



Toelichting hydrologie

Beekherstel Reusel Baarschot-Diessen

projectnummer 0432726.00
definitief revisie 07
25 januari 2021

Toelichting hydrologie

Beekherstel Reusel Baarschot-Diessen

projectnummer 0432726.00

definitief revisie 07

25 januari 2021

Auteurs

[Redacted] J
[Redacted] J
[Redacted] J

Opdrachtgever

Waterschap De Dommel

Postbus 10001

5280 DA Boxtel

datum vrijgave
25 januari 2021

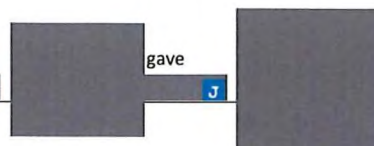
beschrijving revisie 07
definitief

goedkeuring

[Redacted] J

gave

[Redacted] J



Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	3
1.1	Aanleiding en doel	3
1.2	Hydrologische berekeningen	5
1.3	Leeswijzer	5
2	Gebiedsbeschrijving	6
2.1	Bodemgebruik	6
2.2	Bodem	7
2.3	Hoogteverloop	9
2.4	Grondwater en geohydrologie	12
2.5	Watersysteem	19
2.6	Waterkwaliteit	20
3	Modelbouw	24
3.1	Oppervlaktewatermodel	24
3.1.1	Modelopbouw per onderdeel	24
3.1.2	Validatie	30
3.2	Grondwatermodel	33
3.2.1	Schematisatie rekenmodel	33
3.2.2	Wijze van effectbepaling van grondwaterstandsveranderingen	42
4	Toelichting op de resultaten referentiesituatie	45
4.1	Stroomsnelheid	45
4.2	Opstuwing	46
4.3	Waterstanden	47
5	Scenario's	57
5.1	Inleiding	57
5.2	Criteria	57
5.3	Onderzochte scenario's	58
5.3.1	Scenario's stuwen behouden	58
5.3.2	Stuwen verwijderen, herinrichting op basis van grondposities	62
5.3.3	Toekomstscenario's	64
5.3.4	Bouwstenen trajecten met twee waterlopen	68
5.4	Besluit uit te werken scenario	68
6	Definitief Ontwerp	70
6.1	Maatregelen in het Definitief Ontwerp	70
6.2	Modellering	75
6.3	Resultaten	81
6.3.1	Stroomsnelheid	81

6.3.2	Opstuwing	84
6.3.3	Waterstanden	84
6.3.4	Robuustheid watersysteem	93
7	Conclusies	96

Bijlage 1 Hydrologisch dwarsprofiel Turkaa

Bijlage 2 Kritieke peilen

Bijlage 3 Kaarten

Bijlage 4 Bovenstroomse aanvoer

Bijlage 5 Grondwateronderzoek

Bijlage 6 Memo impactanalyse afwijkende stationaire waterstanden

Bijlage 7 Memo Compensatieadvies inundaties RS306

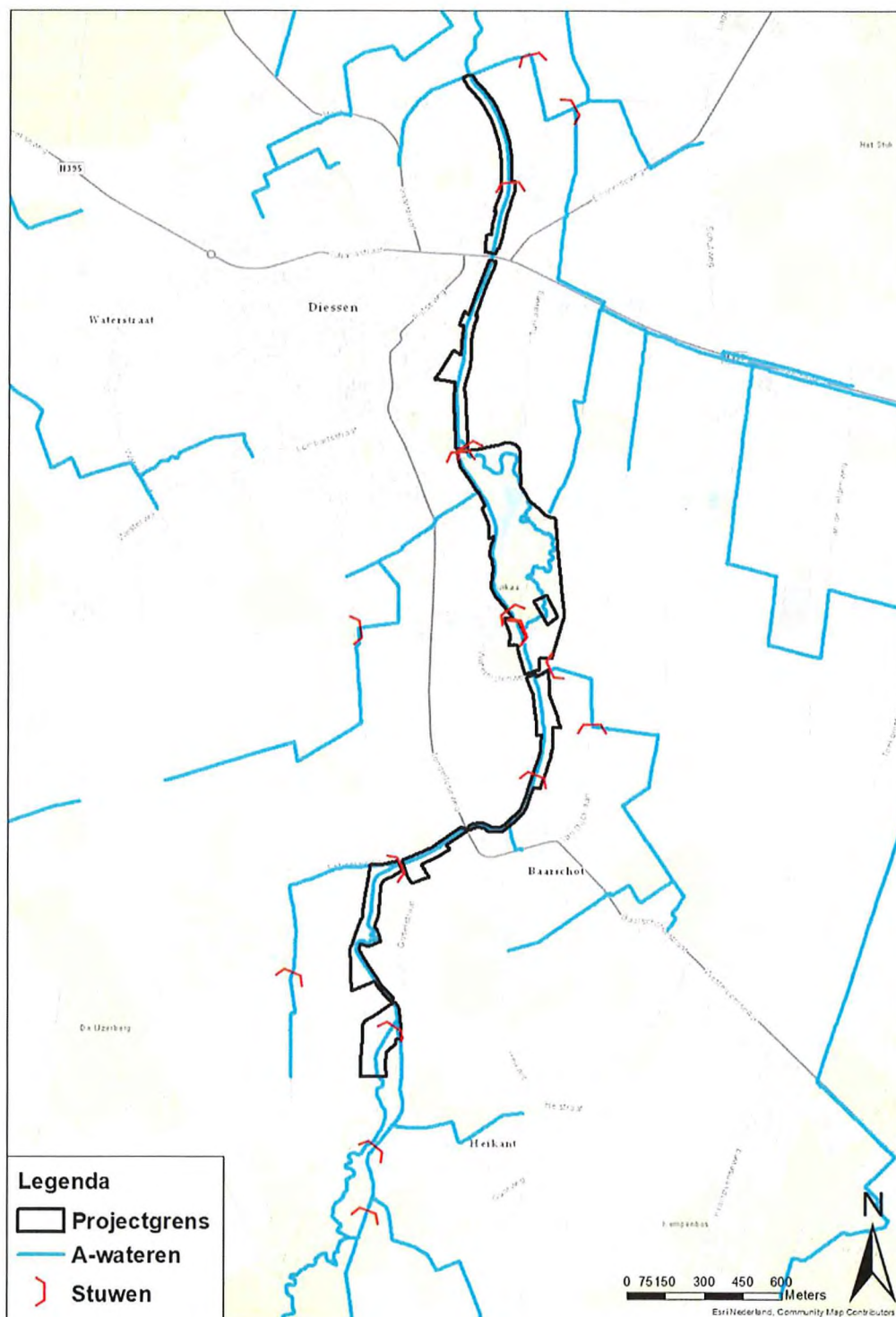
1 Inleiding

Met het project 'Beekherstel Reusel Baarschot-Diessen' wil Waterschap De Dommel samen met projectpartners Brabants Landschap, gemeente Hilvarenbeek en de provincie Noord-Brabant invulling geven aan de herinrichtingopgaven voor dit gebied.

1.1 Aanleiding en doel

De ecologie in en langs de Reusel voldoet niet aan doelstellingen die daarvoor gelden vanuit de beleidskaders voor water en landnatuur (Kaderrichtlijn Water/SGBP/WBP 4 en het Natuurbeheerplan Noord-Brabant 2016 en het N2000 beheerplan Kempenland West). Zowel de inrichting van land en water als de dimensies van het watersysteem moeten in overeenstemming worden gebracht met de randvoorwaarden die nodig zijn om bij een veranderend klimaat de schade voor landbouw en natuur te verminderen en de waterhuishoudkundige en ecologische doelstellingen te halen. In het kader van het actieplan "Leven de Dommel" heeft het bestuur van Waterschap de Dommel bovendien opdracht gegeven de robuustheid van het watersysteem van alle wateren in het beheergebied van het waterschap te verbeteren en de ruimte voor opvang van water bij extreme weersomstandigheden in de projecten te vergroten.

Het project bestaat uit het voornemen tot beekherstel van de Reusel tussen Baarschot en Diessen. Het betreft hier het traject van de Reusel tussen het Landgoed De Utrecht en het gebied van de Ruilverkaveling De Hilver ten noorden van Diessen (figuur 1-1).



Figuur 1-1: Ligging van het projectgebied Reusel Baarschot Diessen.

1.2 Hydrologische berekeningen

Antea Group ondersteunt het waterschap bij de voorbereiding voor het project 'Beekherstel Reusel Baarschot-Diessen'. In dit kader zijn voor de Reusel diverse hydrologische berekeningen uitgevoerd. De modelresultaten zijn interactief getoetst aan de hydrologische - en ecologische doelen.

Voor de hydrologische berekeningen zijn de volgende situaties onderscheiden:

- Referentie situatie (conform de legger vastgesteld in 2013).
- (inzicht)Scenario's.
- Definitief ontwerp.

De doelstelling van de oppervlaktewatermodellering is om te bepalen of met de gewenste beekinrichting de KRW-doelstellingen kunnen worden bereikt. Ook moet er inzicht verkregen worden in het effect van de herinrichting op de omgeving.

1.3 Leeswijzer

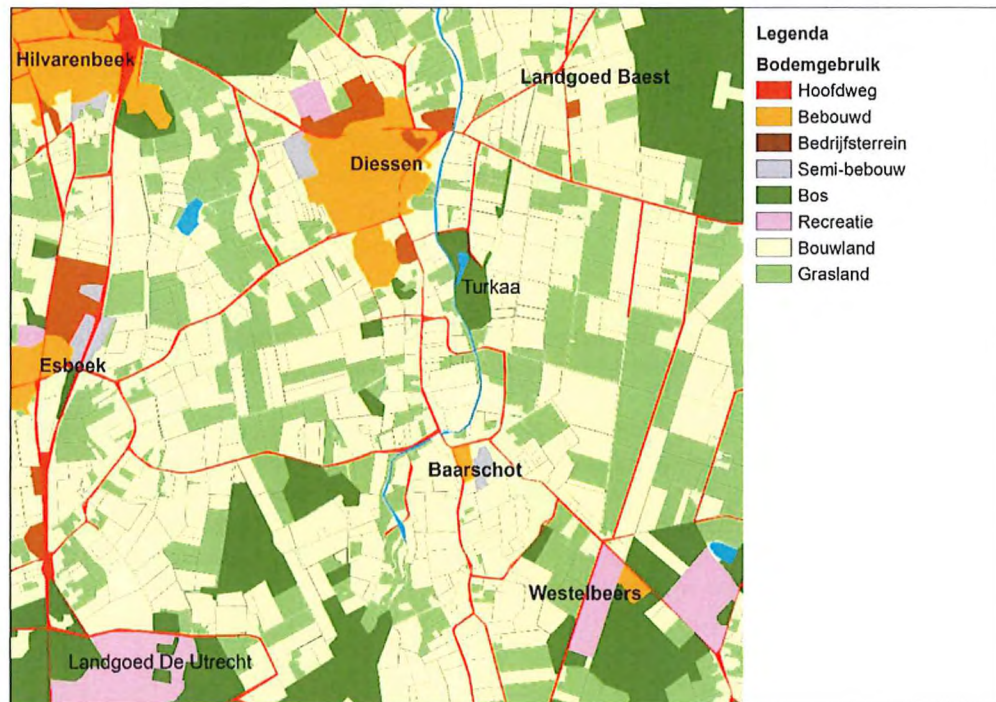
Het doel van dit rapport is om de resultaten van de uitgevoerde berekeningen te presenteren. Hiermee onderbouwt het rapport de keuzes die zijn gemaakt en legt deze navolgbaar vast.

Hoofdstuk 2 beschrijft het projectgebied. In hoofdstuk 3 volgt een toelichting op het Sobek-model voor de referentiesituatie. In hoofdstuk 4 is de hydrologische situatie voor de referentiesituatie vastgelegd. Hoofdstuk 5 geeft een toelichting op de scenario's met een doorkijk naar het Definitief Ontwerp voor Beekherstel Reusel Baarschot-Diessen. Hoofdstuk 6 beschrijft de effecten van het Definitief Ontwerp in relatie tot hydrologie. Tot slot sluit hoofdstuk 7 af met conclusies en aanbevelingen.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Bodemgebruik

Het stroomgebied van de Reusel tussen Baarschot en Diessen bestaat naast bebouwd gebied en natuur vooral uit landbouw, met een afwisseling van bouwland en grasland (figuur 2-1).

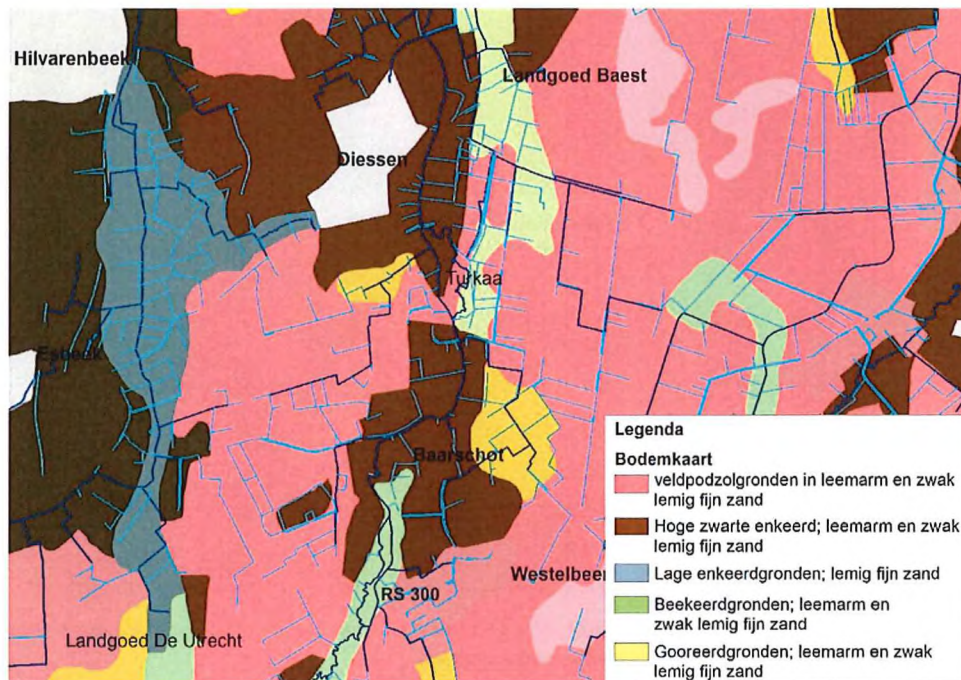


Figuur 2-1: Bodemgebruik (bron: CBS Bestand Bodemgebruik 2012)

In het projectgebied zelf ligt de Natte Natuurparel (NNP) de Turkaa. Belangrijke natuurgebieden buiten het projectgebied zijn NNP de Utrecht stroomopwaarts en het verder weg gelegen landgoed Baest.

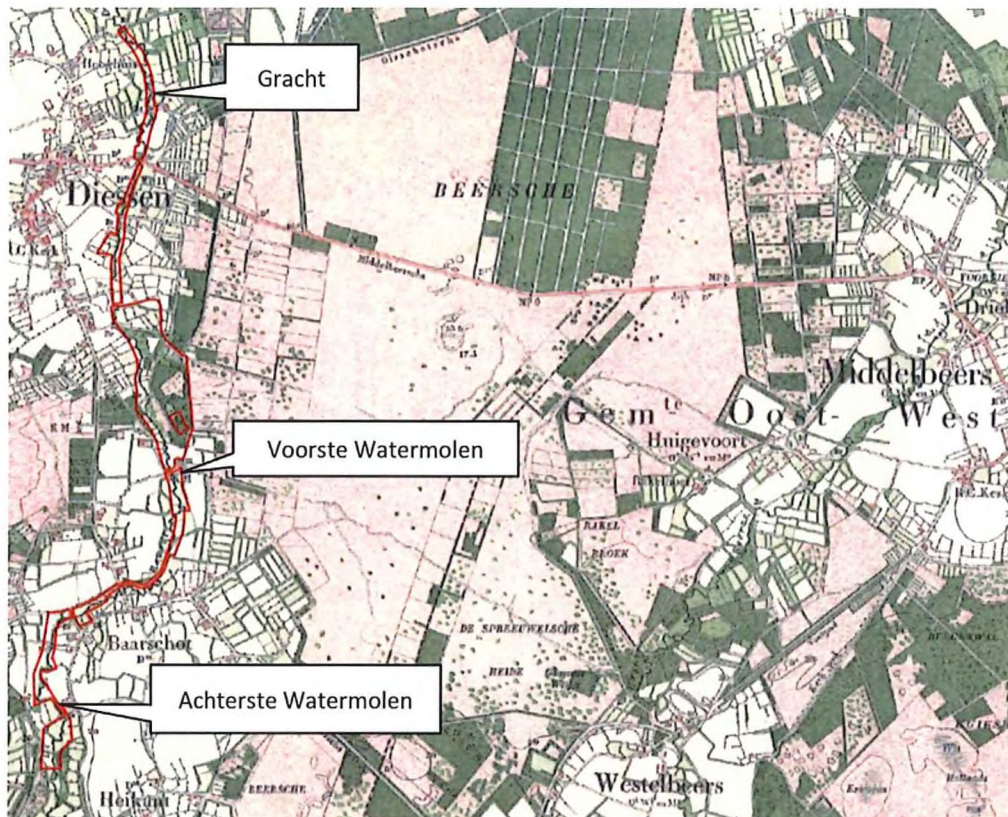
2.2 Bodem

De bodem bestaat uit een afwisseling van podzolgronden en enkeerdgronden (figuur 2-2). Deze enkeerdgronden zijn ontstaan door een eeuwenlang proces van ophoging met humushoudend materiaal. De veldpodzolgronden zijn vooral gesitueerd op de hoger gelegen droge zandgronden. In de richting van de beek gaan deze veldpodzolgronden geleidelijk over in gooreerdgronden. De gooreerdgronden worden gekenmerkt door de afwezigheid van roest in het profiel. In een smalle strook langs de beek komen leemarme tot zwak lemige fijnzandige beekkeerdgronden voor.



Figuur 2-2: Bodemkaart (bron: Esri Nederland, Alterra)

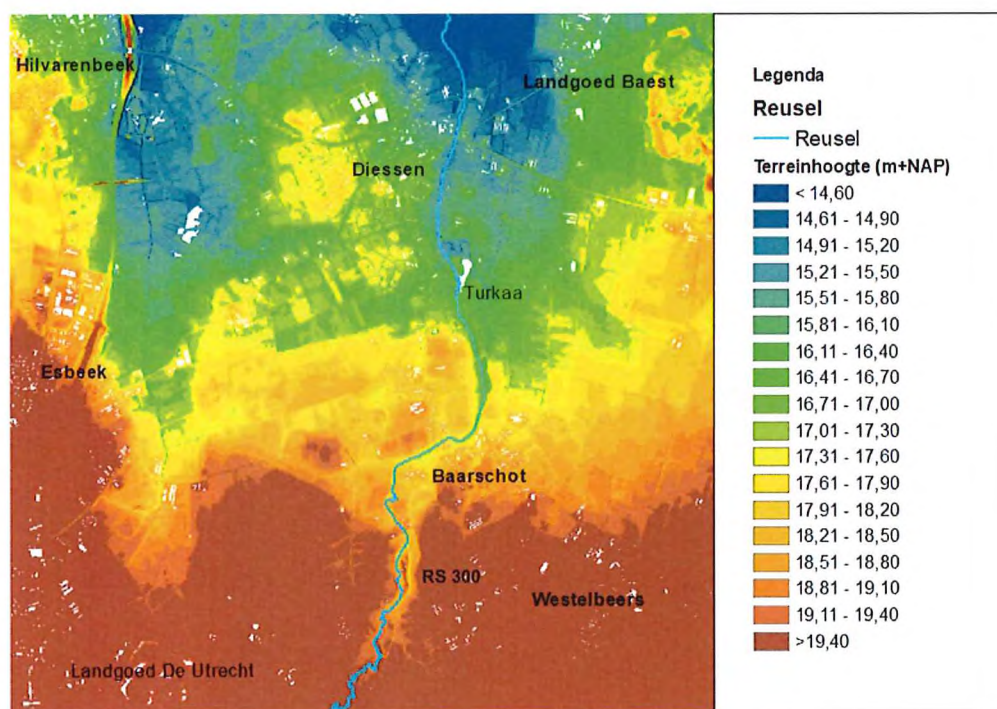
In het historische beekdal van de Reusel zijn in de zone waar de Reusel van oorsprong meanderde net onder de vroegere rivierbodem slecht doorlatende lagen en laagjes van klei, veen en leem afgezet. Op de topografische kaart uit 1900 (figuur 2-3) is de historische ligging van de Reusel te zien. Hier zijn twee watermolens en een gracht aanwezig. De ligging van de beek is grotendeels gelijk aan de huidige locatie, maar heeft nog veel meer meandering. Rond 1984 is de beek grotendeels rechtgetrokken (topotijdreis.nl)



Figuur 2-3: Uitsnede van de topografische kaart rond 1900 met in rood gemarkeerd het projectgebied (bron: Grote Historische Topografische Atlas Noord-Brabant)

2.3 Hoogteverloop

De Reusel ligt ca. 1,5 m ingesneden in het terrein (figuur 2-4). In het projectgebied loopt het maaiveld in noordelijke richting af van circa NAP 21 m bovenstrooms tot circa NAP 14 m benedenstrooms. Voor het verloop van de bodemhoogtes en insteekhoogtes van de Reusel wordt verwezen naar de figuren in hoofdstuk 4.

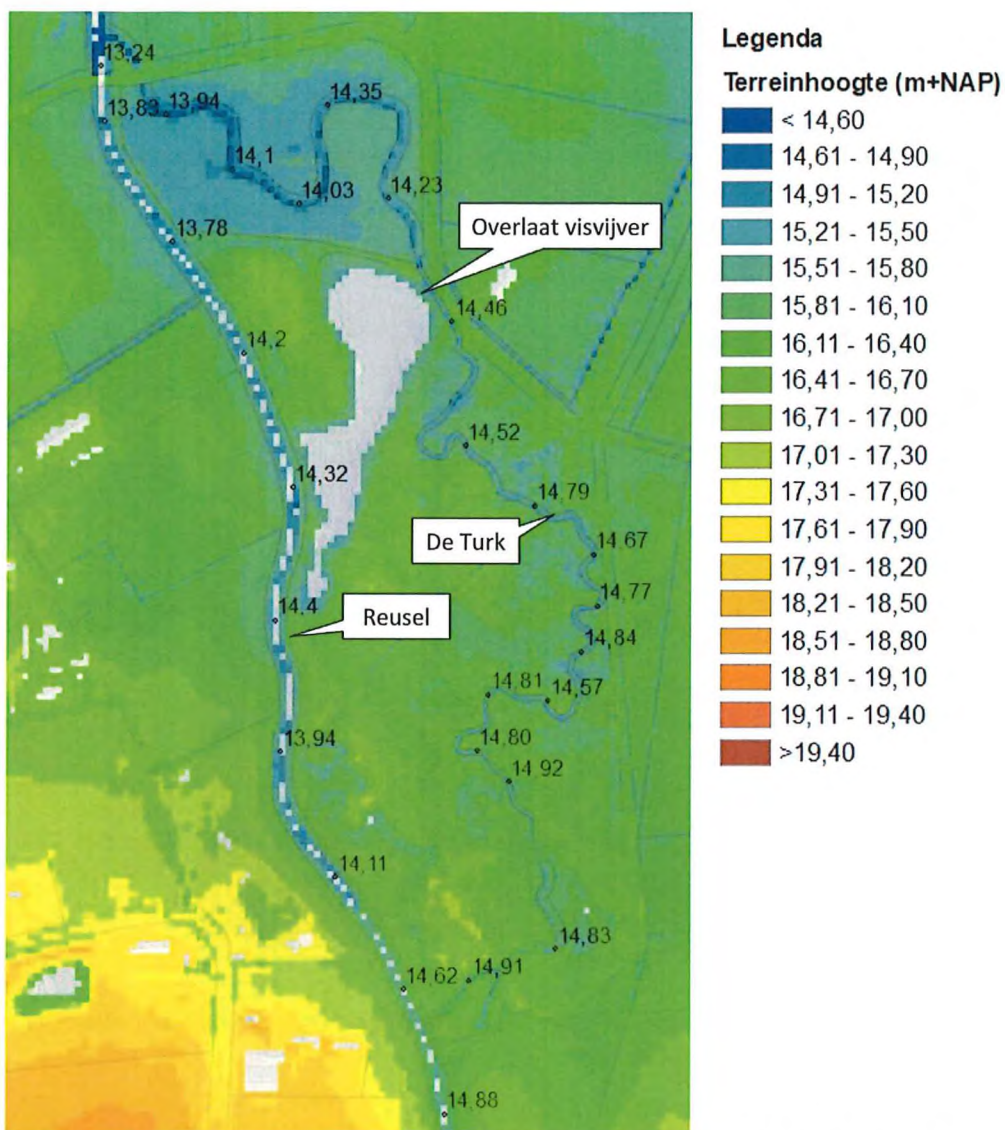


Figuur 2-4: Terreinhoogte (bron: AHN2)

Voor twee deelgebieden, De Turk en de RS300, is nader ingezoomd op de terreinhoogtes en bodemhoogtes van de watergang.

De Turk

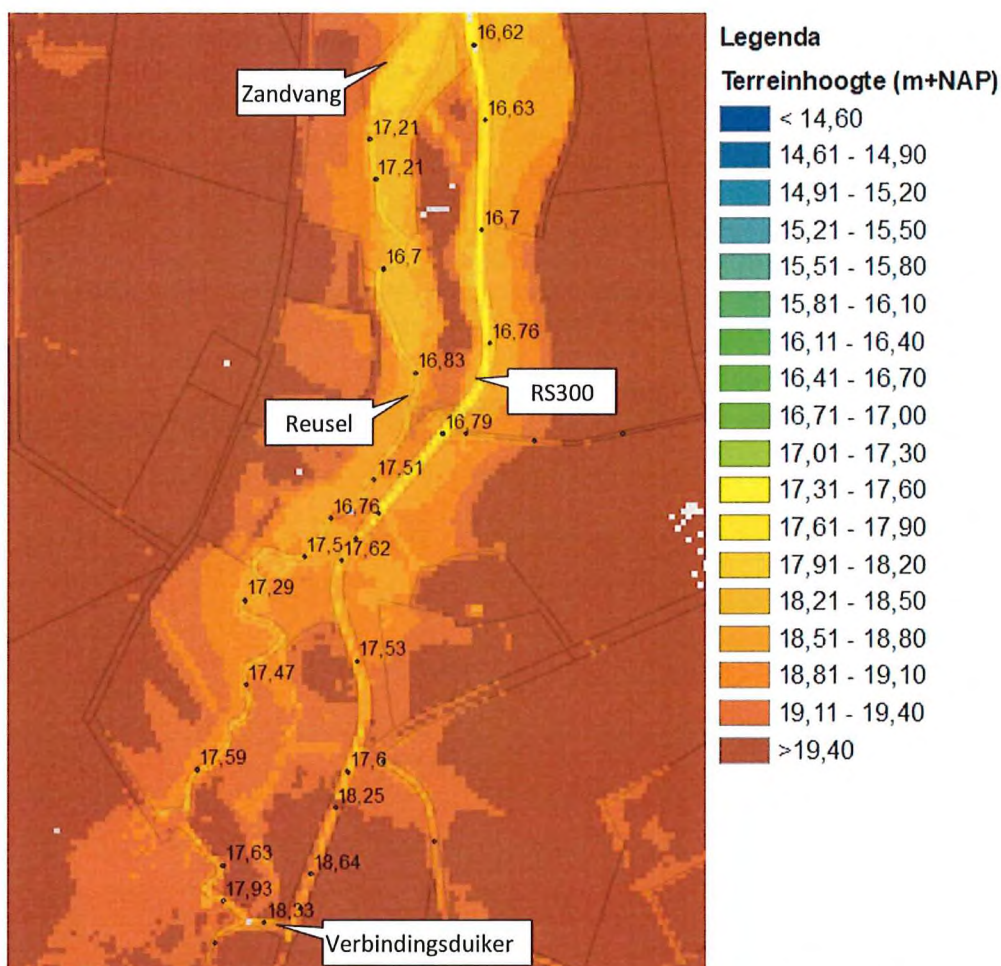
De Turk is een oude meander van de Reusel welke tegenwoordig dienst doet als vismigratieroute voor de Reusel (figuur 2-5). De Turk stroomt in het natuurgebied de Turkaa. In de figuur zijn duidelijk de laagtes te zien. De bodemhoogte van De Turk helt af van bovenstrooms NAP 14,91 m nabij de instroom vanuit de Reusel aan de zuidzijde naar benedenstrooms NAP 13,94 m nabij de uitstroom in de Reusel aan de noordkant. De bodemhoogte van de Reusel ligt over het algemeen 0,1 m tot 0,3 m lager dan de bodemhoogte van De Turk. De visvijver in de Turkaa is diep, deze is ontstaan door zandwinning, de precieze diepte is niet bekend. Via de overlaat (diameter 300 mm) met terugslagklep kan de visvijver op De Turk lozen. De hoogte van de overlaatsdrempel is NAP 15,34 m (bron: inmeting Geomij meetdatum 30 juli 2018). De greppels in het landelijk gebied rondom de Turkaa zijn minder diep dan de watergang door de Turkaa. In bijlage 1 is een dwarsprofiel opgenomen.



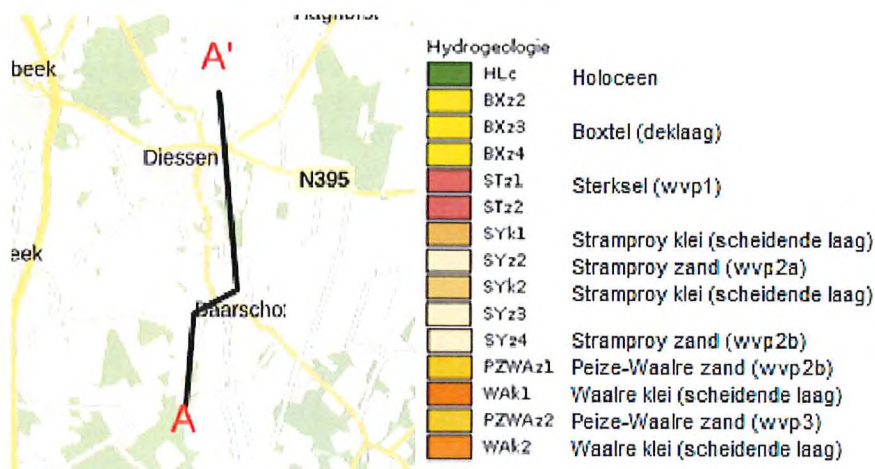
Figuur 2-5: Terreinhoogteverloop (bron: AHN2) en de bodemhoogtes van de Reusel en De Turk (inmeting Geomij meetdatum 30 juli 2018)

RS300

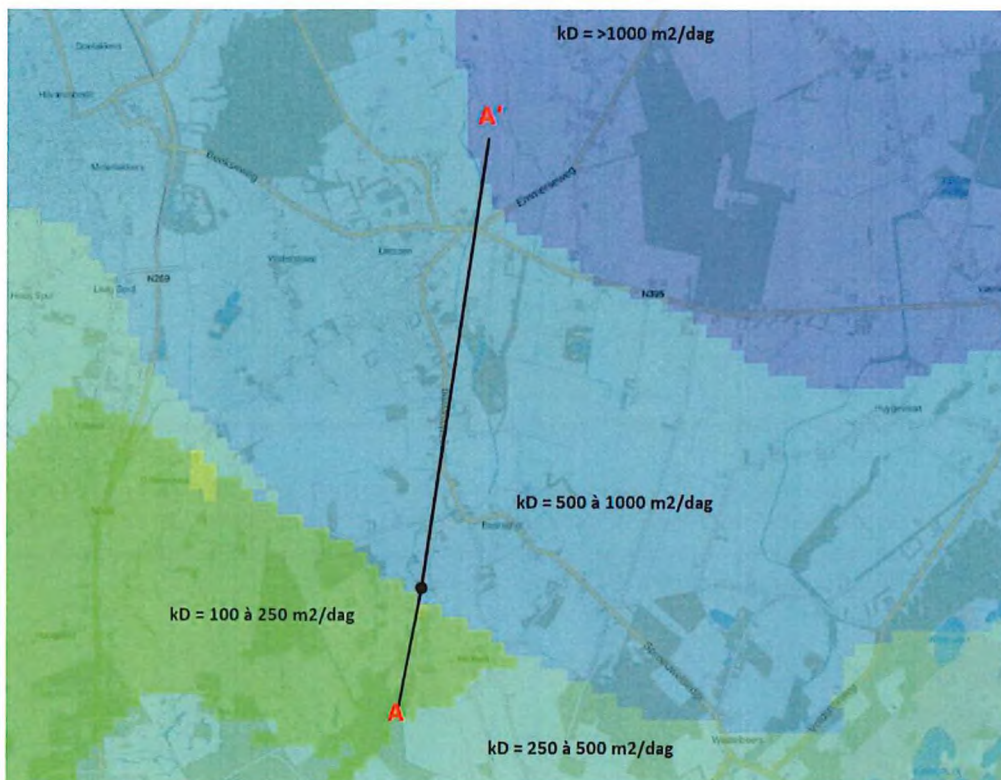
Figuur 2-6 toont het terreinhoogteverloop en de bodemhoogtes van de RS300 en Reusel. De RS300 is een bypass ten zuiden van Baarschot. De bodemhoogte van de Reusel helt van het zuiden in noordelijke richting af van NAP 17,93 m (bovenstrooms) naar NAP 17,21 m (bij de zandvang). De bodemhoogte van de RS300 loopt af van NAP 18,64 m (bovenstrooms, ter hoogte van de verbindingsduiker) naar NAP 16,62 m.



Figuur 2-6: Terreinhoogteverloop (bron: AHN2) en de bodemhoogtes van de Reusel en RS300 (inmeting Geomij meetdatum 30 juli 2018)



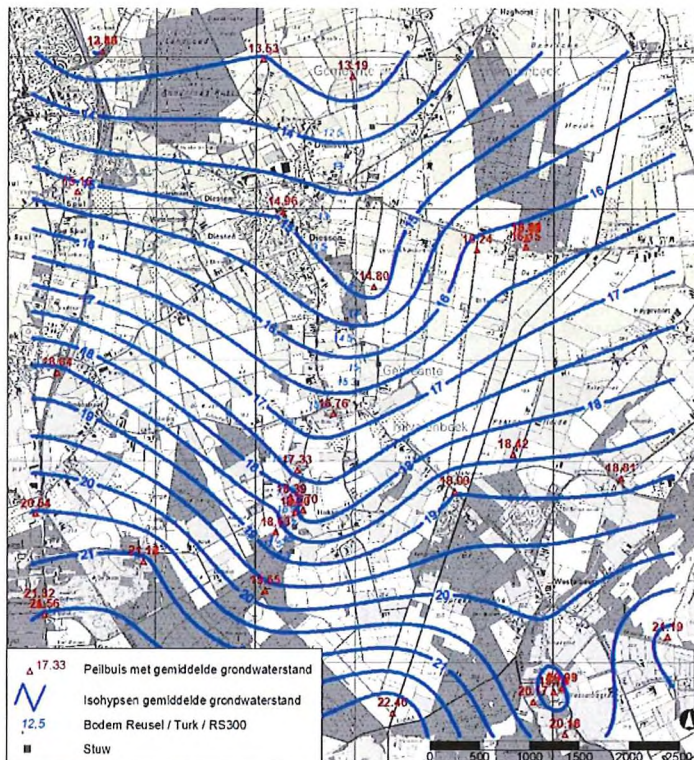
Figuur 2-8 Ligging van het lengteprofiel van figuur 2-7 en de bijbehorende bodemeenheden.



Figuur 2-9 kD-waarden volgens Regis. Met de lijn A – A' wordt globaal de ligging van de beek aangegeven.

Grondwaterstroming

Om de regionale stroming in beeld te brengen is gebruik gemaakt van het isohypsenpatroon van het eerste watervoerende pakket WVP1 (figuur 2-10). Het betreft de langjarig gemiddelde grondwatersituatie op basis van de beschikbare peilbuizen.

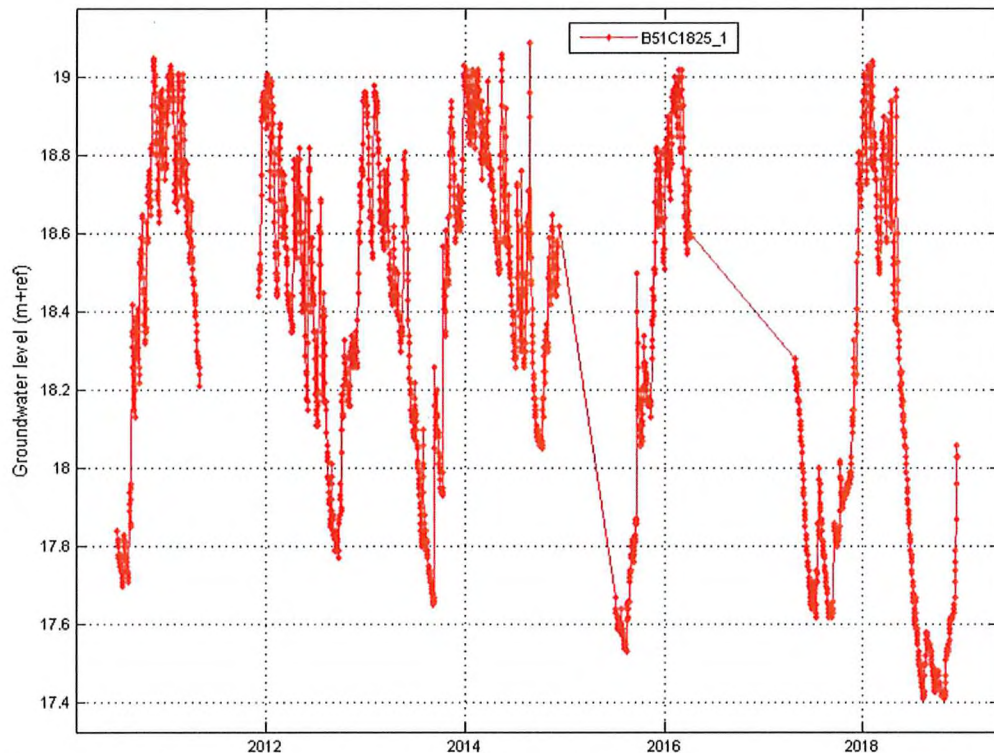


Figuur 2-10 Isohypsen van WVP1 voor de gemiddelde grondwatersituatie (bron: Dinoloket)

Uit figuur 2-10 volgt een grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket van zuid naar noord. De isohypsen liggen ongeveer 1,5 m boven de bodemhoogten van de Reusel. De invloed van de Reusel is afhankelijk van de waterdiepte. Bij deze gemiddelde grondwatersituatie zal de Reusel over het algemeen een drainerende werking hebben.

Grondwaterstanden

De omgeving van de Reusel Baarschot – Diessen kent vrij diepe grondwaterstanden. Ook de fluctuaties in de grondwaterstanden door de seizoenen heen zijn relatief groot. In figuur 2-11 zijn ter illustratie de waargenomen grondwaterstanden in een peilbuis juist zuidelijk van Baarschot weergegeven. Zichtbaar is dat de grondwaterstand in een jaar met meer dan 1 m wisselt.

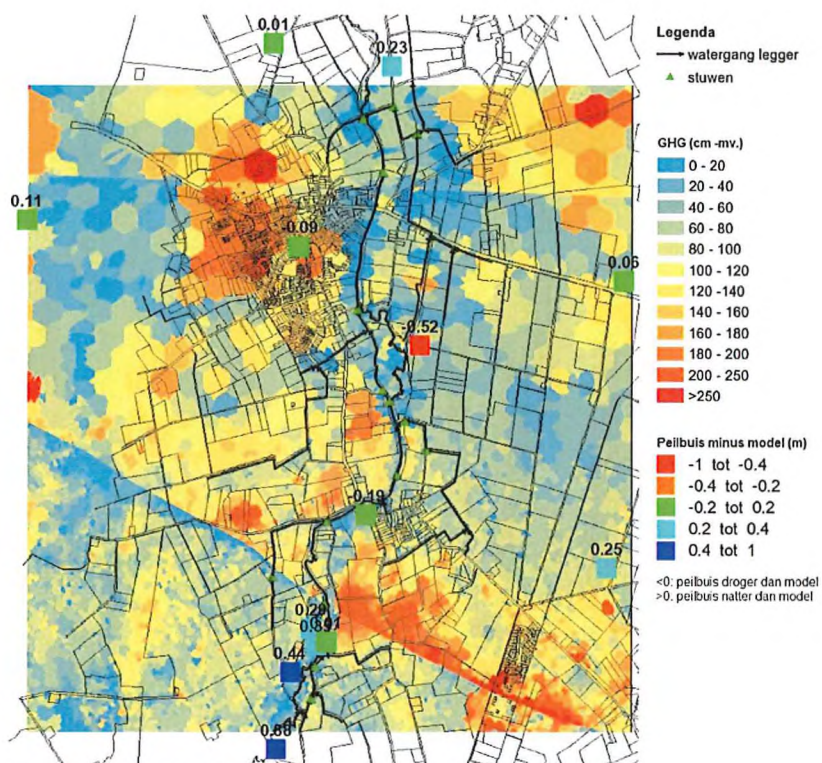


Figuur 2-11: Grondwaterfluctuaties in een peilbuis zuidelijk van Baarschot

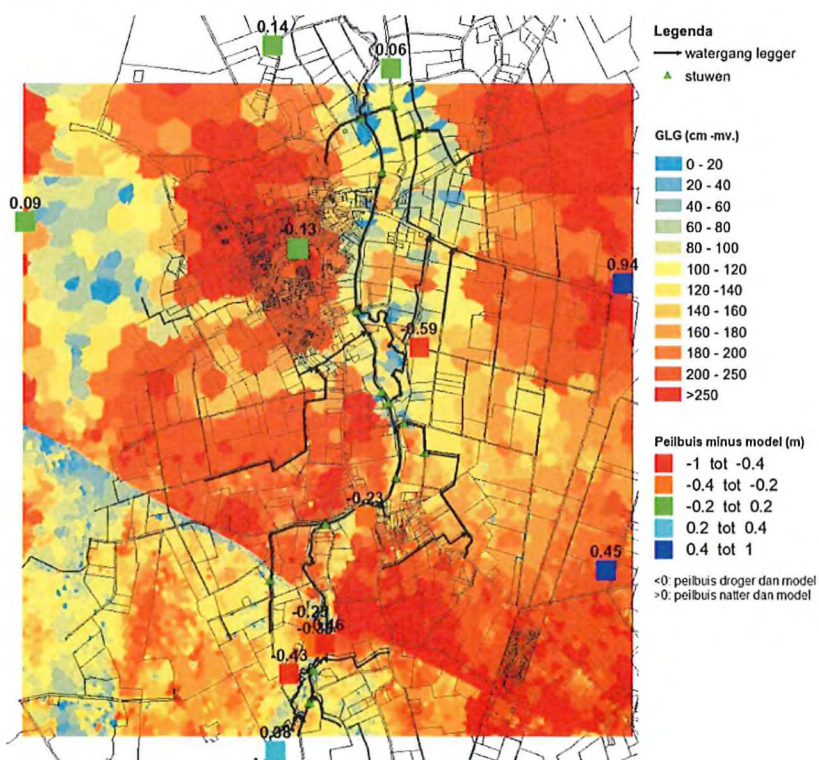
Voor de bepaling van de grondwatersituatie is gebruik gemaakt van de GHG¹ en GLG die eerder door Royal Haskoning DHV voor het zuidelijker gelegen gebied De Utrecht met een grondwatermodel zijn berekend. De modelmatig berekende GHG en GLG zijn vergeleken met de peilbuisreeksen zoals deze in DinoLoket beschikbaar zijn. In figuur 2-12 en figuur 2-13 is de vergelijking tussen de peilbuizen en het grondwatermodel opgenomen voor respectievelijk de GHG en de GLG.

Zichtbaar is dat bij de GHG de peilbuizen en het model redelijk goed overeenkomen. In het beekdal zelf geven de meetgegevens een iets natter beeld dan het model, op de hogere zandgronden is het beeld goed. Bij de GLG geven de peilbuizen in het beekdal juist een droger beeld dan het grondwatermodel. Blijkbaar worden in het model de grondwaterstanden nabij de beek gedempt, terwijl dit in werkelijkheid minder gebeurt.

¹ GxG: grondwaterdynamiek. GLG = Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, GG = Gemiddelde Grondwaterstand, GHG = Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand.



Figuur 2-12: Toets GHG uit peilbuizen aan model van de Utrecht



Figuur 2-13: Toets GLG uit peilbuizen aan model van de Utrecht

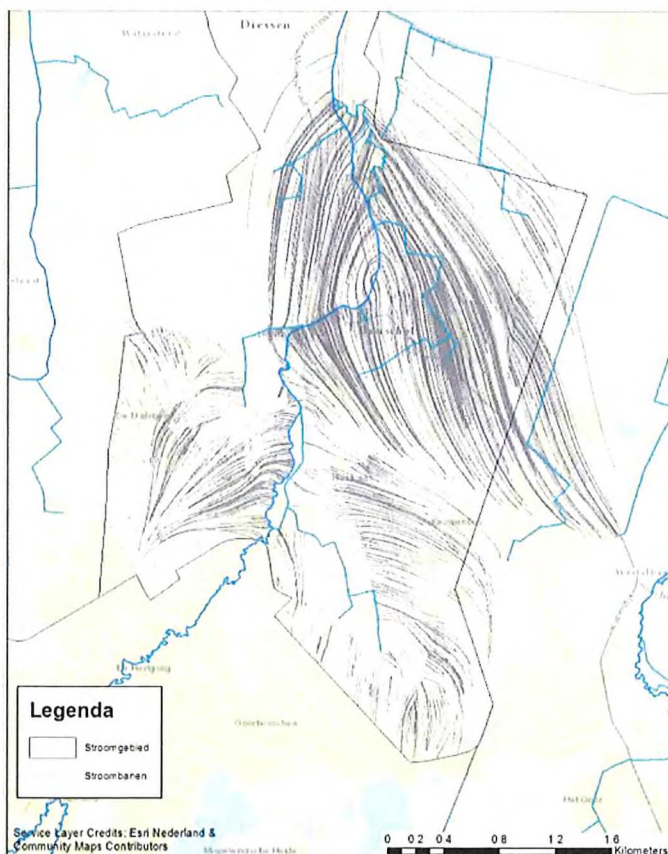
Voor de herinrichting geven de modelmatig berekende GHG en GLG tezamen met de langdurig waargenomen peilbuizen een beeld van de grondwaterfluctuatie. Voor de herinrichting worden eventuele effecten op de grondwaterstanden gepresenteerd als een relatief effect (verandering) en niet als een absoluut getal.

Ontwateringsdiepte

In de winter is de ontwateringsdiepte over het algemeen 0,4 m tot 1,0 m. Op de zandkoppen (de oranje en rode delen in figuur 2-12) is de ontwateringsdiepte groter dan 1,0 m. In het beekdal is de ontwateringsdiepte veelal kleiner dan 0,5 m. In de zomer is de ontwateringsdiepte over het algemeen 0,9 m tot 1,80 m. In de figuren is de ligging van de geologische breuk in het zuiden van het plangebied zichtbaar door een abrupte wijziging in de ontwateringsdiepte.

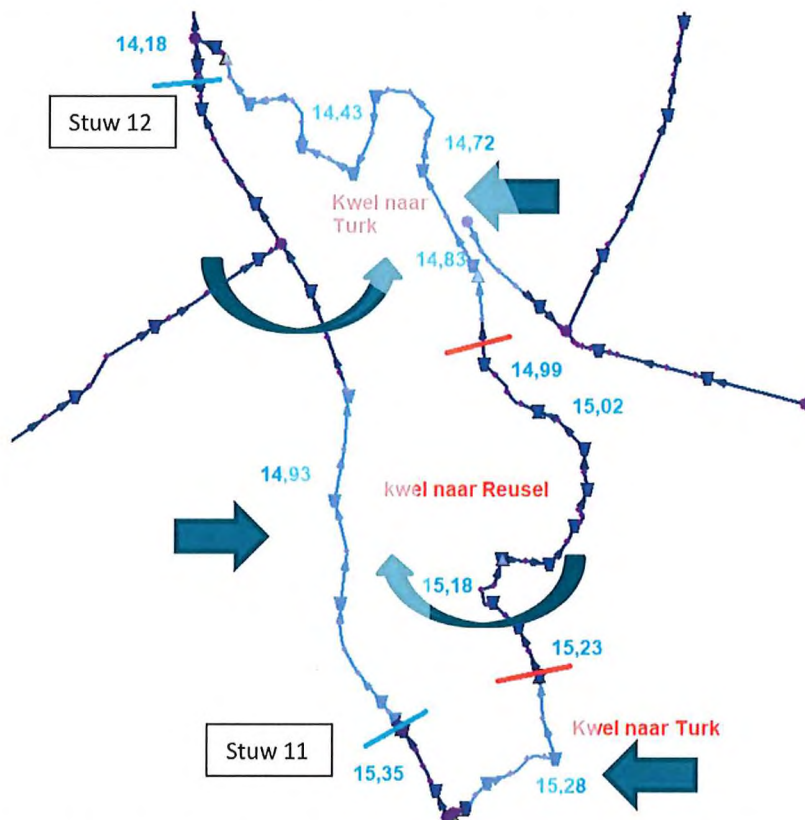
Kwel

In het beekdal van de Reusel treedt kwel uit door aanvoer van regionaal grondwater. Figuur 2-14 geeft een beeld van de herkomst van het kwelwater, gebaseerd op de grondwatermodellering uitgevoerd door RHDHV. Opgemerkt wordt dat het model niet specifiek op dit gebied is gericht. Lokale verschillen in leemvoorkomens e.d. geven een verschil in de situatie. Op basis van de modellering kan echter geconstateerd worden dat het algemene beeld is dat de Reusel deels wordt gevoed door relatief oud grondwater, met lange stroombanen. Dergelijk grondwater heeft over het algemeen een goede kwaliteit en is geschikt voor de ontwikkeling van kwelafhankelijke vegetatie.



Figuur 2-14: Indicatieve stroombanen van het grondwater voor een gemiddelde situatie (bron: rapport *Herkomst nutriënten beekdal Reusel*, RHDHV, d.d. 7 juni 2018)

Ter hoogte van De Turk is de kwelsituatie wisselend. Doordat de waterstanden in de Reusel achter stuw RS1-st11 in het eerste traject lager zijn dan de waterstanden in De Turk, stroomt de kwel hier naar de Reusel. Dichter bij stuw 12 komen de waterpeilen in De Turk juist lager te liggen dan in de Reusel en is de kwel naar De Turk. In figuur 2-15 is dit schematisch weergegeven. De vijver in de Turkaa heeft een overlaatsdrempel op NAP 15,34 m (bron: inmeting Geomij meetdatum 30 juli 2018). De afvoer van de vijver wordt dus beperkt door het hoge peil van de overlaat. Hierdoor voert de vijver slechts beperkt kwel af.

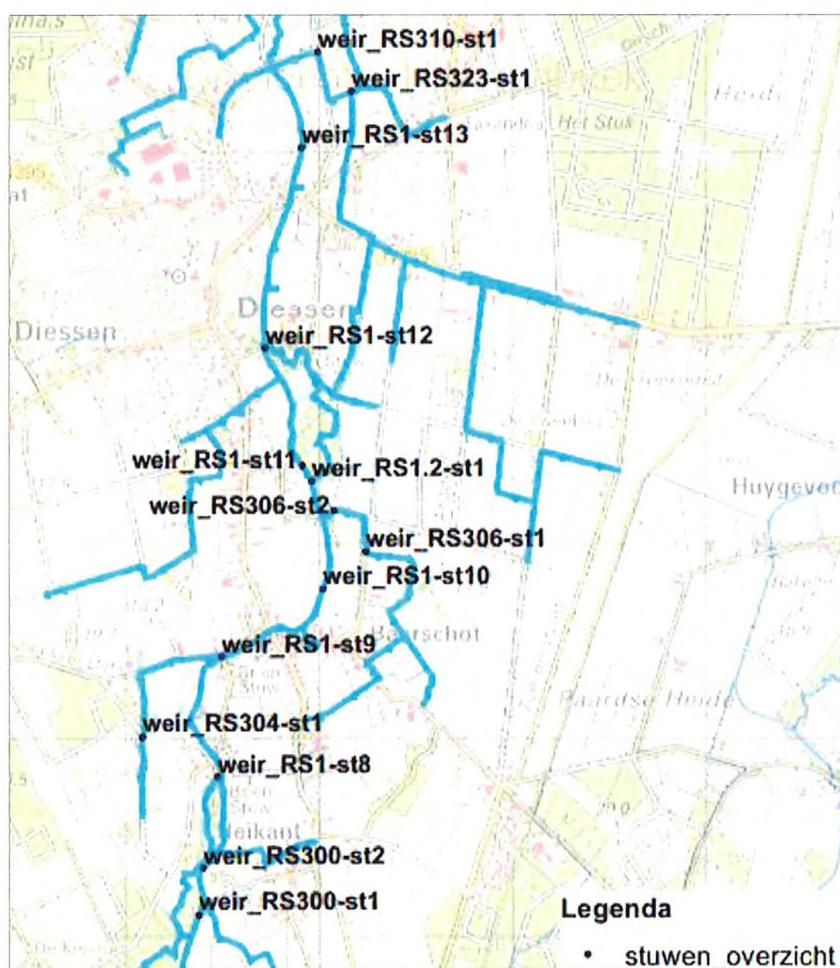


Figuur 2-15: Kwelsituatie Reusel en Turk in gemiddelde zomersituatie, blauwe getallen zijn waterpeilen

2.5 Watersysteem

Figuur 2-16 toont het hoofdwatersysteem van de Reusel ter hoogte van Baarschot-Diessen. De Reusel is bij het waterschap bekend als de RS1. Bovenstrooms van Moleneind stroomt de RS300 parallel aan de Reusel. De RS300 dient als hoogwatergeul voor de Reusel. Ter hoogte van het natuurgebied Turkaa functioneert de Reusel als een hoogwatergeul. De watergang in de Turkaa (bekend als De Turk) maakt onderdeel uit van het watersysteem van de Reusel en dient tevens als vismigratieroute.

Vanwege het verhang van het beekdal van de Reusel worden de waterstanden gestuurd door meerdere stuwen. Figuur 2-16 toont de locaties van de stuwen in het hoofdwatersysteem. De naamgeving is 'weir' (stuw), waterloop (RS1 is de Reusel), stuwnummer. Het projectgebied omvat de stuwen 8 t/m 13 in de Reusel.



Figuur 2-16: Locaties van de stuwen (bron: legger van Waterschap De Dommel)

Voor de ecologie is het gewenst de stroomsnelheden te verbeteren. De wensen vanuit de ecologie zijn vastgelegd in KRW-doelen waarbinnen is vastgesteld dat een hogere stroomsnelheid vanuit ecologische oogpunt van belang is. Teneinde de flora en fauna in de beek minder te verstoren is daarom het maaibeheer aangepast.

Waterschap De Dommel maait vanaf 2014 alleen het stroomprofiel van de watergang (maai breedte 50% van de bodembreedte). Bij dit maaibeheer blijft riet/vegetatie langs oevers staan. Vanaf 2014 zijn in dit kader ook stuwpeilen lager gezet, zie tabel 2-1. Deze combinatie van maatregelen heeft tot gevolg dat het minder intensief maaien opstuwings veroorzaakt, waardoor het waterpeil zal stijgen. Hierdoor wordt ruimte gecreëerd om de stuwen te laten zakken waardoor het waterpeil daalt en bij hetzelfde debiet de stroomsnelheid toch hoger is. Voor de bij de modellering gehanteerde stuwklepstanden wordt verwezen naar hoofdstuk 3.

Tabel 2-1: Klepstanden voor de huidige situatie ten opzichte van m+ NAP (bron: aangeleverd door waterschap De Dommel d.d. 10 september 2019)

Stuw	winter	voorjaar	zomer	najaar
weir_RS1-st8*	17,35	17,35	17,35	17,35
weir_RS1-st9	16,67	16,67	16,75	16,73
weir_RS1-st10	16,30	16,30	16,30	16,30
weir_RS1-st11**	15,35	15,35	15,35	15,35
weir_RS1-st12	14,90	14,90	14,90	14,90
weir_RS1-st13	14,00	14,00	14,00	14,00
weir_RS1-st14	10,19	10,19	10,19	10,19
weir_RS300-st1	18,75	18,75	18,75	18,75
weir_RS300-st2	18,40	18,40	18,40	18,40
weir_RS304-st1	18,31	18,31	18,46	18,46
weir_RS306-st1	16,19	16,19	16,49	16,49
weir_RS306-st2	15,49	15,49	15,49	15,49
weir_RS1.2-st1***	15,20	15,20	15,20	15,20

*) Automatische stuw, de klepstand betreft een minimale klepstand.

**) De omleidingsduiker zorgt voor een constante aanvoer. De duiker van rond 300 mm staat normaal voor 1/3 open. Bij een afvoer van minder dan 100 l/s wordt de duiker gesloten.

***) In de stuw zit een rechthoekige doorlaat van breedte 0,27 m en hoogte 0,10 m voor vismigratie.

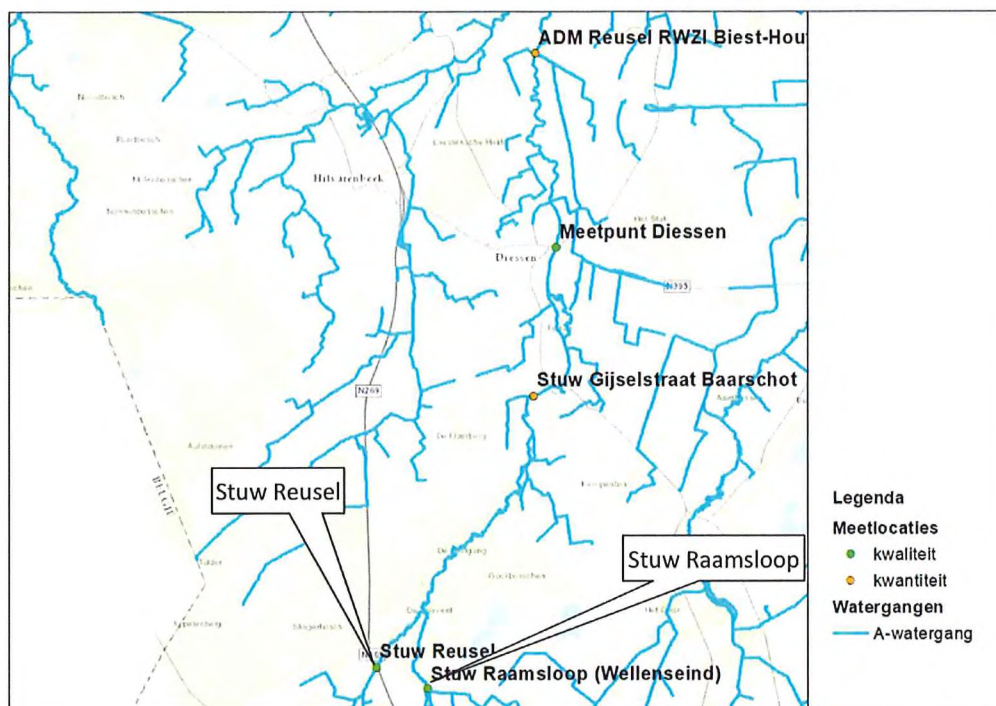
2.6 Waterkwaliteit

Onderstaande teksten betreft de relevante informatie uit het rapport Herkomst nutriënten beekdal Reusel, RHDHV, d.d. 7 juni 2018 en is daar grotendeels uit overgenomen.

Beoordeling waterkwaliteit

Waterschap De Dommel monitort de waterkwaliteit van de Reusel bij vaste meetlocaties. Bovenstrooms van het projectgebied betreft dit meetlocaties stuw Reusel (240102) en stuw Raamsloop (240108).

Benedenstrooms van het projectgebied betreft dit de meetlocatie bij Diessen (240103). Figuur 2-17 toont de ligging van de meetlocaties van zowel waterkwaliteit (groen) als waterkwantiteit (oranje).



Figuur 2-17: Meetlocaties waterkwaliteit en afvoer

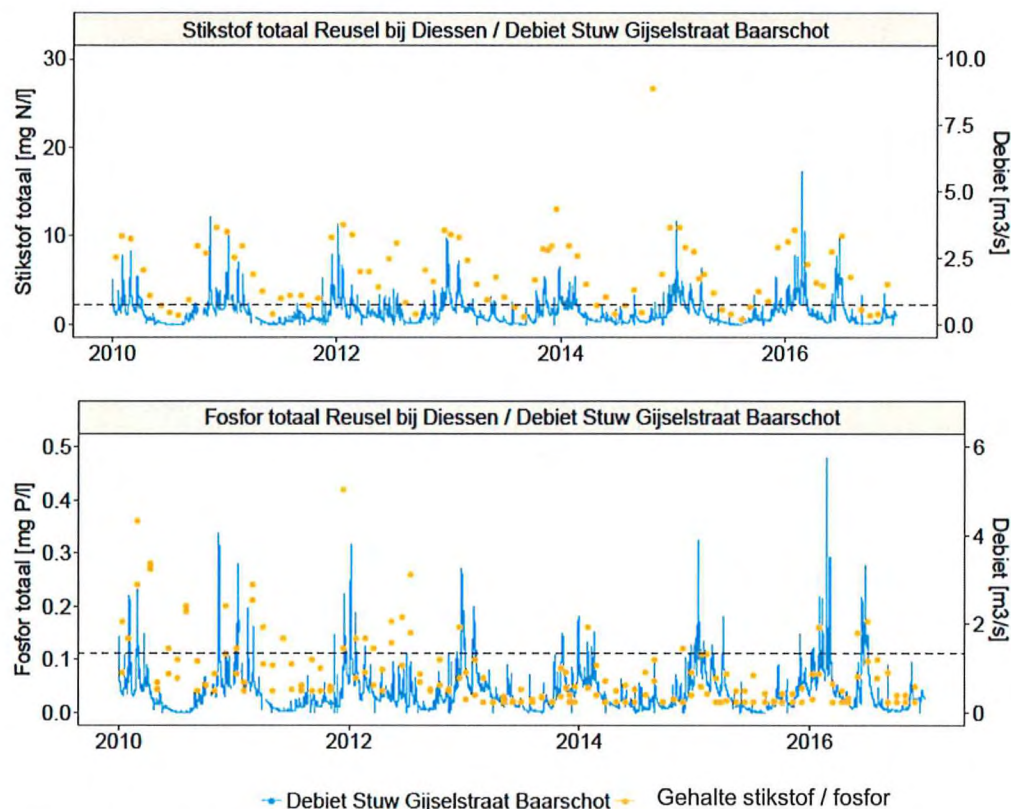
De waterkwaliteitsgegevens voor de periode 2010-2017 zijn conform de KRW-methodiek getoetst op het zomergemiddelde. De KRW-norm is maximaal 2,30 mg N/l totaal stikstof en maximaal 0,11 mg P/l totaal fosfaat.

Totaal stikstof toont forse overschrijdingen van de KRW-norm. Voor totaal fosfaat ligt het zomergemiddelde rond de norm. De fosforvracht is afkomstig van uitspoeling uit het landelijk gebied (circa 80% van de fosforvracht) en erfafspoeling (circa 20% van de fosforvracht, bron: resultaten van de KRW-Verkennerberekeningen, RHDHV, 2018). De stikstofvracht is voornamelijk afkomstig van uitspoeling uit het landelijke gebied (circa 95% van de stikstofvracht). Overstorten zijn wellicht lokaal en periodiek (dag met zware bui in de zomer) relevant als nutriëntenbron, maar in een heel traject van de Reusel op het niveau van het zomerhalfjaar is de bijdrage vanuit overstorten aan de nutriëntenvracht gering.

De zuurgraad (pH) is vooral bovenstrooms relatief laag met waarden van gemiddeld iets boven 6. Bij deze zuurgraad zijn zware metalen meer mobiel. Omdat de bodem en ondergrond met zware metalen belast zijn (via mest en historische atmosferische depositie uit de zinkverwerkende industrieën) worden daarom bij deze pH ook voor de zware metalen Cd, Ni, Cu en Zn de KRW-normen overschreden.

Stikstof en fosfor in relatie tot de afvoer

De relatie tussen de gemeten afvoer bij stuw Reusel en de gemeten waterkwaliteit (meetpunt voor de Utrecht) is gepresenteerd in figuur 2-18.



Figuur 2-18: Verloop Stikstof-totaal (boven) en fosfor totaal (onder) in de Reusel bij Diessen en het verloop van het debiet Stuw Gijselstraat Baarschot (bron: rapport Herkomst nutriënten beekdal Reusel, RHDHV, d.d. 7 juni 2018)

Uit de grafieken blijkt dat met name voor N-totaal een duidelijke relatie te zien is met de afvoer en het seizoen. Dit is in grote lijnen een gevolg van twee aspecten:

- De bijdragen van ondiep grondwater aan de afvoer.
 De oppervlaktewaterkwaliteit is het resultaat van menging van water van diverse bronnen, onder meer het grondwater afkomstig uit verschillende diepteniveaus. Het bovenste grondwater is als gevolg van landbouwactiviteiten het meest belast met nutriënten. Het diepere grondwater is schoner doordat stoffen sterk absorberen in de ondiepe ondergrond (fosfaat) of worden afgebroken (nitraat). Tijdens droge perioden wordt het oppervlaktewater voornamelijk gevoed vanuit het diepe, relatief schone grondwater en heeft de bijdrage vanuit het grondwater een verlagend effect op de belasting van nutriënten in het oppervlaktewater. Onder nattere omstandigheden gaat het ondiepe (meer belaste) grondwater ook bijdragen aan de oppervlaktewaterafvoer. Naarmate de omstandigheden natter worden, gaan steeds meer ontwateringsmiddelen deelnemen aan het afvoerproces. Hierdoor vindt de grondwaterstroming naar kleinere sloten, greppels en drains ondieper plaats. Onder extreme neerslagomstandigheden kan ook oppervlakkige afstroming plaatsvinden. Vooral met deze snelle, oppervlakkige stroombanen worden relatief veel nutriënten afkomstig van de landbouw naar het oppervlaktewatersysteem meegevoerd.

- In de waterbodem van beken en sloten kunnen veel nutriënten (tijdelijk) worden vastgelegd. Tijdens omstandigheden met hoge afvoeren kan de waterbodem worden verstoord, waardoor een deel van de nutriënten weer kan vrijkomen.
- Stikstof wordt 's zomers grotendeels opgenomen door algen en planten; daardoor zijn de concentraties aan stikstof in de beek lager dan in de winter.

Voor P-totaal is de relatie met de afvoer minder duidelijk. Dit komt deels omdat P-totaal sterk gebonden is aan het gehalte zwevend stof. In perioden waarbij sprake is van oppervlakkige afspoeling (tijdens piekafvoeren en droge perioden) kunnen veel sedimentdeeltjes in de watergang terechtkomen en een sterke belasting vormen voor de waterkwaliteit. Daarnaast kunnen de P-totaal concentraties in de zomer hoger worden doordat 's zomers het water minder zuurstof bevat. Het fosfaat dat 's winters aan ijzer is gebonden komt onder zuurstofarme condities vrij en verhoogt de fosforconcentratie in het water.

3 Modelbouw

3.1 Oppervlaktewatermodel

In dit hoofdstuk volgt een toelichting op het referentiemodel. De referentie is de situatie zoals die is opgenomen in de legger oppervlakte waterlichamen 2013 en de oorspronkelijke stuwinstellingen c.q. klepstanden zoals die jarenlang zijn aangehouden. De profielen die als basis gediend hebben voor deze legger stammen uit 2007.

De referentiesituatie dient als basis waaraan de uitkomsten van de scenario's kunnen worden getoetst. De doorgerekende situaties betreffen zomer, winter, voor- en najaar, dit zijn stationaire berekeningen. De waterstanden en stroomsnelheden van deze situaties zijn van belang voor de toetsing op de KRW-doelstellingen en de drooglegging.

Verder zijn piekafvoeren doorgerekend: $T=1$, $T=10$, $T=25$, $T=50$ en $T=100$. Dit zijn de afvoeren die met een kans van 1x per jaar, 1x per jaar etc. optreden. Voor deze berekeningen zijn de maximale waterstanden tijdens de afvoergolf van belang. De inundatienormen uit het Nationaal Bestuursakkoord Water (NBW) zijn hierbij van belang (bijlage 3). Daarnaast geldt dat er geen verslechtering van de situatie op mag treden. Tenslotte worden de waterpeilen tijdens de afvoerpieken getoetst aan de kritieke peilen. Dit betreft onder meer bouwhoogtes langs de beek en hoogte van bruggen en overstorten. In bijlage 2 zijn de kritieke peilen opgenomen.

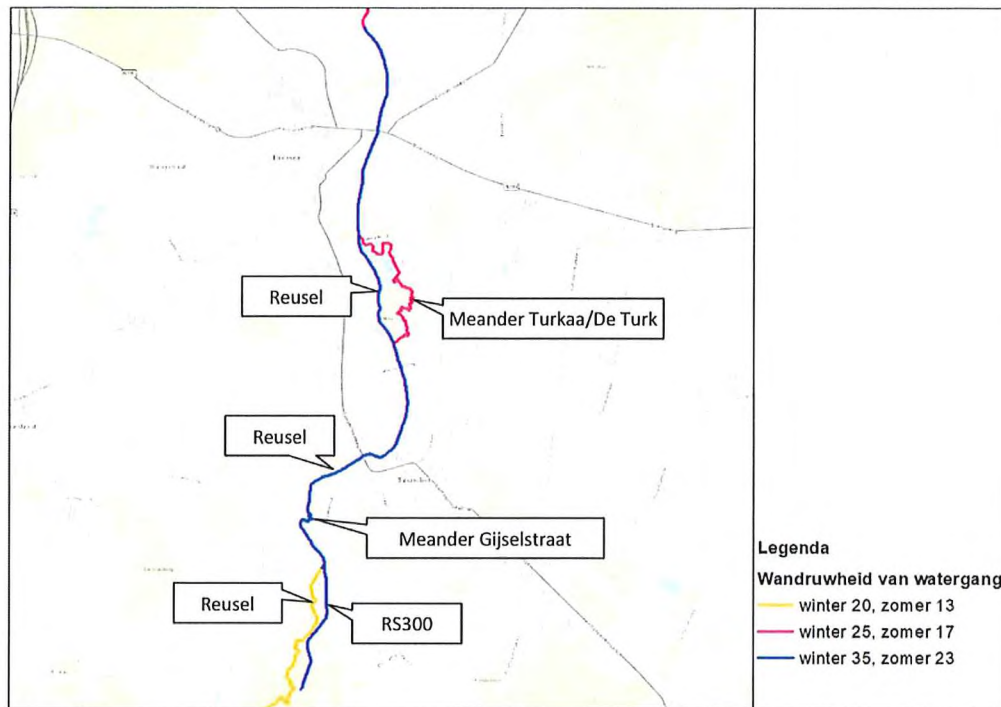
3.1.1 Modelopbouw per onderdeel

Het waterschap beschikt over een eigen Sobek-model en een door adviesbureau HKV verbeterd model dat in het kader van het project watersysteemtoets 2014 is gemaakt (HBOV1701.lit, ontvangen januari 2017, Waterschap De Dommel). Na overleg met het waterschap is besloten het Sobek-model van het Waterschap als basis te gebruiken, en dit te actualiseren met inmetingen, leggergegevens en het verbeterde model van HKV. Vervolgens is het model gebruikt voor dit Reusel Baarschot-Diessen project. De doorgevoerde wijzigingen in het Sobek-model worden in deze paragraaf toegelicht.

Profiel van de watergang en wandruwheid

Het Sobek-model bevat reeds de profielen d.d. 2007 uit de legger. Daarnaast zijn voor aanvullende berekeningen voor de praktijksituatie profielen uit 2017 en 2018 ontvangen.

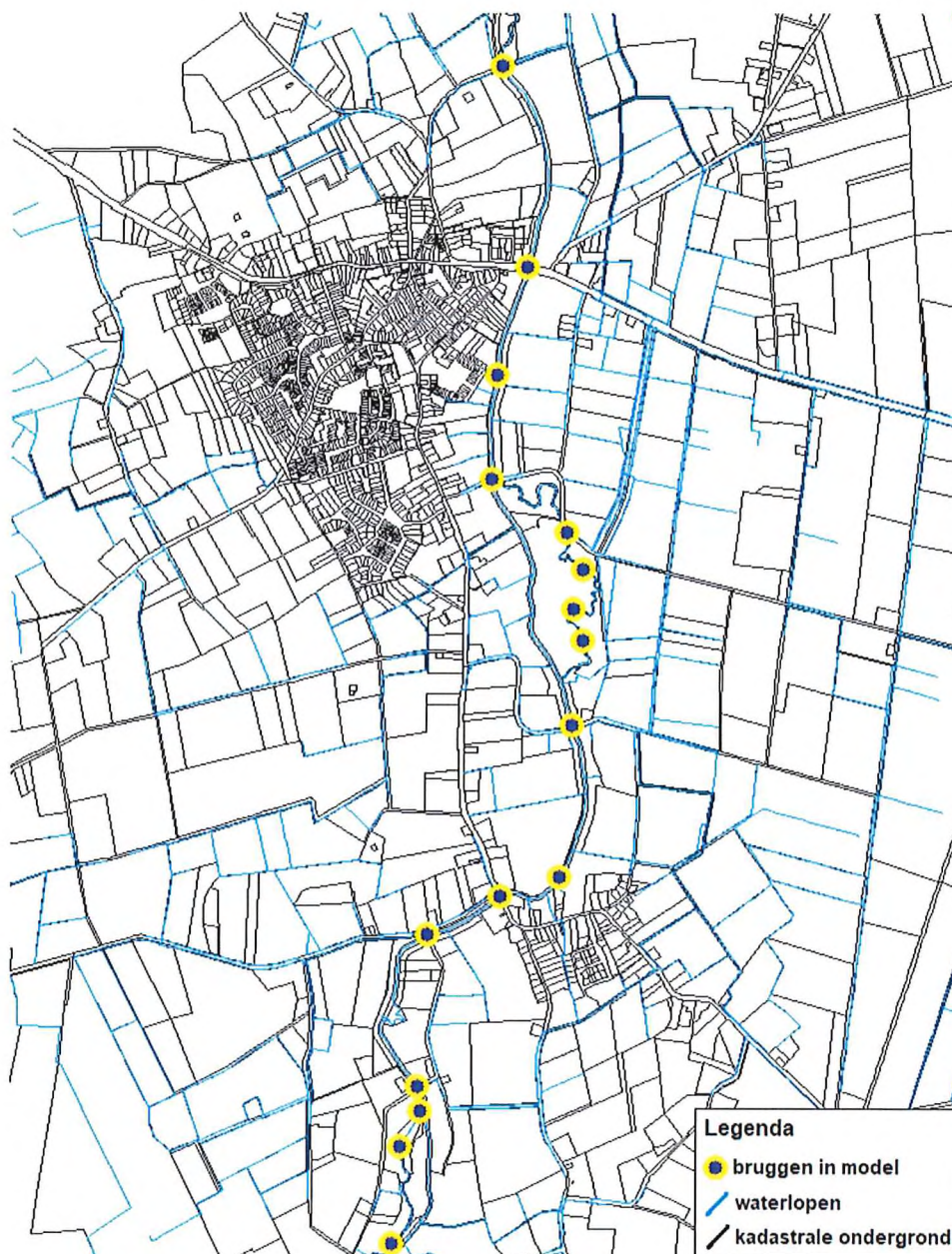
De (Strickler)wandruwheden die als basis gehanteerd zijn voor de berekeningen variëren van 13 tot $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (figuur 3-1). Deze wandruwheidswaarden zijn tevens toegepast in de vervolgberekeningen.



Figuur 3-1: Gehanteerde wandruwheid voor de watergang

Bruggen

Het Sobek-model is geactualiseerd door de bruggen over te nemen uit het verbeterd model vanuit het project Watersysteemtoets 2014. Hierbij zijn tevens enkele bruggen opgenomen die destijds niet in de legger waren opgenomen. Figuur 3-2 toont de locaties van de bruggen in het projectgebied.



Figuur 3-2: Locaties van de bruggen in het model (alleen projectgebied weergegeven)

Stuwen

De eerder opgenomen figuur 2-16 toont de locaties van de stuwen en tabel 3-1 toont klepstanden zoals die tot en met 2014 zijn aangehouden en zijn opgenomen in het referentiemodel. Bij hoge afvoeren (vanaf T10 en hoger) wordt de stuw plat gelegd.

Tabel 3-1: Klepstanden voor de referentiesituatie ten opzichte van m+ NAP (bron: aangeleverd door waterschap De Dommel d.d. 10 september 2019)

Stuw	winter	voorjaar	zomer	najaar	T1	T10 t/m T100
weir_RS1-st8*	17,24	17,24	17,24	17,66	16,87*	16,87
weir_RS1-st9	17,10	17,16	17,26	17,25	16,67	16,25
weir_RS1-st10	16,55	16,55	16,85	16,70	16,55	15,65
weir_RS1-st11**	15,35	15,35	15,35	15,35	15,35	14,47
weir_RS1-st12	14,80	14,80	15,10	15,10	14,80	13,79
weir_RS1-st13	14,20	14,20	14,45	14,10	14,20	13,00
weir_RS1-st14	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19	10,19
weir_RS300-st1	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75	18,75
weir_RS300-st2	18,40	18,40	18,40	18,40	18,40	18,40
weir_RS304-st1	18,31	18,31	18,46	18,46	18,31	18,31
weir_RS306-st1	16,19	16,19	16,49	16,49	15,80	15,80
weir_RS306-st2	15,49	15,49	15,49	15,49	15,40	15,40
weir_RS1.2-st1***	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20

*) Automatische stuw, de klepstand betreft een minimale klepstand.

**) De omleidingsduiker zorgt voor een constante aanvoer. De duiker van rond 300 mm staat normaal voor 1/3 open. Bij een afvoer van minder dan 100 l/s wordt de duiker gesloten.

***) In de stuw zit een rechthoekige doorlaat van breedte 0,27 m en hoogte 0,10 m voor vismigratie.

Duikers

Het Sobek-model is geactualiseerd door de duikers uit het verbeterd model vanuit het project watersysteemtoets 2014 over te nemen. Ter plaatse van het projectgebied Baarschot-Diessen zijn de dimensies en hoogteligging van de duikers overgenomen uit de inmeting 2018. Deze zijn opgenomen in de nieuwe legger.

Overland Flow

Het 2D-overstromingsgrid van het Sobek-model is geactualiseerd op basis van het AHN2. In deze versie zijn hoge, waterkerende elementen opgenomen, zoals spoorwegen en kades. Deze gegevens zijn aangeleverd door het waterschap en gegenereerd met de systematiek die het Waterschap voor alle modellen hanteert.

De weerstand van het model is eveneens opnieuw gegenereerd. Dit betreft een verbetering van het model op basis van de systematiek van het waterschap. Voor de piekafvoeren is de winterweerstand maatgevend (hbov_ruwheid_wnt.asc).

Afvoer RWZI

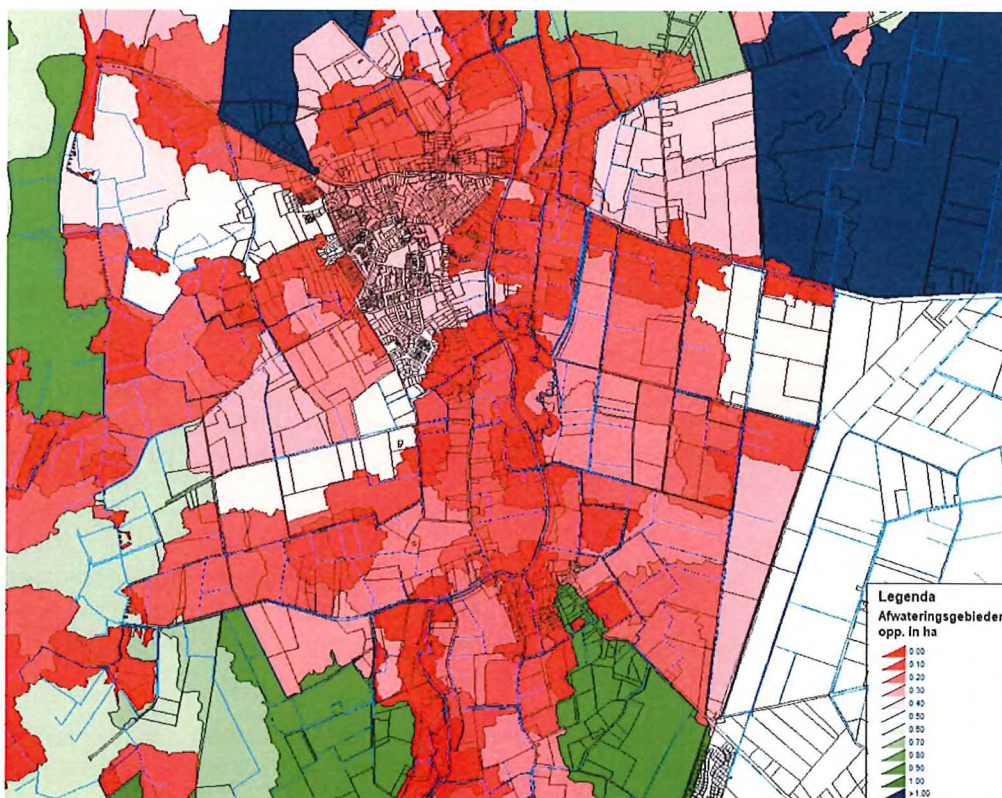
Door waterschap De Dommel zijn de effluentdebieten berekend voor RWZI Biest-Houtakker. Hierbij is gebruik gemaakt van de buien voor het stedelijk gebied zoals die door waterschap

De Dommel zijn afgeleid in augustus 2018. De berekende effluentdebieten zijn door het waterschap gekalibreerd met de gemeten afvoeren bij RWZI Biest-Houtakker. De berekende effluentdebieten zijn opgelegd.

Afvoer uit stedelijk en landelijk gebied

De afvoer uit het stedelijk gebied in het Sobek-model is geactualiseerd door de overstorten en hemelwateruitlaten en de aangesloten oppervlakken (paved-knopen) over te nemen uit het verbeterd model vanuit het project watersysteemtoets 2014. De afvoer uit het stedelijk gebied wordt door Sobek berekend op basis van de buien die zijn gebaseerd op een KNMI klimaatscenario, KNMI '14 W_H voor 2050 (bron: KNMI '14 Klimaatscenario's voor Nederland – Herziene uitgave 2014).

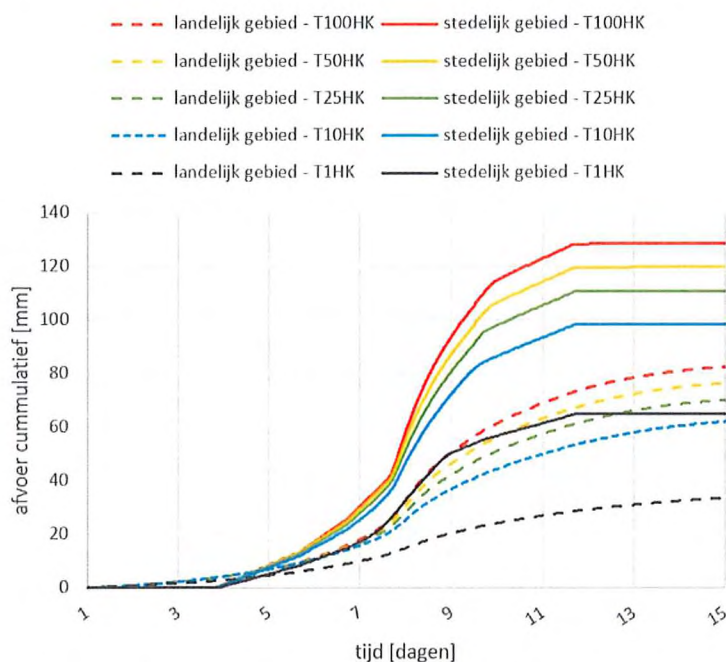
In het kader van de watersysteemtoetsing zijn de afwateringsgebieden in het verbeterd model vanuit het project watersysteemtoets 2014 verfijnd (shape-file 'afwateringsgebieden_detail_v7.shp', zie figuur 3-3 voor het projectgebied). Antea Group heeft het Sobek-model geactualiseerd door de oppervlakken van het landelijke gebied (unpaved) over te nemen uit het verbeterd model vanuit het project watersysteemtoets 2014. Hierbij wordt opgemerkt dat de afvoer uit het landelijke gebied is overschat met 291 hectare, omdat het in het model opgenomen oppervlak (377,8 ha paved + 8714,35 ha) groter is dan het werkelijke totale afvoergebied (8801 ha). Gezien het grote areaal van het gebied is deze afwijking relatief gering.



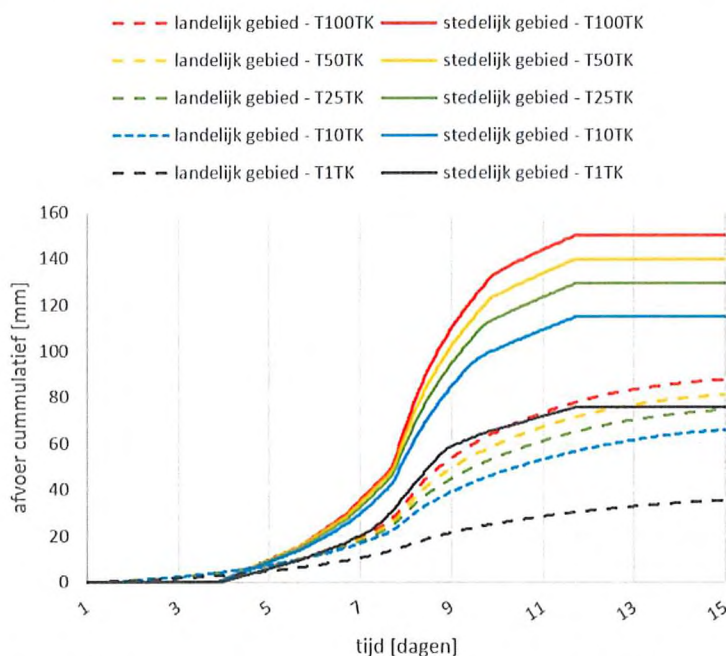
Figuur 3-3: Ligging afwateringsgebieden in het projectgebied

De afvoer uit het landelijk gebied wordt door Sobek berekend op basis van de buien die zijn gebaseerd op een KNMI klimaatscenario, KNMI '14 W_H 2050 (bron: KNMI '14 Klimaatscenario's

voor Nederland – Herziene uitgave 2014). Door waterschap De Dommel zijn de buien omgezet naar een buienreeks voor zowel stedelijk gebied als landelijk gebied en voor zowel het huidige klimaat (figuur 3-4) als het toekomstige klimaat figuur 3-5. In het toekomstige klimaat is het neerslagvolume 17% hoger dan het neerslagvolume van het huidige klimaat.



Figuur 3-4: Hemelwaterafvoer van stedelijke- en het landelijk gebied in het huidige klimaatsscenario (HK).



Figuur 3-5: Hemelwaterafvoer van stedelijke- en het landelijk gebied in het toekomstige klimaatsscenario (TK).

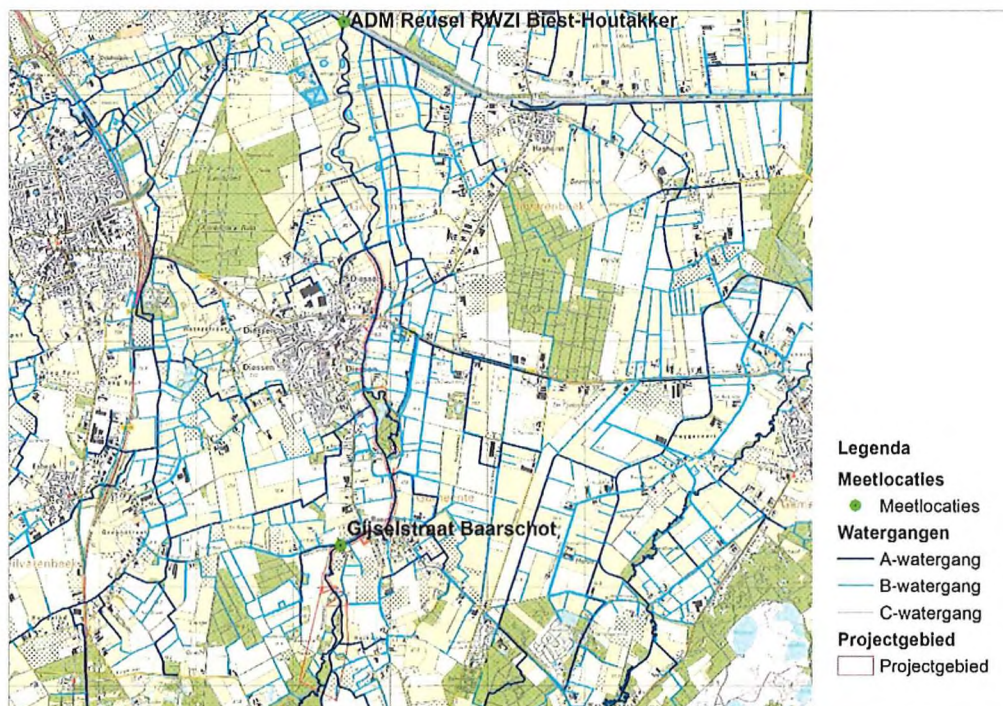
Bovenstroomse aanvoer

De inrichtingsplannen voor de natte natuurparel (NNP) de Utrecht, het beekherstel Reusel De Mierden en beekherstel Reusel/Raamsloop leiden mogelijk tot lagere piekafvoeren door de Reusel. Dit betekent dat na het realiseren van de genoemde inrichtingsplannen in het model minder afvoer door het traject Reusel Baarschot-Diessen stroomt. Dit betreft, aangezien de inrichtingsplannen voor de Utrecht nog in voorbereiding zijn, een toekomstige situatie. Ter indicatie is door waterschap De Dommel het effect van het inrichtingsplan de Utrecht berekend. De piekafvoer van de Reusel neemt bij een T1 af met 5%, bij T10 circa 4% en bij een T100 is er geen significante afname van de piekafvoer. In bijlage 4 zijn de figuren van het debietverloop opgenomen.

Het ontwerp van inrichtingsplan de Utrecht is nog niet afgerond, maar is al wel zo ver gevorderd dat het projectteam van het waterschap kon aangeven dat de ontwerpaspecten die nog ter discussie staan geen invloed hebben op afvoer naar de Reusel. Gezien het geringe effect is afgesproken de bovenstroomse randvoorwaarde niet te wijzigen (overleg technisch team d.d. 10 oktober 2018). Dit betekent dat in het referentiemodel, de inzichtscenario's en het voorlopig ontwerp de bovenstroomse aanvoer ongewijzigd blijft. Daarmee worden in de inzichtscenario's de afvoerpieken mogelijk iets overschat, hetgeen inhoudt dat een iets extremere en meer robuuste situatie wordt doorgerekend.

3.1.2 Validatie

In de voorgaande paragraaf is een toelichting op de modelbouw voor het referentiemodel beschreven. In deze paragraaf volgt een toelichting op de validatie van het model.



Figuur 3-6: Locaties meetpunten in de Reusel

Het waterschap De Dommel meet nabij het projectgebied Reusel Baarschot-Diessen op twee locaties het debiet en de waterstand in de Reusel (figuur 3-6). Dit betreft:

- Meetlocatie Gijselstraat Baarschot, ter plaatse van stuw RS1-st9 (bovenstrooms in het projectgebied).
- Meetlocatie ADM Reusel RWZI Biest-Houtakker, ter plaatse van stuw RS1-st14 (benedenstrooms van het projectgebied).

De resultaten uit het referentiemodel zijn vergeleken met de meetdata.

Meetlocatie Gijselstraat Baarschot

Voor de meetperiode 2008 t/m 2014² is de mediaan van de seizoenen winter, voorjaar, zomer en najaar berekend (tabel 3-2). Teneinde de rekenresultaten met de metingen te kunnen vergelijken zijn de resultaten van het Referentiemodel eveneens opgenomen.

Uit de vergelijking blijkt dat de berekende afvoeren hoger zijn dan de gemeten afvoeren. Tevens blijken de variaties van de gemeten jaardebieten groot te zijn. De betrouwbaarheid in absolute zin is +/-30% voor alle seizoenen, behalve de zomer. In de zomer is de afwijking van het model ten opzichte van de metingen bijna de helft, wat een erg grote afwijking is. Tijdens de uitvoering van de modelwerkzaamheden is eerder uitgegaan van de gemiddelde waarden van de metingen. Uit nadere statistisch analyse van de meetwaarden (zie bijlage 6), is gebleken dat de gemiddelde waarden niet representatief zijn voor de grote fluctuaties die in de debieten van dit watersysteem voorkomen. Daarom is een nadere analyse gedaan en is gebleken dat met name voor de zomersituatie uitgegaan moet worden van een afvoer van 0,09 m³/s en niet van de in het model opgenomen 0,16 m³/s. Voor de andere seizoenen zijn de afwijkingen acceptabel. Bij de uitkomsten van het Definitief Ontwerp (paragraaf 6.3) en in bijlage 6 is toegelicht hoe is omgegaan met de afwijking van de afvoer in de zomersituatie. De afwijkingen in de waterpeilen zijn wel gering omdat het een gestuurd watersysteem is, behalve benedenstrooms van de stuw in het najaar. Daar wordt het waterpeil te hoog berekend. Omdat het model wordt ingezet voor het berekenen van de relatieve effecten is het model voldoende betrouwbaar voor het project beekherstel Reusel Baarschot-Diessen.

Tabel 3-2: Debieten en waterstanden gemeten versus berekend.

Jaar	Gemeten				Referentiemodel			
	winter	voorjaar	zomer	najaar	winter	voorjaar	zomer	najaar
Mediaan seizoensdebieten (m³/s)								
2008	0,53	0,52	0,13	0,20				
2009	0,73	0,31	0,02	0,03				
2010	0,61	0,34	0,01	0,48				
2011	0,77	0,20	0,10	0,18				
2012	0,81	0,37	0,27	0,25				
2013	0,65	0,38	0,07	0,36				
2014	0,73	0,24	0,12	0,18				
Mediaan 2008-2014 (m ³ /s)	0,67	0,34	0,09	0,21	0,98	0,44	0,16	0,27
Afwijking (%)					32%	24%	46%	21%
Mediaan seizoenswaterstanden bovenstrooms van de stuw (m +NAP)								
2008	17,32	17,34	17,33	17,32				

² De periode 2008-2014 is gekozen zodat de resultaten van het voorliggende model overeenstemmen met de andere regionale modellen.

Jaar	Gemeten				Referentiemodel			
	winter	voorjaar	zomer	najaar	winter	voorjaar	zomer	najaar
2009	17,35	17,28	17,26	17,26				
2010	17,31	17,10	17,21	17,35				
2011	17,25	17,29	17,30	17,25				
2012	17,24	17,37	17,37	17,42				
2013	17,26	17,37	17,19	17,37				
2014	17,32	17,33	17,32	17,34				
Mediaan 2008-2014 (m +NAP)	17,30	17,31	17,32	17,34	17,35	17,25	17,43	17,37
Afwijking (m)					0,05	-0,06	0,11	0,03
Gemiddelde seizoenswaterstanden benedenstrooms van de stuw (m +NAP)								
2008	16,73	16,68	16,73	16,74				
2009	16,73	16,59	16,55	16,55				
2010	16,76	16,53	16,56	16,78				
2011	16,64	16,74	16,63	16,54				
2012	16,66	16,63	16,62	16,69				
2013	16,69	16,70	16,53	16,67				
2014	16,68	16,69	16,69	16,67				
Mediaan 2008-2014 (m +NAP)	16,70	16,65	16,67	16,65	16,81	16,70	16,92	16,95
Afwijking (m)					0,11	0,05	0,25	0,30

Wanneer uitkomsten worden vertaald naar het veld (inundaties en grondwatereffecten) worden met het model overlasterisaties overschat en droogte-effecten mogelijk onderschat, zeker in combinatie met een conservatieve aanname van de debieten (effect projecten bovenstrooms).

Meetlocatie ADM Reusel RWZI Biest-Houtakker

De meetlocatie ADM Reusel RWZI Biest-Houtakker is pas sinds 2013 operationeel. Hierdoor is de meetreeks te kort voor een goede analyse. Om een indruk te krijgen is wel naar 2013 en 2014 gekeken.

De met het referentiemodel berekende waterstanden (stationair) zijn op deze locatie structureel te laag (tabel 3-3). Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat in Sobek een te lage stromingsweerstand van de sifon in de Reusel onder het Wilhelminakanaal is gehanteerd. De berekende debieten zijn daarentegen juist hoger dan de mediaan van de gemeten debieten. Omdat de sifon meer dan 2,7 kilometer ten noorden van het projectgebied ligt, is de weerstand niet aangepast. De te laag berekende waterstanden hebben, gezien de afstand, geen effect meer op de waterstanden in het projectgebied.

Het model wordt ingezet voor het berekenen van de relatieve effecten en niet voor het berekenen van absolute waarden. Hierdoor is het model voldoende betrouwbaar voor het project beekherstel Reusel Baarschot-Diessen.

Tabel 3-3: Debieten en waterstanden gemeten versus berekend meetlocatie ADM Reusel RWZI Biest-Houtakker.

Jaar	Gemeten				Referentiemodel			
	winter	voorjaar	zomer	najaar	winter	voorjaar	zomer	najaar
Mediaan debieten (m3/s)								
2013	0,67	0,37	0,19	0,56				
2014	0,84	0,25	0,14	0,25				
Mediaan (m3/s)	0,76	0,31	0,16	0,41	1,09	0,52	0,19	0,31
Afwijking (%)					31%	40%	0=13%	-32%
Mediaan waterstanden bovenstrooms van de stuw (m +NAP)								
2013	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.				
2014	11,12	10,93	10,91	n.g.	10,97	10,91	10,78	10,83
Afwijking (m)					-0,15	-0,02	-0,13	n.b.

3.2 Grondwatermodel

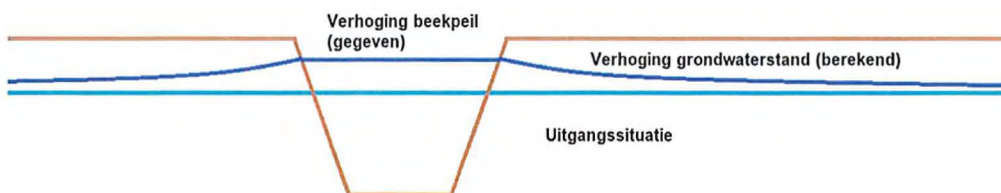
In deze paragraaf wordt de aanpak van de bepaling van grondwatereffecten voor het projectplan Reusel Baarschot-Diessen beschreven. Deze paragraaf bevat de volgende onderdelen:

1. De schematisatie van het rekenmodel, waarbij een toelichting op de rekenwijze wordt gegeven, en de gehanteerde waarden van de geohydrologische parameters.
2. Bepaling van de effecten van grondwaterstandswijzigingen op natuur, landbouw en bebouwing.

3.2.1 Schematisatie rekenmodel

De grondwatermodellering is uitgevoerd met een superpositiemodel dat ontwikkeld is binnen de modelleromgeving Groundwater Vistas 4 (GWV). GWV is een grondwatermodel dat gebruik maakt van de rekenkern Modflow. Door de toepassing van een model wordt de onderlinge beïnvloeding van beektrajecten met verhogingen en verlagingen van beekpeilen inzichtelijk gemaakt. Hierbij kan tevens met enige ruimtelijke variatie van de bodemopbouw rekening worden gehouden.

In een superpositiemodel worden niet de daadwerkelijke grondwaterstanden berekend, maar de veranderingen van de grondwaterstanden als gevolg van een ingreep, zoals de verandering van de beekpeilen. Voor een traject waarbij het beekpeil volgens de Sobek-modellering bijvoorbeeld 20 cm hoger ligt dan in de referentiesituatie, wordt ter plaatse van de beek in het model deze 20 cm ingevoerd. Het model berekent de grondwaterstandsverhoging als gevolg van de beekpeilverhoging (figuur 3-7). Vervolgens kan een kaart worden gemaakt met de lijnen van gelijke verhoging, dus bijvoorbeeld een 10 cm- en 5 cm-verhogingslijn. Teneinde veranderingen in de gewasopbrengsten te kunnen berekenen zijn absolute waarden van grondwaterstanden noodzakelijk. Daarom wordt tijdens een nabewerking de berekende verhoging van de grondwaterstanden 'opgeteld' bij de huidige actuele grondwaterstanden. In par. 3.2.2 is dit nader toegelicht.



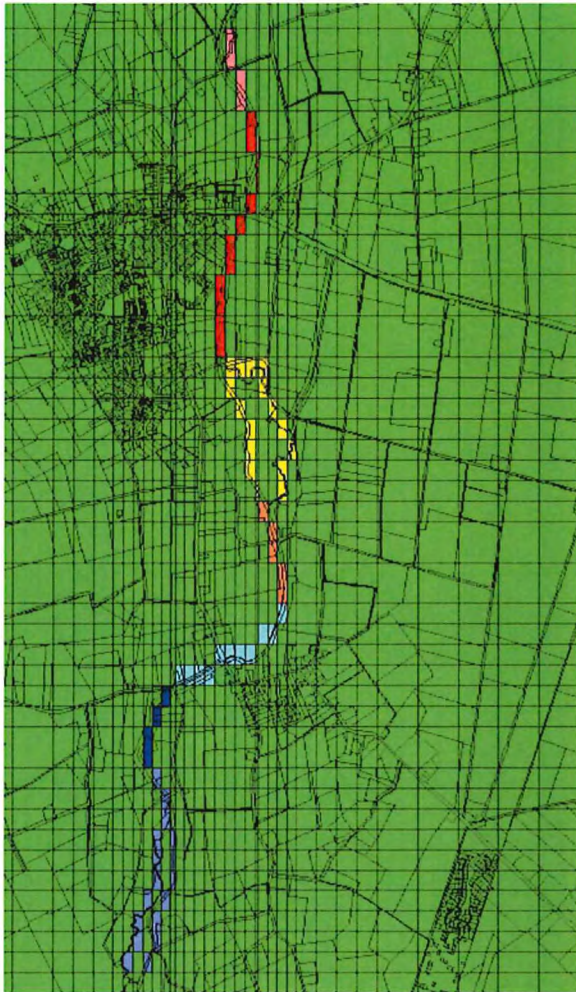
Figuur 3-7 Schematische weergave superpositiemodel

Modelopbouw

De modellering is opgebouwd uit 2 modellen. Modellaag 1 heeft een virtuele dikte van 1 meter en geeft de deklaag schematisch weer. In deze modellaag is ook de beek opgenomen. Modellaag 2 is het watervoerende pakket en heeft een virtuele laagdikte van 19 meter. De laagdikte van modellaag 1 (kleiner dan de laagdikte van de deklaag) heeft voor de uitgevoerde berekeningen geen betekenis, omdat in de modelopbouw geen rekening is gehouden met het eventuele voorkomen van lemlagen. De stijghoogteveranderingen die berekend zijn voor modellaag 2, zijn daardoor gelijk aan de grondwaterstandsveranderingen in modellaag 1.

Horizontale schematisatie

Het model heeft een breedte (oost-west) van 4.000 m en een hoogte (noord-zuid) van 9.000 m. De cellen hebben afmetingen van 200x200 m aan de randen van het grid. Nabij de beek hebben de cellen een beperkte breedte (tussen 15 en 50 m). In figuur 3-8 is het modelgrid voor het middelste deel van het model weergegeven. De Reusel is met gekleurde cellen weergegeven, waarbij iedere kleur een traject tussen twee stuwen betreft.



Figuur 3-8: Modelgrid (ingezoomd), de beek is met gekleurde cellen weergegeven

Randvoorwaarden

Als randvoorwaarde is bij de modellering gebruik gemaakt van de een stijghoogte in combinatie met een weerstand (*General Head Boundary, GHB*). Bij toepassing van een GHB kan het water eventueel over de modelrand stromen, mochten de effecten van de beekpeilwijziging zover reiken. Het optreden van een dergelijke stroming wijst erop dat de rand niet op voldoende afstand ligt. De grootte van de GHB is op NAP +19 m gesteld, het uitgangsniveau van het model. Omdat het een superpositiemodel betreft, is de absolute waarde niet van belang.

kD-waarden

In het model zijn de kD-waarden gebaseerd op de gegevens uit DINoloket in Regis II v2.2 (zie par. 2.4). Ter plaatse van de beek zijn de volgende kD-waarden in Regis opgenomen:

- Stroomopwaarts van de breuk 100 à 250 m²/dag. In het model is dit traject niet afzonderlijk gemodelleerd.
- Tot ongeveer de Gijsselstraat komt 250 à 500 m²/dag voor. In het model is hier ca. 475 m²/d opgenomen (k-waarde 25 m/d).
- Tussen de zandvang tot benedenstrooms van Diessen zijn de kD-waarden 500 à 1000 m²/dag. In het model is hier 712 m²/d opgenomen (k-waarde 37,5 m/d).

- Helemaal benedenstrooms bij de laatste stuw 13 heeft het gebied kD-waarden $> 1000 \text{ m}^2/\text{dag}$. In het model is hier $950 \text{ m}^2/\text{d}$ opgenomen (k-waarde 50 m/d).



Figuur 3-9 De k-waarden die zijn aangehouden voor het watervoerende pakket, blauw: k-waarde = 25 m/dag, groen: k-waarde 37,5 m/dag en rood k-waarde = 50 m/dag

Het model berekent de kD-waarde door de laagdikte (in dit geval 19 m) te vermenigvuldigen met de k-waarde. De hieruit volgende k-waarden zijn opgenomen in figuur 3-9.

Drainage- en voedingsweerstanden

Groundwater Vistas (evenals andere op Modflow gebaseerde modellen als iMOD) gebruikt de 'river package' om de drainage en infiltratie in een cel via watergangen in beeld te brengen. Voor de watergangen buiten de beek wordt de 'river conductance' in de 'river package' berekend als de oppervlakte van de cel gedeeld door de drainageweerstand. Uitgaande van het principe van superpositie (zie Figuur 3-7), worden in de uitgangssituatie de oppervlaktewaterpeilen van de watergangen (en ook de beek) op NAP +19 m gesteld. De bodem van de watergangen (en de beek) liggen op NAP +18 m (de scheiding tussen modellaag 1 en 2). De precieze diepte van watergangen en de laagdikte van de deklaag is, aangezien voor de 'worst-case' benadering geen rekening gehouden is met leemlagen, niet van belang.

Volgens een vuistregel (<http://grondwaterformules.nl/index.php/vuistregels/hatsi-kd>) kan de waarde van de drainageweerstand in het model gelijk worden gesteld aan de slootafstand in meters. Voor de drogere delen van dit gebied is deze daarom op 400 dagen gesteld. Bij de wat lagere gronden met name aan de oostkant van de noordelijke helft van het traject van de beek is de slootafstand over het algemeen kleiner, en kan een kleinere drainageweerstand van toepassing zijn. Echter, hier komen blijkens het onderzoek naar de leemlagen wel vaak leemlagen met een significante laagdikte voor in de deklaag. Om die reden wordt ook hier de drainageweerstand (c.q. voedingsweerstand) op ca. 400 dagen gesteld.

Langs een deel van de beek liggen lage gronden met een veel hogere slootdichtheid. Hier is de drainageweerstand voor het winterhalfjaar op 200 dagen gesteld. In het zomerhalfjaar vallen de meeste van deze sloten echter droog, waardoor deze niet draineren en de weerstand toch hoger is. Daarom is de drainageweerstand voor het zomerhalfjaar op 400 dagen gesteld.

Zijwatergangen zitten niet expliciet in het model. Bij verlaging van de grondwaterstand treedt er wel infiltratie op door de bovengenoemde 'rivers' (die naast draineren ook kunnen infiltreren). Het effect van verlaging worden hierdoor verminderd.

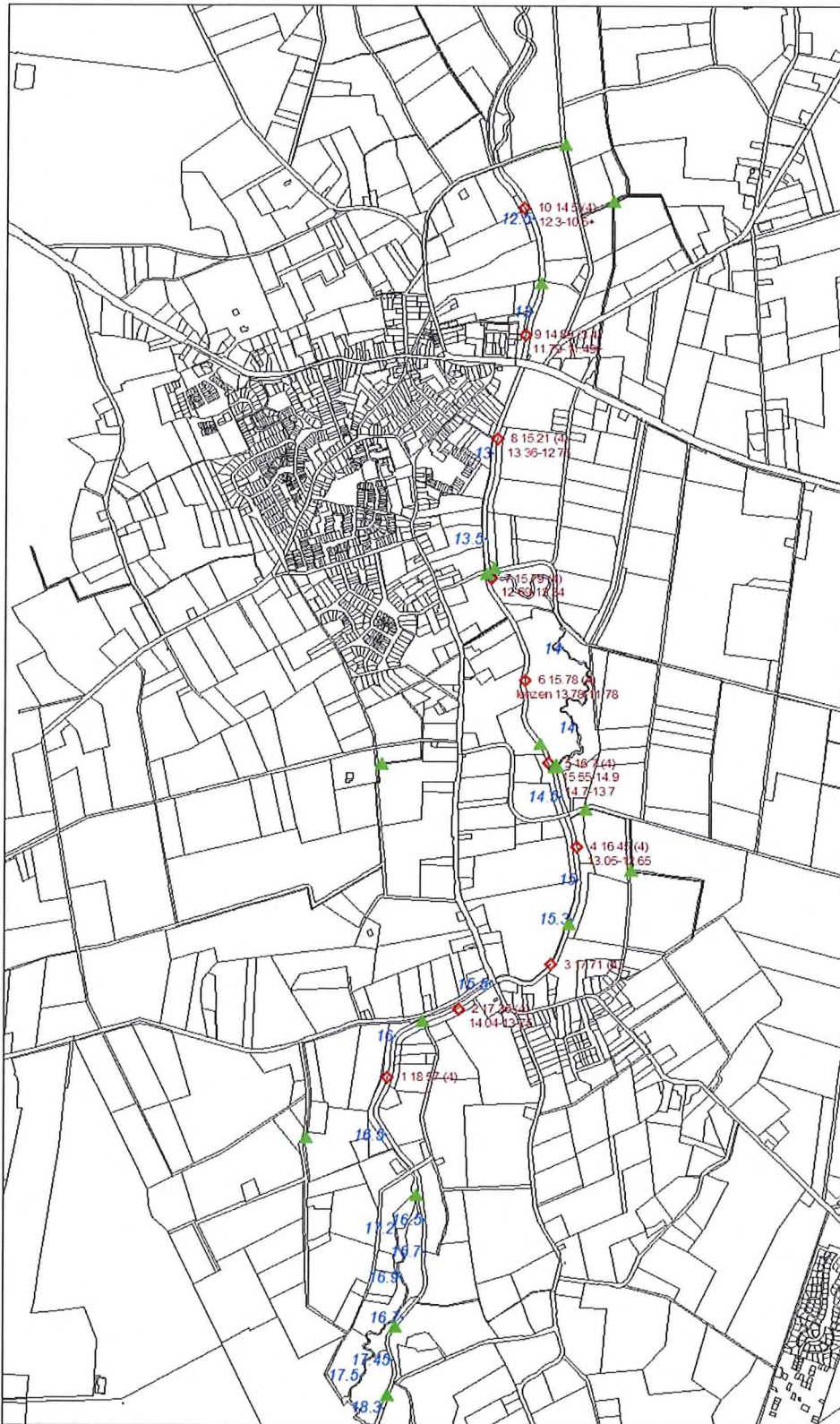
Bodemweerstand Reusel

De beek is in kleinere gridcellen ingebracht, zodat alleen de drainageweerstand van de beek en niet van overige watergangen meegenomen hoeft te worden. De drainageweerstand voor toestroming naar de beek zit verwerkt in de 'river conductance' in het model. Deze wordt voor de beek berekend als de natte omtrek van de beek * de lengte van de beek in de gridcel, gedeeld door de drainageweerstand, waarbij de drainageweerstand in dit geval de bodemweerstand van de beek is.

In de Formatie van Bortel komen geen aaneengesloten leemlagen voor en komen de leemschollen of leemlenzen in de bodem op verschillende dieptes voor. Dit zorgt ervoor dat de leemlagen niet volledig dekkend zijn en niet de volledige weerstand bieden. Er kan hierdoor 'lekkage' optreden tussen deze schollen en lenzen. Daarnaast kunnen deze weerstand biedende lagen ook nog op verschillende diepten onder de slootbodem voorkomen. Op basis van de beschikbare boringen in het DINOket (figuur 3-10) en aanvullende boringen in het veld (figuur 3-11, bijlage 5) is een grove classificatie gemaakt van de bodemweerstanden die voor de beek zijn gehanteerd.



Figuur 3-10 Boringen in DinoLoket met leem



Figuur 3-11 Verrichte boringen in het kader van veldwerk met leem

In het gebied zonder leemlagen in de deklaag is de sliblaag op de bodem van de sloot bepalend voor de bodemweerstand. Bij een laagje slib met een laagdikte van $d = 0,1$ m (aanname) en een karakteristieke doorlatendheid van $k = 0,1$ m/dag (Massop en van der Gaast, 2006: <http://www2.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterraraapporten/AlterraRapport1350.pdf>) wordt de bodemweerstand C_b gelijk aan $d/k = 1$ dag, wat in het model wordt ingevoerd.

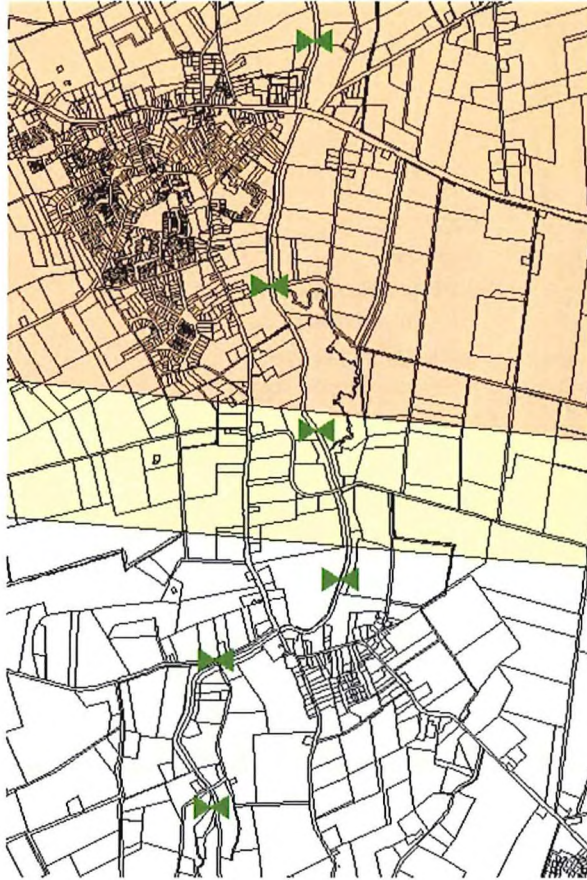
Bij de aanwezigheid van leem direct onder de bodem van de beek wordt de bodemweerstand veel groter. De k -waarde van leem kan blijken het Cultuurtechnisch Vademecum (1988) variëren tussen 0,01 en 0,05 m/dag. Bij 40 cm leem onder de slootbodem kan de weerstand dus variëren tussen $d/k (= 0,4/0,01 \text{ en } 0,4/0,05) = 40 \text{ en } 8$ dagen.

Berekening van verandering stijghoogte en grondwaterstand

Het al dan niet voorkomen van leemlagen in de ondiepe ondergrond is van invloed op de mate waarin peilveranderingen doorwerken in de deklaag of het freatische pakket. Bij de berekening van effecten van ingrepen in het hydrologisch systeem is de weerstand van het systeem van belang. In de praktijk worden de begrippen drainageweerstand en voedingsweerstand gebruikt. Beide weerstanden verschillen van elkaar indien er sprake is van een weerstandbiedende laag in de ondergrond (van der Gaast en Massop, 2003). De voedingsweerstand heeft betrekking op de totale weerstand tussen de waterlopen en het watervoerend pakket en is met name gedefinieerd om grondwaterstandsverlagingen te berekenen bij een onttrekking aan het watervoerende pakket. De drainageweerstand omvat de totale weerstand die de afvoer van het neerslagoverschot ondervindt vanaf het freatisch vlak naar de waterlopen. Indien de goed doorlatende bovenlaag een relatief laag doorlaatvermogen (k_D -waarde) heeft zal geen belangrijk horizontaal transport over wat grotere afstand door deze laag plaatsvinden. Ook in deze situatie waarbij de ondiepe leemlagen het doorlaatvermogen van het freatische pakket sterk reduceren is sprake van een kleine laagdikte. De voedingsweerstand (c^*) van de bovenlaag wordt in deze situatie berekend door de weerstand van de leemlaag (c) en de drainageweerstand (c_d^*) bij elkaar op te tellen (van der Gaast en van Bakel, 1997).

Bij de bepaling van een grondwaterstandsverandering als gevolg van een beekpeilaanpassing spelen de spreidingslengte en de drainageweerstand een cruciale rol. De spreidingslengte is een maat voor ruimtelijke effecten in het eerste watervoerende pakket (Mazure, 1936). Deze verlagingen en verhogingen worden middels het grondwatermodel berekend.

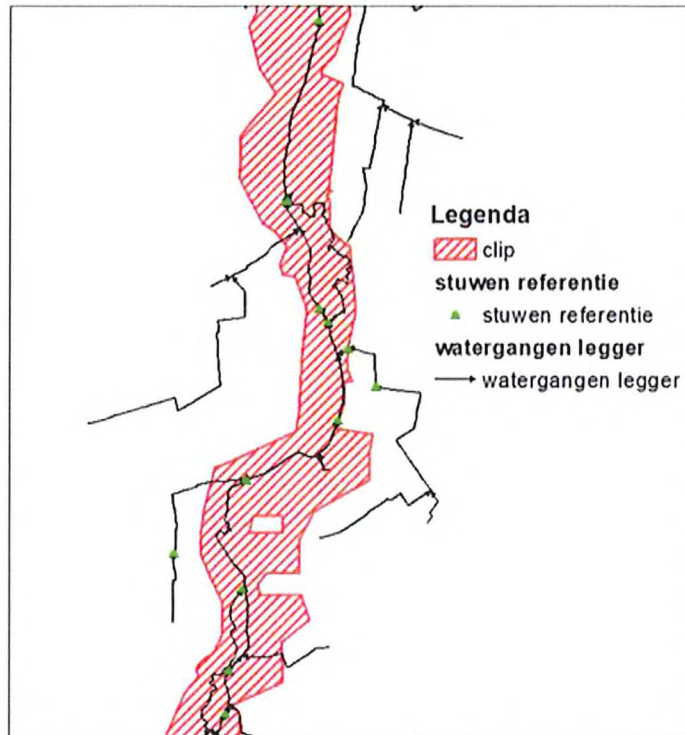
De effecten in de deklaag worden geschat op basis van het vóórkomen van leem in de deklaag. Uit de beschikbare boringen blijkt dat in het noordelijke deel van het modelgebied leem in de bodem aanwezig is. In het zuiden is er veel minder leem. De leem reduceert de effecten, zowel verhogingen als verlagingen. Op basis van de gekarteerde leemlagen is een reductiefactor voor de veranderingen van de freatische grondwaterstanden gehanteerd. Deze is weergegeven in figuur 3-12.



Figuur 3-12: Reductie effecten in deklaag ten opzichte van watervoerend pakket. Grijs: geen reductie, geel: reductie 25%, roze: reductie 50%

Bij verhoging van stijghoogten is vervolgens rekening gehouden met gedraineerde percelen. De te verwachten (extra) opbrengstdepressie door natschade bij een grondwaterstijging is klein als het perceel is gedraineerd en wordt daarom niet meegenomen. Op aangeven van het waterschap is daarnaast voor het stroomgebied van gestuwde en hoger gelegen zijwatergangen die niet direct onder invloed staan van de Reusel dezelfde werkwijze aangehouden.

Figuur 3-13 toont de clip die is toegepast. Alleen in de rood gearceerde gebieden wordt een verhoging van de grondwaterstand berekend, daarbuiten worden verhogingen verwaarloosbaar geacht.



Figuur 3-13 Clip model voor verhoging grondwaterstanden, buiten de rood gearceerde gebieden worden verhogingen verwaarloosbaar geacht

3.2.2 Wijze van effectbepaling van grondwaterstandsveranderingen

Bebouwing

Bij een verlaging van de freatische grondwaterstand onder de GLG kan bodemzetting optreden. Bij bebouwing kan deze bodemzetting tot schade leiden. De grootte van bodemzetting wordt deels bepaald door de grootte van de verlaging, en deels door de bodemopbouw. De bodem in het projectgebied is overwegend zandig, met lokaal leemlagen. Sterk zettingsgevoelige lagen, zoals klei en veen, komen in dit gebied in de deklaag of bovenin het eerste watervoerende pakket niet of nauwelijks voor. Bij zandlagen kan bij een grote verlaging van de grondwaterstand zetting optreden doordat de spanning tussen de korrels verlaagd wordt, waardoor zeer geringe zetting op kan treden. Hieruit volgt dat de bodem weinig zettingsgevoelig is. Bij varianten waar verlagingen van de grondwaterstand en stijghoogte worden berekend, wordt getoetst welke verlagingen ter plaatse van bebouwing verwacht worden. Hiervoor wordt een schatting gemaakt van mogelijke bodemzetting en schade aan bebouwing.

Bij een verhoging van de freatische grondwaterstand kan bij bebouwing wateroverlast optreden. Dit wordt getoetst door de resulterende grondwaterstand in de winter te vergelijken met de kritieke peilen bij bebouwing (bijlage 2).

Natuur

Een verandering van de grondwaterstand kan effecten hebben op de landnatuur. Over het algemeen geldt dat een verhoging van de grondwaterstanden voor landnatuur gunstig is, en een verlaging negatieve effecten kan hebben.

Verlagingen en verhogingen van de grondwaterstand in natuurgebieden die bij verschillende varianten op kunnen treden, worden getoetst aan de mogelijke effecten op landnatuur. Dit wordt gedaan op basis van expert judgement.

Landbouw

Zowel een verhoging als een verlaging van de freatische grondwaterstand kan gevolgen hebben voor de landbouw. Dit wordt uitgedrukt in (een verandering van) de opbrengstdepressie. De opbrengstdepressie door droogte is afhankelijk van het vochtleverend vermogen van de bodem. Dit vochtleverend vermogen is mede afhankelijk van de ligging van de grondwaterstand aan het eind van de zomer, de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand). Bij diepe grondwaterstanden is het gewas in hoge mate afhankelijk van neerslag en is er sprake van droogteschade. Wanneer de GLG in de uitgangssituatie al diep ligt, zal de toename van droogteschade kleiner zijn dan wanneer de GLG in de uitgangssituatie in het optimale bereik ligt. Bij zeer diepe grondwaterstanden kan zelfs sprake zijn van hangwaterprofielen. In deze situatie zijn de gewassen geheel afhankelijk van de neerslag en het hangwater dat in de wortelzone beschikbaar is. In deze situatie zal een daling van de grondwaterstand niet resulteren in een verandering in de droogteschade.

In het voorjaar is natschade door ondiepe grondwaterstanden een risico voor de landbouw. Bij te ondiepe grondwaterstanden kan het land niet goed bewerkt worden, of er is onvoldoende lucht in de bodem voor de gewassen. In dat geval 'verdrinkt' het gewas. Bij een verlaging van de voorjaarsgrondwaterstand kan verwacht worden dat natschade afneemt, bij een verhoging van de grondwaterstand neemt de natschade toe.

In de werkwijze van waterschap De Dommel wordt wel een toename van de opbrengstdepressie (dus afname van de opbrengst) berekend, maar niet de afname van de opbrengstdepressie (en toename van de opbrengst). Bij een jaarronde verlaging van de grondwaterstand wordt dus wel de toename van schade in de zomer bepaald, en niet de afname van schade in de winter. Bij een verhoging van de grondwaterstand wordt overeenkomstig dus alleen naar de extra schade in de winter en het voorjaar gekeken, en niet naar de afname van droogteschade in de zomer.

Om een indicatie te krijgen van de opbrengstdepressie, is gebruik gemaakt van de HELP-tabellen die in opdracht van de Stowa zijn verwerkt in een rekeninstrument: <http://help200x.alterra.nl/>. Dezelfde HELP-tabellen worden bij Waternood toegepast. Waternood betreft een vlakdekkende uitwerking van de opbrengstdepressie. Voor deze eerste indicatie is met de genoemde tool naar enkele typerende puntlocaties gekeken voor een eerste indruk.

Bij de berekening van de landbouwkundige opbrengst wordt gebruik gemaakt van de bodemsoort, het grondgebruik en de GHG en GLG. Voor deze combinatie wordt met de tool de opbrengstdepressie voor nat- en droogteschade berekend. De verandering van deze schades bij een andere grondwaterstand wordt berekend door de gewijzigde grondwaterstanden te hanteren.

Uit de LGN7 blijkt dat binnen het gebied met grondwaterstandsveranderingen de belangrijkste landbouwgewassen die voorkomen gras, maïs en aardappelen zijn. In het zuiden komen ook enkele percelen met boomteelt voor. Voor 17 percelen in het gebied met verlagingen is het grondgebruik (LGN7) en de GHG en GLG (grondwatermodel de Utrecht) bepaald. Voor de veel in dit gebied voorkomende bodemsoort Hn21 is de opbrengstdepressie bepaald voor de oorspronkelijke GHG en GLG, en voor hogere en lagere grondwaterstanden. In tabel 3-4 zijn de resultaten opgenomen.

Tabel 3-4: Opbrengstdepressie (in %) bij verschillende combinaties van grondgebruik, GHG en GLG

LGN*	GHG	GLG	uitgangssituatie		5 cm hoger		10 cm hoger		5 cm lager		10 cm lager	
	(m – mv.)	(m – mv.)	nat	droogte	nat	droogte	nat	droogte	nat	droogte	nat	droogte
Gras	1,16	1,79	0	21	0	20	0	20	0	22	0	22
	1,80	2,66	0	27	0	27	0	27	0	27	0	27
	0,15	0,43	49	1	63	38	77	0	36	1	26	1
	0,20	0,67	15	2	22	2	34	1	9	2	5	2
Aardappel	0,82	1,64	0	16	0	15	0	13	0	17	0	19
	1,82	2,68	0	30	0	30	0	30	0	30	0	30
	1,03	1,73	0	19	0	18	0	17	0	20	0	22
	0,50	0,92	5	2	7	2	9	1	4	2	3	3
Snijmaïs	0,43	1,19	7	4	10	3	12	3	5	5	3	6
	1,30	2,15	0	23	0	22	0	21	0	23	0	24
	0,66	1,52	0	11	1	9	2	8	0	12	0	13
	1,77	2,78	0	28	0	28	0	28	0	28	0	28
Boomteelt	0,90	1,84	0	18	0	17	0	16	0	19	0	20
	0,55	1,35	2	6	4	5	6	3	1	7	1	8
	1,10	2,19	0	22	0	22	0	21	0	23	0	23
	0,54	0,99	4	2	5	1	7	1	3	2	2	3
Bloembollen	0,80	1,33	0	14	0	12	1	10	0	15	0	17

* De indeling in categorieën gewassen is in de LGN niet volledig gelijk aan de tool; voor 'akker' en 'overige landbouw' is 'granen' gebruikt. Bij 'gras' is uitgegaan van gras zonder herinzaaikosten.

In tabel 3-5 is de samenvatting van de opbrengstdepressies van alle gewassen opgenomen. Wanneer alleen wordt gekeken naar gras, maïs en aardappelen, dus de belangrijkste voorkomende gewassen, is de toename van de opbrengstdepressie iets kleiner.

Tabel 3-5: Toename opbrengstdepressie van alle gewassen ten opzichte van uitgangssituatie (in %)

	natschade		droogteschade	
	10 cm hoger	5 cm hoger	5 cm lager	10 cm lager
Gemiddeld	3,88	1,76	0,53	1,29
Minimum	0	0	0	0
Maximum	28	14	1	3
Standaard-afwijking	7,75	3,63	0,51	1,10
Range	0-11,6	0-5,40	0,01-1,04	0,19-2,40

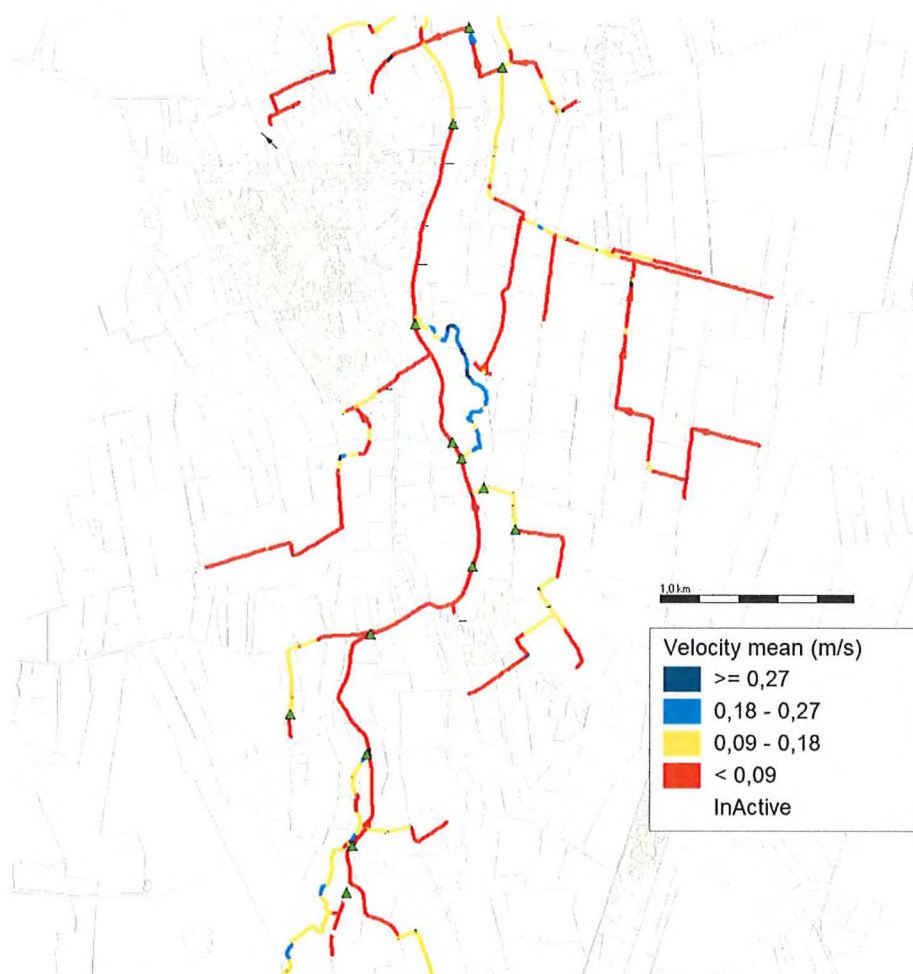
Een eerste indicatie van de verandering van de opbrengstdepressie wordt gekregen door de oppervlakte landbouwgrond met een bepaalde verlaging te vermenigvuldigen met de gemiddelde verandering van de opbrengstdepressie en vervolgens met een normbedrag voor de opbrengst.

Daarnaast kijkt het waterschap naar het aantal boeren dat door de verandering van de grondwaterstanden wordt beïnvloed. Een maatregel waarbij veel boeren worden beïnvloed, wordt als minder gewenst gezien als een maatregel waarbij weinig boeren worden beïnvloed. De oppervlakte landbouwgebied waar wijzigingen van de grondwaterstand zijn wordt hierbij als indicatie van het aantal boeren gezien.

4 Toelichting op de resultaten referentiesituatie

4.1 Stroomsnelheid

Met het referentiemodel is de stroomsnelheid berekend bij een stationaire gemiddelde zomerafvoer. Figuur 4-1 toont de stroomsnelheden op kaart. In tabel 4-1 zijn de stroomsnelheden op enkele specifieke locaties opgenomen. In de Reusel is de gemiddelde stroomsnelheid in de zomer op veel trajecten (veel) lager dan 0,18 m/s (criterium voor KRW-type R5 natuur). Volgens de modelberekening voldoet de stroomsnelheid in De Turk voor de meeste trajecten aan het criterium van 0,18 m/s. Na het berekenen van het DO is echter gebleken dat in de referentiesituatie het kunstwerk als een stuw opgenomen, waardoor het water vrij over de stuw kan stromen, terwijl het in werkelijkheid beperkt wordt door de doorsnede van de duiker met daarin over een deel van de hoogte balken. De belemmerende werking is in de werkelijkheid waarschijnlijk veel groter dan in het model. De verwachting is daarom dat er in de referentiesituatie niet de berekende 150 l/s door de Turk stroomt, maar minder dan 40 l/s. Hierdoor is de stroomsnelheid in de Turk in de praktijk minder dan 0,18 m/s en voldoet de Turk in de referentiesituatie niet aan de KRW-eis.



Figuur 4-1: Berekende stroomsnelheid voor de zomer referentiesituatie

De lage stroomsnelheden (legenda <0,09 m/s) zijn een gevolg van de grote dimensies van de watergang, de aanwezigheid van stuwen en de lage afvoer in de zomer. Voor de stuwen is een grote waterdiepte aanwezig waardoor de stroomsnelheid afneemt.

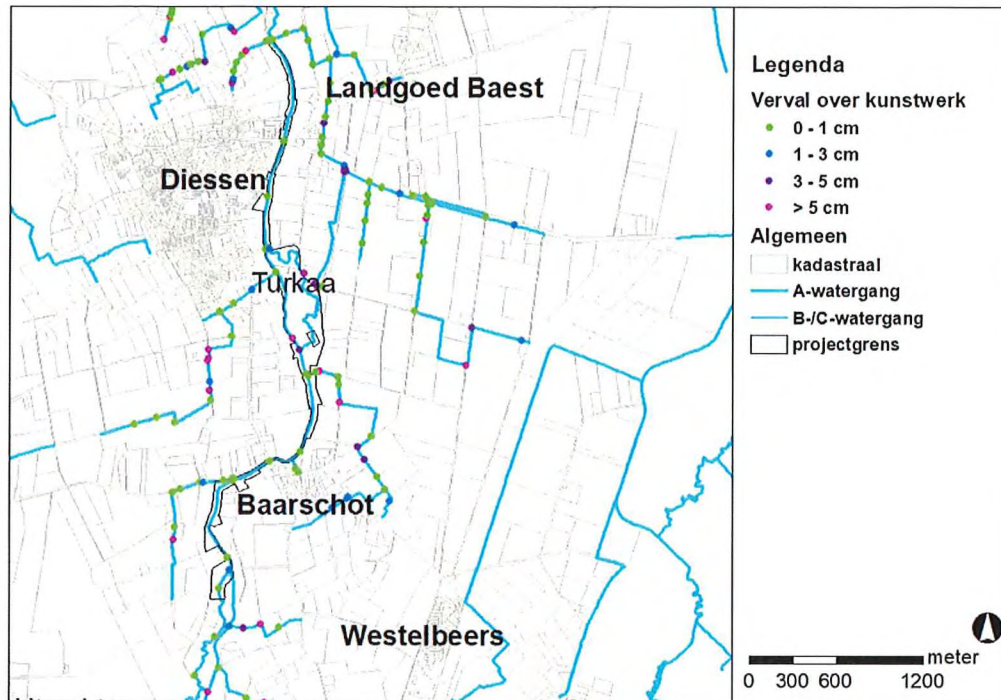
Tabel 4-1: Stroomsnelheid zomer referentiesituatie (m/s)

Locatie	Stroomsnelheid (m/s)	Locatie	Stroomsnelheid (m/s)
Stroomopwaarts stuw 8	0,18	Stroomopwaarts stuw 13	0,02
Stroomopwaarts stuw 9	0,03	Stroomafwaarts stuw 13	0,13
Stroomopwaarts stuw 10	0,02	Turk zuid	0,17
Stroomopwaarts stuw 11	0,03	Turk midden	0,28
Tussen stuw 11 en stuw 12	0,00	Turk noord	0,18

4.2 Opstuwing

Figuur 4-2 toont het berekende verval over de duikers en bruggen voor een gemiddeld winterseizoen, die voor opstuwing in de beek zorgen. In de Reusel (RS1) is het verval over de duikers kleiner dan 1 cm. Bij de brug bij het Moleneind (RS1-KBR15) treedt bijna 3 cm verval op. De oorzaak is een hoge bodemhoogte. De brug ligt direct achter stuw 8 (RS1-st8) en de zandvang waardoor dit geen knelpunt vormt.

In de Turkaa zijn twee duikers die een relatief groot verval geven door een hoge bodemhoogte. Dit vormt geen knelpunt.



Figuur 4-2: Verval over kunstwerken in de winter

In tabel 4-2 is de oorzaak van het relatief grote verval per locatie benoemd.

Tabel 4-2: Analyse verval over duikers en bruggen met meer dan 3 cm

Locatie	Waterst. bovenstr. (m +NAP)	Waterst. benedenst. (m +NAP)	Waterst. BOB (m +NAP)	Bodemh. (m +NAP)	Oorzaak van het grote verval
Brug RS1-KBR15	17,63	17,60	16,92	Onverharde bodem, daarom n.v.t.	3 cm verval door een hoge bodemhoogte. Dit levert geen problemen. De brug ligt direct achter stuw RS1-st8.
Duiker RS1.2-KDU1	15,48	15,44	14,87	14,48	4 cm verval door een hoge bodemhoogte. Dit levert geen problemen omdat de drooglegging voldoende is. De duiker ligt in De Turk.

Naast het verval in de Reusel zelf blijkt in sommige zijwatergangen een relatief groot verval op te treden. In de wintersituatie geeft dit geen problemen. Bij de piekafvoeren kan dit wel tot problemen leiden. In de volgende paragraaf is dit bij de toelichting op inundaties nader beschreven.

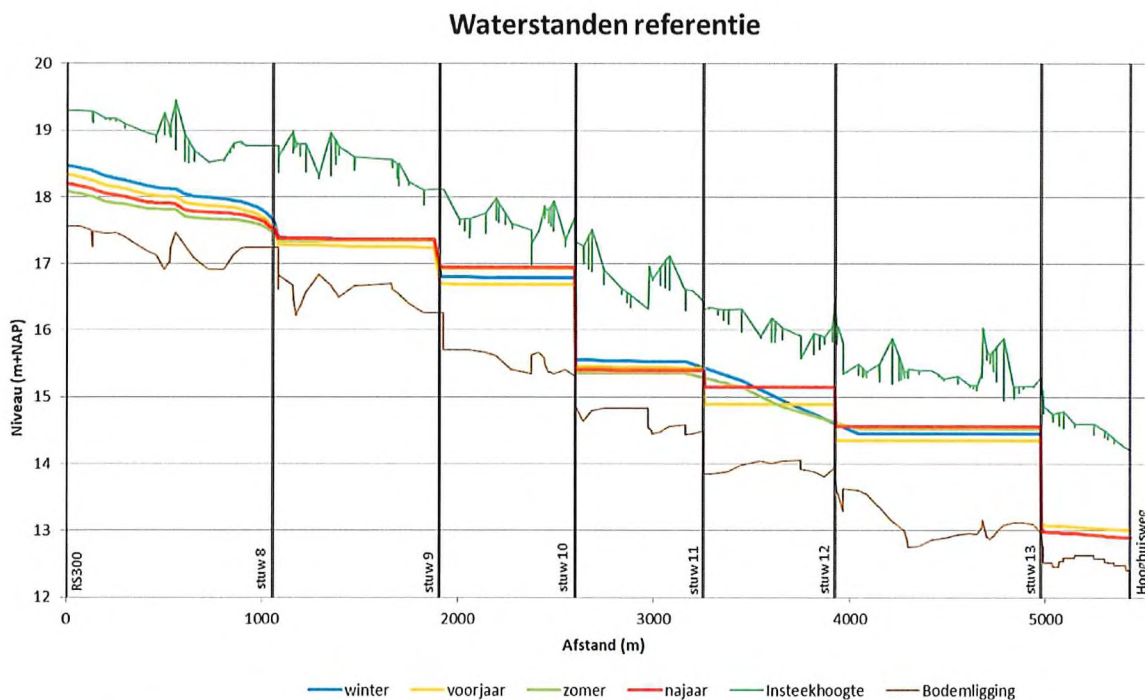
4.3 Waterstanden

Met het referentiemodel is het verloop van de waterstanden berekend voor verschillende situaties, zowel stationair (zomer, winter, voor- en najaar) als piekafvoeren (T1, T10, T25, T50 en T100, zowel voor huidig klimaat (HK) als toekomstig klimaat (TK)).

In figuur 4-3 zijn de berekende waterstanden in een lengteprofiel weergegeven voor de zomer, winter, voor- en najaar. In bijlage 3 zijn de overige waterstanden opgenomen. Weergegeven in het traject vanaf de kruising met de RS300 (gelegen ten zuiden van Moleneind) tot de Hooghuisweg, op de noordelijke grens van het plangebied. De groene lijn betreft het verloop van het maaiveld op de insteek van de beek. De bruine lijn betreft het verloop van de bodemhoogte van de beek. Ter hoogte van de Turk zijn bij de zomer en winter de waterstanden in de Turk weergegeven, en bij het voor- en najaar de waterstanden in de Reusel. In de Turk is er een langzaam dalend verloop, in de Reusel is het gestuwde verloop zichtbaar.

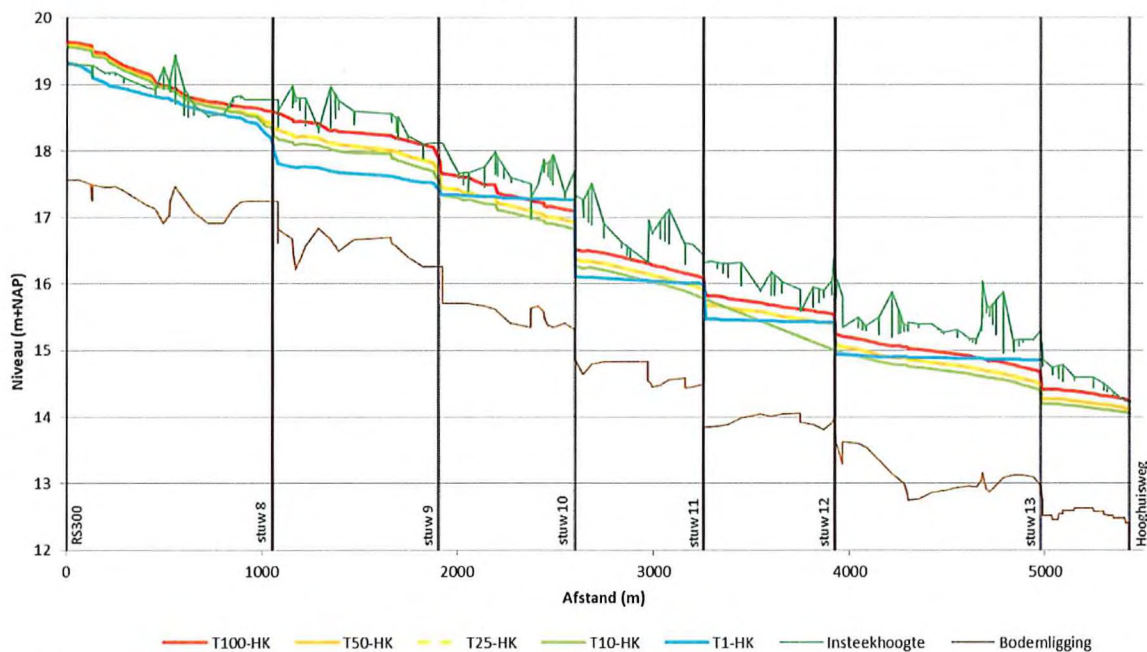
In figuur 4-4 zijn in een lengteprofiel de berekende waterstanden bij de piekafvoeren weergegeven.

Figuur 4-5 geeft de berekende waterstanden voor de zomer, winter, T10 en T100 in verschillende dwarsprofielen weer. Deze dwarsprofielen liggen op korte afstand stroomopwaarts van de aangegeven stuwen. Verder zijn twee dwarsprofielen in de Turk opgenomen.

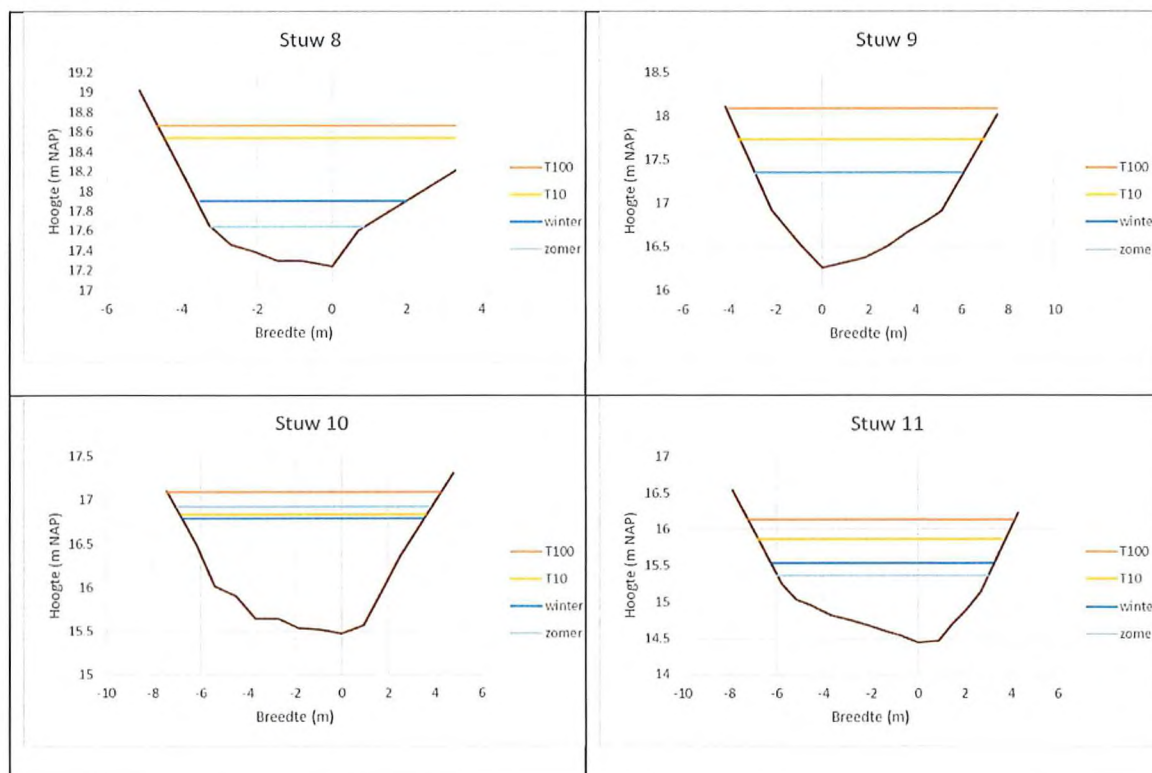


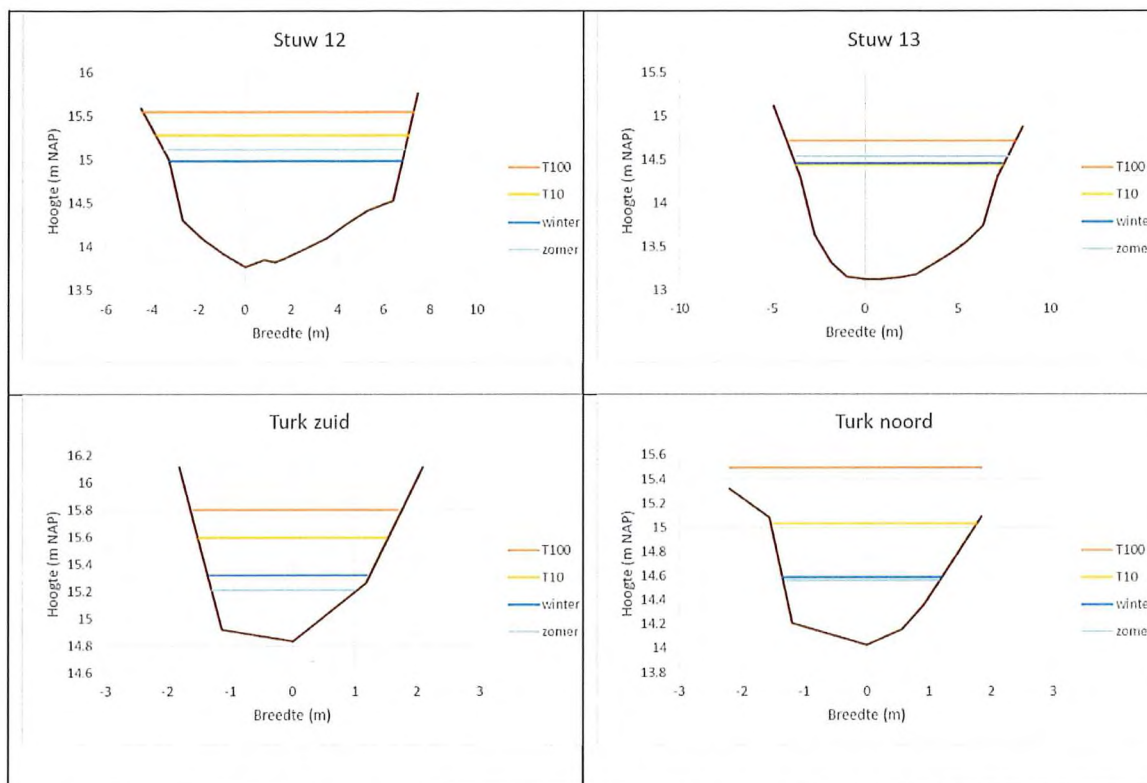
Figuur 4-3: Lengteprofiel referentiesituatie met stationaire afvoersituaties met bodemprofiel van de Reusel i.p.v. Turk (zomer/winter)

Waterstanden referentie



Figuur 4-4: Lengteprofiel referentiesituatie met piekafvoeren met bodemprofiel van de Reusel i.p.v. Turk (zomer/winter)





Figuur 4-5: Dwarsprofielen referentiesituatie stroomopwaarts van stuwen en op 2 locaties in de Turk met verschillende afvoersituaties

Reguliere afvoeren

Over het algemeen ligt het berekende winterpeil hoger dan het zomerpeil. Dit hangt samen met de afvoer, die in de winter groter is. Echter, op verschillende locaties liggen de stuwstanden in de zomer hoger dan in de winter, of zijn deze eraan gelijk. In tabel 3-1 zijn de klepstanden opgenomen. Zichtbaar is dat bij stuw 10, 12 en 13 de zomerpeilen hoger zijn dan de winterpeilen. Bij stuw 9 is het winterpeil iets lager dan het zomerpeil. Door de hogere afvoer in de winter zijn de waterpeilen bij deze stuw vrijwel gelijk aan elkaar. Bij stuw 8 en stuw 11 zijn de stuwpeilen het hele jaar rond hetzelfde. Hier komt het winterpeil door de grotere afvoer hoger te liggen dan het zomerpeil.

Drooglegging

Op de meeste trajecten is de drooglegging in de winter groter dan de landelijke richtlijn van 0,7 m. De gemiddelde drooglegging is ca. 0,9 m. Bij Baarschot, met name tussen stuw 9 en 10, is de drooglegging op een aantal locaties kleiner dan 0,7 m. Ook bij Diessen is een traject met een kleinere drooglegging. Dit betreft de lage delen in het beekdal van de Reusel. In figuur 4-6 is de drooglegging weergegeven.