



Waterschap
Rivierenland

Gevoeligheidsanalyse Piping

Zaltbommel en Nijmegen

*sterke dijken
schoon water*



Waterschap Rivierenland

Versie: 2

Datum: 19 maart 2018

Colofon

Nr.	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Vrijgave	Paraaf
		Nander van der Plicht					
		Frank Smorenburg					
		Orin van Loon					

Inhoud

1	INLEIDING	6
1.1	Achtergrond	6
1.2	Locaties	6
2	UITGANGSPUNTEN	8
2.1	Vakindeling.....	8
2.2	Profielen.....	9
2.3	Ondergrondschematisatie	10
2.4	Gegevens 3 ^e toetsronde.....	10
3	VASTSTELLEN REKENPARAMETERS	11
3.1	Toetspeil.....	11
3.2	Voorland.....	11
3.3	Dijkzate en uittredepunt.....	13
3.4	Polderpeil	13
3.5	Dikte deklaag achterland	13
3.6	Watervoerendpakket.....	14
3.7	70-percentielwaarde van de korrelverdeling	15
4	BEREKENINGEN	17
5	RESULTATEN.....	18
6	D-GEO FLOW BEREKENINGEN	21
6.1	Gevoeligheidsstudie.....	21
6.2	Uitgangspunten.....	21
6.3	Resultaten D-Geo Flow gevoeligheidsberekening	23
6.4	Vergelijking met stijghoogten Moria	25
7	CONCLUSIES	29
8	BIBLIOGRAFIE	32
9	BIJLAGEN	33

1 Inleiding

In het kader van de POV-Piping wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd met als doel om concreet te maken wat de invloed is van de nieuwe methoden die zijn ontwikkeld binnen het POV-Piping onderzoek. Het voorliggende rapport bevat een toegepaste analyse voor twee locaties binnen het beheersgebied van waterschap Rivierenland: Zaltbommel en Nijmegen.

1.1 Achtergrond

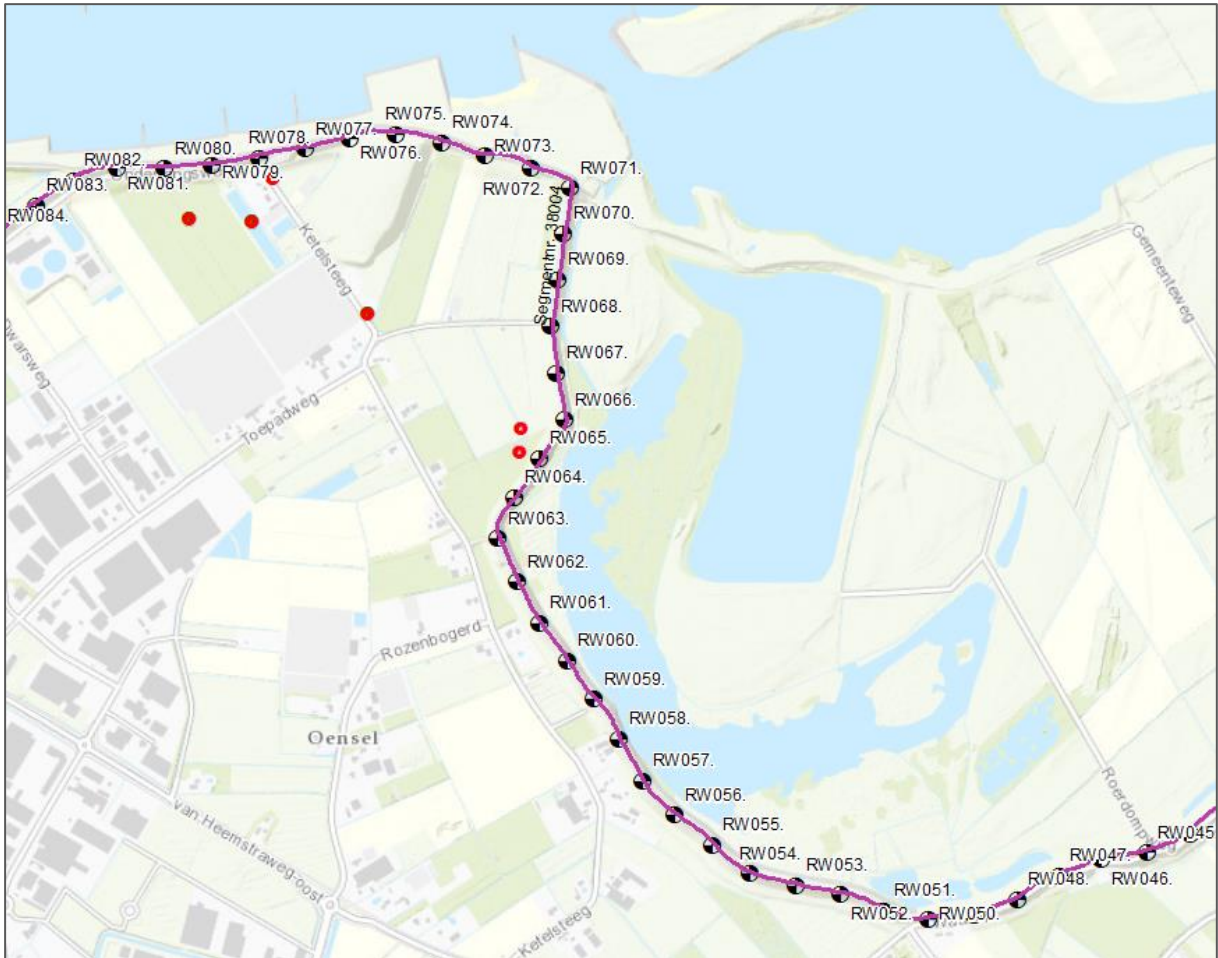
Sinds de 3^e toetsronde is er een grote hoeveelheid kennis ontwikkeld op het gebied van het faalmechanisme piping. Veel van deze kennis is gebundeld in de POV-Piping met als eindproduct het piping portaal (Lit. 2). Belangrijke wijzigingen en aandachtspunten zijn onder andere:

- Toepassing nieuwe Sellmeijerregel (2012).
- Benadering van het faalmechanisme vanuit verschillende vakdisciplines.
- Uitgangspunten en parameters met minimaal 2 specialisten vaststellen (discussie is belangrijk).
- Toepassen van nieuwe modellen zoals D-Geo Flow.
- Gebruik van open-source data, zoals zandbanenkaart, REGIS II, etc.
- Gebruik zowel harde (zoals grondonderzoek) als zachte (beheerders-) informatie.

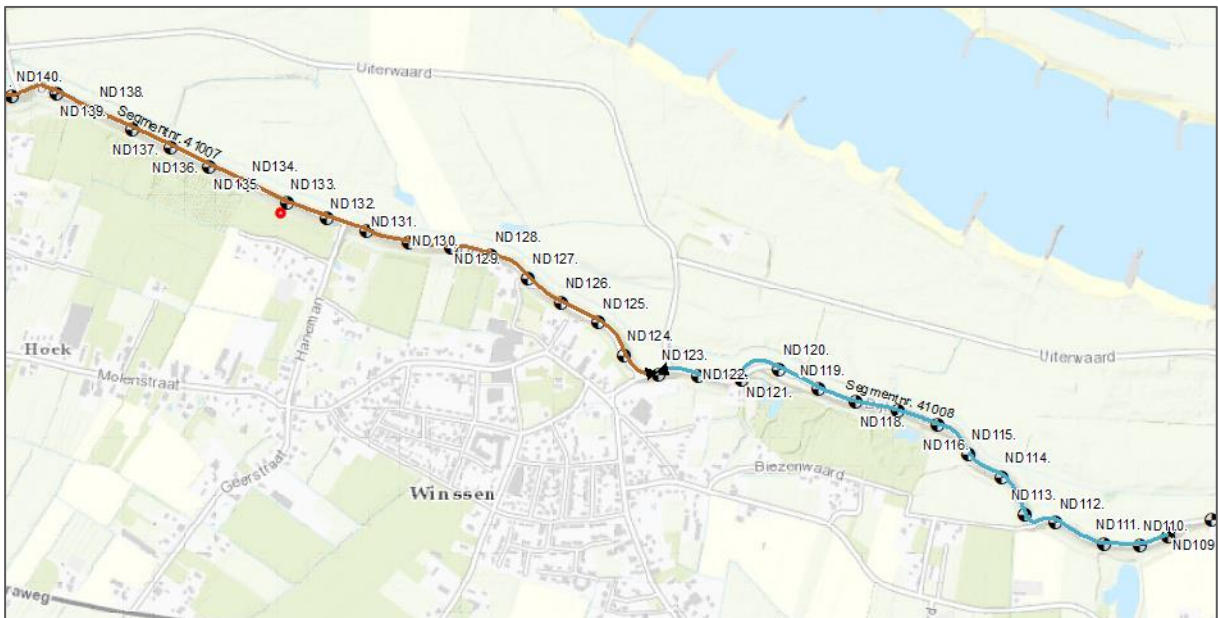
Om na te gaan wat dit piping portaal heeft opgeleverd aan concrete veranderingen voor het ontwerpen van pipingmaatregelen worden bij verschillende dijkbeheerders gevoeligheidsanalyses uitgevoerd. Deze rapportage behandelt de eerste gevoeligheidsanalyse, bij waterschap Rivierenland.

1.2 Locaties

Voor de gevoeligheidsanalyse bij waterschap Rivierenland zijn twee locaties aangewezen die interessant zijn wat betreft piping. De eerste locatie bevindt zich vlakbij Zaltbommel, dijktraject 38-1 van dijkpaal RW050 t/m RW085, zie Figuur 1. Deze locatie is gekozen omdat bij hoogwater in het verleden zandmeevoerende wellen zijn opgetreden, die volgens berekeningen niet kunnen optreden bij de gemeten waterstanden. Deze zandmeevoerende wellen zijn aangegeven met behulp van rode puntjes op de kaart. De tweede locatie is gekozen ten westen van Nijmegen, dijktraject 41-2 van dijkpaal ND110 t/m ND140, zie Figuur 2. Deze locatie is gekozen op basis van de verschillende zandbanen die dwars onder de dijk doorlopen. Er zijn zandbanen uit zowel de Pleistocene periode als de Holocene periode.



Figuur 1: Locatie Zaltbommel voor gevoeligheidsanalyse POV-Piping



Figuur 2: Locatie Nijmegen voor gevoeligheidsanalyse POV-Piping

2 Uitgangspunten

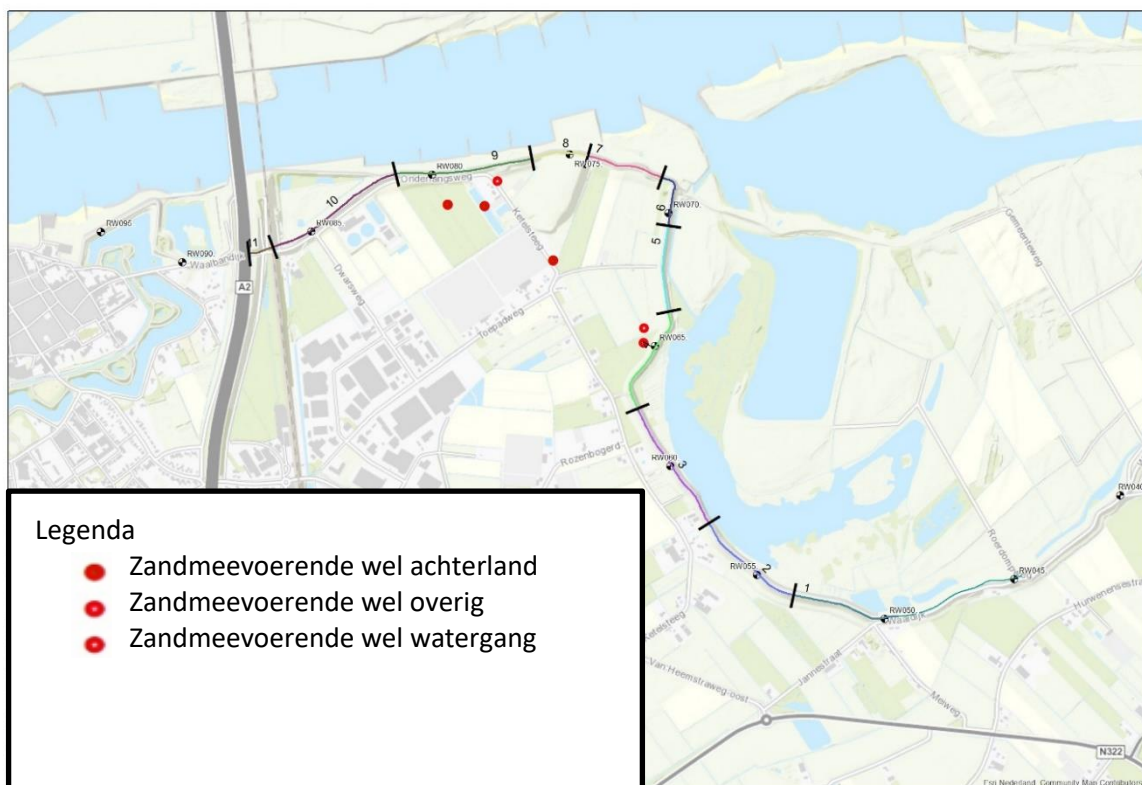
In dit hoofdstuk worden de benodigde parameters voor de berekening van de kwelweglengte behandeld. Hier is toegelicht op basis van welke bronnen de parameters zijn gekozen en welke aannames zijn gemaakt. Eerst is de algemene methode voor de bepaling van de parameter beschreven, daarna is dit toegespitst op de betreffende locatie.

2.1 Vakindeling

De vakindeling is zodanig gekozen dat het tracé is opgedeeld in uniforme secties in geometrie en ondergrond. De indeling is gemaakt op basis van geometrie uit AHN3 en de opbouw van de ondergrond (onder andere de zandbanenkaart zie bijlage).

Zaltbommel

Het tracé Zaltbommel loopt van dijkpaal RW050 t/m RW085, zie Figuur 3. Karakteristieke secties in dit tracé zijn de zandbanen die onder de dijk doorlopen in vak 3 en vak 9 en het hoge achterland in vak 7. De rest van de vakindeling is gekozen op basis van sloten in het voor- en/of achterland en kleinere verschillen in ondergrond. Er is geen vakindeling gemaakt op basis van SOS-segmenten, het hele tracé valt binnen hetzelfde segment (38004).



Figuur 3: Vakindeling Zaltbommel

Nijmegen

Het tracé Nijmegen loopt van dijkpaal ND110 t/m ND140, zie Figuur 4. Hierbij is onderscheid gemaakt in de hoogteligging van de aanwezige zandbanen (zie bijlage), de aanwezigheid van rabatten en de verschillende SOS-segmenten (segmenten 41007 en 41008).



Figuur 4: Vakindeling Nijmegen

2.2 Profielen

Voor elk vak is gekozen om een maatgevend en een representatief profiel te selecteren op basis van AHN3 profielen om de 10 meter. Het maatgevende profiel is de doorsnede die naar verwachting het meest piping gevoelig is. Het representatieve profiel is het meest voorkomende profiel binnen een vak, vergelijkbaar met een gemiddelde van alle profielen.

Bij het selecteren van het maatgevende profiel is het voornamelijk gekeken naar de binnendijkse maaiveldhoogte. Een lager maaiveld geeft een grotere kans op opbarsten als uitgegaan wordt van een horizontaal doorlopende onderkant van de deklaag. Tevens geeft een lager maaiveld een groter verval. Vaak is ook gekozen voor een profiel waar een sloot aanwezig is aangezien in een sloot insnijdt in de deklaag en daardoor de kans op opbarsten over het algemeen groter is. Indien relevant, is ook de lengte van het voorland meegenomen bij het selecteren van een profiel. Bijvoorbeeld als er twee vergelijkbare profielen zijn maar bij één van beide is minder voorland aanwezig, dan is deze gekozen. Dit is met name van toepassing bij het westelijke deel van het Zaltbommel traject, omdat hier de lengte van het voorland significant verschilt en daarom van invloed is op de te selecteren profielen.

Het selecteren van het representatieve profiel is gedaan door de verschillende profielen binnen een vak in één figuur te plotten om zo tot een selectie van het meest voorkomende profiel te komen. Dit is op het oog gedaan dus kan afwijken van bijvoorbeeld een berekend gemiddeld profiel.

In Tabel 1 en Tabel 2 staan de geselecteerde profielen inclusief toelichting. In sommige gevallen is het maatgevende profiel gelijk aan het representatieve profiel met de toevoeging van een sloot. Dit komt omdat er langs het overgrote deel van dat stuk dijk dan geen sloot ligt en dus voor het representatieve profiel geen sloot meegenomen hoeft te worden. Echter bij het maatgevende profiel, die nagenoeg overeenkomt met het representatieve profiel, is wel een sloot aangegeven die niet in de doorsnede ingemeten is maar wel handmatig kan worden toegevoegd.

Tabel 1: Gekozen profielen voor Zaltbommel

Vak	Dijkpaal maatgevende profiel	Dijkpaal representatieve profiel	Toelichting
1	RW050	RW051	Maatgevende met sloot
2	RW054	RW055	Maatgevende met sloot
3	RW061	RW062	Maatgevende met sloot
4	RW065	RW065	Maatgevende met sloot
5	RW068	RW068	Zelfde profiel, maatgevend is representatief plus sloot
6	RW070	RW070	Zelfde profiel, maatgevend is representatief plus sloot
7	RW073	RW073	Maatgevende met sloot
8	RW076	RW076	Zeer hoog achterland
9	RW080	RW080	Maatgevende met sloot
10	RW082	RW082	Maatgevende met sloot

Tabel 2: Gekozen profielen voor Nijmegen

Vak	Dijkpaal maatgevende profiel	Dijkpaal representatieve profiel	Toelichting
1	ND110	ND110	Maatgevende met sloot
2	ND111	ND114	Maatgevende met sloot
3	ND117	ND117	Zelfde profiel, maatgevend is representatief plus sloot
4	ND121	ND122	Maatgevende met sloot
5	ND122	ND122	Maatgevende met sloot
6	ND126	ND126	Zelfde profiel, maatgevend is representatief plus sloot
7	ND134	ND133	Beide profielen geen sloot
8	ND137	ND139	Maatgevende met sloot

2.3 Ondergrondschematisatie

Om beter inzicht te verkrijgen in de bodemopbouw zijn meerdere bronnen geraadpleegd, bij Zaltbommel en Nijmegen zijn dezelfde stappen doorlopen. Hierbij is gewerkt van grof naar fijn.

Om inzicht te krijgen in het totale systeem is een paleogeografische analyse gemaakt. Deze analyse zorgt voor begrip van het systeem en de locaties van de zandbanen. Vervolgens is een geohydrologische analyse gemaakt op basis van REGIS en Moria. In deze analyse zijn de doorlatendheden en dikte van watervoerende lagen bepaald. Deze twee analyses zijn vergeleken met de zandbanenkaart en het SOS om tot een nauwkeurige ondergrondschematisatie te komen. Voor de diktes van deklagen is gekeken naar boringen van het DINO-loket, het SOS en oude rapporten.

2.4 Gegevens 3^e toetsronde

De startsituatie voor de berekeningen is de schematisatie uit de 3^e toetsronde. De invoerdata voor de 3^e toetsronde is overgenomen uit de consequentieanalyse, uitgevoerd door Arcadis. De waarden in de consequentieanalyse zijn gegeven per hectometerpaal, dit komt niet overeen met de locaties van de gekozen maatgevende en representatieve profielen. Daarom zijn de parameters van de dichtstbijzijnde hectometerpaal overgenomen. De hydraulische randvoorwaarden van de nieuwe berekeningen (zie hoofdstuk 3.1) zijn ook gebruikt voor de 3^e toetsronde sommen, om te zorgen dat deze variabele de analyse niet beïnvloedt.

3 Vaststellen rekenparameters

3.1 Toetspeil

De hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid uit de database “WBI2017_Bovenrijn_38-1_v03” voor het tracé bij Zaltbommel en database “WBI2017_Bovenrijn_41-2_v03” voor het tracé bij Nijmegen. Beide databases zijn geleverd door Helpdesk Water. De hydraulische randvoorwaarden zijn berekend in Ringtoets, hierbij zijn de ondergrenswaarden genomen. De norm bij de ondergrens is respectievelijk 1/10.000 per jaar en 1/3.000 per jaar.

Tabel 3: Hydraulische randvoorwaarden in de vorm van het toetspeil per vak

Vak	Locatie	Dijkpaal maatgevende profiel	Dijkpaal representatieve profiel	Toetspeil [m]
1	Zaltbommel	RW050	RW051	9,48
2	Zaltbommel	RW054	RW055	9,48
3	Zaltbommel	RW061	RW062	9,48
4	Zaltbommel	RW065	RW065	9,48
5	Zaltbommel	RW068	RW068	9,47
6	Zaltbommel	RW070	RW070	9,46
7	Zaltbommel	RW073	RW073	9,34
8	Zaltbommel	RW076	RW076	9,30
9	Zaltbommel	RW080	RW080	9,28
10	Zaltbommel	RW082	RW082	9,22
1	Nijmegen	ND110	ND110	13,25
2	Nijmegen	ND111	ND114	13,23
3	Nijmegen	ND117	ND117	13,18
4	Nijmegen	ND121	ND122	13,13
5	Nijmegen	ND122	ND122	13,13
6	Nijmegen	ND126	ND126	13,40
7	Nijmegen	ND134	ND133	12,98
8	Nijmegen	ND137	ND139	12,93

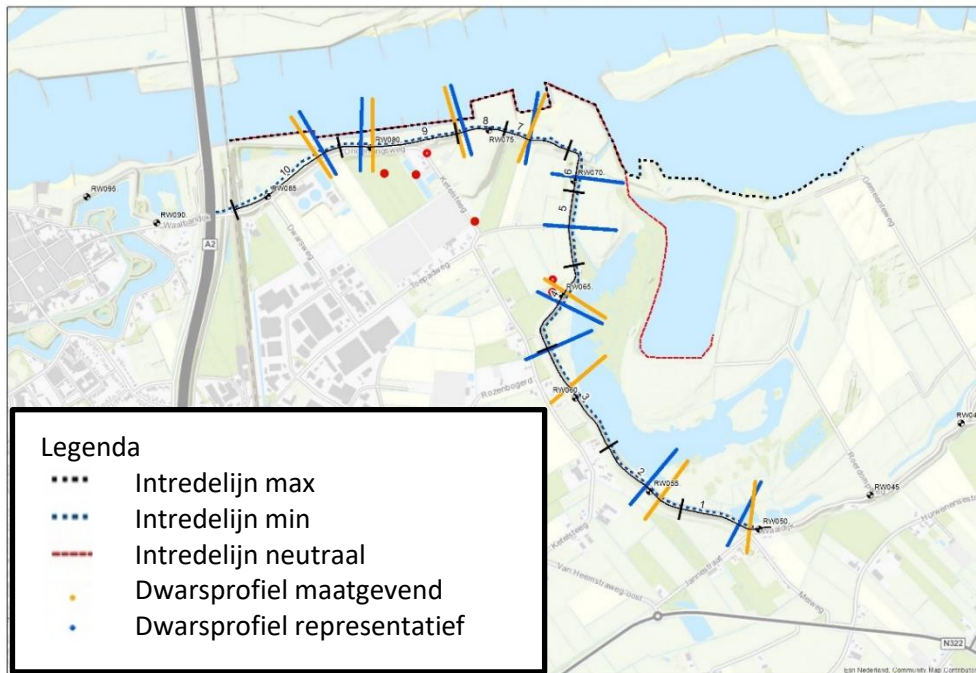
3.2 Voorland

De hoeveelheid voorland die meegenomen kan worden bij de berekening is afhankelijk van de locatie waar het watervoerend pakket in aanraking komt met de rivierwaterstand. Deze zogenaamde intredpunten per doorsnede zijn binnen de locatie met elkaar verbonden. Op die manier ontstaat de intredelijn. Voor de ligging van de intredelijn zijn drie verschillende benaderingen gekozen. Een maximale intredelijn waarbij realistische wijs het maximale voorland in rekening wordt gebracht. Afhankelijk van de deklaag van het voorland kan hiervoor de rand van de rivierbedding worden aangenomen. De minimale intredelijn die in de meest conservatieve berekeningen wordt aangehouden. Dit is in vrijwel elk geval de buitenteen van de dijk. Tot slot de neutrale intredelijn die gekozen is op basis van het landschap en boringen in het voorland. De neutrale lijn ligt per definitie tussen de maximale en minimale lijn.

Zaltbommel

Voor de maximale intredelijn (zwarte stippelijijn) is de rivier aangehouden aangezien uit boringen in DINO-loket volgt dat er een deklaag van 1 tot 6 meter klei aanwezig is in het voorland, zie Figuur 5. Deze kleilaag voorkomt direct contact tussen hoogwater en het watervoerend pakket waardoor de kwelweg effectief verlengd wordt. Als neutrale intredelijn (rode lijn) is voor de oostelijke vakken gekozen voor de afgraving in het voorland, aangezien hier niet gegarandeerd kan worden dat de afdekkende kleilaag voldoende dik is om intrede te voorkomen. Bij de waterpartij direct voor de dijk is

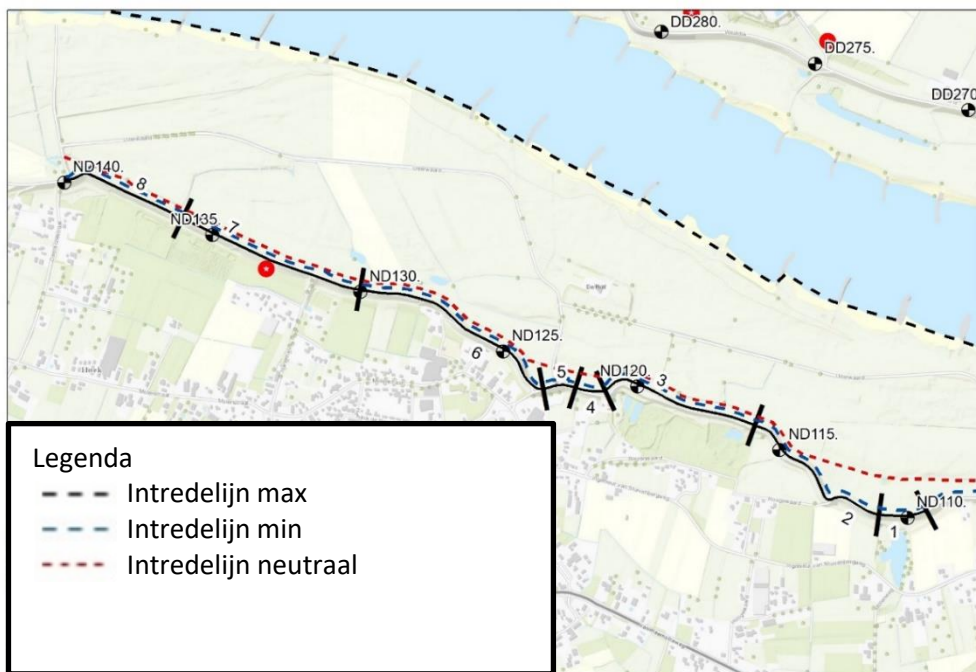
dit wel het geval, op basis van DINO-loket boringen. Verder westelijk is de neutrale intredelijn gelijk aan de maximale intredelijn. De minimale intredelijn ligt langs de buitenteen van de dijk.



Figuur 5: Intredelijnen Zaltbommel

Nijmegen

Vergelijkbaar met Zaltbommel is voor de maximale intredelijn (zwarte streepjeslijn) de rand van de rivier aangehouden. De zekerheid dat deze aanname ook daadwerkelijk correct is alleen minder groot aangezien de beschikbare boringen beduidend minder klei aangeven in de deklaag van het voorland. De neutrale lijn (rode streepjeslijn) is gekozen in de buitendijkse sloot die vrijwel langs het hele gekozen traject loopt. Het argument voor deze keuze is dat de ontgraving vrijwel zeker direct contact tussen het water en het watervoerende pakket garandeert.



Figuur 6: Intredelijnen Nijmegen

3.3 Dijkzate en uittredepunt

De dijkzate is direct bepaald uit de geselecteerde profielen en komt neer op het selecteren van de binnen- en buitenteen om vervolgens de afstand tussen beide te bepalen. Als uittredepunt is over het algemeen de binnenteen aangehouden. In het geval van een uittredepunt in een sloot is de afstand van de binnenteen tot de sloot in rekening gebracht. In het geval van een sloot direct aan de binnenteen van de dijk is altijd een waarde van minimaal 1 meter aangehouden aangezien opbarsten waarschijnlijk niet in het talud van de sloot optreedt. Er zijn verder geen berekeningen uitgevoerd binnen dit project om het meest waarschijnlijk opbarstpunt per doorsnede te bepalen. Dit is vooralsnog puur gedaan op basis van vuistregels en expert judgement.

De hoogte van het maaiveld ter plaatse van het uittredepunt is vastgesteld op basis van de profielen en het gekozen uittredepunt. In het geval van een sloot is aangenomen dat de sloot 1 meter diep insnijdt in de deklaag. Dit betekent dat de bodem van de sloot 1 meter onder het naastgelegen maaiveld ligt.

3.4 Polderpeil

Op beide locaties is aangenomen dat in een hoogwatersituatie het polderpeil stijgt tot aan het maaiveld. In het geval van een sloot stijgt het slootpeil tot aan het maaiveldniveau direct naast de sloot. Het niveau van het maaiveld volgt uit AHN3.

3.5 Dikte deklaag achterland

De deklaagdikte is een indirecte invoerparameter in de berekeningen. Dat wil zeggen, er wordt een maaiveld opgegeven en er wordt een bovenkant van het watervoerend pakket opgegeven. Het verschil tussen de beide waarden levert de dikte van de deklaag. Aangezien de hoogte van het maaiveld al toegelicht is in paragraaf 3.3 moet alleen de bovenkant van het watervoerend pakket nog bepaald worden. Dit is per dijkvak gedaan en zo accuraat mogelijk met de beschikbare data. In onderstaande paragrafen wordt per locatie verder toegelicht hoe de bovenkant van het WVP is bepaald.

Voor het gewicht van de deklaag is een default waarde voor klei aangenomen van 17 kN/m^3 . Dit is voor alle berekeningen hetzelfde om op deze manier de parameter als het ware te neutraliseren. Het gewicht van de deklaag is alleen van belang voor de opbarstberekening, voor de berekening van de benodigde kwelweglengte is deze parameter niet van belang.

Zaltbommel

Voor Zaltbommel is als eerste gekeken naar de zandbanen, die weergegeven zijn in de bijlage. Hier is te zien dat de zandbanen tussen de 1 en 6 meter onder maaiveld liggen. Aangezien niet duidelijk is welk maaiveld als referentieniveau is gebruikt zal er altijd nog een andere bron geraadpleegd moeten worden. In het SOS is de deklaag tussen de 4,2 en 7,8 meter dik. Dit is ook wat teruggevonden kan worden in boringen van het DINO-loket. Uiteindelijk zijn de meeste waarden voor de locatie Zaltbommel bepaald aan de hand van een versterkingsrapportage uit 1980 (Lit. 1). Deze rapportage geeft het meest complete overzicht voor de dikte van de deklaag en komt bovendien ook aardig overeen met andere bronnen. In Tabel 4 zijn de gekozen dikte van de deklaag per vak weergegeven.

Nijmegen

Voor Nijmegen is in principe dezelfde aanpak gehanteerd er is echter geen versterkingsproject gevonden met een gelijke hoeveelheid grondonderzoek. Daarom zijn de andere bronnen in sterkere mate gebruikt. In Tabel 5 staat de toegepaste dikte van de deklaag en de gekozen bron.

Tabel 4: Dikte deklaag voor de locatie Zaltbommel

Vak	Dikte deklaag [m]	Toelichting
1	5,8	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
2	6,0	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
3	2,5	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, dunnere deklaag door zandbaan
4	4,5	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
5	6,0	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
6	6,3	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
7	6,3	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
8	10,8	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, zeer dikke deklaag in verband met zeer hoog achterland
9	6,5	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen
10	6,75	Afkomstig uit de versterkingsrapportage, valt binnen SOS-grenzen

Tabel 5: Dikte deklaag locatie Nijmegen

Vak	Dikte deklaag [m]	Motivatie
1	1,0	Op basis van de zandbanenkaart en boring uit DINO-loket
2	2,5	Op basis van boringen uit DINO-loket*
3	2,5	Op basis van boringen uit DINO-loket*
4	2,0	Weinig gegevens beschikbaar, vergelijkbare deklaag gekozen als omliggende vakken
5	1,5	Op basis van de zandbanenkaart, met gemiddeld maaiveld als referentie niveau
6	3,0	Op basis van boringen uit DINO-loket en bevestigd door zandbanenkaart
7	3,0	Op basis van de zandbanenkaart, geen boringen beschikbaar
8	3,5	Op basis van de zandbanenkaart, met bevestigen van boringen DINO

*Tussenzandlaag op 1 meter diepte conform de voorspelling van de zandbanenkaart.

3.6 Watervoerendpakket

De doorlatendheid en dikte van het watervoerend pakket zijn gebaseerd op de geohydrologische analyse: Toelichting geohydrologie POV-Piping. Deze analyse is gebaseerd op gegevens uit REGIS en Moria en uitgevoerd door een geohydroloog. Bij het combineren van meerdere zandlagen voor het watervoerend pakket is het gewogen gemiddelde genomen. Hierbij zijn twee verschillende varianten uitgewerkt:

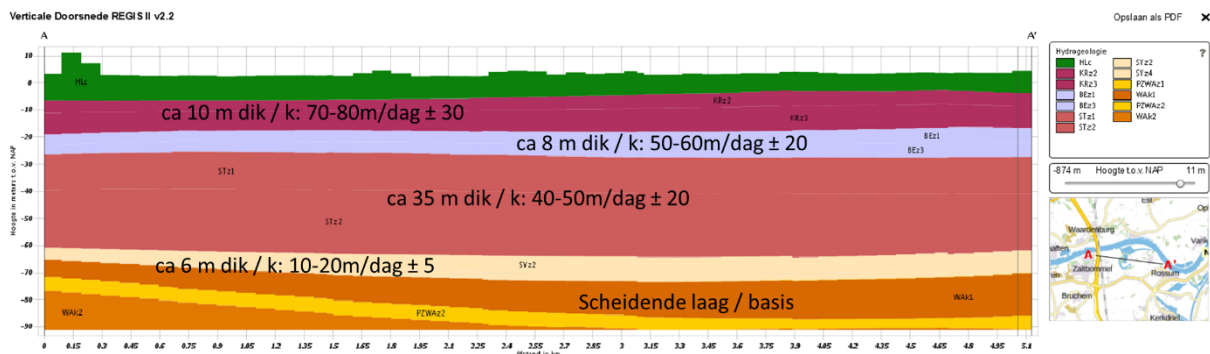
1. Het gemiddelde van de bovengrenswaarde van de doorlatendheid met de standaardafwijking hierbij opgeteld, dit is dus een hoge karakteristieke waarde.
2. Een gemiddelde van de laag zonder standaardafwijking of veiligheidsfactor.

Bij het bepalen van de dikte van het watervoerend pakket is uitgegaan van een geohydrologische basis. Dit houdt in dat de bodem van het watervoerend pakket vast staat maar de dikte kan variëren door fluctuaties in het maaiveld en deklaag.

Zaltbommel

In Zaltbommel zijn drie scenario's bekeken met betrekking tot de doorlatendheid over de diepte. In het eerste scenario's is uitgegaan dat het gehele zandpakket watervoerend is, hierbij is een gewogen gemiddelde genomen van de bovengrenswaarde over de bovenste drie zandlagen, zie Figuur 7. Het gewogen gemiddelde komt uit op een k-waarde van 80m/dag, met de bodem van het watervoerend pakket op -65 mNAP. Het tweede scenario heeft hetzelfde uitgangspunt, echter wordt er met

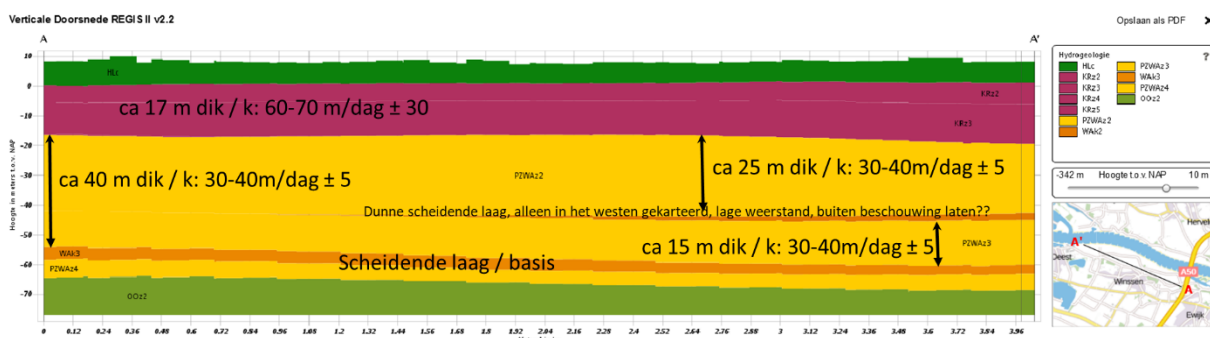
gemiddelde waarden gewerkt, hierdoor komt de k-waarde uit op 50m/dag. In het derde scenario is aangenomen dat alleen het bovenste zandpakket watervoerend is, hiervoor is een k-waarde van 110 m/dag genomen, met de bodem van het watervoerend pakket op -20 mNAP.



Figuur 7: Geologische opbouw Zaltbommel op basis van REGIS

Nijmegen

Voor Nijmegen zijn op dezelfde manier drie scenario's berekend met betrekking tot de doorlatendheid over de diepte. In het eerste scenario zijn de bovenste twee zandlagen genomen als watervoerend pakket, zie Figuur 8. Dit resulteert in een bovengrensdoorlatendheid van 60 m/dag, met de bodem van het watervoerend pakket op -55 mNAP. Scenario twee heeft dezelfde bodem van het watervoerend pakket maar gaat uit van gemiddelde waarden, dit levert een doorlatendheid van 45 m/dag. Bij scenario drie wordt alleen de bovenste zandlaag als watervoerend genomen, dit resulteert in een k-waarde van 100 m/dag, met de bodem van het watervoerend pakket op -15 mNAP.



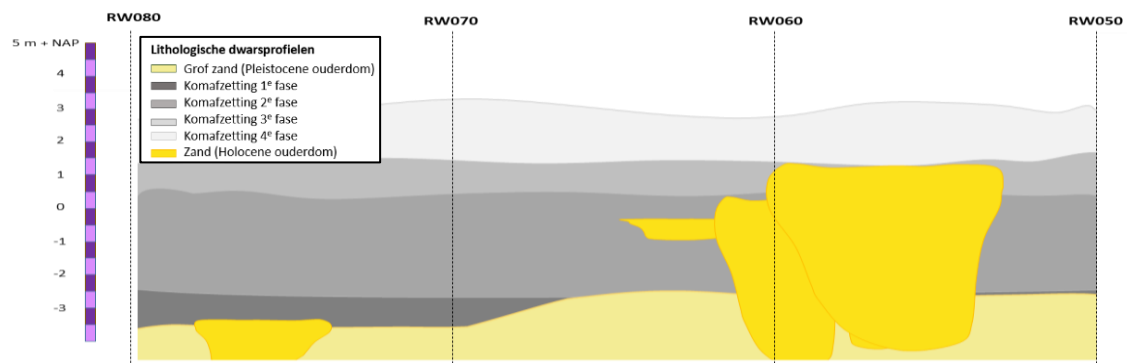
Figuur 8: Geologische opbouw Nijmegen op basis van REGIS

3.7 70-percentielwaarde van de korrelverdeling

De 70-percentielwaarden zijn gebaseerd op default waarden uit het SOS, uit het bestand "WTI_SOS_D70_1sep2016". Het gaat hier om gemiddelde waarden, zonder veiligheidsfactoren of standaardafwijkingen. Bij de selectie van de 70-percentielwaarden is onderscheid gemaakt tussen holoceen en pleistoceen zand. De locatie van de verschillende zandlagen is gebaseerd op de paleogeografische analyse.

Zaltbommel

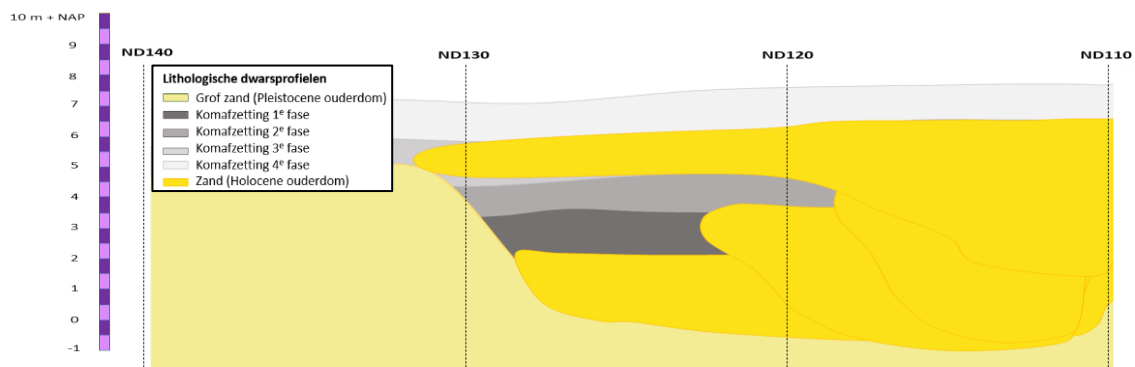
Onderstaand in Figuur 9, is het resultaat van de paleogeografische analyse voor Zaltbommel. Hierin zijn duidelijk de zandbanen (holoceen zand) en het pleistoceen zand te herkennen, holocene zand donkergeel, pleistoceen zand lichtgeel. Het holocene zand ligt op gedeelten van het tracé veel hoger dan het pleistocene zand. De ligging van holocene en pleistoceen varieert over het tracé, daarom is de conservatieve aanname gedaan dat fijnere holocene over het gehele tracé onder de deklaag aanwezig is.



Figuur 9: Resultaat paleogeografische analyse Zaltbommel

Nijmegen

Uit de paleogeografische analyse volgt dat een duidelijke scheiding aanwezig is tussen het holoceen en pleistoceen zand, zie Figuur 10. Bij deze afzonderlijke zanden is de bijbehorende 70-percentielwaarde genomen. Het holoceen zand ligt het dichtst bij het maaiveld in de sectie van dijkpaal ND110 t/m ND130. Bij het gedeelte ND130 t/m ND140 ligt het pleistocene zand het dichtste bij het maaiveld.

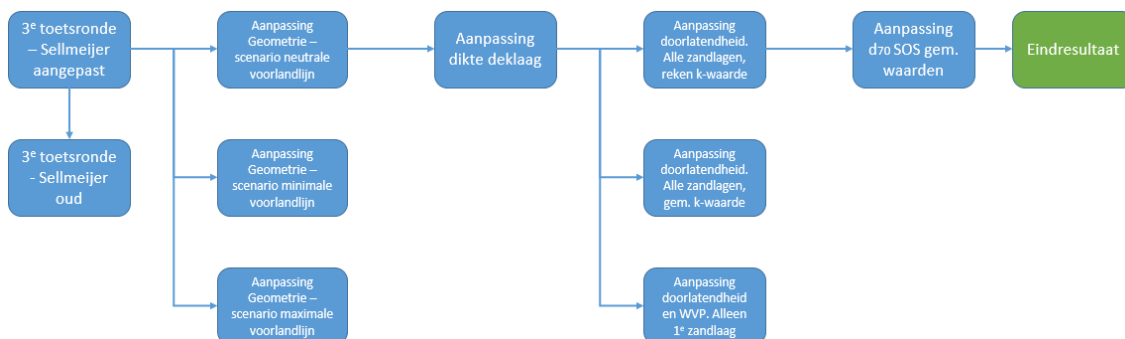


Figuur 10: Resultaat paleogeografische analyse Nijmegen

4 Berekeningen

Aan de hand van de invoerparameters is een aantal scenario's opgesteld. De scenario's fungeren als tussenstappen van de 3^e toetsronde-methodiek naar het eindresultaat volgens de POV-methode. Tevens is een aantal zijstappen gemaakt om de gevoeligheid van die parameter op het resultaat te onderzoeken. Dit is weergegeven in Figuur 11. De volgende scenario's zijn berekend:

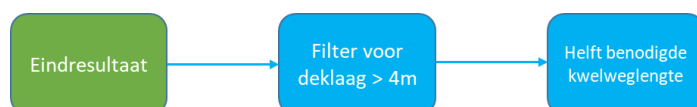
1. De basisinvoer van de berekeningen is gedaan aan de hand van de 3^e toetsronde, hiermee zijn twee berekeningen uitgevoerd¹, zie paragraaf 2.4:
 - a. Berekeningen volgens de nieuwe of aangepaste regel van Sellmeijer.
 - b. Berekeningen volgens de oude regel van Sellmeijer.
2. De geometrie aanpassen naar de maatgevende of representatieve doorsnede, veranderen dijkbreedte, maaiveldniveau, achterland en drie varianten voorland, zie paragraaf 3.2:
 - a. Neutrale lijn voorland;
 - b. Minimale lijn voorland;
 - c. Maximale lijn voorland.
3. Aanpassen van de dikte van de deklaag van het achterland, zie paragraaf 3.5.
4. Aanpassen van de doorlatendheid en dikte watervoerend pakket, zie paragraaf 3.6:
 - a. Variant waarbij het gehele zandpakket wordt meegenomen en rekenwaarde voor doorlatendheid.
 - b. Variant waarbij het gehele zandpakket wordt meegenomen en gemiddelde waarde voor doorlatendheid.
 - c. Variant waarbij alleen de bovenste zandlaag wordt meegenomen.
5. Aanpassen van de d_{70} volgens het SOS (gemiddelde waarde), zie paragraaf 3.7.
6. Het eindresultaat, dit is het resultaat na aanpassing van de d_{70} .



Figuur 11: Stroomschema met getoetste scenario's

Hierna zijn nog twee varianten gemaakt op het eindresultaat, zie Figuur 12. Deze twee varianten bieden een analyse slag:

1. Gekeken waar een deklaag dikker dan 4 meter aanwezig is, indien het geval dan wordt gesteld dat er geen opbarsten plaatsvindt en dus geen piping.
2. De totaal benodigde kwelweglengte delen door 2. De factor 2 is geïntroduceerd met het idee dat er nog meer sterkte in de grond zit, maar dat nog niet expliciet gemaakt kan worden. Door de factor twee wordt er meer duiding gegeven aan de prioritering van dijkvakken.



Figuur 12: Stroomschema met analyse slag na eindresultaat

¹ In beide gevallen is een veiligheidsfactor van 1,2 gehanteerd.

5 Resultaten

In dit hoofdstuk zijn de resultaten per onderzoek locatie toegelicht. Alleen de resultaten waarbij de grootste veranderingen in kwelweglengte tussen rekenstappen zit, zijn in dit hoofdstuk gegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de maatgevende en representatieve profielen. De aanwezige kwelweglengte is te vinden in de tabellen in de bijlage. De totale kwelweg is de som van de kolommen breedte voorland, dijk zate en dijkzate – uittredepunt.

In Tabel 6 en Tabel 7 zijn voor Zaltbommel de vergelijking gepresenteerd vanaf de startpositie, in de 3e toetsronde, tot de eindberekening na toepassing van de doorlopen stappen uit Figuur 11. Voor Nijmegen is deze vergelijking gepresenteerd in Tabel 10 en Tabel 11. De eerste kolom in Tabel 6, Tabel 7, Tabel 10 en Tabel 11 geven de startberekening uit de 3e toetsronde weer. Deze kan vergeleken worden met onder andere de oude Sellmeijer in de tweede kolom. De derde kolom geeft de berekening weer met aanpassingen in de geometrie, dit gaat om de kwelweglengte en de deklaag dikte. In de vierde kolom is de eindsom weergegeven, ten opzichte van de derde kolom is er slechts een aanpassing gemaakt in de kD en de d70. Het is duidelijk zichtbaar dat aanpassingen in de geometrie en dan met name de kwelweglengte veel meer invloed hebben dan aanpassingen in de overige parameters.

De invloed van de k-waarden en d70 op het kwelwegtekort staat uitgedrukt voor Zaltbommel in Tabel 8 en Tabel 9 en voor Nijmegen in Tabel 12 en Tabel 13. De eerste kolom is een berekening met een gemiddelde kD waarde over het hele watervoerend pakket. De tweede kolom is ook een gemiddelde over het hele pakket, echter is hier een bovengrenswaarde gebruikt. De laatste kolom geeft een aanpassing in de d70 weer op basis van het SOS deze kan vergeleken worden met de resultaten in de tweede kolom.

Een totaaloverzicht van de resultaten staat in de figuren in de Bijlage. Ook in deze figuren is duidelijk zichtbaar dat de kwelweglengte de grootste invloed heeft op de resultaten van de sommen.

In de conclusies worden de resultaten uitgebreider besproken, hier kort even de belangrijkste punten:

- Sellmeijer oud beoordeeld gunstiger dan Sellmeijer nieuw, dit is reeds bekend en wordt hier bevestigd.
- De keuze van intredepunt, conservatief bij de binnenteen tot zeer optimistisch met veel voorland, heeft bijzonder veel invloed op de veiligheid tegen piping.
- Een gemiddelde kD waarde over het hele pakket geeft een ongunstiger resultaat met betrekking tot piping.
- Met een D70 waarde uit het SOS wordt er minder kwelweglengte tekort berekend.

Zaltbommel

Tabel 6: Vergelijking maatgevende profielen Zaltbommel tekort aan kwelweg [m]

Vak	Maatgevend	3e toetsronde Sellmeijer nieuw	3e toetsronde Sellmeijer oud	Geometrie neutrale intredelij	Eindsom
1	maatgevend	77	-38	-503	-499
2	maatgevend	71	-46	-367	-364
3	maatgevend	142	-3	-74	-65
4	maatgevend	31	-66	-107	-102
5	maatgevend	69	-49	-20	-17
6	maatgevend	74	-45	-9	-7
7	maatgevend	98	0	30	32
8	maatgevend	36	-37	-96	-94
9	maatgevend	178	17	130	127
10	maatgevend	91	11	63	61

Tabel 7: Vergelijking representatieve profielen Zaltbommel tekort aan kwelweg [m]

Vak	Representatief	3e toetsronde Sellmeijer nieuw	3e toetsronde Sellmeijer oud	Geometrie neutrale intredelijn	Eindsom
1	representatief	77	-38	-478	-474
2	representatief	71	-46	-311	-307
3	representatief	102	-26	-124	-116
4	representatief	114	-23	-107	-102
5	representatief	69	-49	-35	-32
6	representatief	74	-45	-24	-22
7	representatief	94	-4	8	9
8	representatief	36	-37	-115	-113
9	representatief	176	15	112	109
10	representatief	10	-32	72	70

Tabel 8: Kwelwegtekorten [m] bij variatie van k-waarden en d70 bij maatgevende profielen Zaltbommel

Vak	Maatgevend	kD gehele WVP, gem. k	kD gem hele pakket	D70 obv SOS
1	maatgevend	-489	-436	-499
2	maatgevend	-354	-304	-364
3	maatgevend	-55	4	-65
4	maatgevend	-92	-36	-102
5	maatgevend	-7	47	-17
6	maatgevend	1	48	-7
7	maatgevend	40	85	32
8	maatgevend	-89	-58	-94
9	maatgevend	134	175	127
10	maatgevend	68	106	61

Tabel 9: Kwelwegtekorten [m] bij variatie van k-waarden en d70 bij representatieve profielen Zaltbommel

Vak	Representatief	kD gehele WVP, gem. k	kD gem hele pakket	D70 obv SOS
1	representatief	-465	-416	-474
2	representatief	-298	-251	-307
3	representatief	-106	-50	-116
4	representatief	-92	-39	-102
5	representatief	-23	29	-32
6	representatief	-14	30	-22
7	representatief	-108	60	9
8	representatief	116	-77	-113
9	representatief	154	154	109
10	representatief	76	111	70

Nijmegen

Tabel 10: Vergelijking maatgevende profielen Nijmegen tekort aan kwelweg [m]

Vak	Maatgevend	3e toetsronde		Geometrie neutrale intredelijn	Eindsom
		Sellmeijer nieuw	Sellmeijer oud		
1	maatgevend	32	-18	60	99
2	maatgevend	51	-9	60	6
3	maatgevend	26	-26	6	139
4	maatgevend	50	-9	136	76
5	maatgevend	25	-22	47	87
6	maatgevend	71	-1	62	113
7	maatgevend	79	-1	110	127
8	maatgevend	130	37	152	117

Tabel 11: Vergelijking representatieve profielen Nijmegen tekort aan kwelweg [m]

Vak	Representatief	3e toetsronde		Geometrie neutrale intredelijn	Eindsom
		Sellmeijer nieuw	Sellmeijer oud		
1	representatief	20	-23	36	64
2	representatief	36	-15	76	78
3	representatief	26	-26	136	128
4	representatief	33	-18	90	86
5	representatief	25	-22	66	77
6	representatief	56	-11	73	102
7	representatief	3	-40	82	80
8	representatief	130	37	141	106

Tabel 12: Kwelwegtekorten [m] bij variatie van k-waarden en d70 bij maatgevende profielen Nijmegen

Vak	Maatgevend	kD gehele WVP, gem. k	kD gem hele pakket	D70 obv SOS
1	maatgevend	105	146	99
2	maatgevend	107	43	6
3	maatgevend	162	175	139
4	maatgevend	115	111	76
5	maatgevend	110	122	87
6	maatgevend	130	143	113
7	maatgevend	120	176	127
8	maatgevend	154	168	117

Tabel 13: Kwelwegtekorten [m] bij variatie van k-waarden en d70 bij representatieve profielen Nijmegen

Vak	Representatief	kD gehele WVP, gem. k	kD gem hele pakket	D70 obv SOS
1	representatief	43	105	64
2	representatief	175	107	78
3	representatief	111	162	128
4	representatief	122	115	86
5	representatief	143	110	77
6	representatief	176	130	102
7	representatief	168	120	80
8	representatief	22	154	106

6 D-Geo Flow berekeningen

Als toevoeging op de analytische berekeningen bij Zaltbommel is er een gevoeligheidsstudie uitgevoerd met behulp van de D-Geo Flow software. D-Geo Flow is een eindige elementen stromingsprogramma met een piping module gebaseerd op het Sellmeijer criterium voor korreltransport. Het programma berekent of voor een gegeven verval, terugschrijdende erosie en dus piping kan optreden. Voor de huidige berekeningen is D-Geo Flow versie 1.0.39057 gebruikt. Een voordeel van D-Geo Flow ten opzichte van analytische berekeningen is onder andere dat anisotropie en meerlaagsheid meegenomen kunnen worden, waardoor een gunstiger oordeel mogelijk is.

De berekeningen zijn uitgevoerd voor het maatgevende profiel in vak 5 aan gezien dit vak qua ligging en resultaten in de analytische berekeningen het meest interessant bleek. Er is namelijk een omslag waarneembaar van een negatief naar een positief oordeel, zie Tabel 6. Met de D-Geo Flow berekeningen kan nagegaan worden of dit ook het geval is bij een geavanceerdere rekenmethode.

6.1 Gevoeligheidsstudie

In beginsel is een Zaltbommel-basismodel opgesteld dat: ten eerste, vergeleken kan worden met de analytische berekening die dezelfde invoer heeft en ten tweede, de basis vormt voor de D-Geo Flow varianten. De volgende varianten zijn onderdeel van de D-Geo Flow gevoeligheidsstudie:

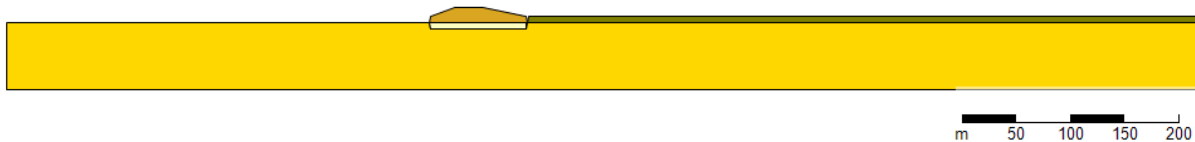
1. Basismodel voor vergelijking analytische berekening.
2. Anisotropie in het watervoerend pakket.
3. Meerlaagsheid van het watervoerend pakket.
4. Basismodel met gemiddelde waarden voor D_{70} en doorlatendheid.
5. Anisotropie gecombineerd met meerlaagsheid en gemiddelde waarden voor D_{70} en doorlatendheid.
6. Basismodel met voorland zoals ook in de analytische eindsom.

6.2 Uitgangspunten

Eerst worden de uitgangspunten voor het Basismodel uiteengezet en vervolgens de veranderingen ten opzichte van het basismodel voor elke variant.

Doorsnede

In het basismodel is het intredepunt bij de buitenteen van de dijk gekozen. Daarom is er geen voorland geschematiseerd, zie Figuur 13. Het uittredepunt bevindt zich in de sloot die een meter vanaf de binnenteen van de dijk ligt. Bij de sloot is een directe verbinding met het watervoerend pakket geschematiseerd om opbarsten in het model te vatten. Verder bestaat het watervoerend pakket uit één enkele laag die tot een diepte van -65 mNAP rijkt. De dijk zelf is geschematiseerd op basis van gangbare afmetingen gegeven de bekende dijkzate van 90 meter. Het exacte profiel is verder niet bijzonder relevant voor de berekening. Onder de dijk is een extra polygon aangebracht, dit is geen ander materiaal maar is nodig om later grid verfijning toe te passen. Het begin van het model is gekozen in het midden van de afgraving die voor vak 5 ligt op 390 meter vanaf de buitenteen van de dijk. Het eind van het model is ver van de dijk gekozen om mogelijke randeffecten te minimaliseren. Dit heeft te maken met het dichtzetten van de randen van het watervoerend pakket en de manier waarop de stroomlijnen in het watervoerend pakket worden uitgerekend in D-Geo Flow.



Figuur 13: Geschematiseerde doorsnede basismodel

Grondeigenschappen

Er zijn vier verschillende materialen te onderscheiden in het basismodel. De relevante materiaaleigenschappen zijn opgenomen in Tabel 14. Door de compressibility van zowel de grond als het water op 0 te zetten is er een stationaire situatie gecreëerd. Dit is wenselijk aangezien dit conservatiever is en ook beter vergelijkbaar met analytische resultaten. Indien voor een niet steady state benadering gekozen wordt kunnen tijdsafhankelijke effecten de resultaten beïnvloeden.

Tabel 14: Materiaal eigenschappen basismodel

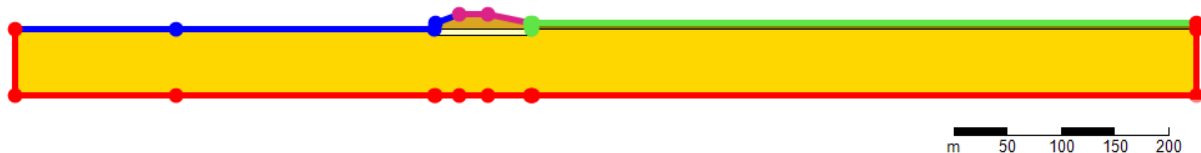
Materiaal type	Porositeit [-]	D ₇₀ [mm]	Doorlatendheid [m/d]
Zand	0,36	0,32	80,0
Klei deklaag	0,42	0,10	0,05
Klei dijk	0,42	0,10	0,05

Randvoorwaarden

In totaal zijn er vier type randvoorwaarden gebruikt voor het model:

- Submerged, voor het buitendijkse waterpeil (blauw).
- Seepage, voor de kruin en binnentalud van de dijk (paars).
- Polderpeil, voor de opbarstzone en het achterland (groen).
- Closed, voor alle overige randen van het model (rood).

De randvoorwaarden zijn toegepast zoals in Figuur 14. Het waterpeil verloopt van +3,0 mNAP naar +9,47 mNAP over een periode van 10 dagen. Het polderpeil is constant op +2,1 mNAP, gelijk aan het maaiveld in het achterland. De combinatie van maximale waterpeil en polderpeil geeft een maximaal verval van 7,37 meter.



Figuur 14: Randvoorwaarden D-Geo Flow model

Definitie van de pipe, het grid en de tijdstap

De pipe loopt van de sloot tot de buitenteen direct onder de deklaag, dus op een diepte van -3,9 mNAP. De lengte van de pipe voor het basismodel is 90 meter.

De standaard grootte van het grid is gekozen op 2,5 meter en het grid in de pijp wordt verkleind met een factor 6. Alle kleilagen hebben een toegewezen grid grootte van 5 meter en het watervoerend pakket heeft een grid grootte van 10 meter met een verfijning onder de dijk voor het piping gevoelige gebied. Hier is het grid fijn gekozen met een grootte van 1 meter.

De gekozen tijdstap is 1 uur, over 10 dagen levert dit 240 tijdstappen.

Uitgangspunten varianten

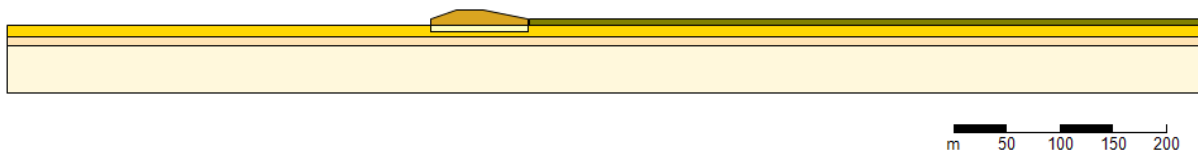
De aanpassingen aan het basismodel per variant staan samengevat in Tabel 15.

Tabel 15: Aanpassingen aan basismodel voor de verschillende varianten

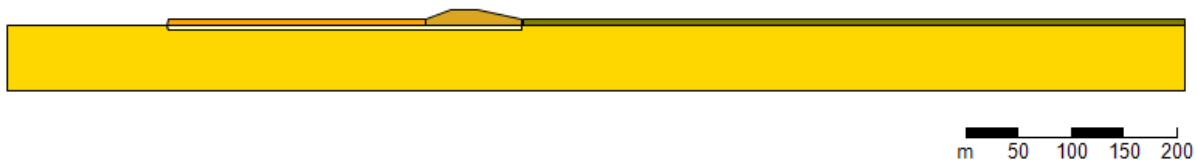
Nummer	Naam	Aanpassing
2	Anisotropie	k_y watervoerend pakket delen door factor 3,5.
3	Meerlaags	Verdelen van het watervoerend pakket in drie lagen volgens de indeling in Figuur 7. De gegevens van de zandlagen zijn te vinden in Tabel 16. De schematisatie van het model is zichtbaar in Figuur 15.
4	Gem D_{70} en k	Gemiddelde waarden voor D_{70} en doorlatendheid, zie Tabel 16. Gemiddelde D_{70} piping gevoelige laag is 0.4 mm.
5	Gem Aniso+Meer	Hetzelfde als variant 5 alleen dan met variant 4 als basis.
6	Intredepunt	Toevoeging van 6 meter dik voorland over een afstand van 240 meter vanaf de buitenteen, zie Figuur 16. Dit verlengt de pipe tot een lengte van 330 meter.

Tabel 16: Gegevens zandlagen voor meerlaags watervoerend pakket

Zandlaag	Dikte laag [m]	k-waarde karakteristiek [m/d]	k-waarde gemiddeld [m/d]
Eerste zandlaag	10	110	75
Tweede zandlaag	8	80	55
Derde zandlaag	43	70	45
Gemiddeld	-	80	52



Figuur 15: Schematisatie meerlaags model



Figuur 16: Schematisatie model met voorland 240 meter

6.3 Resultaten D-Geo Flow gevoeligheidsberekening

De resultaten zijn gepresenteerd in de vorm van het kritische verval. Deze parameter geeft weer bij welk verval de pijp zal doorgroeien van uittredepunt tot intredepunt. De resultaten zijn samengevat in Tabel 17. Om een vergelijking met de analytische berekeningen mogelijk te maken is ook het kwelweg tekort per variant uitgerekend. Hierbij zijn formules 1 t/m 4 gebruikt. Deze zijn overigens ook gebruikt bij de analytische berekeningen.

$$H_t = \frac{H_k}{\gamma_b * \gamma_n} \quad (1)$$

$$C_{creep} = L_{tot}/H_t \quad (2)$$

$$L_t = (H_a - H_t) * C_{creep} \quad (3)$$

$$H_a = MHW - H_p - 0,3d \quad (4)$$

Met:

- H_t het toelaatbare verval na toepassen veiligheidsfactoren [m]
- H_k het kritische verval berekend met Sellmeijer [m]
- γ_b schematiseringsfactor van 1,0 [-]
- γ_n materiaalfactor van 1,62 [-]
- C_{creep} creepfactor Sellmeijer [-]
- L_{tot} totale kwelweg aanwezig [m]
- L_t kwelweg tekort [m]
- H_a aanwezige verval [m]
- MHW maatgevend hoogwater [mNAP]
- h_p polderpeil [mNAP]
- d lengte opbarstkanaal [m]

Tabel 17: Resultaten D-Geo Flow berekeningen en ter vergelijking de analytische berekeningen

Nummer	Naam	H_k [m]	L_{tot} [m]	L_{tekort} [m]
0	Analytisch zonder voorland	3,25	90	173
1	Basismodel	3,43	90	160
2	Anisotropie	3,92	90	128
3	Meerlaags	3,35	90	165
4	Gem D ₇₀ en k	4,32	90	108
5	Gem Aniso+Meer	4,65	90	94
6	Intredepunt	10,50	330	-30
00	Analytisch met voorland	10,04	330	-17

Het resultaat bij berekening nummer 6 betekent dat voor het opgegeven maximum verval (7,37 meter) nog geen kritisch verval bereikt wordt. Daarom is er kunstmatig een hoger verval gecreëerd om zo toch het kritische verval te bereiken. Voor het aanwezige verval tijdens MHW zal de pipe wel beginnen met groeien echter zal deze nooit de volledige lengte van uittredepunt naar intredepunt overbruggen.

De basisberekening en analytische berekening komen goed overeen. Dit valideert het model en maakt dat de uitkomst van de gevoeligheidsstudie bruikbaar zijn. Opvallend is wel dat de D-Geo Flow een wat optimistischere waarde geeft, maar dit is wel bekend uit eerdere studies.

De toevoeging van anisotropie met een factor 3,5 heeft een duidelijke invloed op het kritisch verval. De anisotropie vermeerderd de waarde met ongeveer 0,5 meter. Meerlaagsheid heeft een negatief effect op het kritische verval. Dit kan verklaard worden door de hogere doorlatendheid die boven in het watervoerend pakket geschematiseerd wordt. De bovenste lagen wegen namelijk zwaarder met betrekking tot de stroming dan de diepere lagen.

Wanneer er met gemiddelde waarden gerekend wordt is het kritisch verval significant hoger. Dit komt omdat het een dubbel effect is, namelijk de D₇₀ die toeneemt en de doorlatendheid die omlaag gaat.

Zoals ook uit de analytische berekeningen bleek heeft de toevoeging van voorland de meeste invloed op de pipinggevoeligheid. Met de toevoeging van 240 meter voorland wordt een kritisch verval bereikt dat groter is dan het aanwezige verval tijdens MHW.

6.4 Vergelijking met stijghoogten Moria

Aangezien voorland en dus ook de demping van de stijghoogte in het watervoerend pakket erg belangrijk blijken te zijn voor de piping gevoeligheid van een bepaalde doorsnede, is besloten om hier extra aandacht aan te besteden. Dit is gedaan aan de hand van stijghoogte berekeningen met het regionale grondwatermodel MORIA voor hoogwatergolven in 1995 en 2011.

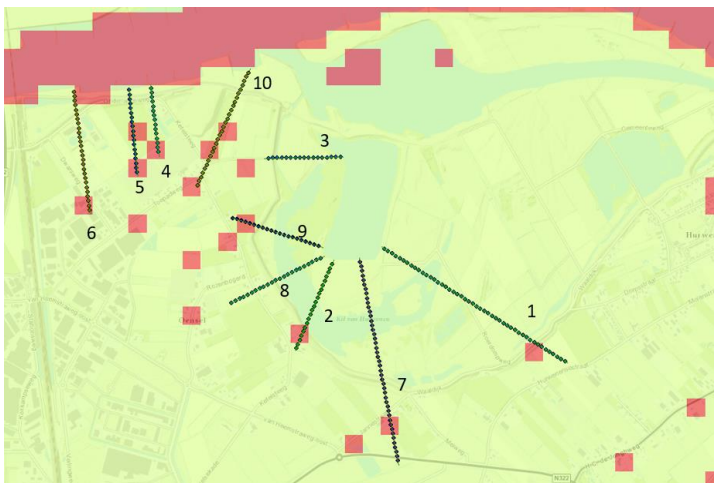
Voor de hoogwatergolf in 2011 is gebruik gemaakt van bestaande modelresultaten, gebaseerd op MORIA database versie 3.2. De modelontwikkeling van deze versie is beschreven door RHDHV (2016). Voor de hoogwatergolf in 1995 waren geen modelresultaten beschikbaar; de modelperiode van MORIA loopt van 2005 tot en met 2016. Om deze reden is een aanvullende berekening uitgevoerd waarbij de modelperiode is aangepast naar 1992 tot 1996. De eerste 3 jaar gelden als inlooptijd, zodat de initiële condities geen effect hebben op de periode 1995.

Hiervoor is gebruik gemaakt van een deelmodel met tijdstappen van 1 dag en een celgrootte van 25 bij 25 meter met de volgende coördinaten: Xmin: 148900.0; Xmax: 153900.0; Ymin: 421000.0; Ymax: 426500.0. De modeldatabase van MORIA start gedeeltelijk vanaf 1994 (rivierpeilen, neerslag en verdamping gegevens) en gedeeltelijk vanaf 2004 (onttrekkingen en randvoorwaarden).

De rivierpeilen en neerslag en verdamping gegevens zijn verlengd naar 1992 door voor de jaren 1992 en 1993 gebruik te maken van de gegevens van het jaar 1994. Doordat deze aanpassing in de inlooptijd van het model plaatsvindt en 1994 geen uitzonderlijk droog of nat jaar was, zal dit geen effect hebben op de resultaten tijdens de hoogwatergolf in 1995.

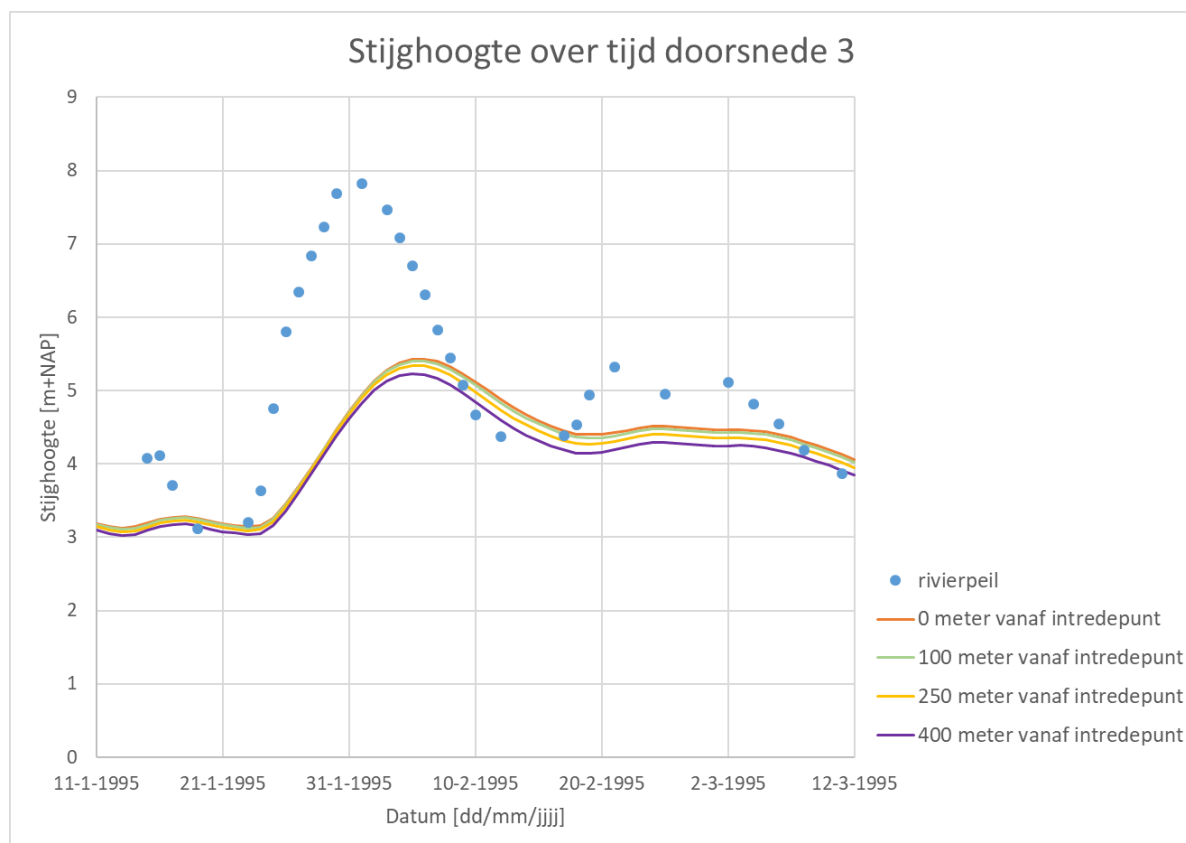
Het onttrekking debiet van 2004 is gebruikt voor de gehele model periode 1992-1996. Dit debiet zal hoger zijn dan het werkelijke debiet in deze periode. In de omgeving van Zaltbommel is een drinkwaterwinning van Vitens aanwezig. Deze onttrekt uit modellaag 9 en door scheidende lagen met een hoge weerstand een erg gering effect op de freatische grondwaterstand. Om deze reden wordt er niet verwacht dat deze onttrekking effect zal hebben op de berekening van de hoogwatergolf. De randvoorwaarden kunnen mogelijk wel enig effect hebben op de berekening. Het model rekent met een buffer van 500 meter, waardoor het effect gering zal zijn. Op de verlengde modelperiode is geen aanvullende validatie uitgevoerd.

Voor de hoogwatergolven in 2011 en 1995 is de kans op opbarsten berekend, zie Figuur 17 voor de opbarst locaties tijdens de hoogwatergolf in 1995. Dit bevestigt dat er opbarsten kan optreden maar dat de locaties waar opbarsten optreedt enigszins versnipperd zijn en ook erg lokaal. Voor een aantal doorsneden is vervolgens de stijghoogte in het watervoerend pakket om de 25 meter bepaald.



Figuur 17: Opbarstkaart voor hoogwatergolf 1995

Een voorbeeld hiervan is te zien in Figuur 18 waar de stijghoogte is weergegeven op verschillende afstanden van de rivier. Uit dit figuur blijkt dat er een sterke demping optreedt tussen het rivierpeil en de stijghoogte direct naast de rivier. Dit komt door de hoge infiltratieweerstand van de rivier welke wordt veroorzaakt door slib. Door de hoge weerstand is er enige vertraging in de hoogwatergolf te zien en een vermindering in hoogte. De opbouw van de ondergrond zorgt voor een verdere demping. Het freatische pakket bestaat uit een holocene deklaag. Deze laag heeft enige weerstand, maar de hoogwatergolf dringt ook door tot in de lagen onder de deklaag. Onder de deklaag liggen verscheiden zandige formaties (tot ca. -70 m NAP) met een hoge kD. Hierdoor verspreidt de hoogwatergolf zich gemakkelijk wat ertoe leidt dat deze minder hoog wordt. Dat wil zeggen, er is slechts een klein demping effect te zien over het gehele traject. Dit blijkt ook uit Figuur 18. De voornaamste demping wordt dus veroorzaakt door de infiltratieweerstand van de rivier.



Figuur 18: Stijghoogte verloop over doorsnede 3

De demping is bepaald door op verschillende doorsneden (zie Figuur 17), om de 25 meter de tijdreeksen van de stijghoogte weg te schrijven en te analyseren. Met deze berekeningen is de demping die optreedt vanaf de rivierwaterstand tot de buitenteen van de dijk vastgesteld.

De demping berekend met Moria is vergeleken met de D-Geo Flow berekeningen waarin dezelfde hoogwatergolf is gemodelleerd. In Tabel 18 staan de hoogwater peilen en de demping die Moria berekent. De lagere waterstand geeft een sterkere demping.

Tabel 18: Demping van het waterpeil naar stijghoogte in het watervoerend pakket bij de buitenteen voor hoogwater 2011 en 1995

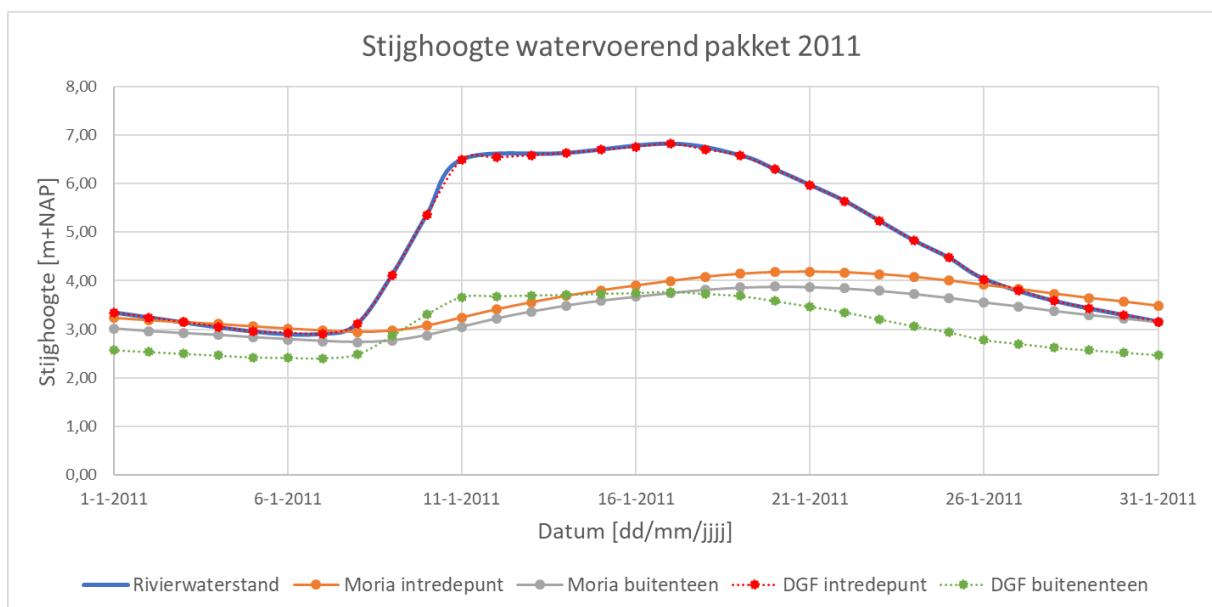
	Waterpeil in rivier [mNAP]	Stijghoogte buitenteen [mNAP]	Demping [-]
2011	6,82	3,88	0,57
1995	7,82	5,28	0,67

Er zijn drie punten geselecteerd waarop de resultaten van D-Geo Flow met de resultaten van Moria worden vergeleken:

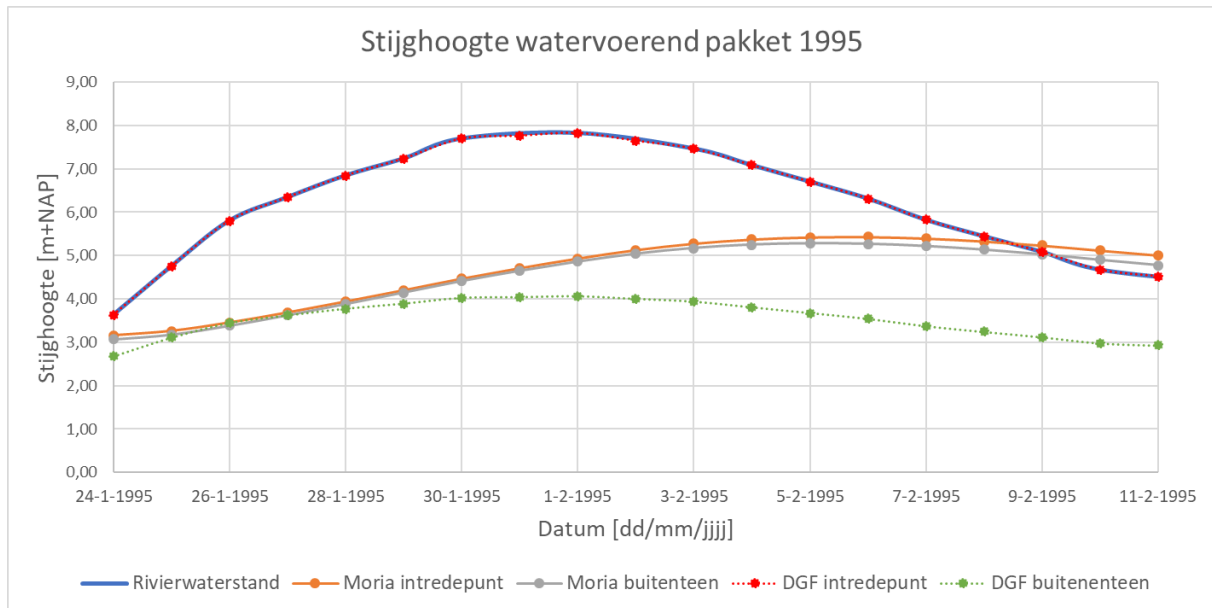
1. Het rivierpeil (deze is voor beide modellen gelijk).
2. De stijghoogte in het watervoerend pakket direct onder het voorland bij het intredepunt.
3. De stijghoogte in het watervoerend pakket direct onder de deklaag bij de buitenteen van de dijk.

In Figuur 19 staat een vergelijking van deze punten gedurende de hoogwatergolf van 2011. Moria rekent met een sterke intredeweerstand van de rivier naar het watervoerend pakket, terwijl de demping van het voorland een stuk minder groot is. D-Geo Flow heeft geen demping van de rivierwaterstand naar het watervoerend pakket maar heeft wel sterke demping over het voorland. Het is goed te verklaren dat er geen demping optreedt van rivierpeil naar intredepunt bij D-Geo Flow aangezien bij het intredepunt nog dezelfde randvoorwaarde geldt, zie Figuur 14. De gecombineerde demping van intredeweerstand en voorland resulteert in een vergelijkbare stijghoogte bij de buitenteen van de dijk voor beide modellen. Dit kan toeval zijn voor deze specifieke case en zou aangetoond kunnen worden door meer sommen. Er zit een kleine vertraging in het optreden van de piek bij het Moria model, dit komt omdat het model tijdsafhankelijk rekent terwijl bij D-Geo Flow de parameters die het tijdsafhankelijke effect beïnvloeden uit zijn gezet. Dit is gebruikelijk bij piping berekeningen om de steady state te benaderen.

Figuur 20 geeft dezelfde vergelijking weer maar dan voor de hogere waterstand van 1995. Dezelfde observaties zijn hier van toepassing behalve dat de uiteindelijke demping bij de buitenteen niet overeenkomt bij de twee modellen. D-Geo Flow berekent een stijghoogte van ongeveer +4,0 mNAP terwijl Moria een stijghoogte van +5,3 mNAP aangeeft. Welke van de twee correct is valt overigens niet te zeggen zonder peilbuismetingen in het gebied. Met andere woorden, peilbuismetingen zijn nodig om de brekingen te kunnen valideren.



Figuur 19: Stijghoogte in watervoerend pakket voor de hoogwatergolf van 2011 gemodelleerd met Moria en D-Geo Flow



Figuur 20: Stijghoogte in watervoerend pakket voor de hoogwatergolf van 1995 gemodelleerd met Moria en D-Geo Flow

Door ook de geohydrologische berekeningen mee te nemen in het bepalen van de stijghoogte voor de piping berekeningen zijn de gebruikte stijghoogten in D-Geo Flow bevestigd. Dit geeft inzicht in het stijghoogteverloop op regionaal niveau in vergelijking met de lokale piping berekeningen. In dit geval levert dit geen ander resultaat, maar aangezien het nog maar één case betreft zal de gevonden overeenkomst verder onderzocht en bewezen moeten worden.

Door de resultaten die MORIA levert ontstaat de vraag: Kan er een piping som gemaakt worden door de stijghoogte resultaten uit MORIA in te vullen in de analytische Sellmeijer formule? Dit scheelt namelijk veel modelleer werk in D-Geo Flow en geeft wel een realistischer beeld dan de analytische sommen zonder stijghoogte uit MORIA. Dit komt dan neer op een demping berekeningen in MORIA, waarin op basis van de hoogwatergolf een bepaalde stijghoogte berekend wordt bij het intredepunt. Deze stijghoogte moet dan vervolgens gebruikt worden in de Sellmeijer formule. De demping is erg case specifiek, dus de MORIA berekening is wel nodig. Dat wil zeggen, er kan niet een algemene demping factor aangenomen worden. De hierboven beschreven aanpak is zeker realistischer en het proberen waard.

7 Conclusies

Elke rekenstap uit hoofdstuk 4 heeft een impact op de benodigde kwelweglengte. Wat deze impact is wordt in de volgende alinea's geanalyseerd.

De alinea's met een blauwe titel geven de resultaten weer van de berekeningen in hoofdstuk 5. De laatste twee alinea's met de groene titel geeft het resultaat van de D-Geo Flow berekeningen en de vergelijking met het MORIA model.

Verskil oude en nieuwe Sellmeijerregel (stap 1 a en b) met schematisatie 3^e toetsronde

Met de nieuwe Sellmeijerregel worden grotere benodigde kwelweglengtes berekend. Dit inzicht is al sinds de regel ingevoerd is bekend en kan hier worden bevestigd.

Verskil 3^e toetsrondeschematisatie met nieuwe basisschematisatie (stap 1 vs 2a)

In deze stap is de geometrie van het maatgevende en representatieve profiel aangepast op basis van AHN3.

Te zien is dat bij het dijktraject bij Zaltbommel tijdens de 3^e toetsronde erg conservatief is geschematiseerd. Het kwelwegtekort is nu veel kleiner.

Voor het dijktraject bij Nijmegen is te concluderen dat in de 3^e toetsronde erg positief is geschematiseerd vergeleken met huidige schematisatie. Het kwelwegtekort is nu veel groter.

De verschillen zijn te verklaren doordat in de 3^e toetsronde nog geen dekkend hoogtebeeld op basis van AHN beschikbaar was, maar dat geschematiseerd is op basis van inmeting op het leggerprofiel. Dit is een 2D inzicht, waarmee lokale afwijkingen (zowel positief als negatief) niet zijn meegenomen.

Verskil nieuwe basisschematisatie met minimale of maximale intredelijn (stap 2a vs 2b en 2c)

Op plaatsen waar de minimale of maximale intredelijn afwijkt van de neutrale intredelijn heeft deze extra kwelweglengte respectievelijk een negatief of positief effect. Dit is volgens verwachting. Het is daarom aan te bevelen om de samenstelling van de deklaag in het voorland te onderzoeken. Dit heeft zeer veel impact op het resultaat van de berekeningen.

Verskil nieuwe basisschematisatie met nieuwe schematisatie van de deklaag (stap 2a vs 3)

Bij het dijktraject Zaltbommel is in de 3^e toetsronde veelal het rapport van de dijkversterking uit 1980 gebruikt. Bij deze gevoeligheidsanalyse is geen nieuwere informatie beschikbaar, waardoor de deklaagdikte bij de nieuwe schematisatie niet wezenlijk afwijkt van de 3^e toetsronde. De berekende benodigde kwelweglengte wijkt daarom niet veel af van de berekening 2a.

Bij het dijktraject Nijmegen waren wel meer en nieuwere bronnen beschikbaar ten opzichte van de 3^e toetsronde. Over het algemeen is een dunnere deklaag geschematiseerd waardoor de benodigde kwelweglengte ten opzichte van stap 2a toeneemt.

Voor een gedetailleerdere schematisatie van de deklaag van een dijktraject wordt aanbevolen om voldoende grondonderzoek (boringen in de binnenteen) uit te voeren indien dit niet beschikbaar is. Om lokale zandbanen niet te missen is de dekking van dit onderzoek minimaal 1 boring per 100m.

Verskil nieuwe schematisatie van de deklaag met aanpassing kD gehele watervoerende pakket (stap 3 vs 4a)

Zowel de doorlatendheid k als de dikte van het gehele watervoerende pakket zijn bij dijktraject Zaltbommel groter dan toegepast in de 3^e toetsronde. Dit geeft een grotere benodigde kwelweglengte.

Voor dijktraject Nijmegen wordt het ongunstigere beeld vooral veroorzaakt doordat nu een veel dikker watervoerend pakket is geschematiseerd op basis van REGIS II/Moria.

Vergelijking tussen k-waarde berekend met bovengrens en k-waarde berekend met gemiddelde waarden (stap 4a vs 4b)

Voor de locatie Zaltbommel is gerekend met een bovengrens k-waarde van 80 m/dag en een gemiddelde van 50 m/dag. Bij Nijmegen is dit 60 m/dag en 45 m/dag. Dit levert een verschil van 30 tot 60 meter op het kwelwegtekort. Met deze resultaten kan gesteld worden dat het rekenen met gemiddelde parameters significante winst oplevert.

Vershil nieuwe schematisatie van de deklaag met aanpassing kD bovenste deel watervoerende pakket (stap 3 vs 4c)

Indien alleen de holocene toplaag van het watervoerende pakket wordt geschematiseerd halveert bij dijktraject Zaltbommel ongeveer de dikte van het watervoerende pakket ten opzichte van stap 3. Doordat het holocene pakket meer doorlatend is dan het onderliggende pleistocene pakket, verdubbelt ongeveer de doorlatendheid. Doordat de factor $k \cdot D$ hierdoor niet verandert, zijn er ook geen grote verschillen in benodigde kwelweglengte te zien.

Bij Nijmegen is het verschil in doorlatendheid veel minder groot, waardoor met een minder dik watervoerend pakket het kwelwegtekort kleiner wordt na stap 4b.

Inzicht in de dikte en doorlatendheid van het watervoerende pakket zijn van belang bij de bepaling van het kwelwegtekort. REGIS II biedt hier goede handvatten voor de waarden van deze parameters. Met behulp van een geoloog kan de bodemopbouw dus nauwkeurig in kaart worden gebracht. Wel is hydrologische kennis nodig voor de analyse van de data.

Vershil met aanpassing kD gehele watervoerende pakket met aanpassing D70 (stap 4a vs 5)

De ingevoerde D70 bij stap 5 is overgenomen uit het SOS en volgt niet uit lokaal onderzoek. Voor beide trajecten is de D70 uit het SOS grover dan de D70 volgens de schematisatie uit de 3^e toetsronde. De aanwezigheid van grover zand heeft een positief effect op de benodigde kwelweglengte. Dit is volgens verwachting.

Voor een lokale aanscherping van de D70 dient meer onderzoek uitgevoerd te worden.

Invloed voorland op pipinggevoeligheid

In de gevallen dat er veel voorland meegenomen kan worden in de berekening heeft dit significante invloed op de resultaten. Het meenemen van het volledige voorland verlengt de kwelweg enorm waardoor het oordeel van sterk negatief volledig kan omslaan naar positief.

Impact regel geen opbarsten bij deklaag dikker dan 4m

Binnen het dijktraject Zaltbommel is de deklaag veelal dikker dan 4m. Hier zou volgens deze regel geen piping kunnen optreden doordat de deklaag niet opbarst. Echter blijkt uit de uitgevoerde opbarstberekeningen dat de deklaag wel opbarst en dat daardoor piping wel een realistisch faalmechanisme is. Daarom wordt aanbevolen om altijd een opbarstberekening uit te voeren.

Overschatting benodigde kwelweglengte met factor 2

Door toepassing van deze regel valt het pipingtekort bijna geheel weg. Dit is gezien de optredende zandmeevoerende wellen te Zaltbommel, bij nog lang geen maatgevende afvoer op de rivier niet realistisch. De mate van overschatting van de benodigde kwelweglengte dient dus in meer detail onderzocht te worden.

D-geo flow analyse

Met D-Geo Flow wordt er een optimistischer resultaat berekend dan met de analytische berekening.

Anisotropie is niet het meest invloedrijk op het kritisch verval maar heeft wel duidelijk een positief effect.

Rekenen met gemiddelde waarden levert significante winst op bij het bepalen van het kritisch verval.

De toevoeging van het voorland levert het hoogste kritisch verval en dus de meest gunstige situatie voor de piping gevoeligheid, dit komt overeen met de bevindingen bij de analytische berekeningen.

Uit de vergelijking met Moria blijkt dat vergelijkbare demping van rivierwaterstand naar watervoerend pakket onder de buitenteen wordt gevonden. Bij de hoogwatergolf van 1995 is D-Geo Flow zelfs optimistischer. Wel is duidelijk gebleken dat deze demping op een andere manier tot stand komt, hiermee wordt het verschil tussen intredeweerstand (van rivier naar watervoerend pakket) en voorlanddemping (demping over afstand) bedoeld.

MORIA model voor stijghoogte bepaling

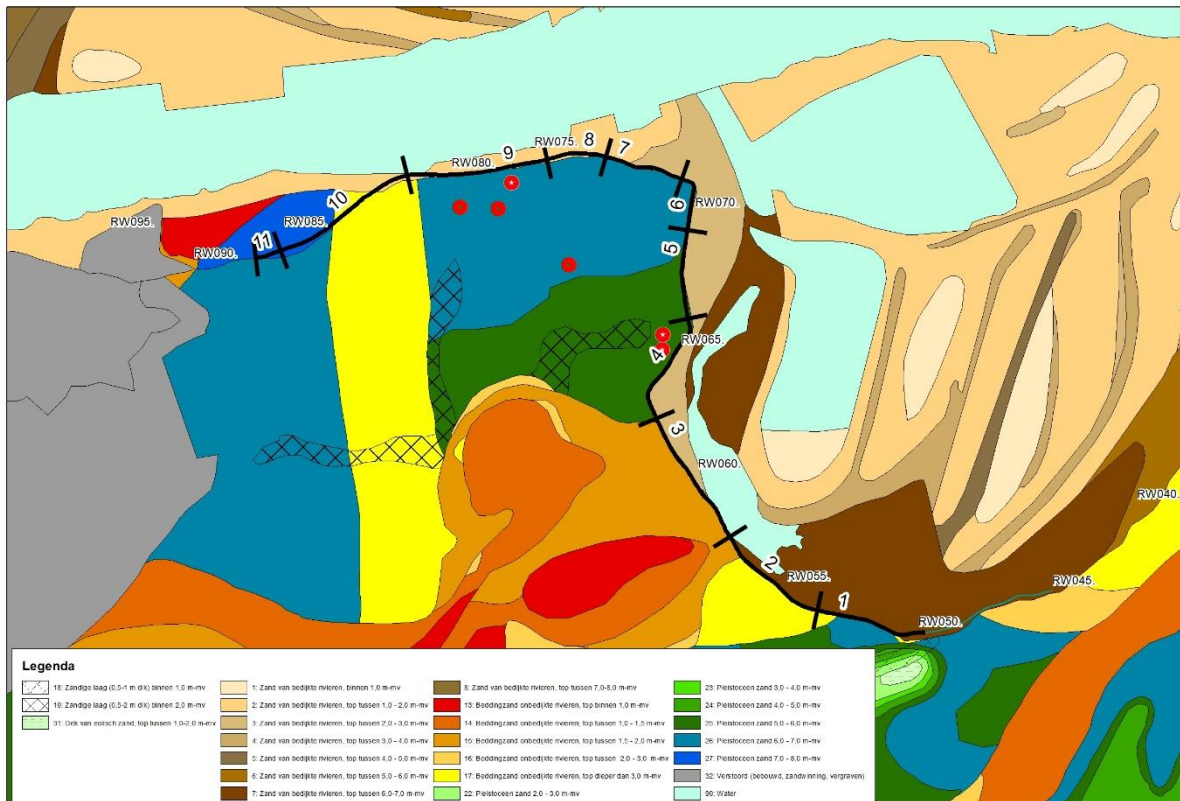
Het is goed om een geohydroloog te betrekken bij een piping berekening. In overleg met een geohydroloog moet het namelijk mogelijk zijn om stijghoogte berekeningen in MORIA uit te voeren om deze vervolgens in analytische Sellmeijer sommen te gebruiken. Of dit leidt tot een betere piping berekening moet nog onderzocht worden maar er is zeker potentie. Wel blijft de analytische methode de beperking hebben dat meerlaagsheid en anisotropie niet meegenomen kunnen worden.

Hierbij is MORIA dus een programma dat een 3D beeld van de geohydrologie geeft met dus ook de stijghoogteverloop en D-Geo Flow is vervolgens te gebruiken voor de groei van de pijp (kritische stijghoogte bepalen). Hierbij moet benadrukt worden dat Moria met een nauwkeurigheid in decimeters de stijghoogte in de bovenste laag berekent. Deze nauwkeurigheid is gebaseerd op onder andere Modelresultaten deelgebied Bommelerwaard uit 2016.

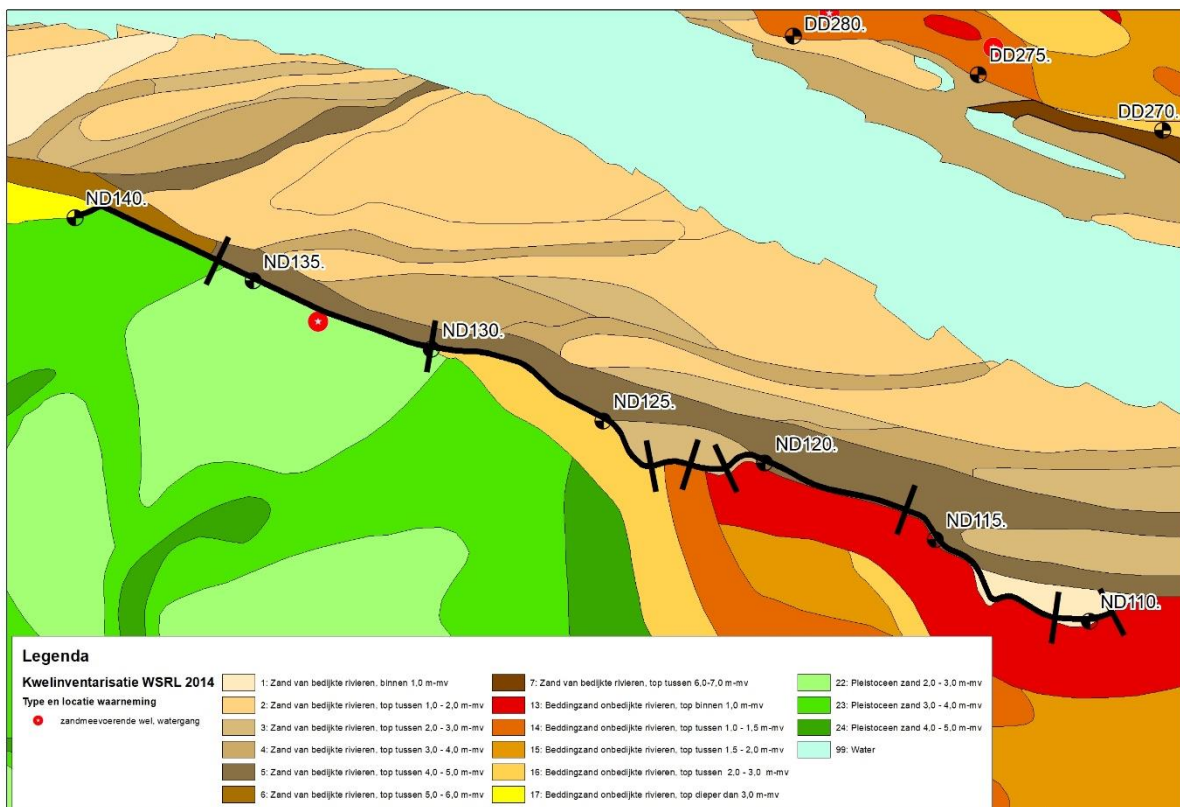
8 Bibliografie

1. **Grontmij n.v.** *Verbetering Waalbandijk traject Rossum - Zaltbommel*. sl : Polderdistrikt Bommelerwaard, 1980.
2. **HaskoningDHV Nederland b.v.** *POV-Piping Portaal*. sl : Waterschap Rivierenland, 2018.

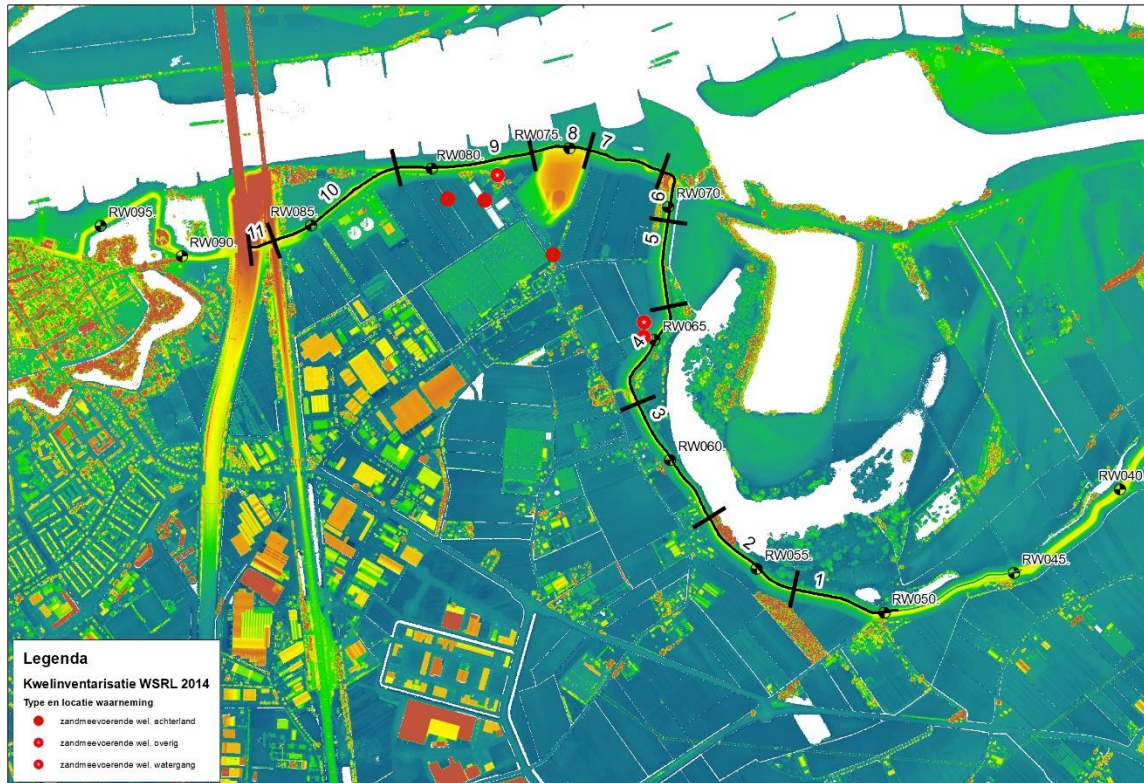
9 Bijlagen



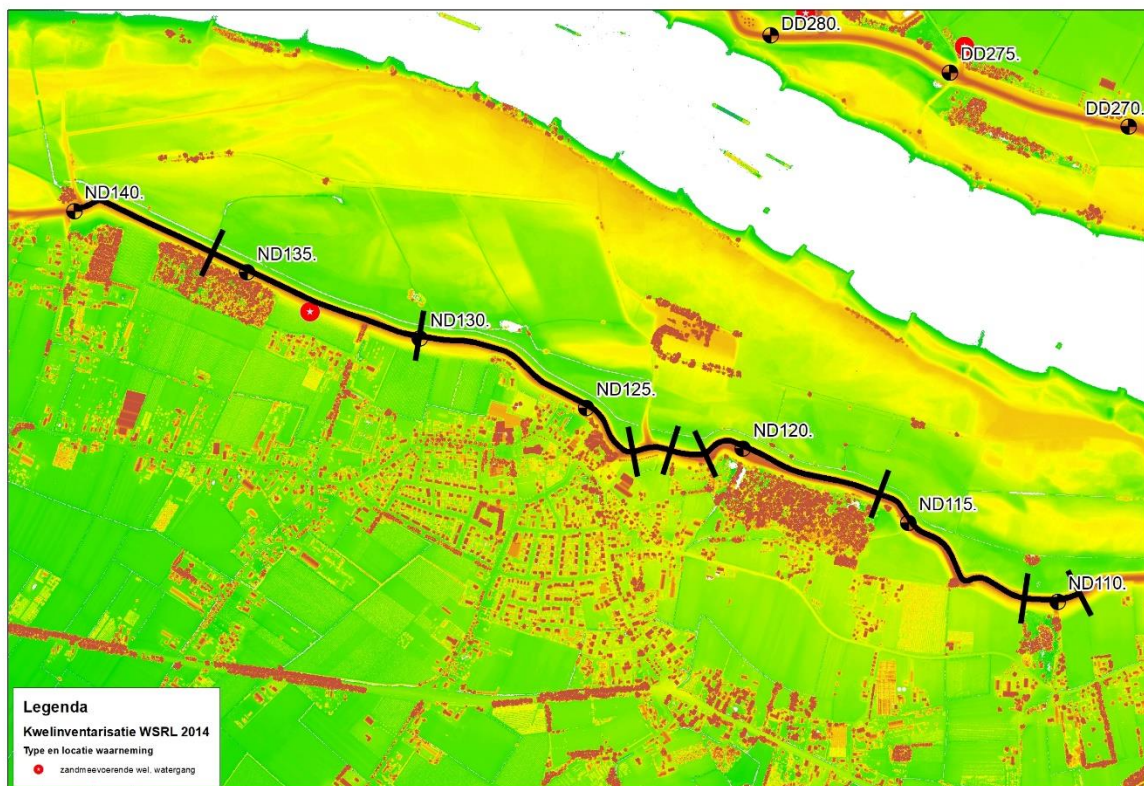
Figuur 21: Zandbanenkaart Zaltbommel



Figuur 22: Zandbanenkaart Nijmegen

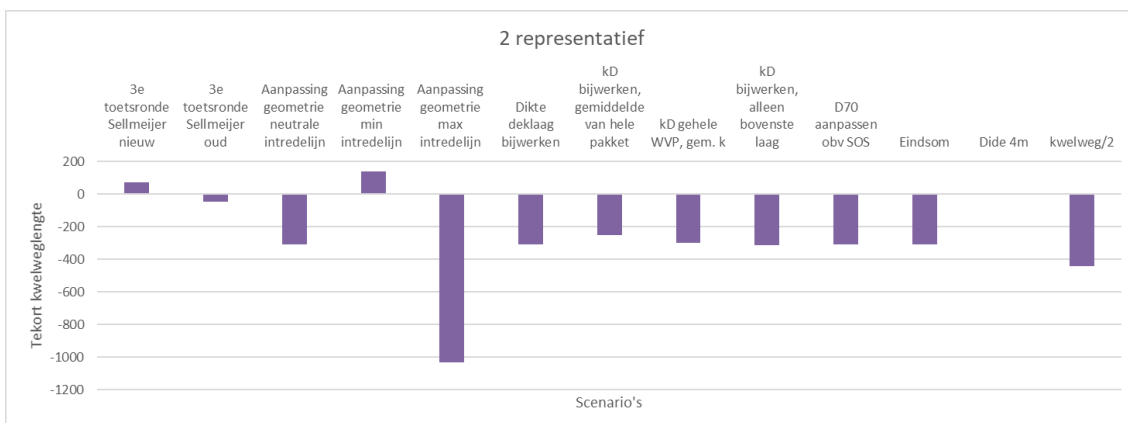
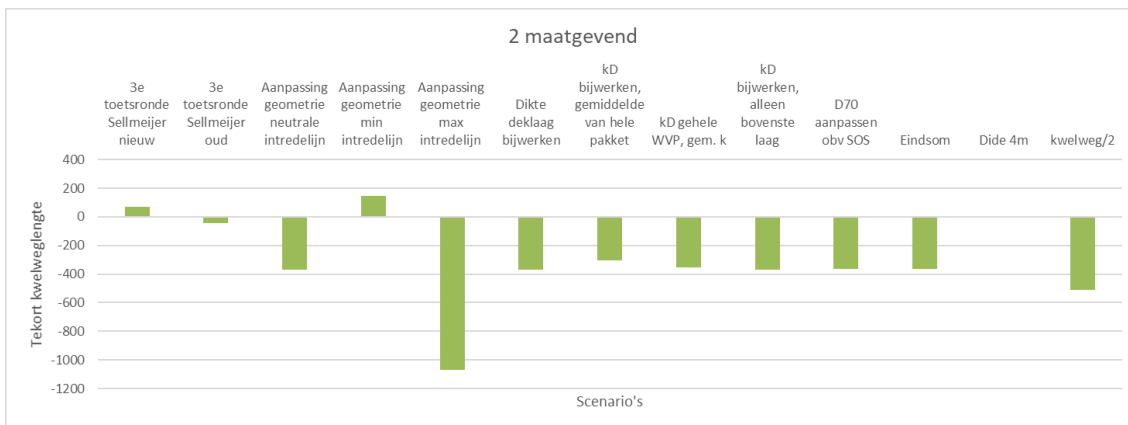
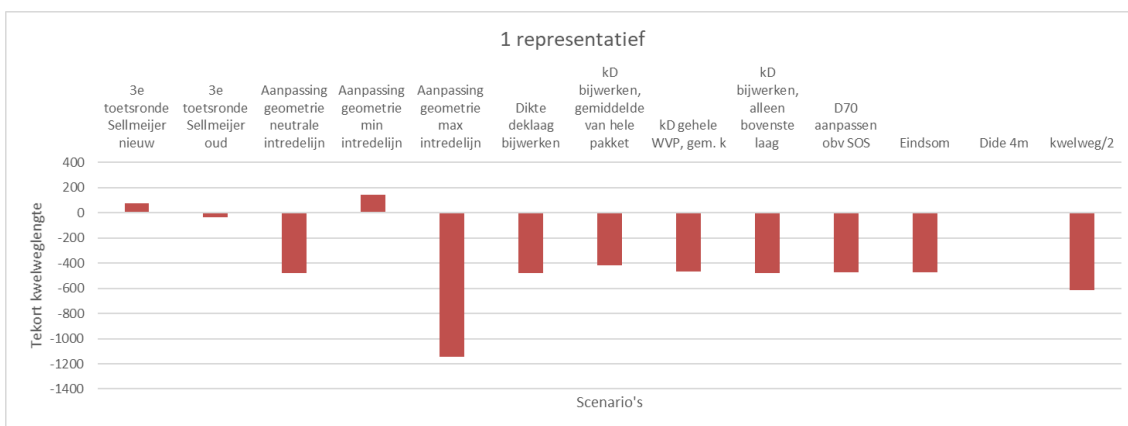
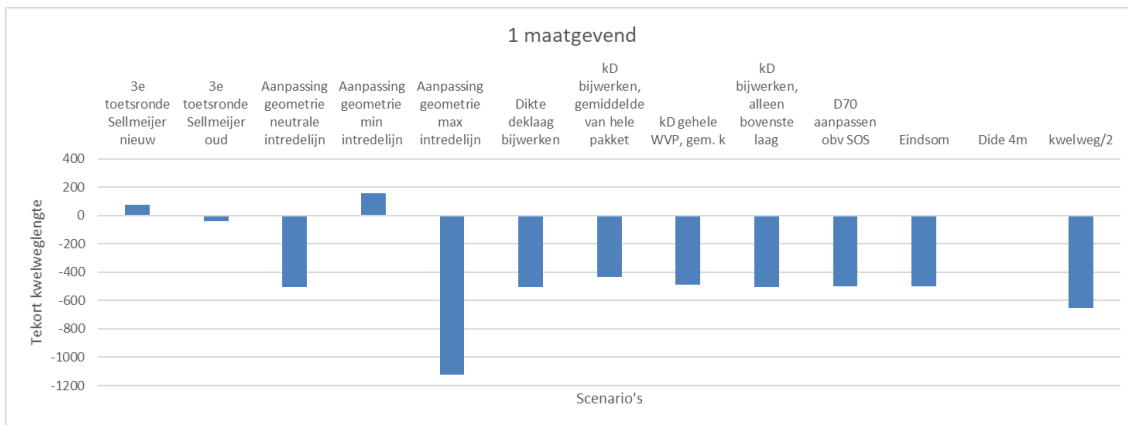


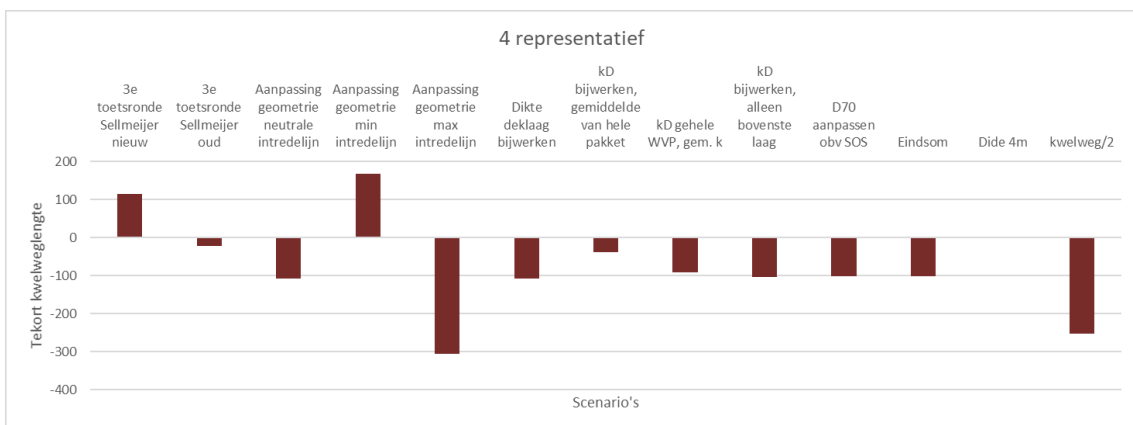
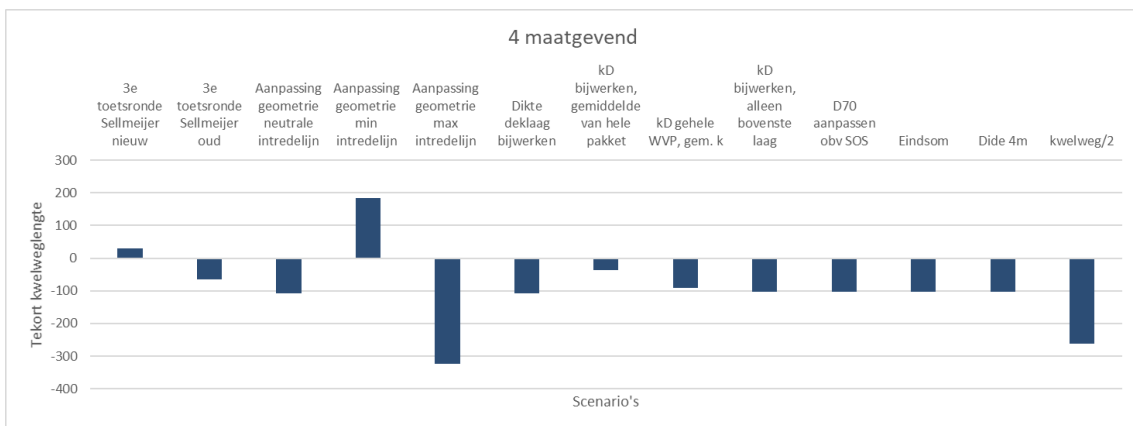
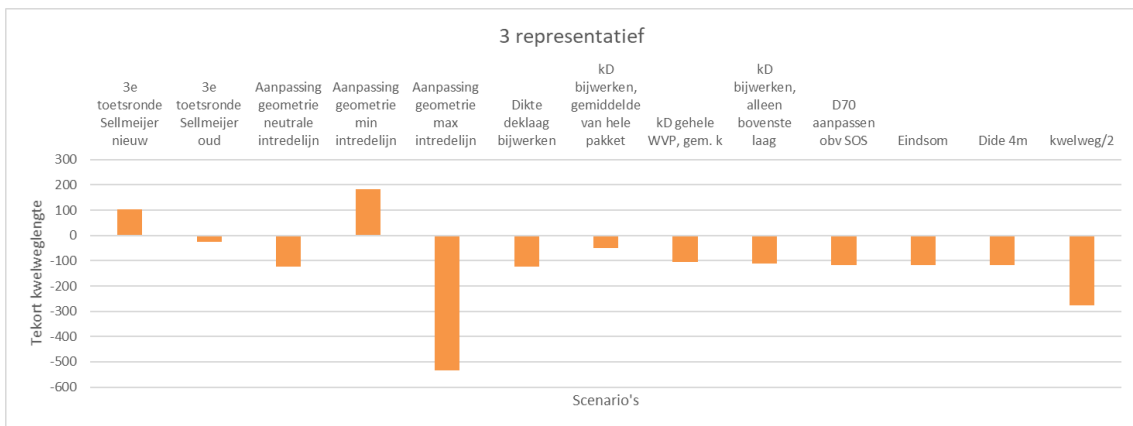
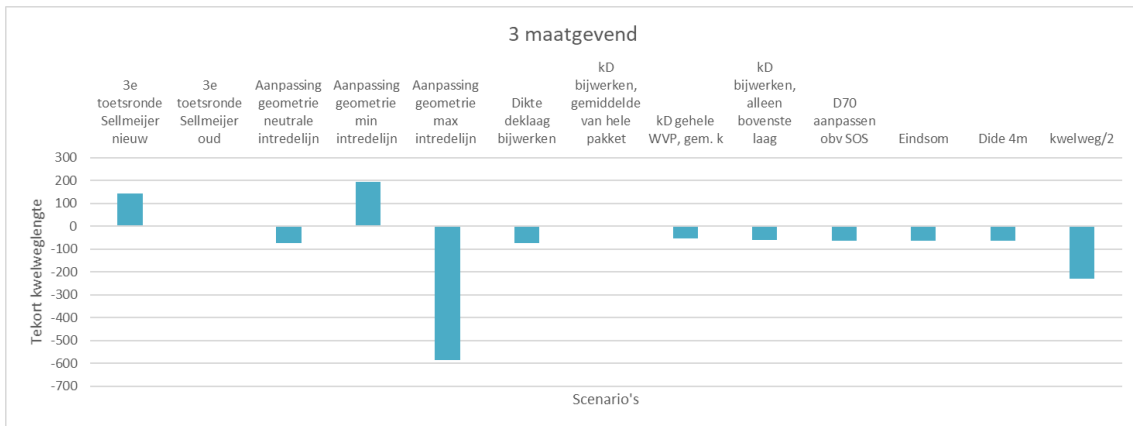
Figuur 23: AHN voor Zaltbommel, inclusief vakindeling

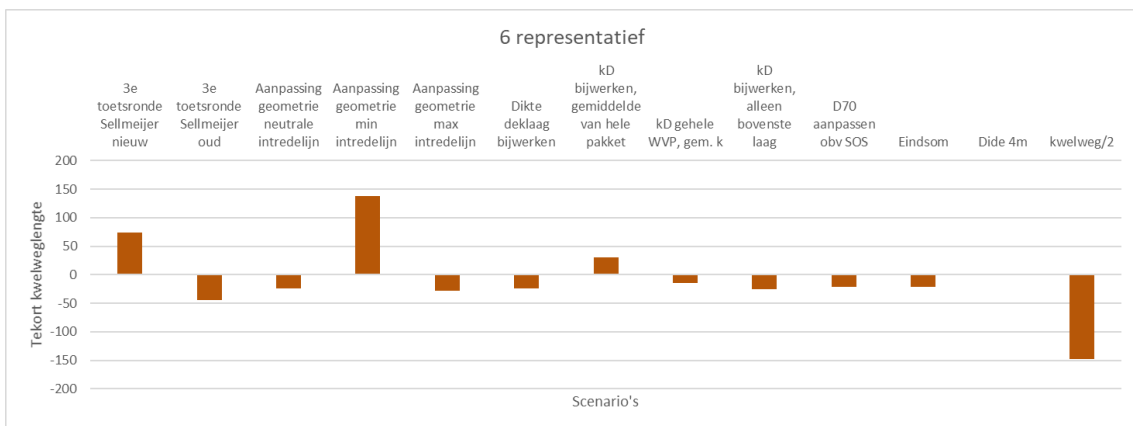
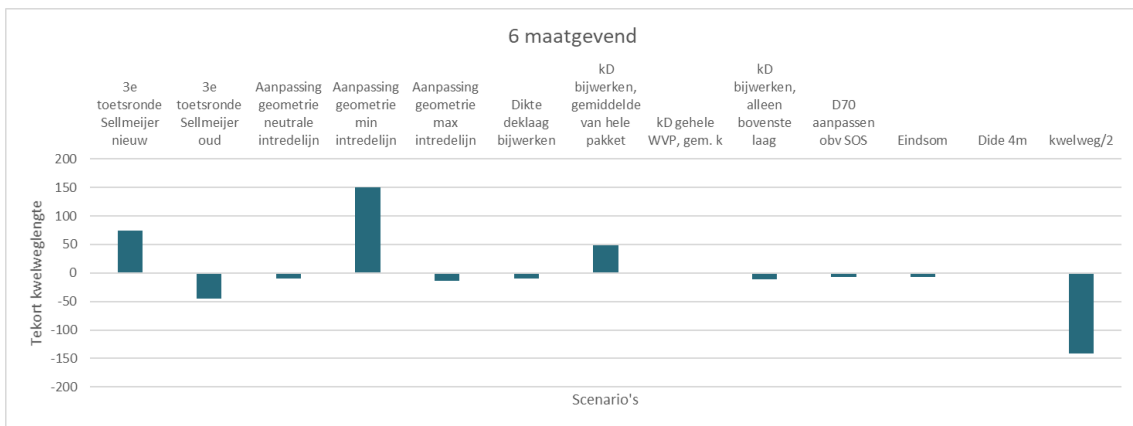
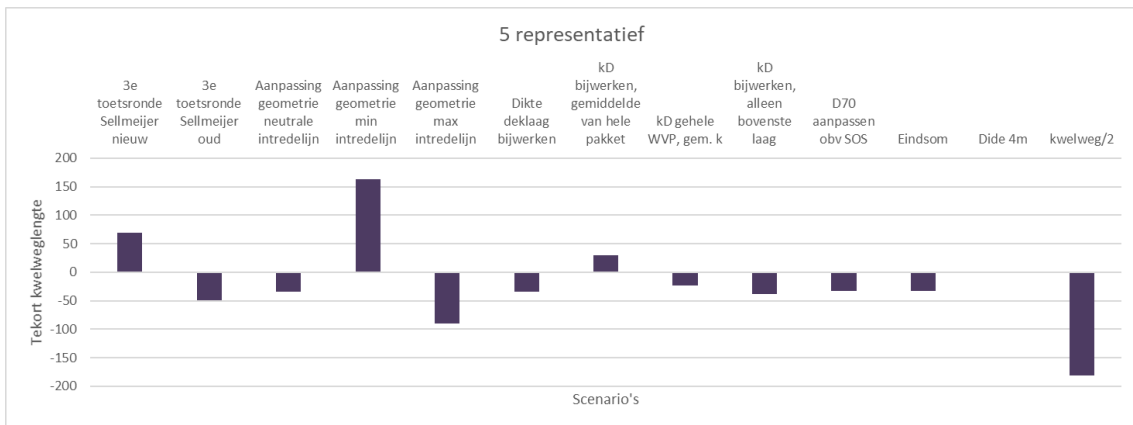
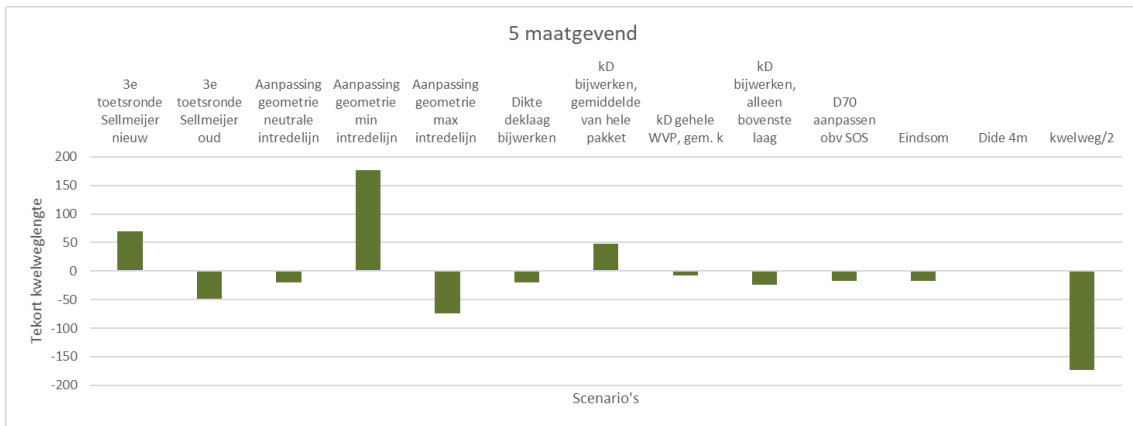


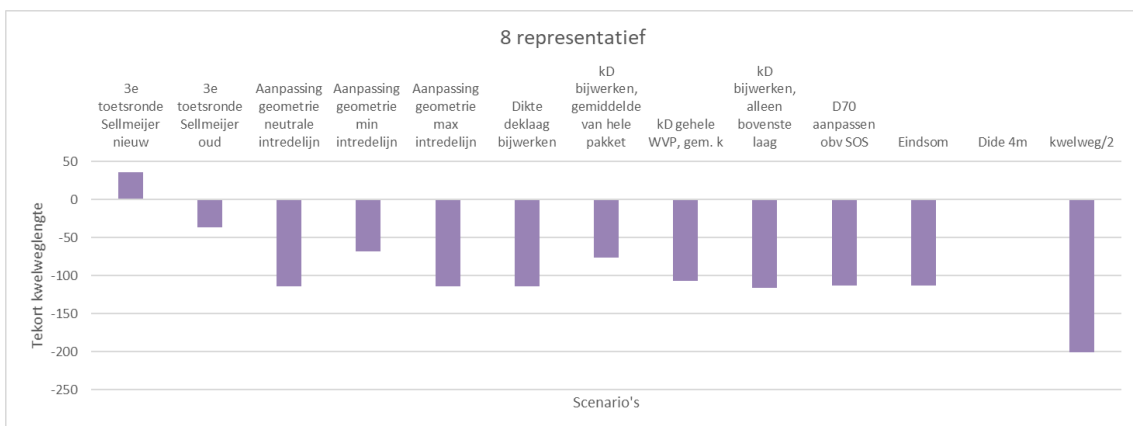
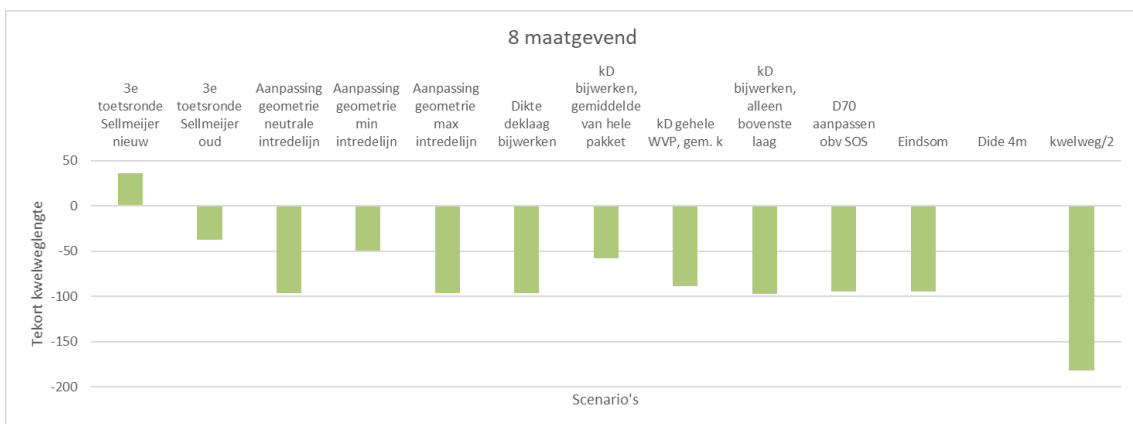
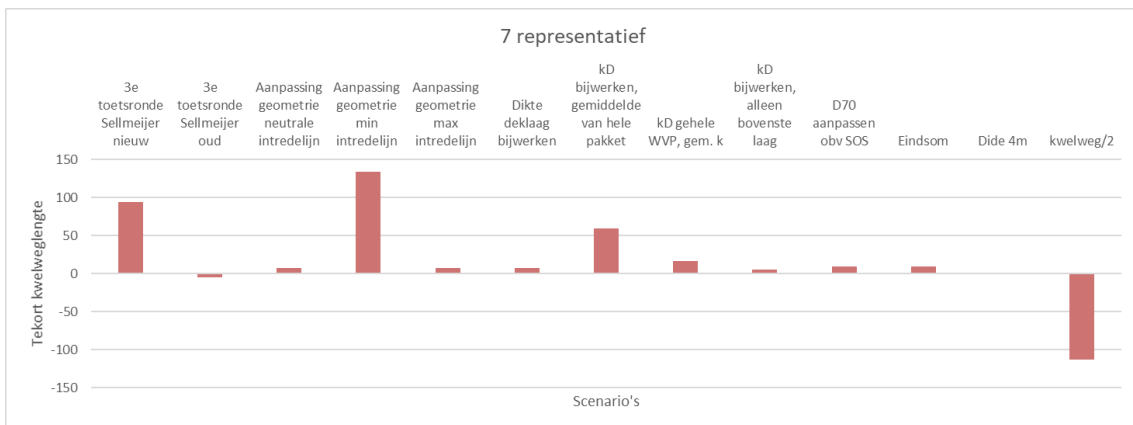
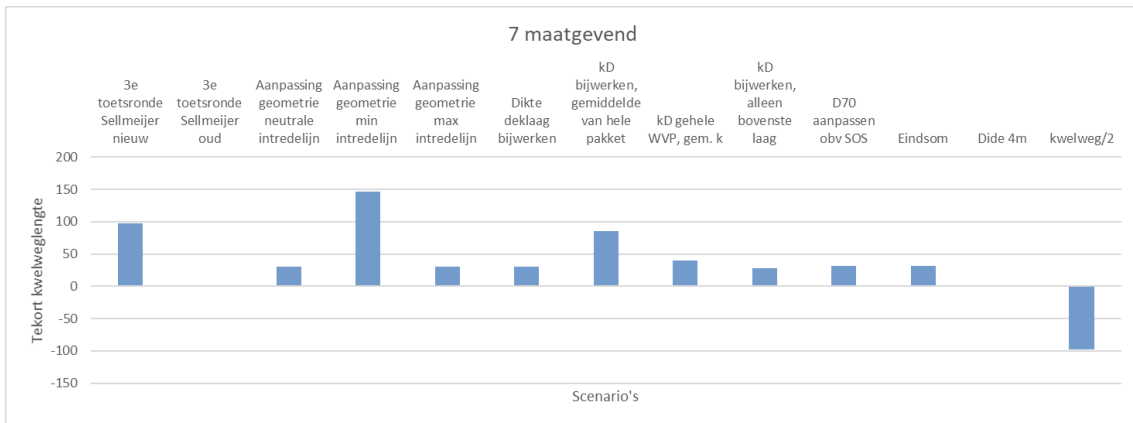
Figuur 24: AHN voor Nijmegen, inclusief vakindeling

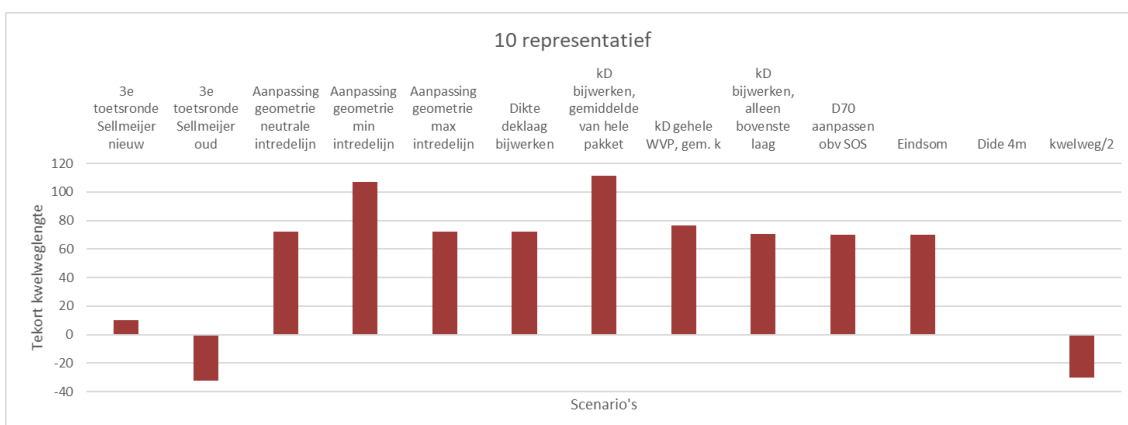
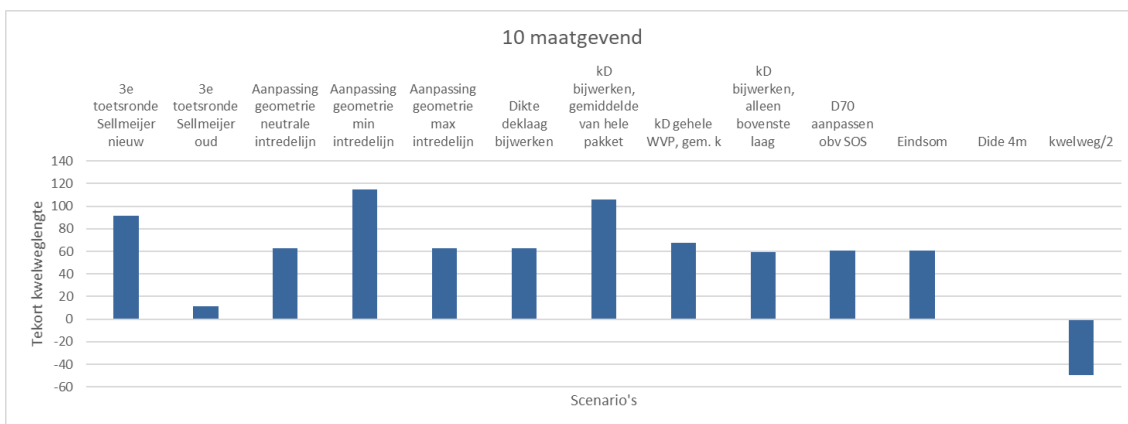
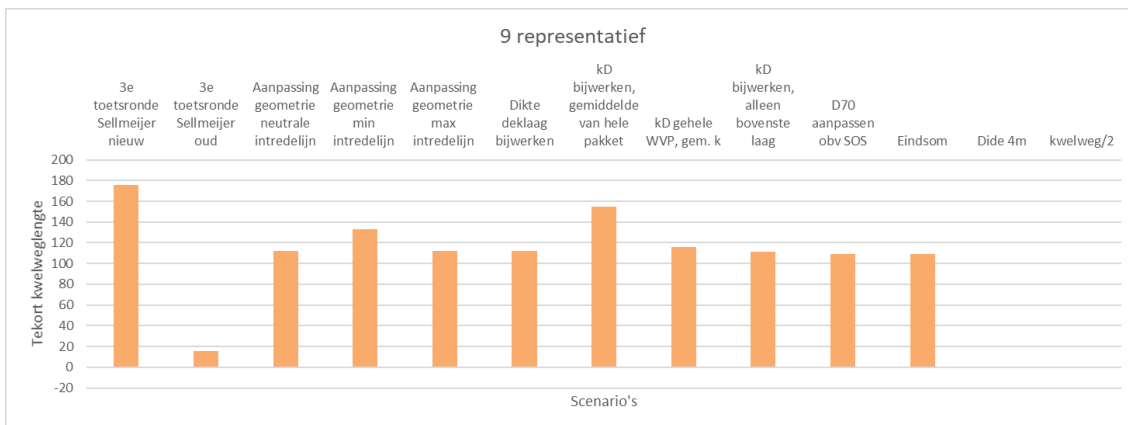
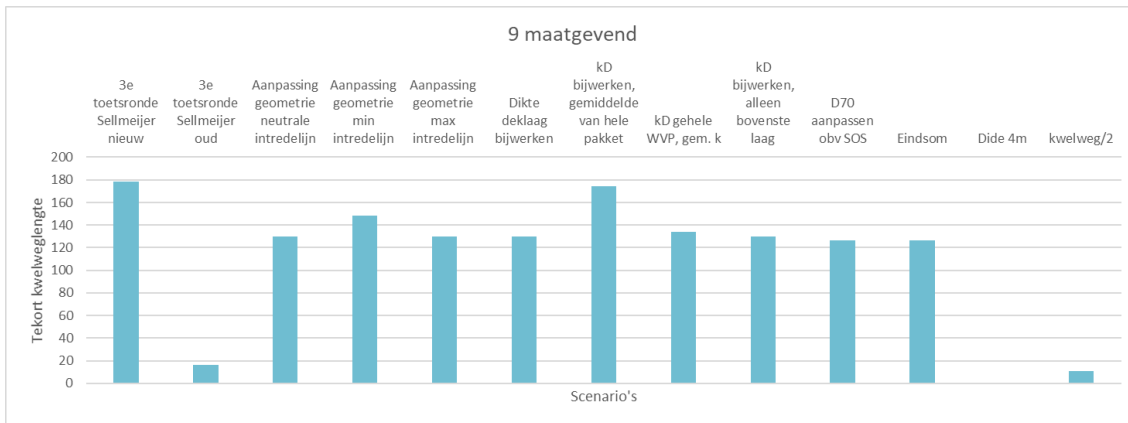
Resultaten Zaltbommel



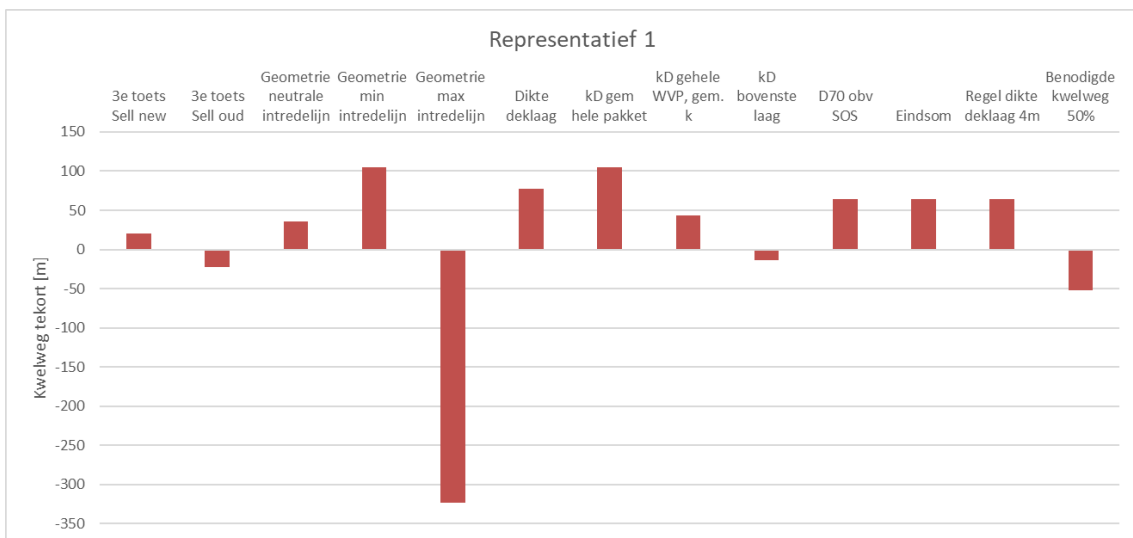
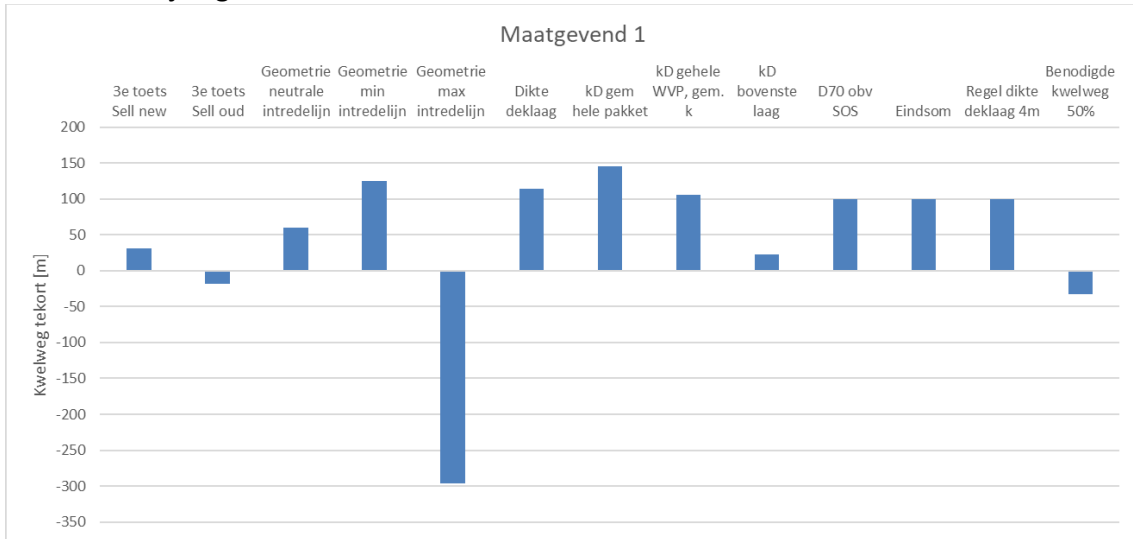


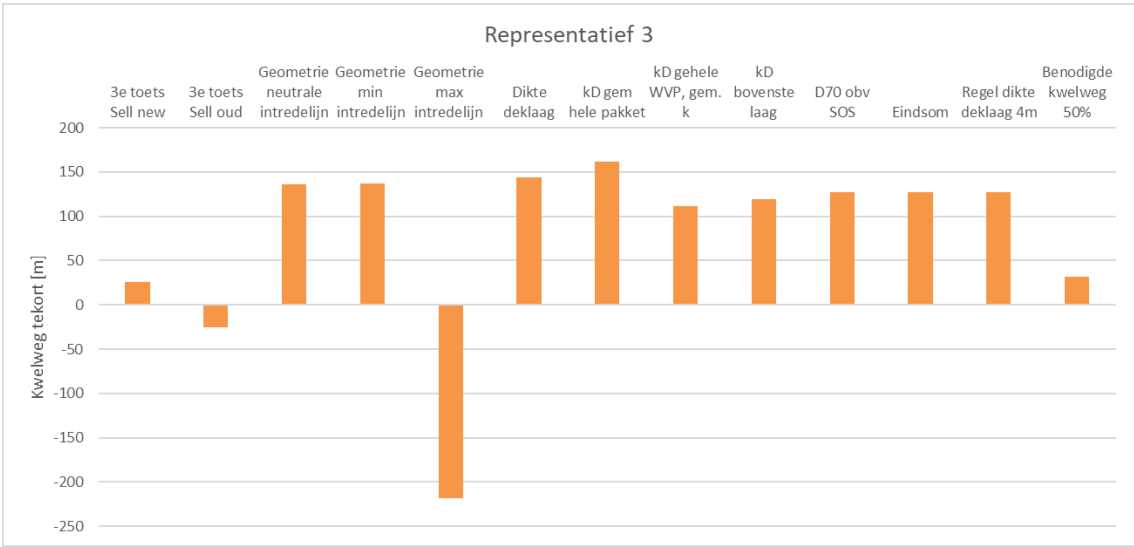
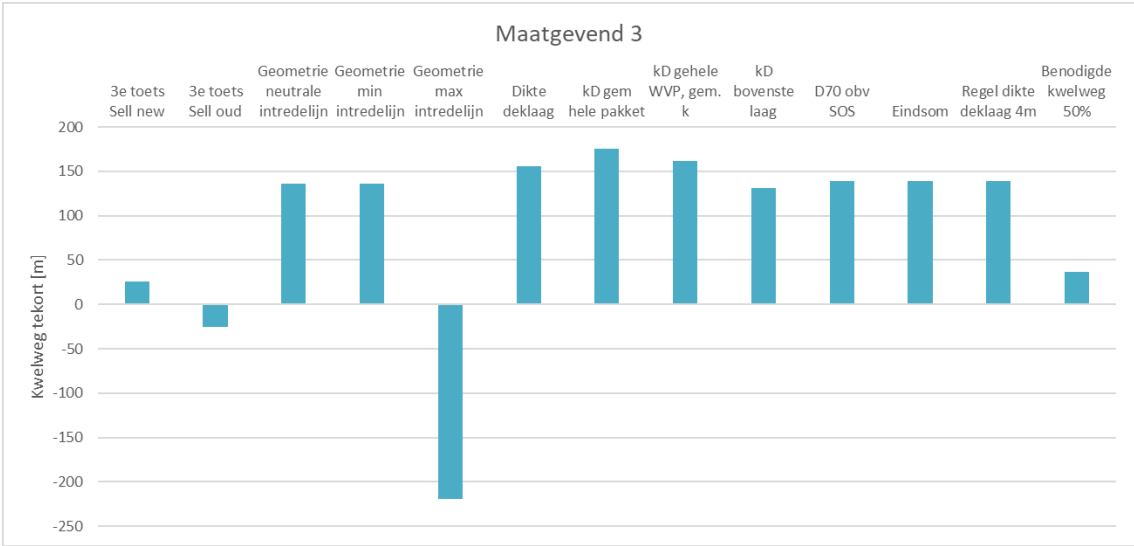
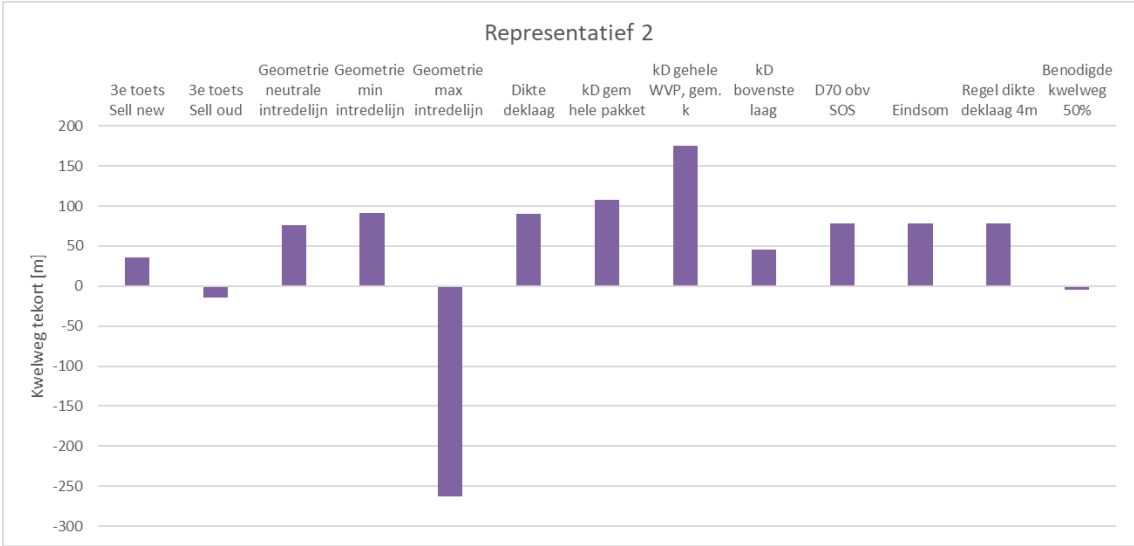


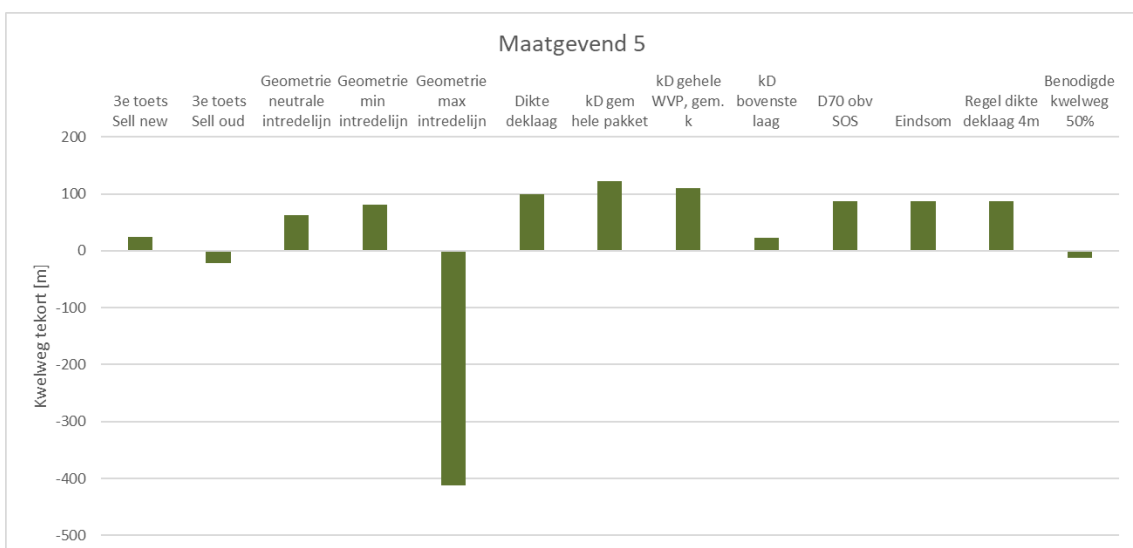
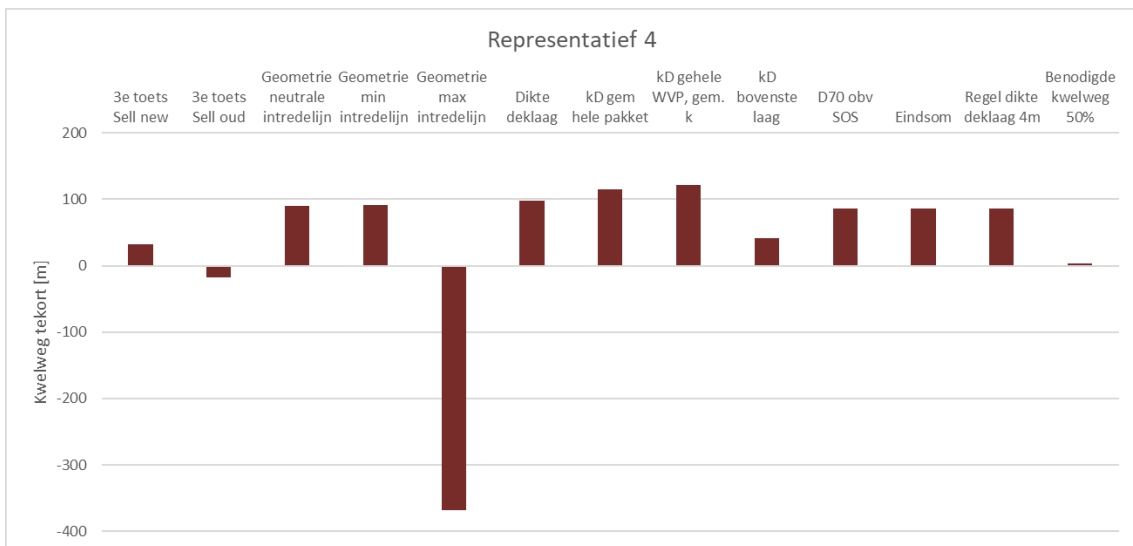
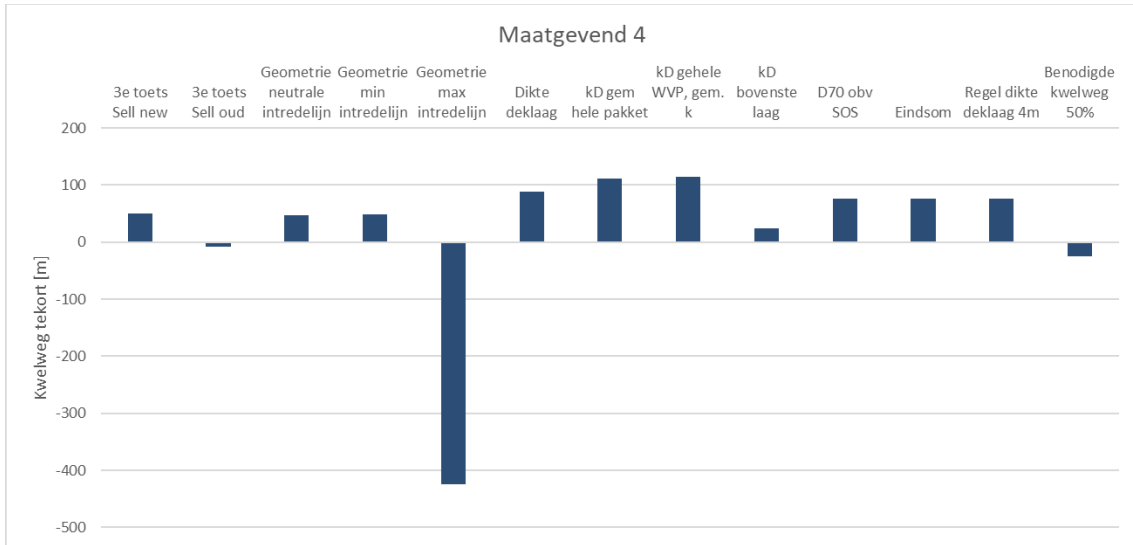


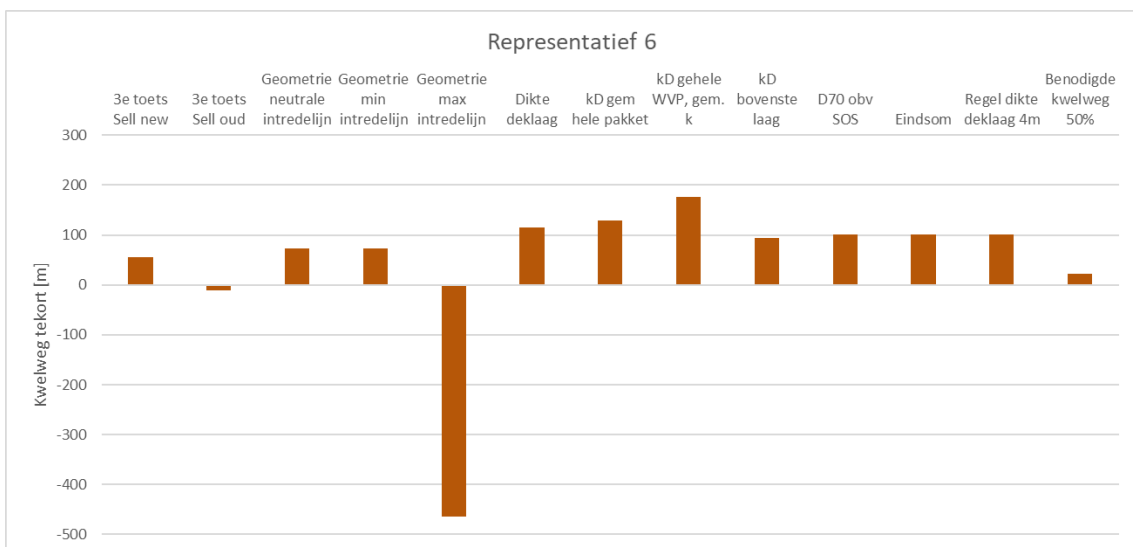
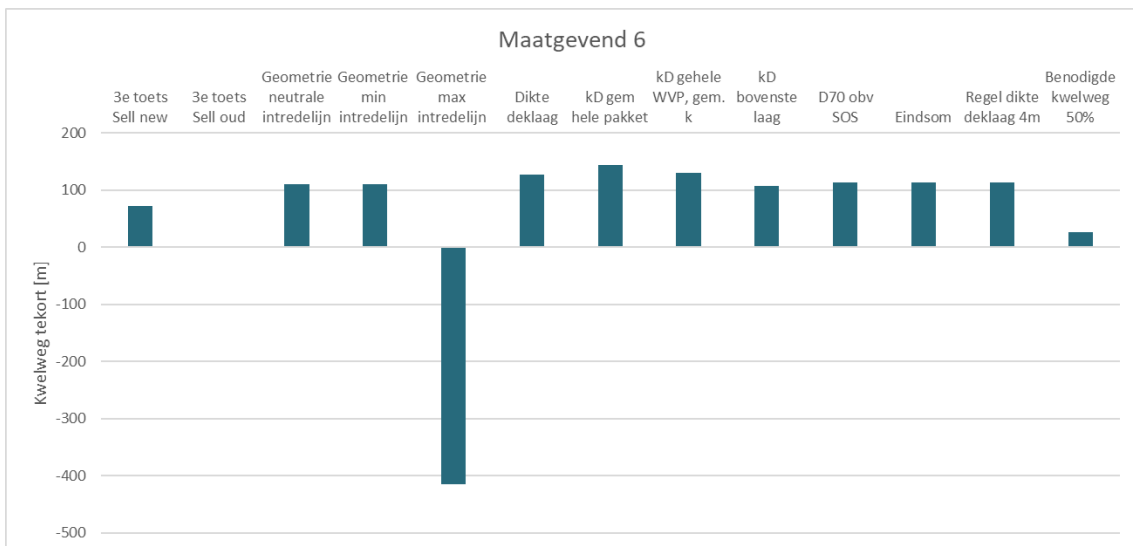
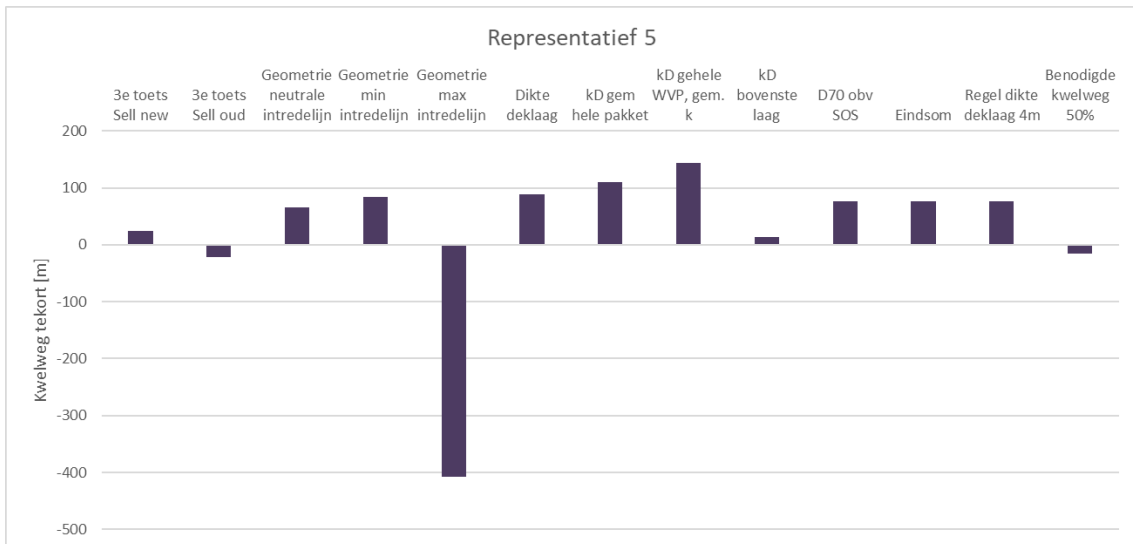


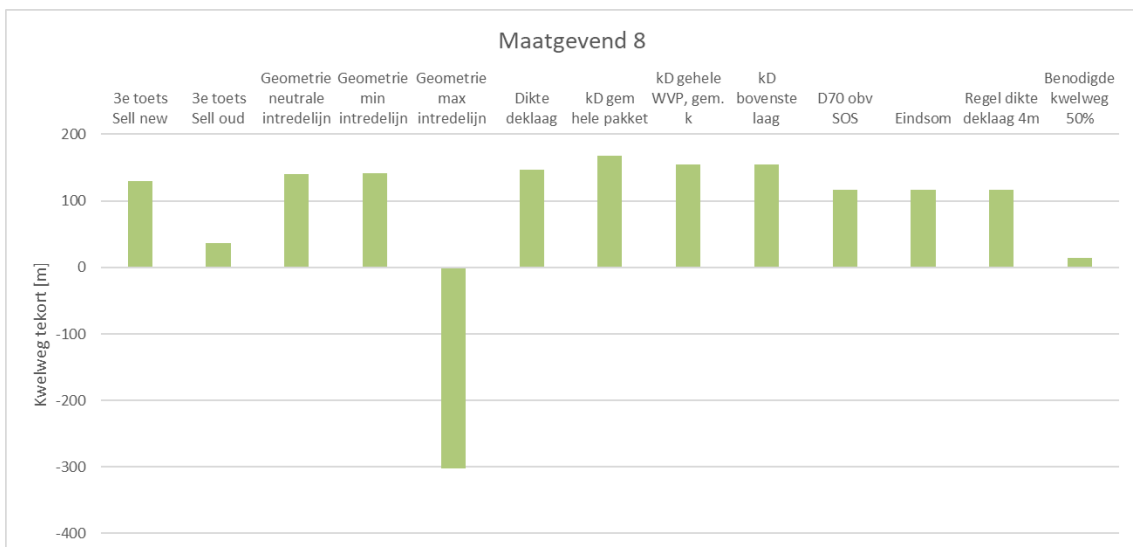
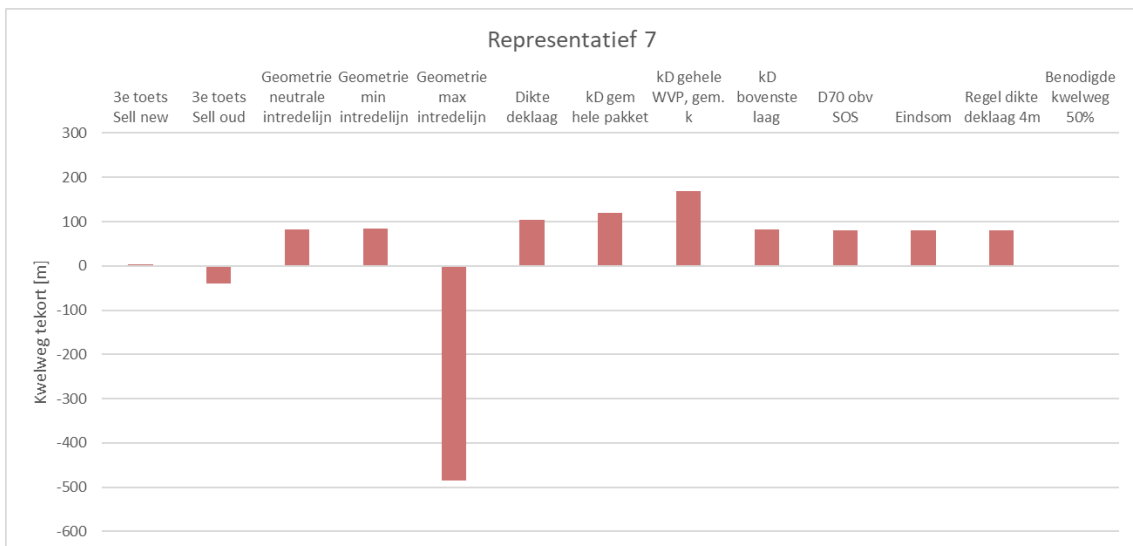
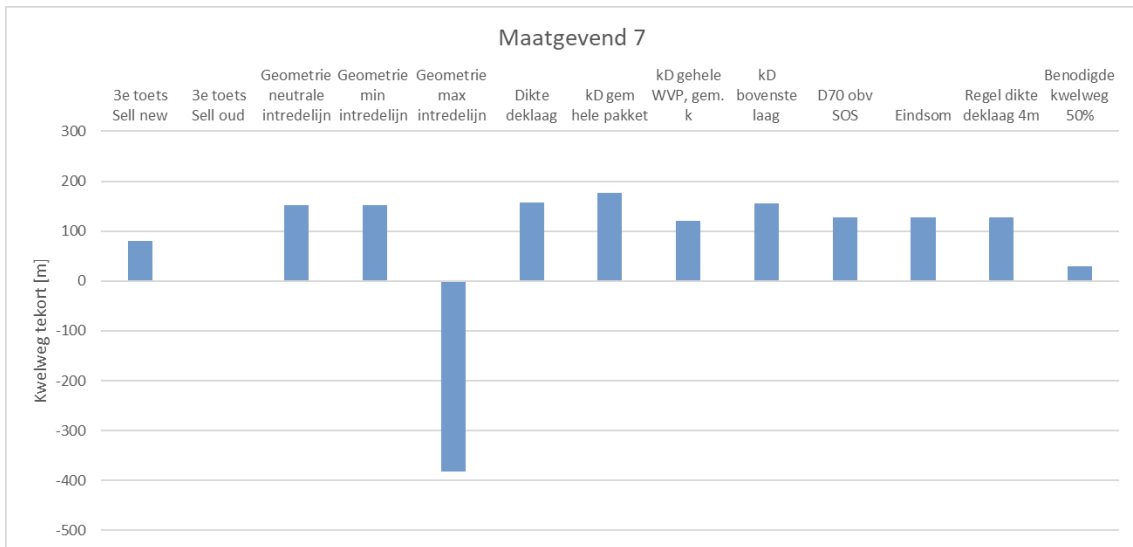
Resultaten Nijmegen

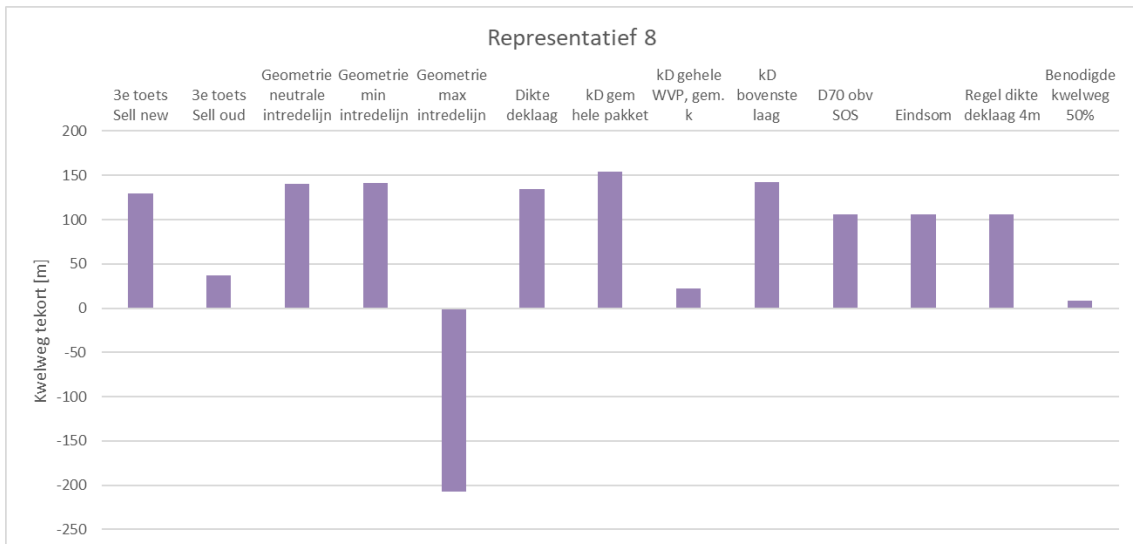












Invoer parameters

Invoer parameters Zaltbommel 3^e toetsronde parameters, nieuwe doorsnedes

Dijkpaal/Scenario		vak1 mg geo	vak1 rp geo	vak2 mg geo	vak2 rp geo	vak3 mg geo	vak3 rp geo	vak4 mg geo	vak4 rp geo	vak5 mg geo	vak5 rp geo
Toetspeil	m+NAP	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,47	9,47
Breedte voorland	m	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Dikte klei voorland	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Dijk zate	m	32	33	43	43	39	42	38	38	41	41
Dijk zate - uittredpunt	m	28	27	27	27	19	20	30	30	33	33
Breedte achterland	m	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Maaiveldhoogte uittredpunt	m+NAP	2,9	2,9	2,8	2,8	2,77	3,35	3,7	2,4	2,75	2,75
Slootpeil	m+NAP	2,9	2,9	2,8	2,8	2,77	3,35	3,7	2,4	2,75	2,75
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	-2,9	-2,9	-3,2	-3,2	0,85	0,85	-2,1	-2,1	-3,25	-3,25
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-47,9	-47,9	-48,2	-48,2	-44,15	-44,15	-47,1	-47,1	-48,25	-48,25
k Watervoerend pakket	m/dag	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Korrel diameter D70	um	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	5,8	5,8	6	6	1,92	2,5	5,8	4,5	6	6

Dijkpaal/Scenario		vak6 mg geo	vak6 rp geo	vak7 mg geo	vak7 rp geo	vak8 mg geo	vak8 rp geo	vak9 mg geo	vak9 rp geo	vak10 mg geo	vak10 rp geo
Toetspeil	m+NAP	9,46	9,46	9,34	9,34	9,3	9,3	9,28	9,28	9,22	9,22
Breedte voorland	m	100	100	50	50	50	50	100	100	30	30
Dikte klei voorland	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Dijk zate	m	41	41	35	37	39	39	32	32	30	44
Dijk zate - uittredpunt	m	30	30	25	28	30	30	28	28	25	10
Breedte achterland	m	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
Maaiveldhoogte uittredpunt	m+NAP	2,6	2,6	3	3	3,82	3,82	2,45	2,6	3,7	5,1
Slootpeil	m+NAP	2,6	2,6	3	3	3,82	3,82	2,45	2,45	3,7	5,1
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	-3,7	-3,7	-3,3	-3,3	-3,5	-3,5	2,45	2,45	-1,65	-1,65
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-48,7	-48,7	-48,3	-48,3	-48,5	-48,5	-52,55	-52,55	-56,65	-56,65
k Watervoerend pakket	m/dag	55	55	55	55	55	55	50	50	50	50
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Korrel diameter D70	um	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	6,3	6,3	6,3	6,3	7,32	7,32	0	0,15	5,35	6,75

Invoer parameters Zaltbommel Eindberekening

Dijkpaal/Scenario		vak1 mg geo	vak1 rp geo	vak2 mg geo	vak2 rp geo	vak3 mg geo	vak3 rp geo	vak4 mg geo	vak4 rp geo	vak5 mg geo	vak5 rp geo
Toetspeil	m+NAP	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,48	9,47	9,47
Breedte voorland	m	740	685	575	505	330	370	355	330	240	240
Dikte klei voorland	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Dijk zate	m	61	70	74	72	67	65	67	75	89	89
Dijk zate - uittredpunt	m	1	0	5	0	1	0	1	0	1	0
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredpunt	m+NAP	1,7	2,9	1,9	2,9	2	3	1,6	2,6	1,1	2,1
Slootpeil	m+NAP	2,9	2,9	2,9	2,9	3	3	2,6	2,6	2,1	2,1
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	-2,9	-2,9	-3,1	-3,1	0,5	0,5	-1,9	-1,9	-3,9	-3,9
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
k Watervoerend pakket	m/dag	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	4,6	5,8	5	6	1,5	2,5	3,5	4,5	5	6

Dijkpaal/Scenario		vak6 mg eind	vak 6 rp geo	vak7 mg geo	vak7 rp geo	vak8 mg geo	vak8 rp geo	vak 9 mg eind	vak9 rp eind	vak10 mg eind	vak10 rp eind
Toetspeil	m+NAP	9,46	9,46	9,34	9,34	9,3	9,3	9,28	9,28	9,22	9,22
Breedte voorland	m	200	200	150	160	50	50	35	35	70	50
Dikte klei voorland	m	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Dijk zate	m	74	74	76	75	60	60	69	76	80	80
Dijk zate - uittredepunt	m	1	0	1	0	160	180	1	0	10	0
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredepunt	m+NAP	1,75	2,75	1,7	2,7	7,3	7,3	1,6	2,6	2	3
Slootpeil	m+NAP	2,75	2,75	2,7	2,7	2,7	2,7	2,6	2,6	3	3
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	-3,55	-3,55	-3,6	-3,6	-3,5	-3,5	-3,9	-3,9	-3,75	-3,75
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65	-65
k Watervoerend pakket	m/dag	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	5,3	6,3	5,3	6,3	10,8	10,8	5,5	6,5	5,75	6,75

Invoer parameters Nijmegen 3^e toetsronde parameters, nieuwe doorsnedes

Dijkpaal/Scenario		vak1 mg geo	vak1 rp geo	vak2 mg geo	vak2 rp geo	vak3 mg geo	vak3 rp geo	vak4 mg geo	vak4 rp geo
Toetspeil	m+NAP	13,25	13,25	13,23	13,23	13,18	13,18	13,13	13,13
Breedte voorland	m	40	40	40	40	50	50	40	40
Dikte klei voorland	m	1	1	1	1	1	1	1	1
Dijk zate	m	37,44	34,78	41,08	35,92	36,51	36,51	35,99	35,99
Dijk zate - uittredepunt	m	1	0	0	0	1	1	3,14	3,14
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredepunt	m+NAP	9,96	9,9	9,65	9,55	9,65	9,65	9,2	9,2
Slootpeil	m+NAP	10	9,9	9,7	9,6	9,7	9,7	9,21	9,8
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	7,5	6,03	7,9	6	6,55	6,55	5,94	6,6
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-42,5	-43,97	-42,1	-44	-43,45	-43,45	-44,06	-43,4
k Watervoerend pakket	m/dag	50	50	50	50	50	50	50	50
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	200	200	200	200	200	200	200	200
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	2,46	3,87	1,75	3,55	3,1	3,1	3,26	2,6

Dijkpaal/Scenario		vak5 mg geo	vak5 rp geo	vak6 mg geo	vak 6 rp geo	vak7 mg geo	vak7 rp geo	vak8 mg geo	vak8 rp geo
Toetspeil	m+NAP	13,13	13,13	13,4	13,4	12,98	12,98	12,93	12,93
Breedte voorland	m	40	40	50	50	50	50	50	50
Dikte klei voorland	m	1	1	1	1	1	1	1	1
Dijk zate	m	27,72	27,72	38,11	40,8	39,97	40,87	45,37	45,37
Dijk zate - uittredepunt	m	11,57	11,57	0	0	5,27	0	-19,24	-19,24
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredepunt	m+NAP	9,77	9,77	8,77	8,2	8,09	9,49	7,27	7,27
Slootpeil	m+NAP	9,8	9,8	8,8	8,2	8,1	9,5	7,3	7,3
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	6,6	6,6	5,35	1,75	4,7	4,9	4,25	4,25
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-43,4	-43,4	-44,65	-48,25	-45,3	-45,1	-45,75	-45,75
k Watervoerend pakket	m/dag	50	50	50	50	50	50	50	50
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	200	200	200	200	200	200	200	200
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	3,17	3,17	3,42	6,45	3,39	4,59	3,02	3,02

Invoer parameters Nijmegen Eindberekening

Dijkpaal/Scenario		vak1 mg eind	vak1 rp eind	vak2 mg eind	vak2 rp eind	vak3 mg eind	vak3 rp eind	vak4 mg eind	vak4 rp eind
Toetspeil	m+NAP	13,25	13,25	13,23	13,23	13,18	13,18	13,13	13,13
Breedte voorland	m	90	90	85	25	2	2	2	2
Dikte klei voorland	m	1	1	1	1	1	1	1	1
Dijk zate	m	74	79	57	62	62	62	56	76
Dijk zate - uittredepunt	m	1	0,01	62	0,01	1	0,01	67	0,01
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredepunt	m+NAP	5,6	7,9	6,9	8,5	6,5	7,5	6,8	8,5
Slootpeil	m+NAP	7,9	7,9	8,5	8,5	7,5	7,5	8,5	8,5
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	6,9	6,9	6	6	5	5	6,5	6,5
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
k Watervoerend pakket	m/dag	60	60	60	60	60	60	60	60
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	300	300	300	300	300	300	300	300
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	-1,3	1	0,9	2,5	1,5	2,5	0,3	2

Dijkpaal/Scenario		vak5 mg eind	vak5 rp eind	vak6 mg eind	vak6 rp eind	vak7 mg eind	vak7 rp eind	vak8 mg eind	vak8 rp eind
Toetspeil	m+NAP	13,13	13,13	13,4	13,4	12,98	12,98	12,93	12,93
Breedte voorland	m	25	25	2	2	2	2	2	2
Dikte klei voorland	m	1	1	1	1	1	1	1	1
Dijk zate	m	65	83	56	56	67	79	86	86
Dijk zate - uittredepunt	m	23	0,01	1	0,01	0,01	0,01	1	0,01
Breedte achterland	m	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000	5000
Maaiveldhoogte uittredepunt	m+NAP	7,4	8,4	7,3	8,3	6,8	7,9	5,9	6,9
Slootpeil	m+NAP	8,4	8,4	8,3	8,3	6,8	7,9	6,9	6,9
Bovenkant watervoerend pakket	m+NAP	6,9	6,9	5,3	5,3	3,8	4,9	3,4	3,4
gklei deklaag achterland	kN/m3	17	17	17	17	17	17	17	17
Onderkant watervoerend pakket	m+NAP	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-55
k Watervoerend pakket	m/dag	60	60	60	60	60	60	60	60
kv doorlatendheid klei voorland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ka doorlatendheid klei achterland	m/dag	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Korrel diameter D70	um	300	300	300	300	350	350	350	350
C kwelfactor (Blight, Lane)	--	15	15	15	15	15	15	15	15
Dikte deklaag	m	0,5	1,5	2	3	3	3	2,5	3,5



Waterschap
Rivierenland

Waterschap Rivierenland
Postbus 599
4000 AN Tiel
(0344) 64 90 90
www.waterschaprivierenland.nl