

Rapport

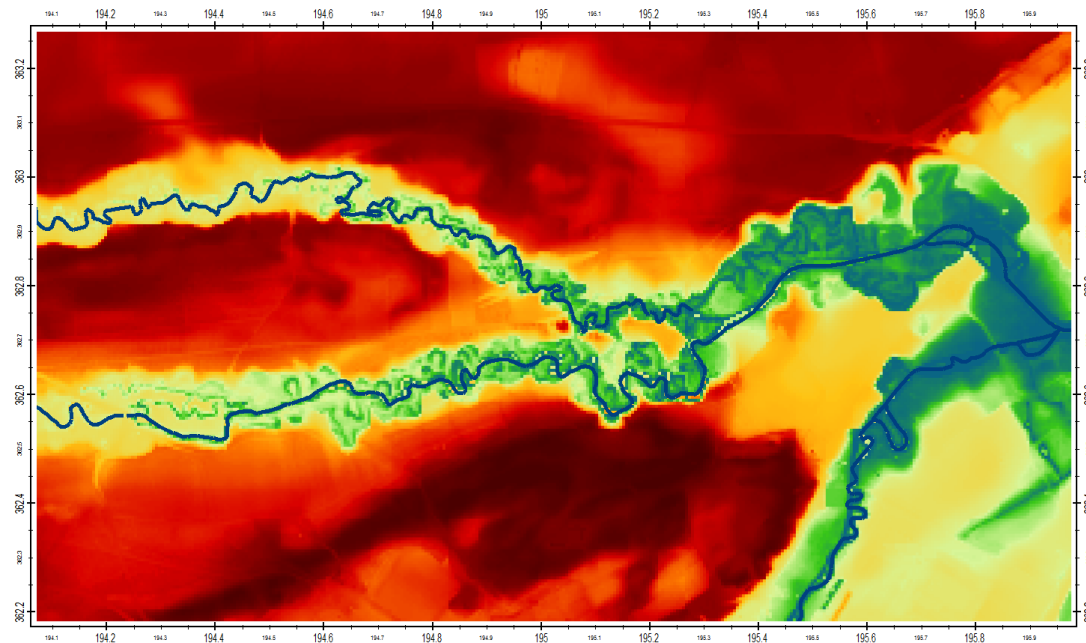
Projectnummer: 351073

Referentienummer: SWNL0222023

Datum: 06-03-2018

Modellering Leudal en omgeving

Verbetering hydrologisch model



Definitief

Opdrachtgever:
Provincie Limburg

Verantwoording

Titel	Modellering Leudal en Omgeving
Subtitel	Verbetering hydrologisch model
Projectnummer	351073
Referentienummer	SWNL0222023
Revisie	D
Datum	06-03-2018

Auteur(s)	Koen van der Hauw
E-mailadres	koen.vanderhauw@sweco.nl

Gecontroleerd door	Pim Dik
Paraaf gecontroleerd	

Goedgekeurd door	Ron Buitelaar
Paraaf goedgekeurd	

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling.....	6
1.3	Leeswijzer	6
2	Systeemanalyse	7
2.1	Algemene gebiedsbeschrijving.....	7
2.2	Maaiveldhoogte	8
2.3	Geologie.....	9
2.3.1	Diepe geologie	10
2.3.2	Ondiepe geologie	12
2.3.3	Breuken	15
2.4	Geomorfologie.....	16
2.5	Bodemopbouw.....	16
2.6	Grondwater.....	18
2.6.1	Geohydrologische indeling.....	18
2.6.2	Grondwaterstanden	18
2.6.3	Grondwaterstroming	20
2.6.4	Recente invloeden.....	23
2.7	Oppervlaktewater.....	24
2.8	Drainage.....	29
2.9	Onttrekkingen	30
3	Modelprestaties uitgangsmodel	32
3.1	Modelrand	32
3.2	Kalibratie- en validatieset.....	32
3.3	Prestaties uitgangsmodel.....	33
4	Modelverbetering en kalibratie	37
4.1	Inleiding.....	37
4.2	Belangrijkste verbeteringen.....	37
4.3	Modelprestaties verbeterde model	39
5	Effectberekening	46
5.1	Referentiemodel	46
5.2	Maatregelen	50
5.2.1	Effect bruinkoolwinning;	50
5.2.2	Effect grondwateronttrekkingen.....	54

5.2.3	Effect aanleg Lateraalkanaal;	54
5.2.4	Effect berekening vanuit de landbouw	55
5.2.5	Effect buisdrainage in het inzigtgebied en directe omgeving	57
5.2.6	Effect verbeterde ontwatering landbouwgebieden door ruilverkaveling	58
5.2.7	Effect aanleg nevengeul langs Maas tussen Buggenum en Neer.....	59
5.2.8	Effect van de ontgroning in het Buggenumse Veld	60
5.2.9	Effect bosaanplant sinds het eind van de 19e eeuw	61
5.3	Scenarioberekeningen	63
5.3.1	Effect peilopzet beken	63
5.3.2	Effect omvorming van donker naaldhout naar loofbos	64
5.3.3	Effect stopzetten onttrekkingen voor berekening.....	66
5.3.4	Effect kleischerm langs Lateraal kanaal.....	68
5.3.5	Effect meestromende geul langs Lateraalkanaal	70
5.3.6	Peilopzet Maas.....	71
5.3.7	Afkoppelen hemelwaterafvoer in stedelijk gebied	72
5.4	Voorstel oplossingsrichting	74
6	Conclusies en aanbevelingen	78
6.1	Conclusies.....	78
6.2	Aanbevelingen voor verdere modelverbetering	79

Bijlagen

Bijlage 1 Verbreidingen Geologische Formaties

Bijlage 2 Peilbuizen

Bijlage 3 Controle modelranden

Bijlage 4 Lagenmodel

Bijlage 5 Toelichting modelverbetering

Bijlage 6 Analyse Peelrandbreuk

Bijlage 7 Overzicht Boringen

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het Leudal is een N2000-gebied, zie afbeelding 2.1. Voor het gebied gelden de volgende instandhoudingsdoelen:

- Eikenhaagbeukenbossen (9160A) – uitbreiding;
- vochtige alluviale bossen (91E0C) - uitbreiding en verbeteren kwaliteit;
- oude Eikenbossen, Beuken-eikenbossen met Hulst, Blauwgrasland.

Momenteel staat de goede staat van instandhouding onder druk. Dit wordt enerzijds veroorzaakt door teveel stikstofdepositie, anderzijds door verdroging van het gebied. Om de goede staat van instandhouding te verkrijgen, zijn naast maatregelen op het gebied van stikstofdepositie en beheer ook hydrologische maatregelen nodig.

De verdroging is veroorzaakt door een aantal ingrepen, die in het verleden hebben plaatsgevonden. Een aantal daarvan, in een willekeurige volgorde, zijn:

- verdwijnen van hei en de opkomst van (donker) naalddhout;
- aanleg van het Lateraalkanaal;
- verminderde infiltratie in het inzigtgebied als gevolg van verbeterde drainage;
- toename van de onttrekkingen uit de Roerdalslenk;
- toename van beregening rondom het Leudal;
- bruinkoolwinning in Duitsland.

De precieze impact van deze ingrepen is onbekend. De ingrepen zijn allemaal in een (ver) verleden genomen en kunnen vanwege maatschappelijke consequenties niet altijd teruggedraaid worden.

Bij het opstellen van het Natura 2000-plan voor het Leudal is eerder uit IBRAHYM 1.0 een deelmodel gemaakt voor het Leudal en omstreken. Met behulp van de bestaande peilbuizen in en rondom het gebied is geprobeerd om het model te kalibreren. Dit is niet gelukt. De verschillen tussen de metingen en de modeluitkomsten waren te groot. Een van de factoren was dat er geen goed inzicht was of en waar de beken in het Leudal door de deklaag gesleten waren en het 1^e watervoerende pakket draineerde. Hierdoor is het niet mogelijk om nadere maatregelen voor het bestrijden van de verdroging te onderbouwen. Een ander probleem is dat er onvoldoende peilbuizen zijn om het beeld goed te krijgen. Bovendien blijkt de bodemopbouw complex, door lokaal voorkomende leemlagen (Nuenen-groep).

Provincie Limburg is opdrachtgever voor dit project. De berekeningen zijn begeleid door een adviesgroep van medewerkers van Staatsbosbeheer, Waterschap Limburg en werkgroep Leudal. Met de LLTB heeft apart afstemming plaatsgevonden over de effecten van het project Leudal aan de leiding. Hierbij is gekeken naar het stopzetten van de bestaande beregening uit grondwater en de gevolgen op het Leudal van beregening met water afkomstig van WML. GS neemt uiteindelijk het besluit over het maatregelenpakket.

Om een goed Natura 2000-plan op te stellen en maatregelen te beoordelen is een geschikt deelmodel nodig. Sweco is gevraagd om het bestaande deelmodel te verbeteren, te kalibreren en vervolgens hiermee modelberekeningen uit te voeren.

1.2 Doelstelling

Het doel van de opdracht, zoals beschreven in de aanvraag, is als volgt:

- Het maken van een deelmodel voor het Leudal en omgeving uit het Limburg-brede, beschikbare en geaccepteerde IBRAHYM 2.0-model. Dit deelmodel dient vervolgens te worden verbeterd, o.a. met de gegevens verkregen uit de hierboven genoemde punten en het deelmodel vervolgens te kalibreren.
- Het uitvoeren van een aantal modelberekeningen om inzicht te krijgen in de invloed van maatregelen uit het verleden en mogelijke scenario's voor de toekomst.
- Opstellen van een eerste voorstel voor maatregelen waarmee de verdroging van het Leudal kan worden bestreden.

1.3 Leeswijzer

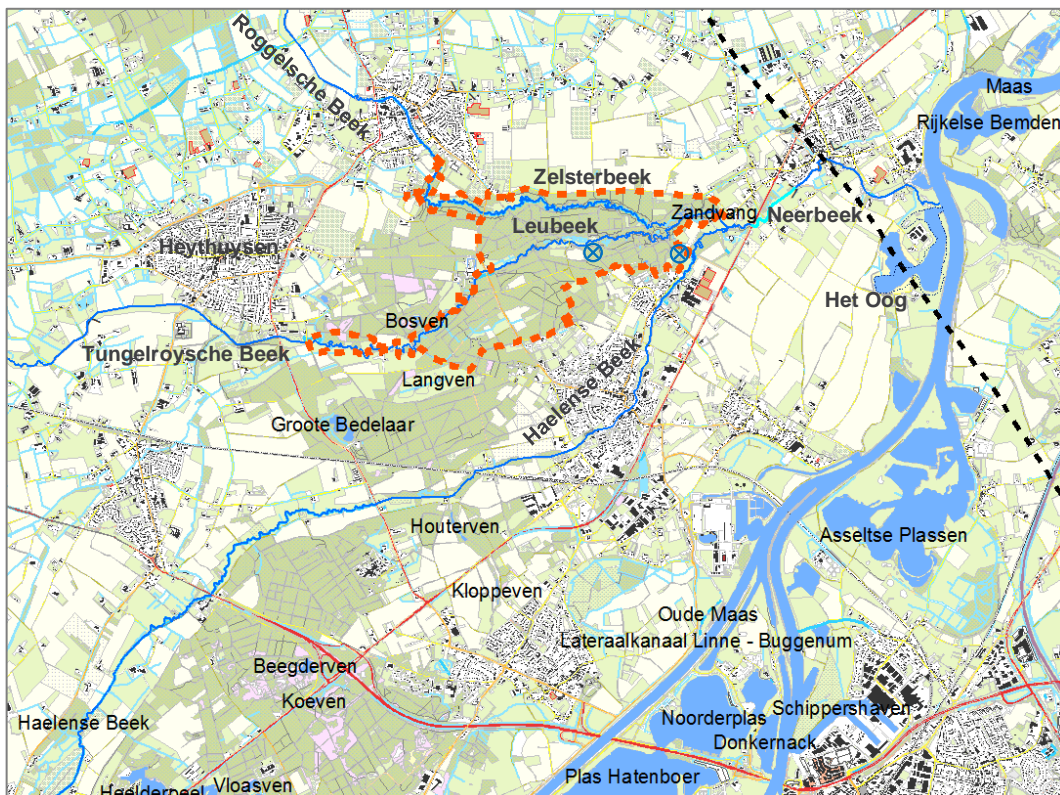
In hoofdstuk 2 is het watersysteem beschreven op basis van literatuur, veldkennis, veldonderzoek en meetgegevens. In hoofdstuk 3 zijn de prestaties van het uitgangsmodel beschreven. In hoofdstuk 4 zijn de belangrijkste modelverbeteringen en resulterende modelprestaties gepresenteerd en de prestaties van het gekalibreerde grondwatermodel.

In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van de effectberekeningen gepresenteerd, inclusief een voorstel voor een oplossingsrichting en in hoofdstuk 6 zijn de conclusies van het onderzoek benoemd.

2 Systeemanalyse

2.1 Algemene gebiedsbeschrijving

Het Leudal is een bijzonder beekdallandschap, gelegen ten noordwesten van Roermond, aan de westzijde van de Maas. Door het Leudal stromen twee beken die vanuit de Roerdalslenk naar het dal van de Maas stromen: de Leubeek, die meer naar het westen de Tungelroysche Beek wordt genoemd en ten noorden van de Leubeek ligt de Zelsterbeek, die meer naar het westen de Roggelsche Beek wordt genoemd. De Zelsterbeek loopt aan de oostzijde van het Leudal, over in de Leubeek. Wat verder naar het oosten, net buiten de begrenzing, komt ook de Haelense Beek erbij, vanuit het zuiden. Vanaf dit punt wordt de beek de Neerbeek genoemd, die uitmondt in de Maas.



Afbeelding 2.1 Ligging van het Leudal (N2000 gebied, oranje gemarkeerd); de oude watermolen bij het Leudalmuseum (St. Elisabethsmolen) en de St. Ursulamolen zijn blauw gemarkeerd (⊗)

Het Leudal is bijzonder vanwege de beide diep ingesneden beekdalen met snel stromend water en tevens door de hoogteverschillen in het gebied. De Zelsterbeek is voor een groot deel aan kanalisatie ontkomen, ditzelfde geldt voor het stroom-afwaartse deel van de Leubeek. De genormaliseerde trajecten van beide beken buiten de N2000-begrenzing, zijn in het jaar 2000 weer meanderend gemaakt.

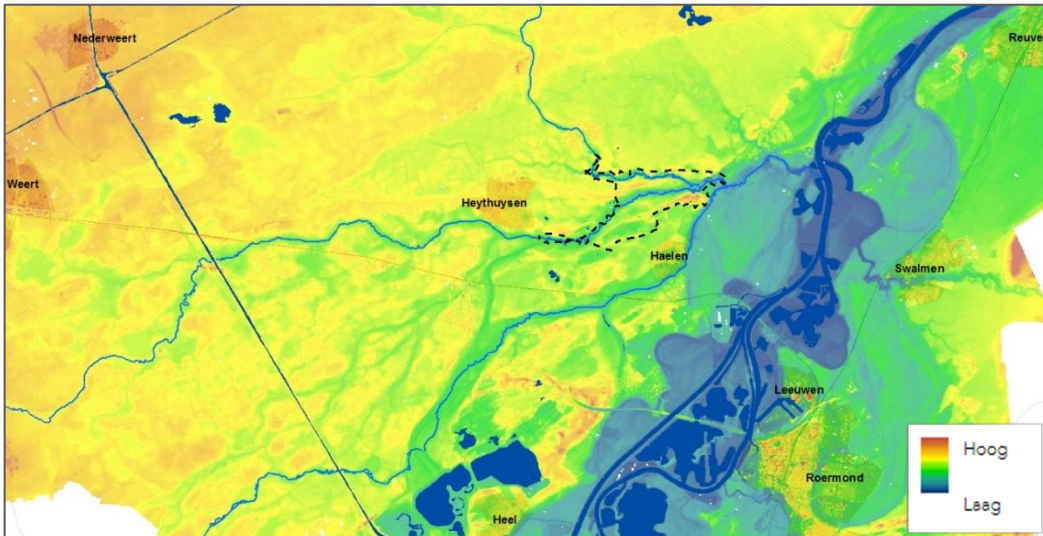


Afbeelding 2.2 Meanderende Zelsterbeek met op de achtergrond de hoger gelegen delen (bron: Piet van den Munckhof, SBB, 20-12-2016)

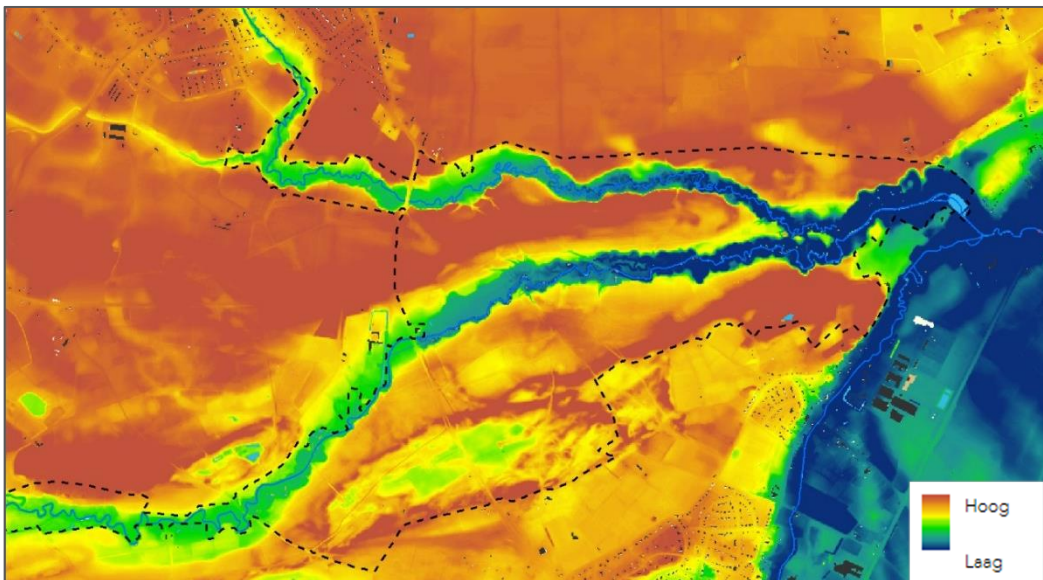
Essentieel voor de werking van het watersysteem in het Leudal zijn de diep ingesneden beken. Vanaf de hoger gelegen dekzandruggen vindt wegzijging plaats en in de beekdalen komt enige kwel voor. Onder het Leudal is lokaal op ongeveer 4 tot 8 m -mv een slecht doorlatende laag aanwezig. In en rond het Leudal is ondiep zeer fijn zand aanwezig met lokale dunne slecht doorlatende leem-, klei- en veenlagen die met het voorkomen vennen duiden op de aanwezigheid van schijngrondwaterspiegels. Het lage peil en de diepe insnijding van de Maas en met name het Lateraalkanaal hebben een sterke drainerende werking op de regionale grondwaterstand in het gebied.

2.2 Maaiveldhoogte

De hoogteverschillen in het Leudal bedragen ruim 10 m. Het maaiveldreliëf wordt sterk bepaald door dekzandruggen en in het landschap insnijdende en meanderende beken. In de uitgestoven laagten zijn vennen gelegen. Het maaiveldreliëf in Leudal en omgeving is weergegeven in afbeelding 2.3 en afbeelding 2.4. Duidelijk herkenbaar zijn de beekdalen. Op de afbeelding van de titelpagina van dit rapport is het maaiveldniveau in het oosten van het Leudal in detail getoond en zijn de huidige en oude meanders duidelijk zichtbaar.



Afbeelding 2.3 Maaiveldhoogte in de omgeving (bruinrood: hoog, groenblauw: laag), bron: AHN2



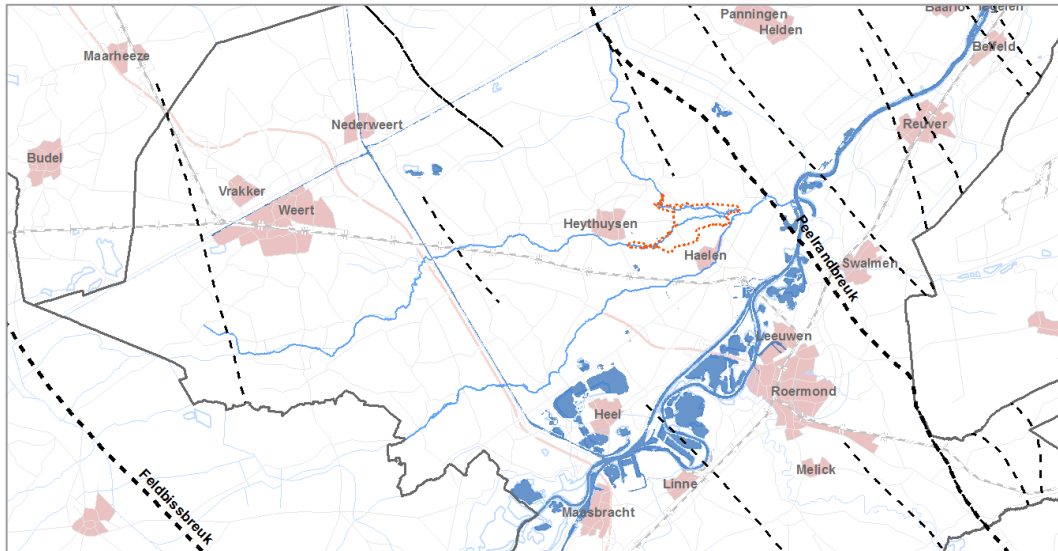
Afbeelding 2.4 Maaiveldhoogte (bruinrood: hoog, groenblauw: laag) ter plaatse van het Leudal (zwarte streeplijn) (bron: AHN2). De legendakeuze maakt de beekdalen duidelijk zichtbaar.

2.3 Geologie

De huidige vormen van het landschap van het Leudal en omgeving zijn ontstaan in de laatste ijstijd. Door zandstormen tijdens de ijstijden zijn dikke lagen dekzand afgezet en zijn hoge dekzandruggen en duinen ontstaan. Beken hebben vervolgens beekdalen diep uitgesneden, met relatief grote hoogteverschillen die karakteristiek zijn voor het Leudal.

Het Leudal ligt in een geologisch dalingsgebied, de Roerdalslenk. Deze slenk is opgevuld met materiaal dat is afgezet door zee, rivieren en wind. Dit gebied wordt begrensd door de Peulrandbreuk aan de noordoostzijde op ongeveer 1,1 km en de Feldbissbreuk aan de zuidwestzijde op ongeveer 22 km afstand, zie afbeelding 2.5. Aan de oostzijde van de Peulrandbreuk ligt de hoger gelegen Peelhorst. De geologie aan beide zijden van de Peulrandbreuk is verschillend, zie afbeelding 2.6.

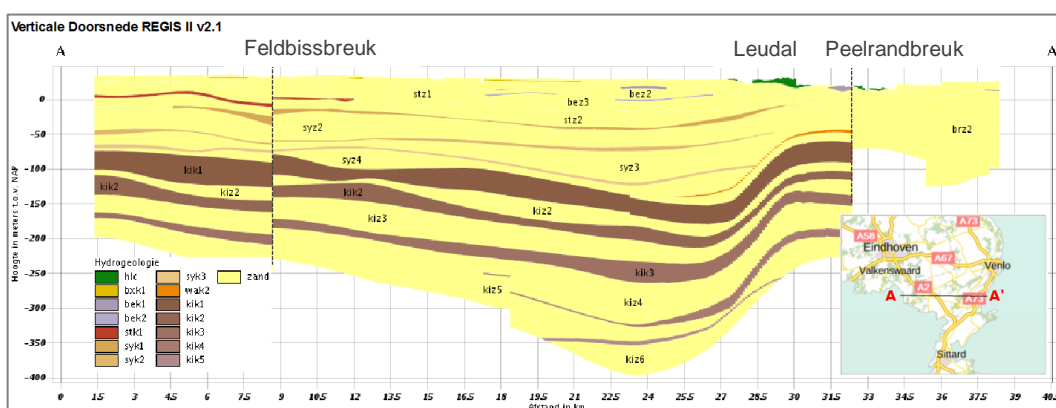
In tabel 2.1 zijn de kenmerken van geologische formaties beschreven, die voorkomen in het Leudal en binnen een straal van 2 km rondom. Op de horst worden alleen de Formaties van Breda, Beegden en Boxtel onderscheiden.



Afbeelding 2.5 Ligging breuken rondom het Leudal (bron: REGIS II.1 en IBRAHYM 2.0)

2.3.1 Diepe geologie

In het Mioceen (ongeveer 20 miljoen jaar geleden) in het Tertiair zijn mariene afzettingen van de Formatie van Breda afgezet. In de Roerdalslenk liggen deze dieper dan NAP -200 m en hebben een dikte van meer dan 400 m. Op de Peelhorst zijn de afzettingen van de Formatie van Breda veel ondieper te vinden, vanaf ongeveer 20 m -mv tot ongeveer NAP -100 m. In het Mioceen heeft ook een voorloper van de Rijn in de Roerdalslenk gestroomd en afwisselend dikke zand- en kleipakketten afgezet die gerekend worden tot de Kieseloliet Formatie, die over het algemeen boven op de afzettingen van de Formatie van Breda ligt.



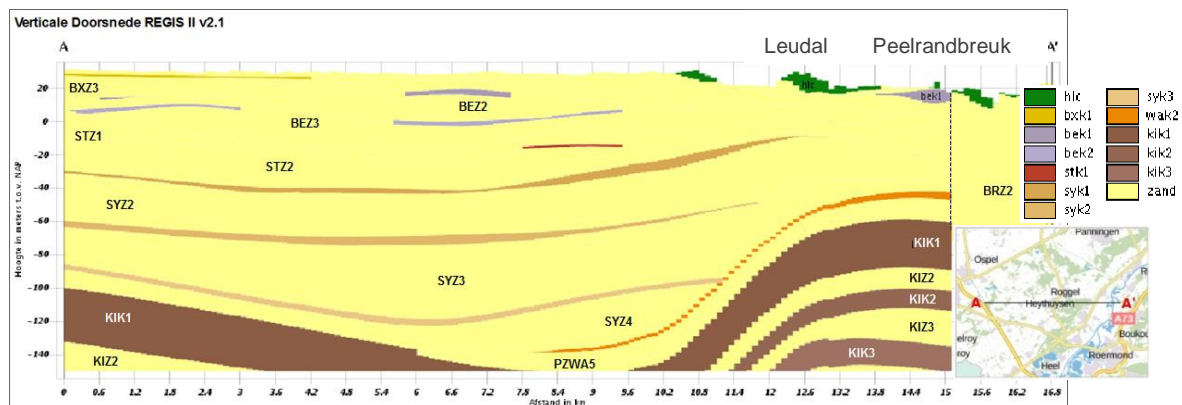
Afbeelding 2.6 Dwarsdoorsnede van west naar oost door de Roerdalslenk ter hoogte van het Leudal (bron: DINOLOket)

In het Kwartair, vanaf ongeveer 2,4 miljoen jaar geleden zijn hier Pleistocene Rijnafzettingen met een sterk wisselende lithologie ontstaan, die gerekend worden tot de Formatie van Waalre. In een deel van het aandachtsgebied bevindt zich op ongeveer -100 m +NAP een enkele meters dikke kleiige laag in deze Formatie.

Boven op de afzettingen van de Formatie van Waalre en soms daarmee vertand, liggen hier tussen ongeveer -30 en -95 m +NAP afzettingen die tot de Formatie van Stramproy worden gerekend, voornamelijk windafzettingen, over het algemeen matig fijn tot grof zand en in mindere mate klei, als gevolg van lokale beekafzettingen. Aan de oostzijde van het Leudal ontbreken deze, maar naar het zuidwesten komen volgens REGIS nog kleipakketten voor uit deze Formatie, die in dikte variëren van minder dan een meter tot enkele meters.

Boven op de Formatie van Stramproy zijn vanaf ongeveer 800.000 jaar geleden weer Rijnafzettingen van de Formatie van Sterksel te vinden, voornamelijk matig grof tot uiterst grof grindhoudend zand. In de omgeving van het Leudal zijn deze ongeveer 15 m dik, met voorkomen van een dunne kleilaag.

Tegenwoordig ligt de Maas ten oosten van het Leudal, maar heeft in het verleden ook veel verder westelijk gestroomd en grote grindpakketten en grof zand afgezet, maar ook leem achter gelaten tijdens overstromingen en in binnenbochten. Tegelijk heeft de Maas eigen afzettingen en andere afzettingen doorsneden en verspoeld. Deze afzettingen worden gerekend tot de Formatie van Beegden en zijn in de ondergrond aanwezig tussen ongeveer 20 en 5 m +NAP tot ongeveer 5 m -mv. De huidige Maas ligt in het zogenaamde Laagterras dat relatief diep is ingesneden ten opzichte van de omgeving. Het Leudal bevindt zich op het Middenteras en ondervindt een significante drainerende invloed van de Maas. De hoogte ten noordwesten van de Zelsterbeek bij de noordwestelijke modelrand wordt verondersteld een Maasterras te zijn.



Afbeelding 2.7 Dwarsdoorsnede van west naar oost door het Leudal (bron: DINOloket). In geel zijn de goed doorlatende en in donkere kleuren de slecht doorlatende afzettingen weergegeven.

In afbeelding 2.7 is een dwarsdoorsnede met meer detail van de geologie van west naar oost door het Leudal getoond. Daarin is, op een diepte variërend van ongeveer -60 tot -140 m +NAP, de dikke scheidende kleilaag uit de Kiezeloöliet Formatie duidelijk zichtbaar. Deze heeft hier in de Roerdalslenk een sterk dempende werking naar de diepere ondergrond. Daarboven bevinden zich nog in delen van het gebied dunnere slecht doorlatende lagen van enkele meters dikte van de Formaties van Waalre, Stramproy, Beegden en in mindere mate de Formatie van Boxtel en Holocene afzettingen.

Tabel 2.1 Kenmerken geologische formaties in het Leudal en een straal van 2 km rondom (bron: REGIS II.1). Relatief belangrijke slecht doorlatende lagen zijn vet gemarkeerd.

Naam	Formatie	Bedekking	gem. Top	gem. Bot	gem. Dikte	gem k-wrd	gem kD/ c-wrd
Holocene afzettingen	hlc	16,9%	23,5	20,7	2,8	0,1	27,8
Boxtel zand	bxz1	71,0%	28,2	26,5	1,6	24,4	39,8
Boxtel klei	bxk1	29,1%	26,6	24,7	2,0	0,0082	240,3
Boxtel zand	bxz2	68,4%	26,3	23,6	2,7	26,1	72,7
Boxtel klei	bxk2	12,7%	22,3	20,1	2,2	0,0066	338,4
Boxtel zand	bxz3	83,1%	23,2	17,0	6,2	25,6	159,5
Beegden zand	bez1	43,8%	19,8	17,7	2,0	42,7	98,0
Beegden klei	bek1	43,3%	18,0	14,8	3,2	0,0075	449,5
Beegden zanden	bez2	93,6%	14,4	8,6	5,8	76,5	470,4
Beegden klei	bek2	22,5%	5,5	3,3	2,2	0,0049	503,8
Beegden zanden	bez3	98,7%	8,5	-1,0	9,5	79,8	767,4
Sterksel zanden	stz1	75,7%	-4,6	-12,6	8,1	57,5	459,7
Sterksel klei	stk1	8,7%	-19,6	-20,8	1,2	0,0141	133,3
Sterksel zanden	stz2	78,8%	-12,1	-27,3	15,2	67,4	1031,4
Stramproy klei	syk1	62,0%	-29,7	-33,1	3,4	0,0195	198,4
Stramproy zanden	syz2	79,5%	-29,9	-56,3	26,3	15,0	396,2
Stramproy klei	syk2	65,2%	-59,5	-62,2	2,7	0,0163	190,1
Stramproy zanden	syz3	79,5%	-58,5	-84,3	25,8	13,4	345,4
Stramproy klei	syk3	59,0%	-91,5	-95,6	4,2	0,0237	182,6
Stramproy zanden	syz4	63,1%	-92,6	-106,0	13,4	16,8	224,2
Waalre zand/grind	pzwaz3	4,1%	-94,5	-96,2	1,7	23,3	38,9
Waalre klei	wak2	55,6%	-96,9	-103,1	6,2	0,0490	156,7
Belfeld grind/zand	pzwaz5	50,5%	-104,6	-110,5	5,9	36,0	226,7
	pzwaz7	54,1%	-109,8	-115,4	5,6	35,1	191,7
Bovenste Brunssumklei	kik1	79,5%	-110,0	-141,1	31,1	0,0009	39045,6
Schinveld zanden	kiz2	79,5%	-141,1	-162,5	21,4	34,1	725,5
	kik2	79,5%	-162,5	-177,4	14,9	0,0003	
Zanden van Pey	kiz3	79,5%	-177,4	-202,0	24,6	36,6	877,7
Onderste Brunssumklei	kik3	79,5%	-202,0	-220,4	18,4	0,0005	36664,0
Waubach zanden	kiz4	79,5%	-220,4	-258,8	38,4	37,1	1425,5
	kik4	74,8%	-260,8	-267,4	6,6	0,0050	1784,2
Waubach zanden	kiz5	79,5%	-265,0	-304,2	39,3	57,7	2265,0
	kik5	62,3%	-315,2	-321,3	6,1	0,0006	12261,1
Waubach zanden	kiz6	61,1%	-321,8	-357,1	35,2	34,8	1199,3
Breda zanden	brz2	20,3%	12,1	-120,6	132,8	4,3	577,1
Breda klei	brk						
Rupel klei / Boomse klei	ruk						

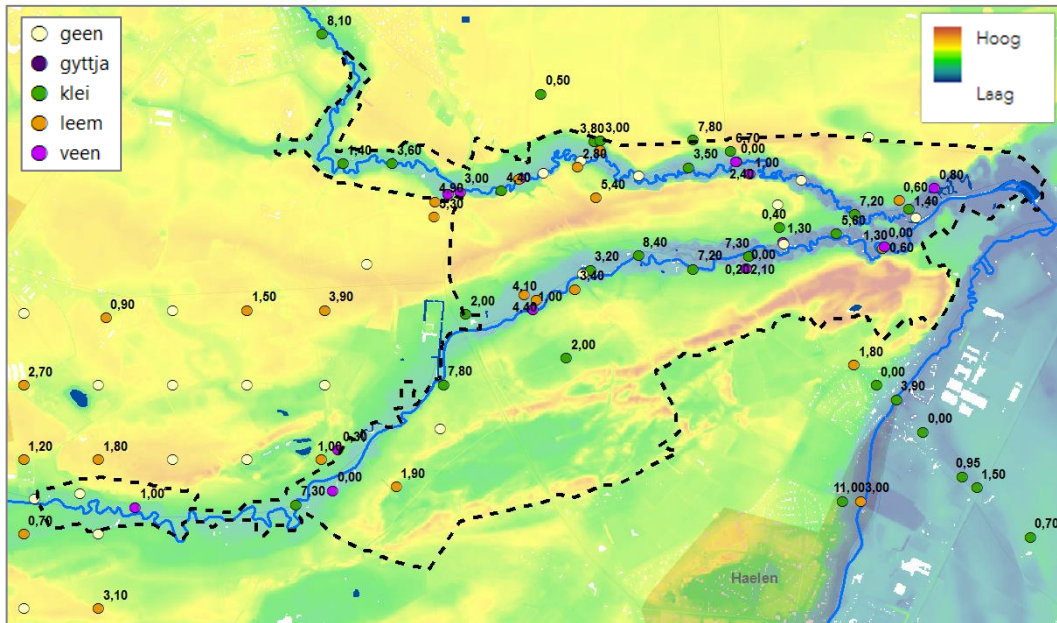
2.3.2 Ondiepe geologie

Direct onder maaiveld bevinden zich Pleistocene afzettingen van de Formatie van Boxtel met wisselende lithologie, afhankelijk van de afzettingwijze. Lokaal komen Holocene afzettingen voor, voornamelijk rondom de beekdalen.

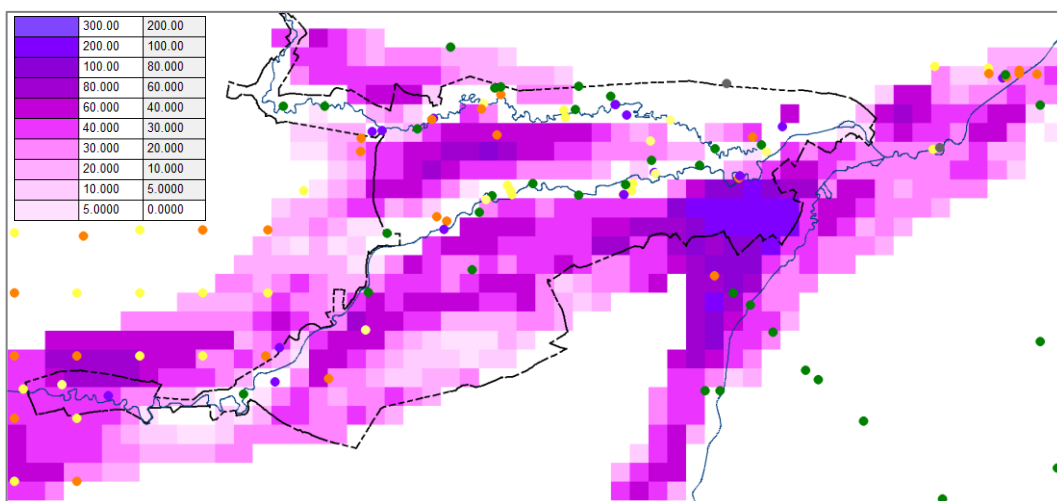
In tabel 2.2 zijn de diverse onderscheiden laagpakketten, inclusief ontstaanswijze en kenmerken weergegeven.

Omdat de kennis van de ondiepe ondergrond van het Leudal beperkt is, zijn diverse grondboringen uitgevoerd van 4 tot 10 m -mv. Zie afbeelding B7.1 in bijlage 7 voor een kaart met de beschikbare boorlocaties.

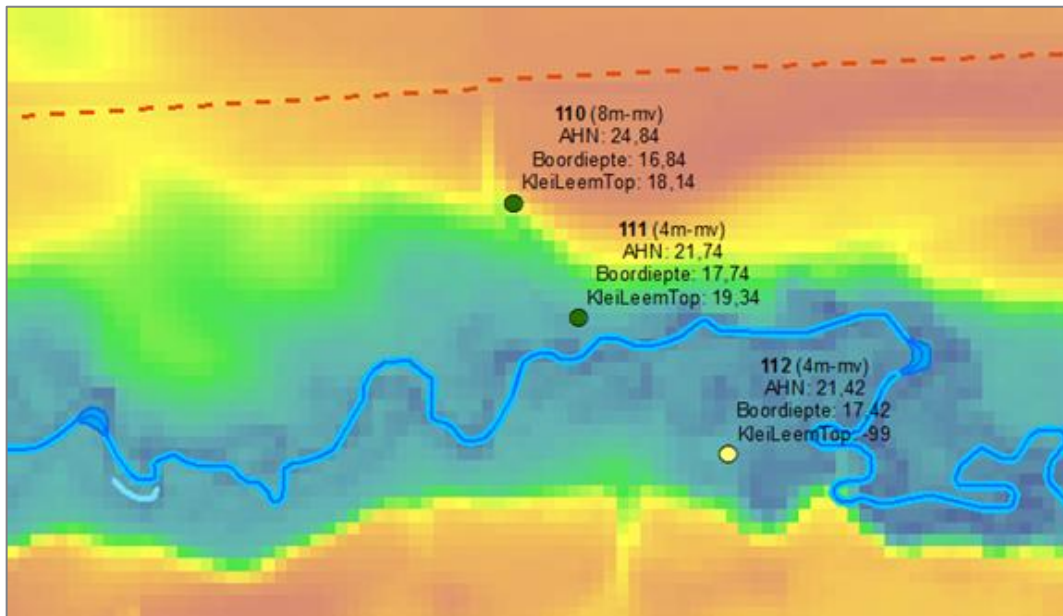
Opvallend is dat er relatief veel klei is aangetroffen binnen 8 m -mv, zie afbeelding 2.8. Volgens REGIS II.1 wordt ter plaatse van het Leudal, afgezien van Holocene afzettingen, pas vanaf de Formatie van Stramproy verticale weerstand aangetroffen. En de Holocene afzettingen komen volgens REGIS II.1 binnen de beekdalen het Leudal niet voor, zie afbeelding 2.9.



Afbeelding 2.8 Aanwezigheid slecht doorlatende grondsoorten op basis van beschikbare boringen. Het label geeft de bovenkant van de grootste aangetroffen slecht doorlatende laag in de boring ten opzichte van maaiveld (m-mv).



Afbeelding 2.9 Ligging en Indicatieve weerstand (d) van de Holocene afzettingen (grid-resolutie 100x100 m²), in combinatie met aangetroffen meest voorkomende lithologie in de boringen.



Afbeelding 2.10 Vermoedelijke erosie van kleilaag bij boring 112, de oude beekloop is nog zichtbaar op de hoogtekaart (bron: AHN2, 5x5m). Labels: Id + boordiepte: m -mv, daarna : m +NAP.

Er zit dus meer weerstand in de beekdalen dan REGIS II.1 aangeeft. Mogelijk is er ook onder de beekbodem een weerstand, gezien de diepte van ongeveer 8 m-mv waarop de klei relatief vaak is aangetroffen. De klei komt in ieder geval niet sluitend voor onder het gehele Leudalgebied. Er zijn enkele zones waar ook tot op 8m-mv geen klei is aangetroffen, terwijl dat in nabij gelegen boringen wel het geval was. Vermoedelijk is op deze plekken de klei weg geërodeerd door oude beeklopen, zie afbeelding 2.10. Juist ter plaatse van de hoger gelegen ruggen kan dan nog leem aanwezig zijn dat voor een hogere grondwaterstand tussen de beken zorgt.

In afbeeldingen B7.2 en B7.3 in bijlage 7 zijn dwarsdoorsneden getoond langs beide beken, waarin de aanwezigheid van klei zichtbaar is aan de onderkant van de boringen, onder de Holocene afzettingen. Het is niet bekend tot welke diepte deze kleilagen doorlopen, de boringen zijn veelal gestopt vlak onder de bovenkant van de klei. Er lijkt echter een aansluiting met de bovenste kleilaag uit de Formatie van Beegden (bek1). De Beegden kleilagen ontbreken volgens REGIS II.1 ter plaatse van het Leudal en ten noorden daarvan. Hiervoor is in REGIS II.1 slechts een beperkt aantal boringen gebruikt en ter plaatse van het Leudal zelf waren er in REGIS II.1 geen boringen beschikbaar. Net ten noorden van het Leudal en in Heythuysen zijn wel boringen in DINOLOket aanwezig tot 35 m en dieper, waarin geen slecht doorlatende grondsoorten zijn aangetroffen. Vermoedelijk is de kleilaag uit de Beegden Formatie ook aanwezig tot net ten noorden van het Leudal, mogelijk met uitzondering van enkele zones, zoals aangegeven in de boringen.

De Brabantse Leem is een eolische afzetting uit het Weichselien van materiaal uit de Noordzee en is over grote gebieden aanwezig. Lokaal is de leem mogelijk verspoeld naar laagten in het terrein. De Brabantse Leem kan een aanzienlijke dikte hebben en is fijnkorrelig. De verschillen in dikte hebben o.a. te maken met windluwe locaties. Later hebben beken zich weer door deze eolische pakketten heen gesneden. Mogelijk is deze leem ook in het Leudal aanwezig.

Daarnaast zijn er diverse dunne laagjes leem en in mindere mate veen aangetroffen in de boringen die invloed hebben op de grondwaterstroming. Mogelijk is dit door beken verspoelde leem, uit het Laagpakket van Liempde (Nuenen-groep), onderdeel van de Formatie van Boxtel. Zie tabel 2.2 voor details van dit laagpakket.

Ter plaatse van de beken kunnen Holocene afzettingen aanwezig zijn uit de Formatie van Boxtel. Vaak is er een duidelijke grens tussen Boxtel zanden en het dieper gelegen grovere Beegden zand en grind.

Tabel 2.2 Kenmerken van mogelijke laagpakketten binnen Holocene en Formatie van Boxtel

Periode	Geologie	Oorsprong	Materiaal	Kleur	Ligging
Holocene	L.P. Kootwijk	eolische afzettingen met grillig reliëf, vooral ontstaan door menselijke activiteiten	Fijn tot matig grof zand; vaak kleine deeltjes organische stof; sporadisch grindsnoertje	lichtgrijs tot lichtbruin	Ligt vaak op Wierden L.P. en is alleen te onderscheiden als bodem voorkomt op grens
Vnl. Holocene	L.P. van Singraven	afzettingen van beken; De beekdalen al ontstaan in Saalien of Weichselien en in Holocene nam afvoer en snelheid/erosie af	dikke laag klei, leem of kleig zand, humusrijk grind, lokaal onderbroken met veenlagen met dikte van enkele dm's. In Zuid-Limburg vaak verspoelde löss.		Incidenteel bedekt door sedimenten van L.P. van Wierden, maar meestal top van F. Meestal alleen in zone langs beek, waar moerasjes ontstonden. Lokaal dikte van 10m.
Weichselien, Pleniglaciaal en Laat-Glaciaal	L.P. van Wierden	dekzand, eolisch	zeer fijn tot matig grof zand, afgerond tot matig afgerond, goed gesorteerd	lichtbruin tot geelbruin	Top valt grotendeels in NL samen met top van F. van Boxtel. Dikte dm's tot m's.
Midden Weichselien	L.P. van Liempde (Nuenen groep / Brabantse leem)	eolisch afgezette leem, later mogelijk door beken of smeltwater verspoeld;	materiaal vaak eolisch: leem (zandige leem tot löss), zwak tot sterk zandig, dunne veenlaagjes	lichtgrijs tot groengrijs	Alleen in Roerdalslenk; enkele m's onder top van formatie, dikwijls direct onder L.P. van Wierden. Max. dikte +/- 3m, meestal veel dunner. Basis meestal < 5m-mv.
Weichselien	L.P. van Best	Leem afgezet tijdens overstromingen; komafzettingen en eolisch-periglaciaal afzettingen	leem, zwak tot sterk zandig	bruingroen tot donkergrijs	Alleen in de Roerdalslenk onderscheiden en bevindt zich aan of nabij de basis van de formatie; dikte enkele meters
Weichselien	L.P. van Delwijnen	rivierduinafzetting en	zand (zeer fijn tot zeer grof), fijn grind en leem	grijs tot bruingrijs	Top van eenheid valt vrijwel altijd samen met top van formatie. Vooral oostzijde Maas

2.3.3 Breuken

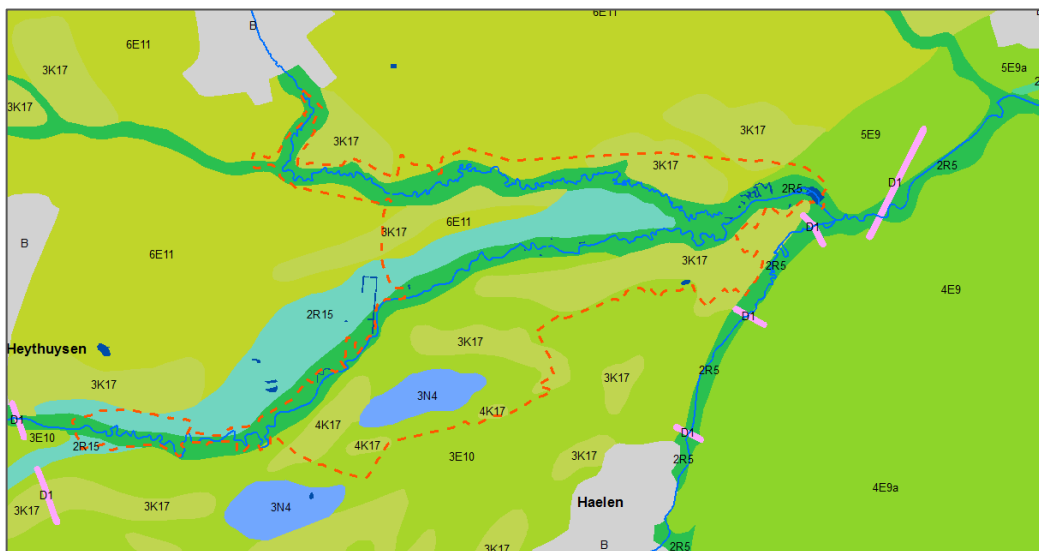
De belangrijkste breuk in het gebied is de Peelrandbreuk ten oosten van het Leudal. Over het algemeen is de bodemweerstand ter plaatse van een breuk verhoogd door versmering. Onderzoek bij Neer heeft laten zien dat er inderdaad een weerstand is, die van invloed is op het grondwater. De Maas doorsnijdt de breuk hier echter, waardoor deze weerstand verstoord wordt.

In dwarsdoorsneden (zie afbeelding B1.11 en B1.12 in bijlage 1) is te zien dat er ten noorden van het Leudal twee breuken lopen die duidelijk zichtbaar zijn in de niveaus van de geologische formaties (volgens REGIS II.1). Ter hoogte van het Leudal is alleen de Peelrandbreuk nog aanwezig, maar de invloed van de andere breuk lijkt nog wel zichtbaar in de gradiënt van de niveaus¹.

2.4 Geomorfologie

Het gebied kent een bijzondere geomorfologie vanwege de ontstaanswijze en grote reliëfverschillen. Het meest kenmerkend zijn de hoge dekzandruggen en diepe beekdalen, zie afbeelding 2.11 en tabel 2.3.

Het Leudal ligt op de rand van oude maasterrassen. De Maas heeft zich diep ingesneden in zijn oorspronkelijke bedding waardoor er ten oosten van het Leudal grote hoogteverschillen zijn tussen de terrassen en het Maasdal.



Afbeelding 2.11 Geomorfologische kaart

Tabel 2.3 Omschrijving voorkomende geomorfologische codes

Code	Omschrijving
6E11	Dalvlakterras met dekzand, golvend
3E10	Dalvlakterras met dekzand, vlak
4/5E9	Dalvlakterras
3K17	Geulranddekzandrug
2R15	Beekdal in terras
2R5	Beekdalbodem
3N4	Laagte zonder randwal, moerassig

2.5 Bodemopbouw

De ondiepe bodem bestaat op de hogere delen voornamelijk uit zeer fijnzandige afzettingen, die sterk lemig zijn, zie de bodemkaart in afbeelding 2.14. Deze bodem is goed consistent en daarmee bestand tegen erosie: dit maakt het voorkomen van de steilranden in het gebied mogelijk. In het gebied komen ijzeroerbanken voor (ca 2 m -mv). In de beekdalen hebben de meanderende beken hun sporen achtergelaten: lokaal worden veenachtige afzettingen aangetroffen, zie afbeelding 2.8.

¹ In REGIS II.2 is hier wel een breuk opgenomen en is ook de geologie geschematiseerd met een niveausprong ter plaatse van deze breuk. De breuk is echter pas aanwezig vanaf de Formatie van Stramproy en dieper en de invloed op de ondiepe grondwaterstand zal daarom beperkt zijn. Daarom en omdat dit model nu eenmaal is gebaseerd op REGIS II.1 is deze breuk niet apart opgenomen in de schematisatie van het model.



*Afbeelding 2.12 Diepe beekinsnijing bij de Litseberg, met verschillen in bodemopbouw op helling.
(bron: Piet van den Munckhof, SBB, 20-12-2016)*

Er worden frequent leemlaagjes aangetroffen. Regenwater dat infiltreert, kan over deze laagjes afstromen naar de flanken van de beekdalen. In de beekdalen worden vaak veenlaagjes aangetroffen. In het Leudal en omgeving is opvallend zeer fijn, bijna plakkerig zand aanwezig.

Boorbeschrijvingen laten echter zien dat dit veen slechts lokaal wordt aangetroffen, o.a. in de afgesneden meanders bij de Weierse brug en bij de zandvang. In afbeelding 2.13 is een foto getoond van het linker oeverprofiel van de Leubeek ter plekke van de Koebrug bij laag peil. Op de foto zijn de veenbanken duidelijk te zien.



Afbeelding 2.13 Linker oeverprofiel van Leubeek ter plekke van Koebrug met veenbanken. Tijdens opname was het beekpeil relatief laag vanwege openzetten van schuiven bij de St. Ursulamolen.

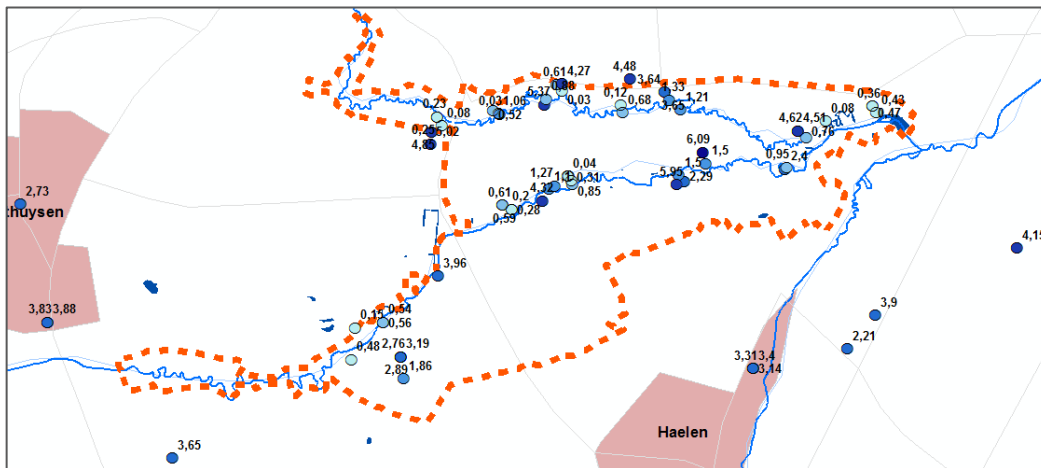
Vanwege de korte meetperiode van de aanvullende metingen, die bovendien ver buiten de periode 1997-2011 ligt, is de volgende methode gebruikt om een indicatie te krijgen van de grondwaterstand in de periode 1997-2011:

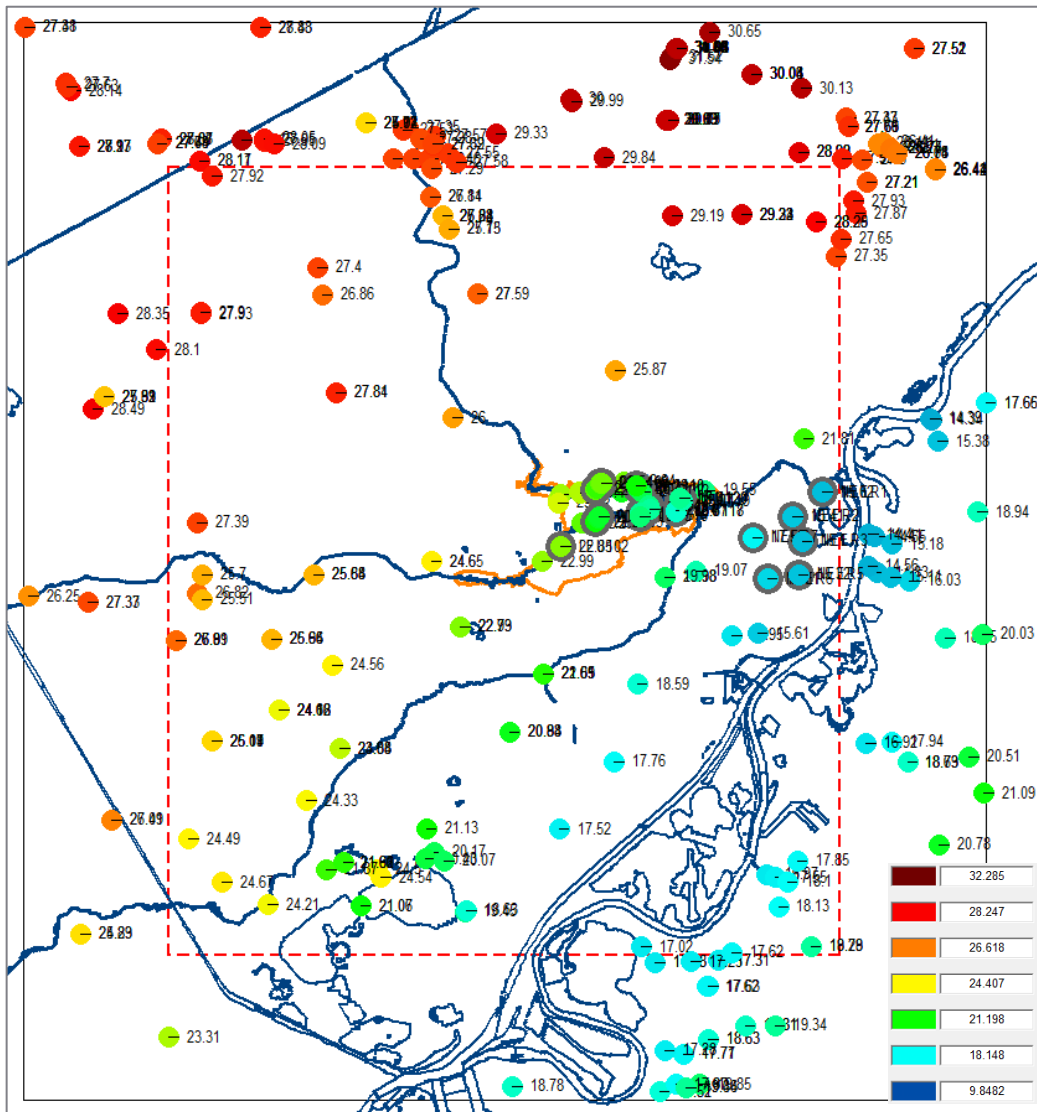
- De korte reeks is visueel gekoppeld aan één of meer nabijgelegen langjarige meetreeksen met een op het oog hoge correlatie.
- De gevonden langjarige reeksen zijn geïnterpoleerd via tijdreeksanalyse, zodat per dag een stijghoogte beschikbaar is om te matchen met de korte meetreeks.
- Alle metingen van de korte reeks zijn gekoppeld aan de geïnterpoleerde, langjarige reeks en via lineaire regressie wordt een eenvoudige lineaire relatie bepaald om de GG van de langjarige reeks om te rekenen naar een schatting voor de GG van de korte reeks over dezelfde periode.

De methode is nader beschreven in bijlage 2.

In afbeelding 2.15 zijn de beschikbare, gemiddelde stijghoogten in het Leudal getoond ten opzichte van maaiveld. In afbeelding 2.16 zijn, voor alle watervoerende pakketten boven de Kiezeloölietklei, alle beschikbare, gemiddelde stijghoogten (GG) in het Leudal en omgeving getoond ten opzichte van NAP. Het algemene patroon is duidelijk zichtbaar en laat geen sterk afwijkende locaties zien. In bijlage 2 zijn de kenmerken van de peilbuizen in een buffer van 2000 m rondom het Leudal beschreven.

Volgens het Leudal Natura 2000-plan (juli 2014) treffen we in het beekdal grondwatertrappen I en II aan. Gt I wordt onder andere aangetroffen bij de Weierse brug. Daar zit een veenlaag in de ondergrond, waardoor het grondwater niet wegzakt. Gt II vinden we in een smalle zone langs de beek. Dit betekent dat in de winter het grondwater tot aan het maaiveld kan komen en in de zomer wegzakt tot 50 tot 80 cm beneden het maaiveld. Op de hoge delen wordt een Gt VII aangetroffen. In de winter zit de grondwaterstand hier dieper dan 80 cm onder het maaiveld, in de zomer dieper dan 160 cm. Leemlagen kunnen lokaal voor natte plekken zorgen.





Afbeelding 2.16 Gemiddelde stijghoogten (GG, m +NAP) over periode 1997-2011 voor kalibratieset. Grijs omcirkelde peilbuizen zijn recent geplaatst en hebben daardoor korte meetreeksen.

2.6.3 Grondwaterstroming

In afbeelding 2.16 is duidelijk de stromingsrichting van het grondwater zichtbaar vanuit het noordwesten richting de Maas en vanuit het zuidoosten richting de Maas. Voor het Leudal is vooral de waterbeweging in het bovenste deel van het eerste WVP van belang.

Binnen de begrenzing liggen de beken loodrecht op de grondwaterstroming, zie afbeelding 2.19. Ze worden gevoed door freatisch (lokaal infiltrerend) grondwater en vermoedelijk snijden ze ook lokaal het eerste WVP aan.

Volgens de kwelkaart die met het programma Iteratio van Staatsbosbeheer is samengesteld op basis van vegetatieopnamen (zie afbeelding 4.11), is in de beekdalen op verschillende plekken kwel te verwachten. De kwelvensters in de Leubeek worden vermoedelijk gevoed vanuit het 'Eiland van Weert': kalkrijke diepe kwel, karakteristiek voor het gehele Leudal. Maar bij het Goorbos is de kwel juist opvallend oligotroof. Daar groeit gagel, nu verdroogd. Mogelijk is er hier een ondoorlatende laag, waarop regenwater blijft staan en waar grondwater afkomstig uit hoger gelegen landbouw gebied onderdoor stroomt.

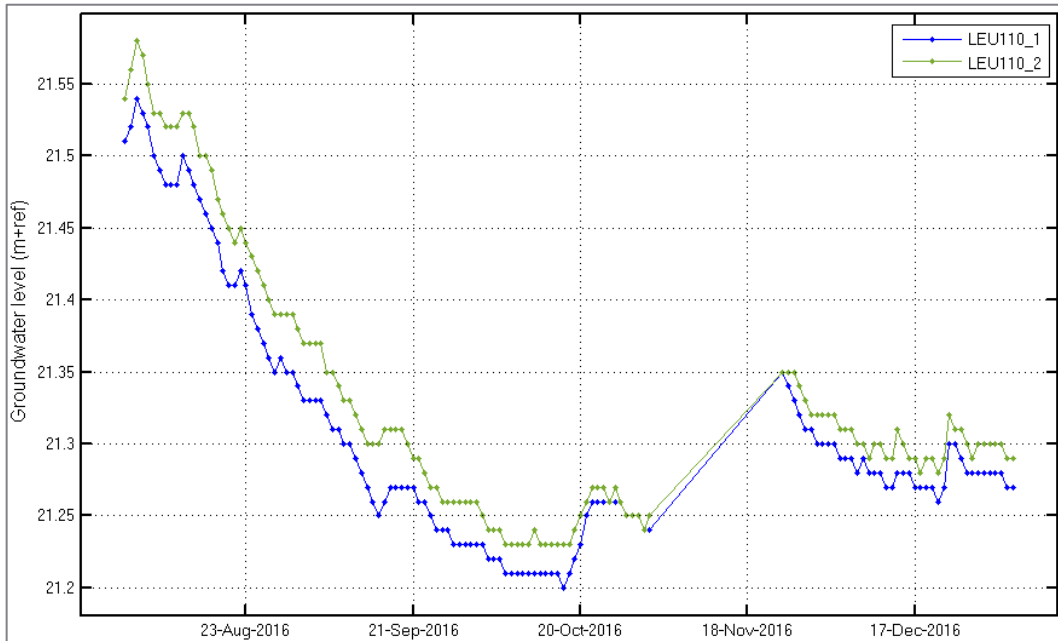


Afbeelding 2.17 Kwelindicatie langs de beken (bron: Piet van den Munckhof, SBB, 20-12-2016)

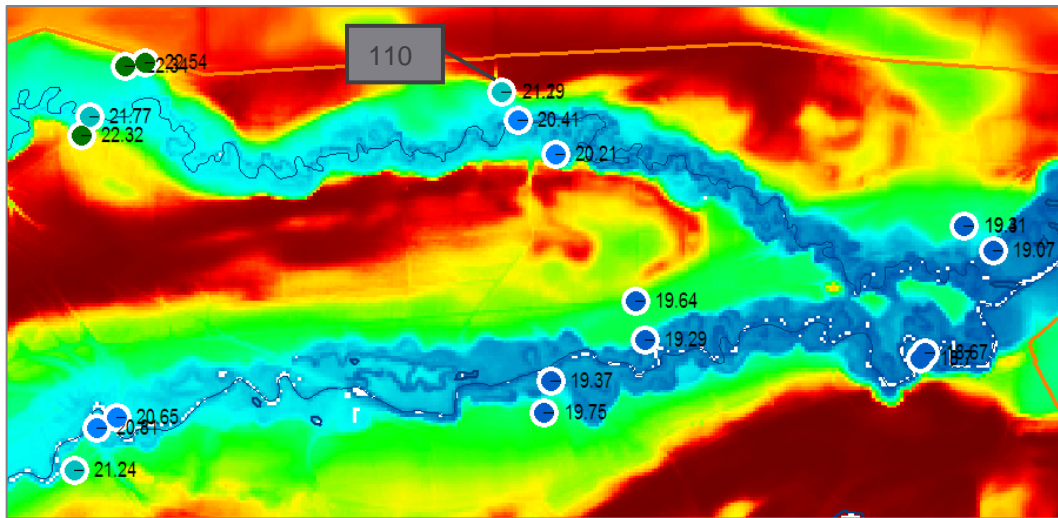
Uit overleg met de veldkenners uit de begeleidingsgroep, blijkt nog dat er ten zuidwesten van het Leudal een verdroogd kwelsysteem ligt. En ten noordwesten van het Leudal, te Roggel, binnen de bebouwde kom, stroomt kwelwater uit de oevers. Bij de Weierse brug is een kwelzone, waar kwelindicerende Dotterbloemen voorkomen

In afbeelding 2.18 is een peilbuis getoond met twee filters in een kwelsituatie. Er is inderdaad een klein stijghoogteverschil zichtbaar, vermoedelijk veroorzaakt door dunne leemlagen.

In afbeelding 2.19 zijn de gemeten stijghoogten getoond over korte raaien dwars op de beide beken. Op de verschillende locaties is te zien dat de stijghoogte dichtbij de beek lager is. Dit laat duidelijk de drainerende werking van het beekdal zien. De hogere dekzandruggen zijn de infiltratiegebieden. Tevens is in de afbeelding te zien dat de stijghoogten bij de Leubeek lager zijn dan bij de Zelsterbeek, corresponderend met de stroming in de richting van de Maas.



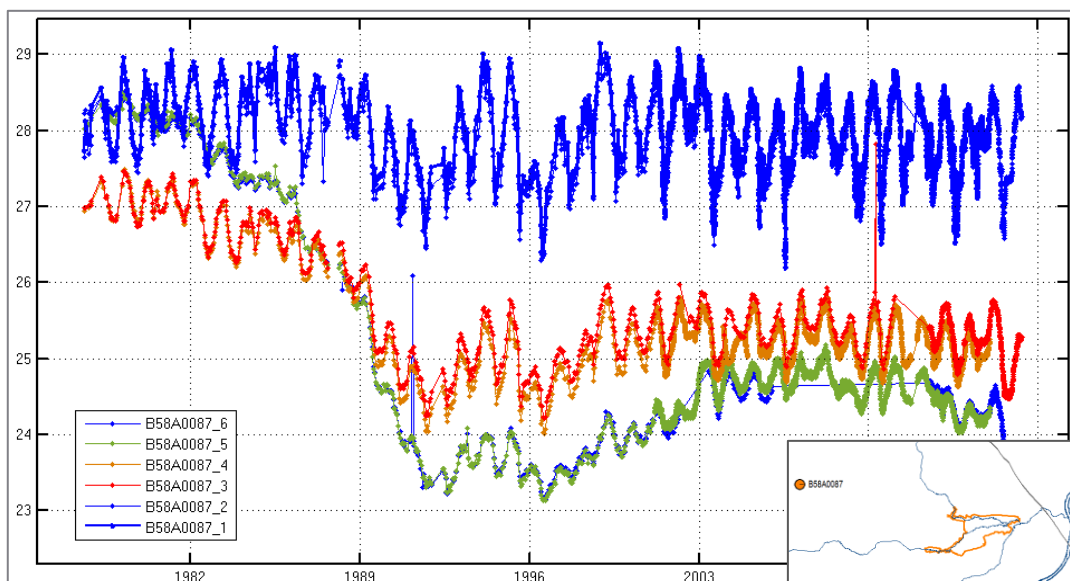
Afbeelding 2.18 Gemeten stijghoogte (m +NAP) op de noordflank van de Zelsterbeek. Filter 110_1 is het ondiepe filter en zit op 21,38 m +NAP. Filter 110_2 zit op 19,36 m +NAP.



Afbeelding 2.19 Gemiddelde gemeten en gecorrigeerde stijghoogten dwars op de beken (m +NAP). De kleur geeft het niveau aan (rood is hoog, blauw is laag). Bovenin ligt peilbuis 110.

2.6.4 Recente invloeden

- Rond 2005 is tijdens een vergunde uitbreiding van de ontgraving door Kuypers Kessel bij het Oog, de Peulrandbreuk doorgraven wat resulteerde in een daling van ongeveer één meter in de grondwaterstand (zie afbeelding B6.2 in bijlage 6). Dit was vooral zichtbaar bij het Bronbosje, ten zuidoosten van Leudal, langs de Maas aan de zuidzijde van het ontgravingsgebied. Het Oog, de plas aan de zuidwestzijde, zie afbeelding 2.1, stond eerder, na doorgraving van de Peelrandbreuk, in verbinding met de Maas. Om dit te mitigeren is het Oog later weer afgesloten van de Maas door plaatsing van een dam aan de (zuid)oostzijde. Dit heeft wel geholpen, maar de invloed van de doorgraving is nog aanwezig. Er is een nieuwe ontgraving gepland voor een hoogwatergeul.
- Het Lateraalkanaal west gaf in groot deel van Midden-Limburg verdroging. Het is nu een overloop gebied bij hoogwater. Er is een afgraving gepland van één meter diepte, verder naar het zuiden. Vermoedelijk heeft dit geen effect op het grondwater, maar er is een plan is om de vrijkomende klei te gebruiken als kleischerm langs de steilrand langs het Lateraalkanaal om de effecten op de grondwaterstand ten westen van het kanaal tegen te gaan.
- De invloed van de bruinkoolwinning in Duitsland op het Leudal is onbekend. Recente inzichten geven aan dat de invloed veel verder reikt dan eerder gedacht. Het effect verspreidt zich via de Kiezeloöliet Formatie, een gespannen pakket. Onbekend is in welke mate dit de ondiepe grondwaterstanden beïnvloedt. In afbeelding 2.20 is een duidelijke verlaging te zien voor de vier diepere filters van peilbuis B58A0087, mogelijk veroorzaakt door de bruinkoolwinning, terwijl het ondiepe filter vrijwel geen verlaging laat zien.
- Er is veel beregening in het gebied. Voor o.a. graszoden (vooral ten noorden van het Leudal) en blauwe bessentelers, die veel water via druppelirrigatie gebruiken. Deze zitten (ook) aan de zuidzijde. Er is een LTO-project (Leudal aan de leiding) gaande om beregening vanuit grondwater te stoppen omdat er een vermoeden is dat dit in de toekomst problemen kan geven met eventuele natuurschade. Een optie zou zijn om water via een lange leiding aan te voeren naar het landbouwgebied. Een tweede optie is zijn om onttrokken water door Kuypers Kessel te zuiveren en hierheen te leiden.
- Omvorming van bos heeft invloed gehad op de verdamping en daarmee op de grondwaterstand in het gebied.

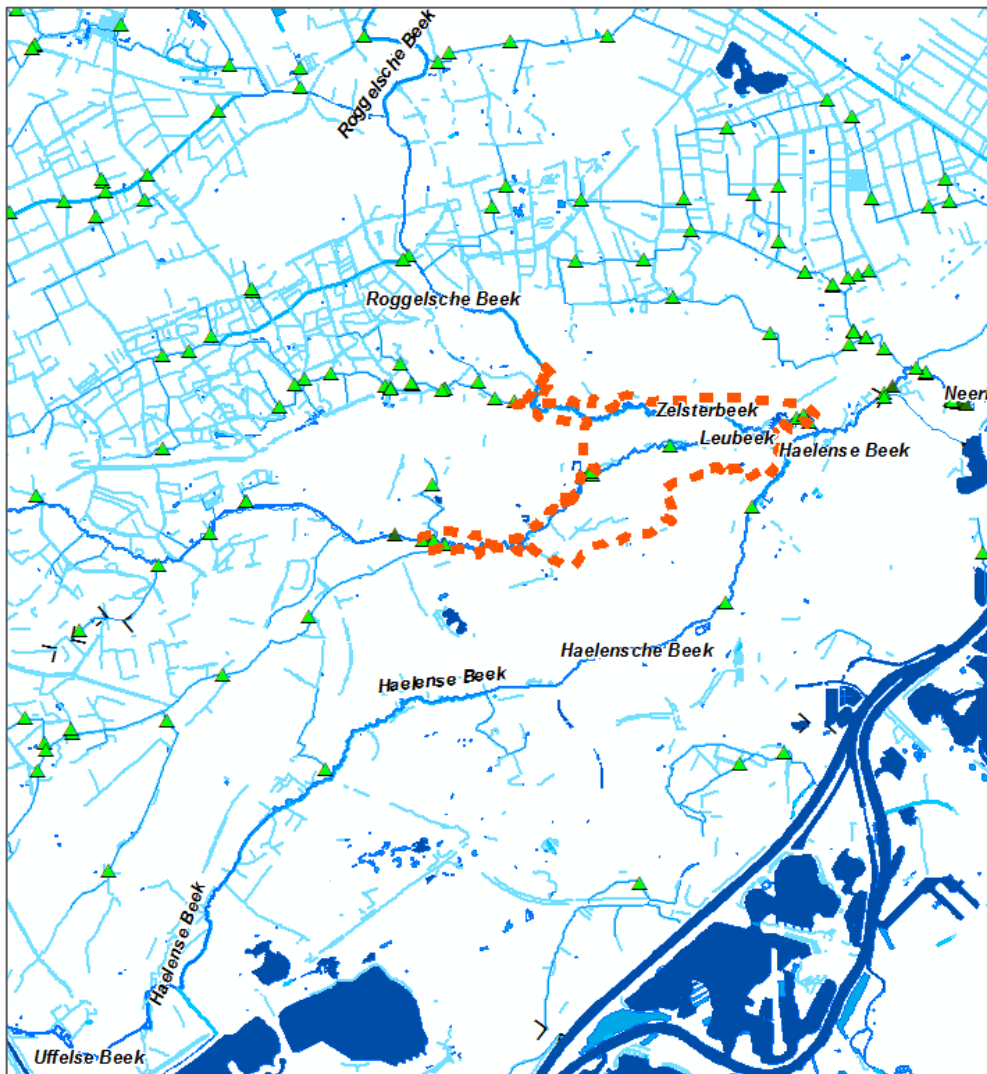


Afbeelding 2.20 Metingen van de stijghoogte (in m +NAP) in 6 filters (2 ondiep, 4 diep: mv 30.44 m +NAP, filter 1 t/m 6 resp. 30, 114, 157, 208, 293, 393 m -mv) in peilbuis B58A0087, ten noordwesten van het Leudal (zie overzichtskaartje rechtsonder voor ligging).

2.7 Oppervlaktewater

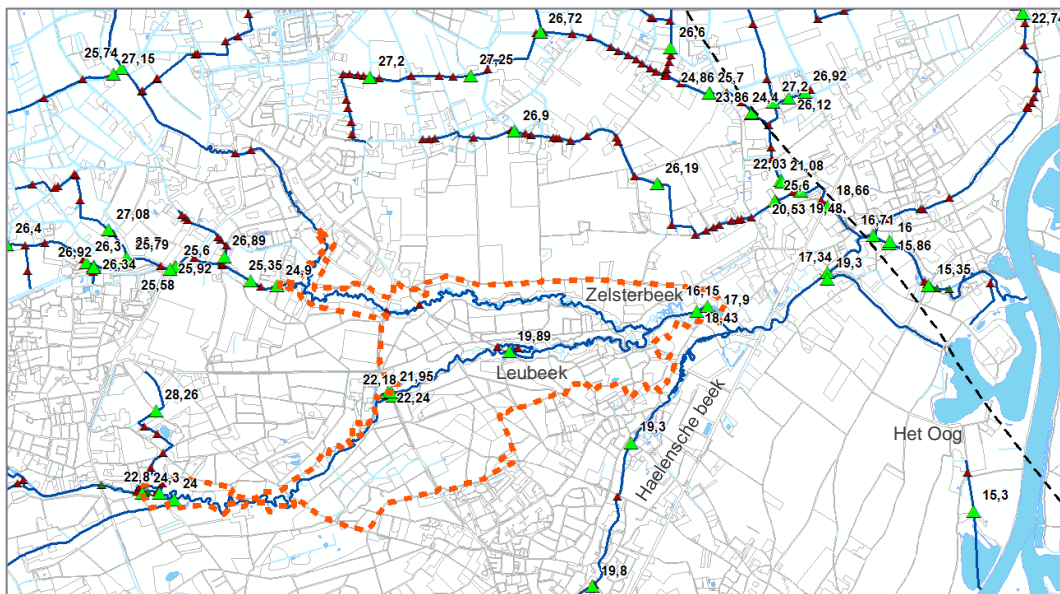
De stuw in de Maas bij Roermond heeft een peil van 16,75 m +NAP. Stroomafwaarts van deze stuw is het peil van de Maas 14,30 en ter hoogte van het Leudal 14,20 m +NAP. Het Lateraalkanaal, zie afbeelding 2.1 ten zuidoosten van het Leudal en ten westen van de Maas, heeft een peil van 14.3 m +NAP. De Maas en het Lateraalkanaal hebben daarmee een zeer grote invloed op het watersysteem in het gebied. Dit is te zien in afbeelding 2.16 aan de gemiddelde gemeten grondwaterstanden, waarbij de grondwaterstand lager is richting de Maas.

In afbeelding 2.21 is een overzicht gegeven van het watersysteem met de belangrijkste beken in het gebied. De beeklopen van de Zelsterbeek en de Leubeek verzorgen van oudsher een deel van de afwatering van het gebied van de Peelvenen in het noordwesten en van de kwelgebieden op de flanken van het Kempisch Plateau in het zuidwesten. De insnijding in het zandpakket heeft geleid tot diepe en smalle beekdalen.



Afbeelding 2.21 Oppervlaktewatersysteem rondom het Leudal (bron: Sobek model NBO_CO)

Het Leudal Natura 2000-plan geeft aan: “De Tungelroyse beek en Roggelse beek hebben hun oorsprong in veengebieden. De Tungelroyse beek begint in België ten westen van het Kanaal Wessen-Nederweert. Het stroomgebied van deze beek heeft een oppervlakte van 30.000 ha. Daarvan ligt 3.000 ha op Belgisch grondgebied op het Kempisch Plateau. De Roggelse beek, die zijn oorsprong vindt in de voormalige peelrestanten De Zoom en Het Bientje, voert water uit het zuidelijk Peelgebied af. De Roggelse Beek stroomt onder vrij verval tot aan de samenkomst met de Leubeek door het Leudal. Het grootste deel van het stroomgebied van beide beken bevindt zich dus bovenstrooms van het Natura 2000-gebied. Het Leudal vormt als het ware het ‘afvoerputje’ van beide beken.” Zie afbeelding 2.22 voor een overzicht van de hoofdwatergangen en stuwen in het gebied.



Afbeelding 2.22 Hoofdwaterlopen, stuwen (groene driehoeken), stuwpeilen en duikers (rode driehoeken) volgens SOBEK-model NBO_CO (case 1 'NBO_juni2016_begin') van WS Limburg

Vanwege de ligging van het Leudal, nabij de rand van de Maasterrassen, hebben de beken in het Leudal een groot verval. Dit verval bedraagt meer dan vier meter, zie afbeelding 2.23 rechts.



Afbeelding 2.23 Foto van duiker bovenstrooms van vistrap (links) en stuw Ursulamolen (sep 2016)

De beken meanderen vrij door het gebied: de bodemhoogte in het gebied zal dus ook enigszins van jaar tot jaar verschillen, doordat het water steile buitenbochten uitschuurt en vlakke binnenbochten vormt waar sediment wordt afgezet. Op enkele punten zijn er stuwen en molens met vistrappen. Ten behoeve van de werking van de molens en de vismigratie wordt het stuwpeil beïnvloed. Zo wordt bij de Ursulamolen ieder jaar het stuwpeil één tot anderhalve maand omlaag gezet, ongeveer vanaf begin april, omdat vissen anders niet meer de duiker net bovenstrooms de vistrap kunnen passeren, zie afbeelding 2.23. Ondertussen zijn er plannen dit aan te passen om de resulterende ongewenste verlaging van de grondwaterstand te voorkomen.

Ongeveer eenmaal per maand wordt het stuwpeil bij de Ursulamolen twee dagen opgezet om voldoende hoogte te hebben voor de molen om olie te slaan. Een dag voor de demonstratie, wordt het peil alvast opgezet. Vermoedelijk geeft dit maar een beperkte stijging van de grondwaterstand, maar een dag erna is het effect op het oppervlaktewater ongeveer zichtbaar tot bij de Elisabethsmolen. Bij het Leudalmuseum/Elisabethsmolen is in 2015 een stuwpeil verhoging van 0,9 m doorgevoerd, noodzakelijk voor de turbine van de watermolen. De invloed van deze peilverhoging werkt door tot locatie waar de stuw van Crijns eerder stond (aan de Molendijk).

Verder wordt in het Natura 2000-plan beschreven: “Binnen de begrenzing staan in de Leubeek twee watermolens: de St. Ursulamolen en de ruïne bij St. Elisabeth’s Hof. Daarnaast bevindt zich een stuw bij de zandvang². Hiermee wordt het waterpeil in de Leubeek geregeld. Eind 2006 - begin 2007 is het stuwpeil bij de St. Ursulamolen circa 50 cm verhoogd tot 21,20 m +NAP. Dit heeft een vernattend effect gehad op het beekdal, vooral direct bovenstrooms van de Ursulamolen.”

² Aan de benedenstroomse zijde van de zandvang is nog een tweede stuw, maar die heeft geen invloed op het peil in de Leubeek.

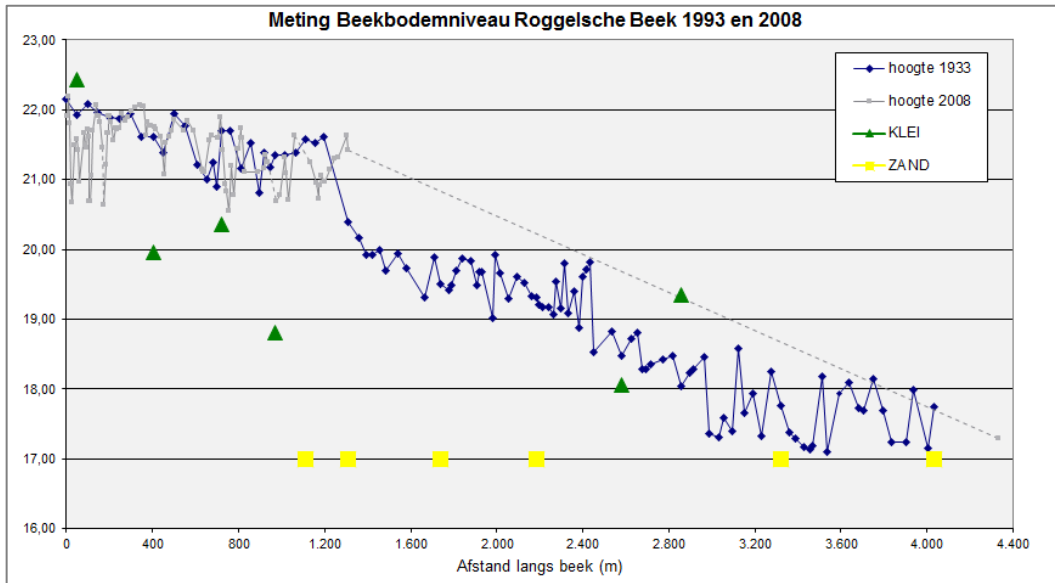
Van belang is of de beken insnijden tot in het watervoerende pakket. De beide beken hebben vrij constant afnemende bodemhoogten, er zijn geen bodemvallen met stroomversnellingen. Tijdens veldwerkzaamheden is, ter indicatie, de diepte van waterpeil tot bodem op verschillende plekken in beide beken bepaald. Deze varieerde van ongeveer 0,4 m tot 1,6 m, met een enkele uitschieter van 2,5 m.

Daarnaast is ter indicatie de slibdikte ingeschat. Deze varieerde van 10 tot 60 cm. Uiteraard variëren beide beekparameters sterk met de tijd door variaties in afvoer en stroomsnelheden, zie afbeelding 2.25. De kleilaag in het beekdal lijkt zich ter plaatse van de boringen op een niveau te bevinden onder de beekbodem. De verwachting is daarom dat de kleilaag doorloopt onder de beken en dat de beken niet insnijden tot in het eerste WVP. Uitzondering zijn de zones waar de klei ontbreekt in de boringen. De verwachting is dat de beek daar contact maakt met het eerste WVP.

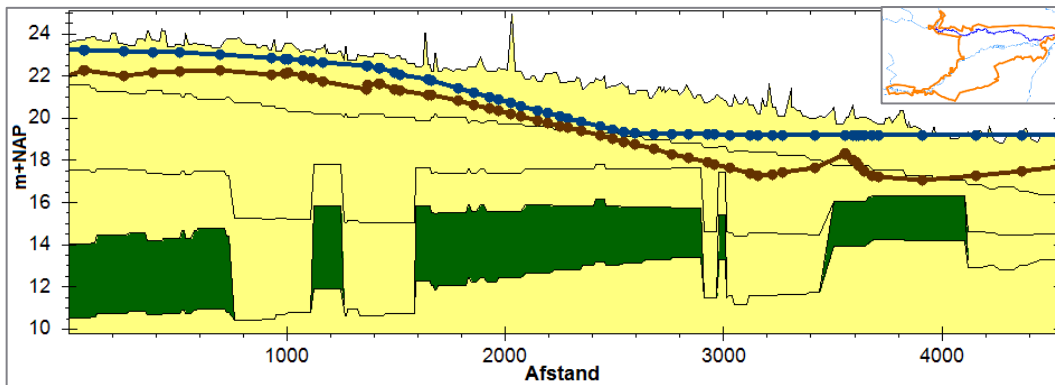


Afbeelding 2.24 Leubeek met beperkte drooglegging (bij duiker voor vistrap bij St. Ursulamolen).

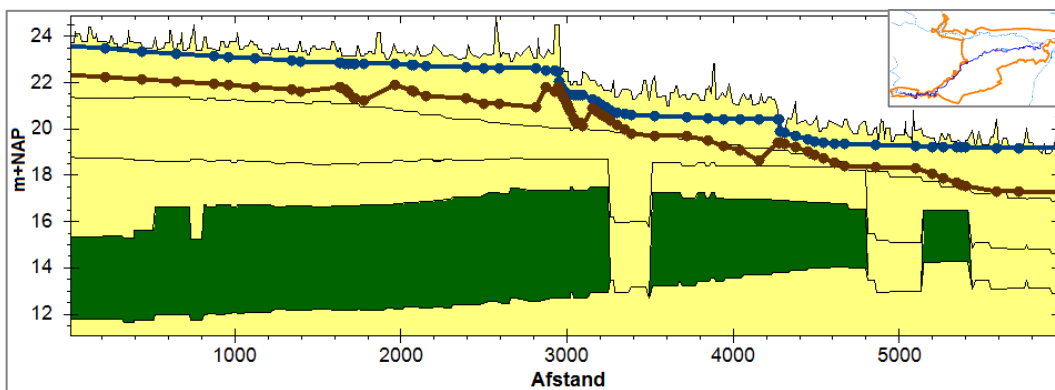
In afbeelding 2.26 en afbeelding 2.27 zijn dwarsprofielen te zien langs beide beken op basis van oppervlaktewatergegevens uit een recent SOBEK-model van het waterschap, het maai-veldniveau op basis van AHN 5x5 m en indicatie van de slecht doorlatende kleilaag uit de Formatie van Beegden die op basis van lokale boringen in het grondwatermodel is ingebracht. Deze dwarsprofielen bevestigen het beeld dat de beekbodem zich boven de kleilaag lijkt te bevinden en er niet doorheen snijdt. Uit het veldwerk bleek daarnaast dat lokaal nog dunne slecht doorlatende leemlaagjes aanwezig zijn en vooral in de beekdalen slecht doorlatende veenlagen.



Afbeelding 2.25 Beekbodem profielmeting Roggelsche Beek (1993) met indicatie aanwezigheid (groen) of ontbreken klei (geel) volgens de recente boringen van dit project.



Afbeelding 2.26 Beekbodem profiel Zelsterbeek met waterpeil (blauw) en beekbodem (bruin) op basis van data SOBEK-model (qhNBOqhBOS.lit, case '9 'NBO - qh winter 151008 FaDr definitief, gemiddeld winterpeil), maaiveldniveau op basis van AHN5x5, inclusief slecht doorlatende kleilaag uit Formatie van Beegden (bek1, groene vlakken)



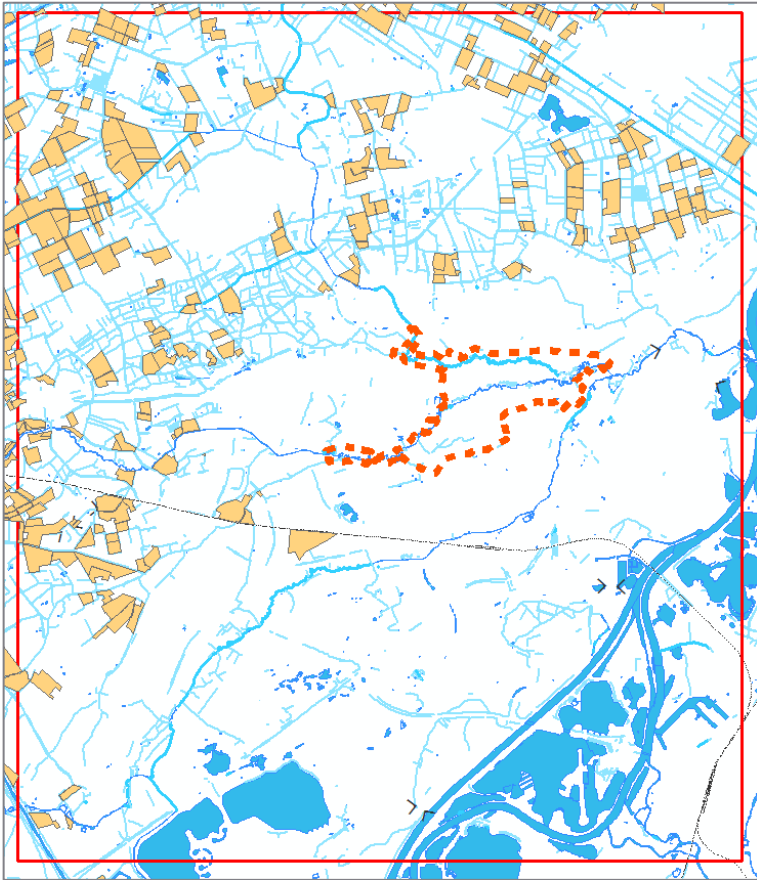
Afbeelding 2.27 Beekbodem profiel Leubeek met waterpeil (blauw) en beekbodem (bruin) op basis van data SOBEK-model (qhNBOqhBOS.lit, case '9 'NBO - qh winter 151008 FaDr definitief, gemiddeld winterpeil), maaiveldniveau op basis van AHN5x5, inclusief slecht doorlatende kleilaag uit Formatie van Beegden (bek1, groene vlakken)

Overige informatie over het oppervlaktewater in het gebied:

- Naderhand bleek dat de stuw bij de Ursulamolen de laatste tien jaar één- à tweemaal per maand helemaal omlaag is gehaald in verband met schoonmaak. Dit betreft zo'n drie dagen per keer.
- Het Speckerven staat permanent onder water; in 2016 zo hoog dat er problemen zijn voor vegetatie
- Het Langven valt meestal droog in het seizoen, maar in 2016 niet. Er zat een kleilaag onder, maar deze is gebruikt voor de baksteenindustrie en is grotendeels weggegraven. Aan de westzijde is nog een deel over. Bij een kartering is een rand van ongeveer 30 cm dik gevonden.
- Destijds zijn voor ontwatering van het Langven diepe greppels gegraven richting de Speckerbrug. Daarna hebben de greppels vrijwel geen water meer gevoerd.
- In het Bedelaarven is een eiland met zeldzame vegetatie. Er lijken hier bijzondere hydrologische omstandigheden aanwezig te zijn.
- Bij de andere vennen lijkt meer lemig zand te zijn, met meer wegzijging en droogval.
- Het Jonckerven (oostzijde), ten zuiden van oligotroof kwelmoerasje, bevat altijd water.
- Het Grote Bosven en de vennen eromheen staan eigenlijk ook nooit droog. Alleen het Kleine Wolfsklauwven in de hei valt wel droog.
- De Hazebeek is ongeveer tien jaar geleden hermeanderend gemaakt.
- De sloten in het landbouwgebied zijn naar verwachting geen noemenswaardige factor van invloed. Het landbouwgebied ligt hoog, ruim boven het grondwater.
- Opvallend in het Leudal zijn diverse gebiedjes, oude meanders, etc. waar vaak nog water staat, wat hoger dan het beekpeil. Op een aantal plekken was hier ijzerverkleuring te zien in de beek. Op andere plekken wordt de bruine kleur van het beekwater overigens veroorzaakt door algengroei.

2.8 Drainage

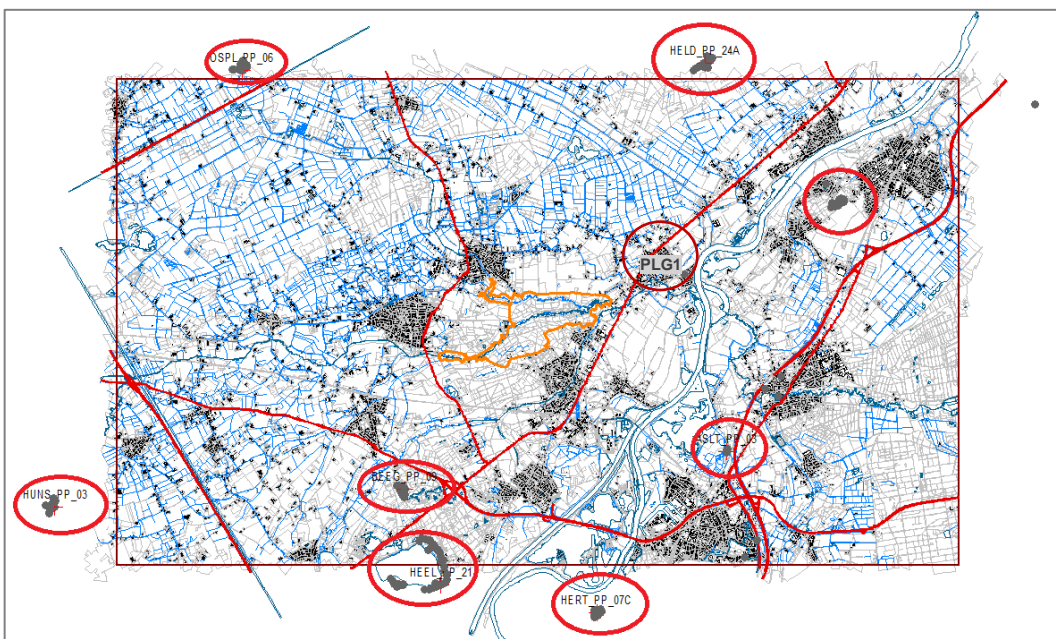
Drainage lijkt geen grote rol te spelen in het gebied met relatief diepe grondwaterstanden. Toch is er met name ten noordwesten van het Leudal nog relatief veel drainage in het gebied, zie afbeelding 2.28.



Afbeelding 2.28 Drainagevlakken (bron: Waterschap Limburg)

2.9 Onttrekkingen

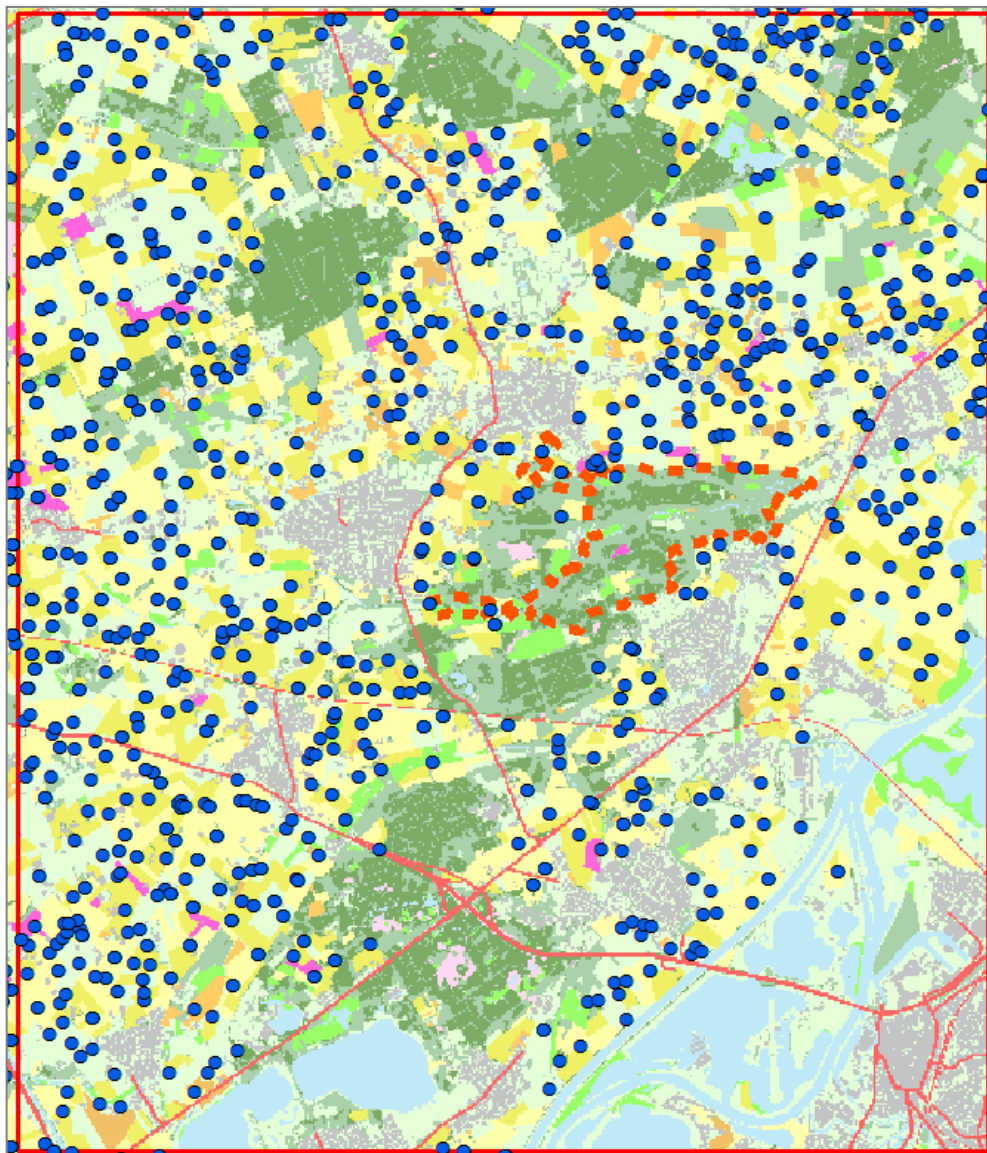
Er zijn diverse grote onttrekkingen geregistreerd rondom het Leudal, waarvan sommigen niet meer actief zijn. Zie afbeelding 2.29 en tabel 2.4. Daarnaast zijn er vele kleine onttrekkingen, voornamelijk voor beregening, zie afbeelding 2.30. De grootte hiervan is niet goed bekend.



Afbeelding 2.29 Grote onttrekkingen rondom het Leudal

Tabel 2.4 Grote waterwinningen rondom het Leudal

Afkorting	Bron	Som van gemiddeld debiet cluster (m ³ /d)	Ligging (modellaag IBv2)
OSPL	IBv2 / WML	-435	Diep (L13, onder KIK1)
HELD	IBv2 / WML	-53	Ondiep (L3)
BEEG	IBv2 / WML	-637	Middeldiep (L5/6)
HEEL	IBv2 / WML	-935	Middeldiep (L5/6)
HERT	IBv2 / WML	-158	Middeldiep (L5)
PLG1.1	IBv2 / PLG	-114	Ondiep (L3)
PLG1.2	IBv2 / PLG	-66	Middeldiep (L5)



Afbeelding 2.30 Aanwezigheid kleinere onttrekkingen rondom het Leudal met als achtergrond de LGN landgebruikskaat (lichtgroen is gras, geel is landbouw, groen is natuur, donkergroen is bos)

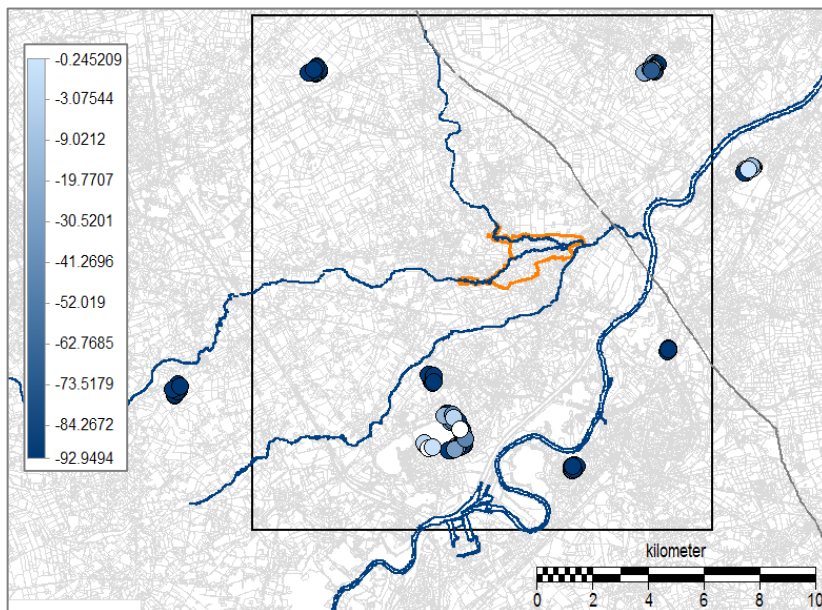
3 Modelprestaties uitgangsmodel

In dit hoofdstuk zijn de modelprestaties beschreven van het uitgangsmodel. In dit project gaat het om het krijgen van een eerste indicatie van de effecten van een aantal maatregelen, in een gemiddelde situatie. Hiervoor voldoet een stationair model. Er is uitgegaan van stationaire modelberekeningen op basis van een uitsnede (model ORG) uit het IBRAHYM 2.0 casco-model (IBv2.0), dat wil zeggen, zonder SIMGRO-bakjesmodel voor oppervlaktewater.

Het uitgangsmodel en alle andere modelversies in dit project zijn stationair doorgerekend met iMODFLOW 4.1 op een modelresolutie van 25 m. Het model bevat de belangrijkste omgevingsfactoren, zoals het Lateraalkanaal. IBRAHYM v2 heeft niet-stationaire modelinvoer voor de periode 01-1997 t/m 12-2011. De modelinvoer voor het stationaire model, inclusief de kalibratieset, is bepaald over deze periode.

3.1 Modelrand

De modelgrenzen liggen zo ver, dat effecten van ingrepen in het watersysteem er niet door beïnvloed worden, zie bijlage B3 voor deze controle. Verder is de modelgrens aangepast, zodat de grote winningen er duidelijk wel of niet in vallen. Zie afbeelding 3.1 voor de resulterende modelrand.



Afbeelding 3.1 Ligging modelrand (zwarte rechthoek) ten opzichte van Leudal (oranje), Maas en grote beken (blauw) en grote onttrekkingen (bolletjes, kleur geeft debiet in m³/d).

3.2 Kalibratie- en validatieset

De standaard kalibratie-/validatieset van IBRAHYM v2 bestaat uit stijghoogtemeetreeksen uit DINOloket die door KWR via tijdreeksanalyse zijn gehomogeniseerd tot stijghoogte-reeksen over de modelperiode 1997-2011. Deze set geeft echter relatief weinig meetreeksen in het Leudal. Er zijn voor deze opdracht daarom in augustus 2016 aanvullende peilbuizen geplaatst.

Voor deze modelstudie is gebruik gemaakt van de metingen in de periode augustus 2016 t/m december 2016. Via lineaire regressie is de correlatie bepaald tussen deze korte reeksen en nabij gelegen, langjarige meetreeksen met een vergelijkbaar verloop. Zie paragraaf 2.6.2 en bijlage 2 voor details. Voor de zes peilbuizen van Kuypers Kessel rondom de zandwinplas bij Neer is op dezelfde wijze de GG geschat. Deze set wordt kalibratie-/validatieset 'Totaal' genoemd.

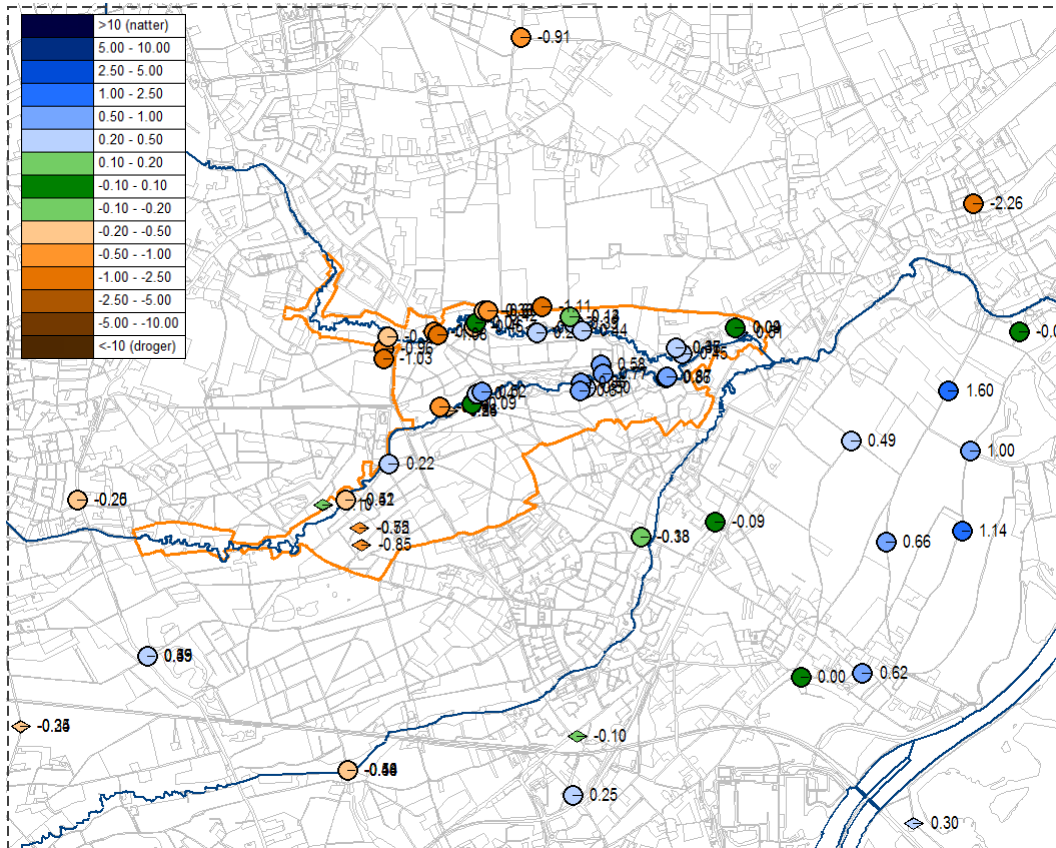
Daarnaast zijn er extra peilbuizen uit DINOloket gebruikt die nog niet in de validatieset van IBv2.0 zaten, maar wel een goede indicatie geven van de GG in het gebied. Deze set wordt kalibratie-/validatieset 'Extra' genoemd. In de tabellen zijn de peilfilters met langjarige metingen uit de kalibratieset van IBRAHYM v2 (uit DINOloket), extra filters uit DINOloket en de korte, geëxtrapoleerde projectmetingen in het Leudal samengevoegd.

3.3 Prestaties uitgangsmodel

In onderstaande tabellen en kaarten zijn de modelprestaties van het uitgangsmodel gegeven. Er zijn steeds tabellen en kaarten voor het interessegebied (het Leudal en direct omliggend gebied, zie kaarten) en het totale modelgebied.

In de statistieken voor het totale modelgebied (tabel 3.2) lijkt het uitgangsmodel, vooral in de bovenste modellagen, redelijk goed te presteren. In de kaart (afbeelding 3.3) is echter een systematische afwijking zichtbaar. Gemiddeld over alle modellagen (naar rato van het aantal filters) is het model te nat. Wanneer wordt ingezoomd naar het interessegebied (tabel 3.1 en afbeelding 3.2), wordt zichtbaar dat de gemiddelde afwijking in de bovenste modellagen een stuk groter is en dat er een duidelijke systematische afwijking van het noordwesten ten opzichte van het zuidoosten van het modelgebied is. Gemiddeld over alle modellagen is er maar een beperkte afwijking. De gemiddelde absolute afwijking is echter 0,5 m, met incidenteel veel grotere afwijkingen, zichtbaar in de percentielen. In afbeelding 3.4 is de berekende tegen de gemeten grondwaterstand getoond, bij legendaklassen van 0,5 m breedte. Te zien is dat het model het stijghoogtepatroon al wel redelijk goed benadert, maar dat er lokaal nog relatief grote afwijkingen zijn.

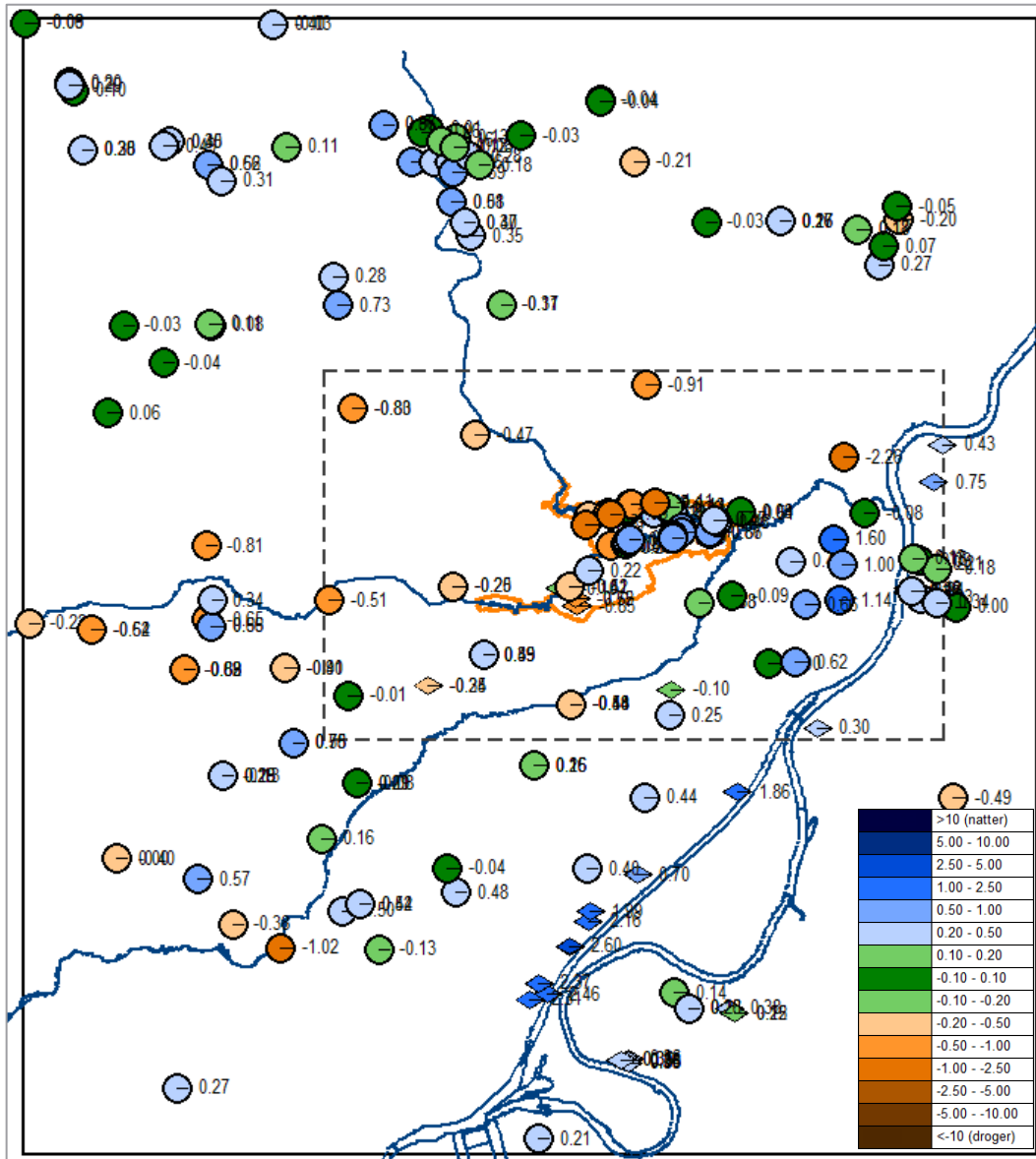
Daarnaast blijkt er een aantal grote tekortkomingen in het uitgangsmodel, zoals bijvoorbeeld het ontbreken van de beregeningsputten, terwijl er wel wordt berekend en een te hoog Maaspeil, zie hoofdstuk 4 voor details. Correctie voor deze issues geeft een veel te droog model. Duidelijk daarmee is dat het uitgangsmodel nog niet voldoet.



Afbeelding 3.2 Residuen (m) ORG, modellagen 1-6 (freatisch/WVP1) interessegebied voor kalibratieset 'Totaal' (bolletjes) en 'Extra' (ruiten)

Tabel 3.1 Modelresiduen (m) ORG, validatieset modellagen 1-11 in interessegebied (ME= Mean Error, MAE=Mean Absolute Error, RMSE=Root Mean Square Error, SSE=SumSquaredError)

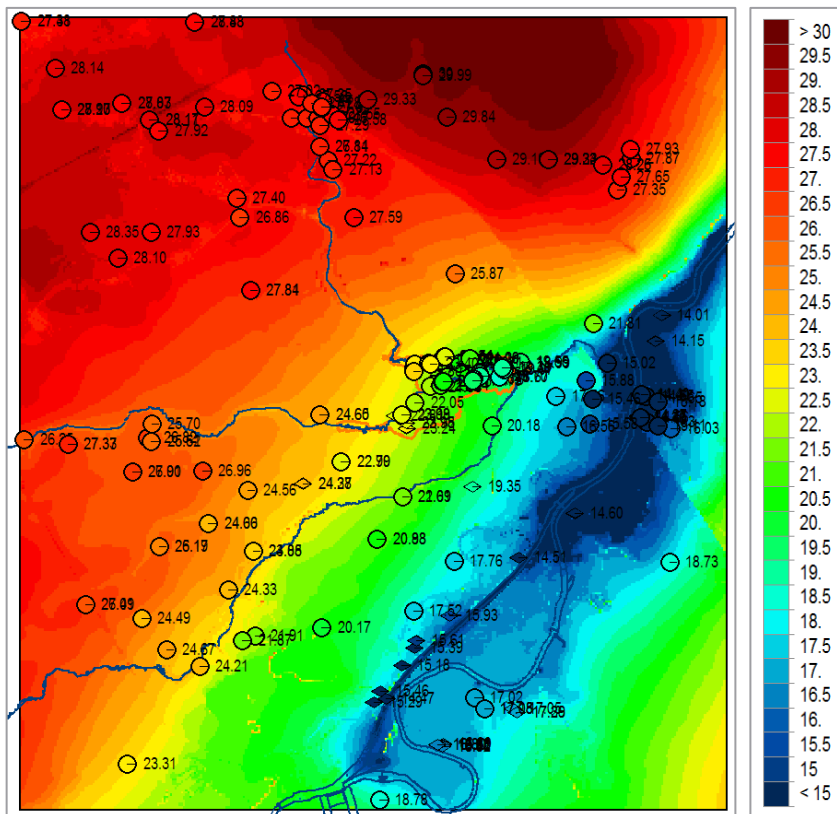
Layer	N	ME	MAE	SD(ME)	RMSE	SSE	Min.	Max.	Range	25%-pct	50%-pct	75%-pct	100%-pct
1	1	-0,48	0,48	0,00	0,48	0,23	-0,48	-0,48	0,00	-0,48	-0,48	-0,48	-0,48
2	29	-0,22	0,46	0,59	0,62	11,33	-2,26	0,59	2,85	-0,46	-0,24	0,22	0,59
3	21	0,15	0,52	0,56	0,58	6,98	-1,03	0,87	1,90	-0,36	0,36	0,58	0,87
4	2	0,90	0,90	0,24	0,93	1,74	0,66	1,14	0,48	0,66	0,66	0,66	1,14
5	9	-0,01	0,67	0,82	0,82	6,09	-1,08	1,60	2,68	-0,48	-0,20	0,39	1,60
6	11	-0,15	0,39	0,47	0,49	2,64	-1,11	0,62	1,73	-0,47	-0,10	0,00	0,62
11	1	-0,21	0,21	0,00	0,21	0,04	-0,21	-0,21	0,00	-0,21	-0,21	-0,21	-0,21
Total	74	-0,05	0,50	0,63	0,63	29,04	-2,26	1,60	3,86	-0,46	-0,10	0,44	1,60



Afbeelding 3.3 Residuen (m) ORG, modellagen 1-6 (freatisch/WVP1) totale modelgebied voor kalibratieset 'Totaal' (bolletjes) en 'Extra' (ruitjes).

Tabel 3.2 Modelresiduen (m) ORG, validatieset modellagen 1-13 in totale modelgebied

Layer	N	ME	MAE	SD(ME)	RMSE	SSE	Min.	Max.	Range	25%-pct	50%-pct	75%-pct	100%-pct
1	8	-0,03	0,22	0,28	0,29	0,65	-0,48	0,51	0,99	-0,21	-0,04	-0,03	0,51
2	66	-0,01	0,41	0,53	0,53	18,53	-2,26	0,75	3,01	-0,34	0,09	0,36	0,75
3	57	0,17	0,36	0,41	0,45	11,45	-1,03	0,87	1,90	-0,04	0,21	0,43	0,87
4	14	0,23	0,42	0,47	0,52	3,82	-0,80	1,14	1,94	0,01	0,31	0,39	1,14
5	36	0,18	0,49	0,65	0,67	16,19	-1,08	2,46	3,54	-0,33	0,23	0,40	2,46
6	40	0,32	0,66	0,91	0,97	37,54	-1,11	2,60	3,71	-0,18	0,12	0,49	2,60
7	9	0,23	0,34	0,30	0,37	1,26	-0,40	0,54	0,94	0,17	0,30	0,48	0,54
8	1	0,47	0,47	0,00	0,47	0,22	0,47	0,47	0,00	0,47	0,47	0,47	0,47
9	2	-0,15	0,15	0,14	0,21	0,08	-0,29	-0,01	0,28	-0,29	-0,29	-0,29	-0,01
10	1	0,54	0,54	0,00	0,54	0,29	0,54	0,54	0,00	0,54	0,54	0,54	0,54
11	2	0,14	0,35	0,35	0,38	0,28	-0,21	0,49	0,70	-0,21	-0,21	-0,21	0,49
13	5	0,71	0,91	0,70	1,00	4,99	-0,50	1,69	2,19	0,62	0,84	0,89	1,69
Total	241	0,16	0,45	0,61	0,63	95,31	-2,26	2,60	4,86	-0,13	0,18	0,44	2,60



Afbeelding 3.4 Berekende stijghoogte in laag 1, versus gemeten stijghoogten (m +NAP) in L1-6

4 Modelverbetering en kalibratie

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zijn de aanpassingen beschreven voor het verbeteren van het uitgangsmodel, de uitsnede uit IBv2.0 (model ORG). Het model is in verschillende stappen verbeterd:

- BASIS0, verbetering van conceptuele tekortkomingen die vrij zeker waren;
- BASIS1, verbetering van conceptuele tekortkomingen die wat minder zeker waren;
- BASIS2, verbetering/kalibratie op de resterende onzekere parameters.

De kalibratie bestond vooral uit een handmatige kalibratie op basis van systeeminzicht en vergelijking met de beschikbare metingen. Automatische kalibratie gaf geen bevredigende resultaten. Ter indicatie van de werkelijke grondwaterstand zijn nog extra aanvullende peilbuisfilters met relatief korte reeksen uit DINOloket gebruikt, mits deze een plausibel beeld geven van de grondwaterstand, gezien peilen, maaiveld, etc.

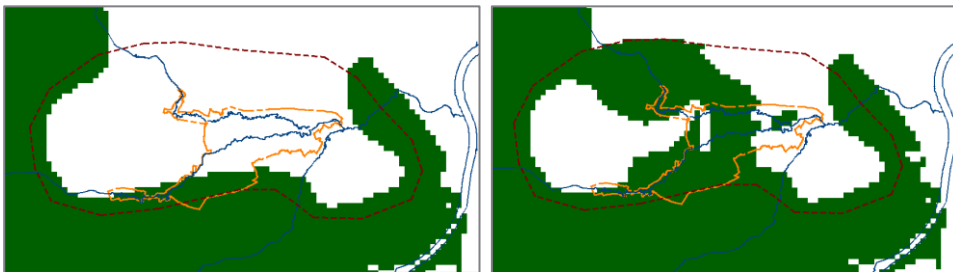
Uit de systeemanalyse blijkt dat het Leudal en omgeving een zeer heterogeen gebied is, met dunne veen- en leemlagen en kleine vennen, die duiden op het voorkomen van schijngrondwaterspiegels. Er is echter veel onzekerheid over het voorkomen van deze storende lagen. Dergelijke details zijn niet goed te modelleren met een grof regionaal model. Een resolutie van 25x25 m is al grof en de beschikbare detailkennis te beperkt. Residuen kleiner dan 0,2 m moeten hier dan ook niet worden verwacht. Vanwege de gradiënten in maaiveldverloop, maar ook in de gemiddelde meetwaarden waarmee wordt vergeleken, zijn absolute afwijkingen kleiner dan 0,5 m al niet slecht. Als meerdere filters in een modellaag voorkomen, wordt wel gestreefd naar een kleine gemiddelde afwijking.

4.2 Belangrijkste verbeteringen

Zie bijlage 5 voor een nadere beschrijving van de modelverbeteringen en tabel B5.1 voor een overzicht. De belangrijkste verbeteringen zijn de volgende gebleken:

- BASIS0. De volgende grotere conceptuele tekortkomingen waren in het uitgangsmodel aanwezig:
 - Een te hoog Maaspeil, doordat het gemiddelde werd gebruikt in plaats van de mediaan. Het gemiddelde is gevoeliger voor de pieken in de Maasstanden en gaf daardoor een te hoog Maaspeil. Na correctie kwam het Maaspeil ongeveer 15 tot 30 cm lager te liggen dan in IBRAHYM v2.0.
 - Er werd dubbel berekend, zowel via grondwateraanvulling als via een tweede berekening-recharge-bestand. Daarnaast ontbraken beregeningsputten.
 - Het stationaire onttrekkingsdebiet was bepaald met de mediaan in plaats van gemiddeld, waardoor nul-waarden relatief zwaar meewogen. Dit is zeker een issue voor drinkwaterwinningen met meerdere putten die afwisselend uit en aan staan.
 - De breuken in het model bleken toegekend aan verkeerde modellagen, nog gebaseerd op IBAHYM v1. Met name de Peelrandbreuk had hierdoor een relatief lage weerstand in de onderste lagen van het model.
 - De zandwinplas ten oosten van het Leudal bij Neer, die met de Maas is verbonden, was te klein geschematiseerd en nog niet verwerkt in het lagenmodel.

- BASIS1. Dit betref de volgende relatief zekere aanpassingen:
 - Ingemeten bodemhoogten en beter bekende peilen voor de A-waterlopen rondom het Leudal op basis van een recenter SOBEK-model. Deze nieuwe peilen en bodemhoogten zijn geverifieerd met recente veldschattingen. Er is wel een correctie uitgevoerd op infiltratiefactoren op basis van een bestand van het waterschap met een indicatie met watervoerendheid. Hiermee is onterechte infiltratie in een groot aantal A-waterlopen voorkomen.
 - Een correctie in de Zelsterbeek van de te lage bodemhoogte en peilen door ontbrekende inmetingen in het SOBEK-model.
 - Op basis van een opgaaf van de agrariërs in het onderzoeksgebied van de LTTB is de beregeningsgift verlaagd naar 66% van de eerder gehanteerde 100 mm/j.
 - Kleilaag met dikte 2 m opgenomen onder modellaag 4 (Beegden klei, BEK1) op basis van lokale boringen in het Leudal. Er zijn gaten ingebracht waar klei ontbrak in de boringen, zie onderstaande afbeelding.



Afbeelding 4.1 voorkomen van de bovenste kleilaag van de Formatie van Beegden (BEK1) in IBRAHYM v2.0 (links) en na correctie op basis van lokale boringen in het Leudal (rechts).

- BASIS2. Dit betreft kalibratie van minder zekere parameters:
 - Uitzondering hierbij is de grondwateraanvulling, dit was een relatief zekere aanpassing. Er bleek (op basis van vakliteratuur) dat deze niet juist in IBRAHYM v2.0 zat vanwege neerslaggrids met te weinig neerslag. Op basis van de gemiddelde neerslag over 1997-2011 van de KNMI-neerslagstations en referentiegewasverdamping is de grondwateraanvulling opnieuw bepaald. Met de gangbare Makkink gewasfactoren per landgebruikstype en de landgebruikskaart is de potentiële verdamping geschat uit de referentiegewasverdamping. Vervolgens is via een correctiefactor een indicatie verkregen van de actuele verdamping op basis van de potentiële verdamping. De interceptieverdamping is verwerkt in de Makkink gewasfactoren. Het verschil tussen de neerslag en de actuele verdamping geeft de grondwateraanvulling.
 - Verlagen kh-waarden binnen een plausibel bereik op basis van de geologische formatie, residuen en het voorkomen van zeer fijn, bijna plakkerig zand in en rondom het Leudal. Boxelzand heeft in dit geval een zeer fijne zandfractie, waar Beegdenzand een grovere structuur en hogere doorlatendheid heeft.
 - Enkele kleinere gaten in slecht doorlatende lagen bij extreme residuen zijn gecorrigeerd op basis van verschillen in stijghoogten boven en onder deze lagen.
 - De doorlatendheid van de beekbodem is vooral benedenstrooms in het Leudal, verhoogd om te hoog berekende grondwaterstanden te verlagen.
 - Correctie van kalibratieset: ver gelegen, ondiepe filters die het gemiddelde beeld verstoren zijn verwijderd uit de kalibratieset. Zie bijlage 5.
 - Een grindbaan is in de ondergrond opgenomen aan de oostzijde in het Leudal.

4.3 Modelprestaties verbeterde model

De modelresiduen zijn vergeleken per submodel, voor het interessegebied nabij het Leudal (tabel 4.1 en tabel 4.2) en voor het totale modelgebied (tabel 4.3 en tabel 4.4).

BASIS1_BAS geeft hierbij het model met alle aanpassingen van model BASIS0,

BASIS2_BAS geeft het model met alle aanpassingen van model BASIS1.

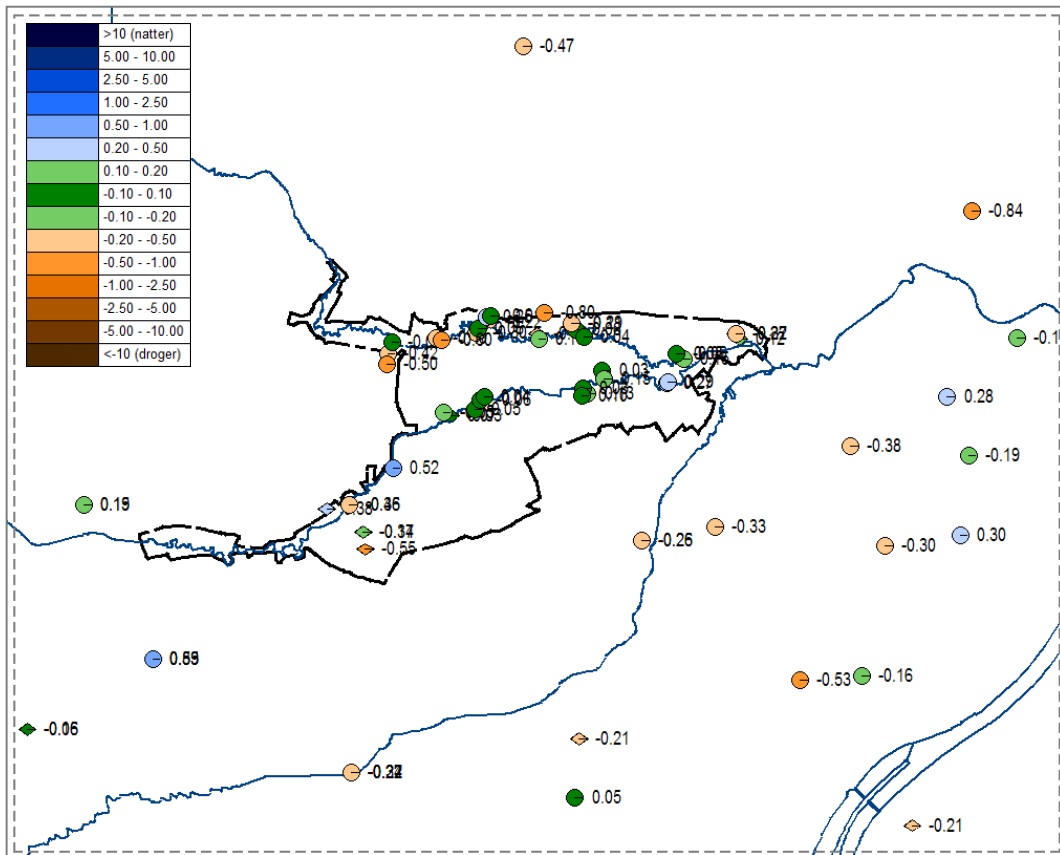
Tabel 4.1 Gem. modelresiduen (Mean Error) per submodel, interessegebied

Set	Lay-er	N	ORG	BASIS1	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	
			BAS	BAS	BAS	01GWA	02KLEI	03MAAS	04MAAS	05SDL9	06SDL4	07KHV	08KHV2	09RIV	10LEUDAL	11LEUDAL
						LAAG	COND	CORR				COND	CORR	CORR2		
			HORS													
Totaal_ interessegebied	2	17	-0,20	-0,38	-0,41	-0,32	-0,30	-0,32	-0,35	-0,35	-0,36	-0,21	-0,15	-0,14	0,04	-0,05
	3	24	0,15	0,00	-0,15	-0,09	-0,09	-0,10	-0,11	-0,11	-0,12	-0,03	0,03	0,01	0,17	0,03
	4	5	0,32	-0,06	-0,12	0,04	0,04	-0,03	-0,05	-0,05	-0,07	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	-0,01
	5	11	0,00	-0,32	-0,36	-0,25	-0,24	-0,29	-0,35	-0,35	-0,37	-0,29	-0,14	-0,14	-0,04	-0,08
	6	11	-0,18	-0,50	-0,55	-0,43	-0,43	-0,49	-0,57	-0,57	-0,57	-0,48	-0,22	-0,23	-0,15	-0,21
	9	1	-0,29	-0,63	-0,70	-0,50	-0,50	-0,51	-0,54	-0,54	-0,54	-0,40	-0,12	-0,12	-0,06	-0,08
	11	1	-0,21	-0,47	-0,49	-0,39	-0,39	-0,45	-0,51	-0,52	-0,53	-0,41	-0,16	-0,18	-0,09	-0,21
	13	1	-0,50	-0,67	-0,72	-0,65	-0,64	-0,66	-0,67	-0,68	-0,68	-0,48	-0,42	-0,42	-0,41	-0,42
Total	71	-0,02	-0,25	-0,32	-0,23	-0,22	-0,26	-0,29	-0,29	-0,30	-0,20	-0,09	-0,10	0,03	-0,06	

Zie tabel B5.1 in bijlage 5 voor een samenvatting van alle verbeteringen per submodel. Van het laatste submodel BASIS2_11LEUDALCORR2 zijn in afbeelding 4.2 en afbeelding 4.3 zijn residukaarten opgenomen voor respectievelijk het interessegebied (afbeelding 4.2), nabij het Leudal, en het totale modelgebied (afbeelding 4.3). In afbeelding 4.10 is te zien dat het ondiepe stijghoogtepatroon nu ook beter benaderd wordt dan volgens afbeelding 3.4. Zichtbaar is ook dat de modelresiduen stap voor stap beter worden, zowel de gemiddelde residuen per modellaag, ter indicatie van de systematische fout, als de gemiddelde absolute residuen per modellaag.

Tabel 4.2 Gem. abs. modelresiduen (Mean Absolute Error) per submodel, interessegebied

Set	Lay-er	N	ORG	BASIS1	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	
			BAS	BAS	BAS	01GWA	02KLEI	03MAAS	04MAAS	05SDL9	06SDL4	07KHV	08KHV2	09RIV	10LEUDAL	11LEUDAL
						LAAG	COND	CORR				COND	CORR	CORR2		
			HORS													
Totaal_ interessegebied	2	17	0,52	0,54	0,53	0,50	0,48	0,49	0,51	0,51	0,51	0,42	0,35	0,34	0,30	0,27
	3	24	0,48	0,48	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,37	0,33	0,28	0,17	
	4	5	0,64	0,45	0,39	0,42	0,42	0,38	0,36	0,36	0,34	0,33	0,20	0,20	0,19	0,20
	5	11	0,56	0,63	0,54	0,49	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48	0,42	0,27	0,27	0,24	0,26
	6	11	0,42	0,56	0,59	0,51	0,51	0,54	0,60	0,60	0,60	0,53	0,34	0,35	0,29	0,33
	9	1	0,29	0,63	0,70	0,50	0,50	0,51	0,54	0,54	0,54	0,40	0,12	0,12	0,06	0,08
	11	1	0,21	0,47	0,49	0,39	0,39	0,45	0,51	0,52	0,53	0,41	0,16	0,18	0,09	0,21
	13	1	0,50	0,67	0,72	0,65	0,64	0,66	0,67	0,68	0,68	0,48	0,42	0,42	0,41	0,42
Total	71	0,50	0,53	0,50	0,47	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,43	0,33	0,31	0,27	0,24	



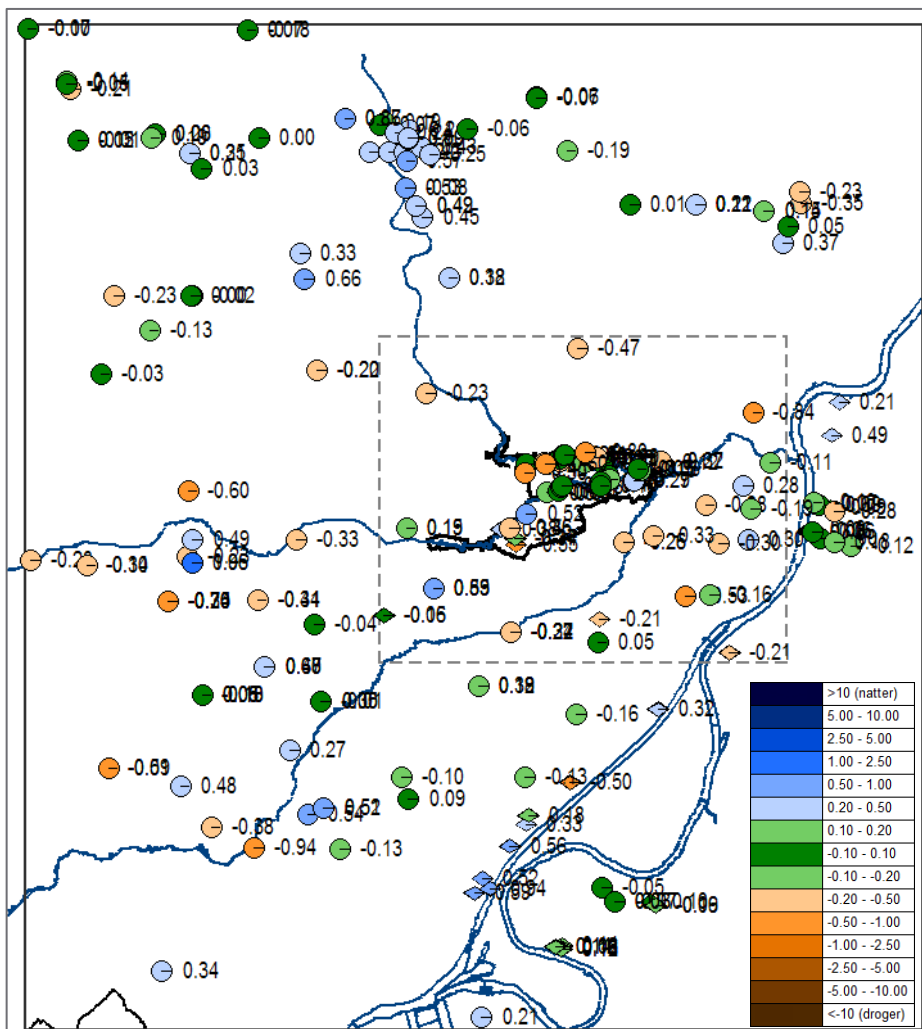
Afbeelding 4.2 Residuen (m) BASIS2_11LEUDALCORR2, modellagen 1-6 (freatisch/WVP1) interessegebied voor kalibratieset 'Totaal' (bolletjes) en 'Extra' (ruiten).

Tabel 4.3 Gem. modelresiduen (Mean Error) per submodel, totale modelgebied

Set Lay- er	N	ORG	BASIS1	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	
		BAS	BAS	BAS	01GWA	02KLEI	03MAAS	04MAAS	05SDL9	06SDL4	07KHV	08KHV2	09RIV	10LEUDAL	11LEUDAL	
					LAAG	COND	CORR						COND	CORR	CORR2	
					HORS											
Totaal	1	6	-0,04	-0,29	-0,27	-0,13	-0,13	-0,13	-0,14	-0,14	-0,14	-0,07	-0,08	-0,08	-0,08	-0,08
	2	45	-0,03	-0,26	-0,28	-0,12	-0,11	-0,13	-0,15	-0,15	-0,15	-0,05	0,03	0,03	0,11	0,08
	3	53	0,19	0,01	-0,09	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,10	0,17	0,11
	4	9	0,15	-0,19	-0,27	-0,08	-0,08	-0,12	-0,14	-0,14	-0,15	-0,08	-0,03	-0,03	-0,01	-0,02
	5	31	0,10	-0,15	-0,21	-0,10	-0,10	-0,13	-0,18	-0,18	-0,19	-0,12	-0,02	-0,03	0,01	0,00
	6	31	-0,03	-0,31	-0,40	-0,26	-0,25	-0,28	-0,33	-0,33	-0,33	-0,26	-0,07	-0,07	-0,03	-0,06
	7	7	0,24	0,02	-0,08	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,08	0,15	0,15	0,16	0,16
	8	1	0,47	0,31	0,05	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,18	0,18
	9	2	-0,15	-0,41	-0,56	-0,41	-0,41	-0,41	-0,43	-0,43	-0,43	-0,34	-0,14	-0,14	-0,10	-0,12
	10	1	0,54	0,37	0,10	0,22	0,22	0,22	0,22	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
	11	2	0,14	-0,13	-0,21	-0,06	-0,06	-0,09	-0,13	-0,13	-0,14	-0,09	0,13	0,12	0,18	0,12
	13	5	0,71	0,56	0,26	0,34	0,34	0,33	0,33	0,32	0,32	0,11	0,16	0,16	0,17	0,16
	Total	193	0,09	-0,14	-0,21	-0,08	-0,08	-0,09	-0,12	-0,12	-0,13	-0,06	0,03	0,03	0,08	0,05

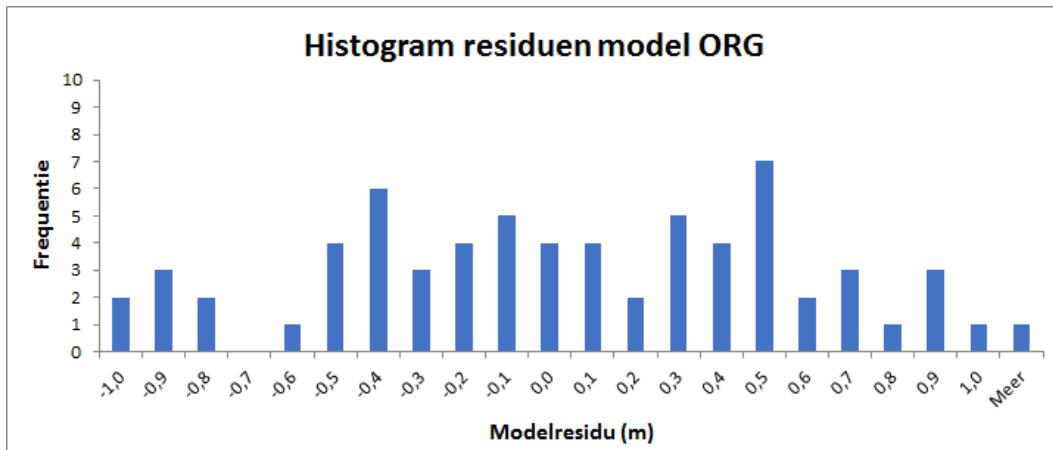
Tabel 4.4 Gem. absolute modelresiduen (Mean Absolute Error) per submodel, modelgebied

Set	Lay-er	N	ORG	BASIS1	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2	BASIS2
			BAS	BAS	BAS	01GWA	02KLEI	03MAAS	04MAAS	05SDL9	06SDL4	07KHV	08KHV2	09RIV	10LEUDAL
						LAAG			COND			CORR			
			HORS												
Totaal	1	6	0,13	0,29	0,27	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20	0,20
	2	45	0,41	0,45	0,45	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,37	0,34	0,34	0,32
	3	53	0,36	0,32	0,30	0,30	0,30	0,30	0,31	0,31	0,31	0,32	0,30	0,29	0,27
	4	9	0,45	0,42	0,42	0,36	0,36	0,34	0,33	0,33	0,32	0,26	0,15	0,15	0,14
	5	31	0,46	0,44	0,39	0,37	0,37	0,36	0,38	0,38	0,38	0,35	0,27	0,27	0,26
	6	31	0,39	0,47	0,50	0,43	0,42	0,44	0,47	0,47	0,47	0,43	0,32	0,33	0,30
	7	7	0,39	0,27	0,22	0,27	0,27	0,27	0,25	0,26	0,26	0,28	0,29	0,29	0,28
	8	1	0,47	0,31	0,05	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17	0,18
	9	2	0,15	0,41	0,56	0,41	0,41	0,41	0,43	0,43	0,43	0,34	0,14	0,14	0,10
	10	1	0,54	0,37	0,10	0,22	0,22	0,22	0,22	0,15	0,15	0,16	0,15	0,15	0,15
	11	2	0,35	0,34	0,28	0,32	0,32	0,35	0,38	0,38	0,39	0,32	0,29	0,30	0,27
	13	5	0,91	0,82	0,55	0,60	0,60	0,60	0,59	0,59	0,59	0,33	0,33	0,33	0,33
	Total	193	0,41	0,41	0,39	0,37	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37	0,37	0,34	0,30	0,29

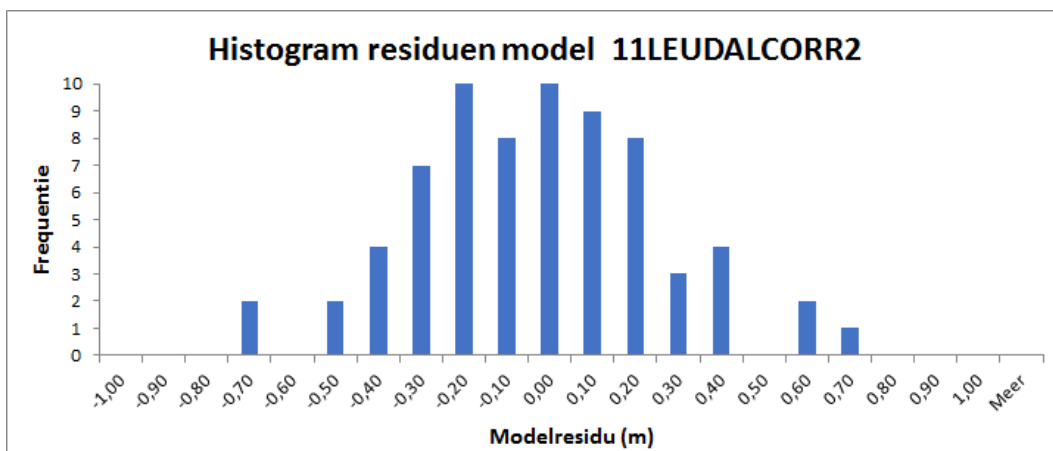


Afbeelding 4.3 Residuen (m) BASIS2_11LEUDALCORR2, modellagen 1-6 (freatisch/WVP1) totale modelgebied voor kalibratieset 'Totaal' (bolletjes) en 'Extra' (ruiten).

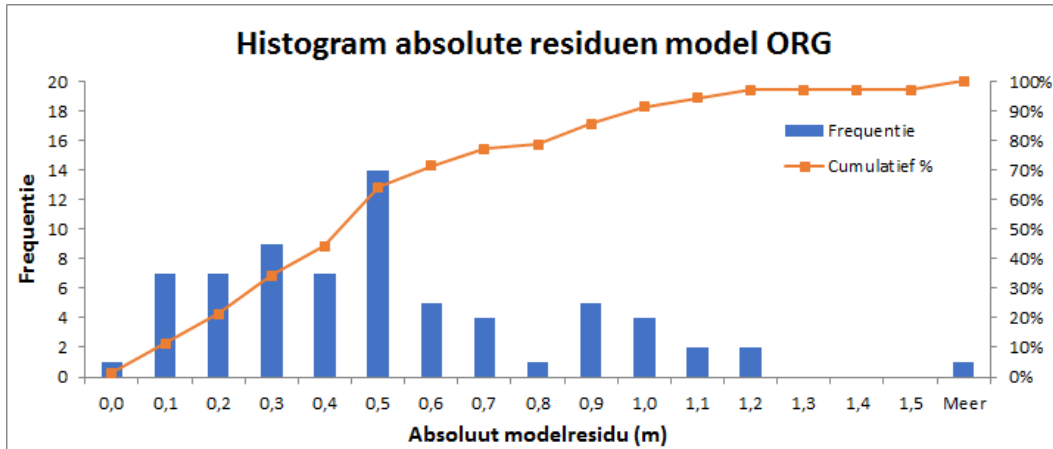
In afbeelding 4.4 t/m afbeelding 4.7 zijn histogrammen getoond van de residuen en absolute residuen in het interessegebied, zowel voor het uitgangsmodel als het verbeterde model. Hierin is bijvoorbeeld te zien dat het uitgangsmodel voor 21% van de filters een afwijking geeft van minder dan 0,2 m en voor 34% een afwijking van minder dan 0,4 m. Het verbeterde model geeft voor 50% van de filters een afwijking van minder dan 0,2 m en voor 84% van de filters een afwijking van minder dan 0,4 m. Tevens is te zien dat het verbeterde model een verdeling geeft waarbij het grootste deel van de filters een relatief kleine afwijking geeft.



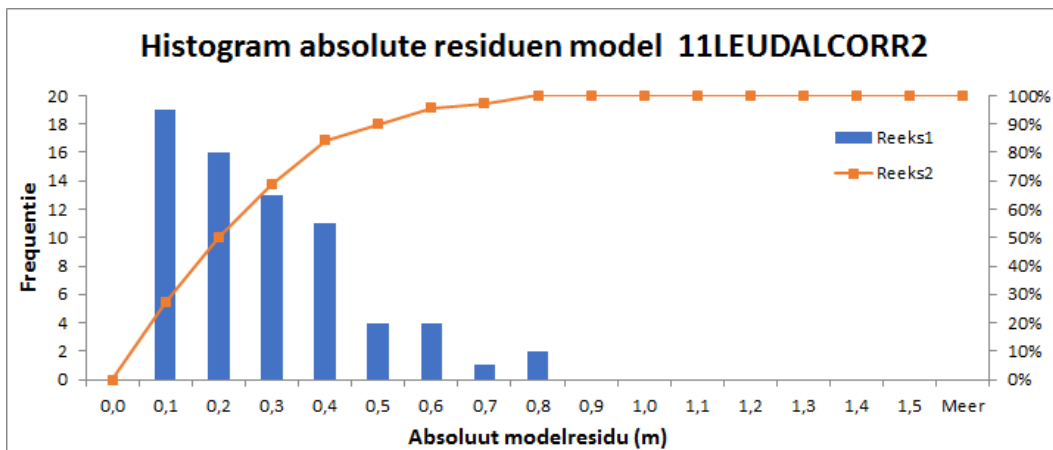
Afbeelding 4.4 Histogram residuen model ORG L2-13 in het interessegebied



Afbeelding 4.5 Histogram residuen model 11LEUDALCORR2 L2-13 in het interessegebied

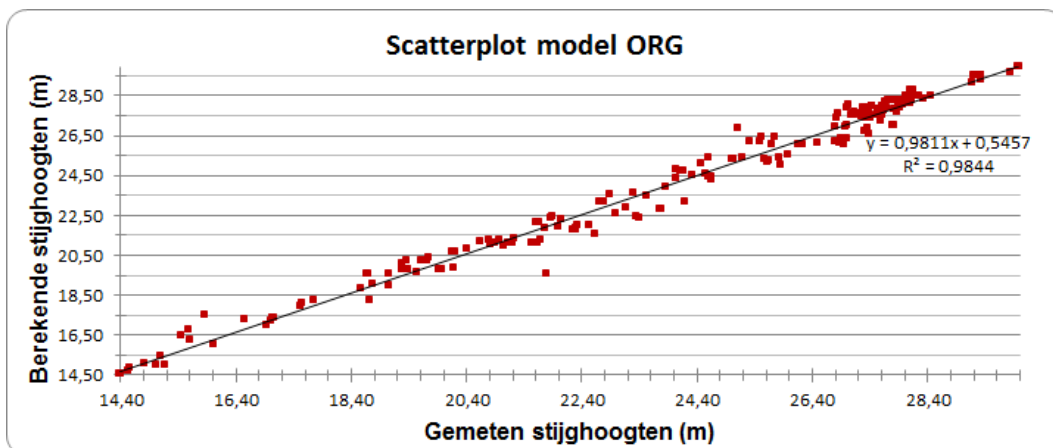


Afbeelding 4.6 Histogram absolute residuen model ORG L2-13 in het interessegebied

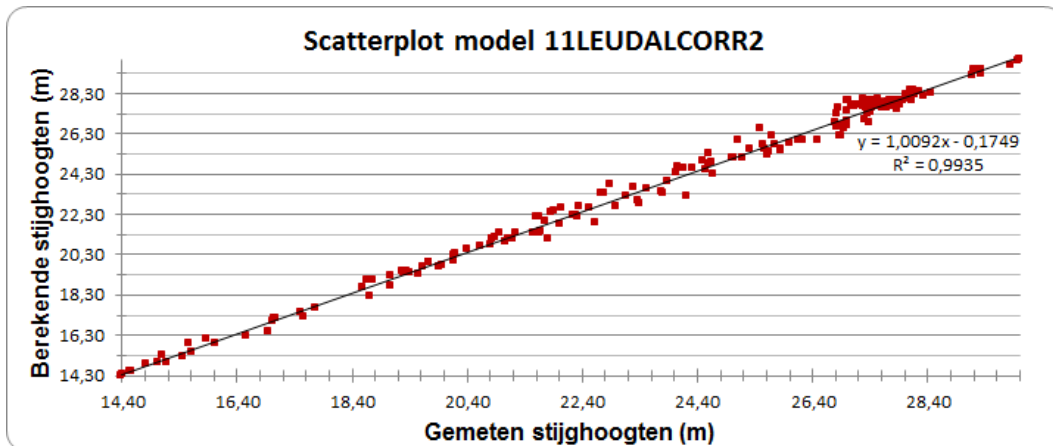


Afbeelding 4.7 Histogram absolute residuen model 11LEUDALCORR2 L2-13 in het interessegebied

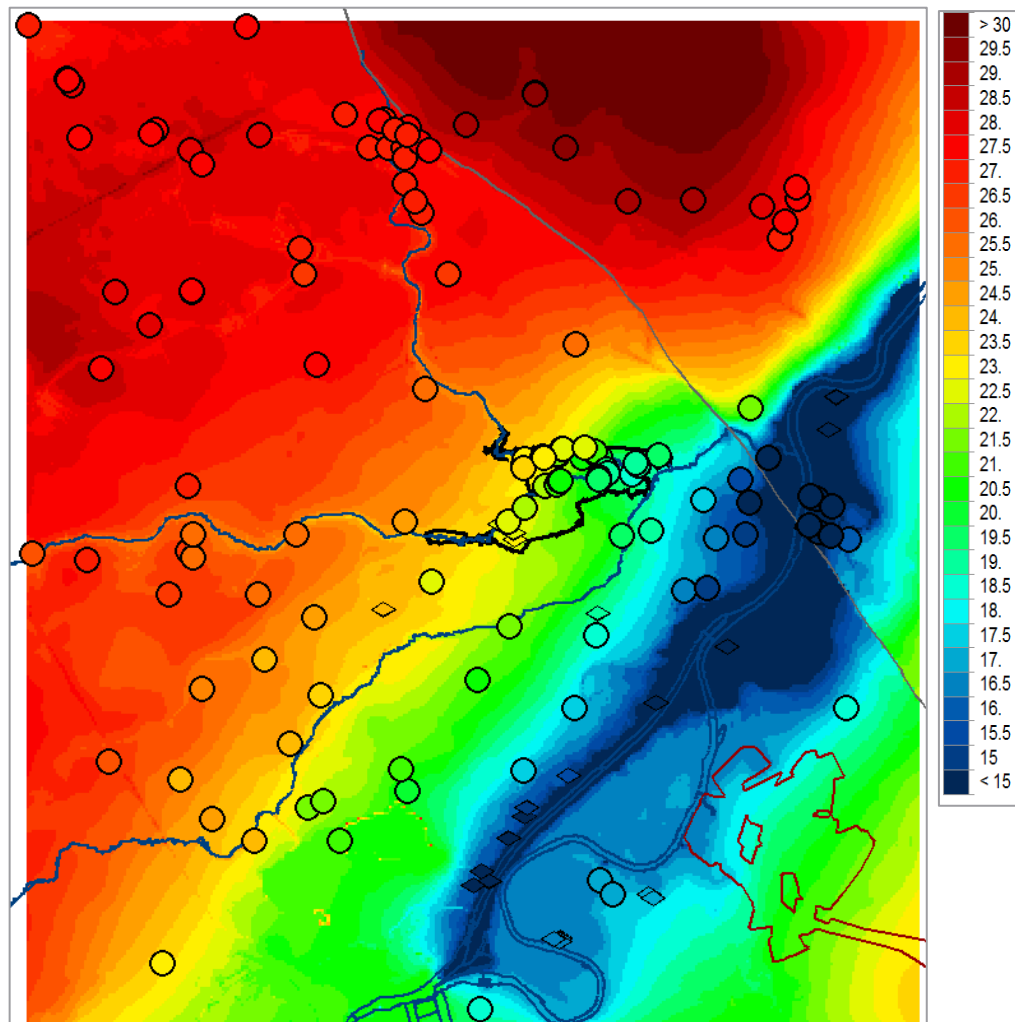
In afbeelding 4.8 en afbeelding 4.9 zijn scatterplots getoond, die het verband laten zien tussen de berekende en gemeten stijghoogten in het volledige modelgebied. Zichtbaar is dat de punten in het verbeterde model dichter bij de lijn liggen die een perfecte fit aangeeft.



Afbeelding 4.8 Gemeten versus. berekende stijghoogten modelgebied ORG L1-13

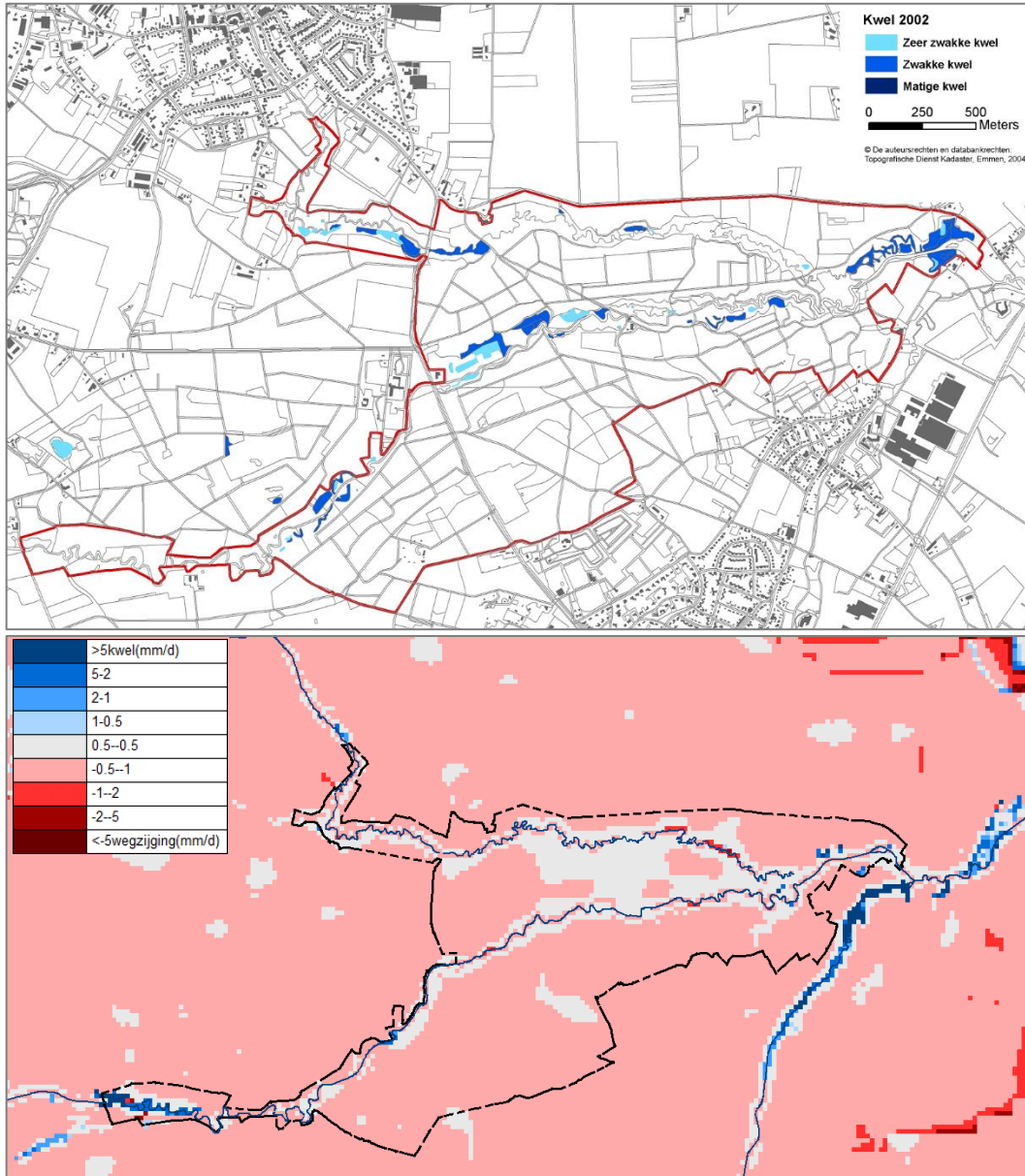


Afbeelding 4.9 Gemeten versus berekende stijghoogten modelgebied 11LEUDALCORR2 L1-13



Afbeelding 4.10 Berekende stijghoogte in laag 1, versus gemeten stijghoogten (m+NAP) in L1-6. Doordat dezelfde legenda is gebruikt is te zien dat de berekende stijghoogte de gemeten stijghoogte redelijk goed benadert binnen de klassebreedte van 0,5m van de legenda.

In afbeelding 4.11 is een vergelijking getoond tussen de kwel op basis van een vegetatieopname uit 2002 en het gekalibreerde model. Er dient hierbij te worden bedacht dat de 'kwel' uit het model de flux van modellaag 2 naar 1 betreft en dus niet noodzakelijk hetzelfde beeld geeft als de kwel op basis van de vegetatieopname, die kwel aan of nabij maaiveld aangeeft, uitredend langs en onderaan de flanken van de beekdalen. Zie afbeelding 5.6 voor een dwarsdoorsnede met berekende stroombanen en diepe kwel naar de beken.



Afbeelding 4.11 Kwelkaart op basis van Iteratio 2002 (boven) en met het verbeterde model berekende kwelflux (beneden) van modellaag 1 naar 2 (in mm/d) (rood is wegzijing, blauw is kwel)

5 Effectberekening

In dit hoofdstuk worden verschillende effectberekeningen gepresenteerd:

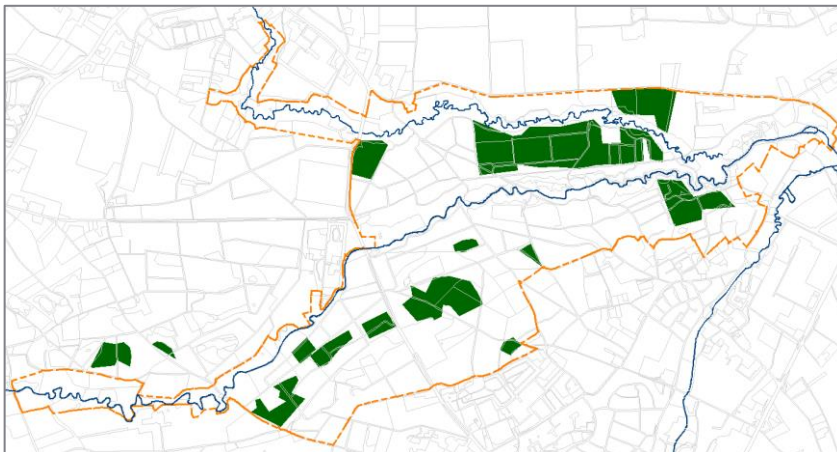
- invloedbepaling van maatregelen uit het verleden;
- effectbepaling van scenario's voor beperking van de verdroging in het Leudal.

Alle effecten zijn berekend ten opzichte van het referentiemodel dat in paragraaf 5.1 wordt beschreven met bijbehorende onnauwkeurigheden. Bij effectbepaling wordt het verschil genomen tussen de berekende stijghoogten in het scenario en de referentie. Daardoor zullen onnauwkeurigheden deels tegen elkaar wegvallen, zodat de betrouwbaarheid van de berekende effecten doorgaans wat hoger is dan de betrouwbaarheid van de berekende stijghoogten. Er dient echter altijd rekening te worden gehouden met resterende model-onzekerheden.

5.1 Referentiemodel

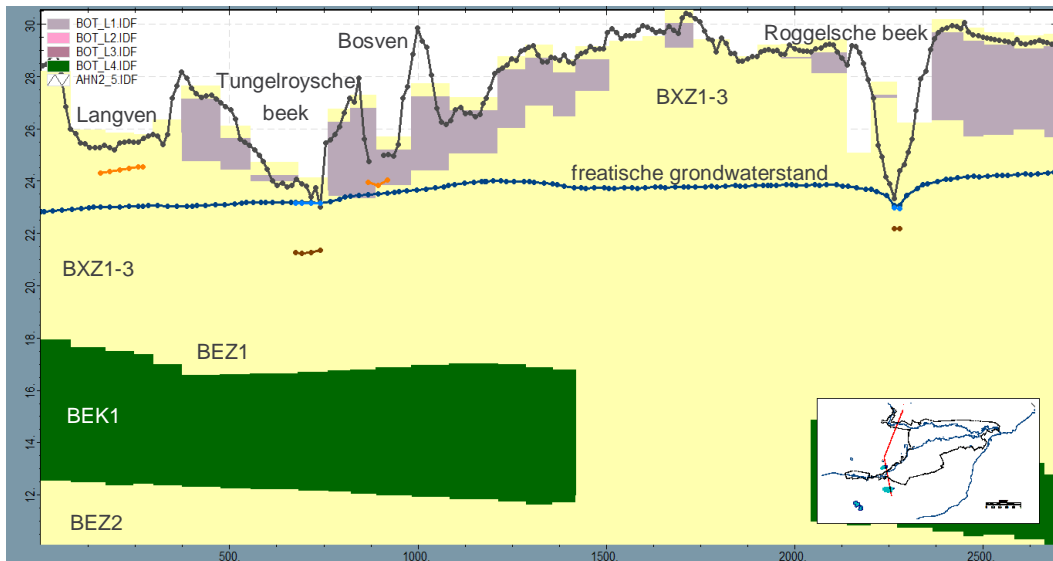
Uitgaande van het verbeterde model, dat is gekalibreerd voor de gemiddelde situatie over 1997-2005, is een referentiemodel opgesteld als basis voor de effectberekeningen. In dit referentiemodel zijn nog de volgende aanpassingen doorgevoerd:

- stuwpeilverhoging Elisabethsmolen van 0,9 m, tot een niveau van 23 m +NAP. Deze stuwpeilverhoging werkt door tot aan de plek waar de stuw van Crijns stond;
- opname van donker naaldbos in de LGN-kaart en de daarvan afgeleide gemiddelde grondwateraanvulling, zie afbeelding 5.1.

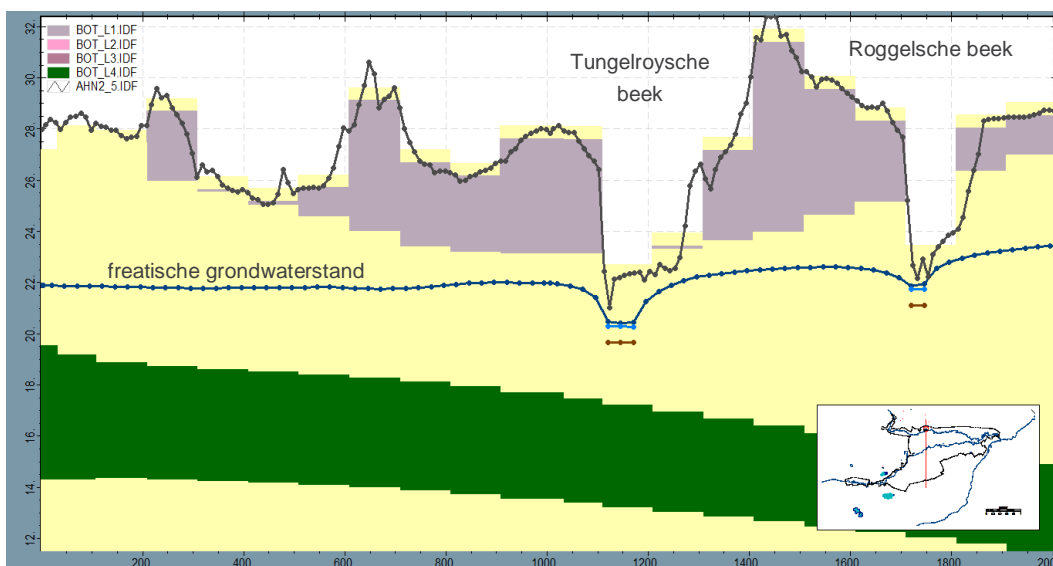


Afbeelding 5.1 Donker naaldbos gebaseerd op de luchtfoto's van 2015 en 2016

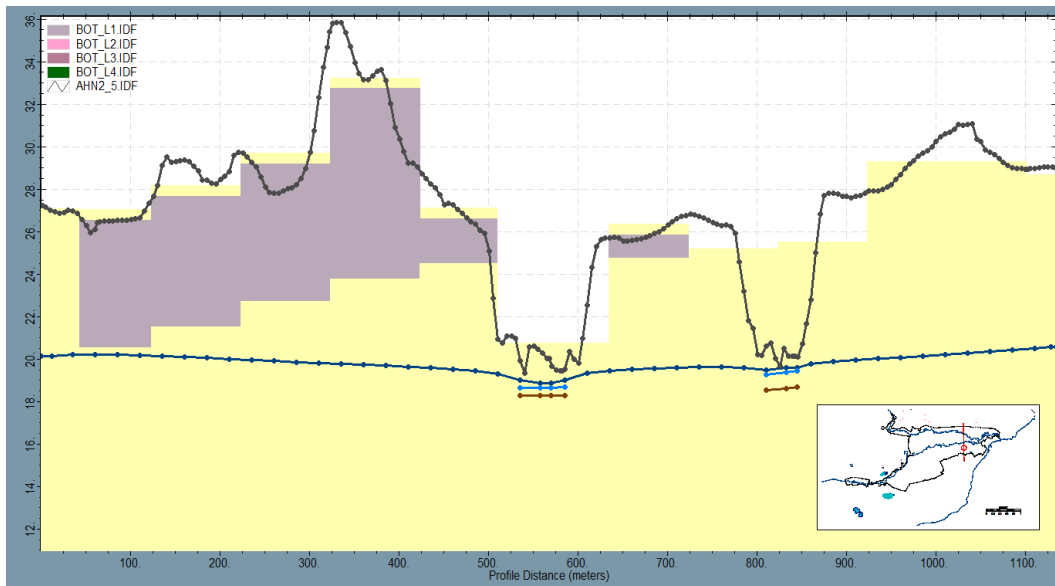
Vanaf afbeelding 5.2 is een drietal dwarsprofielen gegeven van zuid naar noord door het Leudal. In het eerste dwarsprofiel dat door het Langven en Bosven loopt is een indicatie van de ligging en mogelijke diepte (1 -mv) van beide vennen opgenomen. Hieruit blijkt dat zeker het Langven boven de berekende freatische grondwaterstand ligt en dan ook vermoedelijk gevormd wordt door een schijngrondwaterspiegel. Voor het Bosven is dat wat minder duidelijk. In afbeelding 5.3 is duidelijk te zien dat beide beken een drainerende werking hebben op de grondwaterstand. Daarnaast geeft het profiel een indicatie voor mogelijke kwel op de flanken van en onderin de beekdalen.



Afbeelding 5.2 Dwarsdoorsnede Zuid-Noord, westzijde Leudal met freatische grondwaterstand (donkerblauwe lijn), indicatie veenbodems (oranje, 1 m -mv), beekpeil (lichtblauw) en beekbodem (donkerbruin) en maaiveld (AHN2 5x5, donkergrijs) voor referentiemodel (REF1).



Afbeelding 5.3 Dwarsdoorsnede Zuid-Noord, door midden Leudal, door Tungelroysche beek en Roggelsche beek met freatische grondwaterstand (donkerblauwe lijn), beekpeil (lichtblauw) en beekbodem (donkerbruin) en maaiveld (AHN2 5x5, donkergrijs), voor referentiemodel (REF1)



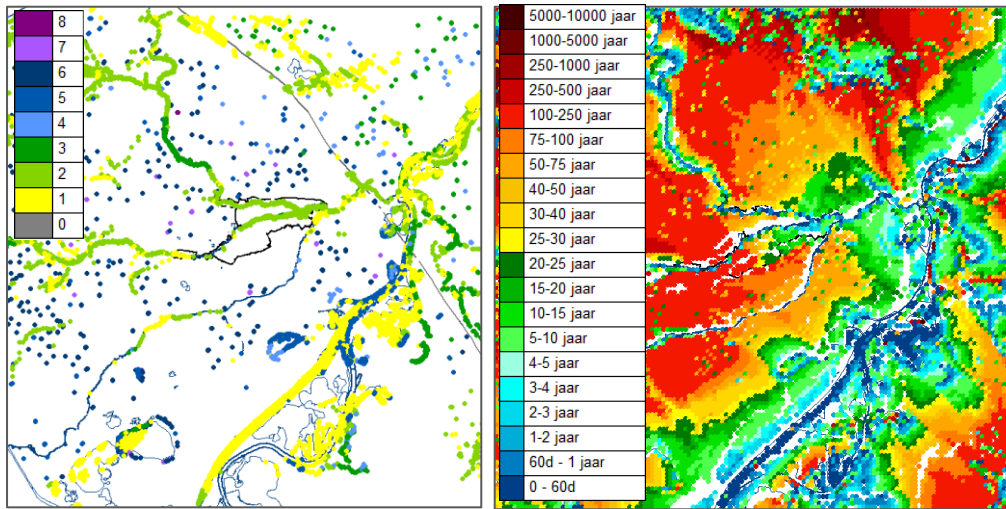
Afbeelding 5.4 Dwarsdoorsnede Zuid-Noord, door oost Leudal, door Tungelroysche beek en Roggelsche beek met freatische grondwaterstand (donkerblauwe lijn), beekpeil (lichtblauw) en beekbodem (donkerbruin) en maaiveld (AHN2 5x5, donkergrijs), voor referentiemodel (REF1)

In afbeelding 5.5 en afbeelding 5.6 zijn de met het model berekende stroombanen van het grondwater vanaf modellaag 1 gevisualiseerd, waarbij de startpunten regelmatig waren verspreid over het modelgebied.

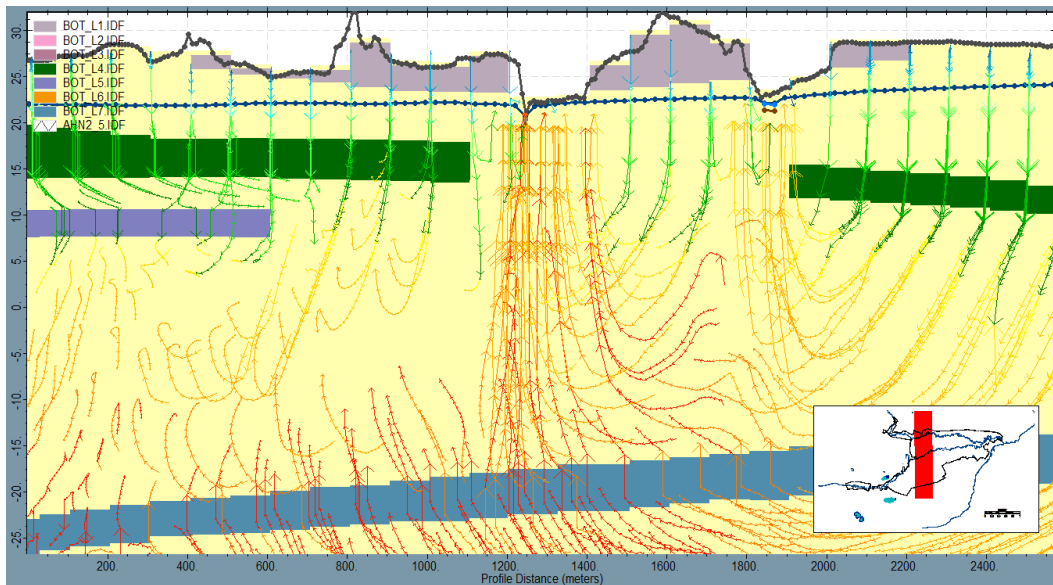
Links in afbeelding 5.5 zijn de eindpunten getoond van de stroombanen en de modellaag waarin ze eindigen. Te zien is dat het grondwater vooral naar de beken en de Maas stroomt. De geïsoleerde bolletjes staan voor stroombanen die eindigen in een onttrekkingsput, vnl. berekening.

Rechts in afbeelding 5.5 is een indicatie gegeven van de orde van grootte van de reistijden van grondwater in modellaag 1 naar een 'sink' (de plek waar het grondwater het model verlaat, zoals een waterloop of onttrekking).

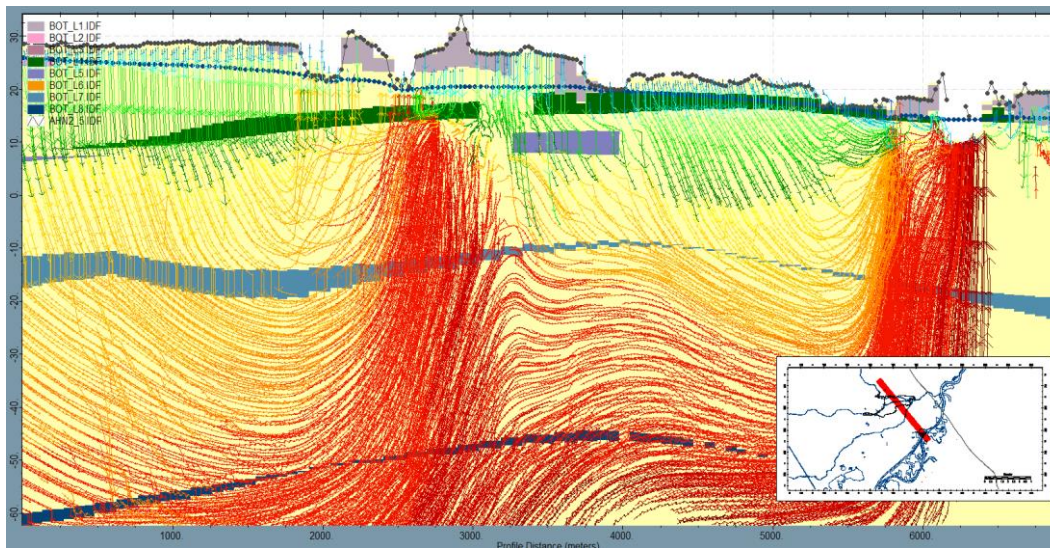
In afbeelding 5.6 is een dwarsdoorsnede te zien van zuid naar noord, door het midden van het Leudal, inclusief stroombanen. Zichtbaar is dat de stromingsrichting van het grondwater in de bovenste modellagen (Holoceen, Boxtel en Beegden) vooral omlaag is gericht. Vanaf modellaag 5 of 6 (Beegden) verandert de stromingsrichting van wegzijging naar kwel richting de beken. In afbeelding 5.8 zijn de stroombanen van noordwest richting zuidoost getoond, langs het Leudal en de Maas. De diepe kwel naar Leudal en Maas, de diepe stroming richting Maas en de wegzijging op de hogere delen zijn te zien.



Afbeelding 5.5 reistijden (grote bollen) vanaf modellaag 1 met modellaag eindpunt (kleine punten)



Afbeelding 5.6 Dwarsprofiel zuid-noord midden Leudal modellagen 1-7, inclusief stroombanen vanaf laag 1, gekleurd naar reistijden (zie legenda afbeelding 5.5)



Afbeelding 5.7 Dwarsprofiel noordwest-zuidoost door Leudal en Maas modellen 1-8, inclusief stroombanen vanaf laag 1, gekleurd naar reistijden (zie legenda afbeelding 5.5)

5.2 Maatregelen

Het doel van deze berekeningen is om inzicht te krijgen in de effecten van reeds uitgevoerde maatregelen op het hydrologisch systeem: wat is de bijdrage van een verlaging van de stijghoogte in de diepere watervoerende pakketten, wat is de bijdrage van veranderingen in het topsysteem, wat is het effect van specifieke ingrepen? De volgende ingrepen zijn onderscheiden (in willekeurige volgorde) en doorgerekend:

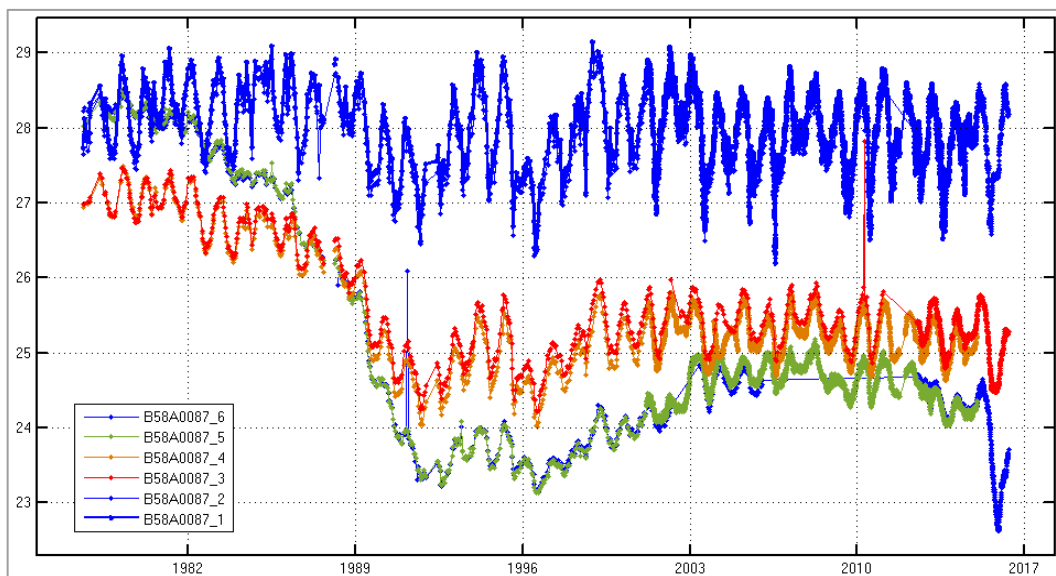
- a. effect bruinkoolwinning;
- b. effect grondwateronttrekkingen;
- c. effect aanleg Lateraalkanaal;
- d. effect beregening vanuit de landbouw;
- e. effect drainage in het inrijgebied en directe omgeving;
- f. effect verbeterde ontwatering in landbouwgebieden door ruilverkavelingen;
- g. effect aanleg nevengeul langs de Maas tussen Buggenum en Neer;
- h. effect van ontgroning in het Buggenumse Veld;
- i. effect bosaanplant sinds eind 19^e eeuw.

Het gaat vooral om de ondiepe effecten in en rondom het Leudal. De grondwaterstand varieert in verticale richting niet zoveel boven de Kiezeloöliet klei door de geologische opbouw, met een beperkt aantal slecht doorlatende lagen. Daarom zijn effectkaartjes gepresenteerd van de freatische grondwaterstand (in modellaag 1) en de stijghoogte in modellaag 6, als representatief voor de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket, nog boven de slecht doorlatende laag van Stramproy (modellaag 7), of juist net boven de bovenste Kiezeloöliet klei (Brunssumklei/kik1, modellaag 12) als dit meer informatie geeft. Waar relevant zijn aanvullende kaartjes getoond. Alle effectkaartjes van overige modellen zijn digitaal beschikbaar.

5.2.1 Effect bruinkoolwinning:

Doel is inzicht te krijgen in de invloed van de bruinkoolwinning op het Leudal. De invloed van de bruinkool verspreidt zich voornamelijk via de watervoerende pakketten onder de dikke slecht doorlatende lagen van de Kiezeloöliet Formatie, waarvan de bovenste laag ook de Brunssumklei wordt genoemd.

De grootte van deze invloed is nog niet goed bekend. Recente studies laten zien dat deze invloed groter is dan eerder gedacht. Deze is voor deze studie ingeschat door te kijken naar stijghoogtedalingen die in het verleden zijn gemeten in peilbuizen, na de starten van de bruinkoolwinningen. Voor buis B58A0087, ongeveer 8 km ten westen van het Leudal zijn langjarige meetreeksen in verschillende filters beschikbaar, zie afbeelding 5.8. Vanaf 1980 is een grote daling zichtbaar, die mogelijk veroorzaakt is door de bruinkoolwinning. Filter 1 ligt vlak onder maaiveld en laat weinig verandering zien. De daling tussen grofweg 1985 – 1995 kan door droogte zijn veroorzaakt, gezien het aantal relatief droge jaren in deze periode. In filter 3 (op +/- 90 m -NAP) en dieper is een sterke daling zichtbaar. Ook hier lijkt dezelfde invloed zichtbaar als in filter 1. Vanaf ongeveer 2000 is die periode voorbij en blijft de grondwaterstand meer stabiel. De daling sinds 1980 is voor filter 3 in de orde van grootte van 1,5 m.

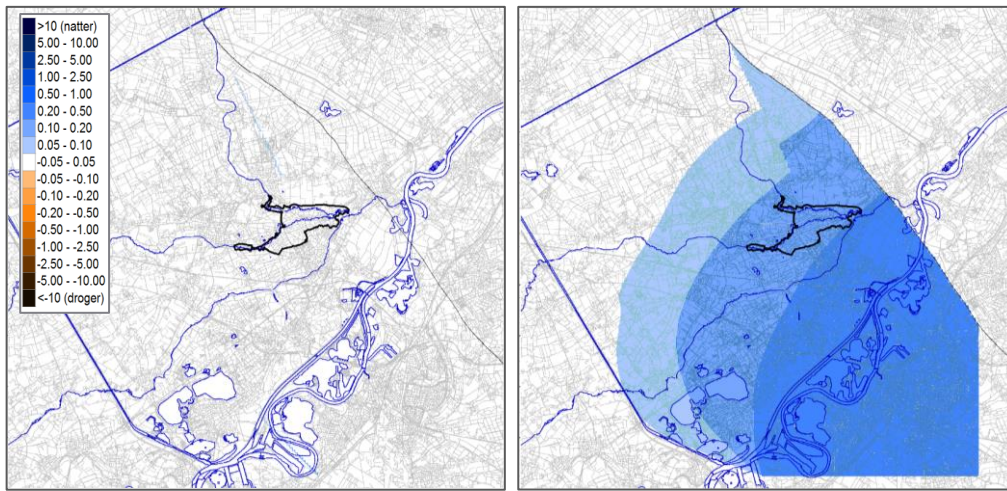


Afbeelding 5.8 Stijghoogtemetingen voor buis B58A0087 ongeveer 8 km ten westen van het Leudal

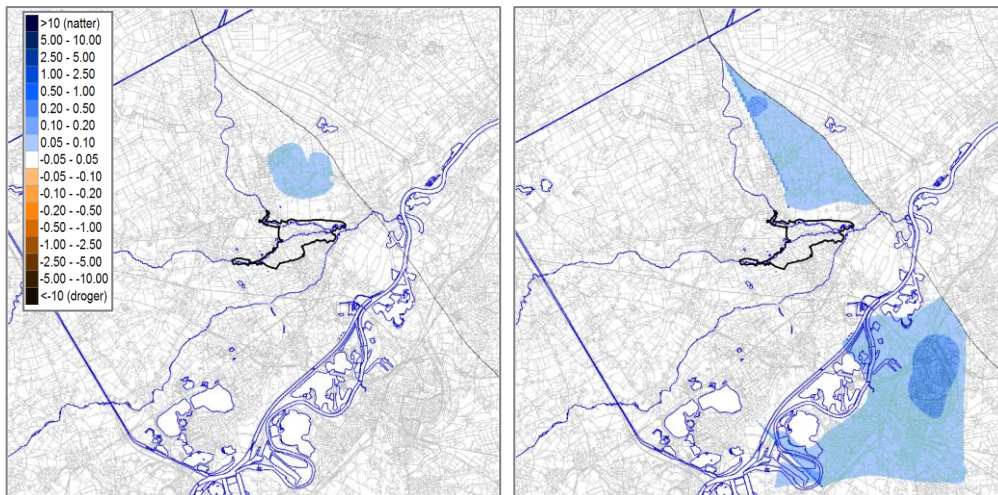
Om een indicatie te krijgen van de invloed van de bruinkoolwinning in het Leudal, is de vaste modelrand in het zuidoostelijke deel van het model in de Roerdalslenk, onder de bovenste kleilaag uit de Kiezeloöliet Formatie, verhoogd met een constant niveau. Dit staat voor de vernatting die zou kunnen optreden door het stoppen van de onttrekkingen voor de bruinkoolwinning. Vanwege de onzekerheden is zowel een effectberekening uitgevoerd voor een verhoging van de vaste, zuidoostelijke modelrand met 0,5 en 1,5 m.

De invloed van een verhoging van 0,5 m diep in de Roerdalslenk is vrijwel niet merkbaar boven de Kiezeloöliet Formatie, zie afbeelding 5.9 links. Zelfs in modellaag 12, net boven de bovenste Brunssumklei, is geen effect zichtbaar. Direct daaronder is wel een groot effect zichtbaar, zie afbeelding 5.9 rechts. De verhoging van 0,5 m verspreidt zich relatief ver in dit afgesloten zandpakket (Schinveldzanden, kiz2).

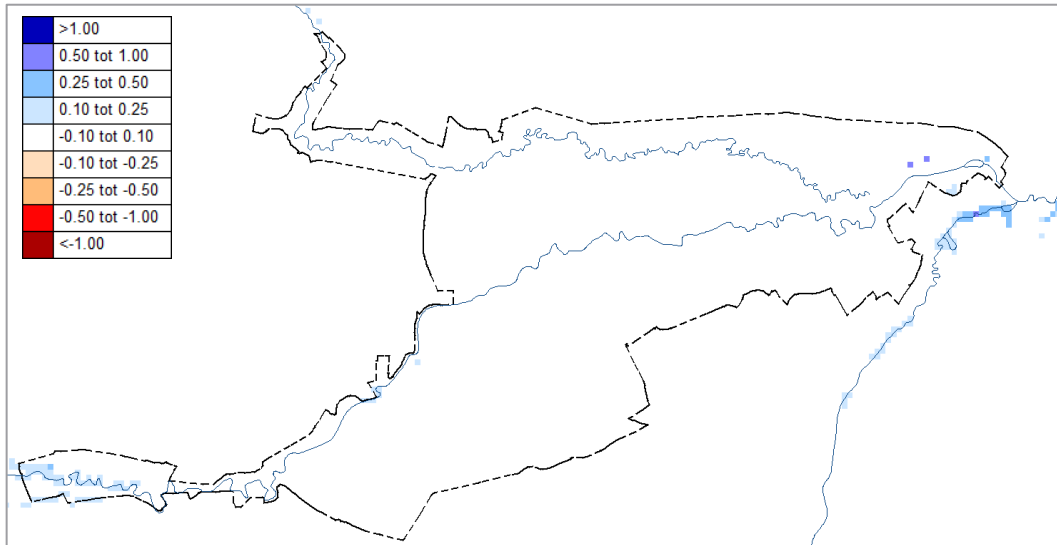
De invloed van een verhoging van 1,5 is wel in beperkte mate zichtbaar tot aan maaiveld, ten noorden van het Leudal, zie afbeelding 5.10. De gemodelleerde weerstand van de Brunssumklei is hier kleiner (+/- 8.000 d tegen +/- 30.000 d in de rest van de Roerdalslenk. Het effect in het eerste watervoerende pakket (modellaag 5) is vergelijkbaar. Net boven de bovenste Brunssumklei is nu ook een groter effect zichtbaar, maar nog steeds slechts in de orde van grootte van 5-20 cm. Op basis van de modelresultaten wordt geconcludeerd dat de invloed van de bruinkoolwinning op de ondiepe grondwaterstand in het Leudal verwaarloosbaar is. Wel kan er lokaal een invloed op de kwel zijn, zie afbeelding 5.11 voor de berekende verandering van de kwel flux naar modellaag 1 bij een verhoging van 1,5 m op de diepe zuidoostelijke modelrand.



Afbeelding 5.9 effect door verhoging zuidoostelijke, vaste modelrand met 0,5 m, net boven Kiezeloöliet (modellaag 12, links) en net onder de Kiezeloöliet klei (modellaag 13, rechts)

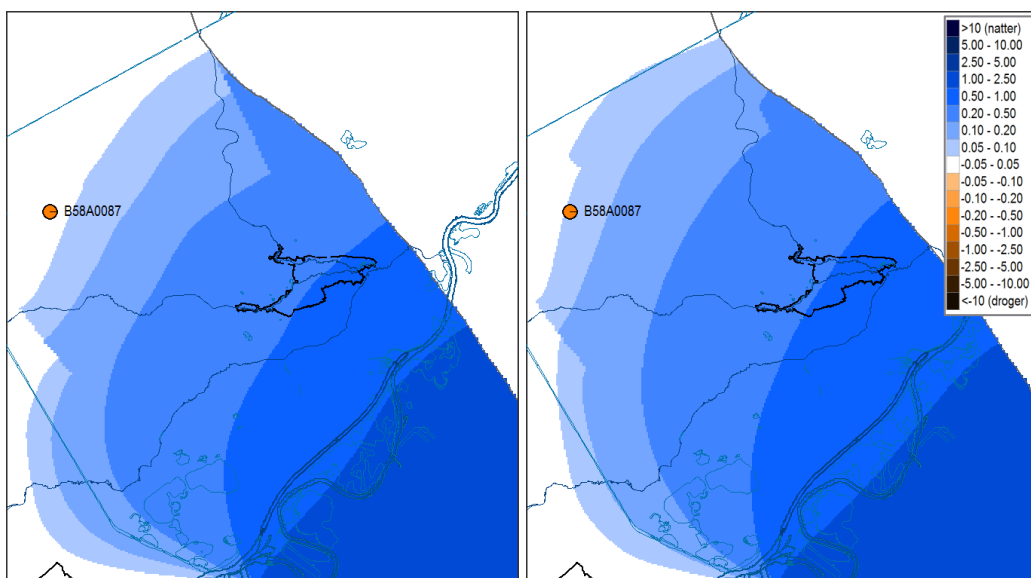


Afbeelding 5.10 effect door verhoging zuidoostelijke, vaste modelrand met 1,5 m, freatisch (modellaag 1, links) en net boven de Kiezeloöliet klei (modellaag 12, rechts)



Afbeelding 5.11 berekend effect op de kwel naar modellaag 1 door verhoging van de zuidoostelijke, vaste modelrand met 1,5 m.

In afbeelding 5.12 is de verhoging van 1,5 m bij de zuidoostelijke modelrand te zien, maar ook dat deze verhoging al vrij snel uitdempt tot minder dan 5 cm aan de noordwestzijde van het Leudal. Ter plaatse van filter B58A0087_4, die in de grafiek van afbeelding 5.8 een verlaging van 1,5 m laat zien, is de invloed van de verhoging verdwenen. Dus ofwel de c- en kD-waarden van die diepe pakketten moeten veel hoger (dit geeft immers een veel grotere spreidingslengte $\lambda = \sqrt{kDc}$), ofwel de invloed van de bruinkoolwinning is ter plaatse van de zuidoostelijke modelrand nog veel groter dan 1,5 m, ofwel de in de grafiek getoonde daling van de stijghoogten komt niet door de bruinkoolwinning, maar door andere, meer lokale invloeden. Het is niet duidelijk wat het zou moeten zijn, maar met huidige model komt de invloed van de bruinkoolwinning niet tot aan het Leudal, ook niet via de nog diepere model-lagen L14-19. Belangrijker voor dit onderzoek is dat een verhoging van 1,5 m onder de Brunssumklei niet door werkt naar boven, tot in het ondiepe grondwater ter plaatse van het Leudal.

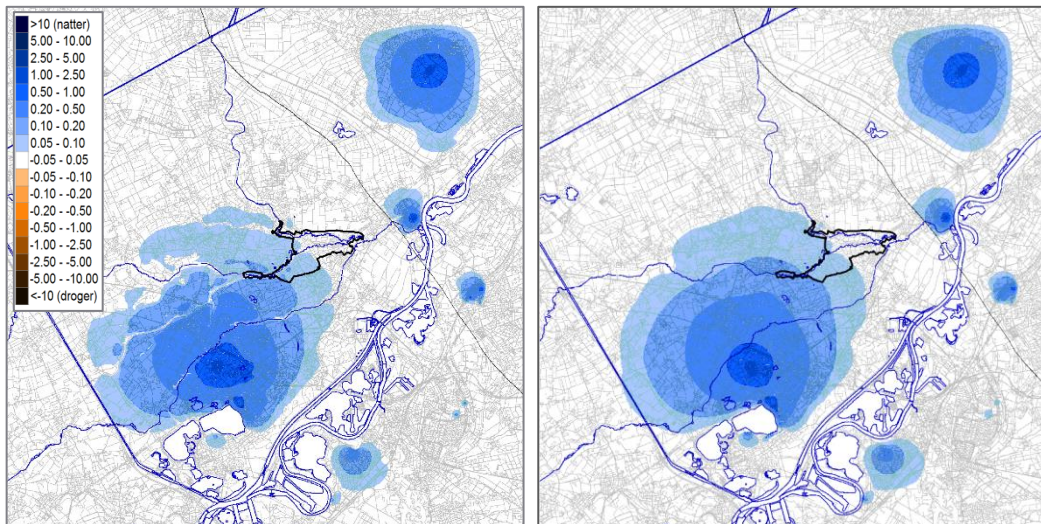


Afbeelding 5.12 effect door verhoging zuidoostelijke, vaste modelrand met 1,5 m, net onder de Kiezeloöliet klei in de Schinveld zanden (modellaag 13, links) en in de Waubach zanden (modellaag 15, rechts).

5.2.2 Effect grondwateronttrekkingen

De invloed van drinkwater- en industriële winningen is ingeschat door alle winningen in het model (exclusief beregeningsputten) in het model uit te zetten.

De invloed van onttrekkingen buiten het model op de ondiepe grondwaterstand (boven de Brunssumklei) in de omgeving van het Leudal wordt verwaarloosbaar geacht, gezien de grootte van het model en invloed van de grote onttrekkingen binnen het modelgebied.

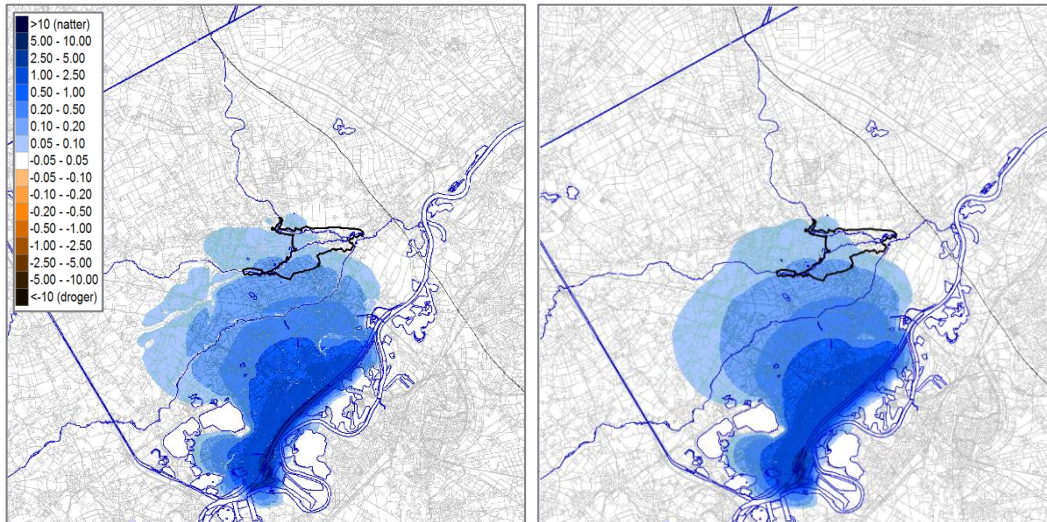


Afbeelding 5.13 effect door uitzetten grondwateronttrekkingen, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 6, rechts)

De Beegden winning is de enige winning met invloed tot in het Leudal. In het model zijn de werkelijk onttrokken hoeveelheden opgenomen (en dus niet de vergunde debieten). Het stoppen van deze winning geeft een berekende stijging van de grondwaterstand van 0,1-0,2 m in het zuidwesten en 0,05-0,1 m in het noordwesten van het Leudal.

5.2.3 Effect aanleg Lateraalkanaal:

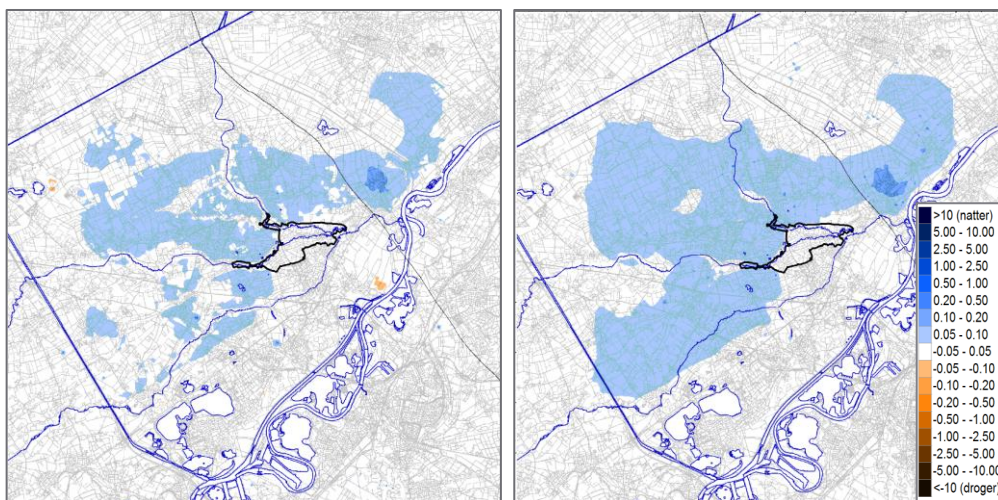
De invloed van de aanleg van het Lateraalkanaal is bepaald door het kanaal te verwijderen uit het model. Er wordt daardoor een stijging berekend van 0,1-0,2 m in het zuiden van het Leudal en 0,05-0,1 m in het westen tot noordwesten. De invloed van het Lateraalkanaal op de omgeving is relatief groot, vooral door het relatief lage peil en hoge doorlatendheid van de ondergrond ten westen van het kanaal.



Afbeelding 5.14 effect door uitzetten van het Lateraal kanaal, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 6, rechts)

5.2.4 Effect berekening vanuit de landbouw

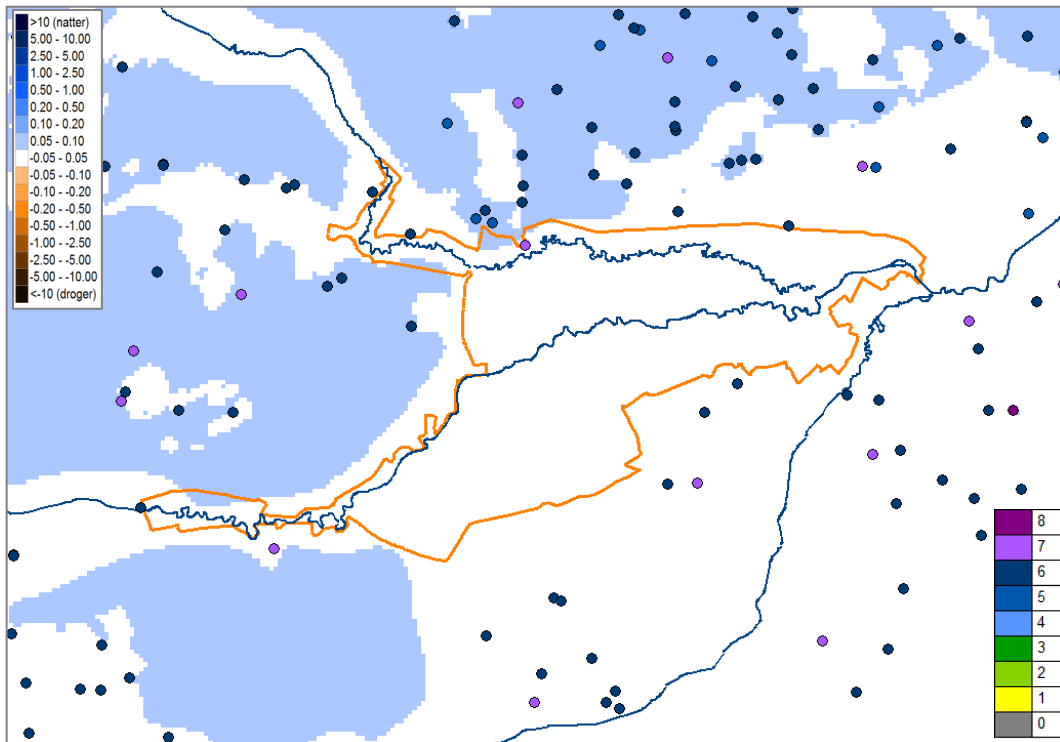
De invloed van berekening op de plateaus (gestart in jaren '70) is bepaald door berekening geheel uit te zetten in het model (zowel de onttrekking als de gift).



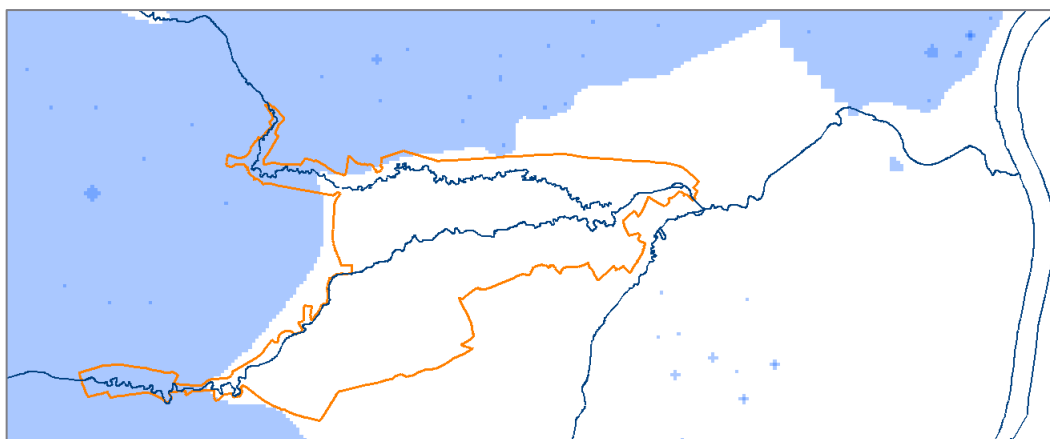
Afbeelding 5.15 effect door uitzetten berekening in hele modelgebied, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 6, rechts)

In afbeelding 5.15 (links) en afbeelding 5.16 is te zien dat het uitzetten van alle berekening in het model (zowel de gift als de onttrekking) een effect van minder dan 5 cm heeft op de freatische grond-waterstand (modellaag 1) in het Leudal. Dit heeft te maken met de dempende werking van de beken en de vooral verticale beweging van het grondwater. Ten noorden en boven-strooms van het Leudal is een effect berekend van 5-10 cm.

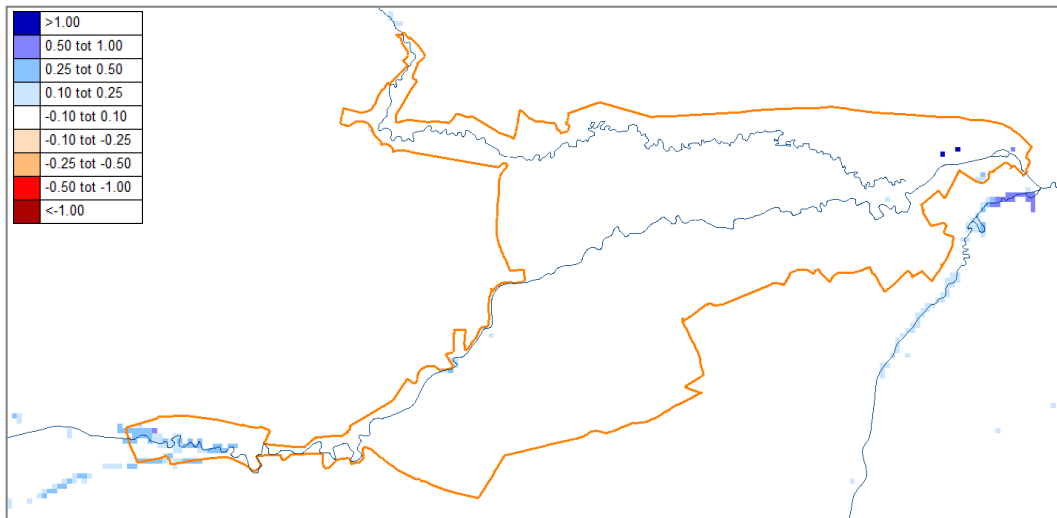
In afbeelding 5.15 (rechts) en in afbeelding 5.17 is het effect in het watervoerende pakket te zien. Dit komt tot in het westelijke deel van het Leudal. Hierdoor zal er enige invloed zijn op de kwel naar modellaag 1. Door het uitzetten van alle berekening zal deze kwel daar wat zijn toegenomen, zie afbeelding 5.18.



Afbeelding 5.16 effect door uitzetten berekening in hele modelgebied, detail Leudal, freatisch (modellaag 1); bolletjes geven locatie van berekeningsputten (kleur geeft modellaag, zie legenda rechtsonder)



Afbeelding 5.17 effect door uitzetten berekening in hele modelgebied, detail Leudal, WVP1 (modellaag 6)

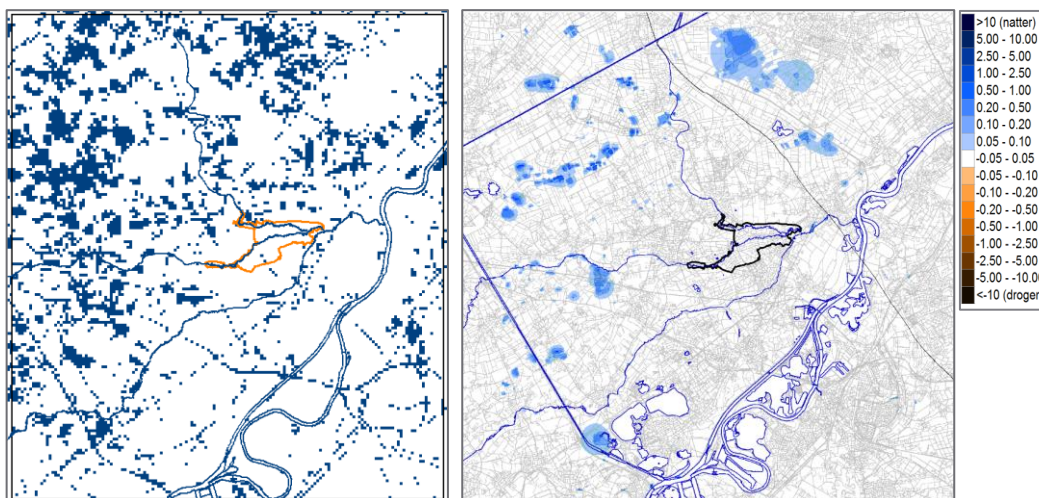


Afbeelding 5.18 effect op berekende kwel (mm/d) van modellaag 2 naar 1 door variant 1, detail Leudal, uitzetten berekening in hele modelgebied, WVP1 (modellaag 6)

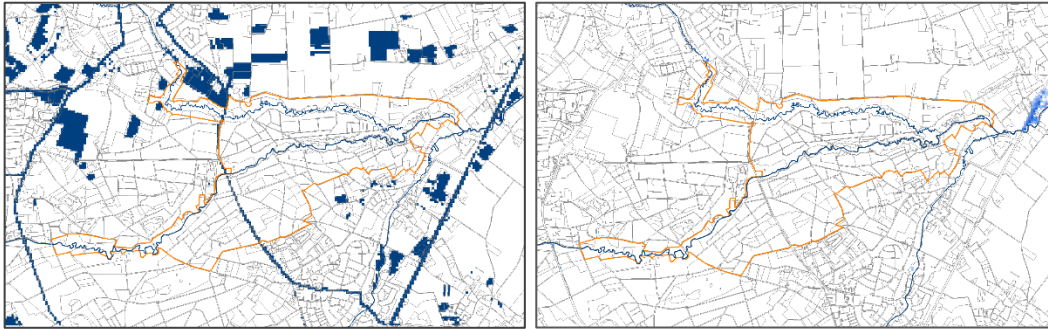
In afbeelding 5.15 links zijn soms ook kleine plekken te zien in modellaag 1 met verdroging door het uitzetten van alle berekening. De oorzaak is hier een of meer relatief dikke slecht doorlatende lagen tussen de berekening in modellaag 1 en de berekeningsputten in modellaag 6. In modellaag 1 heeft uitzetten van de berekening in dat geval een verdrogend effect, doordat de gift wordt uitgeschakeld.

5.2.5 Effect buisdrainage in het inzijggebied en directe omgeving

Er liggen in het model wel drainagevlakken rondom en met name ten noorden en noordwesten van het Leudal. Het buisdrainageniveau ligt over het algemeen rond 1 m -mv (50%-percentiel), lokaal 0,6 m -mv (10%-percentiel) of 1,5 m -mv (90%-percentiel). Dit is niet onrealistisch. Er liggen ook secundaire (droogvallende) waterlopen in het Leudal, maar deze liggen hoog op de dekzandruggen, boven het grondwaterniveau en hebben daardoor geen invloed op de grondwaterstand in het stationaire model. In het hele modelgebied is buisdrainage uitgezet om een indicatie te krijgen van de invloed van buisdrainage. In afbeelding 5.19 en in afbeelding 5.20 in detail zijn de berekende effecten weergegeven.



Afbeelding 5.19 ligging drainagebuizen (links) en effect door uitzetten alle drainage, freatic (modellaag 1, rechts)



Afbeelding 5.20 ligging drainagebuizen (links) en effect door uitzetten alle drainage, detail rondom Leudal, freatisch (modellaag 1, rechts)

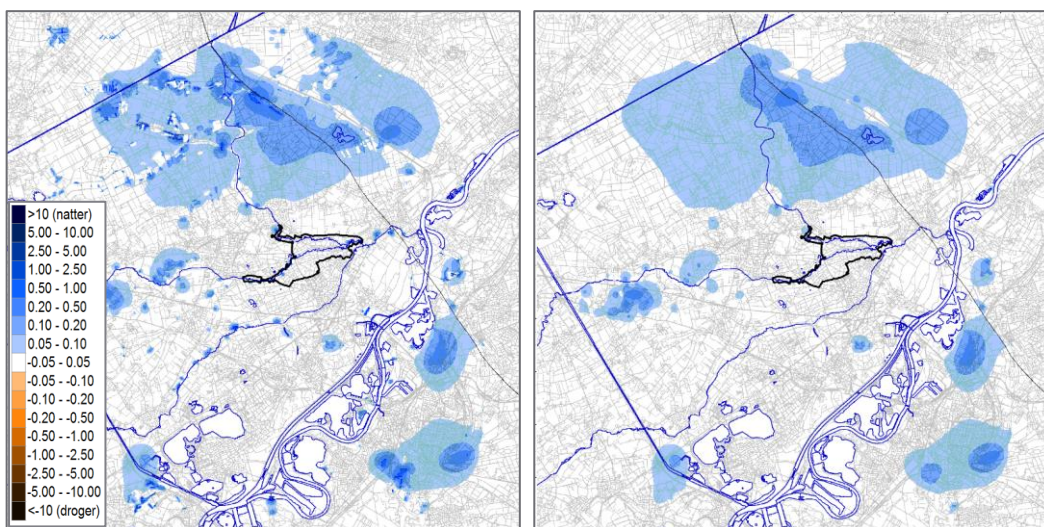
In de effectkaartjes is te zien dat er weinig tot geen effect is nabij het Leudal. De reden is dat de drainagebuizen hier niet afvoeren in de gemiddelde situatie van het stationaire model. Alleen benedenstrooms van het Leudal en met name verder naar het in het noorden van het modelgebied geeft het model een drainageflux vanuit drainagebuizen of droogvallende waterlopen. In de detailkaart in afbeelding 5.20 is te zien dat er net ten noordwesten, buiten de begrenzing van het Leudal, een klein effect wordt berekend en ten oosten van het Leudal op 300 m van de begrenzing een groter effect.

5.2.6 Effect verbeterde ontwatering landbouwgebieden door ruilverkaveling

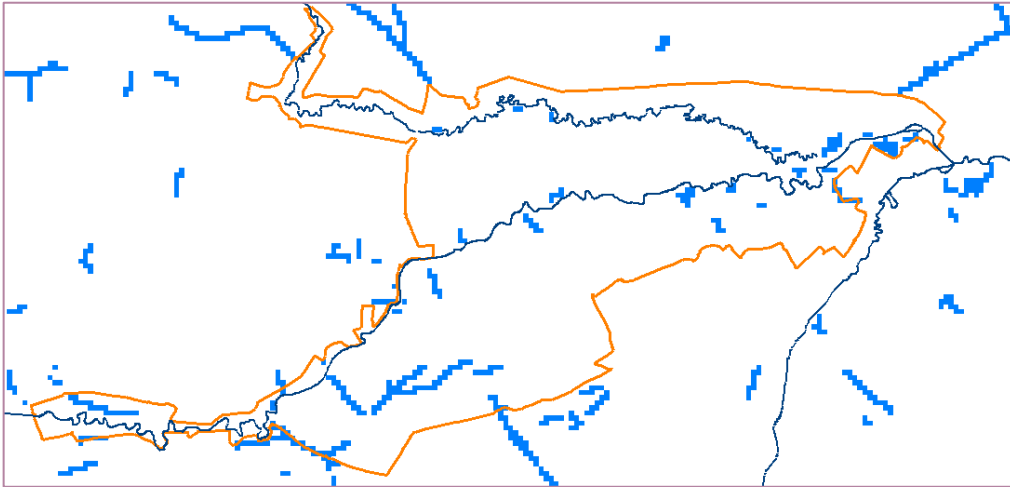
Het is gewenst inzicht te krijgen in wat de invloed is geweest van de ruilverkaveling sinds 1960. Een belangrijk aspect van de ruilverkaveling is de verbeterde ontwatering. De invloed hiervan is bepaald door de drainerende waterlopen uit het model te verwijderen.

Voorals langs de noordrand van het modelgebied liggen relatief veel van dergelijke waterlopen die tijdens de gemiddelde, stationaire situatie water afvoeren. In en rondom het Leudal liggen enkele waterlopen van dergelijke drainerende waterlopen.

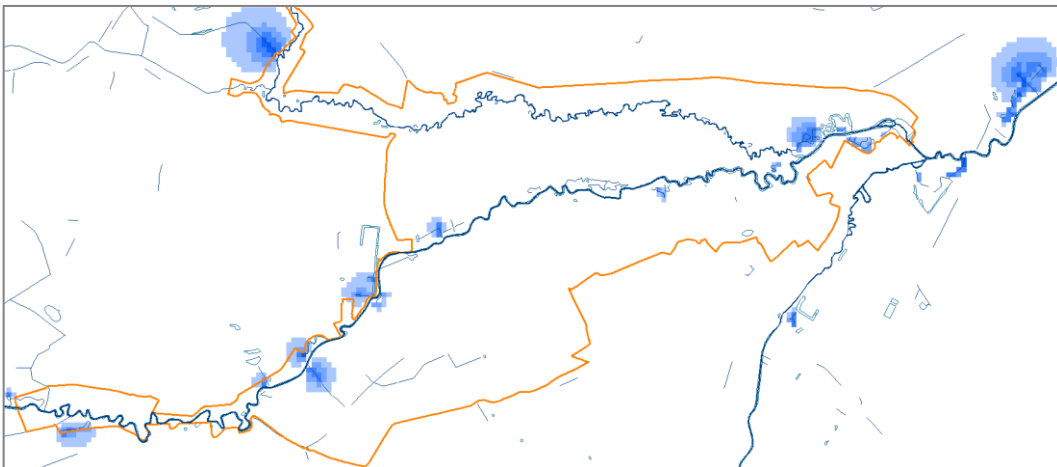
In afbeelding 5.21 is het effect van het verwijderen van de drainerende waterlopen getoond op de freatische grondwaterstand (links) en in het watervoerende pakket (rechts). Het effect in het Leudal is beperkt en zeer lokaal, zie afbeelding 5.23.



Afbeelding 5.21 effect door uitzetten drainerende waterlopen, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)



Afbeelding 5.22 ligging drainerende waterlopen in het Leudal



Afbeelding 5.23 effect detail door uitzetten drainerende waterlopen, freatisch (laag 1), inclusief ligging top10 waterlopen.

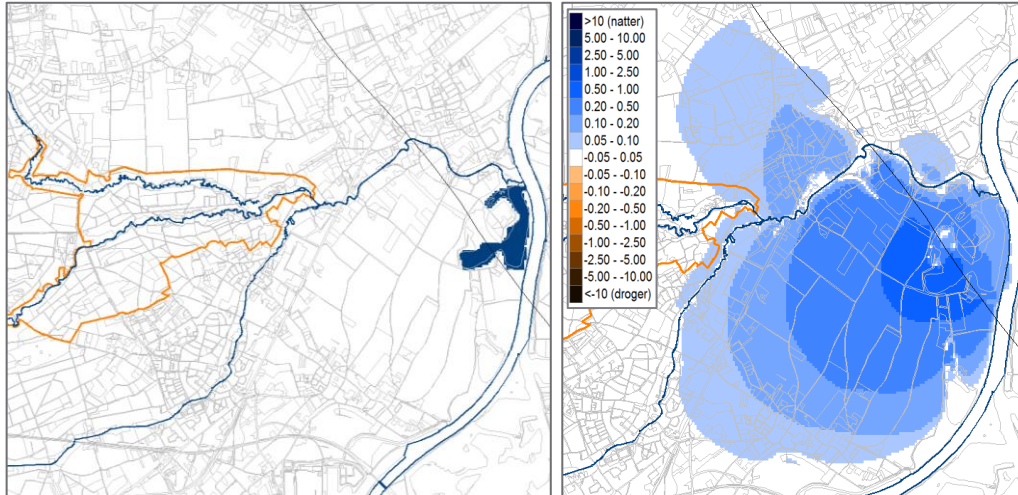
Een ander aspect van de ruilverkaveling is de kanalisatie van de beken geweest. Dit heeft geleid tot versnelde afvoer van water uit het gebied en daarmee gepaard gaande verdroging. Hiervan zijn geen effecten bepaald. Na 1995 zijn beekherstelprojecten (hermeandering in combinatie met bodemsanering) uitgevoerd voor de westelijk beektrajecten van de Roggelsche beek en Tungalroysche beek.

5.2.7 Effect aanleg nevengeul langs Maas tussen Buggenum en Neer

De nevengeul ligt direct ten westen van de Maas, ten oosten van het Leudal en het Oog. Deze nevengeul staat in open verbinding met de Maas en heeft daardoor een relatief grote invloed op de omgeving. De invloed van de nevengeul is in beeld gebracht door deze nevengeul te verwijderen uit het model. Er is hierbij geen correctie uitgevoerd voor eventuele drainage in deze zone.

Er zijn recente plannen om een nieuwe nevengeul deels ten noorden van de bestaande nevengeul aan te leggen. Deze nevengeul ontbreekt in model, maar om een indicatie te krijgen van het effect van een dergelijke nevengeul, voldoet het verwijderen van de bestaande geul (inclusief het Oog), zie afbeelding 5.24 links.

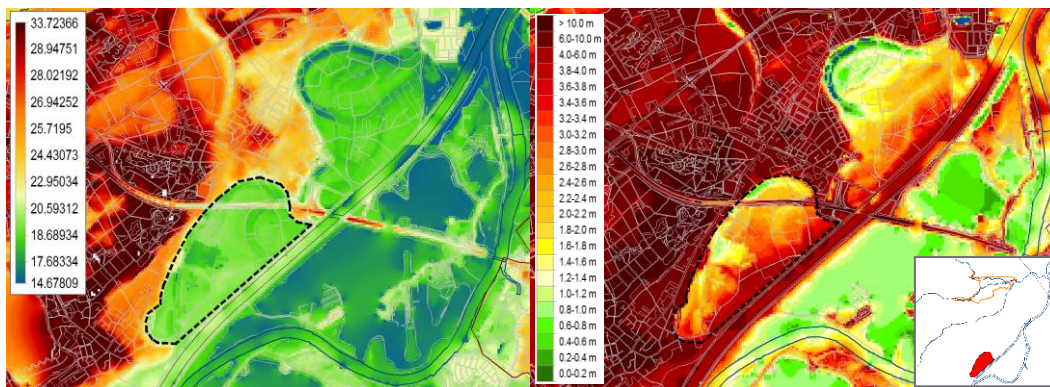
In afbeelding 5.24 rechts is het effect getoond op de freatische grondwaterstand. Er valt te zien dat er nog een effect van 5-10 cm berekend wordt aan de uiterste oostzijde van het Leudal. Ook is te zien dat de beken een dempende werking hebben op het effect. Het effect in het watervoerende pakket (modellaag 6) is vrijwel gelijk.



Afbeelding 5.24 ligging nevengeul (inclusief oog, links) en effect door verwijderen nevengeul, inclusief oog, freatisch (modellaag 1, rechts)

5.2.8 Effect van de ontgroning in het Buggenumse Veld

In het Buggenumse veld heeft in het verleden een ontgroning plaatsgevonden, zie afbeelding 5.25 links voor de ligging en het maaiveldniveau. In afbeelding 5.25 rechts is de met het model berekende stationaire grondwaterstand ten opzichte van maaiveld weergegeven. Deze staat vrijwel overal meer dan een meter onder maaiveld. De verwachting is daarom dat het ontgronden geen of weinig invloed op de gemiddelde grondwaterstand heeft gehad, en zeker geen effect tot in het Leudal. Tijdens een GHG-situatie kan er wellicht wel water aan maaiveld uittreden.



Afbeelding 5.25 links: ligging ontgrondingszone (zwarte markering, groene legendakleur) in maaiveldkaart (m+NAP); rechts: grondwaterstand ten opzichte van maaiveld (rechts) in de referentiesituatie (model REF1). Rechtsonder: overzicht ligging ten opzichte van Leudal (oranje).

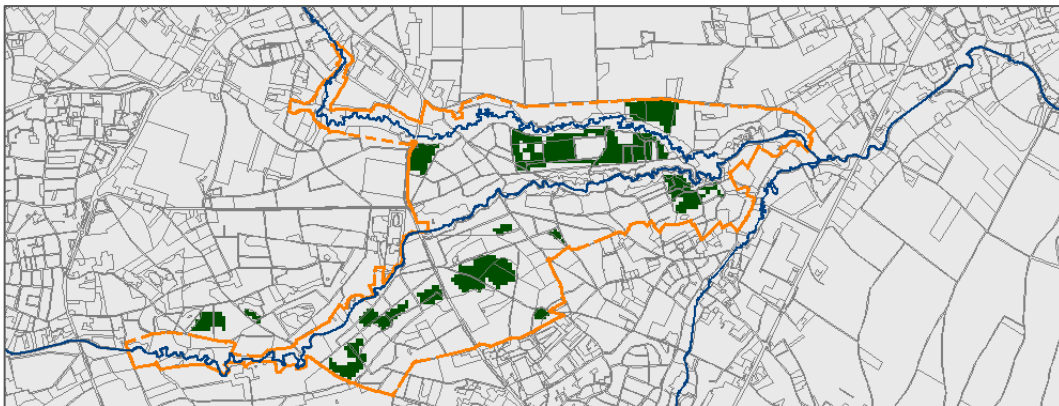
5.2.9 Effect bosaanplant sinds het eind van de 19e eeuw

Een deel van het Leudal was vroeger heide. De afgelopen 75 – 100 jaar is dit veelal vervangen door (donker) naaldbos. Om de invloed hiervan op de grondwaterstand in beeld te brengen is het areaal donker naaldbosaanplant in en rondom het Leudal in het model vervangen door heide en is de grondwateraanvulling daarvoor opnieuw bepaald op basis van van de gangbare gewasfactoren van donker naaldbos en heide. Het overige bos (loofbos en grove den) is intact gelaten.

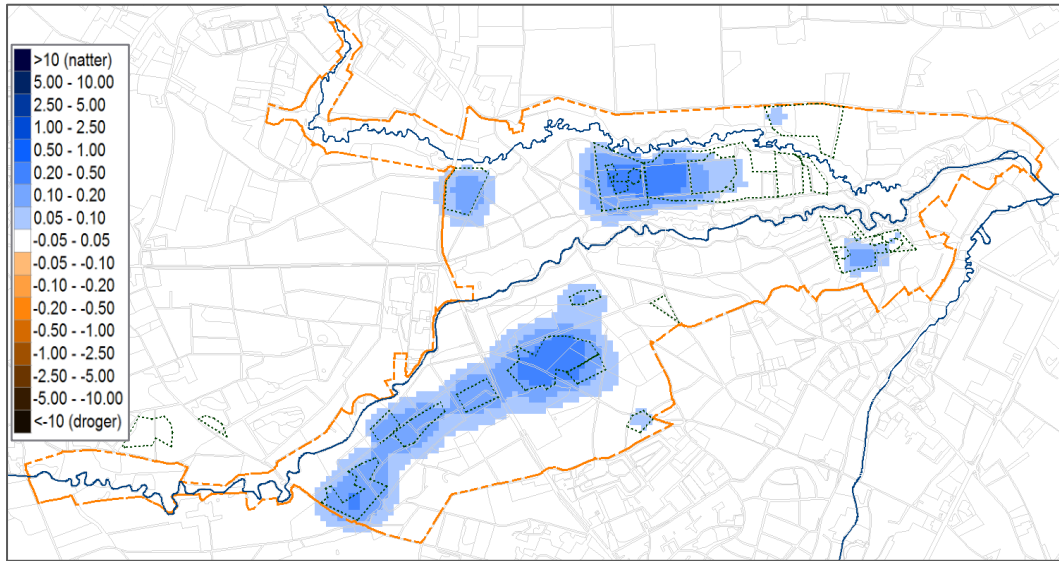
In de landgebruikskaart van IBRAHYM v2.0 was geheel geen donker naaldbos aanwezig, deze categorie is alsnog toegevoegd aan het gekalibreerde model, uitgaande van een recente inventarisatie van donker naaldbos, zie afbeelding 5.26. In afbeelding 5.27 is het berekende effect weergegeven van het vervangen van donker naaldbos door heide. Dit varieert van 5 cm tot lokaal meer dan 20 cm. Er is tot ongeveer 100 m uitstraling naar de omgeving.

Het valt op dat enkele zones in het oosten vrijwel geen effect geven van de vervanging van naaldbos door heide. De oorzaak is hier het ontbreken van de bovenste kleilaag van de Formatie van Beegden in modellaag 4 (afbeelding 4.1) waardoor hier contact is met het watervoerende pakket en het effect wordt gedempt. Onder deze kleilaag, in modellaag 5, is het effect vrijwel niet meer zichtbaar.

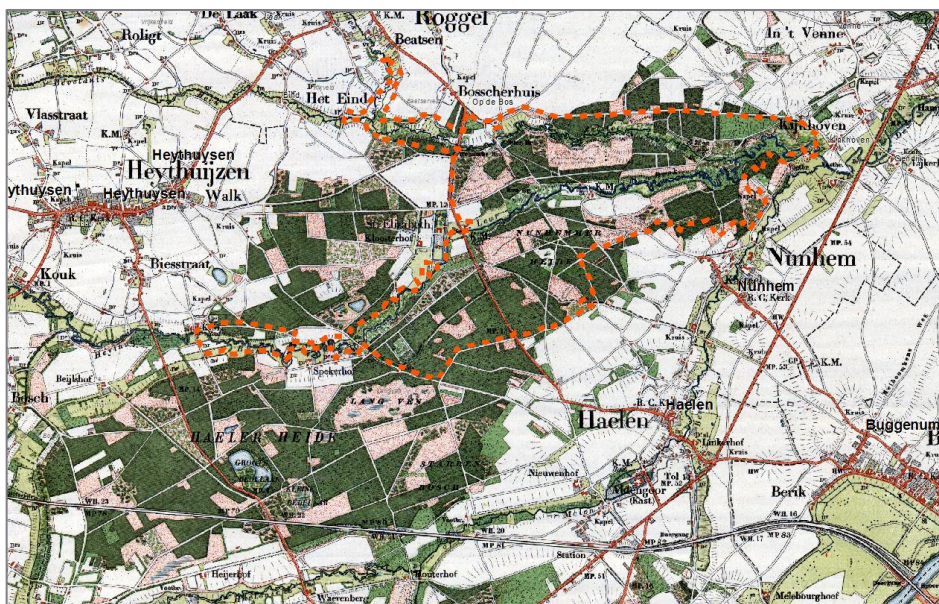
Omdat het onderscheid tussen donker en lichter naaldbos niet altijd even correct is geregistreerd, is er een aanvullende berekening uitgevoerd waarin alle naaldbos is vervangen door heide als daar vroeger (op basis van de topkaart uit 1921) heide voorkwam. Dit effect is weergegeven in afbeelding 5.29.



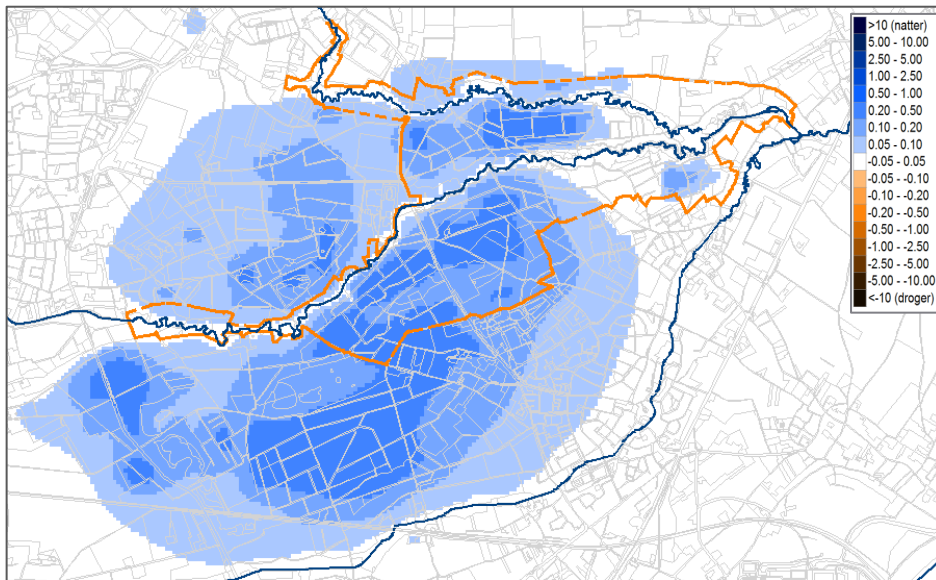
Afbeelding 5.26 donker naaldbos op basis van recente inventarisatie (bron: Provincie Limburg)



Afbeelding 5.27 effect vervangen donker naaldbos door heide, freatisch (modellaag 1); de vervangen naaldboszones zijn gemarkeerd met een donkergroene stippellijn.



Afbeelding 5.28 topkaart van 1921



Afbeelding 5.29 effect vervangen (alle soorten) naaldbos door heide waar vroeger (volgens topkaart 1921) heide voorkwam, freatisch (modellaag 1)

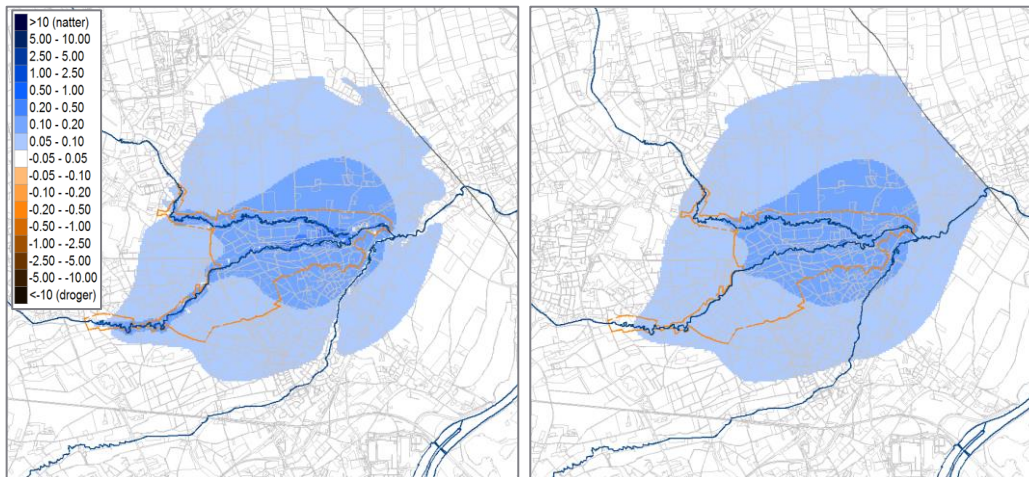
5.3 Scenarioberekeningen

Om te onderzoeken welke maatregelen van belang kunnen zijn voor het vernatten van het Leudal, zijn de volgende scenarioberekeningen uitgevoerd:

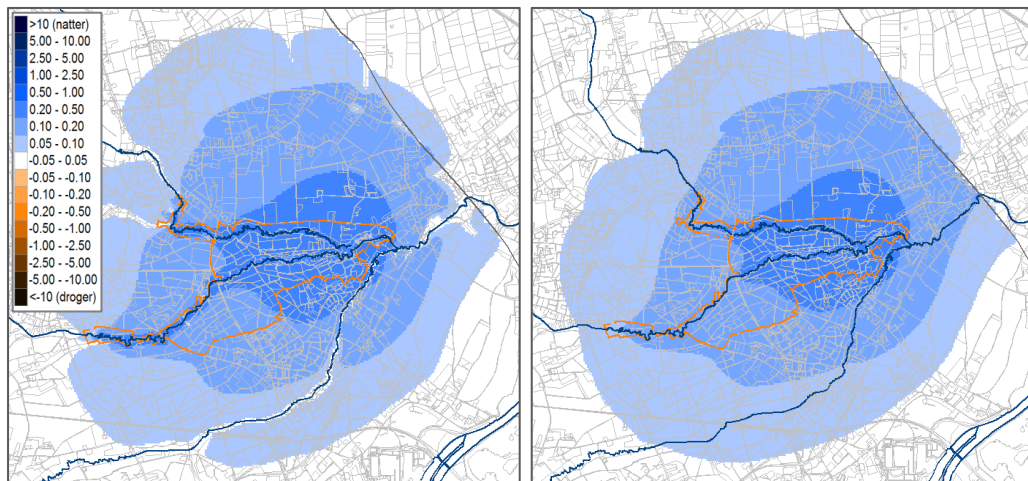
- peilopzet beken;
- omvorming donker naaldbos naar loofbos;
- stopzetten onttrekkingen voor beregening
- kleischerm langs het Lateraal kanaal;
- meestromende geul ten westen van lateraal kanaal;
- peilopzet Maas;
- afkoppelen hemelwaterafvoer in kern Heythuysen.

5.3.1 Effect peilopzet beken

Beide beken hebben een grote drainerende werking in het Leudal. Daarom is doorgerekend wat het effect is van een peilverhoging van zowel 0,25 en 0,5 m voor beide beken. Een dergelijke peilstijging is wellicht nog te realiseren in het Leudal, hoger lijkt niet realistisch. Deze peilopzet is gehanteerd over de gehele lengte van beide beken in het Leudal. De beekbodem is gelijk gehouden. In de onderstaande afbeeldingen is te zien dat de peilopzet van 25 cm een effect heeft van 5 tot 20 cm in het Leudal en uitstraalt naar buiten het Leudal. De peilopzet van 50 cm heeft een effect van 10 tot 40 cm in het Leudal en een uitstraling ruim daarbuiten. Het effect bij een peilopzet van 50 cm is vrijwel tweemaal zo groot als een peilopzet van 25 cm.



Afbeelding 5.30 effect peilverhoging beken Leudal met 0,25m, freatisch (modellaag 1) en in WVP1 (modellaag 6)

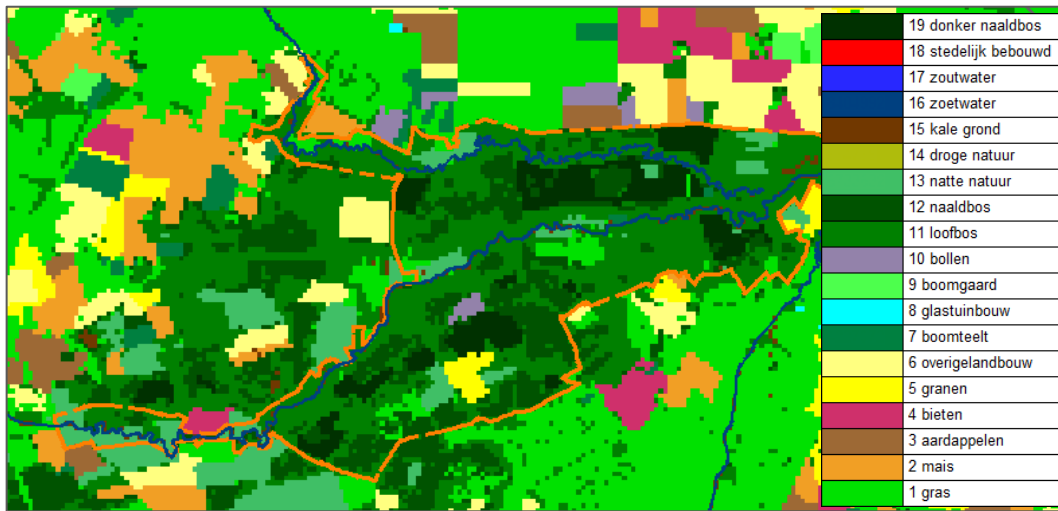


Afbeelding 5.31 effect peilverhoging beken Leudal met 0,5m, freatisch (modellaag 1) en in WVP1 (modellaag 6)

De vraag is wel hoe een peilopzet van 0,25 of zelfs 0,5 m is te realiseren, vooral gezien de vaak al beperkte diepte van het peil van de beken tot de insteek aan maaiveld. Een peilstijging enkel door ophoging van de beekbodem lijkt niet haalbaar, vanwege de verwachte grote eroderende werking van de beken door het steile verhang en piekafvoeren. Tenzij de beekbodem over het gehele benedenstroomse traject wordt opgehoogd om het verhang te nivelleren. Natuurlijke barrières, zoals boomstammen, zullen slechts een beperkte opstuwung geven. Stuwen zijn wel mogelijk, maar er zijn, vanwege het verhang, meerdere stuwen nodig om over het gehele traject een verhoging te realiseren en dit zal het oorspronkelijke karakter van de beek verder verstoren.

5.3.2 Effect omvorming van donker naaldhout naar loofbos

De invloed van het omvormen van donker naaldhout naar loofbos is bepaald door alle donker naaldbos in het Leudal te veranderen in loofbos, via een aangepaste grondwateraanvulling op basis van gewasfactoren. In onderstaande afbeelding is het landgebruik te zien zoals geschematiseerd in het referentiemodel.

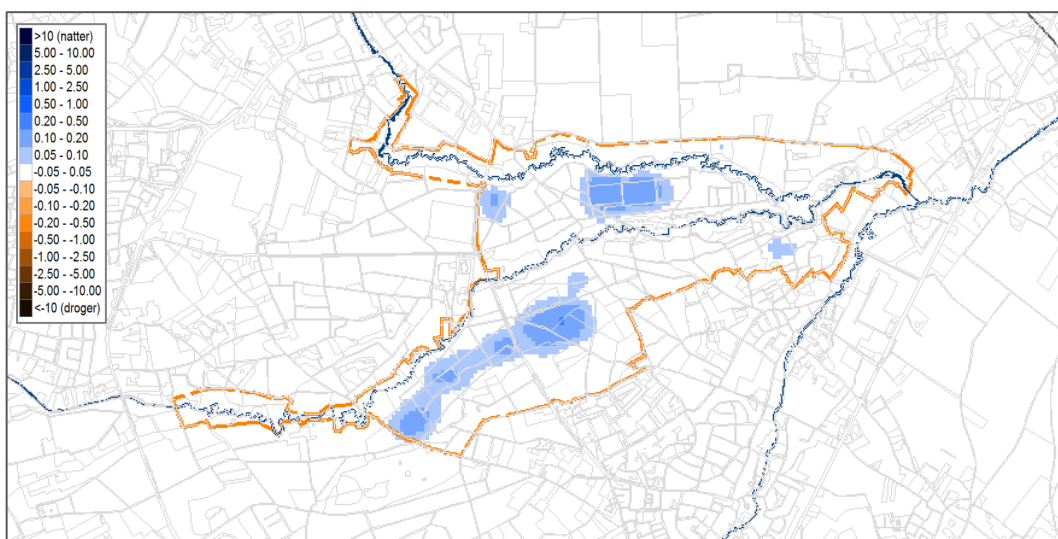


Afbeelding 5.32 effect bosomvorming van donker naaldbos naar loofbos freatisch (L1)

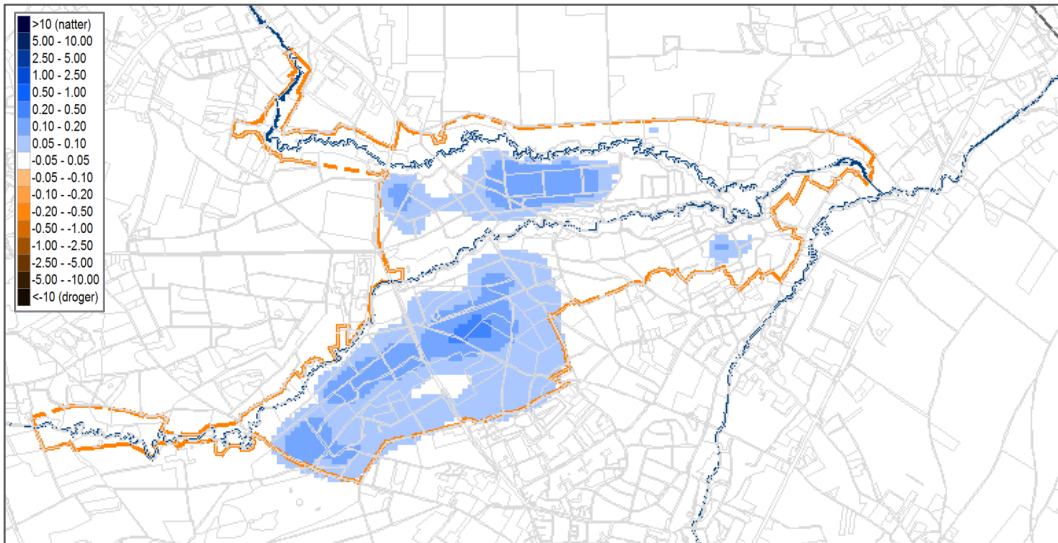
In afbeelding 5.33 is het berekende effect getoond van het omvormen van alle donker naaldbos binnen Leudal naar loofbos. Dit effect is wat kleiner dan het effect in afbeelding 5.27 omdat daar is omgevormd naar heide, dat minder verdampt dan loofbos.

In afbeelding 5.34 is het berekende effect getoond van het omvormen van alle naaldbos (licht en donker) binnen het Leudal naar loofbos. Dit is uiteraard wat groter dan het effect van omvormen van enkel donker naaldbos en kleiner dan het effect van omvormen van naaldbos naar heide, zoals getoond in afbeelding 5.29.

Er wordt geen effect berekend nabij de beken. Wel valt te verwachten dat er door de hogere grondwaterstand op de dekzandruggen wat meer kwel in de beekdalen uittreedt. De stroombaanlijnen in afbeelding 5.6 laten zien dat er op de dekzandruggen wegzijging is en dat dit water weer als kwel in de beekdalen omhoog komt. Door bosomvorming stijgt de grondwaterstand op de dekzandruggen en zorgt voor iets een grotere kweldruk in de beekdalen. Dit kan niet goed met het grondwatermodel worden berekend doordat kwel in het model vooral door de beken wordt afgevangen en niet zichtbaar is in een verhoogde kwelflux. Daarnaast is de modelresolutie van 25 m relatief grof voor het beekdal.



Afbeelding 5.33 effect bosomvorming van donker naaldbos naar loofbos freatisch (L1)



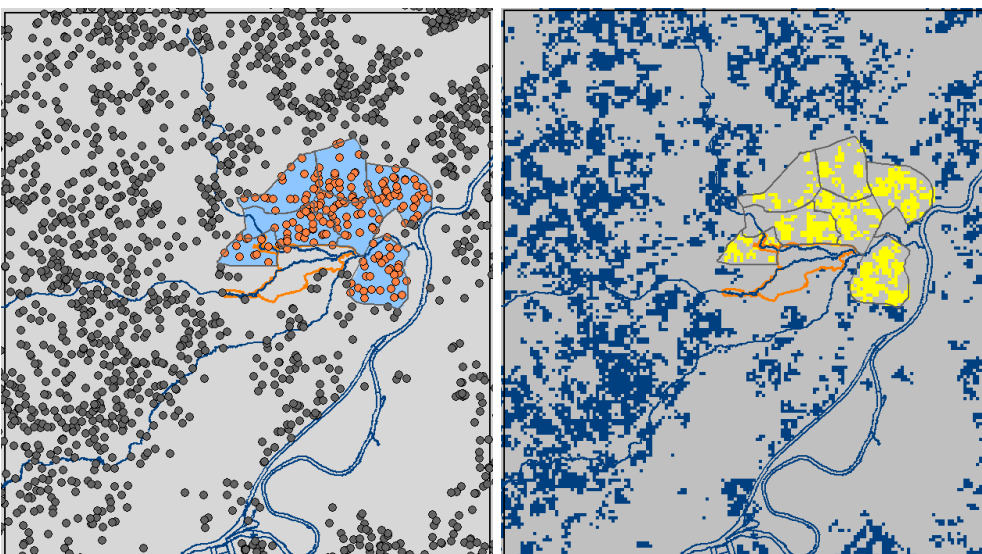
Afbeelding 5.34 effect bosomvorming van alle naaldbos naar loofbos freatisch (L1)

5.3.3 Effect stopzetten onttrekkingen voor beregening

In het project 'Leudal aan de Leiding' wordt gekeken wat de mogelijkheden zijn voor het beperken van beregening vanuit de landbouw ten noorden van het Leudal. Onderdeel daarvan is het water voor beregening te halen uit oppervlaktewater dat van de Maas afkomstig is, in plaats van uit grondwater. Er is met het model daarom gekeken wat de invloed van deze plannen kan zijn op het Leudal. Er zijn twee varianten doorgerekend:

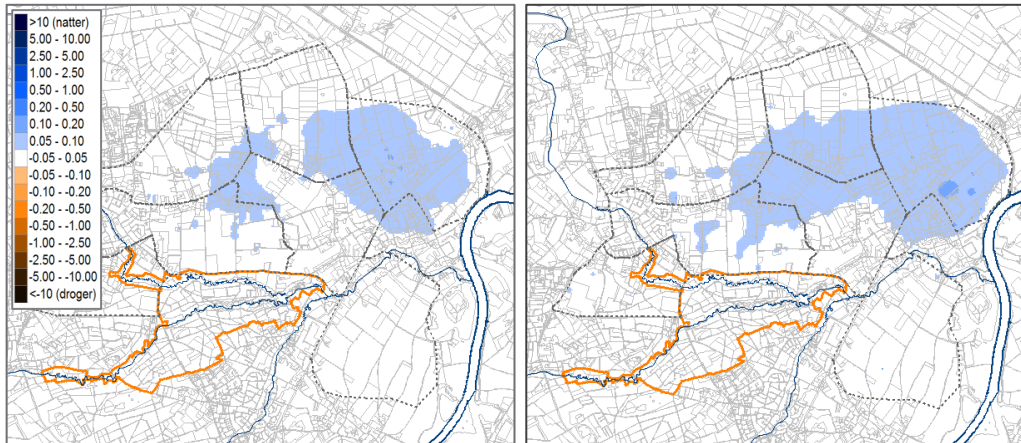
1. beregening in het projectgebied 'Leudal aan de leiding' geheel uit (zowel de onttrekking als de gift);
2. beregening uit oppervlaktewater in het projectgebied 'Leudal aan de leiding' (onttrekking uit, gift aan binnen deze projectzone, de rest is zo gelaten zoals in het referentiemodel).

In afbeelding 5.35 zijn de locaties te zien van de beregeningsputten en is het onderzoeksgebied gemarkeerd.



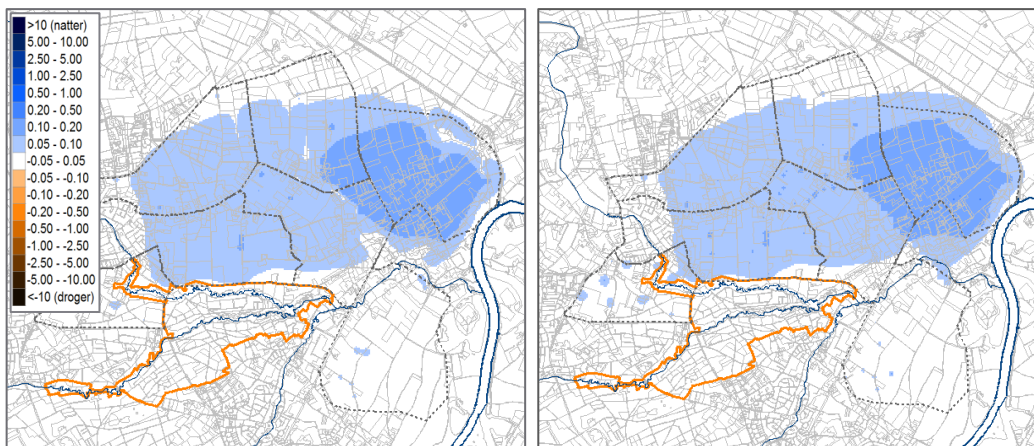
Afbeelding 5.35 Locaties van beregeningsputten (links) en percelen (rechts) met indicatie van projectgebied 'Leudal aan de Leiding' en verwijderde putten en/of percelen.

In afbeelding 5.36 is het berekende effect te zien van variant1, waarbij zowel de berekening als de onttrekking is uitgezet in het projectgebied. Het effect is aanzienlijk kleiner dan dat zoals getoond in afbeelding 5.15, ook binnen het projectgebied. Vooral aan de westzijde is het opvallend dat nu geen effect zichtbaar is. De reden is dat het effect nu net onder de 5 cm klassegrens van de legenda valt. Bij de berekening van paragraaf 5.2.4 kwam het cumulatieve effect van het uitzetten van de berekening binnen en ten westen van de projectgrens van 'Leudal aan de Leiding', boven de 5 cm en was daardoor wel zichtbaar.



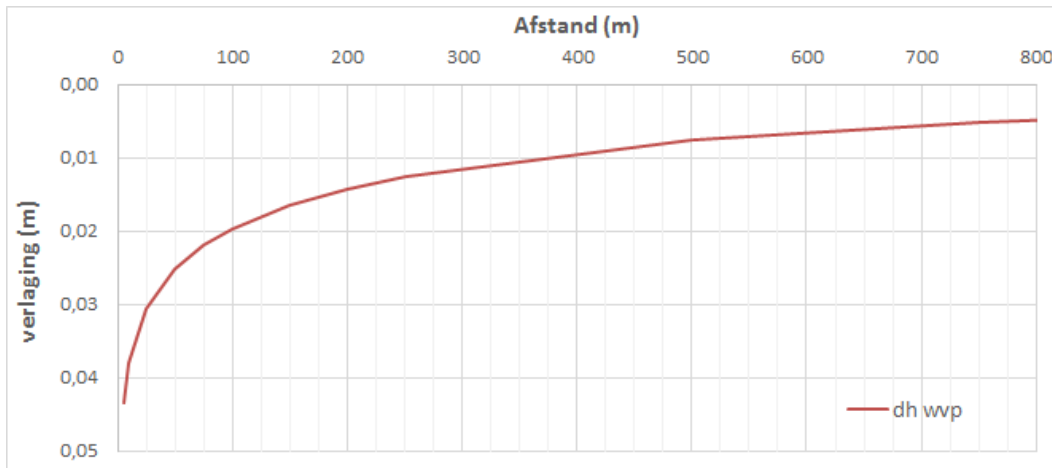
Afbeelding 5.36 effect door variant 1, uitzetten berekening in projectgebied, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 6, rechts)

In afbeelding 5.37 is het berekende effect getoond van variant 2, berekening uit oppervlaktewater. Zoals verwacht is dit effect groter dan het effect van variant 1. Maar ook nu wordt in het Leudal geen effect berekend. De reden van de beperkte uitstraling naar de omgeving moet waarschijnlijk vooral gezocht worden in het relatief geringe onttrekkings-debiet in een groot watervoerend pakket waarin het effect snel uitdempt.



Afbeelding 5.37 effect door variant 2, berekening in projectgebied uit oppervlaktewater, freatisch (modellaag 1, links) en net boven de Kiezeloöliet klei (modellaag 12, rechts)

Ter indicatie is in afbeelding 5.37 ook de verlaging gepresenteerd, zoals berekend met de analytische formule van De Glee voor een vereenvoudigde, stationaire situatie. De gebruikte getallen komen qua orde van grootte overeen met de situatie in het beregende LLTB gebied. Deze berekening bevestigt het beeld van de modelberekening: op 25 m afstand van een put met een debiet van gemiddeld 100 m³/d is het effect nog maar ongeveer 3 cm en is daardoor niet of beperkt zichtbaar in een model met modelresolutie van 25 m en eerste legenda klasse van 5-10 cm. Overigens is dit specifiek voor dit gebied en kan niet in het algemeen gesteld worden dat de invloed van berekening beperkt is,



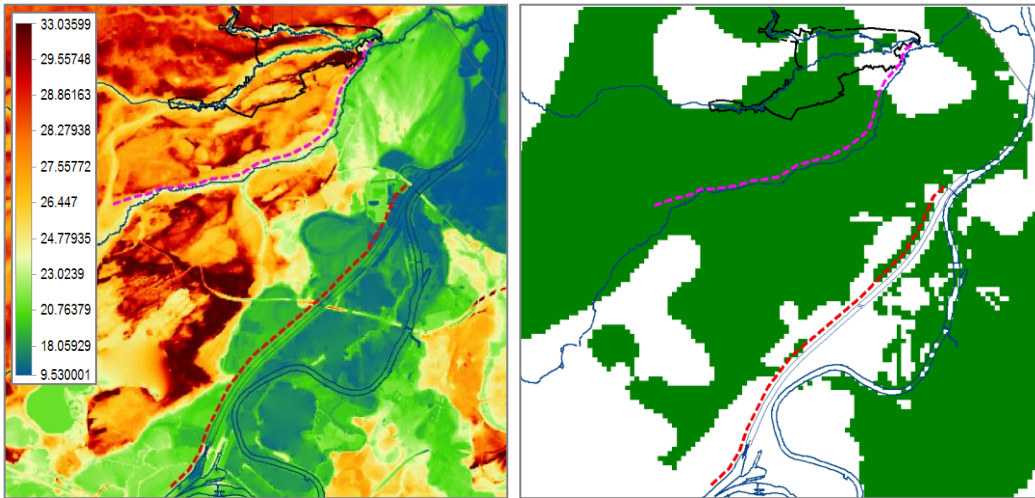
Afbeelding 5.38 Verlaging door beregeningsput bij een debiet van 100 m³/d berekend met de formule van De Glee, met een $kD_{wvp}=2000$ m²/d, $C_{drainage}=500d$ en $C_{deklaag}=50d$.

5.3.4 Effect kleischerm langs Lateraal kanaal

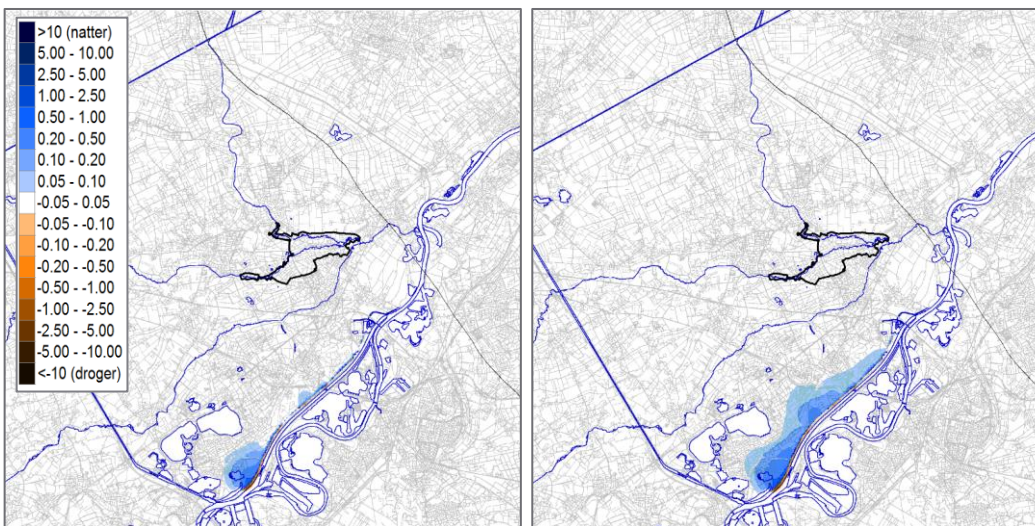
De invloed van een kleischerm langs het Lateraal kanaal is in eerste instantie modelmatig bepaald door een breuk met een weerstand van 100.000 dagen aan de westzijde van het kanaal in het model op te nemen, zie afbeelding 5.39. Deze breuk is geschematiseerd tot aan de onderzijde van modellaag 4. Deze ligt hier 1 m -mv (vooral in het noordelijke deel) tot 15 m -mv. Er is hier grotendeels geen slecht doorlatende laag aanwezig, alleen in het noordelijke deel. Pas in modellaag 7 is er een slecht doorlatende laag uit de Formatie van Stramproy (syk1, maar deze ligt 35 tot 50 m -mv.

In afbeelding 5.40 is links het berekende effect van dit kleischerm te zien. Dit effect is veel kleiner dan het effect van het verwijderen van het gehele kanaal uit het model, zoals getoond in afbeelding 5.14. Dit is op zich conform verwachting omdat de invloed van het kanaal nog onder het kleischerm door zal kunnen werken.

Omdat het berekende effect wel heel klein is, is ook nog berekend wat het effect is wanneer het scherm nog iets dieper geplaatst zou worden, namelijk tot onderkant modellaag 5. Dit is ongeveer 17 tot 27 m -mv. In afbeelding 5.40 is rechts te zien dat het berekende effect hiervan duidelijk groter is, maar nog steeds verre van het Leudal blijft.

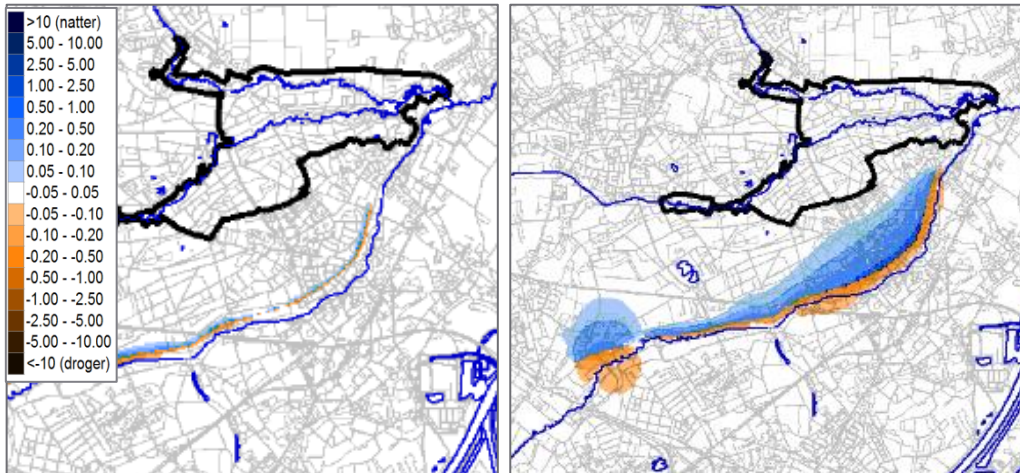


Afbeelding 5.39 ligging van gemodelleerde kleischermen, variant 1 (rood) ten westen van het Lateraalkanaal en variant 2 (roze) ten westen van de Haelense Beek. Links: ligging ten opzichte van maaiveld, rechts: ligging ten opzichte van voorkomen Beegdenklei (bek1, modellaag 4)



Afbeelding 5.40 effect freatisch (modellaag 1) van kleischerm langs Lateraalkanaal, tot onderzijde L4 (links) en tot onderzijde L5 (rechts).

Als variant 2 is daarom nog berekend wat het effect is wanneer het scherm veel verder naar het westen, ten westen van de Haelense Beek zou worden geplaatst, eveneens tot aan de onderzijde van modellaag 4 resp. 5. In afbeelding 5.41 is te zien dat het effect ook hier niet tot in het Leudal komt.



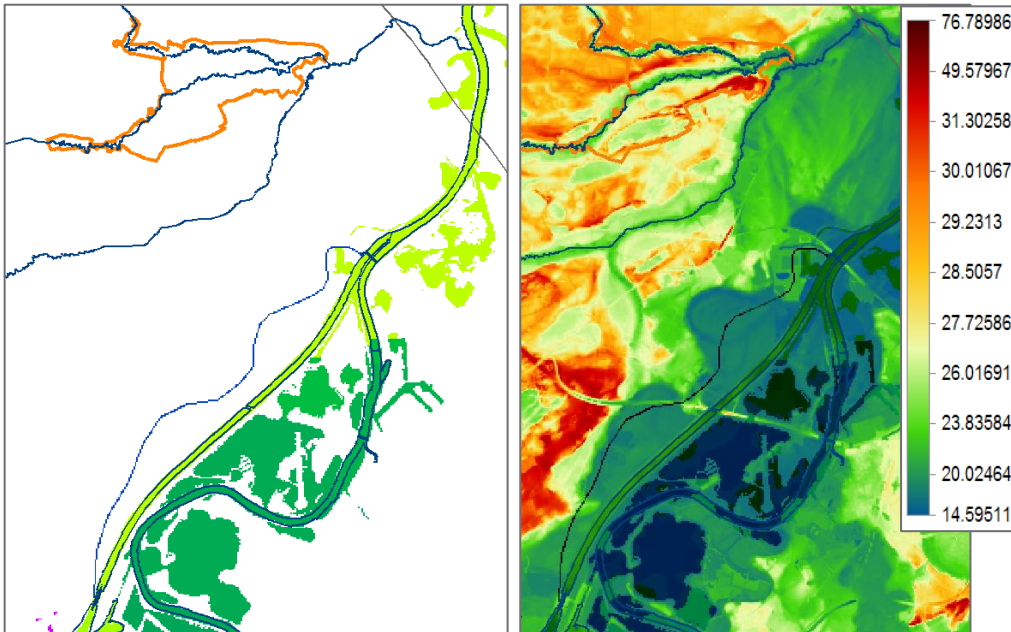
Afbeelding 5.41 effect freatisch (modellaag 1) van kleischerm langs Haelense Beek, tot onderzijde L4 (links) en tot onderzijde L5 (rechts).

5.3.5 Effect meestromende geul langs Lateraalkanaal

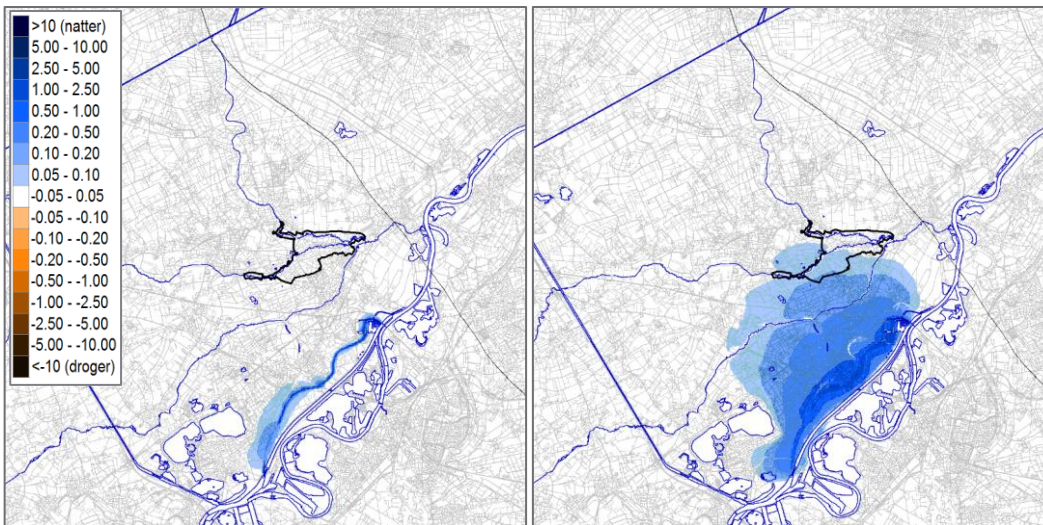
In het de 'Groenvisie Maasplassen, Landschapsecologisch fundament voor gebiedsontwikkeling Maasplassen' van provincie Limburg (2009) is een suggestie gedaan voor een meestromende geul ten westen van het Lateraalkanaal en die gebruik maakt van het volledige verval tussen stuwpand Linne en Belfeld.

In afbeelding 5.45 is de ligging van deze geul getoond. Het maaiveld ligt hier vrijwel overal hoger dan 18 m +NAP en grotendeels tussen 18 en 19 m +NAP. Er zijn twee varianten doorgerekend. Variant 1 is een ondiepe geul met bodemhoogte 1 m onder een peil van 18 m +NAP en een breedte van ongeveer 10 m (en drainageweerstand van één dag). Variant 2 is, net als het Lateraalkanaal, een diepe geul met bodemhoogte 5 m en een breedte van ongeveer 25 m. Voor het peil is eveneens 18 m +NAP aangehouden.

In afbeelding 5.43 is het effect getoond van beide varianten. Variant 1, de ondiepe geul, heeft maar een beperkt effect. Het effect van variant 2 is veel groter en komt tot in het zuidwesten van het Leudal. Deze diepe geul kan voor een groot deel het effect mitigeren van de aanleg van het Lateraalkanaal, zie afbeelding 5.14. De vraag is uiteraard of de aanleg van een dergelijke geul haalbaar is.



Afbeelding 5.42 ligging meestromende geul ten westen van Lateraalkanaal (links) en ten opzichte van maaiveldniveau (rechts).

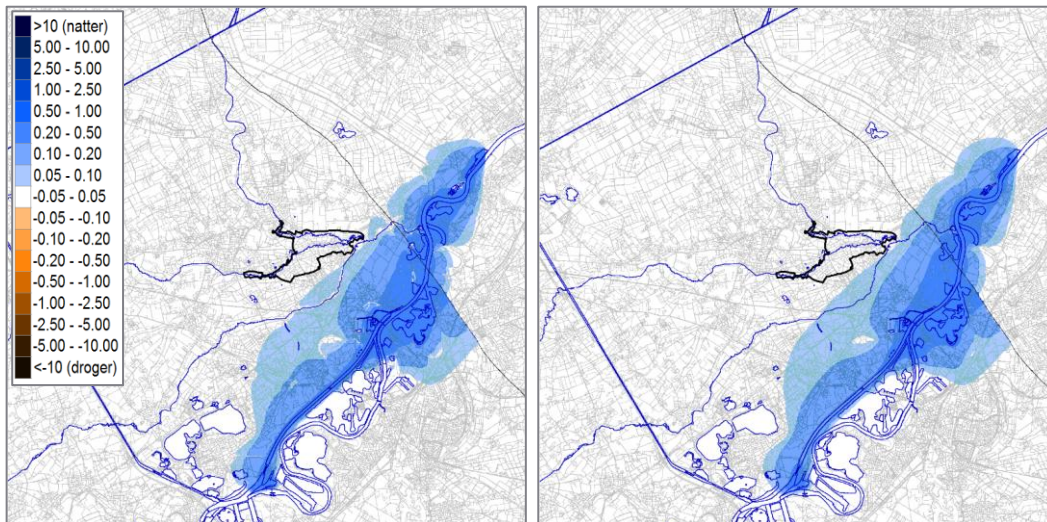


Afbeelding 5.43 effect meestromende geul ten westen van Lateraalkanaal, variant 1 (links) en variant 2 (rechts)

5.3.6 Peilopzet Maas

Uit de systeemanalyse en de met het model berekende grondwaterstand blijkt dat het Lateraalkanaal en de Maas een grote invloed hebben op de grondwaterstand. Er is daarom gekeken welk effect berekend wordt bij een peilverhoging van 0,25 m in het stuwpand van het Lateraalkanaal tot aan de stuw bij Belfeld.

Het effect van peilopzet is groot, conform verwachting, maar komt niet tot in het Leudal.



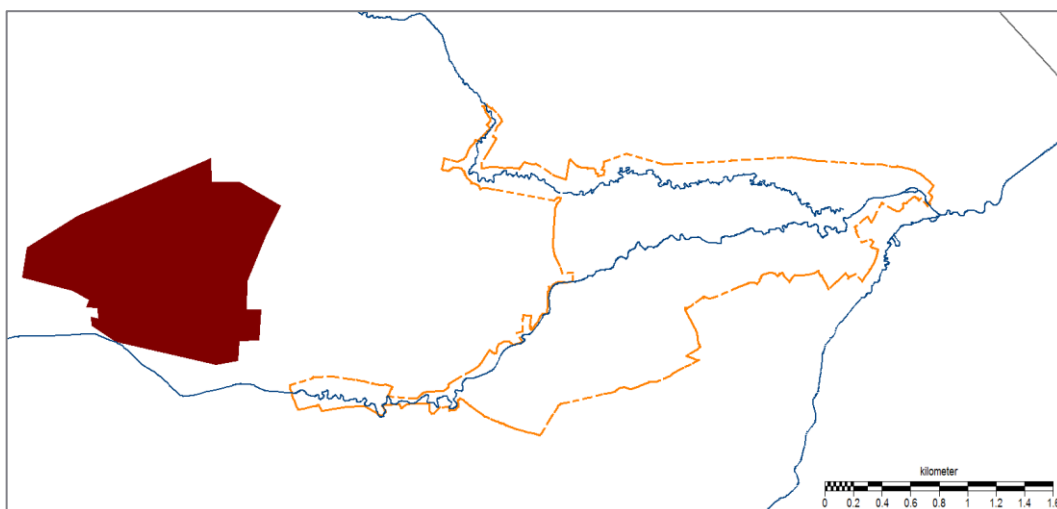
Afbeelding 5.44 effect peilopzet Maas met 0,25 m op freatisch grondwater (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)

5.3.7 Afkoppelen hemelwaterafvoer in stedelijk gebied

Het gaat hier om hemelwater dat wordt afgekoppeld van de rioolafvoer. Dit scenario wordt uitgevoerd in de kern van Heythuysen, zie afbeelding 5.45.

Omdat bleek dat in het uitgangsmodel stedelijk gebied nog als gras was geschematiseerd, is eest een modelcorrectie uitgevoerd in een apart referentiemodel voor dit scenario, waarin 50% van de kern van Heythuysen als verhard wordt beschouwd en geen grondwateraanvulling geeft. Voor de andere 50% van de kern is de grondwateraanvulling berekend op basis van neerslag en referentiegewasverdamming (zoals in de rest van het model). Er is daar als landgebruik gras aangenomen, maar met een gewasfactor van 0,7 vanwege de aanname dat de vochtvoorziening voor gras in stedelijk gebied niet optimaal is en de verdamping daardoor kleiner is dan de verdamping van landbouwgras.

De invloed van het afkoppelen is vervolgens modelmatig bepaald door het verharde deel geheel te vangen door gras waarvoor de grondwateraanvulling eveneens wordt bepaald met een gewasfactor van 0,7. Het op basis hiervan berekende effect wordt als ondergrens gezien omdat in werkelijkheid het afgekoppelde hemelwater geconcentreerd richting bijvoorbeeld wadi's wordt geleid of zelfs direct in de bodem wordt geïnfilteerd.

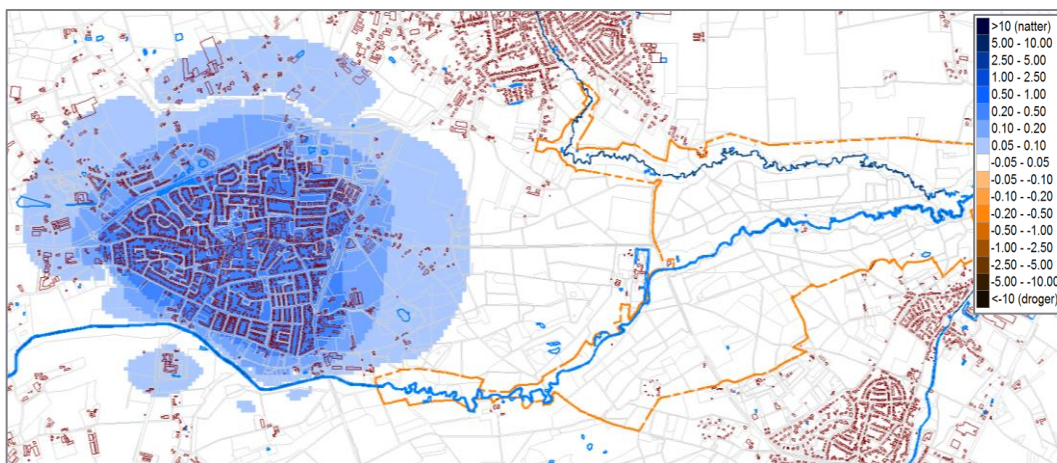


Afbeelding 5.45 ligging van de afgekoppelde kern van Heythuysen (rood)

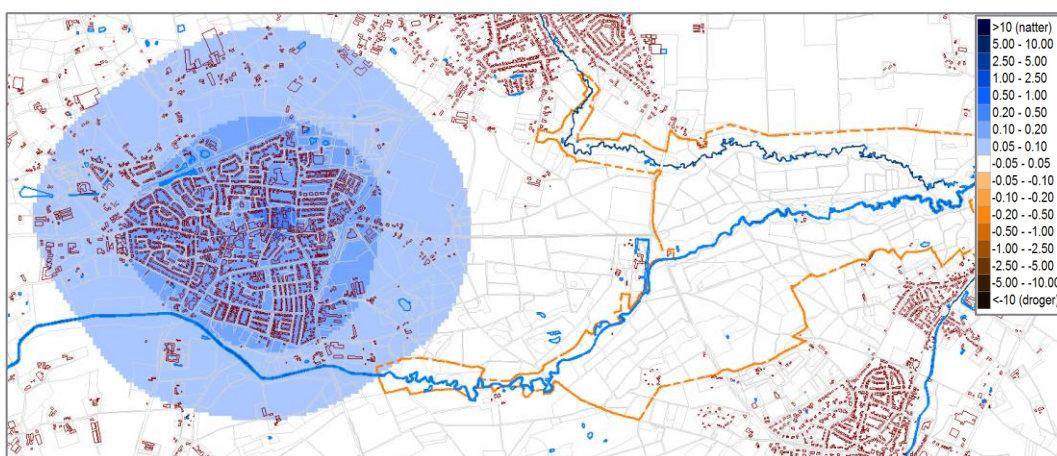
In afbeelding 5.46 is het berekende effect op het freatische grondwater getoond. Binnen de kern van Heythuysen wordt een effect van 0,2 tot 0,5 m berekend. Daarbuiten is wel uitstraling tot ongeveer 750 m buiten de kern, maar niet tot in het Leudal (dat wil zeggen minder dan 5 cm). De oorzaak van dit lokale effect is de vooral omlaag gerichte stroming van het grondwater (zie afbeelding 5.6). Er wordt door het afkoppelen dus geen positief effect berekend op de grondwaterstand in het Leudal.

In afbeelding 5.47 is het effect in het watervoerende pakket te zien, iets kleiner, maar qua locatie nog grotendeels gelijk aan het effect op het freatische grondwater. In het zuiden valt wel op dat het diepere effect ook ter plaatse en voorbij de Tungelroysche Beek komt. In het freatische grondwater wordt dit effect gedempt door de beek. Het afkoppelen zal hierdoor vermoedelijk wel een effect hebben op de kwel langs de Tungelroysche beek. In afbeelding 5.48 is het berekende effect op de kwel van modellaag 2 naar 1 getoond. Er wordt inderdaad een klein effect op de kwel berekend, zelfs nog tot in het uiterste zuidwesten van het Leudal.

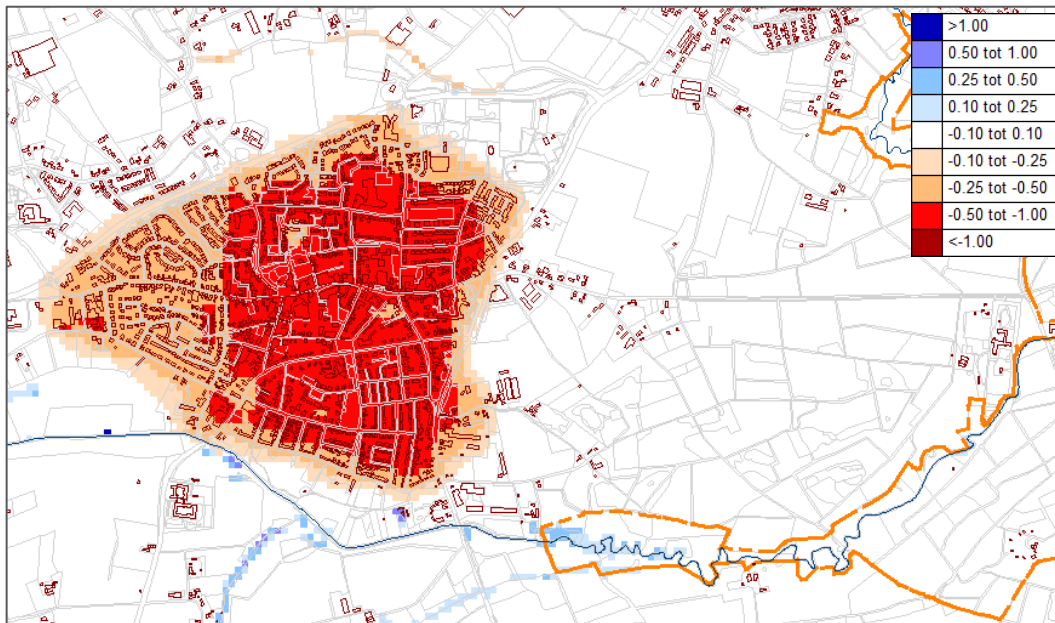
Verder zal het afkoppelen uiteraard wel de afvoer en mogelijk het peil van de Tungelroysche beek verhogen. Regenwater dat niet meer via de riolering wordt afgevoerd stroomt dan namelijk via het grondwater naar de beek. Bij uitvoering van deze maatregel dient uiteraard nog aandacht besteedt te worden aan de invloed op de waterkwaliteit.



Afbeelding 5.46 effect afkoppelen Heythuysen op freatisch grondwater (modellaag 1)



Afbeelding 5.47 effect afkoppelen Heythuysen in WVP1 (modellaag 5, rechts)



Afbeelding 5.48 effect afkoppelen Heythuysen berekende kwel (mm/d, modellaag 2→1)

5.4 Voorstel oplossingsrichting

Er zijn verschillende maatregelen doorgerekend. Voordat een voorstel voor een oplossingsrichting wordt gegeven, wordt nog het cumulatieve effect van enkele kansrijke maatregelen met het model berekend. Er worden hiertoe twee mogelijke maatregelpakketten onderscheiden voor vernatting van het Leudal:

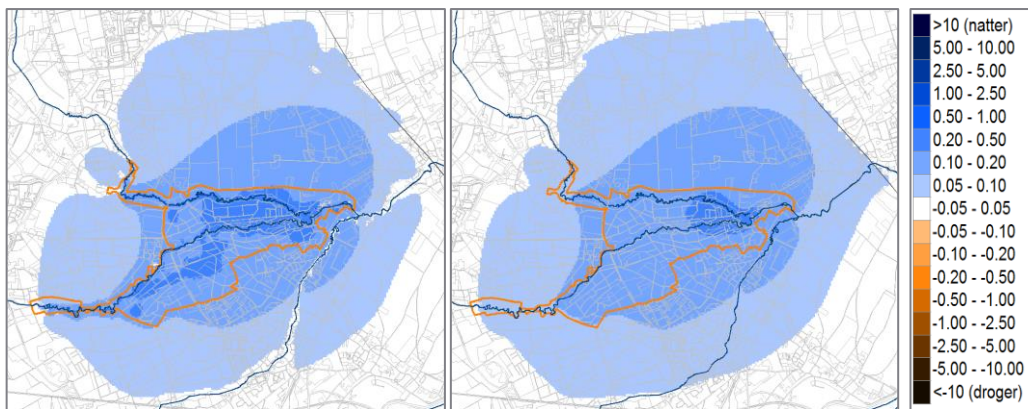
- Cumulatieve variant 1: lokale en interne maatregelen
Dit betreft maatregelen in het Leudal zelf, die kansrijk en haalbaar zijn en op kortere termijn te realiseren. Concreet betreft het de volgende maatregelen:
 - peilopzet van beide beken met 0,25 m;
 - bosvorming donker naaldbos naar heide en alle naaldbos naar heide, waar vroeger (volgens topkaart 1921) ook heide was;
 - dempen greppels en drainage in het Leudal.
- Cumulatieve variant 2: regionale en externe maatregelen
Dit betreft externe maatregelen, ingrijpende en kostbare maatregelen, die mogelijk niet haalbaar zijn en zeker niet op korte termijn. Om te beoordelen of het de moeite loont ze te onderzoeken is een cumulatief effect bepaald. Concreet gaat het om de volgende maatregelen:
 - stopzetten van de winning Beegden;
 - ophogen van het Maaspeil met 25 cm;
 - een diepe meestromende geul ten westen van het Lateraalkanaal.

In afbeelding 5.50 is het berekende cumulatieve effect van variant 1 getoond voor het freatische grondwater. Op de dekzandruggen wordt ongeveer 0,3 tot lokaal 0,4 m vernatting berekend. In de beekdalen is dit ongeveer 0,2-0,25 m. Naar het oosten neemt dit af tot 0,1 tot 0,2 m. In afbeelding 5.51 is het cumulatieve effect getoond voor de kwel van model laag 2 naar 1. Op de dekzandruggen en ook in een groot deel van het beekdal wordt wat meer wegzijging berekend naar het diepe grondwater. Dit komt door de stijging van de grondwaterstand, wat zorgt voor meer wegzijging (of minder kwel). Door de stijging van de grondwaterstand op de dekzandruggen zal wat meer kwel in de beekdalen uit treden.

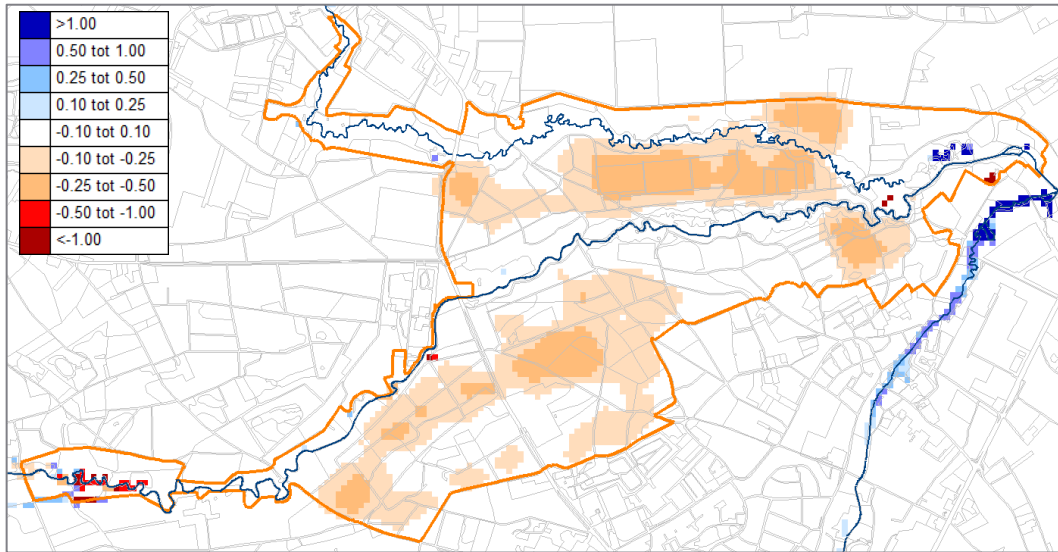


Afbeelding 5.49 Natuurlijke mogelijkheden voor peilverhoging door opstuwing in de beek (bron: Piet van den Munckhof, SBB, 20-12-2016)

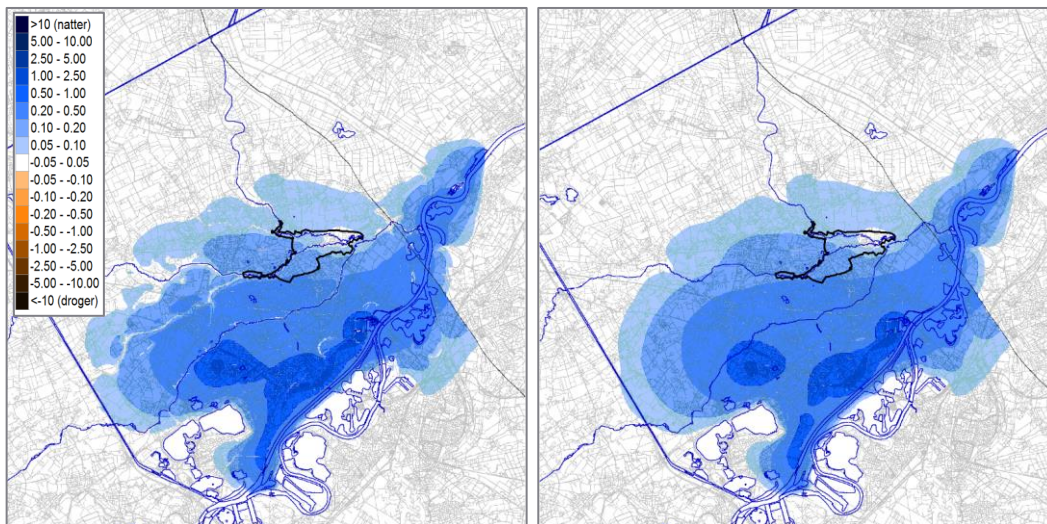
In afbeelding 5.52 is het berekende cumulatieve effect van variant 2 getoond voor het freatische grondwater. In het zuidwesten van het Leudal wordt nog 0,1 tot 0,2 m vernatting berekend. In het noordoosten wordt geen effect berekend op de grondwaterstand door de dempende werking van de beken. In de rechter afbeelding is te zien dat het effect zich vooral via het watervoerende pakket verspreidt, het effect is daar iets groter dan freatisch. Maar veel verschil is er niet, waardoor er voor deze variant vrijwel geen sprake is van verandering van de kwelflux, zoals is te zien in afbeelding 5.53.



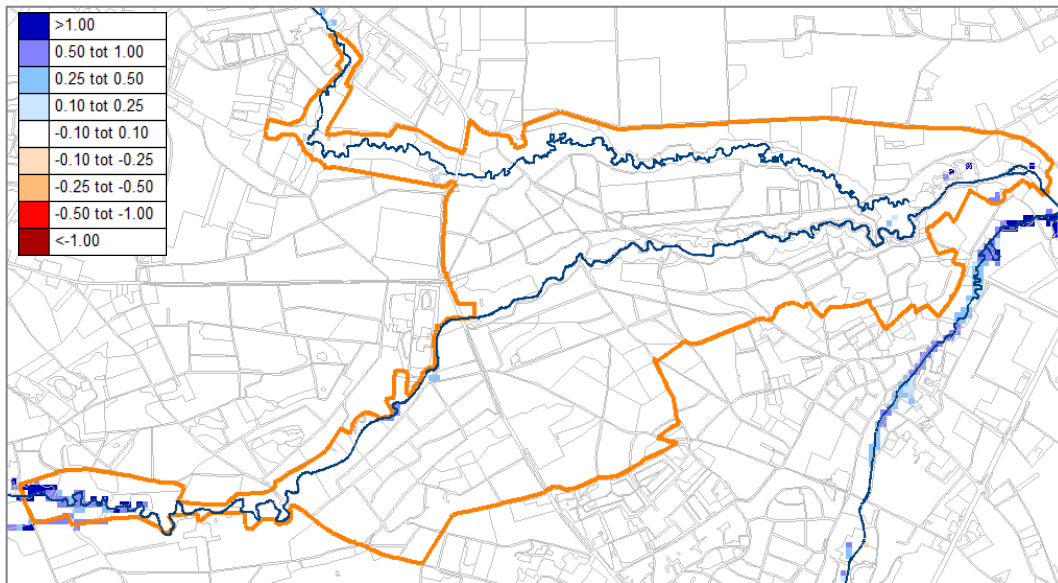
Afbeelding 5.50 cumulatief effect variant 1 op freatisch grondwater (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)



Afbeelding 5.51 cumulatief effect variant 1 op kwel (mm/d) van modellaag 2 naar 1



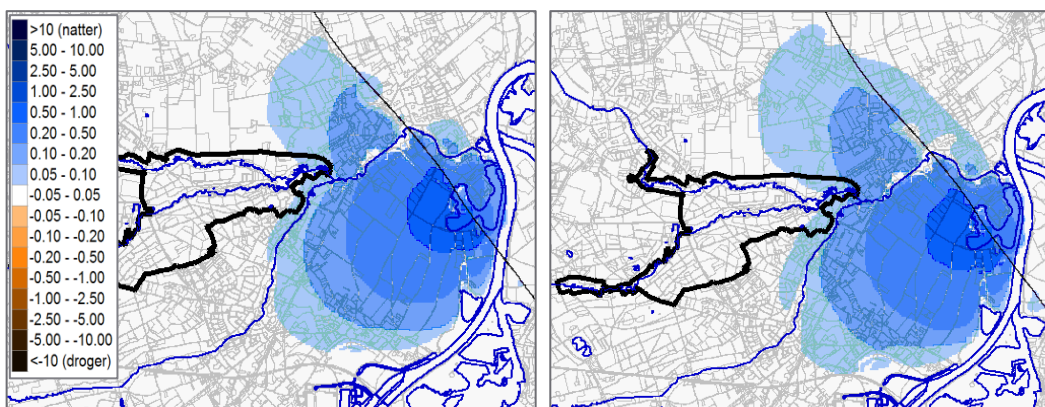
Afbeelding 5.52 cumulatief effect variant 2 op freatisch grondwater (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)



Afbeelding 5.53 cumulatief effect variant 2 op kwel (mm/d) van modellaag 2 naar 1

Variante 1 geeft een aanzienlijke stijging van de grondwaterstand en betreft relatief haalbare maatregelen. Dit in tegenstelling tot de maatregelen in variant 2. Er wordt dan ook voorgesteld om variant 1 te hanteren als uitgangspunt voor de oplossingsrichting. Aanvullend kan nog gekeken worden of de paar secundaire waterlopen die ook daadwerkelijk draineren, kunnen worden gedempt.

Ter indicatie van de invloed van modelonzekerheden zijn enkele maatregelen ook doorgekeken uitgaande van een model met tweemaal zo grote horizontale doorlatendheden (kh-waarden) in alle modellen. Dit gaf slechts in beperkte mate andere effecten. Zie bijvoorbeeld onderstaande afbeeldingen, waarin voor beide modellen het berekende effect van het verwijderen van de nevengeul is getoond. Het model met tweemaal zo grote kh-waarden geeft een effect dat ongeveer 500 m verder komt.



Afbeelding 5.54 Verschil in effect voor het verwijderen van de nevengeul met het gekalibreerde referentiemodel (links) en een model met 2x zo grote kh-waarden (rechts) voor het fretische grondwater (modellaag 1)

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Naar aanleiding van het onderzoek wordt het volgende geconcludeerd:

- De gepresenteerde effecten zijn gebaseerd op een grondwatermodel, een verbeterd en gekalibreerd deelmodel van IBRAHYM v2.0, het actuele voor provincie Limburg beschikbare en geaccepteerde grondwatermodel. Na verbetering en kalibratie van het grondwatermodel resteert een gemiddelde afwijking tussen de berekende en gemeten grondwaterstand van ongeveer 0,1 tot 0,2 m. De gemiddelde absolute afwijking is ongeveer 0,25 m. Omdat bij effectbepaling het verschil wordt genomen tussen berekende stijghoogten, zullen deze onnauwkeurigheden deels tegen elkaar wegvallen zodat de betrouwbaarheid van de berekende effecten doorgaans hoger is dan de betrouwbaarheid van de berekende stijghoogten.
- Een model is een schematisatie van de werkelijkheid. Er dient altijd rekening te worden gehouden met bijbehorende modelonzekerheden. Enkele indicatieve modelberekeningen met tweemaal zo grote horizontale doorlatendheden gaf slechts in beperkte mate verschillende effecten.
- Het grondwatermodel is een stationair model en gekalibreerd op gemiddelde grondwaterstanden over de periode 1997 t/m 2011. De berekende effecten zijn daarom geldig voor een gemiddelde, corresponderende situatie.
- De doorgerekende historische maatregelen geven het volgende beeld:
 - er wordt in het Leudal geen invloed berekend door bruinkoolwinning;
 - als gevolg van de winning Beegden wordt in het zuidwesten van het Leudal een gemiddelde invloed berekend van 5 tot 10 cm;
 - als gevolg van de aanleg van het Lateraalkanaal wordt in het zuidwesten van het Leudal een invloed berekend van 0,1 tot 0,2 m;
 - er wordt in het Leudal een invloed < 5 cm berekend van onttrekkingen voor beregening (hierbij is geen rekening gehouden met een onzekerheidsmarge);
 - er wordt in het Leudal geen invloed berekend als gevolg van buisdrainage;
 - er wordt in het Leudal slechts zeer beperkte, lokale invloed berekend als gevolg van drainerende waterlopen;
 - er wordt in het uiterste oosten van het Leudal als gevolg van de nevengeul een invloed berekend van 0,05 tot 0,1 m;
 - er wordt in het Leudal als gevolg van de aanplant van donker naaldbos, ter plaatse van de aangeplante percelen, een effect berekend van ongeveer 0,1 tot 0,3 m. Daarbuiten is de uitstraling beperkt.
- De doorgerekende scenario's geven het volgende aanvullende beeld:
 - voor peilopzet van de beken in het Leudal wordt een relatief grote invloed berekend in het gehele Leudal;
 - er wordt geen effect in het Leudal berekend als gevolg van het aanbrengen van een kleischerm tussen het Leudal en het Lateraalkanaal;
 - er wordt een relatief groot effect berekend als gevolg van een diepe meestromende geul ten westen van het Lateraalkanaal. Deze meestromende geul takt af van de Maas en heeft een infiltrerende werking uitgaande van een waterpeil van 18 m +NAP. Een dergelijke geul kan de invloed van het Lateraalkanaal deels mitigeren;
 - er wordt een relatief groot effect berekend als gevolg van peilopzet van het Lateraalkanaal en de benedenstroomse Maas. Ophogen van het peil met 25 cm tussen stuw Linne en stuw Belfeld geeft echter geen effect in het Leudal;
 - er wordt in het Leudal geen effect berekend als gevolg van het afkoppelen van hemelwater in de kern van Heythuysen. Wel geven deze maatregelen iets meer kwel in het zuidwesten van het Leudal.

- Als oplossingsrichting wordt voorgesteld om uit te gaan van de lokale maatregelen in en rondom het Leudal. In vergelijking met meer regionale maatregelen, zoals peilverhoging in de Maas, zijn deze maatregelen relatief haalbaar en op korte termijn realiseerbaar.

Er is een cumulatief scenario doorgerekend met 0,25 m peilverhoging van de beken in het Leudal, bosvorming van naaldbos naar heide en het dempen van de nog aanwezige greppels en drainage in het Leudal. Dit scenario geeft een cumulatief effect van ongeveer 0,15 tot 0,3 m vernatting op de dekzandruggen en in de beekdalen 0,2 m. Als gevolg van de vernatting op de hogere delen, zal naar verwachting wat meer kwel uittreden op de flanken en in de beekdalen.

6.2 Aanbevelingen voor verdere modelverbetering

Er resteert nog een aantal bekende onvolkomenheden in het stationaire model. De modelresolutie van 25 m is bijvoorbeeld een compromis tussen rekentijd en resultaat. Ondertussen is een nieuwe versie van REGIS beschikbaar waarin nieuwe inzichten zijn opgenomen met betrekking tot de geologie. Enkele andere onvolkomenheden kwamen pas later aan het licht. Voor het doel van dit project, het verkrijgen van *indicatieve, gemiddelde* effecten op een wat grovere schaal, is dit geen probleem. De gemiddelde gemeten grondwaterstanden worden goed benaderd en in de modelresultaten is het globale en lokale beeld van het watersysteem over het algemeen goed herkenbaar.

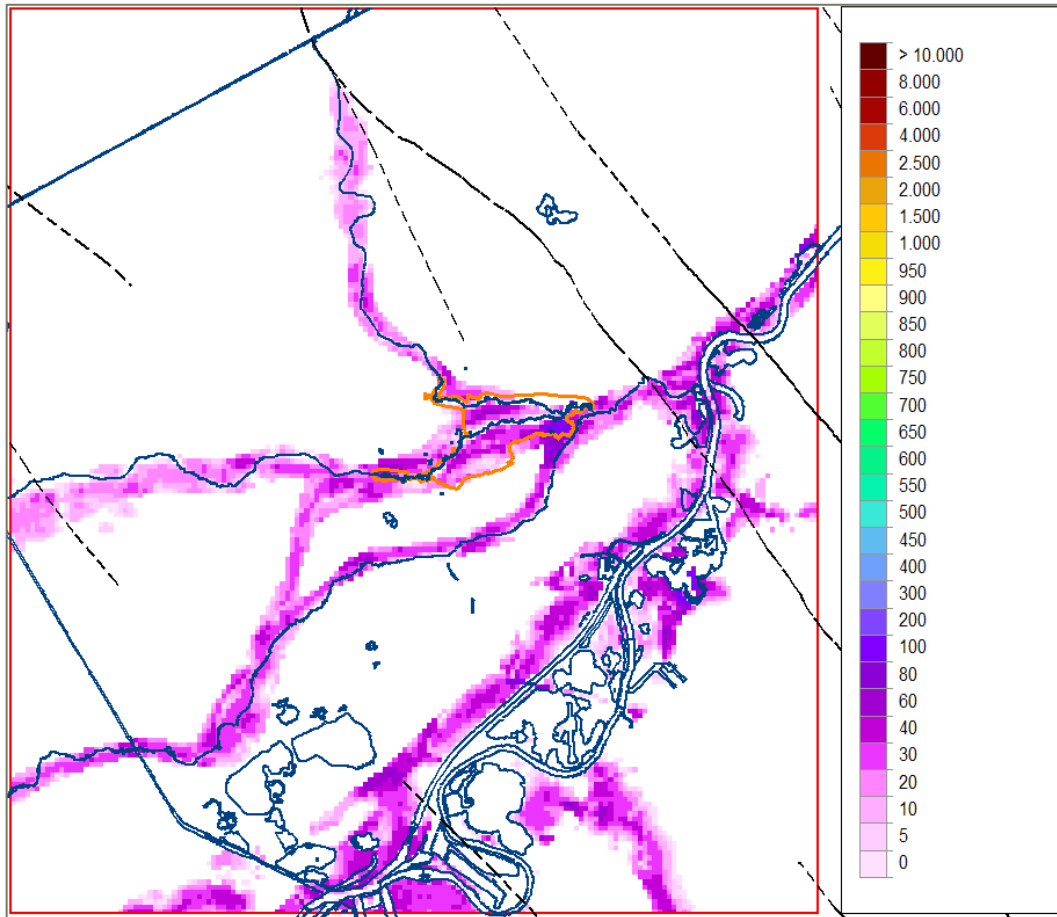
Voor het geval dat echter meer detail of nauwkeurigheid is gewenst, bijvoorbeeld op de flanken van de beekdalen, of wanneer de invloed van tijdelijke ingrepen dient te worden bepaald, zoals de invloed van beregening tijdens de zomerperiode, worden de volgende aanbevelingen gegeven:

- een niet-stationair model maken, om de invloed van maatregelen gedurende een GHG-, GVG- en GLG-periode te beoordelen, om historische of tijdelijke veranderingen in oppervlaktewaterpeilen door te rekenen en om de invloed van neerslag en verdamping via MetaSWAP nauwkeuriger te bepalen. In dat geval wordt aangeraden gebruik te maken van de meest recente versie van MetaSWAP en de corresponderende database. Het niet-stationair doorrekenen is nog relatief eenvoudig en een eerste modelberekening hiermee, kan een indicatie geven van de noodzaak van de overige verbeteringen;
- de aanvullende meetreeksen in het Leudal, die intussen een periode van meer dan een jaar beslaan, gebruiken om lineaire regressie nauwkeuriger uit te voeren of om via tijdreeksanalyse de meetreeksen proberen te verlengen;
- REGIS II.2 gebruiken in plaats van het nu gebruikte REGIS II.1;
- een fijner rekengrid met een resolutie van 5x5 m gebruiken rondom de beekdalen. Hiertoe is het gewenst eerst een ruim model op een grove resolutie door te rekenen en vervolgens een kleiner model op een fijnere resolutie;
- nauwkeuriger in beeld brengen wat representatieve beekpeilen en -bodemniveaus zijn, ook voor de Haelensche beek en de Neerbeek;
- in het model zijn vaste, gemiddelde oppervlaktewaterpeilen gebruikt. Sommige scenario's zullen dit peil echter beïnvloeden, zoals bijvoorbeeld het stopzetten van beregening. In het model zal in deze gevallen nu wel een hogere afvoer worden berekend. Aanbevolen wordt de toename van het beekpeil in te schatten aan de hand van de toegenomen afvoer en op te nemen in de modelinvoer voor het scenario.
- nauwkeuriger in beeld brengen wat een representatieve grootte, peil, bodemhoogte en conductance is voor de zandwinplas in de referentiesituatie en de gemodelleerde referentiesituatie hierop aanpassen.
- enkele diepe peilbuizen op de hogere delen van het Leudal plaatsen met een filter tot in het watervoerende pakket;
- zoals genoemd aan het einde van paragraaf 2.7, is gebleken dat de stuw bij de Ursulamolen de laatste tien jaar één- à tweemaal per maand helemaal omlaag is gehaald in verband met schoonmaak. Dit betreft zo'n drie dagen per keer. Vanwege de onzekerheid en late signalering is dit niet meegenomen in het model, maar het wordt aangeraden dit nader uit te zoeken;

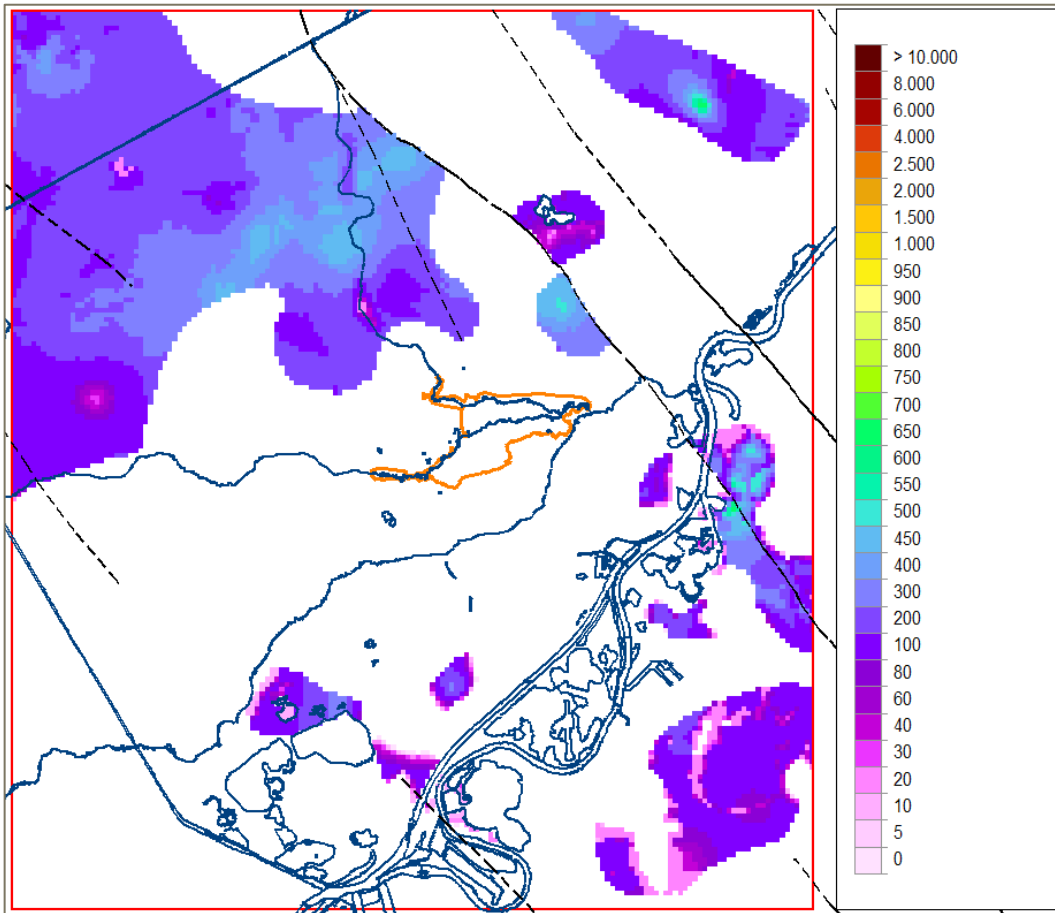
- op basis van de modelresiduen, boringen met voorkomen van grind en het gat in de Beegdenklei is in het model aan de oostzijde van het Leudal een grindbaan geschematiseerd met een hogere horizontale doorlatendheid (kh-waarden), zie bijlage 5. De ligging en doorlatendheid zijn onzeker en vragen nader onderzoek;
- de winning Heel nader controleren. Hier vindt oeverinfiltratie plaats, zodat de invloed neutraal zou moeten zijn. Dit is nu niet het geval in de modelschematisatie.
- schematisatie Lange Vlieter en Boschmolenplas controleren . De eerste heeft mogelijk een te lage bodemweerstand en de tweede is opgenomen als 'met het grondwater meebewegende plas', terwijl deze in werkelijkheid in werkelijkheid als drain fungeert;
- stedelijk gebied is in de LGN6MOZ kaart geheel opgenomen als gras in plaats van als (deels) verhard oppervlak. De grondwateraanvulling zal hierdoor ter plaatse van stedelijk gebied nog iets te hoog zijn wanneer bepaald op basis van gewasfactoren, zoals beschreven in paragraaf 4.2. Het LGN6MOZ-grid zou bij die aanpak gecorrigeerd moeten worden voor het percentage verhard oppervlak conform het MetaSWAP bestand SOPP.IDF. Als alternatief kan de grondwateraanvulling worden bepaald met MetaSWAP via een met niet-stationaire modelberekening.

Bijlage 1 – Verbreidingen Geologische Formaties

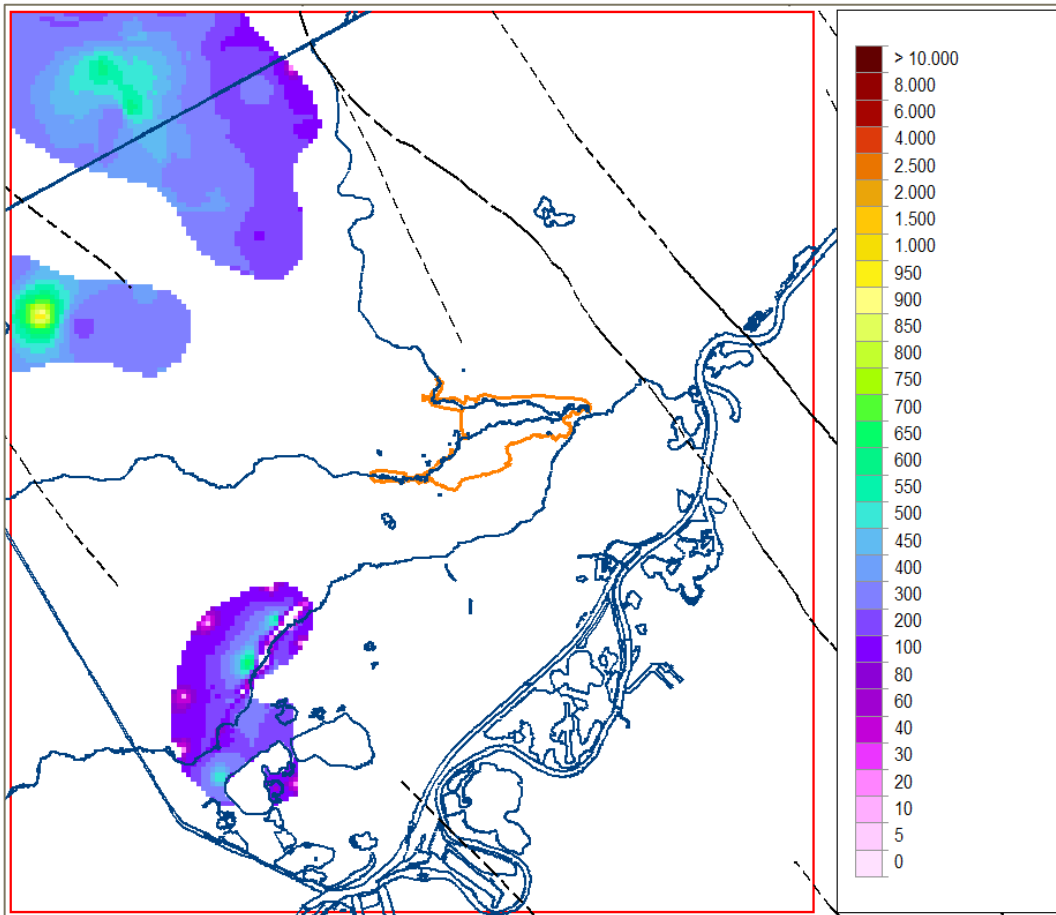
In deze bijlage is de ligging van de belangrijkste slecht doorlatende lagen uit de bovenste geologische formaties binnen het modelgebied conform REGIS II.1, van ondiep naar dieper. Zie ook tabel 2.1 voor de gemiddelde kenmerken van alle geologische formaties.



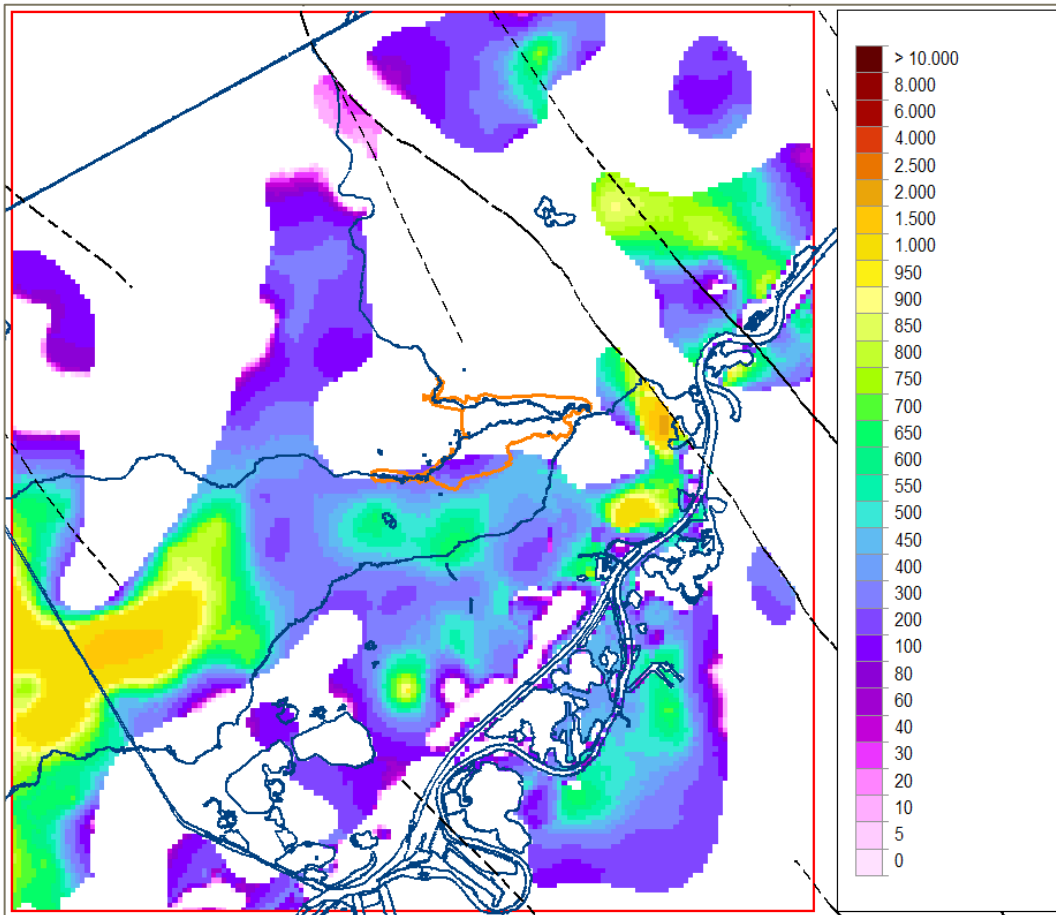
Afbeelding B1.1 De weerstand (in dagen) van de Holocene afzettingen (HLC), van 0 tot ongeveer 5 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 2,8 m



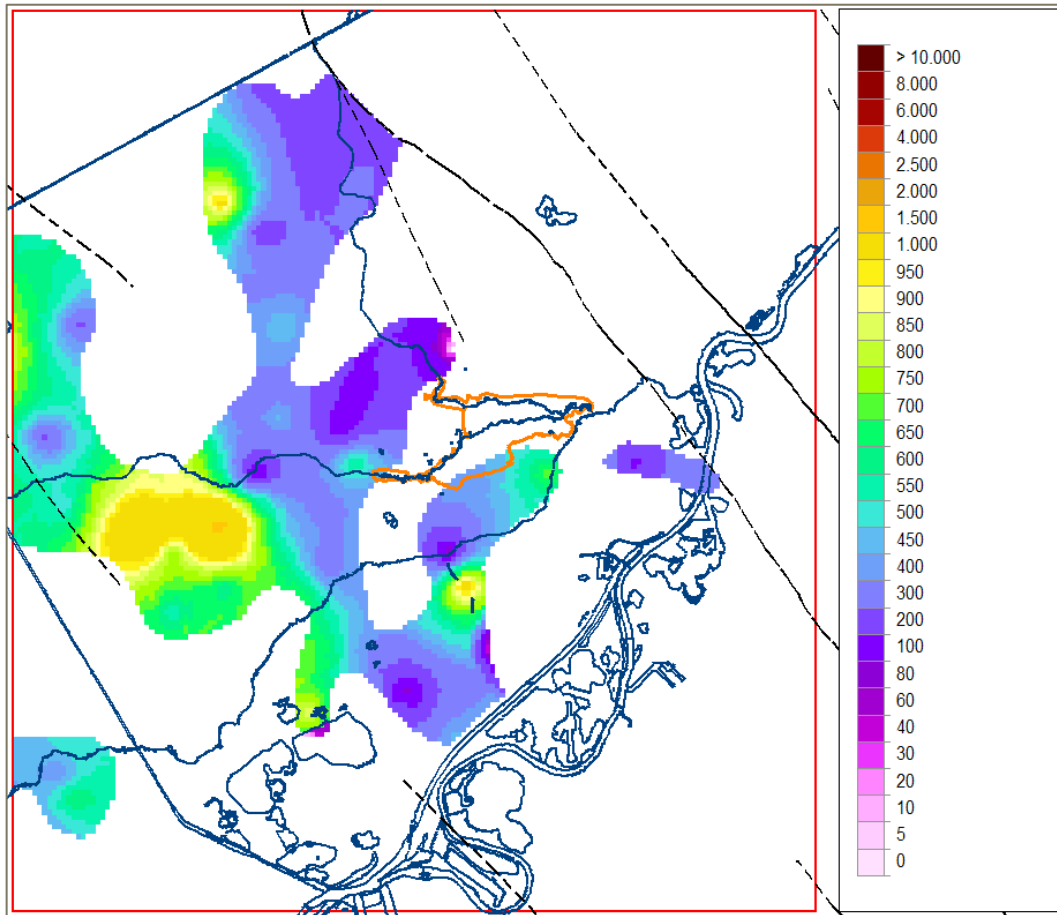
Afbeelding B1.2 De weerstand (in dagen) van de bovenste slecht doorlatende laag van de Formatie van Boxtel (BXK1), de bovenkant op ongeveer 0 tot 3 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 2,0 m



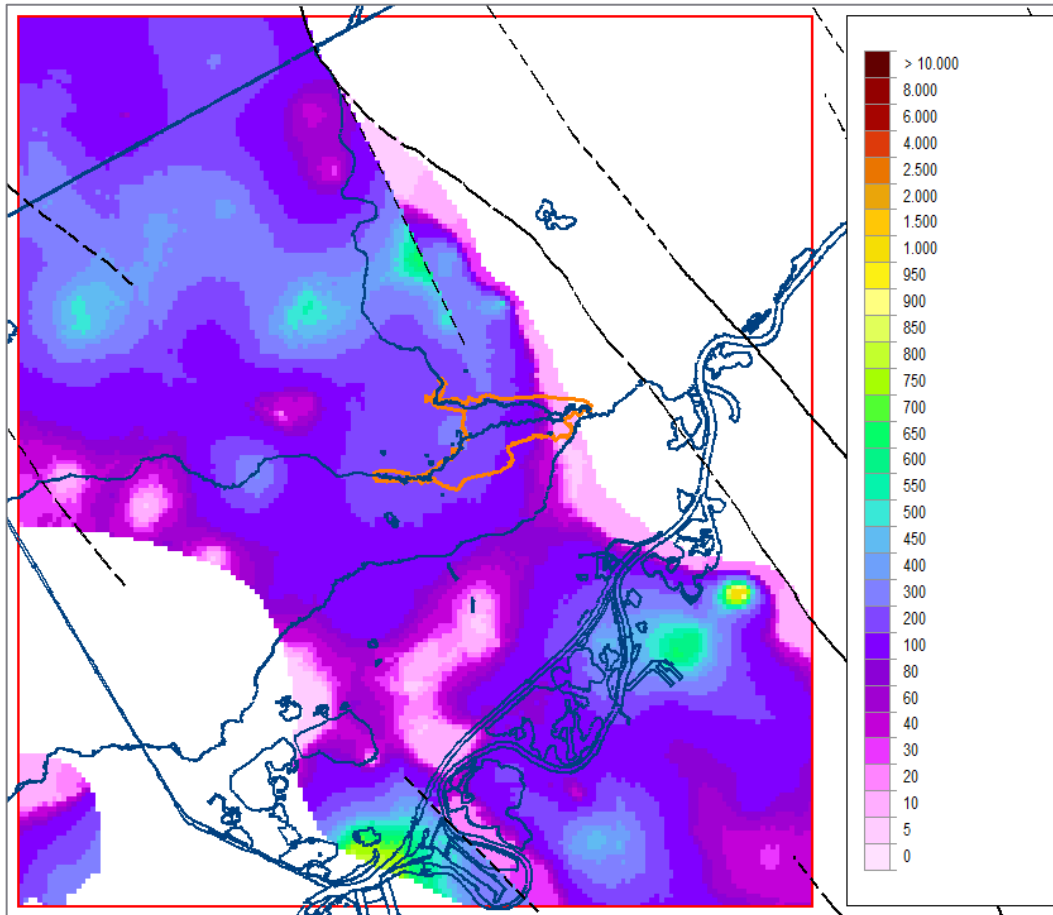
Afbeelding B1.3 De weerstand (in dagen) van de onderste slecht doorlatende laag van de Formatie van Boxtel (BXK2), de bovenkant op ongeveer 3 tot 10 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 2,2 m



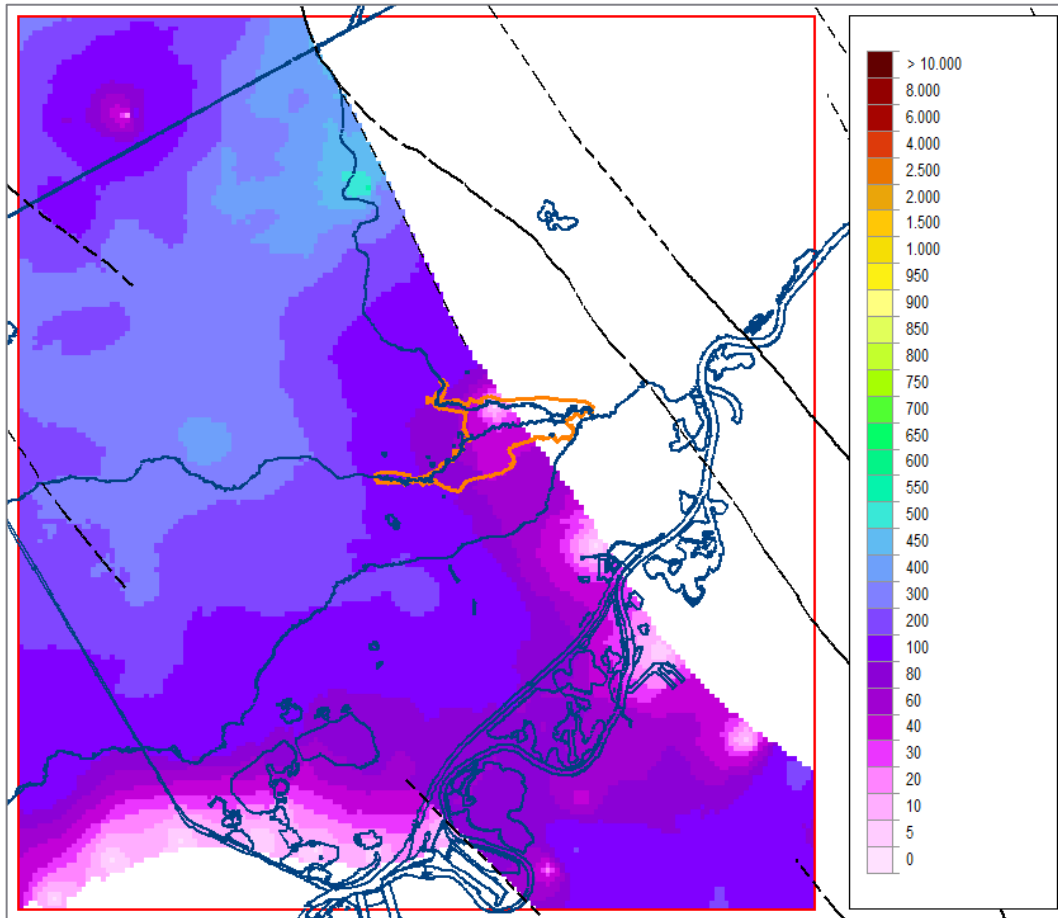
Afbeelding B1.4 De weerstand (in dagen) van de bovenste slecht doorlatende laag van de Formatie van Beegden (BEK1), bovenkant op ongeveer 8 tot 15 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 3,4 m



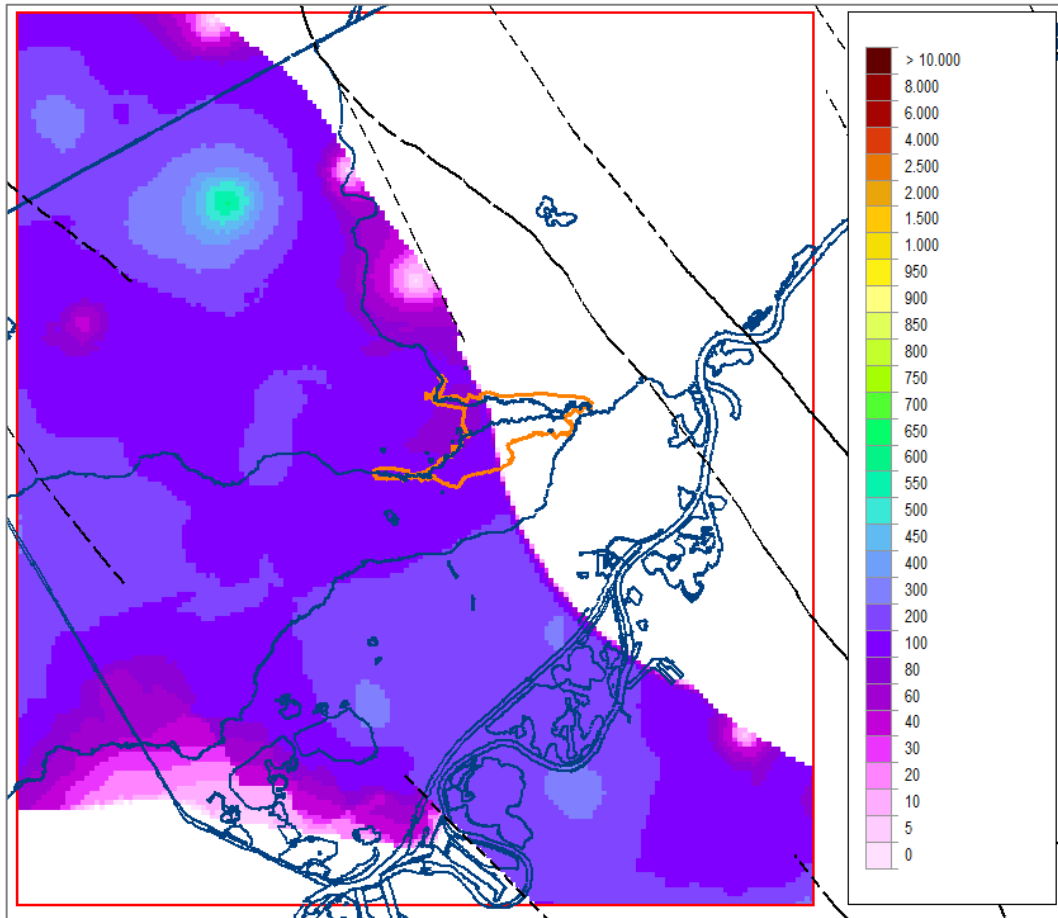
Afbeelding B1.5 De weerstand (in dagen) van de onderste slecht doorlatende laag van de Formatie van Beegden (BEK2), de bovenkant op ongeveer 20 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 2,2 m



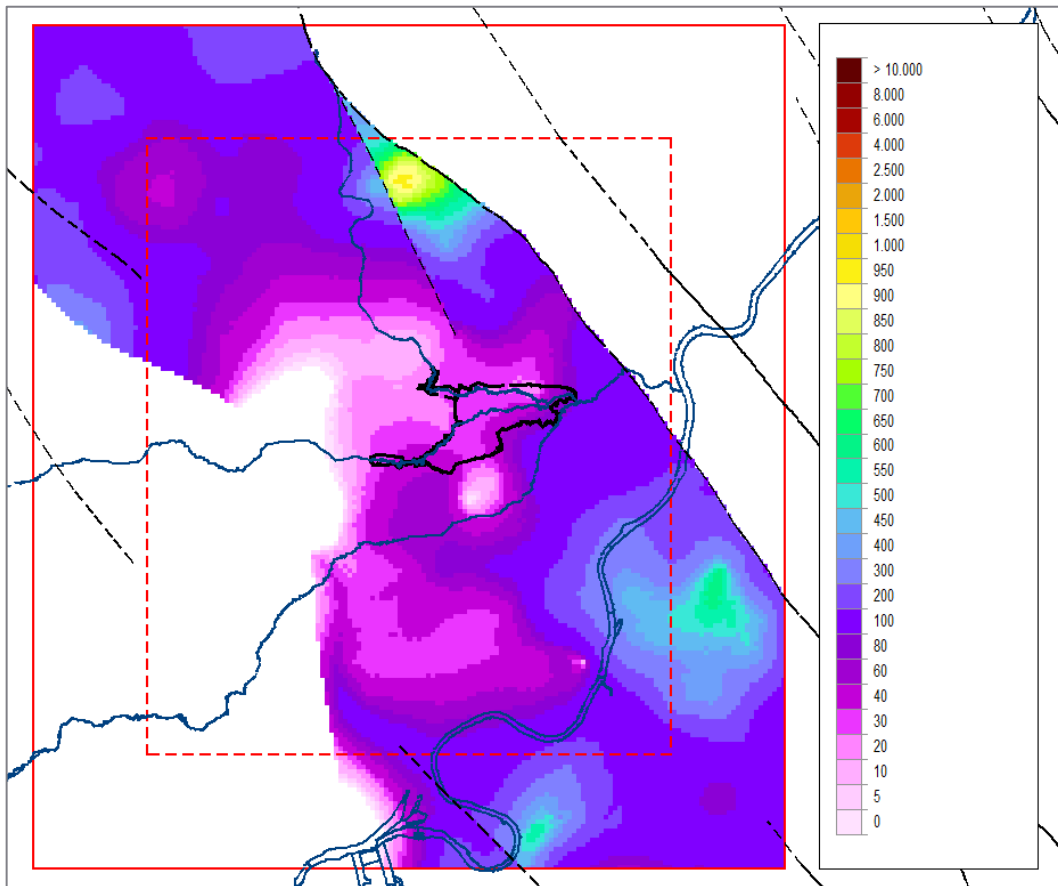
Afbeelding B1.6 De weerstand (in dagen) van de bovenste slecht doorlatende laag van de Formatie van Stramproy (SYK1). De bovenkant op ongeveer 50 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 3,4 m



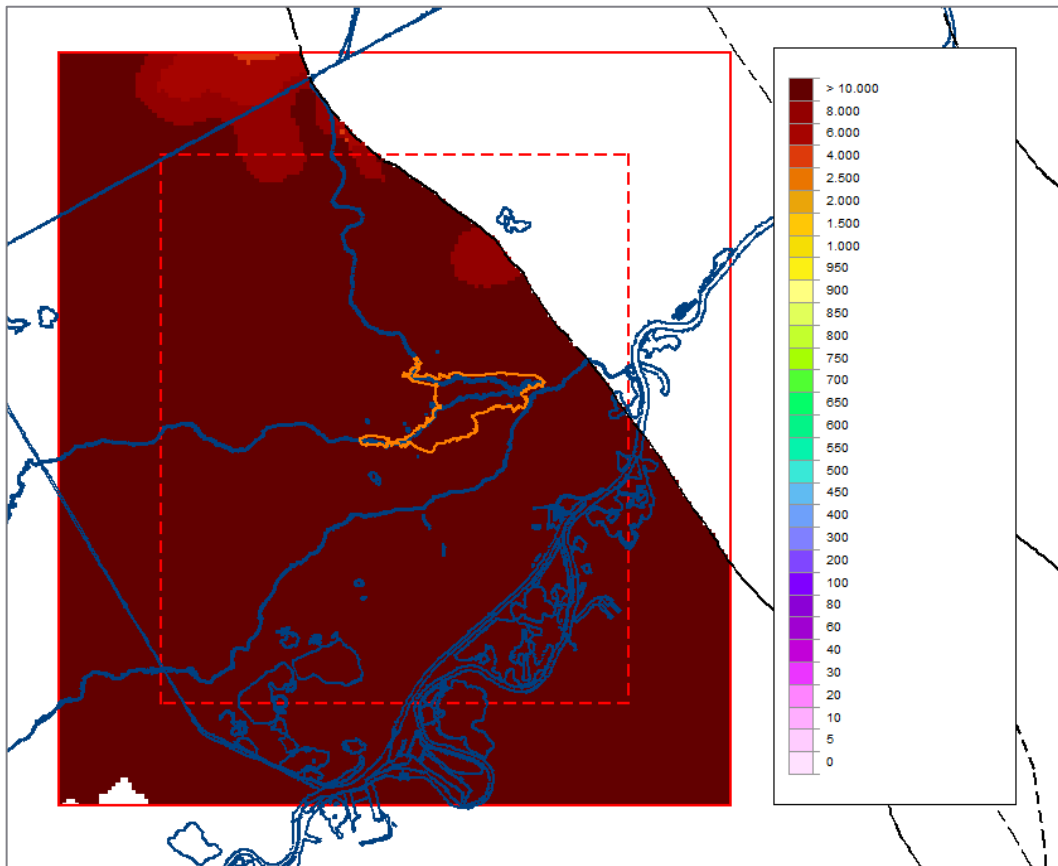
Afbeelding B1.7 De weerstand (in dagen) van de tweede slecht doorlatende laag van de Formatie van Stramproy (SYK2). De bovenkant op ongeveer 80 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 2,7 m



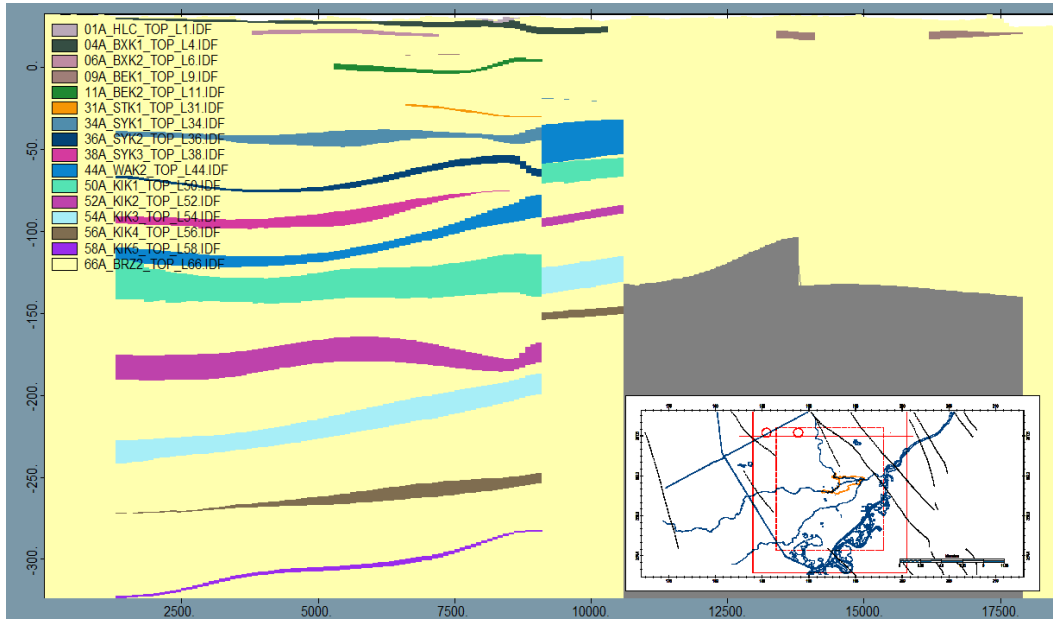
Afbeelding B1.8 De weerstand (in dagen) van de derde slecht doorlatende laag van de Formatie van Stramproy (SYK3). De bovenkant op ongeveer 120 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 4,2 m



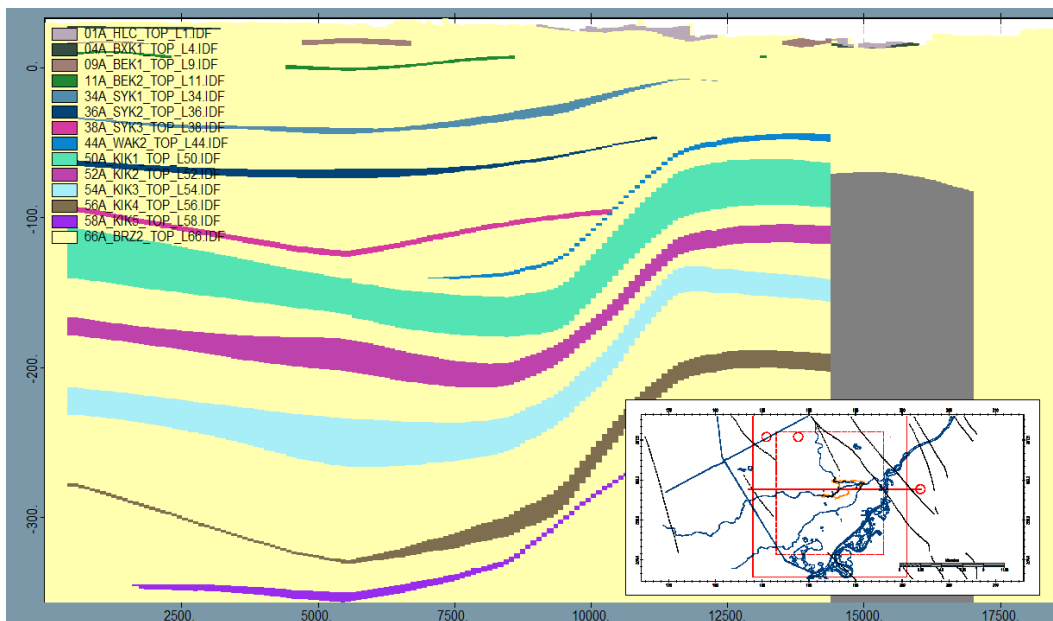
Afbeelding B1.9 De weerstand (in dagen) van de slecht doorlatende laag van de Waalre Formatie (WAK2). De bovenkant op ongeveer 125 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 6,2 m.



Afbeelding B1.10 De weerstand (in dagen) van de bovenste slecht doorlatende laag van de Kiezeloöliet Formatie (KIK1), aan de westzijde van de Peelrandbreuk. De bovenkant op ongeveer 110-170 m -mv. (bron: REGIS II.1). Dikte gem. 31 m.



Afbeelding B1.11 Dwarsprofiel west-oost door noorden van modelgebied (brondata: REGIS II.1)



Afbeelding B1.12 Dwarsprofiel west-oost door midden van modelgebied (brondata: REGIS II.1)

Bijlage 2 – Peilbuizen

In onderstaande tabellen zijn de peilbuisfilters beschreven in het Leudal en een buffer van 2 km er omheen.

Tabel B2.1 Peilbuisfilters aanvullende kalibratieset Leudal

Peilbuis	Fil ter	X	Y	MV (m+NAP)	BkF (m+NAP)	OkF (m+NAP)	GG (m+NAP)	Ge- wicht	Onzeke- rheid	Laag
LEU102	2	193212	362002	26,81	19,97	18,97	22,85	2400	0,05	3
LEU103	2	193801	362428	25,56	19,47	18,47	21,24	480	0,25	3
LEU104	1	193838	362496	21,91	19,01	18,01	20,81	480	0,25	3
LEU105	1	193870	362514	21,92	19,99	18,99	20,65	480	0,25	3
LEU106	2	193813	362974	27,69	20,82	19,82	22,32	1200	0,1	2
LEU107	1	193826	363004	22,65	21,16	20,16	21,77	2400	0,05	2
LEU108	1	193885	363087	22,95	21,43	20,43	22,34	2400	0,05	2
LEU109	2	193916	363092	26,81	19,96	18,96	22,54	1200	0,1	3
LEU110	1	194498	363044	24,84	21,38	20,38	21,19	2400	0,05	2
LEU110	2	194498	363044	24,84	19,36	18,36	21,20	2400	0,05	3
LEU111	1	194524	362999	21,74	20,34	19,34	20,41	1200	0,1	2
LEU112	1	194585	362944	21,42	19,98	18,98	20,21	2400	0,05	2
LEU113	2	194716	362703	25,73	18,07	17,07	19,64	2400	0,05	3
LEU114	1	194731	362639	20,79	18,85	17,85	19,29	600	0,2	3
LEU115	1	194578	362574	20,87	18,87	17,87	19,37	800	0,15	3
LEU116	2	194567	362522	25,7	18,85	17,85	19,75	1200	0,1	3
LEU117	2	195180	362609	21,1	16,09	15,09	18,70	1200	0,1	3
LEU118	1	195188	362619	19,62	18,11	17,11	18,67	1200	0,1	3
LEU119	1	195298	362786	19,83	17,81	16,81	19,07	480	0,25	3
LEU120	1	195252	362826	23,92	19,29	18,29	19,30	2400	0,05	2
LEU120	2	195252	362826	23,92	15,58	14,58	19,41	800	0,15	3
NEER1	1	197696	362939	20,65	11,9	10,9	15,02	1200	0,1	5
NEER2	1	197193	362518	20,92	14,87	13,87	15,41	1200	0,1	4
NEER3	1	197347	362092	19,58	14,33	13,33	15,1	1200	0,1	5
NEER5	1	197287	361524	19,54	16,58	15,58	15,32	600	0,2	4
NEER6	1	196749	361444	22,72	17,65	16,65	16,31	600	0,2	4
NEER7	1	196499	362161	21,71	18,82	17,82	17,56	600	0,2	2

Tabel B2.2 Peilbuisfilters kalibratieset IBRAHYM 2.0 2000m buffer rondom Leudal

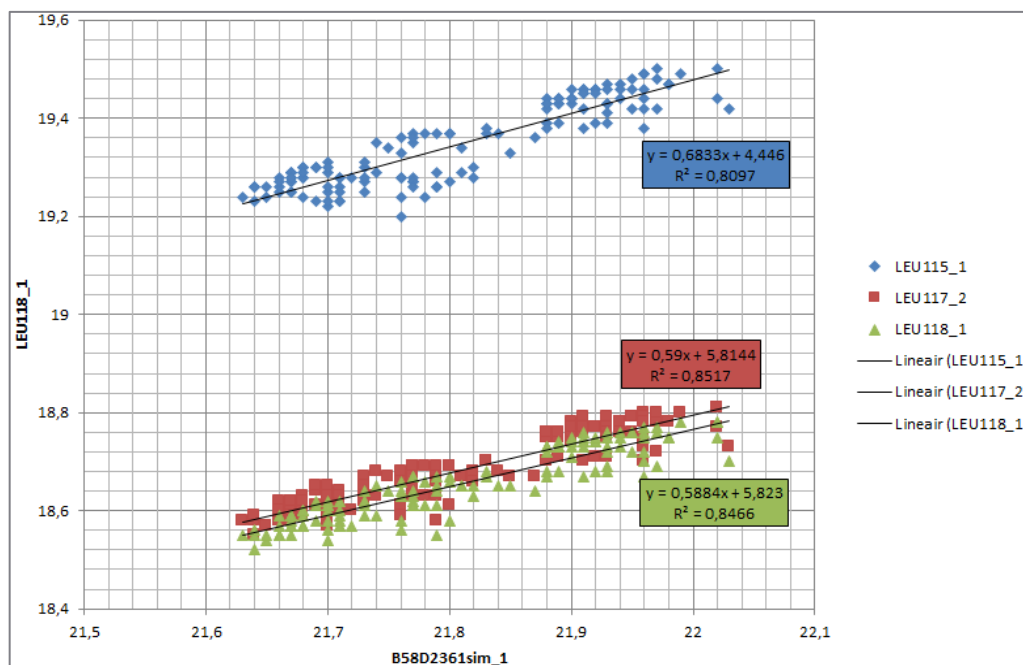
Peilbuis	Filter	X	Y	MV (m+NAP)	BkF (m+NAP)	OkF (m+NAP)	GG (m+NAP)	Ge- wicht	Laag
B58D0663_1	1	191490	360630	26,35	23,15	21,15	22,9	1987,936	2
B58D0660_1	1	192915	359820	23,15	22,15	20,15	22,01	627,2095	2
B58B0694_1	1	193175	362820	28,66	21,04	20,54	23,78	731,5663	2
B58B0695_1	1	193205	362905	23,38	22,43	21,93	23,17	497,2383	2
B58B0680_1	1	193527	362940	23,91	22,38	21,88	23,37	1182,107	2
B58D2360_1	1	193575	362405	22,78	21,32	21,07	22,25	277,4605	2
B58B0717_1	1	194260	362930	21,72	20,18	19,68	20,9	46,745	2
B58B0697_1	1	195675	362965	19,96	18,71	18,46	19,55	336,9189	2
B58B0261_1	1	197371	363851	26,4	17,83	14,83	21,81	1535,546	2
B58D0706_1	1	190995	361741	28,49	21,93	19,93	24,65	1278,97	3
B58D2364_2	2	192900	361740	23,49	19,72	19,22	22,99	108,6199	3
B58B0693_1	1	193170	362750	28,82	20,16	19,66	23,8	1379,839	3
B58D2360_2	2	193575	362405	22,78	18,31	17,81	22,3	40,8263	3
B58B0714_1	1	194610	362540	22,14	18,6	18,1	19,73	341,2527	3
B58D0706_2	2	190995	361741	28,49	11,89	8,89	24,6	1078,558	5
B58D0663_2	2	191490	360630	26,35	10,35	8,35	22,79	1271,776	5
B58D0660_2	2	192915	359820	23,15	12,15	10,15	21,69	746,2156	5
B58B0103_1	1	193560	362920	23,4	8,94	7,94	23,4	1904,558	5
B58B0246_1	1	194150	365030	28,15	4,15	1,15	25,87	107,0539	5
B58D0687_1	1	195000	361480	23,33	15,33	13,33	20,18	969,8155	5
B58B0037_1	1	191360	364210	28,23	-6,74	-7,7	26	1811,912	6
B58D0663_3	3	191490	360630	26,35	-8,15	-10,15	22,73	1144,969	6
B58D0660_3	3	192915	359820	23,15	-3,85	-5,85	21,65	580,8028	6
B58D0660_4	4	192915	359820	23,15	-11,35	-13,35	21,55	844,7969	6
B58B0696_1	1	194300	363120	26,97	3,11	2,11	22,64	978,9014	6
B58D0155_1	1	194520	359640	29,74	4,75	3,8	18,59	1305,661	6
B58D0687_2	2	195000	361480	23,33	5,33	3,33	19,93	981,2784	6
B58D0185_1	1	195530	361585	21,65	3,89	2,89	19,07	1226,257	6
B58D0010_1	1	196140	360480	18,29	4,94	-5,06	16,95	390,2227	6
B58D0687_3	3	195000	361480	23,33	-67,67	-69,67	19,98	1454,699	11

Tabel B2.3 Peilbuisfilters extra kalibratieset DINOloket in volledige modelgebied

Peilbuis	Filter	X	Y	MV (m+NAP)	BkF (m+NAP)	OkF (m+NAP)	GG (m+NAP)	Gewicht	Laag	Laag naam
B58B0697	1	195675	362965	19,96	18,71	18,46	19,6	500	2	L2
B58B0698	1	195700	362930	19,38	17,89	17,64	18,99	500	2	L2
B58B0716	1	194250	362970	21,72	20,57	20,07	21,54	500	2	L2
B58B0718	1	193915	363050	22,29	21,15	20,65	22,21	500	2	L2
B58C0689	3	187059	361098	26,29	25,1	24,9	25,62	500	2	L2
B58D2321	1	190590	360130	28,1	24,52	24,02	24,37	500	2	L2
B58D2321c	1	190590	360130	28,1	24,52	24,02	24,28	500	2	L2
B58D2361	1	193630	362380	22,06	20,69	20,4	21,84	500	2	L2
B58D2361	2	193630	362380	22,06	17,81	17,31	21,96	500	3	L3
B58D2362	1	193015	361420	24,94	21,47	20,97	23,24	500	2	L2
B58D2363	2	193000	361545	26,5	23,02	22,52	23,18	500	2	L2
B58D2363	3	193000	361545	26,5	21,68	21,18	22,95	500	2	L2
B58D2364	1	192900	361740	23,49	22,26	22,01	23,05	500	1	SDL1
B58D2364	2	192900	361740	23,49	19,72	19,22	23,08	500	3	L3
B58D2366	1	192740	361710	22,98	21,93	21,43	22,81	500	2	L2
B58D2959	1	194550	360060		1,38	-0,62	19,35	500	6	L6
B58B0456	1	198966	364049	16,4	8,32	7,32	14,01	500	3	L3
B58B0458	1	198820	363444	20,06	10,95	9,95	14,15	500	2	L2
B58D2339	1	192550	354050	20,89	16,34	15,84	16,62	500	0	bovenTOPL1
B58D2357	1	194600	355130	18,83	15,47	14,97	17,21	500	4	SDL4
B58D1905c	1	196138	355045	22,07	17,19	16,19	17,66	500	4	SDL4
B58D1910c	1	195500	354870	19,23	4,3	3,3	17,05	500	5	L5
B58D1913c	2	194830	354870	18,9	6,7	4,7	17,18	500	5	L5
B58D0451	1	193860	354060	22,58	14,58	12,58	16,8	500	2	L2
B58D0452	1	193850	354025	24,33	12,33	9,33	16,88	500	2	L2
B58D0452	2	193850	354025	24,33	0,83	-1,17	16,82	500	2	L2
B58D0453	1	193845	353985	19,6	14,6	11,6	16,82	500	2	L2
B58D0453	2	193845	353985	19,6	8,6	6,6	16,81	500	2	L2
B58D0454	1	193740	354110	22,31	15,31	13,31	16,82	500	0	bovenTOPL1
B58D0455	1	193735	354030	19,57	13,07	10,07	16,8	500	2	L2
B58D0455	2	193735	354030	19,57	5,57	3,57	16,8	500	2	L2
B58D0669c	1	195580	354790	25,07	8,07	6,07	17,26	500	5	L5
B58D0669c	2	195580	354790	25,07	-8,93	-10,93	17,39	500	6	L6
B58D0669c	3	195580	354790	25,07	-18,93	-20,93	17,35	500	7	L7
B58D0669c	4	195580	354790	25,07	-27,93	-29,93	17,34	500	7	L7
B58D1532	1	195630	358400	17,38	2,38	0,38	14,51	500	6	L6
B58D1533	1	194012	357050	19,32	-0,82	-2,82	15,93	500	6	L6
B58D1535	1	193200	356289	20,18	3,18	1,18	15,39	500	6	L6
B58D1536	1	192905	355888	20,1	2,1	0,1	15,18	500	6	L6
B58D1538	1	192248	355018	20,71	-1,79	-3,79	15,29	500	6	L6
B58D1542	1	193239	356455	20,14	0,64	-1,36	15,61	500	6	L6
B58D1544	1	192402	355284	20,57	-1,13	-3,13	15,46	500	6	L6
B58D1549	1	198417	361708	16,82	9,32	8,32	14,27	500	4	L4
B58D1550	1	198428	361683	17,14	8,14	7,14	14,47	500	5	L5
B58D1558	1	198790	362123	16,32	9,82	8,82	14,65	500	3	L3
B58D1624	1	197634	359016	15,79	7,2	6,2	14,9	500	1	SDL1
B58D1625c	1	196943	359440	17,52	9,89	8,89	14,6	500	2	L2
B58D1774	1	198408	361637	17,17	10,67	8,67	14,36	500	4	L4
B58D1775	1	198426	361633	17,44	10,14	8,14	14,4	500	4	L4
B58D1734	1	192540	355105	20,91	6,63	5,63	14,47	500	5	L5

Beschrijving lineaire regressie

1. Op basis van visuele overeenkomst tussen korte metingen en langjarige metingen uit DINOloket is lineaire regressieanalyse uitgevoerd.
2. Voor regressie zijn er metingen op dezelfde dag nodig van beide reeksen.
3. Dit is niet het geval voor verschillende meetreeksen. Daarom zijn eerst met Menyanthes tijdreeksmodellen gemaakt en is de tijdreeks geïnterpoleerd over de meetperiode. De tijdreeksmodellen zijn alle voldoende betrouwbaar voor een GG-bepaling. De filters van B58D2361 geven een wat lage EVP, maar voor een indicatie van de GG lijken deze tijdreeksmodellen voldoende geschikt.
4. Vervolgens zijn met de tijdreeksmodellen geïnterpoleerde/gesimuleerde reeksen gemaakt over de periode 1997-2017.
5. De gesimuleerde meetreeksen zijn gebruikt om een GxG te bepalen en tevens om te correleren met de korte Leudal-reeksen van provincie Limburg.
6. Er is een standaard lineaire regressie methode gebruikt, inclusief significantietoetsen, via een tool van Sweco. Hiermee is de regressielijn- en vergelijking bepaald.



Afbeelding B2.1 Regressielijn van meetreeksen LEU115_1, 117_2 en 118_1 met B58D2361_1

7. Met de regressievergelijking is de GG van de afhankelijke (korte) reeks geschat op basis van de GG van de verklarende (lange) reeks.

Regressieresultaten										
Id	a	b	R2	Min	GLG	25%-Pct	GG	75%-Pct	GHG	Max
B58D2361sim_1	1	1	1	21,25	21,52	21,69	21,84	22,00	22,14	22,57
LEU115_1	0,6833	4,446	0,8097	18,97	19,15	19,27	19,37	19,48	19,58	19,87
LEU117_2	0,59	5,8144	0,8517	18,35	18,51	18,61	18,70	18,79	18,88	19,13
LEU118_1	0,5884	5,823	0,8466	18,33	18,49	18,59	18,67	18,77	18,85	19,10

Afbeelding B2.2 Regressieresultaten van meetreeksen LEU115_1, 117_2 en 118_1

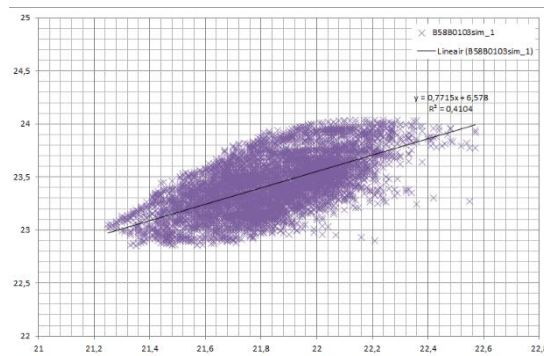
Ter indicatie van de fouten door lineaire regressie is een test uitgevoerd met langjarige reeks B58B0103sim_1 als afhankelijke reeks en de nabij gelegen, langjarige reeks B58D2361_1 als verklarende reeks. Voor beide 'meetreeksen' is een GxG bekend, zodat de via lineaire regressie bepaalde GxG's vergeleken kunnen worden met de gemeten GxG's. De fit is niet heel goed, zie de scatterplot rechtsonder, maar toch is de afwijking nog beperkt. In de GLG en GHG $\leq 0,08$ m en in de GG slechts 1 cm.

Id	a	b	R2	Min	GLG	25%-Pct	GG	75%-Pct	GHG	Max
B58D2361sim_1	1	1	1	21,25	21,52	21,69	21,84	22,00	22,14	22,57
B58B0103sim_1	0,7715	6,578	0,4104	22,97	23,18	23,31	23,43	23,55	23,66	23,99

meting	Min	GLG	25%-Pct	GG	75%-Pct	GHG	Max
B58B0103sim	22,85	23,14	23,24	23,42	23,60	23,74	24,04

Min	GLG	25%-Pct	GG	75%-Pct	GHG	Max
-0,12	-0,05	-0,07	-0,01	0,05	0,08	0,05

Afbeelding B2.3 Testresultaten van regressie (boven) van lange afhankelijke reeks (B58B0103sim) o.b.v. lange verklarende reeks (B58D2361sim) (midden). Dit geeft vergeleken een kleine fout (onder), ondanks de matige fit (rechts)



Tabel B2.4 Regressieresultaten en indicatie van onzekerheden

Regressie overzicht							
Verklarende reeksen		Afhankelijke reeksen					
FilterId	GG	FilterId	GG	a	b	R2	Opmerkingen
B58B0103sim_1		LEU102_2	22,85	0,813	3,819	0,942	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog
B58D2361_1	21,84	LEU103_2	21,24	0,865	2,348	0,852	Grote onzekerheid, weinig meetwaarden: > 25cm +/-
B58D2361_1	21,84	LEU104_1	20,81	1,035	-1,801	0,719	Grote onzekerheid, weinig meetwaarden: > 25cm +/-
B58D2361_1	21,84	LEU105_1	20,65	1,104	-3,468	0,662	Grote onzekerheid, weinig meetwaarden: > 25cm +/-
B58B0103sim_1	23,42	LEU106_2	22,32	0,980	-0,614	0,851	T-toets op intercept niet significant, sterke afbuiging rond extremen, normal probability plot niet lineair
B58B0103sim_1	23,42	LEU107_1	21,77	0,400	12,403	0,737	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog
B58B0103sim_1	23,42	LEU108_1	22,34	0,619	7,854	0,768	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog
B58B0103sim_1	23,42	LEU109_2	22,54	1,139	-4,124	0,918	Sterke afbuiging rond extremen
B58B0103sim_1	23,42	LEU110_1	21,19	0,645	6,085	0,844	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58B0103sim_1	23,42	LEU110_2	21,20	0,716	4,449	0,900	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58B0103sim_1	23,42	LEU111_1	20,41	0,309	13,175	0,295	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 10cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58B0103sim_1	23,42	LEU112_1	20,21	0,464	9,335	0,681	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58D0706sim_1	23,42	LEU113_2	19,64	0,555	5,933	0,967	Goede fit voor met zowel B58B0103sim_1 als B58B0706sim_1, scheelt 5cm voor GG
B58D2361sim_1	21,84	LEU114_1	19,29	0,776	2,346	0,894	+/- 20cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde
B58D2361sim_1	21,84	LEU115_1	19,37	0,683	4,446	0,810	+/- 15cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde, normal probability plot niet lineair
B58B0103sim_1	23,42	LEU116_2	19,75	0,288	13,019	0,365	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 10cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58D2361sim_1	21,84	LEU117_2	18,70	0,590	5,814	0,852	+/- 10cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde, normal probability plot niet lineair
B58D2361sim_1	21,84	LEU118_1	18,67	0,588	5,823	0,847	+/- 10cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde, normal probability plot niet lineair
B58D2361sim_1	21,84	LEU119_1	19,07	0,290	12,737	0,470	+/- 25cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde
B58B0103sim_1	23,42	LEU120_1	19,30	0,370	10,631	0,599	Afwijking rond gemiddelde over meetperiode: model +/- 5cm te hoog, normal probability plot niet lineair
B58D2361sim_1	21,84	LEU120_2	19,41	0,569	6,982	0,752	+/- 15cm onnauwkeurigheid rond het gemiddelde

Bijlage 3 – Controle modelranden

Voor het bepalen van de modelgrenzen van het deelmodel is het van belang dat de grenzen zo ver liggen, dat de effecten van ingrepen in het watersysteem er niet door beïnvloed worden. Om te beoordelen of de gebruikte modelgrens voldoende ver ligt, zijn enkele modelscenario's door gerekend met relatief grote aanpassingen enerzijds in het Leudal en anderzijds op de modelrand. In het Leudal zijn de beekpeilen 0,4 m opgehoogd, representatief voor de gewenste maatregelen. Voor de modelrand zijn alle vaste modelranden van modellagen 1-19 opgehoogd met 0,5 m. In afbeelding B3.3 is te zien dat de gemiddelde afwijking van het model op de modelrand in de meeste modellagen veel minder is dan 0,5 m.

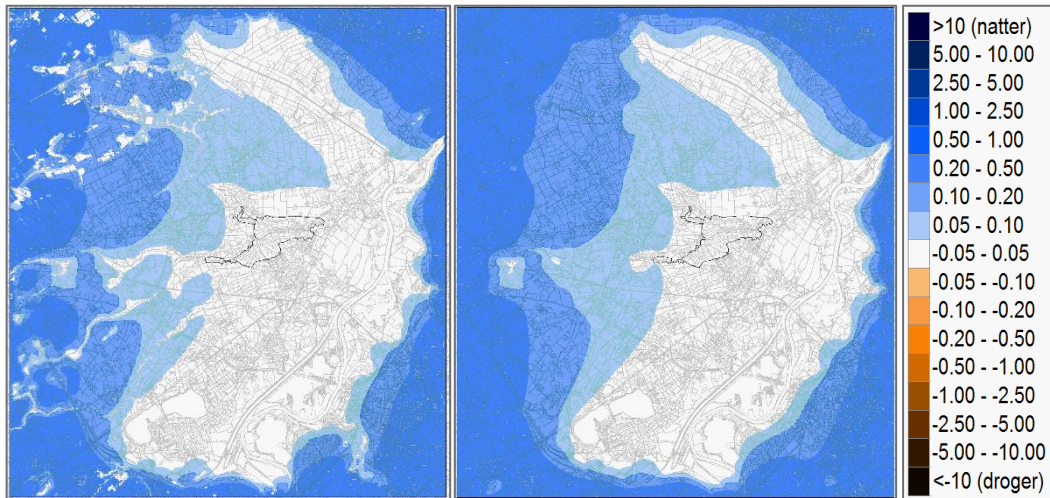
Zie onderstaande afbeeldingen voor het berekende effect in modellagen 1 (freatisch, voornamelijk Holoceen en Bostel) en 5 (WVP1, voornamelijk Beegden). Beiden modellagen liggen boven de Kiezeloöliet klei, zie tabel B4.1 in bijlage 4. Deze effectkaarten geven aan dat de modelrand voldoende ver weg ligt van het interessegebied.

In afbeelding B3.4 is te zien dat een ophoging van de vaste modelrand van 0,5 m in modellagen 13-19, onder de Kiezeloöliet klei, vrijwel geen invloed heeft op de stijghoogten daarboven.

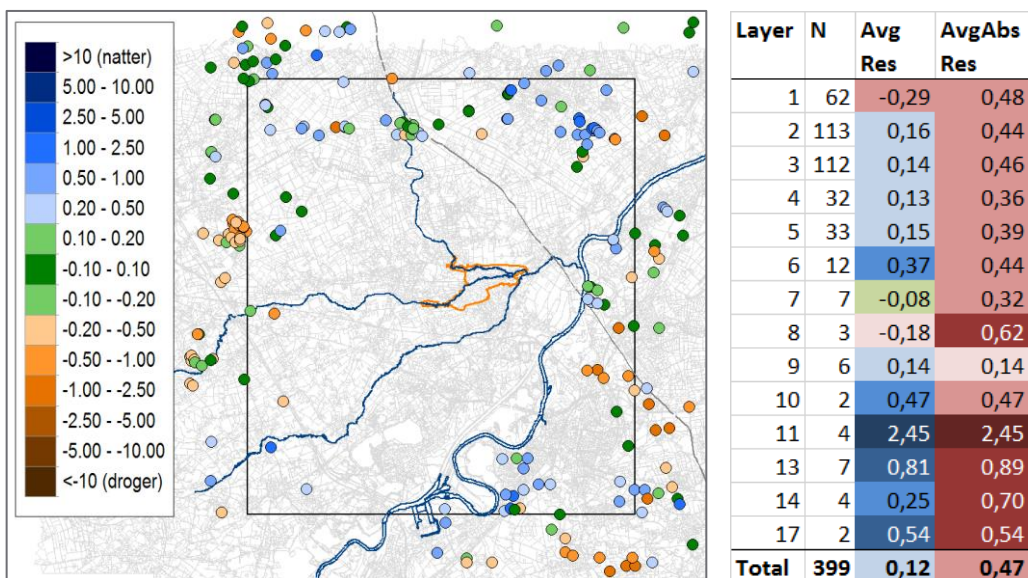
In B3.5 is de invloed van de grote drinkwaterwinningen te zien (door deze geheel uit te zetten in het model). Dit geeft aan dat de invloed van winningen buiten de modelrand vermoedelijk geen invloed tot in het Leudal zullen hebben.



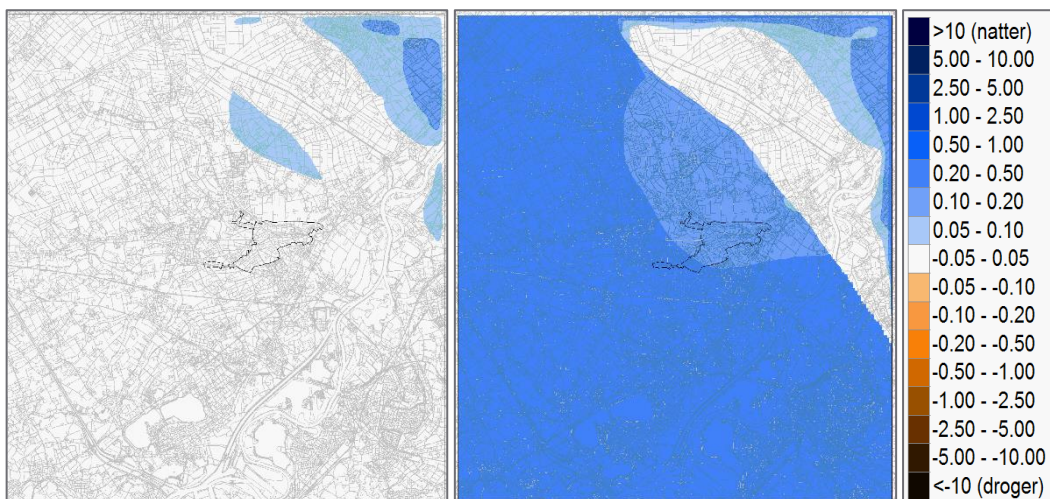
Afbeelding B3.1 effect ophogen peil Leudalbeken, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)



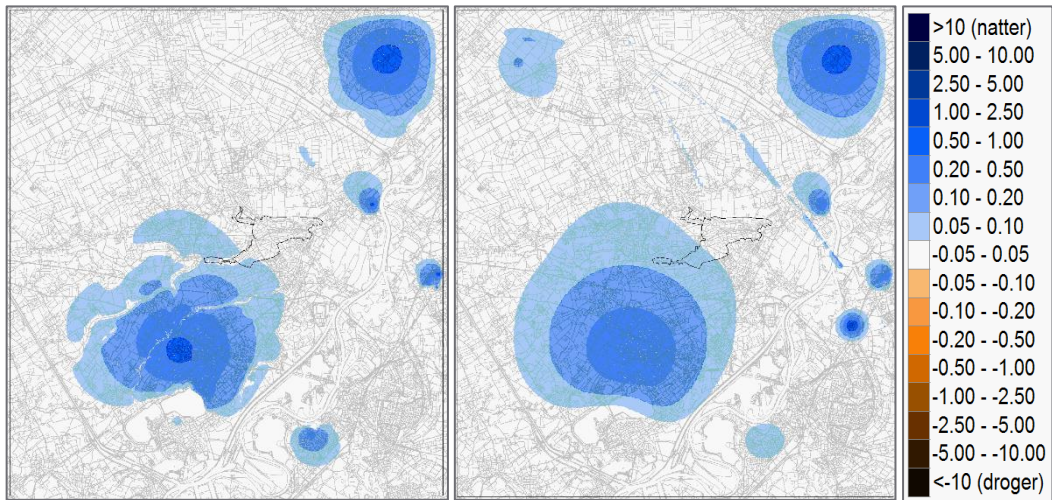
Afbeelding B3.2 effect ophogen vaste modelrand L1-19 met 0,5 m, freatisch (modellaag 1, links) en in WVP1 (modellaag 5, rechts)



Afbeelding B3.3 Controle modelresiduen L1-17 op de modelrand.



Afbeelding B3.4 effect ophogen vaste modelrand L13-19 met 0,5 m, WVP1 (modellaag 5, links) en net onder de Kiezeloöliet klei (modellaag 13, rechts)



Afbeelding B3.5 effect ophogen vaste modelrand L13-19 met 0,5 m, WVP1 (modellaag 5, links) en net onder de Kiezeloöliet klei (modellaag 13, rechts)

Bijlage 4 – Lagenmodel

In onderstaande tabel is een samenvatting gegeven van het voorkomen van de verschillende geologische formaties in het modelgebied conform REGIS II.1. Aan de rechterzijde is een indicatie gegeven van de modellaag waar deze formatie voorkomt. Vanwege de opbouw van het lagenmodel van IBRAHYM 2.0 is dit slechts indicatief. In IBRAHYM v2 geldt voor watervoerende pakketten dat een geologische formatie niet noodzakelijk overal aan dezelfde modellagen is toegekend.

Tabel B4.1 Geologische formaties in het modelgebied en indicatie van modellagen

Naam	Formatie	Bedecking	gem. Top	gem. Bot	gem. Dikte	gem k-wrd	gem kD/ c-wrd	Modellaag	
								Roerdal	Horst
Holocene afzettingen	hlc	16,9%	23,5	20,7	2,8	0,1	27,8	1	1
Boxtel zand	bxz1	71,0%	28,2	26,5	1,6	24,4	39,8	2	
Boxtel klei	bxk1	29,1%	26,6	24,7	2,0	0,0082	240,3	2	1
Boxtel zand	bxz2	68,4%	26,3	23,6	2,7	26,1	72,7	3	
Boxtel klei	bxk2	12,7%	22,3	20,1	2,2	0,0066	338,4	3	n.v.t.
Boxtel zand	bxz3	83,1%	23,2	17,0	6,2	25,6	159,5	4	2
Beegden zand	bez1	43,8%	19,8	17,7	2,0	42,7	98,0	4	2
Beegden klei	bek1	43,3%	18,0	14,8	3,2	0,0075	449,5	4	2
Beegden zanden	bez2	93,6%	14,4	8,6	5,8	76,5	470,4	5	3
Beegden klei	bek2	22,5%	5,5	3,3	2,2	0,0049	503,8	5	n.v.t.
Beegden zanden	bez3	98,7%	8,5	-1,0	9,5	79,8	767,4	6	3
Sterksel zanden	stz1	75,7%	-4,6	-12,6	8,1	57,5	459,7	6	n.v.t.
Sterksel klei	stk1	8,7%	-19,6	-20,8	1,2	0,0141	133,3	6	n.v.t.
Sterksel zanden	stz2	78,8%	-12,1	-27,3	15,2	67,4	1031,4	7	n.v.t.
Stramproy klei	syk1	62,0%	-29,7	-33,1	3,4	0,0195	198,4	7	n.v.t.
Stramproy zanden	syz2	79,5%	-29,9	-56,3	26,3	15,0	396,2	8	n.v.t.
Stramproy klei	syk2	65,2%	-59,5	-62,2	2,7	0,0163	190,1	8	n.v.t.
Stramproy zanden	syz3	79,5%	-58,5	-84,3	25,8	13,4	345,4	9	n.v.t.
Stramproy klei	syk3	59,0%	-91,5	-95,6	4,2	0,0237	182,6	9	n.v.t.
Stramproy zanden	syz4	63,1%	-92,6	-106,0	13,4	16,8	224,2	10	n.v.t.
Waalre zand/grind	pzwaz3	4,1%	-94,5	-96,2	1,7	23,3	38,9	10	n.v.t.
Waalre klei	wak2	55,6%	-96,9	-103,1	6,2	0,0490	156,7	10	n.v.t.
Belfeld grind/zand	pzwaz5	50,5%	-104,6	-110,5	5,9	36,0	226,7	11	n.v.t.
	pzwaz7	54,1%	-109,8	-115,4	5,6	35,1	191,7	12	n.v.t.
Bovenste Brunssumklei	kik1	79,5%	-110,0	-141,1	31,1	0,0009	39045,6	12	n.v.t.
Schinveld zanden	kiz2	79,5%	-141,1	-162,5	21,4	34,1	725,5	13	n.v.t.
	kik2	79,5%	-162,5	-177,4	14,9	0,0003			
Zanden van Pey	kiz3	79,5%	-177,4	-202,0	24,6	36,6	877,7	14	n.v.t.
Onderste Brunssumklei	kik3	79,5%	-202,0	-220,4	18,4	0,0005	36664,0	14	n.v.t.
Waubach zanden	kiz4	79,5%	-220,4	-258,8	38,4	37,1	1425,5	15	n.v.t.
	kik4	74,8%	-260,8	-267,4	6,6	0,0050	1784,2	15	n.v.t.
Waubach zanden	kiz5	79,5%	-265,0	-304,2	39,3	57,7	2265,0	16	n.v.t.
	kik5	62,3%	-315,2	-321,3	6,1	0,0006	12261,1	16	n.v.t.
Waubach zanden	kiz6	61,1%	-321,8	-357,1	35,2	34,8	1199,3	17	n.v.t.
Breda zanden	brz2	20,3%	12,1	-120,6	132,8	4,3	577,1	n.v.t.	4
Breda klei	brk							n.v.t.	14
Rupel klei / Boomse klei	ruk							19	

Bijlage 5 – Toelichting modelverbetering

In onderstaande tabel B5.1 is een samenvatting gegeven van alle modelaanpassingen per submodel. Enkele van deze aanpassingen zijn onder de tabel nader geïllustreerd.

Tabel B5.1 Modelverbeteringen per submodel

Modelversie	Submodel	Package	Parameter	Laag	Opmerking
ORG	n.v.t.	Kalibratieset	Kalibratieset	1-14	Extreem afwijkende filters buiten interessegebied eruit, recente filters juist opgenomen in extra set
BASIS0	MAASPEIL	RIV	Maas	0	Maaspeil o.b.v. mediaan i.p.v. gemiddelde.
BASIS0	BERE GENING	RCH; WEL	Berekening	1-19	WEL IPF's gemaakt en GWA gecorrigeerd op dubbele berekening en perceeldata.
BASIS0	WELGEM	WEL	Onttrekkingen	1-19	Onttrekkingsdebiets voor alle onttrekkingen bepaald o.b.v. gemiddelde i.p.v. mediaan.
BASIS0	BREUKEN	HFB	Breuken	1-19	Breuken toegekend aan juiste modellagen
BASIS0	PLASCORR	TOP;BOT; KHV;KVV; RIV	Zandwinplas	1-5	Zandwinplas ligging conform 2009 in RIV-package opgenomen en plas in lagenmodel geschematiseerd
BASIS1	D1-OPP WTR	RIV	SOBEK-model	0	SOBEK-model NBO_CO met A-waterlopen in/rondom Leudal opgenomen met recente bodemhoogten en gemiddelde ZP/WP-peilen
BASIS1	D1-OPP WTR	RIV	SOBEK-model	0	Correctie van infiltratiefactoren na import SOBEK-model o.b.v. watervoerendheid IBv2.0 en visuele inspectie
BASIS1	D1-OPP WTR	RIV	Peilcorrecties	0	Correcties in Leudal van stuwpeilen Ursulamolen/Elisabethsmolen, correctie waterpeil Zelsterbeek, infiltratie zijtak noorden van Leudal
BASIS1	D1-OPP WTR	DRN	Peilcorrecties	0	Correcties in/om Leudal van drainageniveau secundaire watergangen op niveau van A-watergangen (n.a.v. iMODValidator-check)
BASIS1	D2-ONDER GROND	SHD	Modelrand	5-14	Modelrand aangepast aan residuen rondom modelrand; PCG interpolatie residuen voor L5-10, L11-12 en L13-14
BASIS1	D2-ONDER GROND	KHV	kh-waarde	1	KHV-waarde van 0,1 gedefinieerd voor cellen met WVP1 dikte, maar zonder KHV-waarden (n.a.v. iMODValidator-check)
BASIS1	D2-ONDER GROND	HFB	Resolutie	1-19	Vergridding vooraf via GENSnapToGrid op 100x100-resolutie tegen lekkage langs breuk
BASIS1	D2-ONDER GROND	KVV	SDL10	10	Doorlatendheid van slecht doorlatende laag 10 in zuidwesten modelgebied verhoogd o.b.v. residuen daar
BASIS1	D3-BERE GENING	RCH; WEL	Berekening	1-19	66% van eerdere onttrekkings- en beregeningsdebiet o.b.v. vergelijking met schattingen van LLTB
BASIS1	D4-KLEI LAAG	TOP;BOT; KVV	Kleilaag Leudal	4	Opnemen kleilaag onder in L4 (BEK1) in Leudal o.b.v. boringen
BASIS1	D4-KLEI LAAG	KHV	kh-waarde	4	Corrigeren inconsistenties tussen laagdikte en KHV-waarde in L4 (n.a.v. iMODValidator-check)
BASIS1	D4-KLEI LAAG	KHV	kh-waarde	16	Corrigeren inconsistenties tussen laagdikte en KHV-waarde in L16 (n.a.v. iMODValidator-check)
BASIS1	D4-KLEI LAAG	OLF	iMODValidator correcties	1	Corrigeren OLF-waarden onder RIV-peil in NW van modelgebied (n.a.v. iMODValidator-check)
BASIS2	01GWA	RCH	Grondwater aanvulling	1	GWA gecorrigeerd per LGN-klasse zodat gem. waarden meer conform literatuur (Grondwaterzakboekje) zijn
BASIS2	02KLEILAA GHORST	TOP;BOT; KHV;KVV	Kleilaag Horst	2	Gat in slecht doorlatende laag 2, aan oostzijde Peelrandbreuk, opgevuld o.b.v. residuen en boringen
BASIS2	03MAASCO ND	RIV	Maas conductance	0	Drainageweerstand van Maas overal verlaagd van 5d naar 5/3d, meer conform indicaties uit andere modelleringen
BASIS2	04MAASCO RR	RIV	Maas parameters	0	Lateraalkanaal bodemdikte 5m; TOP_L1 min. Maaspeil + correctie KHV_L1; KVA_L1 1.0 t.p.v. Maas
BASIS2	05SDL9	KVV	SDL9	9	Correctie van kv-waarden van slecht doorlatende laag 9 o.b.v. residuen in NW van modelgebied
BASIS2	06SDL4	TOP;BOT; KVV	SDL4	4	Dikte van slecht doorlatende laag 4, ten oosten van Leudal en ten westen van Peelrandbreuk gecorrigeerd o.b.v. residu

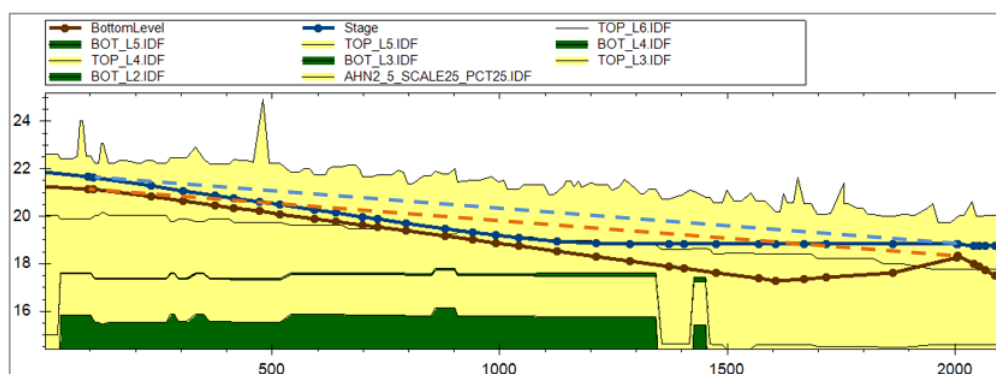
Modelversie	Submodel	Package	Parameter	Laag	Opmerking
BASIS2	07KHV	KHV	kh-waarde	1-4; 13	KHV-waarden L1-4 Form. V. Boxtel aangepast aan doorlatendheid conform literatuur; vnl. verlaagd en geminimaliseerd op 5 in L1-3 en 10 in L4.
BASIS2	08KHV2	KHV		1-7	KHV aanpassingen in L1-7 in diverse zones o.b.v. residuen, rekening houdend met verschil Boxtel vs. Beegden: vnl. L5-7 KHV kleiner ,L1-7 KHV correctie min/max bereik [0,02-100], plus enkele kleine correcties (ten oosten Leudal nabij breuk en bij lateraalkanaal (min. 1,5,5,5; L2-4 max 50/100))
BASIS2	09RIVCON D	RIV	COND; INFFCT	0	Correcties van conductance in Maas en Leudal o.b.v. orde van grootte in relatie tot grootte van waterloop en o.b.v. residuen
BASIS2	10LEUDAL CORR	DRN; RIV; KHV	diversen	1-7	Diverse aanpassingen in Leudalzone o.b.v. residuen en detailanalyse (m.n. kh-waarden, peil in Leubeek, drainageniveau)
BASIS2	11LEUDAL CORR2	KHV	kh-waarde	2-4	Verhogen van de kh-waarden in een vermoedelijke grindbaan ten oosten van Leudal

Packages: RCH=recharge (grondwateraanvulling); OLF=overlandflow (maaiveldafvoer); RIV=River (oppervlaktewater met infiltratiemogelijkheid); DRN=drainage (buisdrainage en drainerend oppervlaktewater); SHD=starting heads (vaste stijghoogten op modelrand); WEL=wells (onttrekkingen); HFB=horizontal flow barrier (breuken); KHV=kh-waarden; KVV=kv-waarden; TOP/BOT=boven- en onderkant modellagen

Oppervlaktewater SOBEK-model hoofdwaterlopen

De gegevens van een recent SOBEK-model (NBO_CO.lit) zijn opgenomen in het model, vooral vanwege de betere schematisatie van het bodemniveau van de waterlopen op basis van inmetingen. Ook de peilen, die zijn gebaseerd op een gemiddelde situatie, zijn overgenomen in het grondwatermodel. Correcties zijn vervolgens uitgevoerd op:

- de infiltratiefactor, op basis van informatie van het waterschap over de watervoerendheid van de waterlopen en op basis van visuele inspectie van het verloop van de bodemniveaus;
- de stuwpeilen op basis van gegevens van het waterschap;
- de gemiddelde grondwaterstand van een filter in de kalibratieset, vanwege een nog niet meegenomen stuwpeilaanpassing bij de Elisabethmolen;
- het bodemniveau in de Zelsterbeek op basis van afwijkingen van handmetingen en een verdachte drooglegging.



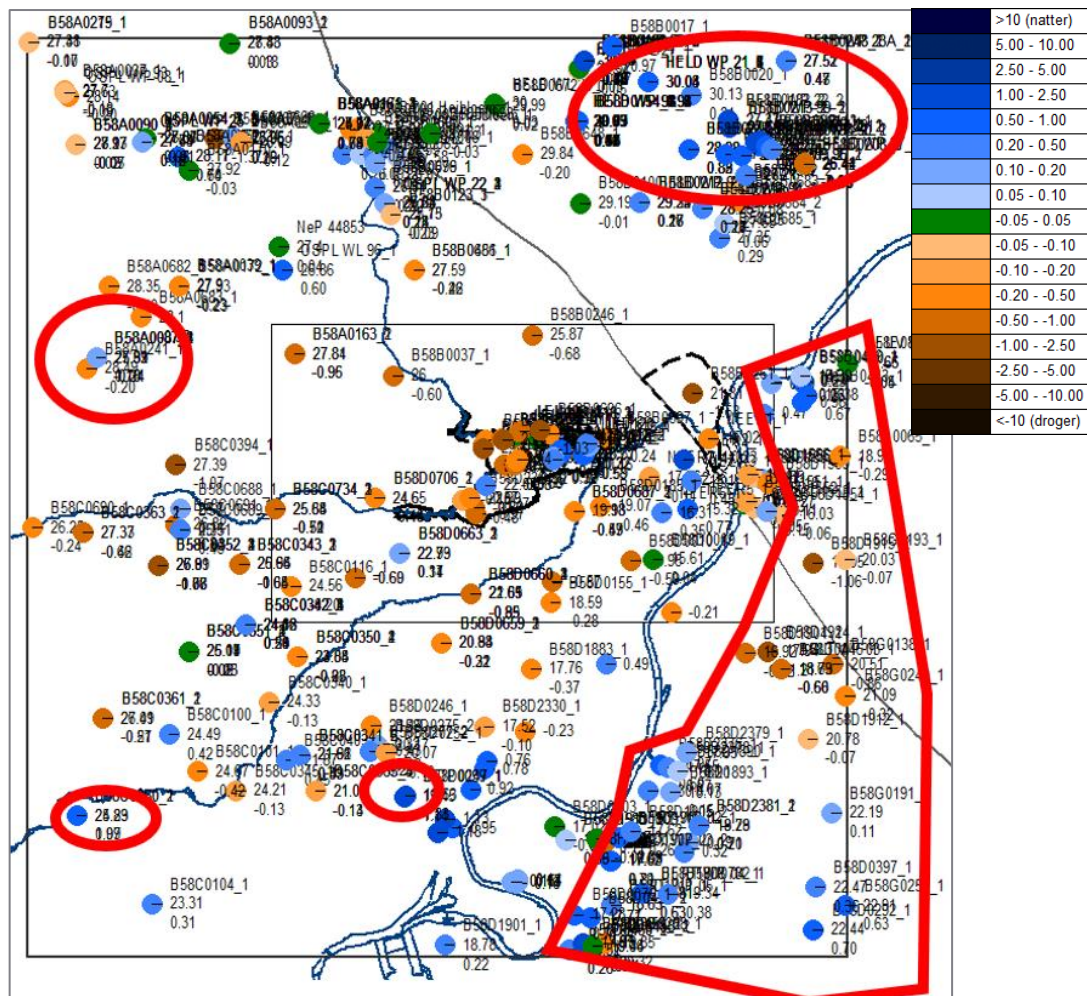
In een deel van de Zelsterbeek bleek de drooglegging te groot vanwege ontbrekende inmetingen. Peil en bodemhoogte zijn opnieuw geschat op basis van lineaire interpolatie.

Correctie van de diepere geologie

- de vaste stijghoogten op de modelranden van modellagen 5 t/m 14 zijn gecorrigeerd op basis van afwijkingen tussen de modelranden van IBv2.0 en metingen rondom de modelrand. In het noordwesten van het modelgebied zijn de vaste stijghoogten verlaagd van ongeveer 0,5 m in de bovenste modellagen tot bijna 2 m in de onderste modellagen;
- vergroten van de horizontale doorlatendheid van modellaag 13 (onder de Brunssumklei) op basis van afwijkingen tussen berekende en gemeten stijghoogten van zes filters in modellaag 13;
- vergroten van de weerstand van de slecht doorlatende laag onder modellaag 10, op basis van potentiaalverschillen in stijghoogtemetingen boven en onder deze slecht doorlatende laag.

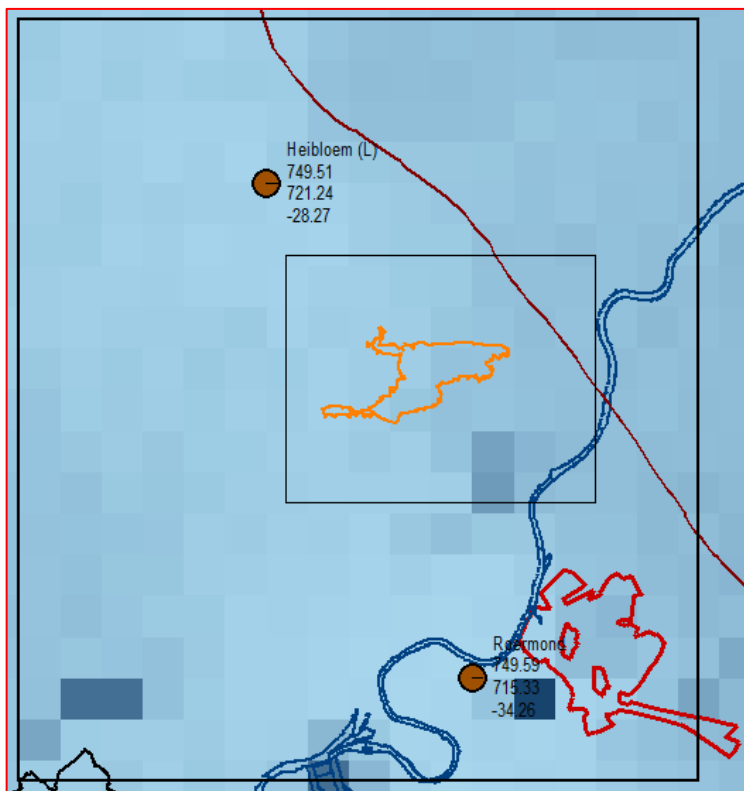
Correctie kalibratieset

De kalibratieset van IBv2.0 gaf geen goed gemiddeld beeld vanwege een grote afwijkingen buiten het interessegebied. Schematisatiefouten op grote afstand zijn geen probleem. Ver van het interessegebied gelegen, ondiepe filters met grote afwijkingen zijn daarom niet van belang (bijvoorbeeld aan de andere kant van de Maas of Peelrand), maar verstoren wel het gemiddelde beeld. Het te droge interessegebied is dan niet zichtbaar in de tabellen. Deze filters zijn daarom uit de kalibratieset verwijderd.



Grondwateraanvulling

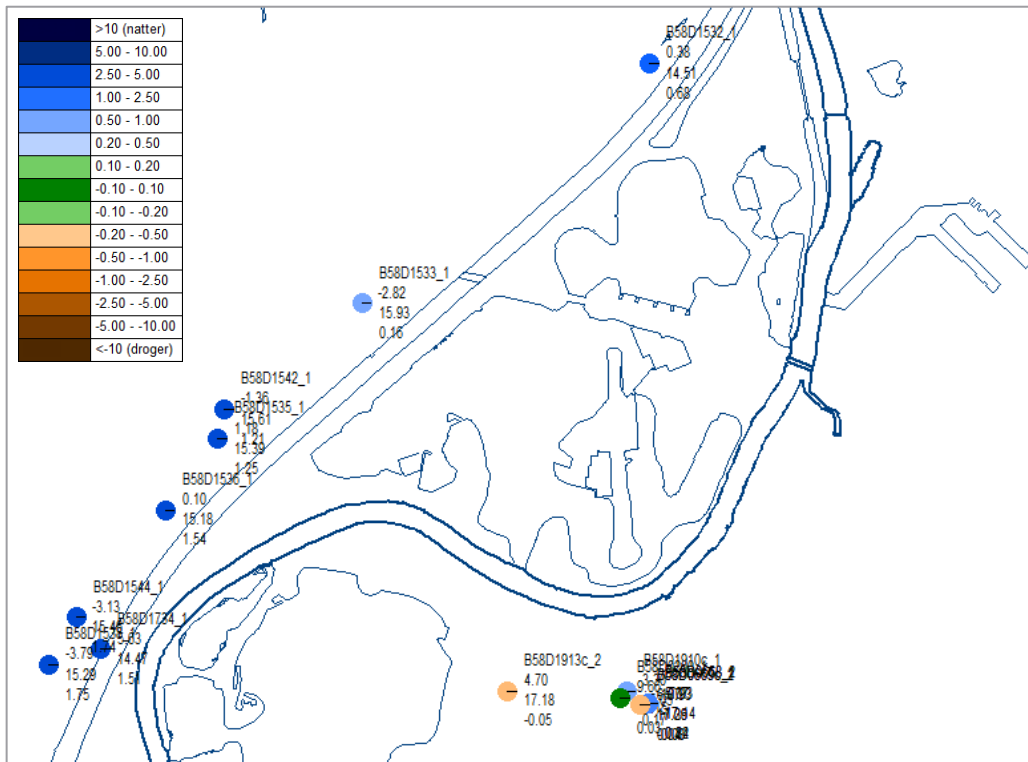
Het bleek dat de grondwateraanvulling in het uitgangsmodel IBRAHYM v2.0 te laag was. Er is daar uitgegaan van radarbeelden. Voor het stationaire model zijn dagradarbeelden gemiddeld. Door de gekozen methodiek van kalibratie/validatie van die radarbeelden kan 5% afwijking zijn ontstaan ten opzichte van andere/nieuwere methodieken. De KNMI-neerslagstations geven hier een natter beeld, zie onderstaande afbeelding, waarin het neerslaggrid van IBv2.0 is vergeleken met het gemiddelde van nabij gelegen KNMI-neerslagstations. Daarnaast blijken neerslagstations een onderschatting van ongeveer 4% te geven van de werkelijk gevallen neerslag door o.a. windeffect. Zie Massop et al, "Op zoek naar de 'ware' neerslag en verdamping", 2005, Alterra (<http://edepot.wur.nl/45758>). Deze hogere schattingen van de gemiddelde hoeveelheid neerslag lijkt beter te passen bij het model en de meetresultaten. De grondwateraanvulling wordt met deze 9% grotere hoeveelheid neerslag al gauw 40% hoger.



Afbeelding vergelijking gemiddelde van neerslagstations (bollen, bovenste label) met het neerslaggrid van IBv2.0 (2^e label). Het verschil is ongeveer 30 mm/j (onderste label).

Extra peilbuizen Lateraalkanaal

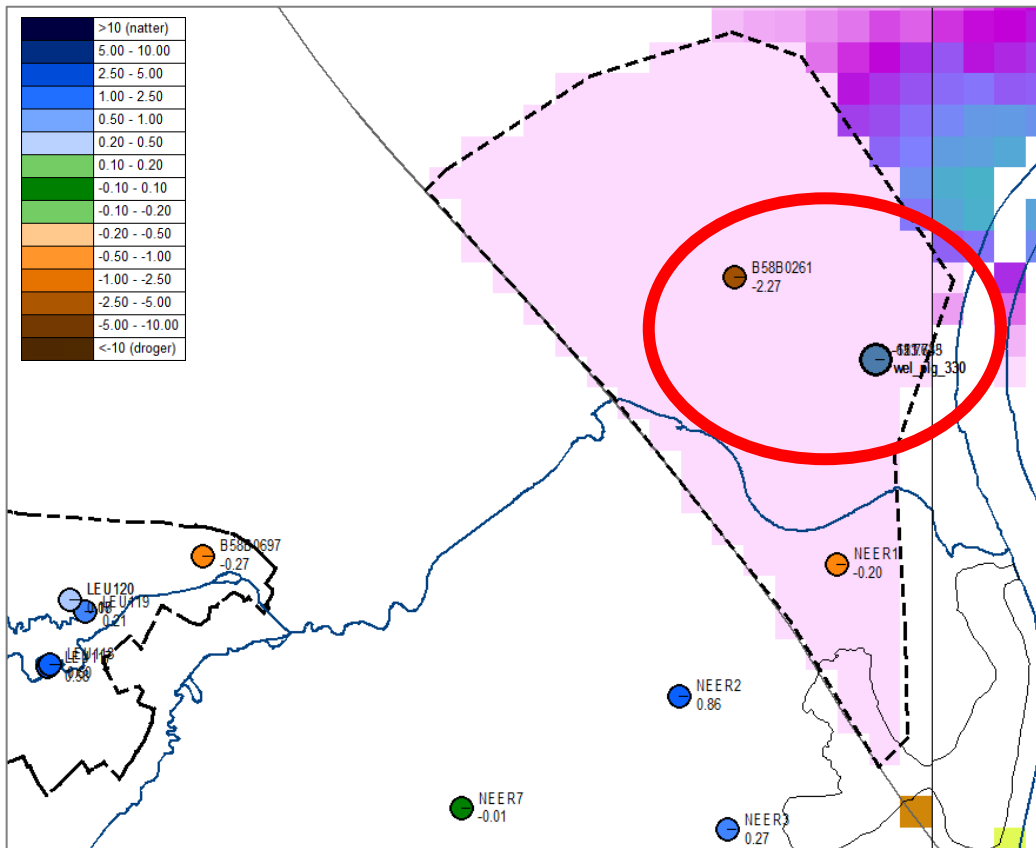
Extra peilbuizen uit DINOloket met korte reeksen laten een veel te groot residu zien langs het Lateraalkanaal. Deze filters liggen onder een kleilaag in een grindlaag. De kh-waarde in het model is vermoedelijk veel te laag voor deze grindzone. Daarnaast ligt de bodem van het lateraalkanaal minstens 5m onder peil, de minimale vaardiepte is ten minste 3 m. De modelbodemdiepte is echter maar 2,5 m. Beide issues zijn gecorrigeerd.



Extra peilbuizen uit DINOloket laten een veel te groot residu zien langs Lateraalkanaal.

Kleilaag Horst vs Alucole onttrekking

Nabij de Alucole onttrekking, ten oosten van het Leudal, aan de andere zijde van de Peelrandbreuk was een filter met een afwijking van meer dan 2 m. De onttrekking bleek een deel van de verklaring voor het veel te droge residu. Het peilbuisfilter bleek in werkelijkheid boven een kleilaag te staan die niet in REGIS zit. De onttrekking zit onder deze kleilaag. De kleilaag is alsnog ingebracht in het model.



Correctie lekkage langs breuklijnen

Het lagenmodel heeft 100x100-resolutie. Tijdens het rekenen worden de breukvectoren vergrid op 25x25-resolutie, wat een mismatch geeft. Opgelost door vooraf vergriden van de breuklijnen op 100x100 resolutie.

Correctie van drainageniveaus (de greppelbodem) onder het beekpeil

In sommige modelcellen ligt het drainageniveau onder het peil van een infiltrerende waterlopen. Dit kan in werkelijkheid niet. Drainerende waterlopen kunnen het water pas kwijt op het niveau van de ontvangende waterloop. Dit is opgelost door het (effectieve) drainageniveau hier te verhogen naar het beekpeil.

Correctie kh-waarden

De modelresiduen bleken vaak nog steeds te laag. Er zijn geen slecht doorlatende lagen meer bekend die van invloed zijn. Verder verlagen van de doorlatendheid van de Maas is niet plausibel en de doorlatendheid van de beken heeft alleen een lokale invloed. Resteert het verlagen van de kh-waarden. Vergelijking van de REGIS II.1 waarden met gangbare k-waarden geeft al aan dat voor de fijne Boxtelzanden een veel te hoge k-waarde in het IBv2.0 zat. Voor de Beegden zanden is de verwachting dat de doorlatendheid te hoog is ingeschat vanwege uitgespoelde fijne deeltjes. Bij het corrigeren is steeds gecontroleerd dat de resulterende k-waarden nog binnen een plausibel bereik blijven conform onderste tabel.

Naam	Formatie	Bedekking	gem. Top	gem. Bot	gem. Dikte	gem k-wrd	gem kD/ c-wrd	Modellaag	
								Roerdal	Horst
Holocene afzettingen	hlc	16,9%	23,5	20,7	2,8	0,1	27,8	1	1
Boxtel zand	bxz1	71,0%	28,2	26,5	1,6	24,4	39,8	2	
Boxtel klei	bxk1	29,1%	26,6	24,7	2,0	0,0082	240,3	2	1
Boxtel zand	bxz2	68,4%	26,3	23,6	2,7	26,1	72,7	3	
Boxtel klei	bxk2	12,7%	22,3	20,1	2,2	0,0066	338,4	3	n.v.t.
Boxtel zand	bxz3	83,1%	23,2	17,0	6,2	25,6	159,5	4	2
Beegden zand	bez1	43,8%	19,8	17,7	2,0	42,7	98,0	4	2
Beegden klei	bek1	43,3%	18,0	14,8	3,2	0,0075	449,5	4	2
Beegden zanden	bez2	93,6%	14,4	8,6	5,8	76,5	470,4	5	3
Beegden klei	bek2	22,5%	5,5	3,3	2,2	0,0049	503,8	5	n.v.t.
Beegden zanden	bez3	98,7%	8,5	-1,0	9,5	79,8	767,4	6	3
Sterksel zanden	stz1	75,7%	-4,6	-12,6	8,1	57,5	459,7	6	n.v.t.
Sterksel klei	stk1	8,7%	-19,6	-20,8	1,2	0,0141	133,3	6	n.v.t.
Sterksel zanden	stz2	78,8%	-12,1	-27,3	15,2	67,4	1031,4	7	n.v.t.
Stramproy klei	syk1	62,0%	-29,7	-33,1	3,4	0,0195	198,4	7	n.v.t.

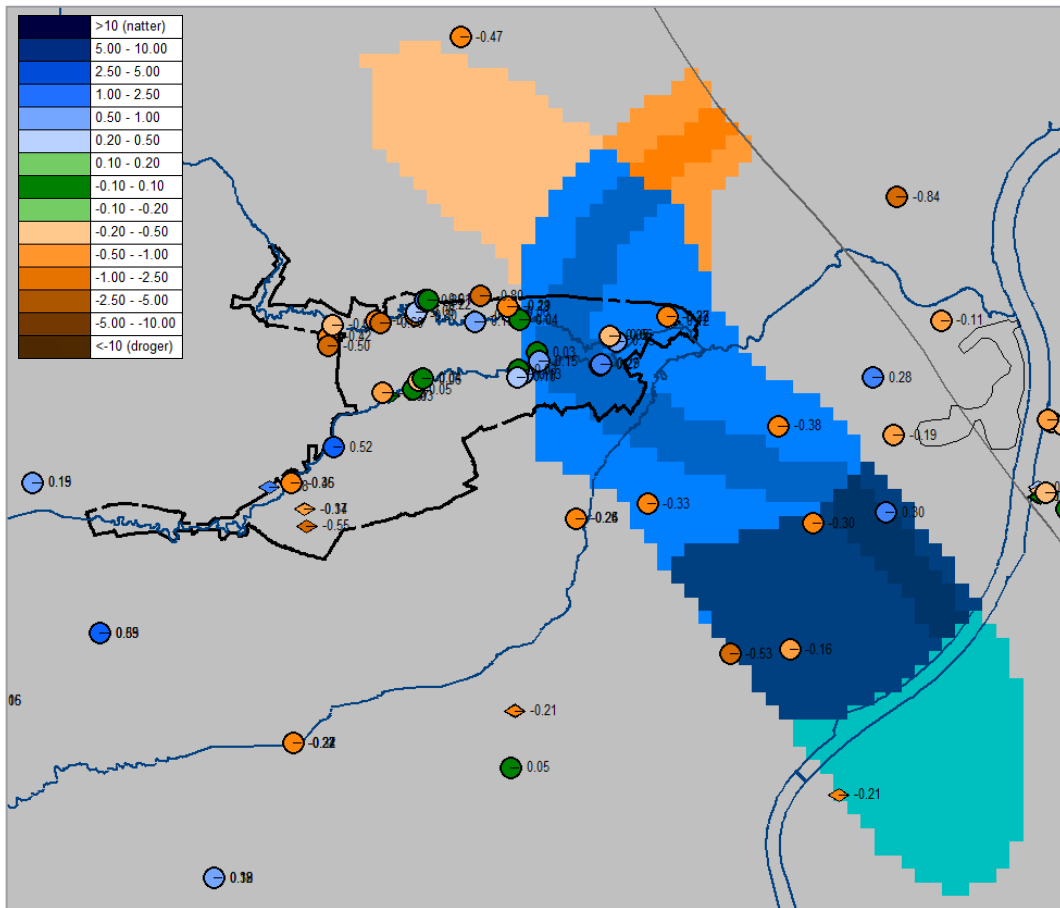
Doorlatendheden volgens literatuur*				korrelgrootte [μm]	
Zandsoort	DINoklasse	Klasse	k-waarden [m/d]	Ondergrens	Bovengrens
Uiterst fijn	ZUF	Lichte zavel	0,02 - 0,2 / 0,5 ^{3,4/1}	≥ 63	<105
Zeef fijn	ZZF	Zeef / Uiterst fijn	0,2 - 0,5 ³	≥ 105	<150
Matig fijn	ZMF	Fijn	1-10 ^{1,2,3}	≥ 150	<210
Matig grof	ZMG	Grof	30 / 10-50 ^{1/2,3}	≥ 210	<300
Zeef grof	ZZG	Zeef grof zand	80 ¹	≥ 300	<420
Uiterst grof	ZUG	Uiterst grof zand	200 ^{1,5}	≥ 420	<2000

* Gegevens verkregen uit onderstaande literatuurbronnen:

- 1 Grondwaterzakboekje
- 2 Design Principles and applications (H12, Oosterbaan, waterlog.nl)
- 3 Bodemrichtlijn.nl
- 4 Cultuurtechnisch vademecum 1988
- 5 Wikipedia.nl

Vermoedelijke geulbodem ten oosten van Leudal

Gezien de residuen, het grindvoorkomen en het gat in de Beegdenklei (bek1) is het vermoeden ontstaan dat er ten oosten van het Leudal een oude riviergeul ligt met relatief grotere doorlatendheid, zie onderstaande afbeelding voor de gehanteerde ligging (alleen het centrale, donkergekleurde deels is aangepast met een grotere kh-waarde). Er zijn echter onvoldoende veldgegevens beschikbaar om de ligging en doorlatendheid nauwkeurig in te schatten. Hiermee dient rekening te worden gehouden bij de interpretatie van de resultaten.

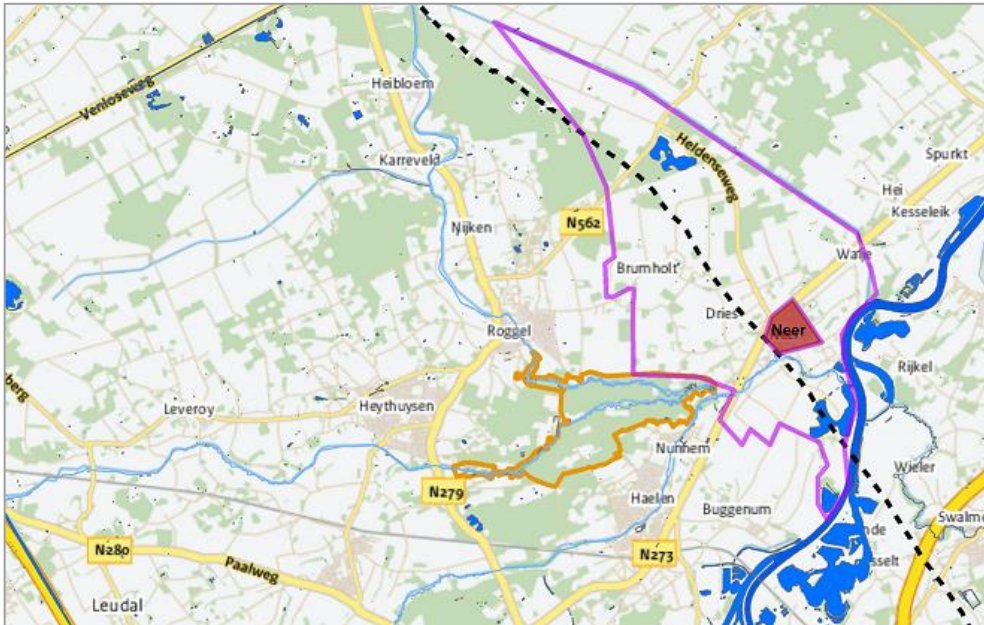


Afbeelding: voorkomen gehanteerde ligging van de grindbaan, waarbij alleen het centrale, donkergekleurde deels is aangepast met een grotere kh-waarde. Daarnaast zijn de modelresiduen (in meters) weergegeven van alle modellen.

Bijlage 6 – Analyse Peelrandbreuk

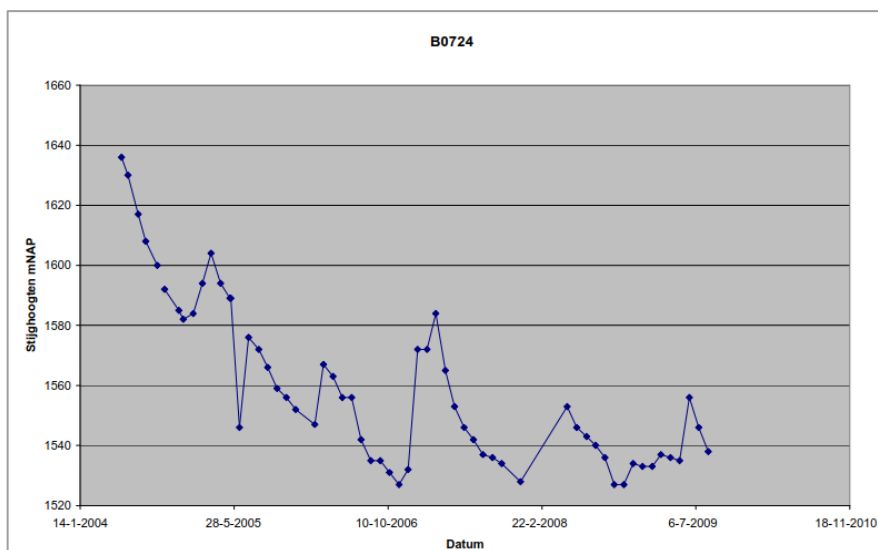
B6.1 Beschrijving situatie

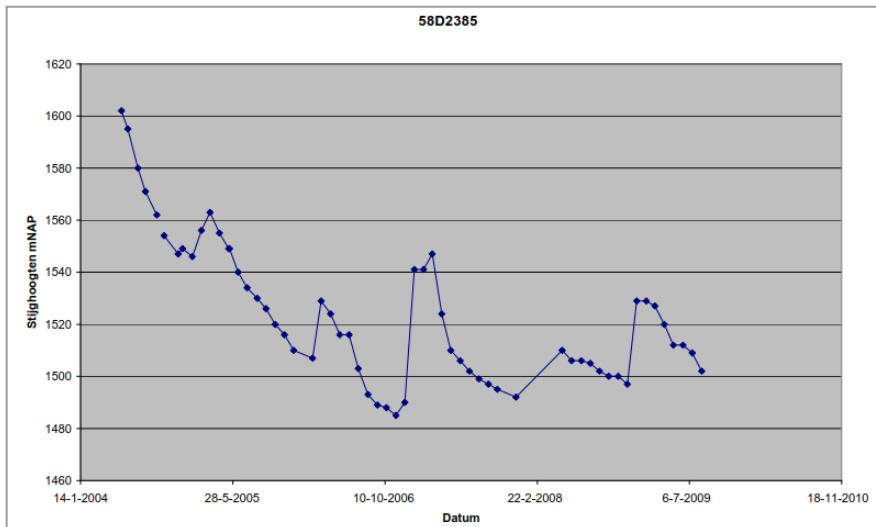
De Peelrandbreuk loopt door een deel van de zandwinplas van Kuypers Kessel, aan de oostzijde van het Leudal en ten westen van de Maas. Zie onderstaande kaart voor de ligging ten opzichte van het Leudal.



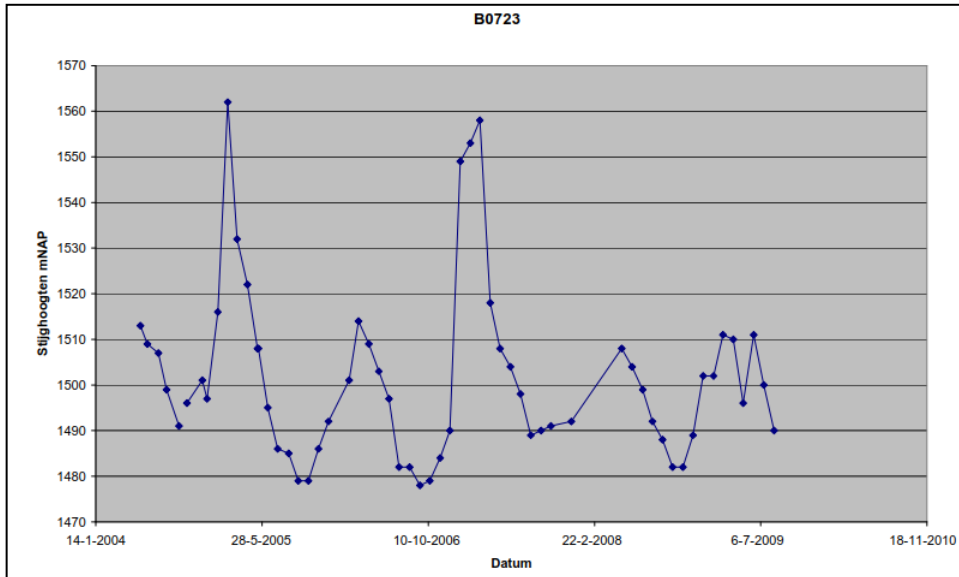
Afbeelding B6.1 Ligging Leudal en Peelrandbreuk. (Oranje lijn = Leudal, paarse lijn = gemeentegebied van plaatsje Neer, zwarte stippellijn = Peelrandbreuk).

Kuypers Kessel heeft bij het vergroten van de zandwinplas in 2004 de Peelrandbreuk ter plaatse van de plas doorgraven, tot in de Roerdalslenk. Sindsdien is de grondwaterstand in nabijgelegen peilbuizen aanzienlijk gedaald, zie de tijdstijghoogtereeksen hieronder.

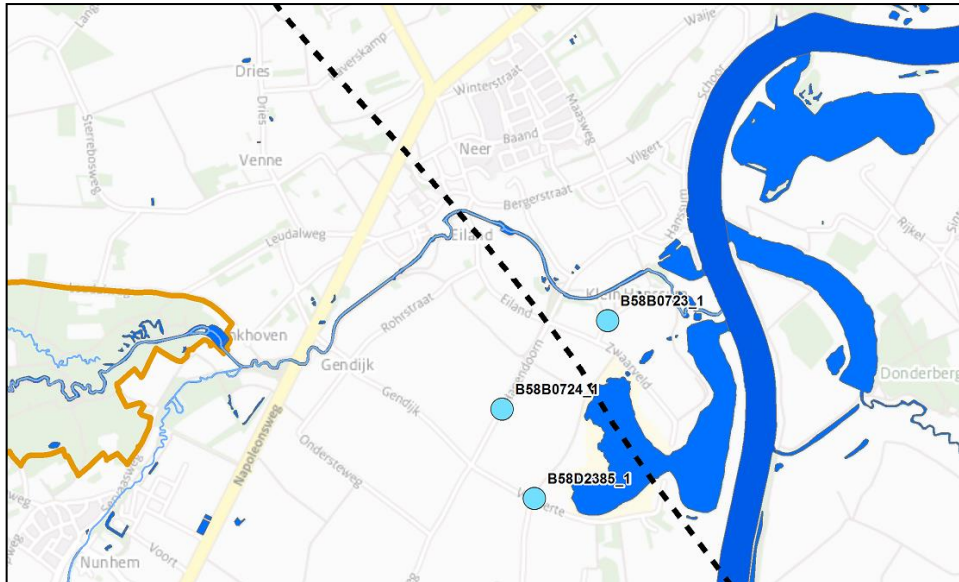




De bevindingen van Antea lijken vooral gebaseerd op drie peilbuizen (door Kuypers Kessel geplaatst): bovenstaande twee net in de Roerdalslenk, net ten westen van de plas, en onderstaande, nog op de Peelhorst, ten noorden van de plas. Zie afbeelding hieronder voor de ligging van de peilbuizen.



Afbeelding B6.3 Stijghoogtemetingen in peilbuis B58B0723 ten noorden van zandwinplas op horst (bron: rapportage Hydrologisch onderzoek MER Wijnaerden, Antea, 2016)



Afbeelding B6.4 Ligging peilbuizen Hydrologisch onderzoek MER Wijnaerden

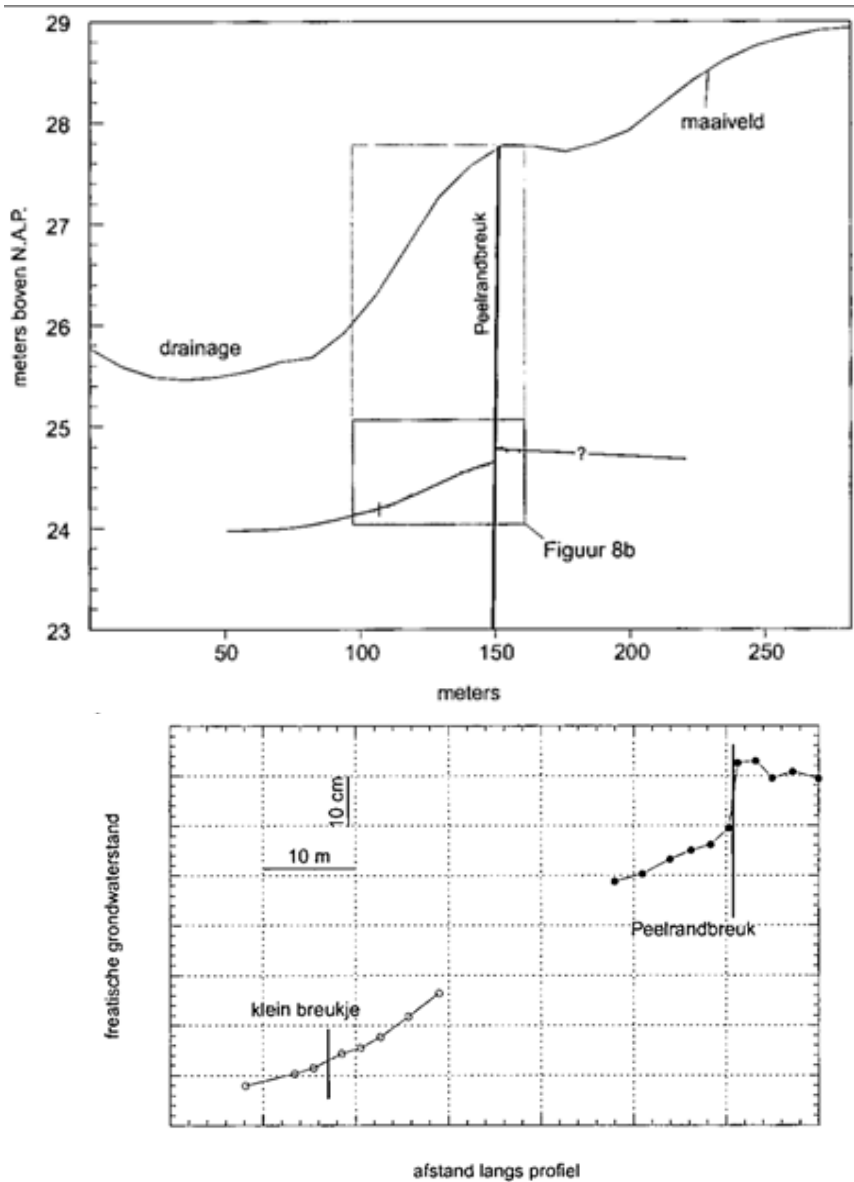
B6.3 Overig onderzoek

Stijghoogtemetingen bij Neer

In Stroomingen is een artikel gepubliceerd van Victor Bense (2002) genaamd 'Hydrogeologische karakterisering van breukzones in Zuidoost-Nederland'. Daarin wordt o.a. een onderzoek beschreven om de weerstand van de Peelrandbreuk in te schatten, dat is uitgevoerd langs de Peelrandbreuk bij Neer, vermoedelijk ongeveer 3-3,5 km ten noordwesten van de zandwinplas.

Er is een profiel gemeten van de freatische stijghoogte in een sleuf haaks op de Peelrandbreuk. De grondwaterstand daalt ter plaatse van de breuk ongeveer 18 cm over een afstand van minder dan een halve meter. Er is hier dus wel degelijk een weerstand ten gevolge van de breuk.

Verder wordt in het artikel opgemerkt dat de grondwaterstanden in dit gebied relatief laag zijn als gevolg van de nabijheid van de Maas.



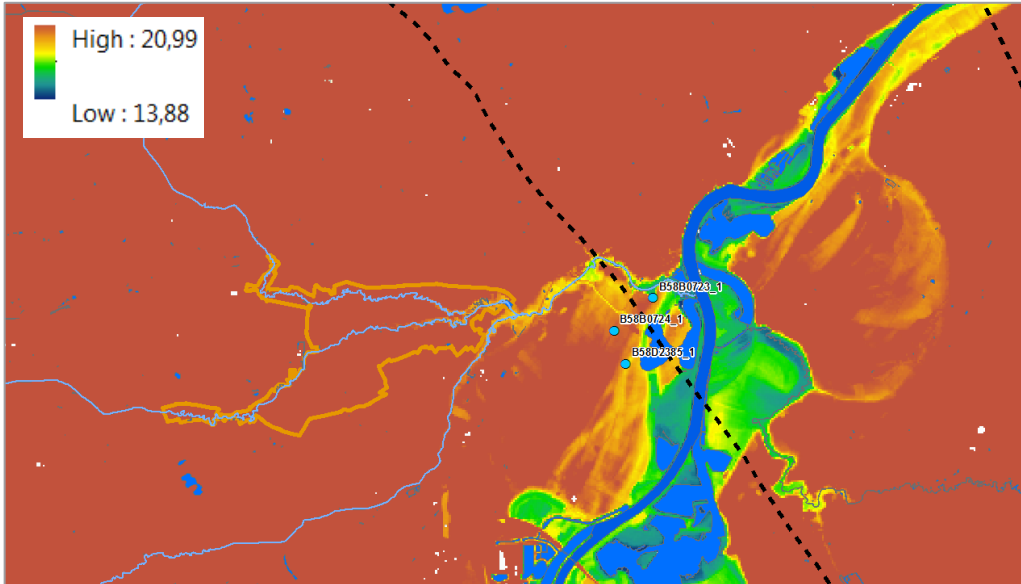
Figuur 8a en b: Freatische stijghoogtes over de Peelrandbreuk bij Neer opgenomen in een sleuf

Afbeeldingen B6.5 afbeeldingen 8a en b uit artikel Victor Bense *Stromingen* 8, 2002

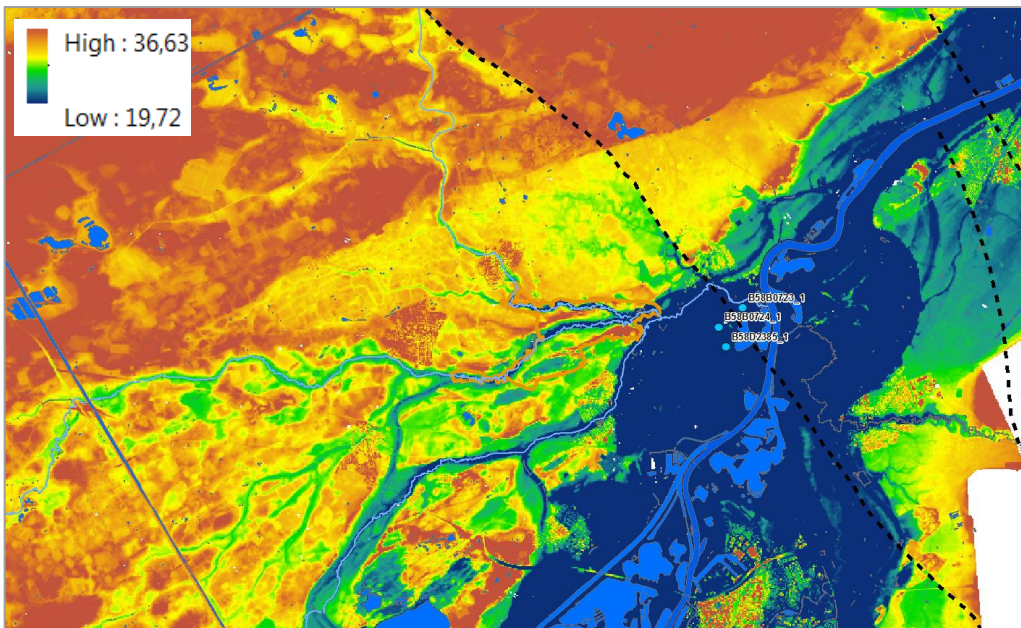
Maaiveldniveau Maasdal

In onderstaande afbeelding is het maaiveldniveau getoond, waarbij de legenda zo is opgemaakt dat het Maasdal duidelijk zichtbaar is. Er valt te zien dat het Maasdal ten zuidwesten van en net over de Peelrandbreuk nog relatief breed is. Op de Peelhorst wordt het dal veel smaller doordat de Maas zich daar door het hogere maaiveld heen moet snijden.

In de tweede afbeelding, is de legenda aangepast om de details buiten Maasdal zichtbaar te maken. Er valt te zien dat ten noordwesten en zuidoosten van het Maasdal een sprong is in het maaiveldniveau langs de Peelrandbreuk. De Peelrandbreuk is daar dus zelfs aan het maaiveld zichtbaar.



Afbeelding B6.6 Maaiveldniveau in Maasdal (bron: AHN2)

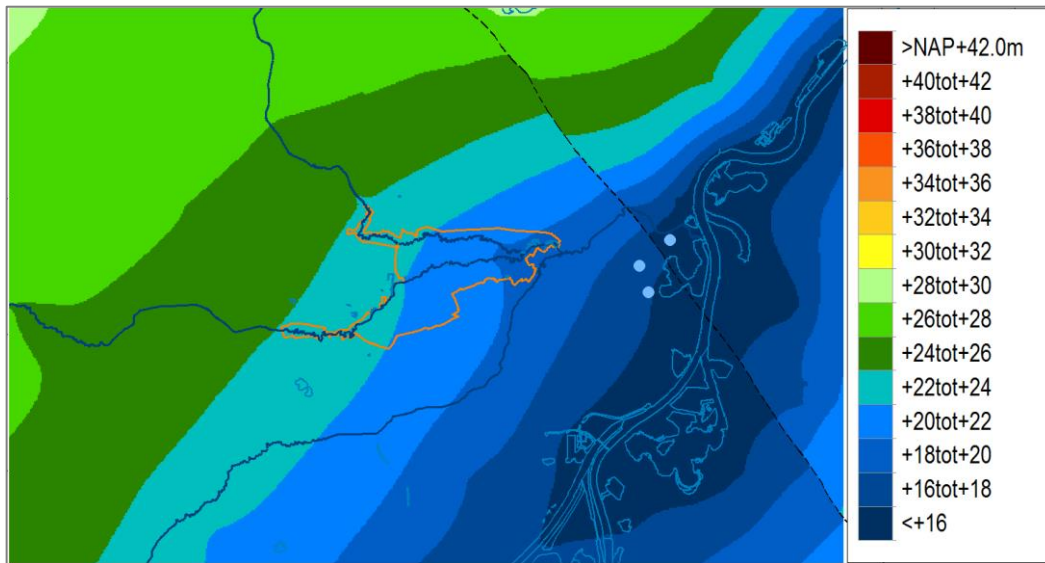


Afbeelding B6.7 Maaiveldniveau buiten Maasdal (bron: AHN2)

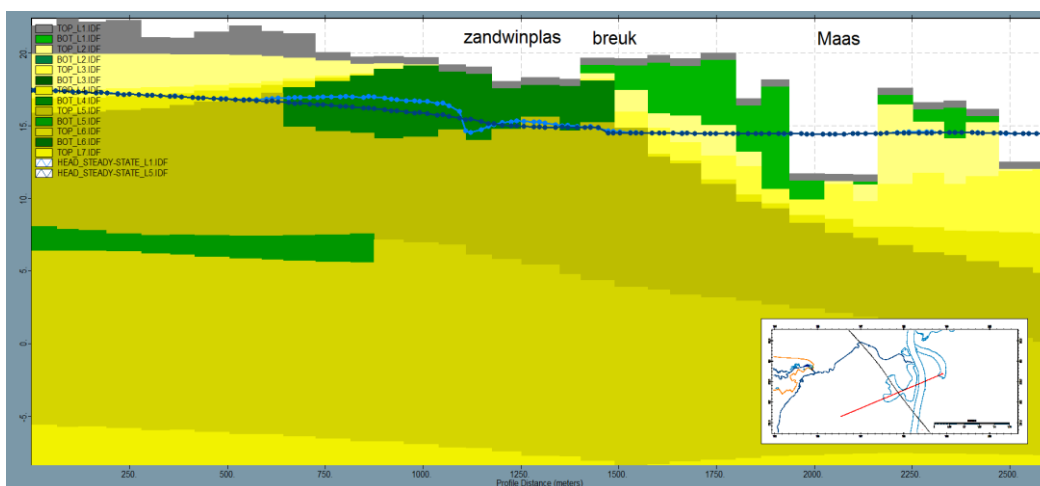
Vermoedelijk is in het Maasdal door de werking van de Maas het bovenste deel van de weerstand van de Peelrandbreuk grotendeels weg geërodeerd.

Berekende stijghoogten IBRAHYM 2.0

Het isohypsen patroon van de met IBRAHYM 2.0 berekende stijghoogten laat duidelijk de invloed van de Maas zien. De stroming is van NW naar ZO. Vanwege de weerstand, die de breuk in IBRAHYM 2.0 wel heeft, is de stijghoogte aan de noordoostzijde hoger dan aan de zuidwestzijde.



Afbeelding B6.7 met IBv2.0 berekende stijghoogten in modellaag 5 (WVP, Beegden zanden)



Afbeelding B6.8 dwarsdoorsnede met IBRAHYM 2.0 berekende stijghoogten dwars op Peelrandbreuk. Groene kleuren geven slecht doorlatende lagen, grijs is de holocene toplaag, geel geeft zandlagen. De lichtblauwe stippellijn geeft de freatische grondwaterstand (L1), de donkerblauwe lijn de stijghoogte in de Formatie van Beegden (L5).

B6.4 Tekortkomingen IBRAHYM 2.0

Er is een aantal onvolkomenheden bekend m.b.t. IBRAHYM 2.0. Twee onvolkomenheden zijn met name van invloed voor deze analyse: de verkeerde toekenning van breuken aan modellagen en de onvolledige schematisatie van de zandwinplas.

Daarnaast zijn de gekalibreerde kh-waarden in het model veel lager dan de kh-waarden volgens REGIS II.1, mogelijk door kalibratie van IBRAHYM 2.0 op basis van genoemde onvolkomenheden en door ontbreken van metingen in dit gebied tijdens de kalibratie. Het is echter bekend dat de kh-waarden van REGIS II.1 vaak te laag zijn. REGIS II.1 is niet noodzakelijk een goede graadmeter. Toch bleek tijdens de kalibratie van het Leudalmodel, vooral op basis van de peilbuismetingen van Kuypers Kessel, dat in de omgeving van de zandwinplas de kh-waarden inderdaad veel hoger moeten zijn dan ze waren in IBRAHYM v2.0. Dit kan gerelateerd worden aan de aanwezigheid van grind in de ondergrond nabij de Maas.

Breuktoekenning

In IBRAHYM 2.0 zijn de breuken niet aan de juiste modellagen toegekend en sommige breuken ontbreken.

Bij de Peelrandbreuk ontbreken in IBRAHYM 2.0 bijvoorbeeld de breuken in de Formatie van Beegden en in de Kiezeloöliet Formatie en zijn de breuken uit de Formatie van Stramproy onterecht toegekend aan modellagen 3 t/m 7 in plaats van lagen 7 t/m 10, waarin de Formatie van Stramproy is geschematiseerd in IBRAHYM 2.0. Dit geeft een veel te hoge weerstand in de bovenste modellagen. In modellagen 3-7 moeten de breuken uit de formaties van Boxtel, Beegden en Sterksel worden toegekend. Deze hebben echter een veel lagere weerstand dan de breuken uit de Formatie van Stramproy, Kiezeloöliet en Breda in de diepere modellagen.

De constatering van Antea dat de weerstand van de Peelrandbreuk volgens IBRAHYM 2.0 (bovenin het model) veel te hoog is klopt dus. Er kan echter niet in het algemeen gesteld worden dat de Peelrandbreuk hier en in het modelgebied van Neer geen weerstand heeft (zie B6.3).

Schematisatie zandwinplas

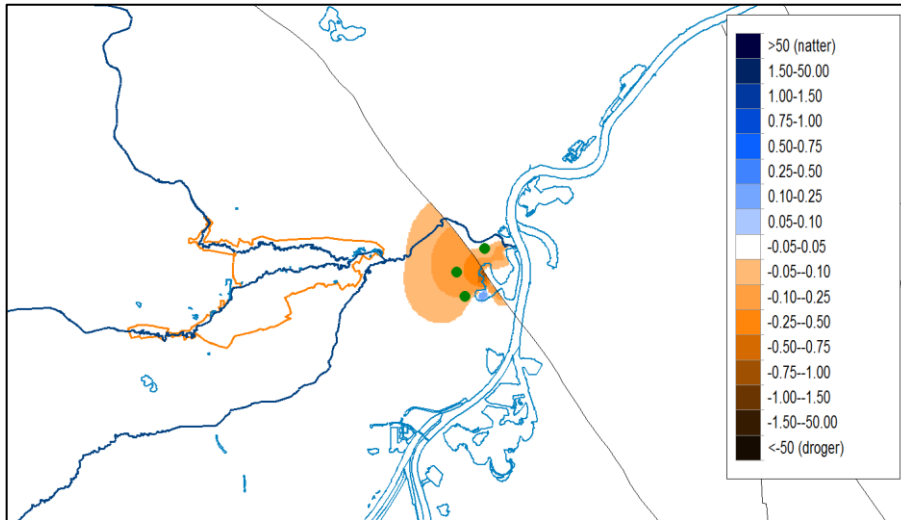
De andere onvolkomenheid is dat de zandwinplas niet is geschematiseerd in het lagenmodel van IBRAHYM 2.0, maar enkel deels in de RIV-package als oppervlaktewater. De modelperiode loopt van 1994 – 2011. De periode met de volledige zandwinplas is slechts van 2004 – 2011. Voor stationaire berekeningen is een gemiddeld peil en bodemniveau gebruikt en ligt de bodem van de plas daardoor niet op het juiste niveau. Hierdoor zal de plas veel minder draineren dan in werkelijkheid het geval is.

Daarnaast was de plas in IBv2.0 niet geschematiseerd in het lagenmodel. De KHV-waarde is niet aangepast aan de eigenschappen van open water, waardoor de doorlatendheid in de plas in het model veel minder is dan in werkelijkheid. Hierdoor was de drainerende werking van de zandwinplas in het model minder dan in werkelijkheid.

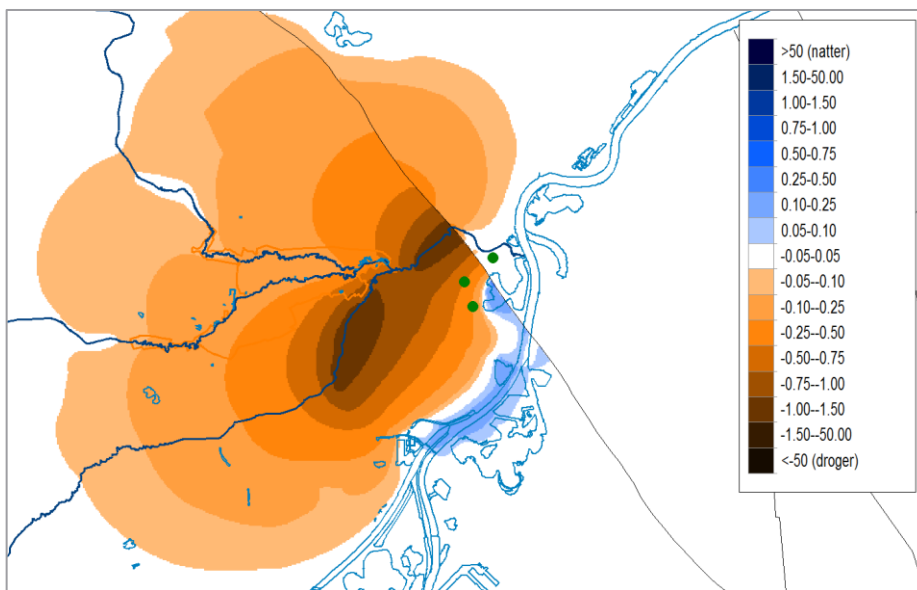
B6.5 Testberekeningen IBRAHYM 2.0

De peilbuismetingen van B58B0724_1 en B58D2354_1 geven aan dat IBRAHYM 2.0 de stijghoogten op deze locaties te hoog berekent. Om dit te corrigeren heeft Antea de doorlatendheid van de breuk in IBRAHYM 2.0 verminderd en de KHV-waarden vergroot naar waarden meer conform REGIS II.1.

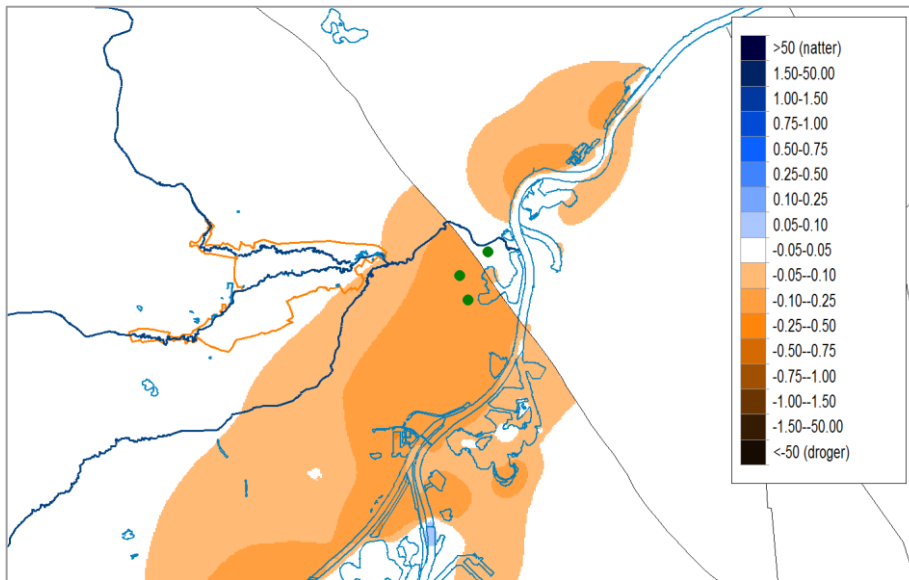
In deze paragraaf is de invloed op de stijghoogten van enkele modelparameters geanalyseerd. Dit betreft de schematisatie van de zandwinplas, de horizontale doorlatendheid (KHV), de drainageweerstand (of eigenlijk de reciproke hiervan, de conductance) van de Maas en de weerstand van de Peelrandbreuk (HFB). Ter oriëntatie is de ligging van het N2000-gebied het Leudal weergegeven. De hier getoonde effecten geven echter geen informatie over het effect van het passeren van de Roerdalslenk in de zandwinplas in 2004, maar tonen slechts de invloed van modelparameters.



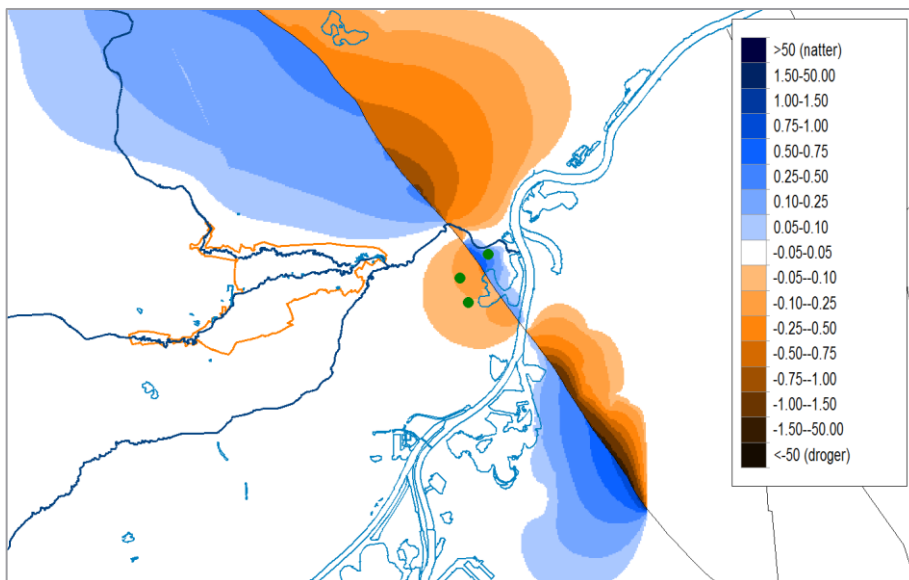
Afbeelding B6.9 Effect in WVP (L5, Beegden zanden, onder Beegden klei) verbeterde schematisatie zandwinplas: bodemdiepte +/- 3m, kh-waarde vergroot, verwijderde kv-waarden. Met groen zijn de 3 peilbuizen weergegeven.



Afbeelding B6.10 Effect in WVP (L5, BEZ, onder Beegden klei) van hogere kh-waarden (factor 3 ten opzichte van IBv2) in de Roerdalslenk in een zone rondom de zandwinplas in modellen 1-10 (WVP).



Afbeelding B6.11 Effect in WVP (L5, Beegden zanden, onder Beegden klei) van hogere conductance (lagere drainageweerstand) van de Maas (factor 2 ten opzichte van IBv2).



Afbeelding B6.12 Effect in WVP (L5, Beegden zanden, onder Beegden klei) van verwijderen breukweerstand in modellagen 1-7.

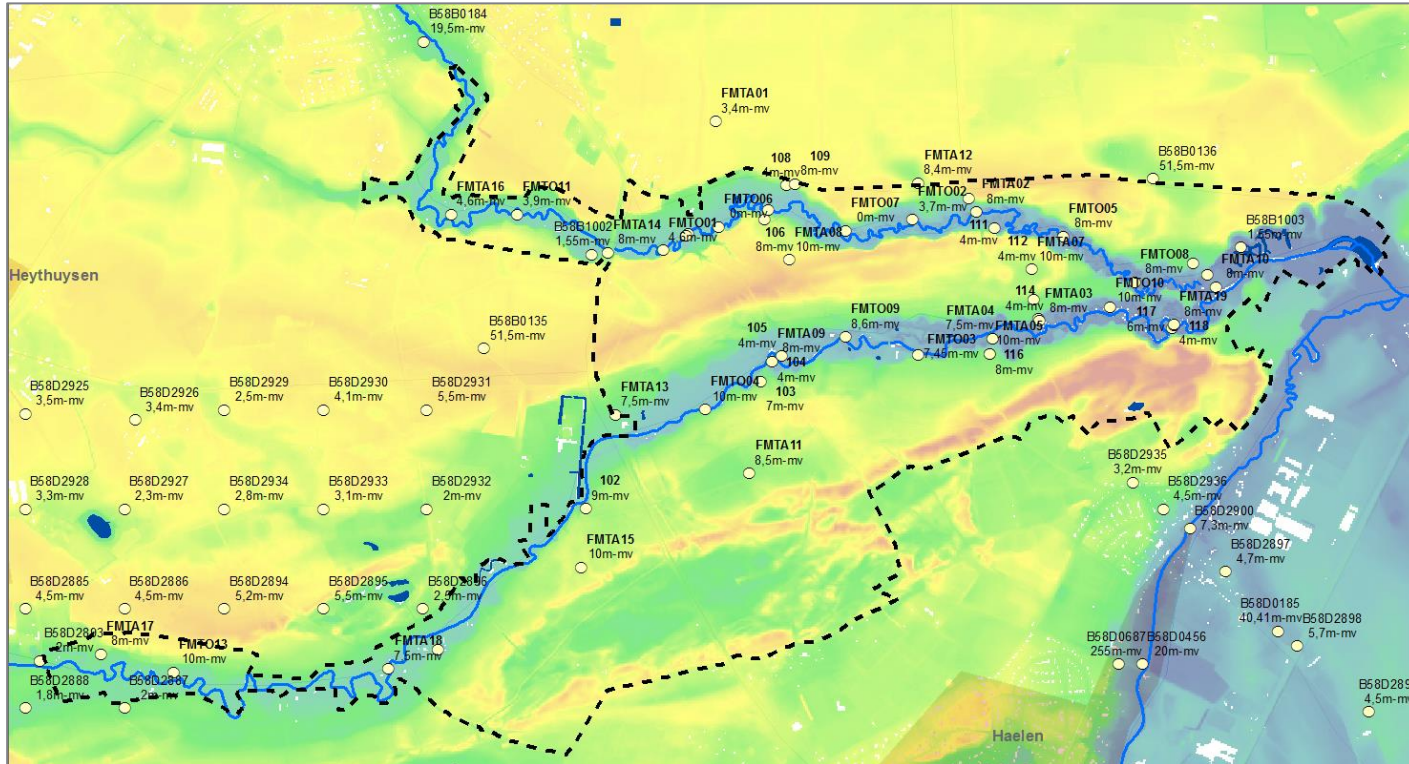
Deze testen laten zien dat het verbeteren van de schematisatie van de zandwinplas, het aanpassen van de kh-waarden rondom de zandwinplas en het verlagen van de drainageweerstand van de Maas hier allen een verdrogend effect hebben, dat meer in overeenkomst is met de gemeten stijghoogten in de peilbuizen van Kuypers Kessel. Het verwijderen van de weerstand van de Peelrandbreuk heeft volgens deze testberekeningen een minder groot effect en tegengesteld ten opzichte van de andere kant van de breuklijn en tevens is er een tegengesteld effect binnen en buiten het Maasdal.

B6.6 Conclusies

Naar aanleiding van voorgaande paragrafen is het volgende geconcludeerd met betrekking tot de constatering van Antea dat de Peelrandbreuk hier geen weerstand heeft:

- De constatering van Antea dat de Peelrandbreuk hier geen weerstand heeft is in tegenspraak met ander onderzoek nabij Neer dat deze weerstand aantoonst. Vermoedelijk is de breukweerstand in het Maasdal wel beperkt, zodat de constatering mogelijk wel opgaat voor het lokale model van Antea rondom de zandwinplas.
- Om de modelresultaten van IBRAHYM 2.0 beter passend te krijgen met de metingen rondom de zandwinplas is het niet nodig de weerstand van de Peelrandbreuk hier te verwijderen. Verhogen van de kh-waarden, verbeteren van de schematisatie van de zandwinplas en eventueel een grotere invloed van de Maas hebben hier een vergelijkbaar of groter effect.
- De constatering van Antea dat de kh-waarden in IBRAHYM 2.0 nabij de zandwinplas te laag zijn klopt.
- De constatering van Antea dat de weerstand van de Peelrandbreuk in IBRAHYM 2.0 veel te hoog is klopt. De oorzaak is hier echter een foute toekenning van de breuken aan modellagen. Er kan echter niet in het algemeen gesteld worden dat de Peelrandbreuk hier en in het modelgebied van Neer geen weerstand heeft.
- De opmerking van Antea over het 'doorbreken van de Peelrandbreuk' is relevant en terecht. Antea geeft aan: "De term 'doorbreken van de Peelrandbreuk' betekent voor het studiegebied dat de ontgronding via de Peelrandbreuk over gaat van de ene naar de andere formatie. Een weerstand langs de breuk wordt hierbij niet doorbroken. Wel is de ene formatie (de Peelhorst) veel minder doorlatend dan de andere formatie (de Roerdalslenk), waardoor de omvang en de effecten van de ontgronding in beide formaties zeer sterk verschilt." Na het passeren van de Peelrandbreuk in 2004 reikt de invloed van de Maas via de zandwinplas, tot in het beter doorlatende watervoerende pakket van de Roerdalslenk en heeft daarmee een veel groter invloedgebied.

Bijlage 7 – Boringen



Afbeelding B7.1 Beschikbare boringen, inclusief ID en boordiepte Ten opzichte van maaiveld (m), met het maaiveldniveau als achtergrond

