

Kwel in beeld

Kwel in beeld

**Inventarisatie van kwelkwaliteit ten behoeve van het natuurgerichte
landevaluatiesysteem NATLES**

P. C. Jansen

Alterra-rapport 904

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Jansen, P.C., 2004. *Kwel in beeld, inventarisatie van kwelkwaliteit ten behoeve van het natuurgerichte landevaluatiesysteem NATLES*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 904. 56 blz.; 15 fig.; 10. tab.; 13 ref.

De zuurkaart die het model NATLES als één van de basiskaarten voor natuurevaluatie gebruikt wordt samengesteld op basis van onder andere de hardheid van het grondwater. De hardheid is in maximaal 3 klassen onderscheiden: hard, matig hard en zacht grondwater. De volgende stap in de ontwikkeling van NATLES is gericht op een uitbreiding met een extra, matig zacht, watertype. Niet allen het model zelf, maar ook op de verspreidingskaart waarop de watertypen staan aangegeven moet hiervoor worden aangepast. In een proefgebied aan de zuidflank van de Utrechtse Heuvelrug is een methode ontwikkeld om de verspreiding van (kwel)watertypen in kaart te brengen. Met de hieruit afgeleide kweltypenkaart zijn met NATLES voor 2 hydrologische scenario's de gevolgen voor zuurgraad berekend.

Trefwoorden: kweltypering, kwelkartering, NATLES, natuurevaluatie

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 19,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 904. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veeleenvoudigd 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 Achtergrond	11
1.2 Probleemstelling	12
1.3 Doel van het project	13
1.4 Opzet van het onderzoek en indeling van het rapport	13
2 Beschrijving van het proefgebied	15
3 Ligging van kwelgebieden	19
3.1 Vroegere verspreiding van kwelgebieden	19
3.1.1 Bodemeenheden	19
3.1.2 Topgrafie	20
3.1.3 Referentie-grondwaterstand	21
3.1.4 Historisch landgebruik	23
3.2 Actuele verspreiding van kwelgebieden	24
3.3 Vergelijking historische en actuele kwelgebieden	25
4 De kwaliteit en typering van het grondwater	27
5 Aanpassing van de kwelkwaliteit in NATLES	31
6 Resultaten	35
6.1 Verspreiding van kwelwatertypen	35
6.2 Berekening zuurgraad met NATLES	38
7 Discussie, conclusies en aanbevelingen	41
Literatuur	43

Bijlagen

1 Zuurgraad als functie van bodem, kwelflux en voorjaars-grondwaterstand voor matig zacht grondwater (ca. 0.7 mMol HCO ₃ ⁻)	45
2 Kwaliteit van het bovenste grondwater in de periode 26/9 – 15/10/2003. Voor de ligging van de meetplekken zie figuur 4.1.	49
3 Typering van het bovenste grondwater met de kwaliteitsgegevens uit bijlage 2	51
4 De kans op kwel bij de meetpunten volgens verschillende methoden en eenvoudig vast te stellen veldkenmerken	53
5 Correlatiematrix van alle gegevens (bijlagen 2, 3 en 4)	55

Woord vooraf

Voor u ligt het resultaat van een onderzoek dat in opdracht van DWK-programma Regionale natuurontwikkeling is uitgevoerd. Het moet als handvat dienen om de berekening van de zuurgraad met het natuurgerichte landevaluatiesysteem NATLES te verfijnen. Het onderzoek is uitgevoerd in het gebied rond Langbroekerwetering, hetzelfde gebied waarvoor Hoogheemraad De Stichtse Rijnlanden een 'Plan van aanpak duurzaam waterbeheer Langbroekerwetering' heeft opgesteld. Het Hoogheemraadschap, dat geïnteresseerd was in de metingen die in het gebied zijn uitgevoerd, heeft de eigenaren van de meetpercelen achterhaald en een aantal extra bepalingen bekostigd.

Bij verschillende onderdelen van het onderzoek waren verschillende medewerkers van Alterra betrokken. Door P. Mekking en H. te Beest zijn in het najaar van 2003 grondwatermonsters genomen. H. Boogaard heeft NATLES geschikt gemaakt voor de verwerking van uitkomsten van het onderhavige onderzoek. En tot slot is de conceptversie van het rapport uitvoerig becommentarieerd door J. Runhaar, de geestelijk vader van NATLES.

Samenvatting

Het natuurgerichte landevaluatiemodel NATLES combineert een aantal basiskaarten met gegevens over grondwater, grondwaterkwaliteit, bodem en beheer tot een reeks standplaatskaarten waaruit vervolgens een ecotoopgroepenkaart kan worden afgeleid. Ook is het mogelijk om met behulp van de standplaatskaarten de geschiktheid voor vegetatietypen te bepalen. Als één van de standplaatskaarten wordt een ‘zuurkaart’ samengesteld. Daarbij wordt onder andere gebruik gemaakt van het type grondwater dat in een gebied voorkomt. NATLES onderscheidt 3 watertypen; hard, matig hard en zacht grondwater. Afhankelijk van de grondsoort, grondwaterstand en de kwelflux kan dit watertype in de bovengrond terechtkomen waardoor de zuurgraad hoger wordt dan de basiswaarde die NATLES aanhoudt.

In veel gebieden waar de basiswaarde voor de zuurgraad geldt blijkt in de praktijk dat het grondwater wel een (zwak) gebufferd karakter heeft. Daaraan kunnen verschillende oorzaken ten grondslag liggen; meer kwel in het verleden, bemesting of bijvoorbeeld een grote oppervlakkige afstroming van regenwater. In dergelijke gebieden valt te verwachten dat het gebufferde grondwater nog decennia lang de samenstelling van de vegetatie beïnvloedt. Het is de bedoeling dat NATLES in de toekomst met dit fenomeen rekening houdt. Enerzijds zal het modelconcept aangepast moeten worden voor processen die tot een grotere bruto kwelflux leiden en anderzijds moet de verspreiding van watertypen gedetailleerder in kaart worden gebracht. In dit rapport komt het tweede onderdeel aan de orde. Nagegaan wordt of het mogelijk en zinvol is een extra watertype te onderscheiden dat qua hardheid een positie inneemt tussen matig hard en zacht grondwater.

Het onderzoek is uitgevoerd in een gebied rond Langbroekerwetering (Utr). Dit gebied is gekozen omdat hier actuele en historische kwelgegevens van beschikbaar zijn die kunnen worden gebruikt bij de extrapolatie van de grondwatersamenstelling. Voor de ligging van de vroegere kwelgebieden zijn de bodemkaart, de hoogtekaart en het historisch bodemgebruik gebruikt. Verder zijn onder andere de uitkomsten van een hydrologisch model gebruikt. Aan de hand van resultaten van 51 monsters van het ondiepe grondwater is nagegaan welke (combinatie van) gegevensbronnen een goede typering van het grondwater oplevert.

In voormalige kwelgebieden blijkt geen lithoclien (grondwaterachtig) grondwater meer aanwezig te zijn. Wel was er een relatie tussen de grondwatersamenstelling en de modeluitkomsten van de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en de kwel. De grondwatersamenstelling is hierbij gedefinieerd als de overeenkomst met een referentie voor zwak gebufferd grondwater. De overeenkomst in kwaliteit is met het model MAIONF berekend dat hiervoor de gemeten macro-ionensamenstelling vergelijkt met die van het referentiewater.

Het regressiemodel waarmee uit de GLG en kwelflux de overeenkomst met zwak gebufferd grondwater wordt berekend bestaat uit 4 deelmodellen. Die gelden voor verschillende combinaties van grondsoort en bodemgebruik. Voor de grondsoort is

onderscheid gemaakt in zand en klei en voor bodemgebruik in cultuur en natuur. Cultuur bestaat uit gras- en bouwland en natuur bestaat hier alleen uit bos. Met de 4 deelmodellen is een gebiedsdekkende kaart samengesteld die op grond van een indeling onderscheid in 4 hardheidsklassen maakt: zacht, matig zacht, matig hard en hard grondwater.

De functionaliteit van NATLES is getoetst voor een watertypenkaart waarbij de deelmodellen voor natuur zijn gebruikt. De zuurkaart die dit oplevert laat in de kleigebieden veel basische plekken zien die met de oorspronkelijke typering in 3 watertypen zwak zuur zouden zijn. Het nieuw onderscheiden matig zachte watertype heeft weinig gevolgen voor de zuurgraad.

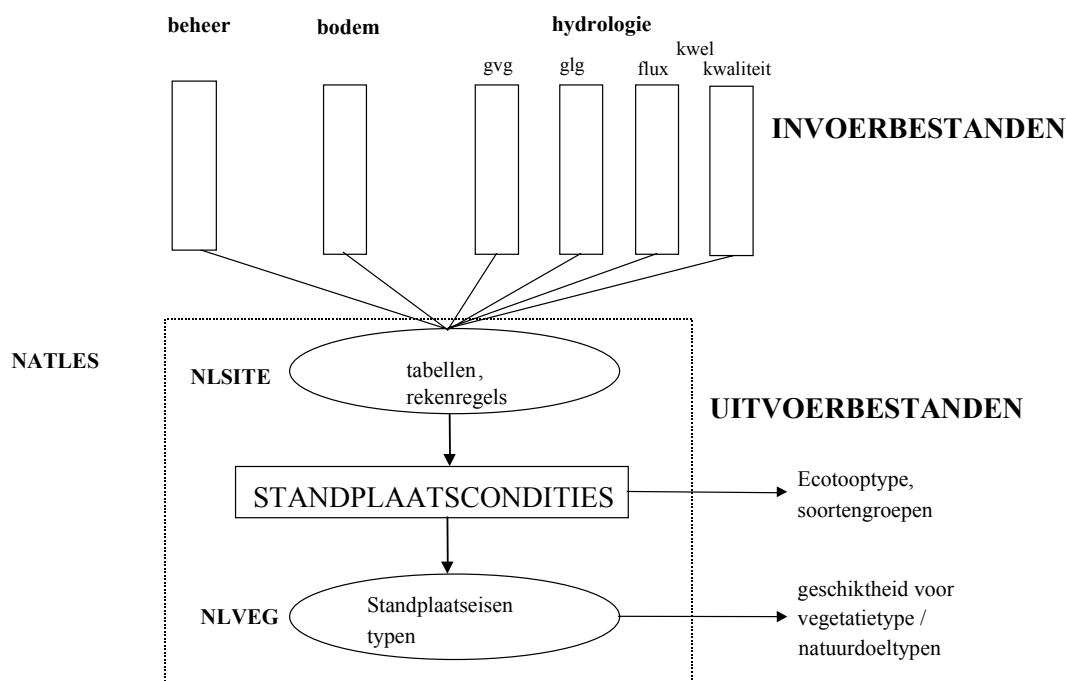
De methode om watertypen gebiedsdekkend in kaart te brengen biedt goede perspectieven om verder te ontwikkelen. De uitbreiding van NATLES met een extra watertype resulteert vooralsnog alleen voor erg natte omstandigheden tot een andere zuurgraad. De relevantie van het gebruik van de aangepaste NATLES-versie zal toenemen als de bruto kwelflux en de functies die de zuurgraad berekenen op grond van grondsoort, grondwaterstand en kwelflux nauwkeuriger resultaten opleveren.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Om bij de planvorming effecten van hydrologische maatregelen op natuurontwikkeling te kunnen evalueren wordt in de praktijk vaak gebruik gemaakt ecologische voorspellingsmodellen. Een dergelijk model is het natuurgerichte landevaluatiesysteem NATLES (Runhaar et al., 2003). Dit model levert gebiedsdekkende informatie van standplaatscondities, vegetatiestructuren (ecotooptypen) en de geschiktheid van de standplaatsen voor vegetatietypen of natuurdoeltypen.

Als invoer maakt NATLES gebruik van bestanden met informatie over bodem, hydrologie en beheer (fig. 1.1). Deze factoren zijn bepalend voor de vegetatieontwikkeling. Voor de bodem wordt in de regel de bodemkaart gebruikt en voor de hydrologie de uitkomsten van scenarioberekeningen waarvoor hydrologische modellen als SIMGRO en MODFLOW worden gebruikt. Het beheer moet door de gebruiker worden opgegeven, bijvoorbeeld door het te relateren aan de geplande natuurdoeltypen.



Figuur 1.1 Opzet van het programma NATLES (naar Runhaar et al., 2003)

Voor de bepaling van de standplaatscondities wordt gebruik gemaakt van kennistabellen die voor alle mogelijke combinaties van invoerbestanden de vochttoestand, zuurgraad en voedselrijkdom geven. De kennistabellen zijn gebaseerd op modelberekeningen, op empirisch vastgestelde relaties en op deskundigenoordeel. Voor de bepaling van de geschiktheid voor vegetatie- en natuurdoeltypen wordt eveneens gebruik gemaakt van tabellen. In deze tabellen wordt aangegeven welke

standplaatscondities voor de verschillende vegetatie- en natuurdoeltypen al dan niet geschikt zijn.

1.2 Probleemstelling

In het kader van de ontwikkeling van NATLES is onlangs versie 2.1 verschenen waarin het onderdeel vochttoestand is gemodificeerd. En daarnaast is de berekening van de kansrijkdom voor vegetaties en natuurdoeltypen sterk uitgebreid. Als volgende stap staat het onderdeel kwel ter discussie. De kwel in NATLES is van belang voor de voorspelling van de zuurgraad die weer van invloed is op de plantengroei. Deels loopt dit via macro-nutriënten (N, P, K), waarvan de omzettingen en de oplosbaarheid sterk wordt beïnvloed door de zuurgraad (pH). Daarnaast heeft de zuurgraad invloed op de oplosbaarheid van metalen, die ofwel toxisch zijn ofwel nodig zijn als macro-nutriënt. Onder erg zure omstandigheden gaat het giftige aluminium in oplossing en kunnen alleen soorten overleven die daaraan zijn aangepast. In meer basische milieus kan juist de geringe oplosbaarheid van ijzer een probleem vormen.

Als invoer voor de kwel vraagt NATLES om twee kaarten; een kaart van het onderzoeksgebied waarop de verspreiding van de kwelgebieden met kwelfluxen staat en een kaart met de kwaliteit van het grondwater. Voor de kwaliteit worden 3 waterkwaliteitstypen onderscheiden. In feite is daarbij alleen de calciumconcentratie als maat voor de hardheid van het grondwater richtinggevend (tabel 1.1). Voor de ligging van kwelgebieden en voor de bepaling van de kwelfluxen kan gebruik worden gemaakt van hydrologische modellen. Veel lastiger is het om de grondwaterkwaliteit te bepalen. De informatie over de grondwatersamenstelling is beperkt en is met hydrologische modellen (nog) niet te voorspellen. Bij de toepassing van NATLES wordt daarom vaak een uniforme grondwatersamenstelling aangenomen in de kwelgebieden, hetgeen de betrouwbaarheid niet ten goede komt. Een andere beperking is het aantal watertypen dat wordt onderscheiden: Hard, matig hard en zacht (regen-)water. Verondersteld wordt dat zacht water in alle infiltratiegebieden voorkomt. Er zijn echter omstandigheden waarin ook in infiltratiegebieden gebufferd grondwater voor kan komen. Te denken valt aan voormalige kwelgebieden of gebieden waar in het verleden kalkrijk slib is afgezet en waar de buffercapaciteit uiterst traag afneemt. De ecotooptypen en de geschiktheid voor vegetatietypen kunnen daar wezenlijk anders zijn dan in andere infiltratiegebieden. Een mogelijkheid om hieraan tegemoet te komen is door NATLES uit te breiden met een zwak gebufferd watertype. De uitbreiding van nieuwe tussenklasse ‘matig zacht grondwater’ impliceert dat de invoerbestanden voor NATLES en ook het NATLES-model zelf moeten worden aangepast.

Tabel 1.1 Codering voor watertype in NATLES

Codering	Beschrijving	K mg/l	Na mg/l	Ca Mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l
1	Hard	1,2	14	40	5	14	13	146
2	Matig hard	0,6	6	15	2	7	8	55
3	Zacht	0,2	4	7,5	1	5	7	27

In de praktijk wordt in een onderzoeksgebied meestal alleen aangegeven of er hard of matig hard grondwater voorkomt. Gebieden die een neerslagwaterkwaliteit hebben worden niet apart onderscheiden omdat volgens NATLES alle infiltratiegebieden een dergelijk watertype hebben. Voor het afleiden van een 'hardheidskaart' wordt in de regel gebruik gemaakt van verschillende gegevensbronnen zoals geologische informatie, historische vegetatiegegevens (van Ek, 1997), waterkwaliteitsgegevens of hydrologische systeembeschrijvingen. Deze gegevens zijn onvoldoende om de gebieden te onderscheiden waar zwak gebufferd grondwater kan voorkomen. Om de verspreiding van dergelijke gebieden toch goed in kaart te brengen zullen aanvullende gegevensbronnen moeten worden geraadpleegd.

In de huidige versie is de zuurgraad met SMART (Kros et al., 1995) berekend voor de combinaties van de 3 grondwatertypen, 5 bodemtypen, 21 kwelklassen en 11 GVG-klassen. De resultaten staan in 15 kennistabellen die in NATLES worden gebruikt om de zuurgraad te berekenen. Het onderscheiden van een extra watertype houdt in dat het aantal tabellen moet worden uitgebreid.

1.3 Doel van het project

Het project heeft een tweeledig doel:

1. Het ontwikkelen van een methode om een ruimtelijk beeld van de grondwatersamenstelling in kwelgebieden te verkrijgen.
2. Uitbreiden van de grondwatertypen die in NATLES worden onderscheiden met een extra klasse zwak gebufferd grondwater.

1.4 Opzet van het onderzoek en indeling van het rapport

Er is gekozen om het onderzoek uit te voeren in een proefgebied waar historische en actuele gegevens over het voorkomen van kwel beschikbaar zijn en waar voldoende variatie in bodemsamenstelling en bodemgebruik is. Het proefgebied wordt in hoofdstuk 2 beschreven.

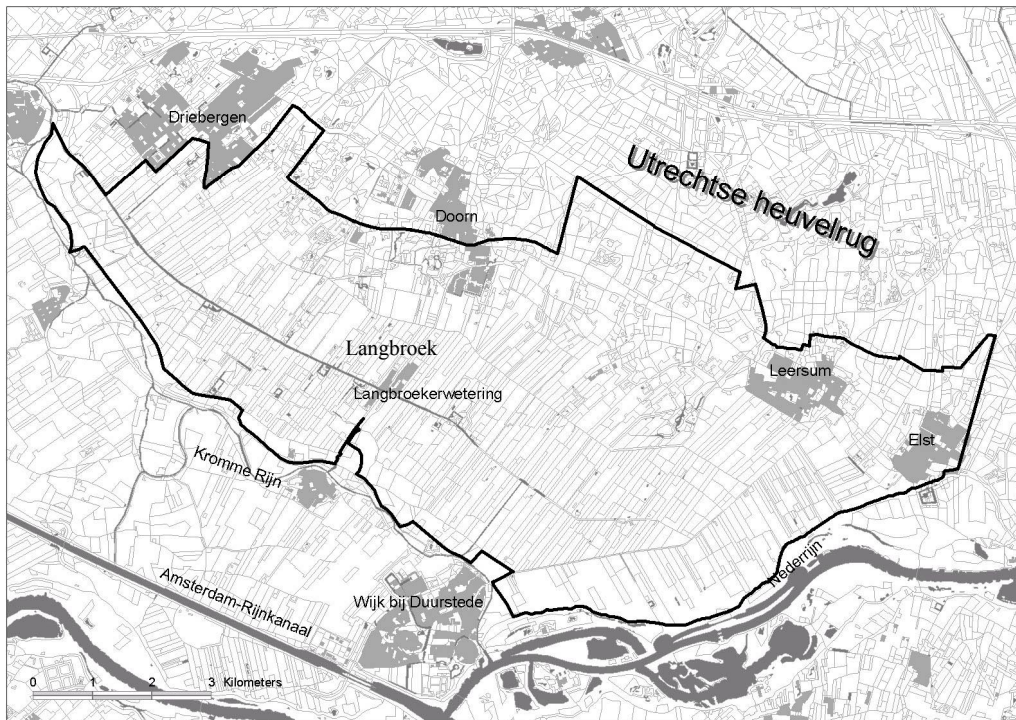
De *eerste* doelstelling, de methode om kwelgebieden in kaart te brengen, wordt gebaseerd op waterkwaliteitsgegevens en eenvoudige veldwaarnemingen. De gegevens worden getoetst aan historische en actuele kwelgegevens. Van de actuele kwelgebieden mag verwacht worden dat het grondwater er een kwelwaterkwaliteit heeft. In voormalige kwelgebieden is dat minder waarschijnlijk, maar door naijling kan de samenstelling nog wel een zekere overeenkomst met kwelwater hebben. De waterkwaliteitsgegevens moeten daar uitsluitsel over geven. In hoofdstuk 3 worden de historische en actuele kwelgegevens besproken almede de kwelkaarten die daaruit zijn afgeleid. Hoofdstuk 4 richt zich op de waterkwaliteit. Achtereenvolgens wordt aandacht besteedt aan de bemonstering van het grondwater, de waterkwaliteitsgegevens en de typering van die gegevens.

De *tweede* doelstelling, de uitbreiding van NATLES met een extra watertype, impliceert dat de kennistabellen over de zuurgraad moeten worden aangevuld met een zwak gebufferd watertype. In combinatie met 5 bodemtypen, 21 kwelfluxklassen 7 GVG-klassen levert dat in totaal 735 gegevens op die worden ondergebracht in 5 nieuwe kennistabellen. De aanpassingen van NATLES worden in hoofdstuk in hoofdstuk 5 behandeld.

De resultaten van het onderzoek worden in hoofdstuk 6 besproken. Eerst wordt ingegaan op de verspreiding van de watertypen (hfdst. 6.1) en vervolgens op de met NATLES berekende zuurgraad (hfdst. 6.2). Tot slot wordt in hoofdstuk 7 het onderzoek geëvalueerd.

2 Beschrijving van het proefgebied

Als proefgebied is het Langbroekerweteringgebied gekozen waar sinds 1996 het gebiedsgerichte project Langbroekerwetering loopt en waar door het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden een 'Plan van Aanpak Duurzaam Waterbeheer Langbroekerwetering' is opgesteld. In dat kader wordt veel informatie verzameld die deels ook voor dit project bruikbaar is.



Figuur 2.1 Ligging van het proefgebied 'Langbroekerwetering'

Het proefgebied strekt zich uit vanaf de zuidwestflank van de Utrechtse Heuvelrug tot aan de Nederrijn en Kromme Rijn in het zuiden (fig. 2.1). De oppervlakte bedraagt ruim 1350 ha. De hoogtekaart van het gebied laat een verschil zien van ruim 50 m + NAP op de hoogste plekken van de Utrechtse Heuvelrug tot minder dan 3 m in het zuidwesten (fig. 2.2). De bodemopbouw en de grondwatersituatie zijn nauw gerelateerd aan de hoogtegradiënt (fig. 2.3). De Utrechtse Heuvelrug zelf bestaat voor een groot gedeelte uit hoge grofzandige podzolgronden waarop dennenbossen voorkomen. Onder aan de Utrechtse Heuvelrug liggen zogenaamde hoge enkeerdgronden. Dit zijn bouwlanden waar in het verleden bemeste plaggen uit de potstallen zijn opgebracht. Zowel de podzolgronden als de hoge enkeerdgronden zijn kenmerkend voor een infiltratiesituatie. De grondwaterstroming is neerwaarts gericht. Het grondwater zal er een regenwaterachtige (atmocliene) samenstelling hebben, maar tijdens de stroming van het grondwater door het weliswaar kalkarme substraat zal het water een steeds meer grondwaterachtige (lithocliene) samenstelling krijgen.

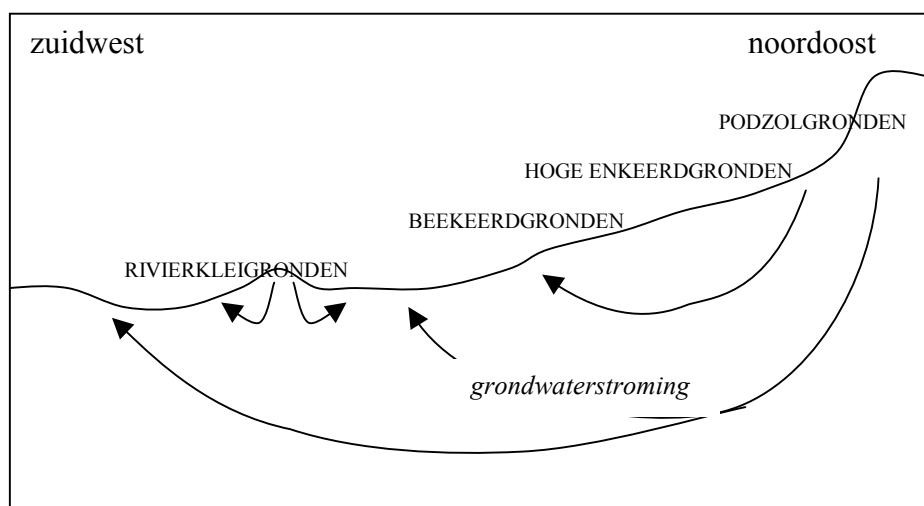
Onder aan de Utrechtse Heuvelrug ligt een strook natte zandgronden die oorspronkelijk onder invloed van kwelwater gevormd zijn.

De overgangen van hoge enkeerdgronden naar beekerdgronden zijn abrupt. Het zou best kunnen dat bij nadere beschouwing er binnen de enkeerdgronden meer differentiatie is dan de 1 : 50 000 bodemkaart aangeeft, en dat de laagstgelegen delen van de 'hoge' enkeerdgronden in feite 'lage' enkeerdgronden zijn die zijn ontstaan uit opgehoogde beekerdgronden.



Figuur 2.2 Hoogtekaart

Na de beekerdgronden volgt een vlakker gedeelte waar rivierklei is afgezet. De zwaarte cq. het lutumgehalte van deze kleigronden varieert nogal. De relatief hoger gelegen delen, de stroomruggen, zijn wat lichter dan de lagere kommen. De grondwaterstroming in dit gebied is minder duidelijk. Er kan diepe kwel optreden die afkomstig is van de Utrechtse Heuvelrug, ondiepe kwel vanuit de dekzandruggen en bij hoge rivierstanden kan ook sprake zijn van dijkkwel. Anderzijds zal er ook op grote schaal wegzijging plaatsvinden, zeker als bij een laag peil de rivieren drainerend werken. Op een enkel bodemvlakje bij de Kromme Rijn na is de klei kalkarm.



Figuur 2.3 Bodemtypen en grondwaterstroming in een schematische doorsnede door het proefgebied

3 Ligging van kwelgebieden

Voor het vaststellen van ligging van de vroegere en huidige kwelgebieden wordt geput uit verschillende gegevensbronnen die gebiedsdekkende informatie opleveren en die betrekkelijk eenvoudig verkrijgbaar zijn. Van iedere gegevensbron apart wordt een zo in zo goed mogelijke inschatting gemaakt van de kwelkans. Van de gebieden die vroeger kwelgebied waren, maar die dat in de huidige situatie niet meer zijn, zal de samenstelling van het ondiepe grondwater steeds verder verschuiven van grondwaterachtig (=lithoclien) naar regenwaterachtig (atmoclien).

3.1 Vroegere verspreiding van kwelgebieden

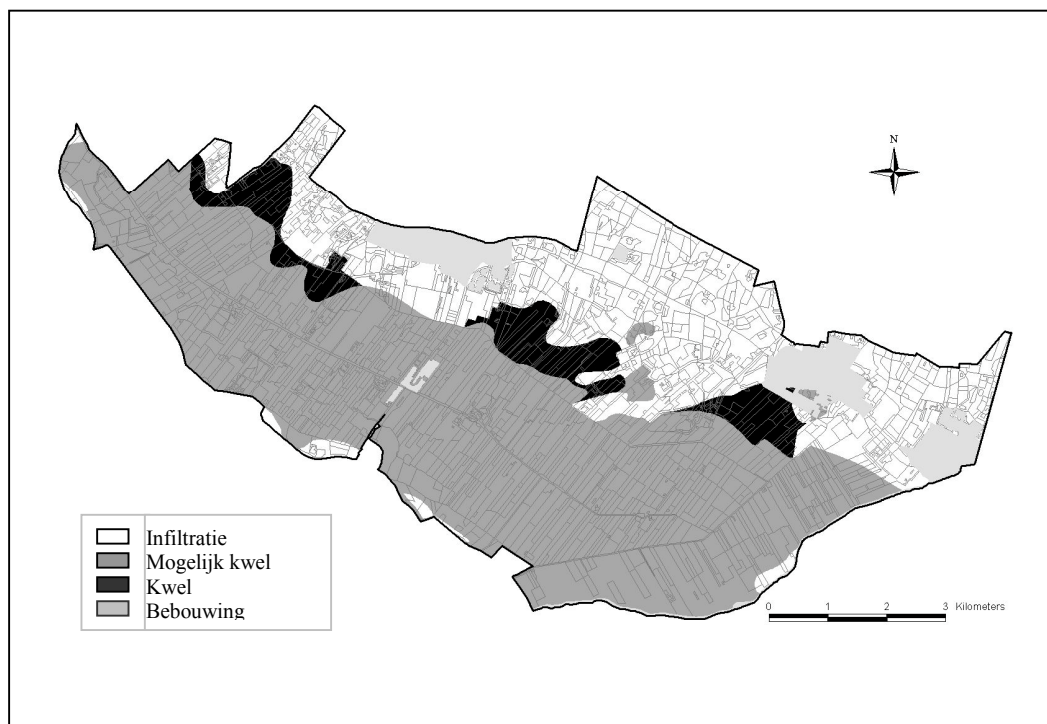
3.1.1 Bodemeenheden

De bodemeenheden op de bodemkaart geven informatie of er tijdens de bodemvorming kwel is opgetreden. Uitgangspunt is dat de veelal fossiele hydromorfe bodemkenmerken een goed beeld geven van de vroegere hydrologische situatie. Met name in pleistocene gebieden lijkt dat het geval te zijn. Aan de hand van de bodemkenmerken die door kwel zijn achtergelaten, het reliëf, stijghoogtepatronen, historisch landgebruik en archiefgegevens over vegetatie zijn alle bodemeenheden die op de bodemkaart 1 : 50 000 (Stiboka, 1962-1985) voorkomen volgens de omschrijvingen in tabel 3.1 ingedeeld naar de kans op voorkomen van kwel (Jansen et al., 2000). Als mogelijke kwelgebieden komen alle bodemvlakken in aanmerking die een code 1-4 hebben. Van een aantal bodemeenheden is de kwelstatus niet duidelijk. Daarbij moet gedacht worden aan kleigronden en poldervaaggronden. Deze hebben een code 1.

Tabel 3.1 Indeling in kans op voorkomen van kwel tijdens de bodemvorming (Jansen et al., 2001)

Code	Kwelkans
0	Geen kwel, uitsluitend wegzijging
1	Mogelijk enige (periodieke) kwel
2	Enige (periodieke) kwel
3	Tamelijk veel (permanente) kwel
4	Veel (permanente) kwel

De bodemeenheden van de bodemkaart die op een kwelsituatie tijdens de bodemvorming duiden staan in figuur 3.1. De kwelzones aan de voet van de Utrechtse Heuvelrug liggen op de overgang van de podzol- en enkeerdgronden naar het lager gelegen kleigebied. De zuidwestelijke helft van het gebied bestaat uit kleigronden. Hiervan is de kwelstatus minder evident omdat het gaat om jonge bodems waarin de aanwezigheid van kwel nog niet heeft geleid tot bodemdifferentiatie.



Figuur 3.1 Gebieden met bodemtypen die onder invloed van kwel gevormd zijn

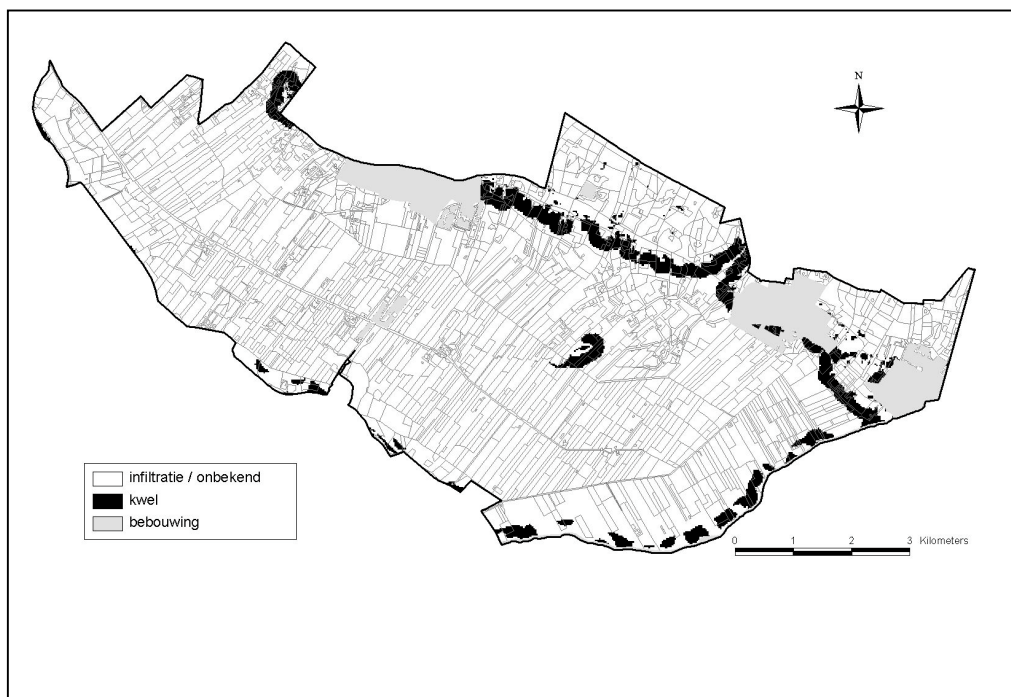
3.1.2 Topgrafie

In laaggelegen gebieden is de kans op kwel groter dan in hoger gelegen gebieden. De hoogtekaart (fig 2.2) laat zien dat het zuidwestelijke kleigebied de laagste ligging heeft. Maar ook onderaan hellingen is de kans op kwel groter dan in vlakke gebieden. Door TNO is in Noord Brabant een methode toegepast waarin kwelgebieden uit het hoogtebestand zijn afgeleid (Van Ek et al., 1997). Deze gebieden worden met een aantal ARCVIEW-bewerkingen uit het hoogtestand (AHN) gedistilleerd:

- Verwijder sinks (afgesloten laagtes) uit het hoogtebestand.
- Bereken het patroon van afstroming (stroomlijnen). De fijnmazigheid wordt bepaald door de hoeveelheid neerslag die mag afstromen. Deze wordt zodanig gekozen dat het stroomlijnenpatroon een zekere overeenstemming vertoont met werkelijke waterlopenpatroon.
- Selecteer uit het hoogtebestand de hellingen die steiler zijn dan 0,5% en verwijder kleine (<5ha) losstaande hellingen.
- Trek om de hellingen en om stroomlijnen een zone van 200 m
- Selecteer de overlappende zones.

Een beperking van deze methode is dat de kwelzones rond de hellingen niet via een bewerking te splitsen zijn in zones die langs bovenrand van de helling liggen en zones die langs de dalzijde liggen. De belangrijkste onvolkomenheden van de methode worden echter veroorzaakt door een vlakke maaiveldsligging. In Noord Brabant voldeed de methode wel in gebieden met uitgesproken beekdalen, maar niet in de

delen die beneden de 40 cm +NAP lagen. Andere ervaringen geven eveneens aan dat stroomlijnen alleen in gebieden met een vrij groot verhang goed zijn vast te stellen (Immerzeel, pers. mededeling).



Figuur 3.2 Mogelijke kwelgebieden onder aan bellingen

3.1.3 Referentie-grondwaterstand

Een hoge grondwaterstand in de zomer houdt in dat de aanvoer van grondwater de gewasverdamping en/of afvoer geheel of gedeeltelijk compenseert. Als een dergelijke aanvoer structureel is (geweest), bestaat er een gerede kans dat het grondwater een wat lithoclien karakter heeft. Uitzondering zijn hoogveengebieden, maar die komen hier niet voor.

Voor het vaststellen van de kwelgebieden uit het grondwaterregime wordt verondersteld dat de gemiddelde grondwaterstand in de zomer niet lager mag zijn dan 80 cm. Deze grens komt overeen met de veronderstelling dat de grondwatertrappen 1 (GLG < 50cm) en 2 (50 < GLG < 80) op de grondwatertrappenkaart kenmerkend zijn voor kwel (Van der Sluis, 1990). Bij grondwatertrap 3 kan (periodiek) kwel optreden. Als ondergrens is hier het natte gedeelte (tot 100 cm) aangehouden.

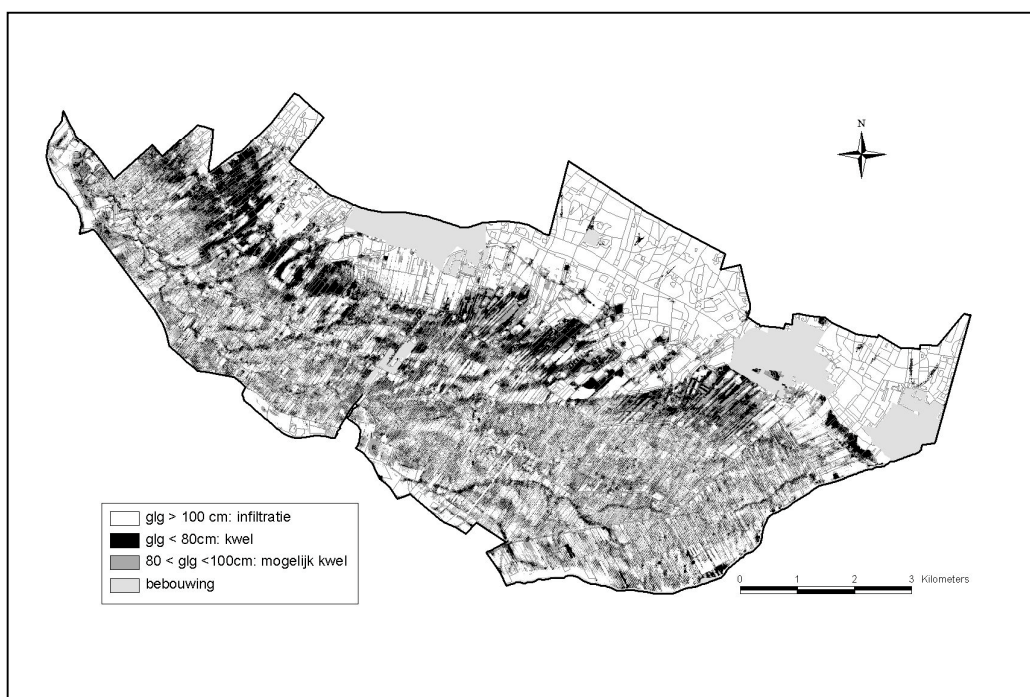
Bodemkenmerken

De (fossiele) bodemkenmerken geven niet alleen informatie over het wel of niet voorkomen van kwel tijdens de bodemvorming, maar ook over het vroegere grondwaterregime. De zgn. 'Brabantse' methode (Van Ek et al., 1997) gebruikt dit gegeven voor het vaststellen van de referentiegrondwaterstand. Voor deze methode is een toedeling gemaakt van grondwatertrappen aan bodems. Hier is de verfijnde

methode toegepast die voor Twente is ontwikkeld (Runhaar et al., 2003). Voor de referentie kwelgebieden wordt de mediane GLG, de GLG_{50} gebruikt.

Op overgangen tussen bodemvlakken kunnen abrupte overgangen in standen optreden en onder een geaccidenteerd oppervlak is het freatisch vlak even grillig als het maaiveldsverloop. Als aanvullende bewerking wordt het grondwaterstandsverloop daarom met een GIS-bewerking vereffend. Deze bewerking omvat de volgende stappen:

- vergrid de kaart met de GLG_{50}
- bereken de GLG_{50} ten opzichte van NAP (hoogte - GLG_{50})
- bereken de vereffende $GLG_{50} - NAP$ als gemiddelde van de gridcellen die binnen een bepaalde zoekstraal liggen.
- bereken de GLG_{50} ten opzichte van maaiveld ($GLG_{50}(NAP) - \text{hoogte}$).



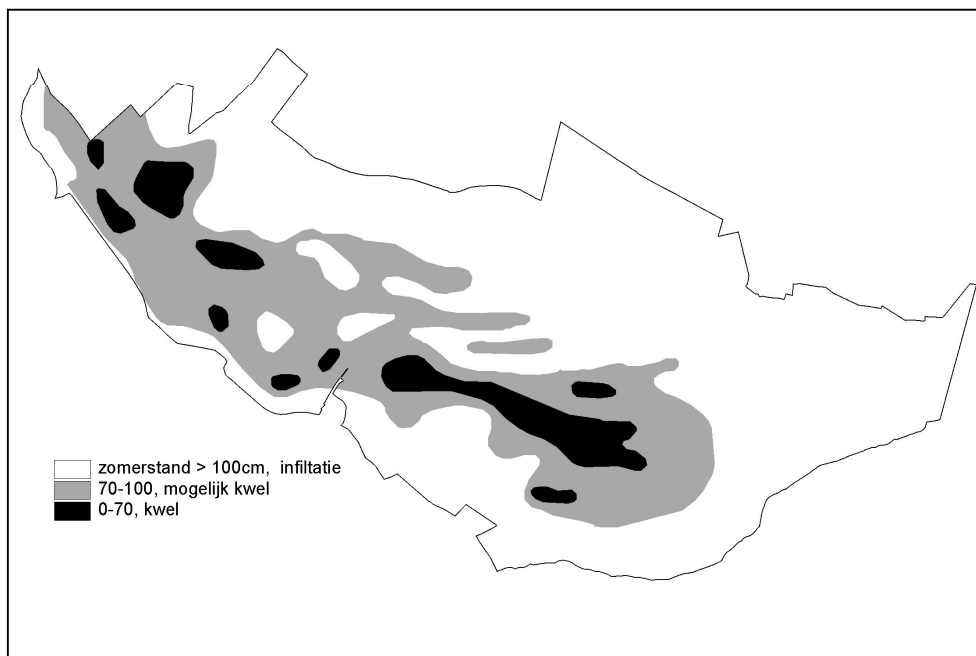
Figuur 3.3 Mogelijke kwelgebieden gebaseerd op de vroegere gemiddelde laagste grondwaterstand (GLG)

In figuur 3.3 staat de GLG voor de referentiesituatie in ca. 1900. Voor het berekenen van de referentiesituatie is ook gebruik gemaakt van de bodemkaart. Daarom is het bodempatroon uit figuur 3.3 hier tot op zekere hoogte ook zichtbaar in figuur 3.3. Door verschillen in maaiveldshoogte zijn de verschillen in grondwaterstanden tussen stroomruggen en kreken in het kleigebied goed zichtbaar.

COLN-gegevens

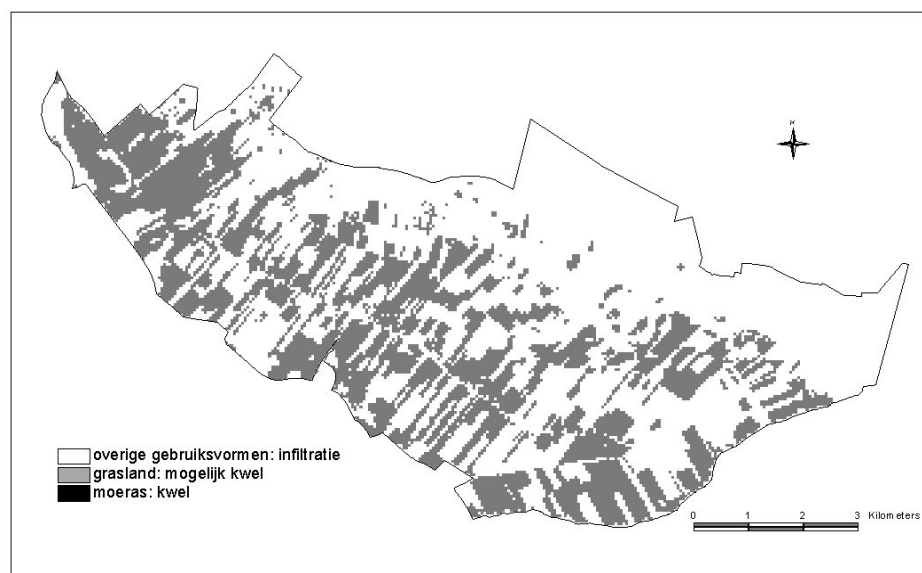
Bij het COLN-onderzoek (Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland, 1956) zijn in de periode 1952-1958 op grote schaal in het overgrote deel van Nederland grondwaterstanden gemeten. Hieruit zijn grondwaterstandskarten samengesteld voor een winter- en een zomersituatie. Evenals bij de referentie-grondwaterstanden die uit de bodemkenmerken zijn afgeleid kan voor het vaststellen van kwelgebieden ook worden verondersteld dat de gemiddelde grondwaterstand niet

lager mag zijn dan 100 cm. Omdat er geen klassegrens van 80 cm is die als grens tussen kwel en mogelijk kwel is toegepast, wordt hier de grens op 70 cm gelegd (fig. 3.4). Een beperking is grove schaal van de kaarten (1 : 250 000) en het feit dat alleen van de landbouwgebieden informatie beschikbaar is.



Figuur 3.4 Mogelijke kwelgebieden gebaseerd op de COLN-zomerkaart

3.1.4 Historisch landgebruik

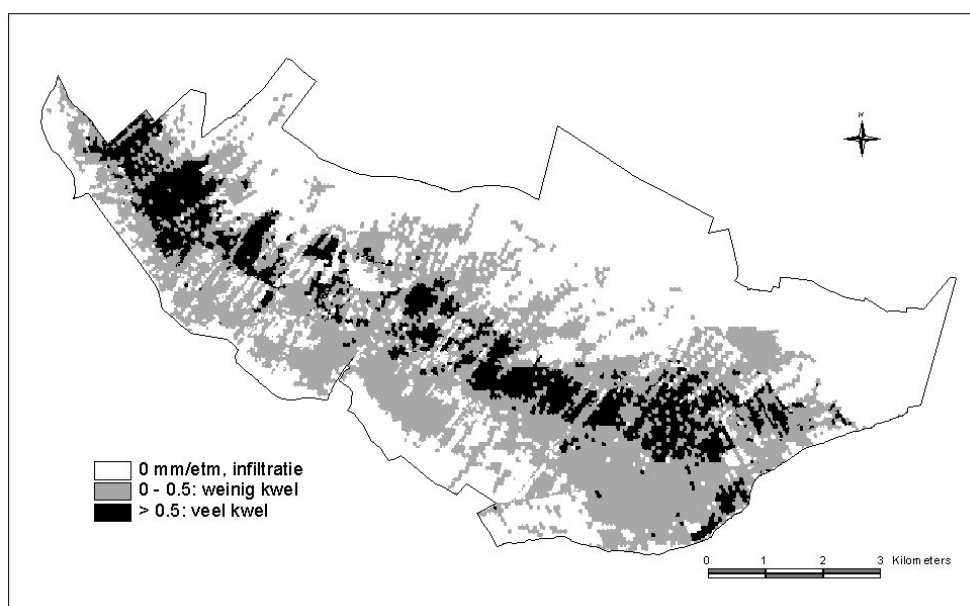


Figuur 3.5 Mogelijke kwelgebieden gebaseerd op het vroegere grondgebruik (ca. 1900)

Vroeger bestond er een nauwe relatie tussen hydrologie en grondgebruik. Dit gegeven is toegepast op de digitale grondgebruikkaarten van rond 1900 zoals die binnen het project 'Historisch Grondgebruik Nederland' (HGN) zijn vervaardigd (Knol, et al., 2003). De topografische basis van het HGN is de zogenaamde Bonnekaart. Dit zijn chromo-topografische kaarten 1 : 25 000 die zijn uitgegeven in het tijdvak 1870 tot 1930. De kaarten kennen de zogenaamde Bonneprojectie, die afwijkt van de huidige stereografische kaartprojectie volgens het Rijksdriehoekstelsel (RD). Na het scannen van de kaarten zijn ze daarom geometrisch gecorrigeerd naar het huidige RD stelsel. Met een semi-automatische methode zijn de gescande topografische kaarten op basis van kleurverschillen geclassificeerd naar tien typen grondgebruik. Onderscheiden zijn: grasland, akker, heide en hoogveen, loofbos, naaldbos, stedelijk gebied, water, (riet)moeras, zand en overig. Hiervan is verondersteld dat moeras gekoppeld is aan kwelgebieden, grasland aan mogelijke kwelgebieden en dat alle overige gebruiksvormen gekoppeld zijn aan onbekend of infiltratiegebieden. De resultaten staan in figuur 3.5. Uit dit figuur blijkt dat er in 1900 geen gebieden (meer) voorkwamen die onder invloed van kwel erg nat waren.

3.2 Actuele verspreiding van kwelgebieden

In het kader van het project 'Duurzaam Waterbeheer Landbroekerwetering' is het proefgebied gemodelleerd met SIMGRO, een hydrologisch model dat ook het (onverzadigde) topsysteem beschrijft (Hermans et al., in prep.). In dit onderzoek is gebruik gemaakt van de berekende kwelfluxen voor de actuele situatie. In principe zijn dit de gebieden waar aan de onderzijde van de wortelzone grondwater een netto kwelflux optreedt. Deze kwel is berekend over de scheiding tussen de 2 modellagen die het ondiepst voorkomen. Omdat deze scheiding altijd nog op enkele meters diepte ligt zal een belangrijk deel van de kwel het maaiveld niet bereiken, maar bijvoorbeeld door sloten worden afgevangen of horizontaal afstromen. Daarom is een apart rekenmodel toegepast dat hieruit de 'ecologische' kwelflux berekent die wel de wortelzone kan bereiken (fig. 3.6).



Figuur 3.6 Berekende ecologische kwel in de actuele situatie

3.3 Vergelijking historische en actuele kwelgebieden

De 5 kaarten waarop de vroegere kwelgebieden staan aangegeven verschillen onderling nogal. Dat kan samenhangen met de periode waarop ze betrekking hebben, maar ook op de verschillende methoden die zijn gebruikt. De hellingmethode (hfdst. 3.1.2) geldt voor een vroege periode. Er wordt geen rekening wordt gehouden met de aanwezigheid van waterlopen. Wat ‘jonger’ zijn de kwelkaarten volgens het historisch grondgebruik (hfdst. 3.1.4) en het bodemtype (hfdst. 3.1.1. en 3.1.3). Deze zijn representatief voor de periode rond 1900. De COLN-zomerkaart (hfdst. 3.1.3) is gebaseerd op metingen die in de periode 1952-1955 zijn verricht.

De kwelgebieden die gebaseerd zijn op het historisch bodemgebruik (fig. 3.5) bieden weinig houvast omdat er al geen moerasachtige gebieden meer aanwezig waren en het van grasland hier onvoldoende duidelijk is of deze allemaal in kwelgebieden lagen.

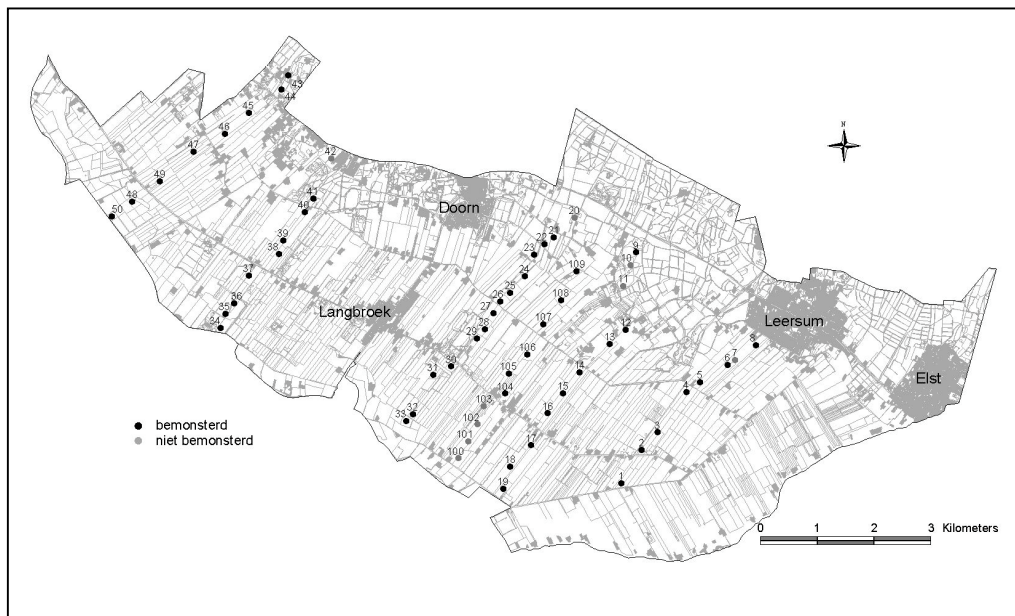
Afgezien van de kwelzones aan de voet van de dijken in het zuidoosten lagen de kwelgebieden volgens de hellingmethode direct aan de voet van de Heuvelrug (fig. 3.2). Volgens de bodemkenmerken lagen de kwelgebieden wat meer in zuidwestelijke richting (fig. 3.1 en 3.3). Op zich is het niet ondenkbaar dat er een kwelzone aan de noordoostzijde van de kwelindicerende bodemeenheden heeft gelegen. Dat zou dan het geval kunnen zijn in de strook hoge enkeerdgronden die aan de beekerdgronden grenst. Zoals eerder in hoofdstuk 2 is opgemerkt zijn dit waarschijnlijk lage enkeerdgronden die in vroeger eeuwen door ophoging uit beekerdgronden zijn ontstaan. Door het ophogen en door een daling van de grondwaterstand in combinatie met het ontbreken van weerstandbiedende bodemlagen zijn deze gebieden hun kwelstatus waarschijnlijk al geruime tijd kwijt.

Volgens de COLN-kaart (fig. 3.4) was de kwelzone in de eerste helft van de jaren vijftig nog verder in zuidwestelijke richting verschoven. In de zomer zakte de grondwaterstand aan de rand van de Heuvelrug blijkbaar al zo diep weg, dat er geen permanente kwel naar het maaiveld meer kon optreden. Mogelijk dat op die plekken de kwaliteit van het ondiepe grondwater nog wel wordt beïnvloedt door capillaire nalevering en incidentele kwel in langdurig natte periodes. Afgezien van de grofheid van deze kaart komt de ligging van de kwelzones goed overeen met de kwelgebieden die met het SIMGRO-model (fig. 3.6) zijn berekend.

Uit de kwelkaarten kan worden geconcludeerd dat belangrijke veranderingen zich al voor 1950 hebben voorgedaan, dit in tegenstelling tot grote delen van Nederland waar de veranderingen vooral samenhangen met grootschalig ingrepen in de waterhuishouding die in de jaren zestig en zeventig hebben plaatsgevonden.

4 De kwaliteit en typering van het grondwater

Er zijn geen bestaande grondwaterkwaliteitsgegevens die geschikt zijn om de zuurgraad te kunnen voorspellen. Om over een eenduidige set met kwaliteitsgegevens te kunnen beschikken is het grondwater in de periode 26 september – 15 oktober 2003 op 51 plekken bemonsterd. Voor de bemonstering zijn boorgaten tot iets onder de grondwaterspiegel gemaakt waaruit dezelfde dag, of de volgende ochtend als het water slecht toestroomde, de watermonsters zijn genomen. Het betreft dus monsters van het bovenste grondwater. Dit water is het meest verwant aan de kwaliteit van het water in de wortelzone. De plekken waar de monsters zijn genomen staan in figuur 4.1. Ze liggen in een aantal raaien die een aantal landschappelijke overgangen doorsnijden (fig. 2.3). Een aantal punten in de raaien is niet bemonsterd omdat het grondwater erg diep zat. Daarvoor zijn punten uit een extra raai genomen.



Figuur 4.1 Monsterpunten

De locaties van de monsterpunten zijn met behulp van GPS van coördinaten voorzien. Voorafgaand aan de bemonstering is het bodemgebruik genoteerd en is de grondwaterstand gemeten. Direct na de monsternamen zijn de zuurgraad (pH) en het elektrisch geleidingsvermogen (EC) gemeten. De monsters zijn daarna gekoeld bewaard, gefiltreerd en vervolgens geanalyseerd op de volgende elementen:

- kalium, natrium, calcium, magnesium
- chloride, sulfaat, anorganisch koolstof
- nitraat, ammonium, totaal-fosfaat, ortho-fosfaat
- koper, ijzer, zink.

Er zijn 3 methoden gebruikt om de watermonsters te typeren, te weten de methode Stuyfzand (1986, 1988), met het model MAIONF van van Wirdum (1990) en met uitbreiding op dat model door Jansen (2001). De Stuyfzandtypologie deelt het water in op grond van chlorideconcentratie (hoofdtype), de alkaliteit (type) en de belangrijkste kat- en anionen (subtype) (tabel 4.1). Als geen van de anionen domineert wordt het subtype als 'MIX' aangeduid. Ook is een verdere onderverdeling naar sulfaatconcentratie mogelijk, evenals een correctie van de kationen voor zeewater en een verfijning van de indeling in subtypen. Volgens de Stuyfzandtypologie krijgt een regenwaterachtig watertype de codering nF*MgSO₄ en een kwelwaterachtig type gF2CaHCO₃.

Tabel 4.1 Codering en klasse-indeling volgens de Stuyfzandtypologie

	code	klasse	opmerking	
<u>Chloride</u> (hoofdtype)	G	0-5 mg/l	uiterst zoet, niet beïnvloed	
	g	5-30	zeer zoet, nauwelijks beïnvloed	
	F	30-150	zoet, diverse invloeden	
	f	150-300	zoet/brak	
	B	300-1000	brak	
	b	1000-10000	zout	
<u>Alkaliteit</u> (type)	*	<0,5 meq/l	zeer laag	
	0	0,5-1,0	laag	
	1	1,0-2,0	matig laag	
	2	2,0-4,0	middelmatig	
	3	4,0-8,0	matig hoog	
	4	8,0-16,0	hoog	
<u>Dominant ion</u> (subtype)	<u>code</u>	<u>ion</u>	<u>code</u>	<u>ion</u>
	Ca	Calcium	Cl	Chloride
	Na	Natrium	SO ₄	Sulfaat
	K	Kalium	HCO ₃	Bicarbonaat
	Mg	Magnesium	NO ₃	Nitraat
			MIX	Mengtype

De indeling volgens de Stuyfzandtypologie wordt soms voor regionale toepassingen verfijnd. Zo wordt voor chloride voor lage concentraties een fijnere schaalverdeling toegepast. DLG heeft ten behoeve van een inschatting van kansen voor grondwaterafhankelijke vegetaties in Noord Brabant de indeling uitgebreid met sulfaat (Schouten, 2000). De code daarvoor (tabel 4.2) komt na de code voor de alkaliteit.

Tabel 4.2 Codering en klasse-indeling voor sulfaat als uitbreiding op de Stuyfzandtypologie

	code	klasse	opmerking
Sulfaat	+	0-15 mg/l	sulfaatarm,
	0	15-40	sulfaathoudend
	-	40-100	sulfaatrijk
	#	>100	zeer sulfaatrijk

MAIONF is een model waarmee aan de hand van de macro-ionensamenstelling de overeenkomst van een watermonster met referentiewatertypen wordt berekend volgens de formule:

$$r(X,Y) = (n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / \{ (n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2) (n\sum y_i^2 - (\sum y_i)^2) \}^{1/2} \quad (1)$$

met:

x_i = concentratie van ion i van het referentiewater

y_i = concentratie van ion i van het watermonster

Tabel 4.3 Samenstelling van referentiemonsters voor MAIONF (van Wirdum, 1990)

	EC mS/m	pH -	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	HCO ₃ mg/l
Atmoclien (Atm)	5,0	4,2	1,6	0,2	0,4	0,2	3,0	5,8	0,0
Lithoclien (Li-Du)	22,5	8,3	11,5	1,0	33,0	4,1	12,0	10,9	119,0
Lithoclien (Li-Ang)	65,2	7,3	12,0	2,0	115,0	8,0	11,0	13,0	400,0
Zeewater (Thxx)	5200	8,3	10480	390	420	1400	19100	2640	122
Rijnwater (Rijn)	99,6	7,8	96,0	7,0	82,0	10,0	178,0	80,0	158,6

De samenstelling van de standaardreferentiewatertypen staan in tabel 4.3. Het gaat om regenwater (atmoclien) (Atm) afkomstig bij Witteveen, een zacht type (lithoclien) water bij Hoge Duvel op de Veluwe (Li-Du), een hard type (lithoclien) water bij Angeren (Li-Ang), zeewater (THxx) en Rijnwater bij Lobith uit 1975 (Rijn). Het Rijnwater is een algemene referentie voor verontreinigd, grondwaterachtig water.

Door Jansen (2001) is MAIONF uitgebreid met een zoekprogramma dat de referentiewatertypen zodanig ‘mengt’ dat de uiteindelijke samenstelling zo goed mogelijk overeenkomt met de samenstelling van het watermonster. Het watermonster wordt dan getypeerd volgens de mengverhoudingen van de verschillende referentiewatertypen. Er zijn 2 verschillende combinaties met referentiewatertypen voor de mengberekeningen gebruikt; 1: Atm, Li-Du en Rijn en 2: Atm, Li-Ang en Rijn. De samenstelling van neerslagwater dat zich bij het grondwater voegt zal verschuiven van Atm naar Li-Du of Li-Ang. Het aandeel Rijn zal toenemen als het watermonster verontreinigd is.

Plekken met een bijzondere waterkwaliteit kunnen de resultaten sterk beïnvloeden. Als dat het geval is worden ze verder niet meer in beschouwing genomen. De oorzaak (bemesting, slootbagger, urineplek, ed.) of het feit dat het een momentopname betreft is daarbij niet van betekenis.

5 Aanpassing van de kwelkwaliteit in NATLES

Als standplaatscondities voorspelt NATLES de vochttoestand, de zuurgraad en de voedselrijkdom. De zuurgraad wordt hierbij als functie van de kalkrijkdom van het substraat, de hoeveelheid kwel en de kalkrijkdom van het grondwater bepaald. Om technische redenen vindt de berekening plaats in drie stappen:

1. De zuurgraad bepaald op basis van de kalkrijkdom van het substraat en het beheer; daarbij wordt er van uitgegaan dat landbouwkundig gebruikte percelen altijd een zuurgraad van minimaal 4,5 (matig zuur) zullen hebben;
2. De zuurgraad bepaald op grond van het bodemtype, de kwelflux, de voorjaarsgrondwaterstand en het grondwatertype;
3. Van deze twee zuurgraden de hoogste genomen.

Tabel 5.1 Zuurklasse onder infiltratie-omstandigheden bij agrarisch- en natuurbeheer

Func. bod 1)	Bodemeenheid	Zuurklasse 2) agrarisch beheer	Zuurklasse 2) natuurbeheer
V	Veengronden	4	2
Vs	Hoogveengronden	3	1
Vc	Laagveengronden	5	4
zVc	Laagveengronden met een zanddek	5	3
W	Moerige gronden	5	3
kW	Moerige gronden met een kleidek	5	5
Y	Moderpodzolgronden	5	1
H	Humuspodzolgronden	5	1
Hg	Humuspodzolgronden in grof zand	3	1
EZ	Hoge enkeerdgronden	3	1
Ezg	Lage enkeerdgronden	5	3
Z	Kalkloze zandgronden	5	1
kZ	Kalkloze zandgronden met een kleidek	6	5
ZA	Kalkhoudende zandgronden	7	7
L	Leemgronden	6	4
BL	Brikgronden	6	4
EL	Tuineerdgronden in leem	5	3
Ln	Leemgronden met gleyverschijnselen binnen 50 cm	5	4
Ld	Leemgronden met gleyverschijnselen dieper dan 50 cm	7	5
M	Zeekleigronden	6	4
R	Rivierkleigronden	6	4
K	Oude rivierkleigronden en overige gronden	5	3
KK	Kalksteen	7	7

1) functionele bodemeenbeden die een basiszuurgraad hebben

2) 1: zuur, 3: matig zuur, 5: zwak zuur tot neutraal, 7: basisch tussenklassen 2: zuur – matig zuur, 4: matig zuur – zwakzuur tot neutraal, 6: zwak zuur tot neutraal - basisch

De inschatting van de pH onder infiltratieomstandigheden per combinatie van bodemtype en beheer (stap 1) is gebaseerd op deskundigenoordeel (tabel 5.1).

De zuurgraad onder kwelomstandigheden (stap 2) is met het model SMART (Kros et al., 1995) bepaald voor hard, matig hard en zacht grondwater (tabel 1.1) en vijf functionele bodemeenheden (arm en rijk zand, klei, veen, leem). De resultaten zijn samengevat in 15 tabellen (3 grondwatertypen x 5 bodemtypen) waarin elke tabel voor verschillende kwelfluxen en voorjaarsgrondwaterstanden een berekende zuurgraadklasse geeft. Het onderscheiden van een extra (matig zacht) watertype betekent dat voor iedere bodemeenheid een tabel moet worden toegevoegd. Deze 5 tabellen zijn door interpolatie uit de tabellen voor regenwater en matig hard water verkregen (bijlage 2). Evenals bij de andere watertypen zijn er geen overgangsklassen (2, 4 en 6) onderscheiden.

Tabel 5.2 Minimaal benodigde kwelflux bij een gvg van 0-10 cm beneden maaiveld waarbij bij natuurbeheer de zuurgraad in de wortelzone hoger wordt dan de zuurklasse onder infiltratie-omstandigheden

Func. Bod ¹⁾	Bodemeenheid	Func. bod ²⁾	Zuurklasse natuur- beheer	Hard Grw.	Matig Hard Grw.	Matig Zacht Grw.	Zacht Grw.
V	Veengronden	V	2	0,7	1,4	1,6	>2,0
Vs	Hoogveengronden	V	1	0,7	1,4	1,6	>2,0
Vc	Laagveengronden	V	4	0,8	1,7	>2,0	>2,0
zVc	Laagveengronden met een zanddek	V	3	0,8	1,7	>2,0	>2,0
W	Moerige gronden	V	3	0,8	1,7	>2,0	>2,0
kW	Moerige gronden met een kleidek	V	5	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0
Y	Moderpodzolgronden	AZ	1	0,6	1,0	1,2	2,0
H	Humuspodzolgronden	AZ	1	0,6	1,0	1,2	2,0
Hg	Humuspodzolgronden in grof zand	AZ	1	0,6	1,0	1,2	2,0
EZ	Hoge enkeerdgronden	RZ	1	0,6	1,0	1,6	2,0
EZg	Lage enkeerdgronden	RZ	3	0,9	2,0	>2,0	>2,0
Z	Kalkloze zandgronden	AZ	1	0,6	1,0	1,2	2,0
kZ	Kalkloze zandgronden met een kleidek	K	5	1,2	>2,0	>2,0	>2,0
ZA	Kalkhoudende zandgronden	RZ	7	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0
L	Leemgronden	L	4	1,2	>2,0	>2,0	>2,0
BL	Brikgronden	L	4	1,2	>2,0	>2,0	>2,0
EL	Tuineerdgronden in leem	RZ	3	0,9	2,0	>2,0	>2,0
Ln	Leemgronden met gleyverschijnselen binnen 50 cm	L	4	1,2	>2,0	>2,0	>2,0
Ld	Leemgronden met gleyverschijnselen dieper dan 50 cm	L	5	1,2	>2,0	>2,0	>2,0
M	Zeekleigronden	K	4	0,0	0,0	0,0	0,0
R	Rivierkleigronden	K	4	0,0	0,0	0,0	0,0
K	Oude rivierkleigronden en overige gronden	K	3	0,0	0,0	0,0	0,0
KK	Kalksteen	L	7	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0

¹⁾ functionele bodeeenheden die een basiszuurgraad hebben

²⁾ functionele bodemeenheden gebruikt voor het berekenen van de zuurgraad uit bodem, kwelflux en gvg: AZ=Arm zand; RZ=Rijk zand; K=klei; V=veen; L=leem

Van de zuurklassen die bij de stappen 1 en 2 zijn vastgesteld gebruikt NATLES voor de verdere berekeningen de hoogste zuurklasse. Tabel 5.2 laat zien welke kwelflux bij een hoge GVG (0-10 cm) minimaal noodzakelijk is om tot een hogere zuurgraad te komen dan onder infiltratie-omstandigheden (de basiszuurklasse) het geval is. Het

betreft hier de situatie waarbij geen bekalking is toegepast (natuurbeheer). Uit de tabel valt af te leiden dat:

- Voor klei (rivier-, zee- en oude rivierklei) zonder kwelflux (0,0 mm/dg) de zuurklasse uit de tabellen gelijk is aan de basiszuurklasse
- Voor de andere bodemeenheden in combinatie met hard grondwater pas bij een kwelflux van 0,6 mm/etm of groter de zuurklasse uit de tabellen hoger is dan de basiszuurklasse. Naarmate het grondwater zachter is, gebeurt dat bij een grotere flux
- Kwel geen rol speelt bij moerige gronden met een kleidek (kW), kalkhoudende zandgronden (ZA) en kalksteen (KK). De basiszuurklasse is ongeacht de kwelflux en ongeacht het grondwatertype het hoogste.
- Voor de meeste bodemeenheden kwel geen rol speelt bij de aanwezigheid van matig zacht of zacht grondwater. De basiszuurwaarde is altijd het hoogst.
- Er bodemeenheden zijn waar, met matig zacht en zacht grondwater, een zekere (grote) kwelflux nog wel tot een hogere zuurklasse leidt dan de basiszuurklasse. Van deze bodemeenheden is het echter erg onwaarschijnlijk dat er kwel optreedt (podzolgronden, hoogveen).

De extra tabellen zijn in een proefversie van NATLES (2.1) geïmplementeerd (Boogaard, pers. actie). Met deze aangepaste NATLES-versie wordt een zuurkaart voor het onderzoeksgebied berekend. Deze kaart wordt vergeleken met de zuurkaart die op de oorspronkelijke 3 watertypen is gebaseerd.

6 Resultaten

6.1 Verspreiding van kwelwatertypen

De analyseresultaten van de bemonstering van het bovenste grondwater die 51 plekken in het gebied Langbroekerwetering heeft plaatsgevonden staan in bijlage 2. In bijlage 3 staan de watertypen die volgens verschillende methoden uit de macro-ionen zijn afgeleid en in bijlage 4 staat de kwelkans van de 51 meetpunten zoals die volgens verschillende methoden in hoofdstuk 3.1 zijn vastgesteld. In bijlage 3 is ook een overzicht opgenomen van de modeluitkomsten van SIMGRO (GVG en GLG) en eenvoudig waarneembare kenmerken, zoals de gemeten grondwaterstand bij de bemonstering en het actuele bodemgebruik.

Gezien de samenstelling van het grondwater mag verwacht worden dat op de plekken waar (diep) grondwater opkwelt het bovenste freatische grondwater hard is. Dat houdt in een vrij hoge zuurgraad en hoge concentraties calcium en bicarbonaat (zie ook tabel 1.1). Dit zou het geval moeten zijn op de plekken die in figuur 3.6 met zwart staan aangegeven. Op plekken waar de flux onvoldoende groot is, waar lokaal (ondiep) grondwater opkwelt of waar de vroegere kwel is weggefallen zal het ondiepe grondwater wat zachter zijn of zelfs al een regenwaterachtige samenstelling hebben. De zuurgraad kan dan nog wel vrij hoog zijn, maar de calcium en bicarbonaatconcentraties zullen wel beduidend lager zijn dan die van hard water. De gebieden waar dit watertype voorkomt moeten in figuur 3.5 gezocht worden op de grijs gekleurde plekken en in de kwelgebieden van de figuren 3.1 t/m 3.4.

Bij de meetresultaten valt op dat de zuurgraad in alle gevallen hoog is, ook in zandgebieden met wegzijging. In de landbouwgronden zal de zuurgraad door bemesting op peil worden gehouden, maar voor de bosgebieden is de oorzaak niet goed verklaarbaar. Wel betreft het allemaal plekken waar de grondwaterstand niet dieper wegzakt dan ca. 2 m.

Bemesting is de oorzaak van de hoge concentraties nitraat. Bij de plekken 22, 23, 24, 25 en 45 is de concentratie hoger dan 100 mg NO₃/l. Daar is ook de kaliumconcentratie hoog. Onder natuurlijke (niet bemeste) omstandigheden zal de kaliumconcentratie enkele milligrammen per liter bedragen. Opmerkelijk is dat de concentraties chloride en sulfaat, die bij een hoge nitraatconcentratie vaak ook hoog zijn, geen opvallende waarden hebben. Bij de plekken waar de nitraatconcentratie tussen de 50 en 100 mg NO₃/l bedraagt (9, 12, 34, 38, 50 en 109) is ook de kaliumconcentratie laag. De sulfaatconcentratie is in kwelsituaties normaliter erg laag, maar onder infiltratie-omstandigheden zijn concentraties tot 40 mg/l te verwachten. In het gebied komen veel plekken voor waar de concentraties van de verschillende ionen hoger zijn, maar opvallend daarbij zijn de plekken 2 (kalium en chloride), 6 (kalium en sulfaat), 31, 37, 107 (sulfaat), 40 (kalium), 48 en 109 (chloride en sulfaat). De extreem hoge concentratie sulfaat bij 48 (437 mg/l), in combinatie met hoge concentraties calcium en ijzer doet vermoeden dat hier door verdroging pyriet

oxideert. Het pyriet is eerder gevormd onder kwelomstandigheden. De hoge chlorideconcentratie (246 mg/l) hangt hier echter weer niet mee samen.

Van de variabelen uit de bijlagen 2, 3 en 4 is een correlatiematrix samengesteld waarin alle gegevens tegen elkaar zijn uitgezet (bijlage 5). In tabel 6.1 staat een overzicht van alleen de gebiedsdekkende gegevensbronnen die op kwel kunnen duiden. Deze zijn uitgezet tegen de meetgegevens en typeringen van het grondwater. Opvallend is dat typische kwelparameters als pH, calcium en bicarbonaat niet correleren met mogelijke kwelgebieden. Ook niet met de berekende kwel. Van de pH was al eerder geconstateerd dat deze hoog was en weinig varieerde. Van de puntgegevens is de Stuyfzandtypologie niet geschikt omdat er een grote verscheidenheid aan typen voorkomen die waardoor er per type onvoldoende overblijven voor een goede correlatieberekening.

Tabel 6.1 Correlatiematrix tussen gebiedsdekkende variabelen en kenmerken van de meetplekken voor de voor het vaststellen van de kwelkwaliteit. Correlaties met een waarde van 0.4 of hoger zijn in grijs weergegeven

											MAIONF				JANSEN I			JANSEN II			Stuyf- zand
	pH	EC	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	hco3	Atm	Ang -ren	Du- vel	Rijn	Ion. ratio	Atm	Du- vel	Ver- ontr.	Atm	Ange -ren	ver- ontr.	
bodemeenheid	0.1	0.1	-0.2	0.4	0.2	0.3	-0.2	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	-0.1	0.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.1	-0.2	*
helling	-0.1	0.0	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	0.1	-0.3	0.0	-0.2	0.4	-0.1	-0.1	0.3	*
hist.grondgebr	-0.1	0.0	0.0	-0.2	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.1	-0.1	0.1	0.2	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	-0.1	*
ref-glg	0.0	0.3	-0.1	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.1	-0.2	0.0	-0.1	0.2	0.1	-0.2	0.1	0.1	-0.2	0.2	0.1	*
ref-glg(cm)	0.0	-0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	0.0	0.0	-0.2	0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.0	0.0	-0.1	0.1	*
ref-coln	-0.1	-0.1	0.0	-0.2	0.0	-0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2	0.3	-0.1	0.1	-0.2	0.3	-0.2	0.3	-0.1	-0.2	*
model_glg	0.0	0.1	0.2	0.3	-0.2	0.1	0.2	0.1	-0.4	0.2	-0.5	-0.5	0.1	-0.4	0.3	-0.5	0.3	-0.2	-0.2	0.5	*
model_kwel	0.0	-0.2	-0.2	-0.3	0.0	-0.3	-0.2	-0.2	0.2	-0.2	0.4	0.4	-0.2	0.3	-0.3	0.4	-0.3	0.2	0.0	-0.3	*
AHN	0.0	-0.1	0.1	0.3	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	-0.1	-0.3	0.3	-0.4	0.3	-0.1	-0.2	0.4	*
gebruik	0.0	0.3	0.1	0.4	0.2	0.5	0.4	0.5	-0.1	0.4	-0.4	-0.4	0.1	-0.3	0.2	-0.3	0.3	-0.1	-0.2	-0.0	*

Het hoogst zijn de correlatiecoëfficiënten tussen de modeluitkomsten (GLG, kwel), het bodemgebruik en de hoogte (AHN) en de met MAIONF berekende overeenkomst van de watermonsters met Duvelwater (Li-Du, matig hard) en Angerenwater (Li-Ang, hard). Volgens de typering van Jansen is er ook een overeenkomst met het aandeel Duvelwater. Met de hier genoemde variabelen is met het programma GENSTAT6 naar een model gezocht dat de kwelkwaliteit het beste in kaart brengt. Het bodemgebruik en de grondsoort zijn daarbij als kwalitatieve variabelen gebruikt.

Met en verklaarde variantie van 0.54 bleek dat een multilineair regressiemodel met de overeenkomst met Duvelwater als responsvariabele en de modelberekeningen voor GLG en kwel als verklarende variabelen het beste te voldoen. Voor 4 verschillende groepen zijn de volgende aparte modellen berekend:

Cultuur (gras- en bouwland) op zandgronden:

$$\%Duvel = -0.410 * GLG + 373.2 * kwel + 104.5 \quad (1)$$

Cultuur (gras- en bouwland) op kleigronden:

$$\%Duvel = -0.056 * GLG + 3.1 * kwel + 86.9 \quad (2)$$

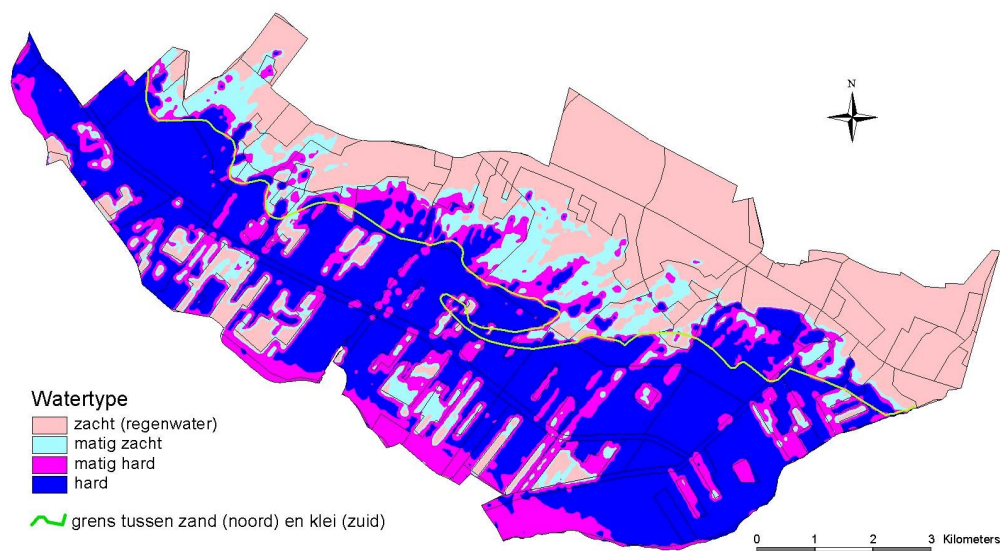
Natuur (bos) op zandgronden:

$$\%Duvel = -0.697 * GLG + 343.2 * kwel + 145.5 \quad (3)$$

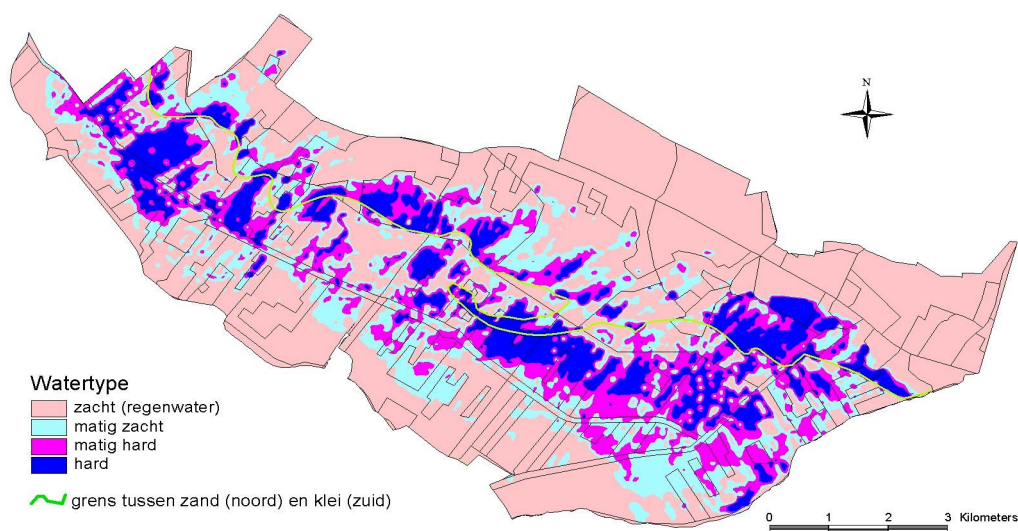
Natuur (bos) op kleigronden:

$$\%Duvel = -0.043 * GLG + 128.2 * kwel + 10.0 \quad (4)$$

De gegevens van 3 plekken met de grootste residuen zijn niet in beschouwing genomen. Van deze uitbijters gaat het om 2 plekken met erg hoge kaliumconcentraties (6 en 40) en een plek (13) waar de waterkwaliteit op infiltratie duidt, maar dat volgens de modeluitkomsten nog net in een kwelplek bij een sloot ligt.



Figuur 6.1 Actuele verspreiding van watertypen op basis van extrapolatie



Figuur 6.2 Voorspelde verspreiding van watertypen onder natuurlijke omstandigheden

Met de vergelijkingen 1-4 is een kweltypenkaart gemaakt (fig. 6.1). Hiervoor zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Voorspellen van het % Duvelwater met de vergelijkingen 1-4
2. Middeling van het % Duvelwater binnen een cirkel met een doorsnede van 50 m om onregelmatigheden in het kaartbeeld te vereffen
3. Omzetten naar watertypen (hardheidsklassen) voor NATLES
4. Onderscheiden van een extra watertype

Voor de indeling in klassen (stap 3) is de oorspronkelijke indeling uit tabel 1.1 gehandhaafd voor wat betreft de grens tussen hard en matig hard water. Volgens de typering van de watertypen uit tabel 1.1 komt dit overeen met 77% Duvelwater. Als grens tussen matig zacht en matig hard water (stap 4) is een overeenkomst van 50 % Duvelwater aangehouden en voor de grens tussen zacht water en matig zacht een overeenkomst van 25 % (tabel 6.2) De oorspronkelijke grens tussen zacht water en matig hard water lag bij 40 % Duvelwater.

Tabel 6.2 Indeling van kwelwatertypen in 4 klassen

Type	% Duvelwater
Zacht (regenwater)	< 25
Matig zacht (mengwater)	25 – 50
Matig hard (grondwaterachtig)	50 – 77
Hard (grondwaterachtig)	>77

Het watertype in de kleigebieden met bos in figuur 6.1 laat een differentiatie zien die vooral samenhangt met het voorkomen van kwel, maar in de landbouwgebieden valt het grondwater vrijwel overal in de klasse hard. In zandgebieden is dat veel minder het geval. Daar hangen de verschillen in watertypen in zowel de cultuurgebieden als in de natuurgebieden meer samen met zowel de grondwaterstand als met de kwelflux. De kleigrond is duidelijk een goede buffer voor de (kalk-)meststoffen die het water een lithoclien karakter geven.

In figuur 6.2 staat een kweltypenkaart voor het hele gebied afgebeeld die gebaseerd is op de vergelijkingen voor natuurgebieden (vergelijking 3 en 4). Deze kaart weerspiegelt - met het huidige grondwaterregime – het grondwatertype dat in een de natuurlijke situatie voor het hele gebied verwacht zou worden.

6.2 Berekening zuurgraad met NATLES

Met NATLES is de zuurgraad berekend met de modeluitkomsten van SIMGRO. Dat is gedaan voor 4 verschillende situaties die in tabel 6.3 zijn samengevat. In alle gevallen is uitgegaan van een situatie waarin het hele gebied als natuurgebied wordt beheerd en geen bemesting plaatsvindt.

Voor de grondwatersamenstelling wordt uitgegaan van de grondwaterkwaliteit die in deze situatie verwacht mag worden. Hierbij is onderscheid gemaakt in de oorspronkelijke indeling in 3 watertypen (situaties A en C) en de indeling met het extra watertype 'matig zacht' (situaties B en D). Voor de indeling in 3 watertypen is uitgegaan van een verspreiding zoals die normaliter in kaart zou zijn gebracht, dus zonder de kennis die in hoofdstuk 4 aan de orde is gekomen. Het grondwater in het

hele gebied zou dan als matig hard worden aangemerkt omdat het grondwater afkomstig is van de (kalkloze) Utrechtse Heuvelrug. In infiltratiegebieden verandert NATLES dit watertype in zacht (regen-)water. Voor de situatie met het extra watertype (situaties B en D) wordt uitgegaan van de verspreiding die in figuur 6.2 is weergegeven.

Verder zijn van de SIMGRO-berekeningen 2 hydrologische varianten gebruikt, te weten de actuele situatie (AGOR, situaties A en B) en de situatie waarbij het grondwaterregime is aangepast voor natte natuur (VGOR-MAX, situaties C en D). Voor de VGOR-MAX-situatie is de verspreiding van de watertypen met behulp van de regressievergelijkingen 3 en 4 opnieuw berekend. Hierbij is verondersteld dat deze vergelijkingen, die strikt genomen alleen voor de AGOR situatie gelden, ook voor de iets nattere VGOR-MAX situatie toepasbaar zijn.

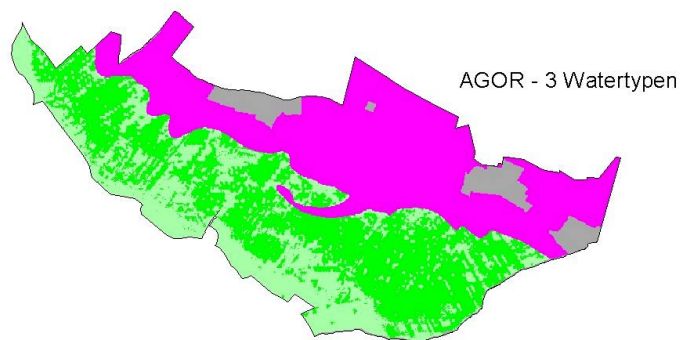
Tabel 6.3 Overzicht van de situaties waarvoor de zuurgraad met NATLES is berekend

Situatie	Beheer	Watertype	Hydrologisch scenario	NATLES-versie
A	alles natuurgebied	overall matig hard	Actueel (AGOR)	Oorspronkelijk, voor 3 watertypen
B	idem	Extrapolatie vanuit natuur-gebieden (fig. 5.2)	Aangepast voor natte natuur (VGOR-MAX)	Aangepast, voor 4 watertypen
C	idem	overall matig hard	Actueel (AGOR)	Oorspronkelijk, voor 3 watertypen
D	idem	Extrapolatie vanuit natuur-gebieden (fig. 5.2)	Aangepast voor natte natuur (VGOR-MAX)	Aangepast, voor 4 watertypen

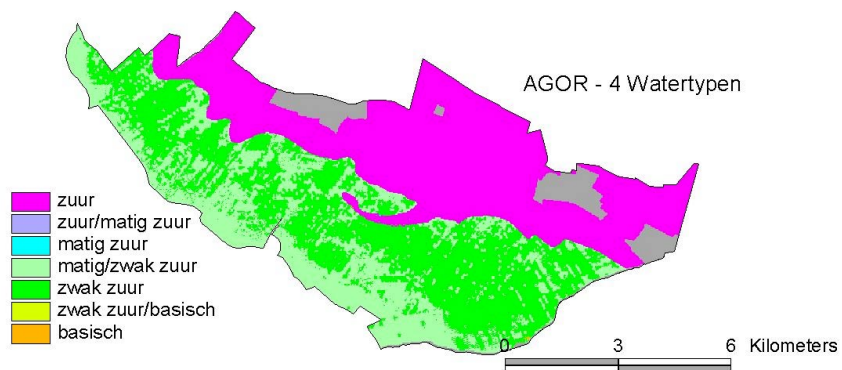
De resultaten staan in figuur 6.3. Voor alle 4 de situaties is er een opvallend scherpe grens tussen het zure zandgebied in het noorden en het (matig) zwak zure kleigebied in het zuiden. In het zandgebied komt in alle situaties vrijwel nergens kwel voor waardoor hier de zuurgraad is weergegeven die voorspeld is op basis van de kalkrijkdom van de bodem. Omdat alle hier voorkomende zandgronden kalkloos zijn resulteert dat in de klasse zuur.

In het kleigebied valt de zuurgraad in AGOR en VGOR-MAX situaties met 3 watertypen (situaties A en C) in de klassen matig-zwak zuur en zwak zuur. De klasse matig-zwak geldt voor situaties met een diepe grondwaterstand en geen of nauwelijks kwel. Plekken met een hogere grondwaterstand en grotere kwelflux zijn zwak zuur. Dergelijke plekken komen in situatie C wat meer voor dan in situatie A. De introductie van het nieuwe watertype heeft in de AGOR situatie (situatie B) geen consequenties voor de zuurgraad, omdat de functies van bodem, kwelflux en voorjaars-grondwaterstand waarmee de zuurgraad berekend worden voor kleigronden met matig hard en matig zacht (en zacht) water gelijk aan elkaar zijn. Alleen kleigronden met hard water geeft bij wat grotere kwelfluxen en hoge grondwaterstanden een andere (basische) zuurgraad. Dergelijke omstandigheden doen zich in situatie D voor. Het nieuwe watertype 'matig zacht' leidt in situatie D op veel plekken tot een verschuiving zwak zuur naar matig - zwak zuur. Op de plekken waar dat gebeurt komt weinig kwel voor (0,1 mm/etm) en is de grondwaterstand in de klasse 30-50 cm komen te vallen. Of er komt geen kwel voor en valt de grondwaterstand nu in de natste klasse (0-10 cm) (tabel B1.3). In het laatste geval is het bij afwezigheid van kwel onwaarschijnlijk dat de zuurgraad kan wijzigen, maar dit heeft te maken met aannames die aan de (niet stationaire) berekeningen van de oorspronkelijke tabellen ten grondslag hebben gelegen (Kros, pers. meded.).

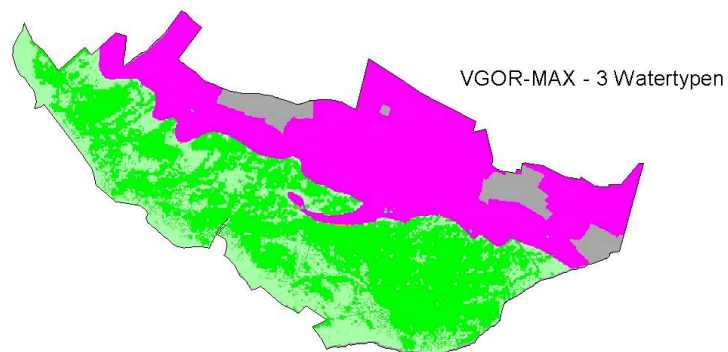
Situatie A



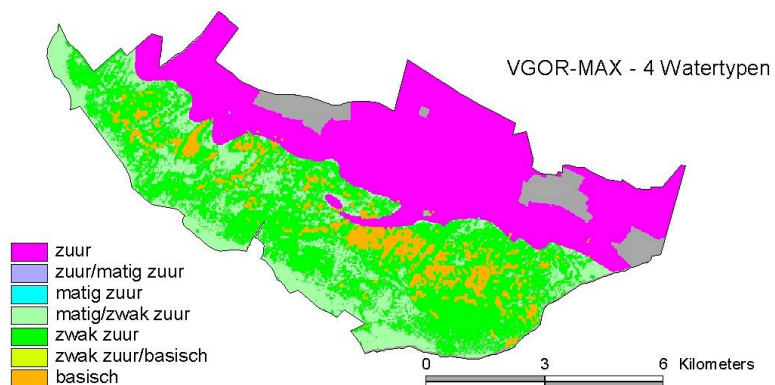
Situatie B



Situatie C



Situatie D



Figuur 6.3 Met NATLES berekende zuurgraad voor verschillende situaties (zie tabel 6.3)

7 Discussie, conclusies en aanbevelingen

Bij het zoeken naar gegevensbronnen waarmee onderscheid in kwelwatertypen kan worden gemaakt die ook nog eens ruimtelijk geëxtrapoleerd kunnen worden leveren de gegevensbronnen die betrekking hebben op de vroegere situatie geen geschikte informatie. Blijkbaar is er geen naijlingseffect waardoor het grondwater in voormalige kwelgebieden nog een grondwaterachtig karakter heeft. Dat sluit aan bij de constatering in hoofdstuk 3.5 dat de kwelzones al lang geleden van onderaan de Heuvelrug in zuidwestelijke richting zijn verschoven. De ligging van de kwelgebieden volgens de COLN-zomerkaart uit de periode 1952-1955 komt beter overeen met de actuele ligging van de kwelgebieden, maar door de grofheid van de schaal en het ontbreken van kwelfluxen voldoet ook deze informatiebron niet.

De actuele waterhuishouding komt als gegevensbron het meest in aanmerking om een kweltypering uit af te leiden. Hierbij gaat om modelmatig berekende kwelflux die voor de vegetatie beschikbaar is en de GLG. Er is geen goede relatie tussen deze kwelgerelateerde variabelen en afzonderlijke ionen, maar er is wel een relatie met het watertype dat uit de ionensamenstelling kan worden afgeleid. Dat houdt in dat alle macro-ionen voor de typering moeten worden bepaald. Voor dit gebied is dat geen probleem, omdat er toch een uitgebreide chemische analyse van het water heeft plaatsgevonden, maar het zou kostenbesparend werken als met één of enkele parameters de gewenste typering bepaald kan worden. Het onderzoek dat daar momenteel naar plaatsvindt (Kemmers, in prep.) kan wellicht uitwijzen of dat mogelijk is.

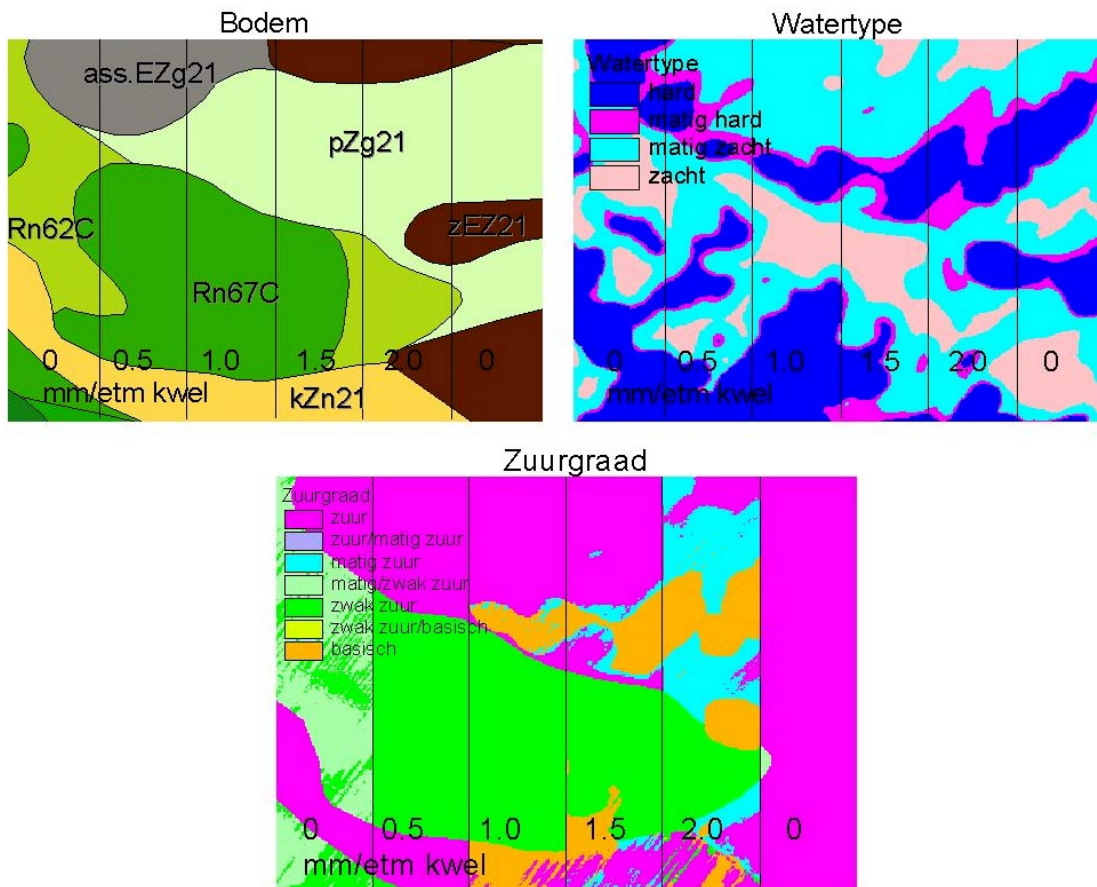
Het onderzoek is uitgevoerd voor één proefgebied met één dataset. In het proefgebied leverde dat een aanschouwelijke kweltypenkaart op, maar om de betrouwbaarheid van de vergelijkingen te toetsen zou een tweede, onafhankelijke dataset gebruikt moeten worden. Verder moet nog onderzocht worden of de relaties ook voor andere gebieden en andere, bijvoorbeeld nattere omstandigheden gelden.

De samenstelling van het ondiepe grondwater heeft in landbouwgebieden nauwelijks relatie met het type grondwater dat door kwel wordt aangevoerd. Met name in kleigebieden wordt de natuurlijke samenstelling van het water gedomineerd door de invloed van bemesting en bekalking. Het verdient daarom aanbeveling om watermonsters vooral in natuurgebieden en bosgebieden te nemen. Als een gebied uitsluitend landbouwkundig gebruikt wordt is deze methode dus niet bruikbaar.

De uitbreiding van NATLES met een extra watertype levert technisch gezien geen probleem op. De effecten als gevolg van het onderscheiden van het extra watertype zijn in het proefgebied vooralsnog beperkt. Alleen onder natte omstandigheden in combinatie met een grote kwelflux zijn er gevolgen voor de zuurgraad. In het proefgebied komen dergelijke omstandigheden alleen in de VGOR-MAX-situatie in de kleigebieden voor. Figuur 7.1 illustreert de effecten als ook in het zandgebied een grotere kwelflux zou optreden. Voor een gedeelte van de overgangszone tussen zand

en klei is met het grondwaterregime volgens de VGOR-MAX-situatie de zuurgraad voor een reeks stroken met verschillende kwelfluxen berekend.

Een volgende stap in de ontwikkeling van NATLES voorziet in een vervanging van de tabellen voor zuurgraad als functie van bodem, grondwaterstand en kwelflux door vergelijkingen, waarbij beter rekening gehouden wordt met situaties waarin naast een bruto kwelflux ook oppervlakkige afvoer optreedt. Het onderscheiden van matig zacht water als extra watertype zal in dat geval zeker bijdragen aan een betere nuancering van de berekende zuurgraad.



Figuur 7.1 Uitwerking van verschillende kwelfluxen in de VGOR-MAX-situatie op de zuurgraad

Literatuur

Coln, 1956. *De landbouwwaterhuishouding van Nederland*. Deelrapporten 1-12. Delft, Commissie Landbouwwaterhuishouding van Nederland-TNO.

Ek, R. van, F. Klijn, J. Runhaar, R. Stuurman, W. Tamis & J. Reckman, 1997. *Gewenste grondwatersituatie Noord Brabant. Deelrapport 1: Methode-ontwikkeling voor het bepalen van de optimale sectorale grondwatersituatie voor natuur*. Lelystad, RIZA.

Hermans, A.G.M., P.E.V. van Walsum & J. Runhaar, in prep. *Duurzaam Waterbeheer Langbroekervetering. Fase 1: Modelbouw, Calibratie en bepaling Actueel Grond- en Oppervlaktewaterregime (AGOR)*. Wageningen, Alterra. Rapport 914.

Jansen, P.C., 2001. *Inventarisatie van waterkwaliteit voor ecologische doeleinden*. Wageningen, Alterra. Rapport 185.

Kemmers, R.H., in prep. *Kartering van kevel* (werktitel). Wageningen, Alterra.

Knol, W.C., H. Kramer & H. Gijsbertse, 2003. *Historisch grondgebruik Nederland; een reconstructie van het grondgebruik rond 1900*. Wageningen, Alterra. Rapport 573.

Kros, J., G.J. Reinds, W. de Vries, J.B. Latour & M.J.S. Bollen, 1995. *Modelling soil acidity and nitrogen availability in natural ecosystems in response to changes in acid deposition and hydrology*. SC-report 95. Wageningen, DLO-Staring Centrum.

Runhaar, J, H. Kuijpers, H.L. Boogaard, E.P.A.G. Schouwenberg & P.C. Jansen, 2003. *Natuurgelicht Landevaluatiesysteem (NATLES) versie 2*. Alterra rapport, 550. Wageningen.

Schouten, G. 2000. *Grondwaterkwaliteit in en om De Leyen*. Tilburg, DLG. Interne notitie.

Sluis, P. van der, 1990. *Grondwatertrappen*. In: W.P. Locher en H. de Bakker (red.). *Bodemkunde van Nederland*. Deel 1, blz. 167-180. 's-Hertogenbosch, Malmberg.

Stuyfzand, P., 1986. *Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing*. H2O 19 (23), p. 562-568.

Stuyfzand, P., 1989. *Hydrochemische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstroming, deel 1*. H2O 22 (5), p. 141-146.

Wirdum, G. van, 1990. *Vegetation and hydrology of floating rich-fens*. Maastricht, Datawyse.

**Bijlage 1 Zuurgraad als functie van bodem, kwelflux en
voorjaars-grondwaterstand voor matig zacht grondwater
(ca. 0.7 mMol HCO₃⁻)**

Tabel B1.1 Arm zand

Kwel- Flux	GVG						
	0-10	10-20	20-30	30-50	50-70	70-90	>90
0.0	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1	1	1	1	1	1
0.2	1	1	1	1	1	1	1
0.3	1	1	1	1	1	1	1
0.4	1	1	1	1	1	1	1
0.5	1	1	1	1	1	1	1
0.6	1	1	1	1	1	1	1
0.7	1	1	1	1	1	1	1
0.8	1	1	1	1	1	1	1
0.9	1	1	1	1	1	1	1
1.0	1	1	1	1	1	1	1
1.1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	3	1	1	1	1	1	1
1.3	3	3	3	1	1	1	1
1.4	3	3	3	3	1	1	1
1.5	3	3	3	3	1	1	1
1.6	3	3	3	3	1	1	1
1.7	5	3	3	3	1	1	1
1.8	5	5	5	3	1	1	1
1.9	5	5	5	5	1	1	1
2.0	5	5	55	5	1	1	1

Tabel B1.2 Rijk zand

Kwel- Flux	GVG						
	0-10	10-20	20-30	30-50	50-70	70-90	>90
0.0	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1	1	1	1	1	1
0.2	1	1	1	1	1	1	1
0.3	1	1	1	1	1	1	1
0.4	1	1	1	1	1	1	1
0.5	1	1	1	1	1	1	1
0.6	1	1	1	1	1	1	1
0.7	1	1	1	1	1	1	1
0.8	1	1	1	1	1	1	1
0.9	1	1	1	1	1	1	1
1.0	1	1	1	1	1	1	1
1.1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	1	1	1	1	1	1	1
1.3	1	1	1	1	1	1	1
1.4	1	1	1	1	1	1	1
1.5	1	1	1	1	1	1	1
1.6	3	1	1	1	1	1	1
1.7	3	3	1	1	1	1	1
1.8	3	3	3	3	1	1	1
1.9	3	3	3	3	3	1	1
2.0	3	3	3	3	3	3	1

Tabel B1.3 Klei

Kwel- Flux	GVG						
	0-10	10-20	20-30	30-50	50-70	70-90	>90
0.0	5	3	3	3	3	3	3
0.1	5	5	5	5	3	3	3
0.2	5	5	5	5	5	5	5
0.3	5	5	5	5	5	5	5
0.4	5	5	5	5	5	5	5
0.5	5	5	5	5	5	5	5
0.6	5	5	5	5	5	5	5
0.7	5	5	5	5	5	5	5
0.8	5	5	5	5	5	5	5
0.9	5	5	5	5	5	5	5
1.0	5	5	5	5	5	5	5
1.1	5	5	5	5	5	5	5
1.2	5	5	5	5	5	5	5
1.3	5	5	5	5	5	5	5
1.4	5	5	5	5	5	5	5
1.5	5	5	5	5	5	5	5
1.6	5	5	5	5	5	5	5
1.7	5	5	5	5	5	5	5
1.8	5	5	5	5	5	5	5
1.9	5	5	5	5	5	5	5
2.0	5	5	5	5	5	5	5

Tabel B1.4 Veen

Kwel- Flux	GVG						
	0-10	10-20	20-30	30-50	50-70	70-90	>90
0.0	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1	1	1	1	1	1
0.2	1	1	1	1	1	1	1
0.3	1	1	1	1	1	1	1
0.4	1	1	1	1	1	1	1
0.5	1	1	1	1	1	1	1
0.6	1	1	1	1	1	1	1
0.7	1	1	1	1	1	1	1
0.8	1	1	1	1	1	1	1
0.9	1	1	1	1	1	1	1
1.0	1	1	1	1	1	1	1
1.1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	1	1	1	1	1	1	1
1.3	1	1	1	1	1	1	1
1.4	1	1	1	1	1	1	1
1.5	1	1	1	1	1	1	1
1.6	3	3	3	1	1	1	1
1.7	3	3	3	3	1	1	1
1.8	3	3	3	3	1	1	1
1.9	3	3	3	3	3	1	1
2.0	3	3	3	3	3	1	1

Tabel B1.5 Leem

Kwel- Flux	GVG						
	0-10	10-20	20-30	30-50	50-70	70-90	>90
0.0	1	1	1	1	1	1	1
0.1	1	1	1	1	1	1	1
0.2	1	1	1	1	1	1	1
0.3	1	1	1	1	1	1	1
0.4	1	1	1	1	1	1	1
0.5	1	1	1	1	1	1	1
0.6	1	1	1	1	1	1	1
0.7	1	1	1	1	1	1	1
0.8	1	1	1	1	1	1	1
0.9	1	1	1	1	1	1	1
1.0	1	1	1	1	1	1	1
1.1	1	1	1	1	1	1	1
1.2	1	1	1	1	1	1	1
1.3	1	1	1	1	1	1	1
1.4	1	1	1	1	1	1	1
1.5	1	1	1	1	1	1	1
1.6	3	3	3	3	1	1	1
1.7	3	3	3	3	1	1	1
1.8	3	3	3	3	3	1	1
1.9	3	3	3	3	3	1	1
2.0	3	3	3	3	3	1	1

**Bijlage 2 Kwaliteit van het bovenste grondwaterin de periode
26/9 – 15/10/2003. Voor de ligging van de meetplekken
zie figuur 4.1.**

Plek	pH	EC	Na	K	Ca	Mg	Cl	SO4	HCO3	Cu	Fe	Zn	NO3	NH4	P	o-PO4	IC	Opm.
	(-)	(mS/m)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mgP/l)	(mg/l)	*)
1	8.4	43.9	9.4	0.0	73.9	7.9	32.7	2.7	258.0	0.01	3.49	0.01	0.1	0.34	0.01	0.02	52.2	
2	7.3	68.4	18.8	82.9	61.7	5.2	116.7	1.7	218.0	0.01	1.98	0.01	0.6	1.67	0.02	0.02	46.7	
3	8.1	21.5	6.5	0.7	35.3	2.1	13.4	3.1	119.0	0.01	0.66	0.00	0.2	0.30	0.02	0.02	23.6	1
4	7.2	42.4	12.1	2.3	71.1	7.3	14.5	53.3	195.0	0.01	0.57	0.00	0.2	0.39	0.00	0.01	42.9	1
5	7.2	36.9	13.8	1.2	45.3	6.1	25.0	55.8	93.0	0.02	0.12	0.00	0.4	0.28	0.02	0.01	20.5	
6	7.7	69.3	17.8	90.2	29.4	11.3	45.6	109.4	64.0	0.04	0.35	0.00	5.7	0.07	0.00	0.10	13.3	
8	7.8	53.3	26.4	23.4	125.9	19.2	38.0	69.8	1.7	0.02	0.00	0.01	29.4	0.02	0.00	0.05	0.3	
9	7.9	27.9	7.2	36.4	13.8	4.5	19.9	23.9	7.9	0.02	0.01	0.05	67.9	0.45	0.08	0.13	1.6	
12	8.1	67.0	25.0	17.5	109.4	11.0	56.2	80.8	209.0	0.01	0.00	0.02	61.0	0.25	0.00	0.04	42.1	
13	7.4	59.4	18.2	6.7	52.3	6.1	33.9	52.3	64.0	0.01	0.22	0.00	31.3	0.25	0.00	1.77	13.5	
14	7.2	57.9	36.4	5.7	78.2	10.3	45.8	76.5	200.0	0.01	0.84	0.01	0.5	1.00	0.00	0.00	43.1	
15	8.0	49.3	15.8	1.7	75.7	6.5	33.5	85.1	161.0	0.01	0.20	0.00	0.1	0.57	0.00	0.00	32.5	1
16	7.2	30.3	8.8	1.3	46.4	4.6	13.6	2.8	172.0	0.01	1.09	0.00	0.5	0.71	0.03	0.01	37.3	1
17	8.3	86.4	16.4	0.3	152.6	15.1	64.3	92.4	372.0	0.01	1.48	0.01	0.4	0.30	0.00	0.01	74.6	
18	7.9	69.7	14.2	0.0	139.8	12.0	27.8	19.4	443.0	0.01	1.26	0.01	0.6	0.40	0.03	0.01	89.4	1
19	7.9	76.6	15.0	0.7	114.8	11.9	16.0	44.2	352.0	0.02	0.07	0.01	1.2	0.26	0.00	0.02	71.5	1
21	7.3	33.5	18.9	23.1	51.4	9.2	32.2	49.4	108.0	0.04	0.22	0.00	33.8	0.38	0.02	0.03	23.7	
22	7.3	37.4	16.0	18.9	34.0	8.1	13.7	27.7	20.0	0.03	0.94	0.06	125.0	0.20	0.06	0.01	4.4	
23	7.0	34.9	10.5	16.7	33.6	8.2	13.0	24.8	22.0	0.02	0.41	0.06	113.9	0.76	0.03	0.03	5.1	
24	6.9	55.1	12.6	35.8	53.4	12.7	22.2	42.2	77.0	0.03	0.17	0.01	120.9	0.72	0.01	0.03	18.4	
25	8.1	30.5	10.7	29.0	40.0	9.4	11.8	40.0	54.0	0.02	0.17	0.00	111.4	1.04	0.01	0.01	11.1	
26	7.9	22.1	18.0	4.8	24.0	3.3	16.2	41.5	44.0	0.01	0.23	0.01	23.6	1.03	0.00	0.01	9.5	1
27	7.9	46.5	18.9	3.9	53.4	6.6	26.3	68.0	114.0	0.01	1.58	0.01	2.0	0.62	0.00	0.02	23.1	
28	8.1	46.9	13.2	2.0	80.2	12.7	38.4	36.1	214.0	0.01	0.06	0.01	0.9	0.21	0.01	0.04	43.8	
29	8.0	55.8	20.7	2.7	95.4	12.1	26.3	62.3	268.0	0.01	0.34	0.01	0.6	0.33	0.00	0.02	54.1	
30	8.0	39.9	14.3	1.8	79.5	7.0	22.7	18.1	238.0	0.01	0.23	0.01	1.3	1.38	0.00	0.03	48.1	1
31	7.9	73.4	28.6	1.3	134.4	13.2	43.0	112.9	311.0	0.01	0.33	0.01	0.4	0.81	0.00	0.03	64.0	
32	7.7	69.6	24.4	0.7	137.7	14.1	45.9	40.2	379.0	0.01	0.09	0.01	0.6	0.94	0.00	0.06	77.4	
33	8.0	78.5	14.8	0.7	163.4	18.1	27.5	30.8	497.0	0.01	0.06	0.01	1.5	1.82	0.00	0.04	100.9	
34	7.6	26.1	10.6	0.3	32.7	7.5	18.0	32.9	51.0	0.03	0.64	0.00	50.3	0.10	0.12	0.13	10.5	
35	7.4	36.9	14.6	0.1	64.9	6.3	16.6	0.4	211.0	0.00	1.21	0.00	0.2	0.26	0.00	0.00	44.3	
36	6.5	48.6	18.4	0.3	91.4	8.8	21.3	48.5	164.0	0.00	1.29	0.00	0.4	0.55	0.00	0.01	51.1	1
37	7.7	61.6	47.1	1.3	67.3	22.3	72.7	246.6	3.9	0.01	1.00	0.05	5.4	0.31	0.00	0.03	0.8	
38	7.7	42.6	17.0	1.5	66.5	7.0	22.6	59.1	185.0	0.02	0.92	0.00	68.5	0.27	0.00	0.00	20.4	
39	7.7	36.3	14.9	11.9	50.5	8.0	6.6	12.2	425.0	0.01	1.82	0.00	2.1	3.02	0.00	0.02	41.0	
40	7.6	51.9	15.1	154.4	8.1	5.8	30.2	46.3	26.0	0.07	6.43	0.02	29.2	0.19	0.35	0.18	38.6	
41	7.8	78.2	22.8	59.5	121.1	17.0	34.4	59.6	425.0	0.01	0.02	0.01	5.4	0.50	0.00	0.03	86.2	
43	7.6	7.5	3.2	9.1	3.7	1.1	4.3	3.4	26.0	0.02	1.52	0.00	5.0	1.50	1.85	1.70	5.5	
44	7.5	95.0	121.1	2.3	81.8	1.6	194.9	16.6	165.0	0.01	0.05	0.00	16.0	0.05	0.00	0.00	34.8	
45	7.3	50.9	16.7	74.3	32.0	12.5	33.6	26.8	29.0	0.04	2.35	0.00	179.5	0.19	0.00	0.03	6.2	
46	7.4	26.2	11.5	0.9	33.7	8.3	11.1	59.7	67.0	0.02	1.08	0.00	0.2	0.36	0.00	0.02	14.5	1
47	7.6	26.3	7.7	7.1	35.9	6.2	11.2	27.1	102.0	0.01	1.61	0.00	1.0	0.06	0.00	0.01	21.8	
48	7.6	133.0	101.5	0.8	163.1	33.7	246.2	436.8	19.0	0.01	13.28	0.01	0.8	0.48	0.00	0.03	4.4	
49	7.6	47.0	13.1	0.9	90.8	10.9	16.2	78.7	210.0	0.01	1.69	0.00	9.9	0.16	0.00	0.01	43.4	
50	7.0	36.5	13.6	0.2	51.9	9.1	28.9	36.7	57.0	0.03	0.35	0.00	69.6	0.15	0.10	0.19	13.6	
104	7.8	40.4	13.6	0.0	72.3	10.2	10.6	4.3	0.7	0.01	0.02	0.01	0.1	0.34	0.00	0.03	0.1	
105	7.4	33.9	12.3	1.6	53.7	5.7	43.9	40.8	4.0	0.01	0.40	0.01	0.0	0.29	0.00	0.01	0.9	2
106	7.6	46.6	12.8	1.5	85.2	7.3	41.1	88.9	117.0	0.01	0.06	0.01	0.8	0.04	0.00	0.00	24.6	
107	7.4	49.9	20.7	1.6	105.7	6.4	31.2	113.2	163.0	0.00	0.09	0.00	0.0	0.24	0.00	0.02	34.9	
108	7.4	55.5	26.0	14.3	101.5	16.5	28.2	68.0	8.0	0.00	0.01	0.00	0.4	0.24	0.00	0.01	1.7	
109	7.5	77.7	77.5	10.7	25.7	15.9	106.5	301.7	1.2	0.04	1.68	0.24	90.8	0.31	0.00	0.02	0.2	

1) bij greppel

2) schijnspiegel?

Bijlage 3 Typering van het bovenste grondwater met de kwaliteitsgegevens uit bijlage 2

Plek	MAIONF						Jansentypologie I			Jansentypologie II			Stufzand- typologie
	Overeenkomst met referentiewater (%)					Ionen- ratio (%)	Verdeling over referentiewater (%)			Verdeling over referentiewater (%)			
	Rijn atmo- clien	Angeren veront- reinigd	Hoge Duvel zee- water	matig hard hard litho- clien	lithoclien		Witteveen atmo- clien	Hoge Duvel veront- reinigd	matig hard lithoclien	Witteveen atmo- clien	Angeren veront- reinigd	hard litho- clien	
1	-73	28	10	97	96	80	0	0	100	0	0	100	F1-CaHCO3 +
2	-48	74	58	70	52	48	0	20	80	0	45	55	F1-CaHCO3 +
3	-48	22	-6	93	99	82	0	0	100	70	0	30	g0-CaHCO3 +
4	-40	35	15	96	93	90	0	10	90	65	10	25	g1-CaHCO3 -
5	-15	51	23	84	81	76	35	15	50	70	15	15	g1-Camix -
6	-12	69	85	25	-7	53	45	50	5	0	80	20	F0- Kmix #
8	-16	42	23	48	40	85	60	15	25	85	10	5	F2-CaSO4 -
9	-18	37	38	2	-15	55	70	25	5	5	95	0	g*- Kmix o
12	-33	67	47	89	75	78	0	20	80	35	30	35	F2-CaHCO3 -
13	-17	87	76	66	41	73	0	40	60	5	60	35	F1-Camix -
14	-28	66	41	91	82	75	10	20	70	50	25	25	F1-CaHCO3 -
15	-21	52	28	88	81	80	25	15	60	70	15	15	F1-Camix -
16	-54	26	3	96	99	86	0	0	100	55	0	45	g1-CaHCO3 +
17	-40	66	53	93	76	81	0	20	80	20	30	50	F3-CaHCO3 -
18	-73	39	27	100	91	90	0	0	100	0	0	100	g2-CaHCO3 o
19	-50	59	50	97	81	93	10	10	80	0	20	80	g2-CaHCO3 -
21	-32	35	3	83	87	74	50	5	45	85	5	10	F1-Camix -
22	-27	63	50	54	38	81	30	25	45	15	50	35	g0-Camix o
23	-32	56	43	59	44	82	30	20	50	40	35	25	g0-Camix o
24	-44	70	68	73	48	81	0	20	80	0	45	55	g1-Camix -
25	-39	25	10	69	65	86	55	5	40	95	0	5	g0-Camix -
26	15	35	-5	56	67	72	80	5	15	85	10	5	g0-Camix -
27	-18	62	40	85	75	78	20	20	60	65	20	15	g1-Camix -
28	-45	43	18	96	93	79	0	10	90	50	10	40	F2-CaHCO3 o
29	-43	46	26	98	92	87	0	10	90	50	15	35	g2-CaHCO3 -
30	-49	31	6	96	98	86	0	5	95	60	5	35	g1-CaHCO3 o
31	-34	59	42	93	81	85	0	20	80	40	25	35	F2-CaHCO3 #
32	-49	52	32	98	90	84	0	10	90	25	15	60	F2-CaHCO3 -
33	-55	48	34	99	90	91	0	5	95	0	5	95	g3-CaHCO3 o

Plek	MAIONF						Jansentypologie I			Jansentypologie II			Stuufzand- typologie
	Overeenkomst met referentiewater (%)					Ionen- ratio (%)	Verdeling over referentiewater (%)			Verdeling over referentiewater (%)			
	Rijn atmo- clien	Angeren veront- reinigd	Hoge Duvel zee- water	Angeren hard litho- clien	Hoge Duvel matig hard lithoclien		Witteveen atmo- clien	Hoge Duvel veront- reinigd	Hoge Duvel matig hard lithoclien	Witteveen atmo- clien	Angeren veront- reinigd	Angeren hard litho- clien	
34	-16	38	6	74	77	76	70	5	25	80	10	10	g0-Camix o
35	-54	31	7	97	98	87	0	0	100	40	0	60	g1-CaHCO3 +
36	-37	46	23	90	85	88	0	15	85	60	15	25	g2-CaHCO3 -
37	51	50	37	7	-3	62	65	25	10	85	15	0	F2-CaSO4 #
38	-34	40	16	95	93	84	5	10	85	70	10	20	g1-CaHCO3 -
39	-53	10	-3	85	91	93	20	0	80	80	0	20	g1-CaHCO3 +
40	-30	19	44	-12	-34	32	70	25	5	55	35	10	F*- Kmix -
41	-59	53	45	98	84	86	0	10	90	0	10	90	F2-CaHCO3 -
43	-56	-11	-28	60	74	60	65	0	35	90	0	10	G*- KHCO3 +
44	-3	97	72	42	25	43	0	95	5	0	100	0	f2-NaCl o
45	-45	61	70	28	0	63	0	50	50	0	65	35	F1-Camix +
46	-3	22	-1	68	72	84	75	5	20	90	5	5	g0-Camix -
47	-44	24	0	93	96	85	0	0	100	75	5	20	g0-CaHCO3 o
48	22	86	80	26	0	54	20	60	20	30	65	5	f3-CaSO4 #
49	-35	35	15	92	89	91	15	10	75	70	10	20	g2-CaHCO3 -
50	-19	52	23	72	68	76	40	15	45	75	15	10	g1-Camix o
104	-42	40	24	53	42	92	50	10	40	80	10	10	g1-CaCl +
105	7	50	17	41	37	68	70	15	15	65	25	10	F1-CaCl -
106	-12	48	21	77	71	79	55	10	35	80	10	10	F2-Camix -
107	-15	42	17	80	76	86	50	10	40	80	10	10	F2-Camix #
108	-15	53	37	51	38	86	50	20	30	85	10	5	g2-CaSO4 -
109	59	62	57	-11	-26	30	60	40	0	60	40	0	F1-NaSO4 #

Bijlage 4 De kans op kwel bij de meetpunten volgens verschillende methoden en eenvoudig vast te stellen veldkenmerken

Plek	Kwelkans (hfdst. 3.1)										Veldkenmerken					
	Bodem		Topografie helling <i>par. 3.1.2</i> (*)	Historisch grondgebr <i>par. 3.1.5</i> (*)	Referentie			modelberekening			Gemeten grw.st. (cm)	Bodem- code	Function. bodem	Hoogte (AHN) (cm+NAP)	Actueel bodem- gebruik	Function. bodem- gebruik
	code A <i>par. 3.1.1</i> (*)	eenheid (*)			glg (*)	glg <i>par. 3.1.3</i> (cm)	COLN (*)	GVG (cm)	GLG <i>par. 3.1.4</i> (cm)	kwel (mm/etm)						
1	0	1	0	1	1	102	1	58	92	0.43	100	Rn44C	klei	362	gras	cultuur
2	0	1	0	1	2	58	2	50	72	0.39	75	Rv01C	klei	289	gras	cultuur
3	0	1	0	0	1	95	1	31	56	0.65	20	Rn47C	klei	335	gras	cultuur
4	0	1	0	0	0	116	1	44	75	0.63	69	Rn67C	klei	428	gras	cultuur
5	0	1	0	1	0	105	0	74	107	0.64	95	Rn67C	klei	460	mais	cultuur
6	0	2	0	1	2	82	0	68	111	0	85	EZg21	zand	537	gras	cultuur
8	0	2	0	0	1	85	0	61	104	0	90	EZg21	zand	541	gras	cultuur
9	0	0	0	0	0	167	0	178	243	0	260	zEZ21	zand	679	naaldbos	bos
12	0	1	0	0	2	61	0	117	176	0	135	pZn21	zand	543	gras	cultuur
13	0	0	2	0	2	65	0	26	73	0.33	60	zEZ21	zand	413	mais	cultuur
14	0	1	0	0	1	82	1	53	87	0.28	85	Rn67C	klei	380	gras	cultuur
15	0	1	0	0	1	77	2	40	63	0.7	40	Rn47C	klei	330	loofbos	bos
16	0	1	0	1	0	109	2	5	25	0.1	30	Rn44C	klei	284	gras	cultuur
17	0	1	0	1	1	87	0	76	107	0.24	120	Rn47C	klei	365	gras	cultuur
18	0	1	0	1	1	90	0	46	95	0.26	75	Rn47C	klei	372	mais	cultuur
19	0	1	0	0	2	74	0	56	123	0	140	Rn47C	klei	385	gras	cultuur
21	0	0	0	1	1	91	0	83	142	0.03	155	zEZ21	zand	533	gras	cultuur
22	0	0	0	0	0	148	0	121	179	0	185	zEZ21	zand	562	gras	cultuur
23	0	2	0	0	1	98	0	92	148	0.05	155	EZg21	zand	502	gras	cultuur
24	0	0	0	0	2	73	0	97	151	0.02	135	zEZ21	zand	482	mais	cultuur
25	0	2	0	0	2	79	0	119	167	0	175	pZg21	zand	490	loofbos	bos
26	0	1	0	1	0	93	1	103	145	0	95	Rn67C	klei	446	gras	cultuur
27	0	1	0	1	1	92	1	36	75	0.02	85	Rn67C	klei	373	gras	cultuur
28	0	1	0	0	1	93	1	78	111	0.02	105	Rn62C	klei	390	mais	cultuur

Plek	Kwelkans (hfdst. 3.1)										Veldenmerken					
	Bodem		Topografie helling par. 3.1.2)	Historisch grondgebr par. 3.1.5)	Referentie			modelberekening			Gemeten grw.st. (cm)	Bodem- code	Function. bodem	Hoogte (AHN) (cm+NAP)	Actueel bodem- gebruik	Function. bodem- gebruik
	code A par. 3.1.1)	eenheid)			glg)	glg par. 3.1.3 (cm)	COLN)	GVG (cm)	GLG par. 3.1.4 (cm)	kwel (mm/etm)						
29	0	1	0	1	1	85	0	84	112	0.06	85	Zn21	zand	374	gras	cultuur
30	0	1	0	1	1	77	2	66	87	0.45	65	Rn44C	klei	326	gras	cultuur
31	0	1	0	1	1	84	1	55	70	0.47	75	Rv01C	klei	301	loofbos	bos
32	0	1	0	0	1	90	0	65	112	0.38	170	Rn44C	klei	337	loofbos	bos
33	0	1	0	1	1	94	0	45	109	0.01	130	Rn47C	klei	326	gras	cultuur
34	0	1	0	1	1	84	0	61	137	0.01	30	Rn44C	klei	294	gras	cultuur
35	0	1	0	1	0	127	1	58	114	0.02	55	Rn44C	klei	288	gras	cultuur
36	0	1	0	1	2	69	2	35	77	0.45	45	Rn44C	klei	268	gras	cultuur
37	0	1	0	0	0	144	1	37	74	0.01	65	Rn44C	klei	263	loofbos	bos
38	0	1	0	0	2	65	1	79	101	0.71	60	Rn47C	klei	303	gras	cultuur
39	0	1	0	1	2	74	1	69	95	0.63	50	Rn62C	klei	327	gras	cultuur
40	0	2	0	0	2	75	0	101	138	0	110	pZg21	zand	388	gras	cultuur
41	0	2	0	0	2	66	0	68	107	0	100	pZg21	zand	342	mais	cultuur
43	0	0	2	1	0	128	0	97	147	0.09	110	cHd21	zand	466	loofbos	bos
44	0	0	2	1	0	116	0	96	149	0.01	130	zEZ21	zand	450	gras	cultuur
45	0	2	0	1	2	70	0	132	180	0	155	pZg21	zand	444	gras	cultuur
46	0	1	0	1	2	69	1	60	94	0.26	35	Rn62C	klei	298	mais	cultuur
47	0	1	0	1	1	88	2	77	108	0.53	60	Rn62C	klei	308	gras	cultuur
48	0	1	0	1	2	76	2	100	161	0	85	Rn94C	klei	295	loofbos	bos
49	0	1	0	1	0	101	2	66	92	0.65	55	Rn47C	klei	255	gras	cultuur
50	0	1	0	1	0	93	1	57	113	0	45	Rn44C	klei	262	gras	cultuur
104	0	1	0	1	2	78	1	115	136	0.45	110	Rn44C	klei	385	loofbos	bos
105	0	1	0	1	1	96	2	54	71	0.71	35	Rn47C	klei	326	gras	cultuur
106	0	1	0	0	0	126	0	68	108	0.07	90	Rn67C	klei	400	mais	cultuur
107	0	1	0	1	2	65	1	57	104	0.03	90	Rn67C	klei	412	mais	cultuur
108	0	2	0	1	2	54	0	82	138	0.02	100	pZg21	zand	485	gras	cultuur
109	0	0	0	0	0	95	0	121	182	0	150	zEZ21	zand	567	naaldbos	bos

*) kwalitatieve variabelen: 0 geen kwel; 1 mogelijk kwel; 2 kwel

Bijlage 5 Correlatiematrix van alle gegevens (bijlagen 2, 3 en 4)

1 ahn	1.0																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			</
-------	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

