	9
3.3.3 <i>Aanname representatieve windsnelheid</i>	10
3.3.4 <i>Strijklengte en golfhoogte per locatie</i>	10
3.3.5 <i>Selectiecriteria voor golfhoogte en stedelijke locaties</i>	11
3.3.6 <i>Selectie op golfhoogte</i>	11
3.4 MULTICRITERIA ANALYSE.....	12
3.4.1 <i>Verzamelen data verharding en panden</i>	13
3.4.2 <i>Multicriteria analyse 1</i>	15
3.4.3 <i>Type waterkering</i>	16
3.4.4 <i>Multicriteria analyse 2</i>	16
3.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE	17
4 LOCATIES GEVOELIG VOOR GOLFOVERSLAG	18
5 LOCATIES MET GROTE CONSEQUENTIES BIJ GOLFOVERSLAG.....	22
5.1 RESULTATEN MULTICRITERIA ANALYSES IN KAART.....	22
5.2 RESULTATEN IN KAART	24
6 GEVOELIGHEIDSANALYSE	27
6.1 VARIATIES IN GEWICHTEN.....	27
6.2 VARIATIES IN DE FACTOR PANDEN	29
6.3 VARIATIE VERHARDING	31
7 DISCUSSIE	33
7.1 GOLFHOOGTE	33
7.2 MULTICRITERIA ANALYSE	34
7.3 ALGEMEEN.....	35

7.4	CONCLUSIE.....	36
8	CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	37
8.1	CONCLUSIE.....	37
8.2	AANBEVELINGEN	37
9	BIBLIOGRAFIE	38
A.	BIJLAGE GIDS®.....	41
B.	BIJLAGE GOLFHOOGTE PER STRIJKLENGTE	41
C.	BIJLAGE METHODE DATA SAMENSTELLEN	42
D.	BIJLAGE WATERDIEPTEN	43
E.	BIJLAGE WINDSNELHEID	68
F.	BIJLAGE METHODE VOOR STRIJKLENGTES	69
G.	BIJLAGE REKENVOORBEELD VOLUME WATER DOOR GOLFOVERSLAG	70
H.	BIJLAGE PLAATSEN MULTICRITERIA ANALYSE A1 EN A2.....	71
I.	GEVOELIGHEIDSANALYSE RANGLIJSTEN	74

Figurenlijst

FIGUUR 1: SCOPE RIVIEREN MET UITERWAARDEN	3
FIGUUR 2: GOLFOVERSLAG (WATERSCHAP RIVIERENLAND, SD)	4
FIGUUR 3: VERGELIJKING GEBIEDEN OP AFSTAND TUSSEN WATERKERING EN STAD	6
FIGUUR 4: VOLGORDE METHODE.....	7
FIGUUR 5: OVERZICHT METHODE.....	8
FIGUUR 6: METHODE EN UITGANGSPUNTEN OM LOCATIES TE SELECTEREN OP GROTE POTENTIËLE GOLFHOOGTES	9
FIGUUR 7: LIJNEN VOOR HET BEPALEN VAN DE STRIJKLENGTE.....	10
FIGUUR 8: SCHETS MAXIMALE LENGTE VAN BEBOUWDE KOM TOT DICHSTBIJZIJNDE PUNT MET BEREKENDE GOLFHOOGTE	11
FIGUUR 9: METHODE OM LOCATIES TE SELECTEREN OP VERHARDING EN AANTAL PANDEN; (NEIGHBORHOOD MAP CLIPART, 2016), (GIS PEOPLE, SD), (RWS, 2015).....	12
FIGUUR 10: SCHEMA INPUT, VERWERKING EN OUTPUT BIJ MULTICRITERIA ANALYSE A1.	12
FIGUUR 11: SCHEMA INPUT, VERWERKING EN OUTPUT BIJ MULTICRITERIA ANALYSE B1.	12
FIGUUR 12: SCHEMA INPUT, VERWERKING EN OUTPUT BIJ MULTICRITERIA ANALYSE A2.	13
FIGUUR 13: SCHEMA INPUT, VERWERKING EN OUTPUT BIJ MULTICRITERIA ANALYSE B2.	13
FIGUUR 14: KAART MET LANDGEBRUIK EN ONDERLIGGEND EEN LUCHTFOTO (BBG 2012 (MINISTERIE VAN BINNENLANDSE ZAKEN EN KONINKRIJKSRELATIES, CBS, 2016))	14
FIGUUR 15: STANDAARDISATIE METHODE	15
FIGUUR 16: DE A348 BIJ RHEDEN (CYCLOMEDIA, 2016)	18
FIGUUR 17: KAART MET BEREKENDE GOLFHOOGTES GEMIDDELD OVER 5 PUNTEN	20
FIGUUR 18: KAART MET PUNTEN VAN LOCATIES LANGS DE RIVIER DIE GESELECTEERD ZIJN OP GOLFHOOGTES GROTER DAN 0,5 METER EN/OF CIRCA 50 PLAATSEN ALS RESULTAAT	20
FIGUUR 19: KAART MET CIRCA 50 BEBOUWDE KOMMEN WAARVOOR DE BEREKENDE GOLFHOOGTES GEMIDDELD OVER 5 PUNTEN HET HOOGSTE ZIJN.....	21
FIGUUR 20: KAART MET DE BEBOUWDE KOMMEN WAARVOOR DE BEREKENDE GOLFHOOGTE GEMIDDELD OVER 5 PUNTEN GROTER IS DAN 0,5 METER.....	21
FIGUUR 21: SCHETS VOLGORDE VAN KAARTEN	22
FIGUUR 22: KAART MET INPUT MULTICRITERIA ANALYSE A1 EN A2	24
FIGUUR 23: KAART MET INPUT MULTICRITERIA ANALYSE B1 EN B2.....	24
FIGUUR 24: KAART MET GEWOGEN SCORES MULTICRITERIA ANALYSE A2	25
FIGUUR 25: KAART MET GEWOGEN SCORES MULTICRITERIA ANALYSE B2	25
FIGUUR 26: PLAATS IN RANGLIJST VOOR BEBOUWDE KOMMEN BIJ VARIATIES IN GEWICHTEN	27
FIGUUR 27: PLAATS IN RANGLIJST VAN BEBOUWDE KOMMEN BIJ VARIATIES IN SCORES VAN PANDEN	29
FIGUUR 28: PLAATS IN RANGLIJST VAN BEBOUWDE KOMMEN BIJ VARIATIES IN SCORES VAN VERHARDING.....	31
FIGUUR 29: KAART RIJSWIJK (GLD) EN WIJK BIJ DUURSTEDEN (MINISTERIE VAN BINNENLANDSE ZAKEN EN KONINKRIJKSRELATIES, ZBO KADASTER, 2016), (MINISTERIE VAN BINNENLANDSE ZAKEN EN KONINKRIJKSRELATIES, RWS, 2016)	34
FIGUUR 30: KAART MAASTRICHT (MINISTERIE VAN BINNENLANDSE ZAKEN EN KONINKRIJKSRELATIES, ZBO KADASTER, 2016), (MINISTERIE VAN BINNENLANDSE ZAKEN EN KONINKRIJKSRELATIES, RWS, 2016)	34
FIGUUR 31: GRAFIEK VERBAND GOLFHOOGTE EN STRIJKLENGTE VOLGENS BRETSCHNEIDER	41
FIGUUR 32: HOOGTEKAART VAN KAMPEN (ESRI, 2015).....	44
FIGUUR 33: HOOGTEPROFIEL 1 IJSSEL – KAMPEN (ESRI, 2015)	44
FIGUUR 34: PLATTEGROND BIJ HOOGTEPROFIEL 1 IJSSEL- KAMPEN (ESRI, 2015)	44
FIGUUR 35: LIJNEN GEKNIPT BIJ EEN BOCHT	69
FIGUUR 36: SCHETS VEREENVOUDIGING REKENVOORBEELD GOLFOVERSLAG	70
FIGUUR 37: GROTE RIVIEREN IN NEDERLAND, MET ENKELE RELATIEVE AFVOEREN (MINISTERIE VAN V&W, MINISTERIE VAN VROM EN MINISTERIE VAN LNV, 2009)	71

Tabellenlijst

TABEL 1: SCHADE IN EURO'S PER SCENARIO (CLEVERS & VAN DAM, 2016)	1
TABEL 2: TOTAALPLAATJE CRITERIA	7
TABEL 3: GEMIDDELTE WATERDIEPTE PER RIVIER OP BASIS VAN STEEKPROEVEN	10
TABEL 4: TOTAALPLAATJE MULTICRITERIA ANALYSES MET CODES	12
TABEL 5: SCORE CRITERIA VERHARDING	13
TABEL 6: SCORES CRITERIA WATERKERING	16
TABEL 7: VARIATIE OBJECTEN MET AANTAL VARIATIES	17
TABEL 8: VARIANTEN GEWICHTEN	17
TABEL 9: VARIANTEN SCORES VERHARDING PER LANDGEBRUIK CATEGORIE	17
TABEL 10: VARIANTEN SCORES AFSTAND PANDEN TOT RIVIER	17
TABEL 11: RESULTATEN MULTICRITERIA ANALYSES	23
TABEL 12: RANGLIJSTEN PER RIVIER VAN MULTICRITERIA ANALYSE A2	26
TABEL 13: VERSCHIL IN PLAATS VAN RANGLIJST BIJ VARIATIE IN GEWICHTEN, VARIANT 1 EN 2	27
TABEL 14: EXTRA VARIANTEN GEWICHT MET LAGER GEWICHT VOOR TYPE WATERKERING	28
TABEL 15: VERSCHIL IN PLAATS VAN RANGLIJST BIJ VARIATIE IN FACTOR MET AANTAL PANDEN	30
TABEL 16: WEGINGEN PANDEN	30
TABEL 17: VERSCHIL IN PLAATS VAN RANGLIJST BIJ VARIATIE IN FACTOR MET VERHARDING	31
TABEL 18: CATEGORIEËN RIVIEREN VOOR AANNAME WATERDIEPTE	43
TABEL 19: PLAATSEN VAN DE STEEKPROEVEN PER RIVIER	43
TABEL 20: BREEDTE EN DIEPTE BIJ 864M ³ /M	70
TABEL 21: AANTAL PLAATSEN PER RIVIER VOOR EN NA SELECTIE OP GOLFHOOGTE	71
TABEL 22: CATEGORIEËN RIVIEREN VOOR INDELING RESULTATEN MCA	71
TABEL 23: VOORLOPIGE RANGLIJSTEN MCA 1 PER RIVIER VOLGENS EERSTE OPZET	72
TABEL 24: DEFINITIEVE RANGLIJSTEN MCA 1 PER RIVIER	73
TABEL 25: RANGLIJST VARIANT 1 OP GEWICHTEN	74
TABEL 26: RANGLIJST VARIANT 2 OP GEWICHTEN	74
TABEL 27: RANGLIJST VARIANT 1 PANDEN TOT 250 METER AFSTAND TOT DE RIVIER INCLUSIEF UITERWAARDEN	75
TABEL 28: RANGLIJST VARIANT 2 PANDEN TOT 750 METER AFSTAND TOT DE RIVIER INCLUSIEF UITERWAARDEN	75
TABEL 29: RANGLIJST VARIANT 3 PANDEN EEN SOM MET VERSCHILLENDE AFSTAND TOT DE RIVIER INCLUSIEF UITERWAARDEN	76
TABEL 30: OVERZICHT VARIATIES OP AFSTAND PANDEN TOT RIVIER MET UITERWAARDEN	76
TABEL 31: RANGLIJST VARIANT HOGERE SCHATTING VOOR VERHARDING	77
TABEL 32: RANGLIJST VARIANT LAGERE SCHATTING VOOR VERHARDING	77

Begrippenlijst

<i>Bezwijken</i>	"Het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van een constructie zodanig dat de samenhang daarvan verloren gaat." (TAW, 2003)
<i>Bijzonder waterkerende constructie</i>	"Waterkerende constructie die niet geheel of geheel niet uit grond zijn opgebouwd zoals dijkmuuren, kistdammen en damwanden" (TAW, 2003)
<i>Falen</i>	"Het niet meer vervullen van de functie, ofwel het overschrijden van een grenstoestand. Onderscheid wordt gemaakt in uiterste grenstoestanden (leidend tot overstroming) en bruikbaarheidsgrenstoestanden (leidend tot overlast en schade, maar nog niet tot overstroming)." (TAW, 2003)
<i>Golfoverslag</i>	"Hoeveelheid water die door golven per strekkende meter gemiddeld per tijdseenheid over de waterkering slaat" (TAW, 2003)
<i>Kruin</i>	"Het hoogste punt van de waterkerende constructie" (TAW, 2003)
<i>Kerende Hoogte</i>	"De daadwerkelijke, momentane hoogte van het gesloten kunstwerk. De minimaal vereiste kerende hoogte is gelijk aan het MHW vermeerderd met de op dat moment minimaal vereiste waakhogte" (TAW, 2003)
<i>Maatgevende Hoogwaterstand</i>	"(MHW) Ontwerppeil volgens de norm van art. 3.2 van de Wet op de waterkering c.q. de waterstand die als uitgangspunt wordt genomen voor het ontwerpen van primaire waterkeringen" (TAW, 2003)
<i>Meander</i>	"Grillige kronkeling van een rivier" (Van Dale Uitgevers, 2016)
<i>Significante golfhoogte</i>	"Gemiddelde van de hoogste 33% van de golven in een golfveld" (TAW, 2003)
<i>Waakhogte</i>	"De actuele hoogte van een kruin van een waterkering boven het MHW" (TAW, 2003)

1 Inleiding

Dit verslag behandelt een locatiestudie naar stedelijke gebieden langs de grote rivieren in Nederland waar golfoverslag, waarbij de dijk niet faalt, potentieel leidt tot lokale overstromingsproblemen. Dit onderzoek is uitgevoerd in het team Waterveiligheid bij Tauw in Deventer.

1.1 Aanleiding

Nederland bestaat voor een groot deel uit water. De overheid besteedt veel aandacht aan watermanagement. De waterschappen beheren de primaire waterkeringen langs de grote rivieren; de gemeenten zorgen voor de afvoer van overtollig water in stedelijke gebieden. De waterschappen hebben als één van de kerntaken het waarborgen van een veilige waterkering. De gemeenten nemen aan dat de waterkeringen voldoen aan de wettelijk vastgestelde overschrijdingskans - tot 2017 toegestaan - of overstromingskans - vanaf 2017 verplicht (Helpdeskwater, 2014). In de nieuwe richtlijnen is het toestaan van meer golfoverslag toegestaan. Het maximale golfoverslagdebiet wordt verhoogd van 1 liter per seconde per meter naar 5 of 10 liter per seconde per meter (HWBP, 2015b). Achterliggend is het inzicht dat dijken meer golfoverslag kunnen weerstaan dan vroeger conservatief aangenomen (Boeters, 2014).

Tauw herkent een leemte waar de waterveiligheidsverplichtingen van waterschappen en wateroverlastverplichtingen van gemeenten elkaar raken. Deze leemte komt tot uiting in het volgende scenario. Een debiet aan water in de ordegrootte van 5 tot 10 l/s/m (in de vernieuwde richtlijnen maximale golfoverslagdebieten) stroomt een periode van enkele dagen over de primaire waterkering. De waterkering blijft intact. De hoeveelheid water achter de dijk leidt echter tot wateroverlast, aangezien de afvoersystemen, zoals riool- en/of afkoppelingssystemen, niet zijn berekend op deze hoeveelheden water.

Tauw wil bijdragen om het risico op wateroverlast en schade ten gevolge van golfoverslag te reduceren. Deze situaties komen immers vaker voor (lagere afvoeren en debieten) dan een overstroming ten gevolge van het falen van een dijk, maar kunnen wel zorgen voor aanzienlijke wateroverlast. Tauw heeft daarom het model GIDS® (Golfoverloop In De Stad) ontwikkeld. Met dit model kan in kaart worden gebracht welke gebieden overstromen bij golfoverslag. (Zie voor meer informatie bijlage A).

Met GIDS® is een casestudie uitgevoerd voor de stad Zutphen. In deze casestudie is gekeken naar de consequenties van golfoverslag voor acht verschillende scenario's. De scenario's verschillen in overslagdebiet (4 varianten) en waterkeringstrajecten (2 varianten). De variatie in debieten bestaat uit 1 l/s/m, 5 l/s/m, 7.5 l/s/m en 10 l/s/m. Waterkeringstrajecten zijn normtraject 50-2 langs de IJssel met een effectieve lengte van circa 3,6 km en een deel binnen normtraject 50-2, namelijk de kademuur van *de Bult van Ketjen* tot *Noorderhaven*, effectief circa 0,6km. In totaal zijn er 8 scenario's, waarmee alle varianten van overslagdebiet worden gecombineerd met de twee waterkeringstrajecten (zie Tabel 1). De duur van de golfoverslag in de testen is 48 uur. De tabellen met schade in de rapportage geven inzicht in de gevolgen van golfoverslag. De schade is berekend met de *waterschadeschatter* (Clevers & Van Dam, 2016). In Tabel 1 is de berekende totale schade in euro's weergegeven voor de verschillende scenario's. Dit betreft de gemiddelde schadebedragen volgens de waterschadeschatter.

Schade in €	1l/s per meter	5l/s per meter	7,5l/s per meter	10l/s per meter
Kademuur	€ 1.390.000,-	€ 2.660.000,-	€ 2.720.000,-	€ 3.520.000,-
Normtraject 50-2	€ 9.700.000,-	€ 54.950.000,-	€ 75.320.000,-	€ 94.160.000,-

Tabel 1: Schade in euro's per scenario (Clevers & Van Dam, 2016)

1.2 Probleembeschrijving

Tauw verwacht dat de berekende schades ten gevolge van golfoverslag van de locatiestudie bij Zutphen (in geval de waterkering in stand blijft) in dezelfde orde grootte ook kunnen optreden op andere stedelijke locaties in geval van vergelijkbare scenario's. Indien dit het geval is, is het aan te bevelen golfoverslag voor niet-kritische waterhoogten (dat wil zeggen lager dan uiterste grenstoestand) in beschouwing te nemen bij het ontwerpen en onderhouden van waterkeringen. Tauw wil GIDS® gebruiken om bij te dragen aan de bewustwording van waterschappen en gemeenten en de potentiële gevolgen van golfoverslag, waarbij de waterkering nog niet faalt, inzichtelijk te maken van en hierover te adviseren.

Niet voor alle locaties langs de grote rivieren in Nederland zal de toepassing van GIDS® een meerwaarde leveren. Sommige locaties zijn wellicht nauwelijks gevoelig voor golfoverslag of de gevolgen daarvan. Golfoverslag zal leiden tot grote gevolgen indien:

- Relatief grote golven kunnen optreden. Golfoverslag wordt veroorzaakt door grote golven. Locaties waar grote golven kunnen optreden zijn locaties waar meer kans is op golfoverslag en grotere hoeveelheden golfoverslag.
- Weinig mogelijkheden bestaan voor afstroom (anders dan via verhard oppervlak).
- Het gebied veel waarde bevat.

Voor het efficiënt toepassen van het model GIDS®, is een overzicht nodig van de locaties langs de grote rivieren in Nederland waarbij de potentiële gevolgen van golfoverslag het grootst zijn.

1.3 Onderzoeksdoelen en onderzoeksvragen

Het doel van dit onderzoek is om het model GIDS® efficiënt toepasbaar te maken voor het adviseren over optimalisatie van het ontwerp en onderhoud van waterkeringen door een overzicht te geven van de stedelijke gebieden langs de grote rivieren in Nederland (zie Figuur 1) waar potentieel golfoverslagproblemen kunnen optreden ten gevolge van golfoverslag, waarbij de dijk nog niet faalt.

Om het onderzoeksdoel te bereiken zijn er hoofd en deelvragen opgesteld.

Hoofdvraag: In welke stedelijke gebieden langs de grote rivieren in Nederland (zie Figuur 1) kunnen wateroverlastproblemen optreden als gevolg van golfoverslag waarbij de dijk niet faalt?

Deelvragen:

1. Nabij welke stedelijke gebieden kunnen grote golfhoogtes voorkomen?
2. Voor welke locaties zijn de potentiële consequenties ten gevolge van golfoverslag het grootst, indien de kering (dijk of kade) nog niet faalt?

1.4 Scope

Het onderzoek is gericht op het vinden van gebieden waar golfoverslag een rol kan spelen en op de consequenties van overstromingen veroorzaakt door golfoverslag, waarbij de dijk niet faalt. De scope omvat de stedelijke gebieden langs de Nederlandse grote rivieren. Daaronder worden de volgende rivieren verstaan: IJssel, Neder-Rijn, Lek, Maas, Boven Merwerde, Rijn en Waal. In Figuur 1 (zie pagina 3) is de afbakening deze rivieren weergegeven in een kaart. De scope bevat dus het Nederlandse rivier systeem en niet de kust, meren en estuaria. Deze kaart is gebaseerd op het bestand oppervlaktelichamen van het RWS (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016).



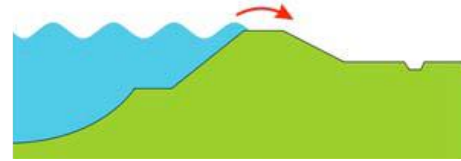
Figuur 1: Scope rivieren met uiterwaarden

2 Theoretisch kader

Dit theoretisch kader gaat in op mechanisme golfoverslag en de voor dit onderzoek relevante parameter daarin.

2.1 Golfoverslag

Golfoverslag treedt op wanneer golven over de dijk slaan. Hierbij staat het gemiddelde waterniveau onder de kruinhoogte. Een korte definitie van golfoverslag is “water dat als gevolg van windgolven over een waterkering heen slaat” (Helpdeskwater, sd). Bij golfoverslag is de waterstand lager dan de dijk en slaan golven over de waterkering (Rijkswaterstaat, 2012), zie Figuur 2. Golfoverslag wordt uitgedrukt als een gemiddeld debiet per strekkende meter breedte, bijvoorbeeld in l/s per m. In werkelijkheid is golfoverslag geen constant debiet dat stroomt over de kruin van de waterkering. De hoogste golven laten in korte tijd een grote hoeveelheid water over de kruin lopen. Lagere golven geven helemaal geen overslag (TAW, 2002).



Figuur 2: Golfoverslag (Waterschap Rivierenland, sd)

2.2 Fysische aspecten van golfoverslag

In dit onderzoek zal worden bestudeerd bij welke stedelijke locaties golfoverslag kan leiden tot wateroverslag en schade, aangenomen dat de waterkering niet faalt. Een stap in het selectieproces bestaat uit het selecteren van locaties waarvan het profiel van de rivier aanleiding geeft tot de mogelijkheid van grote golfoverslagdebieten. Het golfoverslagdebiet is afhankelijk van de golfhoogte en de afstand tussen waterhoogte tot de kruin van de kering. De golfhoogte hangt af van de waterdiepte, de windsnelheid en de strijklengte (zie formule 1 onderaan deze bladzijde).

Relatie golfoverslagdebiet en golfhoogte

De richtlijn “TR Golfoploop en Golfverloop bij Dijken” (TAW, 2002) bevat een formule dat het verband beschrijft tussen het gemiddelde golfoverslagdebiet q en de golfhoogte H_{m0} . Het golfoverslagdebiet is naast de golfhoogte en de gravitatieversnelling afhankelijk van de lokale factoren: de breekparameter, de golfsteilheid, de spectrale golfperiode bij de teen van de dijk, de taludhelling, de vrije kruinhoogte boven het stilwaterniveau, de invloedfactoren voor invloed van een berm, de ruwheid, de hoek van golfaanval en de verticale wand op het talud (TAW, 2002). Aangezien dit onderzoek een locatiestudie is voor heel Nederland-breed is het binnen het tijdsbestek van dit onderzoek niet mogelijk om de informatie te verzamelen voor alle locaties langs de Nederlandse rivieren, daarom worden de genoemde lokale factoren van deze formule buiten beschouwing gelaten en zal de golfhoogte gebruikt worden als indicator voor het golfoverslagdebiet.

In de formule van de strijklengte met de golfhoogte wordt een andere significante golfhoogte gebruikt, namelijk $H_{1/3}$. Om de significante golfhoogte $H_{1/3}$ te berekenen met de spectrale significante golfhoogte H_{m0} kan gebruikt gemaakt worden van het artikel van Battjes en Groenendijk (2000), genaamd ‘Wave height distributions on shallow foreshores’ (TAW, 2002).

Relatie golfhoogte en strijklengte

Met de strijklengte kan de significante golfhoogte $H_{1/3}$ worden berekend. De formule van Bretschneider, zoals weergegeven in formule 1, wordt in de Hydra-leidraden¹ aanbevolen om golfhoogtes voor rivieren mee te berekenen (HKV Lijn in Water, Rijkswaterstaat RIZA, 2007), (HKV Lijn in water, Rijkswaterstaat RIZA, 2007) en (HKV Lijn in water, Rijkswaterstaat Waterdienst, 2012)). Deze formule van Bretschneider is daarom in dit onderzoek toegepast.

¹ Leidraden om de hydraulische randvoorwaarden mee te berekenen, zoals de significante golfhoogte.

Dit is de volgende formule (TAW, 1989 (ENW, 2007)):

$$\tilde{H} = 0,283 \operatorname{tgh}(0,35\tilde{d}^{0,75}) \operatorname{tgh}\left[\frac{0,0125 \tilde{F}^{0,42}}{\operatorname{tgh}(0,35 \tilde{d}^{0,75})}\right] \quad (\text{formule 1})$$

Waarin:

$$\tilde{H} = \frac{H_{1/3} g}{u^2} \quad (\text{dimensieloze golfhoogte})$$

$$\tilde{d} = \frac{dg}{u^2} \quad (\text{dimensieloze waterdiepte})$$

$$\tilde{F} = \frac{Fg}{u^2} \quad (\text{dimensieloze strijklengte})$$

g	= versnelling van de gravitatiekracht	[m/s]
u	= windsnelheid op 10 meter hoogte	[m/s]
d	= waterdiepte	[m]
F	= strijklengte	[m]
$H_{1/3}$	= significante golfhoogte	[m]

De golfhoogte is afhankelijk van de waterdiepte, de windsnelheid en de strijklengte. De waterdiepte is locatie specifiek. Over de lengte van de rivier kan deze sterk verschillen (zie bijlage D). De windsnelheid kan worden beschouwd als probabilistisch (over tijd) en verschilt regionaal of zelfs lokaal (zie bijlage E). De strijklengte is de breedte van het wateroppervlak (dus bij hoogwater rivier met uiterwaarden) in de windrichting. Golven 'groeien' gedurende deze lengte. Bij rivieren zijn de strijklengtes relatief kort in vergelijking met strijklengten bij meren, zeeën en oceanen. Hoewel golfgroei eindig is, geldt voor de scope (de grote rivieren in Nederland): langer de strijklengte is, hoe hoger de golven worden bij dezelfde condities (zie voor de onderbouwing en grafiek in bijlage B die zijn gemaakt aan de hand van formule 1).

De strijklengte F is berekend met de formule van Holthuijsen, 1980 en bijlage 9 in LOR1 (ENW, 2007). In deze formule wordt de effectieve strijklengte gelijkgesteld aan de gewogen gemiddelden van de projecties $l(\alpha)$ op de windrichting van alle strijklengtes in de α voor een willekeurige situatie:

$$F_e = \frac{\int_{-\alpha_m}^{+\alpha_m} w(\alpha) l(\alpha) d\alpha}{\int_{-\alpha_m}^{+\alpha_m} w(\alpha) d\alpha} \quad (\text{formule 2})$$

Waarin:

$w(\alpha)$ = gewogen functie

$l(\alpha)$ = projectie in de windrichting van alle strijklengtes in de richting van α

De volgende waarden zijn aanbevolen te gebruiken: $w(\alpha) = \cos \alpha$ en $\alpha_m = 42^\circ$ (Holthuijsen, 1980 en bijlage 9 in LOR1 (ENW, 2007)). In dit onderzoek is $w(\alpha) = \cos \alpha$ en $\alpha_m = 45^\circ$. Aangezien de gebruikte α_m slechts 3° afwijkt van de aanbevolen, is aangenomen dat dit niet tot significante onnauwkeurigheden zal leiden.

Waakhoogte

In de leidraad Kunstwerken (TAW, 2003) wordt voorgesteld bij een kruinhoogte boven de ontwerpwaterstand een minimale waakhoogte van 0,3 meter aan te houden. Dit is voor dijken 0,5 meter (TAW, 2002).

3 Methoden

Dit hoofdstuk zal ingaan op de gebruikte methoden in dit onderzoek. Eerst wordt ingegaan op de factoren die invloed hebben op de potentiële gevolgen van golfoverslag en welke factoren zijn toegepast in het onderzoek. Daarna wordt een kort overzicht gegeven van de methode, die vervolgens methode in detail wordt besproken.

3.1 Factoren

Het golfoverslagdebiet, de mogelijkheden tot afstroom van het water en de waarde van het gebied zijn factoren die van invloed zijn op de gevolgen van potentiële golfoverslag:

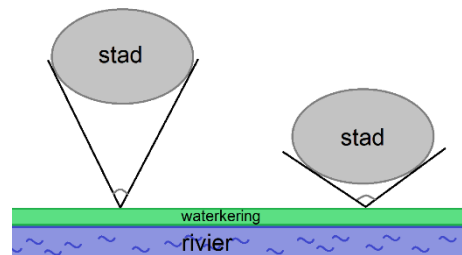
Het **golfoverslagdebiet** is afhankelijk van de golfhoogte, de gravitatieversnelling en de lokale en temporale factoren zijn: de breekparameter, de golfsteilheid, de spectrale golfperiode bij de teen van de dijk, de taludhelling, de vrije kruinhoogte boven het stilwaterniveau, de invloedfactoren voor invloed van een berm, de ruwheid, de hoek van golfaanval en de verticale wand op het talud (TAW, 2002). In dit onderzoek wordt de **golfhoogte** genomen als indicator voor het golfoverslagdebiet. Als er hogere golven ontstaan in het gebied, is in de eerste plaats de kans op golfoverslag groter. Daarnaast kunnen de gevolgen ook groter zijn.

Aanvullend wordt onderscheid gemaakt tussen bebouwde kommen die *deels worden beschermd door een kade of andere harde constructie* langer dan 500 meter en bebouwde kommen waar dit niet voor geldt. In het algemeen zijn kades relatief lager ontworpen dan dijken uitgaande van gelijke omgevingsfactoren. (De waakhogte is voor dijken 0,5 meter en voor kades 0,3 meter.) De potentiële gevolgen bij golfoverslag bij kades zijn in het algemeen daardoor groter dan voor dijken.

De **mogelijkheden tot afstroom** bestaan uit infiltratie, afvoer via oppervlakte water en afvoer via het hemelwater- en/of rioleringsystemen. In het onderzoek is dit meegenomen in de factoren: het percentage verhard oppervlak en de afstand tussen de waterkering en de bebouwing.

Het *percentage verhard oppervlak* is een omgekeerde indicator voor de infiltratiecapaciteit. Als er veel verharding is, kan relatief weinig water infiltreren en omgekeerd. In het algemeen geldt dat indien de *afstand tussen de waterkering en de bebouwing* groter is, de potentiële consequenties van golfoverslag groter zijn en omgekeerd. Dit kan onderbouwd worden met de volgende argumenten:

- Als de afstand tussen de waterkering en de bebouwing kleiner is, is waarschijnlijk ook de oppervlakte tussen de waterkering en de bebouwing dat onverhard is groter. Daardoor kan meer water worden geïnfiltreerd voordat het water het stedelijk gebied treft.
- Als de afstand tussen de waterkering en de bebouwing groter is, zijn er mogelijk ook meer sloten en kanalen tussen de waterkering en de bebouwing. Zo kan meer water worden afgevoerd via het oppervlaktewater.
- Als de afstand tussen de waterkering en de bebouwing groter is, is in het algemeen de kans groter dat het water in een andere richting dan naar het stedelijk gebied stroomt en het gebied niet treft, zie Figuur 3. Uiteraard is richting waarin het water stroomt afhankelijk van het hoogteprofiel. Op grote schaal zal deze redenering wel opgaan.



Figuur 3: Vergelijking gebieden op afstand tussen waterkering en stad

De afstand tussen de waterkering en de bebouwing wordt meegenomen bij de selectie van bebouwde kommen de bepaling van het aantal panden. De afvoer capaciteit van het rioleringsysteem en de afvoer capaciteit van het oppervlaktewater binnen het stedelijk gebied zijn niet in beschouwing genomen vanwege de complexiteit.

De maximaal mogelijke schade door wateroverlast wordt bepaald door de **waarde van het gebied**. Het aantal panden is als indicator voor de waarde van het gebied toegepast. Er verschillende soorten schade, zoals financieel, sociaal en verlies van mensenlevens.

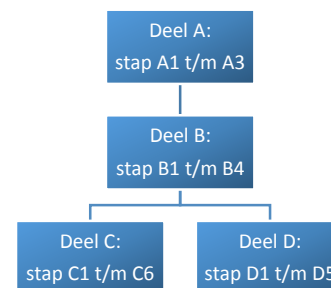
De potentiële economische schade per oppervlakte is voor gebouwen en infrastructuur het grootst (STOWA, 2013). Neem een groot en klein huis. Voor beide wordt dezelfde waarde gerekend, maar grotere huizen

hebben in het algemeen wel meer grond. Als er meer panden zijn, is er vaak ook meer infrastructuur. Voor sociale schade is het aantal panden ook relevant. Als er meer panden zijn, zijn er namelijk ook meer mensen.

3.2 Overzicht methode

De methode is in een schema weergegeven in Figuur 5 op bladzijde 8.

De methode is in de volgende volgorde uitgevoerd: Als eerste deel A van de methode, de stappen uit de eerste kolom. Daarna deel B van de methode, de tweede kolom. Vervolgens zijn de stappen in de laatste twee kolommen van de methoden parallel aan elkaar uitgevoerd. De volgorde waarin deze delen zijn uitgevoerd zijn weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4: Volgorde methode

Globaal kan de volgende indeling worden gemaakt:

- **Voorbereiding.** Deel A van de methode bestaat uit de voorbereiding, zodat de data op efficiënte wijze wordt bepaald. Dit is verweven in paragraaf 3.3 en 3.4.
- **Golfhoogten.** In deel B en de stappen C1 en D1 is zijn de golfhoogtes bepaald. Zie paragraaf 3.3.
- **Overige factoren.** De stappen C2 tot en met C5 en de stappen D2 tot en met D5 betreffen het uitvoeren van Multicriteria analyse met de overige factoren. Zie paragraaf 3.4.
- **Gevoeligheid.** Stap C6 bestaat uit de gevoeligheidsanalyse van de MCA uit stap C5. Zie paragraaf 3.5.

3.2.1 Data

Voor het onderzoek zijn de volgende geografische data als input gebruikt:

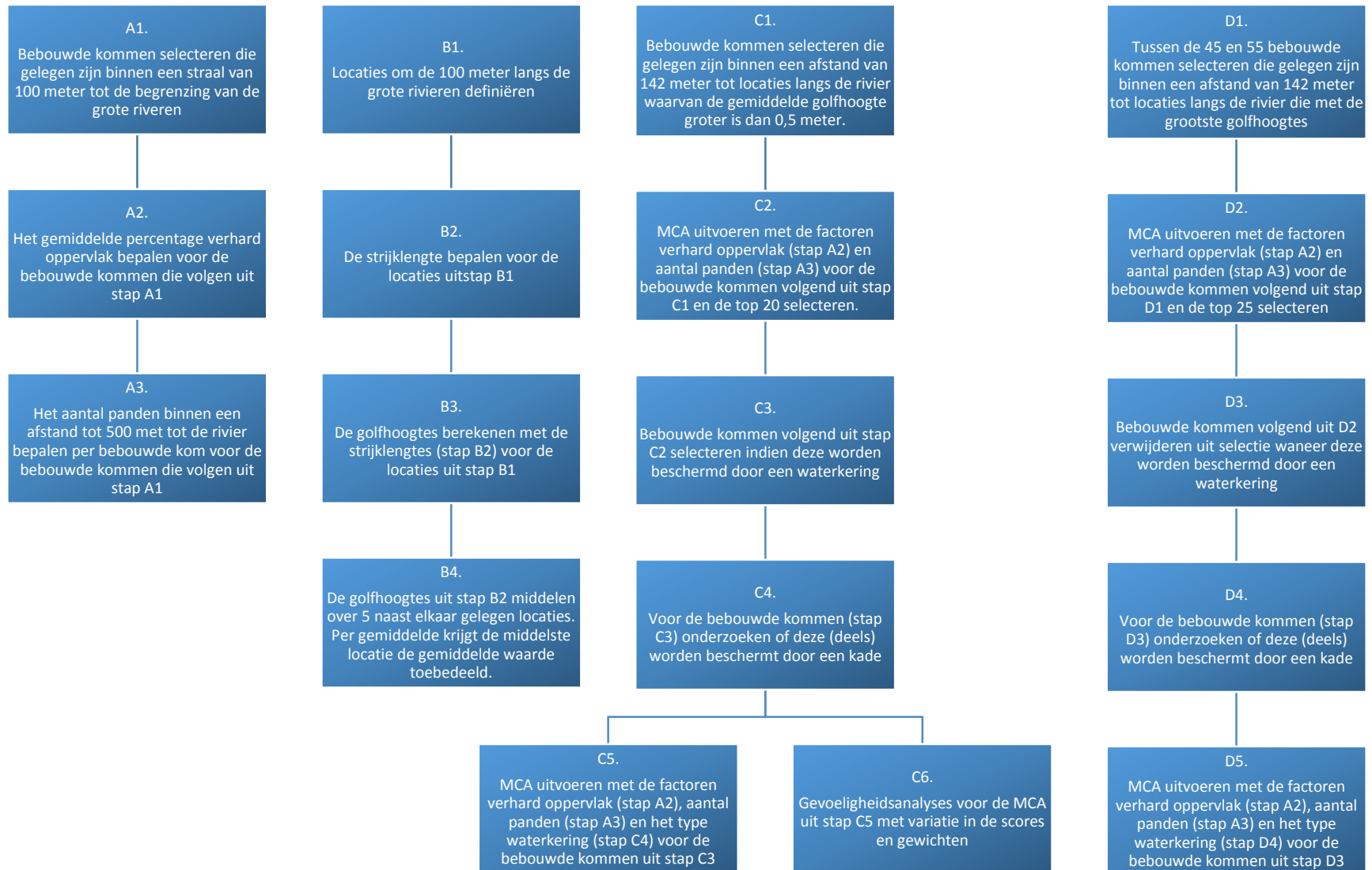
- Bebouwde kommen van het Kadaster (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2016)
- De begrenzing van de grote rivieren. Dit is een intern bestand gebaseerd op een bestand van Rijkswaterstaat (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016)
- Landgebruik data van het CBS (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, CBS, 2016)
- Panden uit het BAG-register van het Kadaster (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2015)

3.2.2 Criteria en de selectiemethode

De selectie begint al bij het selecteren op strijklengtes. De laatste stap in de selectie is Multicriteria analyse 2. In deze paragraaf wordt in het kort een overzicht gegeven van de methode van het onderzoek. De criteria waarop in dit onderzoek is geselecteerd zijn weergegeven in Tabel 2.

Criteria	Hoe is de criteria toegepast?	Waarom is de criteria toegepast?
Golfhoogte	De bebouwde kommen waarbij de golfhoogte groter is dan 0,5 meter selecteren of circa 50 bebouwde kommen met de grootste golfhoogtes selecteren.	De golfhoogte is een indicator voor de kans op het voorkomen van golfoverslag.
Afstand tot rivier	Alleen panden en bebouwde kommen binnen een bepaalde afstand tot de rivier zijn meegenomen in het onderzoek.	Hoe korter de afstand van het stedelijk gebied tot de rivier, hoe meer schade kan optreden in het algemeen.
Aantal panden	Het aantal panden binnen 500 meter afstand tot de rivier per bebouwde kom gedeeld door de wortel van het oppervlakte van de bebouwde kommen is meegenomen in Multicriteria analyse 1 en 2.	Het aantal panden is een indicator voor de waarde van het gebied. Dit is bepalend voor hoeveel schade er zou kunnen optreden.
Verhard oppervlak	Het percentage verharding per bebouwde kom is meegenomen in Multicriteria analyse 1 en 2.	Als er veel verharding is, is de mogelijkheid tot infiltratie in het gebied kleiner. Dit leidt mogelijk tot meer overlast.
Type waterkering	Het type waterkering (dijk of kade) is meegenomen in Multicriteria analyse 2.	Dijken zijn robuuster ontworpen dan kades. De kans op voorkomen van golfoverslag is daarom groter voor kades.

Tabel 2: Totaalplaatje criteria



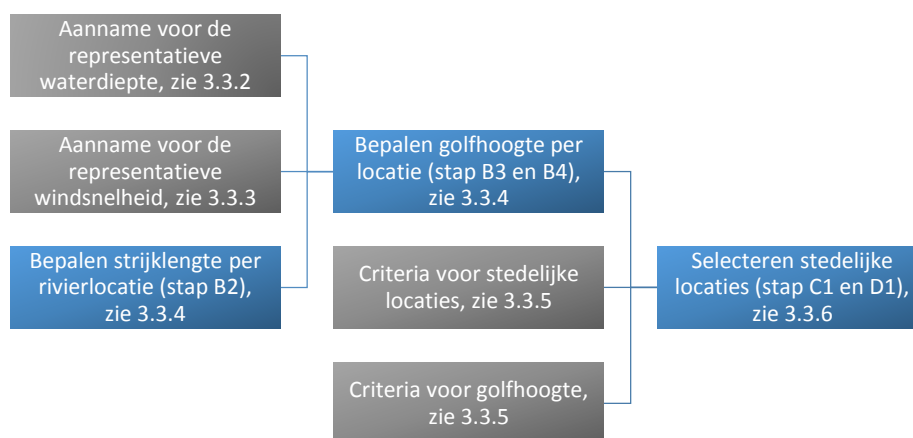
Figuur 5: Overzicht methode

3.3 Gebieden met grote potentiële golfhoogtes

In het eerste deel van het onderzoek zijn locaties, die langs de grote rivieren en nabij stedelijke gebieden gelegen zijn, geselecteerd op de grootte van potentiële golfhoogtes. Hiermee is antwoord gegeven op de vraag: Welke locaties, die gelegen zijn nabij stedelijke gebieden, hebben grote potentiële golfhoogtes?

3.3.1 Overzicht methode

De uitgangspunten van het onderzoek zijn de aannames met betrekking tot gegevens en de criteria voor de selectie. Deze zijn vooraf bepaald. (De uitgangspunten staan in Figuur 6 vermeld in de grijze vakken.) Daarna zijn de strijklengtes bepaald. Met de formule van Bretschneider (zie paragraaf 2.2) zijn de golfhoogtes berekend. De input hiervoor zijn de uitgangspunten samen met de strijklengtes. Vervolgens worden stedelijk locaties geselecteerd op de grootte van de potentiële strijklengtes. De methode is met de bijbehorende uitgangspunten als schema weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6: Methode en uitgangspunten om locaties te selecteren op grote potentiële golfhoogtes

De redenering achter de methode begint bij de laatste stap, namelijk de selectie. In het algemeen zijn *gegevens* en een of meer *selectiecriteria* nodig om tot een selectie te komen. In deze context bestaan de inputgegevens voor de selectie uit de *potentiële* golfhoogtes. De selectiecriteria zijn: 1) een waarde vanaf welke golfhoogtes worden beschouwd als *grote* golfhoogtes en 2) criteria voor welke locaties worden beschouwd als stedelijke locaties en welke locaties nabij de rivier liggen. Nu kan worden afgevraagd hoe de potentiële golfhoogtes zijn bepaald. De golfhoogtes zijn bepaald met de formule van Bretschneider, zie paragraaf 2.2. Voor deze formule is de waterdiepte, windsnelheid en de strijklengte nodig. De strijklengtes zijn bepaald met GIS. De waterdiepte en windsnelheid zijn locatie specifiek en kunnen niet voor iedere locatie worden bepaald binnen de termijn van dit onderzoek, daarom zijn hiervoor aannames gedaan.

3.3.2 Aanname representatieve waterdiepte

Per (groep) rivieren is een voor dit onderzoek representatieve waterdiepte aangenomen. Dit is een schatting van de gemiddelde waterdiepte bij een maatgevende hoogwaterstand (MHW), uitgaande van een waakhoogte van 0,5 meter. De maatgevende hoogwaterstand is een hoge waterstand. Deze komt echter niet veel voor. Er had ook gekozen kunnen worden voor een waterstand die bijvoorbeeld 0,5 meter lager is. Dit houdt ook in dat de golven dan hoger moeten zijn. Hierin moet een keuze worden gemaakt. Het doel is niet om absolute resultaten te verkrijgen, maar om de uitkomsten te kunnen vergelijken. Dit maakt de waterdiepte bij MHW geschikt als representatieve waterdiepte. De waakhoogte is aangenomen op 0,5 meter, hoewel bij kades en muren een waakhoogte van 0,3 meter wordt aanbevolen. Deze aanname is gedaan, omdat binnen het tijdsbestek van dit onderzoek niet voor alle locaties kan worden uitgezocht of de bebouwde kom (deels) wordt beschermd door een muur of kade.

De gemiddelde waterdiepte bij MHW is bepaald met enkele steekproeven. Zie bijlage D voor de uitwerking. In Tabel 3 zijn de aangenomen waterdiepten weergegeven.

Rivier(en)	Gemiddelde waterdiepte per rivier in meter
IJssel	2,9 m
Rijn, Pannerdensch Kanaal, Neder-Rijn en Lek	3,7 m
Waal, Boven-Merwede en Nieuwe-Merwede	3,9 m
Maas en Bergsche Maas	4,2 m

Tabel 3: Gemiddelde waterdiepte per rivier op basis van steekproeven

3.3.3 Aanname representatieve windsnelheid

Evenals de waterdiepte is de windsnelheid nodig voor het berekenen van de golfhoogte. De aanname voor de windsnelheid is gemaakt met behulp van windstatistieken uit het document "Estimation of extreme return levels of wind speed" (Smits, 2001). Hierin staan grafieken met probabilistische windsnelheden voor 23 locaties in Nederland. De windsnelheden met een kans van eens per 10 jaar zijn gebruikt. Kleinere windsnelheden, zoals die eens per jaar voorkomen, leiden mogelijk niet tot problemen en anders zullen de problemen herkend en opgelost worden. Bij grotere windsnelheden, zoals die eens per 100 jaar voorkomt, is de urgentie veel lager.

De windsnelheid is locatie specifiek, zowel op lokale als regionale schaal. Bebouwing heeft invloed op de stroming van wind. De wind is over het algemeen krachtiger aan de kust dan in het binnenland (Smits, 2001) en op het platteland dan in de stad. Aangezien dit onderzoek een studie is met een grote scope zijn de gegevens gegeneraliseerd. In bijlage E staat een tabel met probabilistische gegevens over de windsnelheid eens per 10 jaar voor verschillende locaties. Hieruit blijkt dat de windsnelheid voor locaties binnen 10 km van de kust, de wadden en het IJsselmeer aanzienlijk hoger is dan locaties in het binnenland (vanaf 10 km ten opzichte van de genoemde wateren). De gemiddelde windsnelheid bij kustlocaties is 24,48 m/s en bij binnenland locaties 20,15 m/s. Er is gekozen om de windsnelheden van het binnenland te gebruiken, aangezien de meeste rivierlocaties daar gelegen zijn. De representatieve windsnelheid is dus 20,15 m/s.

3.3.4 Strijklengte en golfhoogte per locatie

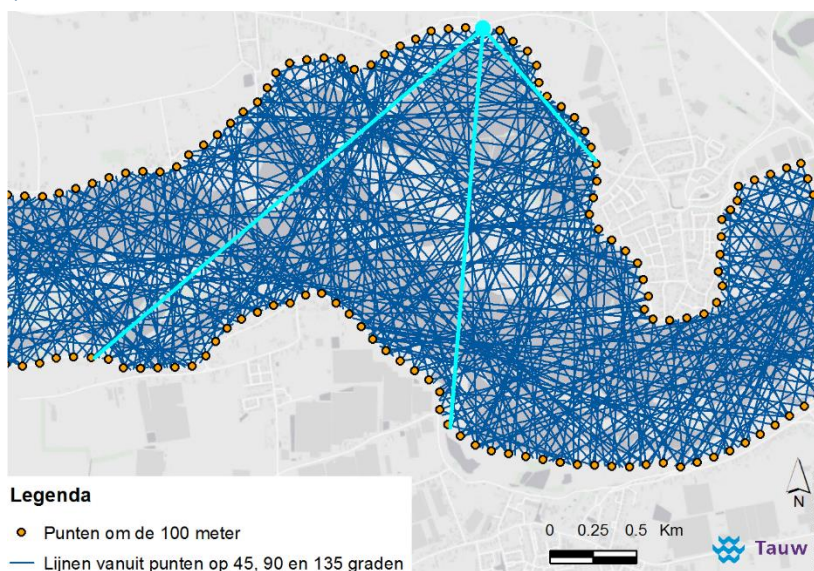
De strijklengtes zijn bepaald voor de locaties langs de grote rivieren gesitueerd om de 100 meter op de rand van de rivieren inclusief uiterwaarden (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016). Het bepalen van de strijklengten is gedaan met behulp van ArcGIS en Excel. De technische details zijn opgenomen in bijlage F.

Per punt zijn de lengtes bepaald van lijnen tot de overkant van de rivier onder de hoeken 45, 90 en 135 graden ten opzichte van de begrenzing van de rivier.

Met deze informatie is de strijklengte per punt berekend met formule 2 (zie paragraaf 2.2).

Daarna is de golfhoogte berekend voor alle punten om de 100 meter langs de rivier. Dit is gedaan met de formule van Bretschneider (zie paragraaf 2.2). De als representatief aangenomen waterdiepte en windsnelheid en de berekende effectieve strijklengten vormen de input voor de berekening van de golfhoogte.

Golfoverslag kan mogelijk tot wateroverlast leiden indien het optreedt over een breedte van enkele honderden meters effectieve waterkering (in de casestudie van Zutphen is 3,6 kilometer gebruikt). Daarom is per locatie een gemiddelde berekend over 5 punten: 2 locaties ervoor en 2 locaties erna (aan dezelfde kant van de rivier) en de locatie zelf. Deze gemiddeldes worden gebruikt in het vervolg van het onderzoek.



Figuur 7: Lijnen voor het bepalen van de strijklengte

3.3.5 Selectiecriteria voor golfhoogte en stedelijke locaties

Voorafgaand aan de selectie zijn de selectiecriteria bepaald:

- Circa 50 bebouwde kommen met de grootste golfhoogtes
- Bebouwde kommen waarbij de berekende golfhoogte groter is dan 0,5 meter

Hierbij is beoogd dat de selectiecriteria aansluiten bij het doel van het onderzoek. Het selectie criterium moet daarom niet zo soepel zijn dat de golfhoogte regelmatig optreedt (bijv. gemiddeld eens per maand). Voor dit type golven zijn zeker maatregelen getroffen indien deze problemen zouden kunnen geven. De waarde moet echter ook niet zo groot zijn dat deze niet in een mensenleven voorkomt. Dan is de relevantie van eventuele problemen niet zo groot.

Er is gekozen om circa 50 locaties nabij rivierlocaties met de hoogste golfhoogtes te selecteren, omdat dit locaties met relatief hoge potentiële golfhoogtes geeft en ruimte biedt voor verdere selectie. Het is de bedoeling dat het resultaat bestaat uit ongeveer 20 bebouwde kommen. Het resultaat van deze selectie op golfhoogte bestaat uit 50 bebouwde kommen. Met de eerste MCA is het aantal bebouwde kommen in de selectie teruggebracht naar 20 locaties. Vervolgens vallen er wellicht nog enkele plaatsen af doordat ze niet beschermt zijn door een waterkering.

Het selectie criterium 0,5 meter is gekozen, omdat de waakhoogte voor dijken 0,5 meter is en daarmee een kritieke waarde volgens expert judgement. De waakhoogte is een veiligheidsmarge die wordt gebruikt voor het bepalen van de kruinhoogte. In de richtlijnen voor het ontwerpen voor dijken wordt voor de waakhoogte 0,5 meter aanbevolen. Aangezien dijken ontworpen zijn voor een kleine herhalingstijd, mag aangenomen worden dat een golf van 0,5 meter een grote golf is.

Voor de stedelijke locaties zijn de bebouwde kommen gekozen. Deze zijn ook bindend voor verschillende regelgeving (Overheid, 2016).

3.3.6 Selectie op golfhoogte

De selectie op golfhoogte is parallel uitgevoerd voor twee criteria. De input voor deze selecties is hetzelfde en bestaat uit de volgende kaarten:

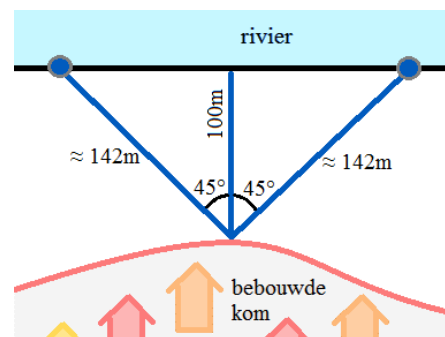
- De kaart van alle bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier met uiterwaarden (resultaat stap A1)
- De kaart met de punten langs de rivier met informatie over de gemiddelde golfhoogtes over 5 locaties (resultaat stap B5)

Bij de selectie op golfhoogtes groter dan 0,5 meter is eerst een kaart gemaakt met de punten van de locaties waarvan de gemiddelde golfhoogte groter is dan 0,5 meter. Daarna zijn de bebouwde kommen geselecteerd waarbij in een straal van 142 meter een punt ligt waarvoor de gemiddelde golfhoogte groter is dan 0,5 meter.

De selectie op golfhoogte waarbij het resultaat bestaat uit circa 50 bebouwde kommen lijkt op de selectie op golfhoogtes groter dan 0,5 meter besproken worden. Hierbij wordt steeds het criterium 0,5 meter vervangen door een andere waarde totdat het resultaat bestaat uit circa 50 resultaten, dat wil zeggen tussen de 45 en 55 resultaten.

In het uiterste geval ligt een bebouwde kom precies 100 meter tot de rivier. Stel dat de grens van de rivier recht is. Dan staat de kortste lijn tussen de rivier en de bebouwde kom – deze is 100 meter lang - loodrecht op de grens van de rivier. De uiterste afstand tot een punt op de grens van de rivier, waarvoor de golfhoogte is berekend, is dan $100 \cdot \sqrt{2}$ m. Afgerond naar boven op een geheel getal is dat 142 meter. Als een straal van 142 meter in acht wordt genomen, is het gegarandeerd dat elke bebouwde kom aan de berekende gemiddelde golfhoogte van minimaal één punt wordt getoetst.

De geselecteerde locaties worden meegenomen in het vervolg van het onderzoek, de Multicriteria analyses.



Figuur 8: Schets maximale lengte van bebouwde kom tot dichtstbijzijnde punt met berekende golfhoogte

3.4 Multicriteria analyse

De methode om te selecteren op verharding, panden en type waterkering bestaat uit vier stappen. Deze stappen zijn weergegeven in Figuur 9.

Deze methode is parallel uitgevoerd voor de input vanuit twee selecties op golfhoogte:

- Selectie met als criterium: golfhoogte is groter dan 0,5 m
- Selectie met als criterium: circa 50 plaatsen met in een straal van 142 meter de grootste golfhoogten

Per selectie op golfhoogte is achtereenvolgens twee keer een MCA is gedaan (zie Figuur 9). Bij MCA 1 is de input gebruikt die wordt geleverd door de selectie op golfhoogte. In deze MCA zijn de verharding en het aantal panden meegewogen. Bij MCA 2 zijn de eerste 20 of 25 resultaten van MCA 1 gebruikt als input en wordt naast de verharding en het aantal panden ook het type kering meegenomen. Het eindresultaat is Multicriteria analyse 2. De eerste MCA is uitgevoerd, zodat er een selectie kan worden gemaakt van de interessante locaties en alleen voor die locaties informatie over het type waterkering hoeft te worden verzameld.

In totaal zijn er dus twee keer twee Multicriteria analyses uitgevoerd. Het verschil zit in de input en welke factoren worden meegewogen. Voor de leesbaarheid zijn aan de Multicriteria analyses codes toegewezen (namelijk A1, B1, A2, B2). De verschillende Multicriteria analyses zijn in Tabel 4 samengevat. De processen van de vier Multicriteria analyses zijn in beeld gebracht in Figuur 10, Figuur 11, Figuur 12 en Figuur 13.

	Input selectie op golfhoogtes groter dan 0,5m	Input selectie op grote golfhoogte met als resultaat 50 bebouwde kommen
Multicriteria analyse 1	Multicriteria analyse A1	Multicriteria analyse B1
Multicriteria analyse 2	Multicriteria analyse A2	Multicriteria analyse B2

Tabel 4: Totaalplaatje Multicriteria analyses met codes



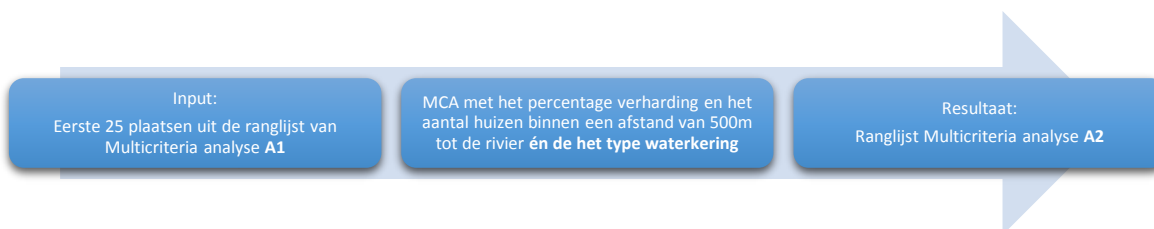
Figuur 9: Methode om locaties te selecteren op verharding en aantal panden; (Neighborhood Map Clipart, 2016), (GIS People, sd), (RWS, 2015)



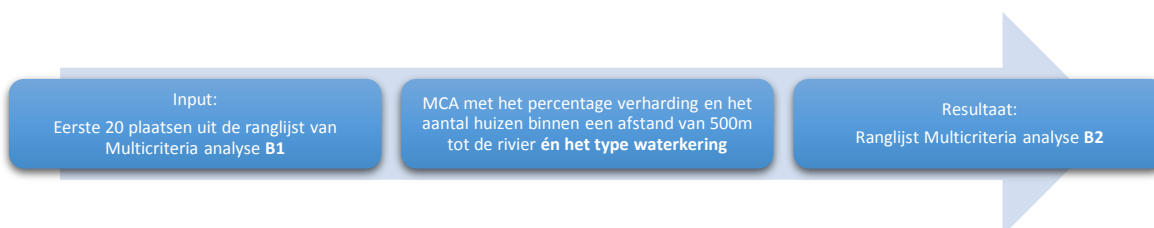
Figuur 10: Schema input, verwerking en output bij Multicriteria analyse A1.



Figuur 11: Schema input, verwerking en output bij Multicriteria analyse B1.



Figuur 12: Schema input, verwerking en output bij Multicriteria analyse A2.



Figuur 13: Schema input, verwerking en output bij Multicriteria analyse B2.

3.4.1 Verzamelen data verharding en panden

De eerste stappen voor het uitvoeren van de MCA (stap A2 en A3 uit het schema in Figuur 5) bestaat uit het verzamelen van informatie over verharding en panden. Het percentage verharding en het aantal panden zijn factoren die invloed hebben op de potentiële consequenties van een overstroming. Als er veel verharding is, zijn er minder mogelijkheden voor infiltratie en ontstaat sneller wateroverlast. Het aantal panden is een indicatie voor de waarde van het gebied. Als een gebied overstroomt dat veel waarde heeft zijn de gevolgen groter dan een gebied met minder waarde bij een vergelijkbare mate van overstroming.

3.4.1.1 Verharding

Voor verharding is gekeken naar het percentage verharding per bebouwde kom voor de bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier (met uiterwaarden).

De soorten landgebruik zijn ingedeeld in 5 categorieën: wegen, bebouwd, semi-bebouwd, water en groen en buitenland. De categorie buitenland valt buiten de scope van dit onderzoek. Per categorie (behalve voor de categorie buitenland) is een inschatting gemaakt van het verharde deel.

Wegen zijn spoorwegen en hoofdwegen. De gebieden met dit type landgebruik worden beschouwd als geheel verhard. Voor bebouwde gebieden, zoals woongebied en bedrijfsterrein is het verharde deel geschat op ongeveer 50% van het oppervlakte is verhard (0,5). Voor de semi-bebouwd gebieden zoals opslagterrein en bouwterrein is geschat dat gemiddeld ongeveer 25% verhard is (0,25). Veel gebieden in de categorie water en groen hebben relatief nauwelijks verharding. Door groene gebieden lopen vaak wel wegen. Zo is ook in Figuur 14 is te zien dat door het plantsoen, aangegeven met 5, een weg loopt. Door bossen lopen vaak ook enkele verharde wegen. De verharding in dit type gebieden wordt echter gemiddeld geschat als minder dan 5% en is daarom gesteld op 0.

Landgebruik categorie	Score
Wegen	1
Bebouwd	0.5
Semi-bebouwd	0.25
Water en groen	0
Buitenland	0

Tabel 5: Score criteria verharding

Als een gebied volledig is verhard is er meer kans op wateroverlast, daarom wordt het gemiddelde deel dat verhard is per plaats meegenomen als score in de Multicriteria analyse.

In Figuur 14 is een gedeelte van de stad Rijssen weergegeven. Er zijn twee lagen weergegeven. De onderste laag zijn straten en bebouwing weergegeven. De bovenste laag laat de typen landgebruik zien. De kleuren symboliseren de verschillende typen landgebruik. In plaats van een legenda is de betekenis als tekst toegevoegd.

Dit figuur geeft een beeld van het detailniveau van de laag met landgebruik. De hoofdwegen zijn weergegeven, maar de erftoegangswegen niet. In de kaart zijn enkele locaties genummerd. Bij locatie 1 is een autobedrijf gevestigd, terwijl het gebied is aangewezen als spoorweg. Bij locatie 2 en 4 is een tunnel. Dit is echter gemarkeerd als woongebied. Bij locatie 3 is een grasveld te zien dat in het verlengde ligt van het erboven gelegen plantsoen. Dit is ook gelabeld als woongebied. Bij locatie 5 is een waterwoning te zien. Dit behoort echter niet tot het landgebruik woongebied, maar tot park en plantsoen. Dit laat zien dat het detailniveau en de nauwkeurigheid van de data beperkt is.



Figuur 14: Kaart met landgebruik en onderliggend een luchtfoto (BBG 2012 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, CBS, 2016))

3.4.1.2 Panden

De data over panden betreft het aantal panden binnen een bepaalde afstand tot de rivier per bebouwde kom voor de bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier met inbegrip van uiterwaarden. Om tot de data te komen, is gebruik gemaakt van het stappenplan in bijlage C.

De data is met ArcGIS bepaald, tenzij anders aangegeven. Dit stappenplan kan als volgt samengevat worden:

- Een kaart maken met een vlak dat de grote rivieren met bijbehorende uiterwaarden bestrijkt. Dit vlak bevat geen gebieden die beschermd worden door een waterkering categorie A en geen bebouwde kommen.
- Een kaart maken met de bebouwde kommen waarvan de afstand tot (de uiterwaarden van) een van de grote rivieren kleiner of gelijk is aan 100 meter.
- Een kaart met het bestand bodemgebruik BBG 2012 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, CBS, 2016) samenvoegen met de kaart met de bebouwde kommen langs de rivier (zie punt b). Het gemiddelde percentage verharding per type bodemgebruik schatten. De data (in Excel) verwerken tot percentage verharding per bebouwde kom.
- Kaarten maken met de panden die én in een bebouwde kom liggen waarvan de afstand tot de rivier kleiner of gelijk is aan 100 meter én binnen 500 meter tot de rivier liggen. Met de ArcGIS tool 'summary', die overeenkomt met de draaitabel in Excel, het aantal panden per bebouwde kom bepalen.

3.4.1.3 Toelichting keuzes

Hieronder worden de gemaakte keuzes in de methode voor het genereren van data over de panden toegelicht.

Gebieden die worden beschermd door A-keringen zijn uit de kaartlaag met de grote rivieren gehaald. Waterkeringen uit de categorie A vormen namelijk de grens tussen de rivier met uiterwaarden en het achterland

Buitendijks gelegen bebouwde kommen zijn uit kaartlaag met de grote rivieren gehaald, omdat de golven gebroken worden door de bebouwing. Daarbij is het op enkele locaties is mogelijk dat verschillende gebieden niet jaarlijks overstroomd. Er zijn gehele wijken buitendijks gelegen. Er kan afgevraagd worden of deze gebieden regelmatig overstroomd.

Het begrip *stedelijk gebied nabij de rivier* wordt ingevuld als bebouwde kom binnen een afstand van 100 meter tot de rivier met inbegrip van uiterwaarden. Om tot de keuze voor een afstand van de bebouwde kom tot de dijk te komen is gekeken naar 50 meter, 100 meter en 150 meter. Bij 50 meter wordt in tegenstelling tot 100 meter een bebouwde kom, waar een weg en bijvoorbeeld een bedrijfspand zich tussen de dijk en de bebouwde kom bevinden, niet meegenomen. Een gemeenteraad mag de grens van een bebouwde kom aanpassen naar wens (Wegenverkeerswet 1994 artikel 20a (Overheid, 2016)). De gemeente had kunnen kiezen het bedrijfspand bij de bebouwde kom te betrekken. Als de gemeente dit zou hebben gedaan, zou de bebouwde kom wel tot de selectie behoren. Bovendien heeft een bedrijfspand bij een overstroming ook schade. (Hoewel deze panden in het vervolg niet mee zal worden genomen, aangezien het bedrijfspand buiten de bebouwde kom ligt.) Er is daarom gekozen om deze bebouwde kommen wel mee te willen nemen in de selectie, maar geen bebouwde kommen waar de afstand tot de dijk nog groter is. Bij een grotere afstand tussen de rivier en de bebouwde kom zijn er vaak weilanden/akkers en sloten tussen de dijk en de bebouwde kom liggen. De mogelijkheden tot infiltratie en afstroom via oppervlaktewater zijn dan groter (in vergelijking met stedelijk gebied waar veel verharding is). Daarmee zullen de potentiële gevolgen bij een overstroming kleiner zijn bij dezelfde omstandigheden en gebiedskenmerken.

Voor de afstand 500 meter is het aantal panden bepaald dat binnen deze afstand tot de rivier liggen per bebouwde kom, voor de bebouwde kommen binnen 100 meter tot de rivier. Bij golfoverslag gaat er steeds een hoeveelheid water over de dijk. Hoeveel reikt de invloed van golfoverslag? Dat kan worden onderzocht met een GIDS-analyse. Om toch enigszins een inschatting te kunnen maken is gekeken naar de casestudie van Zutphen en een rekenvoorbeeld gemaakt (zie het rekenvoorbeeld in bijlage G). Er is gekozen voor 500 meter. Dit is dus een aanname. Om inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid zijn er daarom ook berekeningen gemaakt voor 250 meter, 750 meter en een combinatie waarbij 250 meter voor 4/7e deel meetelt, 500 meter voor 2/7e deel en 750 meter voor 1/7e deel.

3.4.2 Multicriteria analyse 1

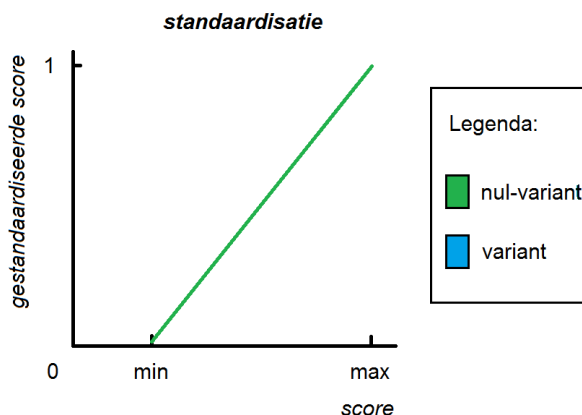
De volgende stap (stap C2 en D2 uit het schema in Figuur 5) is het uitvoeren van Multicriteria analyse 1 (MCA). In deze MCA worden de locaties die geselecteerd zijn op golfhoogte als input gebruikt. Om tot een Multicriteria analyse te komen is het volgende nodig scores, standaardisatie methode en gewichten voor de criteria (Resource analysis, 2008). Uit de MCA volgt een ranglijst van stedelijke gebieden.

De criteria voor deze Multicriteria analyse zijn:

- Percentage verharding per bebouwde kom
- Aantal panden binnen 500 meter afstand tot de rivier per bebouwde kom gedeeld door de wortel van het oppervlakte van de bebouwde kommen

De percentage verharding per bebouwde kom is een (omgekeerde) indicator voor de infiltratie-capaciteit binnen een bebouwde kom.

Voor het aantal panden is aangenomen dat de invloed van het water reikt tot 500 meter, zie bovenstaande paragraaf. Daarbij wordt het aantal panden tot 500 meter gedeeld door de wortel van de oppervlakte van een bebouwde kom. De wortel van de oppervlakte wordt beschouwd als de breedte van het gebied. In dit onderzoek wordt gekeken naar de grootste relatieve impact van golfoverslag. Daarom is het aantal panden gedeeld door de 'breedte'. Dit resulteert niet in een waarde per oppervlakte, maar een waarde per diepte. Deze diepte is overal 500 meter. Aangezien in de volgende stap de scores omgezet worden naar waarden tussen 0 en 1, behoeven de scores in deze stap niet gedeeld te worden door 500 meter.



Figuur 15: Standaardisatie methode

Deze data is verzameld in de stappen A2 en A3 uit Figuur 5. Dit zijn de scores. Om de factoren even zwaar te laten meewegen zijn de scores gestandaardiseerd. Dit maakt dat de scores met een (voor de bijbehorende

factor) relatief hoge waarde, onafhankelijk van welke factor het is, even zwaar meetellen. (In plaats van hoge waarde kan hierbij ook lage waarde gelezen worden.) Met de standaardisatie methode worden de scores omgezet in waarden tussen 0 en 1. De minimale score krijgt als gestandaardiseerde score 0 en de maximale score krijgt als gestandaardiseerde score 1. Daartussen worden de waarden lineair geïnterpoleerd. Zie Figuur 15 voor de grafiek over de standaardisatie.

De gewichten die worden toegekend aan de criteria zijn 50% voor de verharding en 50% voor het aantal panden. Het is niet te zeggen welke factor belangrijker is, daarom zijn gelijke gewichten toegepast. Als resultaat is voor MCA A1 is een lijst gemaakt van 20 bebouwde kommen met de hoogste scores en voor MCA B1 is een lijst gemaakt van 25 bebouwde kommen met de hoogste scores.

3.4.3 Type waterkering

Na het uitvoeren van Multicriteria analyse 1 wordt informatie verzameld over het type waterkering.

Allereerst worden de bebouwde kommen die niet worden beschermd door een dijk of kade worden uit de lijsten gefilterd (stap C3 en D3). Dit is bepaald met een kaart met gegevens over toetsing van dijken in de derde en verlengde derde landelijke toetsronde. Dit is een verplichte toetsing die eens per 5 jaar moet worden uitgevoerd voor dijken (Rijksoverheid, 2016). De kaart is interne data van Tauw.

De lijsten met overgebleven bebouwde kommen is de input voor Multicriteria analyse 2. Voor deze bebouwde kommen is vastgesteld of het gebied wordt beschermd door een dijk of door een kade (stap C4 en D4). Dit is gedaan met Globespotter (Cyclomedia, 2016), een gedetailleerde variant op Google Maps.

Kades en muren zijn minder erosiegevoelig dan dijken die bestaan uit zand of klei met een grasbekleding. Daarom wordt een hoger overslagdebiet geaccepteerd (mogelijk tot wel 20 á 30 l/s/m (TAW, 2003)). De kades mogen daarom lager zijn. Ofwel waar kades en muren zijn kan meer overslag worden verwacht. Voor dijken zal een score van 0 worden toegekend en voor kaden en andere kunstwerken een score van 1.

Type waterkering	Score
Dijk	0
Kade	1

Tabel 6: Scores criteria waterkering

3.4.4 Multicriteria analyse 2

In de vierde stap is opnieuw een Multicriteria analyse uitgevoerd. In deze MCA is naast verharding en panden ook het type waterkering, dat wil zeggen *wel of geen kade*, meegenomen. De MCA is uitgevoerd voor de bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier met uiterwaarden.

De criteria voor deze Multicriteria analyse zijn:

- Percentage verharding per bebouwde kom
- Aantal panden binnen 500 meter afstand tot de rivier per bebouwde kom gedeeld door de wortel van het oppervlakte van de bebouwde kommen
- Type waterkering: deels een kade (score 1) of alleen dijken (score 0)

Bij de vorige Multicriteria analyse zijn de scores voor percentage verharding en aantal panden gestandaardiseerd tot waarden van 0 tot en met 1. Dit is gedaan om de factoren gelijk te laten meewegen. Voor de factoren percentage verharding en het aantal panden worden dezelfde gestandaardiseerde scores gebruikt als in Multicriteria analyse 1. Voor het type waterkering is data verzameld in de stappen C3 of D3 en C4 of D4 van Figuur 5. De scores voor het type waterkering hebben de waarde 0 of 1. De hoogste score is 1 en de laagste 0, evenals de gestandaardiseerde scores van de andere factoren. De scores voor het type waterkering hoeven daarom niet gestandaardiseerd te worden.

De gewichten die worden toegekend aan de criteria zijn 1/3 voor de verharding, 1/3 voor het aantal panden en 1/3 voor het type waterkering. De gewichten zijn gelijk, aangezien niet te zeggen is welke factor belangrijker is.

3.5 Gevoeligheidsanalyse

Om inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid en betrouwbaarheid van de Multicriteria analyse is de Multicriteria analyse uitgevoerd voor verschillende varianten. Een overzicht waarop gevarieerd is, is te zien in Tabel 7.

	Variatie object	Aantal varianten per object	Toelichting
A	Gewichten	3	
B	Scores verharding	2	<i>Verharding per landgebruik</i>
C	Scores aantal panden	3	<i>Grens afstand tot rivier</i>
Totaal	-	8	-

Tabel 7: Variatie objecten met aantal variaties

Voor varianten van de *gewichten* is een overzicht gegeven in Tabel 7. De nul-variant is de oorspronkelijke variant, zoals gedaan in de eerste Multicriteria analyse. In de resultaten worden de overige varianten vergeleken met deze nul-variant. Bij de uitvoering bleek dat de derde variant met een hoger gewicht op het type waterkering niet gevoelig is, daarom zijn extra analyses uitgevoerd. In de extra analyses is het gewicht van het type waterkering lager dan de andere factoren (dat zijn verharding en aantal panden) en zijn de andere factoren gelijk. Dit betreffen de varianten A tot en met D.

Voor de factor *verharding* is gevarieerd op de scores. De scores zijn gebaseerd op aannames over het percentage verharding per type landgebruik. Er is een variant gemaakt met lage schattingen (variant 1) en een variant met hoge schattingen (variant 2). Een overzicht daarvan is opgenomen in Tabel 9.

De variatie in de scores van de factor *panden* bestaat uit verschillen in de grens voor de afstand van de panden tot de rivier. Een overzicht van deze varianten wordt gegeven in Tabel 10. Bij de eerste variant en tweede variant wordt de afstand gevarieerd. De derde variant laat de panden dicht bij de rivier mee meewegen dan de overige panden. Het aantal panden tot 500 meter omvat namelijk ook de panden tot 250 meter en het aantal panden tot 750 meter omvat ook de panden tot 250 meter en tussen 500 en 750 meter. In deze berekening worden dus de panden tot 250 meter 3 keer meegewogen, de panden van 250 meter tot 500 meter 2 keer en de panden van 500 meter tot 750 meter 1 keer.

Voor de scores of standaardisatie van de factor *type waterkering* zijn geen varianten uitgevoerd. Op deze factor is bij de varianten in gewichten al dieper ingegaan, namelijk in de varianten A tot en met D.

Variant	Gewicht verharding		Gewicht aantal panden		Gewicht type waterkering	
0	1/3	=0.333...	1/3	=0.333...	1/3	=0.333...
1	1/2	=0.5	1/4	=0.25	1/4	=0.25
2	1/4	=0.25	1/2	=0.5	1/4	=0.25
3	1/4	=0.25	1/4	=0.25	1/2	=0.5
A	3/8	=0.375	3/8	=0.375	1/4	=0.25
B	2/5	=0.40	2/5	=0.40	1/5	=0.20
C	17/40	=0.425	17/40	=0.425	3/20	=0.15
D	9/20	=0.45	9/20	=0.45	1/10	=0.1

Tabel 8: Varianten gewichten

Variant	Score wegen	Score bebouwd	Score semi-bebouwd	Score water en groen
0	1	0.5	0.25	0
1	0.9	0.4	0.20	0
2	1	0.6	0.30	0.1

Tabel 9: Varianten scores verharding per landgebruik categorie

Variant	Score
0	Aantal panden tot 500 meter per $\sqrt{\text{oppervlakte bebouwde kom}}$
1	Aantal panden tot 250 meter per $\sqrt{\text{oppervlakte bebouwde kom}}$
2	Aantal panden tot 750 meter per $\sqrt{\text{oppervlakte bebouwde kom}}$
3	$\frac{(aantal\ panden\ tot\ 250m) + (aantal\ panden\ tot\ 500m) + (aantal\ panden\ tot\ 750m)}{3 * \sqrt{\text{oppervlakte bebouwde kom}}}$

Tabel 10: Varianten scores afstand panden tot rivier

4 Locaties gevoelig voor golfoverslag

Als in een gebied hoge golven kunnen voorkomen is de kans op golfoverslag groter, maar ook de gevolgen kunnen groter zijn. In dit hoofdstuk zijn locaties, die langs de grote rivieren en nabij stedelijke gebieden gelegen zijn, geselecteerd op de grootte van berekende golfhoogtes. De golfhoogtes zijn een indicator voor het debiet.

Kaarten

De over 5 punten gemiddelde berekende golfhoogten zijn in Figuur 17 weergegeven voor alle locaties langs de rivier. Hoe donkerder de kleur is, hoe hoger de over 5 punten gemiddelde potentiële golfhoogte is. De punten van de locaties langs de uiterwaarden waar de gemiddelde over 5 punten berekende potentiële golfhoogte groter is dan 0,5 meter (de rode en donkerrode punten) zijn te zien in Figuur 18. De donkerrode punten zijn circa 50 locaties met de grootste golfhoogtes, dit zijn golfhoogte groter dan 0,575 meter.

De bebouwde kommen waarbij in een straal van 142 een punt is waarbij de berekende golfhoogte (gemiddeld over 5 punten) groter is dan 0,575 meter zijn in Figuur 19 weergegeven. De bebouwde kommen waarbij de gemiddelde berekende golfhoogte groter is dan 0,5 meter zijn in Figuur 20 weergegeven.

De kaarten in Figuur 19 en Figuur 20 zijn handig om te kijken welke plaatsen langs een van de grote rivieren liggen waar hoge golven kunnen voorkomen. Om te zien waar hoge golfhoogtes kunnen optreden kunnen deze kaarten geraadpleegd worden. Let hierbij op dat grote plaatsen meer opvallen, terwijl de berekende golfhoogtes voor deze plaatsen niet hoger hoeft te zijn. Voor verschillend daarin en de lengte van hoge golven bieden de kaarten in Figuur 17 en Figuur 18 een meerwaarde.

Analyse

Opvallend is dat de donkergekleurde punten sterk gecentreerd zijn. Vooral bij de Waal en Maas zijn veel donkere punten. Dit is te verklaren door de meanders. Bij meanders komen langere strijklengtes voor dan wanneer de rivier recht loopt uitgaande van gelijke rivierbreedte.

De punten langs de IJssel in Figuur 17 zijn in vergelijking met andere rivieren veel lichter gekleurd. Dat de berekende golfhoogtes voor de punten langs de IJssel lager zijn, is te verklaren doordat de aanname voor de waterdiepte veel lager is. De waterdiepte is voor de IJssel namelijk geschat op 2,9 meter en voor de andere rivieren 3,7, 3,9 of 4,2 meter. De berekende golfhoogte is groter dan 0,5 meter voor locaties langs de IJssel ten zuidwesten van Zwolle, nabij Deventer, de Wilp en Gorssel en nabij Doesburg en Rheden (zie Figuur 20). Op deze plaatsen is de rivier duidelijk breder dan op andere plaatsen. Aangezien de wind meestal bij storm uit het zuidwesten, westen of noordwesten komt (Egthuijsen, 2003), kunnen met name bij de plaatsen Zwolle, Deventer, Gorssel en Doesburg grote potentiële golfhoogtes optreden.

Bij Doesburg moet echter een kanttekening worden gemaakt. In het uiterwaardengebied volgens de kaart van Rijkswaterstaat ligt de snelweg A348. Het zou opmerkelijk zijn dat deze snelweg regelmatig zou worden afgesloten vanwege hoogwater. Dit is overigens ook niet terug te vinden in nieuwsberichten. Natuurmonumenten stelt dat de IJssel op de meeste plaatsen word *“ingesloten door hoge, zware dijklichamen, in de vorm van winterdijken en de A348”*. Blijkbaar is de snelweg dus (in de praktijk) de grens van de uiterwaarden (Natuurmonumenten, 2016). Als dit in acht zou worden genomen zouden de golfhoogtes lager uitvallen. Desondanks blijft dit een plaats waar de rivier, met inbegrip van uiterwaarden, breed is en daardoor hoge golven kunnen ontstaan.



Figuur 16: De A348 bij Rheden (Cyclomedia, 2016)

Bij het Pannerdensch Kanaal zijn de berekende golfhoogtes gemiddeld hoger dan bij de Lek, Neder-Rijn en IJssel, zie Figuur 17. (Hoewel er langs de Lek locaties liggen waarvan de berekende golfhoogte hoger is dan de berekende golfhoogtes van de punten langs het Pannerdensch Kanaal.) Dit is te verklaren, doordat het Pannerdensch Kanaal relatief breder is. Vanuit het oogpunt van het rivierensysteem is dit ook logisch. Het Pannerdensch Kanaal splitst in de Neder-Rijn en de IJssel. De Neder-Rijn gaat over in de Lek. Door het Pannerdensch Kanaal stroomt dus meer water. Aangenomen dat de relatieve hoogteverschillen gelijk zijn, moet het Pannerdensch Kanaal dus breder en/of dieper zijn.

Bij de Lek en Neder-Rijn liggen veel punten waarvan de berekende golfhoogte groter is dan 0,5 meter. Opvallend is dat vanaf circa 5 kilometer na Lexmond tot het einde van de Lek de berekende golfhoogtes voor de punten langs dat traject lager zijn dan 0,5 meter, zie Figuur 20. Voor de Lek en Neder-Rijn zijn nabij de berekende golfhoogtes nabij de dorpen Amerongen en Elst langs de Lek het hoogst, zie Figuur 19.

In Figuur 17 zijn bij de Rijn zowel heel lichte punten als heel donkere punten te zien. De lichte punten zijn te verklaren doordat de begrenzing van de rivier wordt geknipt door de grens van Nederland. Hierdoor lijkt de Rijn ongeveer de helft smaller dan deze in werkelijkheid is en zijn de berekende golfhoogtes langs dat traject onderschat. Aangezien de rivier op de plaatsen met lichte punten ongeveer even breed is als op de ander plaatsen, kan geconcludeerd worden dat de potentiële golfhoogtes bij het gehele Nederlandse deel van de Rijn relatief hoog zijn.

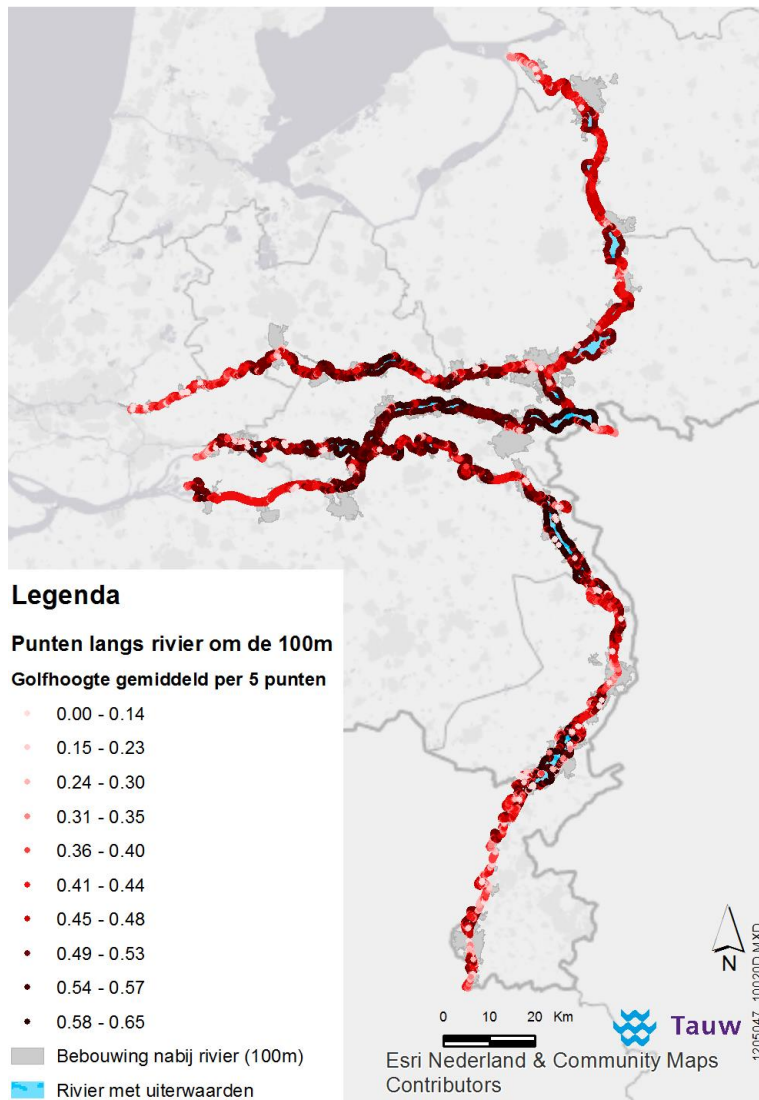
Langs vrijwel de gehele Waal zijn de berekende golfhoogtes groter dan 0,5 meter (zie Figuur 18). Het is mogelijk dat langs de Waal de grootste golven kunnen optreden. Een tegenargument kan zijn dat de waterdiepte voor de Waal misschien overschat is. Echter is dit niet erg aannemelijk. Door de Waal stroomt 2 keer zoveel als door het Pannerdensch Kanaal, 3 keer zoveel water als door de Neder-Rijn en Lek en 6 keer zoveel water als door de IJssel (Ministerie van V&W, Ministerie van VROM en Ministerie van LNV, 2009). Daarom is het logisch dat de Waal een relatief breder en dieper profiel heeft. In Figuur 19 en Figuur 20 is te zien dat de Waal relatief breed is. Het is echter daarom meer aannemelijk dat de waterdiepte voor de Waal is onderschat of dat de waterdieptes van andere rivieren (Lek en Neder-Rijn) zijn overschat. Er namelijk stroomt veel meer water door de Waal dan de Neder-Rijn, Lek en IJssel.

In Figuur 18 zijn bij de Maas zijn die trajecten veel punten donkerrood, namelijk in Midden-Limburg, bij de grens van Limburg met Noord-Brabant en bij de grens van Noord-Brabant en Gelderland. Hier zijn de berekende golfhoogten dus relatief hoog. Langs de eerste twee trajecten zijn in Figuur 19 veel plaatsen te zien waarbij de berekende golfhoogte groter is dan 0,575 meter en daarmee behoren tot de circa 50 plaatsen met grootste berekende golfhoogtes. Aangezien de wind bij storm meestal vanuit het zuidwesten, westen of noordwesten komt, zijn met name de plaatsen gelegen ten oosten van de rivier zijn gevoelig voor grote golfhoogten. In het overige gedeelte langs de Maas zijn drie plaatsen, 's Hertogenbosch, Rossum en Maasbommel, waarbij de berekende golfhoogte groter is dan 0,575 meter en daarmee behoren tot de circa 50 plaatsen met grootste berekende golfhoogtes (zie ook Figuur 19). Rossum is wellicht extra gevoelig voor golfhoogte, aangezien deze plaats zowel langs de Maas als de Waal ligt.

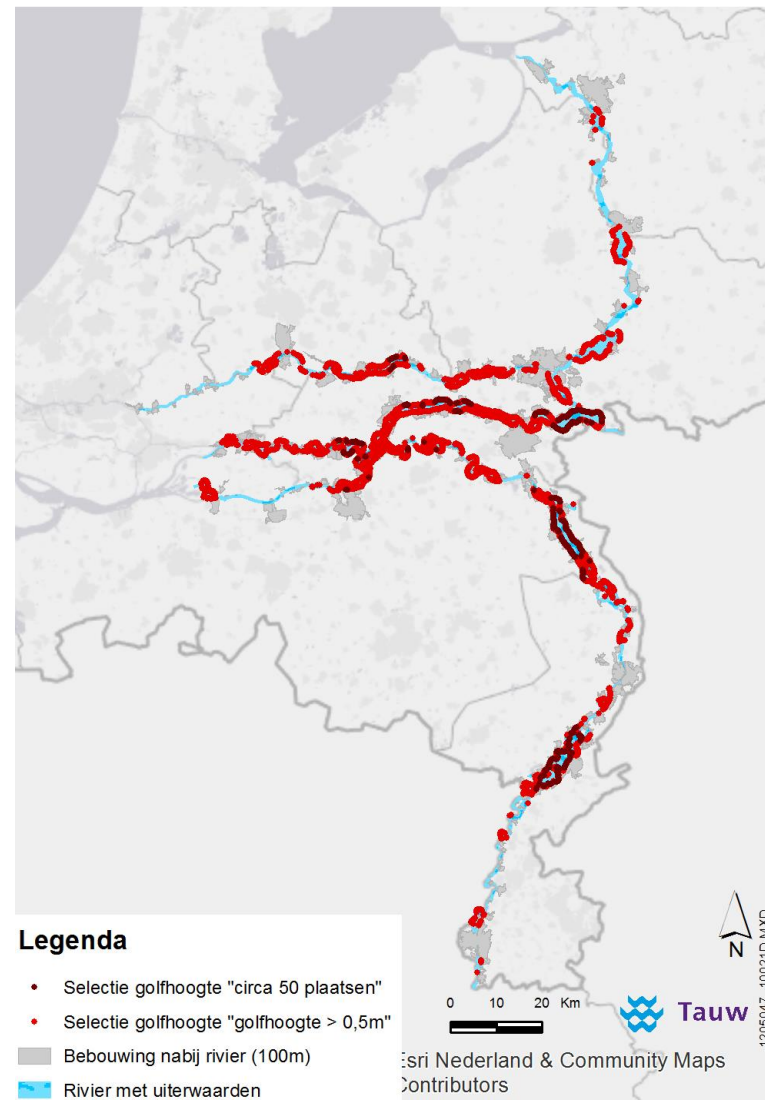
De grote golfhoogten zijn bij deze trajecten duidelijk terug te herleiden naar het rivierprofiel. Bij de eerste twee trajecten is namelijk te zien dat de rivier daar relatief breder is dan bij het overige gedeeltes. Daarnaast meandert de Maas bij het traject in Midden-Limburg en het traject bij Gelderland en Noord-Brabant (Figuur 19 en Figuur 20).

Naast deze drie trajecten is aan het einde van de Bergsche Maas ook een aantal donkere punten te zien in Figuur 17. Dit gedeelte is nabij en langs de Biesbosch en het Gat van het Zand. In de scope is gesteld dat estuaria niet meegenomen worden. De plaatsen Raamsdonkveen en Hank liggen op de grens van de scope. Aangezien de plaatsen langs de Bergsche Maas liggen zullen ze in het vervolg van het onderzoek zullen deze plaatsen wel worden meegenomen.

Voor Zutphen is een casestudie uitgevoerd met GIDS® de resultaten hiervan tonen aan dat bij Zutphen wateroverlast kan optreden ten gevolge van golfoverslag (zie paragraaf 1.1). Zutphen behoort echter niet tot de resultaten van de selecties op golfhoogte. Dit komt door de relatief korte striklengten nabij de stad. Evenals andere locaties die buiten de selectie op golfhoogte vallen, wordt Zutphen in het vervolg van het onderzoek niet meer meegenomen.



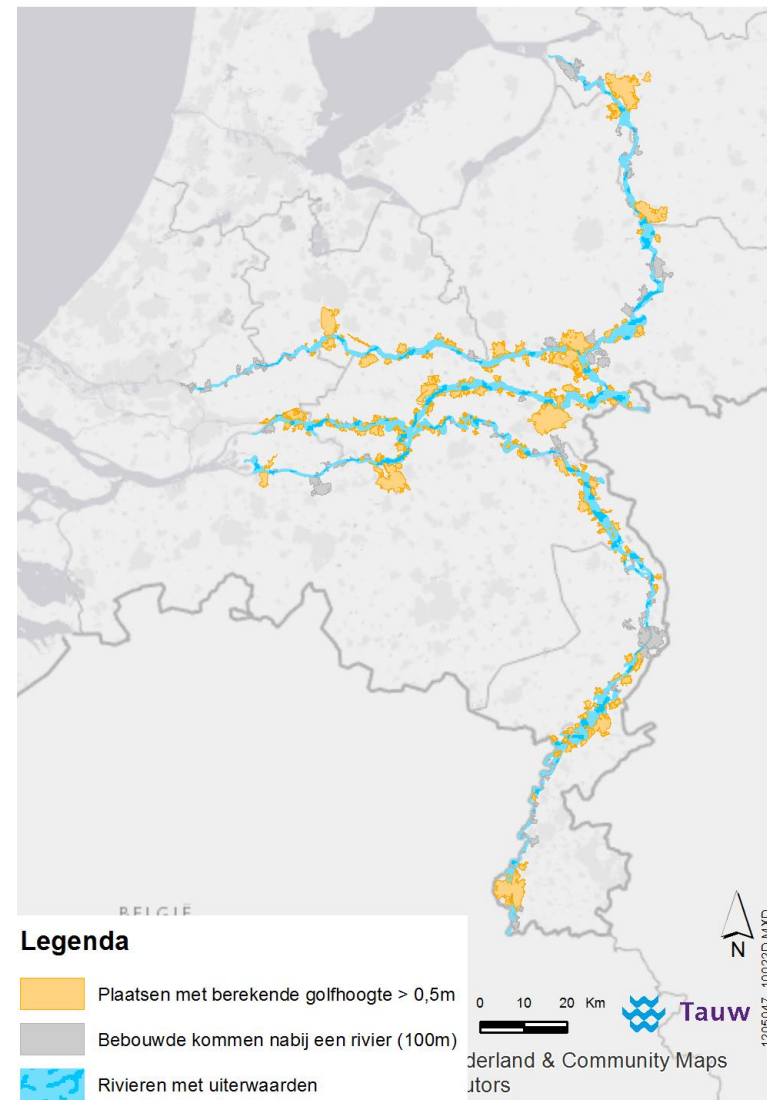
Figuur 17: Kaart met berekende golfhoogtes gemiddeld over 5 punten



Figuur 18: Kaart met punten van locaties langs de rivier die geselecteerd zijn op golfhoogtes groter dan 0,5 meter en/of circa 50 plaatsen als resultaat



Figuur 19: Kaart met circa 50 bebouwde kommen waarvoor de berekende golfhoogtes gemiddeld over 5 punten het hoogste zijn



Figuur 20: Kaart met de bebouwde kommen waarvoor de berekende golfhoogte gemiddeld over 5 punten groter is dan 0,5 meter

5 Locaties met grote consequenties bij golfoverslag

In dit hoofdstuk zijn de resultaten weergegeven van Multicriteria analyses waarbij de factoren verharding, aantal panden en type kering zijn meegewogen (zie paragraaf 3.4). Deze resultaten zijn locaties met grote consequenties bij golfoverslag

5.1 Resultaten Multicriteria analyses in kaart

De input van de Multicriteria analyses is weergegeven in de kaarten in Figuur 22 en Figuur 23 op pagina 24. De uiteindelijke resultaten van de Multicriteria analyses staan in Figuur 24 en Figuur 25 op pagina 25. In deze paragraaf worden de kaarten toegelicht en geanalyseerd.



Figuur 21: Schets volgorde van kaarten

Leeswijzer

De input voor MCA 1 bestaat uit de resultaten van de selectie op golfhoogte: golfhoogtes groter dan 0,5 meter (variant A) of circa 50 bebouwde kommen met de hoogste golfhoogtes (variant B). De input voor MCA 2 zijn de eerste 20 (variant A) of 25 resultaten (variant B), met uitzondering van de plaatsen zonder waterkering.

De kaartlagen in Figuur 22 en Figuur 23 liggen boven elkaar. In beide figuren ligt de rode kaartlaag *“Bebouwing, input Multicriteria analyse A2”* of *“Bebouwing, input Multicriteria analyse B2”* boven de oranje kaartlaag *“Bebouwing, input Multicriteria analyse A1”* respectievelijk *“Bebouwing, input Multicriteria analyse B1”* die op de grijze kaartlaag *“Bebouwing nabij rivier (100m)”* ligt. Zie ook Figuur 21.

- De plaatsen in *“Bebouwing, input Multicriteria analyse A2”* bevinden zich ook in de kaartlaag *“Bebouwing, input Multicriteria analyse A1”* en de plaatsen in *“Bebouwing, input Multicriteria analyse B2”* maken ook onderdeel uit van *“Bebouwing, input Multicriteria analyse B1”*. Dit aangezien de input van Multicriteria analyse 1 is gebruikt voor Multicriteria analyse 2 (bij beide varianten).
- De plaatsen in *“Resultaat, input Multicriteria analyse A2”* en *“Bebouwing, input Multicriteria analyse A1”* respectievelijk *“Resultaat, input Multicriteria analyse B2”* en *“Bebouwing, input Multicriteria analyse B1”* maken onderdeel uit van *“Bebouwing nabij rivier (100m)”*. Dit aangezien de bebouwde kommen binnen een afstand van 100 meter tot de rivier deze plaatsen vormen de input van beide selectie op golfhoogte.

In de kaarten in Figuur 24 en Figuur 25 staan de plaatsen uit de Multicriteria analyses 2 weergegeven met de bijbehorende gewogen score in kleur aangeduid.

Analyse resultaten

De plaatsen die voorkomen in de resultaten van zowel Multicriteria analyse A2 als B2 zijn: Genneep, Millingen aan de Rijn en Ochten (zie Figuur 22 en Figuur 23 en Tabel 11). Deze plaatsen vormen een klein deel van het totaal aantal resultaten. Een van de plaatsen die niet in beide voorkomt is Cuijk. Deze stad staat op nummer 1 in ranglijst van Multicriteria analyse B2 (golfhoogte > 0,5 meter). Desondanks komt deze niet voor in de ranglijst van Multicriteria analyse A2 (met als basis 50 plaatsen met grootste golfhoogte). Het verschil is ontstaan bij de selectie op golfhoogte en de selectie met de Multicriteria analyse 1:

- Bij de selectie op golfhoogte zijn bij de selectie op circa 50 plaatsen als resultaat veel minder bebouwde kommen meegenomen dan bij de selectie op golfhoogte groter dan 0,5 meter (48 plaatsen in verhouding tot 180 plaatsen). In de ranglijsten van Multicriteria analyse A (waarbij de input bestaat uit de 180 plaatsen waarbij de berekende golfhoogte groter is dan 0,5 meter) kunnen plaatsen boven aan komen te staan die in de input van Multicriteria analyse B (bestaande uit de circa 50 plaatsen met grootste golfhoogtes) niet voorkomen (zie Figuur 22 en Figuur 23).
- In Multicriteria analyse 1 zijn scores toegekend aan de resultaten van de beide selecties op golfhoogte. Deze zijn voor de beide afzonderlijk gestandaardiseerd (laagste waarde 0 en hoogste waarde 1), zie de gewogen scores in Tabel 11. Stel dat voor de bebouwde kommen uit selectie op golfhoogte met circa 50 plaatsen (die komen ook voor in de selectie met golfhoogtes groter dan 0,5 meter) MCA 1 wordt uitgevoerd. Vanwege de verschillen in standaardisatie levert dit verschillende resultaten.
- De verschillen in aantal bebouwde kommen en de verschillen in standaardisatie samengenomen leidt dus tot nog grotere verschillen in de ranglijsten.

In Figuur 24 zijn dus de resultaten van MCA A (input bebouwde kommen met golfhoogtes > 0,5 m) weergegeven. In deze kaart vallen de plaatsen Deventer en Arnhem op. Dit komt door de omvang van deze steden. Deventer en Arnhem zijn bovendien aangeduid met een rode kleur, wat duidt op een relatief hoge score. Naast deze steden zijn er vooral kleinere plaatsen te zien. Het dient opgemerkt te worden dat deze selectie bestaat uit 16 locaties en de andere uit 23 locaties. Daardoor kunnen de kaarten niet één op één vergeleken worden. Bij de resultaten van deze MCA (met input bebouwde kommen met golfhoogtes > 0,5 m) liggen de plaatsen meer verspreid (vergelijk Figuur 24 met Figuur 25). Andersom geformuleerd: in Figuur 25 liggen de resultaten meer gecentreerd. Dit is te verklaren door de strengere selectie op golfhoogte: bij MCA B is vooraf geselecteerd op 50 plaatsen met de grootste golfhoogtes, dat zijn golfhoogtes groter dan 0,575m en de input van MCA A bestaat uit 180 plaatsen waarbij de golfhoogte groter is dan 0,5m. De resultaten van MCA B zijn daardoor meer gecentreerd bij de plaatsen waar de rivier breed is en/of bij meanders in de rivier.

In Figuur 25 met de resultaten van MCA B zijn bij de Maas in twee regio's veel bebouwde kommen geselecteerd: in Midden-Limburg en bij de grens van Limburg en Noord-Brabant. De plaatsen in die regio's zijn rood of oranje gekleurd, wat betekent dat deze plaatsen hogere scores hebben. In Figuur 24 zijn twee plaatsen uit deze regio's te zien.

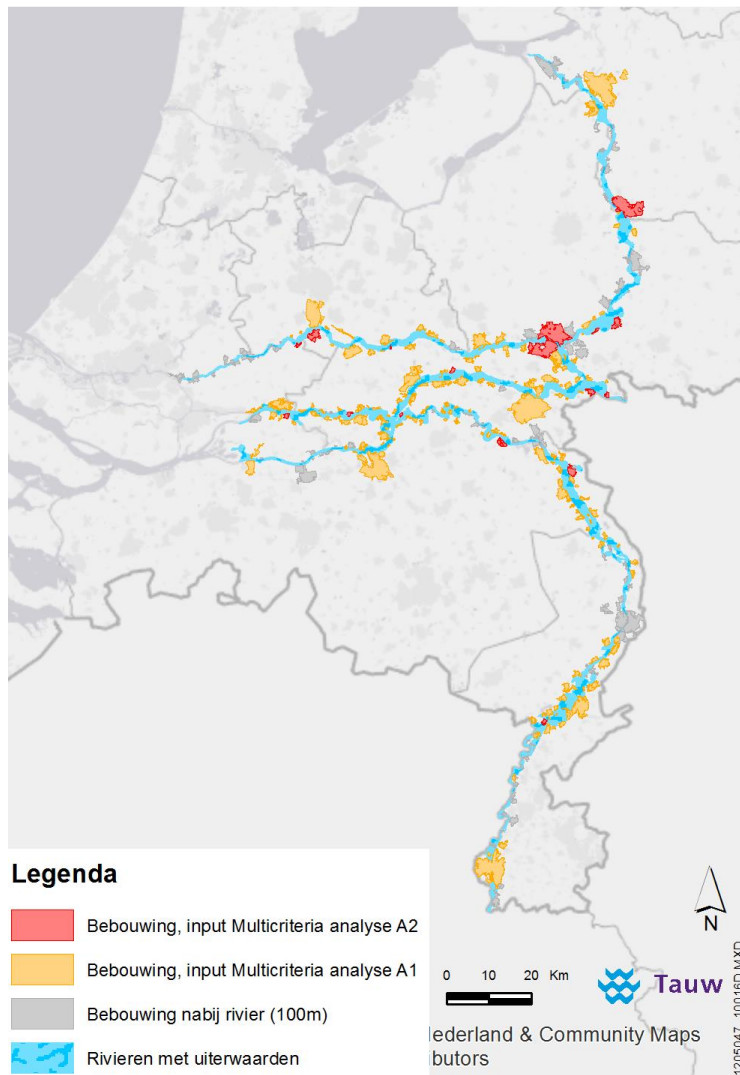
Naast de plaatsen in de twee genoemde regio's langs de Maas zijn in Figuur 25 nog twee bebouwde kommen langs de Maas te zien, namelijk Den Bosch en Rossum. Rossum ligt ook langs de Waal. Daarnaast zijn in de kaart ook bebouwde kommen bij de splitsing van de Rijn, namelijk Pannerden en Millingen aan de Rijn, en nog een aantal bebouwde kommen verspreid over de Waal weergegeven. Zie voor de Waal-locaties Tabel 11.

In Tabel 11, worden de resultaten getoond van de Multicriteria analyses met als input de selectie op golfhoogtes van 0,5 meter en hoger (variant A) en als input circa 50 bebouwde kommen met de grootste golfhoogtes (variant B). De onderstreepte plaatsen hebben een kade. Dit kenmerk leidt voor deze plaatsen tot een hogere score in de ranglijst.

Rang	Variant A			Variant B		
	<i>Plaats</i>	<i>Rivier</i>	<i>Gewogen score</i>	<i>Plaats</i>	<i>Rivier</i>	<i>Gewogen score</i>
1	<u>Deventer</u>	IJssel	0.91	<u>Cuijk</u>	Maas	0.80
2	<u>Arnhem</u>	Neder-Rijn	0.86	<u>Herten</u>	Maas	0.79
3	<u>Doesburg</u>	IJssel	0.85	<u>Roermond</u>	Maas	0.76
4	<u>Woudrichem</u>	Waal	0.85	<u>Heijen</u>	Maas	0.74
5	<u>Wessem</u>	Maas	0.83	<u>Neer</u>	Maas	0.67
6	<u>Tolkamer</u>	Rijn	0.82	Gennep	Maas	0.61
7	Gennep	Maas	0.61	Millingen aan de Rijn	Waal/ Rijn	0.56
8	Giesbeek	IJssel	0.58	Ochten	Waal	0.51
9	Haaften	Waal	0.57	Boxmeer	Maas	0.49
10	Millingen aan de Rijn	Waal/ Rijn	0.56	Gendt	Waal	0.45
11	Grave	Maas	0.55	Nieuw-Bergen	Maas	0.43
12	Vianen	Lek	0.54	Pannerden	Pannerdensch Kanaal/ Rijn	0.41
13	Rijswijk (GLD)	Neder-Rijn	0.54	Dodewaard	Waal	0.41
14	Ochten	Waal	0.51	Rossum	Maas	0.40
15	Lexmond	Lek	0.50	Bemmel	Waal	0.40
16	Heerewaarden	Maas	0.49	Herwen	Rijn	0.39
17	-	-	-	Brachterbeek	Maas	0.39
18	-	-	-	Merum	Maas	0.39
19	-	-	-	's-Hertogenbosch	Maas	0.37
20	-	-	-	Afferden	Maas	0.36
21	-	-	-	Haalderen	Waal	0.32
22	-	-	-	Milsbeek	Maas	0.29
23	-	-	-	Waardenburg	Waal	0.10

Tabel 11: Resultaten Multicriteria analyses

5.2 Resultaten in kaart



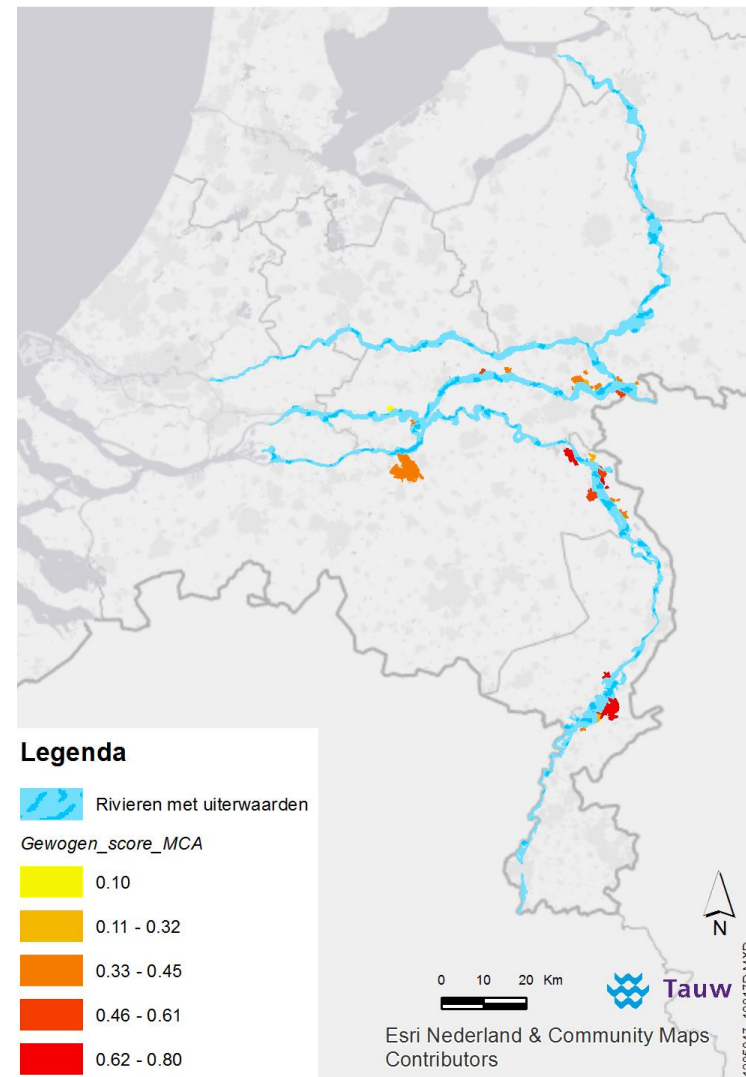
Figuur 22: Kaart met input Multicriteria analyse A1 en A2



Figuur 23: Kaart met input Multicriteria analyse B1 en B2



Figuur 24: Kaart met gewogen scores Multicriteria analyse A2



Figuur 25: Kaart met gewogen scores Multicriteria analyse B2

Notitie: Uit de top 20 van Multicriteria analyse A1 behoren naast de plaatsen die het resultaat zijn van MCA A2, ook de plaatsen Rheden, Maasbracht, Renkum en Linne. In data over de Landelijke (verlengde) derde toetsronde (LTR+) staan geen waterkeringen die deze vier genoemde plaatsen beschermen, daarom zijn deze niet meegenomen in het vervolg van het onderzoek. Zie bijlage G voor de uitwerking van Multicriteria analyse A1 en A2.

Analyse resultaten (vervolg)

In de ranglijsten van beide Multicriteria analyses staan de plaatsen met een kade bovenaan (zie Figuur 9). Bij analyse van de achterliggende data, blijkt dit voornamelijk te komen door de aanwezigheid van een kade. De factor 'type waterkering' weegt dus zwaar door in de resultaten.

De bebouwde kommen die het resultaat zijn van MCA B2 liggen langs de Waal of Maas, met uitzondering van Pannerden en Herwen (zie Figuur 25). Pannerden ligt langs de Rijn en het Pannerdensch kanaal bij de splitsing van de Rijn met de Waal en het Pannerdensch kanaal. Herwen ligt naast Lobith ten (noord)westen langs de Rijn. Millingen aan de Rijn ligt langs de Rijn en Waal op dezelfde splitsing als Pannerden. Dat resultaten van de MCA B2 voornamelijk langs de Waal en Maas liggen, is een doorwerking van de resultaten van de selectie op golfhoogte. Mogelijk zijn bij die bebouwde kommen de potentiële gevolgen van golfoverslag het grootst. Dit kan echter ook het gevolg zijn van onnauwkeurigheden in de aanname van de waterdiepte, zoals besproken in hoofdstuk 4.

Resultaten MCA A2 per rivier

Als aanvulling is tabel 16 opgenomen. Daarin zijn de resultaten van Multicriteria analyse A2 geordend op rivier

Rang	Plaatsen per rivier	Gewogen score MCA A2
IJssel		
1	Deventer	0.91
3	Doesburg	0.85
8	Giesbeek	0.58
Lek en Neder-Rijn		
2	Arnhem*	0.86
12	Vianen	0.54
13	Rijswijk (GLD)	0.54
15	Lexmond	0.50
Waal en Merwede		
4	Woudrichem	0.85
6	Tolkamer	0.82
9	Haaften	0.57
10	Millingen aan de Rijn*	0.56
14	Ochten	0.51
Maas		
5	Wessem	0.83
7	Gennep	0.61
11	Grave	0.55
16	Heerewaarden	0.49

* Arnhem ligt ook langs de IJssel en Millingen aan de Rijn ook langs het Pannerdensch kanaal

Tabel 12: Ranglijsten per rivier van Multicriteria analyse A2

De locaties met kade nemen de hoogste plaatsen in. De ranglijsten tonen de hoogste scores. Er zijn wel verschillen daartussen. Hieronder wordt dit per locatie beschreven:

- Bij de IJssel locaties liggen de plaatsen met de hoogste rangen. Hiervan zijn weliswaar twee locaties met kade, maar ze hebben wel een relatief hoge score. Ze hebben namelijk rang 1 en 3, terwijl er 6 locaties zijn. De scores van de IJssel zijn dus relatief hoog.
- De ranglijst van de Lek en Neder-Rijn heeft een uitschieter naar boven, namelijk Arnhem. Dit is een plaats met kade en staat op plaats 2. De overige locaties staan wat lager in de ranglijst.
- De Waal en Merwede heeft twee plaatsen met een kade. Beide zijn relatief niet zo hoog, namelijk score 4 en 6 van de 6 locaties met kade. De overige locaties zijn wisselend. Haaften heeft de score 9 wat relatief hoog is voor een plaats zonder kade (namelijk de derde plek) en Ochten heeft een lage score met score 14 op schaal van 16. Een aantal plaatsen langs Waal of Merwede uit de ranglijst, hebben dus lagere scores.
- De scores bij de Maas zijn wisselend. Gennep heeft de hoogste score voor een plaats zonder kade en Heerewaarden heeft de laagste plaats in de ranglijst.

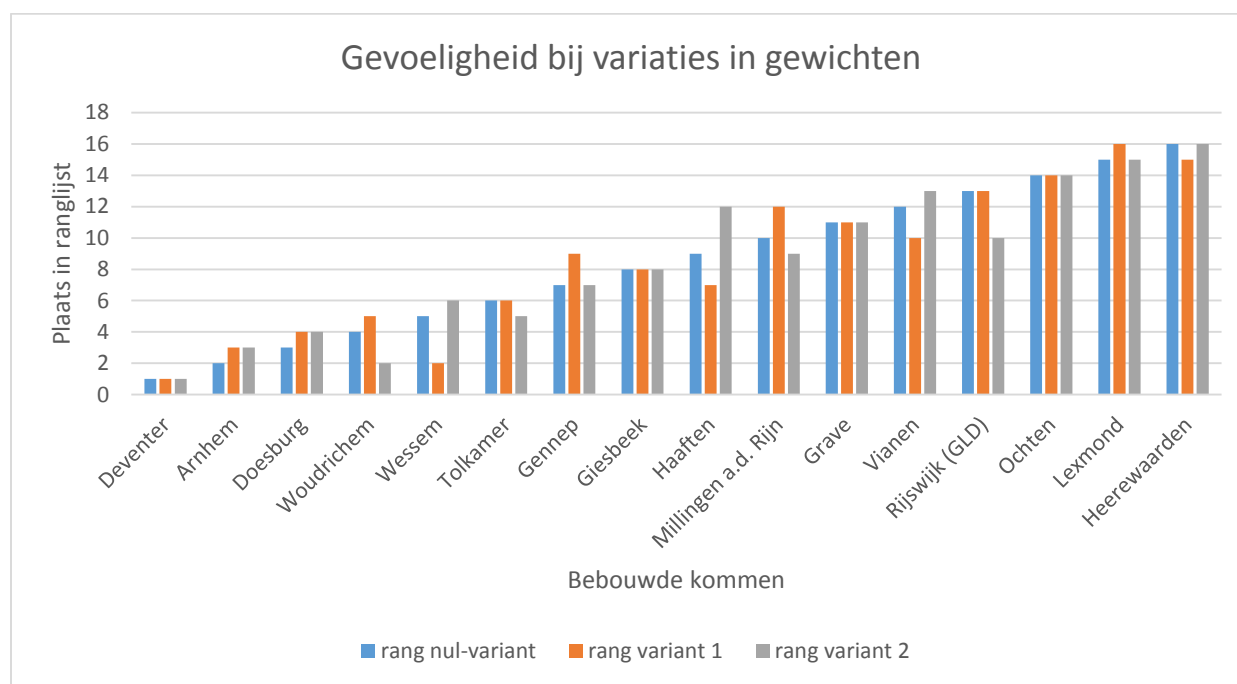
Samengevat: De plaatsen langs de IJssel, die in de ranglijst staan, scoren bijzonder hoog. De overige rivieren hebben locaties met zowel hoge als lagere scores.

6 Gevoelighedsanalyse

Om inzicht te verkrijgen in de gevoeligheid en betrouwbaarheid van de uitgevoerde analyse, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Dit is gedaan met variaties op Multicriteria analyse A2

6.1 Variaties in gewichten

Multicriteria analyse A2 is uitgevoerd voor drie verschillende varianties in gewichten (zie Tabel 8 op pagina 17). De plaats die de bebouwde kommen innemen in de ranglijsten zijn weergegeven in Figuur 26 voor de nul-variant en variant 1 en 2. De resultaten van variant 3 zijn identiek aan de nul-variant.



Figuur 26: Plaats in ranglijst voor bebouwde kommen bij variaties in gewichten

De verschillen in de ranglijsten voor de eerste twee varianten zijn weergegeven in Tabel 13.

Rang nul-variant	Plaatsen	Scores nul-variant	Vershil in rang variant 1	Vershil in rang variant 2
1	Deventer	0.91	0	0
2	Arnhem	0.86	-1	-1
3	Doesburg	0.85	-1	-1
4	Woudrichem	0.85	-1	+2
5	Wessem	0.83	+3	-1
6	Tolkamer	0.82	0	+1
7	Gennep	0.61	-2	0
8	Giesbeek	0.58	0	0
9	Haaften	0.57	+2	-3
10	Millingen aan de Rijn	0.56	-2	+1
11	Grave	0.55	0	0
12	Vianen	0.54	+2	-1
13	Rijswijk (GLD)	0.54	0	+3
14	Ochten	0.51	0	0
15	Lexmond	0.50	-1	0
16	Heerewaarden	0.49	+1	0
Gemiddeld absoluut verschil		-	1	0.875

Tabel 13: Verschil in plaats van ranglijst bij variatie in gewichten, variant 1 en 2

Analyse

Op het eerste gezicht lijken de resultaten veel te verschillen. Bijna elke plaats verschuift een of meerdere rangen. Bij het bestuderen van Figuur 26 en Tabel 13 blijkt dat voor beide varianten de verschillen ten opzichte van de nul-variant, bestaan uit vier verschuivingen:

Variant 1:

- Wessem verschuift van de vijfde plaats naar de tweede plaats tussen Deventer en Arnhem. Daarmee verschuiven de plaatsen Arnhem, Doesburg en Woudrichem één plaats naar beneden.
- Gennep wisselt van plaats met Giesbeek. Deze staan op de rangen 7 en 9.
- De plaatsen op 10 en 12, Millingen aan de Rijn en Vianen, zijn omgedraaid.
- Lexmond met rang 15 en Heerewaarden met rang 16 hebben ook gewisseld van plaats.

Variant 2:

- Woudrichem verschuift van de vierde plaats naar de tweede plaats tussen Deventer en Arnhem. Daarmee verschuiven de plaatsen Arnhem en Doesburg één plaats naar beneden.
- De plaatsen op 5 en 6, Wessem en Tolkamer, zijn omgedraaid.
- Haaften is van plaats 7 tussen Grave en Vianen geschoven naar plaats 12. Daarmee zijn Millingen aan de Rijn en Grave een plaats omhoog schuiven.
- Rijswijk is van plaats 13 gestegen naar plaats 10 tussen Millingen aan de Rijn en Grave. Grave en Vianen schuiven daarmee één plaats. Aangezien Grave bij de verschuiving van Haaften een plaats is gestegen en bij deze verschuiving een plaats is gedaald, staat Grave weer op oorspronkelijke rang.

Voor iedere plaats is het verschil in de rangen berekend, om te kunnen zien wat er gebeurd bij een variatie. Bij variatie 1 (gewichten) is het maximale absolute verschil 3 en komt dit verschil één keer voor. Bij variatie 2 (gewichten) is het maximale verschil ook 3, maar komt het twee keer voor. Voor variant 3 (gewichten) zijn geen verschuivingen. Binnen de Multicriteria analyses zijn dus geen erg grote verschuivingen.

Voor inzicht in de mate waarin de variant als geheel verschilt, zijn de absolute verschillen gemiddeld. Dit leidt tot het gemiddelde absolute verschil (zie formule 3).

$$\text{Gemiddeld absoluut verschil} = \frac{\sum_{k=1}^n |\text{rang}_{\text{variant, plaats } k} - \text{rang}_{\text{nul-variant, plaats } k}|}{n}, \quad (\text{formule 3})$$

met: n = aantal waarden in ranglijst

De rang van de nul-variant, in de formule, kan worden beschouwd als k . De plaats behorend bij de nul-variant is "plaats k ". Bij variatie 1 is dit precies 1. Dit houdt in dat er gemiddeld een variatie is van 1 rang is ten opzichte van de oorspronkelijke rang. Het gemiddelde absolute verschil in rang is voor variant 2 de waarde 0,875. Voor variant 3 is dit 0, aangezien de resultaten van variant 3 identiek zijn aan de nul-variant.

Extra analyses

Het lijkt logisch om hieruit te concluderen dat variant 3 het minst gevoelig is (of zelfs niet gevoelig) en variant 1 het meest gevoelig is. Dit is echter onjuist om te doen op basis van deze resultaten. Bij variant 3 wordt de factor 'type waterkering' zwaarder meegewogen. Echter staan alle plaatsen met een kade in de ranglijst van MCA 2 (nul-variant) al bovenaan. Door de factor 'type waterkering' nog zwaarder mee te wegen, is uiteraard niets veranderd in de ranglijst. Wanneer de factor 'type waterkering' minder wordt genomen, kunnen de rangen wel veranderen ten opzichte van de nul-variant. Hiervoor zijn vier extra varianten uitgevoerd (A, B, C en D). De variatie en het bijbehorende gemiddelde absolute verschil ten opzichte van de nul-variant wordt in Tabel 14 weergegeven.

Varianten	Gewicht verharding		Gewicht panden		Gewicht waterkering		Gemiddeld absoluut verschil
0	1/3	=0.333...	1/3	=0.333...	1/3	=0.333...	0
3	1/4	= 0.25	1/4	= 0.25	1/2	= 0.5	0
A	3/8	= 0.375	3/8	= 0.375	1/4	= 0.25	0
B	2/5	= 0.4	2/5	= 0.4	1/5	= 0.2	0
C	17/40	= 0.425	17/40	=0.425	3/20	=0.15	0
D	9/20	= 0.45	9/20	=0.45	1/10	=0.1	1,0

Tabel 14: Extra varianten gewicht met lager gewicht voor type waterkering

Uit de extra analyses kan geconcludeerd worden dat het type waterkering (bij gelijke score voor verharding en panden) tot variatie C niet gevoelig is en tussen C en D sterk gevoelig is. Bij een kleine variatie tussen C en D neemt het gemiddeld absoluut verschil toe van 0 tot 1. Dit is te verklaren door het grote verschil in score van het type waterkering: de scores zijn 0 of 1. (Ter vergelijking: bij de input voor Multicriteria analyse A2 is de score van de verharding 0,76 tot 0,98 en voor panden van 0,53 tot 1.)

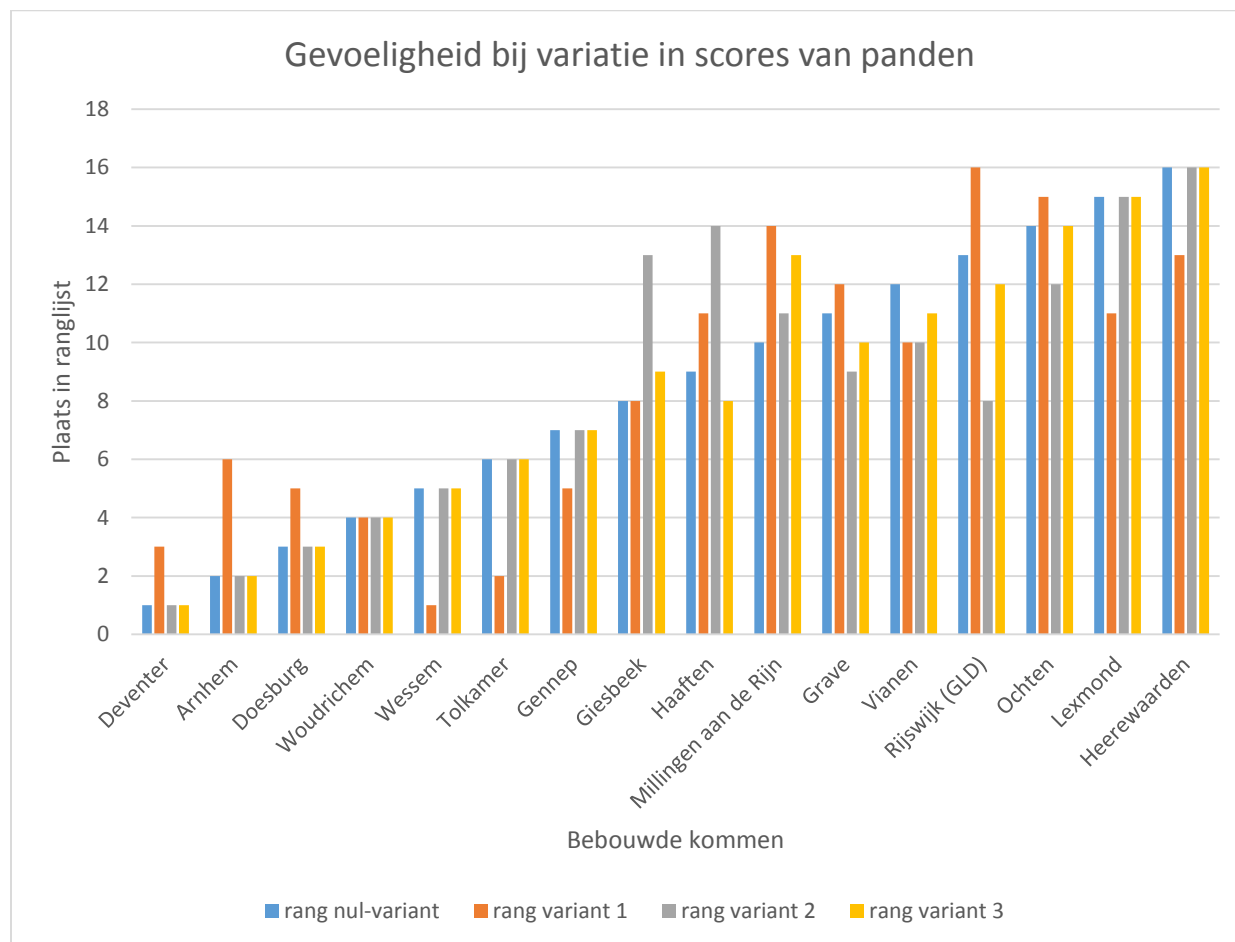
Conclusie

De varianten 1 en 2 leiden dus wel tot verschillen, maar niet tot grote verschillen. De verschillen zijn niet groter dan 3 rangen en het gemiddelde verschil is 1 rang of kleiner. Er is dus een gevoeligheid, maar deze is beperkt.

Het type waterkering is (bij gelijke score voor verharding en panden) voor de varianten 3, A, B en C niet gevoelig. Bij het verschil tussen variant C en D neemt het gemiddeld absoluut verschil toe van 0 tot 1, daar is de factor type waterkering dus sterk gevoelig. Dit is te verklaren doordat de scores van de factor type waterkering relatief ver uit elkaar liggen ten opzichte van andere scores.

6.2 Variaties in de factor panden

Multicriteria analyse A2 is uitgevoerd voor drie varianten met verschillende scores voor het aantal panden (zie Tabel 10 op pagina 17). De plaats die de bebouwde kommen innemen in de ranglijsten zijn weergegeven in voor de nul-variant en variant 1, 2 en 3, zie Figuur 27. In variant 1 is als score voor panden het aantal panden tot 250 meter per wortel oppervlakte gebruikt, in variant 2 het aantal panden tot 750 meter per wortel oppervlakte en in variant 3 zijn panden dichterbij de rivier zwaarder meegeteld dan panden met een grotere afstand tot de rivier, namelijk het aantal panden tot 250 meter * 3/6 + het aantal panden tussen 250 en 500 meter * 2/6 + het aantal panden tussen 500 en 750 meter * 1/6.



Figuur 27: Plaats in ranglijst van bebouwde kommen bij variaties in scores van panden

De verschillen in de ranglijsten voor de varianten zijn weergegeven in Tabel 15. Zie bijlage I voor de ranglijsten en een overzicht van de scores bij verschillende varianten.

Rang nul-variant	Plaatsen	Scores nul-variant	Vershil in rang variant 1 'panden 250m'	Vershil in rang variant 2 'panden 750m'	Vershil in rang variant 3 'panden som'
1	<u>Deventer</u>	0.91	-2	0	0
2	<u>Arnhem</u>	0.86	-4	0	0
3	<u>Doesburg</u>	0.85	-2	0	0
4	<u>Woudrichem</u>	0.85	0	0	0
5	<u>Wessem</u>	0.83	+4	0	0
6	<u>Tolkamer</u>	0.82	+4	0	0
7	Gennep	0.61	+2	0	0
8	Giesbeek	0.58	0	-5	-1
9	Haaften	0.57	-2	-5	+1
10	Millingen aan de Rijn	0.56	-4	-1	-3
11	Grave	0.55	-1	+2	+1
12	Vianen	0.54	+2	+2	+1
13	Rijswijk (GLD)	0.54	-3	+5	+1
14	Ochten	0.51	-1	+2	0
15	Lexmond	0.50	+4	0	0
16	Heerewaarden	0.49	+3	0	0
Gemiddeld absoluut verschil		-	2.375	1.375	0.5

Tabel 15: Verschil in plaats van ranglijst bij variatie in factor met aantal panden

Analyse

De resultaten van de eerste variant 'panden 250m' verschillen sterk ten opzichte van de nul-variant (met panden tot 500 meter). Dit is te zien aan het gemiddeld absoluut verschil van 2,375. Dit houdt in dat de rangen gemiddeld 2,375 plaatsen verschoven zijn. Bij de tweede variant zijn de verschillen in rang erg wisselend per bebouwde kom; 9 bebouwde kommen behouden dezelfde plaats in de ranglijst en 7 bebouwde kommen hebben een andere plaats in de ranglijst, waarvan 3 bebouwde kommen ieder vijf plaatsen in de ranglijst zijn verschoven (zie Figuur 27 en Tabel 15). De derde variant 'panden som' verschilt weinig van de nul-variant. Hierin zijn twee verschuivingen: 1) Giesbeek en Haaften zijn omgedraaid en 2) Millingen aan de Rijn verschuift drie plaatsen naar beneden, waardoor de plaatsen Grave, Vianen en Rijswijk (GLD) een plaats omhoog schuiven.

De vorm, de bebouwingsdichtheid en de afstand van de bebouwde kom tot de rivier zijn bepalend voor de scores. De resultaten zijn gevoelig bij de varianten 'panden 250m' en 'panden 750m', zie de gemiddeld absoluut verschillen in Tabel 15. Voor de variatie waarbij panden nabij de rivier zwaarder meegeteld worden zijn de verschillen kleiner. Dit is te verklaren doordat het verschil met de variant met panden tot 500 meter relatief klein is, zie Tabel 16.

	Variant 'panden 250m'	Nul-variant 'panden 500m'	Variant 'panden 750m'	Variant 'panden som'
Weging panden tot 250 m	1 = 100%	1/2 = 50%	1/3 ≈ 33%	3/6 = 50%
Weging panden tussen 250m en 500m	-	1/2 = 50%	1/3 ≈ 33%	2/6 ≈ 33%
Weging panden tussen 500m en 750m	-	-	1/3 ≈ 33%	1/6 ≈ 17%

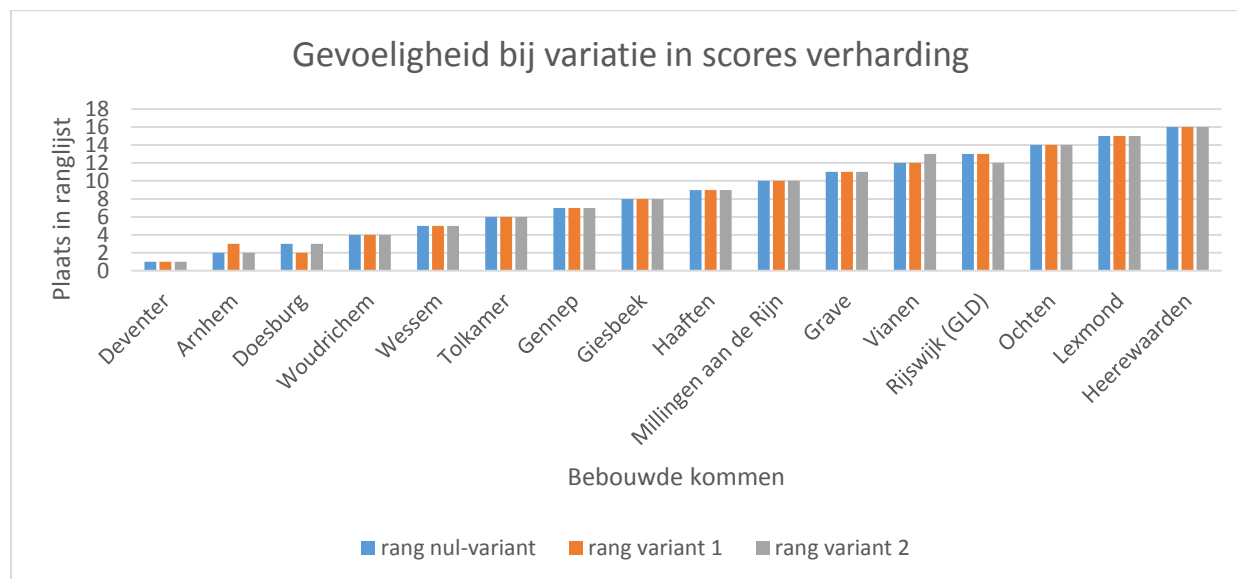
Tabel 16: Wegingen panden

Conclusie

De afstand heeft veel invloed op de resultaten. Voorafgaand aan een uitgebreidere analyse, zoals met GIDS®, is niet te zeggen tot hoever de invloed van golfoverslag reikt. De keuze voor een afstand van 500 meter is onderbouwd met een rekensom en redenering met aanname. De keuze voor 500 meter is dus onzeker. Aangezien de keuze voor de afstand onzeker is en de resultaten gevoelig zijn voor variatie in de afstand, is de Multicriteria analyse onzeker.

6.3 Variatie verharding

In deze paragraaf zijn de resultaten gepresenteerd van een Multicriteria analyse met variatie in scores verharding. Bij het bepalen van de scores is namelijk een aanname gedaan over het percentage verharding per landgebruik. De varianten bestaan uit een hogere schatting (variant 1) en een lagere schatting (variant 2). De plaats die de bebouwde kommen innemen in de ranglijsten zijn weergegeven in voor de nul-variant en variant 1 en 2, zie Figuur 28. De verschillen in rang per plaats bij beide varianten zijn weergegeven in Tabel 17.



Figuur 28: Plaats in ranglijst van bebouwde kommen bij variaties in scores van verharding

Rang nul-variant	Plaatsen	Scores nul-variant	Vershil in rang variant 1 'hogere schatting'	Vershil in rang variant 2 'lagere schatting'
1	Deventer	0.91	0	0
2	Arnhem	0.86	-1	0
3	Doesburg	0.85	+1	0
4	Woudrichem	0.85	0	0
5	Wessem	0.83	0	0
6	Tolkamer	0.82	0	0
7	Gennep	0.61	0	0
8	Giesbeek	0.58	0	0
9	Haaften	0.57	0	0
10	Millingen aan de Rijn	0.56	0	0
11	Grave	0.55	0	0
12	Vianen	0.54	0	-1
13	Rijswijk (GLD)	0.54	0	+1
14	Ochten	0.51	0	0
15	Lexmond	0.50	0	0
16	Heerewaarden	0.49	0	0
Gemiddeld absoluut verschil		-	0.125	0.125

Tabel 17: Verschil in plaats van ranglijst bij variatie in factor met verharding

Analyse

Bij beide varianten zijn twee plaatsen waarvan de rang elkaar opvolgt omgedraaid. Dit betreft een heel kleine gevoeligheid (zie Figuur 28 en Tabel 17). De varianten geven realistische variaties voor lagere of hogere scores per type landgebruik. Door voor alle typen landgebruik een lage schatting of hoge schatting te gebruiken zijn de varianten ontstaan. Echter blijkt dus dat de resultaten voor de Multicriteria analyse met deze varianten nauwelijks gevoelig is.

Dit komt mogelijk doordat bebouwde kommen grotendeels hetzelfde zijn opgebouwd. Het meeste oppervlak van een bebouwde kom is uiteraard 'bebouwd'. Alle typen landgebruik die bebouwd zijn (niet semi-bebouwd) zoals bedrijventerreinen en woongebieden zijn beschouwd als een categorie waarvoor een aanname is gedaan. De uitkomsten van deze gevoeligheidsanalyse geven nog geen indicatie voor een juist resultaat. Er kunnen namelijk ook verschillen zijn per bebouwde kom in het percentage verharding per landgebruik type, wat zal waarschijnlijk zal leiden tot verschillen in de ranglijst.

Conclusie

Bij de gevoeligheidsanalyse voor de scores van verharding is de relatieve gevoeligheid klein. Dit houdt niet in dat de scores niet gevoelig zijn. Als er bij bebouwde kommen onderling verschillen is in het percentage verharding per type landgebruik, leidt dit mogelijk tot verschillen in de ranglijsten.

7 Discussie

In dit hoofdstuk wordt een discussie gevoerd over aannames, vereenvoudigingen en generalisaties binnen het onderzoek.

7.1 Golfhoogte

Waakhoogte

De waterdieptes zijn als volgt berekend: de (over het dwarsprofiel) gemiddelde waterdiepte tot de top van de dijk minus de waakhoogte van 0,5 meter. De waakhoogte voor kades is niet 0,5 meter, maar 0,3 meter. De vraag is of het beter zou zijn om bij kades 0,3 meter in plaats van 0,5 meter aan te houden bij het berekenen van de waterdiepte. Om te achterhalen of dit mogelijk leidt tot significante verschillen is de volgende berekening gemaakt:

*Voor de locaties die de output vormen van Multicriteria analyse A1 hebben 6 van de 20 plaatsen (30%) kades en bij de output van Multicriteria analyse B1 zijn dit 5 van de 25 plaatsen (20%). Stel dat gemiddeld $(30\% + 20\%) / 2 = 25\%$ van de plaatsen langs rivieren een kade hebben en de plaatsen met kades voor 50% worden beschermd door kades (50% is een hoge schatting (Cyclomedia, 2016)). Dan heeft $50\% * 25\% = 12,5\%$ van de waterkeringen nabij stedelijke gebieden een kade. Het verschil is dan $12,5\% * 0,2 \text{ meter} = 0,025 \text{ meter}$. De meegenomen fout is dan 0,025m. De waterdiepten zijn bepaald op één decimaal nauwkeurig. Daarom zal deze vereenvoudiging waarschijnlijk geen significant verschil geven.*

Een van de selectiecriteria op golfhoogte is “plaatsen nabij golfhoogtes groter dan 0,5m”. Er is gekozen voor 0,5 meter, omdat dit de waakhoogte (een kritieke waarde volgens expert judgement) is voor de meeste meters waterkering. Aangezien de waakhoogte voor kades 0,3 meter is, is het gebruik van 0,5 meter een vereenvoudiging. Het zou correcter zijn om voor bebouwde kommen die deels beschermd worden door kades een lager selectie criterium aan te houden, bijvoorbeeld 0,4 meter. (Bij veel plaatsen met een kade, is namelijk ook een gedeelte bedijkt). Vanwege de tijd van dit onderzoek was het niet mogelijk om voor alle locaties langs de rivieren uit te zoeken of deze worden beschermd door een dijk of kade. Bij het toepassen van een lager selectie criterium voor kades zouden relatief meer locaties met een kade worden geselecteerd. Het is daarom aan te bevelen om de resultaten voor locaties die deels worden beschermd door kades en locaties die geheel worden beschermd door dijken afzonderlijk te beschouwen. Per type waterkering doet deze vereenvoudiging niet af aan de betrouwbaarheid van de resultaten.

Bepaling waterdiepte en windsnelheid

Er zijn verschillende beperkingen bij de bepaling van de waterdiepte door middel van steekproeven:

- De steekproeven bestaan uit een schatting van de waterdiepte. Door schattingen en metingen kan er een foutmarge zitten in de waterdiepte.
- Het aantal steekproeven is beperkt. 9 of 12 schattingen per 100 tot 200 kilometer effectieve lengte van rivieren is weinig. Meer steekproeven leiden tot een nauwkeurigere aanname.
- Er is voor 4 (groepen) rivieren een gemiddelde waterhoogte berekend. Wanneer meer steekproeven worden gedaan, is het mogelijk om ook meer categorieën te maken, bijvoorbeeld per 25 kilometer effectieve lengte van de rivieren. Op deze wijze wordt rekening gehouden met regionaal verschillen.

“Het gemiddelde van de windsnelheid eens per 10 jaar van plaatsen vanaf 10 km van de Noordzee, het IJsselmeer of de Wadden bij een kans van eens in de 10 jaar” is aangenomen als maatgevende windsnelheid voor dit onderzoek. De scheiding is gelegd bij 10 kilometer. In werkelijkheid neemt de windsnelheid van west naar oost geleidelijk af. Hoe ver rijkt de invloed van de zee op de windsnelheid. Er is gekozen voor 10 kilometer, maar dit had ook bijvoorbeeld 15 kilometer kunnen zijn. Wellicht zou een lineaire functie of een exponentiele functie beter recht doen aan de werkelijkheid. Dit had kunnen worden toegepast door voor de locaties dezelfde windsnelheid niet dezelfde windsnelheid aan te nemen, maar dit te laten afhangen van de afstand tot de Noordzee, het IJsselmeer en de Waddenzee. Gezien het aantal locaties waarvoor windstatistieken beschikbaar zijn (33 locaties), is het de vraag of dit een meer betrouwbaar resultaat geeft.

Daarbij is dus ook gekozen voor een kans van eens per 10 jaar, hoewel met evenveel recht had kunnen worden gekozen voor een kans van eens per 50 jaar. Aangezien voor alle locaties dezelfde windsnelheid is aangenomen, heeft dit geen invloed op de resultaten.

Afbakening rivierengebied

Bij het rivierengebied inclusief de uiterwaarden zijn de bebouwde kommen eruit gehaald. Dit leek een goede keuze te zijn. Echter blijkt dat dit een negatieve invloed kan hebben bij het bepalen van strijklengten, zoals waargenomen bij Rijswijk (GLD) en Wijk bij Duurstede: Bij het bepalen van strijklengten zijn punten om de 100 meter geplaatst op de rand van de het rivier met uiterwaarden (in Figuur 29 is dit de grens van het blauwe vlak). Voor deze punten zijn de strijklengten bepaald en gemiddeld over 5 punten. Langs de buitendijkse gebieden zijn dus ook punten gemaakt (in Figuur 29 zijn dit de rode vlakken omsloten door het blauwe vlak). In sommige gevallen liggen deze punten in de lengterichting van de rivier, daardoor zijn (ten onrechte) langere strijklengtes berekend nabij het stedelijk gebied. Met deze strijklengten zijn dus (te) grote golfhoogtes worden bepaald. Dit heeft waarschijnlijk geleid tot een selectie van bebouwde kommen die niet zouden worden geselecteerd wanneer de strijklengte en golfhoogte was bepaald voor punten ter plaatse van de waterkering. Of dit ook invloed heeft gehad op de uiteindelijke locaties kan worden nagekeken, door de punten nabij de bebouwde kommen die behoren tot het resultaat te controleren met het puntenbestand (met berekende golfhoogtes).

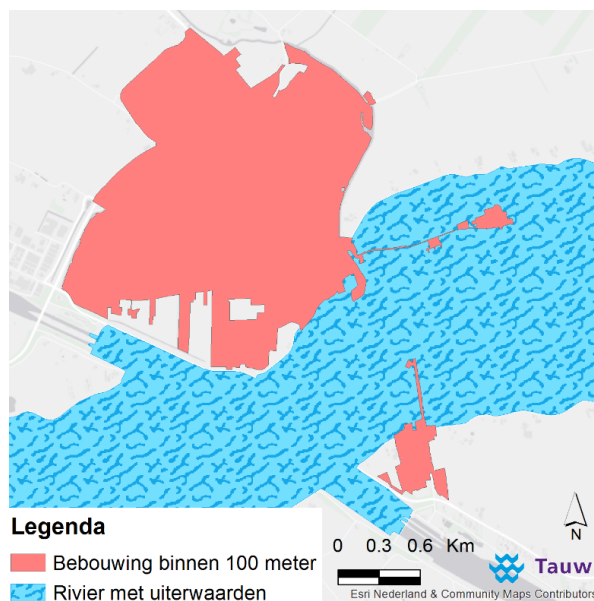
Bij Maastricht is de bebouwde kom breed gedefinieerd. Hierbij behoort een deel van de Maas dat door de stad loopt ook tot de bebouwde kom. Aangezien de bebouwde kommen uit de rivier zijn geknipt, is hier dus een gedeelte van de Maas uit de geknipt (zie Figuur 30). Hoewel dit niet correct is, zal dit geen gevolgen hebben, omdat de rivier door de stad loopt is deze hier erg smal en bij smalle rivierdelen relatief minder grote golven kunnen ontstaan. Dit alleen voorkomt bij Maastricht.

7.2 Multicriteria analyse

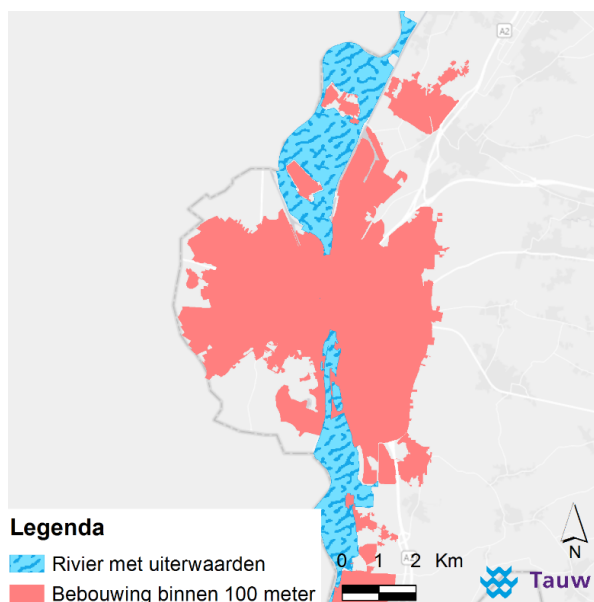
Bepaling scores aantal panden

Zoals in de gevoeligheidsanalyse naar voren is gekomen, is deze factor heel gevoelig. Aangezien de scores op aannames gebaseerd zijn, houdt dit in dat de factor onzeker is.

Ten eerste is aangenomen dat de invloed van het water bij golfoverslag reikt tot 500 meter. Hoever de invloed van het water bij golfoverslag reikt verschilt per scenario en is niet te voorspellen voordat een uitgebreide analyse per locatie is gedaan. Hiervoor is 500 meter aangenomen. Als het in werkelijkheid 750 meter is zou dit een groot verschil maken. Voor een bebouwde kom kan dit 5 plaatsen in de ranglijst verschillen (zie paragraaf 6.2). Dit laat zien dat op basis van de resultaten niet gesteld kan worden dat voor de ene plaats in de ranglijst de potentiële gevolgen groter zijn dan voor de andere plaats.



Figuur 29: Kaart Rijswijk (GLD) en Wijk bij Duurstede (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2016), (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016)



Figuur 30: Kaart Maastricht (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2016), (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016)

Ten tweede is aangenomen dat de wortel van het oppervlak een indicatie is voor de breedte van de stad nabij de rivier. Voor alle bebouwde kommen is voor de scores van het aantal panden het aantal panden tot 500 meter gedeeld door de wortel van het oppervlakte van de gehele bebouwde kom meegenomen. Hierbij is de wortel van het oppervlak beschouwd als de breedte van de bebouwde kom. Met de vraag hoe kom je tot de breedte is gepuzzeld. Elke stad heeft namelijk een eigen vorm. Er is gekozen de breedte van de stad te zien als de wortel van de oppervlakte van de gehele bebouwde kom. De wortel van het oppervlak is bij een vierkant de lengte en de breedte, want de oppervlakte van een vierkant $= \text{lengte}^2 = \text{breedte}^2$. De lengte van een vierkant is niet de langste lengte die mogelijk is binnen een vierkant, dat is namelijk de diagonaal. Bij een plaats hoeft de breedte langs de rivier niet de langste lengte te zijn. Dit zal in veel gevallen ook geen korte afstand zijn, aangezien van vroeger uit de ligging langs de rivier gunstig is voor handel. Aangezien de vorm van elke plaats verschilt, zal deze aanname bij de ene plaats beter overeenkomen dan bij een andere plaats. Dit leidt tot verschillen en heeft invloed op de betrouwbaarheid, echter is dit een betere oplossing dan de breedte niet mee te nemen. In dat geval bestaat het resultaat namelijk uit de grootste bebouwde kommen, terwijl het doel was om te kijken waar de relatieve impact, de schade per vierkante meter, het grootst is.

(Het percentage verharding is per vierkante meter en het aantal panden is berekend per 500m². Voor beide factoren zijn de scores gestandaardiseerd waarbij de hoogste waarde 1 krijgt toegekend en de laagste waarde 0 en de waarden ertussen worden geïnterpoleerd. Hierdoor maakt het niet uit dat de het aantal panden per 500 vierkante meter is berekend in plaats van per 1 vierkante meter.)

Bepaling scores verharding

In de gevoeligheidsanalyse is te zien dat de variaties in de aannames van de verharding nauwelijks effect heeft op de uitkomst van de Multicriteria analyse. In de werkelijkheid bestaan er variaties per plaats. Bij de ene plaats is wellicht veel stedelijk groen en is de verharding in een woonwijk 90%, terwijl bij een andere stad met minder groen de verharding 95% is. Stel dat het percentage verharding per plaats bekend is en deze data zou verwerkt zijn in de MCA. Dan zouden de resultaten uit die Multicriteria analyse waarschijnlijk sterk verschillen met de huidige MCA. Met name de aanname dat de het percentage verharding per type landgebruik gelijk is leidt tot onzekerheid. Aangezien op basis van deze analyse een inschatting wordt gemaakt voor heel Nederland biedt deze analyse een meerwaarde, ondanks onzekerheden in verschillen tussen de locaties.

Multicriteria analyses

In de ranglijsten staan de locaties met kades bovenaan. Dit komt waarschijnlijk niet overeenkomt met de mate van de gevolgen van golfoverslag. Een alternatief is om de scores aan te passen. De vraag is dan welke score correct zou zijn. Dat is niet te zeggen voordat uitgebreidere analyses zijn gedaan. Dit alternatief is daarom geen verbetering zijn ten opzichte van de huidige methode. Het is aan te bevelen om de resultaten van de locaties met kades en de locaties zonder kades afzonderlijk te beschouwen.

De factoren verharding en aantal panden zijn gebruikt bij zowel Multicriteria analyse 1 als 2. Hierbij worden dezelfde gestandaardiseerde scores gebruikt. Deze lopen dus niet meer van 0 tot 1. Dit zorgt indirect voor een verschil in de weging per factor. Vooral de mogelijkheid voor de score 0 bij de factor kades valt daardoor uit de toon. Een alternatief had kunnen zijn om de scores voor verharding en aantal panden opnieuw te standaardiseren. Dat was opgenomen in het oorspronkelijke plan. Echter bleek daardoor de volgorde te veranderen in een test-MCA waarbij het type waterkering buiten beschouwing is gelaten en de verharding en het aantal panden beide 50% meewegen. Daarom is geconcludeerd dat dit zou leiden tot tegenstrijdigheden tussen MCA 1 en 2 en is gekozen de scores niet opnieuw te standaardiseren.

7.3 Algemeen

Overige factoren

De mogelijkheid tot afstroom wordt beïnvloed door verschillende factoren, een aantal van deze zijn meegenomen in dit onderzoek. Er zijn echter meer factoren die invloed hebben op de gevolgen van golfoverslag.

De mogelijkheid van afvoer van water is een breder definitie dan alleen de infiltratie. De volgende factoren van invloed op de mogelijkheid tot afvoer:

- de capaciteit van het rioleringsysteem

- de capaciteit van afstroom via oppervlaktewater in het stedelijk gebied
- de capaciteit van afvoer via grachten, kanalen of sloten tussen dijk en bebouwing
- bergingsmogelijkheden in bijvoorbeeld wadi's of een andere daarvoor aangewezen plaats

Het meenemen van de capaciteit van het rioleringsstelsel is complex. Dit zou per plaats informatie moeten worden gezocht, daarbij is het de vraag of deze gegevens beschikbaar zijn voor alle plaatsen. Gezien de schaal van het onderzoek is dit niet mogelijk uit te zoeken in de beschikbare tijd. Daarom is dit niet in beschouwing genomen in dit onderzoek. Dit geldt eveneens voor de bergingsmogelijkheden.

De afstroomcapaciteit van het oppervlaktewater en de capaciteit van de afvoer via grachten, kanalen of sloten tussen dijk en bebouwing zijn niet meegenomen, aangezien de beschikbare data onvolledig is en dit mogelijk leidt tot significante onnauwkeurigheden.

De afstroomcapaciteit via het oppervlaktewater en de capaciteit van de afvoer via wateren tussen de dijk en de bebouwing is niet meegenomen, maar wel overwogen. Als indicator voor de afstroomcapaciteit van het oppervlaktewater kan het percentage oppervlaktewater per totale oppervlakte worden genomen. Echter blijken de data met oppervlaktewater onvolledig te zijn. Sommige wateren zijn in de kaart Bestand Bodemgebruik 2012 (BBG 2012) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, CBS, 2016) niet aangeduid als water. Aangezien dit soms een groot deel van het oppervlaktewater per stad is (voor Rijssen bijvoorbeeld circa 25%), geeft dit geen nauwkeurig beeld en is daarmee ongeschikt als factor. Een alternatieve landgebruik kaart is de kaart van het 'Landelijk Grondgebruik Nederland' van het Kadaster (beschikbaar via de ArcGIS online-tool in ArcGIS) heeft een laag detailniveau en is daarom ook ongeschikt om hiervoor te gebruiken.

Samengevat is er in dit onderzoek voor gekozen, om de genoemde invloed factoren niet mee te nemen.

Grootte stedelijke gebieden

In dit onderzoek is per bebouwde kom gekeken hoe groot de relatieve potentiële gevolgen (schade per vierkante meter) zijn. De ene plaats is groter dan de andere plaats. De golfhoogte is bepaald voor punten om de 100 meter langs de dijk. Per plaats is gekeken of er in een straal van 142 een punt is met een golfhoogte groter dan 0,5 meter of golfhoogte groter dan 0,575 meter (in dat laatste geval bestaat het resultaat van de selectie uit circa 50 locaties met de grootste golfhoogtes). Bij een grote stad langs de rivier kunnen er meer punten zijn waaraan getoetst is of er een grote golfhoogte kan voorkomen, dan bij een kleine plaats. Het is daarbij niet bekend in welk deel van de stad het is. In het geval dat de bebouwde kom (deels) wordt beschermd door een kade, wordt een hoge score toegekend aan de bebouwde kom. Echter hoeft de kering waar grote golfhoogten kunnen voorkomen geen kade te zijn. Daarbij per bebouwde kom de zijn data over verharding en aantal panden gemiddeld genomen. Er zijn in werkelijkheid wel verschillen per stadsgedeelte. Achteraf gezien, zou het daarom beter zijn geweest om te kijken op een kleinere schaal, zoals per postcodegebied. Aanbevolen wordt om voor de grote plaatsen van de resultaten te controleren of de kering waarvoor een hoge golfhoogte is berekend een kade is.

7.4 Conclusie

Het doel van dit onderzoek is om een overzicht te geven van de stedelijke gebieden langs de grote rivieren in Nederland waar golfoverslag (zie Figuur 1), waarbij de dijk niet faalt, potentieel leidt tot lokale overstromingsproblemen. Gezien de genoemde onzekerheden kan niet worden vastgesteld dat: 1) er geen locaties zijn waarbij de potentiële wateroverlastproblemen groter zijn en 2) een plaats die hoger in de ranglijst grotere potentiële gevolgen heeft bij golfoverslag van gelijke omvang. Desniettemin bieden de resultaten een overzicht van een aantal stedelijke gebieden, waarvoor de potentiële consequenties bij golfoverslag relatief groot zijn. Aangezien een locatiestudie is gedaan voor heel Nederland biedt dit onderzoek een meerwaarde, ondanks de onzekerheden in de verschillen tussen de locaties in de ranglijsten.

8 Conclusie en aanbevelingen

8.1 Conclusie

De vraag van dit onderzoek is: *In welke stedelijke gebieden langs de grote rivieren in Nederland kunnen wateroverlastproblemen optreden als gevolg van golfoverslag waarbij de dijk niet faalt?*

Van de stedelijke locaties nabij keringen waarvoor de golfhoogte groter is dan 0,5 meter zijn voor de volgende gebieden de potentiële consequenties van golfoverslag het grootst: Deventer, Arnhem, Doesburg, Woudrichem, Wessum, Gennep, Giesbeek, Haaften, Millingen aan de Rijn en Grave. De vijf eerst genoemde plaatsen worden deels beschermd door een kade. Gezien de lagere eisen ten aanzien van golfoverslag zijn voor deze plaatsen de potentiële gevolgen mogelijk groter. De plaatsen Cuijk, Herten, Roermond, Heijen, Neer, Gennep, Millingen aan de Rijn, Ochten, Boxmeer en Gendt behoren tot de circa 50 locaties nabij keringen met de grootste berekende golfhoogtes. Ten opzichte van deze circa 50 locaties hebben deze plaatsen relatief veel verharding en veel economische en sociale waarde nabij de rivier. De plaatsen Cuijk, Herten, Roermond, Heijen en Neer hebben een kade. De ontwerpnormen zijn voor kades namelijk relatief lager dan voor dijken, kunnen bij deze plaatsen de gevolgen bij golfoverslag groter zijn.

Bij de tweede selectie op golfhoogte is gekomen tot een resultaat van circa 50 stedelijke locaties door te selecteren op berekende golfhoogtes groter dan 0,575 meter. Het selectiecriteria "circa 50 stedelijke locaties nabij keringen met de grootste golfhoogtes" is daarom een strenger selectiecriteria dan "stedelijke locaties nabij keringen met golfhoogtes groter dan 0,5 meter". De plaatsen die behoren tot de circa 50 locaties met grootste golfhoogtes, zijn daarom gevoeliger voor golfoverslag dan de andere locaties uit de resultaten, zover deze niet overeenkomen. De locaties waarbij geselecteerd is op golfhoogtes groter dan 0,5 meter zijn juist gevoeliger voor de potentiële gevolgen bij golfoverslag. Geconcludeerd kan worden dat bij de reeds genoemde plaatsen overstromingsproblemen kunnen optreden ten gevolge van golfoverslag.

8.2 Aanbevelingen

Gezien de onzekerheden in dit onderzoek, kan niet gesteld worden dat bij een plaats die hoger in de ranglijst staat ten opzichte van een andere plaats de potentiële wateroverlastproblemen door golfoverslag groter zijn. Het vermoeden bestaat dat dit wel geldt voor de resultaten in het algemeen. Bijvoorbeeld voor de bovenste 5 resultaten uit de ranglijst zijn de potentiële wateroverlastproblemen gemiddeld groter dan voor de onderste 5 resultaten. Daarom wordt aanbevolen bij nader onderzoek naar potentiële wateroverlastproblemen voor de resultaten te beginnen bij de plaatsen boven in de ranglijsten.

Bij het vervolg van het onderzoeksproject zal een GIDS®-analyse worden uitgevoerd voor een of meerdere stedelijk locatie(s) die volgen uit dit onderzoek. Het wordt aanbevolen om voor het uitvoeren van een GIDS®-analyse het volgende te controleren:

- *Of stedelijke locaties ten onrechte zijn geselecteerd doordat buitendijkse gebieden niet zijn meegenomen in het rivierengebied.* In dit geval ligt binnen een straal van 142 meter ten opzichte van de stedelijke locatie: *wel* een of meerdere rivierlocaties met een grote golfhoogte die op de grens van buitendijkse gebieden ligt en *geen* rivierlocatie met een grote golfhoogte ter plaatse van de waterkering. Indien dit geldt voor een stedelijke locatie maakt deze locatie door een beperking van het onderzoek deel uit van de resultatenlijst en is het aan te bevelen deze locatie niet te gebruiken voor nader onderzoek.
- *Of de kering waarvoor een hoge golfhoogte is berekend een kade is (voor plaatsen met een kade).* Indien dit niet het geval is én de stedelijke locatie deels beschermd wordt door een kering is, dient bij nader onderzoek er rekening mee gehouden te worden dat de grootste golfhoogten kunnen optreden ter plaatse van een dijk in plaats van bij de kade(muur).

Met deze controle kunnen beperkingen van het onderzoek dus worden gecorrigeerd. De controle kan als volgt worden uitgevoerd: De kaarten met punten van de rivierlocaties, waarvoor stedelijke locaties zijn geselecteerd indien deze in een straal van 142 meter liggen ten opzichte van een van deze punten, openen in ArcGIS. Per stedelijke locatie uit de resultatenlijsten controleren of er punten binnen een straal van 142 meter liggen ten opzichte van de bebouwde kom die *niet* op de grens van de buitendijkse gebieden liggen én of er punten binnen een straal van 142 meter liggen *ter plaatse van de kade*.

9 Bibliografie

- Boeters, B. (2014, februari 27). *Hoeveel golfoverslag kan het gras op de dijk hebben?* Opgeroepen op mei 6, 2016, van Technisch Weekblad: <https://www.technischweekblad.nl/nieuws/hoeveel-golfaanval-kan-het-gras-op-de-dijk-hebben/item2649>
- Clevers, S., & Van Dam, R. (2016). *Effecten van golfoverslag op de stad Zutphen; concept 26 februari 2016*. Tauw. Opgeroepen op April 19, 2016
- Cyclomedia. (2016, mei 4). *Globespotter*. Opgeroepen op juni 29, 2016, van Globespotter: <https://globespotter.cyclomedia.com/>
- Egthuijsen, M. E. (2003, januari 1). *Weer wat geleerd: Stormen*. Opgehaald van Kennislink: <http://www.kennislink.nl/publicaties/weer-wat-geleerd-stormen>
- ENW. (2007). *Bijlage E/ golfberekeningen volgens eenvoudige benadering*. Den Haag: Drukkerij Ando bv. doi:ISBN 978-90-369-1409-3
- Esri. (2015, september 10). *AHN Hoogteprofiel-tool*. Opgeroepen op juni 1, 2016, van ArcGIS online: <http://ahn.arcgisonline.nl/hoogteprofiel/>
- GIS People. (sd). *Multi-Criteria Analysis*. Opgehaald van GIS People: <http://www.gispeople.com.au/geospatial-consulting/multi-criteria-analysis/>
- Helpdeskwater. (2014, februari 18). *Hoe sluit WTI2017 aan op VNK2?* Opgehaald van Helpdeskwater: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/programma'-projecten/veiligheid-nederland/publicaties/nieuwsbrief/nieuwsitems-vnk2/nieuwsflits-nummer/nieuwsflits-vnk2/sluit-wti2017-vnk2/>
- Helpdeskwater. (sd). *Begrippen crisismanagement - Letter g*. Opgeroepen op mei 9, 2016, van Helpdeskwater: <http://www.helpdeskwater.nl/waterbegrippen/crisismanagement/?BegripLtr=g>
- HKV Lijn in Water, Rijkswaterstaat RIZA. (2007). *Hydra-R voor HR2006, Gebruikershandleiding, versie 1.1*. Utrecht: Helpdeskwater.
- HKV Lijn in water, Rijkswaterstaat RIZA. (2007). *Hydra-VIJ voor HR2006, Gebruikershandleiding, versie 2.2*. Utrecht: Helpdeskwater.
- HKV Lijn in water, Rijkswaterstaat Waterdienst. (2012). *Hydra-Zoet, Gebruikershandleiding, versie 1.6*. Utrecht: Helpdeskwater.
- HWBP. (2014, September 24). Opgeroepen op February 11, 2016, van Verdeling projectfinanciering: <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Programma/Spelregels+voor+de+projecten/Verdelin+g+projectfinanciering/default.aspx>.
- HWBP. (2015a, Juni 2). Opgeroepen op February 11, 2016, van Juni 2015: Update Ontwerpinstrumentarium 2014 (OI2014): [http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Actueel/Nieuws-actueel/332377.aspx?t=Juli+2015%3a+Update+Ontwerpinstrumentarium+2014+\(OI2014\)+](http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Actueel/Nieuws-actueel/332377.aspx?t=Juli+2015%3a+Update+Ontwerpinstrumentarium+2014+(OI2014)+)
- HWBP. (2015b). *Handreiking Ontwerpen met overstromingskans OI2014 v3*. Opgeroepen op February 11, 2016, van <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Documenten+openbaar/Kennis+en+Innovatie/360240.aspx>.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties, ZBO Kadaster. (2015, januari 1). *TOP10NL*. Opgehaald van Data Overheid: <https://data.overheid.nl/data/dataset/top10nl-01>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties, ZBO Kadaster. (2016, mei 19). *BAG*. Opgeroepen op juni 1, 2016, van Data Overheid: <https://data.overheid.nl/data/dataset/bag>

- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, CBS. (2016, mei 18). *CBS Bestand Bodemgebruik 2012*. Opgehaald van Data Overheid: <https://data.overheid.nl/data/dataset/bestand-bodemgebruik-2012-shape-file>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS. (2016, mei 18). *Kaderrichtlijn Water oppervlaktewaterlichamen RWS, lijnen*. Opgehaald van Data Overheid: <https://data.overheid.nl/data/dataset/kaderrichtlijn-water-oppervlaktewaterlichamen-rws-lijnen>
- Ministerie van V&W, Ministerie van VROM en Ministerie van LNV. (2009). *Nationaal Waterplan 2009-2015*. Den Haag: Rijksoverheid.
- Natuurmonumenten. (2016). *Rivierengebied*. Opgehaald van Natuurmonumenten: <https://www.natuurmonumenten.nl/rivierengebied>
- Neighborhood Map Clipart*. (2016, februari 2). Opgehaald van Clipart kid: <http://www.clipartkid.com/neighborhood-map-cliparts/>
- Overheid. (2016, maart 15). *Wegenverkeerswet 1994*. Opgehaald van Overheid: <http://wetten.overheid.nl/BWBR0006622/2016-03-15>
- Overheid. (2016, mei 4). *Wet- en regelgeving zoekresultaat*. Opgehaald van Wetten Overheid: <http://wetten.overheid.nl/zoeken/zoekresultaat/rs/2,3,4/titelf/1/tekst/bebouwde%20kom/tekstf/1/artnrb/0/d/28-06-2016/dx/0>
- Resource analysis. (2008). *Gebruik van multicriteria-analyse voor de prioritering van bedrijfsafvalstoffen volgens de milieu-impact van hun ontstaan en verwerking, met inbegrip van de impact door materialengebruik*. Resource analysis - technum nv. Mechelen, België: OVAM. Opgeroepen op juni 1, 2016, van <http://www.ovam.be/sites/default/files/uitgebreide%20multicriteriaanalyse%20prioritaire%20bedrijfsafvalstoffen.pdf>
- Rijksoverheid*. (sd). Opgehaald van Waterbeheer in Nederland: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/water/inhoud/waterbeheer-in-nederland>
- Rijksoverheid. (2011, May 2). *Bestuursakkoord Water*. Ministerie van Infrastructuur en Milieu i.a.w. Unie van Waterschappen, IPO, Verwin, VNG. Opgeroepen op March 18, 2016, van Bestuursakkoord Water: <http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/wetgeving-beleid/bestuursakkoord/>
- Rijksoverheid. (2016, januari 5). *Landelijke Rapportage Toetsing (LRT)*. Opgeroepen op mei 6, 2016, van Helpdeskwater: [http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-\(wbi\)/beoordelingsproces/rapportage/landelijke/](http://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen-(wbi)/beoordelingsproces/rapportage/landelijke/)
- Rijkswaterstaat. (2012). *Handreiking Toetsen Grasbekleding op dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*. Ministerie Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat. Rijkswaterstaat. Opgeroepen op mei 7, 2016, van http://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/31422/handreiking_toetsen_grasbekledingen_op_dijken_tbv_verlengde_derde_toetsronde.pdf
- RWS. (2015, juni 2). *Dijkverbetering Lek-Betuwe-Tieler- en Culemborgerwaard*. Opgehaald van Beeldbank RWS: <https://beeldbank.rws.nl>, Ruimte voor de Rivier / Ruimte voor de Rivier
- RWS Dienst Weg- en Waterbouw. (1998). *Golfoverslag en krachten op verticale waterkeringsconstructies*. Delft: WL Delft hydraulics.
- Schreuder, A. (2010). Rijssen strijdt tegen regen met sleuven en lava. *NRC Handelsblad*.
- Smits, A. (2001). *Estimation of extreme return levels of wind speed: a modification of the Rijksoort-Weibull model*. De Bilt: KNMI.

- Stichting Rioned. (2008). *Regenwateroverlast in de bebouwde omgeving (2008, RIONEDreeks 11)*. Opgehaald van Stichting Rioned:
http://www.riool.net/product?p_p_id=56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R&_56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R_groupId=10180&_56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R_articleId=4455
- Stichting Rioned. (2013). *Inventarisatie regenoverlast in de bebouwde omgeving 2013 (2013, RIONEDreeks 17)*. Opgehaald van Stichting Rioned:
http://www.riool.net/product?p_p_id=56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R&_56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R_groupId=10180&_56_INSTANCE_N1Ki9Et3iC4R_articleId=4455
- STOWA. (2013). *Gebruikshandleiding Waterschadeschatter (WSS)*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.
- TAW. (2002). *Technisch rapport Golfoploop en Golfoverslag bij Dijken*. Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen. Delft: NIVO. Opgeroepen op April 6, 2016
- TAW. (2003). *Leidraad Kunstwerken*. Delft: Nivo.
- Van Dale Uitgevers. (2016). *Betekenis 'meander'*. Opgeroepen op juni 27, 2016, van Van Dale:
<http://vandale.nl/opzoeken?pattern=meander&lang=nn#.V3OY42df2po>
- van Reeken, H. (2011, oktober 31). *Oever en kade langs de IJssel in Deventer met de Wilhelminabrug*. Opgehaald van Beeldbank RWS: <https://beeldbank.rws.nl/MediaObject/Details/419427>

A. Bijlage GIDS®

Tauw heeft het model GIDS® (Golfoversloop In De Stad) ontwikkeld. Dit model maakt de effecten van golfoverslagdebieten voor gebieden achter de dijk inzichtelijk. Het model werkt met openbaar beschikbare hoogtekarten. De nauwkeurigheid van overstromingsmodellen is hoog en het vereist geen extreme computerkracht, tevens zijn er nauwelijks licenties vereist. Het model is ontworpen met ArcGIS.

GIDS® is een aanpassing van een bestaand neerslagmodel van Tauw. Golfoverslag is gesimuleerd door het projecteren van een uniform volume water op de waterkeringen. GIDS® lokaliseert waar het water naartoe stroomt in het geval van golfoverslag door met iteraties steeds voor kleine hoeveelheden de dichtstbijzijnde depressies in het gebied te vullen. Het model is een herverdelingsmodel en bevat geen fysische aspecten, zoals wrijving en traagheid in en van de stroming. Dit model geeft een betrouwbaar beeld of de 'stabiele' eindsituatie. Het model is dus tijdsonafhankelijk.

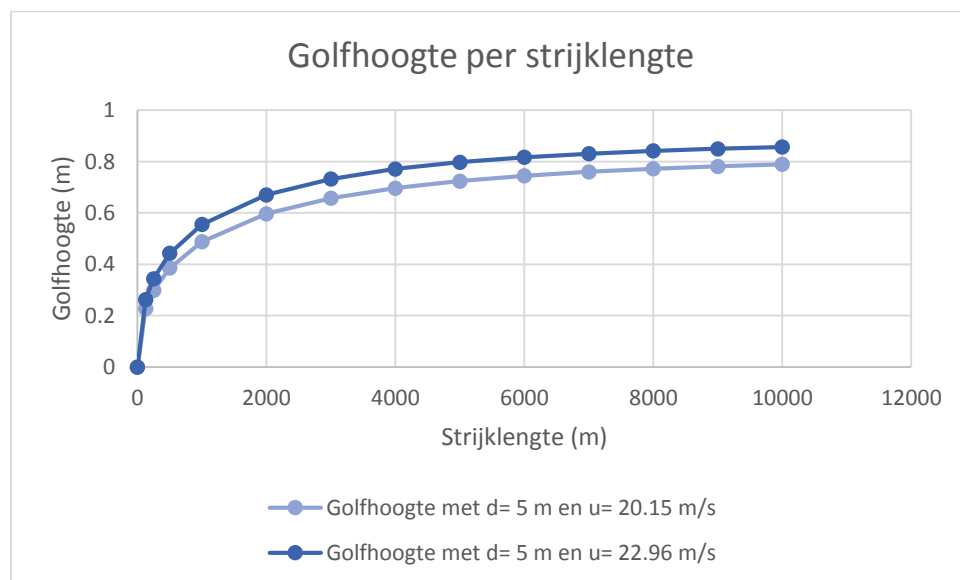
Het model geeft inzicht in de consequenties voor het kiezen van een bepaald golfoverslagdebiet. Het GIDS®-model zal daarin bijdragen om bewustwording te creëren, bij steden, gemeenten en waterschappen (langs de Nederlandse grote rivieren) dat een veilige dijk niet gelijk is aan droge voeten achter de dijk.

GIDS® is een alternatief voor Sobek en 3Di. GIDS® is gekozen, omdat het de volgende voordelen heeft (R. van Dam, persoonlijke communicatie, 5 april 2016):

- Veel sneller dan Sobek en 3Di
- Goedkoop en eenvoudig toegankelijk als eerste analyse
- Standaard hoogtekarten kunnen worden gebruikt
- Er hoeft geen speciaal model voor gemaakt te worden

B. Bijlage golfhoogte per strijklengte

In Figuur 31 zijn grafieken te zien die het verband tussen de strijklengte en golfhoogte laten zien volgens de formule van Bretschneider (zie formule 1). Er is gekozen voor 5 meter als waterdiepte. Dat is bijzonder groot binnen de Nederlandse rivieren (Esri, 2015). Tot 10 000 meter strijklengte is de stijging van de grafiek zichtbaar. Vanaf 6000 meter strijklengte is de stijging wel aanzienlijk minder. De maximale golfhoogte in dit onderzoek is 5469 meter. De gegevens 6000 meter zijn daarom waarschijnlijk niet meer relevant.



Figuur 31: Grafiek verband golfhoogte en strijklengte volgens Bretschneider

C. Bijlage methode data samenstellen

Het stappenplan voor het samenstellen van data is als volgt:

Algemeen

1. *Creëren van een kaart met een vlak dat de rivieren met uiterwaarden van de grote rivieren bestrijkt.*
De kaart met rivieren met uiterwaarden (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016) opzoeken in ArcGIS online.
In deze kaart (1a) de grote rivieren selecteren en de selectie opslaan als een nieuwe kaart.
Gebieden die worden geschermd door een primaire waterkering knippen uit de kaart (1b).
Bebouwde kommen knippen uit de kaart (1c).'
2. *Creëren van een kaart met vlakken van stedelijke gebieden langs de grote rivieren.*
De kaart met bebouwde kommen (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2015) opzoeken in ArcGIS online.
Een kaart creëren met een vlak dat alle gebieden bestrijkt waarvan de afstand tot de rivier 100 meter of minder is. Dit kan met behulp van de tool 'buffer'. De input voor deze tool is de kaart met rivieren (1d) en de afstand 100 meter.
Met de selectie-tool 'select on location' > 'intersect' in de kaart met bebouwde kommen (2a) de bebouwde kommen selecteren die de kaart met buffer (2b) overlappen.
De geselecteerde bebouwde kommen opslaan als een nieuwe kaart.

Verharding

3. *Creëren van een kaart met de bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier waarin het percentage verharding per bebouwde kom is opgeslagen.*
De kaart Bestand Bodemgebruik 2012 opzoeken.
Een kaart maken die de bebouwde kommen bestrijkt met vlakken met één type landgebruik, die de informatie bevat over de bebouwde kommen en het landgebruik. Dit is mogelijk door de kaart met het bodemgebruik en de kaartlaag met de bebouwde kommen binnen 100 meter samen te voegen met de tool 'intersect'.
Per landgebruik een schatting maken van het percentage verhard oppervlak.
De data exporteren naar MS Excel. De data in MS Excel verwerken tot het percentage verhard oppervlak per bebouwde kom.
Data importeren in ArcGIS en toevoegen aan het bestand met bebouwde kommen met een afstand kleiner of gelijk aan 100 meter tot de rivier.

Panden

4. *Creëren van een kaart met de panden die zowel binnen een afstand van 100 meter van de rivier als in bebouwde kommen binnen 100 meter van de rivier gelegen zijn.*
De kaart met de panden in Nederland (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, ZBO Kadaster, 2016) opzoeken in ArcGIS online.
De kaart met bebouwde kommen binnen 100 meter ook toevoegen. Deze kaart is gemaakt in stap II.
Een kaart creëren met een vlak dat alle gebieden bestrijkt waarvan de afstand tot de rivier 500 meter of minder is. Dit kan met behulp van de tool 'buffer'. De input voor deze tool is de kaart met rivieren (1d) en de afstand 500 meter.
Met de selectie-tool 'select on location' > 'intersect' in de kaart de bebouwde kommen binnen 100 meter (II) selecteren die de kaart van de buffer van 500 meter overlappen.
De geselecteerde bebouwde kommen opslaan als een nieuwe kaart.

Opmerking: Met kaart wordt een het bestandstype 'feature class' van ArcGIS bedoeld.

D. Bijlage waterdiepten

(Esri, 2015)

In deze bijlage wordt toegelicht hoe de gemiddelde waterdiepten zijn bepaald. Eerst vindt u de methode, daarna een voorbeeld en tot slot voor alle steekproeven een korte uitwerking. De kaarten en doorsnede-profielen zijn afkomstig van de website <http://ahn.arcgisonline.nl/hoogteprofiel/>.

Methode

Voor de groepen rivieren uit Tabel 18 is een gemiddelde waterdiepte bepaald met een aantal steekproeven. Per rivier (of riviergroep) is gekeken naar drie plaatsen. Deze plaatsen zijn te weergegeven in Tabel 19. Voor iedere plaats zijn drie of vier steekproeven gedaan voor het bepalen van de gemiddelde waterdiepte bij maatgevend hoogwater (MHW).

Categorie	Rivieren
IJssel	IJssel
Rijn en Lek	Rijn, Pannerdensch kanaal, Neder-Rijn, Lek
Waal	Waal, Boven-Merwede
Maas	Maas, Bergsche Maas

Tabel 18: Categorieën rivieren voor aanname waterdiepte

Rivier	Plaatsen
IJssel	Kampen, Deventer, Dieren
Rijn	Arnhem
Lek	Culemborg, Schoonhoven
Waal	Nijmegen, Tiel, Gorinchem
Maas	Maastricht, Venlo, 's Hertogenbosch

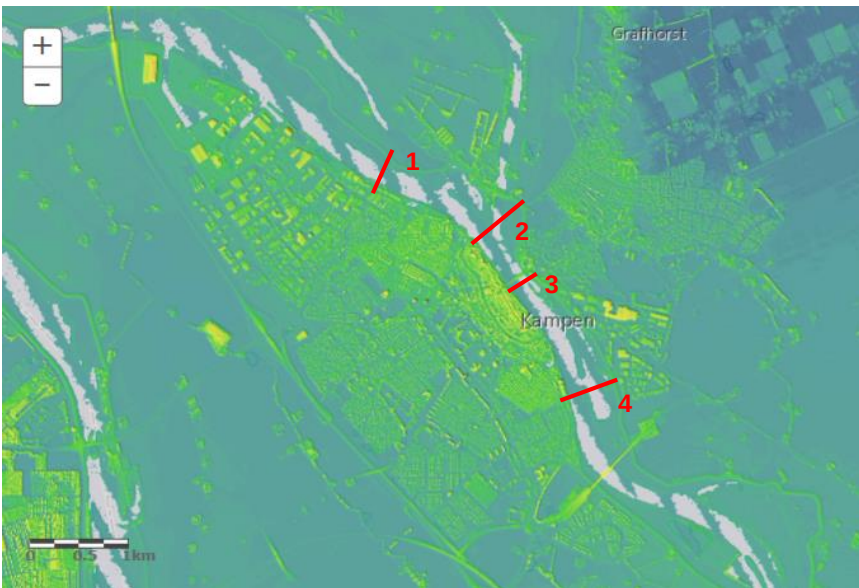
Tabel 19: Plaatsen van de steekproeven per rivier

De steekproeven zijn gedaan voor locaties nabij plaatsen, aangezien dit onderzoek gericht is op stedelijke locaties. Er is gekozen voor meerdere steekproeven per plaats. Daarbij kan bewust gekozen worden voor een verdeling tussen smallere en bredere dwarsprofielen die representatief zijn voor het rivierprofiel. Hiermee wordt voorkómen dat onbewust vaker voor relatief grotere of kleinere dwarsprofielen wordt gekozen. (Dit zou de uitkomsten wat betreft waterdiepte zou kunnen beïnvloeden, indien er een correlatie is tussen de waterdiepte en de breedte van de rivier.) Per rivier zijn de steekproeven uitgewerkt. De waterdiepte is bepaald met AHN Hoogteprofiel-tool van ArcGIS online (Esri, 2015). Een tool in GIS biedt de mogelijkheid om dwarsprofielen te maken. Met deze dwarsprofielen is de gemiddelde diepte van de rivier bepaald. Hieronder wordt in een voorbeeld laten zien op welke wijze de gemiddelde waterdiepte is bepaald.

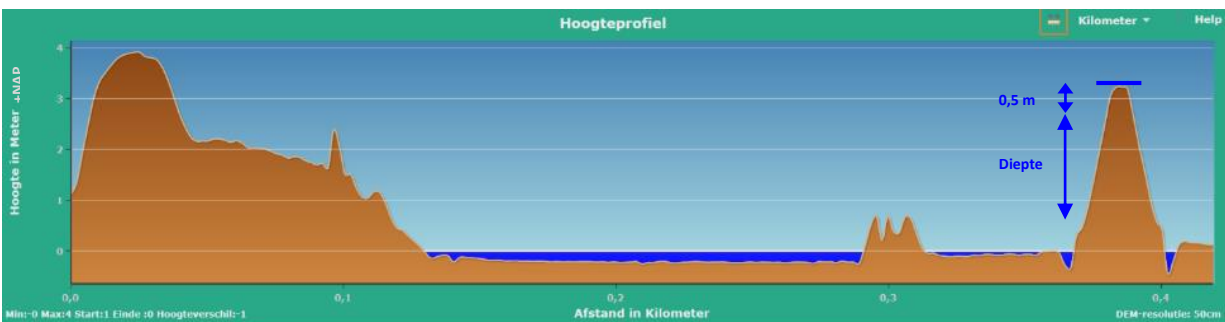
Zoals te zien is in Tabel 18 zijn de Rijn en Lek aan dezelfde groep toegevoegd. Het deel van de Rijn heeft in Nederland een relatief korte lengte in vergelijking met de andere grote rivieren. Voor de Rijn zijn vier steekproeven gedaan bij één plaats. De gemiddelde waarde van deze steekproeven is 3,7 meter. Voor de Lek zijn acht steekproeven gedaan, vier steekproeven bij twee plaatsen. De gemiddelde waarde voor de Rijn en Lek samen is eveneens 3,7 meter. De resultaten van de steekproeven is verondersteld dat de waterdiepten van de Rijn en Lek in dezelfde range liggen en maken het aanvaardbaar om de rivieren samen te nemen.

Voorbeeld bepalen van gemiddelde waterdiepte

Allereerst is een schaalgrootte van de kaart gekozen, waarop de gehele bebouwde kom zichtbaar is. In dit voorbeeld is dit de stad Kampen. Daarbij zijn de plaatsen van de kortere en de langere dwarsprofielen verdeeld over de lengte van de stad. Zie Figuur 32. Vervolgens worden de steekproeven uitgevoerd. Met de AHN Hoogteprofiel-tool (Esri, 2015) is een hoogteprofiel gemaakt, zoals in Figuur 33.



Figuur 32: Hoogtekaart van Kampen (Esri, 2015)



Figuur 33: Hoogteprofiel 1 IJssel – Kampen (Esri, 2015)

De tool geeft bij het genereren van hoogteprofielen ook een plattegrond met de locatie van het gemaakte dwarsprofiel. Zie als voorbeeld Figuur 34. Er is rekening mee gehouden dat te achterhalen is hoe het profiel is gemaakt. De locatie van het rechter uiteinde van het hoogteprofiel is het kruisje op de plattegrond in Figuur 34.

Voor de representatieve waterdiepte wordt uitgegaan van een waterstand van 0,5m onder de dijk. De gemiddelde waterdiepte is als volgt geschat:

De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 3,9 m + NAP en van de dijk ten noordoosten is 3,2 m + NAP. De noordoost-dijk is maatgevend met 3,2m, omdat dit de laagste waterkering is. Deze wordt beschouwd als de kerende hoogte. De kerende hoogte minus de waakhoogte: $3,2m + NAP - 0,5m = 2,7m + NAP$. Dit is de maatgevende hoogwaterstand (MHW). De hoogte van $\pm 2/3^e$ deel van het gebied tussen de dijken ligt tussen -0,2 en 0m + NAP. De hoogte van het overige deel ligt tussen de 0 en 2,7m + NAP. De globale berekening waterdiepte bij de maatgevende hoogwaterstand (MHW) is: $2,7m + NAP - \left(\frac{2}{3} * \frac{-0,2+0}{2} m + NAP\right) + \left(\frac{1}{3} * \frac{2,7+0}{2} m + NAP\right) = 2,3 m$.



Figuur 34: Plattegrond bij hoogteprofiel 1 IJssel- Kampen (Esri, 2015)

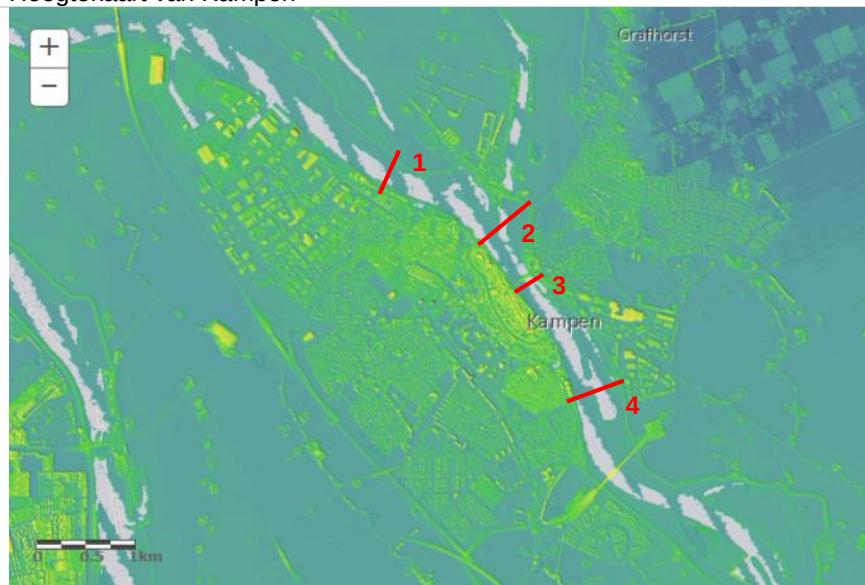
De gemiddelde waterdieptes per rivier als resultaat van de steekproeven zijn in Tabel 3 weergegeven. De uitwerking van de bepaling van de waterdiepten van de steekproeven is hieronder opgenomen. De berekende gemiddelde waterdiepte per rivier is in dit onderzoek leidend als representatieve waterdiepte.

Korte uitwerking per steekproef

Rivier de IJssel

Locaties IJssel – Kampen

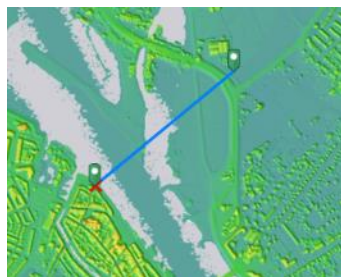
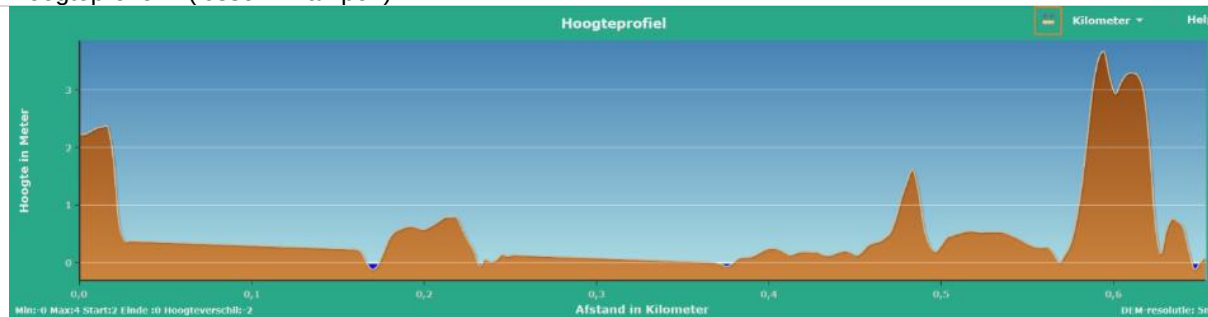
Hoogtekaart van Kampen



Hoogteprofiel 1 (IJssel – Kampen)

Zie in het bovenstaande voorbeeld de uitwerking. De waterdiepte is geschat op 2,3m.

Hoogteprofiel 2 (IJssel – Kampen)

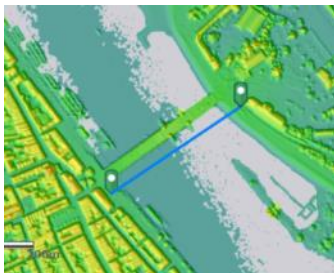
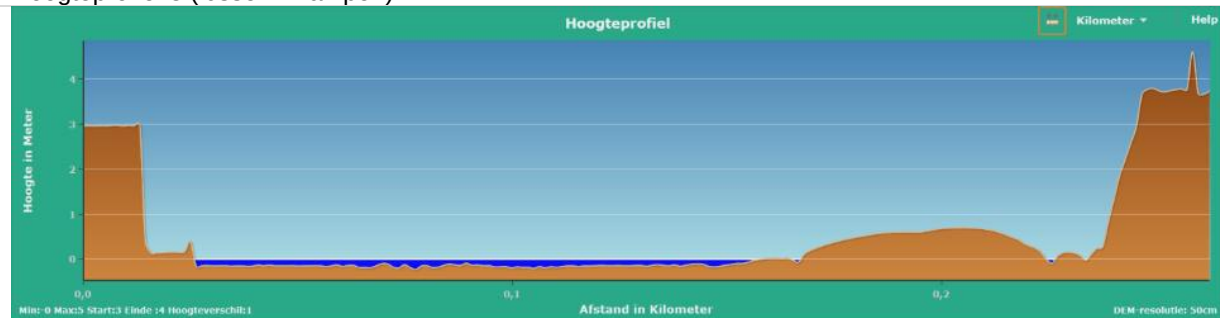


De hoogte van de kade ten zuidwesten is 2,4m en van de dijk ten noordoosten is 3,7m. De kade is maatgevend met 2,4m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $2,4\text{m} - 0,5\text{m} = 1,9\text{m}$.

De hoogte van het gebied tussen de kade en dijk ligt rond de 0,4m.

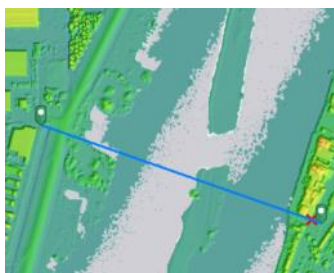
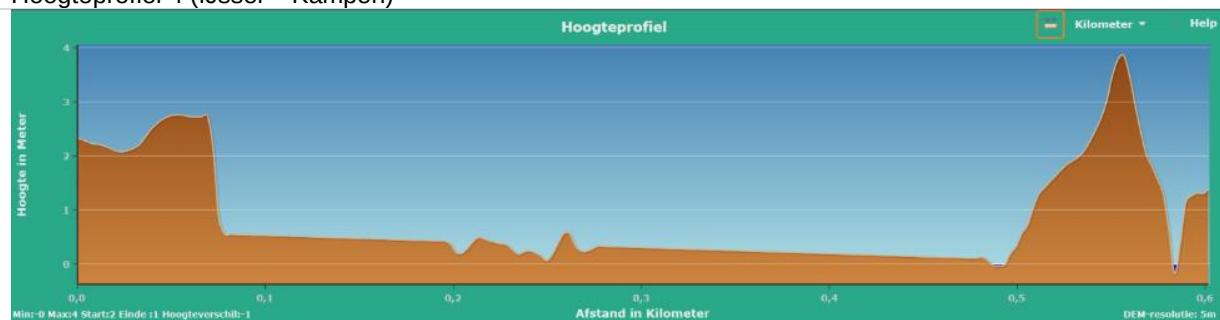
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $1,9\text{m} - 0,4\text{m} = 1,5\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (IJssel – Kampen)



De hoogte van de kade ten zuidwesten is 3,0m en van de kade ten noordoosten is 3,8m. De zuidwest-kade is maatgevend met 3,0m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $3,0\text{m} - 0,5\text{m} = 2,5\text{m}$.
De hoogte van het gebied tussen de kaden ligt rond de 0,2m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $2,5\text{m} - 0,2\text{m} = 2,3\text{m}$

Hoogteprofiel 4 (IJssel – Kampen)



De hoogte van de kade ten westen is 2,9m en van de dijk ten oosten is 3,9m. De kade is maatgevend met 2,9m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $2,9\text{m} - 0,5\text{m} = 2,4\text{m}$.
De hoogte is tussen de 0,6m en 2,9m bij $\pm 1/10^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt. Bij het overige deel ligt de hoogte is tussen de 0 en 0,6m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $2,4\text{m} - 1/10 \cdot (2,9 + 0,6)/2\text{m} - 9/10 \cdot (0,6 + 0,0)/2\text{m} = 2,0\text{m}$

Conclusie locaties IJssel – Kampen:

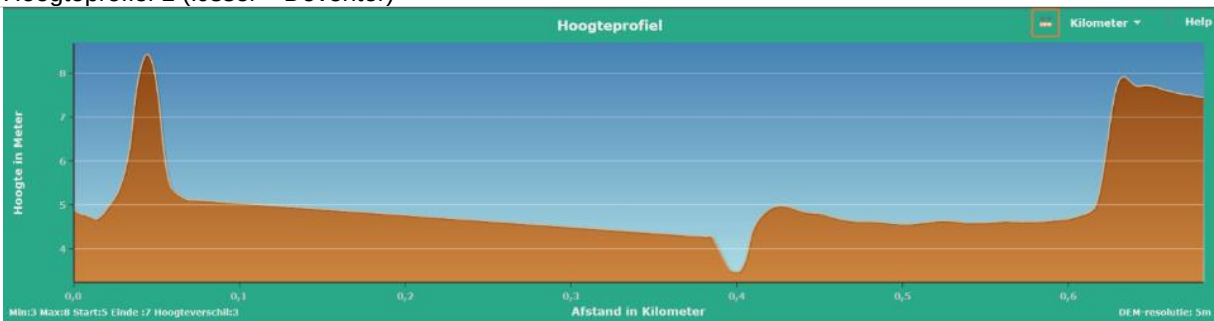
Het gemiddelde van de vier locaties is: $(2,3 + 1,5 + 2,3 + 2,0)/4 = 2,025$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 2 meter, gebaseerd op deze 4 steekproeven. Bij de steekproeven geldt over het algemeen dat als de rivier breder is, de gemiddelde waterdiepte kleiner is. Hierbij is locatie 1 bijzonder, doordat er een hooggelegen (bebouwd) gebied is voor de dijk.

Locaties IJssel – Deventer

Hoogtekaart van Deventer



Hoogteprofiel 1 (IJssel – Deventer)

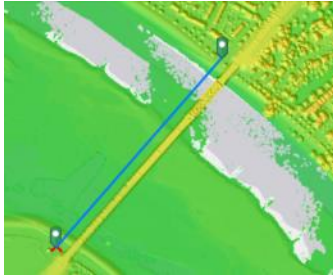


De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 8,3m en van de kade ten noordoosten is 7,9m. De kade is maatgevend met 7,9m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $7,9\text{m} - 0,5\text{m} = 7,4\text{m}$.

De hoogte van het gebied tussen de dijk en kade ligt rond de 4,6m.

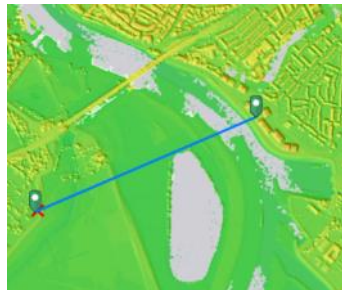
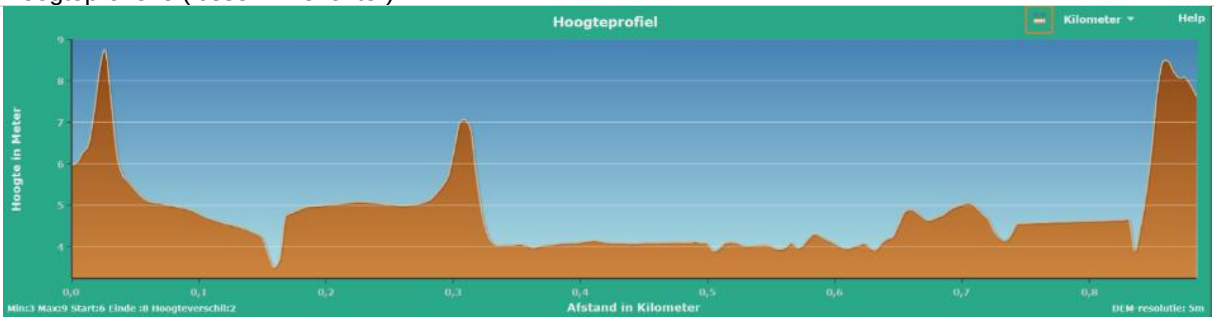
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,4\text{m} - 4,6\text{m} = 2,8\text{m}$

Hoogteprofiel 2 (IJssel – Deventer)



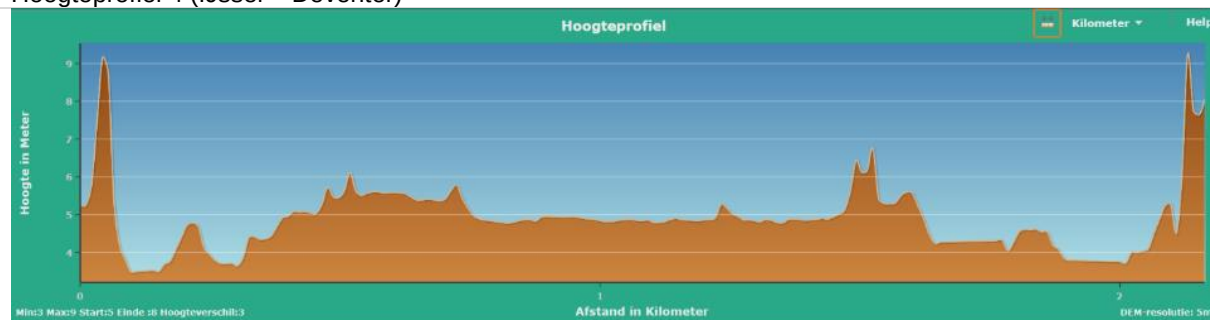
De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 8,3m en van de kade ten noordoosten is 8,2m. De kade is maatgevend met 8,2m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $8,2\text{m} - 0,5\text{m} = 7,7\text{m}$.
De hoogte van het gebied tussen de dijk en kade is gemiddeld ongeveer 4,5m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,7\text{m} - 4,5\text{m} = 3,2\text{m}$.

Hoogteprofiel 3 (IJssel – Deventer)



De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 8,8m en van de dijk ten noordoosten is 8,3m. De noordoost-dijk is maatgevend met 8,3m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $8,3\text{m} - 0,5\text{m} = 7,8\text{m}$.
De hoogte voor $\pm 2/3^e$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 4,4 en voor het overige deel op ongeveer 5,0m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,7\text{m} - 2/3 \cdot 4,4\text{m} - 1/3 \cdot 5,0\text{m} = 4,1\text{m}$.

Hoogteprofiel 4 (IJssel – Deventer)



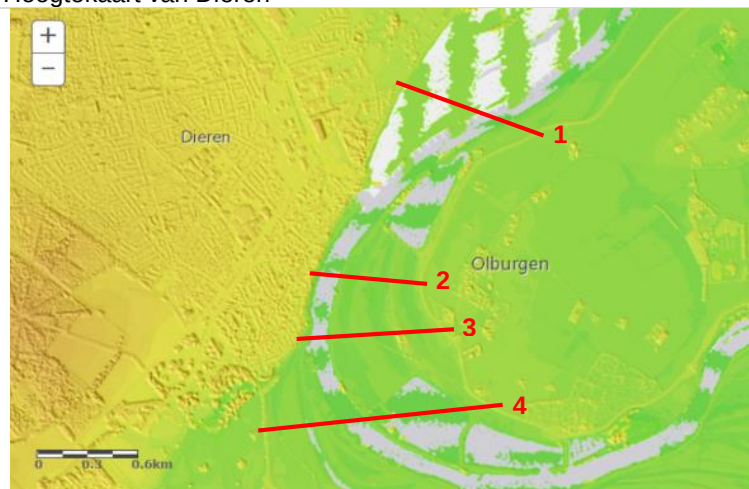
De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 9,1m en van de dijk ten noordoosten is 9,2m. De zuidwest-dijk is maatgevend met 9,1m. De dijkhoogte minus de waakhoogte: $9,1\text{m} - 0,5\text{m} = 8,6\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de dijken is gemiddeld ongeveer 4,8m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $8,6\text{m} - 4,8\text{m} = 3,8\text{m}$.

Conclusies locaties IJssel – Deventer:

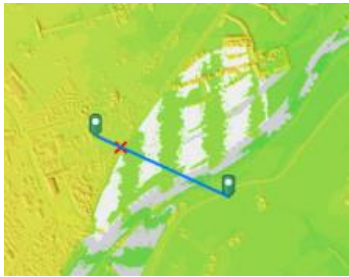
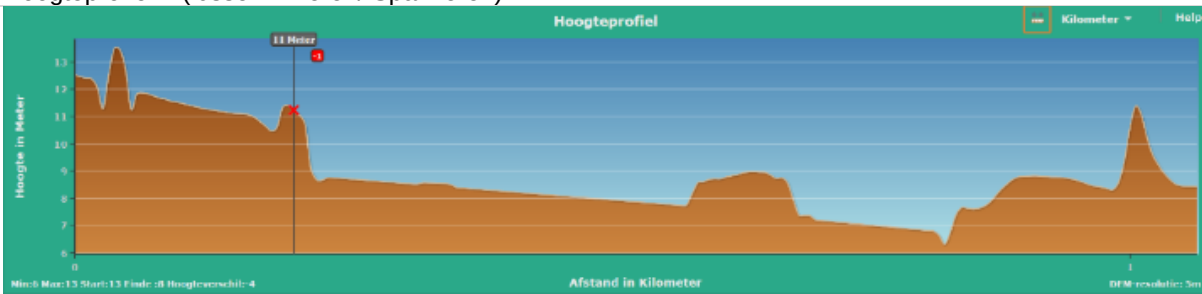
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij vier locaties is: $(2,8+3,2+4,1+3,8)/4 = 3,475$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 3,5 meter, gebaseerd op deze 4 steekproeven. Opvallend is dat de doorsnede van het rivierprofiel (incl. uiterwaarden) sterk verandert.

Locaties IJssel – Dieren

Hoogtekaart van Dieren



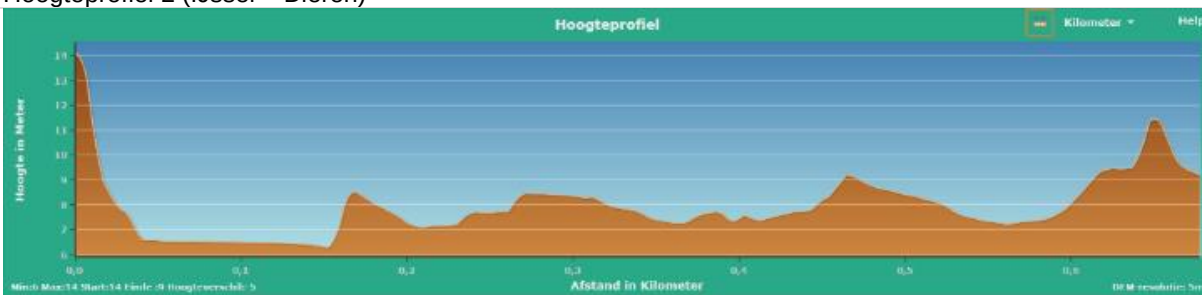
Hoogteprofiel 1 (IJssel – Dieren/ Spankeren)



De hoogte van de waterkering ten westen is gesteld op 11,3m (zie figuur hiernaast) en van de dijk ten oosten is 11,3m. Daarmee is de hoogte van 11,3 maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $11,3\text{m} - 0,5\text{m} = 10,8\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de waterkeringen ligt rond de 8m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11\text{m} - 8\text{m} = 3\text{m}$

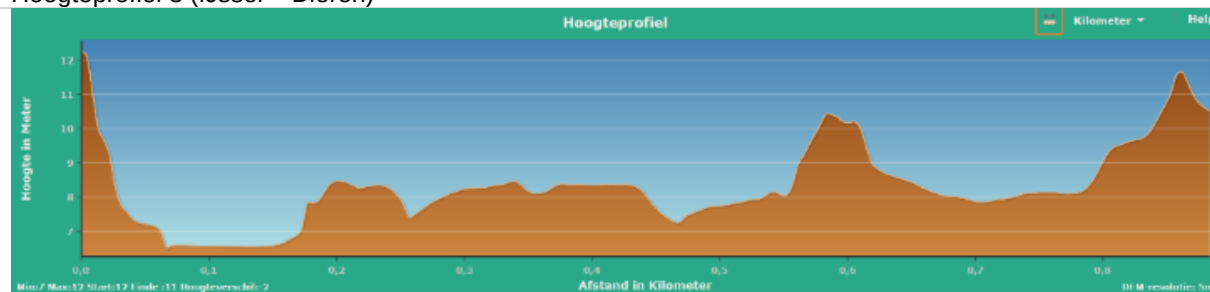


Hoogteprofiel 2 (IJssel – Dieren)



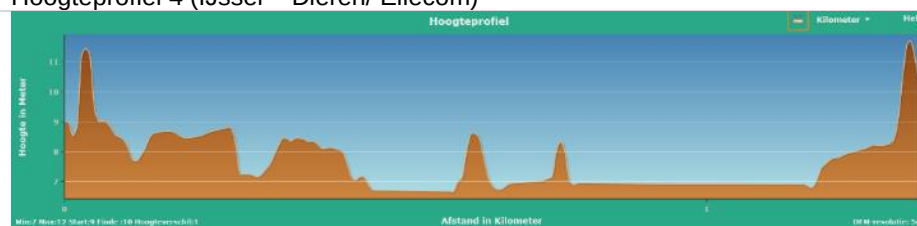
De hoogte van de waterkering ten westen is 14,1m en van de dijk ten oosten is 11,5m. De oostkant is maatgevend met 11,5m. De kruinhoogte minus de waakhogte: $11,5\text{m} - 0,5\text{m} = 11,0\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de waterkeringen ligt rond de 8m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11\text{m} - 8\text{m} = 3\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (IJssel – Dieren)



De hoogte van de dijk ten westen is 12,2m en van de dijk ten oosten is 11,7m. De dijk ten westen is maatgevend met 12,2m. De kruinhoogte minus de waakhogte: $12,2\text{m} - 0,5\text{m} = 11,7\text{m}$.
De hoogte van het gebied tussen de dijken is gemiddeld ongeveer 8 m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11,5\text{m} - 8\text{m} = 3,5\text{m}$

Hoogteprofiel 4 (IJssel – Dieren/ Ellecom)



De hoogte van de dijk ten westen is 11,5m en van de dijk ten oosten is 12,8m. De dijk ten westen is maatgevend met 8,2m. De kruinhoogte minus de waakhogte: $11,5\text{m} - 0,5\text{m} = 11,0\text{m}$.
De hoogte van het gebied tussen de dijken is gemiddeld ongeveer 7,5m.
De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11,0\text{m} - 7,5\text{m} = 3,5\text{m}$

Conclusies locaties IJssel – Dieren:

Het gemiddelde van de geschatte waterdiepte bij MHW over vier locaties is 3,25m, gebaseerd op de 4 globale steekproeven.

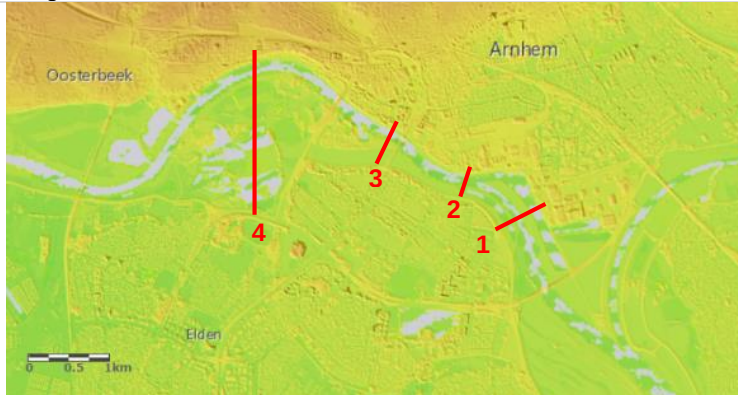
Conclusie IJssel

Het gemiddelde van de gemiddelde waterdiepte bij MHW bij drie plaatsen is: $(2,0+3,5+3,3)/3 = 2,933\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 2,9 meter, gebaseerd op 12 (=3x4) steekproeven.

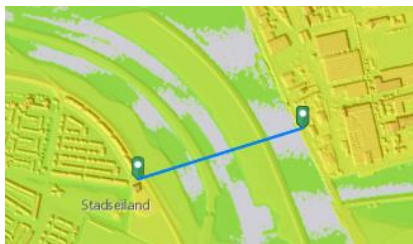
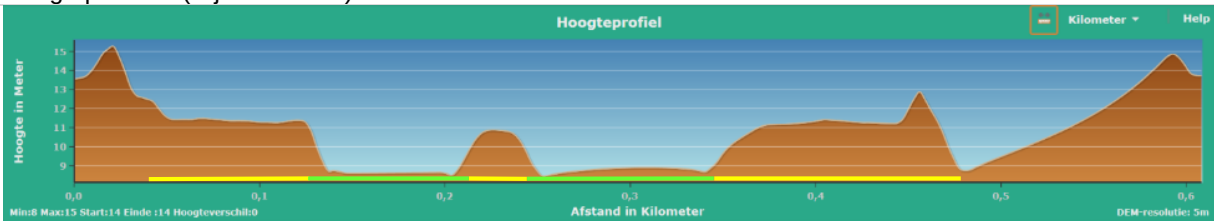
Rivier de Rijn

Locaties Rijn – Arnhem

Hoogtekaart van Arnhem

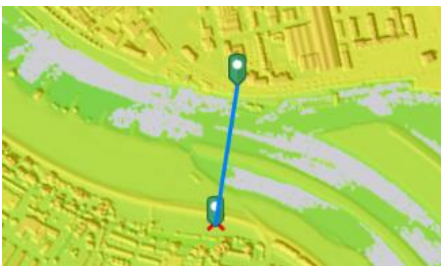
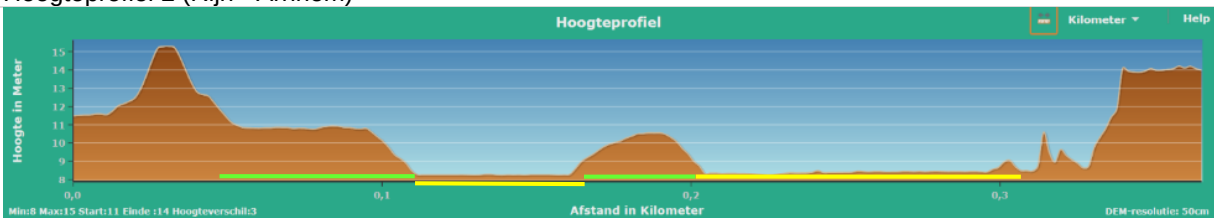


Hoogteprofiel 1 (Rijn - Arnhem)



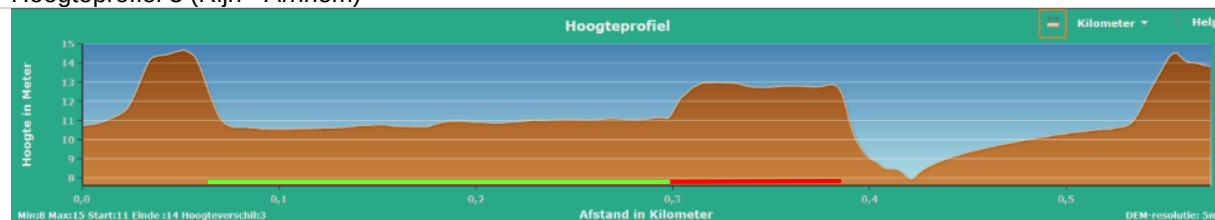
De hoogte van de dijk ten westen is 15,2m en van de dijk ten oosten is 14,9m. Daarmee dijk ten oosten maatgevend met 14,9m. De kruinhoogte minus de waakhogte: $14,9\text{m} - 0,5\text{m} = 14,4\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/2^{\circ}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 11m. De hoogte voor $\pm 1/3^{\circ}$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 9m. Het overige deel wordt geschat op gemiddeld 12m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $14,4\text{m} - 1/2 \cdot 11\text{m} - 1/3 \cdot 9\text{m} - 1/6 \cdot 12\text{m} = 3,9\text{m}$.

Hoogteprofiel 2 (Rijn - Arnhem)



De hoogte van de dijk ten zuiden is 15,2m en van de kade ten noorden is 14,0m. De kade is maatgevend met 14,0m. De kadehoogte minus de waakhogte: $14,0\text{m} - 0,5\text{m} = 13,5\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/2^{\circ}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijk en kade ligt wordt geschat op gemiddeld 8,5m. De hoogte voor $\pm 1/3^{\circ}$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijk en kade ligt wordt geschat op gemiddeld 10m. Het overige deel wordt geschat op gemiddeld 13m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $13,5\text{m} - 1/2 \cdot 8,5\text{m} - 1/3 \cdot 10\text{m} - 1/6 \cdot 13\text{m} = 3,75\text{m}$.

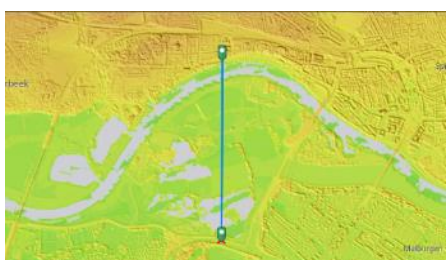
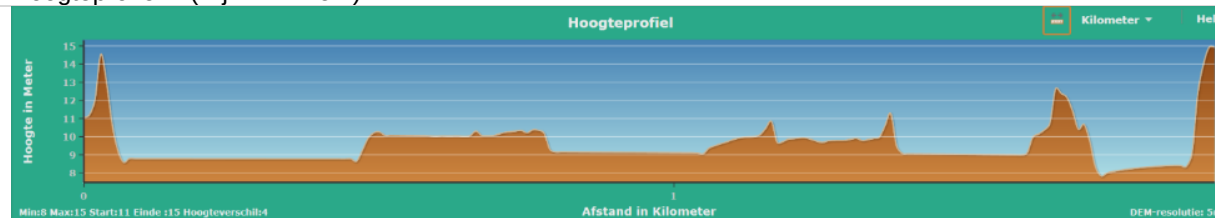
Hoogteprofiel 3 (Rijn - Arnhem)



De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 14,8m en van de dijk ten noordoosten is 14,6m. De dijk ten noordoosten is maatgevend met 14,5m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $14,5\text{m} - 0,5\text{m} = 14,0\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/2^{\text{e}}$ deel (*groen*) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 11,0m. De hoogte voor $\pm 1/6^{\text{e}}$ deel (*rood*) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 13,0m. Het overige deel wordt geschat op gemiddeld 11m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $14,0\text{m} - 1/2 \cdot 11,0\text{m} - 1/6 \cdot 13,0\text{m} - 1/3 \cdot 11\text{m} = 2,7\text{m}$

Hoogteprofiel 4 (Rijn - Arnhem)



De hoogte van de dijk ten zuiden is 14,5m en van de waterkering ten noorden is 15,0m. De dijk ten zuiden is maatgevend met 14,5m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $14,5\text{m} - 0,5\text{m} = 14,0\text{m}$.

De hoogte van het gebied tussen de waterkeringen ligt rond de 9,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $14\text{m} - 9,5\text{m} = 4,5\text{m}$

Conclusie locaties Rijn – Arnhem

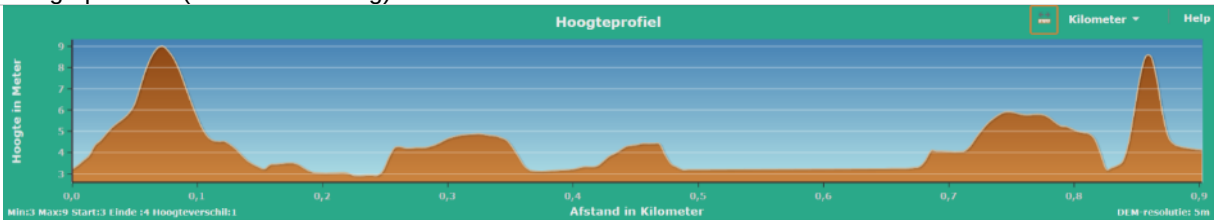
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij vier locaties is: $(3,9+3,75+2,7+4,5)/4 = 3,7125$. De waterdiepte bij hoge waterstand ligt dus gemiddeld rond de 3,7 meter, gebaseerd op deze 4 steekproeven.

Locaties Lek – Culemborg

Hoogtekaart van Arnhem

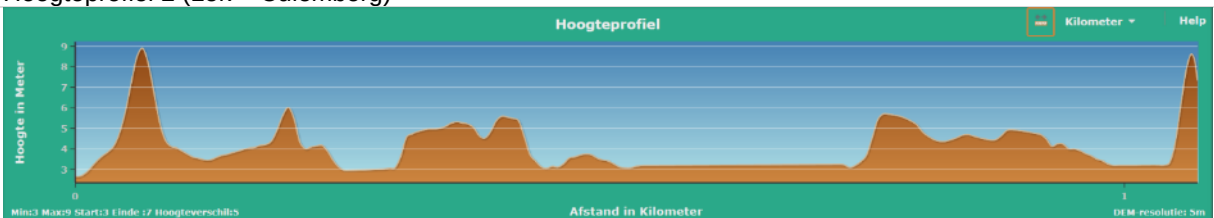


Hoogteprofiel 1 (Lek – Culemborg)



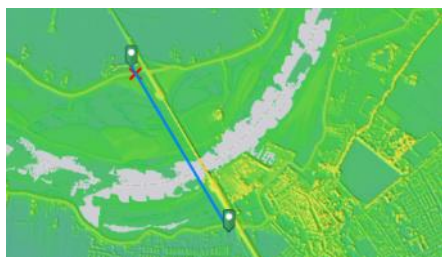
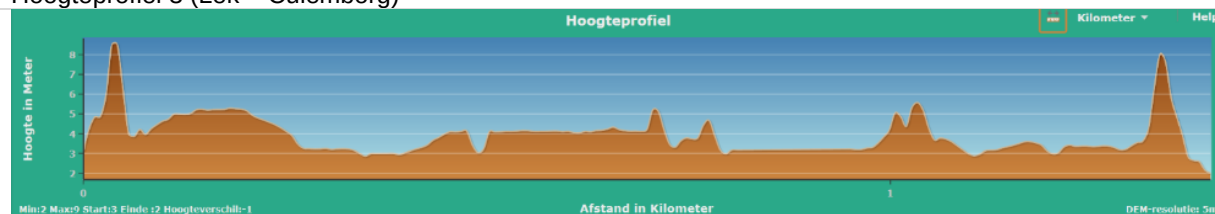
De hoogte van de dijk ten westen is 9,0m en van de dijk ten oosten is 8,7m. Daarmee is de hoogte van 8,7m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $8,7\text{m} - 0,5\text{m} = 8,2\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de dijken ligt rond de 4,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $8\text{m} - 4,5\text{m} = 3,5\text{m}$

Hoogteprofiel 2 (Lek – Culemborg)



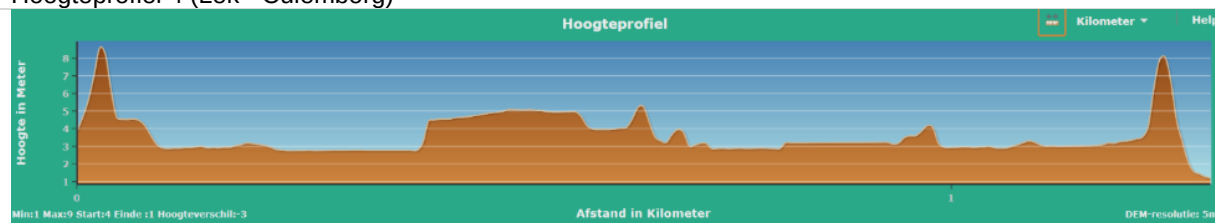
De hoogte van de dijk ten noordwesten is 8,9m en van de dijk ten zuidoosten is 8,7m. De dijk ten zuidoosten is maatgevend met 8,7m. De kruinhoogte minus de waakhogte: $8,7\text{m} - 0,5\text{m} = 8,2\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de dijken ligt rond de 4,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $8,2\text{m} - 4,5\text{m} = 3,7\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Lek – Culemborg)



De hoogte van de dijk ten noordwesten is 8,5m en van de dijk ten zuidoosten is 8,0m. De dijk ten zuidoosten is maatgevend met 8,0m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $8,0\text{m} - 0,5\text{m} = 7,5\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de dijken ligt rond de 4m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,5\text{m} - 4\text{m} = 3,5\text{m}$

Hoogteprofiel 4 (Lek - Culemborg)



De hoogte van de waterkering ten noorden is 8,7m en van de dijk ten zuiden is 8,1m. De dijk ten zuiden is maatgevend met 8,1m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $8,1\text{m} - 0,5\text{m} = 7,6\text{m}$. De hoogte voor $\pm 2/3^e$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,0m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 4,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,6\text{m} - 2/3 \cdot 3,0\text{m} - 1/3 \cdot 4,5\text{m} = 4,1\text{m}$

Conclusie locaties Lek – Culemborg:

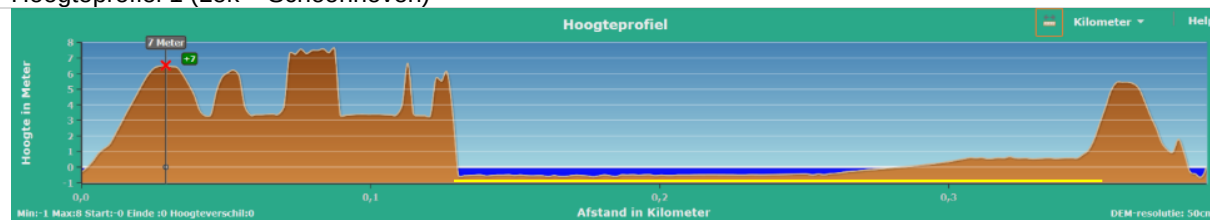
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij vier locaties is: $(3,5 + 3,7 + 3,5 + 4,1) / 4 = 3,7$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 3,7 meter, gebaseerd op deze 4 steekproeven.

Locaties Lek – Schoonhoven

Hoogtekaart van Schoonhoven

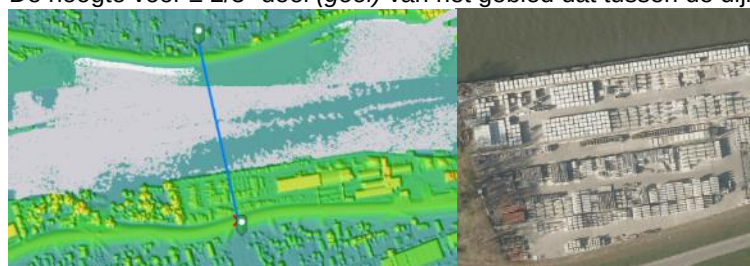


Hoogteprofiel 1 (Lek – Schoonhoven)



De hoogte van de dijk ten zuiden is 6,4m en van de dijk ten noorden is 5,4m. Daarmee is de hoogte van 5,4m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $5,4\text{m} - 0,5\text{m} = 4,9\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 2/3^\circ$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0m.

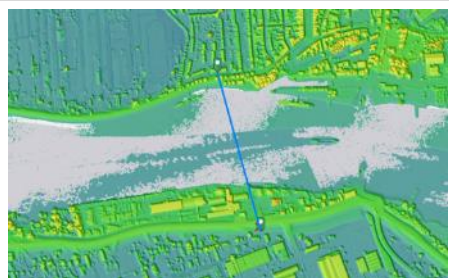
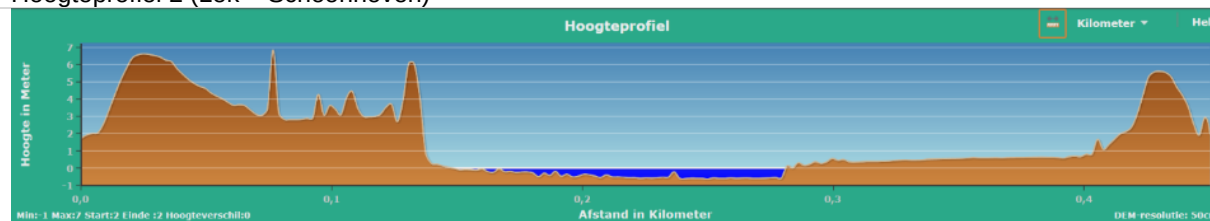


De hoogte voor het overige deel (hoogte opslag niet meegenomen, zie foto hieronder) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,5m.

De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $4,9\text{m} - 2/3 \cdot 0 - 1/3 \cdot 3,5\text{m} = 3,7\text{m}$

Bron: Globespotter (Cyclomedia, 2016)

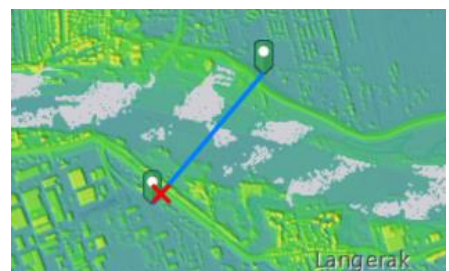
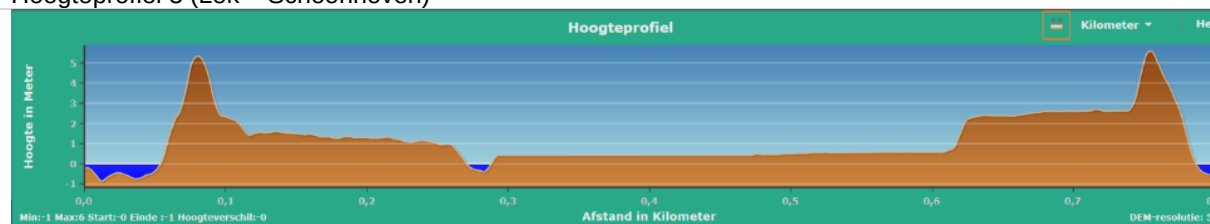
Hoogteprofiel 2 (Lek – Schoonhoven)



De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 6,7m en van de dijk ten noordoosten is 5,6m. De dijk ten noordoosten is maatgevend met 5,6m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $5,6\text{m} - 0,5\text{m} = 5,1\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 2/3^\circ$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $5,6\text{m} - 2/3 \cdot 0\text{m} - 1/3 \cdot 3,5\text{m} = 4,4\text{m}$

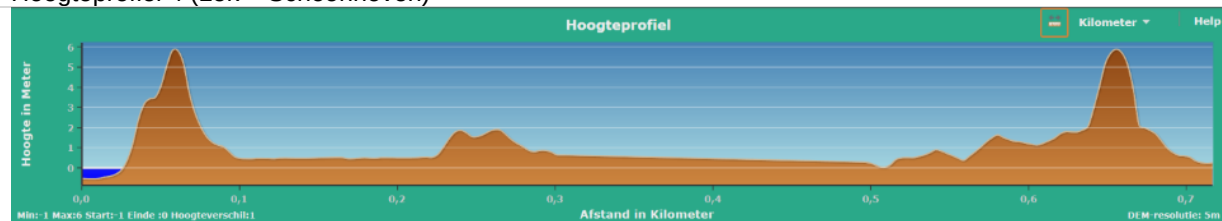
Hoogteprofiel 3 (Lek – Schoonhoven)



De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 5,3m en van de dijk ten noordoosten is 5,6m. De dijk ten zuidwesten is maatgevend met 5,3m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $5,3\text{m} - 0,5\text{m} = 4,8\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/4^\circ$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,2m. De hoogte voor $\pm 1/2^\circ$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0,5m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 2,5m.

De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $4,8\text{m} - 1/4 \cdot 1,2 - 1/2 \cdot 0,5\text{m} - 1/4 \cdot 2,5\text{m} = 3,625\text{m} = 3,6\text{m}$

Hoogteprofiel 4 (Lek – Schoonhoven)



De hoogte van de dijk ten noorden is 5,9m en van de dijk ten zuiden is 5,9m. Daarmee is de hoogte van 5,9m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $5,9\text{m} - 0,5\text{m} = 5,4\text{m}$. De hoogte van het gebied tussen de dijken ligt rond de 1,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $5,4\text{m} - 1,5\text{m} = 3,9\text{m}$

Conclusie locaties Lek – Schoonhoven:

Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij vier locaties is: $(3,7+4,4+3,6+3,9)/4 = 3,9$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 3,9 meter, gebaseerd op deze 4 steekproeven.

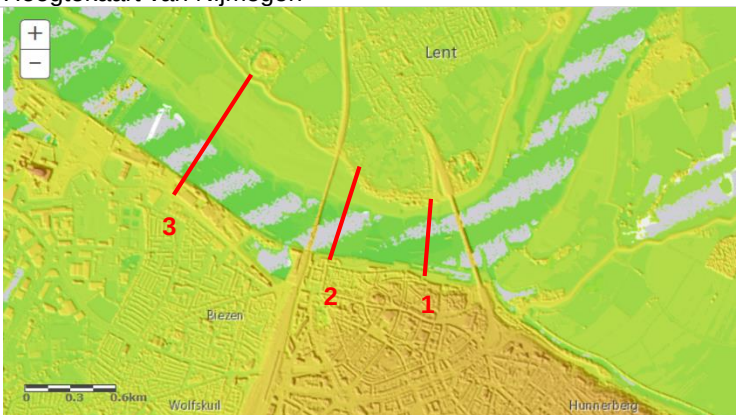
Conclusie Rijn en Lek

Het gemiddelde van de gemiddelde waterdiepte bij MHW bij drie plaatsen is: $(3,7+3,7+3,9)/3 = 3,767\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 3,8 meter, gebaseerd op 12 (=3x4) steekproeven.

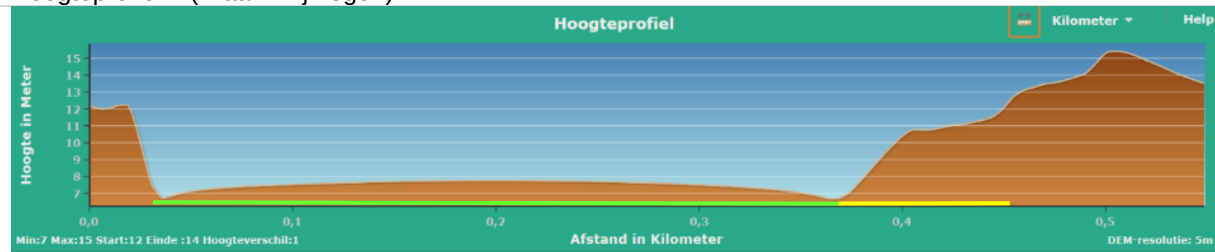
Rivier de Waal

Locaties Waal - Nijmegen

Hoogtekaart van Nijmegen



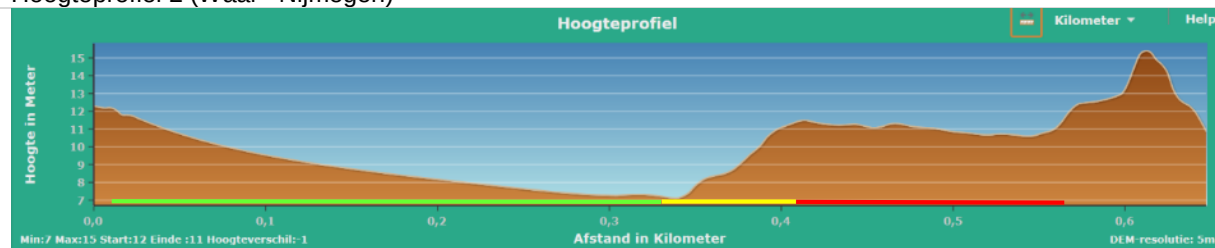
Hoogteprofiel 1 (Waal - Nijmegen)



De hoogte van de kade ten zuidwesten is 12,1m en van de dijk ten noordoosten is 15,3m. Daarmee kade ten zuidwesten maatgevend met 12,1m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $12,9\text{m} - 0,5\text{m} = 14,4\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 4/5^\circ$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 7,2m. De hoogte voor $\pm 1/5^\circ$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 10m. Globale berekening van de waterdiepte bij MHW: $14,4\text{m} - 4/5 \cdot 7,2\text{m} - 1/5 \cdot 10\text{m} = 6,64\text{m} = 6,6\text{m}$

Hoogteprofiel 2 (Waal - Nijmegen)

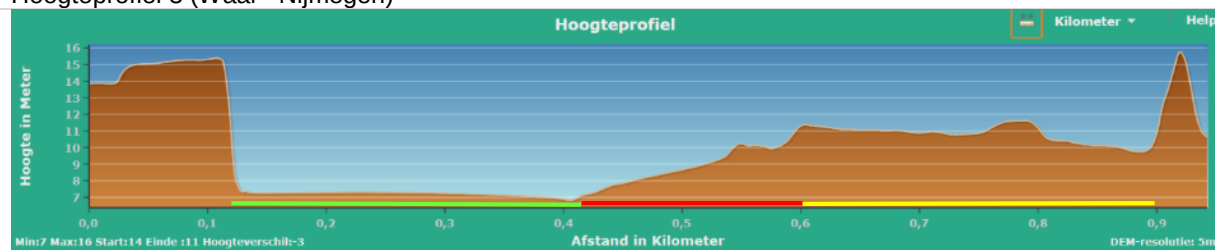


De hoogte van de kade ten zuiden is 12,2m en van de dijk ten noorden is 14,0m. De kade is maatgevend met 14,0m. De kadehoogte minus de waakhoogte: $14,0\text{m} - 0,5\text{m} = 13,5\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 4/7^\circ$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijk en kade ligt wordt geschat op gemiddeld 9m. De hoogte voor $\pm 1/7^\circ$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijk en kade ligt wordt ook geschat op gemiddeld 9m. Het overige deel (rood) wordt geschat op gemiddeld 11m.

De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $13,5\text{m} - 4/7 \cdot 9,2\text{m} - 1/7 \cdot 9\text{m} - 2/7 \cdot 11\text{m} = 3,929\text{m} = 3,9\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Waal - Nijmegen)



De hoogte van de kade ten zuidwesten is 15,2m en van de dijk ten noordoosten is 15,8m. De dijk ten noordoosten is maatgevend met 15,2m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $15,2\text{m} - 0,5\text{m} = 14,7\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 2/5^\circ$ deel (groen) van het gebied dat tussen de waterkeringen ligt wordt geschat op gemiddeld 7,1m. De hoogte voor $\pm 1/5^\circ$ deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 9m. Het overige deel (geel) wordt geschat op gemiddeld 11m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $14,7\text{m} - 2/5 \cdot 7,1\text{m} - 1/5 \cdot 9\text{m} - 2/5 \cdot 10,5\text{m} = 5,86\text{m} = 5,9\text{m}$

Conclusie locaties Waal - Nijmegen

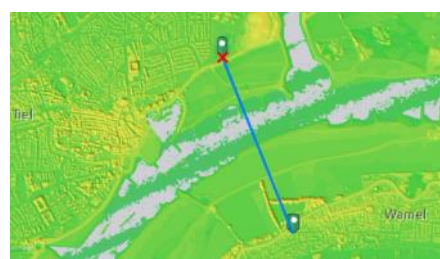
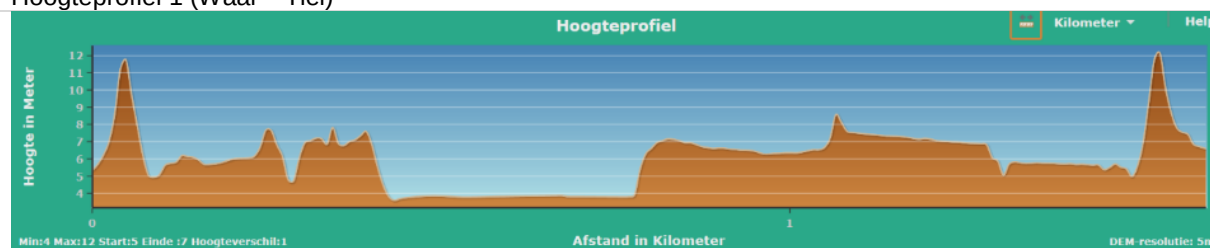
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(6,6+3,9+5,9)/3 = 5,467$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 5,5 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

Locaties Waal – Tiel

Hoogtekaart van Tiel



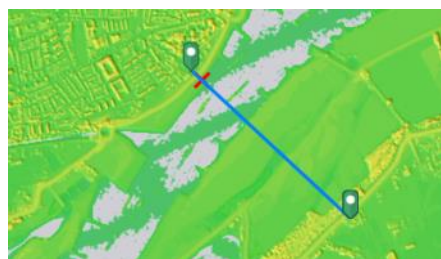
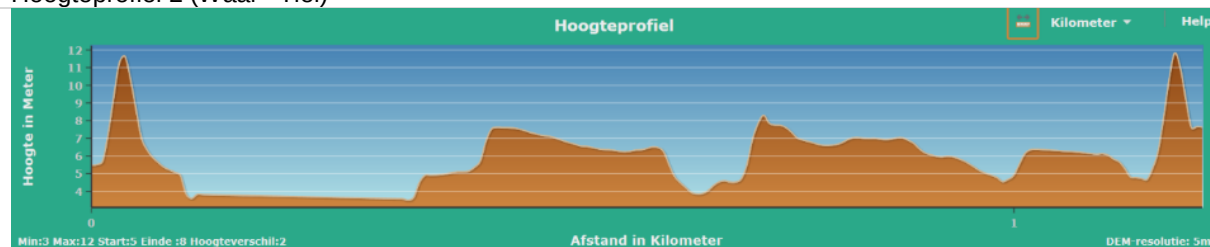
Hoogteprofiel 1 (Waal – Tiel)



De hoogte van de dijk ten noorden is 11,7m en van de dijk ten zuiden is 12,2m. Daarmee is de hoogte van 11,7m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $11,7\text{m} - 0,5\text{m} = 11,2\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/4^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 6,0m. De hoogte voor $\pm 1/4^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,8m. De hoogte voor $\pm 1/3^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 7,0m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 5,5m.

De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11,2\text{m} - 1/4 \cdot 6,0\text{m} - 1/4 \cdot 3,8\text{m} - 1/3 \cdot 7,0\text{m} - 1/6 \cdot 5,5\text{m} = 5,5\text{m}$

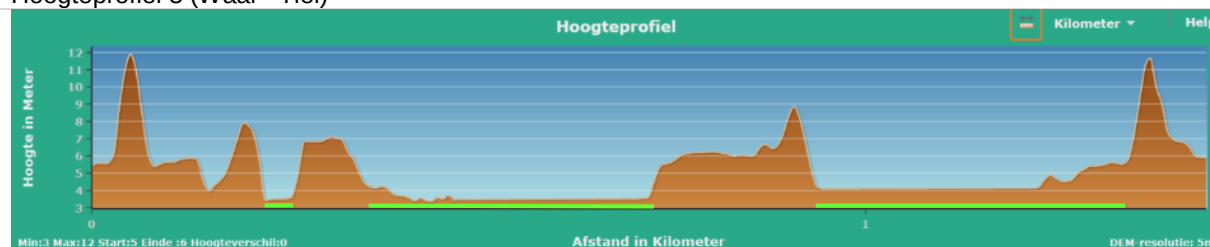
Hoogteprofiel 2 (Waal - Tiel)



De hoogte van de dijk ten noordwesten is 11,7m en van de dijk ten zuidoosten is 11,9m. De dijk ten zuidoosten is maatgevend met 11,7m. De kruinhoogte van de dijk minus de waakhoogte: $11,7\text{m} - 0,5\text{m} = 11,2\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/4^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,8m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 6,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $11,2\text{m} - 1/4 \cdot 3,8\text{m} - 3/4 \cdot 6,5\text{m} = 5,375\text{m} = 5,4\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Waal - Tiel)



De hoogte van de dijk ten noordwesten is 11,9m en van de dijk ten zuidoosten is 11,7m. De dijk ten zuidoosten is maatgevend met 11,7m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $11,7\text{m} - 0,5\text{m} = 11,2\text{m}$. De hoogte voor $\pm 2/3^{\text{e}}$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 4,0m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 6,5m. Globale berekening van de waterdiepte bij MHW: $11,2\text{m} - 2/3 \cdot 4,0\text{m} - 1/3 \cdot 6,5\text{m} = 6,367\text{m} = 6,4\text{m}$

Conclusie locaties Waal – Tiel:

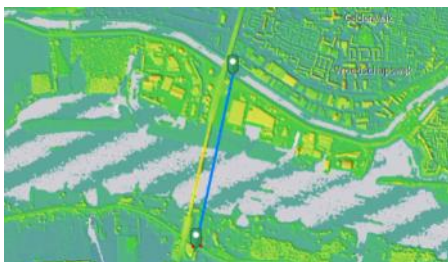
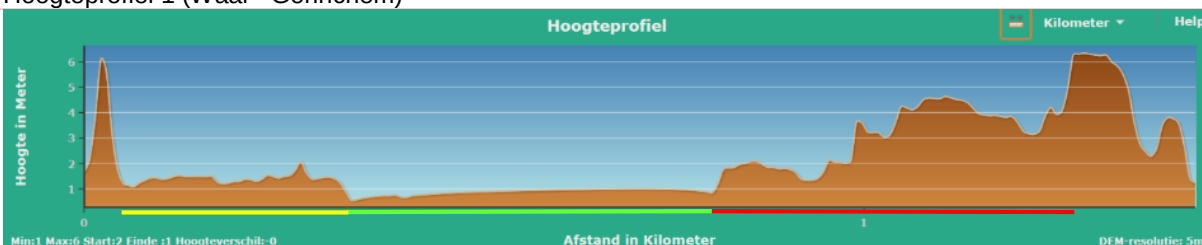
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(5,5 + 5,4 + 6,4)/3 = 5,767$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 5,8 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

Locaties Waal – Gorinchem

Hoogtekaart van Gorinchem

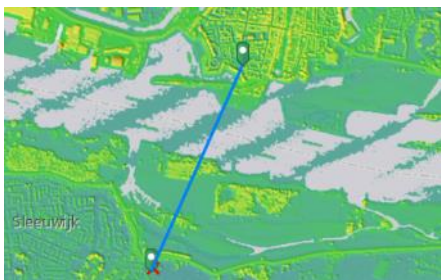
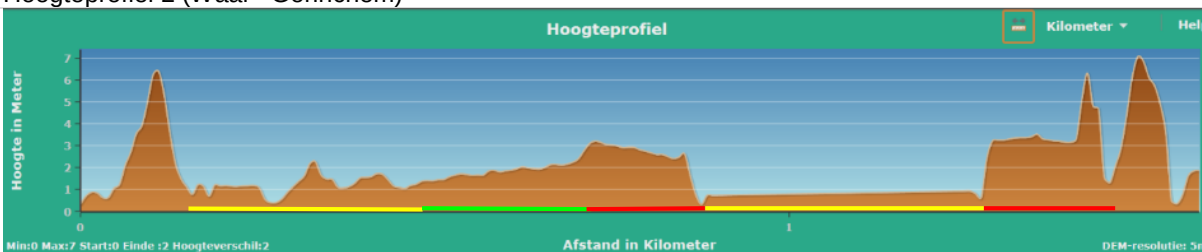


Hoogteprofiel 1 (Waal - Gorinchem)



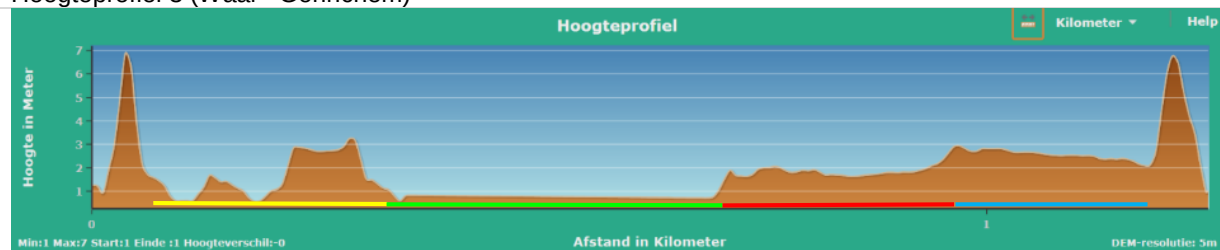
De hoogte van de dijk ten zuiden is 6,1m en van de dijk ten noorden is 6,3m. Daarmee is de hoogte van 6,1m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $6,1\text{m} - 0,5\text{m} = 5,6\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/5^{\circ}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,3m. De hoogte voor $\pm 2/5^{\circ}$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0,9m. De hoogte voor het overige deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $5,6\text{m} - 1/5 \cdot 1,3\text{m} - 2/5 \cdot 0,9\text{m} - 2/5 \cdot 3,5\text{m} = 2,173\text{m} = 2,2\text{m}$

Hoogteprofiel 2 (Waal - Gorinchem)



De hoogte van de dijk ten zuidwesten is 6,2m en van de dijk ten noordoosten is 7,1m. De dijk ten noordoosten is maatgevend met 6,2m. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $6,2\text{m} - 0,5\text{m} = 5,7\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/2^{\circ}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,0m. De hoogte voor $\pm 1/3^{\circ}$ deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,0m. De hoogte voor het overige deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,7m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $5,6\text{m} - 1/2 \cdot 1,0\text{m} - 1/3 \cdot 3,0\text{m} - 1/6 \cdot 1,7\text{m} = 3,817\text{m} = 3,8\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Waal - Gorinchem)



De hoogte van de dijk ten zuiden is 6,9m en van de dijk ten noorden is 6,8m. Daarmee is de hoogte van 6,8m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhoogte: $6,8\text{m} - 0,5\text{m} = 6,3\text{m}$. De hoogte voor $\pm 1/4^{\text{e}}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,8m. De hoogte voor $\pm 1/3^{\text{e}}$ deel (groen) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0,8m. De hoogte voor $\pm 1/4^{\text{e}}$ deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,8m. De hoogte voor het overige deel (blauw) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 2,5m.

De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $6,3\text{m} - 1/4 \cdot 1,9\text{m} - 1/3 \cdot 0,8\text{m} - 1/4 \cdot 1,9\text{m} - 1/6 \cdot 2,5\text{m} = 4,667\text{m} = 4,7\text{m}$

Conclusie locaties Waal – Gorinchem:

Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(2,2+3,8+4,7)/4 = 3,9$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 3,9 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

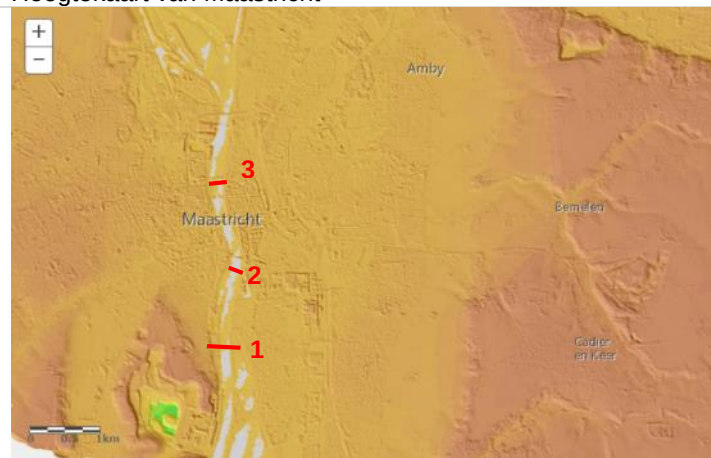
Conclusie Waal

Het gemiddelde van de gemiddelde waterdiepte bij MHW bij drie plaatsen is: $(5,5+5,8+3,9)/3 = 5,067\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 5,1meter, gebaseerd op 9 (=3x3) steekproeven.

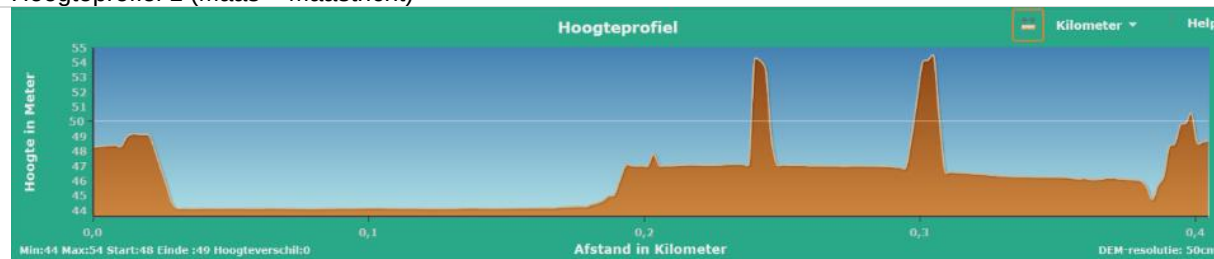
Rivier de Maas

Locaties Maas – Maastricht

Hoogtekaart van Maastricht



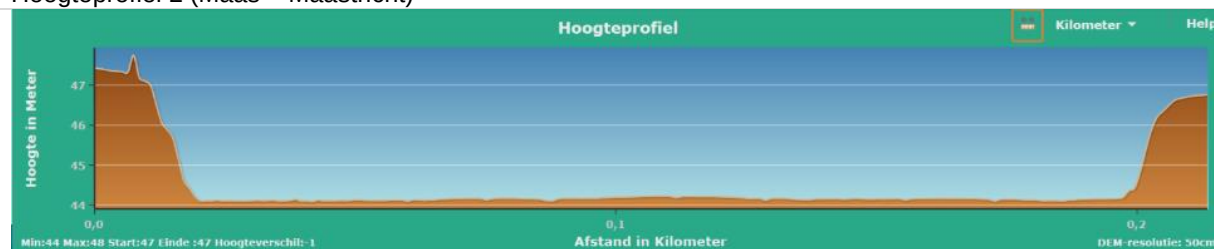
Hoogteprofiel 1 (Maas – Maastricht)



Een opmerking vooraf: de toppen bij 0,24km en 0,31km zijn bomen. De hoogte van de dijk ten westen is 49m en van de hoge grond ten oosten eveneens. Daarmee is de hoogte van 49m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $49\text{m} - 0,5\text{m} = 48,5\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/2^\circ$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 44m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 47,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $48,5\text{m} - 1/2 \cdot 44\text{m} - 1/2 \cdot 47,5\text{m} = 2,75\text{m}$

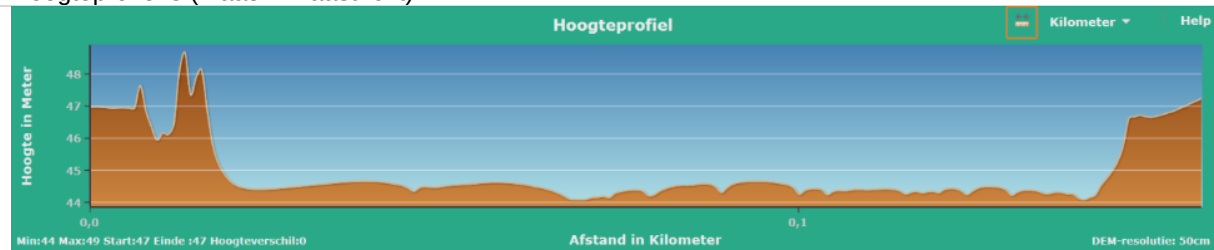
Hoogteprofiel 2 (Maas – Maastricht)



De hoogte van de kade ten noordwesten is 47,4m en van de kade zuidoosten is 46,8m. De kade ten zuidoosten is maatgevend met 46,8m. De kruinhoogte van de dijk minus de waakhogte: $46,8\text{m} - 0,5\text{m} = 46,3\text{m}$.

De hoogte voor van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 44,1m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 6,5m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $46,3\text{m} - 44,1\text{m} = 2,2\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Maas – Maastricht)



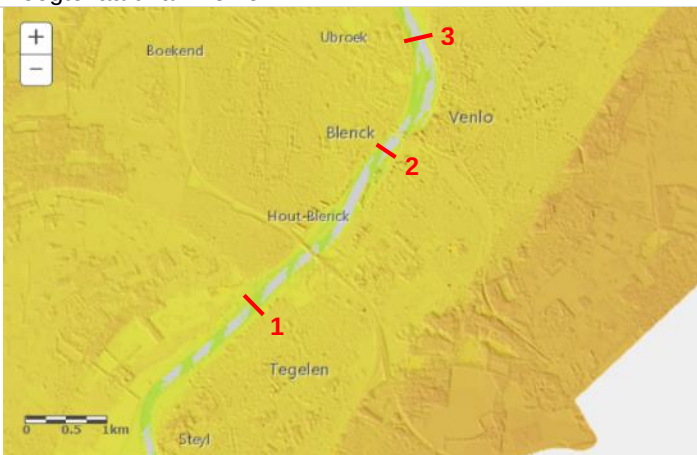
De hoogte van de kade ten westen is 47m en ten oosten loopt de grond op tot boven de 47m. Daarmee is de hoogte van 47m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $47\text{m} - 0,5\text{m} = 46,5\text{m}$. De hoogte van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 44,3m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $47,5\text{m} - 44,3\text{m} = 3,2\text{m}$

Conclusie locaties Maas – Maastricht:

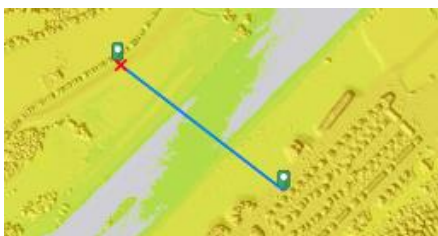
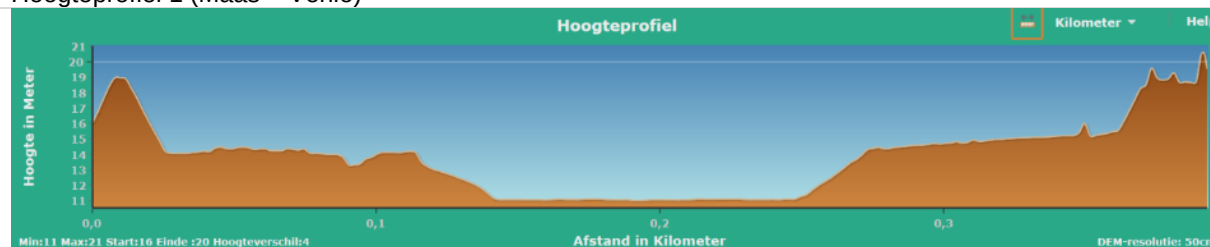
Het gemiddelde van waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(2,8+2,2+3,2)/3 = 2,733$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 2,7 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

Locaties Maas – Venlo

Hoogtekaart van Venlo



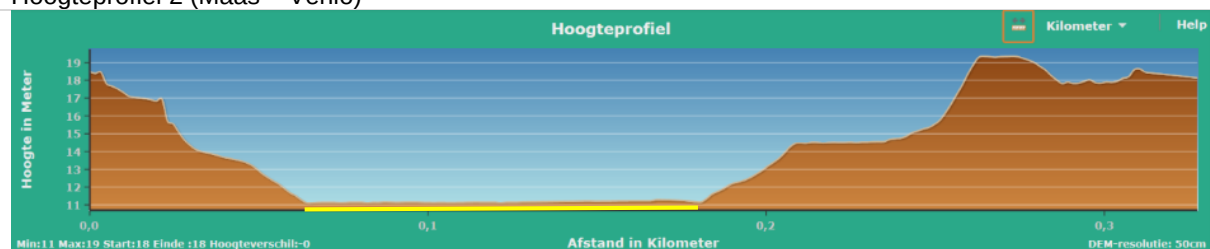
Hoogteprofiel 1 (Maas – Venlo)



De hoogte van de dijk ten westen is 19m en van de hoge grond ten oosten eveneens. Daarmee is de hoogte van 19m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $19\text{m} - 0,5\text{m} = 18,5\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/3^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 11m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 14m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $18,5\text{m} - 1/3 \cdot 11\text{m} - 2/3 \cdot 14\text{m} = 6,833\text{m} = 6,8\text{m}$

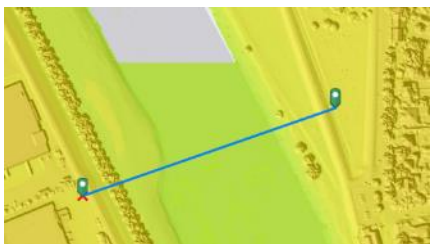
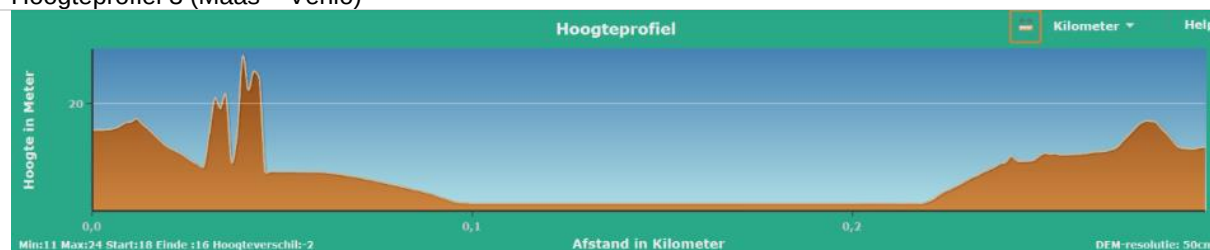
Hoogteprofiel 2 (Maas – Venlo)



De hoogte van de waterkering ten westen is maatgevend met 18,5m. De 'kruinhoogte' minus de waakhogte: $18,5\text{m} - 0,5\text{m} = 18,0\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/2^{\text{e}}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 11,1m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 14m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $18,0\text{m} - 1/2 \cdot 11,1\text{m} - 1/2 \cdot 14\text{m} = 5,45\text{m} = 5,5\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Maas – Venlo)



De hoogte van de waterkering aan weerskanten is 18,5m. Daarmee is de maatgevende hoogte 18,5m. De 'kruinhoogte' minus de waakhogte: $18,5\text{m} - 0,5\text{m} = 18,0\text{m}$.

De hoogte voor $\pm 1/2^{\text{e}}$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 11,0m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 15m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $18\text{m} - 1/2 \cdot 11\text{m} - 1/2 \cdot 15\text{m} = 5\text{m}$

Conclusie locaties Maas – Venlo:

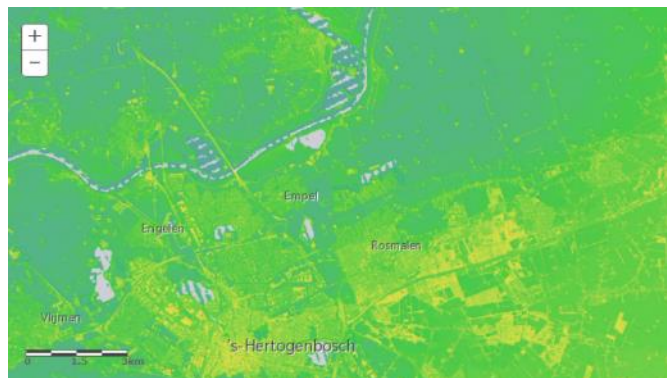
Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(6,8+5,5+5)/3 = 5,767\text{m} = 5,8\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 5,8 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

Locaties Maas – 's Hertogenbosch

Hoogtekaarten van de Maas bij 's Hertogenbosch. In de bovenste kaart zijn de locaties van de doorsneden aangegeven. De kaart daaronder is naast de Maas ook 's Hertogenbosch weergegeven.

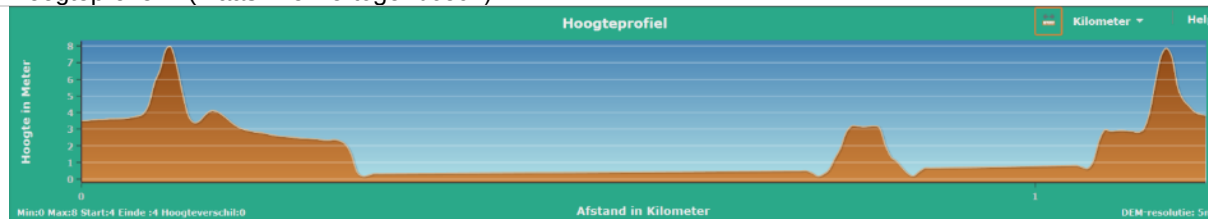


Hoogtekaart met doorsneden



Hoogtekaart ter informatie aangaande de ligging rivier ten opzichte van 's Hertogenbosch

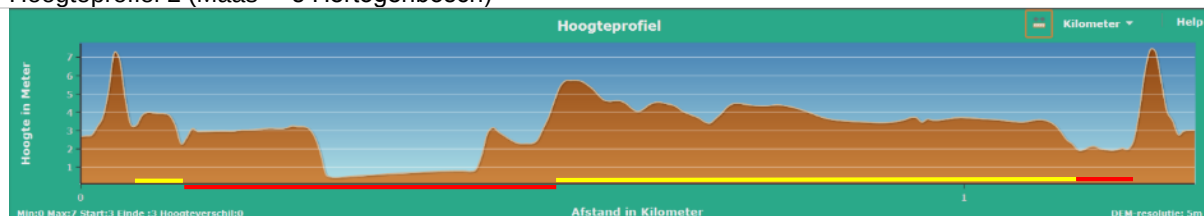
Hoogteprofiel 1 (Maas – 's Hertogenbosch)



De hoogte van de dijk ten noordwesten is 8,0m en van de dijk ten zuidoosten 7,9. Daarmee is de hoogte van 7,0m maatgevend. De kruinhoogte minus de waakhogte: $7,9\text{m} - 0,5\text{m} = 7,4\text{m}$.

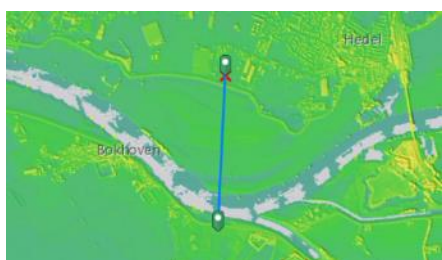
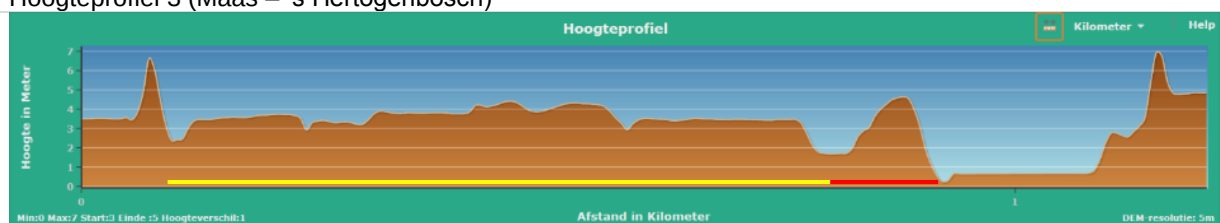
De hoogte voor $\pm 2/3^\circ$ deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 0,5m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 4,0m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $7,4\text{m} - 2/3 \cdot 0,5\text{m} - 1/3 \cdot 4,0\text{m} = 5,733\text{m} = 5,7\text{m}$

Hoogteprofiel 2 (Maas – 's Hertogenbosch)



De hoogte van de dijk ten noordwesten is 7,2m en van de dijk ten zuidoosten 7,4. Daarmee is de hoogte van 7,2m maatgevend. De 'kruinhoogte' minus de waakhoogte: $7,2\text{m} - 0,5\text{m} = 6,7\text{m}$. De hoogte voor $\pm 3/5^{\text{e}}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 4m. De hoogte voor het overige deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 2m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $6,7\text{m} - 3/5 \cdot 4\text{m} - 2/5 \cdot 2\text{m} = 3,5\text{m}$

Hoogteprofiel 3 (Maas – 's Hertogenbosch)



De hoogte van de dijk ten noorden is 6,6m en van de dijk ten zuiden 7,0. Daarmee is de hoogte van 6,6m maatgevend. De 'kruinhoogte' minus de waakhoogte: $6,6\text{m} - 0,5\text{m} = 6,1\text{m}$. De hoogte voor $\pm 2/3^{\text{e}}$ deel (geel) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 3,5m. De hoogte voor $\pm 1/6^{\text{e}}$ deel (rood) van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 2,7m. De hoogte voor het overige deel van het gebied dat tussen de dijken ligt wordt geschat op gemiddeld 1,2m. De globale berekening van de waterdiepte bij MHW is: $6,1\text{m} - 2/3 \cdot 3,5\text{m} - 1/6 \cdot 2,7 - 1/6 \cdot 1,2 = 3,117\text{m} = 3,1\text{m}$

Conclusie locaties Maas – 's Hertogenbosch:

Het gemiddelde van de waterdiepte bij MHW bij drie locaties is: $(5,7+3,5+3,1)/3 = 4,1\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 4,1 meter, gebaseerd op deze 3 steekproeven.

Conclusie Maas

Het gemiddelde van de gemiddelde waterdiepte bij MHW bij drie plaatsen is: $(2,7+5,8+4,1)/3 = 4,2\text{m}$. De waterdiepte bij MHW ligt dus gemiddeld rond de 4,2 meter, gebaseerd op 9 (=3x3) steekproeven.

E. Bijlage windsnelheid

Naam meetstation	Windsnelheid eens per 10 jaar [m/s] volgens aangepast RW-model (Smits, 2001)	Binnen 10 km tot de Noordzee, de Waddenzee of het IJsselmeer
Valkenburg	23,5	Ja
L.S. Texel	27	Ja
IJmuiden	24,5	Ja
Texelhors	25,5	Ja
De Kooy	24	Ja
Schiphol	24	Nee (<20km)
Wijdenes	21	Ja
Terschelling	25,5	Ja
K13	26,5	Ja
Noordwijk	26	Ja
De Bilt	18	Nee (>20km)
Soesterberg	19	Nee (>20km)
Stavoren	23,5	Ja
Houtrib	23,5	Ja
Lelystad	23	Ja
Leeuwarden	23	Ja
Markenese	20,5	Nee (<20km)
Deelen	20,5	Nee (>20km)
Lauersoog	25,5	Ja
Eelde	21	Nee (>20km)
Huibertgat	26	Ja
Twenthe	17	Nee (>20km)
Cadzand	24	Ja
Vlissingen	22	Ja
Goeree	25,5	Ja
Europlatform	26	Ja
Hoek van Holland	24	Ja
Zestienhoven	22	Nee (<20km)
Gilze-Rijen	20	Nee (>20km)
Herwijnen	21,5	Nee (>20km)
Eindhoven	20	Nee (>20km)
Vonkel	18,5	Nee (>20km)
Beek	19	Nee (>20km)
<i>Gemiddelde</i>	<i>22,74</i>	<i>n.v.t.</i>
<i>Gemiddelde (kust)</i>	<i>24,48</i>	<i>n.v.t.</i>
<i>Gemiddelde (binnenland)</i>	<i>20,15 (on-afgerond 20,145...)</i>	<i>n.v.t.</i>
<i>Percentage</i>	<i>n.v.t.</i>	<i>61% ja en 39% nee</i>

F. Bijlage methode voor strijklengtes

Langs de grote rivieren zijn dus locaties gesitueerd om de 100 meter op de rand van de rivieren inclusief uiterwaarden (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, RWS, 2016). Hoe voor deze locaties de strijklengte is bepaald met behulp van ArcGIS en Excel wordt hier toegelicht.

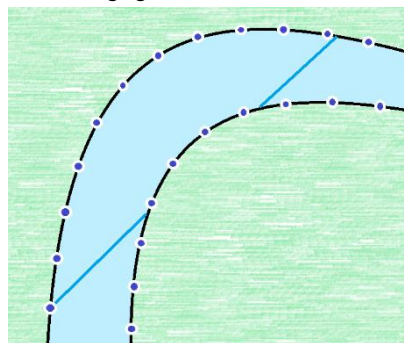
Voor deze locaties zijn lijnen gemaakt op 45, 90 en 135 graden die geknipt zijn aan de andere kant van de rivier (zie Figuur 7). In bochten kunnen relatief lange strijklengtes ontstaan.

In de tabel bij de kaart staat veel informatie. In de eerste plaats de informatie die nodig is om de data te verwerken tot de strijklengtes, namelijk: de hoek van de lijn, het punt waarbij de lijn hoort en de lengte van de lijn. Daarnaast is er ook extra informatie zoals de rivier, de beheerder en de provincie, die later in dit onderzoek relevant is.

Langs de grote rivieren zijn locaties gesitueerd om de 100 meter op de rand van de rivieren inclusief uiterwaarden. Voor deze locaties is de strijklengte bepaald met ArcGIS. Dit is als volgt gedaan:

Eerst zijn per punt drie lijnen gemaakt op 45, 90 en 135 graden. Deze lijnen zijn 10 kilometer lang. Deze lengte wordt beschouwd als een strijklengte die in Nederland niet of nauwelijks voorkomt. Dit is bepaald op basis van schattingen met een kaart met de rivieren en uiterwaarden van de grote rivieren. Uit de resultaten blijkt dat dit een goede inschatting is geweest, aangezien daarin geen strijklengtes zijn van 10 kilometer.

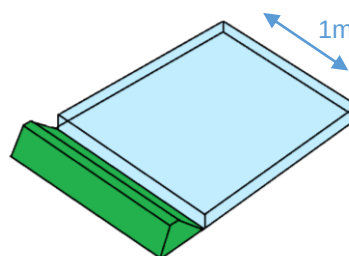
Vervolgens zijn deze lijnen geknipt op de rand van de polygoon met rivieren en uiterwaarden (met de functies 'clip' en 'explode'). Alleen de delen van de lijnen binnen de rivier blijven daarbij behouden. Vervolgens zijn er bij bochten in de rivier, nog lijnen die niet snijden met een punt op de rand van de rivier. In Figuur 35 is een voorbeeld te zien. De onderste lijn is verbonden met een punt en de bovenste lijn niet. De lijnen die niet samenvallen met een punt zijn weggehaald. In de tabel kun je nu van alle lijnen de lengte zien. In de tabel staat per lijn bij welk punt de lijn hoort en op hoeveel graden de lijn staat. Deze informatie is in Excel geordend per punt. Tot slot is met die informatie de strijklengte per punt berekend met formule 2 (zie paragraaf 2.2).



Figuur 35: Lijnen geknipt bij een bocht

G. Bijlage rekenvoorbeeld volume water door golfoverslag

Aangenomen wordt dat het golfoverslagdebiet 5 l/s per strekkende meter is en de duur van de golfoverslag 48 uur is. De duur kan worden omgerekend in seconde: 48 uur = 48 * 3600 seconde = 172800 seconde. Het debiet kan worden omgerekend naar m³/s/m: 5 l/s/m = 5 dm³/s/m = 5*10⁻³ m³/s/m. Per strekkende meter is de volgende hoeveelheid water in 48 uur over de dijk geslagen: 5 * 10⁻³ m³/s/m * 172800 s = 864 m³/m.



Figuur 36: Schets vereenvoudiging rekenvoorbeeld golfoverslag

Stel dat het water zich verdeelt met gelijke breedte, lengte en hoogte. Zie Figuur 36. Deze vereenvoudiging is uiteraard niet realistisch, maar kan een enig inzicht geven over de omvang. Neem 864 m³/m; per strekkende meter dijk (lengte) is er een volume van 864m³ achter de dijk. Bij de diepte 1 meter is, is de breedte dan 864 meter. Zie Tabel 20 voor meer combinaties van dieptes en breedtes.

Een afstand van 500 meter lijkt in vergelijking met de waarden uit Tabel 20 een aanzienlijke onderschatting. Echter is in dit rekenvoorbeeld geen rekening gehouden met de afvoer via oppervlakte water. In de casestudie van Zutphen is gebleken dat tot 5 liter per seconde nauwelijks overlast ontstaat, met name dankzij de afvoer via het oppervlakte water.

Diepte [meter]	Breedte [meter]
0,25	3456
0,50	1728
0,75	1152
1,00	864
1,25	691

Tabel 20: Breedte en diepte bij 864m³/m

H. Bijlage plaatsen Multicriteria analyse A1 en A2

Indeling rivieren

In Tabel 21 is te zien, dat van langs sommige rivieren veel plaatsen gelegen zijn en langs andere plaatsen maar enkele. Dit maakt het interessant om de rivieren in te delen in categorieën. Om te komen tot een geschikte categorisering is het van belang te weten hoeveel plaatsen er langs de rivier liggen en hoeveel er binnen de selectie vallen zijn (zie Tabel 21) en welke rivieren in elkaars verlengde liggen (zie Figuur 37).



Figuur 37: Grote rivieren in Nederland, met enkele relatieve afvoeren (Ministerie van V&W, Ministerie van VROM en Ministerie van LNV, 2009)

Rivier	Aantal plaatsen langs de rivier waar een strijklengte groter dan 0,5 m kan optreden	Aantal plaatsen langs de rivier binnen een straal van 100 m
IJssel	12	36
Lek	10	27
Neder-Rijn	15	18
Pannerdensch kanaal	5	5
(Boven-)Rijn	2	3
Waal	43	46
Boven-Merwede	7	7
Maas	84	132
Bergsche Maas	2	10
Overige rivieren*	0	2
Totaal	180	286

Tabel 21: Aantal plaatsen per rivier voor en na selectie op golfhoogte

* De grote rivieren zijn op sommige plaatsen te ruim geselecteerd. Bijvoorbeeld op plaatsen waar een beek uitstroomt in een rivier. In het vervolg vallen de bebouwde kommen langs deze rivieren automatisch af.

De categorisering is weergegeven in Tabel 22. Hierin is ook een kolom met het beoogde aantal plaatsen voor de ranglijst.

Categorie	Rivieren	Aantal plaatsen voor ranglijst (beoogd)
IJssel	IJssel	3
Neder-Rijn & Lek	Lek, Neder-Rijn en Pannerdensch kanaal	5
Waal & Rijn	Waal en (Boven-)Rijn	5
Maas	Maas en Bergsche Maas	5

Tabel 22: Categorieën rivieren voor indeling resultaten MCA

Toelichting per categorie:

- **Maas.** De Bergsche Maas ligt in het verlengde van de Maas en er zijn slechts 2 locaties als input voor Multicriteria analyse 1. De Bergsche Maas en Maas zijn daarom samengenomen in een categorie. Er liggen geen andere rivieren (van de selectie) in het verlengde van de Maas en Bergsche Maas, daarom is gekozen geen andere rivieren toe te voegen aan deze categorie.
- **Neder-Rijn & Lek.** De rivieren Lek en Neder-Rijn hebben doorgaans ongeveer evenveel debiet, daarom zijn deze samengenomen. Het Pannerdensch kanaal ligt in het verlengde van de (Boven-)Rijn en loopt uit in de Neder-Rijn en de IJssel. Wat betreft debiet ligt deze rivier het dichtste bij de Neder-Rijn. Daarbij zou het samenvoegen van het Pannerdensch kanaal en de Boven-Rijn leiden tot een kleine categorie. Daarom is gekozen het Pannerdensch kanaal toe te voegen aan de categorie met de Neder-Rijn en Lek.
- **IJssel.** De IJssel zou ook samengenomen kunnen worden met het Pannerdensch kanaal. Wat betreft de verhouding in de verdeling met afvoeren past het Pannerdensch kanaal beter in de categorie samen met de Neder-Rijn en Lek. Aangezien de IJssel niet verbonden is met andere grote rivieren, is gekozen de IJssel afzonderlijk te zien als categorie.
- **Waal & Rijn.** In Nederland liggen weinig plaatsen langs de Rijn. Daarom is het interessant om deze samen te voegen. De enige rivier die in het verlengde ligt en nog over is, is de Waal. Van de Rijnafvoer gaat circa twee-derde deel naar de Waal en circa een-derde deel naar het Pannerdensch kanaal. Wat betreft de afvoer is het daarom ook een goede keuze om de Waal en Rijn als een categorie te kiezen.

Bij de keuze voor het aantal plaatsen voor de ranglijst is haalbaarheid in tijd meegenomen. Een ranglijst maken met meer plaatsen kost meer tijd. (Vooral omdat per locatie moet worden bekeken of er een kade is.) Dit is een reden om het aantal locaties te beperken tot ongeveer 5 per rivier. Bij de IJssel zijn maar 12 plaatsen, wat in vergelijking met de andere categorieën is dat relatief laag. Voor de IJssel worden daarom een ranglijst met 3 locaties opgesteld.

Uitwerking plaatsen input A1 en A2

In de tabel is het beoogde aantal plaatsen voor de ranglijst per rivier opgenomen. Dit is dus niet het definitieve aantal plaatsen. Allereerst zijn op basis van Multicriteria analyse 1 voor de IJssel drie locaties met de hoogste gewogen scores geselecteerd en voor de andere rivieren vijf locaties met de hoogste gewogen scores (zie Tabel 23).

Rang MCA 1	IJssel		Lek & Neder-Rijn		Waal & Merwede		(Bergsche) Maas	
	Plaats	Score	Plaats	Score	Plaats	Score	Plaats	Score
1	Deventer	0.872	Vianen	0.810	Haaften	0.853	Gennep	0.912
2	Giesbeek	0.867	Rijswijk	0.809	Millingen aan de Rijn	0.835	Grave	0.831
3	Rheden	0.813	Arnhem	0.784	Woudrichem	0.774	Maasbracht	0.776
4	-	-	Renkum	0.761	Ochten	0.766	Wessem	0.745
5	-	-	Lexmond	0.744	Tolkamer	0.734	Linne	0.743

Tabel 23: Voorlopige ranglijsten MCA 1 per rivier volgens eerste opzet

Vervolgens is een lijst gemaakt met de gewogen scores van alle rivieren van hoog naar laag met de plaatsen uit de ranglijsten per rivier. Deze lijst bevat de plaats met de hoogste gewogen score (Gennep) en de plaats met de laagste gewogen score (Tolkamer) en alle tussenliggende plaatsen. Dit leidt ertoe dat de MCA voor twee plaatsen meer moeten worden uitgevoerd dan voor de ranglijsten per rivier: Doesburg en Heerwaarden. Aangezien de informatie voor deze plaatsen toch verzameld is, worden deze ook toegevoegd aan de ranglijsten per rivier.

Bij het verzamelen van informatie blijkt dat niet alle plaatsen beschermt worden door een waterkering, namelijk Rheden, Renkum, Maasbracht en Wessum niet. Deze plaatsen krijgen daarom de score 0 toegekend (er zijn geen gevolgen te verwachten veroorzaakt door golfoverslag) en zijn niet opgenomen in de uiteindelijke ranglijsten. In Tabel 24 is de ranglijst met plaatsen per rivier te zien voor MCA A1 met bijbehorende gewogen scores. Deze plaatsen vormen de input voor Multicriteria analyse A2.

Rang MCA 1	IJssel		Lek & Neder-Rijn		Waal & Merwede		(Bergsche) Maas	
	Plaats	Score	Plaats	Score	Plaats	Score	Plaats	Score
1	Deventer	0.872	Vianen	0.810	Haften	0.853	Gennep	0.912
2	Giesbeek	0.867	Rijswijk	0.809	Millingen aan de Rijn	0.835	Grave	0.831
3	Doesburg	0.781	Arnhem	0.784	Woudrichem	0.774	Wessem	0.745
4	-	-	Lexmond	0.744	Ochten	0.766	Heerewaarden	0.742
5	-	-	-	-	Tolkamer	0.734	-	-

Tabel 24: Definitieve ranglijsten MCA 1 per rivier

I. Gevoeligheidsanalyse ranglijsten

De gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd voor Multicriteria analyse A2 met drie typen variaties: de gewichten, de factor aantal panden en de factor percentage verharding. De ranglijsten die het resultaat zijn van deze gevoeligheidsanalyses zijn in deze bijlage weergegeven.

Variatie in de gewichten

In Tabel 25 is de ranglijst van variatie 1 (gewichten) opgenomen en in Tabel 26 de ranglijst van variatie 2 (gewichten). Variant 3 (gewichten) is identiek aan de nul-variant. In de ranglijsten zijn plaatsen met een kade onderstreept.

Rang variant 1	Rang nul-variant	Verschil in rang	Plaats	Score variant 1
1	1	0	<u>Deventer</u>	0.91
2	5	+3	<u>Wessem</u>	0.86
3	2	-1	<u>Arnhem</u>	0.85
4	3	-1	<u>Doesburg</u>	0.85
5	4	-1	<u>Woudrichem</u>	0.83
6	6	0	<u>Tolkamer</u>	0.82
7	9	+2	Haaften	0.67
8	8	0	Giesbeek	0.67
9	7	-2	Gennep	0.66
10	12	+2	Vianen	0.63
11	11	0	Grave	0.63
12	10	-2	Millingen aan de Rijn	0.63
13	13	0	Rijswijk	0.60
14	14	0	Ochten	0.59
15	16	+1	Heerewaarden	0.59
16	15	-1	Lexmond	0.59

Tabel 25: Ranglijst variant 1 op gewichten

Rang variant 2	Rang nul-variant	Verschil in rang	Plaats	Score variant 2
1	1	0	<u>Deventer</u>	0.90
2	4	+2	<u>Woudrichem</u>	0.83
3	2	-1	<u>Arnhem</u>	0.83
4	3	-1	<u>Doesburg</u>	0.82
5	6	+1	<u>Tolkamer</u>	0.79
6	5	-1	<u>Wessem</u>	0.76
7	7	0	Gennep	0.71
8	8	0	Giesbeek	0.63
9	10	+1	Millingen aan de Rijn	0.63
10	13	+3	Rijswijk	0.62
11	11	0	Grave	0.61
12	9	-3	Haaften	0.61
13	12	-1	Vianen	0.58
14	14	0	Ochten	0.56
15	15	0	Lexmond	0.53
16	16	0	Heerewaarden	0.52

Tabel 26: Ranglijst variant 2 op gewichten

Variatie in de factor aantal panden

In Tabel 27 staat de ranglijst van de variant waarbij in de factor aantal panden het aantal panden tot 250 meter is genomen in plaats van tot 500 meter (beide per van de wortel van de oppervlakte van de bebouwde kom). Tabel 28 bevat de ranglijst van de variant waarbij het aantal panden tot 750 meter is gebruikt. In Tabel 29 is als factor voor het aantal panden het aantal panden dichtbij de dijk vaker meegeteld dan panden verder van de dijk. In Tabel 30 wordt een overzicht gegeven van de resultaten. Hierbij verschillende rangen die blauw zijn. De plaatsen die onderstreept zijn, hebben een kade.

Rang variant 'panden 250m'	Rang nul-variant	Verschil in rang	Plaats	Score variant 'panden 250m'
1	5	+4	<u>Wessem</u>	0.85
2	6	+4	<u>Tolkamer</u>	0.82
3	1	-2	<u>Deventer</u>	0.81
4	4	0	<u>Woudrichem</u>	0.79
5	3	-2	<u>Doesburg</u>	0.75
6	2	-4	<u>Arnhem</u>	0.74
7	9	+2	Haaften	0.63
8	8	0	Giesbeek	0.56
9	7	-2	Gennep	0.54
10	12	+2	Vianen	0.50
11	15	+4	Lexmond	0.49
12	11	-1	Grave	0.49
13	16	+3	Heerewaarden	0.49
14	10	-4	Millingen aan de Rijn	0.45
15	14	-1	Ochten	0.44
16	13	-3	Rijswijk	0.44

Tabel 27: Ranglijst variant 1 panden tot 250 meter afstand tot de rivier inclusief uiterwaarden

Rang variant 'panden 750m'	Rang nul-variant	Verschil in rang	Plaats	Score variant 'panden 750m'
1	1	0	<u>Deventer</u>	0.91
2	2	0	<u>Arnhem</u>	0.91
3	3	0	<u>Doesburg</u>	0.89
4	4	0	<u>Woudrichem</u>	0.83
5	5	0	<u>Wessem</u>	0.78
6	6	0	<u>Tolkamer</u>	0.77
7	7	0	Gennep	0.61
8	13	+5	Rijswijk	0.59
9	11	+2	Grave	0.56
10	12	+2	Vianen	0.55
11	10	-1	Millingen aan de Rijn	0.54
12	14	+2	Ochten	0.52
13	8	-5	Giesbeek	0.51
14	9	-5	Haaften	0.50
15	15	0	Lexmond	0.46
16	16	0	Heerewaarden	0.44

Tabel 28: Ranglijst variant 2 panden tot 750 meter afstand tot de rivier inclusief uiterwaarden

Rang variant 'panden som'	Rang nul-variant	Verschil in rang	Plaats	Score variant 'panden som'
1	1	0	<u>Deventer</u>	0.88
2	2	0	<u>Arnhem</u>	0.84
3	3	0	<u>Doesburg</u>	0.83
4	4	0	<u>Woudrichem</u>	0.82
5	5	0	<u>Wessem</u>	0.82
6	6	0	<u>Tolkamer</u>	0.80
7	7	0	Gennep	0.58
8	9	+1	Haaften	0.57
9	8	-1	Giesbeek	0.55
10	11	+1	Grave	0.53
11	12	+1	Vianen	0.53
12	13	+1	Rijswijk	0.52
13	10	-3	Millingen aan de Rijn	0.52
14	14	0	Ochten	0.49
15	15	0	Lexmond	0.48
16	16	0	Heerewaarden	0.47

Tabel 29: Ranglijst variant 3 panden een som met verschillende afstand tot de rivier inclusief uiterwaarden

Plaatsen	Rang nul-variant 'panden 500m'	Rang variant 1 'panden 250m'	Rang variant 2 'panden 750m'	Rang variant 3 'panden som'
Deventer	1	3	1	1
Arnhem	2	6	2	2
Doesburg	3	5	3	3
Woudrichem	4	4	4	4
Wessem	5	1	5	5
Tolkamer	6	2	6	6
Gennep	7	9	7	7
Giesbeek	8	8	13	9
Haaften	9	7	14	8
Millingen aan de Rijn	10	14	11	13
Grave	11	12	9	10
Vianen	12	10	10	11
Rijswijk (GLD)	13	16	8	12
Ochten	14	15	12	14
Lexmond	15	11	15	15
Heerewaarden	16	13	16	16
Gemiddeld absoluut verschil		2,375	1,375	0,5

Tabel 30: Overzicht variaties op afstand panden tot rivier met uiterwaarden

Variatie in de factor percentage verharding

In Tabel 29 staat de ranglijst van de variant waarbij in de factor percentage verharding een hogere schatting is gedaan voor de percentages verharding voor de verschillende landgebruik types. De ranglijst van de variant waarbij een lagere schatting is gedaan voor het percentage verharding is te zien in Tabel 30.

Rang variant 'hogere schatting verharding'	Rang nul-variant	Vershil in rang	Plaats	Score variant 'hogere schatting verharding'
1	1	0	<u>Deventer</u>	0.91
2	3	+1	<u>Doesburg</u>	0.85
3	2	-1	<u>Arnhem</u>	0.85
4	4	0	<u>Woudrichem</u>	0.84
5	5	0	<u>Wessem</u>	0.82
6	6	0	<u>Tolkamer</u>	0.82
7	7	0	Gennep	0.60
8	8	0	Giesbeek	0.58
9	9	0	Haaften	0.57
10	10	0	Millingen aan de Rijn	0.55
11	11	0	Grave	0.55
12	12	0	Vianen	0.53
13	13	0	Rijswijk	0.53
14	14	0	Ochten	0.51
15	15	0	Lexmond	0.50
16	16	0	Heerewaarden	0.49

Tabel 31: Ranglijst variant hogere schatting voor verharding

Rang variant 'lagere schatting verharding'	Rang nul-variant	Vershil in rang	Plaats	Score variant 'lagere schatting verharding'
1	1	<u>0</u>	<u>Deventer</u>	0.92
2	2	<u>0</u>	<u>Arnhem</u>	0.86
3	3	<u>0</u>	<u>Doesburg</u>	0.86
4	4	<u>0</u>	<u>Woudrichem</u>	0.85
5	5	<u>0</u>	<u>Wessem</u>	0.83
6	6	<u>0</u>	<u>Tolkamer</u>	0.83
7	7	0	Gennep	0.61
8	8	0	Giesbeek	0.58
9	9	0	Haaften	0.57
10	10	0	Millingen aan de Rijn	0.56
11	11	0	Grave	0.55
12	13	+1	Rijswijk	0.54
13	12	-1	Vianen	0.54
14	14	0	Ochten	0.51
15	15	0	Lexmond	0.50
16	16	0	Heerewaarden	0.50

Tabel 32: Ranglijst variant lagere schatting voor verharding