

Optimalisatie grondwatermeetnet Waterschap De Maaskant

Optimalisatie grondwatermeetnet Waterschap De Maaskant

Meetnet regio Oost en beschrijving grondwaterstanden periode 1990-2002

**H. Th. L. Massop
J.W.J. van der Gaast**

Alterra-rapport 864

Alterra, Wageningen, 2003

REFERAAT

Massop H. Th. L. en J. W. J. van der Gaast, 2003. *Optimalisatie grondwatermeetnet Waterschap De Maaskant; Meetnet regio Oost en beschrijving grondwaterstanden periode 1990-2002*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 864. 56 blz.; 17 fig.; 11 tab.; 20 ref.

In opdracht van Waterschap De Maaskant is het huidige grondwaterstandsmeetnet voor Regio Oost beoordeeld op representativiteit en zijn de beschikbare grondwaterstandsmeetreeksen geanalyseerd. Aan elk substroomgebied, ingedeeld volgens Strahler, zijn gebiedskenmerken zoals hydrotype, GHG-klasse, bodemtype, landgebruik, wateraanvoer en afstandsklasse toegekend. Deze kenmerken geven informatie mbt de reactie van de grondwaterstand op de neerslag. Per stroomgebied zijn de dominante representatieve eigenschappen bepaald en op basis van overeenkomstige kenmerken samengevoegd tot 43 clusters. Voor de beschikbare peilbuizen is nagegaan of deze in aanmerking komen als representatieve buis voor een cluster. Door het zoeken naar representatieve locaties is het meetnet geoptimaliseerd. Overbodige buizen kunnen vervallen en voor de ontbrekende locaties dient een nieuwe buis te worden geplaatst. De locaties van de peilbuizen van het huidige meetnet zijn aan de hand van een veldbezoek beoordeeld op ligging tov de omgeving en op de opbouw van de ondergrond. De tijdreeksen van de grondwaterstanden zijn onderling gecorreleerd, en over de periode 1990-2002 is de XG3 en GXG bepaald.

Trefwoorden: Grondwatertrap, cluster, grondwatermeetnet, GXG, XG3

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €21,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 864. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2003 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
1.1 Aanleiding	11
1.2 Doelstelling	11
1.3 Begrippenkader	11
1.4 Leeswijzer	12
2 Beschikbare gegevens	15
2.1 Gebiedsbeschrijving	15
2.2 Ruimtelijke informatie	15
2.2.1 Gebiedsindeling	15
2.2.2 Toekenning vlakdekkende informatie	16
2.3 Puntgegevens	20
2.3.1 Huidig meetnet	20
2.3.2 Tijdreeksen	21
2.4 Meteogegevens	22
3 Methode	25
3.1 Inleiding	25
3.2 Clusteren deelgebieden	26
3.3 Karakterisering van de grondwaterdynamiek	27
3.4 Toekennen van de vlakdekkende karakterisering	30
3.5 Bepaling van representatieve locaties	32
3.5.1 Veldbeoordelingen	32
3.5.2 Representativiteit op basis van Hgem, Delta en Omega.	32
3.6 Beschrijving tijdreeksen	33
3.7 Beheersbaar gebied	34
4 Resultaten	35
4.1 Clusterindeling	35
4.2 Parameterkarakterisatie	36
4.3 Representativiteit meetlocaties	38
4.4 Beoordeling bestaand meetnet	41
4.4.1 Veldbeoordeling meetnet	41
4.4.2 Huidige meetnet in relatie tot clusterindeling	43
4.5 Uitbreiding/sanering meetnet	43
4.6 Meetfrequentie	47
4.7 Beschrijving meetperiode.	49
4.7.1 Statistische beoordeling bestaand meetnet	49
4.7.2 XG3	50
4.8 Beheersbaar gebied	51
5 Discussie en aanbeveling	53
Literatuur	55

Woord vooraf

De beoordeling van het meetnet in het veld en de profielbeschrijvingen zijn uitgevoerd door Obbe Boersma van het Centrum Bodem van Alterra.

De beoordeling van de grondwaterstandsgegevens en de verwerking tot tijdstijghoogtelijnen en de bepaling van de XG3 en GXG is uitgevoerd door Han te Beest van het Centrum Water en Klimaat van Alterra.

De auteurs willen Arjan Peters en Louisa Remesal van Merode van het Waterschap de Maaskant bedanken voor de samenwerking en de bijdrage met betrekking tot de rapportage.

Samenvatting

In opdracht van Waterschap De Maaskant is het huidige freatische grondwaterstandsmeetnet beoordeeld.

Voor het bepalen van representatieve locaties voor een freatisch grondwaterstandsmeetnet, zijn allereerst een aantal kenmerken gebiedsdekkend toegekend, nl. hydrotype, GHG-klasse, bodemtype, landgebruik, wateraanvoer en onderlinge afstandsklasse. Verder is gebruik gemaakt van een indeling in substroomgebieden volgens de methode van Strahler. Voor elk substroomgebied zijn de dominante eigenschappen bepaald, vervolgens zijn gebieden met overeenkomstige eigenschappen samengevoegd. Omdat het aantal eenheden nog te groot was zijn gebieden kleiner dan 400 ha samengevoegd met grotere eenheden die qua eigenschappen een grote mate van overeenkomst hebben. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in 43 clusters.

Voor deze 43 gebieden zijn vervolgens per gridcel de volgende eigenschappen toegekend, gemiddelde grondwaterstand (H_{gem}), bergingscoëfficiënt en drainageweerstand. Uit deze gegevens zijn vervolgens schattingen te doen voor de parameter d die iets zegt over de traagheid van het systeem en de parameter w , die de verandering van de grondwaterstand als gevolg van een eenheid verandering in het neerslagoverschot weergeeft. Voor elke cluster is de mediaan voor H_{gem} , d en w bepaald, en vervolgens de locatie binnen de cluster met de geringste afwijking tot deze mediane waarden.

Alle locaties van peilbuizen zijn in het veld bezocht en beoordeeld op hun ligging tov de omgeving, verder is een profielbeschrijving gemaakt. Op basis van het veldonderzoek vallen een aantal buizen af. Voor de overige buizen is nagegaan of deze in aanmerking komen als representatieve locatie voor de cluster. Een deel van het bestaande meetnet komt hiervoor in aanmerking. Omdat er naast het bestaande meetnet nog andere peilbuizen binnen het onderzoeksgebied liggen, is ook voor deze buizen nagegaan of deze in aanmerking komen. Voor de resterende clusters dient een nieuwe peilbuis geplaatst te worden. Omdat sommige gebiedseigenschappen onvoldoende in het meetnet tot uiting komen zijn enkele aanvullende meetlocaties voorgesteld.

De beschikbare tijdreeksen voor de peilbuizen zijn onderling gecorreleerd. Overwegend worden hogere correlatiecoëfficiënten gevonden. Voor de te handhaven peilbuizen uit het huidige meetnet is een buis geselecteerd met de hoogste correlatiecoëfficiënt. Tussen deze buizen is de relatie vastgesteld. Voor de tijdreeksen is voor elk meetjaar, indien voldoende tweemaandelijks metingen (> 19) beschikbaar zijn, de XG3 vastgesteld. Als de meetreeks voldoende lang is, is tevens de GXG bepaald.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Vanouds was de taak van het waterschap vooral gericht op het beheer van het oppervlaktewater. In toenemende mate krijgen waterschappen te maken met taken op het gebied van het beheer van grondwater. Daardoor ontstaat bij de waterbeheerders behoefte aan kennis over de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater bij de uitoefening van de beheerstaak. Kennis over deze relatie is bruikbaar bij het voeren van een gericht peilbeheer. Om deze kennis te vergaren is een meetnet van grond- en oppervlaktewater noodzakelijk.

Door IWACO (1997) is daarvoor een voorlopig grondwaterstandmeetnet opgesteld. Dit meetnet bestaat uit 47 peilbuizen, en levert informatie over het grondwater in het Bovengebied (Regio Oost) van het waterschap. De beschikbare gegevens zijn voor de periode tot 1997 geanalyseerd in genoemd rapport. Sinds die tijd zijn er een aantal ontwikkelingen geweest, o.a. uitval van een aantal peilbuizen, die om een aanvullend onderzoek vragen. Daarnaast vraagt de toekomstige samenvoeging met waterschap De Aa om afstemming tussen de waterschappen. Voor dit waterschap is in 2000 een onderzoek uitgevoerd naar de optimalisatie van meetlocaties voor grondwaterstanden (Bierkens en Massop, 2000).

1.2 Doelstelling

De doelstelling van het project is het leveren van een bijdrage aan de beschrijving van het regionale watersysteem aan de hand van het bestaande freatische grondwaterstandsmmeetnet. Dit wordt gedaan door de beoordeling van de geschiktheid van de huidige meetlocaties en de representativiteit van het bestaande grondwatermeetnet, alsmede het adviseren van aanvullende meetlocates voor het Bovengebied. De beschikbare data sinds 1990 worden gebruikt voor het beschrijven van variatie van de freatische grondwaterstand in de tijd.

1.3 Begrippenkader

In dit onderzoek wordt de freatische grondwaterstand beschreven en gekarakteriseerd op puntlocaties. De karakterisering van de grondwaterstand is grotendeels gebaseerd op de grondwatertrap (Gt) en een aantal daarmee samenhangende gegevens. Dit heeft tot gevolg dat er gebruik wordt gemaakt van een aantal afkortingen en begrippen die specifiek zijn voor de karakterisering van de grondwaterstand en de Gt. De in dit rapport gebruikte afkortingen en begrippen worden hier kort toegelicht:

Grondwaterstand is de stijghoogte van het freatische grondwater ten opzichte van het maaiveld, gemeten in een boorgat of een peilbuis met ondiepe filterdiepte (in het algemeen minder dan 5 meter onder het maaiveld);

HG3 respectievelijk *LG3* zijn het gemiddelde van de drie hoogste respectievelijk laagste grondwaterstanden die in een hydrologisch jaar (1 april t/m 31 maart) worden gemeten, uitgaande van een halfmaandelijke meetfrequentie;

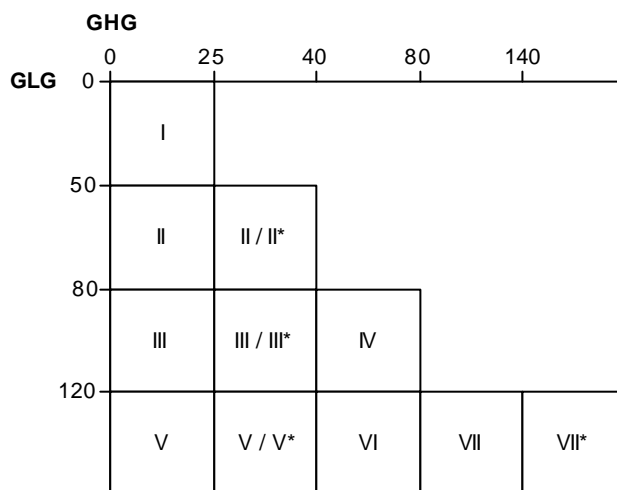
XG3 staat in dit rapport voor de begrippen *HG3* en *LG3* samen.

GHG (Gemiddeld Hoogste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de *HG3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden;

GLG (Gemiddeld Laagste Grondwaterstand) is gedefinieerd als het gemiddelde van de *LG3* over een aaneengesloten periode van tenminste acht jaar waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden;

GxG staat in dit rapport voor de begrippen *GHG* en *GLG* samen.

De *Gt* (Grondwatertrap) is een typische combinatie van *GHG*- en *GLG*-klassen welke volgens een oude indeling is onderverdeeld op de volgende manier:



1.4 Leeswijzer

Het rapport begint in hoofdstuk 2 met een korte gebiedsbeschrijving, gevolgd door een beschrijving van de beschikbare ruimtelijke informatie, het meetnet met de tijdreeksen en de meteorologische gegevens. In hoofdstuk 3 wordt de methode beschreven volgens welke het gebied wordt ingedeeld in deelgebieden, hier clusters genoemd, op basis van een aantal ruimtelijke eigenschappen. Zowel binnen het gehele onderzoeksgebied als binnen de clusters is een zekere variatie aanwezig met betrekking tot de grondwaterdynamiek, beschreven wordt hoe deze dynamiek kan worden gekarakteriseerd en hoe deze vervolgens ruimtelijk is toegekend. De wijze waarop de meetlocaties in het veld zijn beoordeeld evenals hoe de gemiddelde eigenschappen per cluster zijn bepaald wordt beschreven, verder is de wijze waarop de meetreeksen worden beoordeeld beschreven. In hoofdstuk 4 komen de resultaten van de beschreven methode aan de orde. Het resultaat is een kaart met gebieden met dezelfde gemiddelde ruimtelijke eigenschappen. Ook wordt ingegaan op de verdeling

van eigenschappen over het studiegebied en over de onderscheiden clusters. Daarnaast wordt nagegaan in welke mate het huidige meetnet representatief is voor de huidige clusterindeling en wordt aangegeven welke locaties niet geschikt zijn op basis van hun ligging in de omgeving. Combinatie van beide analyses geeft de hiaten in het meetnet, welk wordt beschreven in hoofdstuk 4. In hoofdstuk 5 volgt een korte discussie.

2 Beschikbare gegevens

2.1 Gebiedsbeschrijving

Het onderzoek heeft betrekking op een deel van het Waterschap De Maaskant. Waterschap De Maaskant is in 1921 opgericht, en het beheersgebied van het waterschap heeft een oppervlak van ca 80.000 ha. Het omvat het gebied langs de Maas, vanaf Waalwijk tot aan de Limburgse grens. Binnen het waterschap worden drie watersystemen onderscheiden, regio West (bemalingsgebieden Gansoyen en Groenendaal incl. het stroomgebied van de Dieze), regio Midden (het bemalingsgebied van Gewande) en regio Oost (gebieden de Raam en de Sambeeksche Uitwatering). De watersystemen zijn onderverdeeld in zogenaamde stroomgebieden. Dit onderzoek heeft betrekking op Regio Oost, deze regio is onderverdeeld in 10 stroomgebieden. Lozing vindt plaats op de Maas, via gemaal Van Sasse, gemaal Sluisgraaf en de stuw in de Sambeekse Uitwatering, daarnaast zijn er een aantal vrij afwaterende gebieden. Wateraanvoer is mogelijk vanuit de Maas via de Peelkanalen in Noord-Limburg en Oost-Brabant. Op twee locaties zijn grondwaterwinningen gelokaliseerd, nl. Vierlingsbeek en Boxmeer.

2.2 Ruimtelijke informatie

2.2.1 Gebiedsindeling

Naast de indeling in stroomgebieden is er een fijnere verdeling van Regio Oost volgens de methode Strahler beschikbaar, verder is er nog een meer verfijnde indeling in afwateringseenheden. De gebiedsindeling volgens de methode van Strahler¹ deelt de stroomgebieden volgens een hiërarchische benadering verder op. Voor dit onderzoek zijn de 2^e orde gebieden als uitgangspunt genomen. Echter er liggen een aantal gebieden binnen Regio Oost, die niet kunnen worden gerekend tot de zgn. 2^e orde gebieden. Deze gebieden zijn 1^e orde gebieden. Om een gebiedsdekkende indeling te krijgen voor Regio Oost zijn verder een aantal gebieden toegevoegd. Enkele kleine gebieden, kleiner dan 20 ha zijn toegevoegd aan een naastliggend deelgebied, dat tot hetzelfde stroomgebied behoort. Totaal worden 83 deelgebieden onderscheiden. In figuur 1 zijn de onderscheiden stroomgebieden en deelgebieden weergegeven.

¹ Door Strahler is een hiërarchische indeling in stroomgebieden beschreven. De fijnste indeling zijn de 1^e orde gebieden. Meerdere 1^e orde gebieden vormen samen een 2^e orde gebied. Deze samenvoeging kan verder worden doorgevoerd naar nog hogere orde gebieden. In Regio Oost worden 2^e t/m 5^e orde gebieden onderscheiden.

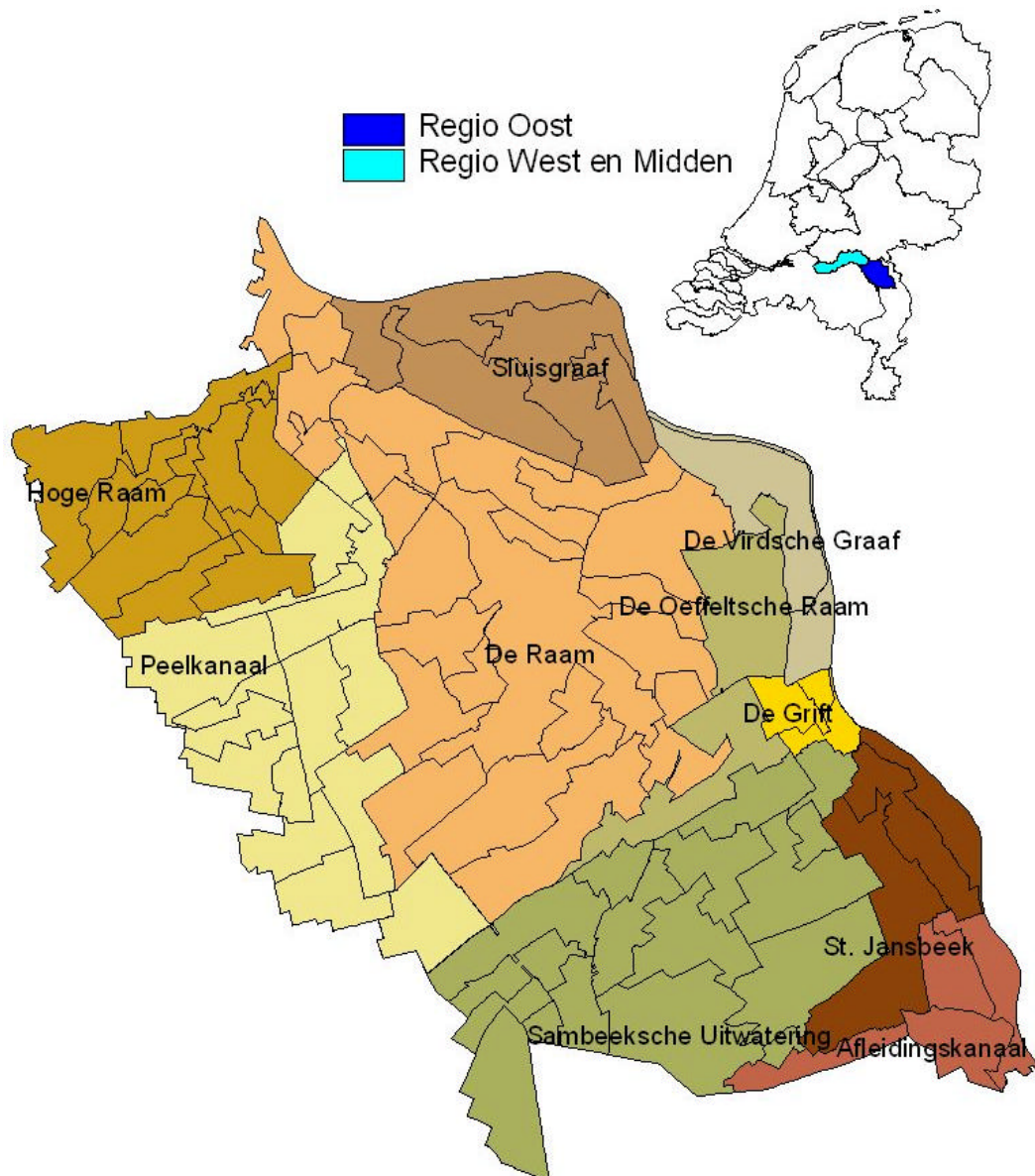


Fig. 1 Indeling in stroomgebieden en deelgebieden

2.2.2 Toekenning vlakdekkende informatie

Voor het onderzoeksgebied zijn een aantal eigenschappen bepaald, waarvan mag worden aangenomen dat ze sterk gerelateerd zijn aan het dynamische gedrag van het grondwater.

Topografie

De maaiveldhoogten zijn ontleend aan het Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN), dit bestand heeft een resolutie van 25*25 m. Het bovengebied wordt aan de oost- en noordzijde begrensd door de rivier de Maas. Het gebied helt

danook zowel van west naar oost (Maasdal), als van zuid naar noord. De maaiveldhoogten variëren van 31.98 tot 6.71 m+NAP.

Hydrotype

Verschillen in de geologische opbouw van de ondergrond, zijn te vertalen in verschillen in hydraulische parameters. Dergelijke parameters karakteriseren de relatie grondwater-oppervlaktewater. De indeling in hydrotypen karakteriseert verschillen in opbouw van de ondergrond. Het onderzoeksgebied is qua opbouw van de ondergrond op te splitsen in vier hydrotypen; nl.:

- Open profiel;
- Dekzand profiel;
- Betuwe-stroomruggonden;
- Singraven-beekdalen.

In de westelijk deel van het gebied komt het Dekzand profiel voor, dit bestaat uit fijnzandige afzettingen die het diepere watervoerende pakket afdekken, de waterlopen liggen in de fijnzandige afzettingen. In oostelijke richting worden de dekzandafzettingen steeds dunner en vinden we het Open profiel, de sloten liggen in het grofzandige watervoerende pakket. In het benedenstroomse deel van de Graafsche Raam zijn in het Holocene tijdvak minerale afzettingen gevormd, behorende tot de Formatie van Singraven, verder komen langs de Maas zogenaamde stroomruggonden voor.

Tabel 1 Hydrotypen

Hydrotype	ha	Percentage
Betuwe-stroomruggonden	3047	7.6
Dekzand profiel	11656	29.0
Open profiel	25094	62.4
Singraven-beekdalen	412	1.0
Totaal	40209	100.0

Het grootste deel van het studiegebied heeft een zgn. Open profiel (tabel 1), daarnaast behoort een aanzienlijk deel tot het Dekzand profiel. De eenheid Singraven-beekdalen beslaat slechts een beperkte oppervlakte van 1%.

GHG-klasse

Recent is voor Noord-Brabant de grondwatertrappenkaart geactualiseerd (Finke et al, 2002). Door een groot aantal gerichte opnamen in boorgaten en stambuizen is een indruk verkregen van de grondwaterstand op een aantal puntlocaties. Voor een aantal stambuizen is de relatie bepaald tussen de stand op een meetdatum en de klimaatrepresentatieve GHG (via tijdreeksmodellering). Deze relatie is vervolgens gebruikt om de GHG voor de gerichte opnamepunten te berekenen. Door gebruik te maken van ruimtelijke relaties van de puntgegevens met de omgeving, bijv. AHN, afstand tot sloot, zijn gebiedsdekkende kaarten gemaakt. Voor dit onderzoek is deze geactualiseerde GHG geclassificeerd, in drie klassen

- A: GHG ondieper dan 40 cm-mv;
 B: GHG 40-80 cm-mv;
 C: GHG dieper dan 80 cm-mv.

Tabel 2 GHG

GHG	Klasse	ha	Percentage
< 40	A	1198	3.4
40 - 80	B	14981	42.2
> 80 cm-mv	C	19361	54.5
Totaal		35541	100.0

In het onderzoeksgebied komen overwegend diepere grondwaterstanden voor. Gronden met een GHG < 40 cm-mv beslaan slechts een beperkte oppervlakte van 3,4% (tabel 2). Naast de GHG zijn in tabel 3 de grondwatertrappen weergegeven.

Tabel 3 Grondwatertrappen

GT	ha	Percentage
Ia	46.5	0.1
Ic	1.00	0.0
IIa	63.19	0.2
IIb	38.88	0.1
IIc	38.94	0.1
IIIa	137.50	0.4
IIIb	479.25	1.3
IVu	2292.94	6.5
IVc	279.13	0.8
Vao	63.38	0.2
Vad	29.56	0.1
Vbo	315.63	0.9
Vbd	23.31	0.1
VIo	10816.38	30.4
VIId	1832.31	5.2
VIIo	6646.06	18.7
VIIId	6578.56	18.5
VIIIo	48.44	0.1
VIIIId	5808.50	16.3
Totaal	35539.44	100.0

Uit tabel 3 blijkt dat Gt VI en VII samen ongeveer 90 % van het oppervlak vertegenwoordigen.

Bodemtype

Op basis van de digitale bodemkaart van Nederland (schaal 1 : 50000) is het gebied ingedeeld in 21 bodemfysische eenheden, PAWN-eenheden genaamd (Wösten et al., 1988).

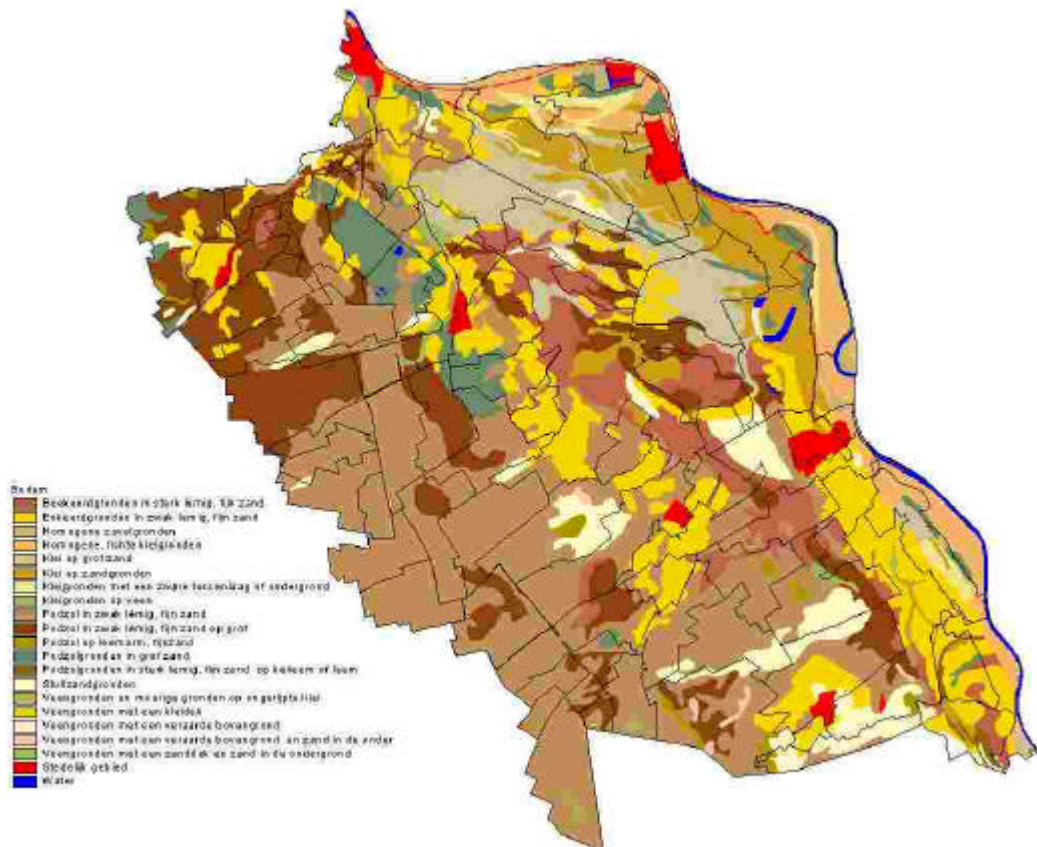


Fig. 2 Bodemeenheden

Figuur 2 toont een kaart met de bodemeenheden (paw). Deze zijn verder samengevoegd tot 4 klassen, die op basis van bodemfysische eigenschappen en hydrologie van elkaar verschillen, nl.: Beekerdgronden, Enkeerdgronden, Klei en Leemgronden en Podzolgronden. In het onderzoeksgebied komen 2 deelgebieden voor die bijna geheel tot het stedelijk gebied behoren.

Landgebruik

Uit het LGN4 is het landgebruik af te leiden, de 29 klassen die hierin voorkomen zijn samengevoegd tot 6 klassen (aanslag 1 en tabel 4). Grasland en maïslaan beslaan ruim de helft van de oppervlakte.

Tabel 4 Landgebruik

LGN4_KLASS	ha	Percentage
Bos	4216	10.4
Bouwland	7034	17.4
Grasland	12232	30.2
Maïslaan	9404	23.2
Natuur	487	1.2
Stedelijk	6287	15.5
Water	793	2.0
Totaal	40454	100.0

Wateraanvoer

In een beperkt gebied is wateraanvoer mogelijk vanuit de Maas. In gebieden met wateraanvoer is de grondwaterstand beter beheersbaar dan daarbuiten. Daarom is dit kenmerk voor de verdere analyse meegenomen.

2.3 Puntgegevens

2.3.1 Huidig meetnet

In een voorgaand onderzoek (IWACO, 1997) is een lijst van 47 grondwaterstandbuizen beschreven en beoordeeld. Voor de beschrijving van het huidige meetnet is eveneens uitgegaan van deze lijst. In aanhangsel 2 zijn de belangrijkste gegevens mbt tot de locatie weergegeven. In figuur 3 zijn de locaties ruimtelijk weergegeven.

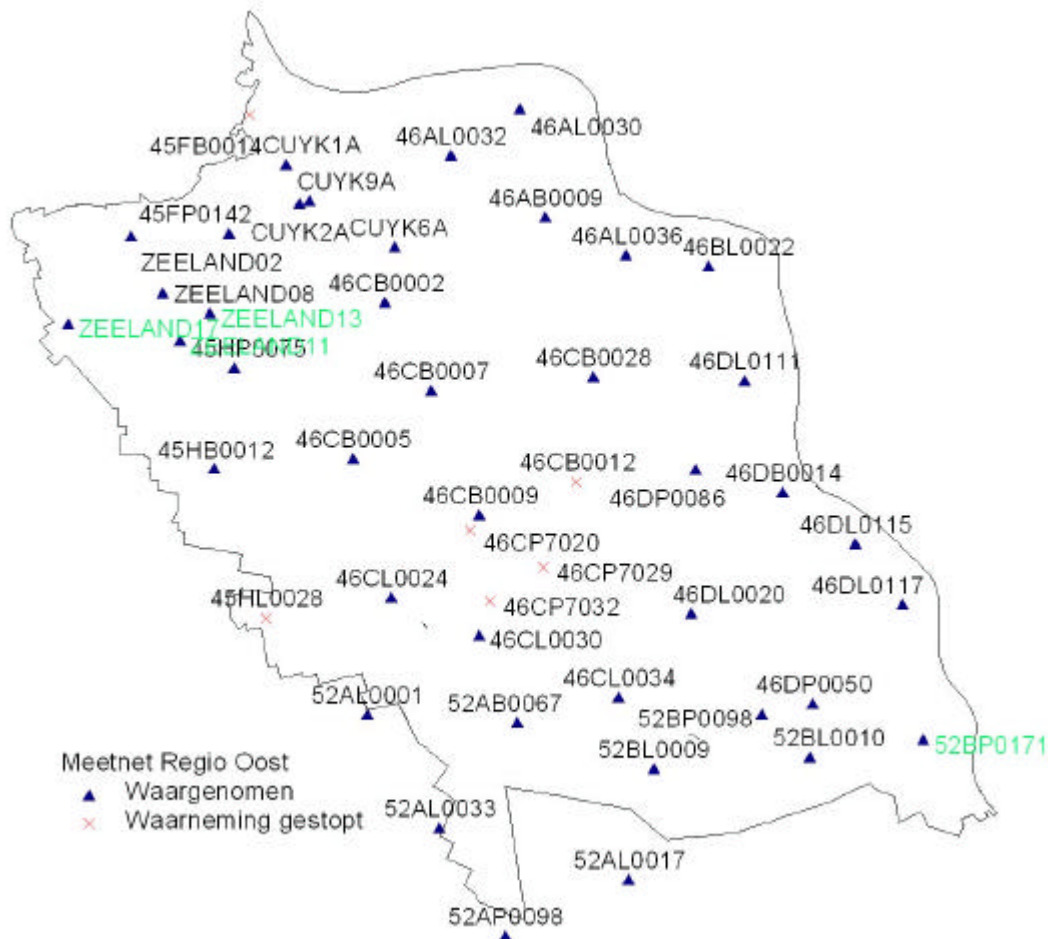


Fig. 3 Locatie van de grondwaterstandsbuizen

De volgende peilbuizen van het meetnet worden niet meer waargenomen:

45FB0014 tot 6-14-1997,
45HL0028 tot 4-14-1997,
46CB0028 tot 1-14-2001,
46CP7020 tot 4-30-2001,
46CP7029 tot 4-30-2001,
46CP7032 tot 4-30-2001.

Het meetnet is bedoeld om de freatische grondwaterstand te meten. Om de freatische grondwaterstand goed te kunnen meten, dient het filter nabij het freatisch vlak te zijn geïnstalleerd. Het meetnet van landbouwbuizen van NITG heeft veelal een filter tussen maaiveld en 5,0 m-mv en is ingericht ten behoeve van de meting van de freatische grondwaterstand. De bovenkant van de in de studie onderzochte filters (aanhangel 2) varieert van 1,5 tot 9,5 m-mv. De diepe filters hebben meestal betrekking op brandputten. Indien zich boven het filter slecht doorlatend materiaal bevindt, zoals klei, leem of sterk slibhoudend zand, dan is het mogelijk dat de gemeten stijghoogte in het filter afwijkt van de grondwaterstand ter plaatse. In het gebied met hydrotype open profiel is dit niet het geval, in het geval van Singravenbeekdalen en Betuwe-stroomruggronden kan dit aspect een rol spelen. Bij het veldbezoek wordt daarvoor oa. de bodemopbouw ter plaatse van de peilbuizen beoordeeld. Bij het plaatsen van nieuwe buizen binnen deze geologische formaties zal de filterstelling geschieden op basis van een goede boorbeschrijving.

De filterlengte bij landbouwbuizen is overwegend 0,5 of 1 m. Vooral de brandputten hebben logischerwijze lange filters, tot 17,5 m. Ingeval zich ter hoogte van het filter een scheidende laagje bevindt en de potentiaal onder en boven de laag verschilt, dan is onduidelijk of de goede stijghoogte wordt gemeten. De geologische opbouw van de ondergrond van het onderzoeksgebied geeft geen aanleiding te veronderstellen dat ter hoogte van het filter scheidende lagen voorkomen.

2.3.2 Tijdreeksen

De voor dit onderzoek gebruikte grondwaterstandsmetreeksen komen uit DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond), de databank van NITG-TNO. De meetgegevens van de buizen (aanhangel 2) zijn opgevraagd. Van alle buizen zijn de meetreeksen weergegeven in een tijdstijghoogte grafiek en vervolgens visueel beoordeeld. Indien de grafiek een extreme sprong(en) vertoont (die lijkt op verplaatsingen van de buis of meet- of invoerfouten), zijn de desbetreffende metingen verwijderd voor de verdere analyse. In aanhangsel 3 zijn de tijdstijghoogtelijnen weergegeven. In figuur 4 is een voorbeeld gegeven van buis 46AL0032 voor en na correctie.

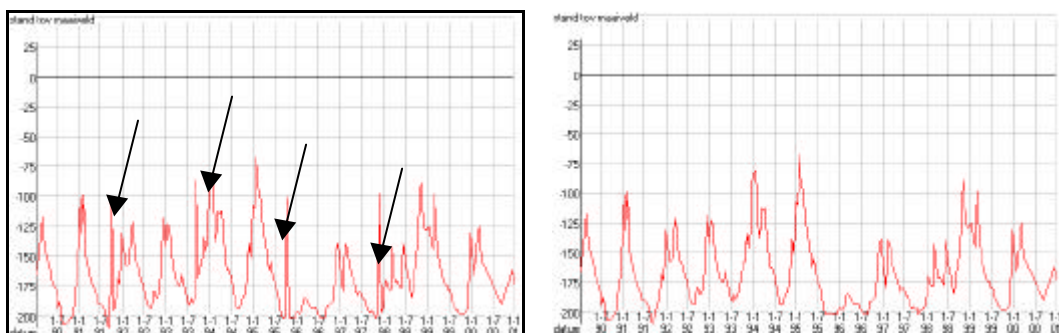


Fig 4 Buis 46 AL0032, ongecontroleerd data (links), aangepaste data (rechts)

De tijdstijghoogtelijnen geven het verloop van de grondwaterstand op meerdere locaties binnen de Regio Oost weer, in fig. 4 zijn de droge jaren 1996-1997 te herkennen.

2.4 Meteogegevens

Voor elk stroomgebied is het meest representatieve neerslagstation vastgesteld (Witteveen en Bos, 2002.). Voor het bovengebied zijn dit de neerslagstations Mill, St. Anthonis en Volkel. Voor station Volkel is ook de referentiegewasverdamping bekend sinds 1993.

Tabel 5 Jaarlijkse neerslag en referentiegewasverdamping

Jaar	Mill	St. Anthonis	Volkel	ErVolkel
1990	707.8	660.6	702.3	
1991	651.0	644.5	626.6	
1992	813.3	776.9	820.2	
1993	879.3	850.5	793.7	545.2
1994	942.9	801.9	860.3	561.1
1995	701.0	716.1	689.1	608.5
1996	631.9	614.0	690.0	540.0
1997	596.9	616.2	630.3	593.0
1998	1040.7	1027.2	1144.4	519.7
1999	887.9	821.2	870.6	608.8
2000	916.1	861.8	982.4	555.5
2001	930.1	816.2	970.8	589.0
2002	914.7	878.4	973.8	568.8
Gemiddeld	816.4	775.8	827.3	569.0
Normaal 1971-2000	767.8	763.9	744.3	

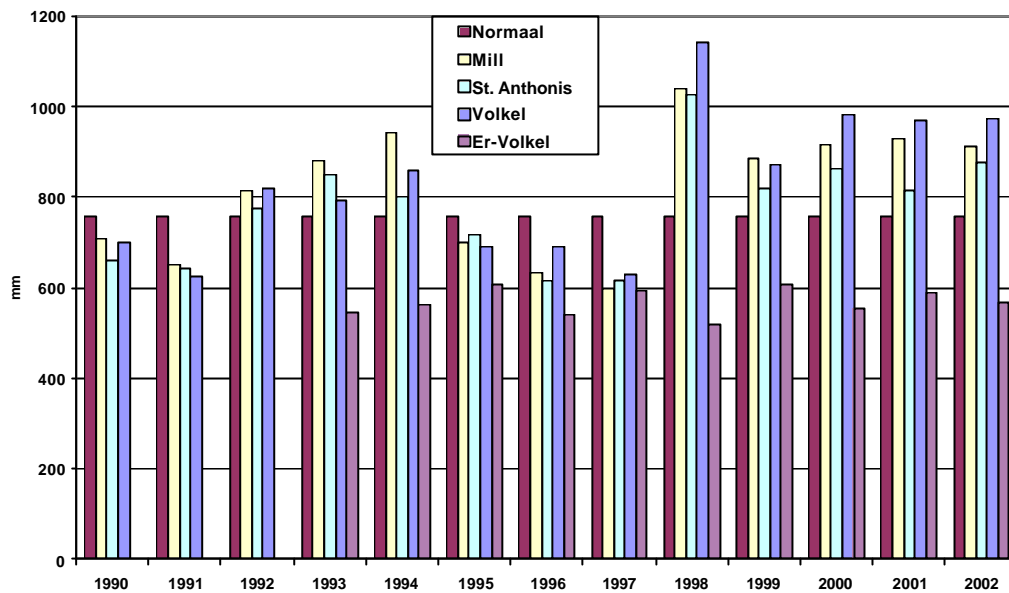


Fig 5 Jaarlijkse neerslag en referentiegwasverdamping voor de neerslagstations Mill, St. Anthonis, Volkel en de referentiegwasverdamping voor Volkel

In tabel 5 en figuur 5 zijn de jaarlijkse neerslaghoeveelheden voor de periode 1990-2002 weergegeven. Gemiddeld, over de drie neerslagstations, valt er over de gehele periode 806 mm neerslag per jaar. De Normaal over de periode 1971-2000, berekent als gemiddelde voor de drie stations, bedraagt 758,7 mm. Gemiddeld was de periode natter dan normaal. Vooral de periode 1998-2002 is natter dan gemiddeld, terwijl de periode 1995-1997 droger is dan gemiddeld. De gemiddelde referentiegwasverdamping over de periode bedraagt 569 mm. De variatie in de jaarlijkse verdamping is veel geringer dan voor de neerslag. De gemiddelde neerslag in het bovengebied van het waterschap is volgens de klimaatatlas (Heijboer en Nellestijn, 2002) groter dan in het benedengebied, terwijl de verdamping weinig verschilt.

3 Methode

3.1 Inleiding

Een grondwaterstandmeetnet bestaat uit een aantal meetlocaties waar gegevens worden verzameld, op basis waarvan uitspraken kunnen worden gedaan voor de locatie als ook voor het gebied waarvoor het meetnet is ingericht.

Er kunnen verschillende typen meetnetten worden onderscheiden, door NITG worden drie typen freatische meetnetten onderscheiden (Van Geer en Lambert, 1990), nl.:

- Primair freatisch meetnet, doelstelling is het vaststellen van langjarige trends in de freatische grondwaterstand en het dienen als hulpmiddel bij de belangenafweging van voorgenomen beleid en het evalueren van beleidsmaatregelen.
- Secundaire freatische meetnetten hebben tot doel het ondersteunen van het operationele waterbeheer (bijv. stuwbeheer), of zijn aanvullende regionale verdichtingen van het basismetnet. Deze meetnetten hebben een permanent karakter.
- Tertiaire freatische meetnetten, hebben tot doel de invloed van een bepaalde ingreep of groep van ingrepen te onderzoeken, bijv. met het oog op schade. Het zijn vaak tijdelijke meetnetten.

Het meetnet van waterschap Maaskant kan voornamelijk worden geclassificeerd als een primair freatisch meetnet, hoewel het meetnet in de toekomst ook als ondersteuning kan dienen bij het operationele peilbeheer.

Belangrijke doelen mbt het freatische meetnet zijn:

- beschrijving van het grondwatervlak;
- beschrijving van de grondwaterdynamiek;
- monitoring van verandering in de waterhuishouding;
- representatief voor grondwaterafhankelijk peilbeheer.

Voor de beoordeling van het meetnet is gekeken of het meetnet goed verdeeld ligt over het beheersgebied van het waterschap, hiervoor zijn deelgebieden geclusterd op basis van overeenkomsten in karteerbare kenmerken. Vervolgens is binnen de clusters gezocht naar representatieve eigenschappen mbt tot de reactie van de grondwaterstand op bijv. neerslag. In principe heeft elke cluster een gemiddelde set van eigenschappen. Het bestaande meetnet wordt beoordeeld en vergeleken met de gemiddelde clustereigenschappen. Daarnaast wordt nagegaan of de totale variatie aan eigenschappen binnen het beschouwde gebied ook tot uiting komt in de eigenschappen van het meetnet. Naast deze voorwaarden aan het meetnet kunnen op specifieke locaties aanvullende buizen geplaatst worden, indien hier nog geen meetlocatie is gelegen. Hierbij kan gedacht worden aan bijv:

- beekdal (Formatie van Singraven) door de geringe oppervlakte en het langgerekte karakter van een beekdal worden mogelijk geen locaties geselecteerd binnen deze eenheid;
- raai op de Maas om inzicht te krijgen in de grootte van het beïnvloedingsgebied van de rivier;
- buizen nabij waterlopen, ivm meting relatie grondwaterstand-oppervlaktewaterstand.

3.2 Clusteren deelgebieden

Voor het gehele onderzoeksgebied zijn de eigenschappen met uitzondering van de AHN, die beschreven zijn in §2.22, toegekend. De dominante (meest voorkomende eigenschap) is vervolgens aan elk onderscheiden gebied toegekend. Naast deze eigenschappen is voor elk gebied ook de afstand berekend tussen de coördinaten van het zwaartepunt van het deelgebied en een locatie net ten noorden van Regio Oost. Vervolgens zijn afstandsklassen gedefinieerd met een interval van 12.5 kilometer.

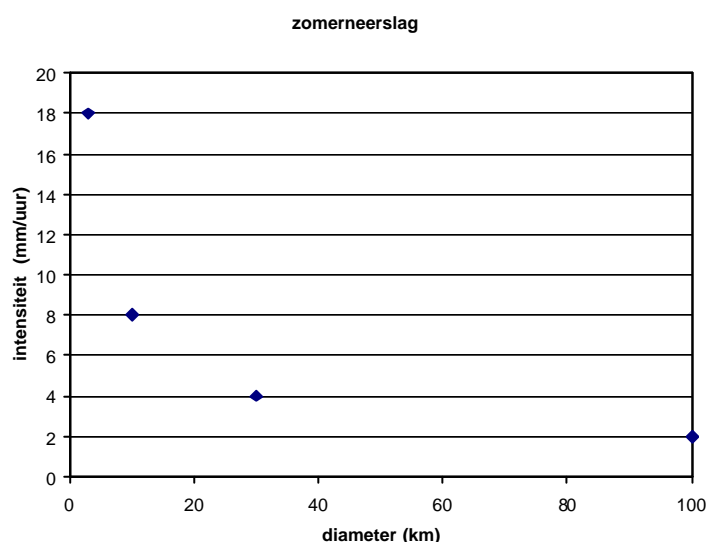


Fig. 6 De relatie tussen de diameter en de gemiddelde intensiteit van een bui in de zomer (Bron: KNMI)

Deze afstandsklasse wordt ook meegenomen als eigenschap, om te garanderen dat bij het clusteren rekening gehouden wordt met de afstand tussen de deelgebieden. Immers, twee gebieden kunnen wat betreft hun hydrologische eigenschappen en landgebruik wel hetzelfde zijn, maar zo ver uit elkaar liggen dat het in het ene gebied zwaar kan regenen en in het ander droog is. Het kan dan bijv. niet wenselijk zijn om oppervlaktewaterpeilen in beide gebieden op basis van dezelfde grondwaterstandsmetingen te sturen. Figuur 6 (KNMI, schriftelijke mededeling) toont de diameter van een zomerse bui als functie van de gemiddelde intensiteit. Op basis hiervan is gekozen voor een interval van 12.5 kilometer, wat betekent dat buien met

een intensiteit kleiner dan 8 mm per uur in het algemeen binnen de gehele cluster tot neerslag zullen leiden. Weinig uitgebreide en zeer hevige buien zouden dus kunnen leiden tot grote verschillen in neerslag binnen een cluster. Dergelijke buien zijn echter van korte duur en hebben een zeer kleine kans van voorkomen.

Aan de onderscheiden deelgebieden zijn dus de gemiddelde eigenschappen van het deelgebied toegekend: nl:

- Hydrotype
- GHG-klasse
- Bodentype
- Landgebruik
- WATERAANVOER
- Afstandsklasse

Vervolgens worden gebieden met dezelfde eigenschappen gecombineerd. Gestreefd wordt naar een aantal van ca 45 clusters met overeenkomstige eigenschappen. Als het aantal clusters na samenvoeging te groot is, worden clusters die een kleine oppervlakte vertegenwoordigen samengevoegd met een andere cluster die qua eigenschappen veel overeenkomsten vertoont.

3.3 Karakterisering van de grondwaterdynamiek

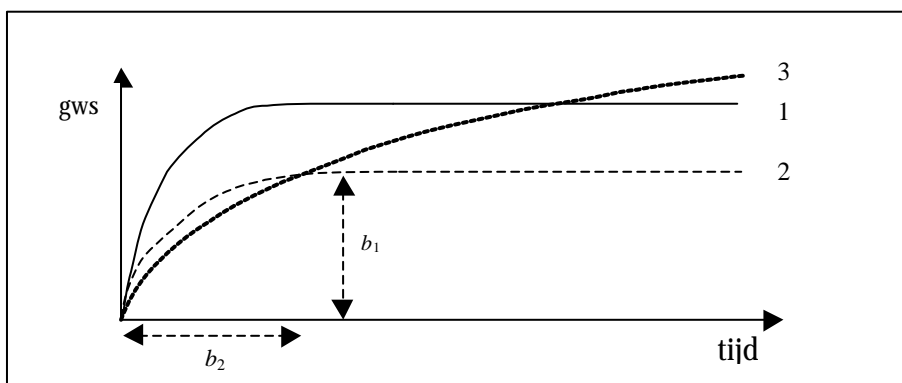
In deze studie is de volgende definitie voor representatieve locatie gehanteerd:

een locatie is representatief voor een cluster van deelgebieden als de eigenschappen ter plaatse van de peilbuis sterk overeenkomen met de gemiddelde eigenschappen van de cluster.

In tegenstelling tot waterschap de Aa, waarbij de eigenschappen van het gebied dat als beheersbaar kan worden beschouwd, bepalend zijn voor de eigenschappen van de representatieve locatie, doen voor deze studie alle locaties mee. In deze studie is bij het vaststellen van de representatieve locaties gekozen voor een pragmatische methode. Deze is gebaseerd op de veronderstelling dat een locatie die representatief is voor een groter gebied (i.c. cluster) een voor dat gebied karakteristiek (=gemiddeld) grondwaterstandsverloop heeft. Immers, een meting van de grondwaterstand op een dergelijke locatie zal dan ook informatief zijn voor de grondwaterstanden elders in het gebied.

Voor een grondwaterstand die gedurende het jaar varieert door het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) is het voor een dergelijke locatie niet alleen van belang dat de gemiddelde grondwaterstand representatief is, maar ook dat er op die locatie sprake is van een representatieve grondwaterdynamiek. Immers, als op de representatieve locatie de grondwaterstand een maximale of minimale waarde bereikt, dan moet dit ook zoveel mogelijk het geval zijn op de overige locaties binnen de cluster.

Een goede maat voor de dynamiek van een grondwaterstand die voornamelijk afhankelijk is van het neerslagoverschot is de responskarakteristiek (zie ook Lankester en Maas, 1996). Een grondwaterstand reageert op een bepaalde manier op een neerslaggebeurtenis. Figuur 7 laat dit zien. Stel dat we te maken hebben met een vlakke grondwaterspiegel. Op $t=0$ gaat het regenen met een constante intensiteit van 1 mm per tijdseenheid. We meten hoe de grondwaterstand naar zijn eindwaarde stijgt. De parameter b_1 geeft aan hoe hoog de grondwaterstand uiteindelijk zal stijgen. Deze is voor gebieden met grotere drainageweerstanden groter dan gebieden met kleine drainageweerstanden. De parameter b_2 geeft de traagheid van het systeem weer. Hoe groter de berging of hoe groter de drainageweerstand, des te trager het systeem. Onderstaande figuur laat drie schematische reactiecurven zien. Curve 1 zou kunnen gelden voor een goed gedraineerde kleigrond, curve 2 voor een goed gedraineerde zandgrond en curve 3 voor een open zandgrond ver van een waterloop (bijv. dekzandrug met GT VII).



Figuur 7 Responskarakteristieken van de grondwaterstand op het neerslagoverschot

Dus naast de gemiddelde grondwaterstand h_{gem} kan de mate van gelijkheid van grondwaterregime worden afgeleid uit de parameters b_1 en b_2 . De meest representatieve locatie binnen de cluster is dus die locatie waarvoor geldt dat de h_{gem} , b_1 en b_2 het minst afwijken van de waarden in alle andere locaties binnen de cluster. De locatie waarvoor dit geldt, is die locatie waar h_{gem} , b_1 en b_2 gelijk zijn aan clustergemiddelde waarden van de h_{gem} , b_1 en b_2 .

De grondwaterstand als functie van het neerslagoverschot op een locatie kan meestal goed worden gemodelleerd met het volgende model (Knotters en Bierkens, 1998):

$$h_t = c + \mathbf{d}(h_{t-\Delta t} - c) + \mathbf{w}P_t \quad (1)$$

Hierbij is h_t de grondwaterstand op tijdstip t (cm-mv), c is de basisgrondwaterstand (cm-mv) (dat is de grondwaterstand die zou optreden als het neerslagoverschot voor langere tijd gelijk aan 0 zou zijn²), t de tijd (dagen), Δt de discrete tijdstap (dagen) en P_t het cumulatieve neerslagoverschot (cm) over tijdstap $[t - \Delta t, t]$. De parameters \mathbf{d} en

² Als er geen kwel of infiltratie is dan is c gelijk aan de oppervlaktewaterstand. In geval van kwel is c groter dan de oppervlaktewaterstand, in geval van infiltratie kleiner (zie vergelijking 3).

w bepalen de grondwaterdynamiek. Deze parameters zijn één op één verwant met de parameters b_1 en b_2 van de responsiekarakteristiek (Bierkens e.a., 1998; Knotters en Bierkens, 1999):

$$\begin{aligned} \mathbf{d} &= \exp\left(\frac{-3\Delta t}{b_2}\right) & \Leftrightarrow & \quad b_2 = \frac{-3\Delta t}{\ln(\mathbf{d})} \\ \mathbf{w} &= b_1 \left[1 - \exp\left(\frac{-3\Delta t}{b_2}\right) \right] & \Leftrightarrow & \quad b_1 = \frac{\mathbf{w}}{1 - \mathbf{d}} \end{aligned} \quad (2)$$

Dus in plaats van te werken met b_1 en b_2 om een representatieve locatie te vinden zouden we ook kunnen werken met \mathbf{d} en \mathbf{w} . Wij hebben voor de laatste optie gekozen omdat deze parameters, die uit de tijdreeksanalyse afkomstig zijn, meer herkenbaar zijn.

In conclusie: *de representatieve locatie binnen een cluster van gebieden is die locatie binnen het gebied van de cluster waarvoor geldt dat de waarde van h_{gem} , \mathbf{d} en \mathbf{w} het dichtst ligt bij de gemiddelde h_{gem} , \mathbf{d} en \mathbf{w} van alle locaties binnen de cluster.*

Overigens geldt voor model (1) dat de parameters \mathbf{d} en \mathbf{w} niet alleen de respons van de grondwaterstand op het neerslagoverschot bepalen, maar ook de respons op een verandering van het oppervlaktewaterpeil. Dit kan als volgt worden afgeleid. Door een waterbalans van de bodem en het ondiepe grondwater op te stellen kunnen de parameters c , \mathbf{d} en \mathbf{w} gerelateerd worden aan de meer bekende fysische parameters drainageweerstand \mathbf{g} , effectieve bergingscoëfficiënt \mathbf{f} , de oppervlaktewaterstand h_o en de kwel/infiltratieflux q_b (Knotters en Bierkens, 1999):

$$\begin{aligned} \mathbf{d} &= \exp\left(\frac{-\Delta t}{\mathbf{f}\mathbf{g}}\right) \\ \mathbf{w} &= \mathbf{g}(1 - \mathbf{d}) \\ c &= \mathbf{g}q_b + h_o \end{aligned} \quad (3)$$

Stel nu dat het oppervlaktewaterpeil niet constant is, maar verandert in de tijd. Als we in vergelijking (1) invullen $c = \mathbf{g}q_b + h_{o,t}$ met $h_{o,t}$ de in de tijd variërende oppervlaktewaterstand dan resulteert dit in:

$$h_t = (1 - \mathbf{d})\mathbf{g}q_b + \mathbf{d}h_{t-\Delta t} + (1 - \mathbf{d})h_{o,t} + \mathbf{w}P_t \quad (4)$$

Vergelijking (4) geeft aan dat de reactie van de grondwaterstand op een verandering van de oppervlaktewaterstand bepaald wordt door dezelfde parameter \mathbf{d} die op zijn beurt weer afhangt van de drainageweerstand en de bergingscoëfficiënt (zie vergelijkingen 3). We kunnen dus concluderen dat de parameters \mathbf{d} en \mathbf{w} de respons

bepalen van de grondwaterstand op zowel het neerslagoverschot als het oppervlaktewaterpeil.

Tenslotte geldt dat de waarde $b_2 = [-3\Delta t / \ln(d)]$ voor de representatieve buis gelijk is aan de maximale tijdsduur tussen twee metingen die geoorloofd is om een representatieve tijdreeks van de grondwaterstandsfluctuatie op die locatie te krijgen (Bierkens e.a., 1998).

Bij de aanpak voor waterschap De Maaskant gaat het niet om het vinden van de meest geschikte locaties voor een meetnet maar om het beoordelen van het bestaande meetnet op haar representativiteit en het eventueel saneren en uitbreiden van het meetnet.

3.4 Toekennen van de vlakdekkende karakterisering

Bij het vinden van de representatieve locatie moeten voor alle locaties de waarden van h_{gem} , d en w worden geschat. Dit is als volgt gebeurt:

Schatting van h_{gem}

De waarde van de gemiddelde grondwaterstand h_{gem} is geschat met het gemiddelde van de geactualiseerde *GHG* en de *GLG*:

$$h_{gem} = -\left(\frac{GHG + GLG}{2}\right) \quad (5)$$

Bij de actualiatie van de GT in Noord-Brabant (Finke et al, 2002) zijn geactualiseerde waarden voor de *GHG* en de *GLG* bepaald voor grids van 25 * 25 m. Deze waarden zijn gebruikt om h_{gem} te bepalen.

Schatting van d en w

Om d en w te schatten is gebruik gemaakt van de relaties in vergelijking (3). Om deze te kunnen toepassen moet de bergingscoëfficiënt berekend worden, evenals de drainageweerstand. Dit is als volgt gebeurt.

- Bergingscoëfficiënt. Deze is berekend via het programma CAPSEV (Wesseling, 1991) dat het vochtprofiel kan berekenen bij een gegeven grondwaterstand en een gegeven verticale flux van water in de onverzadigde zone. Om een bij benadering gemiddeld vochtprofiel te berekenen is gerekend met een grondwaterstand gelijk aan h_{gem} en een flux van 0 mm/d (deze is gemiddeld negatief in de winter en positief in de zomer). Het met lucht gevulde poriënvolume dat aanwezig is bij een evenwichtsvochtprofiel als fractie van het totale volume boven het grondwater is genomen als schatting voor de effectieve bergingscoëfficiënt. Om CAPSEV toe te passen moet er een bodemfysische beschrijving (vocht karakteristiek en onverzadigde doorlatendheidskarakteristiek) van elke laag bekend zijn. Deze zijn als volgt geschat. Aan de PAWN bodemeenheid (Wösten e.a. 1988) (Figuur 2) is een standaard bodemprofiel

toegekend. Deze standaardprofielen bevatten een opeenvolging van lagen die één op één gekoppeld kunnen worden aan een bouwsteen van de Staringreeks (Wösten et al., 2001). Elke bouwsteen van de Staringreeks is gekoppeld aan een standaard vocht karakteristiek en standaard onverzadigde doorlatendheids karakteristiek. Door Van der Gaast en Massop (in prep), zijn voor verschillen standaardprofielen relaties bepaald tussen grondwaterstand en bergingscoëfficiënt. Deze relaties zijn gebruikt voor het bepalen van de bergingscoëfficiënt voor grids van 25*25 m.

- Drainageweerstand. Voor de interactie tussen freatisch grondwater en oppervlaktewater zijn freatische lekweerstanden (Massop et al. 2000) berekend met behulp van het MONA-instrumentarium en gebaseerd op de formules van De Lange. Voor de berekening zijn schattingen gemaakt voor de intreeweerstand, het doorlaatvermogen en de verticale weerstand van het topsysteem en zijn slootdichtheden afgeleid van het Top10-vectorbestand. In de TOP10 vector worden 4 klassen van waterlopen onderscheiden. Voor drie klassen van waterlopen (de twee breedste klassen zijn samengevoegd) is de dichtheid aan waterlopen berekend. Voor de drie systemen is vervolgens per 250 m cel een weerstand berekend. De informatie is op internet te vinden (<http://geodesk.girs.wau.nl/stone/stone.htm>). Voor de berekening van de drainageweerstand zijn deze bestanden gebruikt om per grid van 25*25 m de weerstand te bepalen. De drainageweerstand is afhankelijk van het seizoen. De berekende weerstand geldt onder natte omstandigheden, dus als alle drie de klassen van waterlopen watervoeren. Dit betekent dat het harmonisch³ gemiddelde genomen wordt van de berekende weerstanden van de drie klassen.

Met de geschatte waarden van h_{gem} , \mathbf{d} en \mathbf{w} voor de gridcellen binnen de clusters kan vervolgens per cluster een representatieve locatie bepaald worden. Per cluster is de volgende procedure toegepast.

1. De minimale en maximale waarden voor h_{gem} , \mathbf{d} en \mathbf{w} binnen de cluster is bepaald.
2. Voor iedere cluster zijn de mediane waarden h_{gem} , \mathbf{d} en \mathbf{w} (50% is groter en 50% is kleiner) bepaald. Echter, omdat h'_{gem} , \mathbf{d}' en \mathbf{w}' worden geschat uit nogal onnauwkeurige schattingen van de drainageweerstand kunnen er gemakkelijk uitschieters optreden. De mediaan is minder gevoelig voor deze uitschieters dan het gemiddelde. Strikt genomen zou men het gemiddelde moeten nemen.
3. Voor iedere combinatie is de relatieve waarden $h'_{gem,50}$, \mathbf{d}'_{50} en \mathbf{w}'_{50} binnen de cluster op een schaal van 0 tot 1 bepaald:

$$h'_{gem} = \frac{h'_{gem,50} - h_{gem, min}}{h_{gem, max} - h_{gem, min}} \quad \mathbf{d}' = \frac{\mathbf{d}'_{50} - \mathbf{d}_{min}}{\mathbf{d}_{max} - \mathbf{d}_{min}} \quad \mathbf{w}' = \frac{\mathbf{w}'_{50} - \mathbf{w}_{min}}{\mathbf{w}_{max} - \mathbf{w}_{min}} \quad (6)$$

4. Tenslotte is per combinatie de afwijking bepaald met de volgende formule:

³ Het harmonisch gemiddelde $(g^{-1} + g^{-1} + g^{-1})^{-1}$ is in dit geval de effectieve of vervangingsweerstand voor de drie parallel geschakelde drainageweerstanden.

$$afw = \sqrt{(h'_{gem} - h'_{gem,50})^2 + (d' - d'_{50})^2 + (w' - w'_{50})^2} \quad (7)$$

De locatie met de geringste afwijking is als representatief voor de cluster te beschouwen.

3.5 Bepaling van representatieve locaties

3.5.1 Veldbeoordelingen

De 47 meetpunten uit het bestaande meetnet (fig. 3) zijn in het veld bezocht, ter plaatse is een beschrijving gemaakt van de bodemopbouw en is de ligging van de meetlocatie in de omgeving beoordeeld. Hierbij is o.a. gekeken of het meetpunt onder invloed staat van oppervlakkige afvoer van water, of het punt is gelegen in een terreinlaagte danwel een dijk of nabij verhard oppervlak. De veldinformatie is verzameld aan de hand van een standaardformulier. Op basis van dit veldbezoek is ter plaatse van de peilbuis beoordeeld of de locatie al dan niet geschikt is. De belangrijkste criteria om een buis te laten vervallen zijn geweest, de ligging binnen bebouwing of in openwater, de locatie is daardoor niet representatief. De overige opmerkingen met betrekking tot de ligging van de peillocatie, blijkt uit het veldonderzoek, wegen minder zwaar. Bij een zeer strikte toepassing zou nauwelijks een locatie voldoen en zijn er ook nauwelijks nieuwe locaties voor peilbuizen te vinden. Het veldwerk heeft een nuttige bijdrage geleverd, omdat hierdoor een goede beoordeling mogelijk was van de ligging van de buis in de omgeving en daarnaast informatie is verkregen over de bodemopbouw.

3.5.2 Representativiteit op basis van Hgem, Delta en Omega.

De parameters h_{gem} , d en w bepalen de grondwaterdynamiek. We zijn hierbij geïnteresseerd in de verdeling van de combinaties van deze drie parameters. Een representatief meetnet voor het Bovengebied voldoet aan de volgende eigenschappen:

- Het meetnet geeft een goede afspiegeling van alle combinaties van parameters die voorkomen binnen het bovengebied,
- Het meetnet geeft een goede afspiegeling van de representatieve eigenschappen van de onderscheide cluster.

Om inzicht te krijgen in de verdeling van deze parameters is allereerst het gehele bereik van de onderscheiden parameters bepaald en vervolgens zijn de waarden binnen het bereik geklassificeerd op basis van de areaalverdeling. Als de verdeling van de parameters bekend is kunnen een aantal klassen, voor de combinatie van de drie parameters (h_{gem} , d en w), worden gedefinieerd. Hierbij wordt de indeling zodanig gekozen dat het aantal combinaties niet te groot is.

De representatieve meetlocatie per cluster wordt vergeleken met de onderscheiden klassen, hieruit blijkt of alle onderscheiden klassen worden ingevuld door een

representatieve locatie voor een cluster. Zijn er klassen die niet worden gedekt door representatieve meetlocatie dan worden aanvullende meetlocaties voorgesteld, om dit hiaat in te vullen.

Het resultaat van de analyse is een set locaties die representatief is voor de verdeling van eigenschappen die voorkomen binnen het gehele onderzoeksgebied alsmede voor de onderscheiden clusters. Het resultaat is dus een lijst van ca 45 locaties, eventueel aangevuld met enkele locaties om een goede afspiegeling te krijgen van de totale gebiedsvariatie.

Omdat er al een bestaand net van peilbuizen is, worden de peilbuizen die op basis van het veldbezoek geschikt blijken, gekoppeld aan de clusterindeling. Per combinatie van peilbuis en clustereigenschappen wordt nagegaan of de bestaande buis in aanmerking komt als representatieve buis per cluster. Het voordeel van een bestaande buis is, dat er naast een kostenvoordeel al een meetreeks beschikbaar is. Naast het bestaande meetnet liggen nog een groot aantal andere meetlocaties binnen het onderzoeksgebied. Deze locaties worden enkel op basis van hun coördinaten beoordeeld of ze in aanmerking komen om toegevoegd te worden aan het bestaande meetnet om hiaten op te vullen.

3.6 Beschrijving tijdreeksen

Van het bestaande meetnet zijn meetreeksen beschikbaar (par. 2.3.1). De tijdreeksen zijn als tijdstijghoogtelijnen weergegeven (Aanhangsel 3). Om over een voldoende lange reeks te beschikken zijn de gegevens beschouwd over de periode 1990-2002, voor zover deze beschikbaar zijn. Als eerste stap zijn enkele statistische eigenschappen van de meetreeks voor de beschouwde periode bepaald, nl:

- gemiddelde
- mediaan
- modus
- standaard-deviatie
- range
- minimum
- maximum

Als volgende stap is gekeken of de buizen van het meetnet identiek reageren, door de hele set te beschouwen en de correlatiecoëfficiënten tussen alle buizen te bepalen. Voor het bepalen van de correlatiecoëfficiënt tussen twee buizen worden alleen die meetwaarden gebruikt waarbij op dezelfde dag in beide buizen is gemeten.

Combinaties van buizen met een hoge correlatiecoëfficiënt (minimaal 0,80) kunnen worden gebruikt om de lineaire relatie tussen de buizen te bepalen. Met deze relatie is het mogelijk, om ingeval de grondwaterstand in de ene buis niet is gemeten, een schatting te geven voor de grondwaterstand op basis van een andere buis. Voor de te

handhaven peilbuizen is dmv lineaire regressie de relatie bepaald met één andere buis met de hoogste correlatiecoëfficiënt.

De tijdstijghoogtelijnen worden sterk beïnvloed door neerslag. Om eventuele trends voor kortere of langere tijd vast te stellen, wordt gebruik gemaakt van de zogenaamde grondwatertrappen. Per hydrologisch jaar (1 april tot 31 maart) wordt de HG3 en LG3 berekend, vervolgens wordt hieruit voor een periode van 8 jaar de GHG en de GLG berekend. Omdat de meetreeks voor een aantal buizen langer is dan 8 jaar, kan de GHG en de GLG voortschrijdend voor 8-jaarlijkse perioden worden berekend.

3.7 Beheersbaar gebied

Waterconservering en/of wateraanvoer is alleen mogelijk in die gebieden waar het oppervlaktewaterpeil vanuit de stuw kan worden geregeld. Deze locaties worden samengevat onder de naam “beheersbaar gebied”. Voor het peilbeheer is het zinvol de grondwaterstand te meten op locaties die in het beheersbaar gebied liggen.

In dit onderzoek is een locatie als beheersbaar beschouwd als de bodemhoogte van een eventueel daar aanwezige greppel of kavelsloot onder het maximale stuwpeil van het peilvak ligt. Hiervoor hebben we dus de volgende informatie nodig:

- maaiveldshoogte. De maaiveldshoogte volgt uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland (AHN) met een resolutie van 25x25 m;
- diepte greppels/kavelsloten. Voor Noord-Brabant is een onderzoek uitgevoerd naar de kenmerken van het tertiair ontwateringssysteem (Massop en Te Beest, 2001), de resultaten van deze studie zijn gebruikt voor de diepte van greppels en kavelsloten;
- de maximale stuwhoogte van de stuw gekoppeld aan het peilvak.

Op basis van bovenstaande gegevens kan voor elke locatie van het AHN-bestand nagegaan worden of het volgende opgaat:

$$\text{maximum stuwpeil} > \text{maaiveldshoogte} - \text{greppeldiepte.}$$

Is dit het geval dan wordt deze locatie als behorende tot het beheersbaar gebied gerekend. Omdat een deel van de gegevens aan het eind van de studie beschikbaar kwam, is deze informatie niet gebruikt bij de analyse en enkel gebruikt voor het maken van een kaart met het beheersbare gebied.

4 Resultaten

4.1 Clusterindeling

De kaarten met gebiedseigenschappen zijn beschreven in paragraaf 2.2.2. Voor alle 83 deelgebieden zijn de dominante eigenschappen bepaald. Deze eigenschappen zijn vervolgens gecombineerd in een code bijv. Be-C-En-Gr-3-Wa, hierin betekent:

Be	Beekdal (geologie),
C	GHG-klasse,
En	Enkeerdgrond,
Gr	Grasland,
3	Afstandsklasse,
Wa	Wateraanvoer.

Gebieden met dezelfde combinatie zijn vervolgens samengevoegd, dit geeft in eerste instantie 57 unieke clusters. Een aantal clusters beslaat een relatief klein oppervlak. Om het aantal terug te brengen tot ca 40 zijn clusters met een beperkt oppervlak samengevoegd met andere clusters, hierbij is gekeken naar overeenkomst in eigenschappen. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in 43 clusters (figuur 8) waarbij de kleinste cluster een oppervlak vertegenwoordigt van ca. 400 ha. Door de clustering en het gebruik van de afstandsklasse is een goede verdeling over het onderzoeksgebied verkregen. Wel kunnen gebieden die tot eenzelfde cluster behoren op verschillende plekken liggen, die niet aan elkaar grenzen.

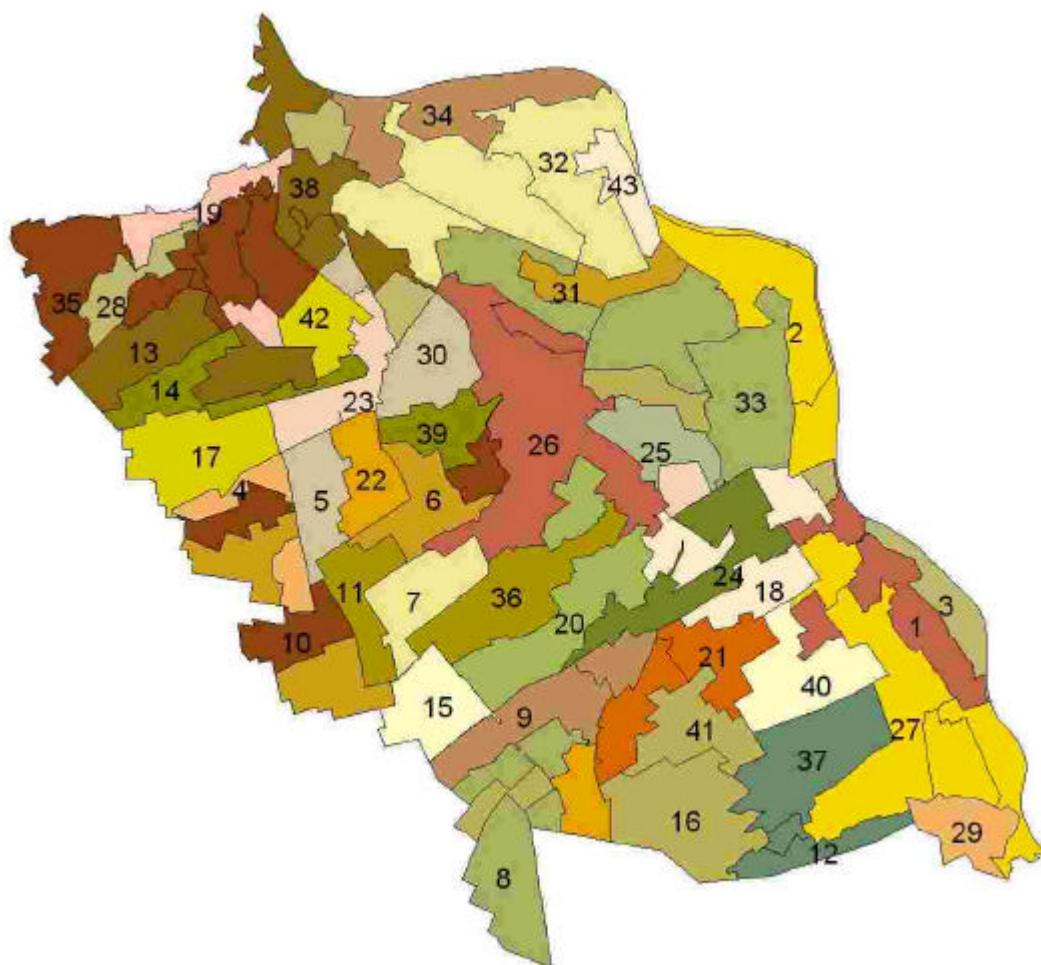


Fig 8 Clusterindeling

4.2 Parameterkarakterisatie

De grondwaterdynamiek wordt volgens paragraaf 3.3 gekarakteriseerd door h_{gem} , d en w . De in paragraaf 3.4 beschreven methode is toegepast om de parameters te berekenen. In figuur 9 zijn de waarden ruimtelijk weergegeven.

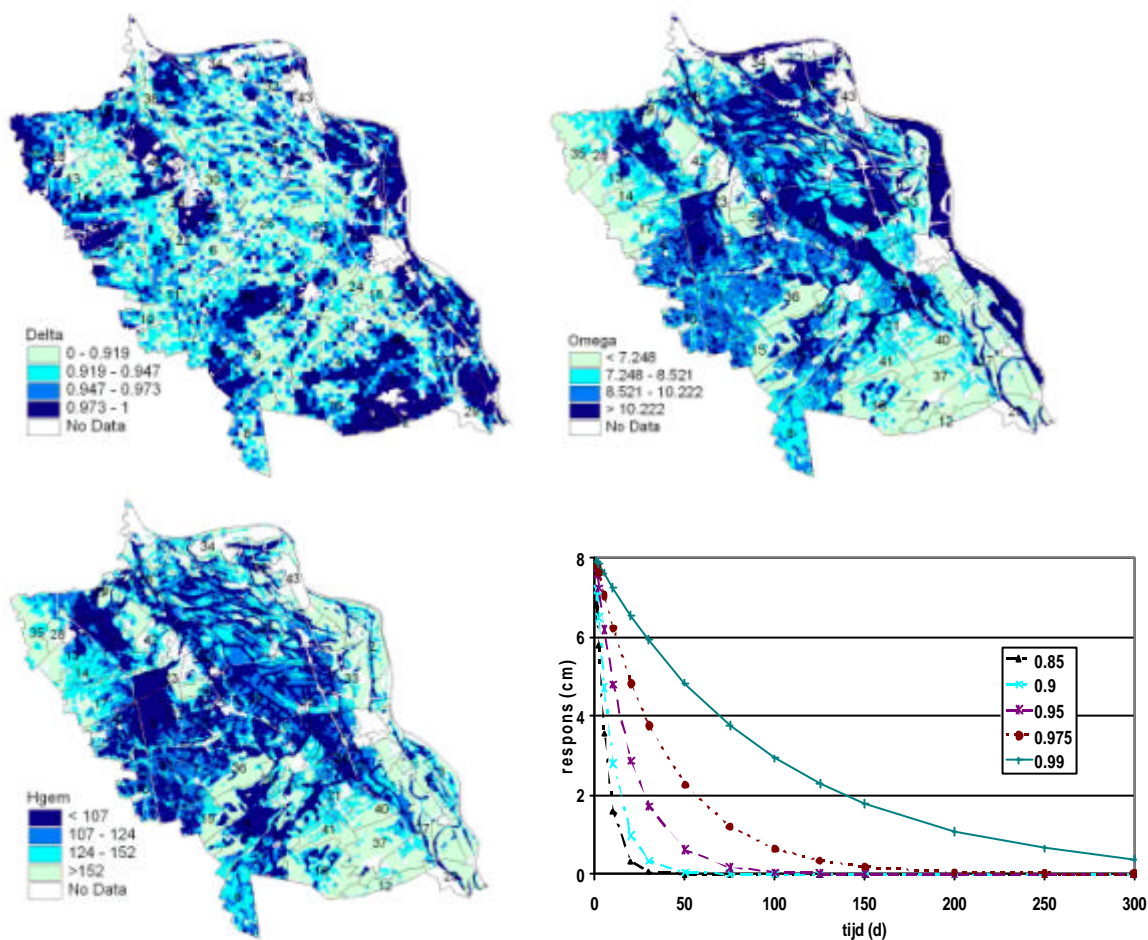


Fig 9 Ruimtelijke verdeling van de parameters h_{gem} (cm-mv), δ (-) en ω (d) en de impulsresponsfuncties voor enkele waarden van δ voor $\omega = 8$

De drie kaarten zijn vervolgens gecombineerd, zodat voor elke gridcel een waarde voor h_{gem} , d en w bekend is. Omdat voor stedelijk gebieden de GHG en GLG ontbreekt, is geen waarden voor h_{gem} te bepalen, deze gridcellen zijn niet meegenomen in de analyse. In de beekdalen is de grondwaterstand overwegend ondiep, wat resulteert in een geringe bergingscoëfficiënt, daarnaast is de slootafstand, en daarmee de drainageweerstand klein. Ingevuld in formule 3 levert dit een relatief lage waarden op voor d . In formule 1 is de grondwaterstand als functie van het neerslagoverschot weergegeven. De parameter d zegt iets over de traagheid van het systeem en de parameter w geeft de verandering van de grondwaterstand als gevolg van een eenheid verandering in het neerslagoverschot op tijdstip t . In fig. 9 zijn enkele impuls-responsfuncties weergegeven (Massop, 1998). Uit de figuur blijkt dat hoge waarden voor d lang doorwerken (traag geheugen). Gebieden met diepe grondwaterstanden resulteren veelal in hoge waarden voor d . De waarde voor w wordt zowel bepaald door d als door de drainageweerstand. Gebieden met een hoge waarde voor w reageren sterk op een neerslagimpuls, deze gebieden liggen in de

beekdalen en langs de Maas. Gebieden met diepe grondwaterstanden (grote waarde voor bergingscoëfficiënt) reageren minder sterk op een neerslagimpuls.

In een vervolgstap is de kaart met de clusters omgezet in een gridkaart en gecombineerd met de voorgaande kaart.

4.3 Representativiteit meetlocaties

Op basis van de in paragraaf 4.2 beschreven kaart zijn oppervlaktepercentages af te leiden voor combinaties van parameters. Allereerst is in tabel 6 de verdeling van de oppervlaktepercentages voor 5 afzonderlijke parameters weergegeven. In de eerste kolom staat het percentage weergegeven van het totale oppervlak van het onderzoeksgebied waarvoor de waarde kleiner is dan de waarde van de parameter aangegeven in de volgende kolommen van de tabel, bijv. 10% van de totale oppervlakte van het onderzoeksgebied heeft een bergingscoëfficiënt kleiner dan 0,061, dus voor 90% is de waarde groter.

Tabel 6 Verdeling van het totale oppervlak van het onderzoeksgebied over de parameters bergingscoëfficiënt, drainageweerstand, H_{gem} , Delta en Omega.

Percentage van het onderzoeksgebied kleiner dan	Bergingscoëfficiënt	Drainage	H_{gem}	Delta	Omega
0	0	15	0	0.00000	3.61191
5	0,042	65	82	0.83306	4.68064
10 →	0,061	75	89	0.86643	5.58186
20	0,084	95	98	0.89883	6.46706
30	0,093	125	107	0.91927	7.24797
40	0,103	145	115	0.93488	7.87900
50	0,114	175	124	0.94755	8.52182
60	0,123	205	136	0.95950	9.29409
70	0,135	325	152	0.97282	10.22185
80	0,152	435	175	0.98206	11.37649
90	0,178	785	213	0.99032	15.30124
95	0,212	1855	235	0.99520	22.75027
100	0,251	16665	251	0.99976	689.292

Om inzicht te krijgen in de combinatie van deze drie parameters zijn de parameters geclassificeerd in 4 klassen. Omdat de verdeling soms uitschieters bevat (hoge drainageweerstand) is gekozen om de buitenste klassen breder te nemen dan de middelste klassen (de kleuropeenvolging in tabel 6 geeft de klassenindeling weer). In tabel 7 is deze classificatie voor drie onderscheiden parameters weergegeven, verder is in deze tabel voor elke klassencombinatie van de drie parameters weergegeven welk procentueel deel van het oppervlak binnen deze combinatie ligt. Bijvoorbeeld 17,1 % van het areaal valt binnen de diepste klasse voor H_{gem} , de klasse met de hoogste waarde voor d en de klasse met de laagste waarde voor w .

Tabel 7 Procentuele verdeling van het oppervlak over de combinatie van de parameters Hgem, Delta en Omega.

Percentage		Omega				Totaal
Hgem	Delta	<7.248	7.248-8.522	8.522-10.222	>10.222	
<107	<0.919	0.0%	0.1%	4.7%	12.9%	17.8%
	0.919-0.948	0.1%	0.1%	2.6%	4.7%	7.5%
	0.948-0.973	0.1%	0.2%	1.3%	1.9%	3.5%
	>0.972	0.1%	0.1%	0.3%	0.5%	1.0%
Totaal		0.3%	0.5%	8.8%	20.1%	29.8%
108-124	<0.919	0.0%	2.0%	2.7%	2.1%	6.9%
	0.919-0.948	0.1%	1.4%	2.7%	1.3%	5.5%
	0.948-0.973	0.2%	1.0%	2.3%	1.0%	4.5%
	>0.972	0.3%	0.4%	1.3%	0.5%	2.5%
Totaal		0.6%	4.8%	9.0%	4.9%	19.4%
125-152	<0.919	0.8%	2.7%	0.3%	0.5%	4.3%
	0.919-0.948	0.8%	3.1%	0.2%	0.5%	4.6%
	0.948-0.973	1.2%	3.7%	0.5%	0.6%	5.9%
	>0.972	1.7%	2.9%	0.5%	0.8%	5.8%
Totaal		4.6%	12.4%	1.4%	2.3%	20.6%
>152	<0.919	0.7%	0.1%	0.1%	0.1%	1.0%
	0.919-0.948	1.8%	0.2%	0.1%	0.3%	2.4%
	0.948-0.973	4.8%	0.6%	0.2%	0.5%	6.1%
	>0.972	17.1%	1.5%	0.3%	1.8%	20.7%
Totaal		24.5%	2.3%	0.7%	2.7%	30.2%
Totaal		30.0%	20.0%	20.0%	30.0%	100.0%

Tabel 7 geeft aan dat de combinaties van parameters zijn gegroepeerd langs de diagonaal. Totaal zijn er op basis van de gekozen klassenindeling 64 combinaties te maken, die onderverdeeld kunnen worden op basis van het oppervlak:

- 12 combinaties beslaan meer dan 2,5% van het oppervlak, samen beslaan deze combinaties 64,6 % van het oppervlak,
- 15 combinaties beslaan een oppervlak tussen 1,0-2,5 %, samen beslaan deze 23,6 % van het oppervlak,
- de overige 35 combinaties zijn kleiner dan 0,8 % en vertegenwoordigen samen ca 10 % van het oppervlak.

Een representatief meetnet, waarbij tevens rekening wordt gehouden met de aanwezige grondwaterdynamiek binnen het gehele studiegebied, zou dienen te bestaan uit een aantal peilbuizen die qua eigenschappen in elk geval de 14 meest voorkomende combinaties vertegenwoordigen en indien mogelijk ook de 15 combinaties met meer dan 1% van het oppervlak.

Voor de onderscheiden 43 clusters zijn subsets gemaakt van de gebiedseigenschappen. Voor elke cluster zijn vervolgens de mediane eigenschappen bepaald (Aanhangsel 4a). In tabel 8 is weergegeven welke combinatie van klassen van de 3 parameters wordt gedekt door een cluster.

Tabel 8 Het aantal cluster per combinatie van gebiedseigenschappen.

Aantal gebieden		Omega			
Hgem	Delta	<7.248	7.248-8.522	8.522-10.222	>10.222
<107	<0.919				
	0.919-0.948			4	2
	0.948-0.973				
	>0,972				
108-124	<0.919		1	2	1
	0.919-0.948		2	6	1
	0.948-0.973		1	2	
	>0,972				
125-152	<0.919				
	0.919-0.948	1	3		
	0.948-0.973	1	2	1	
	>0,972	3			
>152	<0.919				
	0.919-0.948				
	0.948-0.973	1			
	>0,972	6			3

Uit tabel 8 blijkt dat de verdeling van de mediaan van de clustereigenschappen ook min of meer langs de diagonaal is gegroepeerd. Er komen enkele combinaties van eigenschappen voor waarbinnen meerdere clusters liggen, dit is logisch omdat er meer dan 27 clusters zijn. Daarentegen zijn er 10 combinaties waaraan geen cluster is toegekend.

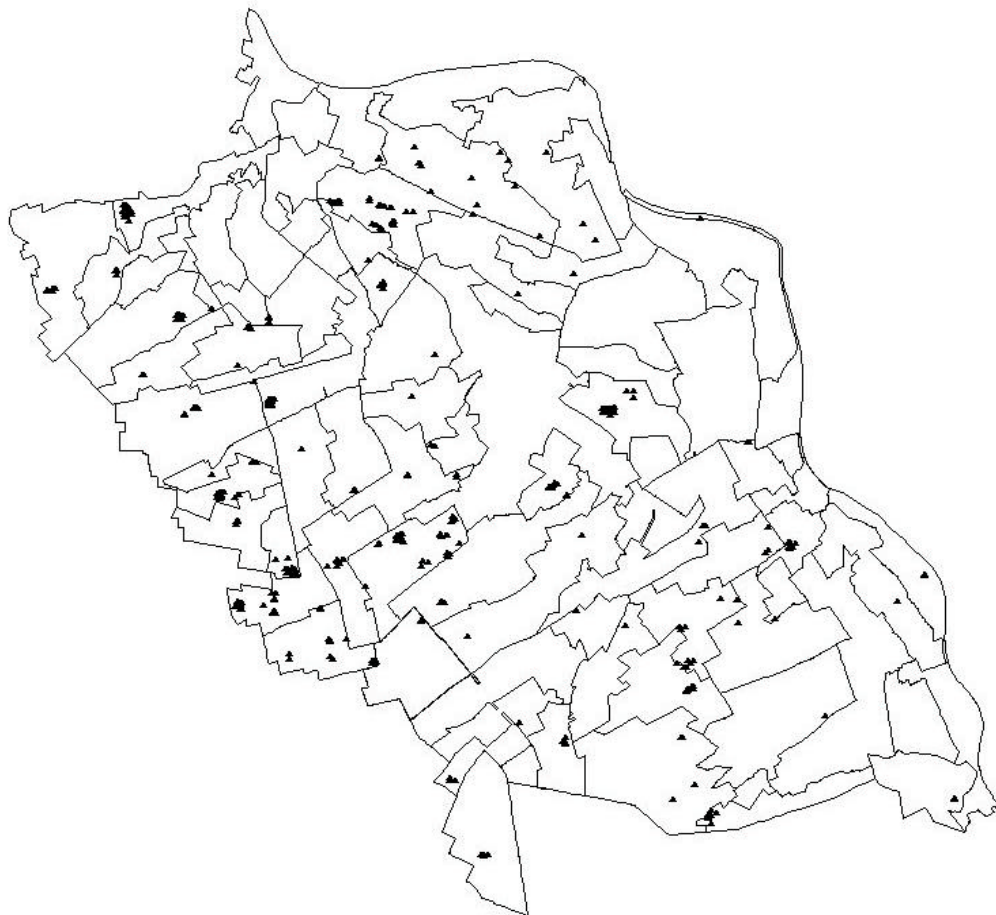


Fig. 10. Ruimtelijke verdeling van de locaties met mediane eigenschappen voor de 43 clusters (zie aanhangsel 4)

Naast de bepaling van de mediane eigenschappen is per cluster de locatie bepaald met de geringste afwijking ten aanzien van de mediane waarden (stap 1 t/m 4 par. 3.4). De gevonden combinaties zijn eveneens weergegeven in aanhangsel 4b. Omdat bepaalde combinaties van parameters meerdere keren voorkomen binnen een cluster, bestaat soms de keuze uit meerdere locaties. Voor andere clusters komt slechts één plek als beste naar voren, is deze locatie om de een of andere reden niet bruikbaar dan kan gekozen worden voor een locatie met een enigszins grotere afwijking tov de mediane waarden. In aanhangsel 4c zijn de coördinaten voor de locaties met de geringste afwijking weergegeven. In figuur 10 zijn de locaties ruimtelijk weergegeven.

4.4 Beoordeling bestaand meetnet

4.4.1 Veldbeoordeling meetnet

Alle locaties van het huidige meetnet zijn in het veld bezocht en beoordeeld. De informatie is weergegeven op een standaardformulier. Bij het veldbezoek is een boorbeschrijving gemaakt, waarbij het bodemtype en de grondwatertrap is

vastgesteld, verder zijn het bodemtype en de grondwatertrap volgens de bodemkaart weergegeven. Ook is de locatie met een foto vastgelegd (figuur 11).



Fig. 11 Locatie van buis Cuyk2A

Op één locatie is geen toestemming van de bewoner verkregen, op de plek van een andere locatie is nu water (zandwinplas). Voor locatie 45HB0012 is geen profielbeschrijving gemaakt omdat er zich teveel betonbrokken in de bodem bevinden, deze locatie is geschikt als representatieve locatie en daarom wel meegenomen bij de verdere analyse. Enkele locaties zijn minder geschikt doordat ze binnen de bebouwing liggen, wat weinig zegt over de omgeving. Ook liggen 4 buizen buiten Regio Oost. De resultaten van het veldbezoek zijn weergegeven in Aanhangsel 5. Totaal zijn 11 locaties (tabel 9) uit het beschikbare meetnet niet meegenomen bij de keuze van representatieve locaties voor clusters.

Tabel 9 Peilbuizen die zijn afvallen op basis van hun ligging

Buizen	Reden
45FB0014	Slechte staat, onbruikbaar, Gt onbekend
46AB0009	Midden in bebouwing
46AL0030	Ligt in zandwinplas
46CB0005	Bebouwde kom
46CL0024	Midden in bebouwing
46DB0014	Midden in bebouwing
46DL0111	Kerkhof, naast industieterrein
52AL0001	Ligging buiten regio Oost
52AL0017	Ligging buiten regio Oost
52AL0033	Ligging buiten regio Oost
52AP0098	Ligging buiten regio Oost

Van de buizen die niet meer worden waargenomen valt alleen 45FB0014 af (tabel 9) de overige buizen zijn geschikte locaties, deze zijn wel meegenomen in het verdere onderzoek. Peilbuis 46CP7032 is niet in het veld gevonden, wel de locatie, deze buis is ook meegenomen bij de verdere analyse.

De bodemeenheid die in het veld is gevonden wijkt in een aantal gevallen af van de bodemkaart 1 : 50000, hetzelfde geldt voor de grondwatertrap. Bij de boringen voor de profielbeschrijvingen zijn geen aanwijzingen gevonden voor stagnerende bodemlagen.

4.4.2 Huidige meetnet in relatie tot clusterindeling

Idealiter zou een grondwaterstandsbuis geplaatst moeten worden op de representatieve locatie. Gezien de aanwezigheid van een bestaand meetnet en uit kostenoverwegingen kan het waterschap besluiten om gebruik te maken van bestaande buizen. Daarom is voor het bestaande meetnet nagegaan of de ligging goed overeenkomt met de representatieve locatie binnen de cluster. Allereerst is vastgesteld binnen welke cluster de buizen liggen. Verder is als voorwaarde gesteld dat de absolute waarde van de verschillen $h'_{gem} - h'_{gem,50}$, $d' - d'_{50}$ en $w' - w'_{50}$ niet groter is dan 0.25; i.c. een kwart van het totale bereik binnen de cluster.

De geselecteerde buizen van het huidige meetnet zijn gesitueerd binnen 24 clusters, in een aantal clusters liggen meerdere buizen. In 19 clusters liggen dus geen peilbuizen van het huidige meetnet. Omdat voor sommige clusters meerdere peilbuizen als representatief kunnen worden beschouwd, is de relatieve afwijking bepaald, dit gegeven kan worden gebruikt om een rangorde aan te brengen tussen de peilbuizen.

In aanhangsel 6 zijn de geselecteerde peilbuizen, voorzover gelegen binnen regio Oost, weergegeven met het bijbehorende clusternr, de eigenschappen van de locatie en of voldaan wordt aan de gestelde voorwaarde.

Van de 47 peilbuizen van het huidige meetnet, vallen 11 buizen af (paragraaf 4.4.1). Van de 36 peilbuizen die na het veldonderzoek resteren, voldoen 7 peilbuizen niet aan de gestelde voorwaarde voor wat betreft de representativiteit van de locatie voor de cluster, zodat uiteindelijk voor 22, in plaats van de eerder genoemde 24, clusters gebruik kan worden gemaakt van een bestaande peilbuis uit het huidige meetnet (figuur 12). Voor 6 clusters is de keuze uit meerdere peilbuizen.

4.5 Uitbreiding/sanering meetnet

In paragraaf 4.3 en figuur 10 is voor elke cluster de locatie met de meest representatieve eigenschappen per cluster aangegeven. Deze locatie komt in aanmerking voor de situatie dat er geen bestaand alternatief is. Het bestaande

meetnet geeft voor 22 locaties een peilbuis die op een voldoende representatieve plaats is gesitueerd. Hierbij is rekening gehouden met de peilbuizen die op basis van het veldonderzoek afvallen, voor cluster 17 (veel betonbrokken in de bodem) is wel een alternatief meegenomen. Ook is voor één locatie geen toestemming gegeven voor veldbezoek, aangenomen is dat deze locatie beschikbaar blijft, er is tevens een alternatief.

Naast het bestaande meetnet liggen er nog 248 andere peilbuizen binnen de regio. Deze set is samengesteld uit 179 DINO-peilbuizen en 69 peilbuizen die o.a. door het waterschap worden waargenomen en die niet tot het huidige meetnet behoren. Voor deze 248 locaties is enkel nagegaan wat de eigenschappen ter plaatse zijn, binnen welke cluster ze liggen en of ze representatief zijn voor de cluster (Aanhangsel 7c). Uit de geschikte meetlocaties is een selectie gemaakt om het meetnet aan te vullen, voor 14 clusters is een buis beschikbaar (Aanhangsel 7b), ook is er een alternatief voor cluster 17. In Aanhangsel 11 zijn de tijdstijghoogtelijnen van de peilbuizen, genoemd in aanhangsel 7b, weergegeven, voor de peilbuizen 45HB0011 en 46CL0035 ontbreken de data.

Voor de clusters waarvoor geen bestaande representatieve peilbuis is gevonden op basis van het bestaande meetnet of op basis van de peilbuizen die geen deel uitmaken van het meetnet, wordt voorgesteld om een nieuwe peilbuis te plaatsen. Dit betreft 7 clusters. Voor deze nieuw te plaatsen peilbuizen, in de ontbrekende clusters, is in aanhangsel 4c per cluster de coördinaten van de locatie(s) weergegeven die de geringste afwijking hebben van de mediane waarde van de clustereigenschappen. Omdat sommige combinaties van clustereigenschappen meerdere keren voorkomen, zijn meerdere locaties gegeven.

In Aanhangsel 7a is per cluster aangegeven of er een bestaande peilbuis voor de cluster beschikbaar is of dat eventueel een nieuwe peilbuis dient te worden geplaatst, in figuur 12 is de ligging weergegeven.

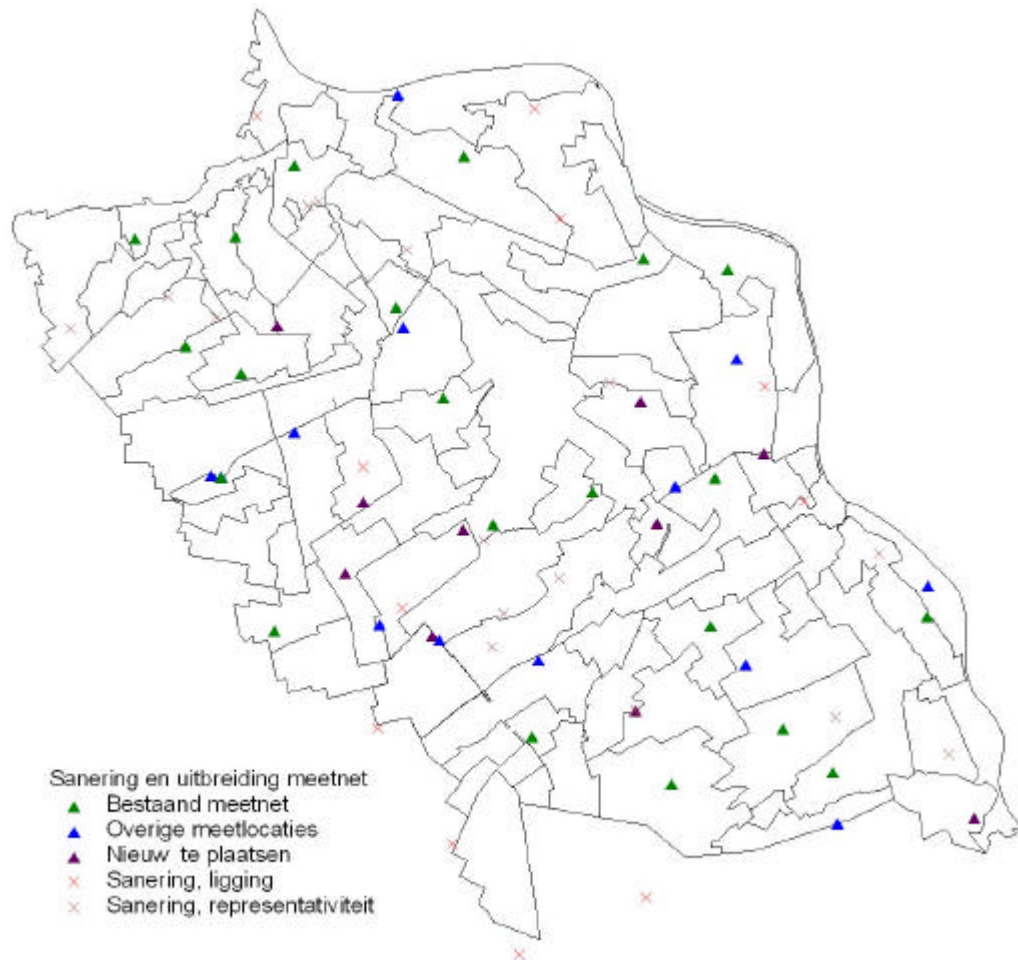


Fig. 12 Ligging te handhaven en te saneren locaties huidig meetnet en de aanvulling van het meetnet met bestaande en nieuw te plaatsen peilbuizen

In tabel 10 is de verdeling van het voorgestelde meetnet in relatie tot de ruimtelijke eigenschappen weergegeven.

Tabel 10 Het aantal peilbuizen per combinatie van gebiedseigenschappen en het aantal beschikbare peilbuizen om ontbrekende combinaties aan te vullen

Aantal gebieden		Omega			
HGem	Delta	<7.248	7.248-8.522	8.522-10.222	>10.222
<107	<0.919			2	2
	0.919-0.948		1	2	(8)
	0.948-0.973			(1)	(3)
	>0,973			1	
108-124	<0.919		(4)	3	1
	0.919-0.948		1	2	(2)
	0.948-0.973		(4)	(4)	(3)
	>0,973		2	2	
125-152	<0.919		6		
	0.919-0.948		2		1
	0.948-0.973	(2)	(5)		
	>0,973	2	1		
>152	<0.919				
	0.919-0.948	1			
	0.948-0.973	1		1	2
	>0,973	5	(3)		1

De witte vlakken vertegenwoordigen combinaties van parameters die een oppervlakte vertegenwoordigen kleiner dan 1 %, samen vertegenwoordigen deze combinaties minder dan 10% van het gebied, voor deze combinaties is het minder noodzakelijk om een representatieve peilbuis te plaatsen.

Binnen 11 van de overige combinaties ligt geen peilbuis uit het voorgestelde meetnet. Uit de resterende 248 peilbuizen zijn de ontbrekende 11 combinaties in te vullen (zie tabel 10 met aantal alternatieven tussen haakjes en aanhangsel 7e voor de locaties). In figuur 13 zijn deze mogelijke locaties ruimtelijk weergegeven. Om combinaties die een groot oppervlak vertegenwoordigen mee te nemen en het meetnet niet te groot te laten worden, wordt voorgesteld om minimaal twee extra peilbuizen te selecteren voor de 2 combinaties die ieder meer dan 2,5% van het oppervlak beslaan. Voorgesteld wordt om hiervoor Cuyk11 en Zeeland13 te nemen.

Verder is op deze kaart de ligging van de bekeerdgronden (volgens de PAWN-schematisatie) en Formatie van Singraven (Geologische kaart) weergegeven. In Aanhangsel 7d zijn de peilbuizen weergegeven die binnen deze vlakken liggen. Peilbuis Cuyk1A (cluster 38) ligt binnen het vlak van de Formatie van Singraven, als aanvullende locatie kan worden gekozen voor 46CL0019. Hiermee komt het uiteindelijke meetnet op 46 locaties.

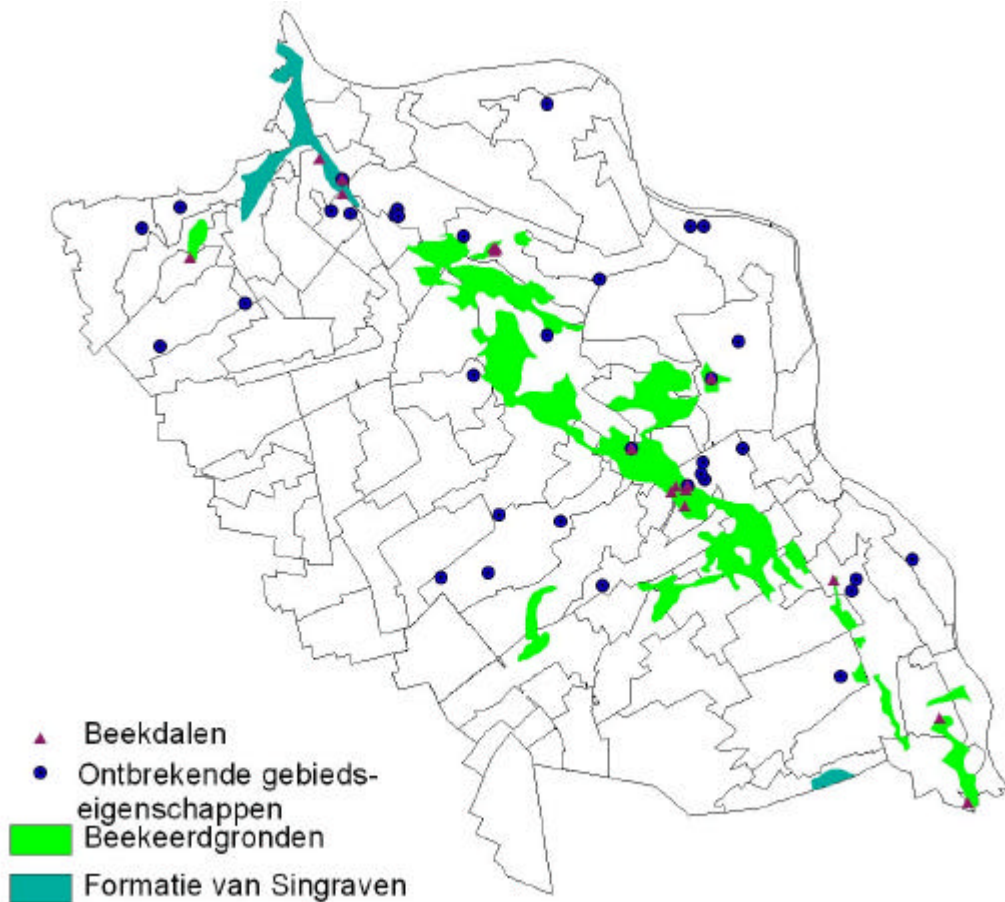


Fig 13 Mogelijke locaties van peilbuizen in beekdalen en in gebieden met gebiedseigenschappen die niet worden gedekt door de buizen die representatief zijn voor de 43 clusters

Om inzicht te krijgen in de relatie grondwater-oppervlaktewater zouden enkele aanvullende buizen geplaatst kunnen worden nabij waterlopen.

4.6 Meetfrequentie

In paragraaf 3.3 is aangegeven hoe de maximale tijdsduur kan worden bepaald die geoorloofd is om een representatieve tijdreeks van de grondwaterstandsfluctuatie op die locatie te krijgen. In aanhangsel 8 is voor het huidige meetnet en voor het voorgestelde meetnet het tijdsinterval weergegeven. Het minimale meetinterval voor het huidige meetnet bedraagt 6 dagen en is sterk afhankelijk van de drainageweerstand en de bergingscoëfficiënt. Voor de geselecteerde locaties van het voorgestelde meetnet bedraagt het minimale meetinterval 21 dagen. Locaties met een kort meetinterval komen bij voorkeur in aanmerking voor plaatsing van divers, zeker als het meetinterval korter is dan de normale waarnemingsfrequentie. Voor de karakterisering van de grondwaterstand door middel grondwatertrappen wordt een waarnemingsfrequentie gehanteerd van twee waarnemingen per maand. Bij de keuze van de locaties voor het plaatsen van divers zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- aantal te plaatsen divers maximaal 10,
- buizen met hoge correlatiecoëfficiënten met meerdere andere peilbuizen,
- een goede verspreiding over het onderzoeksgebied,
- locaties met kort meetinterval (relatief natte plekken).

Uit de analyse van de meetreeksen van de te handhaven buizen uit het huidige meetnet blijkt dat vier peilbuizen goed correleren met meerdere andere peilbuizen. Dit betreft de locaties (figuur 14): 45FP0142, 46BL0022, 46CB0007 en 46DL0020. Deze locaties zijn aangevuld met vier extra locaties teneinde een goede verdeling over de regio te verkrijgen. De keuze van deze locaties is bepaald door de beschikbare buizen, de ligging ten opzichte van de andere vier locaties (spreiding). Van de bestaande peilbuizen die in aanmerking komen is telkens die buis genomen met de laagste waarnemingsfrequentie. Dit heeft geresulteerd in de volgende vier aanvullende locaties: 52AB0067, 52BL0010, 46AL0032 en 45HL0028.

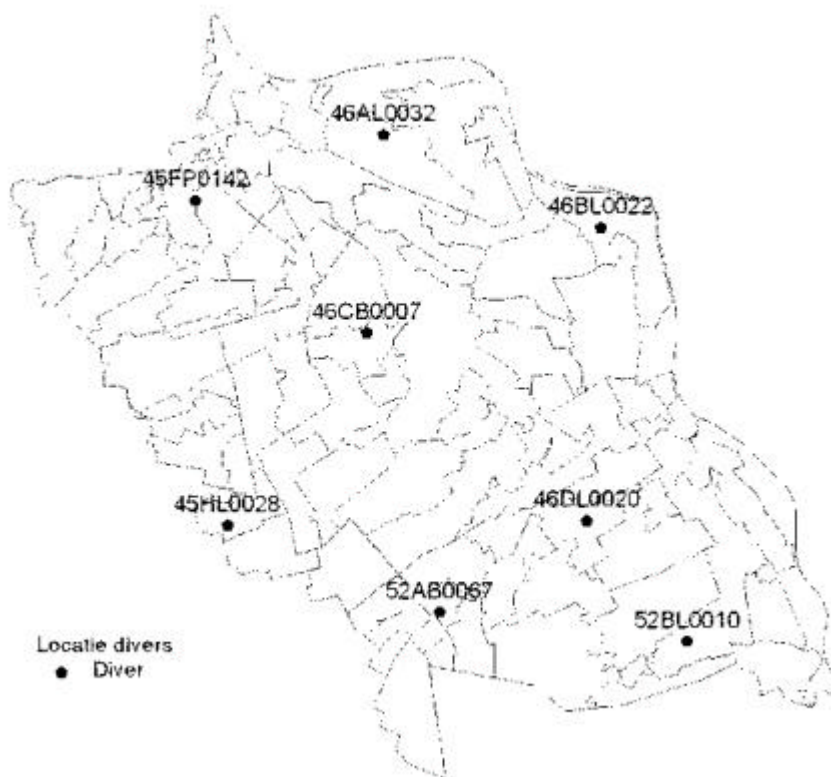


Fig 14 Voorgestelde locatie voor plaatsing van divers

Een of mogelijk meerdere peilbuizen worden in beekdalen geplaatst (figuur 13), omdat dit natte plekken zijn die snel reageren, komen deze locaties in aanmerking om divers te plaatsen.

4.7 Beschrijving meetperiode.

4.7.1 Statistische beoordeling bestaand meetnet

De waarnemingen van de peilbuizen zijn in Aanhangsel 3 weergegeven tov van maaiveld. Voor de verdere verwerking zijn de gegevens verwerkt als grondwaterstanden in cm tov maaiveld. Alleen voor de “Zeeland”-buizen was op het moment van de verwerking geen maaiveldshoogte beschikbaar zodat deze waarden als stijghoogte tov NAP zijn verwerkt. Als eerste stap zijn voor alle peilbuizen van het opgeschoonde bestand een aantal statistische kenmerken bepaald. In Aanhangsel 9a zijn de statistische kenmerken weergegeven. Het gemiddelde en de mediaan van alle waarnemingen is ca 172 cm –mv, dit duidt op buizen die op overwegend hogere gronden zijn gelegen. De range van de waarnemingen varieert tussen 71 en 289 cm.

Correlatie

Of waarnemingslocaties identiek reageren in de tijd kan worden onderzocht door middel van de bepaling van de correlatiecoëfficiënt van een peilbuis met de overige peilbuizen. Hierbij is het van belang om waarnemingen die op hetzelfde tijdstip (dag) zijn gemeten onderling te correleren. In aanhangsel 9b zijn de correlatiecoëfficiënten (Multiple R) weergegeven. Als twee buizen onderling een hoge correlatiecoëfficiënt hebben, kunnen ze worden gebruikt om door middel van lineair regressie de onderlinge relatie vast te stellen. Daarom is voor elke buis bepaald met welke andere buis sprake is van de hoogste correlatie. Ten Cate et al. (1995) geeft als minimale waarde 0,80, om een buis te kunnen gebruiken om de grondwaterstand op een andere locatie te voorspellen. Bij het huidige meetnet van 47 peilbuizen is er slechts een buis die met geen enkele andere buis een hogere correlatie heeft dan 0,80 nl. Zeeland17 (0,78 met Zeeland 2). Voor de overige buizen geldt dat deze met minstens één andere buis een correlatiecoëfficiënt hebben groter dan 0,8.

Voor de verdere analyse zijn echter alleen de peilbuizen van belang die deel uitmaken van het nieuwe meetnet. Als we deze set nader beschouwen dan zijn er twee peilbuizen die met geen enkele andere buis een hogere correlatie hebben dan 0,80, nl 52AB0067 (0,79 met 46CB0007) en Cuyk1A (0,62 met 46BL0022). Wat verder opvalt, is dat enkele peilbuizen meerdere malen worden geselecteerd als buis met de hoogste correlatiecoëfficiënt (tabel 11).

Tabel 11 Peilbuizen die goed correleren met meerdere peilbuizen van het huidige meetnet

Buis	Aantal
45FP0142	3
46BL0022	2
46CB0007	5
46DL0020	3

Door middel van lineaire regressie worden relaties gelegd tussen waarnemingslocaties. Hierbij kan een waarneming op de ene locatie worden gebruikt om een voorspelling te doen op de andere locatie. Bij een goede relatie tussen twee locaties kan eventueel het aantal waarnemingen worden beperkt of aangevuld.

Niet voor alle mogelijke combinaties van peilbuizen is de lineaire regressievergelijking opgesteld, voor de te handhaven peilbuizen is uit alle beschikbare peilbuizen de buis gezocht met de grootste correlatiecoëfficiënt (Multiple R). Door lineaire regressie is vervolgens de relatie tussen deze buizen bepaald (Aanhangsel 9c). De voorspelling van een lineair model is beter naarmate de verklaarde variantie (Adjusted Squared R) groter is, ervan uitgaande dat een voldoende aantal waarnemingsparen is gebruikt om de regressievergelijking te bepalen.

Als de verklaarde variantie laag is, dan wordt de voorspelling minder nauwkeurig, we leggen de grens bij 80% (ten Cate et al., 1995), dan voldoen drie locaties niet, nl 46DP0086, 52AB0067, CUYK1A. Ook het aantal waarnemingsparen dient niet te klein te zijn, bij voorkeur meer dan 20. Het aantal waarnemingen van de gebruikte peilbuizen is altijd voldoende groot, minimaal 36.

Uit tabel 11 volgt dat de meting van 4 peilbuizen informatie kan geven over 13 locaties.

4.7.2 XG3

Een manier om het grondwaterniveau en de fluctuatie daarin te karakteriseren is de grondwatertrappenindeling. Een grondwatertrap wordt gekarakteriseerd door een GHG en een GLG, welke weer wordt berekend uit de HG3 en de LG3. In de inleiding zijn de begrippen HG3, LG3, GHG en GLG gedefinieerd. De grondwatertrap wordt berekend over een periode van minimaal 8 jaar, en geeft daarmee een goede karakteristiek over de periode. Door voortschrijdend de GHG en de GLG over acht jaar te berekenen kunnen bepaalde trends in het weer of anderszins in beeld worden gebracht. In figuur 15 is voor peilbuis 45FP0142 de berekende HG3, LG3, GHG en GLG berekend, uitgaande van ca. 24 waarnemingen per hydrologisch jaar (1 april – 1 april).

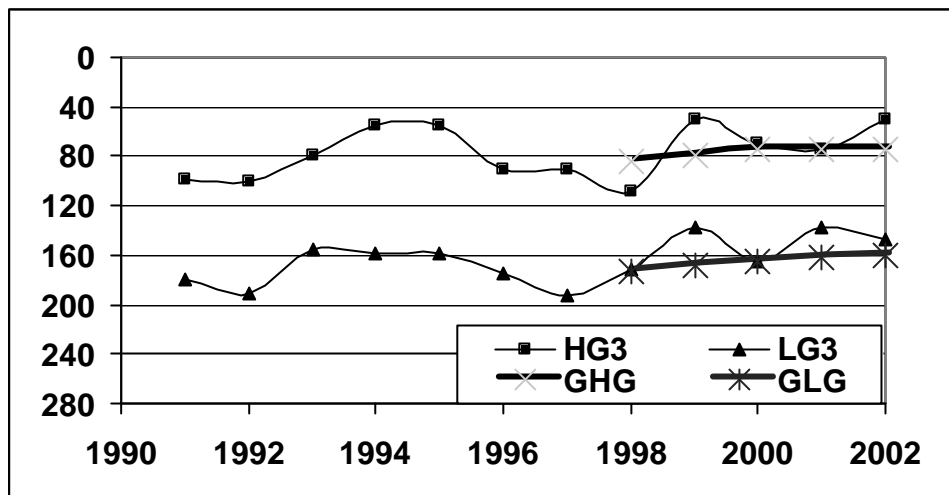


Fig. 15 HG3, LG3, GHG en GLG voor buis 45FP0142

Uit figuur 15 blijkt dat de LG3 fluctueert tussen 192 cm-mv en 138 cm-mv (spreiding van 54 cm) en de HG3 tussen 50 en 108 cm-mv (spreiding van 58 cm). De toppen komen overeen met de nattere jaren resp. 1992-1994 en 1998-2002. In de figuur is het hydrologische jaar 1993, gedefinieerd als lopend van 1 april 1993 -1 april 1994. De natte reeks jaren 1998-2002 (paragraaf 2.4) is er de oorzaak van dat de GHG en GLG ondieper zijn geworden. Volgens de definitie is de locatie die in 1998 als een GT VII zou worden geclassificeerd, in latere jaren een GT VI. Dit effect is ook gevonden bij een onderzoek voor waterschap De Dommel (Massop et al, 1999).

Voor alle peilbuizen van het bestaande meetnet zijn dezelfde figuren geconstrueerd. Omdat in een aantal meetreeksen perioden ontbreken, of het aantal waarnemingen per hydrologisch jaar kleiner is dan 19, is het niet altijd mogelijk om voor elk jaar de HG3 cq. LG3 te berekenen. Als een opeenvolgende reeks van minimaal 8 jaar voor HG3 en de LG3 ontbreekt, is het vervolgens niet mogelijk om de GHG en de GLG te bepalen. Anderzijds komt het ook voor dat voor een aantal peilbuizen in een bepaalde periode veel waarnemingen beschikbaar zijn, voor de bepaling van de GHG en de GLG zijn alleen de waarnemingen tussen de 11-17 resp. 25-31 van de maand gebruikt. Van de 47 peilbuizen is voor 17 buizen een GXG te bepalen (Aanhangsel 10).

Voor de buizen waarvoor een de GHG en de GLG kon worden bepaald zien we dezelfde trend als in figuur 15.

4.8 Beheersbaar gebied

De in paragraaf 3.7 beschreven methodiek is toegepast, in figuur 16 zijn de beheersbare gebieden weergegeven. Een deel van het studiegebied, gelegen langs de Maas is niet beheersbaar, en watert vrij af op de Maas, dit gebied is niet meegenomen in de analyse.

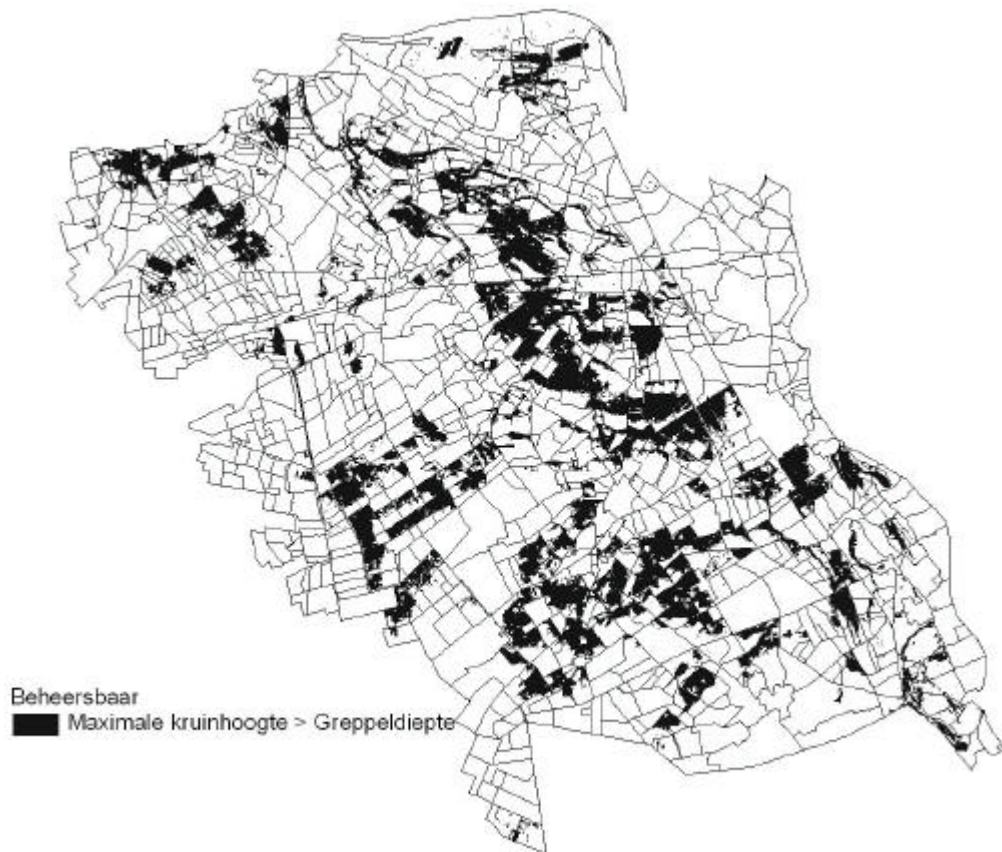


Fig. 16 Beheersbare gebieden binnen Regio Oost

5 Discussie en aanbeveling

Het bestaande meetnet is geëvalueerd aan de hand van een aantal criteria, nl.:

- representativiteit op basis van de verdeling van de karteerbare eigenschappen van het gehele onderzoeksgebied;
- representativiteit op basis van karteerbare eigenschappen voor de onderscheiden clusters.

Een punt van nader onderzoek is om na te gaan hoe de gecorreleerde buizen zich verhouden tot de gekozen data-indeling, deze analyse zou aanleiding kunnen zijn om de grenzen bij te stellen. Een onderzoek naar de invloed van de afzonderlijke parameters op de grondwaterdynamiek zal kunnen aangeven welke parameters het meest bepalend zijn. In de huidige opzet wordt op basis van de gebruikte parameters de locatie met de geringste afwijking van het gemiddelde gekarakteriseerd als beste locatie. Indien ook naar de onzekerheid van de gebruikte parameters gekeken wordt, komen wellicht meerdere locaties in aanmerking als beste locatie. Nader onderzoek met betrekking tot de onzekerheid van de gebruikte parameters geven de mogelijkheid om meerdere potentiële locaties op een statistische verantwoorde manier aan te geven. Vergelijking van parameters, bepaald aan de hand van tijdreeksmodellering en op basis van ruimtelijke kenmerken behoorde niet tot de onderzoeksvraag, maar is een onderzoeksvraag bij een eventueel vervolgonderzoek.

Het verdient aanbeveling om het meetnet elke 14 dagen op te nemen teneinde daaruit de GHG en de GLG af te kunnen afleiden.

In een beperkt deel van het waterschap is door middel van wateraanvoer het oppervlaktewaterpeil te handhaven en daarmee de grondwaterstand te beïnvloeden (grondwaterstandsgericht peilbeheer). Daarnaast zijn er delen waar water conservering in het voorjaar mogelijk is. Om te sturen op het grondwater is er behoefte om het meetnet aan te vullen met extra peilbuizen. Deze buizen dienen representatief te zijn voor gebieden, waarbinnen de grondwaterstand is te beïnvloeden door het oppervlaktewater. Om deze gebieden te traceren is het van belang te beschikken over een peilvakkenkaart met daaraan gekoppeld de stuwstanden. Door deze kaart te combineren met de dieptekaart van de greppels, is het gebied te bepalen waarbinnen de grondwaterstand door het oppervlaktewater kan worden beïnvloed (Zie fig. 16). Door combinatie van deze kaart met de gebiedseigenschappen zijn aanvullende locaties te selecteren voor een secundair meetnet, gericht op peilbeheer.

Naast buizen om te sturen kan worden gedacht aan alarmlocaties, door het plaatsen van buizen op natte plekken, hiervoor is een kaart noodzakelijk die het niveau van het oppervlaktewater in een afvoersituatie weergeeft, bijv. bij halve maatgevende afvoer.

Literatuur

- Bierkens M.F.P., M. Knotters en F.C. van Geer, 1999. *Tijdreeksanalyse nu ook toepasbaar bij onregelmatige meetfrequenties*. *Stromingen* 5, 2: 43-54.
- Bierkens M.F.P en H.Th.L.Massop, 2000. *Optimalisatie meetlocaties grondwaterstanden waterschap De Aa. Representatieve locaties voor grondwaterafhankelijk peilbeheer*. Wageningen, Alterra rapport 010.
- Cate, J.A.M. ten, A.F. van Holst, H. Kleijer en J. Stolp. 1995. *Handleiding bodemgeografisch onderzoek; richtlijnen en voorschriften Deel B: Grondwater*. Technisch document 19B, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Finke P.A., M.F.P. Bierkens, D.J. Brus, J.W.J. van der Gaast, T. Hoogland, M. Knotters en F. de Vries, 2002. *Klimaatrepresentatieve grondwaterdynamiek in Waterschap De Maaskant*. Wageningen, Alterra rapport 382.
- Gaast J.W.J. van der en H. Th. L. Massop. *Peilwijzer*. In prep.
- Geer F.C. van en J.W.M Lambert, 1990. *Ontwerp van freatische meetnetten. Een verkennende studie*. Delft TNO-rapport OS 90-71-B.
- Heijboer D. en J. Nellestijn, 2002. *Klimaatatlas van Nederland. De Normaalperiode 1971-2000*. De Bilt
- IWACO, 1997. *Grondwaterstandsmeetnet Maaskant*. Rapport 335-350.
- Knotters M. en M.F.P. en Bierkens, 1999. *Tijdreeksmodellen van de grondwaterstand. Een kijkje in de black box*. *Stromingen* 5, 3: 35-50.
- Lankester J. en C. Maas, 1996. *Een onderzoek naar de karakterisering van vegetatiekundige standplaatsen op basis van impulsresponsies*. *Stromingen* 2, 3: 5-17.
- Massop H. Th. L., 1998. *Analyse grondwaterstanden Twenthekanaal (Hoofdkanaal en zijkanaal)*. Interne mededeling 530.
- Massop H.T.L., J.P.T van Bakel en J. Huygen, 1999. *Analyse van de verandering in de GHG over de periode 1980-1998 in het beheersgebied van Waterschap De Dommel*. Interne mededeling.
- Massop H.T.L., T. Kroon, J.P.T van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. *Hydrologie voor Stone; Schematisatie en parametrisatie*. Wageningen, ALTEIRA, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling en Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Miliehygiëne. Alterra-rapport 038. Reeks Milieuplanbureau 9.

Massop H. Th. L. en J. G. te Beest, 2001, *Informatie-inwinning oppervlaktewaterstelsel; Kenmerken van het tertiair ontwateringsstelsel in Noord-Brabant.*

Waterschap De Maaskant, z.j. *Waterbeheersplan 2001-2004.*

Wesseling, J.G., 1991. *CAPSEV: steady state moisture flow theory. Program description, user manual.* Wageningen, Staring Centre. Report 37.

Witteveen en Bos, 2002. *Basismetplan watersysteem Waterschap de Maaskant. Meten van kwantiteitsparameters.*

Wösten J.H.M., F. de Vries en J. Denneboom, 1988. *Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250000, ten behoeve van de PAWN-studie.* Wageningen, Stiboka. Rapport 2055.

Wösten J.H.M., G.J. Veerman W.J.M. de Groot en J. Stolte, 2001. *Waterrentie- en doorlatendheids-karakteristieken van boven- en ondergronden van Nederland: de Staringreeks.* Vernieuwde uitgave 2001. Wageningen, Alterra rapport 153.