Geohydrologische analyse Venlo

In opdracht van:	Gemeente Venlo
Uitgevoerd door:	Grontmij Nederland B.V.
Kader:	Afstuderen
Auteurs:	Robert de Lenne Ton van der Linden
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Van Hall Larenstein

Geohydrologische analyse Venlo

Afstudeerrapport
voor de afronding van de bachelor
aan de Hogeschool Van Hall Larenstein;
onder begeleiding van ir. A.K. Bot en drs. ing. J.G. Uden

Auteurs:	Robert de Lenne
	Ton van der Linden
Project :	Afstudeerrapport
Opleiding:	Land- en watermanagement
Major:	Grond-, weg- en waterbouw
Onderwijsinstelling:	Hogeschool Van Hall Larenstein
Opdrachtgever:	Gemeente Venlo
	Grontmij Nederland B.V.
Begeleiding:	ir. A. Bot (Hogeschool Van Hall Larenstein)
	drs. ing. J.G. Van Uden (Grontmij Nederland B.V.)

Datum: 6 juni 2013

Colofon

Auteurs

Robert de Lenne
de Bongerd 8
7597 MP Saasveld
+31 6 11161238
Robert.delenne@grontmij.nl

Ton van der Linden
Schapenstreek 8
7963 SL Ruinen
+31 6 57038320
Ton.vanderlinden@grontmij.nl

Opdrachtgevers

Gemeente Venlo
Daelweg 10
5928 NK Venlo

Grontmij Nederland B.V.
Velperweg 26
6824 BJ Arnhem

Begeleiding

ir. A.K. Bot (Hogeschool Van Hall Larenstein)
+31 6 128734209

drs. ing. J.G. van Uden (Grontmij Nederland B.V.)
+31 6 51755347

Status

Definitief

Datum

6 juni 2013

Goedgekeurd door

Inhoudsopgave

Verklarende woordenlijst 7

Voorwoord 9

Samenvatting 10

1. Inleiding 11
- 1.1 Aanleiding 11
- 1.2 Probleemstelling 11
- 1.3 Doel van het onderzoek 12
- 1.4 Methodiek 12
- 1.5 Leeswijzer 13
- 1.6 Doelgroep 13

2. Gebiedsanalyse 14
- 2.1 Projectgebied 14
  - 2.1.1 Afbakening projectgebied 14
  - 2.1.2 Historie 14
  - 2.1.3 Hoogteligging 15
- 2.2 Bodem 16
  - 2.2.1 Ondiepe bodemopbouw 16
  - 2.2.2 Diepe bodemopbouw 16
  - 2.2.3 Bodemschematisatie 18
- 2.3 Grondwater 19
  - 2.3.1 Grondwaterstanden 19
  - 2.3.2 Grondwaterstroming 19
- 2.4 Oppervlaktewater 20
- 2.5 Grondwateronttrekkingen 21
- 2.6 Meteorologische data 22
  - 2.6.1 Neerslag 22
  - 2.6.2 Verdamping 22
- 2.7 Civieltechnische ontwikkelingen Venlo 23
  - 2.7.1 Maasboulevard 23
  - 2.7.2 Koninginnetunnel 24
  - 2.7.3 Overige civieltechnische ontwikkelingen 25
  - 2.7.4 Tijdlijn 26

3. Modellering 27
- 3.1 Theorie en werking 27
- 3.2 Verklarende reeksen 27
- 3.3 Validatie 28

4. Proces 30
- 4.1 Tijdsperioden 30
- 4.2 Procesbepaling 30
- 4.3 Visuele analyse meetreeksen 32
- 4.4 Bepaling grondwaterdynamiek meetreeksen 32
- 4.5 Tijdreeksanalyse 32
  - 4.5.1 Verdeling meetdata in tijdsperioden zonder extrapolatie 32
  - 4.5.2 Verdeling meetdata in tijdsperioden in combinatie met extrapolatie 32
  - 4.5.3 Analyse gehele reeksen 32

4.5.4 Step trend analyse 33

5. Analyse 34
5.1 Algemeen 34
5.2 Visuele analyse meetreeksen 34
5.2.1 Freatisch pakket 34
5.2.2 Eerste watervoerend pakket 35
5.2.3 Vergelijking freatisch pakket en eerste watervoerend pakket 35
5.3 Grondwaterdynamiek 36
5.3.1 Bepaling grondwaterdynamiek 36
5.3.2 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld 37
5.4 Data analyse 37
5.4.1 Analyse verdeling meetdata in tijdsperioden zonder extrapolatie 37
5.4.2 Analyse verdeling meetdata in tijdsperioden in combinatie met extrapolatie 37
5.4.3 Analyse gehele reeksen 37
5.4.4 Step trend analyse 38

6. Conclusies en aanbevelingen 39
6.1 Conclusies 39
6.1.1 Gebiedsanalyse 39
6.1.2 Grondwateranalyse 39
6.2 Discussie 40
6.3 Aanbevelingen 41

Bijlagen 43
Bijlage 1: Projectgebied 45
Bijlage 2: Venlo anno 1842 46
Bijlage 3: Hoogtekaart regio Venlo 47
Bijlage 4: Ondiepe bodemopbouw 48
Bijlage 5: Regionaal grondmodel 49
Bijlage 6: Lokaal grondmodel van het centrum van Venlo 52
Bijlage 7: Peilbuizen 55
Bijlage 8: Oppervlaktewateren 56
Bijlage 9: Grondwateronttrekkingen 57
Bijlage 10: Tabel onttrekkingsgegevens 58
Bijlage 11: Dwarsdoorsnede Maasboulevard 61
Bijlage 12: Dwarsdoorsnede Koninginnetunnel 62
Bijlage 13: Statistische randvoorwaarden Menyanthes 63
Bijlage 14: Gemiddeld Laagste Grondwaterstand 65
Bijlage 15: Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand 66
Bijlage 16: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand 67
Bijlage 17: Ontwateringsdiepte centrum 68
Bijlage 18: Statistieken en geschiktheidsbepaling van de modellen 69
Bijlage 19: Resultaten peilbuizen 70

Literatuurlijst 71

Verklarende woordenlijst

Aanslagpeil	Een hoogte ten opzicht van een referentieniveau wanneer een pomp in werking wordt gesteld.
Aardkunde	Aardkunde is de wetenschap welke vormen en patronen van de bovenste meters van ons aardoppervlak bestudeert.
Aquifer	Een watervoerende laag.
Aquitard	Een waterscheidende laag.
Barometrische datalogger	Een barometrische datalogger meet de barometrische druk, luchtdruk, op een gegeven punt, weergegeven in millibar of hectopascal
Bodemopbouw	De gelaagdheid van bodemtypen.
Convolutie integraal	Het wiskundig omzetten van twee functies naar één functie.
Debiet	Hoeveelheid water per tijdseenheid
Deepwells	Een deepwell is een onderwaterpomp die een opvoerhoogte creëert zodat het water via een persleiding afgevoerd kan worden.
DINOloket	Data Informatie Nederlandse Ondergrond, een database van vele gegevens over de Nederlandse bodem.
Doorlatendheid	Het vermogen van een grondsoort om water door te laten.
Drift	Een afwijking van het nulpunt van de druksensor in de tijd.
Druksensoren	Een druksensor meet de natuurkundige grootheid druk op een ingevoerd tijdsinterval.
Freatisch vlak	De grondwaterspiegel, dit grondwater staat op de eerste slecht doorlatende laag en heeft een drukhoogte van nul.
Geohydrologisch	Grondwaterhydrologie, stroming van het water in de bodem.
Geologische formatie	Een, in de wetenschap van gesteentelagen, bodemlaag met een bepaalde eigenschap.
Grondwaterfluctuatie	De schommeling van de grondwaterstand.
Grondwatermeetnet	Een stelsel van samenhangende grondwatermeetpunten.
Grondwateronttrekkingen	Onttrekken van grondwater ten behoeve van een bepaald doel.
Grondwaterreeks	Een opeenvolging van grondwaterstanden in de tijd per peilbuis.
Grondwatersysteem	Het verloop van het grondwater in een bepaald gebied. Het grondwater systeem is op te delen in drie niveaus namelijk regionaal niveau, lokaal niveau en het niveau op standplaats. Het hoogste systeem heeft wel invloed op de lagere maar niet andersom.
Groutmengsel	Een mengsel van water, cement en granulaat.
GxG	Grondwaterdynamiek, op te verdelen in GHG, GLG en GvG.
GHG	Gemiddeld hoogste grondwaterstand, de drie hoogste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart), het gemiddelde van deze hoogten over acht jaar wordt aangeduid als GHG.
GLG	Gemiddeld laagste grondwaterstand, de drie laagste grondwaterstanden in een hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart), het gemiddelde van deze hoogten over acht jaar wordt aangeduid als GLG.
GvG	Gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand, dit zijn de gemiddelde grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april voor een periode van minimaal acht jaar.
Humus	Organisch materiaal aan het bodemoppervlak.
Impuls respons	Het antwoord van een systeem op een ingevoerd impulsvormig signaal.
Infiltratie	Het intreden van water in de grond.
Kwel	Het uittreden van grondwater naar het oppervlak.
Luchtdruk	De druk die in de aardatmosfeer heerst in millibar of hectopascal.
Meanderen	Het slingerende verloop van een waterloop.

Menyanthes	Computerprogramma waarmee tijdreeksen gemodelleerd kunnen worden door de invoer van verklarende variabelen. De naam is afkomstig van de plant waterdrieblad.
Ontginning	Het in cultuur brengen van natuur.
Ontwateringsdiepte	Het verschil tussen het maaiveld en de grondwaterstand.
Overkluizing	Civieltechnisch kunstwerk wat watergangen overwelven.
Peilbuis	Een buis waarin een grondwaterstand of stijghoogte gemeten wordt.
Residuen	Verschillen tussen de gemeten en berekende waarden.
Ruis (Witte ruis)	Een restreeks na een modellering die geen enkele samenhang heeft.
Soilmixwand	Een water- of grondremmende beschoeiingswand.
Sondering	Het bepalen van het draagvermogen van een bodem .
Steilrand	Een scherp hoogteverschil van enkele tot vele meters.
Stijghoogte	De hoogte ten opzichte van een referentieniveau tot waar het grondwater opstijgt in een buis wat in open verbinding staat met het maaiveld.
Stuwputten	Putten die zijn voorzien van een pomp met een bepaald aan- en uitslagpeil welke het grondwater nabij de parkeergarage Maasboulevard moeten verlagen.
Textuur	Korrelgrootteverdeling, de diameter van de korrels in de bodem.
Tijdreeksanalyse	Analyse van data die zijn bijgehouden voor een bepaalde periode.
Uitbijter	Een kortstondige afwijking.
Uitslagpeil	Een hoogte ten opzicht van een referentieniveau wanneer een pomp uitgeschakeld wordt.
Vacuümbemaling	Het onttrekken van grondwater door middel van vacuüm.
Verklarende reeks	Verklarende variabele, een gemeten reeks welke de variatie verklaart in de respons variabele.
Waterdruk	De waterdruk is afhankelijk is van de dichtheid van het water en de diepte waarop de meting is uitgevoerd uitgedrukt in meter waterkolom.
Waterhuishouding	De beheersing van water in een bepaald gebied.
Waterscheiding	De grens tussen twee stroomgebieden.
Watervoerend pakket	Een laag welke water verplaatst en wordt begrensd door een ondoorlatende laag of door het freatisch vlak.
Zuigerpompen	Een pomp wat een vloeistof (of gas) verplaatst door middel van een zuiger welke heen en weer beweegt in een cilinder.

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerrapport welke het resultaat is van het onderzoek naar het gedrag van het grondwater en de invloed van civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand in Venlo. Als studenten Land- en watermanagement hebben we veel plezier ondervonden aan het in de praktijk brengen van onze opgedane kennis tijdens onze studie. Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van ons afstuderen van de studie Land- en watermanagement aan de Hogeschool Van Hall Larenstein.

Dit onderzoek is verricht gedurende februari 2013 tot en met juni 2013. Het formuleren van het onderzoeksrapport hebben wij als zeer leerzame periode ondervonden. Graag willen wij van deze gelegenheid gebruik maken om de volgende personen te bedanken, die allen een gepaste bijdrage hebben geleverd aan de totstandkoming van dit rapport. Allereerst willen wij onze begeleider ir. A.K. Bot van Hogeschool Van Hall Larenstein en drs. ing. J.G. Van Uden van Grontmij Nederland bedanken voor de professionele begeleiding die is geboden tijdens het onderzoek. Ook willen wij onze collega's van Grontmij Nederland bedanken voor hun expertise op het gebied van hydrologie en Menyanthes.

Onze dank gaat verder uit naar ing. R.H.J.M. Van Weert, projectcoördinator bij Gemeente Venlo, voor zijn toegedragen informatie en feedback op tussentijds opgeleverde producten. Eveneens gaat onze dank uit naar J.W. Selen (projectvoorbereider civiel) en overige medewerkers van Gemeente Venlo die een bijdrage hebben geleverd aan de totstandkoming van dit rapport.

Tenslotte willen wij onze familie en vrienden bedanken voor hun bemoediging tijdens het afstuderen en de gehele studie.

Robert de Lenne en Ton van der Linden

Arnhem, 6 juni 2013

Samenvatting

In het kader van het afstuderen is, onder leiding van Grontmij Nederland B.V., een grondwatersysteemanalyse uitgevoerd voor gemeente Venlo. Deze grondwatersysteemanalyse dient inzicht te geven in de grondwaterstanden en grondwaterstroming in Venlo. Daarbij is een uitstap gemaakt naar een onderzoek naar mogelijke veranderingen in het grondwatersysteem door civieltechnische ontwikkelingen in de periode 2004 tot heden. De aandacht ligt op de realisatie van de parkeergarage van de Maasboulevard en de Koninginnetunnel.

Om deze grondwateranalyse uit te voeren, is eerst een gebiedsanalyse uitgevoerd, zodat het gehele grondwatersysteem verklaard kan worden. Daarbij ligt de aandacht vooral op de bodemopbouw van de regio Venlo. Daarnaast zijn de meteorologische invloeden, grondwateronttrekkingen en de oppervlaktewateren onderzocht om uiteindelijk het grondwatersysteem in beeld te brengen door middel van een analyse naar de grondwaterdynamiek (GxG). Deze onderdelen verklaren namelijk de grondwaterstand.

Om eventuele veranderingen in het grondwatersysteem, veroorzaakt door de aanleg van de civieltechnische ontwikkelingen, inzichtelijk te maken is een tijdreeksanalyse uitgevoerd met het programma Menyanthes. Dit programma is ontwikkeld om met de grondwaterbeïnvloedende factoren, verklarende reeksen genaamd, een model van de gemeten grondwaterreeksen te maken. Dit model dient aan een aantal voorwaarden te voldoen om vast te kunnen stellen dat de verklarende reeksen daadwerkelijk de fluctuatie in de grondwaterstand veroorzaken. Voldoet het model niet aan de voorwaarden, dan is een deel van de gemeten reeks niet goed verklaard.

Naar aanleiding van de vraag naar een uitgebreid onderzoek naar de Kiezeloöliet-klei in de diepe ondergrond is een driedimensionale weergave gerealiseerd. Hieruit is gebleken dat er in en rond Venlo enkele openingen aanwezig zijn in deze kleilaag. Dit betekent dat grondwater in verschillende watervoerende pakketten met elkaar in verbinding staat.

De grondwaterstroming in de regio is noordwestelijk gericht en komt uit in de Maas. De herkomst van het grondwater is de hoger gelegen steilrand, ten oosten van Venlo. De Maas blijkt echter ook grote invloed te hebben op de grondwaterstand in de stad. Hier is de grondwaterstand sterk afhankelijk van de waterstand in de Maas.

Uit de tijdreeksanalyse is gebleken dat er een geringe invloed is van de civieltechnische werken. Een raai van peilbuizen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden vormt zich rond de Maasboulevard. Hieruit kan geconcludeerd worden dat er in deze peilbuizen niet of nauwelijks een invloed aanwezig is. Na het toepassen van een step trend (een verklarende reeks die een stationair verschil weergeeft) op de peilbuizen die niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden, blijkt één peilbuis wel te voldoen. Hiermee wordt aangegeven dat er daadwerkelijk een grondwaterstijging aanwezig is. Echter, deze peilbuis is dicht aan de Maasboulevard gelegen. De beïnvloeding blijkt daardoor gering.

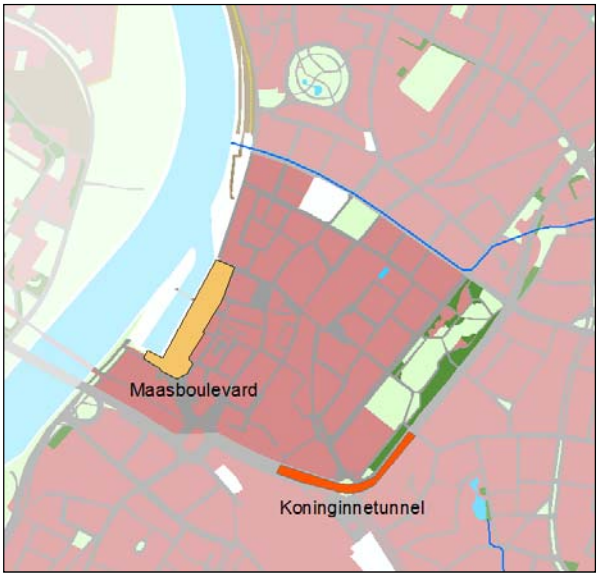
Om tot een concreter oordeel, in cijfers, te kunnen komen, dient er een nieuwe tijdreeksanalyse uitgevoerd te worden om door middel van de grondwaterdynamiek van de nulsituatie en de huidige situatie een verschil aan te tonen. Echter, deze analyse kan pas over minimaal twee jaar uitgevoerd worden, zodat de meetperiode van de huidige situatie lang genoeg is om een tijdreeksanalyse uit te voeren waarbij de grondwaterdynamiek per periode kan worden bepaald.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

In het verleden is er in het centrum van Venlo onder andere een ondergrondse parkeergarage, onderdeel van de Maasboulevard, een verkeerstunnel gelegen onder het Koninginneplein en enkele kleinere civieltechnische werken, gerealiseerd. Deze civieltechnische werken doorsnijden geheel het watervoerend pakket waardoor de grondwaterstroming gehinderd wordt. De realisatie van de parkeergarage is in januari 2007 van start gegaan en de aanleg van de verkeerstunnel is in november 2009 begonnen.

Na uitvoering van deze civieltechnische ontwikkelingen zijn er meer meldingen gedaan van grondwateroverlast in het centrum van Venlo dan voorheen. Deze meldingen omvatten wateroverlast in kruipruimten en kelders. Echter, doordat er weinig inzicht is in het gedrag van het grondwater in het centrum van Venlo is het onbekend waar deze overlast aan toe te schrijven is. Omdat het *grondwatersysteem* mede wordt bepaald door de bodemopbouw is dit onderdeel onderzocht.



Figuur 1: *Situering parkeergarage Maasboulevard en Koninginnetunnel*

Voor de aanvang van de civieltechnische ontwikkelingen is een zogenaamd *grondwatermeetnet*, een stelsel van samenhangende meetpunten, aangelegd om de grondwaterstanden rondom de ontwikkelingen en in het centrum van Venlo te monitoren. Deze meetgegevens vormen de basis van het onderzoek om inzicht te krijgen in het gedrag van het grondwater in het centrum van Venlo. Dit grondwatermeetnet is aangelegd omdat er opstuwing van het grondwater werd verwacht voor de parkeergarage van de Maasboulevard. Om deze opstuwing weg te nemen zijn er een zestal pompen voor de diepwanden aangelegd, die het toestromende grondwater naar de Maas geleiden.

1.2 Probleemstelling

Om inzicht te krijgen in het gedrag van het grondwater in Venlo is een hoofdvraag opgesteld die als leidraad dient voor dit onderzoek. Deze hoofdvraag luidt als volgt:

Wat zijn de invloeden van verschillende variabelen op het gedrag van het grondwater in het centrum van Venlo?

Om uitsluitsel te geven over de mogelijke invloeden van variabelen op het grondwater zijn deelvragen geformuleerd. Daarnaast zijn er deelvragen geformuleerd om een beeld te krijgen van de geologie, hydrologie en de civieltechnische ontwikkelen in Venlo. De opgestelde deelvragen staan hieronder gesommeerd per onderwerp.

Projectgebied

- Hoe wordt het onderzoeksgebied afgebakend?
- Wat is de geschiedenis van Venlo?
- Wat is de hoogteligging van het projectgebied?

Bodemopbouw

- Hoe ziet de ondiepe bodemopbouw in het onderzoeksgebied eruit?
- Hoe ziet de diepe bodemopbouw in het onderzoeksgebied eruit?
  - Welke watervoerende en waterremmende lagen zijn er in de diepere ondergrond aanwezig?

Grondwaterstanden

- Wat zijn de grondwaterstanden in de periode van:
  - 2004 tot heden in het onderzoeksgebied volgens de *peilbuizen* van *DINOloket*?
  - 2004 tot heden in het onderzoeksgebied volgens de peilbuizen van gemeente Venlo?
- Wat is de *GLG* (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand), *GvG* (Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand) en *GHG* (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) in het onderzoeksgebied?
- Hoe is de grondwaterstroming georiënteerd in het onderzoeksgebied?

Oppervlaktewater

- Wat zijn de waterstanden van de Maas in de periode 2004 tot heden?
- Welke oppervlaktewateren zijn er in het onderzoeksgebied aanwezig?

Grondwateronttrekkingen

- Wat is de onttrekking van Waterleiding Maatschappij Limburg (WML) in de periode van 2000 tot heden?
- Zijn er andere *grondwateronttrekkingen* in deze periode aanwezig geweest en wat waren de onttrokken hoeveelheden?

Meteorologie

- Hoeveel neerslag is er per dag gevallen in het onderzoeksgebied in de periode 2004 tot heden?
- Wat is de verdamping per dag in het onderzoeksgebied in de periode 2004 tot heden?

Civieltechnische ontwikkelingen

- Hoe is de Koninginnetunnel gefundeerd in verband met de mate van insnijding in de ondergrond?
- Hoe is de parkeergarage Maasboulevard gefundeerd in verband met de mate van insnijding in de ondergrond?
- Zijn er in de periode van 2004 tot heden nog andere ontwikkelingen geweest in Venlo die mogelijk invloed gehad hebben op het grondwatersysteem?
- Hoe is het grondwater beheerst tijdens en na de realisatie van de civieltechnische ontwikkelingen?

Modellering

- Welke verklarende reeksen hebben mogelijkerwijs invloed gehad op de grondwaterstand in Venlo?
- Op welke manier kan de mogelijke invloed van de civieltechnische ontwikkelingen op het grondwater zichtbaar worden gemaakt?
- Wat is de invloed van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand in het onderzoeksgebied?

1.3 Doel van het onderzoek

Het doel van deze afstudeeropdracht is het verschaffen van inzicht op het gedrag van de grondwaterstanden en het verkrijgen van duidelijkheid over de mogelijke invloeden van de civieltechnische ontwikkelingen op het grondwater in Venlo.

1.4 Methodiek

Allereerst heeft er een bureaustudie plaatsgevonden naar de geologie, hydrologie (grondwater, oppervlaktewater, neerslag en verdamping) en de civieltechnische ontwikkelingen in het onderzoeksgebied.

De geologie, dan wel bodem, is onderverdeeld in ondiepe en diepe bodemopbouw. De ondiepe bodemopbouw (<1.20 m) is bepaald aan de hand van “Bodemkunde van Nederland”. De diepe bodemopbouw is driedimensionaal weergegeven in het modelleringsprogramma GMS versie 9.0 (Groundwater Modeling System), waarbij boorprofielen van gemeente Venlo en DINOloket zijn geïmporteerd en omgezet in een vlak dekkend geheel. Tevens heeft er een gesprek plaatsgevonden met Dhr. P.H. Oomen die een

bronbemalingsbedrijf bezit in Venlo en veel expertise heeft over de bodem in deze omgeving.

Als invoer van de *tijdreeksanalyse* zijn er parameters opgesteld die de grondwaterstanden bepalen. Indien er van deze parameters meetgegevens bekend zijn waarvan meetreeksen ontwikkeld konden worden zijn deze ingevoerd als verklarende reeksen in de modellering. De invloed van de civieltechnische ontwikkelingen is getracht te bepalen door de grondwaterstanden te verklaren door gebruik te maken van de verklarende reeksen zoals oppervlaktewaterstanden, neerslag- en verdampingsgegevens en onttrekkingsgegevens. De oppervlaktewatergegevens zijn opgevraagd bij Rijkswaterstaat en waterschap Peel en Maasvallei. Dit waterschap en de Provincie Limburg hebben de onttrekkingsgegevens aangedragen die noodzakelijk waren voor de analyse. Via het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) zijn gegevens van de neerslag en verdamping opgevraagd. De invloed is getracht inzichtelijk te maken met het programma *Menyanthes*, waarmee een tijdreeksanalyse is uitgevoerd.

De grondwaterstanden zijn verkregen door het uitlezen van de *druksensoren* in de peilbuizen die voor aanleg van de civieltechnische ontwikkelingen zijn geplaatst. De data uit de druksensoren zijn vertaald naar grondwaterstanden en verder gebruikt in de analyse.

Na de gebiedsanalyse is het proces opgesteld om de grondwateranalyse uit te voeren. Voorafgaand aan de statistische analyse in Menyanthes is een visuele analyse van de meetreeksen en de bepaling van de grondwaterdynamiek uitgevoerd.

Om uiteindelijk een kwalitatief en correct eindproduct op te leveren, hebben er tussentijdse overleggen plaatsgevonden met de begeleiding van Hogeschool Van Larenstein, Grontmij Nederland B.V. en gemeente Venlo.

1.5 Leeswijzer

In hoofdstuk twee komen de onderwerpen aan bod die tijdens de inventarisatiefase zijn onderzocht. Deze bestaan uit het projectgebied, bodem, grondwater, oppervlaktewater, grondwateronttrekkingen, meteorologie en civieltechnische ontwikkelingen.

Hoofdstuk drie bestaat uit de modellering. In dit hoofdstuk wordt er ingegaan op de theorie en de werking van de tijdreeksanalyse die wordt uitgevoerd met het computerprogramma Menyanthes. Informatie over de toegepaste methode van vertalen van de data en validatie van deze meetgegevens is weergegeven in “Hoofdstuk 3: Modellering, paragraaf 3.4 Validatie”.

Het hierop volgende hoofdstuk vier omvat het proces dat gevolgd is om de mogelijke invloed van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand te bepalen. Dit proces is in een stroomschema weergegeven.

In het vijfde hoofdstuk is de analyse uitgewerkt. Hierbij is de invloed van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand bepaald door statistische modellen te ontwikkelen in Menyanthes. De conclusies en aanbevelingen worden in het laatste hoofdstuk uitgewerkt.

1.6 Doelgroep

Dit afstudeerrapport is geschreven voor de gemeente Venlo en Grontmij Nederland B.V.. Daarnaast zal dit rapport ter goedkeuring overgedragen worden aan ir. A. Bot, begeleider van Hogeschool Van Hall Larenstein, drs. ing. J.G. Van Uden, begeleider van Grontmij Nederland en een externe deskundige die benoemd is door Hogeschool Van Hall Larenstein. Tevens komt het rapport als naslagwerk in de mediatheek van Hogeschool Van Hall Larenstein en in de online database “HBO Kennisbank”.

2. Gebiedsanalyse

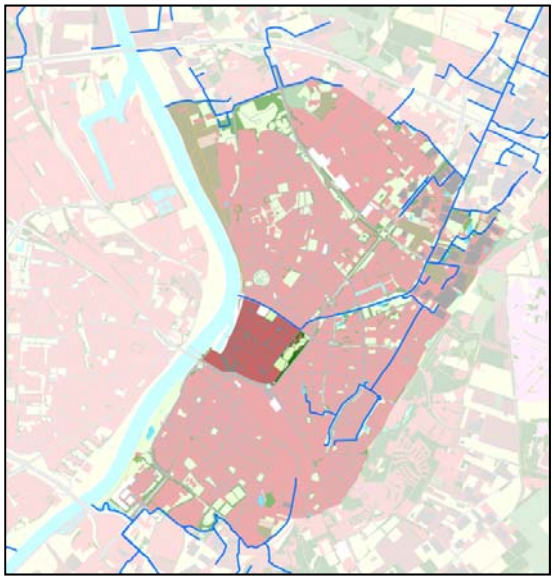
2.1 Projectgebied

2.1.1 Afbakening projectgebied

Om het mogelijke effect van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand inzichtelijk te maken is het noodzakelijk de bodemopbouw en *geohydrologie* in het centrum van Venlo te onderzoeken. Hiervoor is Venlo opgedeeld in een onderzoeksgebied en een aandachtsgebied. Het aandachtsgebied is bepaald aan de hand van de situering van de civieltechnische werken en de beschikbare meetgegevens van het grondwater. Dit gebied is weergegeven met de donkerste kleuren. Het onderzoeksgebied betreft het grotere gebied wat op de kaart licht transparant is weergegeven en wordt afgebakend door:

- De aanwezige *steilrand* (oost)
- De Maas (west)
- Stepkensbeek (noord)
- Venlose Molenbeek (zuid)

De grenzen zijn gekozen met de aanname dat er geen beïnvloeding van het grondwater plaatsvindt buiten deze grenzen.



Figuur 2: *Projectgebied*

Op basis van de Grondwaterkaart (Lekahena, 1978) van Nederland blijkt dat het grondwater vanaf de steilrand richting de Maas stroomt. De maaiveldhoogte daalt vanaf de steilrand aanzienlijk, maar dient niet als waterscheiding. De steilrand is daarentegen wel als oostgrens gekozen, aangezien de *geologische formaties* hier sterk veranderen ten opzichte van het onderzoeksgebied.

De Maas vormt, ook voor de diepere watervoerende pakketten, een *waterscheiding* en dient om deze reden als westelijke grens van het onderzoeksgebied.

De Stepkensbeek en de Venlose Molenbeek vormen de noord- en zuidgrens van het onderzoeksgebied en vormen een geohydrologische afbakening. De kaart met het onderzoeksgebied en aandachtsgebied is weergegeven in bijlage 1: Projectgebied.

2.1.2 Historie

Deze paragraaf is uitgewerkt aan de hand van de gegeven informatie op www.venlo.nl (03-04-2013).

Uit verschillende vondsten, waaronder resten van een brug, blijkt dat de stad Venlo al sinds de Romeinse tijd bewoond is. In de Middeleeuwen was Venlo een belangrijke handelsplaats. Dit door zijn gunstige ligging aan de Maas. Deze grote rivier diende ook als bescherming om zijn strategisch belangrijke locatie. Aan het einde van de 15^{e} eeuw werd Venlo een Hanzestad, doordat het toetrad tot het Hanzeverbond, dit is een samenwerkingsverband tussen steden om de handel uit te breidden.

In de Nieuwe tijd, welke na de Middeleeuwen begon en duurt tot het heden, kwam het “Hertogdom Gelre en Graafschap Zutphen” in bezit van de keizer Karel V. Het Hertogdom bezat het grensgebied waar de IJssel, Waal, Rijn en Maas enigszins bij elkaar komen. Vanaf het jaar 1590 werd het Hertogdom opgesplitst in een noordelijk

en zuidelijk deel. Dit zuidelijke deel werd het “Overkwartier van Gelre” genoemd en behoorde tot de Zuidelijke Nederlanden.

In de Gouden eeuw was Venlo geregeld in handen van de Spanjaarden. Na de oorlog die heerste in de beginjaren van de 18e eeuw, welke het resultaat was van de strijd om erfopvolging die veroorzaakt werd na de dood van Karel II die geen kinderen had, werd het Overkwartier van Gelre onderverdeeld tussen Oostenrijk, Pruisen en de Nederlandse Republiek. De stad Venlo behoorde door deze onderverdeling tot de Nederlandse Republiek en kwam te liggen in het Generaliteitsland “Staats-Opper-Gelre”. Dit areaal had geen stem in het landsbestuur.

In de 17e eeuw en 18e eeuw werd de vestingstad uitgebreid met grachten. Deze grachten werden rondom de binnenstad in een sterverband aangelegd. Aan het einde van de 18e eeuw werd het Generaliteitsland Staats-Opper-Gelre overgenomen door de Fransen, waarna het deel werd van het Franse Departement van de Roer. Toen de Fransen het gebied verlieten is het tot de provincie Limburg binnen de Verenigd Koninkrijk der Nederlanden genaamd. Toentertijd behoorde het huidige Nederland en België tot deze staat en was Willem I aan de macht.

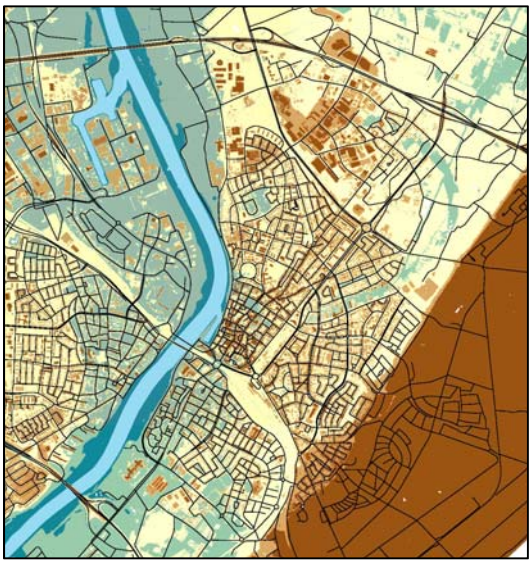
In de 19e eeuw zorgde de Belgische Revolutie voor de onafhankelijkheid van het huidige land België en werd er bij de vredesregeling Limburg toegekend aan Nederland. Aan het einde van de 19e eeuw werd besloten om de grachten te dempen en de wallen te slopen, dit heeft enige verandering aangebracht in de *waterhuishouding* en mogelijk in de bodemopbouw. Dit omdat de bescherming niet meer noodzakelijk was, en zodoende verloor Venlo zijn vestingstatus. Tevens kon zo de overbevolking in de stad afnemen doordat de mensen zich buiten de vesting vestigden.

Een historische kaart van Venlo 1842 is opgenomen in de bijlagen onder bijlage 2: Venlo anno 1842

2.1.3 Hoogteligging

De maaiveldhoogte van Venlo en omgeving varieert sterk. De steilrand, ontstaan door de aansnijding van een terrasrand (Janssen, 2009), is duidelijk zichtbaar op de hoogtekaart (figuur 3: Hoogtekaart). De maaiveldhoogte bij de steilrand bedraagt circa 45 m +NAP. De maaiveldhoogte aan de Maas is beduidend lager door de insnijding van deze rivier. De hoogte van het maaiveld bedraagt hier circa 15 m +NAP.

De hoogtekaart is terug te vinden in bijlage 3: Hoogtekaart regio Venlo.#



Figuur 3: *Hoogtekaart*
In het oostelijk deel is de steilrand zichtbaar, deze heeft een hoogte van circa 45 m +NAP. Het maaiveld nabij de Maas heeft een hoogte van 15 m +NAP.

2.2 Bodem

2.2.1 Ondiepe bodemopbouw

Venlo is gelegen in een aardkundig overgangsgebied. De ligging tussen de Maas en de steilrand geeft de bodemopbouw rond Venlo een scherpe overgang, waarbij de steilrand bestaat uit vorstvaaggronden (aangegeven met bodemcode Zb21g), holtpodzolgronden (gY30), haarpodzolgronden (gHd30) en akkereerdgronden (gcZd30). De toelichting van de gronden zijn geschreven aan de hand van het boek Veldbodemkunde (Locher).

Podzolgronden zijn minerale gronden met een duidelijke podzol-B, een horizont waaraan door inspoeling uit een hoger liggende horizont bestanddelen zijn toegevoegd, en een A1-horizont, een laag waarin de organische stof geheel of gedeeltelijk biologisch is omgezet en aan het oppervlak is ontstaan, dunner dan 50 cm. De vorstvaaggronden bestaan uit leemarm en zwak lemig fijn zand als deklaag. Het grove zand bevindt zich op een diepte van minimaal 40 cm onder maaiveld. De overige gronden die op de steilrand voorkomen zijn de akkereerdgronden. Eerdgronden hebben een moerige (humeuze) bovengrond of een moerige tussenlaag. Ook bestaat deze grond uit grof zand.

De bodemopbouw in het overgangsgebied richting de Maas bevat meer variatie. Aan de steilrand is een strook met veengronden aanwezig, die bestaan uit meerveengronden (zVz). Deze veengronden zijn ontstaan door uittredend grondwater naar het oppervlak, genaamd *kwel*. Deze strook is daarom altijd een nat gebied geweest. De meerveengronden zijn ontstaan door afsterving van planten en ophoping van organisch materiaal. Deze veengronden bevinden zich op zandgronden.

Het overgangsgebied kent ook lage enkeerdgronden (EZg30). Dit is een oude stroomgeul van de Maas, bestaande uit grof zand. Tevens zijn er hoge zwarte enkeerdgronden (zEZ30) aanwezig. Deze hebben een zwarte minerale eerdlaag en liggen in de hogere delen van het onderzoeksgebied. Deze gronden bestaan uit zandgronden met een *humus*rijke deklaag. De woudeerdgronden (pKRn2g) kenmerken zich door de hydromorfe kenmerken. Deze hydromorfe kenmerken worden veroorzaakt door bodemvocht en grondwaterbeweging. Deze bodem heeft klei als hoofdgrondsoort.

Naast de veengronden en eerdgronden zijn er eveneens podzolgronden aanwezig in het overgangsgebied. Deze bestaan uit horst-, haar- en veldpodzolgronden. Horstpodzolgronden (cY23) kenmerken zich door oranjebruine tot geelbruine banden (de banden-B) met ingespoeld ijzer en lutum, en bestaat uit lemig fijn zand. Tenslotte kent het overgangsgebied ook poldervaaggronden (KRn1). Deze grond bestaat uit lichte zavel en bevat hydromorfe kenmerken.

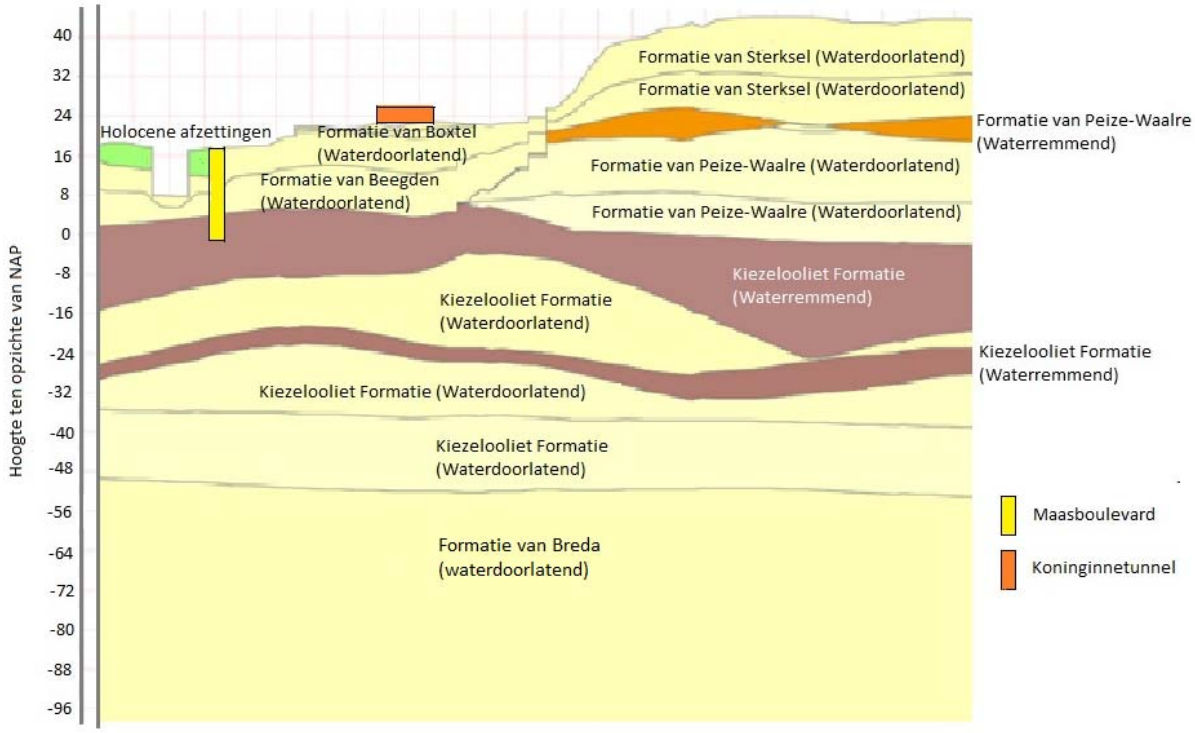
Aan de Maas komen gronden van oude Maas*meanders* aan het oppervlak voor. Ten zuiden van Venlo bevinden zich aan de Maas rooibrikgronden (BZd24), bestaande uit zeer sterk lemig fijn zand. Brikgronden hebben een briklaag, dit is een laag waar klei is uitgespoeld, ondieper dan 80 cm onder het maaiveld (Berendsen, Landschap in delen). Deze grondsoorten zijn ontstaan in *ontgonnen* gebieden waar zich vroeger bossen bevonden. Verder blijken er ook hoge bruine enkeerdgronden (bEZ30) aanwezig te zijn aan de Maas. Deze bestaan overwegend uit grof zand.

Een kaart van de ondiepe bodemopbouw is opgenomen in de bijlagen onder bijlage 4: Ondiepe bodemopbouw.

2.2.2 Diepe bodemopbouw

Aangezien de geohydrologie in een ondergrond sterk wordt bepaald door de geologie is onderzoek naar de diepere grondlagen van belang. De bodemopbouw van het gebied is gevormd door de natuurlijke stromingen van de rivieren Rijn en Maas. Deze patronen zijn in de ondergrond nog duidelijk zichtbaar. Zo worden grind-, klei- en zandlagen onderling afgewisseld. Voor de diepere bodemopbouw is gebruik gemaakt van gegevens van DINOloket. In figuur 4 is een doorsnede van de bodemopbouw weergegeven op basis van TNO gegevens

(REGIS) vanaf de Maas tot aan de Duitse grens. De beschrijving van de formaties is uitgevoerd aan de hand van het boek Fysisch geografisch onderzoek (Berendsen). De formaties zijn vernoemd aan de hand van de indeling van Zagwijn en Van Staalduinen (1975).



Figuur 4: *Dwarsdoorsnede onderzoeksgebied*
De dwarsdoorsnede geeft duidelijk het aardkundige overgangsgebied weer tussen de steilrand (rechts) en de Maas (links).

In figuur 4 is de steilrand duidelijk zichtbaar. Er bestaat een scherpe verticale grens tussen de steilrand en het lager gelegen gebied richting de Maas. De steilrand bestaat voornamelijk uit de Formatie van Sterksel en bestaat uit matig grof tot uiterst grof, grindhoudend, Rijnzand. Deze afzetting is ontstaan in het Midden-Pleistoceen met een ouderdom van 600.000 tot 1 miljoen jaar. Het Midden-Pleistoceen kenmerkte zich door ijstijden, afgewisseld met warme perioden, interglacialen genoemd. Deze bovenste lagen worden, rond 20 m +NAP, begrenst door de Waalre-Peize Formatie, afgezet door de Rijn in het Vroeg-Pleistoceen (2,6 miljoen tot 900.000 jaar voor Christus). Deze formatie bestaat zelf uit verschillende lagen, zo bestaat de bovenste laag uit Waalre-klei. De ondergelegen lagen bestaan uit matig fijn tot uiterst grof zand. Tevens komen er bruinkoollagen en veenlagen in deze formatie voor. Rond 0 m +NAP ligt de Kiezeloöliet Formatie, ontstaan in het Tertiair (65 miljoen tot 2,6 miljoen jaar voor Christus). Deze formatie bestaat voornamelijk uit grof zand en klei. De bovenste Kiezeloöliet-laag wordt vaak aangeduid als Venlo-klei. Deze kleilaag heeft onder de steilrand een dikte van circa 20 meter. Een tweede kleilaag bevindt zich dicht onder de eerste kleilaag. Een kleine scheiding is aanwezig door een laag bestaande uit grof zand die ook behoort tot de Kiezeloöliet Formatie. De tweede kleilaag reikt tot 30 m -NAP. Onder deze laag bevindt zich tot 50 m -NAP de zandlaag van de Kiezeloöliet Formatie. Als hydrologische basis wordt de Formatie van Breda aangehouden. Deze laag bevindt zich op 50 m -NAP en reikt tot grote diepte.

De diepere bodemopbouw onder de steilrand, vanaf circa 5 m -NAP en dieper, is ook aanwezig onder het lager gelegen gebied. Echter, de zandlaag tussen de twee kleilagen is veel dikker. De bovenste kleilaag is aanzienlijk dikker en reikt tot 5 m +NAP. In tegenstelling tot de geologische opbouw van de steilrand, bevindt zich de Formatie van Beegden boven de Kiezeloöliet Formatie. De Formatie van Beegden is afgezet door de Maas en bestaat uit grof zand en kan ook leem- en kleilagen bevatten. Aan het oppervlak bevindt zich de Formatie van Boxtel. Deze reikt van circa 18 m +NAP tot het maaiveld van circa 20 m +NAP. Deze eolische formatie (afgezet

door de wind) bestaat voornamelijk uit fijn tot matig grof, siltig zand. Dunne veenlagen, leemlagen en gyttja's komen eveneens voor. Door de dynamiek van de Maas bevinden zich Holocene afzettingen nabij deze rivier.

De bodemlagen boven de Kiezeloöliet Formatie, oftewel Venlo-klei, zijn zeer bepalend voor de geohydrologie van Venlo. Daarom is een driedimensionale weergave gerealiseerd waarin deze bodemlagen nader in beeld zijn gebracht op basis van uitgevoerde grondboringen. Mede door het feit dat er onduidelijkheid bestaat (P.H. Oomen) over het mogelijk ontbreken van deze Venlo-klei in het centrum van Venlo. Hierdoor kan er een interactie bestaan tussen verschillende watervoerende pakketten.

De driedimensionale weergave van de bodem is inzichtelijk gemaakt in het programma GMS, versie 9.0 (Groundwater Modeling System). Hierbij zijn de boorgegevens (grondboringen van DINOloket en Gemeente Venlo) vertaald naar modellagen waarbij de hoofdgrondsoorten zijn aangehouden. Deze hoofdgrondsoorten zijn zand, klei, veen, grind en leem. Een gedetailleerdere indeling van de bodem geeft een onsamenhangend beeld. Voor de ontwikkeling van het model zijn alleen boringen dieper dan 15 meter gebruikt aangezien deze een goed beeld geven van de diepere bodemopbouw.

Door gebruik te maken van de hoofdgrondsoorten is inzicht gekregen in de watervoerende en slecht waterdoorlatende lagen. In totaal zijn er twee grondmodellen gemaakt, deze staan hieronder weergegeven.

- Regionaal grondmodel
- Grondmodel van het centrum van Venlo

In bijlage 5 en 6 zijn de grondmodellen weergegeven. In het model worden alleen de kleilagen als waterremmende lagen gezien. Het programma interpoleert tussen de grondboringen en maakt daarvan vlakdekkende grondlagen. Echter, om te voorkomen dat alle grondlagen vlakdekkend zijn is ervoor gekozen om grondlagen dunner dan 25 centimeter niet zichtbaar te maken. Het gevolg is dat de dunnere lagen niet worden weergegeven en deze wel degelijk van invloed kunnen zijn op de geohydrologie.

In de ontwikkelde modellen is zichtbaar dat de Venlo-klei niet een geheel afsluitende laag vormt. Mogelijk bevinden zich enkele locaties waar geen Venlo-klei aanwezig is, zodat er een interactie bestaat tussen verschillende watervoerende pakketten. Om met zekerheid conclusies te trekken over deze Venlo-klei moeten deze locaties verder onderzocht worden.

Er zijn nauwelijks diepe grondboringen in de binnenstad van Venlo bekend. Hierdoor zijn de boringen die gezet zijn tijdens de aanleg van het grondwatermeetnet, voor het monitoren van de Maasboulevard, gebruikt. Echter, deze boringen hebben een geringe diepte van 5 tot 12 meter. Dit betekent dat er van de diepere ondergrond geen gegevens bekend zijn. Dit is ook zichtbaar in het model. De schijn bestaat dat er een groot gat bevindt in deze Kiezeloöliet Formatie. Dit is naar alle waarschijnlijkheid niet het geval. Om met zekerheid uitspraken te doen, zouden in de binnenstad enkele diepere grondboringen gezet moeten worden.

Mogelijke onderbrekingen van de kleilaag zijn gelegen bij de kruising Parade-Klaasstraat en in het Julianapark. In de regio van Venlo blijken, uit de grondmodellen op twee grote locaties, de kleilagen afwezig te zijn. Deze zijn gelegen onder het industrieterrein 't Ven, ten noordoosten van Venlo en in het zuidoosten van de stad, op de overgang naar de steilrand.

2.2.3 Bodemschematisatie

De opbouw van de bodem geeft inzicht in de stroming van het grondwater. Deze stroming is afhankelijk van de *doorlatendheid*, de zogenaamde k-waarde, van de bodemlagen. Er wordt onderscheid gemaakt tussen *aquifers* (waterdoorlatende lagen) en *aquitards* (waterscheidende,-remmende lagen). In figuur 4 is de indeling met waterdoorlatende en waterscheidende lagen weergegeven.

De waterremmende lagen bestaan uit bepaalde lagen van de Kiezeloöliet Formatie, bijvoorbeeld de Venlo-klei. Klei is een grondsoort dat voornamelijk bestaat uit lutum, dit zijn deeltjes kleiner dan 2 µm. Lutumdeeltjes zijn plat van structuur en hebben een hoog kittend vermogen. Dit houdt in dat klei een sterk samenhangende grondsoort is. Door de plaatjesstructuur kan grondwater niet of nauwelijks door de grond stromen. De doorlatendheid van klei ligt dan ook tussen 0,005 tot 10^{-5} m/dag. In combinatie met de grote dikte van de lagen kan worden gesteld dat het grondwater dat verticaal door deze kleilagen stroomt nihil is. Ook zal er nauwelijks horizontale stroming aanwezig zijn (Bodemkunde van Nederland, Bakker en Locher).

De watervoerende lagen bestaan voornamelijk uit grof zand. In dit grove zand kan het water gemakkelijk horizontaal en verticaal stromen en varieert de stroomsnelheid tussen de 10 en 100 meter per dag. Doordat er zich in deze grove zandgronden leemachtige en fijnzandige gronden bevinden zal de stroomsnelheid variëren tussen de 10^{-3} en 1 meter per dag.

2.3 Grondwater

2.3.1 Grondwaterstanden

Het grondwatersysteem in Venlo valt onder het "Systeem van de Oostelijke Maasterrassen" (Bakker, 2002). Hierbij vindt *infiltratie* plaats op de steilrand in het oostelijk deel van het onderzoeksgebied. De kwelgebieden bevinden zich langs de Maas en in de oude beekdalen van de Rijnbeek. Op de steilrand komt de grondwatertrap VII voor, deze geeft een GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) van >80 cm onder maaiveld en een GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) van >160 cm onder maaiveld. Westelijk gelegen aan de steilrand bevindt zich een strook met grondwatertrap II. Deze grondwatertrap heeft een GHG <40 cm onder maaiveld en een GLG tussen de 50 en 80 cm onder maaiveld. Het zuidelijke deel van het onderzoeksgebied nabij de Maas heeft een grondwatertrap van VII en het noordelijke deel bevat ook deze grondwatertrap maar incidenteel wordt ook grondwatertrap II, met een GHG <40 cm en een GLG tussen 50 en 80 cm onder maaiveld, waargenomen.

In 2004 is in de stad een meetnet opgezet om de grondwaterstand in de stad te monitoren. Dit meetnet bestaat uit 44 peilbuizen en zijn aangelegd in het kader van de aanleg van de parkeergarage Maasboulevard. Er zijn 39 peilbuizen geplaatst in het *freatisch* grondwater en vijf peilbuizen tot in het eerste watervoerend pakket. De peilbuizen zijn in vier raaien opgesteld ten opzichte van de Maasboulevard. Daarnaast zijn er enkele peilbuizen op willekeurige locaties geplaatst. De locaties van de peilbuizen zijn weergegeven in bijlage 7: Peilbuizen.

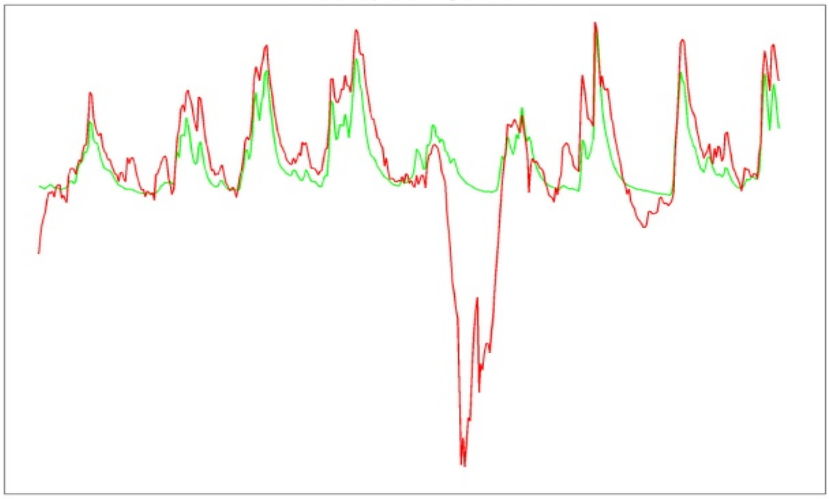
Dagelijks wordt de grondwaterstand in de peilbuizen geregistreerd door middel van druksensoren. Deze druksensoren registreren op een vast tijdstip de totale druk boven het meetpunt. Daarnaast wordt door middel van een *barometrische datalogger* de *luchtdruk* gemeten. De totale druk minus de luchtdruk geeft de *waterdruk* boven het meetpunt. Aangezien de referentiehoogte van het meetpunt en de kabellengte, waaraan de druksensor gemonteerd is, bekend is, kan de grondwaterstand berekend worden.

De metingen worden in de druksensoren opgeslagen en tweemaal per jaar uitgelezen. Bij deze uitlezing vinden ook handmetingen plaats om de betrouwbaarheid van de data te verifiëren.

2.3.2 Grondwaterstroming

Het grondwater van het hoger gelegen gebied, de steilrand, stroomt richting het lager gelegen gebied naar de Maas. De stroming is zodoende westelijk tot noordwestelijk georiënteerd. Echter, de Maas heeft ook invloed op de grondwaterstroming. Bij lage waterstanden in de Maas heeft de rivier een drainerende werking. Het toestromende grondwater kan de Maas instromen en wordt afgevoerd. Echter, bij hoge waterpeilen in de Maas vindt een omgekeerd proces plaats. Wanneer het waterpeil in de Maas hoger is dan de grondwaterstand zal er grondwaterstandstijging optreden. Door de interactie van het grondwater met het waterpeil in de Maas is de aanvoer van het grondwater richting de Maas niet constant. De doorlatendheid van de watervoerende

pakketen is, door aanwezigheid van grof zand, groot. Echter, de stroomsnelheid van het grondwater neemt af wanneer het waterpeil in de Maas stijgt. Wanneer het waterpeil in de Maas hoger is dan de grondwaterstand in het centrum van Venlo zal de grondwaterstroming oostelijk georiënteerd zijn. Het water uit de Maas en het grondwater vanaf de steilrand zorgen dan voor een grondwaterstijging in het centrum van Venlo. Hieronder is een grafiek weergegeven waarin de invloed van het waterpeil in de Maas op de grondwaterstanden zichtbaar is.



Figuur 5: *Interactie van het waterpeil in de Maas en de grondwaterstand. De rode lijn geeft de grondwaterstand weer en de groene lijn toont het waterpeil in de Maas. Er is een onttrekking zichtbaar in de periode 2009-2010. Dit geeft een afwijkend beeld.*

2.4 Oppervlaktewater

Venlo behoort internationaal gezien tot het stroomgebieddistrict Maas (Bakker, 2002). Deze rivier ontspringt in Frankrijk en wordt hoofdzakelijk gevoed door regenwater. Hierdoor fluctueert het waterpeil in de Maas aanzienlijk.

Om een indicatie te krijgen van de afvoer van de Maas in Venlo is een tabel van de overschrijdingsfrequenties gemaakt, deze is opgesteld voor het dichtstbijzijnde meetstation Borgharen en is weergegeven in de onderstaande tabel. Ter plaatse van Venlo is wel een meetstation voor het oppervlaktewater maar hier zijn geen overschrijdingswaarden afgeleid.

De tabel geeft de waterstand (ten opzichte van het Normaal Amsterdams Peil) weer die één keer voorkomt in een bepaalde tijd. Het stuwpeil van de Maas ter hoogte van Venlo ligt op 10.85 m +NAP.

Overschrijdingsfrequentie (jaar)	Afvoer Borgharen (m3/s)	Gemiddelde overeenkomende waterstanden (m. NAP)
1x per 1250	3650	19,9
1x per 100	2800	18,5
1x per 10	2000	17,4
1x per 2 jaar	1450	15,95
1x per jaar	1200	15,3
Gemiddelde afvoer	230	11,6
Gemiddelde zomer afvoer	110	11,05
Hoogst bekende afvoer	3039	19

Figuur 6: *Afvoer en waterstanden bij een overschrijdingsfrequentie (www.rijkswaterstaat.nl, 19-05-2013)*

Regionaal gezien behoort Venlo tot het grensoverschrijdende stroomgebied de Niers. Dit stroomgebied ligt grotendeels in Nordrhein Westfalen en levert samen met de Roer de grootste regionale bijdrage aan de piekafvoer van de Maas in Limburg. De Niers is in Duitsland grotendeels gekanaliseerd, wat tezamen met de sterke ontwatering gezorgd heeft voor verdroging van vele gebieden over de grens.

De voorkomende oppervlaktewateren in het onderzoeksgebied vallen onder het stroomgebied Noordoostelijk Maasterras. Dit stroomgebied is gelegen in de Slenk van Venlo. De deelstroomgebied die voorkomt in het onderzoeksgebied is de Rijnbeek. Deze bestaat uit de Lovendaalsebeek en de Rijnbeek zelf. De Wylrebeek wordt ook beschouwd als deelstroomgebied en bestaand uit de Venlose Molenbeek, Wittebeek en een zijtak van de Wylrebeek. Het laatste deelstroomgebied is de Zwartewaterbeek, deze bestaat uit Kruisberglossing, Zwartwaterbeek, Sint Urbanusbeek en de Stepkensbeek. De Venlose Molenbeek en de Wylrebeek ontspringen op de Jammerdaalse Heide, de Zwartwaterbeek in het bos Zwart water. De oppervlaktewateren in het onderzoeksgebied zijn weergegeven in bijlage 8: Oppervlaktwateren. De genormaliseerde Rijnbeek ontspringt op de steilrand en stroomt via de stad Venlo, waar het *overkluisd* is, naar de Maas. De Rijnbeek is gegraven om een verbinding te maken met de Fossa Eugeniana, een plan van de Spanjaarden in de 17^{e} eeuw om de Rijn, Maas en Schelde onderling te verbinden om zo de handel over de rivieren vanuit de Republiek der Zeven Verenigde Nederlanden weg te nemen en via Antwerpen te leiden. De huidige oorsprong van de beek bevindt zich ten noordoosten van de stad (http://cultuurhistorie.venlo.nl, 23-05-2013).

Fluctuatie in grondwaterstanden kunnen van invloed zijn op het waterpeil in oppervlaktewateren. Zo is bekend dat de Rijnbeek in droge perioden droogvalt (Bakker, 2002) en dit betekent dat er een interactie bestaat tussen het grondwater en het oppervlaktewater.

2.5 Grondwateronttrekkingen

Het oppompen van grondwater met een bepaald doel wordt grondwateronttrekking genoemd. Deze doelen lopen uiteen van het gebruik als drinkwater, tijdelijk de grondwaterstand verlagen voor bouwwerkzaamheden, bodemsanering, proceswater of ten behoeve van beregening.

Grondwateronttrekkingen kunnen de grondwaterstand verlagen. Om deze reden is het van belang dat grondwateronttrekking op basis van een melding toegestaan is als deze van korte duur is (maximaal een half jaar) of een maximaal *debiet* heeft van 100 m^3 per uur en maximaal 1000 m^3 per maand. Voor grondwateronttrekkingen die niet aan deze voorwaarden voldoen is altijd een vergunning vereist. Door verlaging van de grondwaterstand kan de grondwaterstroming beïnvloed worden. De onttrekkingen, die in de periode 2000-2013, zijn uitgevoerd in het onderzoeksgebied en daarbuiten zijn aangeleverd door de Provincie Limburg en het Waterschap Peel en Maasvallei. Er is een selectie gemaakt van de onttrekkingen die mogelijkerwijs invloed hebben gehad op de grondwaterstanden en *stijghoogten* in het onderzoeksgebied. Deze gegevens zijn aangeleverd in jaar- en maandgemiddelden en omgezet naar daggemiddelden. Indien de start- en einddatum van een onttrekking niet bekend is, is de totale onttrekking verdeeld over 365 dagen. De situering van de onttrekkingen zijn weergegeven in bijlage 9: Grondwateronttrekkingen. In deze bijlage zijn drie verschillende punten op een topografische kaart weergegeven. Deze punten zijn de “Vergunde onttrekkingen (Waterschap)”, “Gemelde onttrekkingen (Waterschap)” en de “Onttrekkingen (Provincie)”.

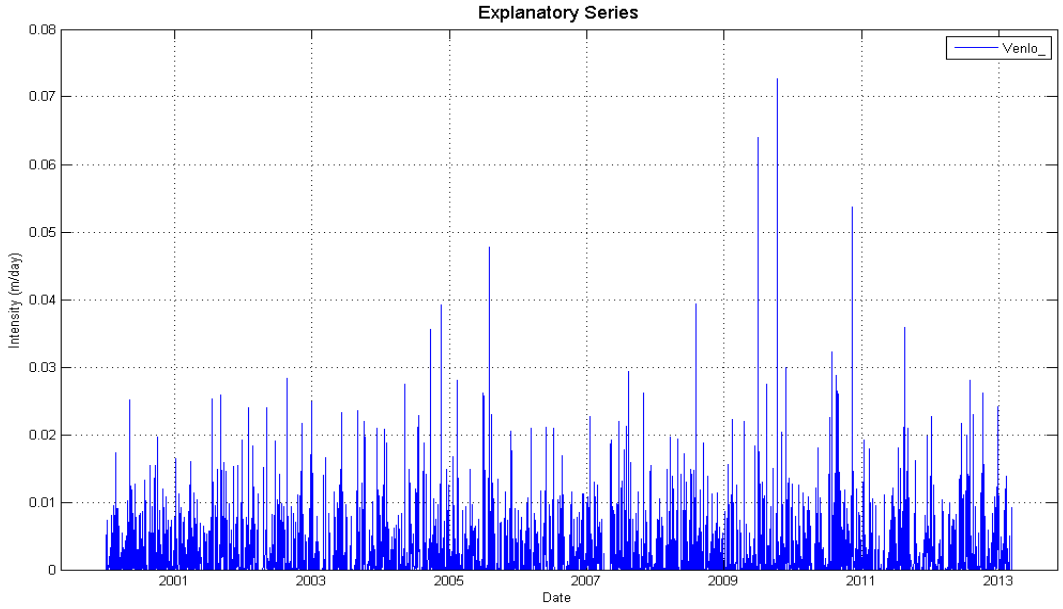
De vergunde onttrekkingen (Waterschap) bevatten vergunde hoeveelheden door het Waterschap Peel en Maasvallei waar niet van bekend is hoeveel er exact onttrokken is. De gemelde onttrekkingen (Waterschap) geven de exacte onttrokken hoeveelheden in de regio Venlo. De opgevraagde onttrekkingen van de Provincie Limburg geven ook de exacte onttrokken hoeveelheid. In bijlage 10: Tabel onttrekkingsgegevens is een overzicht weergegeven van de aangeleverde onttrekkingsgegevens. Waterleiding Maatschappij Limburg heeft de onttrekkingen gesitueerd op de Groote Heide en in Tegelen. De onttrokken hoeveelheden variëren sterk en hebben een maximum van 12.500 m^3/dag. Hiermee is WML de grootste grondwateronttrekker in het onderzoeksgebied.

2.6 Meteorologische data

2.6.1 Neerslag

Op jaarbasis valt er in Nederland circa 700 tot 800 millimeter neerslag. In extreem droge jaren komt dit gemiddelde niet boven de 500 millimeter en in extreem natte jaren kan dit gemiddelde boven de 1000 millimeter per jaar zijn. Limburg heeft een enigszins grotere invloed van het landklimaat, in plaats van het zeeklimaat, aangezien deze provincie niet in de buurt ligt van grote wateroppervlakten. Dit resulteert in warmere zomers en koudere winters ten opzichte van de rest van Nederland.

Dagelijks wordt door het KNMI de neerslag geregistreerd (gemeten om 8:00 uur) in het meetstation Venlo. In dit onderzoek zijn de dagsommen van de neerslag gebruikt. De neerslaggegevens zijn bij het KNMI opgevraagd van de periode van 01-01-2000 tot 31-03-2013 en deze zijn in de onderstaande grafiek weergegeven.



Figuur 7: *Neerslag (01-01-2000 tot 31-03-2013)*

De periode 2000 tot 2013 kenmerkt zich door de afwisseling van zeer natte jaren en vrij droge jaren. Zo zijn de jaren 2000, 2001 en 2002 volgens het KNMI te definiëren als zeer natte jaren. Uit de grafiek is op te maken dat deze periode geen extreme uitschieters in neerslaghoeveelheid kent. De periode 2003 tot 2007 kenmerkt zich als vrij droog, met uitzondering van het vrij natte jaar 2004. De periode 2007 tot 2013 kent gemiddelde jaren qua neerslaghoeveelheid. Echter, de bijzonderheden zijn de zware buien in mei 2009 (www.knmi.nl, 2013) .

2.6.2 Verdamping

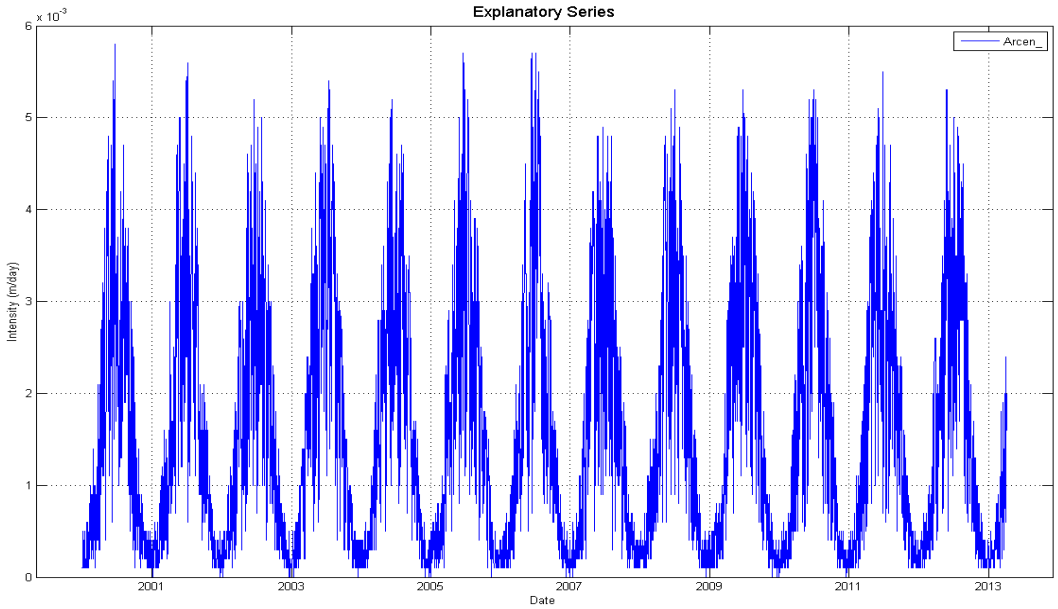
Verdamping kan gedefinieerd worden als de overgang van de vloeistoffase naar de gasfase en wordt aangeduid als evaporatie indien dit optreedt bij planten, bodems en wateren. Uit braakliggende bodems zal er weinig water verdampen in tegenstelling tot graslanden waar de wortels er voor zorgen dat het grondwater naar het oppervlak wordt getrokken. De hoeveelheid verdamping kan beïnvloed worden door temperatuur, oppervlak, luchtdruk en luchtstroming (www.knmi.nl, 2013).

In Nederland ligt de gemiddelde verdamping per jaar op de 560 mm. Deze verdamping is sterk afhankelijk van de temperatuur en daarom is de verdamping in de zomer veel groter dan in de winter. Dit is duidelijk herkenbaar in figuur 8.

De referentie-gewasverdamping is een maat voor de verdamping per gewas, deze kan afwijken van de werkelijke verdamping. Door de referentie-gewasverdamping te vermenigvuldigen met de gewasfactor

bereken je de werkelijke verdamping. De werkelijke verdamping is gemeten in Arcen, dit is 10 km ten noorden van Venlo gelegen. Deze meetreeks is opgevraagd voor de periode van 01-01-2000 tot 21-03-2013.

Gerealiseerd moet worden dat het onderzoek wordt uitgevoerd in de stad. Echter, de verdampingsgegevens zijn afkomstig uit Arcen, dit is gelegen in het landelijk gebied. Dit kan mogelijk een vertekend beeld geven, maar het programma Menyanthes vereist de invoer van verdampingsgegevens.



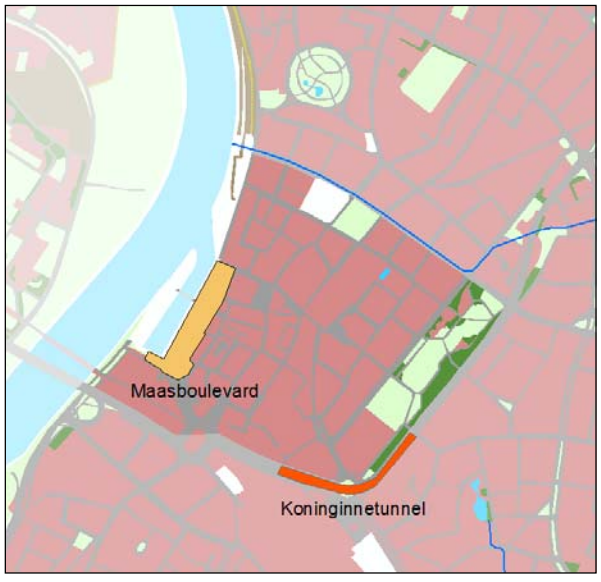
Figuur 8: *Werkelijke verdamping Arcen (01-01-2000 tot 31-03-2013)*

2. 7 Civieltechnische ontwikkelingen Venlo

2.7.1 Maasboulevard

In augustus 2007 is parallel gelegen aan de Maas de bouw van een winkelcentrum (genaamd Maasboulevard) met daaronder een parkeergarage gestart. Het betreft een parkeergarage met twee verdiepingen. Een doorsnede van de Maasboulevard en de *bodemopbouw* is weergegeven in bijlage 11: Dwarsdoorsnede Maasboulevard.

De parkeergarage is omsloten met diepwanden die reiken tot in de Venlo-klei (dit behoort tot de Kiezeloöliet formatie), tot een diepte van circa 2 m -NAP. De diepwanden zijn aangelegd om een bouwput te creëren waar in den droge gewerkt kan worden. Deze diepwanden worden tot twee meter in de Venlo-klei aangelegd, zodat de toestroming van het grondwater minimaal is. De onderzijde van de parkeergarage ligt op een diepte van 9,8 m +NAP, dit betekent dat de parkeergarage is aangelegd tot een diepte van 8,5 meter onder maaiveld, aangezien het maaiveld een hoogte heeft van circa 18,3 m +NAP. De parkeergarage heeft een lengte van circa 300 meter en een breedte variërend tussen de 40 en 100 meter.



Figuur 9: *Situering van de parkeergarage Maasboulevard en de Koninginnetunnel*

De bouwput is gerealiseerd volgens het zogenaamde polderprincipe. Dit principe kenmerkt zich door de diepwanden die aansluiten op de van nature aanwezige waterafsluitende laag. In dit geval is dat de Venlo-klei. Deze bouwput is eenmalig leeg gepompt waarna er een geringe hoeveelheid kwel- en lekwater voorkomt.

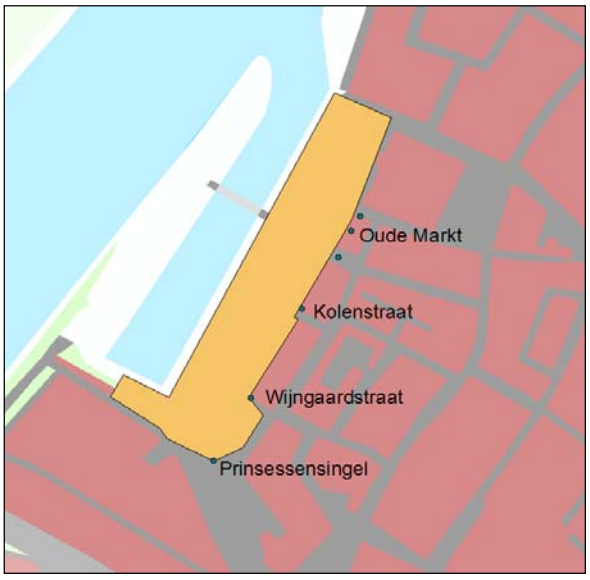
Door het plaatsen van de diepwanden tot in de Venlo-klei is over een lengte van 300 meter de watervoerende deklaag en het eerste watervoerende pakket afgesloten. Dit heeft invloed op de grondwaterstand aan de westzijde van de parkeergarage. Aan deze zijde wordt het grondwater opgestuwd. Om deze invloed tot een minimum te beperken zijn er een zestal pompen geplaatst.

De grondwateropstuwing is door middel van modelstudies berekend op maximaal circa 1,6 meter. Het invloedgebied van het grondwater reikt tot circa 1.400 meter van deze parkeergarage.

De grondwaterstand, voor de realisatie van de Maasboulevard, bedroeg bij een gemiddeld waterpeil op de Maas circa 14,5 m +NAP. Deze grondwaterstand zou door opstuwing reiken tot een berekende hoogte van 16,1 m +NAP. De verwachting hierbij is dat door deze opstuwing kelders van oude huizen ten oosten van de parkeergarage wateroverlast kunnen ondervinden en de gewenste *ontwateringsdiepte* van de wegen niet gehaald kan worden indien er geen maatregelen worden genomen (Spee, 2003)

Doordat de opstuwing van 1,6 meter niet wenselijk is, zijn er maatregelen uitgewerkt die de opstuwing ten oosten van de parkeergarage wegnemen of tot een minimum beperken. Deze maatregel bevat een permanente onttrekking door middel van zes *stuwputten* (*deepwells*). Deze zes stuwputten moeten de grondwaterstand verlagen tot de gemiddelde grondwaterstand voor de realisatie van de Maasboulevard. Het systeem wordt gestuurd door permanente stijghoogtemetingen in peilbuizen. Bij een te hoge stijghoogte worden de stuwputten ingeschakeld.

De zes stuwputten zijn aangelegd aan de Wijngaardstraat, Kolenstraat, Prinsessensingel en drie stuwputten zijn ter hoogte van de Oude Markt gelegen. De stuwputten zijn onderling verbonden door een verzamelleiding. Deze leiding mondt uit op het riool aan de Prinsessensingel. Om grondwateroverlast te voorkomen dienen de permanente pompen ingeschakeld te worden voordat deze de maximale grondwaterstand bereiken. De maximale grondwaterstand bedraagt 15,3 m +NAP. De pompen worden ingeschakeld op 14,8 m +NAP zodat er een veiligheidsfactor is ingebouwd van een halve meter. Het *uitslagpeil* is bepaald door het laagste grondwaterniveau. Deze bedraagt 13,5 m +NAP (Thijs-Spee, 2011)



Figuur 10: *Situering van de zes stuwputten*

2.7.2 Koninginnetunnel

De Koninginnetunnel is aangelegd onder de Koninginnesingel in Venlo. De tunnel heeft als doel de Koninginnesingel te ontlasten van verkeer. De aanleg van de Koninginnetunnel is van start gegaan op 9 november 2009 en is op 26 juni 2011 opgeleverd. De tunnel heeft een lengte van 620 meter. De maaiveldhoogte ter plaatse varieert tussen 20,3 en 21,3 m +NAP. Een indicatieve doorsnede van de Koninginnetunnel en de bodemopbouw is weergegeven in bijlage 12: Dwarsdoorsnede Koninginnetunnel.

Voor de bouw van de tunnel is een bouwput aangelegd. Door de gunstige bodemopbouw, overwegend bestaande uit zand, is voor de toepassing van een *soilmixwand* gekozen, bestaande uit een mengsel van de aanwezige grondssoort en een *groutmengsel*. Deze soilmixwand is aangebracht tot in de aanwezige

waterscheidende kleilaag en sluit over de gehele lengte het *watervoerend pakket* af. De fundering is geplaatst tot 4 meter in de aanwezige kleilaag, zodat er geen toestroming van grondwater meer plaats kan vinden, of gering blijft.

De grondwaterstand is verlaagd om de werkzaamheden in den droge uit te kunnen voeren en om opdrijving te voorkomen. Er is vanuit gegaan dat de natuurlijke grondwaterstand een gemiddelde hoogte had van 17,8 m +NAP. Deze moest verlaagd worden tot 11 m +NAP. Om dit te kunnen realiseren, is een getrapte *vacuümbemaling* toegepast rond de pompkelder. Dit is het laagste punt van de bouwkuip. In totaal zijn drie dubbelwerkende *zuigerpompen* toegepast. Twee voor de diepere bemaling, één voor de ondiepe bemaling, tot 14 m +NAP. De capaciteit van deze pompen is 60 m^3/uur. Na de ontgraving van de bouwkuip, is de filterbemaling vervangen door drains. Deze worden ingegraven en liggen in afschot richting de pompkelder.

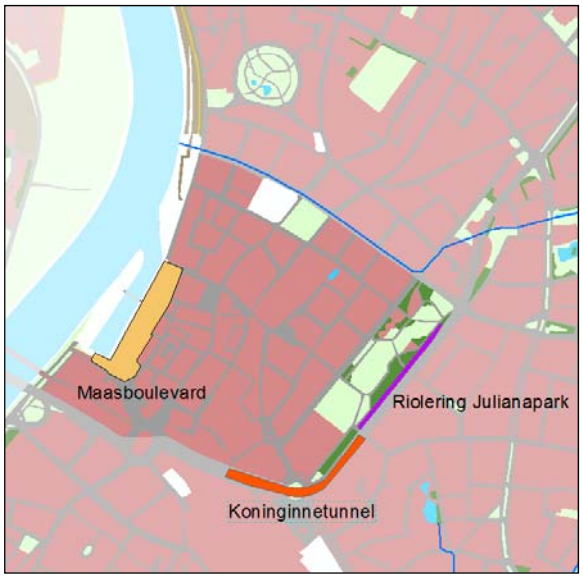
Een studie naar de gevolgen op de grondwaterstroming is reeds uitgevoerd. Hieruit blijkt dat een opstuwing zal plaatsvinden aan de zuidoostelijke zijde van de tunnel. Aan de noordwestelijke zijde is een verlaging van de oorspronkelijke grondwaterstand voorspeld. Deze studie is verricht door Royal Haskoning (Aanvraag vergunning grondwaterwet; Bemaling bouwkuip Venlo, 2009).

2.7.3 Overige civieltechnische ontwikkelingen

Om goed inzicht te krijgen op de grondwaterstanden zijn verschillende onderdelen onderzocht. Toch zullen deze onderdelen niet altijd de volledige fluctuatie verklaren. Andere werkzaamheden die in de tijd van de meetperiode van het grondwater zijn uitgevoerd kunnen ook invloed hebben gehad op de grondwaterstand.

Dit onderdeel is aan bod gekomen in paragraaf 2.5 Grondwateronttrekkingen, aangezien hier vermeld is of er bemalingen zijn toegepast bij deze werkzaamheden.

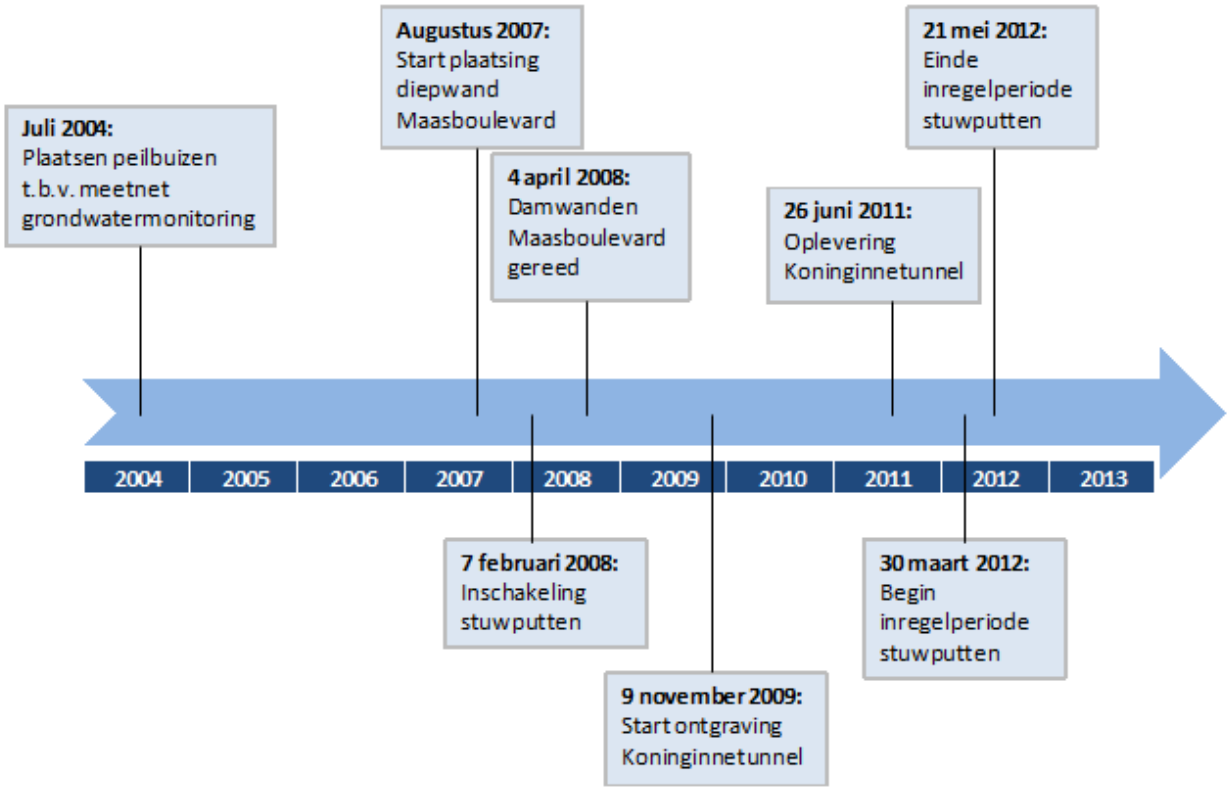
Er dient ook rekening gehouden te worden met het feit dat het riool in 2011 vervangen is ter hoogte van het Julianapark. Oude rioolsystemen zijn, over het algemeen, niet geheel waterafsluitend, zodat deze riolen een drainerende werking krijgen. Bij vernieuwing van deze rioleringen zal dit effect verdwijnen, zodat er mogelijk verandering in het grondwater ontstaat.



Figuur 11: *Situering van rioolvervanging Julianapark*

2.7.4 Tijdlijn

In een relatief korte periode zijn de twee grote civieltechnische ontwikkelingen gerealiseerd. Deze ontwikkelingen zijn met behulp van een tijdlijn in beeld gebracht.



Figuur 12: *Tijdlijn van de werkzaamheden*

3. Modellering

3.1 Theorie en werking

Menyanthes is een computerprogramma dat is ontwikkeld door KWR (Water Recycle Institute) waarin tijdreeksanalyses van onder andere grondwaterstanden gemaakt kunnen worden. Het programma is ontwikkeld door ir. J.R. Von Asmuth. Menyanthes maakt het mogelijk om effecten, *impuls respons*functies en momenten van verschillende invloedsfactoren af te leiden uit data en te scheiden. In het programma is een nieuwe methode van tijdreeksanalyseren ontwikkeld, genaamd PIRFICT (Predifined Impulse Response Function In Continuous Time). Deze methode is vele malen eenvoudiger in gebruik dan de ARMA-methode (Autoregressive-Moving-Average Method), wat voor de ontwikkeling van Menyanthes werd gebruikt in tijdreeksanalysen. Het PIRFICT-model kan gekalibreerd worden op alle beschikbare data. Dit omdat het opereert in de continue tijd. Deze PIRFICT-methode geeft door toevoeging van het *convolutie integraal* een scalaire grootheid als resultaat (Von Asmuth, 2012).

Het programma maakt gebruik van verschillende (invloeds)factoren om bijvoorbeeld de meetdata te kunnen verklaren of een voorspelling te kunnen maken. De gemeten grondwaterstandreeksen worden zo, indien mogelijk, statistisch verklaard door het programma. Als basis van het programma staat de invoer van de gemeten grondwaterstanden.

Deze grondwaterstanden vertonen fluctuaties. Er zijn verschillende variabelen die deze fluctuaties veroorzaken, bijvoorbeeld neerslag, verdamping, oppervlaktewaterpeilen en onttrekkingen. Deze worden de verklarende reeksen genoemd. Het programma Menyanthes geeft berekende waarden aan de hand van de verklarende reeksen en gemeten (grondwaterstands)gegevens door statistische modellen te creëren.

Om statistische betrouwbare uitspraken te kunnen doen, moeten de modellen aan bepaalde randvoorwaarden voldoen. Deze randvoorwaarden worden behandeld in de bijlage 13: Statistische randvoorwaarden Menyanthes. Als het berekende model aan deze randvoorwaarden voldoet, kan deze worden gebruikt voor verdere analyse. De analyse houdt in dat er onderzocht wordt of er aantoonbare veranderingen hebben plaatsgevonden in het grondwater of een voorspelling te kunnen maken aan de hand van een gebeurtenis van een bepaalde invloedsfactor (bijvoorbeeld een hoogwatergolf). De analyse kan op verschillende manieren uitgevoerd worden, deze verschillen echter wel in betrouwbaarheid. Welke manier geschikt is voor de analyse is onder meer afhankelijk van de lengte van de tijdreeksen.

3.2 Verklarende reeksen

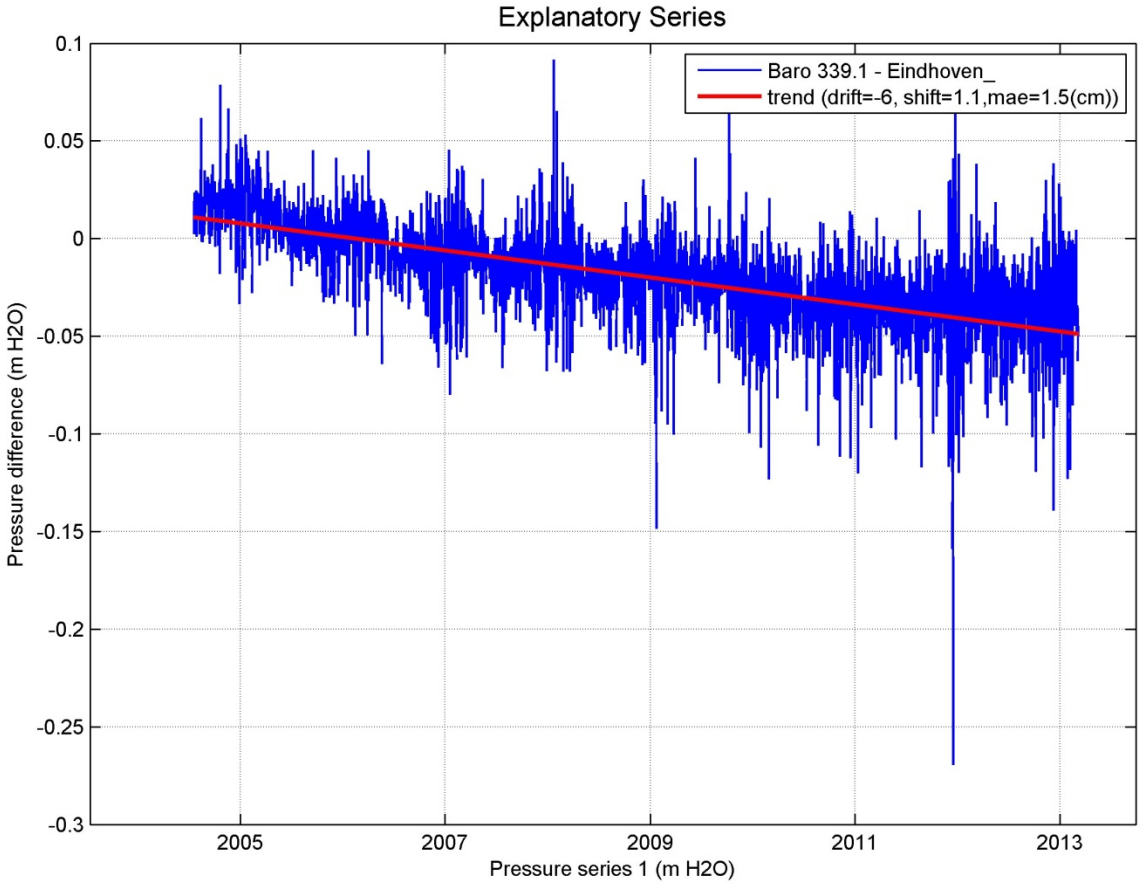
De grondwaterstand wordt, zoals eerder behandeld, beïnvloed door verschillende variabelen. Deze variabelen moeten over dezelfde periode van de grondwatermetingen zijn gemeten om als *verklarende reeks* gebruikt te kunnen worden in het model. Deze metingen moeten zodoende tot reeksen worden gevormd. Aan de hand daarvan kunnen ze worden geïmporteerd in Menyanthes. De verklarende reeksen zijn:

- Neerslag
- Verdamping
- Oppervlaktewaterstanden
- Grondwateronttrekkingen

Door het ontbreken van informatie over de onttrekkingen van de stuwputten kan deze niet worden meegenomen als verklarende reeks. Wel wordt verwacht dat deze stuwputten een invloed hebben op de grondwaterstanden. De beken zijn eveneens niet als verklarende reeks toegevoegd, aangezien er geen daggegevens van de waterstanden bekend zijn. Verder is er onduidelijkheid over de stuwpeilen van de beken.

3.3 Validatie

Het grondwatermeetnet is uitgerust met automatische drukopnemers. Een drukopnemer (druksensor) meet de druk onder de grondwaterspiegel. De grondwaterstand is te berekenen wanneer ook de luchtdruk bekend is. Daarom is er in het grondwatermeetnet een barometrische datalogger geplaatst. Uit onderzoek van KWR blijkt dat de ongecorrigeerde luchtdrukmetingen vaak afwijkingen vertonen (De Meij & Von Asmuth, 2011). Daarom zijn de meetreeksen gecorrigeerd met de KNMI-reeks van het dichtstbijzijnde meetstation Eindhoven. Deze vergelijking is hieronder weergegeven.



Figuur 13: *Verschil luchtdrukmetingen KNMI-Eindhoven en barometrische druksensor Venlo*

Uit figuur 13 kan geconcludeerd worden dat de metingen van de barometrische datalogger overeenkomen met de luchtdrukmetingen van het KNMI-meetstation Eindhoven. Echter, de reeks toont een verschil van zes cm tussen de meetreeks van de barometrische datalogger en de luchtdrukmeting van het KNMI. Deze dalende trend neemt geleidelijk toe in de tijd en wordt aangeduid met *drift*. De barometrische datalogger van gemeente Venlo is gecorrigeerd op drift door deze te compenseren met de luchtdrukmetingen van het KNMI-meetstation Eindhoven.

Voor de validatie zijn de gegevens uit de druksensoren ingelezen in de database van Menyanthes. Hierbij zijn de handmatige grondwaterstandsmetingen bij uitlezing van de druksenor vergeleken met de luchtdrukgecompenseerde gegevens van de druksensoren om zodoende de betrouwbaarheid van onder andere de druksensor te bepalen.

De data van de druksensoren zijn ook gecontroleerd op kortdurende afwijkingen, onderbrekingen en *uitbijters*. Deze afwijkingen zijn over het algemeen van korte duur en de reeks herstelt zich na enige tijd. De uitbijters en kortdurende extreme afwijkingen die niet verklaard kunnen worden, zijn verwijderd uit de database van

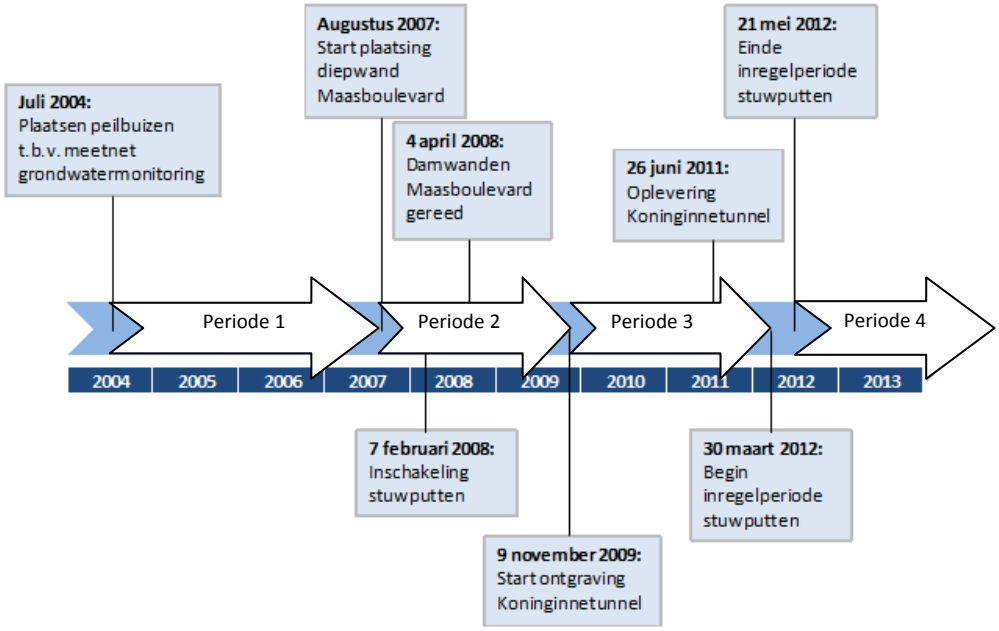
Menyanthes. Tevens is er gecontroleerd op onsamenhangende data. Deze onsamenhangende data zijn opgetreden bij incorrecte inhangdiepten, referentiewaarden en ongecompenseerde peilbuisgegevens met luchtdrukmetingen. Deze data veroorzaken sprongen in de *grondwaterreeks*.

De gecontroleerde en indien noodzakelijk aangepaste data is opgeslagen in de database van Menyanthes als gevalideerde data. Verder zijn de gegevens ook geëxporteerd in de vorm van EXCEL-bestanden om deze indien nodig te herzien. De gevalideerde data zijn gebruikt voor de verdere analyse.

4. Proces

4.1 Tijdsperioden

In de meetperiode van juli 2004 tot begin maart 2013 hebben civieltechnische ontwikkelingen plaatsgevonden. Deze zijn in hoofdstuk 2 behandeld. Om de mogelijke invloed per ontwikkeling in beeld te brengen is de periode 2004-2013 in eerste instantie opgedeeld in vier verschillende perioden. Deze tijdsperioden zijn verdeeld aan de hand van de tijdlijn welke weergegeven is in hoofdstuk 2. Deze verdeling in perioden is verricht om verschillende modellen per peilbuis te realiseren.

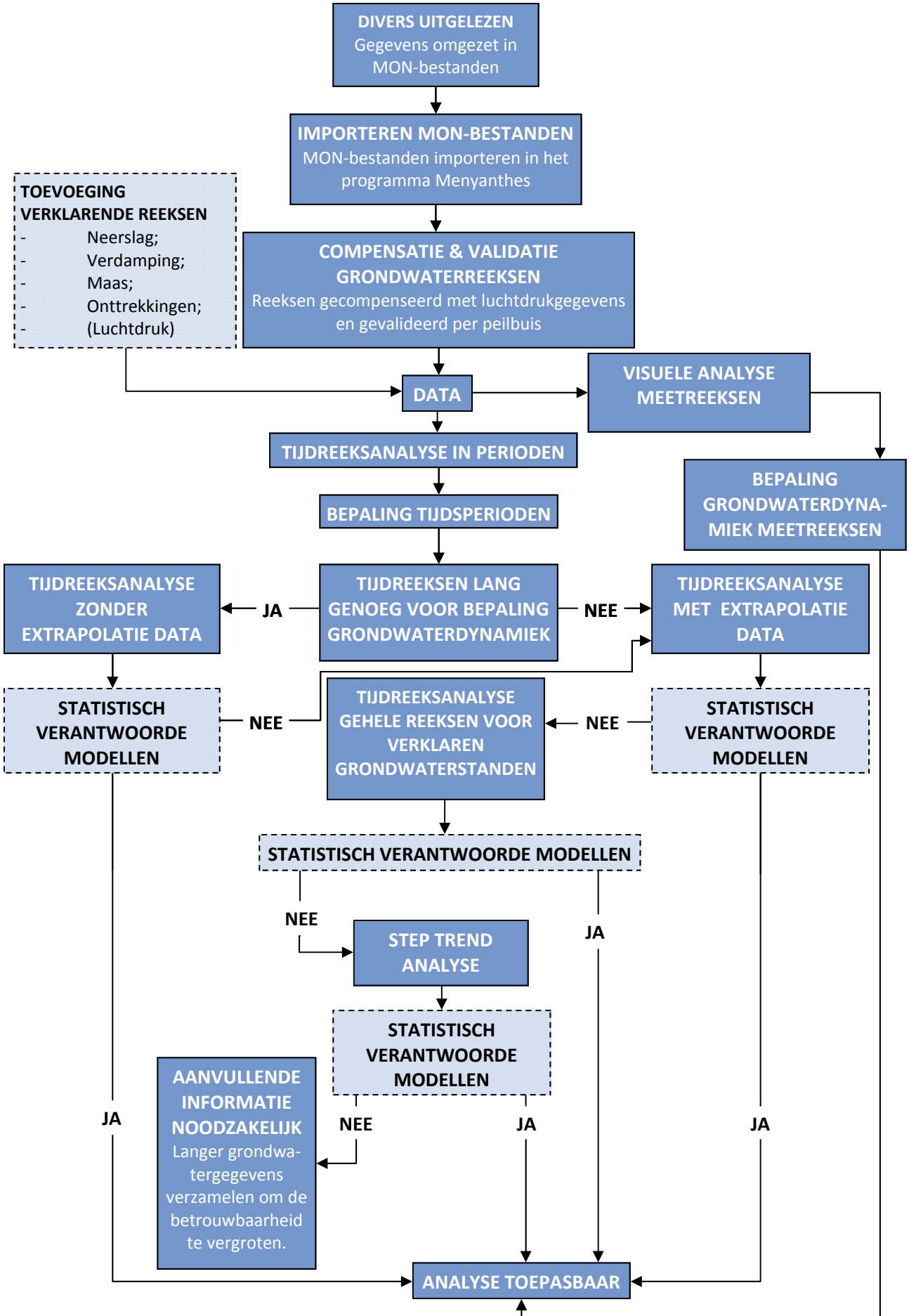


Figuur 14: *Overzicht tijdsperioden*

De eerste periode is de referentieperiode, oftewel nulsituatie. Deze periode is noodzakelijk om de statistische modellen te kalibreren. Deze periode loopt van 1 augustus 2004 tot 31 juli 2007. De tweede periode is de start van de aanleg van de Maasboulevard tot de start van de bouw van de Koninginnetunnel, dit is de periode van 4 april 2008 tot 9 november 2009. De derde periode bestaat uit de periode dat de Maasboulevard en de Koninginnetunnel tegelijkertijd in aanbouw waren, vanaf 9 november 2009 tot 30 maart 2012. De oplevering van deze werken is niet van belang, aangezien de waterkerende constructies in de bodem niet verwijderd zijn. De laatste periode is de huidige situatie, deze periode reikt van 21 mei 2012 tot en met de laatste uitlezing van de druksensoren, 6 maart 2013. Vanaf 21 mei 2012 zijn de permanente pompen ingeregeld.

4.2 Procesbepaling

Om het mogelijke effect van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand te bepalen is een representatieve onderzoeksmethode noodzakelijk. Aangezien er meerdere mogelijkheden zijn om mogelijke effecten inzichtelijk te maken is een stroomschema opgesteld. In figuur 15 is het stroomschema weergegeven. In de volgende paragrafen zijn de verschillende onderdelen toegelicht. De resultaten van dit proces zijn weergegeven in hoofdstuk 5: Analyse.



Figuur 15: *Stroomschema proces*

4.3 Visuele analyse meetreeksen

Door de patronen van de meetreeksen, die in overeenstemming zijn met de handmetingen, te analyseren kunnen veranderingen in deze patronen worden waargenomen. Indien een patroon van een meetreeks overeenstemming heeft met een verklarende reeks kan met enige zekerheid worden gesteld dat deze een interactie hebben. Deze analyse is onderverdeeld in de peilbuizen waarvan het filter zich in het freatisch pakket en in het eerste watervoerende pakket bevindt. Op deze wijze wordt de grondwaterstroming in het freatisch pakket en het eerste watervoerende pakket inzichtelijk gemaakt. Als laatste wordt de mogelijke interactie tussen deze pakketten beschreven. Een vereiste is dat de meetreeksen overeenkomen met de handmetingen die verricht zijn op het moment van de uitlezing.

4.4 Bepaling grondwaterdynamiek meetreeksen

Door in Menyanthes de grondwaterdynamiek van iedere meetreeks te bepalen ontstaat er een beeld van de grondwaterstroming. Deze grondwaterdynamiek bestaat uit de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG), Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GvG) en de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG). Door het uitvoeren van interpolaties tussen de grondwaterdynamiek van de peilbuizen is een vlakdekkende kaart van de grondwaterdynamiek voor het centrum van Venlo gemaakt.

Door een combinatie te maken van de maaiveldhoogten en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden wordt een kaart gerealiseerd waarop de ontwateringsdiepte in deze situatie is weergegeven. Met deze kaart worden tijdens de analyse de mogelijke probleemgebieden inzichtelijk gemaakt.

4.5 Tijdreeksanalyse

4.5.1 Verdeling meetdata in tijdsperioden zonder extrapolatie

De meetreeksen zijn in eerste instantie opgedeeld in perioden, zoals aangegeven in paragraaf 4.1 Tijdsperioden. De duur van een periode waarin gemeten is varieert van 289 dagen (huidige situatie) tot 1094 dagen (nulsituatie).

Op basis van modellen die voldoen aan de statistisch randvoorwaarden kan, per tijdsperiode, de grondwaterdynamiek worden afgeleid door het programma Menyanthes. Een model moet voldoen aan de statistische randvoorwaarden, zoals beschreven in bijlage 13: Statistische randvoorwaarden. Door de grondwaterdynamiek van de vier verschillende perioden te vergelijken, kunnen er uitspraken worden gedaan over de mogelijke invloed van de civieltechnische ontwikkelingen op de grondwaterstand.

4.5.2 Verdeling meetdata in tijdsperioden in combinatie met extrapolatie

De opgedeelde meetreeksen kunnen door Menyanthes op basis van verklarende reeksen ook verlengd worden. Hiervoor moet eerst een betrouwbaar statistisch model worden gemaakt. Indien de tijdreeksmodellen voldoen aan de statistische randvoorwaarden kunnen de vier verschillende perioden geëxtrapoleerd (een verlenging van de meetreeksen en verklarende reeksen) worden. Vervolgens kan op basis van de data van de verklarende reeksen de meetreeksen verlengd worden tot acht jaar, zodat er wel een betrouwbare grondwaterdynamiek afgeleid kan worden.

Opgemerkt wordt dat eventuele effecten die invloed hebben op een verklarende reeks verdisconteerd worden in de geëxtrapoleerde meetreeksen. In dit project is dit niet het geval.

4.5.3 Analyse gehele reeksen

Er bestaat een kans dat er bij de voorgaande analyses modellen worden ontwikkeld die niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden. Indien dit het geval is, kan de tijdreeksanalyse ook voor de gehele meetreeksen worden uitgevoerd. Echter, met deze analyse kan er geen verandering per tijdsperiode worden geconstateerd.

De situering van de peilbuizen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden is zeer bepalend om te constateren of civieltechnische ontwikkelingen invloed hebben gehad. Indien er in de nabijheid van deze civieltechnische ontwikkelingen peilbuizen voldoen aan de statistische randvoorwaarden kan geconcludeerd worden dat de civieltechnische ontwikkelingen geen of nauwelijks invloed hebben gehad op de grondwaterstand. Indien de modellen in de buurt van de civieltechnische ontwikkelingen niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden, kunnen er geen uitspraken worden gedaan over de mogelijke effecten. Redenen daarvoor zijn de tekortkomingen van de verklarende reeksen (afwezigheid debietgegevens stuwputten), zodat een model nooit zal voldoen aan de statistische randvoorwaarden of dat de peilbuizen een mogelijke invloed ondervindt van de civieltechnische ontwikkelingen.

4.5.4 Step trend analyse

Door toevoeging van een step trend op de gehele reeks (periode 2004-2013) is het mogelijk om in een model plotselinge veranderingen in te voegen als verklarende reeks. De aanwezigheid van de civieltechnische werken kunnen niet als verklarende reeks in het model worden gezet, aangezien het geen ‘waterparameters’ zijn. De civieltechnische ontwikkelingen kunnen wel het grondwater beïnvloeden.

Deze verklarende reeks treedt vanaf een bepaalde datum in en geeft een stationair verschil weer. Zodoende zijn de mogelijke invloeden van de civieltechnische ontwikkelingen wel aan te tonen. Deze analyse wordt uitgevoerd op de modellen die niet aan de statistische randvoorwaarden van Menyanthes voldoen.

5. Analyse

5.1 Algemeen

Met het oog op de ontwikkeling van de Maasboulevard, is in juli 2004 een meetnet van peilbuizen aangelegd om de grondwaterstand te monitoren. Tevens zijn er ook peilbuizen aangelegd voor de ontwikkeling van de Koninginnetunnel. Dit geeft, tezamen met de overige peilbuizen, beschikbare gegevens van 44 peilbuizen. Bij het importeren van de meetreeksen in Menyanthes zijn er vijf peilbuizen vervallen omdat deze al gecompenseerd zijn met de luchtdruk. Zodoende heeft Menyanthes een dubbele compensatie toegepast zodat de metingen in Menyanthes niet voldeden aan de werkelijke grondwaterstanden. Dit houdt in dat er 39 peilbuizen geïmporteerd zijn in Menyanthes.

Er is een controle uitgevoerd om de betrouwbaarheid van de meetreeksen te bepalen. Dit is verricht door de handmetingen te vergelijken met de meetreeksen van de druksensoren. Indien er geconstateerd is dat de handmetingen niet overeenkomen met de meetreeksen zijn deze als onbetrouwbare meetreeks beschouwd. Voor de visuele analyse is alleen de betrouwbaarheid van de meetreeksen vereist. Bij deze beoordeling is er gebleken dat er 26 peilbuizen voldoen aan deze voorwaarde. Bij de bepaling van de grondwaterdynamiek is naast de betrouwbaarheid van de meetreeksen ook de minimale lengte van acht jaar vereist. Aan deze voorwaarde voldoen twaalf meetreeksen. Bij de tijdreeksanalyse moeten de meetreeksen voldoen aan de betrouwbaarheid en de statistische randvoorwaarden. Het aantal dat voldoet aan deze voorwaarden geeft een indicatie van de mogelijke invloed van de civieltechnische ontwikkelingen en wordt daarom verder uitgewerkt in paragraaf 5.4 Data analyse. Om met deze tijdreeksanalyse uitspraken te doen over de grondwaterdynamiek moeten de meetreeksen of tijdsperioden minimaal acht jaar zijn of geëxtrapoleerd worden naar acht jaar. Naast het meetnet van gemeente Venlo zijn er peilbuisgegevens opgevraagd van DINOloket. Echter, gebleken is dat deze peilbuizen buiten het aandachtsgebied staan of data bevatten uit een periode die niet in de periode 2004 – 2013 vallen. Zodoende zijn deze peilbuizen niet relevant voor dit onderzoek.

5.2 Visuele analyse meetreeksen

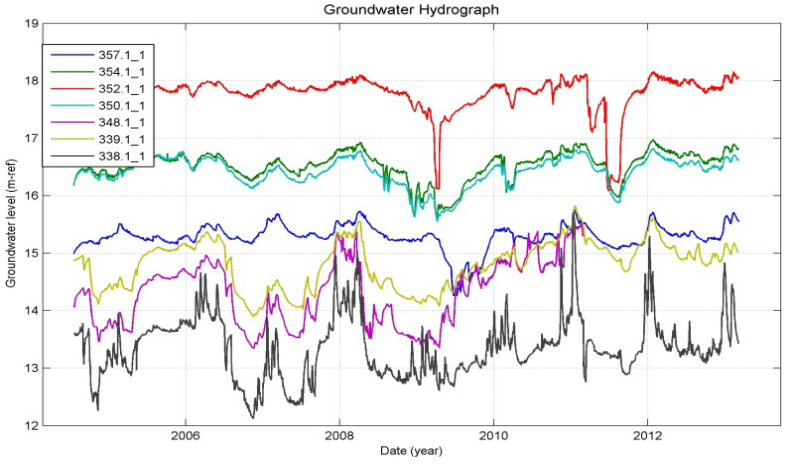
Voor de visuele analyse zijn de peilbuizen toegepast waarvan de meetreeksen gelijkenis vertonen met de handmetingen en zodoende als betrouwbaar worden gedefinieerd. Deze peilbuizen zijn hieronder weergegeven.

338.1	345.1	350.1	354.1	361.1	382.1	446.1	450.1	453.1
339.1	347.1	351.1	357.1	379.1	443.1	447.1	451.1	486.1
344.1	348.1	352.1	358.1	381.1	444.1	449.1	452.1	

Figuur 16: *Peilbuizen met de meetreeksen die gelijkenis vertonen met de handmetingen*

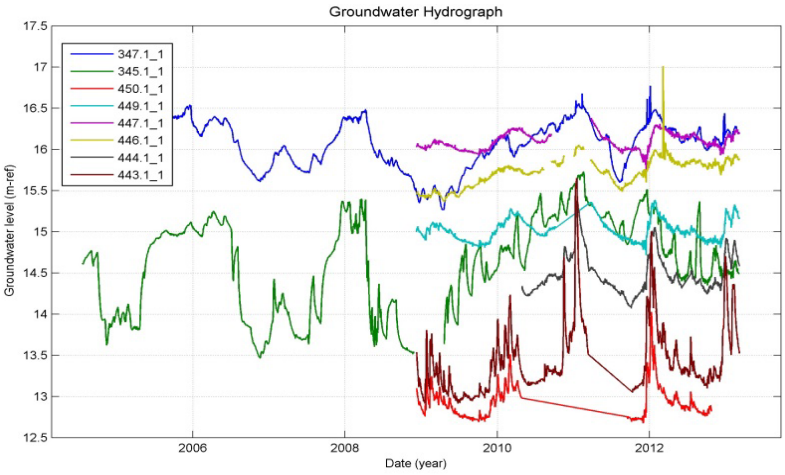
5.2.1 Freatisch pakket

Uit de grafiek die hiernaast is weergegeven valt op te maken dat de grondwaterreeksen die een lager gemiddelde grondwaterstand hebben, grotere fluctuaties bevatten. Dit wordt hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door het waterpeil van de Maas. Opvallend is dat peilbuis 345.1 vanaf 2009 een afwijkend patroon toont.



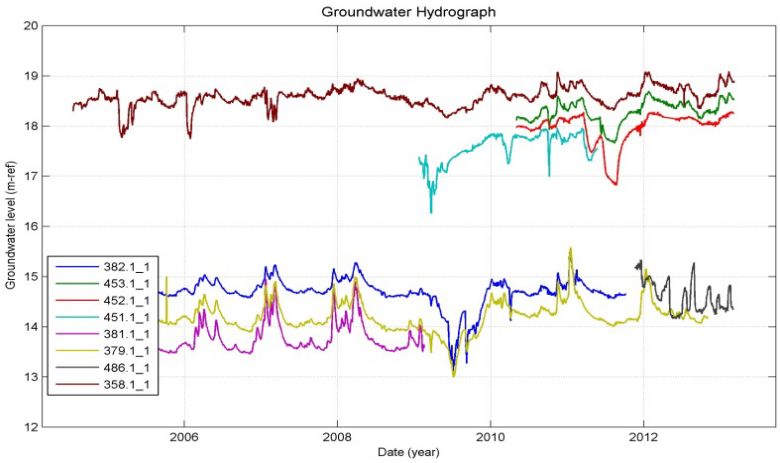
Figuur 17: *Meetreeksen van de peilbuizen in het freatisch pakket*

Wederom blijkt dat de meetreeksen met een lager gemiddelde grondwaterstand grotere fluctuaties hebben. Bij de reeksen met een hoger gemiddelde grondwaterstand blijken de fluctuaties in mindere mate aanwezig te zijn. Verder zijn er enkele grondwateronttrekkingen waar te nemen in 2009 en 2011. Deze onttrekkingen zijn in meerdere meetreeksen zichtbaar.



Figuur 18: *Meetreeksen van de peilbuizen in het freatisch pakket*

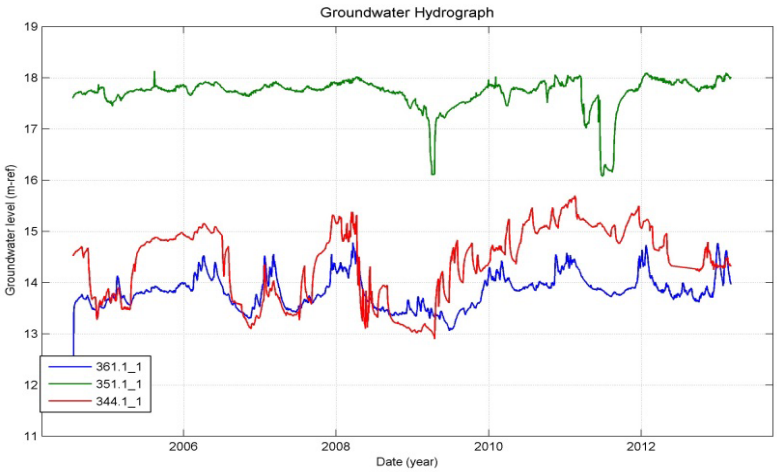
Uit de overige meetreeksen van de peilbuizen blijkt dat wederom het waterpeil van de Maas de lager gelegen grondwaterstanden sterk beïnvloed. Ook is de grondwateronttrekking tijdens de aanleg van de Koninginnetunnel (2009) en de riolering Julianapark (2011) goed zichtbaar. Grote veranderingen in het patroon zijn niet zichtbaar.



Figuur 19: *Meetreeksen van de peilbuizen in het freatisch pakket*

5.2.2 Eerste watervoerend pakket

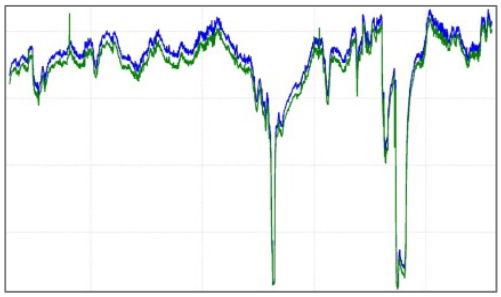
Er zijn drie peilbuizen geanalyseerd waarvan het filter is geplaatst in het eerste watervoerend pakket. Hieruit blijkt dat er een interactie is tussen de het waterpeil in de Maas en de stijghoogten van peilbuis van 361.1. Ook blijken de grondwateronttrekkingen invloed uit te oefenen op het eerste watervoerend pakket (peilbuis 351.1). Peilbuis 344.1 toont een verandering in het patroon vanaf 2009.



Figuur 20: *Meetreeksen van de peilbuizen in het eerste watervoerend pakket*

5.2.3 Vergelijking freatisch pakket en eerste watervoerend pakket

Bij de vergelijking van de stijghoogte in freatisch en waterdoorlatend pakket blijkt dat de stijghoogten zeer goed overeenkomen. Dit geldt voor alle drie de gevallen. Hieruit blijkt dat er een zeer sterke onderlinge relatie is. Dit doet het vermoeden versterken dat de Venlo-klei lokaal afwezig is nabij de peilbuizen. De boorprofielen geven ook aan dat er geen kleilagen aanwezig zijn. Geconcludeerd kan worden dat de Venlo-klei lokaal afwezig is.



Figuur 21: *Vergelijking peilbuizen 344.1 (groen) en 345.1 (blauw).*

5.3 Grondwaterdynamiek

5.3.1 Bepaling grondwaterdynamiek

Van de peilbuizen uit het freatisch pakket waarvan een meetperiode beschikbaar is van meer dan acht jaar, is een analyse gedaan naar de heersende grondwaterdynamiek in de stad. De grondwaterdynamiek is de verzamelnaam voor de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand (GLG), Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand (GVG) en Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand (GHG) en wordt aangeduid met *GxG*. Het doel van deze bepaling is om de grondwaterstroming in beeld te krijgen. De grondwaterdynamiek is berekend met het programma Menyanthes. De waarden zijn in de tabel hieronder weergegeven.

Peilbuis	XCOORD	YCOORD	Maaiveld-hoogte	GLG	GvG	GHG
358,1_1	209610,3	375077,1	20,22	18,27	18,57	18,78
357,1_1	208986,5	375224,2	17,56	15,09	15,43	15,52
355,1_1	209269,2	375587,1	17,75	16,08	16,53	16,6
354,1_1	209398,2	375667,9	18,36	16,18	16,53	16,75
352,1_1	209811,4	375645,8	20,88	17,38	17,69	17,98
350,1_1	209399,4	375727,9	18,6	16,1	16,43	16,65
347,1_1	209436,7	375843,6	19,59	15,72	16,08	16,34
345,1_1	209335,8	375884,9	19,37	14,16	14,65	15,24
344,1_1	209445,6	375915,6	19,21	14,96	15,25	15,77
339,1_1	209438,5	376016,8	19,05	14,38	14,86	15,27
338,1_1	209341,2	376077,5		12,79	13,47	14,06
447,1_1	209722,3	376346,3		15,99	16,15	16,18
443,1_1	209405,9	376271		13,09	13,44	13,84

Figuur 22: *Berekende grondwaterdynamiek*

In het programma ArcGIS is met deze waarden een interpolatie uitgevoerd, waarbij de grondwaterdynamiek in kaart is gebracht. Deze interpolatie is uitgevoerd met de Spline-methode. Deze methode maakt een figuur met verschillende curven, de isohypsen, die continu vloeiende lijnen vormen.

Met deze methode is een kaart ontstaan waarbij de buitenste peilbuizen als grens worden aangehouden. Dit houdt in dat er alleen een beeld kan worden verkregen van de grondwaterstroming binnen deze peilbuizen. Aangezien het resultaat daardoor niet het gehele centrum bedekt, is er gekozen om twee peilbuizen toe te voegen. Deze peilbuizen voldoen niet aan de lengte van acht jaar. Echter, deze peilbuizen kunnen wel een relatief goede indicatie geven van de grondwaterdynamiek. De toegevoegde peilbuizen zijn 443.1 en 447.1. De resultaten zijn zichtbaar in bijlage 14: Gemiddeld Laagste grondwaterstand, 15: Gemiddelde Voorjaargrondwaterstand en 16: Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand.

Uit de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand is af te leiden dat de stroming daadwerkelijk noordwestelijk gericht is. Zichtbaar is dat de isohypsen bij de lagere grondwaterstanden elkaar op eenzelfde afstand volgen. Bij de hogere grondwaterstanden, tussen 16 en 19 m +NAP wordt de afstand tussen de isohypsen groter. Dit patroon veranderd lichtelijk bij de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. De isohypsen tussen 14,5 en 16,5 m +NAP liggen verder van elkaar af. Dit duidt er op dat de grondwaterstand beduidend hoger ligt. Dit beeld wordt versterkt bij de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand. Dit wordt veroorzaakt door de toestroom van grondwater vanuit de steilrand en vanuit de Maas. Door de grote afstand tussen twee isohypsen in de binnenstad is het verval kleiner waardoor het grondwater minder snel wordt afgevoerd naar de Maas.

5.3.2 Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld

Met de grondwaterdynamiek en de maaiveldhoogte kan een indicatie worden verkregen van gebieden met een hoge grondwaterstanden en lage grondwaterstanden ten opzichte van het maaiveld. Door de maaiveldhoogte van het onderzoeksgebied te bepalen, door interpolatie tussen de hoogtes van putdeksels, ontstaat er reële hoogtekaart van het gebied. Door het verschil tussen maaiveldhoogten en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstanden te nemen, is de ontwateringsdiepte in een extreme situatie berekend. Deze is weergegeven in bijlage 17: Ontwateringsdiepte centrum. Op de kaart is af te lezen dat er twee gebieden zijn met geringere ontwateringsdiepte. Deze gebieden zijn gelegen ter hoogte van de Prinsessensingel en de Parade. Rond de Maasboulevard heerst een ontwateringsdiepte van gemiddeld 3,5 m -maaiveld en nabij de Koninginnetunnel een ontwateringsdiepte van gemiddeld 3,2 m -maaiveld.

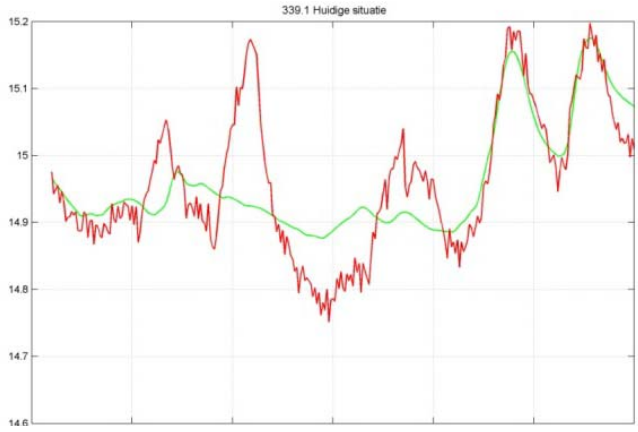
5.4 Data analyse

5.4.1 Analyse verdeling meetdata in tijdsperioden zonder extrapolatie

Om uitspraken te doen op basis van de grondwaterdynamiek is een periode noodzakelijk van tenminste acht jaar (www.wageningenur.nl, 21-05-2013). Aangezien er na opdeling van de periode 2004-2013 geen enkele tijdsperiode geschikt is om een betrouwbare grondwaterdynamiek te bepalen is deze methode niet toepasbaar.

5.4.2 Analyse verdeling meetdata in tijdsperioden in combinatie met extrapolatie

Op basis van de opgedeelde meetdata kan in Menyanthes geen statistisch betrouwbare modellen worden gecreëerd van de verschillende tijdsperioden. De modellen voldoen niet aan de EVP of Gain (M0). Hieronder is een voorbeeld weergegeven van een grafiek van de gemeten en berekende data waarin duidelijk zichtbaar is dat deze niet overeenkomen.



	Resultaat	Norm
EVP (%)	59.2	70
M0 (days)	3073	2*STDEV
Evap fctr	0,4	0,5-2
Dng base (m)	9,5	-

Figuur 23: *Een voorbeeld van een berekende (groen) en gemeten reeks (rood) in de huidige situatie (21-05-2012/06-03-2013) zonder extrapolatie. De tabel geeft de bijbehorende statistische resultaten en normen.*

Doordat er geen statistisch betrouwbaar model gecreëerd kan worden voor de tijdsperioden is het niet verantwoord de data te extrapoleren. Het programma kan simpelweg de onderlinge correlatie niet bepalen. De mogelijke oorzaak van deze statistische onbetrouwbaarheid is de geringe lengte van de tijdreeks. Het geheugen van het systeem is dan langer dan de tijdreeks. Door deze statistische onbetrouwbaarheid kan deze methode niet toegepast worden. Dit houdt in dat de methode om veranderingen aan te tonen door middel van de grondwaterdynamiek per tijdsperiode te extrapoleren niet toepasbaar is in dit onderzoek.

5.4.3 Analyse gehele reeksen

De analyse die toepasbaar is, is de analyse met de gehele reeksen. Door het creëren van modellen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden, kan met zekerheid worden geconcludeerd dat de civieltechnische ontwikkelingen geen of nauwelijks invloed hebben op de grondwaterstanden. Echter, wanneer de modellen

niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden, kan dit verklaard worden door het ontbreken van verklarende reeksen of is er daadwerkelijk een invloed van de civieltechnische ontwikkelingen.

Uit de modellering blijkt dat achttien peilbuizen aan de resultaten voldoen van de statistische randvoorwaarden. Deze peilbuizen zijn hieronder weergegeven. Echter, bij deze bepaling blijkt er bij acht peilbuizen een autocorrelatie aanwezig te zijn, wat duidt op het ontbreken van verklarende reeksen. De resultaten van de statistieken zijn opgenomen in bijlage 18: Statistieken en geschiktheidsbepaling van de modellen.

338.1	342.1	348.1	351.1	354.1	358.1	379.1	446.1	450.1
339.1	347.1	350.1	352.1	357.1	361.1	382.1	447.1	453.1

Figuur 24: *Peilbuizen waarvan de resultaten voldoen aan de statistische randvoorwaarden*

In bijlage 19 is een overzicht weergegeven met de resultaten van de analyse op de peilbuizen. Hieruit blijkt dat de peilbuizen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden verspreid liggen in het onderzoeksgebied. Dit houdt in dat de peilbuizen in en buiten het centrum voldoen aan de statistische randvoorwaarden. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de invloed van de Maasboulevard en Koninginnetunnel niet of nauwelijks aanwezig is in de peilbuizen die voldoen aan de statische randvoorwaarden. Door de gevormde raai van peilbuizen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden blijkt dat de invloed zeer gering is. De overige peilbuizen die zich in het centrum bevinden zijn eerder in het onderzoek beschouwd als onbetrouwbaar aangezien de handmetingen niet overeenkwamen met de geregistreerde druksensorgegevens, met uitzondering van peilbuis 354.1, 345.1, 344.1 en 479.1. Van de betrouwbare peilbuizen blijken 479.1, 344.1 en 345.1 dicht aan de Maasboulevard gesitueerd te zijn. Deze peilbuizen voldoen niet aan de statistische randvoorwaarden. Bij deze peilbuizen hebben de civieltechnische ontwikkelingen wel mogelijk invloed. Hieruit kan geconcludeerd worden dat, als de invloed van de civieltechnische ontwikkelingen aanwezig is, deze gering is.

5.4.4 Step trend analyse

Op de modellen die niet voldoen aan de randvoorwaarden is uiteindelijk een step trend analyse uitgevoerd. De oorzaak dat deze modellen niet voldoen is niet bekend. Zoals eerder naar voren is gekomen, is het mogelijk dat deze modellen niet te verklaren zijn door de invloed van de civieltechnische ontwikkelingen. Met deze analyse is het wel mogelijk om dit te onderzoeken. Op de modellen zijn drie step trends toegepast. De data zijn: 01-08-2007 (de start van de aanleg van de Maasboulevard), 09-11-2009 (start van de aanleg van de Maasboulevard) en 21-05-2012 (het einde van de inregelperiode van de stuwputten).

Uit de modellering blijkt één peilbuis in zekere mate verbeterd te zijn dat deze na de toevoeging van de step trends wel voldoet aan de statistische randvoorwaarden. Dit is peilbuis 345.1. Deze peilbuis is circa 50 m van de Maasboulevard gelegen. Hieruit is te concluderen dat er wel een effect is, maar dat dit effect alleen nabij een civieltechnisch werk zichtbaar is (lokaal effect). De stijging van het grondwater wordt ook inzichtelijk in figuur 17, waarin het patroon van peilbuis 345.1 verandert vanaf 2009. Het effect van een verhoogde grondwaterstand blijkt opnieuw gering te zijn. Wel is de bewijsvoering van dit effect met één peilbuis zeer summier, andere nabijgelegen peilbuizen tonen dit effect namelijk niet aan. Aangezien peilbuis 347.1 (die voldoet aan de statistische randvoorwaarden en in het verlengde ligt van peilbuis 345.1) een afstand heeft van 160 meter, kan geconcludeerd worden dat de reikwijdte van dit effect tussen de 50 en 160 meter is vanaf de Maasboulevard.

6. Conclusies en aanbevelingen

Dit onderzoek is uitgevoerd met als doel om inzicht te krijgen op het gedrag van de grondwaterstand in de stad Venlo. Daarbij zijn de mogelijke invloeden van de civieltechnische ontwikkelingen, die tussen 2004 en heden plaats hebben gevonden, onderzocht. De hoofdvraag van het onderzoek luidt:

Wat zijn de invloeden van verschillende variabelen op het gedrag van het grondwater in het centrum van Venlo?

Om antwoord te krijgen op deze vraag is een gebiedsanalyse uitgevoerd, waarna een visuele analyse op de grondwaterstanden is verricht en de grondwaterdynamiek in het centrum van Venlo is bepaald. Vervolgens is de tijdreeksanalyse uitgevoerd om de mogelijke effecten van de civieltechnische ontwikkelingen te onderzoeken.

6.1 Conclusies

6.1.1 Gebiedsanalyse

Voordat de statistische analyse plaats heeft gevonden, is een gebiedsanalyse uitgevoerd.

Venlo ligt op de overgang van de hoger gelegen steilrand en de Maas. Op een korte afstand is er een relatief grote hoogtegradiënt aanwezig. Een hoogteverschil van circa 30 meter wordt overbrugd. Deze eigenschap van het gebied leidt ertoe dat grondwater vanuit de steilrand in noordwestelijke richting naar de Maas stroomt.

Er is een scherpe grens aanwezig tussen de steilrand, bestaande uit oude Rijnafzettingen, en de relatief jonge Maasafzettingen. De bodem van de steilrand bestaat hoofdzakelijk uit grof zand. De afzettingen van de Maas blijken ook uit zand te bestaan, maar bevat ook leemlagen. Een zeer bepalend *geohydrologisch* verschijnsel is de aanwezigheid van twee kleilagen uit de Kiezeloöliet Formatie. Deze hebben grote invloed op de grondwaterstroming, maar dienen ook als vaste basis voor civieltechnische ontwikkelingen. Deze kleilagen vormen de belangrijkste waterscheidende lagen in de bodem. Met de ontwikkeling van twee driedimensionale modellen met het programma GMS (Groundwater Modeling System) waarin alle bestaande grondboringen zijn verwerkt, kan met een zekerheid van 25 centimeter gezegd worden dat er enkele doorgangen aanwezig zijn in deze kleilagen.

De funderingen van deze civieltechnische ontwikkelingen bevinden zich tot in de eerste kleilaag van de Kiezeloöliet Formatie (Venlo-klei). Het freatisch pakket wordt op deze manier doorsneden. De Maasboulevard en Koninginnetunnel hebben hierdoor mogelijk voor veranderingen in de grondwaterstroming gezorgd. Naast enkele aanpassingen aan de riolering, zijn dit de belangrijkste veranderingen die plaats hebben gevonden in de bodem. De rioleringen hebben zelf niet of nauwelijks invloed op de grondwaterstand gehad. Wel zijn de onttrekkingen die bij de werkzaamheden plaats hebben gevonden zichtbaar in de grondwaterreeksen.

Bij een eerder onderzoek is berekend dat de Maasboulevard voor een verhoging van de grondwaterstand in de binnenstad zorgt indien er geen maatregelen worden getroffen. Daarom zijn er zes stuwputten, met daarin pompen, geplaatst. Deze moeten de opstuwing voor de Maasboulevard wegnemen.

6.1.2 Grondwateranalyse

Na de hele inventarisatie is de grondwateranalyse uitgevoerd met het programma Menyanthes. Dit programma voert een tijdreeksanalyse uit waarin de fluctuatie van de gemeten grondwaterstand verklaard kan worden door de toevoeging van verschillende verklarende reeksen: neerslag, verdamping, waterstanden van de Maas en grondwateronttrekkingen. Een belangrijke ontbrekende verklarende reeks is de onttrekking door de stuwputten.

Uit de meetreeksen zijn de Gemiddeld Laagste Grondwaterstand, Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand en de Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand bepaald. De Maas blijkt grote invloed te hebben op de grondwaterstand in het centrum van Venlo. Een ophoping van grondwater vindt plaats in het centrum als de Maas een hoog waterpeil heeft. Bij lage waterstanden wordt het grondwater juist via de Maas afgevoerd. De overige oppervlaktewateren die aanwezig zijn in het projectgebied zijn de Stepkensbeek, Rijnbeek en Wylrebeek. Deze blijken een goede interactie te hebben met het grondwater.

Uit de tijdreeksanalyse is gebleken dat de civieltechnische ontwikkelingen nauwelijks invloed hebben gehad op de grondwaterstanden in het centrum. Uit de modellen van de peilbuizen die gelegen zijn in het centrum blijkt een groot deel te verklaren te zijn met de ingevoerde verklarende reeksen. Opvallend is de ligging van deze peilbuizen. Een raai van peilbuizen die voldoen aan de statistische randvoorwaarden zijn gelegen rondom de Maasboulevard. Van de overige peilbuizen die zich bevinden in het centrum is gebleken dat de meetreeksen onbetrouwbaar waren of niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden. Na het toevoegen van steptrends op de modellen die niet voldoen aan de statistische randvoorwaarden blijkt één extra peilbuis te voldoen aan de statistische randvoorwaarden. Deze blijkt zich in de nabijheid van de Maasboulevard te bevinden. Met deze peilbuis is aangetoond dat nabij de Maasboulevard wel invloed is. Doordat dit effect is aangetoond door één peilbuis, is deze conclusie matig onderbouwd. De beïnvloeding is lokaal en reikt naar schatting tot 50 à 160 m van de Maasboulevard. Bij de Koninginnetunnel is dit niet zichtbaar doordat er geen peilbuizen dicht bij de tunnel geplaatst zijn waarin de grondwaterstand gemonitord is.

6.2 Discussie

Tijdens het onderzoek zijn verschillende knelpunten aan bod gekomen. Door middel van gesprekken met de begeleiding zijn keuzes gemaakt. Er zijn punten in het gehele onderzoek die in het vervolg anders kunnen. De meeste afwegingen hebben plaatsgevonden tijdens de tijdreeksanalyse. Een opsomming is gemaakt van de punten die in het vervolg verbeterd kunnen worden.

- De detaillering van de diepere ondergrond. Om een overzichtelijk beeld van de diepe bodemopbouw te krijgen, zijn de grondsoorten in zes klassen verdeeld: zand, klei, leem, veen, grind en bruinkool. Toch is bekend dat binnen de grondsoorten ook nog verdere verdelingen aan te brengen zijn. Er is voor gekozen om een model te ontwikkelen dat overzichtelijk moet blijven. Daarom zijn alleen de hoofdklassen aangehouden. Voor een meer gedetailleerde kaart zou de verdere verdeling van de hoofdklassen noodzakelijk zijn.

- Het instellen van een minimale laagdikte van 25 centimeter in de driedimensionale weergaven in GMS. Om te voorkomen dat het programma GMS de aanwezige grondlagen over de gehele kaart weergeeft, waarbij de lagen zeer dun worden weergegeven terwijl deze eigenlijk afwezig zijn, is het programma zo ingesteld dat de minimale laagdikte 25 centimeter is. Alleen betekent dit dat dunne lagen, die wel aanwezig zijn, niet worden weergegeven. Dit is vooral van belang bij waterscheidende lagen. Verder kan er met deze instelling alleen met een nauwkeurigheid van 25 centimeter worden gesteld dat er op bepaalde plekken in het projectgebied geen Kiezeloöliet-klei aanwezig is.

- De verdamping als invoer in Menyanthes lijkt onwaarschijnlijk. De gegevens zijn afkomstig uit de plaats Arcen. Dit is een landelijk gebied, terwijl de peilbuizen in dit project zich in de stad bevinden. Dit geeft andere verdampingswaarden. Het gevolg is dat het programma Menyanthes met onrealistische waarden gaat modelleren.

- De aangeleverde gegevens van de onttrekkingen zijn door de onvolledigheid van informatie niet gedetailleerd genoeg als verklarende reeksen verwerkt. Dit houdt in dat de exacte data van het begin en einde van de onttrekkingen grotendeels niet bekend zijn. Daardoor zijn de totaal onttrokken

hoeveelheden omgezet naar daggemiddelden over een heel jaar. Dit geeft zodoende een vertekend beeld van de onttrekkingen. Dit heeft weer gevolgen voor de modellering.

- De volledigheid van de verklarende reeksen. Tijdens de modellering van de tijdreeksen bleken een aantal meetreeksen niet goed verklaard te kunnen worden door de ingevoerde verklarende reeksen. Dit feit is niet verrassend, aangezien een belangrijke verklarende reeks niet ingevoegd kan worden, namelijk de onttrekking van de zes stuwputten. De verpompte hoeveelheden zijn niet gemeten, zodat deze niet als verklarende reeks ingevoerd kunnen worden. Voorspeld wordt dat de modellering betere resultaten levert als de verklarende reeksen volledig zijn.

- De bepaling van de grondwaterdynamiek met twee te korte reeksen. Voor het maken van de grondwaterdynamiekkaarten zijn twee meetreeksen gebruikt die onvoldoende lang zijn om een goede grondwaterdynamiek te kunnen bepalen. Dit zijn peilbuis 443.1 en 447.1. Om kaarten te maken die het gehele centrum weergeven zijn deze twee peilbuizen noodzakelijk als invoer. Ondanks dat deze peilbuizen te korte reeksen hebben, geven ze een relatief goede indicatie. Aangezien de overige elf peilbuizen wel voldoen aan de voorwaarde dat een meetreeks minimaal acht jaar lang moet zijn, geven deze kaarten een betrouwbaar beeld.

- De beoordeling van de betrouwbaarheid van de meetreeksen. Enige druksensoren hebben in de loop der tijd onbetrouwbare waarden gemeten. Door middel van de handmetingen is dit geconstateerd. Bij de eerste afwijkende handmeting is de druksensor niet vervangen. Als bij de volgende uitlezing opnieuw een te grote afwijking aanwezig was, is deze druksensor vervangen. Dit houdt in dat een deel van de gemeten reeks onbetrouwbaar is. In dit onderzoek is ervoor gekozen om deze meetreeksen niet verder te gebruiken. Deze maatregel was erg vergaand, aangezien het overgrote deel van deze meetreeksen toch betrouwbaar is. In het vervolg zou alleen het onbetrouwbare gedeelte uit deze meetreeksen gefilterd moeten worden.

- Het vaststellen van de vier perioden en de step trends. De aanleg van de civieltechnische ontwikkelingen vindt plaats over een bepaalde periode. Dit heeft tot gevolg dat bijvoorbeeld de diepwanden niet ineens aanwezig zijn, terwijl in het model wel wordt gewerkt met scherpe overgangen.

- Het gebruik van niet geheel statistisch verantwoorde modellen. Het probleem bevindt zich in de autocorrelatie. Een aantal modellen toonden aan dat er nog een autocorrelatie, een verborgen verklarende reeks, aanwezig was. Dit is het gevolg van de onvolledigheid van de verklarende reeksen.

6.3 Aanbevelingen

Het grondwatermeetnet zit zeer goed in elkaar. De metingen zijn over het algemeen ook goed. Dit is ook gebleken tijdens de beoordeling op de betrouwbaarheid van de meetreeksen. Toch is gebleken dat er tijdens de tijdreeksanalyse beperkingen optraden. De volgende aanbevelingen zijn opgesteld:

- Verder onderzoek naar het ontbreken van Kiezeloöliet-klei op de plekken waar de GMS-modellen deze aangeven. Aangezien de betrouwbaarheid van dit model tot 25 centimeter reikt, is het mogelijk dat er toch een dunne afscheidende kleilaag aanwezig is. Een dunne laag kan al voorkomen dat er interactie plaats vindt tussen verschillende watervoerende pakketten.

- Plaatsing peilbuizen onder de eerste waterscheidende laag. Uit de meetgegevens en de boorstaten van de peilbuiscombinaties (freatisch pakket en eerste watervoerende pakket) is gebleken dat de peilbuizen met een dieper gesitueerd filter zich toch in hetzelfde freatisch pakket bevinden. Door

daadwerkelijk peilbuizen te plaatsen met het filter onder een waterscheidende laag, zal er inzicht komen in de stijghoogten van de dieper gelegen watervoerende pakketten.

- Voortzetting van de grondwatermetingen. Het bestaande meetnet is zeer doordacht opgezet. De automatische metingen zijn ook zeer goed, ondanks dat er druksensoren in de loop der tijd vervangen moeten worden. Door het grondwater te blijven monitoren, zal er altijd inzicht in de grondwaterstanden en –stroming blijven.

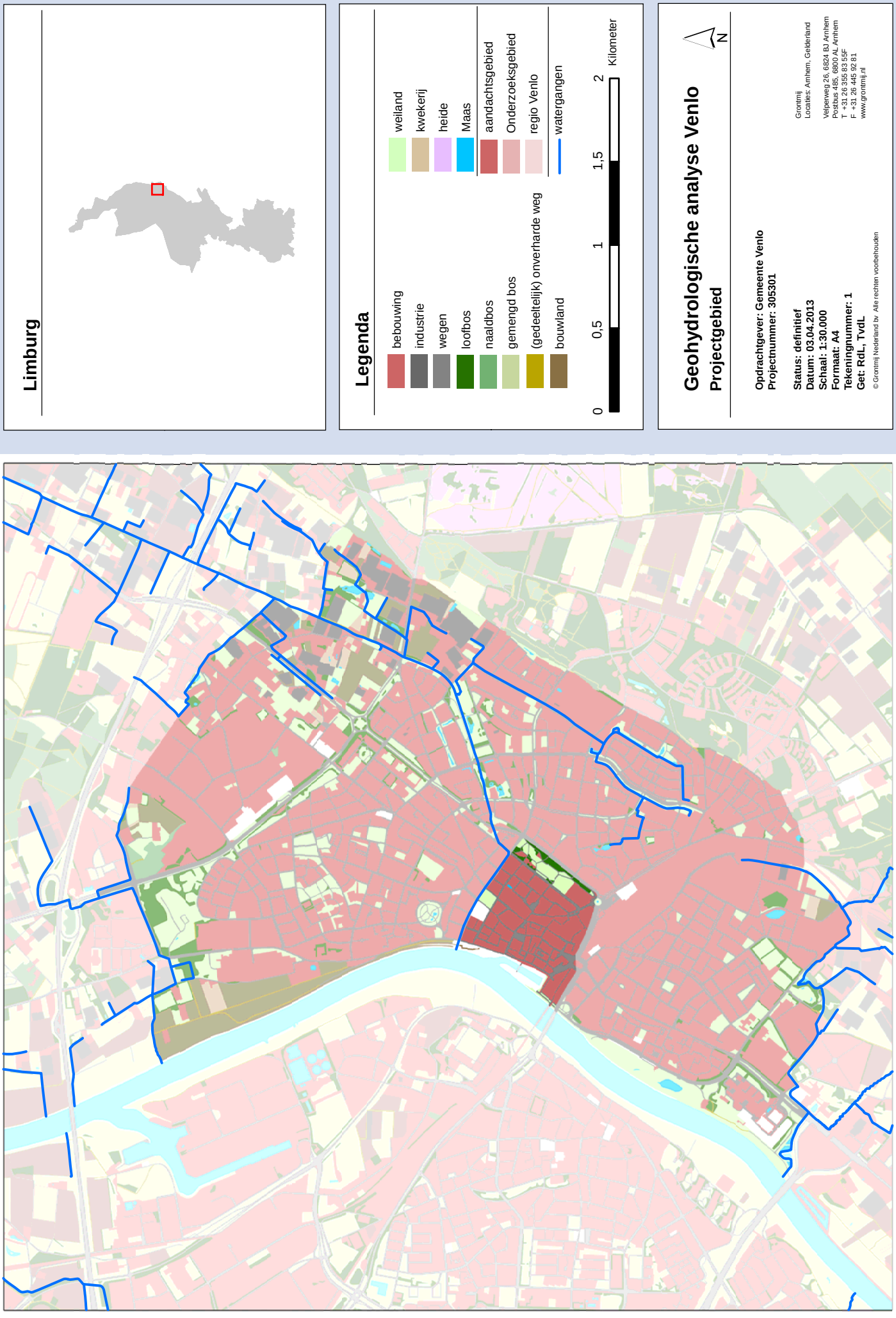
- Een nieuwe tijdreeksanalyse uitvoeren over twee tot drie jaar. Gebleken is dat de modellering in de huidige periode geen modellen oplevert die voldoen aan de statistische randvoorwaarden. De grootste oorzaak daarvan is dat deze periode te kort is om een goede tijdreeksmodellering te doen. De meetreeksen dienen minimaal een lengte te hebben van twee jaar. Echter, des te langer de meetreeksen, des te beter het model zal worden. De extrapolatie zal noodzakelijk blijven, aangezien de analyse naar de grondwaterdynamiek de beste aanpak is om duidelijkheid te krijgen of mogelijke veranderingen in de grondwaterstanden hebben plaatsgevonden. Tijdens dit onderzoek zal opnieuw de onderscheiding moeten worden gemaakt tussen de nulsituatie en de huidige situatie.

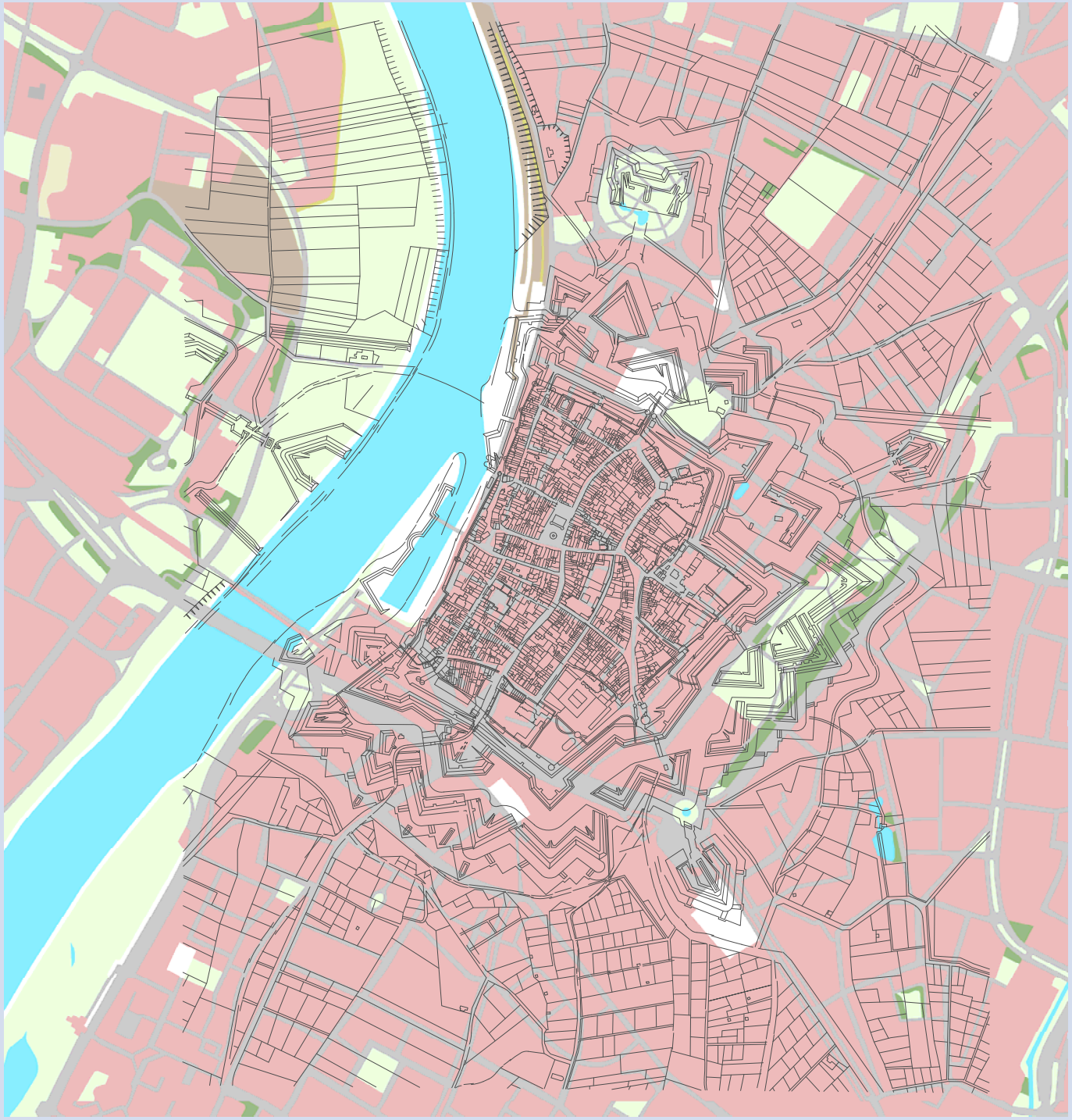
- Meer peilbuizen in de stad. Aangezien een grondwateranalyse is uitgevoerd voor de hele stad, blijkt het meetnet vooral geplaatst te zijn om de effecten van de Maasboulevard en de Koninginnetunnel te analyseren. Om toch een stadsdekkend grondwateronderzoek uit te voeren, dienen er meer peilbuizen door de gehele stad te worden geplaatst. De dichtheid van dit netwerk hoeft zeker niet zo groot te zijn dan het huidige meetnet. Daarnaast wordt geadviseerd om nabij de Maasboulevard en bovenstroom en benedenstrooms van de Koninginnetunnel peilbuizen te plaatsen omdat gebleken is dat eventuele effecten slechts lokaal zijn.

Bijlagen

Bijlage 1:	Projectgebied	45
Bijlage 2:	Venlo anno 1842	46
Bijlage 3:	Hoogtekaart regio Venlo	47
Bijlage 4:	Ondiepe bodemopbouw	48
Bijlage 5:	Regionaal grondmodel	49
Bijlage 6:	Lokaal grondmodel van het centrum van Venlo	52
Bijlage 7:	Peilbuizen	55
Bijlage 8:	Oppervlaktewateren	56
Bijlage 9:	Grondwateronttrekkingen	57
Bijlage 10:	Tabel onttrekkingsgegevens	58
Bijlage 11:	Dwarsdoorsnede Maasboulevard	61
Bijlage 12:	Dwarsdoorsnede Koninginnetunnel	62
Bijlage 13:	Statistische randvoorwaarden Menyanthes	63
Bijlage 14:	Gemiddeld Laagste Grondwaterstand	65
Bijlage 15:	Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand	66
Bijlage 16:	Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand	67
Bijlage 17:	Ontwateringsdiepte centrum	68
Bijlage 18:	Statistieken en geschikheidsbepaling van de modellen	69
Bijlage 19:	Resultaten peilbuizen	70

Bijlage 1: Projectgebied





Limburg

Legenda

- bebouwing
- industrie
- wegen
- loofbos
- naaldbos
- gemengd bos
- (gedeeltelijk) onverharde weg
- bouwland
- weiland
- kwekerij
- heide
- water
- Venlo anno 1842

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Venlo anno 1842

N

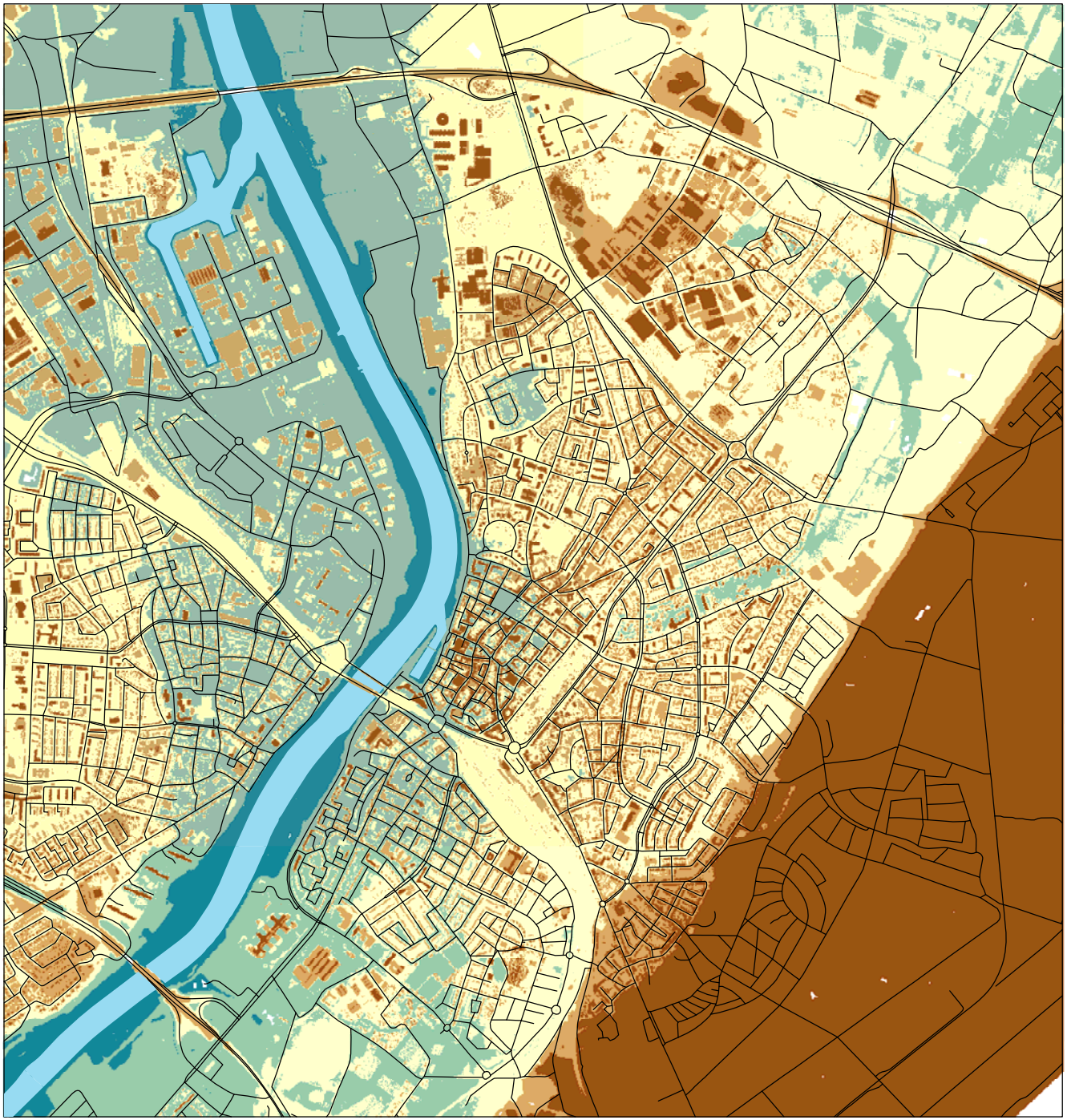
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 02.04.2013
Schaal: 1:10.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 2
Get: RdL, TvdL

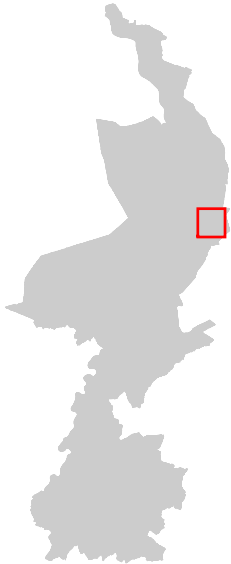
© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl



Limburg



Legenda

Hoogte (m+NAP)

- 7.30-15.80
- 15.80-20.10
- 20.10-23.90
- 23.90-29.00
- 29.00-71.60

- Wegen
- Maas

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Hoogtekaart regio Venlo

N

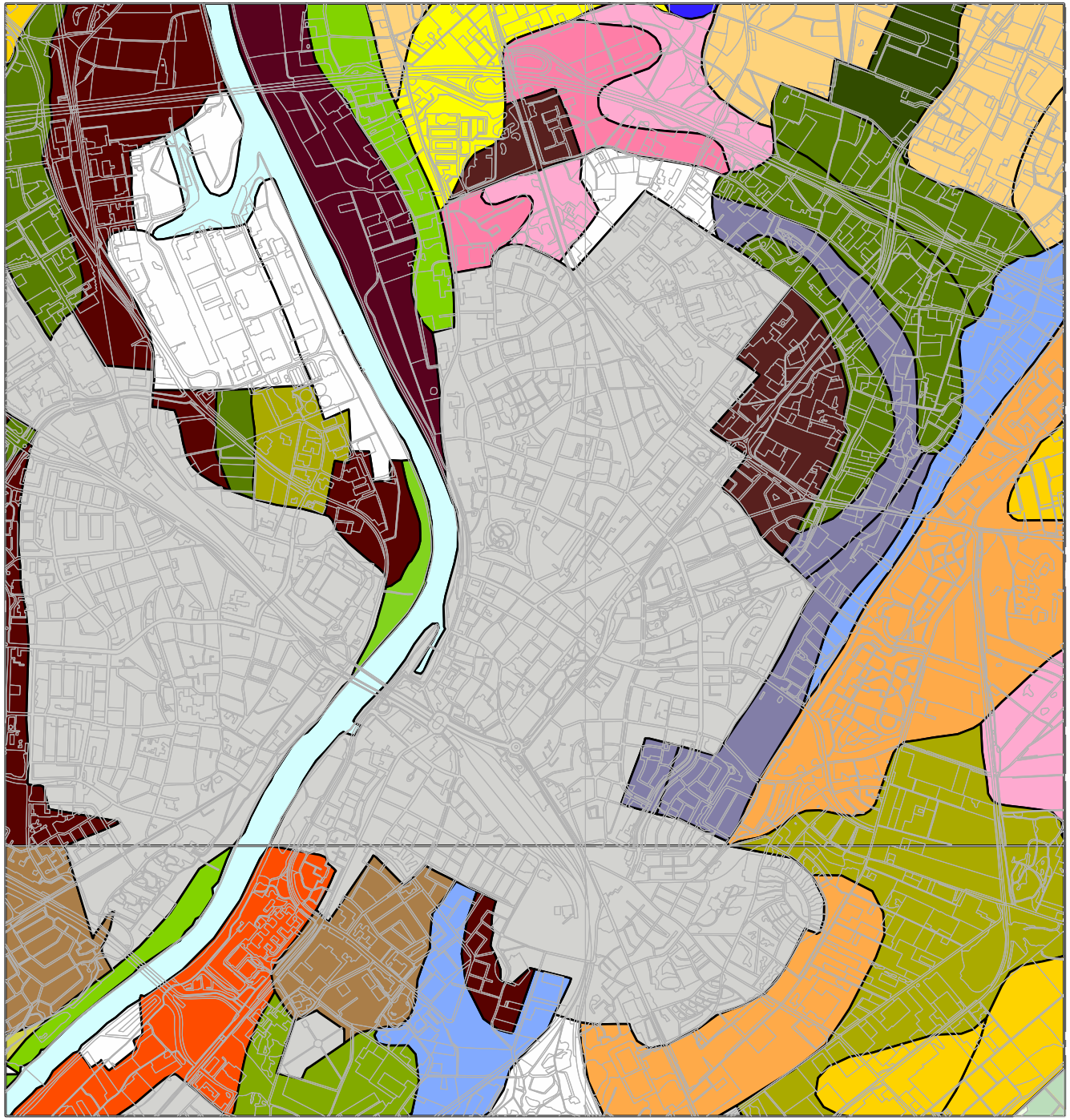
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 26.02.2013
Schaal: 1:30.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 3
Get: RdL, TvdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden



Legenda

- Holtpodzolgronden; grof zand
- Loopodzolgronden; lemig fijn zand
- Rooibrikgronden; zeer sterk lemig fijn zand
- Lage enkeerdgronden; grof zand
- Hoge bruine enkeerdgronden; grof zand
- Hoge zwarte enkeerdgronden; grof zand
- Akkereerdgronden; grof zand
- Vorstvaaggronden; leemarm en zwak lemig fijn zand
- Poldervaaggronden; lichte zavel
- Poldervaaggronden; zware zavel
- Poldervaaggronden; klei
- Ooivaaggronden, lichte zavel
- Vlakvaaggronden; grof zand
- Haarpodzolgronden; grof zand
- Hoge bruine enkeerdgronden; lemig fijn zand
- Veldpodzolgronden; grof zand
- Meerveengronden op zand zonder humuspodzol, beginnend ondieper dan 120 cm
- Vlierveengronden op zavel of klei, beginnend ondieper dan 120 cm
- Leek-/woudeerdgronden; zware zavel
- Gooreerdgronden; grof zand
- Kalkloze ooivaaggronden; lichte zavel
- Duinvaaggronden; grof zand
- Kalkloze poldervaaggronden; lichte zavel, profielverloop 5
- Vlakvaaggronden; lemig fijn zand
- Gronden in oude maasmeanders
- Zand-, leem- of grindgroeve
- Opgehoogd of opgespoten
- Vergraven
- Water
- Bebouwing

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo
Ondiepe bodemopbouw

Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 21.05.2013
Schaal: 1:30.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 4
Get: RdL, TvdL

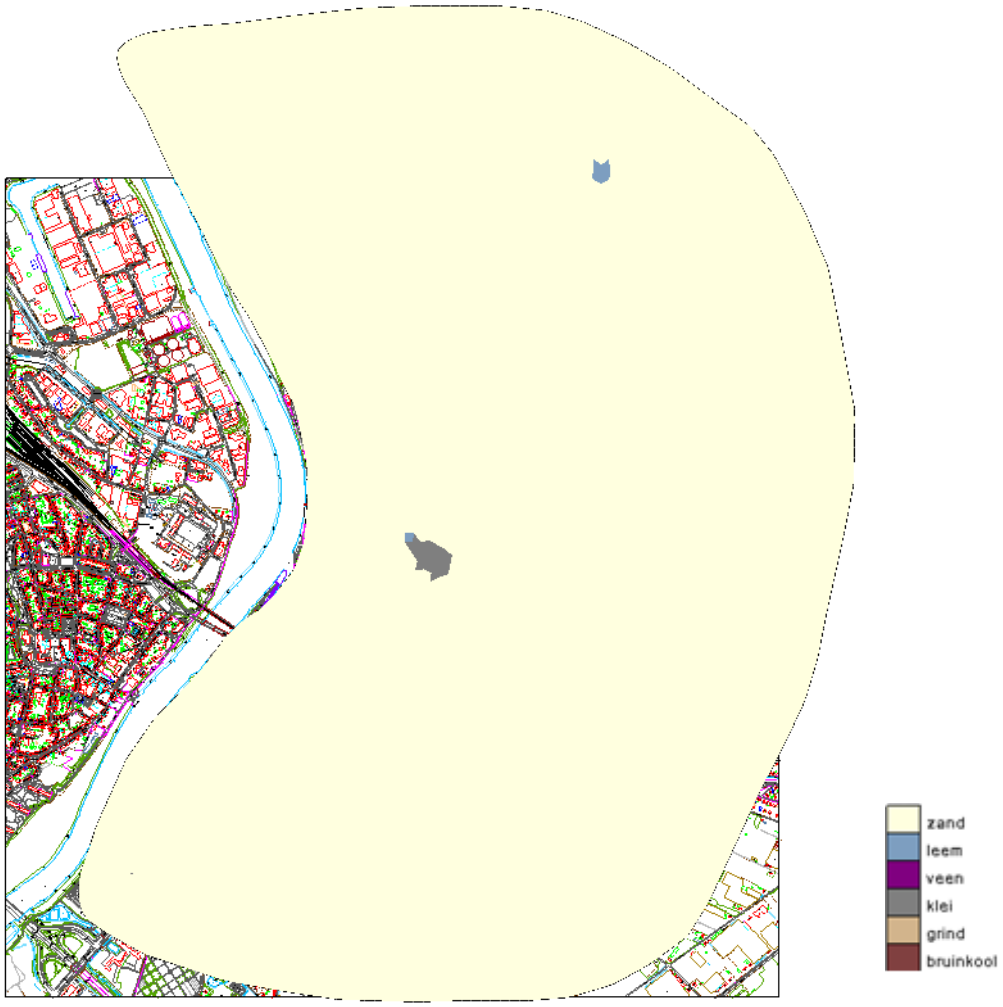
Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

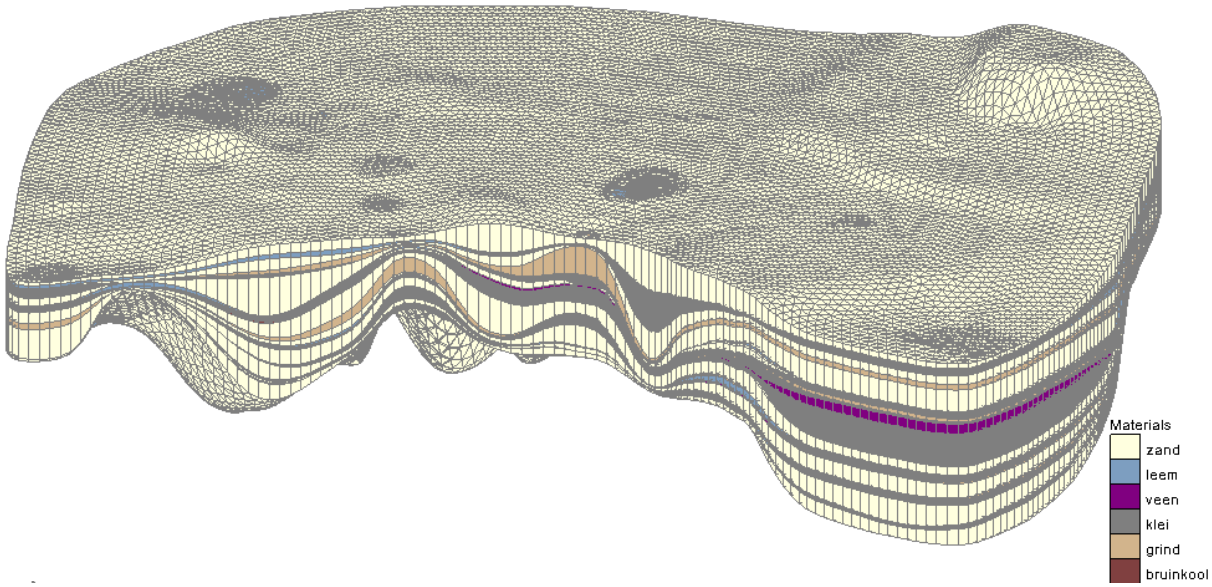
© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden

Bijlage 5: Regionaal grondmodel

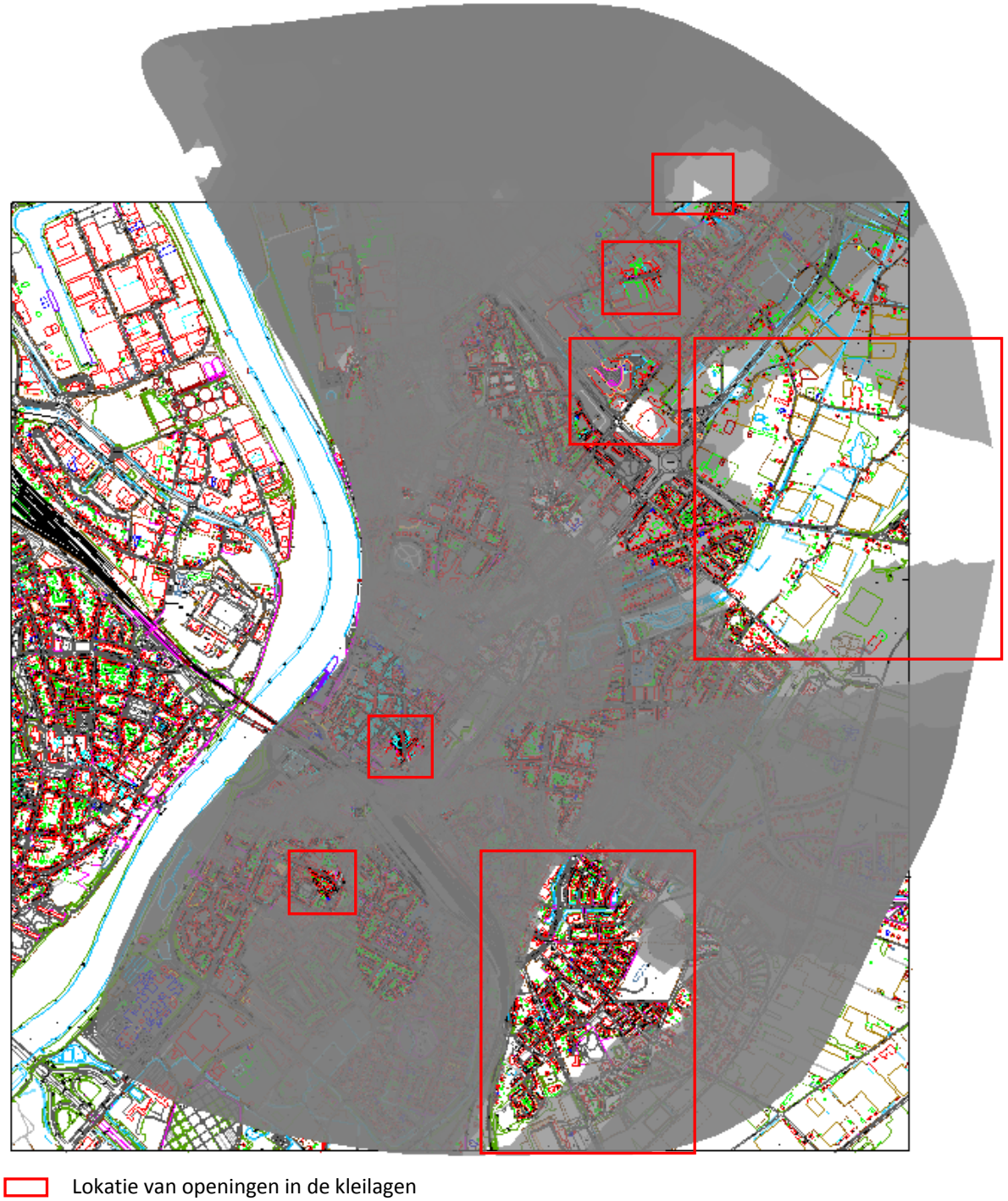
Figuur 25: *Situering regionaal grondmodel.*



Figuur 26: *Visualisatie van de grondsoorten die aan het oppervlak liggen. Zand blijkt voor het overgrote deel aan het oppervlak voor te komen.*



Figuur 27: *Driedimensionale weergave van de bodemopbouw met het zicht richting het oosten.*

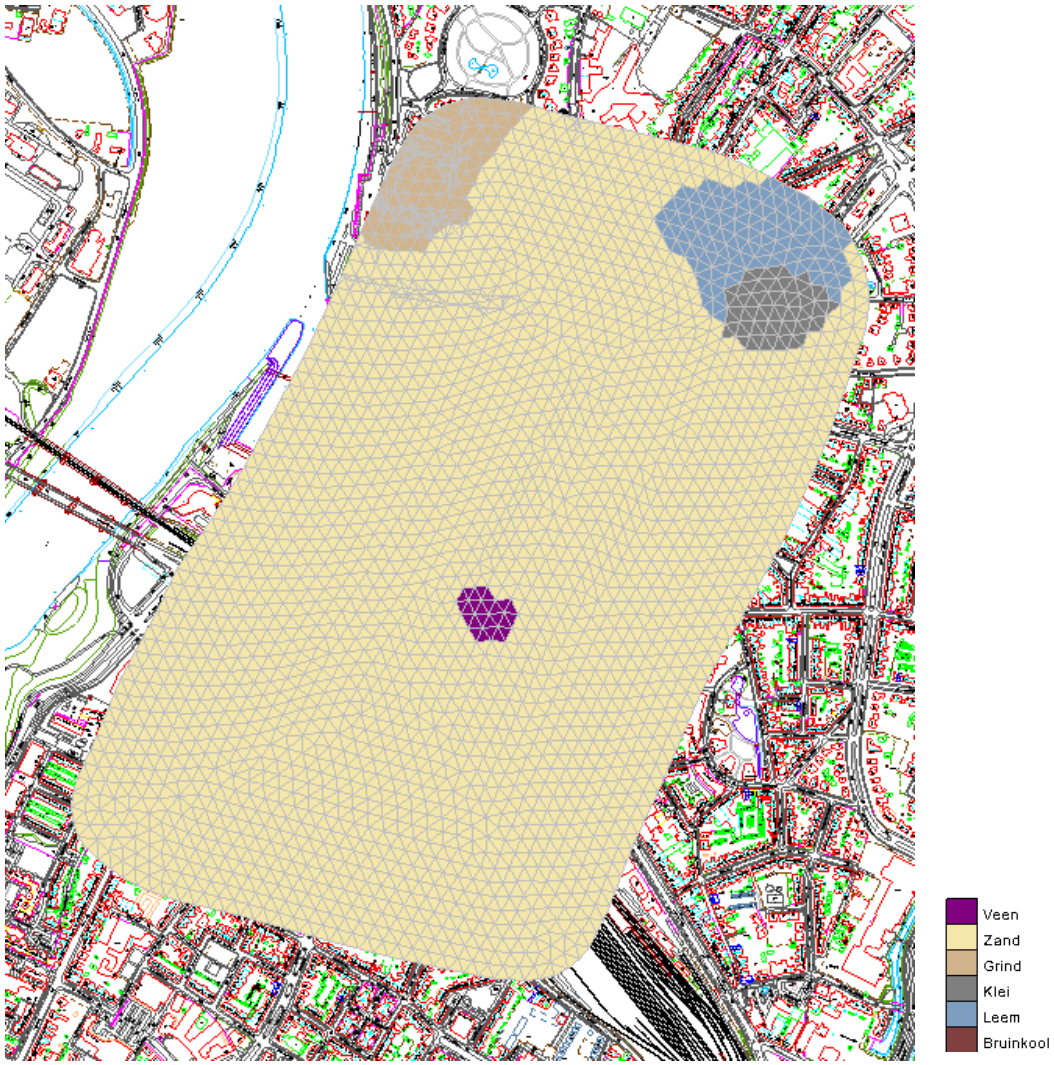


Lokatie van openingen in de kleilagen

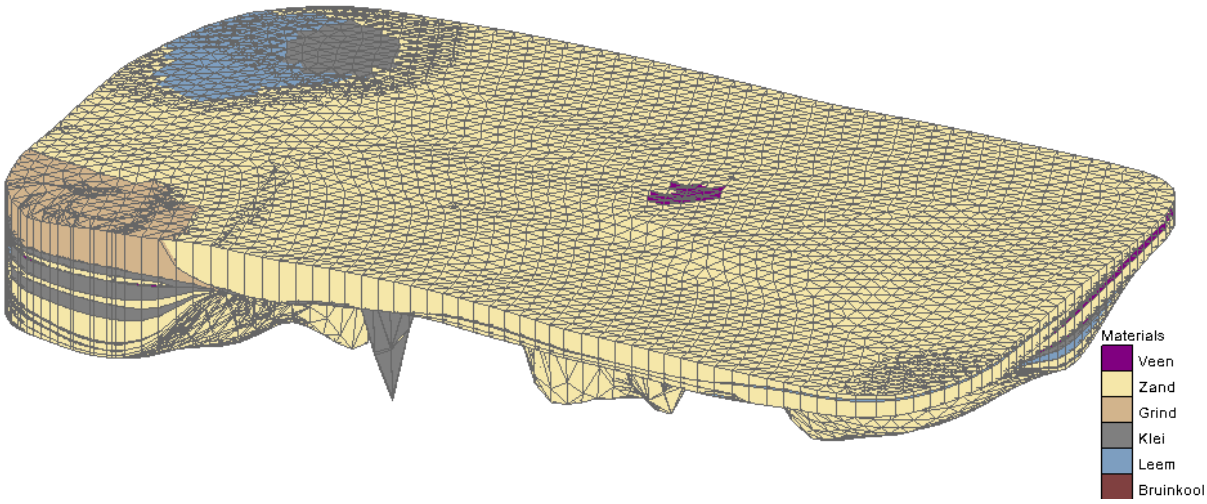
Figuur 28: *Weergave van de aanwezige kleilagen.*

Bijlage 6: Lokaal grondmodel van het centrum van Venlo

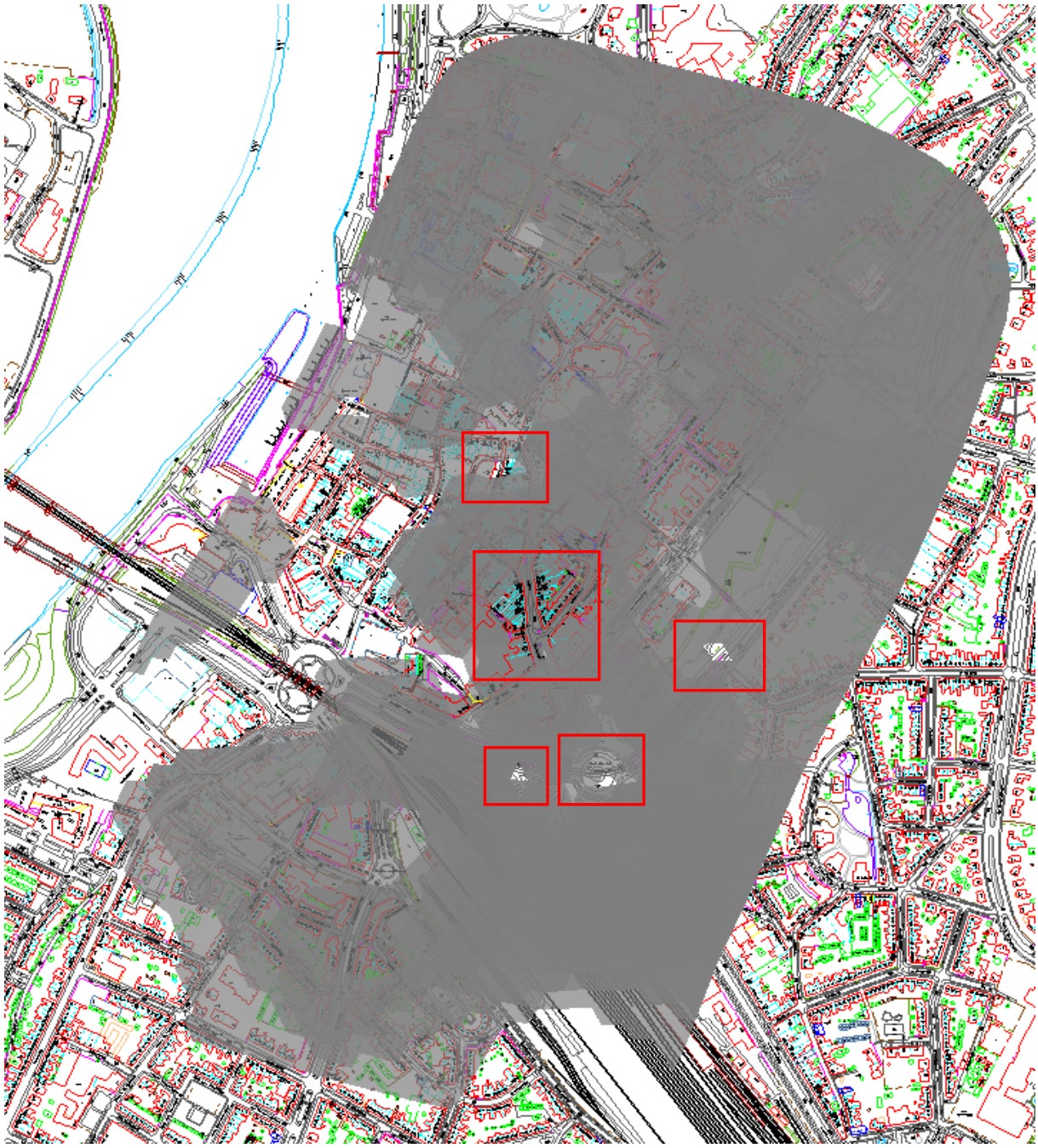
Figuur 29: *Situering grondmodel van het centrum.*



Figuur 30: *Visualisatie van de grondsoorten die aan het oppervlak liggen. Zand blijkt voor het overgrote deel aan het oppervlak voor te komen. Leem, grind en klei blijken in het noorden aan het oppervlak te komen.*

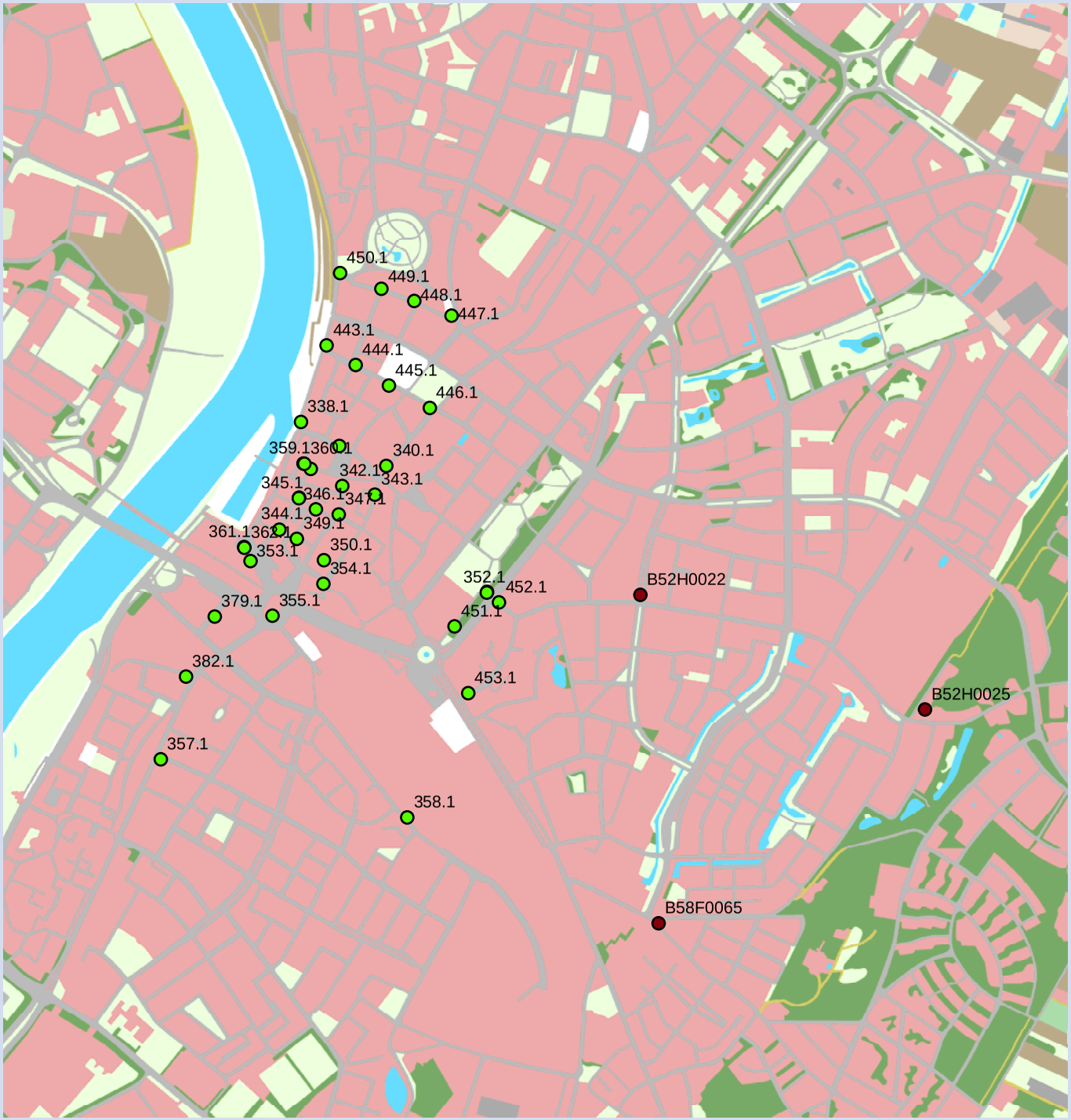


Figuur 31: *Driedimensionale weergave van de bodemopbouw met het zicht richting het noordoosten.*



Lokatie van openingen in de kleilagen

Figuur 32: *Weergave van de aanwezige kleilagen.*



Limburg

Legenda

- bebouwing
- industrie
- wegen
- loofbos
- naaldbos
- gemengd bos
- (gedeeltelijk) onverharde weg
- bouwland
- weiland
- kwekerij
- water
- Peilbuizen gemeente
- Peilbuizen DINOloket

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologsiche analyse Venlo

Peilbuizen

N

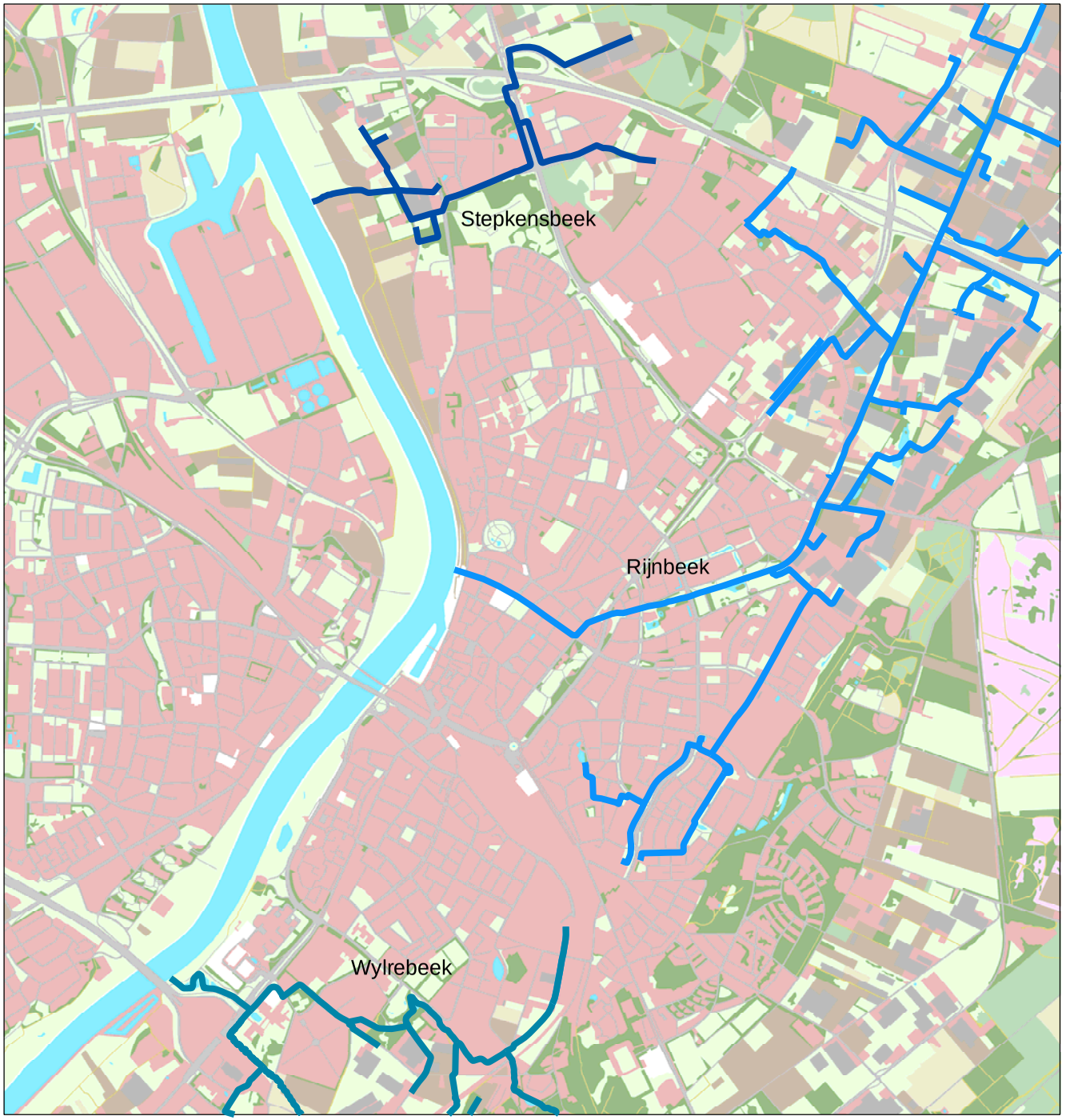
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 26.03.2013
Schaal: 1:15.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 5
Get: TvdL, RdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden



Limburg

Legenda

- Wylrebeek
- Rijnbeek
- Stepkensbeek
- Maas

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Oppervlaktewateren

N

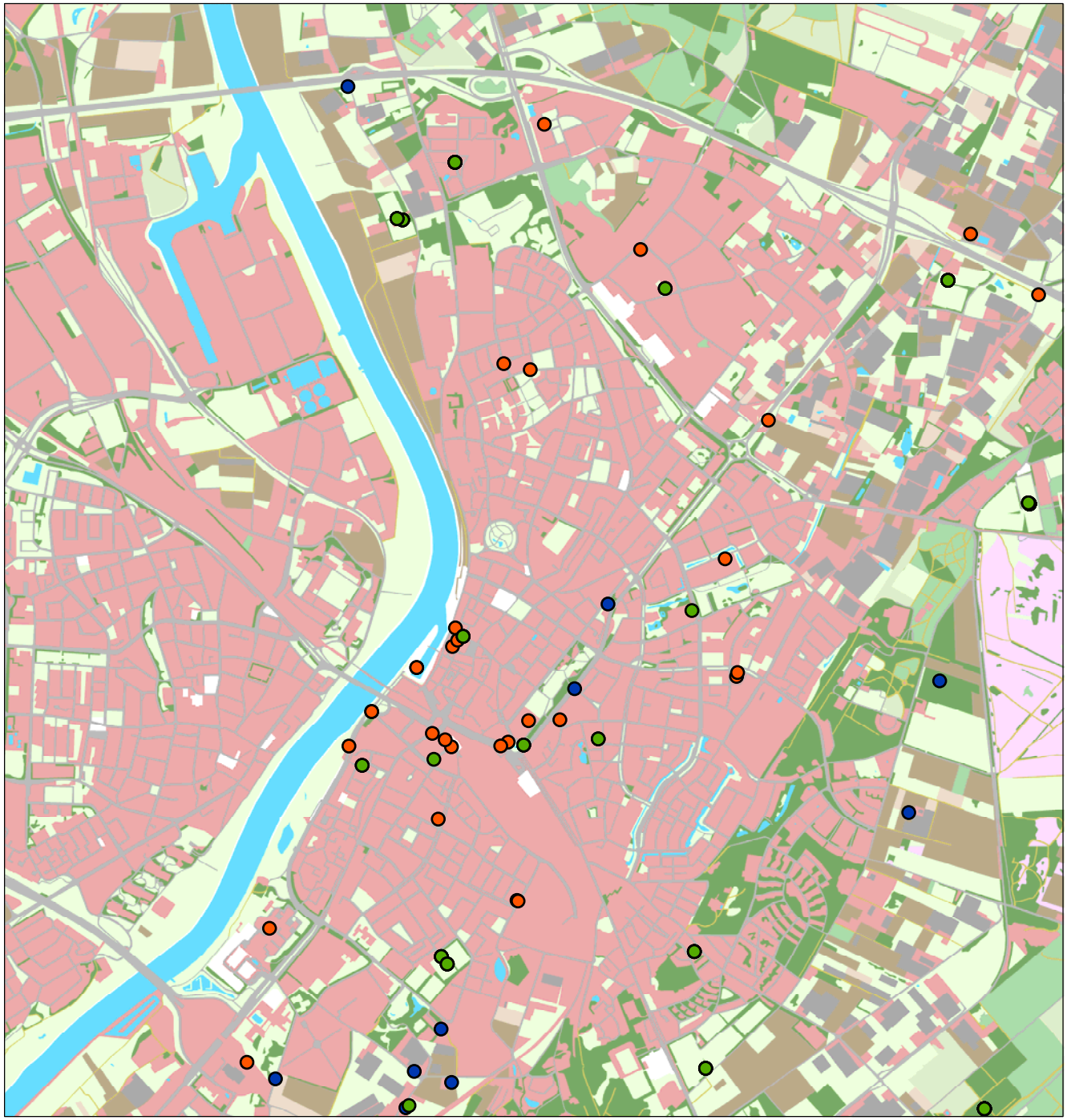
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 03.04.2013
Schaal: 1:30.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 6
Get: RdL, TvdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden



Limburg

Legenda

- bebouwing
- industrie
- wegen
- loofbos
- naaldbos
- gemengd bos
- (gedeeltelijk) onverharde weg
- bouwland
- weiland
- kwekerij
- heide
- water

- Onttrekkingen (Provincie)
- Vergunde onttrekkingen (Waterschap)
- Gemelde onttrekkingen (Waterschap)

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Grondwateronttrekkingen

N

Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 20.03.2013
Schaal: 1:30.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 7
Get: RdL, TvdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

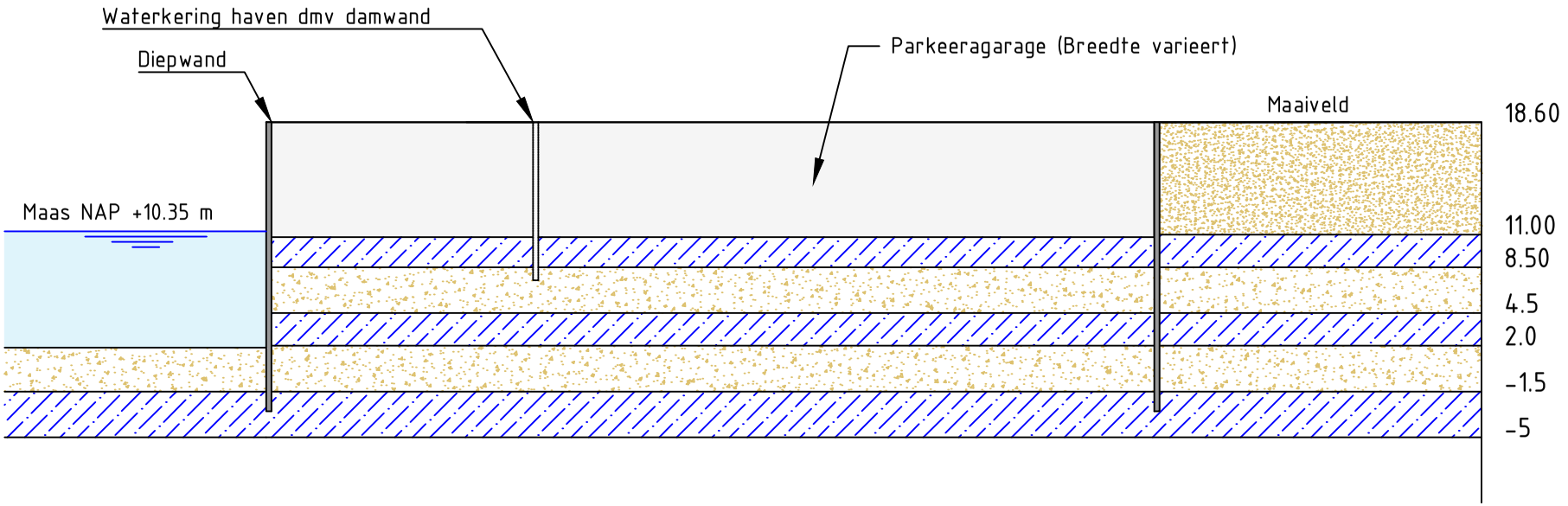
© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden

Bijlage 10: Tabel onttrekkingsgegevens

Bedrijf/instelling	x-coördinaat (m)	y-coördinaat (m)	Onttrekkingsperiode	Gemiddeld debiet (m³/dag)
3W Vastgoed BV	209400	376038	01-01-2008/31-12-2008	70,85
Antares Woonservice	209255	375430	01-01-2009/31-12-2009	580,71
BAM Utiliteitsbouw	209724	375621	17-6-2011/25-08-2011	1916,03
Bouwcombinatie Maas VOF	209373	376019	15-08-2011/08-11-2011	154,42
Bouwcombinatie Maas VOF	209170	375884	01-02-2007/28-02-2007	729,36
DUO Flora 2012 BV	206018	379760	01-01-2009/31-12-2009	58,82
DUO Flora 2012 BV	206941	378708	01-01-2009/31-12-2009	88,53
Dura Vermeer Groep	208330	373930	01-02-2011/15-12-2011	143,12
Frans Bouwens Holding BV	210758	375859	19-11-2008/02-12-2008	1080,86
Geelen Vastgoed en Bouw	208442	374593	22-01-2007/05-03-2007	684,42
Gemeente Venlo	209732	377358	04-04-2006/18-04-2006	935,71
Gemeente Venlo	209170	375884	31-12-2006/31-01-2006	1796,77
Gemeente Venlo	209667	374731	25-01-2007/01-03-2007	938,42
Gemeente Venlo	209672	374728	12-02-2007/24-04-2007	181,22
Gemeente Venlo	209347	375987	6-7-2007	3610,00
Gemeente Venlo	209623	375515	03-11-2008/31-03-2009	2089,20
Gemeente Venlo	209342	375491	01-11-2008/15-11-2008	134,13
Gemeente Venlo	209601	377388	15-02-2012/21-07-2012	25,19
Gemeente Venlo	208947	375666	24-06-2009/13-07-2009	582,50
Gemeente Venlo	209311	375526	23-03-2009/12-04-2009	95,81
Gemeente Venlo	208835	375495	01-04-2009/20-04-2009	582,50
Gemeente Venlo	209247	375558	05-02-2012/19-03-2012	453,95
Gemeente Venlo	209586	375496	22-02-2012/07-03-2010	2694,29
Gemeente Venlo	209362	376080	24-01-2011/23-02-2011	300,32
Gemeente Venlo	205830	376059	01-01-2007/31-12-2007	0,86
Gemeente Venlo	205830	376059	01-01-2008/31-12-2008	0,67
Gemeente Venlo	205830	376059	01-01-2009/31-12-2009	2,74
Gemeente Venlo	209321	374416	01-01-2006/31-12-2006	14,39
Gemeente Venlo	209321	374416	01-01-2007-31-12-2007	5,55
Gemeente Venlo	209321	374416	01-01-2008/31-12-2008	6,00
Gemeente Venlo	209321	374416	01-01-2009/31-12-2009	16,49
Gemeente Venlo	205728	376031	01-01-2006/31-12-2006	30,70
Gemeente Venlo	205728	376031	01-01-2007-31-12-2007	11,22
Gemeente Venlo	205728	376031	01-01-2008/31-12-2008	9,36
Gemeente Venlo	205728	376031	01-01-2009/31-12-2009	12,72
Gemeente Venlo	207494	377120	01-01-2006/31-12-2006	22,92
Gemeente Venlo	207494	377120	01-01-2007-31-12-2007	10,28
Gemeente Venlo	207494	377120	01-01-2008/31-12-2008	8,26
Gemeente Venlo	207494	377120	01-01-2009/31-12-2009	19,69
Gemeente Venlo	212198	376699	01-01-2006/31-12-2006	28,79
Gemeente Venlo	212198	376699	01-01-2007-31-12-2007	14,19
Gemeente Venlo	212198	376699	01-01-2008/31-12-2008	9,55
Gemeente Venlo	212198	376699	01-01-2009/31-12-2009	29,74
Gemeente Venlo	212650	377380	01-01-2006/31-12-2006	12,37
Gemeente Venlo	212650	377380	01-01-2007/31-12-2007	3,95
Gemeente Venlo	212650	377380	01-01-2008/31-12-2008	3,66
Gemeente Venlo	212650	377380	01-01-2009/31-12-2009	9,54
Gemeente Venlo	209073	378106	01-01-2006/31-12-2006	20,54
Gemeente Venlo	209073	378106	01-01-2007/31-12-2007	8,87
Gemeente Venlo	209073	378106	01-01-2008/31-12-2008	2,83
Gemeente Venlo	209073	378106	01-01-2009/31-12-2009	15,03
Gemeente Venlo	210544	374478	01-01-2006/31-12-2006	37,29
Gemeente Venlo	210544	374478	01-01-2007/31-12-2007	18,88
Gemeente Venlo	210544	374478	01-01-2008/31-12-2008	13,95
Gemeente Venlo	210544	374478	01-01-2009/31-12-2009	37,85
Gemeente Venlo	207064	371406	01-01-2005/31-12-2005	48,66
Gemeente Venlo	207064	371406	01-01-2006/31-12-2006	72,85
Gemeente Venlo	207064	371406	01-01-2007/31-12-2007	36,18
Gemeente Venlo	207064	371406	01-01-2008/31-12-2008	22,63
Gemeente Venlo	207064	371406	01-01-2009/31-12-2009	57,22
Gemeente Venlo	208600	372618	01-01-2002/31-12-2002	5,63

Gemeente Venlo	208600	372618	01-01-2003/31-12-2003	24,57
Gemeente Venlo	208600	372618	01-01-2004/31-12-2004	8,72
Gemeente Venlo	208600	372618	01-01-2005/31-12-2005	10,94
Gemeente Venlo	207600	371200	01-01-2002/31-12-2002	6,92
Gemeente Venlo	207600	371200	01-01-2003/31-12-2003	42,41
Gemeente Venlo	207600	371200	01-01-2004/31-12-2004	7,01
Gemeente Venlo	207600	371200	01-01-2005/31-12-2005	6,36
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2002/31-12-2002	13,66
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2003/31-12-2003	67,40
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2004/31-12-2004	13,45
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2005/31-12-2005	54,11
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2006/31-12-2006	10,38
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2007/31-12-2007	10,75
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2008/31-12-2008	11,07
Gemeente Venlo	212203	376694	01-01-2009/31-12-2009	12,52
Gemeente Venlo	210600	373900	01-01-2002/31-12-2002	15,35
Gemeente Venlo	210600	373900	01-01-2003/31-12-2003	73,36
Gemeente Venlo	210600	373900	01-01-2004/31-12-2004	24,53
Gemeente Venlo	210600	373900	01-01-2005/31-12-2005	56,88
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2002/31-12-2002	23,93
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2003/31-12-2003	24,66
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2004/31-12-2004	9,52
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2005/31-12-2005	25,09
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2006/31-12-2006	14,59
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2007/31-12-2007	8,41
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2008/31-12-2008	8,21
Gemeente Venlo	211800	377800	01-01-2009/31-12-2009	19,19
Gemeente Venlo	209100	378100	01-01-2002/31-12-2002	3,19
Gemeente Venlo	209100	378100	01-01-2003/31-12-2003	20,51
Gemeente Venlo	209100	378100	01-01-2004/31-12-2004	5,25
Gemeente Venlo	209100	378100	01-01-2005/31-12-2005	14,88
Gemeente Venlo	209292	374453	01-01-2002/31-12-2002	4,78
Gemeente Venlo	209292	374453	01-01-2003/31-12-2003	34,94
Gemeente Venlo	209292	374453	01-01-2004/31-12-2004	11,65
Gemeente Venlo	209292	374453	01-01-2005/31-12-2005	17,76
Gemeente Venlo	212386	376736	01-01-2002/31-12-2002	0,33
Gemeente Venlo	212386	376736	01-01-2003/31-12-2003	12,22
Gemeente Venlo	212386	376736	01-01-2004/31-12-2004	4,96
Gemeente Venlo	212386	376736	01-01-2005/31-12-2005	6,76
Gemeente Venlo	209700	375500	01-01-2008/31-12-2008	850,52
Gemeente Venlo	206040	379683	01-01-2008/31-12-2008	82,31
Gemeente Venlo	206019	379693	01-01-2007/31-12-2007	98,99
Gemeente Venlo	206019	379693	01-01-2009/31-12-2009	88,53
Haegens Bouw BV	210753	375840	12-02-2007/24-04-2007	181,22
Haegens Bouw BV	209802	378573	15-03-2011/19-05-2011	778,39
Heijmans Beton- en Waterbouw	208025	371862	01-01-2007/31-12-2007	271,15
Heijmans Infratechniek	209879	375625	07-12-2009/25-04-2010	16,16
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	207130	372131	01-01-2007/31-12-2007	489,21
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	207130	372131	01-01-2008/31-12-2008	371,23
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	208422	373050	01-01-2010/31-12-2010	4,79
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	208176	371940	01-01-2006/31-12-2006	79,70
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	208163	371930	01-01-2006/31-12-2006	79,89
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	208065	371949	01-01-2006/31-12-2006	66,52
Heijmans Vastgoed Exploitatie BV	208291	372392	01-01-2006/31-12-2006	235,08
Hoveniersbedrijf Hans Cox	212248	377729	01-12-2009/25-01-2010	157,86
Janssen Bouwgroep BV	210278	377953	25-01-2007/18-04-2007	172,36
Lendert Coppens BV	210697	376422	20-03-2012/10-04-2012	64,64
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	210069	375531	01-01-2008/31-12-2008	143,00
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	210069	375531	01-01-2009/31-12-2009	128,79
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2000/31-12-2000	64,39
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2001/31-12-2002	51,42
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2003/31-12-2003	53,20
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2004/31-12-2004	49,97
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2005/31-12-2005	49,50
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2006/31-12-2006	47,92
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2007/31-12-2007	48,37

Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2008/31-12-2008	48,24
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2009/31-12-2009	39,27
Missiehuis St. Michael	206120	371950	01-01-2010/31-12-2010	81,58
Mokobouw BV	210911	377108	15-02-2012/23-02-2012	2055,00
Mourik Groot-Ammers	206352	377666	01-01-2006/31-12-2006	0,43
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2000/31-12-2000	69,29
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2001-31-12-2001	30,69
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2002/31-12-2002	29,17
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2003/31-12-2003	26,38
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2004/31-12-2004	2,34
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2005/31-12-2005	37,07
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2006/31-12-2006	42,08
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2007/31-12-2007	45,55
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2008/31-12-2008	33,59
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2009/31-12-2009	39,27
Oce-Technologies BV	209360	378385	01-01-2010/31-12-2010	35,77
Rotterdam Rijn Pijpleiding Maatschappij	211911	378030	22-05-2006/05-06-2006	164,67
Sanders en Geraedt BV	208497	370394	01-01-2005/31-12-2005	8,22
Sanders en Geraedt BV	208497	370394	01-01-2006/31-12-2006	0,08
Sanders en Geraedt BV	208497	370394	01-01-2007-31-12-2007	64,41
Sanders en Geraedt BV	208497	370394	01-01-2008/31-12-2008	8,20
Sanders en Geraedt BV	208497	370394	01-01-2009/31-12-2009	27,78
Shell Nederland Verkoopmaatschappij BV	210400	377760	01-01-2000/31-12-2000	43,75
Shell Nederland Verkoopmaatschappij BV	210400	377760	01-01-2001-31-12-2001	2,88
Shell Nederland Verkoopmaatschappij BV	210532	376166	01-01-2000/31-12-2000	4,70
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2000/31-12-2000	4372,92
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2001-31-12-2001	4391,98
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2002/31-12-2002	4264,79
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2003/31-12-2003	4400,60
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2004/31-12-2004	4265,56
Waterleiding Maatschappij Limburg	208470	372610	01-01-2005/31-12-2005	1477,66
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2000/31-12-2000	12396,32
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2001-31-12-2001	12480,42
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2002/31-12-2002	12226,93
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2003/31-12-2003	11346,52
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2004/31-12-2004	3763,29
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2005/31-12-2005	10753,75
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2006/31-12-2006	10279,50
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2007/31-12-2007	8931,09
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2008/31-12-2008	8138,19
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2009/31-12-2009	8568,48
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2010/31-12-2010	9007,65
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2011/31-12-2011	9444,47
Waterleiding Maatschappij Limburg	211980	373700	01-01-2012/31-12-2012	12322,35
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2000/31-12-2000	5571,09
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2001-31-12-2001	5595,90
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2002/31-12-2002	5431,47
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2003/31-12-2003	5986,11
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2004/31-12-2004	5725,90
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2005/31-12-2005	5639,41
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2006/31-12-2006	6086,49
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2007/31-12-2007	5845,95
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2008/31-12-2008	5859,14
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2009/31-12-2009	5546,57
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2010/31-12-2010	5437,09
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2011/31-12-2011	5144,24
Waterleiding Maatschappij Limburg	212250	386390	01-01-2012/31-12-2012	5084,71
Waterleiding Maatschappij Limburg	205878	379349	01-01-2008/31-12-2008	9,04
Waterleiding Maatschappij Limburg	206966	368034	01-01-2008/31-12-2008	491,57
Waterleiding Maatschappij Limburg	206966	368034	01-01-2009/31-12-2009	166,19
Woningstichting Venlo-Blerick	208900	375400	01-01-2009/31-12-2009	245,30
Woningstichting Venlo-Blerick	209132	373716	01-01-2007/31-12-2007	11,48
Woonwenz	209277	375134	03-01-2011/24/02/2011	947,60



Bodemopbouw

Diepte (m t.o.v NAP)	Grondsoort
18,60 - 11,0	Zand/leemlagen
11,0 - 8,5	Leem/klei
8,5 - 4,5	Zand
4,5 - 2,0	Klei
2,0 - -1,5	Zand
-1,5 - -5	Klei
-5 <	Zand

HOOGTEN ZIJN WEERGEGEVEN IN METERS T.O.V. NAP

Dwarsdoorsnede Maasboulevard

Definitief

Opdrachtgever

Gemeente Venlo

Project

Geohydrologische analyse Venlo

Onderdeel

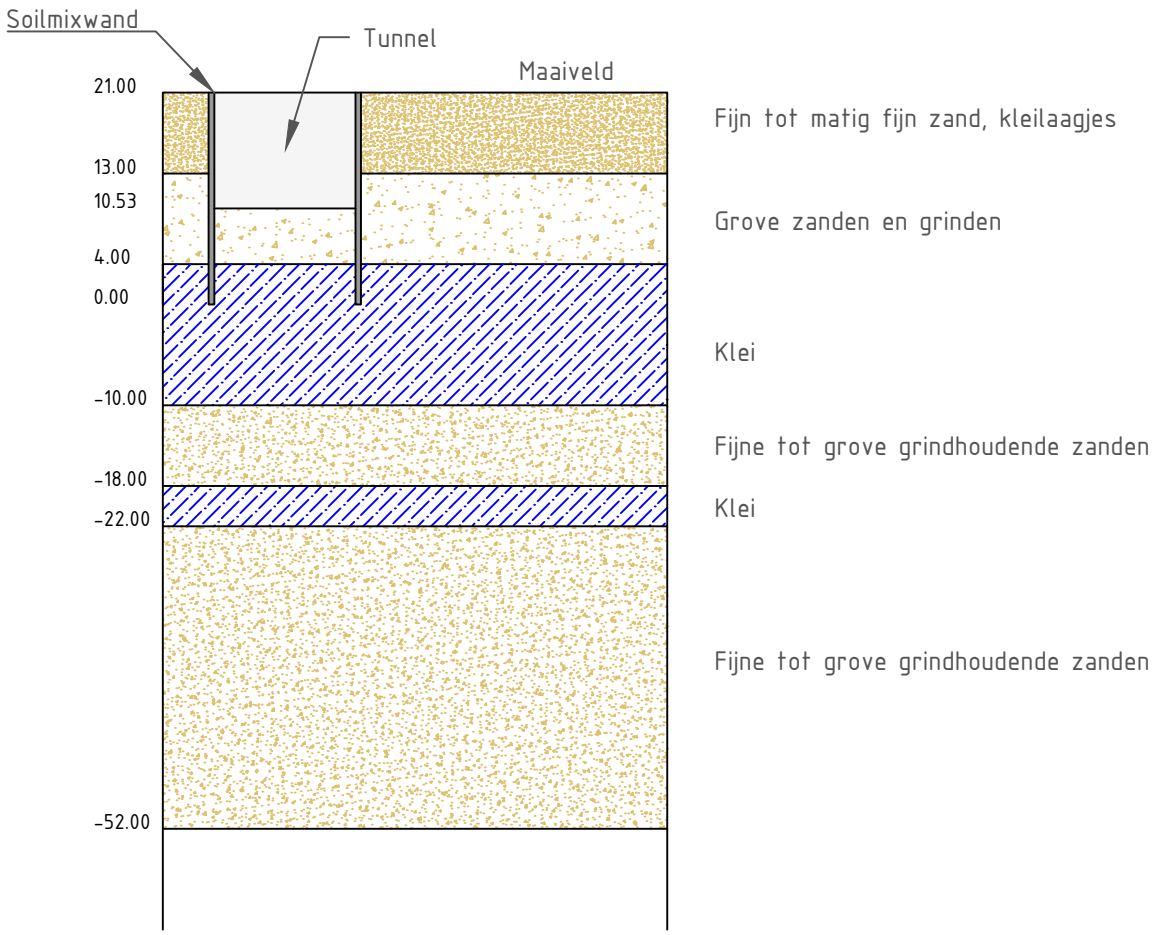
Inventarisatie Maasboulevard

0 5 10 15 20m

Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
8	02	Maasboulevard def.dwg	A4	1:500	01	01

Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
ARNHEM	305301	-	22-03-2013	RdeL	TvdL	TvdL

Bijlage 12: Dwarsdoorsnede Koninginnetunnel



HOOGTEN ZIJN WEERGEGEVEN IN METERS T.O.V. NAP
DWARSDOORSNEDE KONINGINNETUNNEL

Definitief

Opdrachtgever

Gemeente Venlo

Project

Grondwateranalyse Venlo

Onderdeel

Inventarisatie Koninginnetunnel

Tekeningnummer	Rev.	Bestandsnaam	Formaat	Schaal	Blad	Aantal
9	02	Koninginne def.dwg	A4	1:750	01	01

Kantoor	Projectnummer	Besteknummer	Datum van uitgave	Get.	Gez.	Acc.
ARNHEM	305301	-	22-03-2013	RdeL	TvdL	TvdL

Bijlage 13: Statistische randvoorwaarden Menyanthes

Geschiktheid van het model

Het gecreëerde tijdreeksmodel is niet per definitie geschikt. Er zijn verschillende uitgangspunten die in combinatie bepalen of een model geschikt is om conclusies te mogen trekken. Menyanthes geeft zelf geen beoordeling van het model. De geschiktheid moet bepaald worden door de modelleur. Toch zijn er in de praktijk handvatten opgesteld die een beoordeling geven. De rangorde van relevantie van deze uitgangspunten wordt bepaald door het doel van de analyse. Dit onderzoek is gericht op een trendanalyse. De volgende onderdelen dienen als uitgangspunt voor de bepaling van de geschiktheid:

Explained Variance Percentage (verklaarde variantie, EVP). De EVP geeft de relatieve pasvorm weer van de berekende en gemeten grondwaterstanden. De EVP wordt bepaald aan de hand van de variantie van de grondwaterstanden en de varianten van de residuen. Voor het bepalen van de geschiktheid wordt een minimum waarde van 70% aangehouden.

Root Mean Squared Error (standaardafwijking van het residu, RMSE). Dit is de absolute maat voor de pasvorm uitgedrukt in meters, de fout van het transfermodel. Het verschil tussen het berekende model en de gemeten waarden moet zo klein mogelijk zijn. In andere onderzoeken wordt uitgegaan dat dit verschil kleiner moet zijn dan 0,3 meter om het model geschikt te verklaren. De RMSE wordt weergegeven in de Error-Diagnostics-grafiek.

Root Mean Squared Innovation (variantie van het ruisproces, RMSI). Het ruismodel heeft ook een variantie. Deze variantie toont aan of er in het ruismodel nog een verklarende reeks aanwezig is, de autocorrelatie. Dit wordt zichtbaar als in de Innovation-grafiek een patroon zichtbaar is. Ook deze grafiek wordt weergegeven in de Error-Diagnostics-grafiek.

Autocorrelation. In de Error-Diagnostics-grafiek kan naast de ruis en de innovatie ook de autocorrelatie worden weergegeven. In deze grafiek wordt een minimum en maximum weergegeven op y= -1,5 en y= 1,5. Wanneer de grafiek binnen deze grenzen blijft, is er geen verklarende reeks meer aanwezig in het residu. Deze grafiek geeft daarom zeer goed de betrouwbaarheid weer van het model.

Final Prediction Error (Laatste voorspellingsfout, FPE). Dit is ook een maat voor de modelkwaliteit volgens Akaike. Hoe kleiner het getal is, des te betrouwbaarder het model wordt. Dit wordt onder andere bepaald door de lengte van de meetreeks. Bij een langere meetreeks zal de FPE kleiner worden. Deze mate van geschiktheid is vooral van belang voor onderzoeken waar voorspellingen moeten worden gedaan.

Evaporation factor (Verdampingsfactor). De verdamping is afhankelijk van het heersende klimaat. Deze is per regio anders. Zodoende moeten deze gegevens afkomstig zijn van de dichtstbijzijnde meetstation. De verdamping wordt echter niet bij ieder meetstation gemeten. In het geval van dit onderzoek heeft Arcen het dichtstbijzijnde meetstation. Toch kunnen er binnen een regio grote verschillen zijn in de mate van verdamping. Dit is niet meer afhankelijk van het klimaat, maar van omgevingsfactoren. Een voorbeeld is het verschil tussen de verdamping in stedelijk en landelijk gebied. De waarde van deze verdampingsfactor is in dit onderzoek daarom minder van belang. De verdampingsfactor geeft de gemiddelde verhouding tussen de actuele en de referentie gewasverdamping weer. De waarden moeten tussen 0,5 en 2 liggen. Echter, in dit onderzoek is een bereik gekozen van 0 tot 2,5.

Drainage base (drainagebasis). De drainage basis geeft de stijghoogte van het grondwater weer als er langdurig geen invloed is van neerslag en verdamping. Er zal zich een evenwicht instellen die, naar alle waarschijnlijkheid, gelijk zal zijn met het gemiddelde peil van de Maas. Deze berekende hoogte zal bij een geschikt model relatief

goed overeenkomen. Grote afwijkingen geven een foutieve modellering weer, dus bepaald ook de geschiktheid van een model.

Mean Absolute Error (Gemiddelde absolute fout, MAE). De gemiddelde absolute fout wordt berekend voor het maken van voorspellingen. Deze geeft het mogelijke verschil weer tussen de voorspellingen en de uiteindelijke uitkomsten. De mate van afwijking is daarom ook een maat voor de geschiktheid. Deze waarde is vooral van belang bij een analyse die gericht is op het doen van voorspellingen en dient klein te zijn.

Gain (Drainageweerstand, M0). De Gain geeft de verhouding tussen de uiteindelijke stijghoogte en de intensiteit van de neerslag weer bij langdurige neerslag. De Gain legt de relatie vast tussen de grondwaterstand en de verklarende reeks. Uitgangspunt voor de geschiktheid van het model is dat de drainageweerstand groter is dan 2 maal de standaarddeviatie.

Memory (responstijd, MU=M1/M0). De responstijd geeft de geschatte tijd die verstrijkt voordat de helft van het effect is bereikt en weer is verdwenen na een verandering. (www.kwrwater.nl, 12-04-2013) Dit geldt voor alle verklarende reeksen die in het model zijn verwerkt. Ook hiervoor wordt aangenomen dat deze groter moet zijn dan 1,5 tot 2 maal de standaarddeviatie en kleiner dan 1460 dagen.

Standard deviation (Standaarddeviatie, Stdev). De standaarddeviatie is een indicator voor de spreiding van uitkomsten rondom een gemiddelde. Andere gebruikte termen zijn spreiding of standaardafwijking. Hoe groter de afwijkingen, des te groter de standaarddeviatie (www.multiscope.nl, 15-04-2013). Dit gebeurt vooral bij korte tijdreeksen. De standaarddeviatie van iedere reeks wordt berekend. Met deze standaarddeviatie wordt de geschiktheid van de reeksen weer bepaald.

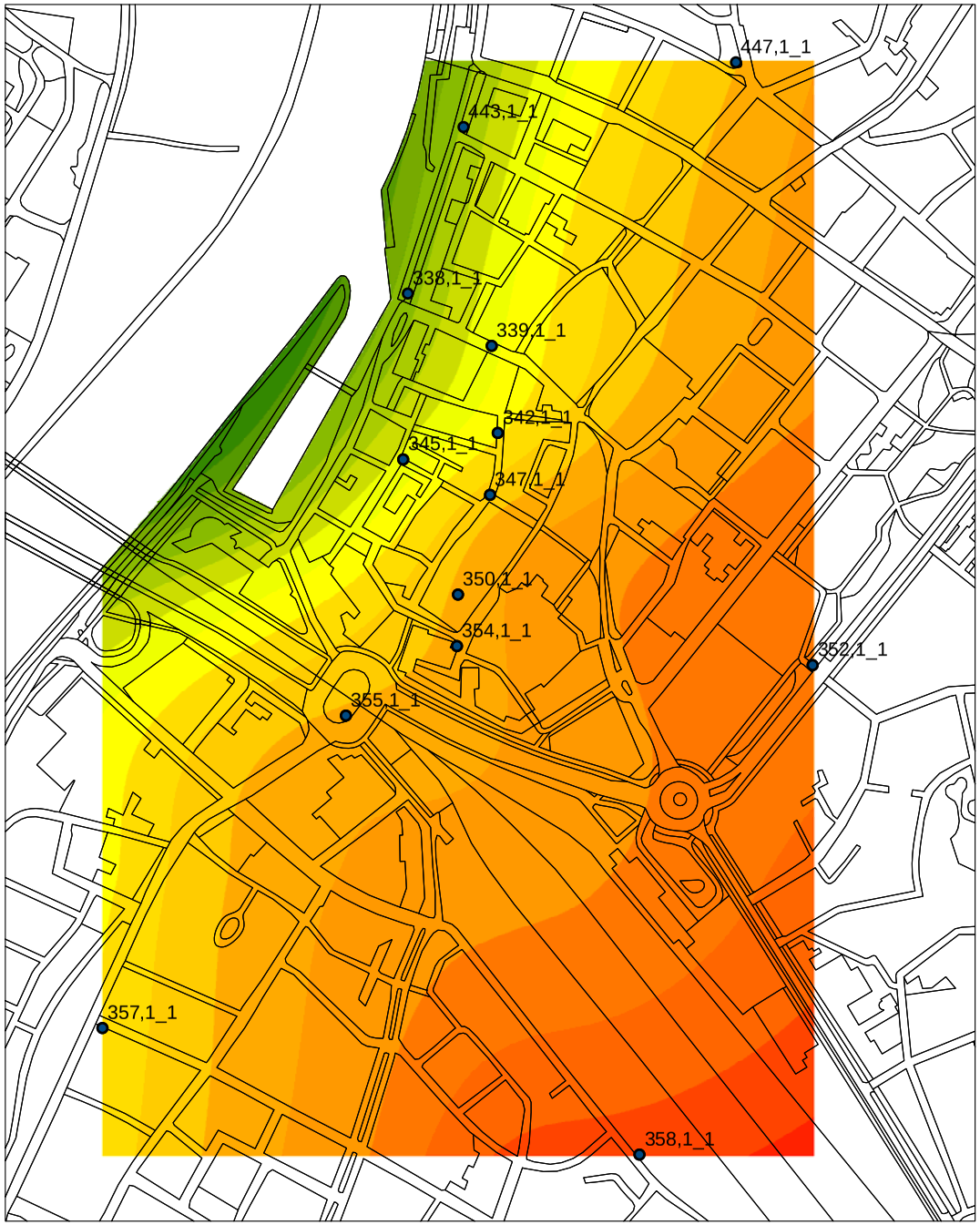
Rangorde van relevantie

Zoals in de inleiding van deze paragraaf is weergegeven, bepaald het doel van de modellering de rangorde van voorgaande uitgangspunten. Er zijn verschillende doelen voor het ontwikkelen van een model (www.let.leidenuniv.nl, 15-04-2013). De verschillende modelleringsdoelen zijn:

- Beschrijven: Deze vorm bestaat uit het beschrijven van de waarnemingen.
- Verklaren: De waarnemingen worden verklaard aan de hand van de aanwezige variabelen.
- Voorspellen: Toekomstige ontwikkelingen kunnen worden voorspeld aan de hand van de voorgaande doelen. Ook kunnen voorspellingen naar het verleden worden gedaan.
- Voorwaardelijke berekeningen: Door veranderingen toe te brengen in de variabelen kunnen deze berekeningen worden gemaakt. Een voorbeeld is het berekenen van de gevolgen van klimaatverandering.
- Gezamenlijk variëren: Het gezamenlijk variëren door de tijd van verschillende verschijnselen kan ook worden bestudeerd.

De richtlijnen voor de EVP, drainagebasis, verdampingsfactor en gain gelden voor ieder doel. Als de modellering is gemaakt om voorspellingen te kunnen doen, zijn meerdere voorwaarden van belang. Deze voorwaarden worden hieronder uiteengezet.

De waarde van de RMSE is een goede indicator om te oordelen of model goed genoeg is om voorspellingen te doen. Een andere parameter is de Final Prediction Error (FPE). Indien deze FPE klein is, zijn voorspellingen betrouwbaarder. Dit wordt vooral bepaald door de lengte van de tijdreeks. Verder is de Mean Absolute Error van belang voor het doen van voorspellingen. Deze geeft het mogelijke verschil weer tussen de voorspellingen en de uiteindelijke uitkomsten. Het verschil dient zo klein mogelijk te zijn om goede voorspellingen te kunnen doen.



Limburg

Legenda

- Peilbuizen

Grondwaterstand in m +NAP

5,86 - 10,50	13,00 - 13,50	16,00 - 16,50
10,50 - 11,00	13,50 - 14,00	16,50 - 17,00
11,00 - 11,50	14,00 - 14,50	17,00 - 17,50
11,50 - 12,00	14,50 - 15,00	17,50 - 18,00
12,00 - 12,50	15,00 - 15,50	18,00 - 18,50
12,50 - 13,00	15,50 - 16,00	18,50 - 19,00

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Gemiddeld laagste grondwaterstand

N

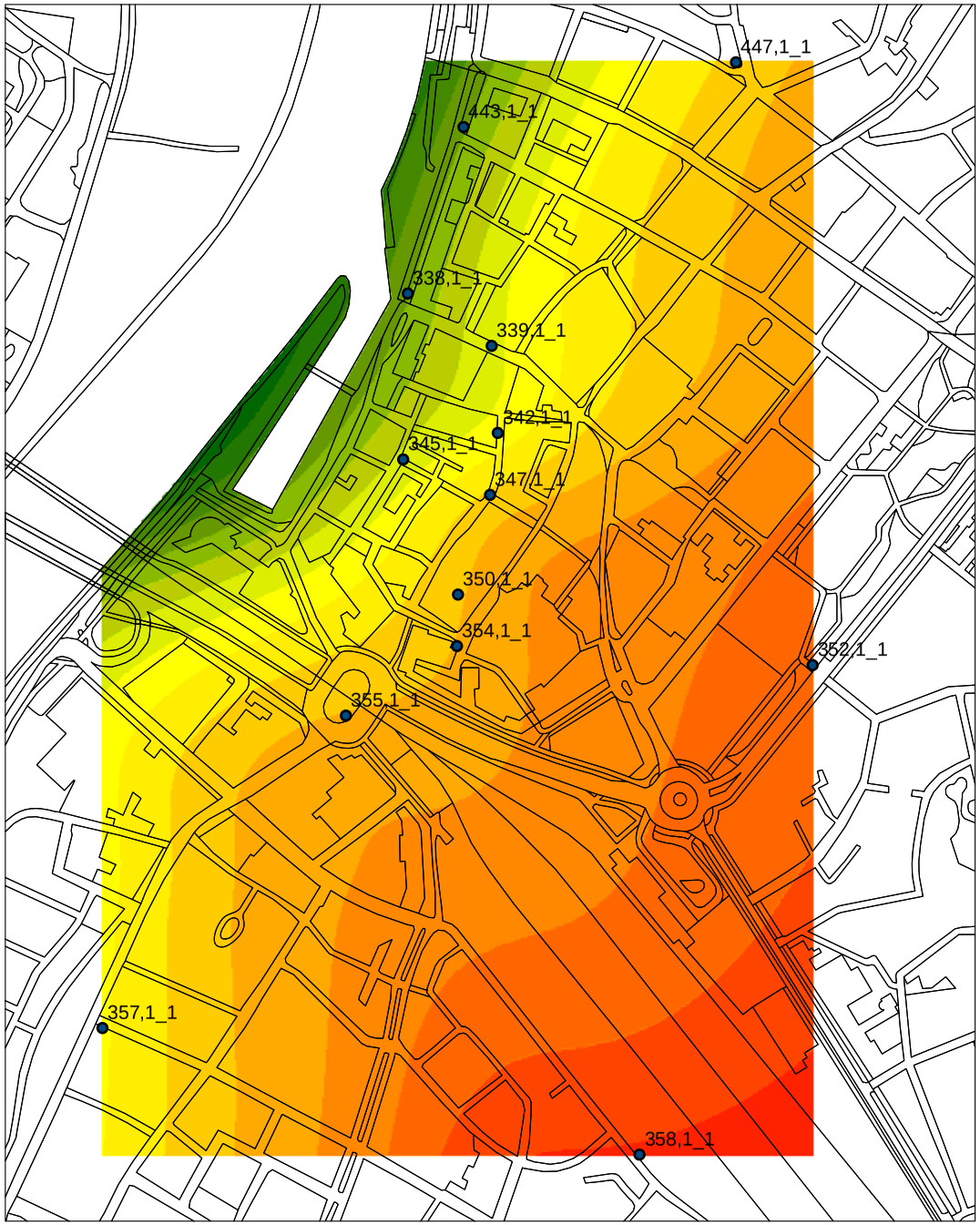
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 22.05.2013
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 10
Get: TvdL, RdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden



Limburg

Legenda

- Peilbuizen

Grondwaterstand in m +NAP

11,58 - 12,00	14,00 - 14,50	16,50 - 17,00
12,00 - 12,50	14,50 - 15,00	17,00 - 17,50
12,50 - 13,00	15,00 - 15,50	17,50 - 18,00
13,00 - 13,50	15,50 - 16,00	18,00 - 18,50
13,50 - 14,00	16,00 - 16,50	18,50 - 19,00

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Gemiddelde Voorjaarsgrondwaterstand

N

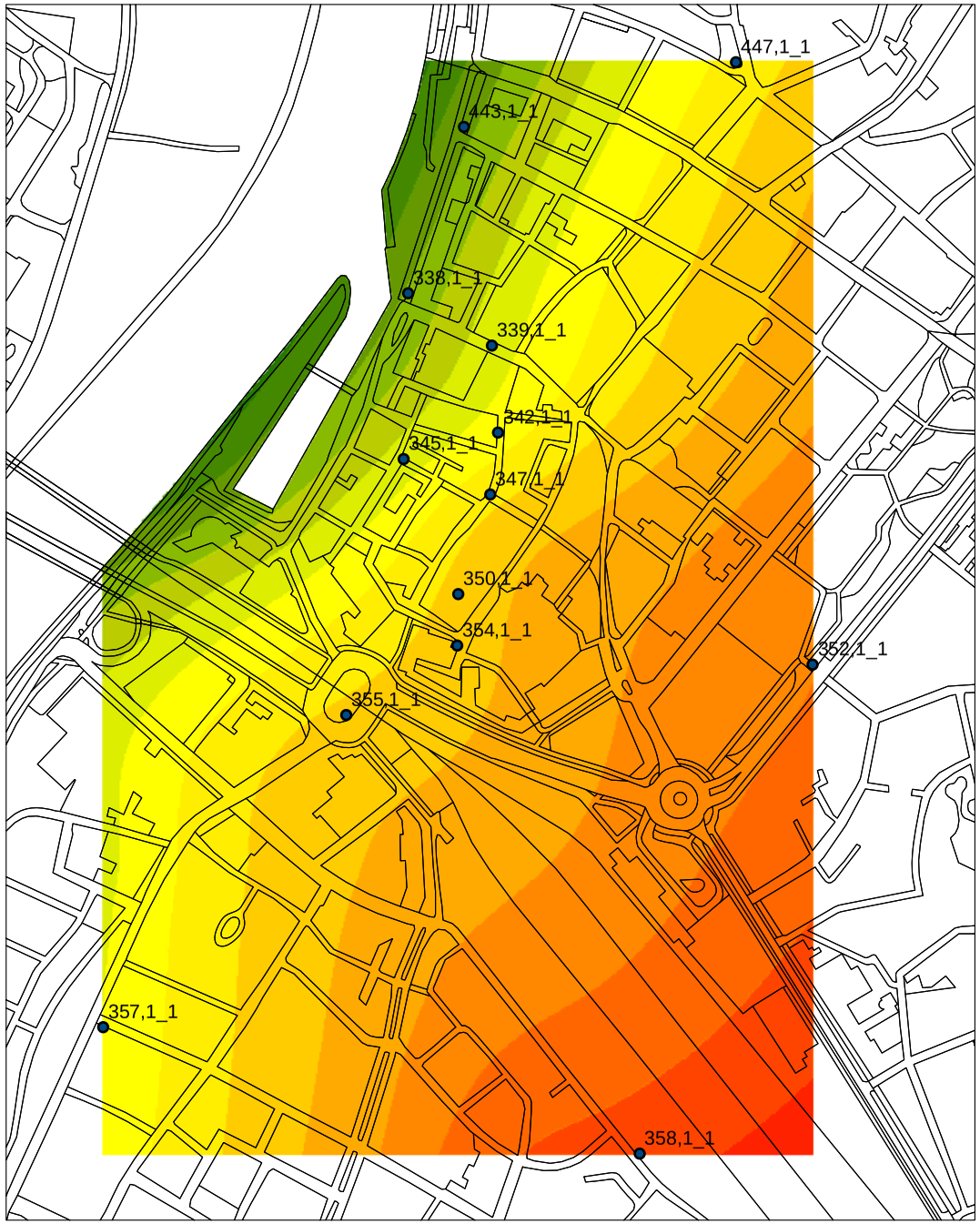
Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 22.05.2013
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 11
Get: TvdL, RdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden



Limburg

Legenda

- Peilbuizen

Grondwaterstand in m +NAP

12,87 - 13,00	15,00 - 15,50	17,50 - 18,00
13,00 - 13,50	15,50 - 16,00	18,00 - 18,50
13,50 - 14,00	16,00 - 16,50	18,50 - 19,00
14,00 - 14,50	16,50 - 17,00	19,00 - 19,50
14,50 - 15,00	17,00 - 17,50	

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologsiche analyse Venlo

Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand

N

Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

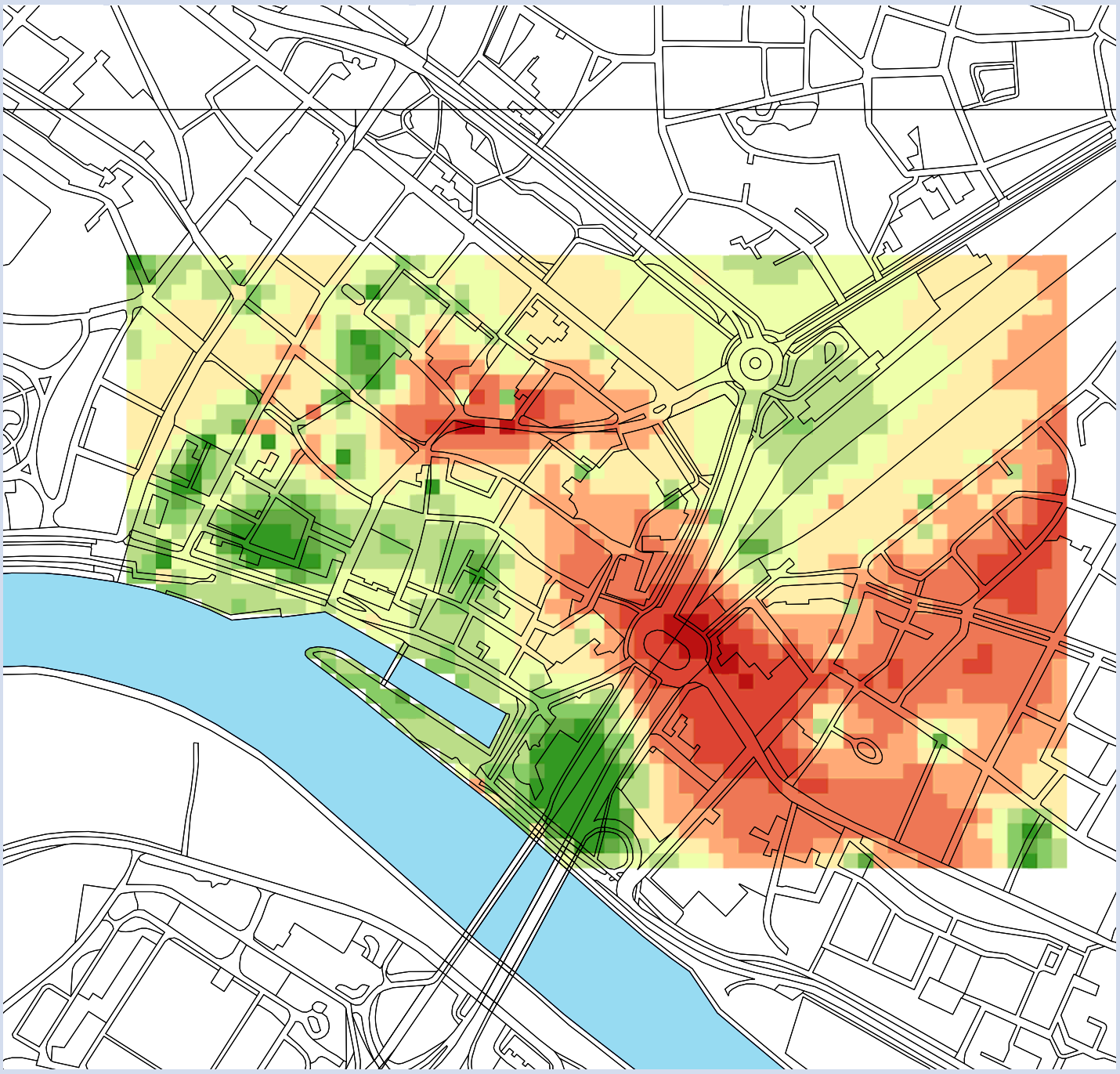
Status: definitief
Datum: 22.05.2013
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 12
Get: TvdL, RdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

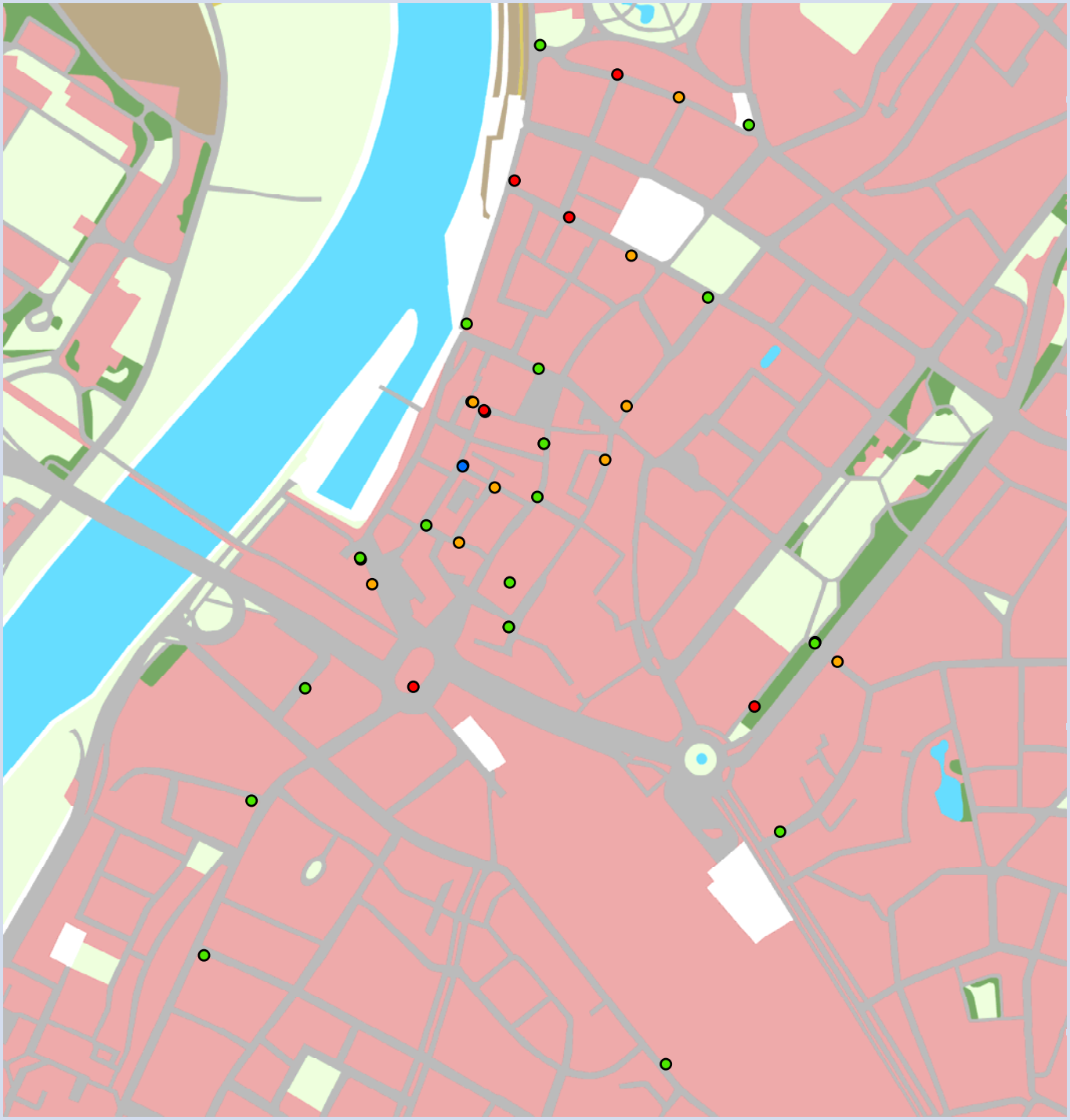
© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden

Bijlage 17: Ontwatering centrum



Bijlage 18: Statistieken en geschiktheidsbepaling van de modellen

MODEL NAME	X-COORD	Y-COORD	ZCOORD	EVP (%)	RMSE (m)	RMSI (m)	DBASE (m+NAP)-drainage	M0 PREC (dag)-weerstand	SDEV (dag)	MU PREC (dag)-geheugen	SDEV (dag)	EVP FCTR (-)	SDEV (dag)	Check EVP	Check RMSE	Check M0 PREC	Check MU PREC	Check EVP FCTR	Suitability model	Length of series (days)
453_1_1	209764,5	375391,3	14,65	82,6	0,0917	0,0233	18,2	160,8	29,2	124,2	16	1,36	0,18	1	1	1	1	1	goed	1036
451_1_1	209730	375560,4	14,11	80,9	0,134	0,0393	17,1	46,84	Inf	20,15	NaN	0,208	Inf	1	1	1	1	1		853
486_1_1	209288,4	375799,4	13,04	**39,6**	0,242	0,0562	-9,7	1,09E+04	1,22E+04	688	388	0,00314	0,099							473
355_1_1	209269,2	375587,1	12,75	70,3	0,134	0,054	14,9	101,1	69,3	299,5	314	1,62	0,34	1	1		1	1		3152
351_1_1	209812	375647,4	10,88	82,4	0,134	0,0295	16,4	45,6	7,61	26,44	5,75	0,0545	0,074	1	1	1	1	1	goed	3152
345_1_1	209335,8	375884,9	14,37	70,9	**0,302**	0,0304	0,182	1,66E+04	525	695,4	5,58	0,914	0,025	1		1	1	1		3152
344_1_1	209336,5	375886	9,37	72,1	**0,375**	0,0437	30,5	35,76	610	871,9	20	447	7,60E+03	1			1			3152
342_1_1	209445,6	375915,6	14,21	88,1	0,142	0,151	124	1770	4,65E+03	1475	87	39,9	98	1	1					91
338_1_1	209341,2	376077,5	7,88	75,7	0,259	0,0444	-14,8	1,67E+04	370	749,7	5,27	0,492	0,019	1	1	1	1	1	goed	3149
450_1_1	209440,4	376454,1	6,96	94,4	0,0464	0,0238	8,72	854,9	221	843,7	241	0,779	0,092	1	1	1	1	1	goed	1415
449_1_1	209544,8	376414,4	7,8	93,5	0,033	0,0243	11,9	533,1	3,26E+03	348,9	29	0,986	5,9	1	1		1	1		1550
447_1_1	209722,3	376346,3	8,07	80,5	0,0442	0,021	12,4	414,4	19,4	271,2	13	0,209	0,027	1	1	1	1	1	goed	1550
446_1_1	209667,2	376113	6,52	88,5	0,0574	0,0401	14,4	336,8	184	375,3	216	0,0906	0,067	1	1	1	1	1	goed	1550
444_1_1	209479,6	376221,6	9,17	93,8	0,0604	0,0218	9,19	1006	968	565,4	510	0,0238	0,059	1	1		1	1		1045
443_1_1	209405,9	376271	8,69	98,3	0,0546	0,0317	4,34	1111	865	516,7	26,1	0,00714	0,13	1	1	1	1	1		1550
339_1_1	209438,5	376016,8	14,05	87,6	0,146	0,0139	11,8	3679	123	586,8	5,25	1,42	0,056	1	1	1	1	1	goed	3152
342_1_1	209445,6	375915,6	14,21	91,1	0,113	0,0302	5,57	4129	533	797,1	65,1	0,00418	0,038	1	1	1	1	1	goed	1550
347_1_1	209436,7	375843,6	9,59	87,7	0,0979	0,0117	14,4	1274	56,7	510,4	7,9	1,08	0,079	1	1	1	1	1	goed	3152
348_1_1	209286,7	375805,1	13,43	83,6	0,229	0,0285	18,2	6568	519	638,6	8,77	2,25	0,18	1	1	1	1	1	goed	2416
350_1_1	209399,4	375727,9	14,6	89,8	0,0861	0,0137	13,5	1686	955	913,3	475	0,484	0,057	1	1	1	1	1	goed	3152
352_1_1	209811,4	375645,8	16,88	82,5	0,134	0,0281	16,3	45,04	5,8	25,82	4,9	0,0397	0,073	1	1	1	1	1	goed	3152
354_1_1	209398,2	375667,9	14,36	84,5	0,101	0,0192	15,3	1568	90,2	591,8	8,81	1,67	0,098	1	1	1	1	1	goed	3152
357_1_1	208986,5	375224,2	13,56	93	0,0585	0,0115	12,1	285,8	35	249	33,5	0,264	0,027	1	1	1	1	1	goed	3154
358_1_1	209610,3	375077,1	15,22	82,8	0,074	0,0501	16,7	110,1	4,77	34,17	1,67	0,64	0,036	1	1	1	1	1	goed	2533
361_1_1	209197,3	375761,3	10,05	76,8	0,154	0,0419	9,29	1323	232	582,5	100	0,565	0,059	1	1	1	1	1	goed	3137
379_1_1	209123,1	375585,1	11,73	87,3	0,106	0,0173	10,2	963,4	204	756,8	175	0,649	0,048	1	1	1	1	1	goed	2782
381_1_1	208972,1	375456,1	11,51	97,9	0,0422	0,0164	8,17	140,8	Inf	393,7	NaN	0,73	Inf	1	1		1	1		1429
382_1_1	209050,6	375433,2	12,26	90,2	0,0913	0,0247	12,6	309,6	131	380	187	1,11	0,14	1	1	1	1	1	goed	2390
486_1_1 (Steptrend)	209288,4	375799,4	13,04	**40,5**	0,24	0,0587	10,6	1907	1,76E+04	624,4	5,59E+03	0,00185	0,16		1					473
355_1_1 (Steptrend)	209269,2	375587,1	12,75	77,8	0,116	0,0518	14,7	75,68	88,3	336,5	478	1,35	0,52	1	1		1	1		3152
345_1_1 (Steptrend)	209335,8	375884,9	14,37	77,1	0,268	0,0303	-7,43	1,59E+04	484	686,5	5,9	0,543	0,034	1	1	1	1	1	goed	3152
344_1_1 (Steptrend)	209336,5	375886	9,37	77,4	**0,337**	0,0514	2,07E+05	1,24E+05	1,28E+07	2,32E+05	1,47E+06	1,04E+03	1,00E+05	1						3152
342_1_1 (Steptrend)	209445,6	375915,6	14,21	90	0,13	0,151	126	3592	7,17E+03	1512	543	20,7	31	1	1					91
449_1_1 (Steptrend)	209544,8	376414,4	7,8	95,9	0,0261	0,0243	10,8	19,46	3,87	161,6	1,89	3,77	0,66	1	1	1	1			1550
444_1_1 (Steptrend)	209479,6	376221,6	9,17	95,4	0,052	0,0217	5,74	2491	8,47E+03	1490	4,92E+03	0,00327	0,062	1	1					1045
443_1_1 (Steptrend)	209405,9	376271	8,69	98,5	0,0516	0,0312	4,58	1602	2,86E+03	724,6	573	0,456	0,3	1	1		1	1		1550



Limburg

Legenda

- Statistisch verantwoorde peilbuizen
- Statistisch verantwoord na toevoeging Step trend
- Statistisch onbetrouwbare peilbuizen
- Peilbuizen met onbetrouwbare meetreeksen

0 0,5 1 1,5 2 Kilometer

Geohydrologische analyse Venlo

Resultaten peilbuizen

N

Opdrachtgever: Gemeente Venlo
Projectnummer: 305301

Status: definitief
Datum: 29.05.2013
Schaal: 1:8.000
Formaat: A4
Tekeningnummer: 14
Get: TvdL, RdL

Grontmij
Locaties: Arnhem, Gelderland

Velperweg 26, 6824 BJ Arnhem
Postbus 485, 6800 AL Arnhem
T +31 26 355 83 55F
F +31 26 445 92 81
www.grontmij.nl

© Grontmij Nederland bv Alle rechten voorbehouden

Literatuurlijst

Boeken

Asmuth, J.R. von (2012), *Groundwater System Identification through time series analysis,* doctoraalscriptie, Technische Universiteit Delft, (interne publicatie).

Berendsen, H.J.A. (2005[4]), *Fysisch-geografisch onderzoek,* Koninklijke Van Gorcum: Assen.

Berendsen, H.J.A. (2005[3]), *Landschap in delen, overzicht van de geofactoren,* Koninklijke Van Gorcum: Assen.

Bakker, H. de (1990[2]), *Bodemkunde van Nederland, deel 1 Algemene bodemkunde,* Malmberg: Den Bosch.

Lekahena, E. G. (1978), *Grondwaterkaart van Nederland, voortgangsverslag Slenk van Venlo, kaartblad 52 Oost*, Dienst Grondwaterverkenning.

Locher, W.P. (1998[7]), *Veldbodemkunde,* Hogeschool Van Hall Larenstein (interne publicatie).

Artikelen

Aanvraag vergunning grondwaterwet; Bemaling bouwkuip Venlo, (24-06-2009), Royal Haskoning *(interne publicatie).*

Bakker, D. (2002), *Stroomgebiedsvisie Noordoostelijk Maasterras,* Arcadis Ruimtelijke Ontwikkeling Bv: 's Hertogenbosch.

Hauw, K. van der (2012), *Evaluatie waterproject Ruinen, een praktijktoepassing van interventieanalyse met Menyanthes.* In: Stromingen, 2012.

Janssen,C. (2009), 'Steilranden'. In: *Naturalis,* 2009. http://www.geologievannederland.nl/landschap/landschapsvormen/steilranden (bezocht 08-04-2013)

Meij, T. de., Asmuth, J.R. von (2011), *Correctie van eigen luchtdrukmetingen is noodzakelijk.* In: H2O, 04-2011.

Spee, P. (2003*), Opstuwing grondwater parkeergarage Maasboulevard te Venlo*, Grontmij Nederland Bv (interne publicatie).

Thijs-Spee, P. (2011), *Monitoringsplan inregelperiode* , Grontmij Nederland Bv (interne publicatie).

Internet

http://archief.venlo.nl/ontdek/venlo/Paginas/default.aspx

http://cultuurhistorie.venlo.nl/rijnbeek-venlo-fossaeugeniana.htm

www.dinoloket.nl

www.knmi.nl

http://www.wageningenur.nl/nl/Expertises-Dienstverlening/Onderzoeksinstituten/Alterra/ Faciliteiten-Producten/Software/Grondwaterdynamiek/Methodiek.htm

www.rijkswaterstaat.nl

Mondeling verkregen informatie

De heer P.H. Oomen, bedrijfsleider bronbemalings- en grondboorbedrijf Oomen en Zn, Hakkesstraat 48 Venlo, gesprek met hem gehouden op 22-03-2013.

Medewerkers van de afdeling civiel van gemeente Venlo, Daelweg 10 Venlo, gesprekken gehouden op 26-02-2013.

Ing. I. Leunk, senior onderzoeksmedewerker geohydrologie, KWR, Groningenhaven 7 Nieuwegein, telefonische gesprekken gehouden op 22-04-2013.