

WB21-knelpunt WPM-53

Belfeldse Leigraaf

Analyse knelpunt en maatregelen WB21-knelpunt
Belfeldse Leigraaf



Opdrachtgever

Waterschap Limburg

Viforis

Herten, 28-10-2019

Verantwoording

Titel

WB21-knelpunt WPM-42 Latbeek

Subtitel

Analyse knelpunt en maatregelen oplossen WB21-knelpunt Latbeek

Kenmerk

R2019_009

Revisie

-

Datum

28-10-2019

Auteur(s)

E.Raaijmakers

Goedgekeurd door:

Ing. M.J.J. Vroomen

Contact

Viforis b.v.

Boven de Wolfskuil 3B9

6049 LX Roermond

www.viforis.nl

Inhoud

1.	Inleiding	4
2.	Werking systeem en validatie model	5
2.1.	Topografie en normering.....	5
2.2.	Hoogte.....	8
2.3.	Grondgebruik.....	8
2.4.	Opbouw SOBEK-model en validatie waterstanden	10
2.4.1.	Stuwstanden.....	10
2.4.2.	Modelweerstanden	10
2.4.3.	Afvoeren	10
2.4.4.	Controle waterstanden	12
3.	Verificatie WB21-knelpunt.....	15
4.	Maatregelen	18
4.1.	Vergroten van duikers	18
4.2.	Herstel verbinding Zijtak Belfeldse Leigraaf/Broekgraaf	21
4.3.	Ophogen laaggelegen gronden.....	25
5.	Conclusie en advies	27
Bijlage	28	
Bijlage 1: Droogleggingskaarten huidige situatie		28

1. Inleiding

In 2015 is door Waterschap Limburg een WB21-toetsing van het beheergebied uitgevoerd. Deze toetsing is ervoor bedoeld om inundatieknelpunten voor het behalen van de provinciale NBW-norm inzichtelijk te krijgen en op te lossen. Deze knelpunten worden enerzijds veroorzaakt door hoge afvoeren uit landelijk gebied. Anderzijds kan de inundatie veroorzaakt worden door afvoerpieken als gevolg van lozingen van overstorten, kassen of ander verhard oppervlak.

De Belfeldse leigraaf heeft al eerder op de lijst gestaan als WB21-knelpunt. Om deze reden is er in 2016 een buffer aangelegd aan de Venweg. Tijdens dit project is de Broekgraaf verlegd en door een nieuwe waterbuffer geleid. Het doel van dit project was om hoogwaterpieken in de Broekgraaf te bufferen en de omgeving te beschermen tegen wateroverlast. Hierbij ging het met name om wateroverlast op omliggende agrarische percelen¹.

De buffer aan de benedenstroomse zijde van het viaduct heeft het inundatieknelpunt aan die zijde al opgelost. Bovenstrooms van het viaduct bevinden zich een aantal kleine duikers, waaronder een duiker van rond 400 mm. Naast deze kleine duiker ligt aan de voorzijde van een kas langs de Belfeldse Leigraaf een overkluizing. De combinatie van de lengte van de overkluizing (35 meter) en de kleine duiker zorgen voor een hoog verstoppingsrisico's en vormen daarmee de oorzaak van de inundaties².

Deze notitie gaat in op de validatie van het model en verificatie van het knelpunt. Hierbij is gebruik gemaakt van de meest recent ingemeten landmeetdata en de meest recent beschikbare werkwijzen van het Waterschap³. Naast het verbeteren van de ingemeten profielen in het model is in deze notitie een actualisatie uitgevoerd van de afvoertoeckenning en toegepaste neerslaggebeurtenissen. Hierbij is een actualisatie uitgevoerd aan de hand van de meest recent beschikbare KNMI-neerslagreeksen.

¹ Bron: Waterschap Limburg, Leidraad uitvoering buffer Broekgraaf, 14-02-2017

² Bron: Waterschap Limburg, Concept beoordeling watersysteemknelpunt (WB21-2015) WPM-53 Belfeldse Leigraaf, 9-10-2019

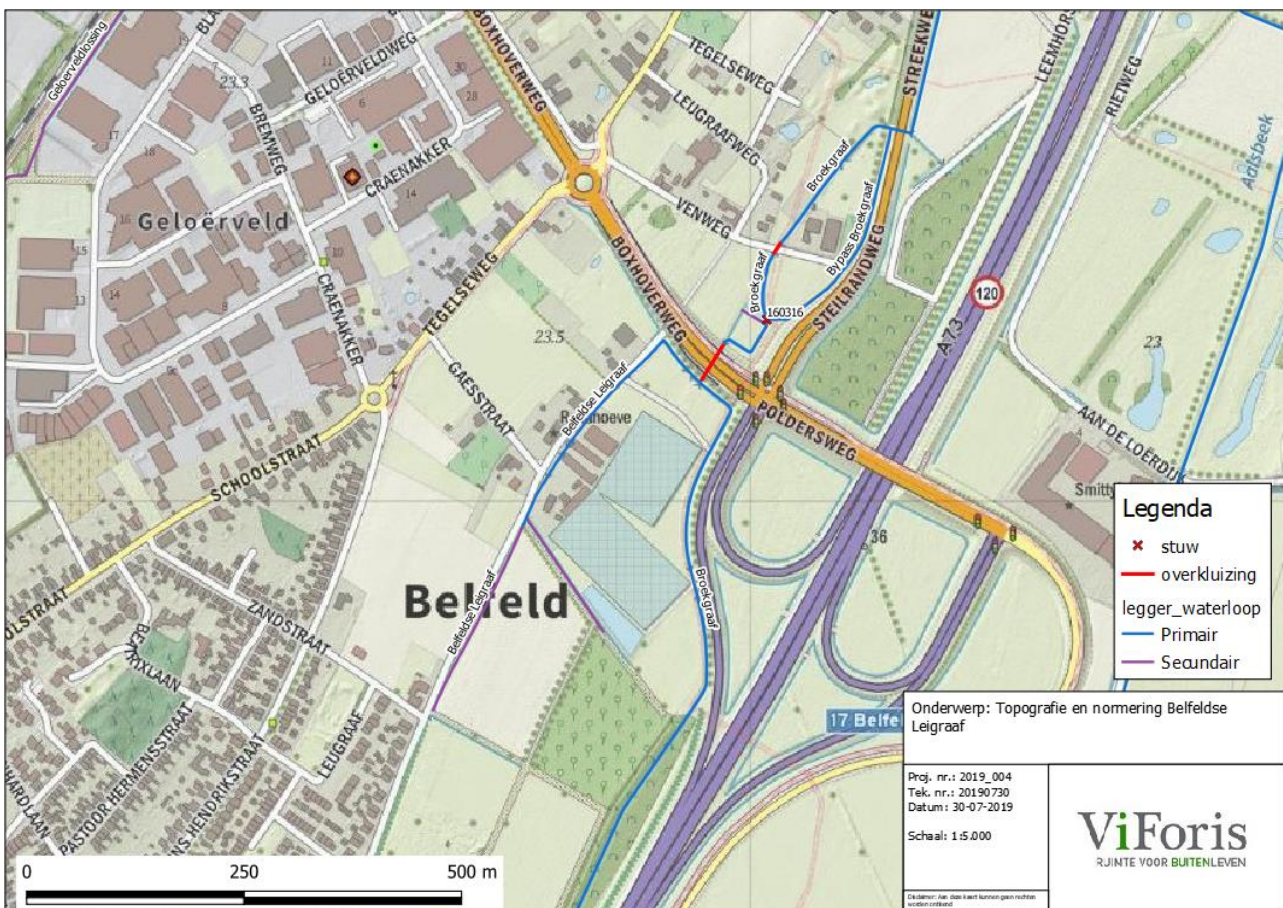
³ Bron: Waterschap Limburg, Werkwijzen hydrologie bij projecten – verzameldocument, November 2018

2. Werking systeem en validatie model

2.1. Topografie en normering

De Belfeldse Leigraaf bevindt zich tussen het dorp Belfeld en de A73. Ter hoogte van het viaduct over de A73 mondt de Broekgraaf uit in de Belfeldse Leigraaf om vervolgens parallel aan de snelweg verder te stromen. Ter hoogte van kasteel de Holtmühle stroomt de waterloop uit in de Aalsbeek. Benedenstrooms van de kruising van de Broekgraaf met de Boxhoverweg, in deze notitie verder benoemd als 'het viaduct' is in 2016 een buffer aangelegd ter verhelping van een WB21-knelpunt. Dit was een knelpunt afkomstig uit de toetsing van 2010.

De Belfeldse Leigraaf zelf ontspringt parallel aan Belfeld. Hierbij monden er geen riooloverstorten op de waterloop uit. Wel is het waarschijnlijk dat er nog een aantal kleinere regenwaterlozingen op de bovenloop (het gedeelte wat niet meer op de legger staat) van de Belfeldse Leigraaf aanwezig zijn⁴.

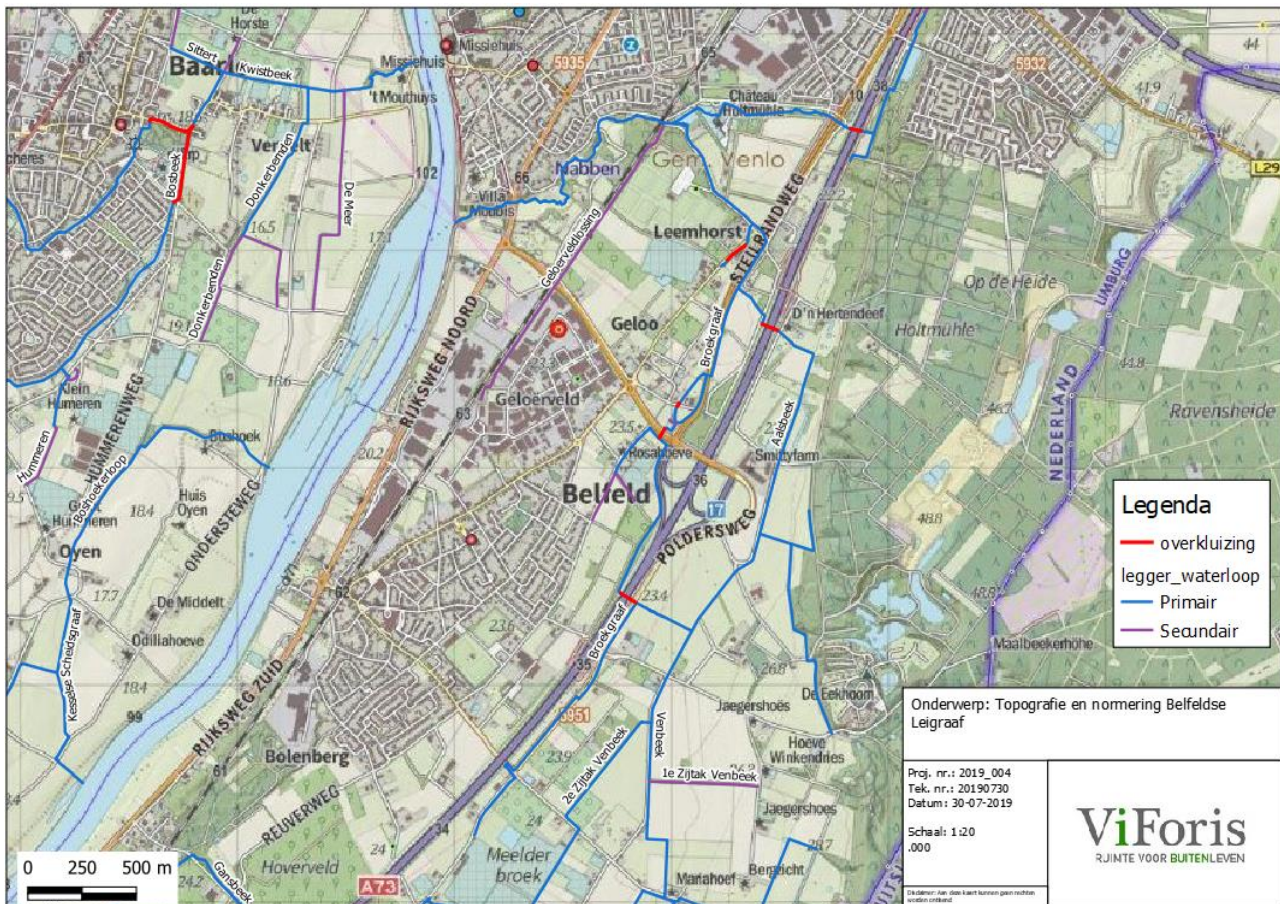


Figuur 1: Legger en topografie Belfeldse Leigraaf

Ter hoogte van de Gaesstraat is een lozing van een tweetal kassen aanwezig. Hoewel er bij de zuidelijke kas een gietwaterbassin aanwezig is, is er in deze studie vanuit gegaan dat deze kassen ongebufferd op de Belfeldse Leigraaf lozen. De eerste kas is rond 1999 aangelegd. De 2e kas verschijnt rond 2010 op de topografische kaarten⁵

⁴ Bron: Waterschap Limburg, Leggerboekje Belfeldse Leigraaf, 1^e en 2^e zijtak, 1993

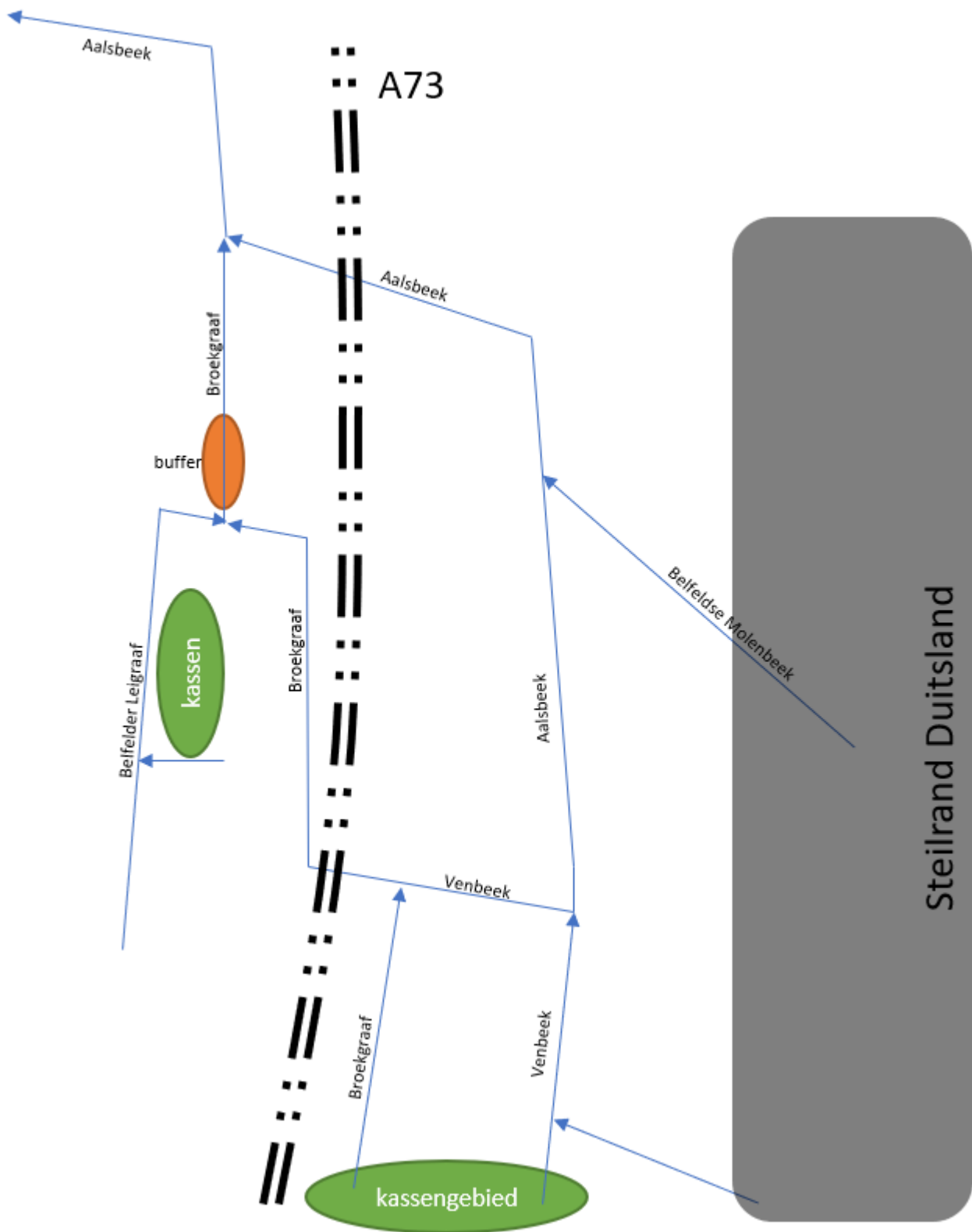
⁵ Bron: Topotijdreis



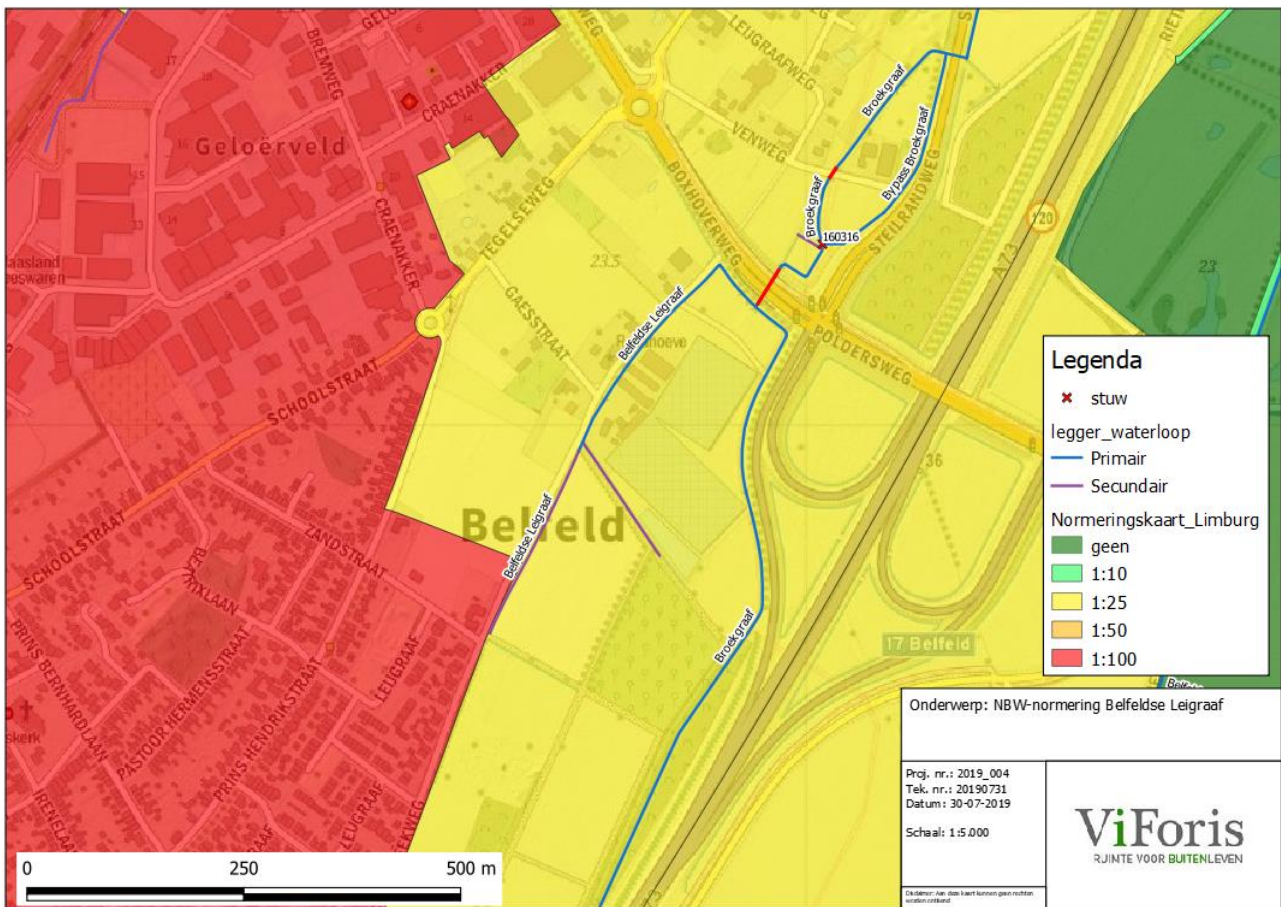
Figuur 2: Topografie en legger Broekgraaf en Belfelder Leigraaf.

Zoals op de bovenstaande figuur te zien is, is de Broekgraaf afkomstig vanuit een kassengebied in het zuiden, het Meelderbroek. Daarnaast bestaat een deel van de waterafvoer van de Broekgraaf uit water afkomstig vanuit de steilrand in Duitsland (kwelwater). Het kwelwater en water afkomstig van de kassen wordt hoofdzakelijk afgevoerd via de Venbeek/Aalsbeek en deels via de bovenloop van de Broekgraaf. In de volgende figuur is een schematische weergave van het watersysteem van de Broekgraaf, Venbeek, Aalsbeek en Belfelder leigraaf te zien.

In figuur 4 is de normering van het gebied te zien. Het grootste deel van het gebied waar de Belfelder Leigraaf en Broekgraaf doorheen stromen heeft een norm van 1:25. Het bebouwd gebied aan de zuidwestzijde van de Belfelder Leigraaf heeft echter een norm van 1:100. Aan de oostzijde van de snelweg A73 heeft een deel van het gebied geen normering. Hierbij gaat het om gronden bestemd als goudgroene natuur rondom de natuurbeek Aalsbeek. De snelweg, kassen en bebouwing langs de (benedenloop van de) Belfelder Leigraaf en Broekgraaf kennen een norm van 1:25. Hier is geen specifiek hogere norm gedefinieerd.



Figuur 3: Schematische weergave van het watersysteem van de Venbeek, Aalsbeek, Broekgraaf en Belfelder Leigraaf.



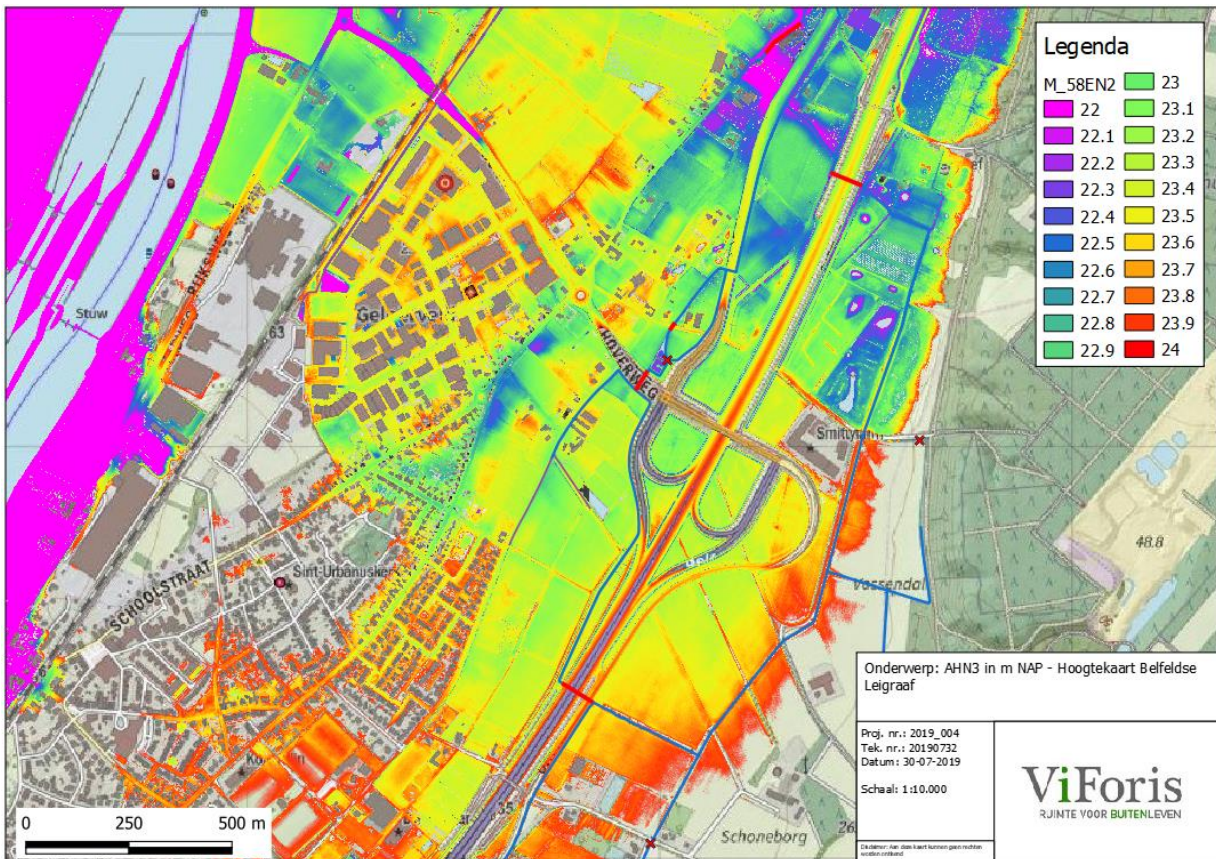
Figuur 4: NBW-normering omgeving Belfeldse Leigraaf

2.2. Hoogte

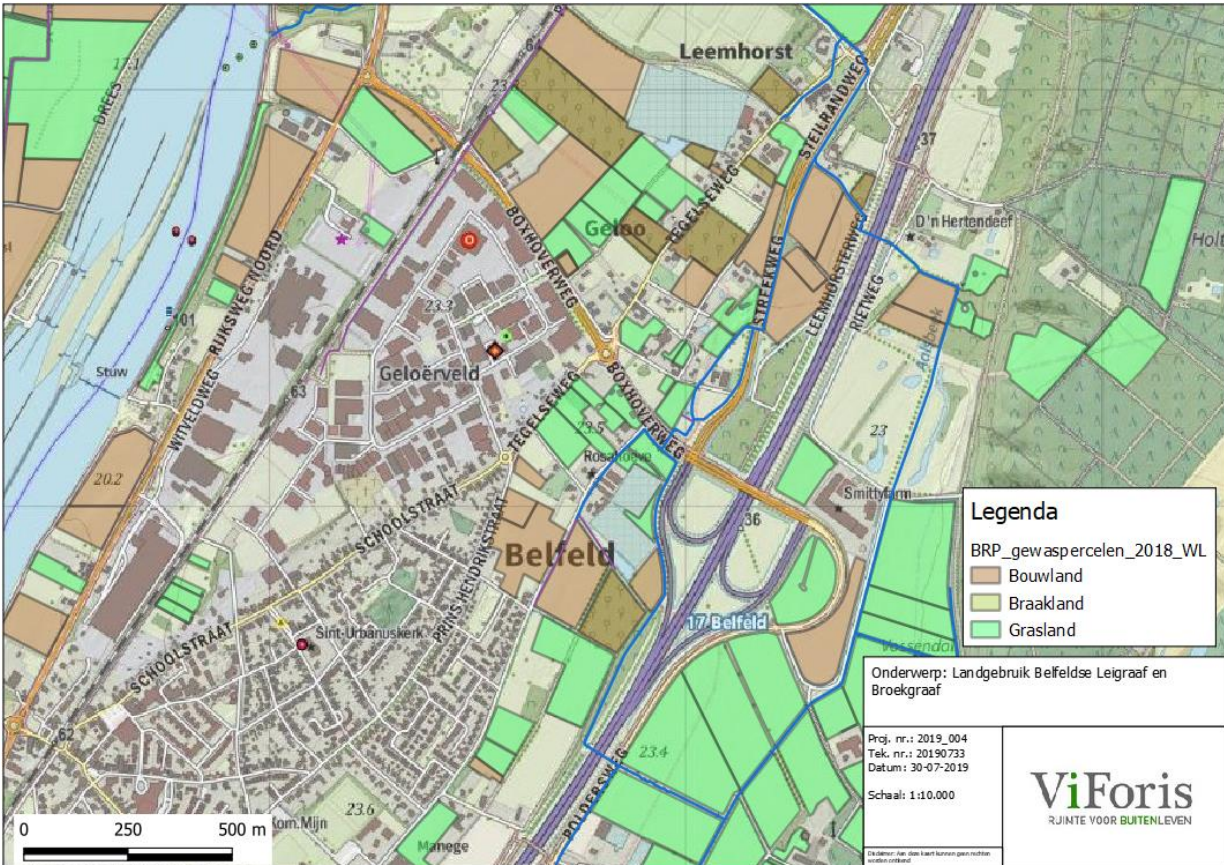
In de volgende figuur is de hoogtekaart op basis van de AHN3 weergegeven. Hierbij is te zien dat de Belfeldse Leigraaf zich tussen de hoge grond in het oosten en de Maas in het westen bevindt. Hierbij ligt de bebouwing van Belfeld op een hoger gelegen stuifduin tussen de Maas en de Belfeldse Leigraaf in. De Belfeldse Leigraaf en Broekgraaf ontwateren beide een laagte die in noordelijke richting loopt. De bebouwing lijkt voornamelijk op hogere gronden te liggen.

2.3. Grondgebruik

Zoals in figuur 6 te zien is, bestaat maar een deel van de gronden rondom de Broekgraaf en Belfeldse Leigraaf uit akkerbouw en grasland. De overige gronden zijn hoofdzakelijk in gebruik voor bebouwing, infrastructuur of bedrijfsgebouwen zoals kassen.



Figuur 5: Hoogtekaart (AHN3) gebied rondom de Belfelder Leigraaf.



Figuur 6: Grondgebruik rondom de Belfeldse Leigraaf en Broekgraaf.

2.4. Opbouw SOBEK-model en validatie waterstanden

2.4.1. Stuwstanden

Er zijn geen stuwstanden geregistreerd in het onderzoeksgebied. Bij modellering van de stuwstanden wordt gebruik gemaakt van de volgende fasering⁶:

- Zomerstuwstand: Fase 3
- Winterstuwstand: Fase 1

2.4.2. Modelweerstanden

Voor de toekenning van de modelweerstanden is gebruik gemaakt van de waarden uit de werkwijze modelweerstanden projecten van het Waterschap⁷. De toegepaste modelweerstanden zijn als volgt:

- Genormaliseerde waterloop:
 - o Modelweerstand zomer: Kstrickler 15
 - o Modelweerstand winter: Kstrickler 25
- Natuurlijke waterlopen (1-3 m breed):
 - o Modelweerstand zomer: Kstrickler 7
 - o Modelweerstand winter: Kstrickler 15
- Duikers en overkluizingen: Kstrickler 75

2.4.3. Afvoeren

Er zijn geen afvoermetingen beschikbaar in het systeem van Venbeek, Broekgraaf of Belfelder Leigraaf of Aalsbeek. De afvoeren voor de modellering zijn bepaald op basis van de werkwijze afvoerbepaling van het Waterschap⁸. Hierbij is de MA-kaart 2.0 gebruikt als basis voor toekenning van de afvoeren. De afvoerpercentages zoals gebruikt in de modellering zijn in de volgende tabel weergegeven.

Tabel 1: Afvoerpercentages landelijke afvoer huidig en toekomstig klimaat.

Afvoersituatie	Herhalingstijd	Percentage van de jaarlijkse piekafvoer (%MA) excl. klimaat	Percentage van de jaarlijkse piekafvoer (%MA) incl. klimaat
Basisafvoer	330 dagen/jaar overschreden	5	5
Zomerafvoer	200 dagen/jaar overschreden	20	20
Voorjaarsafvoer	100 dagen/jaar overschreden	30	30
Winterafvoer	20 dagen/jaar overschreden	50	50
Jaarlijkse piekafvoer	1 à 2 dagen/ jaar	100	100
T=10	1x per 10 jaar	175	185
T=25	1x per 25 jaar	200	210
T=50	1x per 50 jaar	220	240
T=100	1x per 100 jaar	250	270

⁶ Bron: Shape 'stuwen' met daarin de fasering van Waterschap Limburg

⁷ Bron: Waterschap Limburg, Voorlopige waarden modelweerstanden projecten, November 2018

⁸ Bron: Waterschap Limburg, Voorlopige werkwijze afvoerbepaling projecten, November 2018

De afvoer vanuit de kassen en overig verhard gebied wordt getoetst met een (dynamische) bui tijdens een stationaire afvoer van 50% MA. De neerslaghoeveelheden tijdens een T=25-situatie (huidig klimaat)⁹ ten opzichte van de neerslaghoeveelheden in de WB21-toetsing zijn als volgt:

Tabel 2: neerslaghoeveelheden tijdens een T=25-situatie met verschillende buiduren ten opzichte van de neerslaghoeveelheid in de WB21-modellering van 2015.

Buiduur	Bui WB21-model	Bui huidig klimaat (KNMI 2015)	Bui huidig klimaat (KNMI 2018)
2 uur	Niet beschikbaar	46,9 mm	50,8 mm
24 uur	59,4 mm	63,8 mm	Nvt.

De gemodelleerde stationaire afvoeren ten opzichte van de afvoeren van de MA-kaart 2.0 zijn als volgt:

Tabel 3: Gemodelleerde afvoeren tijdens een 100%-MA situatie (jaarlijkse piekafvoer, o.b.v. stationaire berekening) ten opzichte van de afvoer op basis van de MA-kaart 2.0

Locatie	Afvoer MA-kaart 2.0	Afvoer model	Vershil
Venbeek voor splitsing Venbeek/Aalsbeek	190 l/s ¹⁰	202 l/s	+12 l/s (106%)
Aalsbeek na splitsing Venbeek/Aalsbeek	75 l/s	78 l/s	+3 l/s (104%)
Venbeek na splitsing Venbeek/Aalsbeek	115 l/s	130 l/s	+15 l/s (113%)
Broekgraaf voor instroom Venbeek	41 l/s	29 l/s	-12 l/s (70,7%)
Broekgraaf na A73	170 l/s	165 l/s	-5 l/s (97%)
Broekgraaf voor viaduct (voor instroom Belfeldse Leigraaf)	191 l/s	178 l/s	-13 l/s (93,2%)
Zijtak Belfeldse Leigraaf	13 l/s	8 l/s	-5 l/s (61,5%)
Belfeldse Leigraaf bovenstrooms instroom zijtak Belfeldse Leigraaf	28 l/s	32 l/s	+4 l/s (114,3%)
Belfeldse Leigraaf bovenstrooms instroom in Broekgraaf	61 l/s	65 l/s	+4 l/s (106,6%)
Broekgraaf na viaduct (na instroom Belfeldse Leigraaf)	255 l/s	245 l/s	-10 l/s (96,1%)
Broekgraaf bovenstrooms instroom in Aalsbeek	268 l/s	264 l/s	-4 l/s (98,5%)

⁹ Bron: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-10A.pdf> : Rapport 10A: Nieuwe neerslag- statistieken voor het waterbeheer (Stowa, 2015)

Bron: <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202015/STOWA%202015-10.pdf> : Actualisatie meteorologische gegevens voor waterbeheer 2015 (Stowa, 2015)

Bron: STOWA, Neerslagstatistieken voor korte dueren – actualisatie 2018, rapport 2018-12

¹⁰ De MA-kaart 2.0 geeft een hoeveelheid van 169 l/s weer net voor splitsing. Dit komt echter niet overeen met een sommatie van de hoeveelheden water na splitsing van de Venbeek en Aalsbeek op dezelfde kaart. Voor de modellering is gebruik gemaakt van een sommatie van de hoeveelheden na splitsing van beide waterlopen.

Bij vergelijking van de afvoeren op basis van de MA-kaart 2.0 en de berekende afvoeren uit het model WB21_53.lit vallen een aantal zaken op:

- De berekende afvoer in de broekgraaf is een stuk lager dan de afvoer op basis van de MA-kaart 2.0
- De toevoer via de Venbeek is echter hoger dan de afvoer op basis van de MA-kaart 2.0.
- Beide verschillen heffen elkaar op. Bij samenvloeiing van beide waterlopen komt de gemodelleerde afvoer redelijk overeen met de berekende afvoer.
- De berekende afvoer in de zijtak Belfeldse Leigraaf is lager dan de afvoer op basis van de MA-kaart 2.0. Het gaat hierbij echter om een kleine hoeveelheid water die de rekenresultaten zeer beperkt zal beïnvloeden.

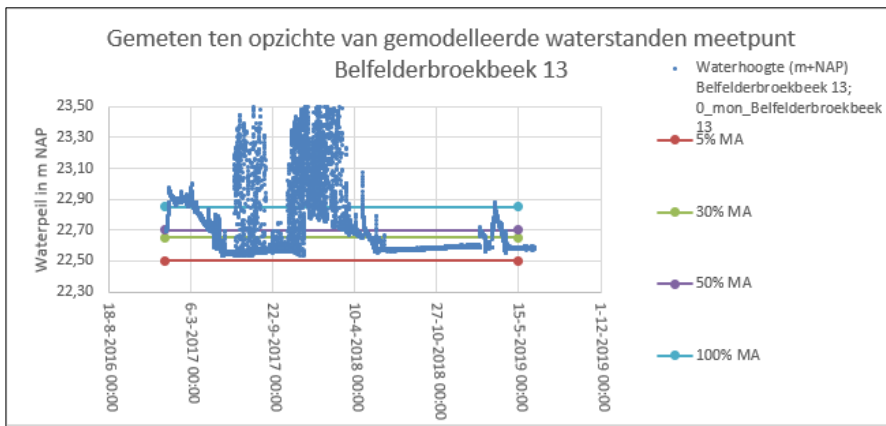
2.4.4. Controle waterstanden

Er zijn op een aantal locaties meetgegevens beschikbaar voor validatie van de modellering. De locaties waar het waterpeil gemeten wordt zijn:



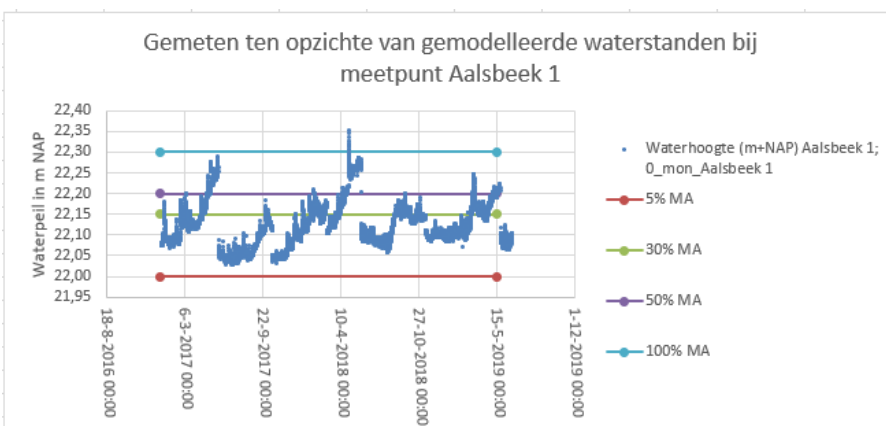
Figuur 7: Locaties meetpunten waterpeil in het system van de Venbeek, Aalsbeek, Broekgraaf en Belfelder Leigraaf.

De meetpunten Belfelderbroekbeek 11 en Belfelderbroekbeek 12 zijn vooralsnog niet meegenomen in de validatie van de modellering. Na nadere analyse van beide meetpunten zijn twijfels ontstaan over de juistheid van de verzamelde meetgegevens. Meetpunten Belfelderbroekbeek 13 en Aalsbeek 1 lijken deze onjuistheden niet te bevatten. De validatie van het model ten opzichte van de gemeten waterstanden bij deze 2 meetpunten is als volgt:



Figuur 8: Gemeten ten opzichte van gemodelleerde waterstanden bij meetpunt Belfelderbroekbeek 13. Modelling op basis van model met zomerstuwstanden en zomerweerstanden.

In de bovenstaande figuur is te zien dat de gemodelleerde waterstanden in de meeste gevallen in dezelfde bandbreedte vallen als de gemeten waterstanden. Er zijn in 2017 en begin 2018 2 afwijkingen te zien tussen de gemeten waterstanden ten opzichte van de gemodelleerde waterstanden. Hierbij gaat het echter waarschijnlijk om meetfouten en niet om correcte metingen.

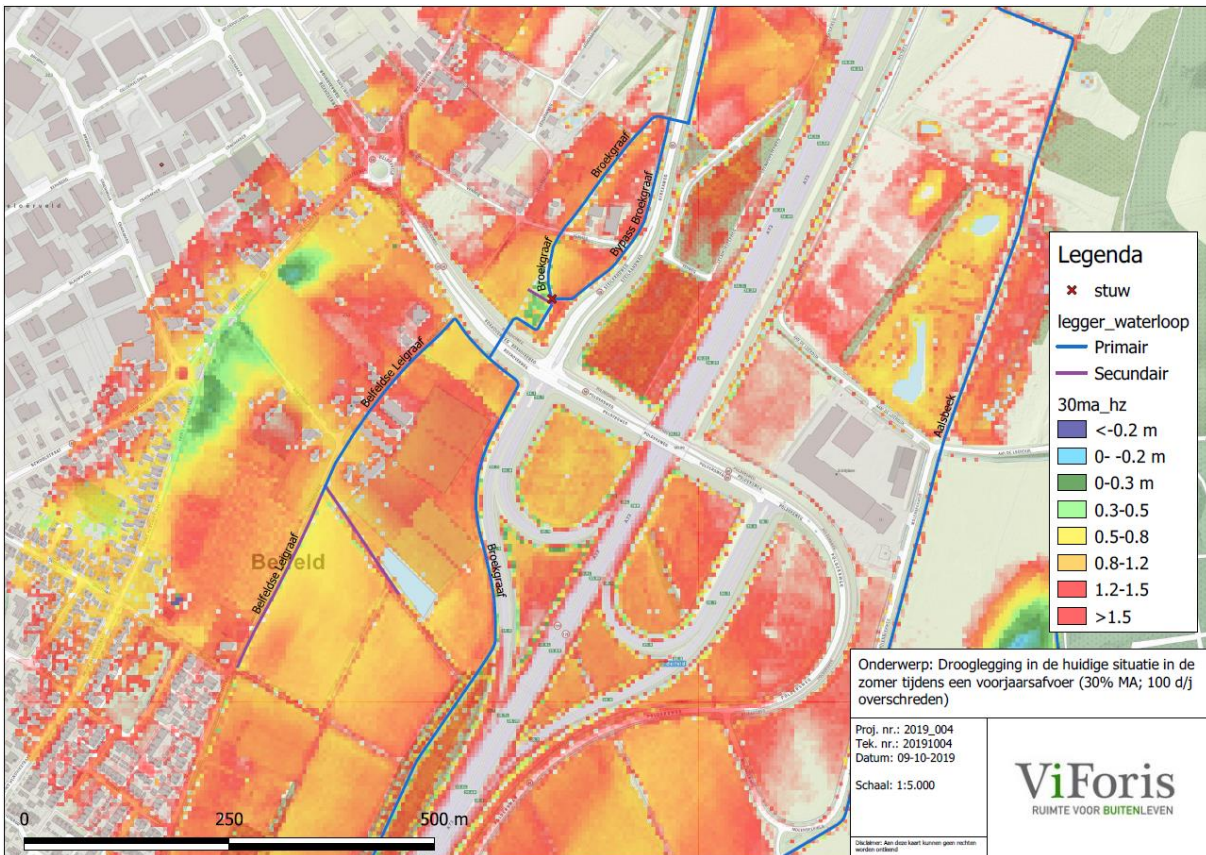


Figuur 9: Gemeten ten opzichte van gemodelleerde waterstanden bij meetpunt Aalsbeek 1. Modelling op basis van model met zomerstuwstanden en zomerweerstanden.

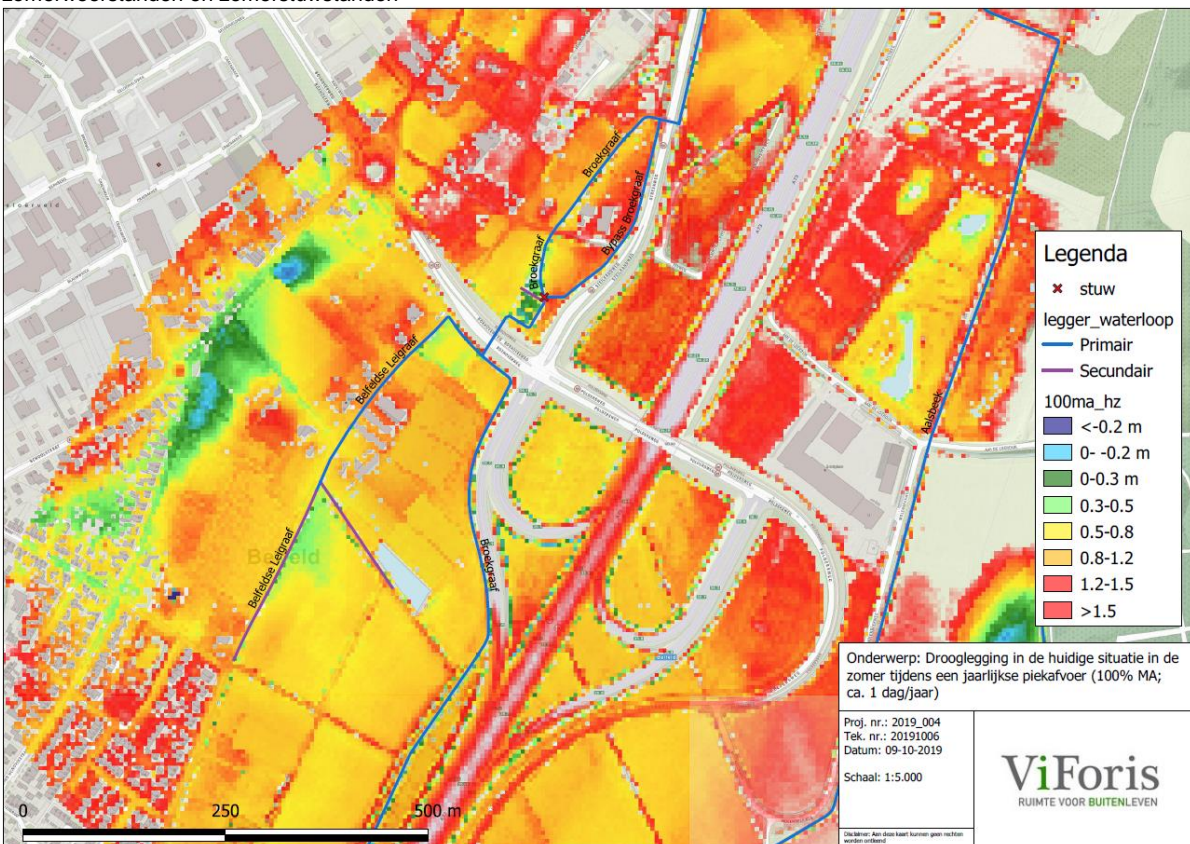
Bij vergelijking van de gemeten waterpeilen bij meetpunt Aalsbeek 1 met de gemodelleerde waterpeilen valt op dat er in de gemeten waterpeilen een aantal sprongen zitten. Deze zijn mogelijk gekoppeld aan maaibeheer of beveractiviteit. Bij verwijdering van dammen of na maaien is een scherpe daling van de waterstanden mogelijk. De gemodelleerde waterstanden vallen in de meetperiode binnen de bandbreedte van de gemeten waterstanden. De berekende waterstand bij een basisafvoer (5% MA, ca. 330 dagen/jaar overschreden) onderschrijft de gemeten waterstanden echter met ca. 5-10 cm.

Op de volgende pagina zijn de droogleggingskaarten voor een voorjaarsafvoer en jaarlijkse piekafvoer weergegeven. De droogleggingskaarten tot een T=25-situatie in de zomer vanuit landelijk gebied zijn opgenomen in de bijlage.

In de afbeeldingen op de volgende pagina is te zien dat de drooglegging in de huidige situatie ruim voldoende is voor het overgrote deel van de gronden. Alleen het perceel bij de samenkomst van de Zijtak Belfeldse Leigraaf en Belfeldse Leigraaf en het perceel net bovenstrooms van het viaduct hebben een beperkte drooglegging tijdens een 100%-MA situatie in de zomer. Er is daarnaast een duidelijk verloop van de drooglegging naar het westen (links) te zien. Dit betreft het natuurlijk verloop van de AHN. Deze gronden zullen in de praktijk niet onder invloed van de Belfeldse Leigraaf staan.



Figuur 10: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een voorjaarsafvoer (30% MA; 100 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



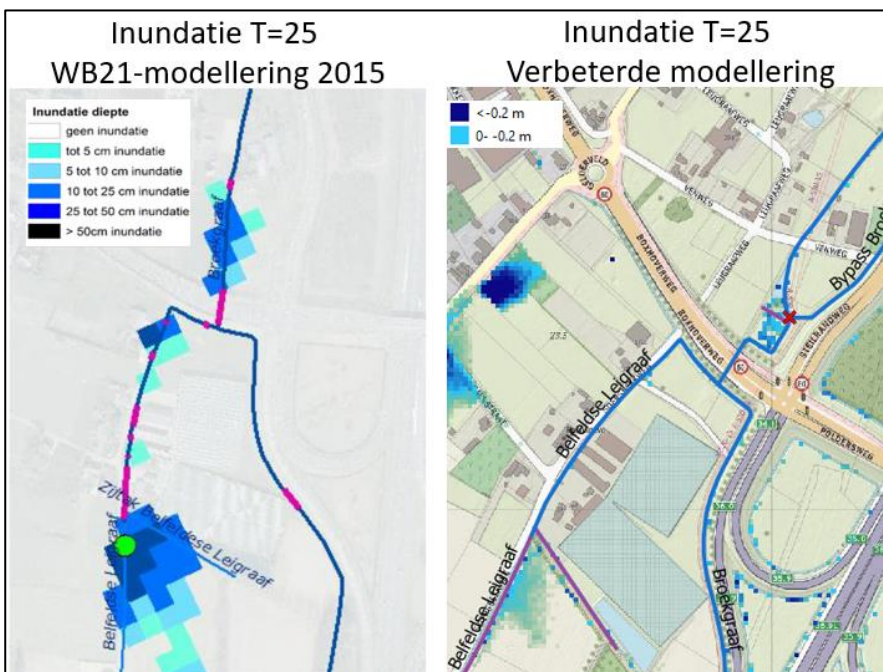
Figuur 11: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een jaarlijkse piekafvoer (100% MA; ca. 1 dag/jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden

3. Verificatie WB21-knelpunt

Voor de verificatie van het WB21-knelpunt zijn de onderstaande situaties doorgerekend. Van deze situaties zijn alleen de meest bepalende situaties in deze notitie weergegeven.

- T=25-situatie stationair (landelijk gebied) in de zomer
- T=25-situatie stationair (landelijk gebied) in de winter
- T=25-situatie dynamisch (verhard gebied) in de zomer gedurende een 2-uurs bui tijdens een 50%-afvoersituatie.
- T=25-situatie dynamisch (verhard gebied) in de zomer gedurende een 24-uurs bui tijdens een 50%-afvoersituatie.

De berekende inundatie op basis van de toetsing van 2015 vindt plaats gedurende een T=25-situatie in de zomer vanuit landelijk gebied¹¹. De inundatie uit de 2015-toetsing ten opzichte van de inundatie uit het verbeterde model is te zien in de onderstaande afbeelding.



Figuur 12: Inundaties gedurende een T=25-situatie in de zomer vanuit landelijk gebied. Resultaten van de WB21-toetsing uit 2015 (links) ten opzichte van de resultaten op basis van het verbeterde model (rechts).

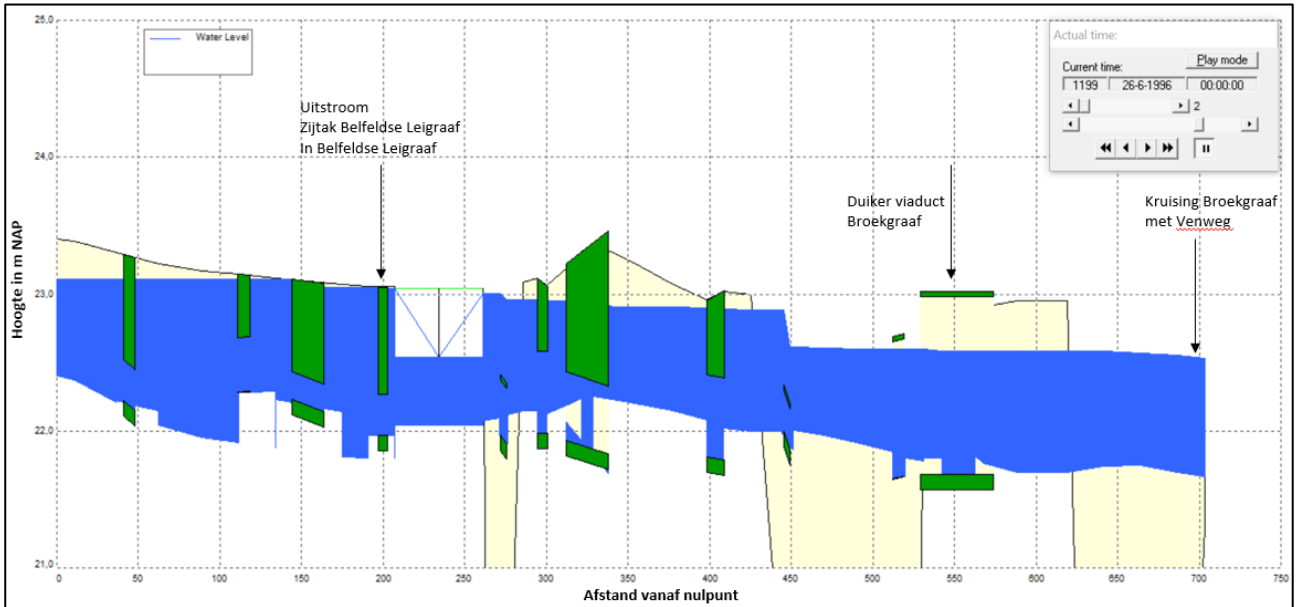
Zoals in de onderstaande figuur te zien is wordt de opstuwning veroorzaakt door de aanwezigheid van een aantal kleine duikers. Deze duikers variëren van rond 300 mm tot rond 500 mm. De opstuwning in het systeem wordt dus (op basis van de berekeningen) niet veroorzaakt door opstuwning vanuit de Broekgraaf, maar wordt veroorzaakt door opstuwning in het systeem van de Belfeldse Leigraaf zelf.¹²

In beide modelleringen ontstaat een inundatie bij de samenkomst van de Belfeldse Leigraaf en de Zijtak Belfeldse Leigraaf. Daarnaast, zoals te verwachten is, inundeert de buffer net benedenstrooms van het

¹¹ Bron: Koenders, J., Beoordeling WPM-53 Belfeldse Leigraaf, 9-10-2017

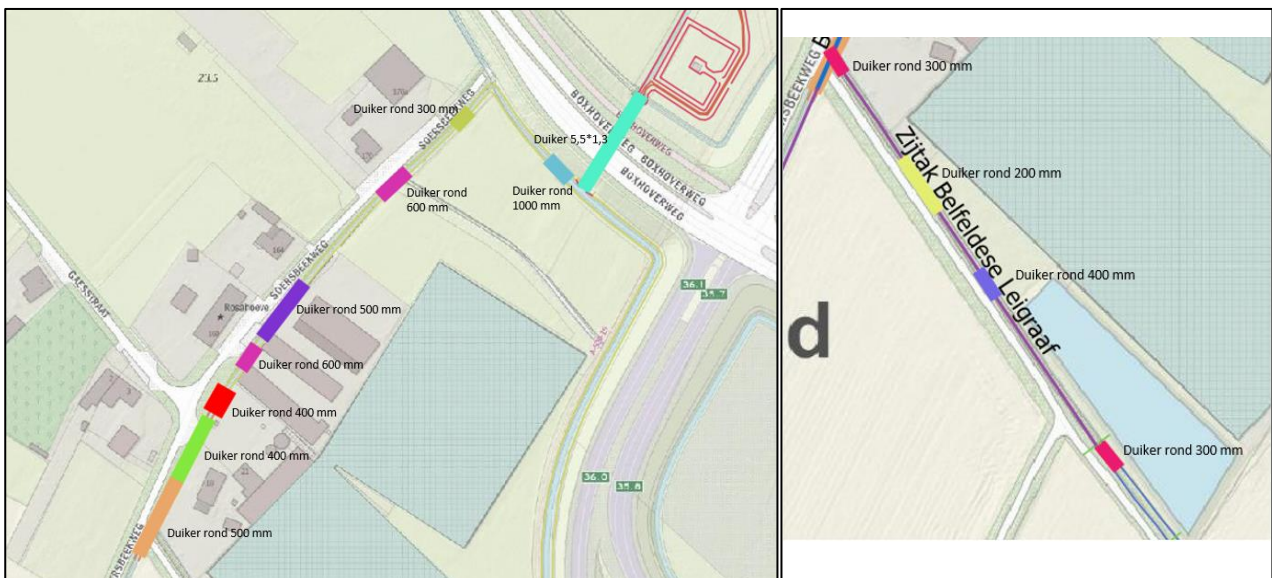
¹² De geïsoleerde inundaties aan de westzijde (links) van de kaart uit figuur 12 zullen in de praktijk niet optreden als gevolg van hoge afvoeren in de Belfeldse Leigraaf. Op basis van een veldbezoek 21-10-2019 is geconstateerd dat hier geen verbinding tussen bestaat. Het gaat hier om het resultaat van een GIS-bewerking die niet is weggepoetst uit de kaart. Hier zal zich in de praktijk wel regenwater ophopen (ingesloten laagte langs een gemeentelijke weg).

viaduct. De inundatie ter hoogte van de samenkomst van de Belfeldse Leigraaf en Broekgraaf is in het verbeterde model volledig weggefallen. Tijdens een T=25 situatie in de zomer (24 uren bui) treedt een inundatie op net bovenstrooms van het gietwaterbassin van de langs de Zijtak Belfeldse Leigraaf. Het inundatieknelpunt ligt dus volledig bij de samenkomst van de Belfeldse Leigraaf en Zijtak Belfeldse Leigraaf.

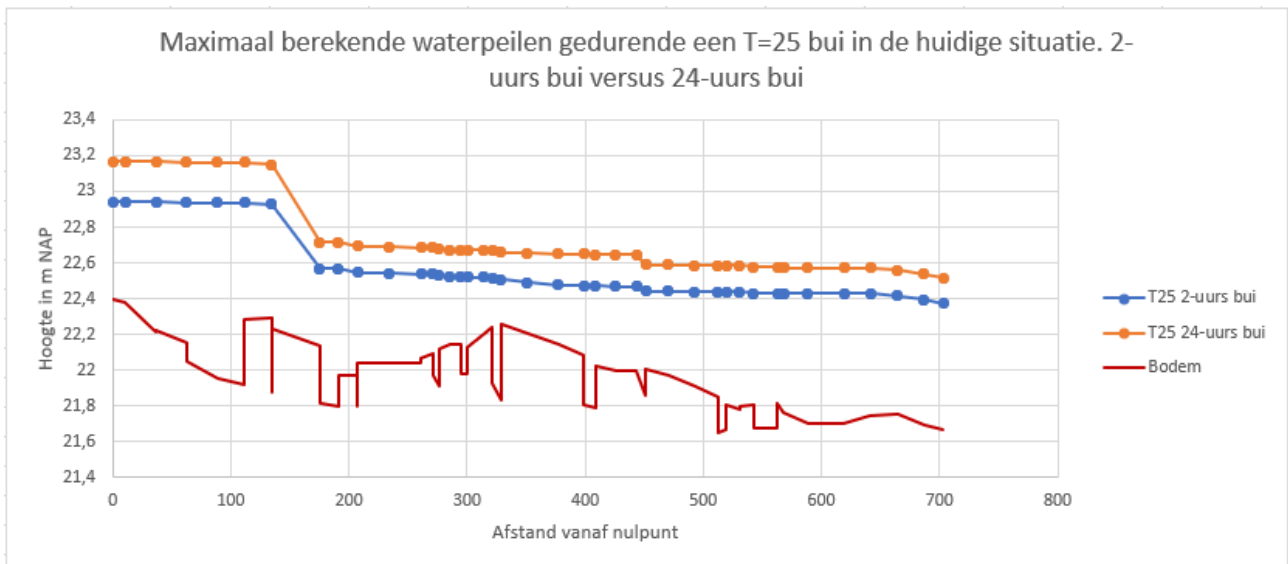


Figuur 13: Lengteprofiel van de Belfeldse Leigraaf op basis van het verbeterde model gedurende een T=25-situatie in de zomer vanuit landelijk gebied. Traject vanaf start leggerwaterloop Zijtak Belfeldse Leigraaf tot aan de kruising van de Broekgraaf met de Venweg.

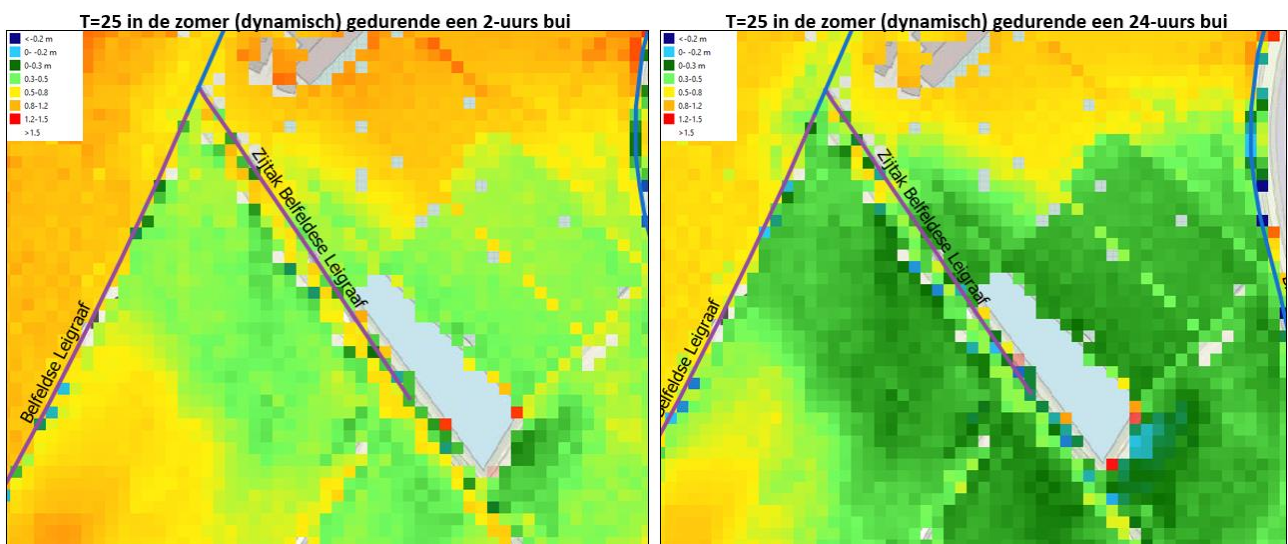
Behalve de aanwezigheid van een aantal kleine diameters lijkt de bodem van de Belfeldse leigraaf sterk aangezand te zijn ten tijde van de inmeting zoals uitgevoerd in 2008. De afmeting van de diverse duikers in de Belfeldse Leigraaf en onder het viaduct zijn als volgt:



Figuur 14: Ligging en afmeting van de diverse duikers in de Belfeldse Leigraaf (links) en zijtak Belfeldse Leigraaf (rechts).



Figuur 15: Maximaal berekende waterpeilen gedurende een T=25-situatie tijdens twee verschillende buiduren. Buien zijn op basis van huidig klimaat met een doorrekening met zomerweerstanden en zomerstuwstanden. Lengteprofiel vanaf de oorsprong Zijtak Belfeldse Leigraaf tot en met de kruising van de Broekgraaf met de Venweg.



Figuur 16: Drooglegging gedurende een T=25 vanuit verhard gebied tijdens een 2-uurs bui en 24-uurs bui.

Aangezien de T=25 landelijke afvoersituatie in de zomer de meest bepalende afvoersituatie is, is in de uitwerking van de maatregelen alleen gerekend met de stationaire afvoersituaties. Hierbij is dus geen aanvullende dynamische berekening uitgevoerd.

4. Maatregelen

De volgende maatregelen zijn uitgewerkt voor verhelpen van het WB21-knelpunt Belfeldse Leigraaf.

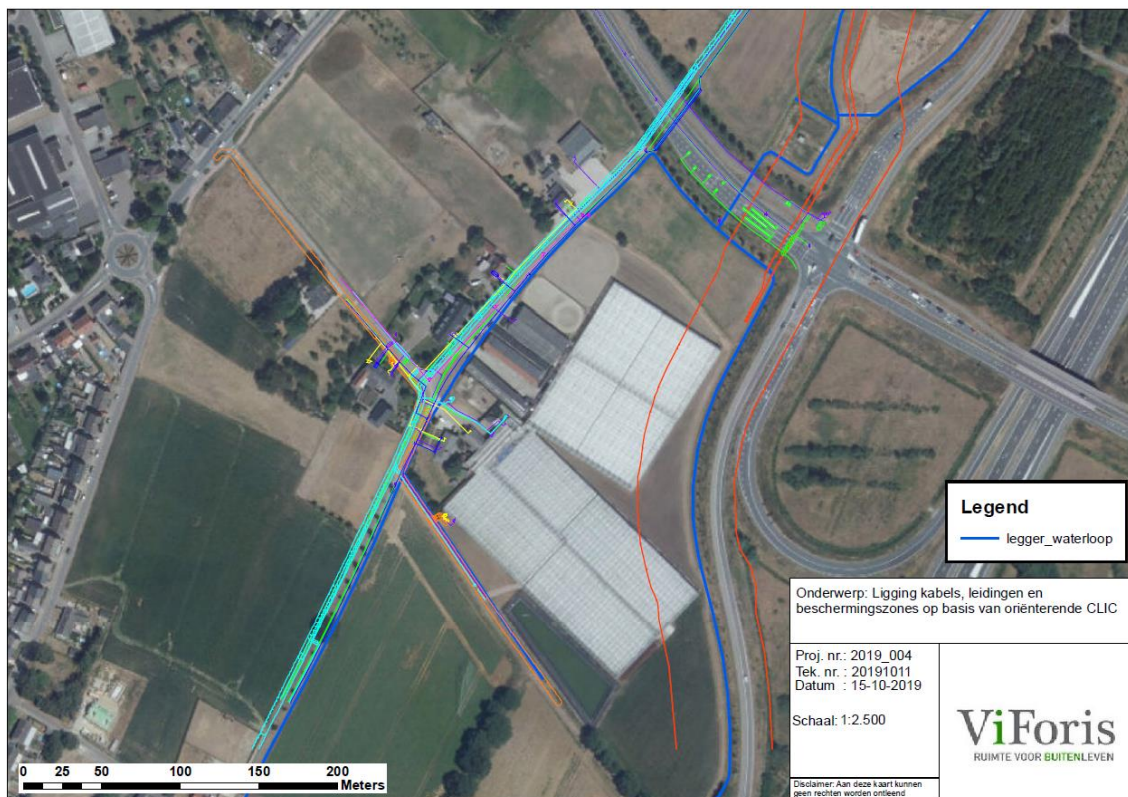
- 1 Vergroten duikers
- 2 Herstel verbinding Zijtak Belfeldse Leigraaf – Broekgraaf
- 3 Ophogen laaggelegen gronden

4.1. Vergroten van duikers

Voor het vergroten van de duikers is een getrapte doorrekening uitgevoerd. Deze berekening had als doel om te bepalen bij welke duikers het noodzakelijk is om deze te vergroten en vervangen. In deze getrapte doorrekening is telkens de kleinste diameter duiker in de Belfeldse Leigraaf met 100 mm vergroot. De afmetingen van de duikers in de Belfeldse Leigraaf zijn te zien in figuur 14. De varianten voor vergroting van de duikers die zijn doorgerekend zijn:

- Variant 1: Minimale afmeting duikers rond 400 mm. Hierbij is vergroting van 1 duiker noodzakelijk
- Variant 2: Minimale afmeting duikers rond 500 mm. Hierbij is vergroting van 3 duikers noodzakelijk
- Variant 3: Minimale afmeting duikers rond 600 mm. Hierbij is vergroting van 5 duikers noodzakelijk

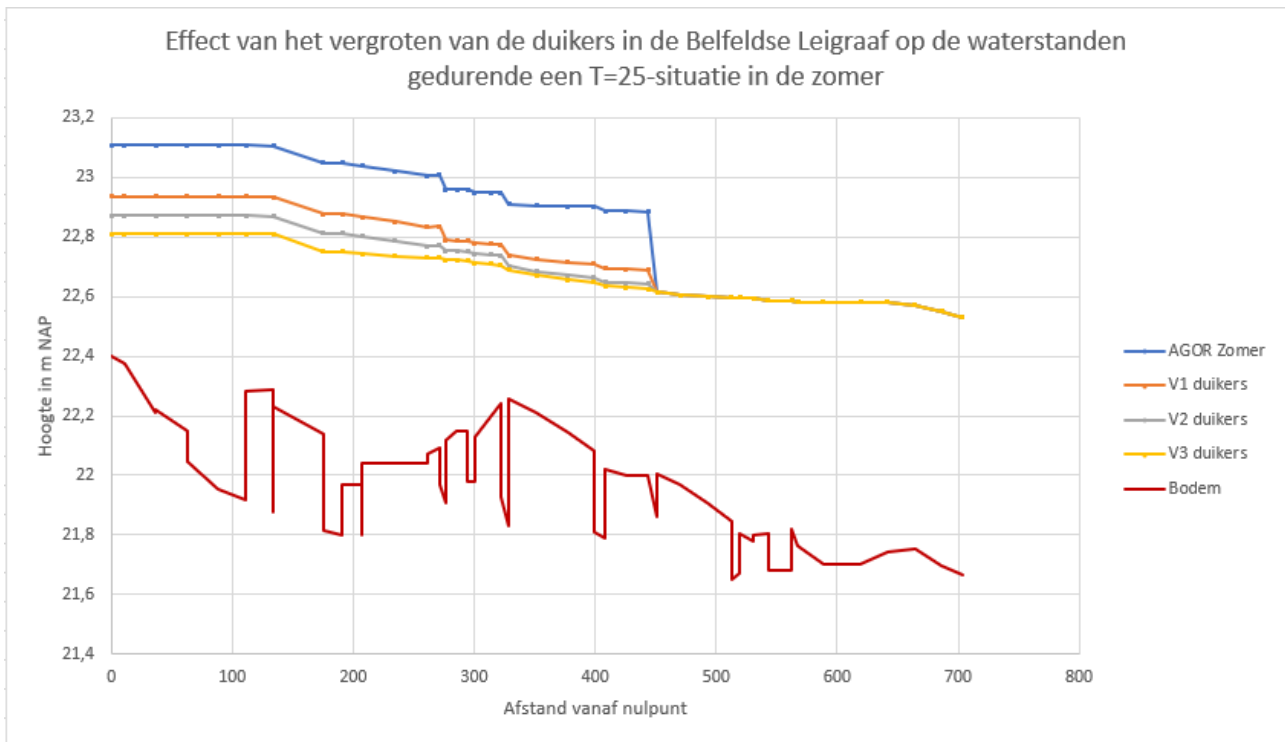
Bij vergroting van de duikers moet rekening gehouden worden met de aanwezigheid van kabels en leidingen in de ondergrond. In de onderstaande afbeeldingen zijn de kabels, leidingen en beschermingszones weergegeven ten opzichte van de leggerwaterlopen¹³.



Figuur 17: Aanwezige kabels en leidingen op basis van een oriënterende CLIC-melding. De dun gekleurde lijnen geven de aanwezige kabels, leidingen en beschermingszones weer.

¹³ Bron: Oriënterende CLIC 11-10-2019

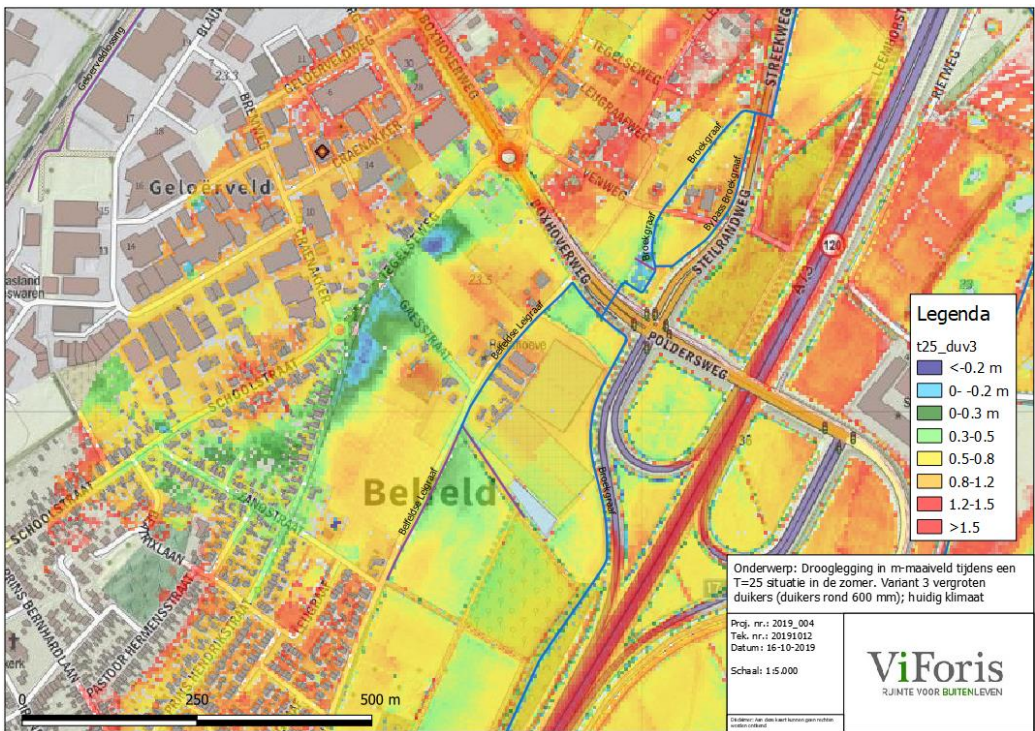
Het effect van deze vergrotingen van de diameters van de duikers op de waterpeilen in de Belfeldse Leigraaf is te zien in de onderstaande afbeelding.



Figuur 18: Lengteprofiel tijdens een T=25-situatie in de zomer vanaf de oorsprong van de Zijtak Belfeldse Leigraaf tot aan de kruising van de Broekgraaf met de Venweg. Variant 1: duikers min. rond 400 mm. Variant 2: duikers min. rond 500 mm. Variant 3: duikers min. rond 600 mm. Doorrekening op basis van de modellering met zomerweerstanden en zomerstuwstanden met afvoeren op basis van huidig klimaat.

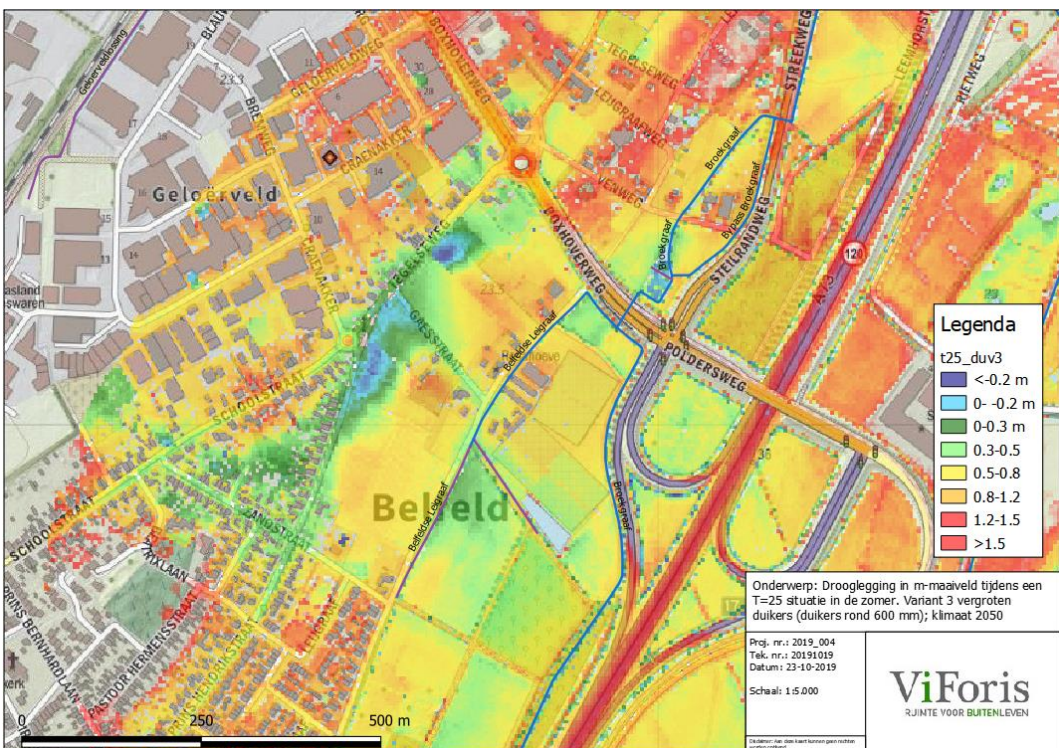
De vergroting van 1 duiker van rond 300 mm naar rond 400 mm heeft al veel effect op de waterstanden in de Belfeldse Leigraaf. Hierbij wordt echter de hoogte van het laagstgelegen perceel nog steeds mee overschreden (ca. 22,85 m NAP). Alleen bij variant 3, vergroting van 5 duikers naar rond 600 mm, wordt een waterstand van ca. 22,80 berekend. Zoals in de volgende afbeelding te zien is treedt er in variant 3 net geen inundatie op.

De inundatie voorkomen door verruiming van de te kleine duikers tot rond 600 mm klinkt aantrekkelijk. Echter liggen hier vele kabels en leidingen in de directe nabijheid van de waterloop (of kruisen de waterloop op verschillende cruciale locaties) waardoor dit niet als realistische/haalbare oplossing geacht wordt. Het verleggen/aanpassen van deze kabels is namelijk kostbaar.



Figuur 19: Drooglegging in m-maiveld tijdens een T=25-situatie in de zomer. Situatie variant 3 vergroten duikers naar een minimale afmeting van rond 600 mm. Huidig klimaat

Bij toepassen van de klimaat opslagfactor van 10% bovenop de afvoer tijdens een T=25-situatie¹⁴ moet er rekening gehouden worden met een toename van afvoer in de Belfeldse Leigraaf, Zijtak Belfeldse Leigraaf en de Broekgraaf. Het effect hiervan op de waterpeilen voor variant 3 is te zien in de volgende afbeelding.



Figuur 20: Drooglegging in m-maiveld tijdens een T=25-situatie in de zomer. Situatie variant 3 vergroten duikers naar een minimale afmeting van rond 600 mm. Klimaat 2050.

¹⁴ Bron: Waterschap Limburg Voorlopige werkwijze NBW-toetsing, 2019

4.2. Herstel verbinding Zijtak Belfeldse Leigraaf/Broekgraaf

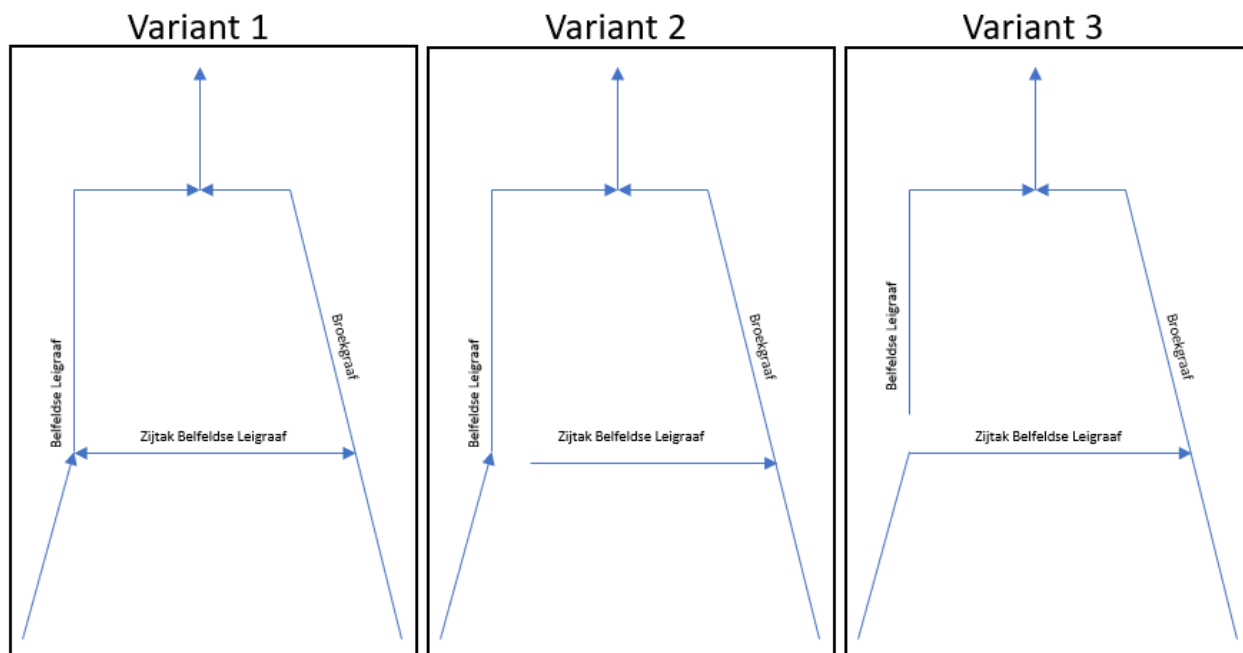
In de onderstaande afbeelding is een inmeting weergegeven van het nog bestaande slotenpatroon rondom de Zijtak Belfeldse Leigraaf. Hierbij is te zien dat de Belfeldse Leigraaf oorspronkelijk doorliep richting de Broekgraaf. Het is niet bekend wanneer deze verbinding is verdwenen. De huidige sloten bestaan uit sterk verzandde sloten waarbij de aanwezige boomwortels in het talud van de sloten staan. De verbinding vanuit de voormalige zijtak naar de Broekgraaf bestaat uit een laagte die richting de Broekgraaf afwatert.



Figuur 21: Ingemeten sloten langs de Zijtak Belfeldse Leigraaf.

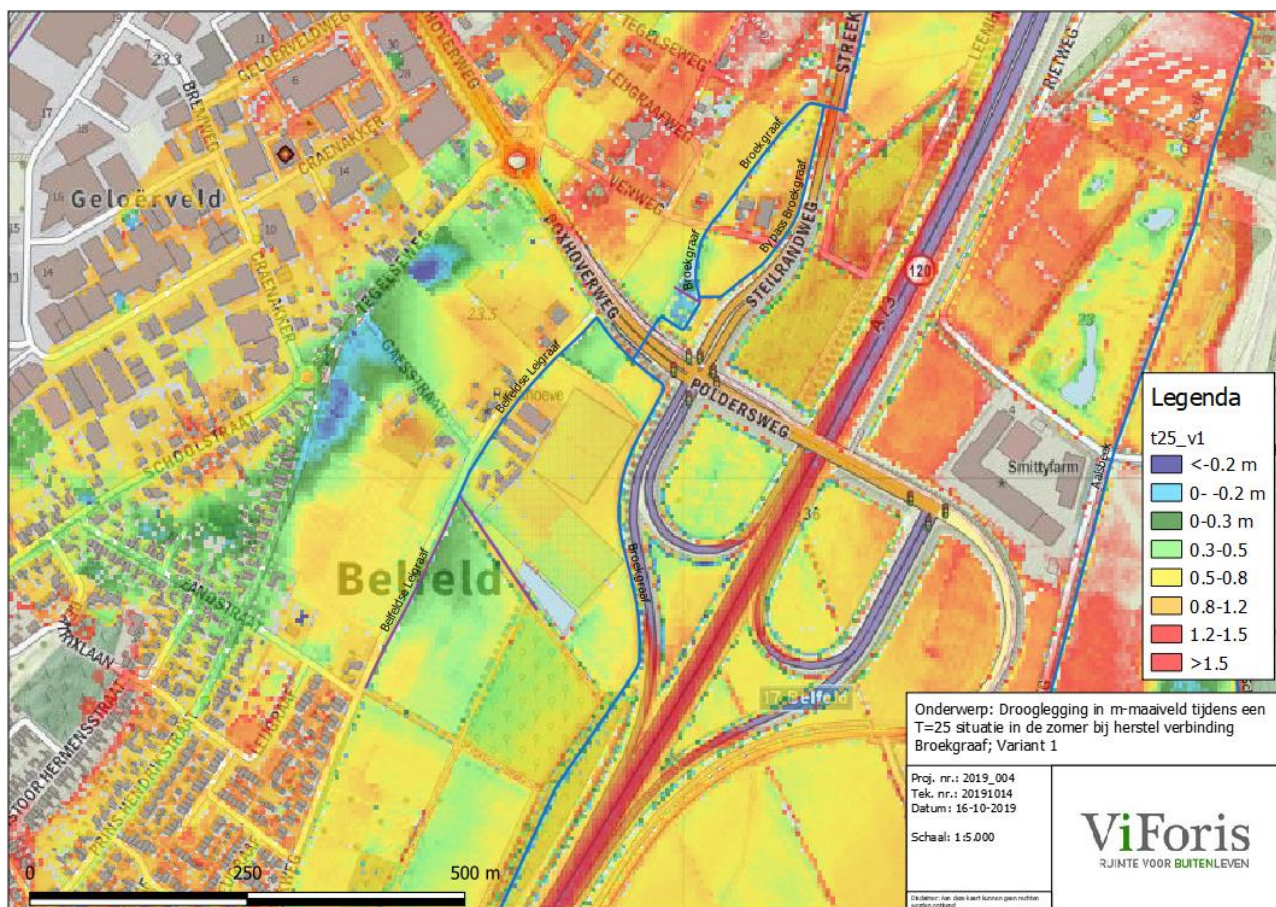
Voor het herstel van de verbinding met de zijtak Belfeldse Leigraaf/Broekgraaf zijn 3 varianten doorgerekend. In de volgende afbeelding is een schematische weergave van deze varianten te zien.

- Variant 1: Aanleg verbinding van de Zijtak Belfeldse Leigraaf naar de Broekgraaf met behoud van de verbinding richting de Broekgraaf. Hierdoor zijn er twee afwateringsrichtingen van het water van de Zijtak Belfeldse Leigraaf.
- Variant 2: Aanleg verbinding van de Zijtak Belfeldse Leigraaf naar de Broekgraaf waarbij de verbinding met de Belfeldse Leigraaf wordt verbroken.
- Variant 3: Aanleg verbinding van de Zijtak Belfeldse Leigraaf naar de Broekgraaf waarbij de Belfeldse Leigraaf bovenstrooms van de overkluizing afgeleid wordt naar de Zijtak Belfeldse Leigraaf.

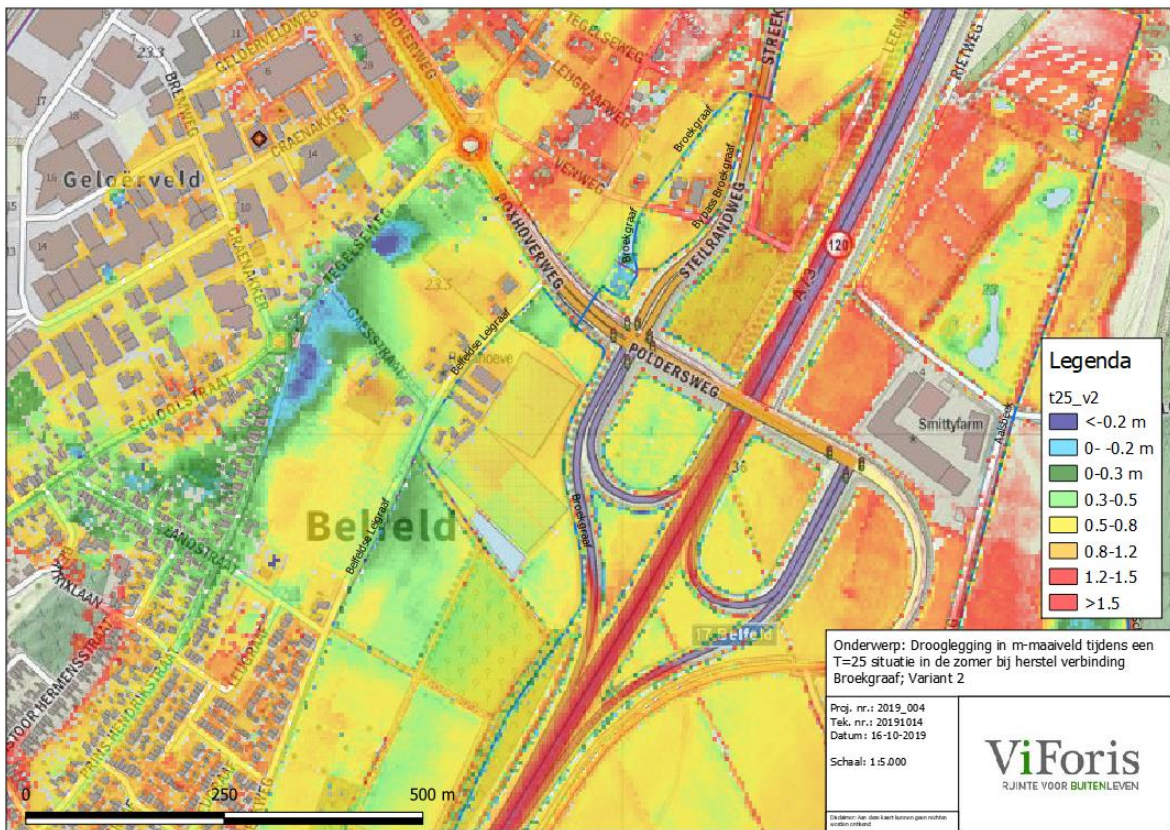


Figuur 22: Inrichtingsvarianten voor herstellen van de verbinding tussen de Zijtak Belfeldse Leigraaf en de Broekgraaf.

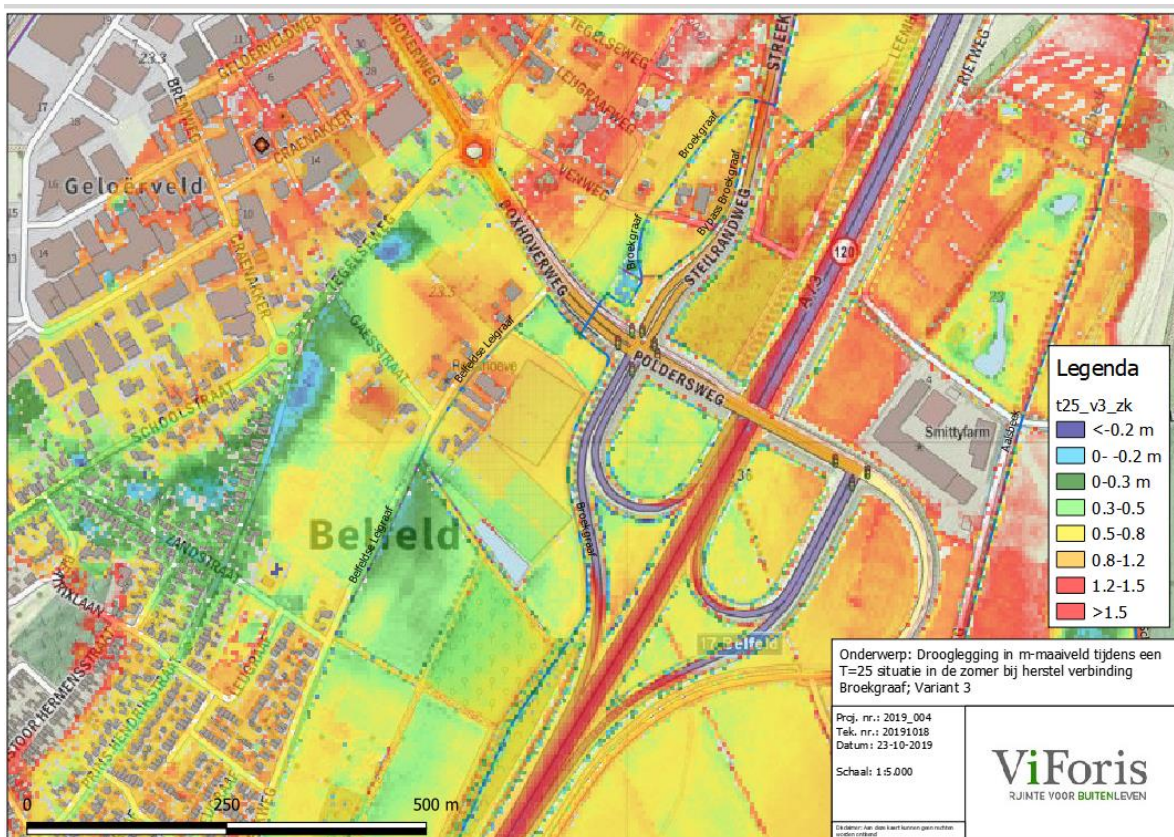
Het effect van de 3 varianten op de drooglegging gedurende een T=25-situatie is te zien in de onderstaande afbeeldingen.



Figuur 23: Drooglegging gedurende een T=25-situatie in de zomer bij variant 1 bij herstel van de verbinding naar de Broekgraaf.



Figuur 24: Drooglegging in m-maaveld gedurende een T=25-situatie in de zomer bij variant 2 bij herstel van de verbinding naar de Broekgraaf.

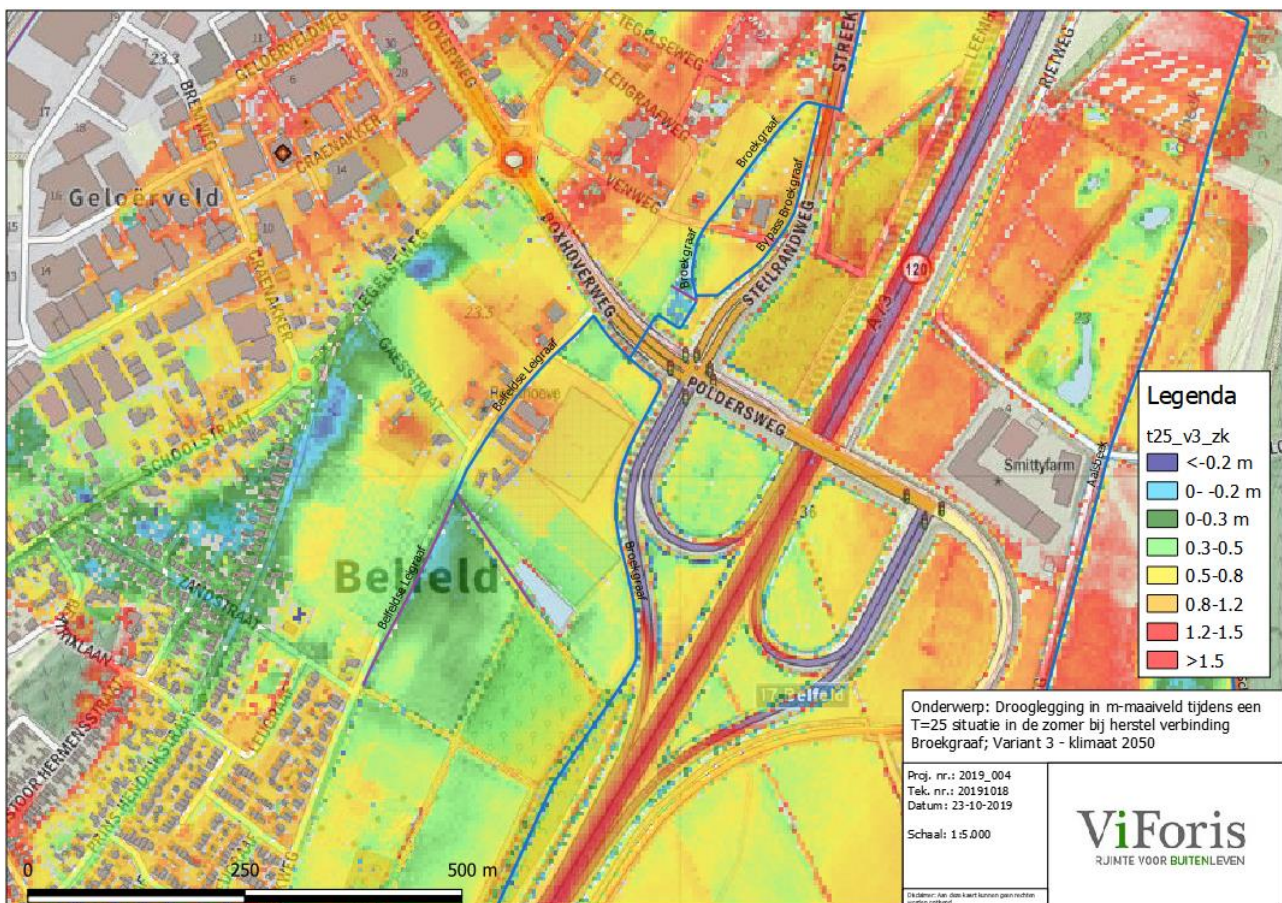


Figuur 25: Drooglegging in m-maaveld gedurende een T=25-situatie in de zomer bij variant 3 bij herstel van de verbinding naar de Broekgraaf.

Van deze varianten is variant 1, waarbij zowel de Belfeldse Leigraaf als de nieuwe verbinding met de Broekgraaf gebruikt wordt voor de afvoer, het meest effectieve. De waterstand daalt hierbij gedurende een T=25 in de zomer (huidige klimaat) naar 22,85 m NAP, gelijk aan het laagste maaiveld op basis van het AHN3. Bij toepassing van 10% klimaatopslag treedt alsnog inundatie tijdens een T=25-situatie in de zomer op. Een systeem met meerdere kortsluitingen vanuit de Belfeldse Leigraaf naar de Broekgraaf is vanuit een beheersituatie echter niet wenselijk. Vanuit het principe van versimpeling van het systeem en beheerbaarheid is variant 3 de beste maatregel:

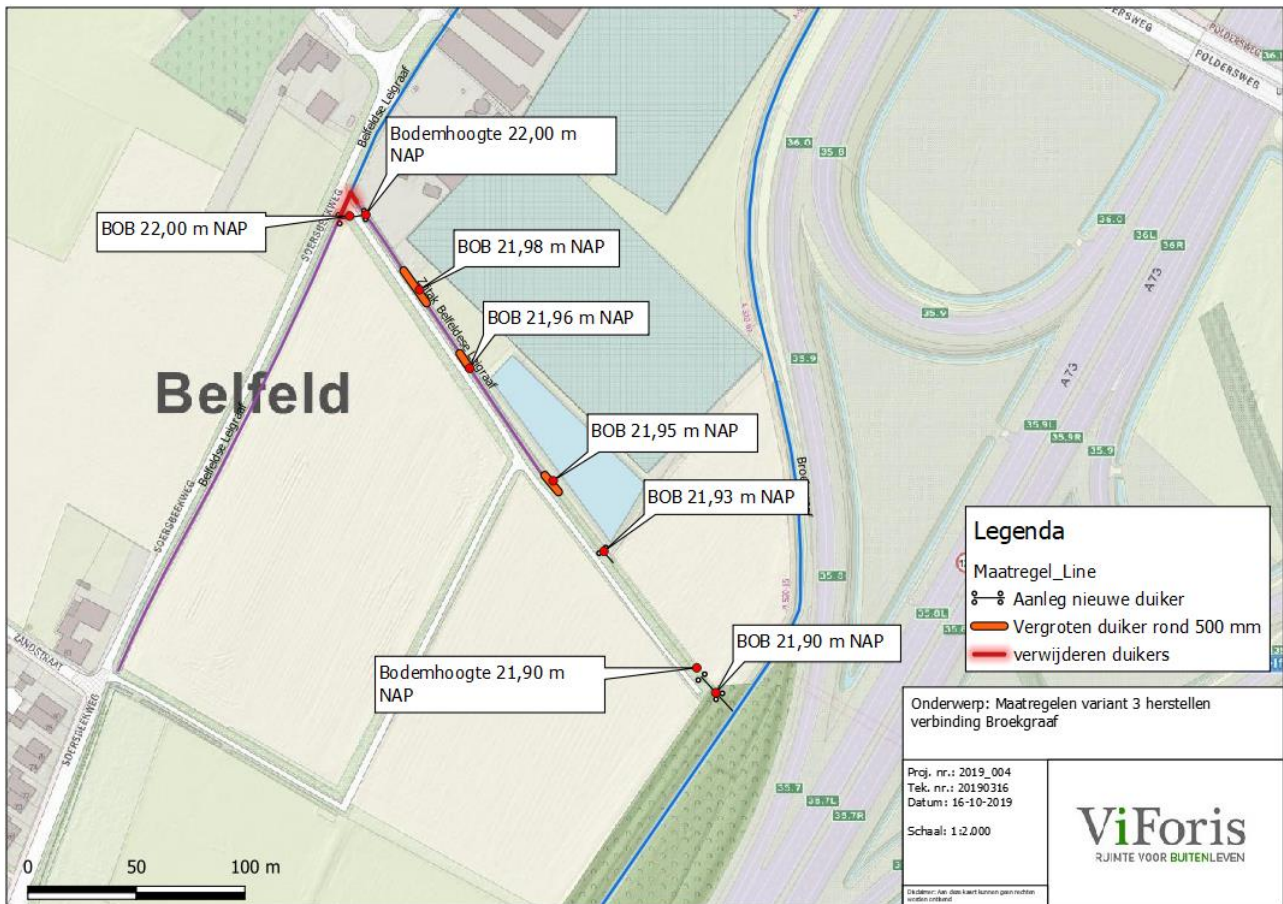
- Er is geen dubbele verbinding met de Belfeldse leigraaf.
- Er hoeft geen aanvullend onderhoud gepleegd te worden of duikers vervangen te worden benedenstrooms van de instroom Zijtak Belfeldse Leigraaf (dat tracé kan dan tertiair worden)
- Er meer ontwikkelperspectief bij toename afvoer Belfeldse Leigraaf als gevolg van afkoppeling Belfeld en klimaatverandering. De huidige Belfeldse Leigraaf is door aanwezigheid van kabels en leidingen hier minder geschikt voor.

De drooglegging bij variant 3 inclusief klimaat is te zien in de onderstaande afbeelding.



Figuur 26: Drooglegging in m-aaiveld gedurende een T=25-situatie in de zomer bij variant 3 bij herstel van de verbinding naar de Broekgraaf. Situatie bij klimaat 2050.

Bij toepassing van de maatregelen uit variant 3 is het knelpunt, ook bij toepassing van de klimaat opslagfactor, volledig verdwenen. In de onderstaande figuur zijn de maatregelen weergegeven horende bij variant 3 voor het herstellen van de verbinding naar de Broekgraaf.



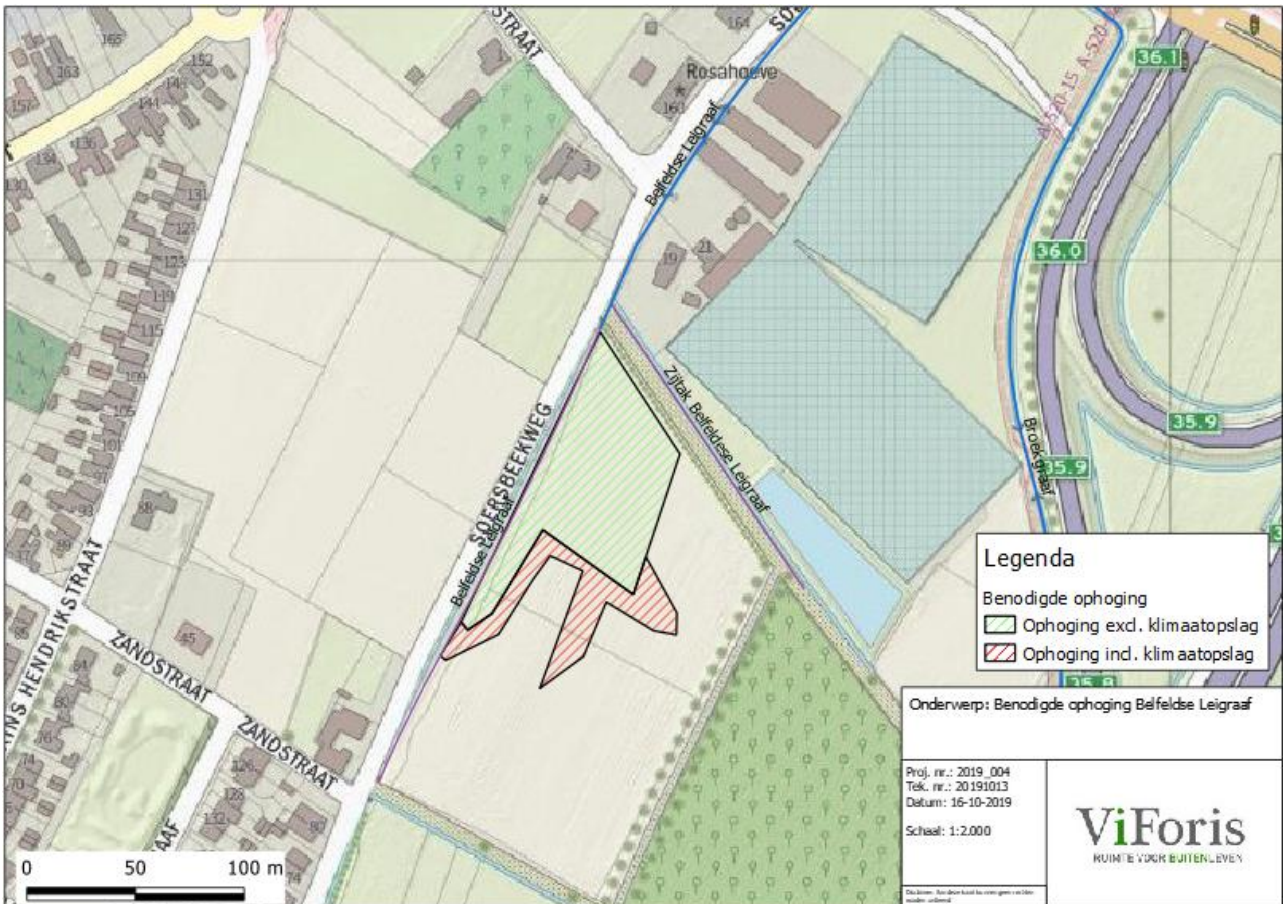
Figuur 27: Maatregelen horende bij variant 3 voor herstel van de verbinding naar de Broekgraaf.

4.3. Ophogen laaggelegen gronden

Omdat het om een enkel perceel met inundatie gaat, kan ook gekozen worden voor ophogen van het inrunderende gedeelte van het perceel. Het gaat hierbij om de volgende volumes:

Tabel 4: Benodigde ophoging voor oplossen van het WB21-knelpunt

Omschrijving	Gem. ophoging	Oppervlak	Volume grond
Ophoging excl. klimaatopslag	15 cm	5500	825 m ³
Ophoging incl. klimaatopslag	20 cm	7500	1500 m ³



Figuur 28: Benodigde ophoging voor verhelpen van het WB21-knelpunt.

Om de inundatie te verhelpen is een ophoging nodig van ca. 825 m³ grond. Hierbij moet echter nog rekening gehouden worden met inklinking en de effecten van het klimaat. De benodigde ophoging incl. klimaatopslag komt neer op ca. 1500 m³ grond.

5. Conclusie en advies

De meest eenvoudige oplossing voor het verhelpen van de inundatie is het ophogen van de laaggelegen grond met ophoging van ca. 1500 m³. De andere 2 oplossingen, vergroten van duikers en het aanleggen van een (extra) verbinding naar de Broekgraaf, lossen het knelpunt (nagenoeg) ook op. Hierbij gaat het echter om een naar verhouding veel duurdere ingreep.

Mocht het oplossen van het knelpunt gecombineerd worden met het op orde brengen van de 'assets' Belfeldse Leigraaf en Zijtak Belfeldse Leigraaf, dan is variant 3; aanleggen verbinding Broekgraaf, de beste oplossing. De voordelen van deze oplossing zijn:

- Er is geen dubbele verbinding met de Belfeldse leigraaf.
- Er hoeft geen aanvullend onderhoud gepleegd te worden of duikers vervangen te worden benedenstrooms van de instroom Zijtak Belfeldse Leigraaf (dat tracé kan dan tertiair worden)
- Er meer ontwikkelperspectief bij toename afvoer Belfeldse Leigraaf als gevolg van afkoppeling Belfeld en klimaatverandering. De huidige Belfeldse Leigraaf is door aanwezigheid van kabels en leidingen hier minder geschikt voor.

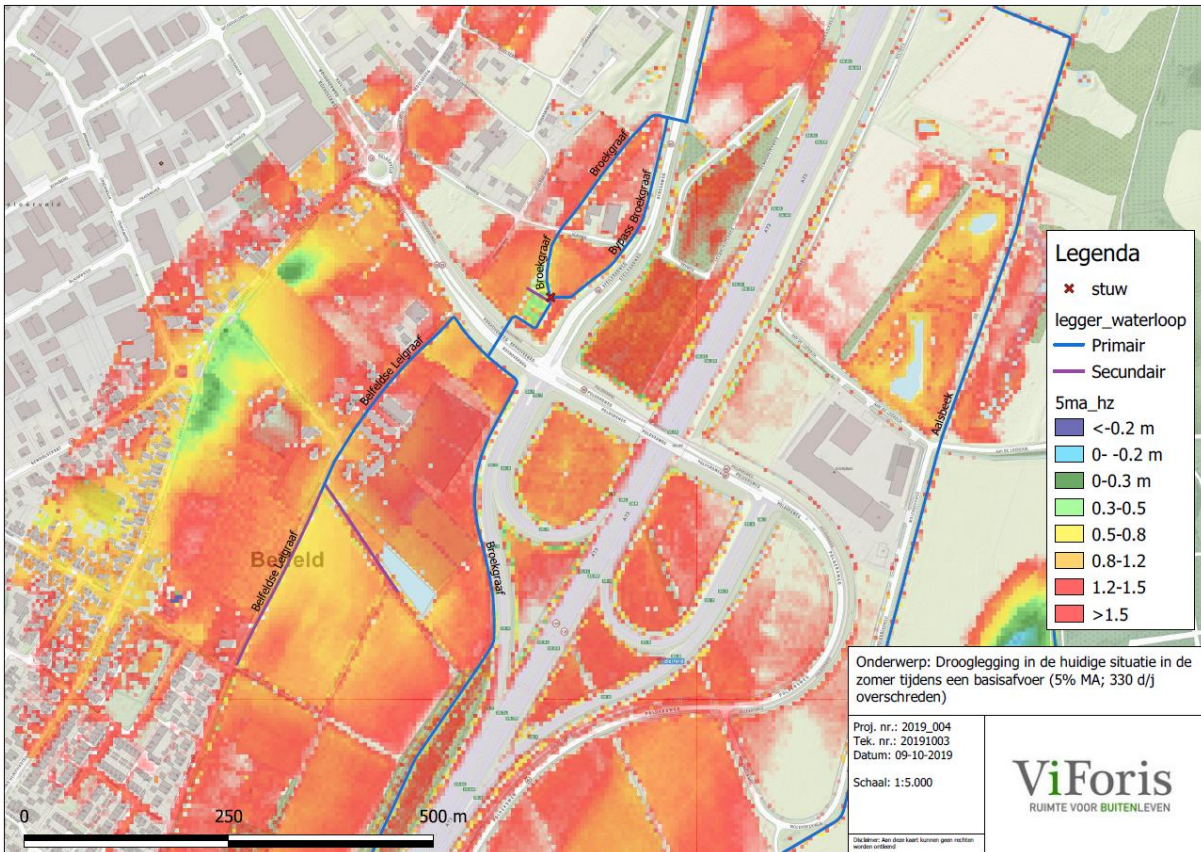
Deze oplossing moet echter wel gecombineerd worden met een (minimale) ophoging om de maatregel klimaatrobuust te maken. Een ophoging van ca. 15 cm (ca. 835 m³) is hierbij voldoende.

Het knelpunt benedenstrooms van het viaduct is na verbetering van het SOBEK-model volledig verdwenen.

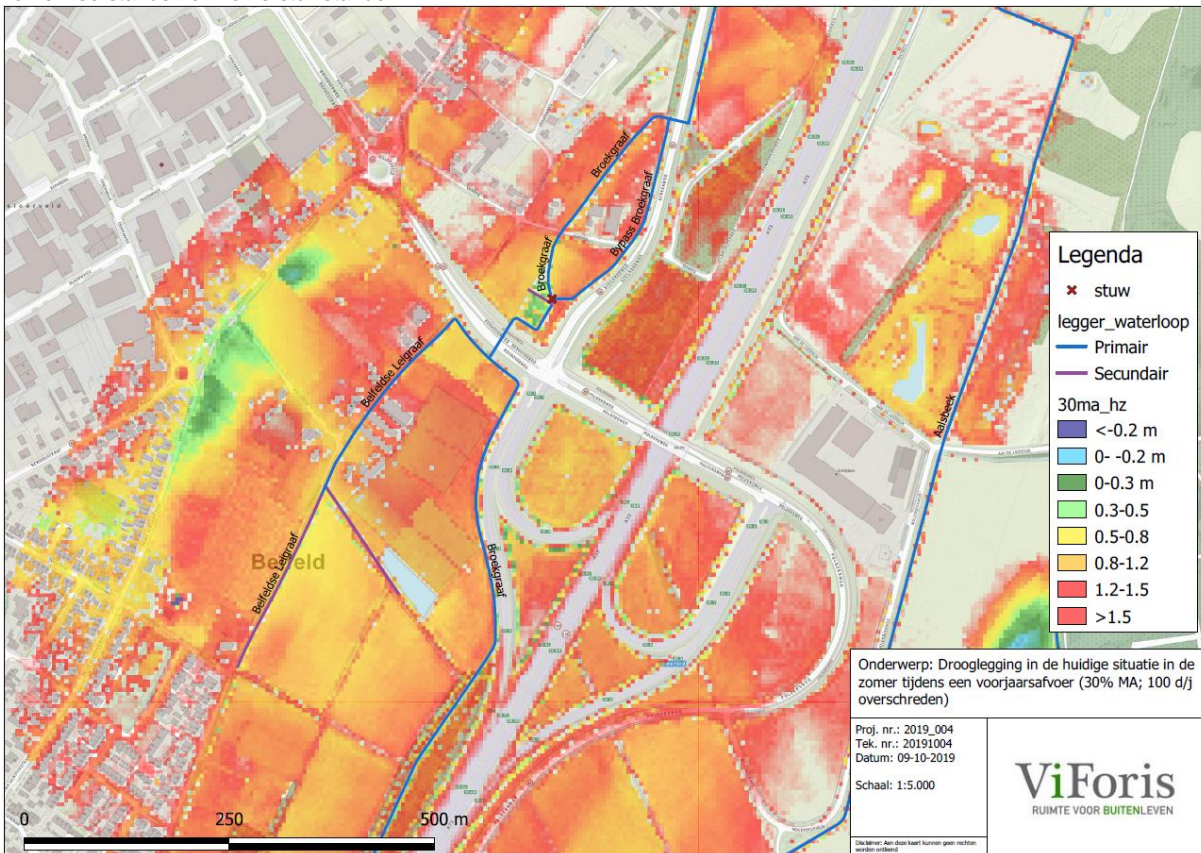
Bijlage

Bijlage 1: Droogleggingskaarten huidige situatie

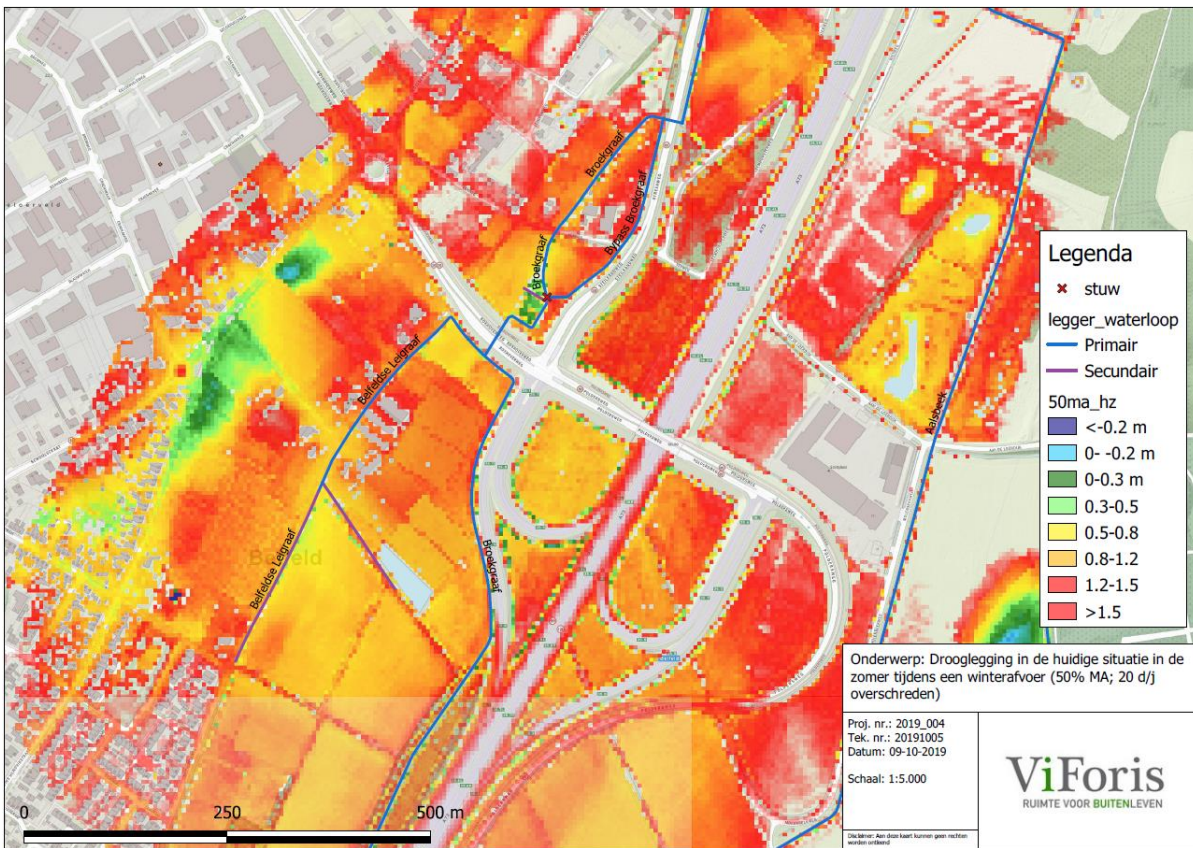
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een basisafvoer (5% MA; 330 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een voorjaarsafvoer (30% MA; 100 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een winterafvoer (50% MA; 20 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een jaarlijkse piekafvoer (100% MA; ca. 1 dag/jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een T=10-situatie (175% MA; ca. 1x/10 jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden
- Drooglegging in de huidige situatie tijdens een T=25-situatie (200% MA; ca. 1x/25 jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



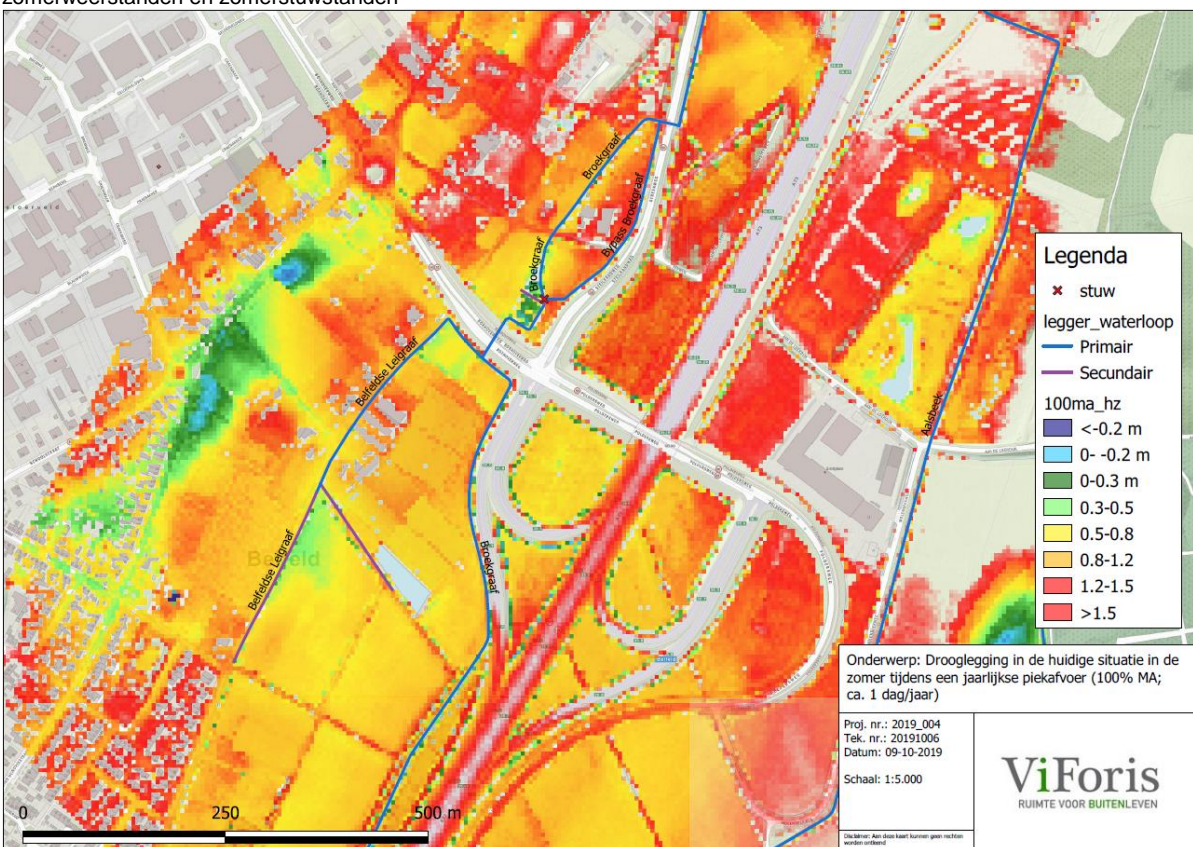
Figuur 29: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een basisafvoer (5% MA; 330 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



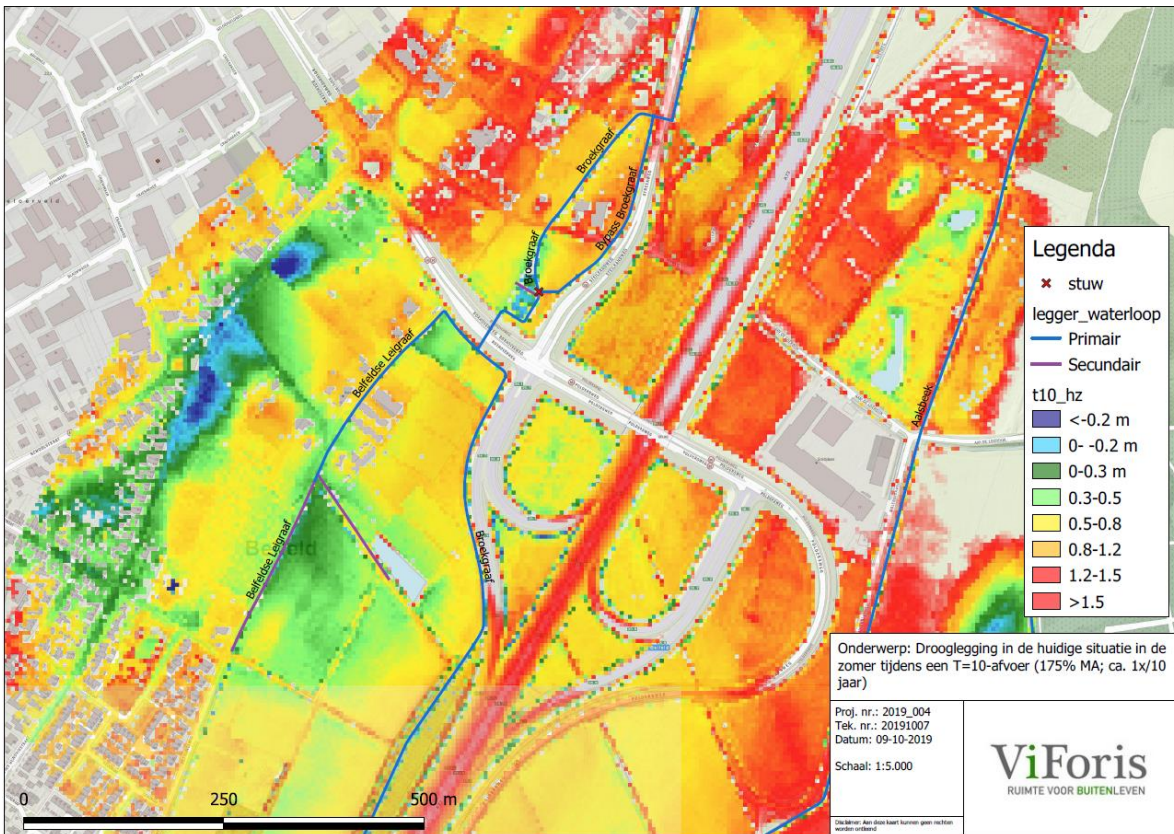
Figuur 30: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een voorjaarsafvoer (30% MA; 100 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



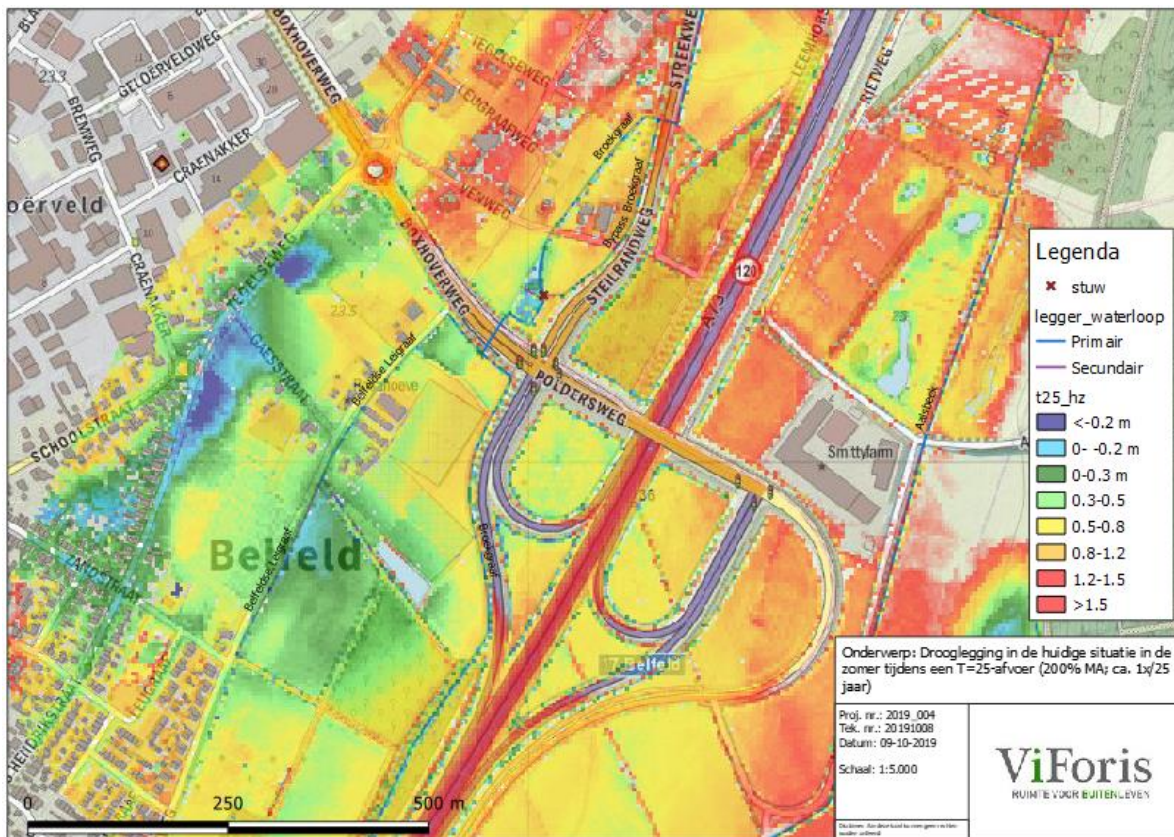
Figuur 31: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een winterafvoer (50% MA; 20 dagen/jaar overschreden) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



Figuur 32: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een jaarlijkse piekafvoer (100% MA; ca. 1 dag/jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



Figuur 33: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een T=10-situatie (175% MA; ca. 1x/10 jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden



Figuur 34: Drooglegging in de huidige situatie tijdens een T=25-situatie (200% MA; ca. 1x/25 jaar) in de zomer met zomerweerstanden en zomerstuwstanden