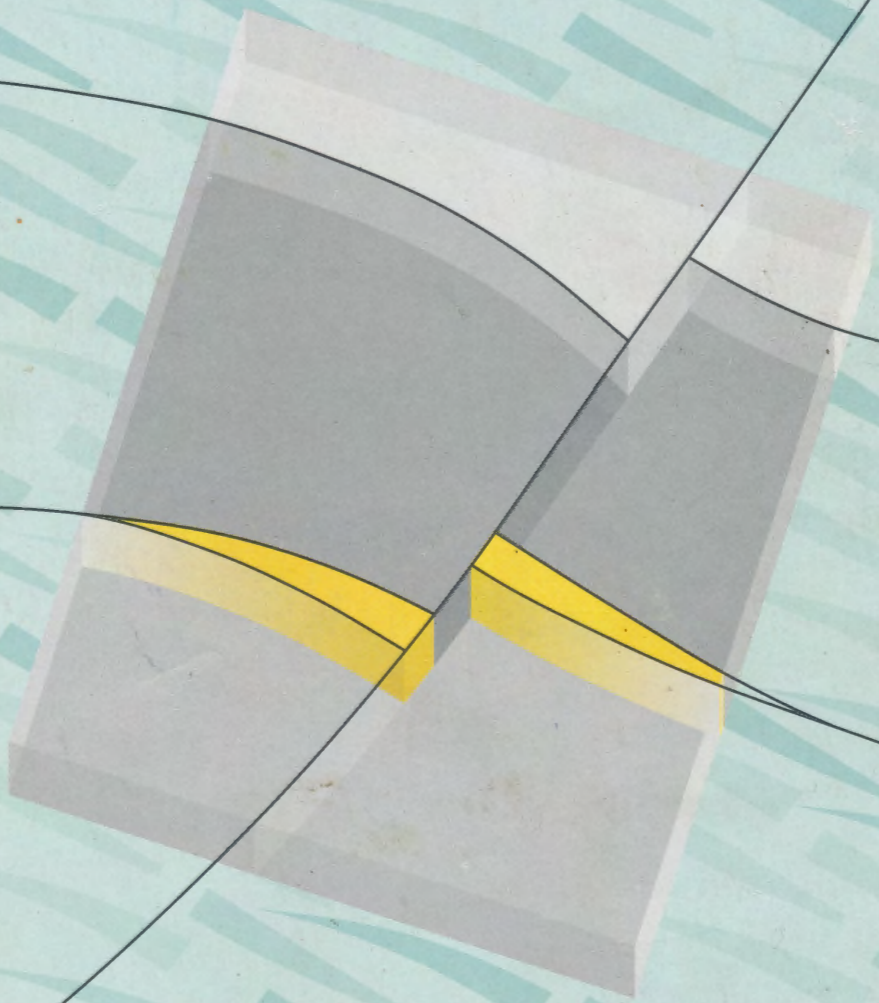
rondwater en Geo-Energie

De grondwatersituatie rond de wijstgronden bij Uden



GG R-96-39(A)

NN31169.96-39

TNO Grondwater en Geo-Energie

Schoemakerstraat 97
Postbus 6012
2600 JA Delft

Telefoon (015) 269 69 00
Fax (015) 256 48 00
Telex 38071 zptno nl

22/2700(96-39)
MN31169, 96-39

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

TNO-rapport
GG R-96-39(A)

De grondwatersituatie rond de Wijstgronden bij Uden

Datum

Juni 1996

Auteur(s)

Roelof J. Stuurman
Raed H. Atari

Opdrachtgever

Waterschap De Aa
Gemeente Uden
Staatsbosbeheer

Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Algemene Voorwaarden voor Onderzoeks-
opdrachten aan TNO', dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

© TNO

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0783 3409

- 7 APR. 1997

Ls 935739x

TNO Grondwater en Geo-Energie stelt zich ten doel door middel van aardwetenschappelijk en daarmee verband houdend technologisch onderzoek bij te dragen tot een duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en van de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

Een waterloop die ten hoogte van de Peelrandbreuk de Wijstgronden verlaat en de Centrale Slenk instroomt.

Samenvatting

Het onderzoek naar de grondwatersituatie in en rond de Wijstgronden had als algemene doelstelling; *Welke activiteiten moeten worden geweerd om achteruitgang van het gebied te voorkomen en welke externe maatregelen kunnen worden getroffen om tot herstel te komen.*
Gezien de complexe geologische en geohydrologische situatie die samenhangt met de aanwezigheid van de Peelrandbreuk werd veel aandacht geschonken aan het verdiepen van de hydrogeologische kennis van de Wijstgronden. Deze werd verkregen door een combinatie van verschillende geofysische methoden en grondboringen. Daarnaast werd de grondwaterstroming onderzocht doormiddel van hydrochemisch- en stijghoogteonderzoek. Aanvullend vond een grondwatermodellering plaats. Hiermee konden ook de effecten van toekomstige veranderingen worden ingeschat.

Uit het geofysisch onderzoek, twee in het kader van het onderzoek uitgevoerde ca. 15 meter diepe boringen en boorbeschrijvingen van derden werd beter onderbouwd dat de Peelrandbreuk zich boven in de helling bevindt die de overgang vormt van de Peelhorst naar de ca. drie meter lager gelegen maaiveld van de Centrale Slenk. Uit de metingen bleek ondermeer dat ook de top van de zeer grindrijke Formatie van Veghel op deze plaats de zelfde sprong vertoont. Aan de benedenzijde van de helling ligt de top op 450-500 cm -mv, boven in de helling ligt deze op ca. 200 cm -mv.

Als gevolg van de verschuiving langs deze breuk zijn leem- en kleilagen verbogen waardoor in horizontale richting een hydraulische weerstand is ontstaan. Als gevolg hiervan trad tienduizenden jaren geleden het van de Peelhorst aanstromende grondwater in de helling uit. Hier ontwikkelde zich ijzeroer welke zich geleidelijk opbouwde. Als gevolg hiervan steeg de lokale grondwaterstand op de Wijstgronden geleidelijk tot maaiveld. Als gevolg hiervan trad tijdens het Holoceen veengroei op.

Van de negen bekende hypothesen over de breukwerking op het grondwatersysteem voldoet die van Ernst en De Ridder, in combinatie met de theorie van Van het Hof, het beste. De actuele grondwaterstand binnen de Wijstgronden is ten nadele veranderd door de lokale ontwateringssituatie. Daarnaast zal de kwelintensiteit afgenomen zijn als gevolg van verstedelijking en beregening in het gebied tussen de breuk en de waterscheiding ten oosten van Uden. De verlaging van de grondwaterstand manifesteert zich met name in het zomerseizoen.

De Wijstgronden vormen een kwelgebied waarop gesuperponeerd plaatselijk regenwaterlenzen voorkomen. Het kwelwater van bovenlocale herkomst is sterk agrarisch beïnvloed maar niet geëutrofieerd. De denitrificatie van het landbouwwater hangt samen met het voorkomen van pyriet in de Formaties van Kedichem

en Tegelen en de aanwezigheid van veen op de Wijstgronden. De kwel van locale herkomst is wel nitraatrijk. Deze stromingscomponent heeft alleen de pyrietloze grove zanden van de Formatie van Veghel doorstroomd.

Verbetering en bescherming van de Wijstgronden kan bereikt worden middels de volgende ingrepen; (1) ecohydrologisch optimaliseren van de lokale ontwateringssituatie middels ondermeer de aanleg van de voorgestelde stuwen, (2) het optimaliseren van de bovenlocale ontwateringssituatie waardoor de grondwaterstand minder snel wegzakt en beregening minder noodzakelijk kan worden, (3) de aanleg van een bufferzone direct ten oosten van het reservaat, (4) het inrichten van lokaal waarschuwingsmeetnet voor wat betreft het toestromende verontreinigingsfront, (5) het gebruik maken van het lokaal, ook tijdens droge perioden, in grote hoeveelheden afstromende water dat in feite verder verloren gaat.

Met name punt (1) heeft de hoogste prioriteit, gevolgd door (3). Deze bufferzone dient ter bescherming van de locale kwelcomponent. Over de breedte van de bufferzone kan op basis van de onderzoekresultaten geen exacte uitspraak worden gedaan. Deze zal op basis van de gradiënt voor het freatisch vlak ca. 500 - 1.000 meter moeten bedragen.

Het optimaliseren van de bovenlocale grondwatersituatie dient ter bescherming of herstel van de bovenlocale kwelcomponent. Wordt deze kwelflux minder, dan zal de ijzer/nitraat grens binnen het reservaat in westelijke richting verschuiven.

Tenslotte; de belangrijkste beschermingsmaatregel voor de Wijstgronden bestaat uit het behouden van de weerstand in de breukzone.

Inhoud

Samenvatting i

Lijst van figuren v

Lijst van tabellen vii

1 Inleiding 1

2 Methode van aanpak 5
2.1 Literatuuronderzoek 5
2.2 Hydrogeologisch onderzoek 5
2.2.1 Grondradar 5
2.2.2 Magnetometer-, Elektromagnetische en geo-electrische methode 5
2.2.3 Boringen 5
2.3 Onderzoek naar de breukwerking 5
2.4 Onderzoek bodemchemie en hydrochemie wortelzone 7
2.5 Synthese; De hydrologische systeemanalyse (semi-kwalitatief) 7
2.6 Numeriek model 7

3 Beschrijving van de hydrogeologie rond de Wijstgronden op basis van literatuurinventarisatie 11
3.1 Inleiding 11
3.2 De deklaag 11
3.3 Het ondiepe watervoerende pakket 13
3.4 De locale basis van het hydrogeologisch systeem 13
3.5 De grondwaterstand binnen de Wijstgronden 13
3.6 Conclusies ten aanzien van de bovenlocale hydrogeologische opbouw 15

4 Negen hypothesen over de invloed van de breuk op de grondwaterstroming 17

5 Resultaten van het geofysische onderzoek rond de Wijstgronden 21
5.1 Doel van het geofysisch onderzoek 21
5.2 Geofysische methoden 21
5.3 Werkwijze en resultaten geo-electrisch onderzoek 21
5.4 Werkwijze en resultaten elektromagnetisch onderzoek 22
5.5 Werkwijze en resultaten radar onderzoek 26
5.6 Werkwijze en resultaten van het geothermisch onderzoek 26
5.7 Aanvullende conclusies t.a.v. de hydrogeologie 26

6 Resultaten van het hydrochemisch onderzoek rond de wortelzone op de Wijstgronden 29
6.1 Werkwijze 29
6.2 Bovenlocale hydrogeochemische patronen en processen rond de Wijstgronden 29
6.3 De hydrochemische grondwatersituatie in de Wijstgronden rond 1980 32
6.4 Hydrochemische resultaten van het veldwerk in 1994 en 199532
6.5 Conclusies ten aanzien van de hydrogeochemie 34

7 Conceptuele modelformulering op basis van (semi-) kwalitatieve gegevens 37

8 Resultaten grondwatermodelonderzoek 41
8.1 Doel van het modelonderzoek 41
8.2 De begrenzing van het modelgebied 41
8.3 De hydrogeologische schematisatie 41
8.4 De hydrologische randvoorwaarden 43
8.5 Calibratie en gevoeligheidsanalyse 45
8.6 Modelverificatie 47
8.7 De modeleigenschappen en beperkingen 47
8.8 Resultaten scenario-berekeningen 47
8.9 Conclusie ten aanzien van modelberekeningen 48

9 Conclusies en aanbevelingen 49

10 Literatuur 51

Bijlagen
A De resultaten van de radar metingen in het proefprofiel
B De bemonsteringslocaties van Verwijst in 1981 en de hydrochemische analyse resultaten
C De afschatting van de breukweerstanden
D Bepaling van de breuklocaties met behulp van de gradiënten-analyse
E Gevoeligheidsanalyse wat betreft het verdrogend effect van het stedelijk gebied
F Gevoeligheidsanalyse wat betreft het verdrogend effect van beregening
G Resultaten verificatiefase van het model
H Uitgewerkte meetresultaten SBB-grondwaterbuizen

Lijst van figuren

Figuur 1 Schematische weergave van de hydrogeologie rond de Wijstgronden bij Uden. Hoe is de verbreiding van ijzeroer? Zijn er bijbreuken? Is de breukzone versmeerd?
Figuur 2a De begrenzing van het gebied waarvoor een numeriek (Modflow) grondwatermodel werd opgesteld.
Figuur 2b De lokale omgeving rond de Wijstgronden.
Figuur 2c De locatie van het meetprofiel.
Figuur 2d De grondwatermeetpunten binnen het 174 meter lange meetprofiel.
Figuur 3 De bovenlocale hydrogeologische opbouw rond de Wijstgronden.
Figuur 4 De verspreiding van de door de Maas afgezette Formatie van Veghel.
Figuur 5 De grondwatersituatie ter hoogte van de breuk. De schematisatie is gebaseerd op een profielkuil beschrijving van Van het Hof e.a. (1967).
Figuur 6 De interpretatie van de geo-electrische metingen.
Figuur 7 De resultaten van EM-metingen in de proefraai (de Peelrandbreuk ligt op ca. 155 m).
Figuur 8 De correlatie tussen de geleidbaarheid van het ondiepe grondwater en de EM-metingen.
Figuur 9 De locatie van de proefsectie op de Wijstgronden. Ter hoogte van de boom bevindt zich de Peelrandbreuk.
Figuur 10 De Peelrandbreuk. Rechts bevinden zich de maisakkers, links van de bomenrij de Wijstgronden. De maaiveldhoogte daalt in deze helling ca. 3 meter.
Figuur 11 De resultaten van grondwatertemperatuurmetingen op 150 cm onder de slootbodem. De sloot staat loodrecht op de breuk georiënteerd.
Figuur 12 De actuele verbreiding van enkele hydrochemische parameters binnen het proefprofiel. Van oost naar west verandert de samenstelling geleidelijk van lokaal regenwater naar opkwellend landbouwkundig beïnvloed kwelwater.
Figuur 13 De verbreiding van watertypen binnen de Wijstgronden in een profiel loodrecht op de Peelrandbreuk.
Figuur 14 De lokale topografie rond de Wijstgronden gepresenteerd in een driedimensionale sectie.
Figuur 15 De initiële permeabiliteitsverdeling voor het grondwatermodel.
Figuur 16 De ruimtelijke verdeling van de grondwatertrappen en het ontwateringssysteem in relatie tot de drainageweerstand.
Figuur 17 Resultaten calibratie-fase. Het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten is kleiner dan 50 cm.

Lijst van tabellen

Tabel 1: De grondwatersamenstelling (mg/l) ten hoogte van Steeuwichtweg 15 op 8 meter onder maaiveld. Deze locatie ligt ca. 250 meter (grondwater-) stroomopwaarts van de Wijstgronden 30

Tabel 2: Enkele analyses uit het onderzoek ven Verwijst, Griffioen en de actuele studie. De analyses van Schaijk geven een beeld van de samenstelling van het bovenlocale , binnen het landbouwgebied geïnfiltreerde water. De Verwijst- analyses uit 1981 betreffen dezelfde locaties (A, B en C) als de bemonsteringslocaties van de actuele studie 35

1 Inleiding

Op 5 oktober 1994 heeft op het kantoor van het Waterschap De Aa te Den Bosch een gesprek plaatsgevonden waarbij TNO Grondwater en Geo-Energie geïnformeerd werd over het voornemen voor een onderzoek naar de Wijstgronden ten westen van Uden. Hierbij werd TNO Grondwater en Geo-Energie verzocht een projectvoorstel te maken.

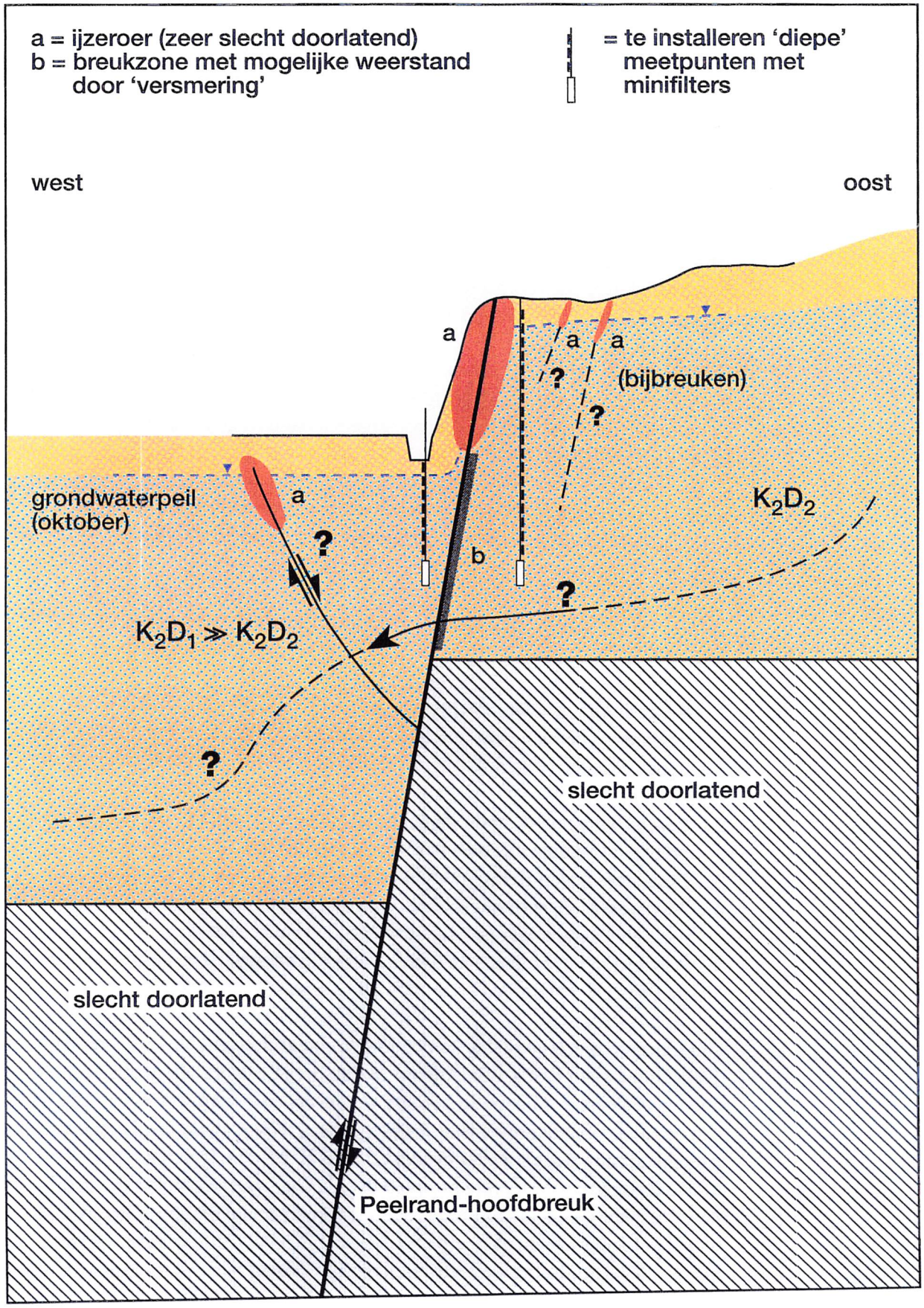
Uit het projectvoorstel 'Verdroging Wijstgronden Uden' en 'De aanvulling op projectvoorstel d.d. juli 1994' kan worden afgeleid dat de algemene onderzoeksdoelstelling als volgt luidt:

Welke activiteiten moeten worden geweerd om achteruitgang van het gebied te voorkomen en welke externe maatregelen kunnen worden getroffen om tot herstel te komen.

Meer specifiek moeten hiervoor de volgende onderzoeksvragen uitgewerkt worden:

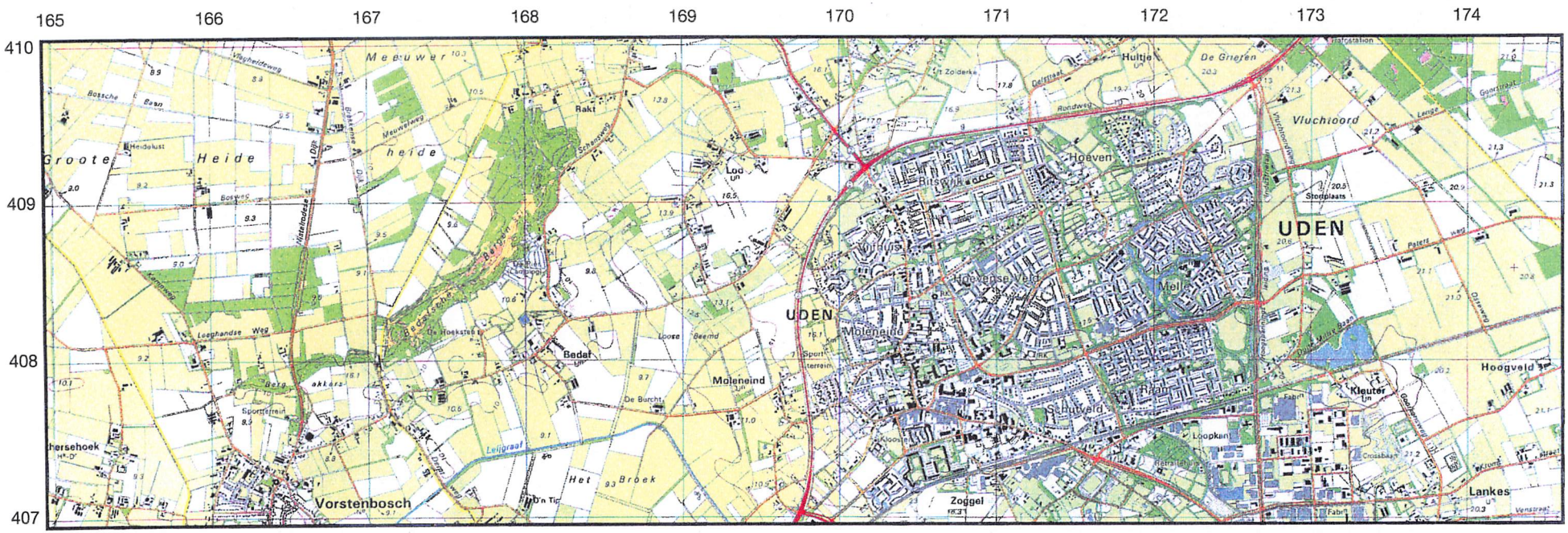
1. Beschrijving van het grondwatersysteem (kwel- en infiltratiegebieden); bepaling van de invloed van waterhuishoudkundige veranderingen op dit systeem in het verleden en in de toekomst (bijvoorbeeld A50, verstedelijking rond Uden).
2. Beschrijving van de hydrogeologische opbouw; bepaling van de ligging van breuken; bepaling van de breukwerking/weerstand.
3. Bepaling systeemwerking; hoe werken invloeden over de breukzone door?
4. Advisering ten aanzien van de begrenzing relatienotagebieden (met name ten aanzien van de noodzaak aan de westzijde van de breuk).
5. Advisering ten aanzien van beschermende maatregelen en compenserende ingrepen.

Om tot een projectvoorstel te komen is vervolgens door enkele medewerkers van TNO Grondwater en Geo-Energie op 28 oktober jl. een bezoek gebracht aan de onderzoekslocatie. Tijdens dit bezoek werd geconstateerd dat de sloten aan de voet van de (hoofd)breuk grotendeels droog stonden, terwijl op de Peelhorst kwel van ijzerrijk grondwater zichtbaar plaatsvond. De verbreiding van natte plaatsen en de lokale topografie riep direct vragen op over het aanwezige breuksysteem (bij- of nevenbreuken). Opmerkelijk was dat de watergangen op de Loose Beemden loodrecht het breuksysteem passeerden zonder dat hier stuwen geplaatst waren. Aan het eventueel verdrogend effect van deze ontwatering moet zeker aandacht besteed worden.



Figuur 1: Schematische weergave van de hydrogeologie rond de wijstgronden bij Uden. Hoe is de verbreiding van ijzeroer? Zijn er bijbreuken? Is de breukzone versmeerd?

Op basis van (1) het door het Waterschap, Staatsbosbeheer en de Gemeente Uden geformuleerde projectvoorstel, (2) het veldbezoek en (3) de ervaringen van TNO Grondwater en Geo-Energie elders met breuksystemen is tot het projectvoorstel gekomen. Hierbij wordt uitgegaan van de in Figuur 1 gepresenteerde schematisatie. Een zeer belangrijk deel van het onderzoek diende besteed te worden aan de hydrogeologie van dit breuksysteem. Vervolgens kan de grondwaterstroming vroeger, nu en in de toekomst geanalyseerd worden. Tenslotte is het dan mogelijk om advies ten aanzien van herstel en bescherming van de Wijstgronden te geven. Hierbij zal speciale aandacht worden gegeven aan mogelijke compenserende maatregelen die in het kader van het compensatieplan voor de aanleg van de A50 kunnen worden getroffen en de gewenste begrenzing van de ecologische hoofdstructuur.
Daarnaast worden de eventuele effecten van de uitbreiding van Uden geanalyseerd en compenserende maatregelen voorgesteld.



Figuur 2a: *De begrenzing van het gebied waarvoor een numeriek (Modflow) grondwatermodel werd opgesteld.*

2 Methode van aanpak

Het onderzoek werd verdeeld in zes stappen.

2.1 Literatuuronderzoek

Zoals in het projectvoorstel reeds gesteld werd hebben er inmiddels verschillende studies rond de Wijstgronden plaatsgevonden. Hierbij zijn verschillende hypothesen geformuleerd ten aanzien van de breukwerking en de werking van het hydrologisch systeem. Bovenstaande hypothesen zijn aangehaald en in het vervolg van het onderzoek getoetst.

2.2 Hydrogeologisch onderzoek

Tijdens deze fase werd de hydrogeologie rond de Wijstgronden in kaart gebracht. Daarbij werden de volgende subfasen te onderscheiden:

2.2.1 Grondradar

Met behulp van deze bij TNO Grondwater en Geo-Energie verder ontwikkelde geofysische methode werd getracht het freatisch vlak en de bovenste meters van de ondergrond te karteren. Met grondradar kunnen in principe sprongen in het freatisch vlak als gevolg van breuken bepaald worden. Er werden twee raaien van circa 250 meter lengte loodrecht op de breuk gemeten. Hiervan werd de meest representatieve raai geselecteerd voor verdere uitwerking. De locatie staat aangeduid in de figuren 2b t/m 2d.

2.2.2 Magnetometer-, Elektromagnetische en geo-electrische methode

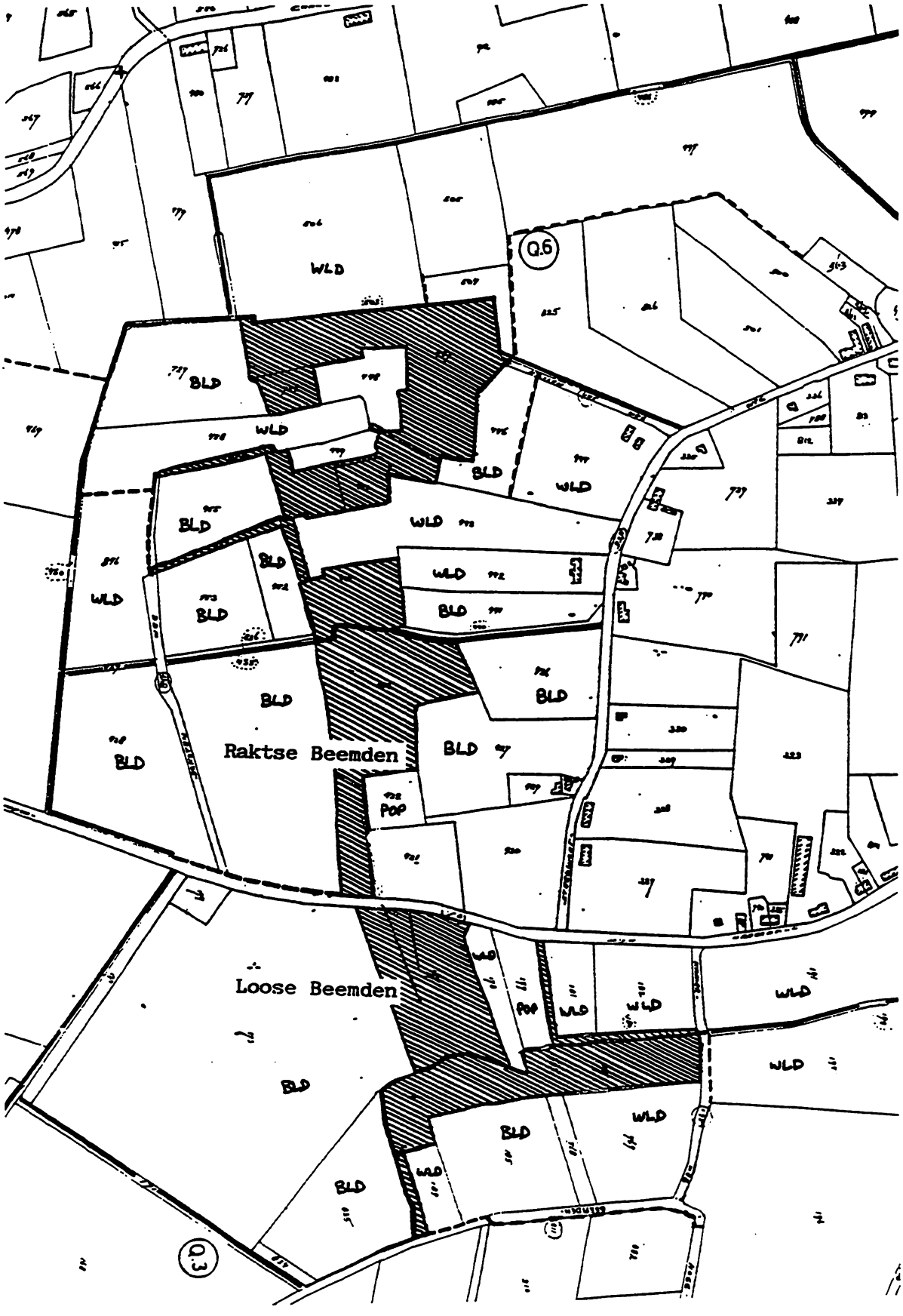
Aanvullend werden over de zelfde raaien als 2.1 magnetische, geo-electrische en elektromagnetische metingen verricht om breukbegeleidende ijzeroerbanken en de laagopbouw beter te karteren.

2.2.3 Boringen

Op basis van de geofysische metingen, reeds bestaande boorresultaten, topografie en de ligging van natte gebieden werden binnen de twee onderzoeksraaien boringen verricht. Verschillende ondiepe (100-200 cm) boringen werden afgewerkt met grondwaterbuizen (inclusief minifilters).

2.3 Onderzoek naar de breukwerking

Belangrijk voor het grondwater- c.q. natuurbeheer op de Wijstgronden is het verwerven van meer inzicht ten aanzien van de werking van de Peelrandbreuk (= breukzone; zie Figuur 1).



Figuur 2b: De lokale omgeving rond de Wijstgronden.

Tot hoe diep zit het ijzeroer? Bevindt zich overal ijzeroer? Is er hydrologisch contact tussen de Peelhorst en de Slenk onder het ijzeroer? Is er sprake van een 'grond'waterval doordat een relatief lage KD (horst) lateraal op zeer korte afstand overgaat in een zeer hoge KD (Slenk)? Heeft de breukzone onder de oerbank een weerstand?

Een deel van bovenstaande vragen zal beantwoord kunnen worden op basis van het onderzoek. Ook interpretatie van de bestaande grondwaterstandreeksen in het reservaat (SBB) en in de omgeving (TNO Grondwater en Geo-Energie) kan wellicht inzicht opleveren ten aanzien van de breukwerking.
Daarnaast werd getracht met behulp van circa 15 meter diepe boringen op korte afstand aan beide zijden van de breuk de eventuele weerstand (versmering?) bepaald worden. Deze boringen werden geen succes. Wel werd de gewenste diepte bereikt, echter het bleek onmogelijk het boorgat open te houden om de filterbuizen te installeren. Dit werd veroorzaakt door de aanwezigheid van zeer grof grind. Wel leverden deze boringen belangrijk geologische informatie.

2.4 Onderzoek bodemchemie en hydrochemie wortelzone

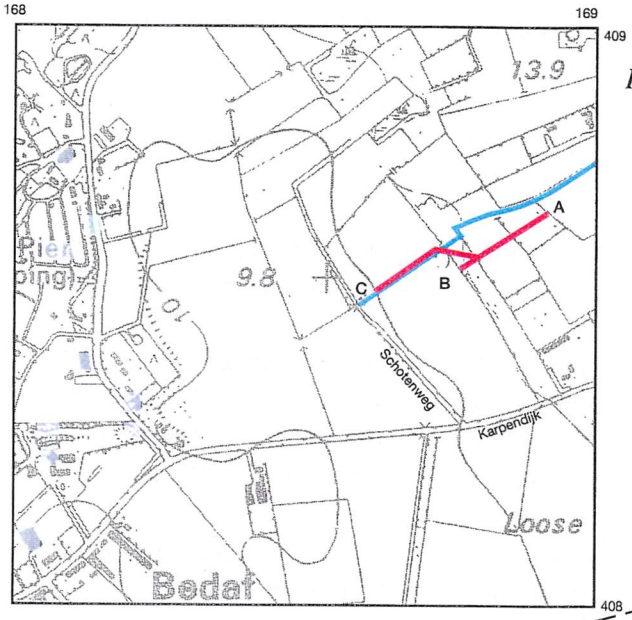
Langs een drietal raaien werden per raai 25 tot 35 cm diepe, 5 cm smalle gaten gegutst. Van de bodemmonsters werd in het veld de zuurgraad en het kalkgehalte bepaald. Daarnaast werd met behulp van veldsets de chemische samenstelling van het toegestroomde grondwater bepaald (chloride, alkaliteit, calcium. magnesium, nitraat, zuurgraad en egv). Deze metingen vonden tweemaal plaats (januari, begin mei).

2.5 Synthese; De hydrologische systeemanalyse (semi-kwalitatief)

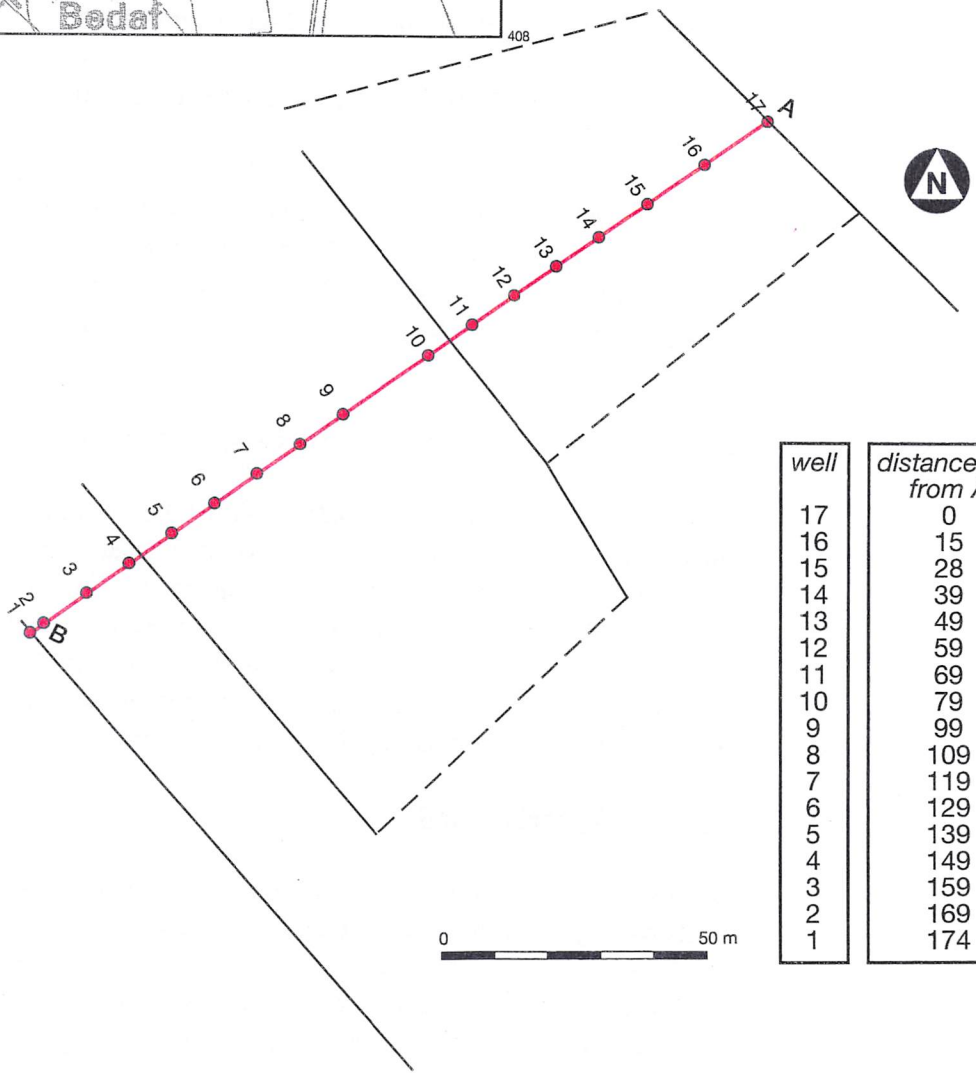
Tijdens deze fase werd de verzamelde (ruimtelijke) informatie geordend, gecombineerd en geanalyseerd. Hierbij werd gebruik gemaakt van informatie uit REGIS (bijvoorbeeld hoogteligging, grondwaterstanden, weerstanden. slootpeilen etc.). De grondwaterstroming rond de Wijstgronden werd in kaart gebracht en de ruimtelijke verdeling van hydrochemische watertypen verklaard. Hierbij kwam naar voren waar de wortelzone nog beïnvloed wordt door kwelwater en waar deze beïnvloed wordt door ter plaatse geïnfiltreerd regenwater.

2.6 Numeriek model

Tijdens deze fase werd van het gebied een grondwaterstromingsmodel gemaakt met behulp van de modelcode MODFLOW. Hiertoe wordt de informatie, die in de vorige fase in Arc-Info is opgeslagen vertaald naar de invoer voor het model.
Het gebied, dat gemodelleerd werd omvat de woonwijken van de Gemeente Uden, de Wijstgronden, de breuk(en) en een deel van de slenk (zie figuur 2). Het gebied werd opgedeeld in gridcellen met een grootte van 10 bij 10 of 25 bij 25 m ter plaatse van de Wijstgronden en de breuk.



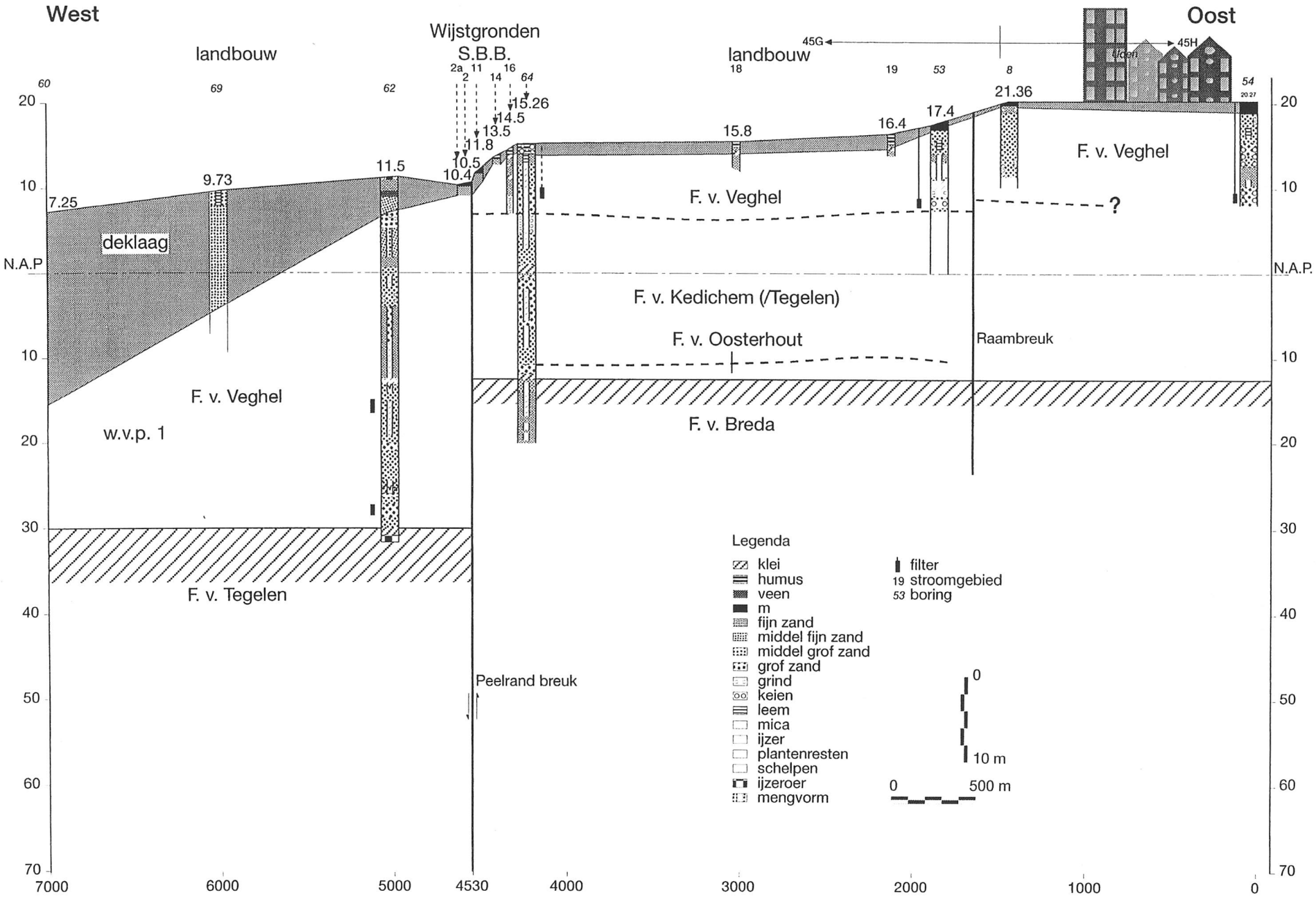
Figuur 2c: *De lokatie van het meetprofiel.*



well	distance (m) from A
17	0
16	15
15	28
14	39
13	49
12	59
11	69
10	79
9	99
8	109
7	119
6	129
5	139
4	149
3	159
2	169
1	174

Figuur 2d: *De grondwatermeetpunten binnen het 174 meter lange meetprofiel.*

Het overige deel van het gebied werd met grotere gridcellen (50x50 meter) geschematiseerd.
Met behulp van het model zijn de plannen met betrekking tot de ruimtelijke ordening (aanleg A50), natuur-, milieu- en waterbeheer om de Wijstgronden te beschermen en de mogelijkheden voor herstel te vergroten bestudeerd.



Figuur 3: *De bovenlokale hydrogeologisch opbouw rond de Wijstgronden.*

3 Beschrijving van de hydrogeologie rond de Wijstgronden op basis van literatuurinventarisatie

3.1 Inleiding

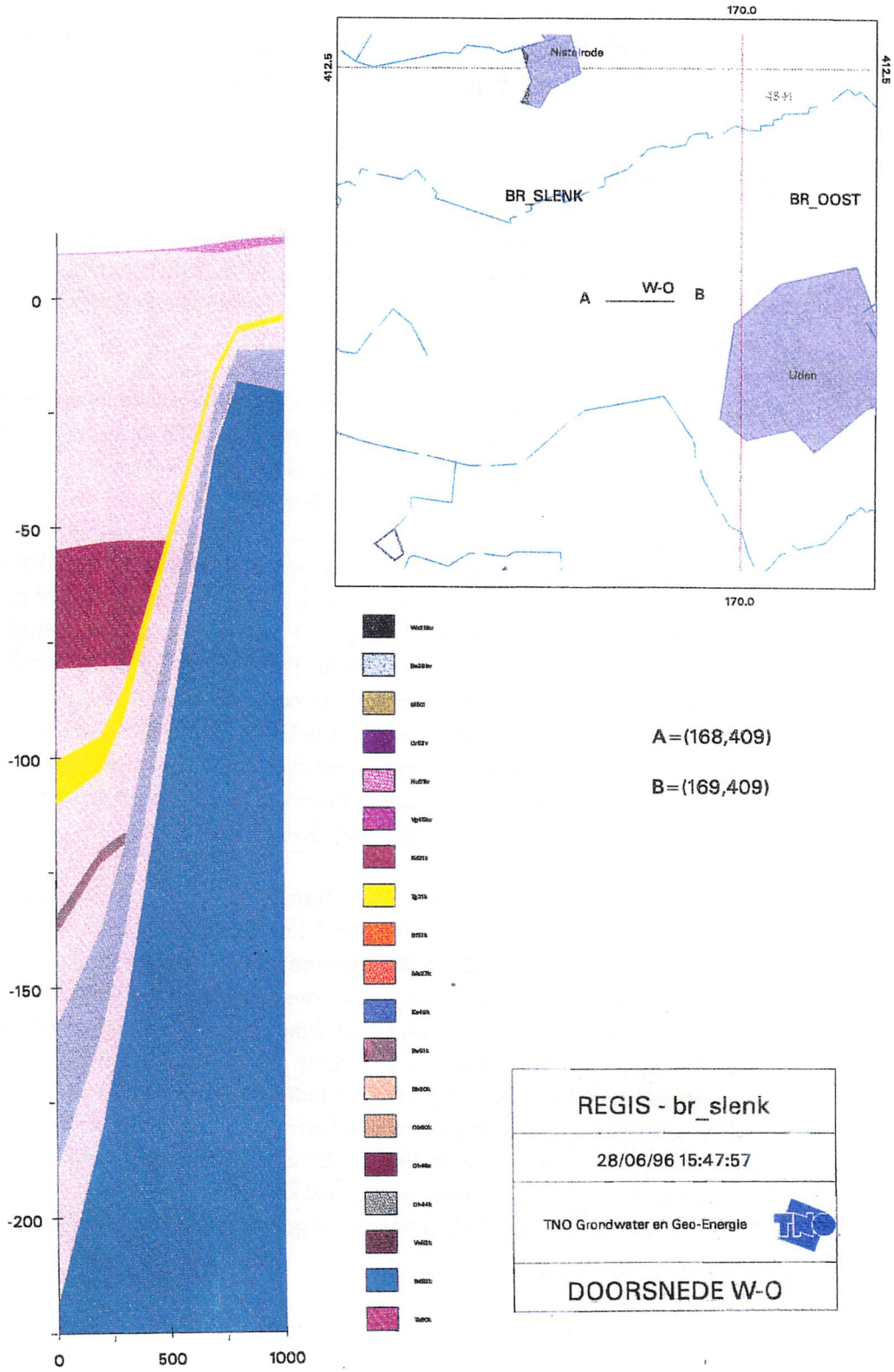
De Wijstgronden bij Uden liggen op de uiterste westrand van de Peelhorst. Direct ten westen van deze natte, venige Wijstgronden bevindt zich een duidelijk zichtbaar steilrandje die volgens verschillende auteurs de exacte ligging van de hoofdbreuk zou aangeven.

Ten oosten van deze breuk bevinden zich de volgende relevante hydrogeologische eenheden. Aan maaiveld bevinden zich de Formatie van Griendsveen (veen langs de breuk) en de Formatie van Twente. Onder deze matig weerstand biedende deklaag bevindt zich de zeer goed doorlatende Formatie van Veghel (zie figuur 3). Deze Formatie wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van grove zanden en grinden. Samen met de onder deze Formatie gelegen zanden van de Formaties van Kedichem, Tegelen en Oosterhout vormen zij het eerste watervoerende pakket. Dit zogenaamde eerste watervoerende pakket rust op kleien en/of zeer kleirijke, fijne zanden van de mariene Formatie van Breda. Tussen Uden en de Peelrandbreuk ligt de top van de Formatie van Breda op ca. 30 meter onder maaiveld.
Door verschillende onderzoekers wordt deze Formatie als de zogenaamde ondoorlatende hydrogeologische basis van het hydrogeologische systeem beschouwd. Echter, gezien het feit dat deze mariene Formatie tot ca. 100 meter diepte verzoet is, lijkt deze aanname niet in alle gevallen betrouwbaar.

Ten westen van de Wijstgronden, in de Centrale Slenk, is de schematisatie wezenlijk anders als gevolg van de relatieve daling. In de Slenk bijvoorbeeld, bevinden de mariene zanden en kleien van de Formatie van Breda zich pas op 140 meter diepte. Hier in de Slenk is dan ook sprake van meerdere watervoerende pakketten. Ook in de Slenk bevinden zich aan de top fijne eolische zanden en fluvioperiglaciale leemlagen van de Formatie van Twente. Hieronder bevindt zich het eerste watervoerende pakket. Deze bestaat uit grinden en grove zanden van de Formatie van Veghel (boven) en Sterksel (onder). Daaronder bevinden zich de zeer slecht doorlatende kleien van de Formatie van Kedichem welke de scheiding met het goed doorlatende tweede watervoerende pakket.
In figuur 3b wordt de locale hydrogeologie gepresenteerd op basis van Regis (TNO).

3.2 De deklaag

De deklaag bestaat uit zanden en leemlagen van de Nuenen groep en is op de Peelhorst zeer dun ontwikkeld (0-5 meter). In de centrale Slenk neemt de dikte in westelijke richting snel toe tot ca. 30 meter. Op de Peelhorst is de deklaag kalkloos.



Figuur 3b: De hydrologie ter hoogte van de Wijstgronden op basis van REGIS.

3.3 Het ondiepe watervoerende pakket

Het eerste, ondiepe watervoerende pakket bestaat voor een belangrijk deel uit zeer grof materiaal van de Formatie van Veghel, waarbij zelfs vaak stenen en blokken kunnen voorkomen. Deze Formatie is afgezet nadat de Rijn tegen het einde van het Cromerien zijn loop naar het oosten verlegde. Hierdoor werd in dit deel van de Centrale Slenk en de Peelhorst nu alleen Maasmateriaal afgezet (zie figuur 4). Dit in tegenstelling tot de 'oudere' afzettingen van de Formatie van Sterksel. Deze bevat hoofdzakelijk materiaal dat door de Rijn is aangevoerd. Uit geochemisch onderzoek van Broers e.a. (1994) blijkt dat de Formatie van Veghel ter plaatse kalkloos en pyrietloos is.
Het dieper deel van het eerste watervoerende pakket bestaat uit zanden van de Formaties van Kedichem en Tegelen. De grens tussen de basis van de Formatie van Veghel en de top van de Formatie van Kedichem ligt ter plaatse van de Wijstgronden op ongeveer 8 meter onder maaiveld. Deze Formaties van Kedichem en Tegelen zijn kalkloos maar bevatten relatief veel pyriet. Plaatselijk kunnen ook kalkrijke afzettingen van de Formatie van Oosterhout op de overgang met de Formatie van Breda aanwezig zijn. Deze afzetting is slechts enkele meters dik.

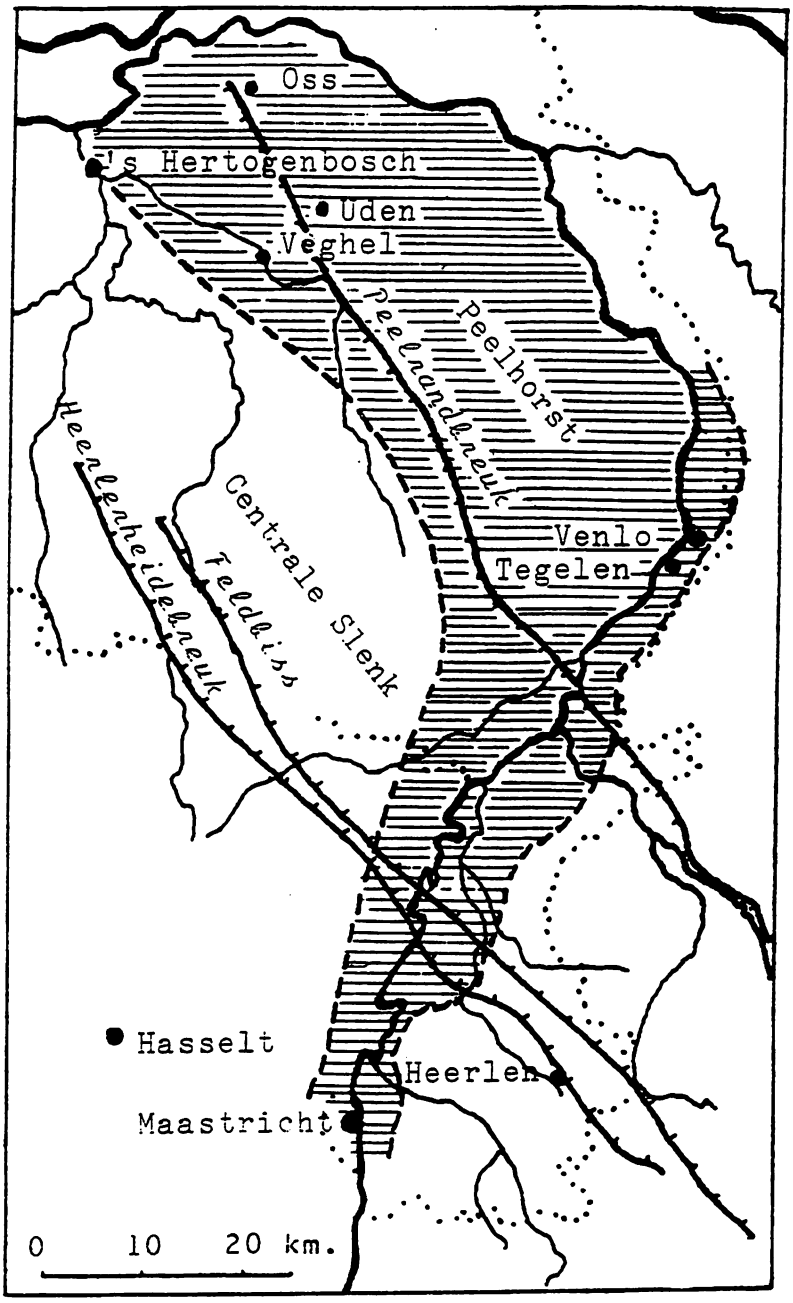
3.4 De locale basis van het hydrogeologisch systeem

Op de Peelhorst wordt de hydrogeologische basis gevormd door de top van de Formatie van Breda. Opmerkelijk is dat deze 'basis' wel tot op grote diepte is verzoet. Dit houdt in dat nu of in het verleden er de grondwaterstroming door deze lagen sterk genoeg was/is om het (zee-)zoute formatiewater op te ruimen. Misschien staat/stond deze stromingscomponent in verband met de relatief sterke opheffingssnelheid van de Peelhorst van ca. 8 cm/eeuw.

3.5 De grondwaterstand binnen de Wijstgronden

In de winter ligt binnen het studiegebied de grondwaterstand enkele centimeters onder maaiveld of staat het maaiveld onder water. Dit water bestaat voor een groot deel uit kwelwater gezien de roestvorming en ijzerbacteriënvliezen. De grondwaterstand daalt in het algemeen in westelijke richting. Langs de loodrecht op de breuk gelegen afwateringssloten is de grondwaterstand echter duidelijk verlaagd (Verwijst, 1982; zie bijlage H).

Staatsbosbeheer heeft sinds 1980 een aantal grondwaterstandmeetpunten (zie kaartje bijlage H). Hier worden tweewekelijks grondwaterstanden gemeten. Voor de meetpunten B1, B2, B3 en B4 (op korte afstand aan weerszijden van de breuk) zijn het jaarlijksvoortschrijdend gemiddelde en de regiemcurves bepaald (zie bijlage H). Op basis van het voortschrijdend gemiddelde is voor de meetpunten B3 en B4 visueel geen verlaging waar te nemen.



Figuur 4: De verspreiding van de door de Maas afgezette Formatie van Veghel.

Deze meetpunten bevinden zich zeker aan de oostzijde van de Peelrandhoofdbreuk. Voor de meetpunten B1 en B2 kan een dergelijke conclusie minder stellig gemaakt worden. Met name B1 de zich aan de westzijde van de hoofdbreuk bevindt lijkt verlaging te vertonen.

Wat betreft de regiemcurven zijn duidelijke verschillende karakteristieken waar te nemen.
Een regiemcurve toont hier de gemiddelde grondwaterstand per 14-daagse meetdatum met de standaardafwijking en minimale als maximale standen.
Meetpunt B1, die westelijke van de hoofdbreuk ligt, toont een relatief sterke jaarlijkse fluctuatie (ca. 100 cm). Dit in tegenstelling tot de meetpunten B2 t/m B4 waar deze fluctuaties respectievelijk 40 cm, 35 cm en 40 cm bedragen. De grondwaterstand in B2 staat tussen oktober en juni boven maaiveld en daalt gemiddeld slechts tot 25 cm onder maaiveld. In extreem droge situaties kan deze echter tot 70 cm onder maaiveld dalen. In de meetpunten B3 en B4 stijgt de grondwater bijna nooit boven maaiveld. In de natte perioden bevinden de grondwaterstanden zich gemiddeld 10 cm (B3) en 25 cm (B4) onder maaiveld. Duidelijk is dat in oostelijke richting de grondwaterstand geleidelijk dieper ligt.
De relatieve geringe fluctuaties voor B2 t/m B4 wijzen duidelijk op kwelinvloed. Op basis van deze grondwaterstanden kan, met uitzondering van B2, niet geconcludeerd worden dat het kwelwater hier ook de wortelzone beïnvloed. Nader hydrochemisch en bodemchemisch onderzoek kan hier uitspraken overdoen.

3.6 Conclusies ten aanzien van de bovenlocale hydrogeologische opbouw

De hydrogeologische opbouw op de Peelhorst veroorzaakt een (zeer) kwetsbare grondwatersituatie. De afwezigheid van een goed ontwikkelde deklaag, in combinatie met de zeer grove , kalkloze afzettingen van het ondiepe watervoerende pakket heeft tot gevolg dat het zelfreinigend vermogen laag en de transportsnelheid hoog is.

Uit de grondwaterstandmeting van SBB en Verwijst kunnen drie conclusies getrokken worden; (1) de waterlopen binnen de Wijstgronden hebben een drainerende werking met als gevolg een grondwaterstandsverlaging ter plaatse, (2) de grondwatermetingen laten zien dat er aan weerszijde van de terreinhelling een duidelijk ander grondwaterregiem bestaat welke goed verklaard kan worden door de aanwezigheid van een weerstandbiedende breuk onder de helling, (3) binnen de Wijstgronden is sprake van (sterke) kwel. Deze invloed neemt in oostelijk richting geleidelijk af.

4 Negen hypothesen over de invloed van de breuk op de grondwaterstroming

De invloed van de (Peelrand-)breuk op de grondwaterstroming is reeds decennia lang bron voor discussie. Harde feiten of metingen die de verschillende hypothesen kunnen onderbouwen ontbreken echter in de meeste gevallen.
In dit hoofdstuk worden de verschillende hypothesen kort toegelicht.

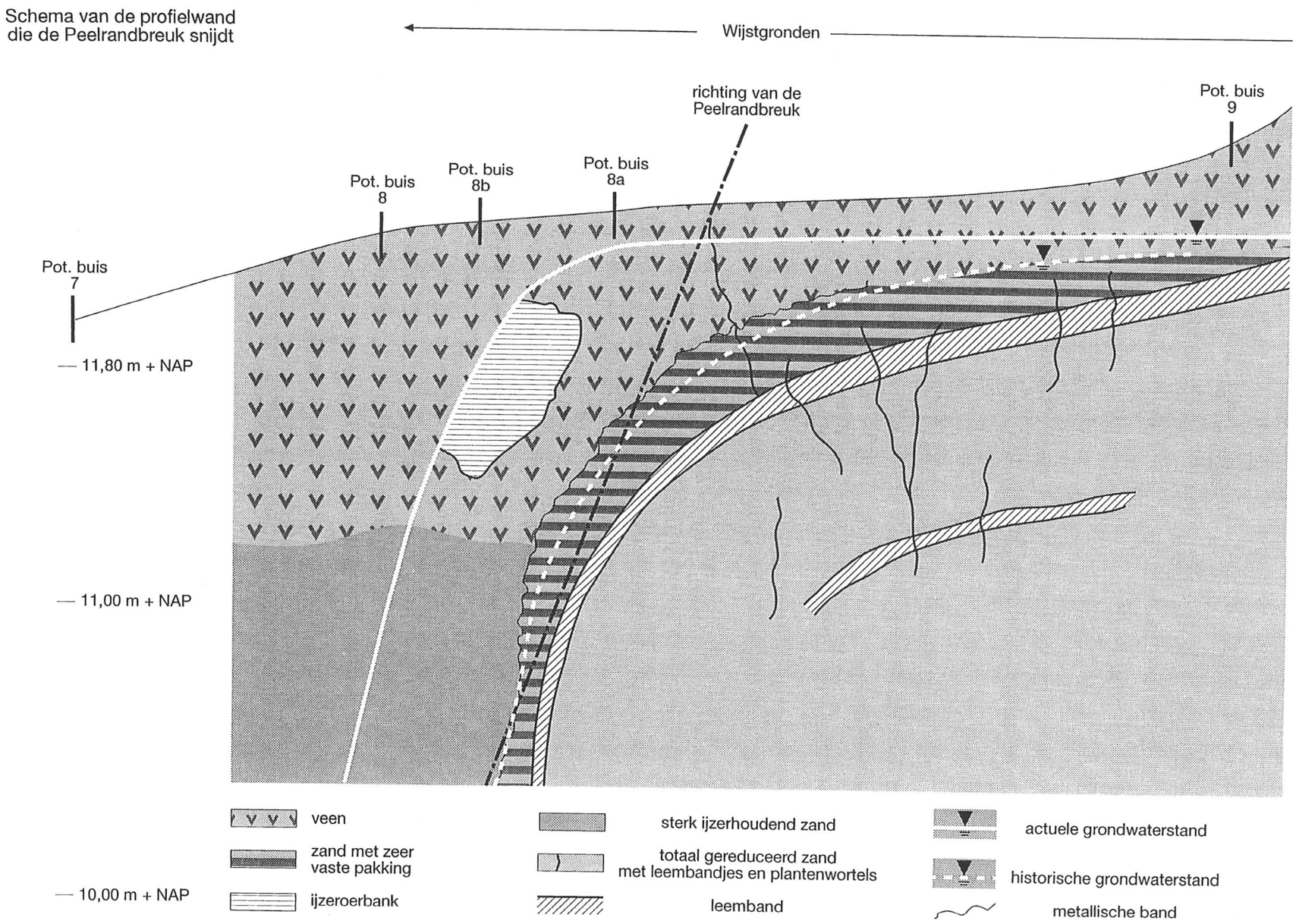
De ijzeroer-damwand volkslegende
Volgens de lokale bevolking zou de wateroverlast langs de breuk veroorzaakt worden door het optreden van wellen of door een als damwand werkende verticale ijzeroerbank in het breukvlak.

De omgebogen kleilagen theorie vgl. Ernst en De Ridder (1960)
Ernst en De Ridder vonden aan de oostzijde van de Peelhorst op relatieve korte afstand grote stijghoogtevallen. Onderzoek wees uit dat deze samenvielen met breuken. De stijghoogtesprong wordt toegeschreven aan een horizontale weerstand langs de breuk. Deze zou veroorzaakt zijn door het verbuigen en versleuren van kleilagen. Tijdens een boring door de Wanssumbreuk vonden zich op enkele plaatsen een bijna verticale positie van dunne klei-en zandlaagjes. Hierdoor wordt een laterale weerstand van 150-500 dagen (breukbreedte ca. 50 m) berekend.

De erosie-theorie vgl. Kortooms en Schothorst (1946)
Als verklaring voor de natte gronden binnen de ruilverkaveling Raktsche Beemden gingen de auteurs uit van de aanwezigheid van een kleilaag en stelt men ook nog dat er een gedeelte van de horst is afgespoeld op de Centrale Slenk. Hierdoor kan de waterspiegel van de horst aan het oppervlak raken.

De grondwaterval vgl. Visser (1948)
Op basis van enkele boringen aan beide kanten van de Peelbreuk bij Uden constateerde Visser dat zich op de Peelhorst al op enkele meters diepte een kleilaag voorkomt. In de Slenk komt pas op tientallen meters diepte voor het eerst een kleilaag voor. Visser verklaart aldus de stijghoogtesprong aan een grote transmissiviteitstoename in stroomafwaartse richting.
Visser weerlegt de ijzeroerbank-theorie. Deze heeft immers slechts een beperkt diepte bereik.

De versmeringstheorie vgl. Weiland (1949)
Weiland stelt dat bij hoge druk kleilagen zich plastischer kunnen gedragen. Volgens hem neemt de plasticiteit van kleilagen toe met toenemende diepte. Als gevolg hiervan kunnen breuken tijdens verschuiving versmeerd raken.



Figuur 5: *De grondwatersituatie ter hoogte van de breuk. De schematisatie is gebaseerd op profiel-kuilbeschrijving van Van het Hof e.a. (1967).*

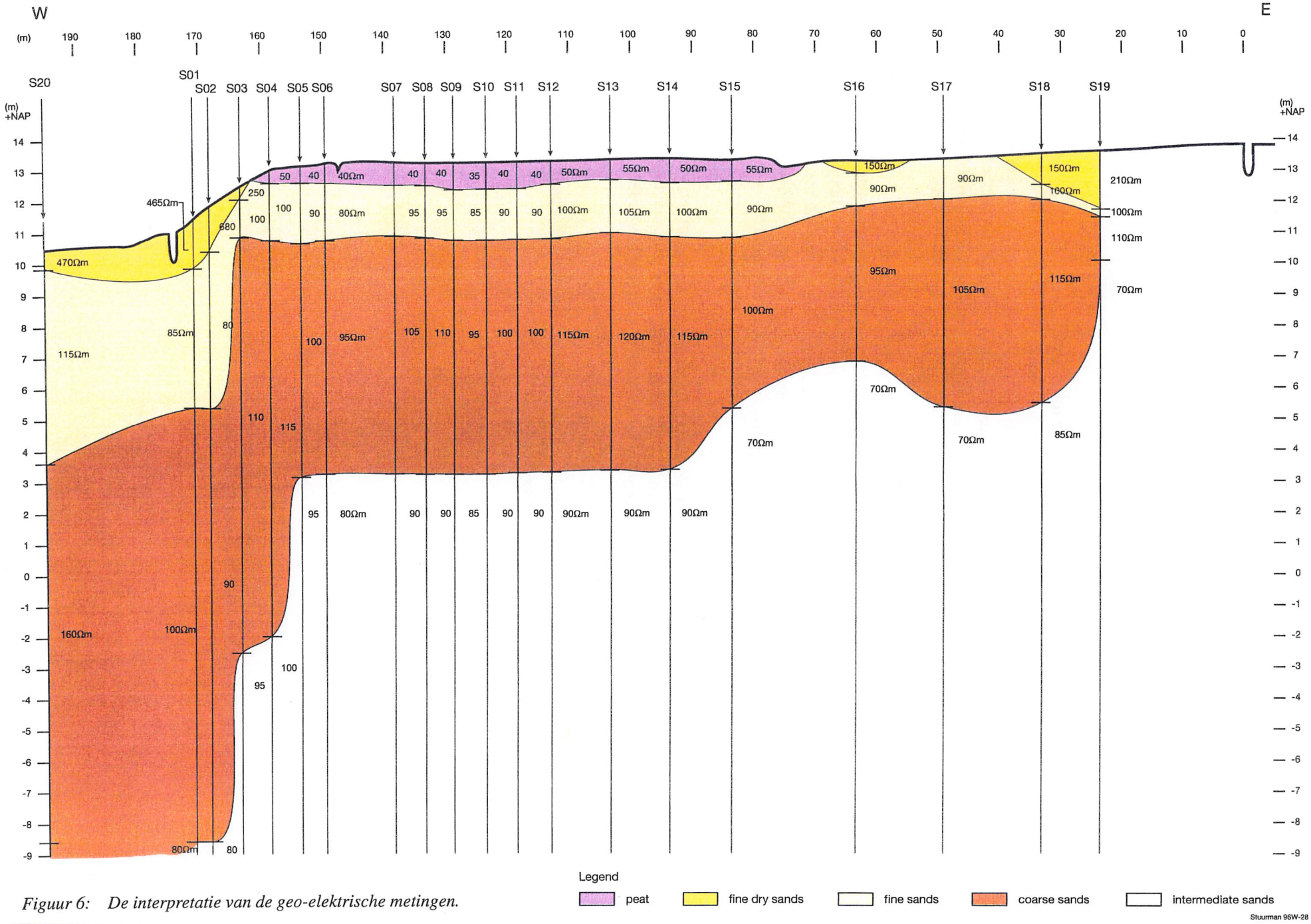
De permeabiliteitssprong theorie (Stiboka)
Hierbij wordt het van de hoge uit grove zanden bestaande Peelhorst afstromende grondwater bij de Peelrand Breuk opgestuwd door de horizontale overgang naar veel minder doorlatende fijne dekzanden in de Centrale Slenk.

De waterhard-hypothese vgl. Hailu e.a. (1992)
Waterhardlagen zijn bruine, jonge humeuze inspoelingslagen in de zandondergrond van (voormalig) veen. Volgens de auteurs kan tijdens de permafrostperiode in het begin van het Holoceen inspoeling van waterhard tot wellicht honderden meters diepte hebben plaatsgevonden. Zij beroepen zich ondermeer op aangetoonde waterhardinspoelingen bij de Raambreuk bij Hoeven (Uden).

De leembandjes-hypothese vgl. Van het Hof e.a. (1967)
Na veldwerk op de Wijstgronden bij Uden toonden de auteurs aan dat het vanaf de Peelhorst in westelijke richting afstromende grondwater ten hoogte van de Peelbreuk opgesloten werd door verbogen leembandjes en de storende verticale breukwand. Daar waar de ondiepe leembandjes zijn doorbroken komt het water aan de oppervlakte en veroorzaakt drassigheid (zie figuur 5).

De inspoel-hypothese
Breukvlakken zijn zeer scherp begrensd. De ruimte die na een verstoring tussen de twee schollen is ontstaan, is in de loop van de tijd volgespoeld met klei en leem. Ook kunnen door het grondwater mineralen aangevoerd worden die door oxydatie zullen neerslaan.

De hierboven beschreven hypothesen zullen in hoofdstuk 7 en 9 (Conclusies en aanbevelingen) geëvalueerd worden.



Figuur 6: De interpretatie van de geo-elektrische metingen.

5 Resultaten van het geofysische onderzoek rond de Wijstgronden

5.1 Doel van het geofysisch onderzoek

Uit alle theorieën t.a.v. het verschijnsel 'Wijstgronden' speelt de locatie van de (Peelrand)breuk een belangrijke rol. Daarnaast zou deze wijst samen hangen met plotselinge laterale permeabiliteitsprongen.
Echter, over de exacte ligging van deze belangrijke grens bestaat nog steeds discussie.

Het geofysisch onderzoek is uitgevoerd om de kennis t.a.v. de lokale hydrogeologie in het algemeen en de ligging van de breuk in het bijzonder te detailleren.

5.2 Geofysische methoden

Bij het geofysische onderzoek is gebruik gemaakt van een zestal methoden;

1. de geo-electrische methode,
2. de elektromagnetische methode,
3. de georadar,
4. hoge resolutie seismisch reflectie methode,
5. magnetometrie, en
6. de geothermische methode.

De eerste vijf methoden zijn toegepast binnen het huidige onderzoek. Wat betreft de geothermische methode kon gebruik gemaakt worden van de resultaten van Csonka (1968) die de Wijstgronden gebruikte voor een onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van de geothermische methode in Nederland. De locatie van het uitgewerkte onderzoeksprofiel staat aangeduid in de figuren 2b t/m 2d.

5.3 Werkwijze en resultaten geo-electrisch onderzoek

In het kader van dit onderdeel werden loodrecht op het profiel 20 Schlumberger soundings uitgevoerd. De metingen werden opgeslagen door de GEA-58 (GEA-S123 kabels), voorbewerkt met de GEAHOST en geïnterpreteerd met het VES-programma (versie 4.20-S).
Op basis van combinatie van bestaande geologische data en de uitgevoerde metingen kon een conceptueel model uitgewerkt worden.

Dit profiel bestaat uit een viertal bijna continue lagen waarbij aan de westzijde een plotselinge daling voorkomt (zie figuur 6).
Tot ca. 80 cm -mv komt een laag voor met een relatief lage weerstand van 45 ohm.m. Deze begrenst het veenpakket (Formatie van Griendsveen).

Tot 250 cm in het centrum van het profiel en 650 cm -mv onder het hellingdeel komen fijne zanden met een weerstand van 93 ohm.m voor. Deze eolische en fluvioperiglaciale zanden maken deel uit van de Nuenen Groep (Formatie van Twente). De dikte van dit pakket lijkt snel af te nemen in oostelijke richting. Dit stemt overeen met boringen op de Horst waar dit pakket 50-100 cm dik is . In westelijke richting neemt de dikte toe tot ca. 800 cm. De overgang tussen beide delen is zeer direct en komt vermoedelijk overeen met de ligging van de breuk. Een derde laag met een gemiddelde weerstand van ca. 100 ohm.m helt van oost naar west. Hierbij wordt weer een duidelijke overgang zichtbaar ten hoogte van de vermoedelijke breukligging.

Het geo-electrisch onderzoek heeft aldus informatie opgeleverd ten aanzien van de lithologie. Ondanks dat de weerstandscontrasten relatief gering waren kon een stratigrafisch profiel geconstrueerd worden dat overeenstemde met bekende gegevens.

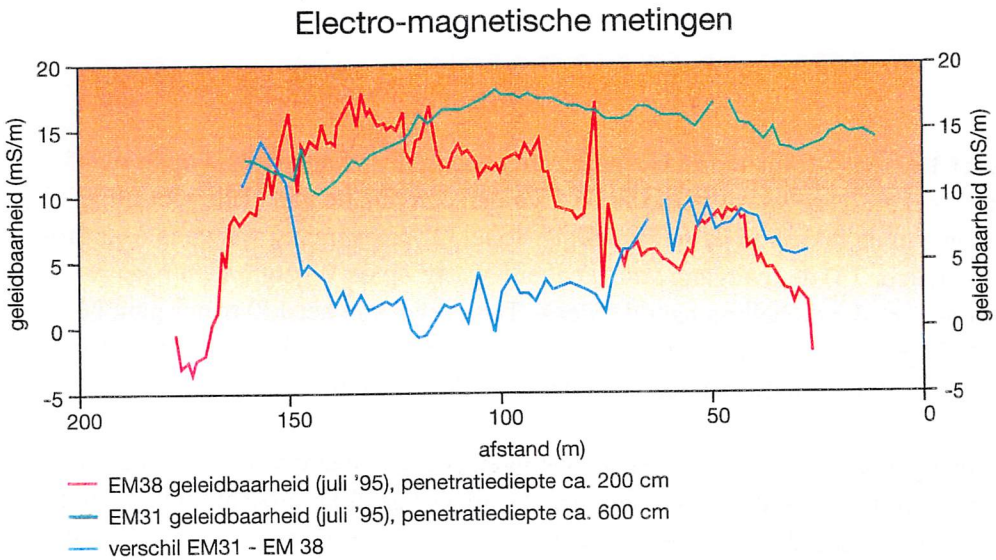
5.4 Werkwijze en resultaten elektromagnetisch onderzoek

Ten behoeve van het elektromagnetische onderzoek werd gebruik gemaakt van de GEONICS EM-38 en de GEONICS EM-31. De EM-38 heeft een maximale penetratiediepte van 150 cm terwijl de EM-31 een maximale penetratiediepte van 600 cm kent. De EM-apperatuur meet de electrische geleiding van de ondergrond die een functie is van de lithologie, de waterverzadiging en de watersamenstelling. Langs de proefraai werd om de 100 cm een meting verricht.

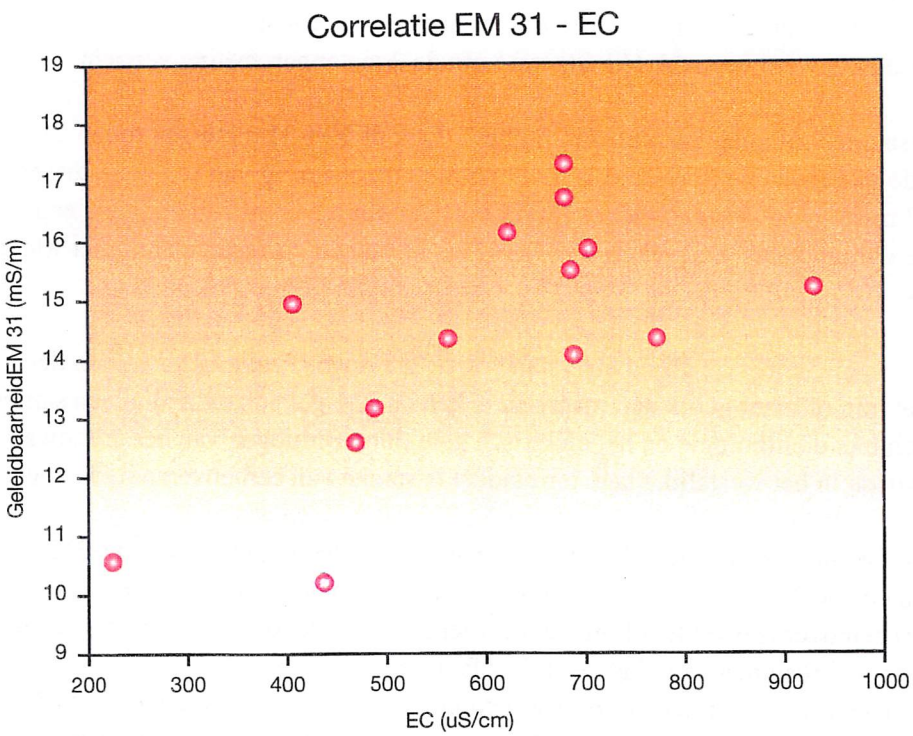
EM-38

Figuur 7 toont onder meer de resultaten voor de EM-38. Opvallend hierbij zijn de negatieve waarden aan beide randen van het profiel. Deze kunnen samenhangen met de aanwezigheid van een zeer droge zandige onverzadigde zone of de aanwezigheid van ijzer. Gezien de ligging binnen het profiel is de droge onverzadigde zone het meest aannemelijk.

Op 75 en 145 meter bevinden zich twee sterke onregelmatigheden. Deze stemmen overeen met de ligging van greppels en wordt veroorzaakt door het aanwezige oppervlaktewater.
Tussen 23 en 43 meter neemt de geleiding eerst toe tot 9 mS/m om dan op korte afstand, tussen 43 en 54 meter, te dalen tot 4,2 mS/m. Vervolgens neemt de geleidbaarheid geleidelijk toe tot 18 mS/m op 130 meter. De daling tussen 43-54 meter komt overeen met een zandig, minder venig/humeus, traject in het profiel. De geleidelijke toename in westelijke richting wordt veroorzaakt door een geleidelijke toename in organisch stofgehalte. Hierbij gaat een goöreerdbodem geleidelijk over in een veenbodem welke laatste tevens in westelijke richting geleidelijk dikker wordt. Deze geleidelijk toename kan echter ook deels versterkt worden door de relatieve toename van de geleidbaarheid van het grondwater.



Figuur 7: *De resultaten van de EM-metingen in de proefraai (de Peelrandbreuk ligt op ca. 155 m).*



Figuur 8: *De correlatie tussen de geleidbaarheid van het ondiepe grondwater en de EM-metingen.*

Vanaf 130 meter tot het eind van het profiel neemt de geleidbaarheid op korte afstand snel af. Deze wordt veroorzaakt door een combinatie van (1)de plotseling toename in de dikte van de onverzadigde zone, (2) de overgang van veen naar droge zanden en (3) de overgang van 'landbouwwater' op de Wijstgronden naar 'regenwater' onder de helling naar de Slenk. Ten oosten van het 130 meter punt bevindt de grondwaterstand zich aan of zeer dicht onder maaiveld, terwijl ten westen van dit punt de grondwaterstand zich op meer dan 100 cm bevindt.

In het algemeen kan voor de EM-38 metingen geconcludeerd worden dat deze een goede correlatie met de lithologie tonen. Daarnaast geeft het inzicht t.a.v. de dikte van de onverzadigde zone. Tevens is sprake van een sterke correlatie (r=0.77) tussen de geleidbaarheid van het ondiepe grondwater en de EM-waarden (zie figuur 8).

EM-31

De EM-31 metingen vonden plaats in december 1994. Hierbij werd gebruik gemaakt van de verticale dipool instelling waarmee de verticale geleidbaarheid tot 6 meter diepte werd bepaald. Hierbij werd om de 2 meter een meting verricht.

De resultaten zijn gepresenteerd in figuur 7. Ook de EM-31 metingen tonen een geleidelijke toename in westelijke richting met uitzondering van een zone tussen 38-57 meter. Ten westen van het 130 meter punt vindt een op korte afstand een sterke daling plaats. De pieken op 75, 147 en 171 meter corresponderen met waterlopen.

Omdat in december de grondwaterstand op de het hoge (Peelhorst) deel van het profiel min of meer gelijk aan maaiveld is kan de EM-geleidbaarheid alleen samen hangen met de lithologie en het elektrisch geleidingsvermogen van het grondwater. Alleen in het westelijke lage terreindeel is sprake van een onverzadigde zone.

In het algemeen komen de EM-31 metingen sterk overeen met die van de EM-38. Blijkbaar speelt men name het geleidingsvermogen in de bovenste meters (1-2 meter) een overheersende rol binnen het dieptetraject van 6 meter. De EM-31 curve stemt overeen met een glad gestreken EM-34 curve.
Het verschil tussen beiden wordt ook getoond in figuur 7. Deze toont dat de EM-31 geleidbaarheid bijna altijd hoger is dan die van de EM-38. Hier zijn twee verklaringen voor te bedenken; (1)het ondiepe grondwater kan sterker beïnvloed zijn door laag gemineraliseerd regenwater in tegenstelling tot het diepere door landbouwinvloeden verrijkte grondwater, en (2) de aanwezigheid van een dikkere onverzadigde zone aan de randen van het profiel.

Figuur 9: *De lokatie van de proefsectie op de Wijstgronden. Ten hoogte van de boom bevindt zich de Peelrandbreuk.*

Figuur 10: *De Peelrandbreuk. Rechts bevinden zich de maisakkers, links van de bomenrij de Wijstgronden. De maaiveldhoogte daalt in deze helling ca. 3 meter.*

5.5 Werkwijze en resultaten radar onderzoek

Langs het basis profiel hebben ook grondradar metingen plaatsgevonden. Deze vonden plaats met de 200 MHz antennes vanaf het 39 meter tot het 229 meter punt.

De uitgewerkte meetresultaten worden getoond in bijlage A. Deze resultaten leveren echter geen inzichten op t.a.v. de bodemopbouw zoals de begrenzing van het veenlichaam of de locatie van de breuk.

De maximale penetratie diepte van radar golven is hoger in zanden dan in veen. Echter in het profiel, zelfs als een zeer gering verschil in penetratiediepte zichtbaar is tussen de zandige zone van 40 tot 70 meter en het venige deel (90-160 meter), levert het beeld geen verschil op tussen het hogere horstdeel en het lagere slenkdeel.
Ook de waterspiegel, normaal een sterke reflector, is niet zichtbaar in de helling of het lagere deel waar deze zich op ca. 100 cm zou moeten bevinden. Waarschijnlijk is dit een gevolg van het feit dat het bodemprofiel te nat was.

Concluderend kan gesteld worden dat als gevolg van energie-absorberende werking van het veen en het hoge vochtgehalte van de zandbodem de radarmetingen geen informatie opleverden. Vermoedelijk leveren radarmetingen tijdens een droge periode wel informatie op.

5.6 Werkwijze en resultaten van het geothermisch onderzoek

De meting van de horizontale temperatuurverdeling vond plaats op een constante diepte (150 cm) onder het oppervlak en werd uitgevoerd op 5 mei 1965. Op 150 cm diepte kent de dagelijkse temperatuurvariatie geen invloed. De metingen vonden plaats in de sloot. Hierdoor kan de invloed van oppervlakte-effecten, als begroeiing en bodemopbouw, tot op 0,2-0,3 graden Celsius worden beperkt.
Het temperatuurprofiel toont een duidelijke anomalie direct ten oosten van de steilrand (zie figuur 11). De temperatuurstijging begint ongeveer 50-75 meter grondwaterstroomopwaarts voor de breuk, die zich ongeveer op het 150-meter punt bevindt. Dit effect vormt een zeer sterke aanwijzing voor de aanwezigheid van opkwellend diep grondwater.

5.7 Aanvullende conclusies t.a.v. de hydrogeologie

Uit het geofysisch onderzoek, twee in het kader van het onderzoek uitgevoerde ca. 15 meter diepe boringen en boorbeschrijvingen van derden werd beter onderbouwd dat de Peelrandbreuk zich boven in de helling bevindt die de overgang vormt van de Peelhorst naar de ca. drie meter lager gelegen maaiveld van de Centrale Slenk. Uit de metingen bleek ondermeer dat ook de top van de zeer grindrijke

Formatie van Veghel op deze plaats de zelfde sprong vertoont. Aan de benedenzijde van de helling ligt de top op 450-500 cm -mv, boven in de helling ligt deze op ca. 200 cm -mv.
IJzeroer kon helaas niet met behulp van geofysische methoden gekarteerd worden. Dit vindt wordt veroorzaakt doordat ijzeroer een zeer lage geleidbaarheidscoëfficiënt bezit.
Het temperatuuronderzoek leverde duidelijke aanwijzingen voor kwel in een zone van 50-75 meter ten oosten van de steilrand.

6 Resultaten van het hydrochemisch onderzoek rond de wortelzone op de Wijstgronden

6.1 Werkwijze

Het hydrochemisch onderzoek rond de Wijstgronden is gebaseerd op literatuurinformatie en veldonderzoek. Het literatuuronderzoek leverde een beeld van de hydrochemische patronen en processen in de ruime omgeving van de Wijstgronden. Daarnaast zijn er data bekend uit de Wijstgronden welke in 1981 zijn verzameld door Verwijst.

In het kader van het veldonderzoek werd loodrecht op de steilhelling is een raai uitgezet (zie figuur 2d). Langs deze raai zijn om de 10 meter een ondiepe grondwaterbuis geplaatst. Daarnaast is tweemaal ten hoogte van deze meetpunten een ca. 40 cm diep gat geboord die vervolgens vol liep met grondwater. Zowel het grondwater uit de filterbuizen als het boorgatwater werd hydrochemisch onderzocht. Aanvullend werd de bodemzuurgraad en de grondwaterstand t.o.v. maaiveld bepaald.
De hydrochemische bepalingen vonden grotendeels met chemische veldsets plaats. Daarnaast zijn enkele monster in een sterlab geanalyseerd.
De metingen vonden plaats in december 1994 en februari en april 1995.

6.2 Bovenlocale hydrogeochemische patronen en processen rond de Wijstgronden

Op ca. 3 kilometer ten noordoosten van de Wijstgronden bevinden zich twee grondwaterkwaliteitsmeetpunten. Het dichtstbijzijnde meetpunt, bij Slabroek (45F-A3204) maakt deel uit van het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet en is geplaatst in het gebiedstype 'intensieve veehouderij-infiltratie-zand'. Even noordelijker, in het naaldbos van de Schaijksche heide, bevindt zich een meetpunt van het Landelijk grondwaterkwaliteitsmeetnet. Dit meetpunt geeft een beeld van de watersamenstelling voor het gebiedstype naaldbos-infiltratie-zand.
Daarnaast zijn verschillende andere hydrochemische analyses uit de omgeving bekend. Een voorbeeld hiervan zijn analyses van 8 meter diep grondwater welke zijn beschikbaar gesteld door de gemeente Uden (zie tabel 1). De bemonsteringslocatie ligt ca. 250 meter (grondwater-) stroomopwaarts van de Wijstgronden. Uit deze chemische bepaling blijkt dat zich hier zuurstof- en nitraatrijk grondwater bevindt. Het grondwater is duidelijk sterk agrarisch beïnvloed. Dit grondwater stroomt in westelijke richting naar de Wijstgronden toe.

Tabel 1: *De grondwatersamenstelling (mg/l) ten hoogte van Steeuwichtweg 15 op 8 meter onder maaiveld. Deze locatie ligt ca. 250 meter (grondwater-) stroomopwaarts van de Wijstgronden*

datum	NO3	NO2	Cl	NH4	Cu	pH	EGV	O2	Temp
1992.01.08	86	0	75	0.3	0.04	5.8	733	-	-
1992.07.28	95.8	0	72	0.2	0.08	4.9	765	-	-
1993.05.27	86.7	0.06	46	0.81	0.04	6.0	750	-	-
1993.10.06	13.4	0.16	39	0.19	0.03	6.0	711	-	-
1994.10.11	1.3	0.24	43	0.2	0.04	5.9	522	6.2	13.3
1995.05.	19.2	0.06	58	0.18	0.02	6.1	694	5.3	15.4

Grondwatersamenstelling 'intensieve veehouderij-infiltratie-zand'

De bovenlocale grondwatersamenstelling onder de landbouwgronden ten oosten van de Wijstgronden kan als volgt worden beschreven.

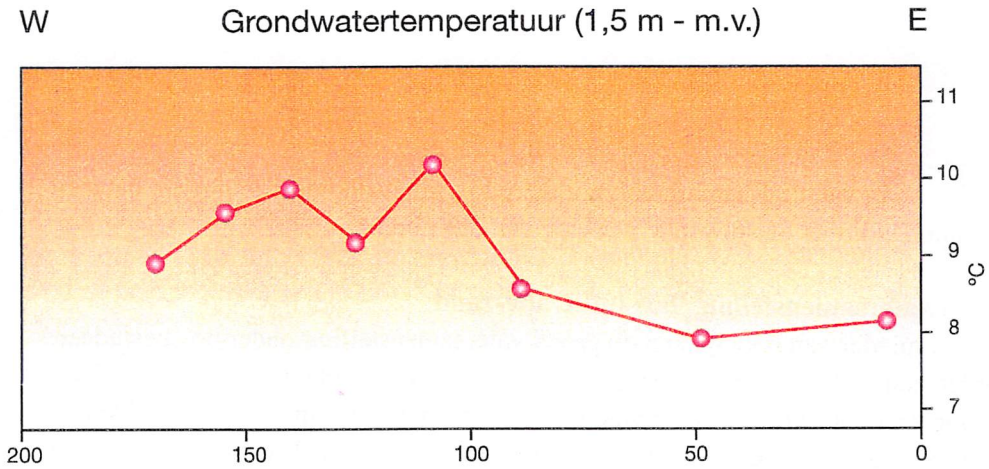
In de bovenste meters is het grondwater zeer zuur en oxisch. Het diepere grondwater vanaf 10 m-mv, is zuur en Fe-anoxisch, waarbij de pH geleidelijk toeneemt met de diepte (Slabroek;5,18 tot 6,53).

Het bovenste grondwater wordt gedomineerd door de anionen sulfaat en nitraat en de kationen calcium en aluminium. Daarnaast zijn de concentraties spoormetalen in het ondiepe grondwater betrekkelijk hoog. In het meetpunt van het provinciale grondwaterkwaliteitsmeetnet liggen de concentraties voor zink, nikkel, koper en cadmium ruim boven tot net onder de MILBOWA streefwaarden (zie Griffioen e.a., 1994). Uit geochemisch onderzoek van Griffioen e.a. (1994) blijkt dat deze spoormetalen afkomstig zijn van het maaiveld en niet zijn vrijgekomen tijdens pyrietoxidatie in associatie met denitrificatie.

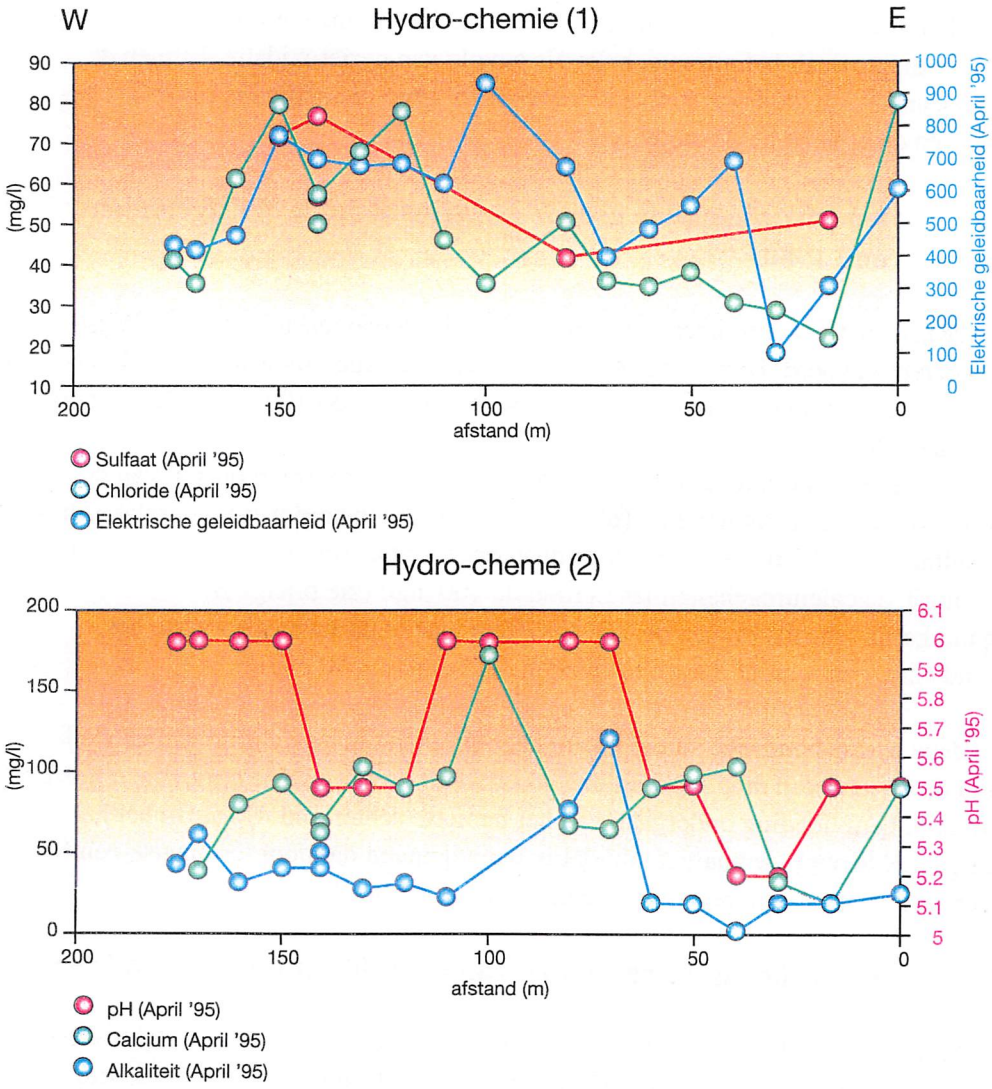
Het diepere grondwater, ongeveer vanaf 10 m-mv,waar zich de top van de Formatie van Kedichem bevindt, is in het algemeen van een wezenlijk andere samenstelling. Dit uit zich in een lagere EGV, de afwezigheid van nitraat en een met de diepte toenemende pH en alkaliteit. Het belangrijkste anion is sulfaat en het dominerende kation is calcium. De hoge ijzer- en sulfaatconcentraties van dit anoxische water worden veroorzaakt door het eerder genoemde proces van pyrietoxidatie in associatie met denitrificatie.

Het grondwater op ca 20 m-mv is verzadigd aan sideriet maar blijft onderverzadigd aan calciet. De concentraties van spoormetalen in het diepe grondwater zijn bijzonder laag.

Uit hydrogeochemisch onderzoek bij Hengstheuvel (Zuurdeeg en Vriend, 1994) bleek dat ook hier tot ca. 6,5 m-mv zuurstofrijk grondwater aanwezig is. Dieper dan 13,8 m-mv is het grondwater permanent gereduceerd. In de tussenliggende zone is zich een nieuw evenwicht aan het instellen. vermoed wordt dat hier sprake is van een toenemende oxydatie; een toegenomen diepteligging van de stroombanen van zuurstofrijk water.



Figuur 11: *De resultaten van grondwatertemperatuurmetingen op 150 cm onder de slootbodem. De sloot staat loodrecht op de breuk geörienteerd.*



Figuur 12: *De actuele verbreiding van enkele hydrochemische parameters binnen het proefprofiel. Van oost naar west verandert de samenstelling geleidelijk van lokaal regenwater naar opkwellend landbouwkundig beïnvloed kwelwater.*

In de richting van de Raambreuk komt de redox-grens ondieper te liggen, hetgeen verband houdt met de stuwende werking van deze breuk.

Grondwatersamenstelling 'bos-infiltratie-zand'
Hoewel minder van belang, kan de grondwatersamenstelling onder bos bestudeerd worden aan de hand van het meetpunt op de Schaijkse heide. Hier wordt op 11 m-mv nog zeer zuur grondwater aangetroffen met een pH 4.2 met als belangrijkste anionen nitraat (33 mg/l) en sulfaat (54 mg/l)en als belangrijkste kationen calcium (8 mg/l) en alumium (12,4 mg/l). Op 25 m-mv is het grondwater weer Fe-anoxisch met een pH 5.9 en een sulfaatgehalte van 38 mg/l.
De grondwatersamenstelling onder de bosgebieden op de Peel wordt sterk beïnvloed door de invang van ammoniumsulfaat en de geringe reactiviteit van het grove sediment. Na afspoeling en infiltratie ontstaat vervolgens na nitrificatie en gibssietbuffering een zuur nitraat-, sulfaat- en aluminiumrijk grondwatertype. Op grotere diepte daalt het nitraatgehalte als gevolg van pyrietoxidatie. Binnen de grove zanden van de Formatie van Veghel vindt geen denitrificatie plaats als gevolg van de afwezigheid van pyriet.

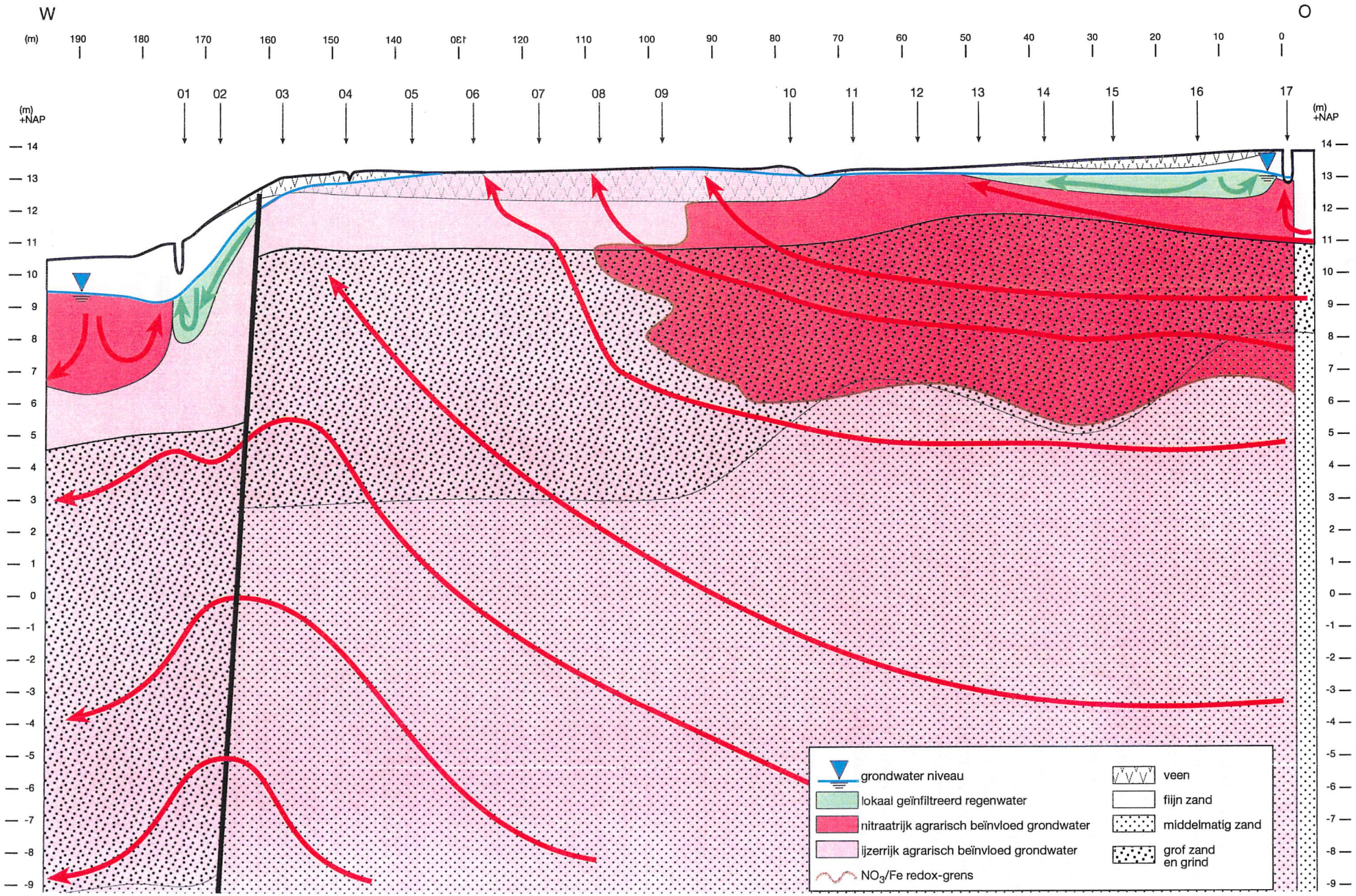
6.3 De hydrochemische grondwatersituatie in de Wijstgronden rond 1980

In 1981 heeft Verwijst onderzoek naar de grondwatersamenstelling in de Wijstgronden uitgevoerd. Hiervoor heeft Verwijst enkele raaien monsterbuizen loodrecht op de steilrand ingericht. De filters bevonden zich op 100 cm en 150 cm onder maaiveld.
Uit zijn gegevens blijkt dat binnen een zone van ca 40 meter ten oosten van de steilrand zwak zuur tot neutraal (pH 5.5-pH 6.2) bemonsterd werd met relatief hoge sulfaat- en calciumgehalten. De sulfaatconcentraties schommelden rond 150-250 mg/l, de calciumgehalten lagen rond de 100 mg/l (zie bijlage B).
Opmerkelijk was dat binnen de Wijstgronden juist in de kwel/wijst zone het grondwater een relatief hoog chloridegehalte bezat (ca. 50 mg/l).

Uit deze hydrochemische studie kwam naar voren dat in de richting van de steilrand de invloed van diep, opkwellend grondwater toenam. Deze component heeft duidelijk beïnvloeding ondergaan van het bemeste achterland. Hoger in het natuurgebied leverde de analyses duidelijk aanwijzingen dat door ter plaatse geïnfiltreerd regenwater zgn. regenwaterlenzen zijn ontstaan.

6.4 Hydrochemische resultaten van het veldwerk in 1994 en 1995

Op basis van het chloride-, calcium-, sulfaat-, alkaliteitgehalte en het elektrische geleidingsvermogen en zuurgraad kon schematisch de actuele verbreiding van watertypen binnen het profiel gekarteerd worden (zie figuur 12).
De Wijstgronden bevinden zich binnen een gebied waar het grondwater sterk



Figuur 13: De verbreiding van watertypen binnen de Wijstgronden in een profiel loodrecht op de Peelrandbreuk.

Stuurman 96W-37

beïnvloed is door landbouwkundige invloeden. Het landgebruik op de Peelhorst, de kwetsbaarheid van het freatische watervoerende pakket, de ondiepe ligging van de 'hydrogeologische basis' en de grondwaterstroming naar de Wijstgronden zijn hier de oorzaak van.
Binnen de Wijstgronden kwelt aldus agrarisch beïnvloed grondwater op dat geïnfiltreerd is in het gebied tussen de Wijstgronden en de waterscheiding ten oosten van Uden.
Op dit kwelwater gesuperponeerd bevindt zich in het oostelijk deel van het profiel een zgn. 'regenwaterlens'. Opmerkelijk is dat deze regenwaterlens zowel zuur als calciumrijk is.In het lage, westelijke deel van het profiel is de grondwaterstand in de winter gelijk aan maaiveld waardoor regenwater niet kan infiltreren. Dat hier sprake is van kwel blijkt ondermeer uit het hoge ijzergehalte van het uittredende grondwater. In het oostelijke deel van het profiel bevindt de grondwaterstand zich in het najaar en/of winter wel onder maaiveld. Hierdoor kan regenwater infiltreren en de wortelzone onder meer zure omstandigheid brengen.

Het kwelwater wordt bewust 'agrarisch beïnvloed' genoemd en niet vervuild. Het zichtbaar ijzerrijke, uittredende grondwater toont al aan dat er actueel bijvoorbeeld geen nitraat-probleem kan bestaan. Dit ijzerrijke nitraatloze water heeft minimaal de diepere lagen (Formaties van Kedichem en Tegelen) van het ondiepe watervoerende pakket doorstroomd. Alleen daar bevindt zich namelijk pyriet.

De, in westelijke richting, afnemende invloed van het regenwater en de toenemende invloed van kwelwater manifesteren zich in het chloride- en zuurgraadverloop. Het chloridegehalte neemt in westelijke richting geleidelijk toe terwijl de zuurgraad het tegengestelde patroon toont.
Natuurlijke chloridegehalten liggen in dit deel van Brabant lager dan 15 mg/l. Binnen de Wijstgronden worden in het algemeen veel hogere gehalten aangetroffen. Het in het veld zichtbare kwelwater (ijzerbacteriën, roest) heeft chloride gehalten van 40-60 mg/l. Dit was ook begin tachtiger jaren (Verwijst, 1982) al het geval.

6.5 Conclusies ten aanzien van de hydrogeochemie

Op basis van de hydrochemische en geochemische kennis van de Wijstgronden en omgeving is inzicht verkregen over de grondwaterstromingspatronen en de kwetsbaarheid van het natuurreservaat.
In het reservaat is duidelijk sprake van kwel (opstijgend grondwater). Dit grondwater is afkomstig uit het gebied dat begrensd wordt door de oostelijke reservaatsgrens en de waterscheiding tussen Aa- en Maasstroomgebied. De kwel uit zich met name in een enkele tientallen meters brede zone direct ten oosten van de steilrand/Peelrandbreuk. In het iets hoger gelegen, oostelijker deel van het reservaat wordt de wortelzone beïnvloed door lokaal geïnfiltreerd regenwater. Dit uit zich in het lage chloridegehalte en een relatief hogere zuurgraad (lage pH).

Tabel 2: *Enkele analyses uit het onderzoek ven Verwijst, Griffioen en de actuele studie. De analyses van Schaijk geven een beeld van de samenstelling van het bovenlocale , binnen het landbouwgebied geïnfiltreerde water. De Verwijst-analyses uit 1981 betreffen dezelfde locaties (A, B en C) als de bemonsteringslocaties van de actuele studie*

	Schaijk 3,5m -mv	Schaijk 17 m -mv	A p16 1995	A p15 1981	B p10 1995	B p14 1981	C p15A 1995	C p15 B 1995	C p13 1981
Na	20	18	30	7	32	19	35	39	21
K	7	7	43	1	<4	2	4	12	4
Mg	14	5	5	34	12	19	13	13	17
Ca	57	37	20	151	68	109	68	64	92
Cl	37	38	21	8	50	38	50	57	47
SO4	75	106	106	287	86	248	115	154	218
HCO3	0	46	37	0	153	70	98	79	146
NO3	257	0.8	6	0.5	6	0.5	6	12	0.4
NH4	0.07	0.4	<2	0.2	<2	0.3	<2	<2	0.2
pH	4.28	6.47	5.2	4.15	5.60	5.79	5.60	5.60	5.65

Opmerkelijk is dat het kwelwater hoge sulfaat- en calciumgehalten bezit. Daarnaast wordt dit water gekenmerkt door verhoogde chloridegehalten en bezit dit water met name in het westelijk deel van de Wijstgronden hoge ijzerconcentraties. Deze samenstelling wordt veroorzaakt door agrarische invloed. Stroomopwaarts van de Wijstgronden heeft het ondiepe grondwater hoge nitraatgehalten als gevolg van bemesting (incl. atmosferische depositie) en onnatuurlijk hoge calciumgehalten als gevolg van bekalking.
Op ca. 10 meter diepte, tijdens passage van het grensvlak tussen de Formatie van Veghel (pyrietloos) met diepere formaties (pyrietrijk), verliest dit water zuurstof en nitraat als gevolg van oxydatie van pyriet. Hierdoor neemt het sulfaatgehalte toe en komt ijzer in oplossing.

Binnen de kwelzone lijken deze twee watertypen naast elkaar uit te treden (zie figuur 13). Deze waarneming is gebaseerd op het ontbreken van roestverschijnselen in het meer oostelijke deel van het kwelgebied.
De regenwaterlens wordt gekenmerkt door een lage zuurgraad en chlorideconcentratie maar opmerkelijk genoeg door hoge sulfaat- en calciumgehalten. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is als volgt; in de natuurlijke situatie steeg ook in deze zone kwelwater op. Dit grondwater was calciumrijk waardoor het uitwisselingscomplex bezet raakten met calciumionen. Als gevolg van verdrogende processen is later de grondwaterstand gedaald waardoor regenwater kon infiltreren. Als gevolg hiervan kan pyriet in het bodemprofiel oxyderen met als gevolg hoge

sulfaatconcentraties. De hoge calciumconcentraties en de afwezigheid van bicarbonaat wijzen op uitwisseling van protonen uit het regenwater met het geadsorbeerde calcium.

Aannemelijk lijkt dat het oorspronkelijk opkwellende calciumrijke grondwater afkomstig was uit de Formaties van Oosterhout en Breda.
In tabel 2 zijn enkele analyses getoond uit het meetpunt Schaijk, uit de studie van Verwijst (1981) en de actuele studie. De locaties van Verwijst corresponderen hierbij met die van de actuele studie (1995). De locatie A ligt in de regenwaterlenszone. De locaties B en C liggen westelijker in de kwelzone.

De nog aanwezige kwelzone wordt bedreigd door het verschuivende Fe/NO3 redox front in westelijke richting. Het gevaar voor nitraat-eutrofiëring is echter nihil als gevolg van de aanwezige veenlaag.
Het is wel denkbaar dat de hoge sulfaat- en kaliumconcentraties in het kwelwater een bedreiging vormen. Tevens is onbekend of de relatief hoge gehalten aan zware metalen in het toestromende landbouwwater een bedreiging vormen. Over de eutrofiërende werking van kalium is nog weinig bekend. Er zijn echter wel steeds meer aanwijzingen dat sulfaat een eutrofiërende invloed kan hebben. Een onnatuurlijke toename van sulfaat in het aangevoerde water leidt tot zgn. 'interne eutrofiëring'. Hierbij wordt sulfaat omgezet tot sulfide en slaat neer als ijzersulfide. Als gevolg hiervan wijzigt het van nature ingestelde ijzer/sulfide evenwicht waardoor ijzeroxides (incl. geboden fosfaat) in oplossing komen en fosfaat beschikbaar komt voor opname door de vegetatie.
Nader onderzoek naar deze hydrochemische bedreigingen lijkt gewenst.

7 Conceptuele modelformulering op basis van (semi-) kwalitatieve gegevens

De Wijstgronden grenzen direct aan de ten westen gelegen Peelrandbreuk. Topografisch en geomorfologisch zijn rond de Wijstgronden van oost naar west een viertal zones te onderscheiden. Ten hoogte van Uden ligt het hoogste gebied als gevolg van een tektonisch blok. Direct ten westen van Uden bevindt zich namelijk de Raambreuk. Ten westen hiervan ligt een lager gelegen zone welke voor een groot deel in de afgelopen eeuwen is opgehoogd tot eerdgronden. De derde zone bestrijkt een gebied van ca 250 meter ten oosten van de Peelrandbreuk. Hier daalt het maaiveld op relatief korte afstand met enkele meters. Vermoedelijk hangt deze helling samen met relatief sterke erosieve hellingsprocessen als gevolg van de breukbeweging. De vierde zone bevindt zich direct ten westen van de breuk. Ten hoogte van de breuk daalt het maaiveld met ca 3 meter. Als gevolg van deze zonering stroomt het grondwater in westelijke richting.

Dit grondwater is echter zeer kwetsbaar voor verontreinigingen als gevolg van de afwezigheid van een goed ontwikkelde deklaag en doordat het freatische watervoerende pakket uit zeer grove, kalkloze zanden bestaat. Hierdoor is de grondwaterstroomsnelheid relatief groot en het zelfreinigend vermogen laag.

Op basis van verschillende metingen (grondwaterstand, hydrochemie, temperatuur en geofysica) is aangetoond dat de (hoofd)breuk van de Peelrandbreuk zich boven in de helling bevindt. De maaiveldaling ter plaatse (3 meter) stemt precies overeen met een sprong in de top van de Formatie van Veghel (zandig grind).

In een zone van enkele tientallen meters ten oosten kwelt het grondwater tot aan maaiveld op. Dit kan niet anders verklaard worden dan door een weerstand aan de breuk toe te kennen. Ter plaatse zijn door Van het Hof in 1967 profielkuilen gegraven. Zij toonden aan dat de als gevolg van de breukwerking leembandjes zijn verbogen waardoor plaatselijk een weerstand voor horizontale stroming kon ontstaan. Deze bevindingen stemmen, na vergelijking met 8 andere hypothesen, sterk overeen met breukweerstand theorie van Ernst en De Ridder en lijken de meest aannemelijke verklaring voor de breukinvloed.

Mogelijk moet deze hypothese voor de lokale grondwatersituatie echter op de volgende wijze verder gepreciseerd worden.

Aan het einde van de Pleistocene Weichselperiode zorgde fluviatiele erosie ervoor dat een brede zone ten oosten van de Peelrandbreuk geërodeerd werd. Deze erosie was het gevolg van 1) de breukweerstand en 2) het verschil in de hoogteligging van het maaiveld.
Als gevolg van deze combinatie vond ten hoogte van de Wijstgronden sterke maaiveldkwel plaats. Als gevolg hiervan ontstond een verkitting van het dagzo-

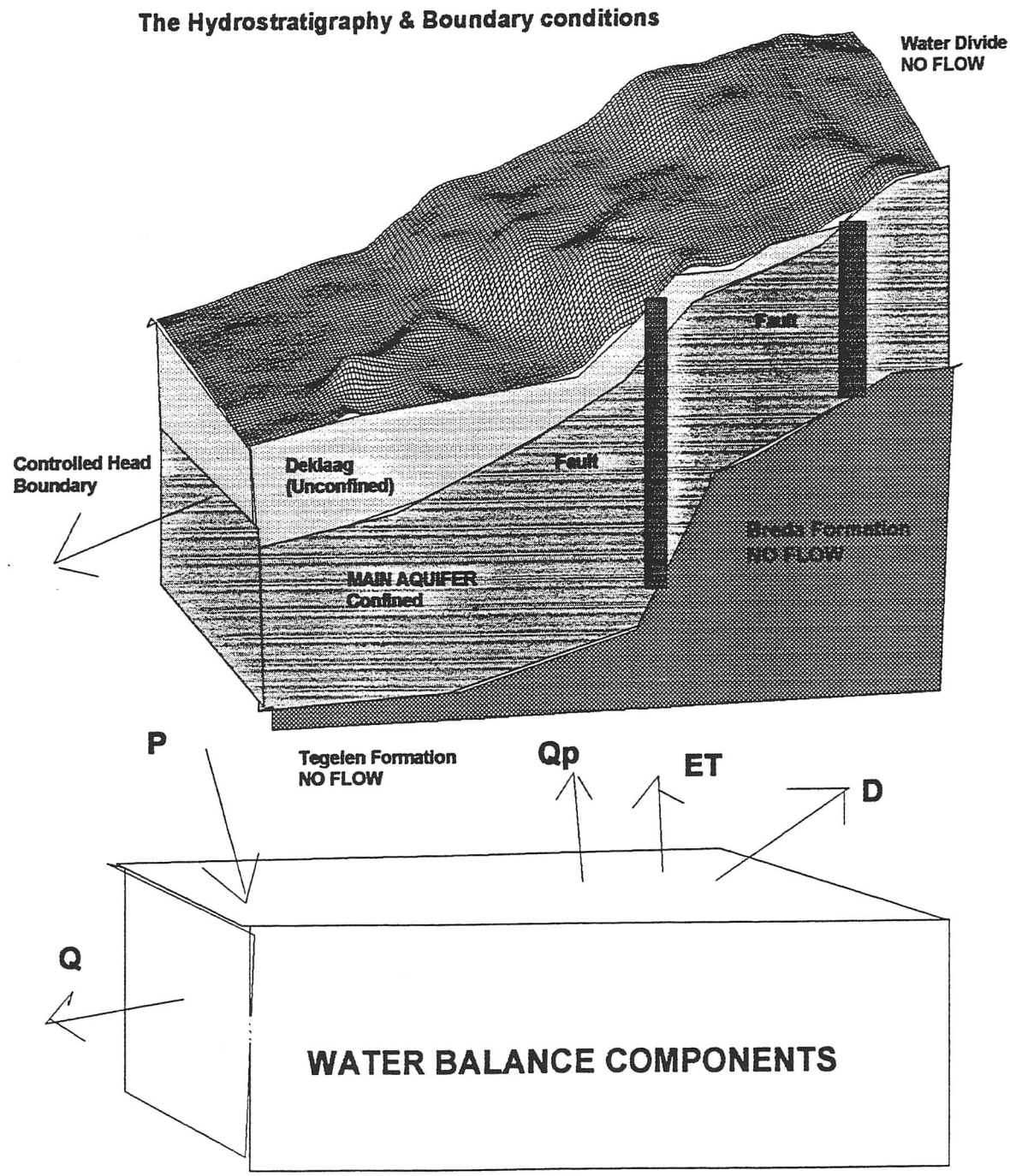
mende sediment (zie figuur 5). Boven deze zone ontstond een zeer natte situatie met veenontwikkeling. Als gevolg hiervan verplaatste het uittree-punt voor het ijzerrijke kwelwater zich naar de topografische knik boven de breuk. Ter plaatse ontwikkelde zich ijzeroer. De groei van dit oer stimuleerde de veenontwikkeling. Geleidelijk nam vervolgens zowel de dikte van het oer als van het veen verder toe.

Er bestaan sterke aanwijzingen (o.a. calciumrijke, zure regenwaterlens) dat als gevolg van deze hydrogeologische situatie in het verleden, via de Formatie van Oosterhout of Breda, calciumrijk grondwater opsteeg. Het actuele kwelwater is nu ook calciumrijk veroorzaakt door agrarische beïnvloeding. Tevens bevat het onnatuurlijke chloridegehalten en hoge sulfaat-concentraties.De hydrochemische karakteristieken van het kwelwater verschillen afhankelijk van de doorstroomde formaties binnen het watervoerend pakket. Binnen de Formatie van Veghel vindt geen denitrificatie plaats. De ijzerrijke kwel heeft aldus de diepere lagen doorstroomd en lijkt voor wat betreft nitraatproblemen op lange termijn geen gevaar te lopen. De lokale nitraatrijke kwelcomponent heeft alleen de ondiepe grove grinden en zanden van de Formatie van Veghel doorstroomd. Herstel vraagt hier om lokale maatregelen. Als gevolg van de organisch-rijke gronden binnen de Wijstgronden bestaat niet direct gevaar voor nitraat-eutrofiëring. Wel is theoretisch mogelijk dat de hoge sulfaatconcentraties tot zogenaamde interne eutrofiëring kunnen leiden.

Geconcludeerd kan worden dat de Wijstgronden naast kwalitatieve beïnvloeding ook kwantitatief nadelig beïnvloed wordt. Deze verdroging uit zich in een versmalling van de kwel-aan-maaiveldzone in westelijke richting en verlaging van de zomergrondwaterstanden t.o.v. de bodemkarakteristieke natuurlijke referentie grondwaterstanden.

Het hydrologisch systeem houdt in dat de Wijstgronden alleen vanuit het oosten beïnvloed kunnen worden.

Steady state - Two layers (Unconfined and Confined Aquifers)



P = Precipitation , ET = Evapotranspiration , D = Flow to the Drains , Qp= Abstraction

Figuur 14: De lokale topografie rond de Wijstgronden gepresenteerd in een driedimensionale sectie.

8 Resultaten grondwatermodelonderzoek

8.1 Doel van het modelonderzoek

Een belangrijk onderdeel van het project vormde de kwantificering van het geohydrologische systeem. Hiervoor werd gebruik gemaakt van de modelcode Modflow. De modelering kende verschillende doelstellingen.
In de eerste plaats werd met behulp van het model getoetst of eerdere, op basis van 'kwalitatieve' data verkregen inzichten, onderbouwd konden worden. Belangrijk hierbij was het verkrijgen van inzichten ten aanzien van de invloed van het breuksysteem op de regionale grondwaterstroming en de lokale grondwaterstroming rond het natuurreservaat de Wijstgronden.
In de tweede plaats hebben verschillende gevoeligheidsberekeningen plaats gevonden. Op basis van deze berekeningen werd in feite al het inzicht verkregen welke invloeden relevant zijn voor de grondwatersituatie binnen het natuurreservaat.
Aanvullend dient het gecalibreerde model om effect-berekeningen uit te voeren. Hiervoor zijn door de begeleidingsgroep een drietal scenario's voorgesteld.

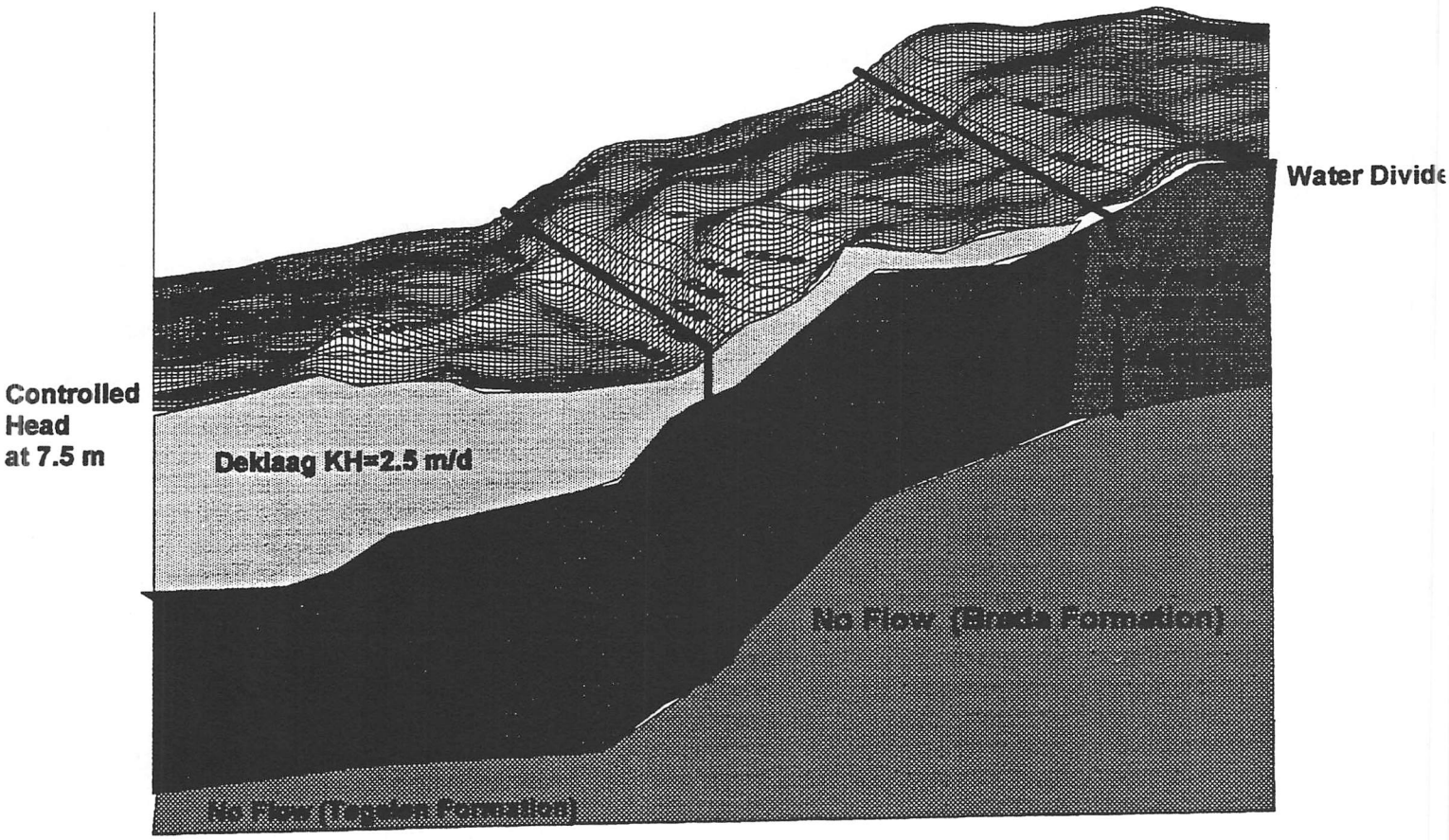
I. Het voorspellen van de eventuele invloed van de aanleg van de rijksweg A 50 op het natuurreservaat de Wijstgronden,
II. Het voorspellen van de invloed van uitbreiding van stedelijke bebouwing op het natuurreservaat de Wijstgronden,
III. Het voorspellen van de invloed van oppervlaktepeilverhogingen binnen het reservaat de Wijstgronden op de grondwaterstanden in de omgeving van de Wijstgronden.

8.2 De begrenzing van het modelgebied

Het modelgebied bestond uit de ruime omgeving van het reservaat. Het oostelijk deel van het gebied maakt deel uit van de Peelhorst, terwijl het westelijk deel binnen de Centrale Slenk valt (zie figuur 2). De coördinaten van het modelgebied zijn; 165.000-174.200 en 407.000-410.000 binnen de kaartbladen 45H en 45G. De gehanteerde elementgrootte bedraagt 50x50 meter.

8.3 De hydrogeologische schematisatie

Binnen het driedimensionale eindige differentie modelschematisatie is uitgegaan van stationair evenwicht en twee lagen. De bovenste laag bestaat uit de deklaag (F. van Twente; Nuenen groep), de tweede laag bestaat uit het ondiepe, eerste watervoerende pakket (Formaties van Veghel en Sterksel). De deklaag bestaat uit matig, fijn zand en leemlagen en bezit derhalve een relatief gering doorlatendheid. Het watervoerende pakket bestaat uit grove zanden en grinden. Dit watervoerend pakket wordt gekenmerkt door een zeer hoge doorlatendheid.



Hydrostratigraphical Layers

Figuur 15: De initiële permeabiliteitsverdeling voor het grondwatermodel.

De basis van het model wordt op de Peelhorst gevormd door de top van de Formatie van Breda en binnen de Centrale Slenk door de top van de Formatie van Kedichem.
Op de Peelhorst wordt de top van de Formatie van Breda in het algemeen als de basis van het geohydrologische systeem gezien. Deze aanname moet echter wel gerelativeerd worden gezien het feit dat deze van oorsprong mariene Formatie tot ca. 100 meter diepte verzoet is.

De aanname voor de Kedichemkleien als ondoorlatende basis in het modelgebied binnen de Centrale Slenk is goed te verantwoorden. Deze kleien bezitten immers een zeer hoge weerstand. Op verschillende locaties zijn voor deze weerstandbiedende laag weerstanden hoger dan 50.000 dagen bepaald.

Binnen het model zijn twee breuken geschematiseerd. In het oostelijk deel ligt de Raambreuk bij Uden. De centrale breuk wordt gevormd door de Peelbreuk die de grens tussen Peelhorst en Centrale Slenk vormt. De locatie en oriëntatie van de breuken zijn gebaseerd een analyse van hellingsgradienten uit de 1:10.000 hoogtepunten bestanden (zie figuur 14 en bijlage D) en vergeleken met RGD-karteringen.

De gebruikte initiële permeabiliteitsdata staan aangeduid in figuur 15.

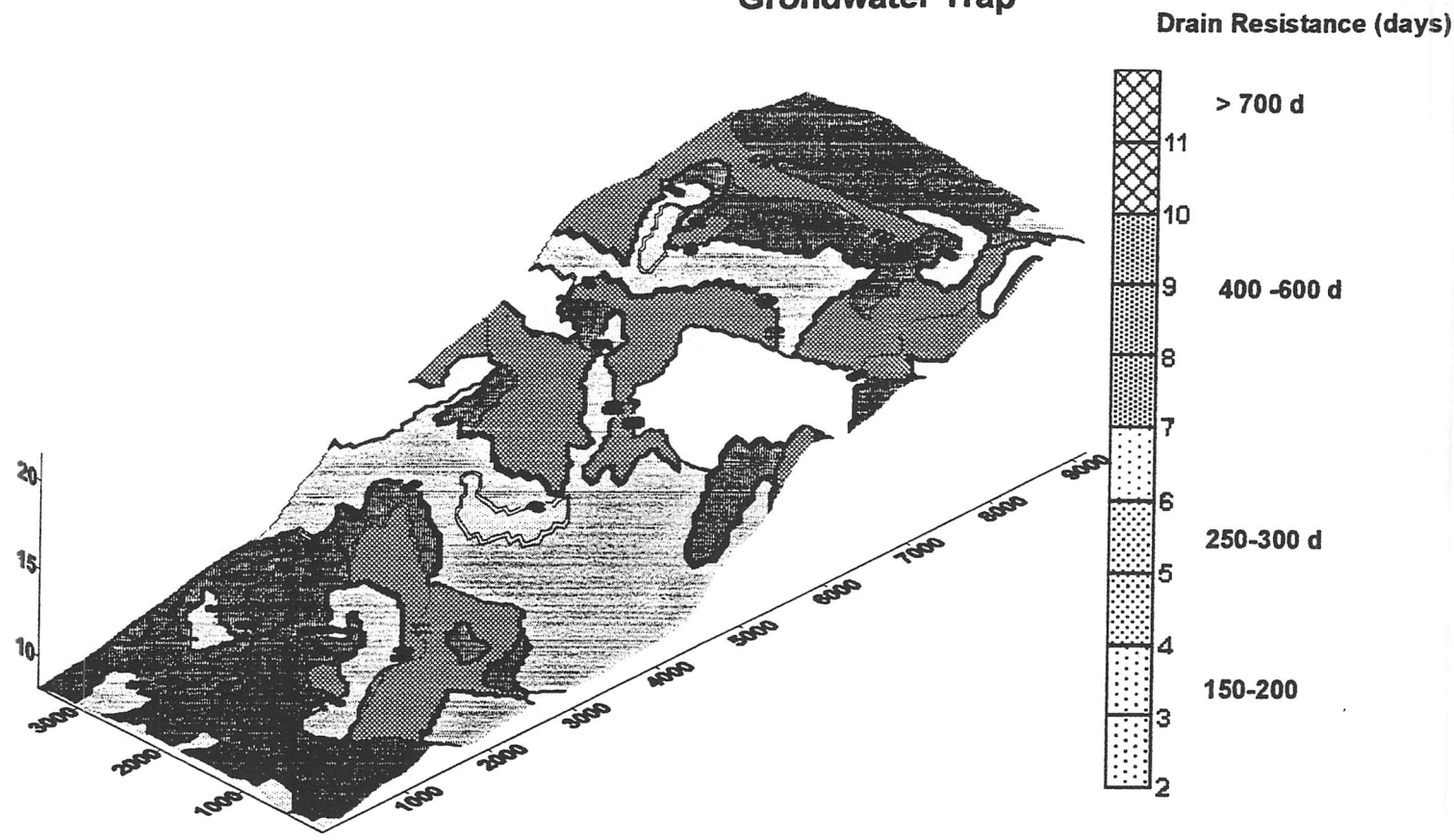
8.4 De hydrologische randvoorwaarden

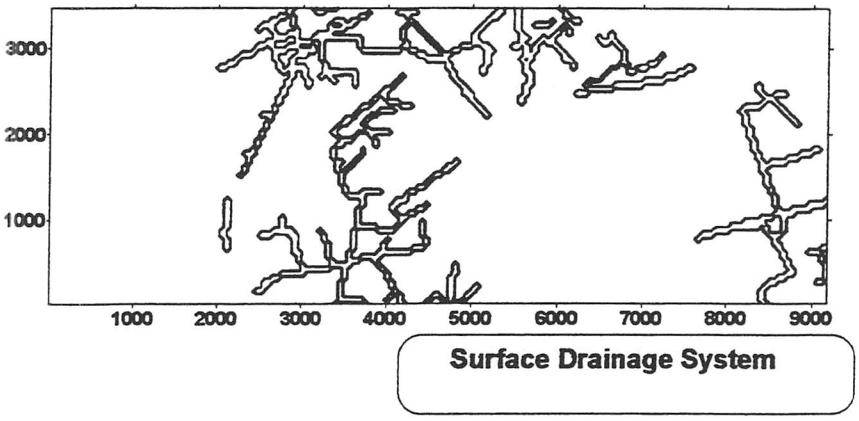
De oostzijde van het modelgebied wordt gevormd door de waterscheiding tussen het Maas- en Aa-stroomgebied. Hiervoor kon een zgn. 'no-flow boundary' gedefinieerd worden. Ook voor de lengtevlakken, die min of meer loodrecht op de waterscheiding en het isohypsenpatroon liggen gelden dergelijk 'no flow' randvoorwaarden.
Voor de westelijke grens van het model werd een stijghoogte-randvoorwaarde gehanteerd. Deze stijghoogte (7,5 meter +NAP) werd verkregen uit stijghoogtemetingen in de directe omgeving. Een dergelijke stijghoogte-randvoorwaarde maakt het mogelijk om hier uitstroming van grondwater te berekenen.

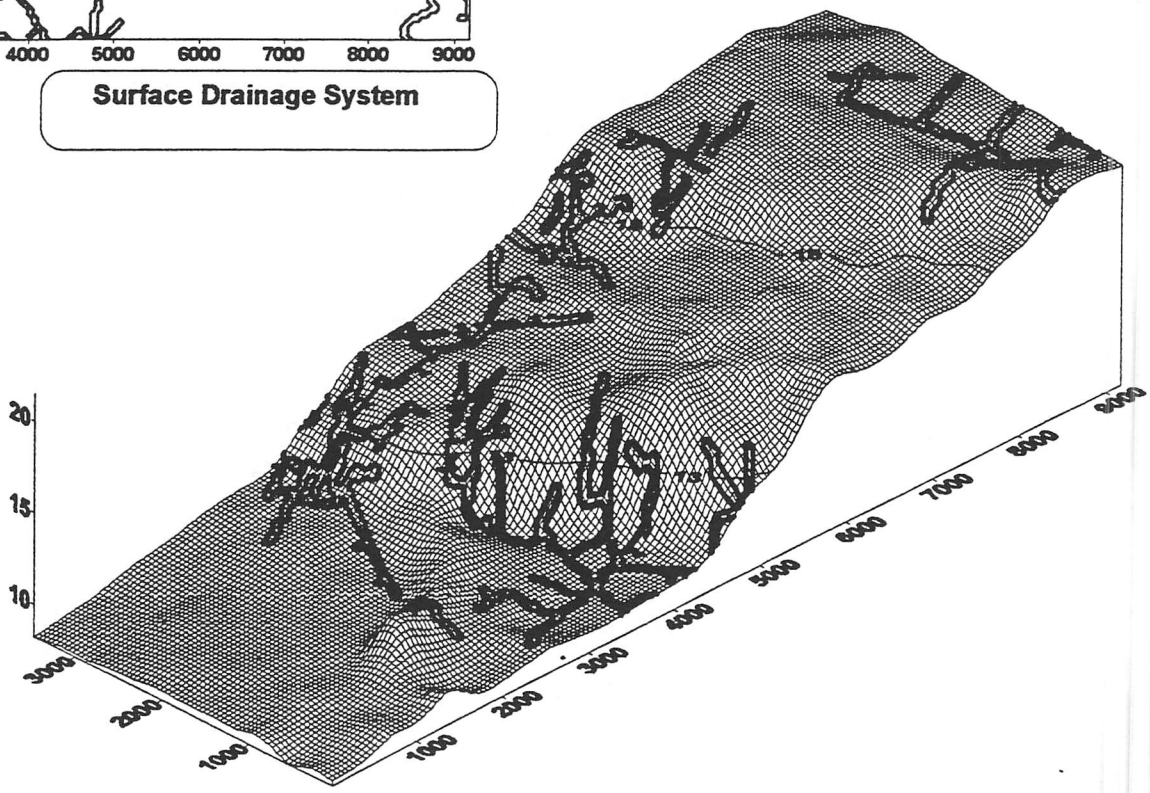
Zoals reeds eerder gesteld wordt de onderzijde van het model ondoorlatend geacht. Ook hier geldt derhalve een 'no-flow' aanname.

De bovenzijde van het model is open. Om de voeding, drainage en kwel binnen deze toplaag te kunnen beschrijven zijn de topografie, het landgebruik, de bodemtypen (incl. grondwatertrappen) en de waterlopen met behulp van het GIS-pakket Arc-Info verwerkt.

De voeding werd gebaseerd op basis van langjarig gemiddelden voor neerslag en verdamping. De verdamping werd gecorrigeerd voor het gewastype (incl. stedelijk gebied) op basis van gewas-afhankelijke reductiefactoren (Cultuurtechnische vereniging, 1988).







Figuur 16: De ruimtelijke verdeling van de grondwatertrappen en het ontwateringssysteem in relatie tot de drainageweerstand.

Voor het berekenen van de drainage werd gebruik gemaakt van de al eerder genoemde gedigitaliseerde waterlopen in combinatie met grondwatertrap gerelateerde drainageweerstanden (zie figuur 16).

8.5 Calibratie en gevoeligheidsanalyse

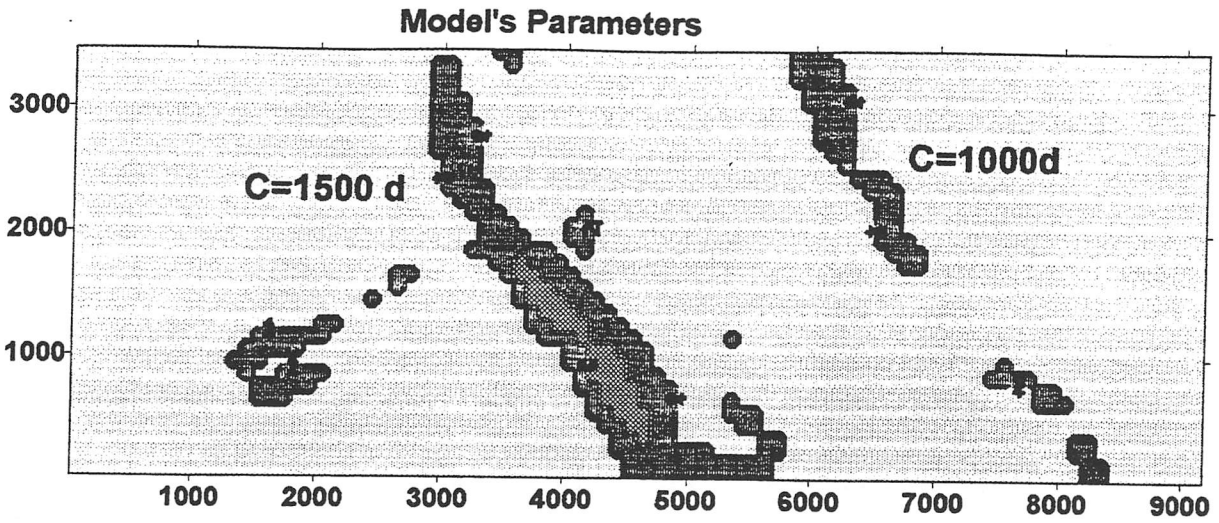
De opbouw van het model bestaat uit relatief 'harde' gegevens als het landgebruik, de meteorologische data, de topografie en de geologische informatie en 'zachte' gegevens als de breukweerstand en het drainage systeem. Om het model te calibreren en de gevoeligheid af te schatten zijn met name de zachte gegevens aangepast.

Tijdens **stap 1** zijn initiële waarden voor de breukweerstand en de drainage-afvoer afgeschat door de drainageweerstand vast te leggen met behulp de grondwatertrappen. Hierbij wordt een relatie verondersteld tussen grondwatertrap en drainageweerstand (Holtman, 1990). Uit deze aanpak kwam naar voren dat de Peelrandbreuk een weerstand van minstens 1000 dagen moet hebben (zie bijlage 3).
De Uden-breuk heeft met name in het noordelijk traject een hoge weerstand. In het midden en zuiden moet de weerstand van deze breuk veel lager zijn.
Op basis van deze modelschematisatie bereikt 75 % van het neerslagoverschot het drainagesysteem, terwijl 25 % het model door de westelijke rand verlaat.

Gedurende **stap 2** is het model gecalibreerd door het drainagesysteem, neerslagoverschot en de verdamping in beschouwing te nemen. Hierbij werd voor de langjarig neerslaggemiddelde 690 mm/jaar gebruikt. Het langjarig verdampingsgemiddelde (Penman-open water) bedraagt 686 mm/jaar. De actuele verdamping werd bepaald op basis van het quotiënt van [0.8 * gewasfactor * 686]. Voor het stedelijk gebied werd een neerslagoverschot van 75 mm/jaar aangenomen).

Voor het drainagestelsel werd aangenomen dat waterlopen gemiddeld 150 cm diep zijn.

In **stap 3** werd het model verder getest door de volgende randvoorwaarden te varieren; (1) de voeding in het stedelijk gebied, (2) het drainageniveau, (3) onttrekkingshoeveelheden en (4) de evapotranspiratie.
Hierbij werd uitgegaan van weerstand voor de Peelrandbreuk van 1500 dagen en van de Raam-breuk van 1000 dagen (alleen in het noordelijk deel). De drainageweerstand werd op 300 dagen gesteld.
Uit deze gevoeligheidsanalyse kwam naar voren dat veranderingen in de voeding binnen het stedelijk gebied slecht een zeer lokale grondwaterstandverandering veroorzaakten (zie bijlage E).
Wat betreft het effect van beregening op het watersysteem, werd duidelijk dat deze merkbaar werd bij een onttrekking van meer dan 0,95 m3/dag per 50x50 meter (zie bijlage F).



Physical Parameters

Kh (Deklaag) = 2.5 m/d

Kh (main) = 35 m/d

Kh/Kv = 3

n = .3

Recharge Parameters

Precipitatipn (P) = 690 mm/a

Net Recharge = 240 mm/a

Net Recharge Uden = 30% . (240) mm/a

Fault Resistance

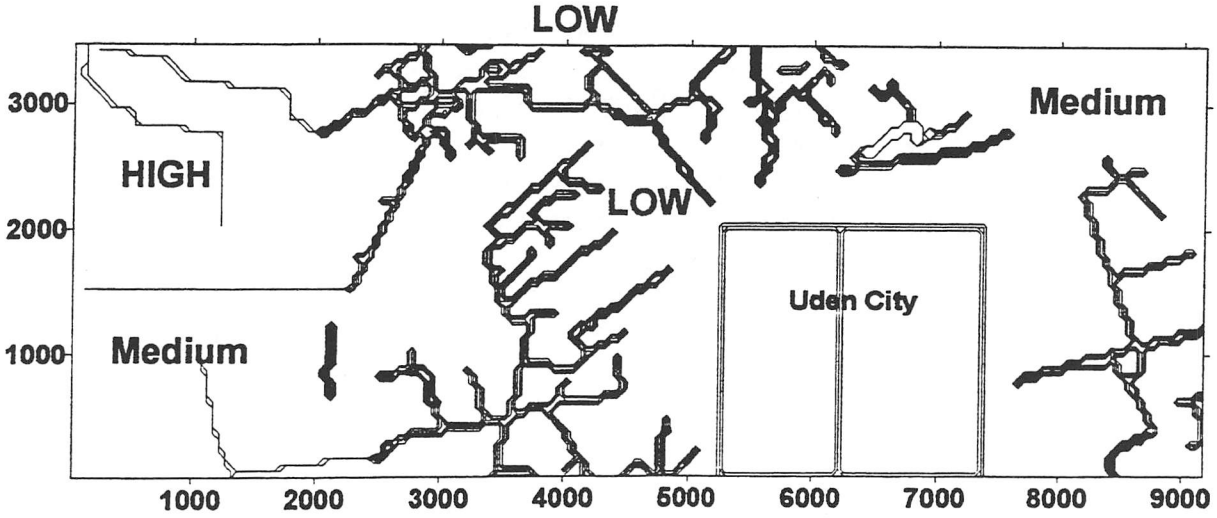
Fault1 (Peelrandbreuk) = 1500 d

Fault2 (Tegelenbreuk) = 1000 d

Drains Parameters

Drains Level (Avg.) = -1.5 m Below surface

Drain conductance = 10 - 180 m^2/d



Figuur 17: Resultaten calibratie-fase. Het verschil tussen berekende en gemeten stijghoogten is kleiner dan 50 cm.

In het bijzonder veranderingen wat betreft de diepte van het drainagestelsel hadden een grote invloed op de modelresultaten. Hierbij kwam naar voren dat bij een drainagediepte van ca. 100 cm -mv de berekende grondwatervoeding overeenkomt met ca. 240 mm/jaar. Deze hoeveelheid is gelijk aan de door Broers (1994) en Meinardi (1994) met behulp van tritium-fronten bepaalde voeding voor het grondwater.
Tevens bleek dat bij deze diepteligging van het drainagesysteem het verdampingstekort minimaal was.

Het uiteindelijke gecalibreerde stationaire model voldeed aan een verschil tussen berekende en gemeten gemiddelde stijghoogte van < 50 cm (zie bijlage G).

8.6 Modelverificatie

De verificatie van het model vond plaats door een drietal tests uit te voeren.

1. een grondwateronttrekking van 10.000 kub/d aan westzijde van het modelgebied,
2. een grondwateronttrekking van 10.000 kub/d aan de oostzijde van het modelgebied,
3. halvering van het neerslagoverschot met 50 %.

Alle drie tests toonden een logisch resultaat (zie bijlage G).

8.7 De modeleigenschappen en beperkingen

Op basis van de calibratie en verificatie resultaten kunnen de volgende model-, c.q. gebiedseigenschappen beschreven worden.
Zo blijken de breuken een zeer belangrijke rol in het stromingssysteem te spelen. De weerstand van de Peelrandbreuk wordt op ca. 1500 dagen bepaald. Een hogere weerstand zou overigens het modelresultaat nauwelijks veranderen.
Met name de zone op 1000 meter aan weerszijde van de breuk is zeer gevoelig voor variaties in de breukweerstand. In het model is de weerstand van de breuk over de gehele lengte gelijk gehouden. In de praktijk zullen variaties aanwezig zijn en kan lokaal sprake zijn van sterk verschillende hydrologische omstandigheden.

De beschrijving van het drainagesysteem vormt de belangrijkste randvoorwaarde voor het model.
Wil het model verbeterd worden dan zal in de eerste plaats gedacht moeten worden aan het tijdafhankelijk maken.

8.8 Resultaten scenario-berekeningen

De aanleg van de snelweg is gesimuleerd door er van uit te gaan dat langs de snelweg 100-150 cm diepe afwateringssloten worden aangelegd. Deze eventuele

verandering in het ontwateringssysteem bleek van geen invloed te zijn op het natuurreservaat.

De toename van de verstedelijking rond Uden bleek in de Wijstgronden niet tot verlaging van de grondwaterstand te leiden. De invloed beperkt zich tot een nauwelijks significante afname in de kwel.
De aanleg van stuwen ten hoogte van de Wijstgronden heeft alleen lokale invloed en zal niet tot grondwaterstandveranderingen in het oostelijk gelegen landbouwgebied leiden.

8.9 Conclusie ten aanzien van modelberekeningen

Met behulp van een gedetailleerd grondwatermodel is het gelukt de grondwatersituatie rond de Wijstgronden tijd-onafhankelijk te simuleren. Op basis van dit model blijkt dat de grondwatersituatie ter plaatse alleen beschreven kan worden als aan de Peelrandbreuk een weerstand van ca. 1500 dagen wordt toegekend. Bij variatie van deze breukweerstand blijkt dat het invloedgebied tot ca. 1000 meter ten oosten van deze breuk reikt. De Wijstgronden zijn aldus volledig afhankelijk van het behouden van de breukeigenschappen.
Uit de scenario- en de gevoeligheidsberekeningen bleek dat de bovenlocale waterhuishoudkundige veranderingen een geringe invloed lijken te hebben. Alleen een grondwateronttrekking (bijv. beregening) van meer dan 0,4 mm/d over het gehele oppervlak ten oosten van de Peelrandbreuk laat de grondwaterstand binnen de Wijstgronden dalen. Daarnaast hebben de oppervlaktewaterpeilen binnen de Wijstgronden een invloed op de grondwaterstand.

De modelresultaten moeten echter kritisch beschouwd worden omdat de grondwatersituatie in de loop van het jaar sterk wijzigt. Daarnaast speelt het schaalprobleem een negatieve rol. Binnen het reservaat is het immers gewenst om op bijna wortelzone-niveau voorspellingen te doen.

In het tijd-onafhankelijk model is het topsysteem gevuld en wordt kwel binnen de Wijstgronden berekend. Met andere woorden; waterhuishoudkundige veranderingen leiden in eerste instantie tot verminderde afstroming naar het topsysteem en hebben geen invloed op de grondwatersituatie binnen de laaggelegen Wijstgronden.
Echter, in werkelijkheid staat in de zomer het topsysteem droog. Als dan grondwater wordt onttrokken zal dit ten koste gaan van de kwel naar de Wijstgronden.

9 Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek is het inzicht over de grondwaterstroming rond de Wijstgronden verder toegenomen. Op basis van boringen profielkuilen, hydrochemie en geofysische metingen kan geconcludeerd worden dat een hoofdbreuk van de Peelrandbreuk zich boven in de steilrand bevindt. Gezien de opbouw ter plaatse, de locatie van de oerbank en de verbreiding van het veenlichaam, lijkt de volgende genese voor het ontstaan van Wijst aannemelijk.

Als gevolg van verschuiving langs de breuk gaat de zeer goed doorlatende grind en van de Formatie van Veghel ten hoogte van de breuk lateraal, in westelijke richting, over in de minder goed doorlatende zanden van de Nuenen Groep. Slechts een relatief gering lateraal contact tussen de Formatie van Veghel aan de beide kanten van de breuk blijft over.

Pas in het natte Holoceen ontstaat het moment dat de afvoercapaciteit voor grondwater naar de Slenk door deze contactzone te gering wordt. Als gevolg hiervan ontstaat opstuwing waarbij zuurstofloos, ijzerrijk grondwater in een brede zone langs de breuk in contact komt met zuurstof. Hierbij ontstaat een zone waarbij het zand verkit raakt door ijzeroxyden. Als gevolg van de weerstand die deze verkitte laag opbouwt verbreedt de Wijstzone geleidelijk in oostelijke richting. In deze zone ontstaat een veendek. Hierdoor verplaatst het uittreepunt voor grondwater naar de hellingknik. Hier ontstaat weer ijzeroer dat geleidelijk in dikte toeneemt. De veenontwikkeling neemt met dezelfde snelheid toe.

Op basis van de modelstudie kan ingeschat worden dat de actuele weerstand van dit breukcomplex in de orde van 1000 dagen ligt. Deze weerstand, de geologische opbouw en de algemene grondwaterstromingsrichting van oost naar west maakt dat de Wijstgronden slechts kwetsbaar zijn voor kwantitatieve en kwalitatieve grondwaterinvloeden op de Peelhorst.

Uit de hydrochemische patronen, de aanwezigheid van calciumrijke, zure regenwaterlenzen binnen de Wijstgronden blijkt dat het gebied leidt aan verdroging. Daarnaast wordt het bedreigd door toestromend ondiep, nitraatrijk grondwater dat door zijn lage pH ook hoge gehalten aan zware metalen bezit. Ook de diepere kwelcomponent die meer westelijker opstijgt is duidelijk agrarisch beïnvloed. Er zijn sterke vermoedens dat in het verleden dieper grondwater in het gebied opkwelde. Dit gezien de basenbezetting van het veen en de kalkarmte van de ondiepe watervoerende pakketten.

Het toestromende grondwater in het westelijk deel van het reservaat wordt nu nog grotendeels gedenitrificeerd dankzij het voorkomen van pyriet in de Formaties van Kedichem en Tegelen. De kwel binnen het oostelijk deel van het reservaat is van lokalere origine. Dit water heeft alleen de pyrietloze grove zanden van de Forma-

tie van Veghel doorstroomd.

Op basis van de kennis van het hydrologisch systeem rond de Wijstgronden kan verwacht worden dat de aanleg van de A50 geen invloed op de lokale waterhuishouding zal hebben. Uitbreiding van Uden zal een geringe achteruitgang van de kwelintensiteit tot gevolg hebben.
Het gebied tussen de Peelrandbreuk en de Raambreuk vormt het belangrijkste infiltratiezone voor de Wijstgronden. Zowel kwantitatieve als kwalitatieve veranderingen binnen deze zone beïnvloeden het reservaat.

De aanleg van stuwtjes in de sloten van het reservaat zal tot een sterke verbetering van de grondwatersituatie ter plaatse leiden. Hierbij zal geen nadelige invloed optreden ten hoogte van de oostelijke landbouwgronden. De oorzaak hiervan ligt aan de relatief steile helling van dit gebied.
De begrenzing van een eventuele beschermingszone moet bestaan uit een zone die direct aan de oostzijde grenst aan het reservaat. De breedte van deze zone zal moeten afhangen van de kwaliteit van het diepere grondwater en de reactiviteit van het sediment.

In het bijzonder de grondwaterkwaliteit vormt een bedreiging. Hiertoe is het aan te bevelen om (1) grondwaterbovenstrooms van het reservaat een tweetal meetlocaties in te richten, (2) direct op de oostgrens van het reservaat twee locaties en (3) binnen het reservaat een drietal meetpunten te installeren. Deze meetpunten zouden moeten voldoen aan de eisen van het provinciaal grondwaterkwaliteits meetnet. Bij de eventuele plaatsing moet gelijktijdig het sediment geanalyseerd worden op reactieve eigenschappen.

10 Literatuur

Broers, H.P.; 1991. Evaluatie van de analyseresultaten van het grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Noord-Brabant (concept). Deelrapport I: Evaluatie van de analyseresultaten van de Brabantse meetpunten van het LMGK. TNO Grondwater en Geo-Energie, OS-92-39A, Herdruk oktober 1995.

Broers, H.P. en J. Griffioen; 1992. Evaluatie van het grondwaterkwaliteitsmeetnet in de provincie Noord-Brabant. Deelrapport II: Evaluatie van de eerste analyseresultaten van de nieuwe provinciale meetpunten. TNO Grondwater en Geo-Energie, OS 92-40A.

Raed H. Atari and Roelof J. Stuurman; 1995. Urbanization impact assessment for the Wijstgronden natural reserve and the city of Uden using MODFLOW groundwater modeling code. TNO-GG, in prep.

Csonka, J.; 1968. Rapport inzake een onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van de geothermische methode in Nederland. TNO Dienst Grondwaterverkenning, OS 68-01

Ernst, L.E. en N.A. de Ridder; 1960. High resistance to horizontal groundwater flow in coarse sediments due to faulting. Geologie en Mijnbouw, 39e jaargang, maart 1960

Griffioen, J., E.A. Buijs en H.P. Broers; 1994. Voorkomen en gedrag van enkele spoormetalen in ondiepe grondwater-sediment systemen. Een case-study aan de hand van vijf putten in Noord-Brabant. TNO Grondwater en Geo-Energie, OS 94-39A.

Hailu, G., M.O.B. Jacobs, B.W. Zuurdeeg; 1992. Natuurlijke verhoogde arseenconcentraties te Uden. Geochemie, Rijksuniversiteit Utrecht.

Kouwe, J.J.; 1982. De mogelijke gevolgen van de aanleg van Rijksweg 75 (A50) voor het natuurreservaat 'De Wijstgronden' bij Uden. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

Ridder, N.A. de, P. Hondius en A.J. Hellings; 1967. Hydrogeological investigations of the Peel region and its environs. Institute for land and water management research. Tech. bulletin 48, Wageningen

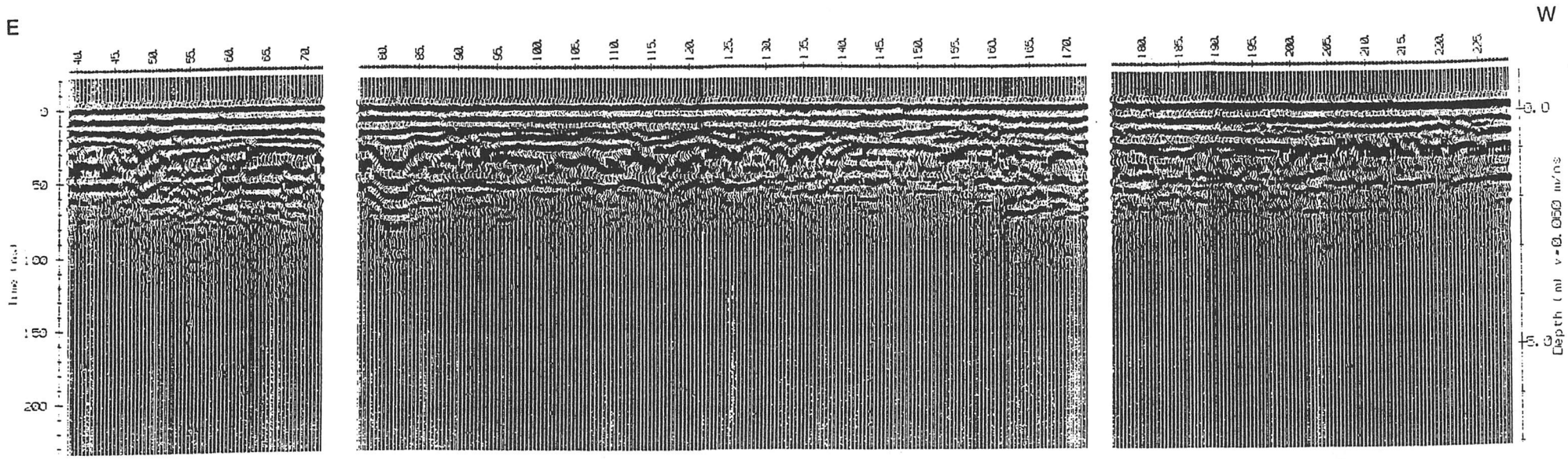
Verwijst,T.; 1982. De Ecologie van de Wijstgronden. Staatsbosbeheer, rapportnr. 20-827-7. Tilburg

Visser, W.C.; 1948. Het probleem van de Wijstgronden. Tijdschrift Kon. Ned. Aardr. Gen. 2, LXV, pp. 798-823.

Weiland, H.; 1949. Hydrologische Probleme bei künfitigen Entwicklung des rheinischen Braunkohlenbergbaues. Braunkohle, Wärme und Energie, Heft 1, 2, pp. 14-20.

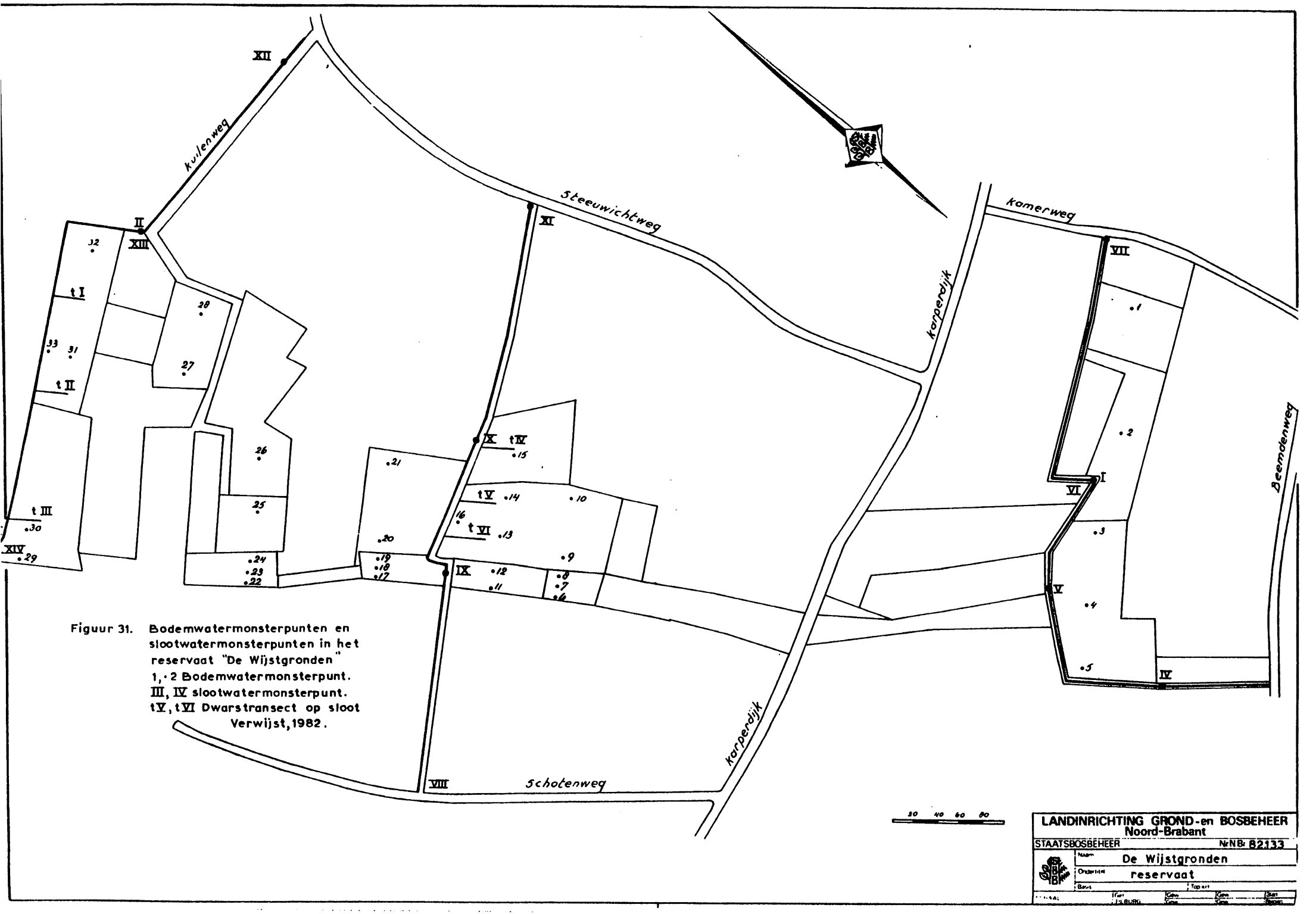
Zuurdeeg, B.W., en S.P. Vriend; 1994. Onderzoek naar de eventuele aanwezigheid van mobiliseerbaar arseen op de locatie 'Rondweg Noord' te Uden. Geochem, Vianen.

Bijlage A De resultaten van de radar metingen in het proefprofiel



Annex 3.9: Georadar profile 200 MHz.

Bijlage B De bemonsteringslocaties van Verwijst in 1981 en de hydrochemische analyse resultaten



Figuur 31. Bodemwatermonsterpunten en slootwatermonsterpunten in het reservaat "De Wijstgronden"
1, 2 Bodemwatermonsterpunt.
III, IV slootwatermonsterpunt.
tV, tVI Dwarstransect op sloot Verwijst, 1982.

Tabel 1.	De hydrostatische druk (cm water)				
Horst	7/5	14/5	21/5	28/5	13/6
open buis	00	00	-03	-07	-11
2m filter	+28	+19	+16	+14	+10
verschil:	28	19	21	21	21
Slenk					
open buis	-69	-81	-99	-114	-113
2m filter	-111	-121	-139	-148	-146
verschil:	43	40	40	32	32

Tabel 8.	Ca^{2+}	K^+	Na^+	Mg^{2+}	NH_4^+
april, conc*	787	236	709	502	79
april, % *	37,5	10,6	31,8	20,5	-
dec. , conc.	1426	125	583	495	14
dec. , %	54,3	4,8	22,2	18,8	-
	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	NO_3^{2-}	pH
april, conc.	1312	1721	990	9,1	6,00
april, %	32,6	42,8	24,6	-	-
dec. , conc.	2193	1695	785	15,4	5,75
dec. , %	46,9	36,3	16,8	-	-

* gemiddelden over de 20 buizen die zowel in april als in december bemonsterd werden.

Tabel 2: Kationenconcentratie Bodemwater, april 1981

no	buis	Ca^{2+}	Ca^{2-}	K^+	Na^+	$K^+ + Na^+$	Mg^{2+}	Mg^{2+}
		µmol/l	%	µmol/l	µmol/l	%	µmol/l	%
1	11	690	38,0	144	670	44,8	314	17,3
2	12	830	32,6	170	1020	46,7	527	20,7
3	13	890	51,5	184	100	16,4	555	32,1
4	14	810	33,6	77	920	41,4	601	25,0
5	15	1480	36,5	255	970	30,2	1347	33,2
6	16	760	29,2	278	980	48,3	584	22,4
7	17	680	43,3	56	600	41,8	233	14,9
8	17 A	700	45,4	103	490	38,5	249	19,1
9	17 B	680	31,7	194	825	47,4	449	20,9
10	18	810	42,7	110	645	39,8	331	17,5
11	18 A	760	50,9	93	375	31,3	265	17,7
12	18 B	840	42,9	61	745	41,1	314	16,0
13	19	830	40,1	154	710	41,7	376	18,2
14	19 A	990	37,1	245	1005	46,9	426	16,0
15	20	670	25,5	215	1150	52,0	588	22,4
16	20 A	610	22,1	330	1200	55,4	620	22,5
17	20 B	1150	43,6	114	900	38,4	474	18,0
18	21	900	34,3	232	980	46,2	514	19,6
19	21 A	980	26,6	365	1375	47,3	959	26,1
20	22	970	31,5	920	625	50,2	563	18,3
21	23	900	46,1	177	400	29,6	474	24,3
22	24	820	53,6	78	360	28,6	273	15,5
23	25	780	36,2	200	870	49,4	306	14,1
24	26	730	37,8	140	790	48,2	269	13,9
25	27	660	22,5	800	910	58,3	563	19,2
26	28	320	31,2	310	155	45,3	241	23,5
27	29	940	60,3	60	285	22,1	273	17,5
28	30	480	32,2	45	700	50,0	265	17,8
29	31	430	19,5	270	1000	57,6	506	22,9
30	32	850	26,1	260	1100	41,8	1041	32,0
31	33	450	40,9	65	410	43,1	176	16,0
32	34	3290	49,1	322	1700	30,2	1388	20,7
33	I	630	22,2	409	1250	58,6	543	19,2
34	II	500	18,8	850	900	65,6	416	15,6
35	III	480	25,1	350	730	56,4	355	18,5

Tabel 3: Anionenconc. en pH. Bodemwater, april 1981

no.	buis	HCO_3^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Cl^-	pH
		µmol/l	%	µmol/l	%	µmol/l	%	
1	11	880	30,0	1340	45,7	710	24,2	6,45
2	12	880	19,2	2280	49,6	1435	31,2	6,24
3	13	210	5,6	2030	53,8	1530	40,6	5,65
4	14	180	4,5	2240	56,3	1560	39,2	5,79
5	15	--	0,0	4360	78,4	1200	21,6	4,15
6	16	830	17,2	2560	53,0	1440	29,8	6,44
7	17	1020	38,7	880	33,4	735	27,9	6,45
8	17 A	2080	59,2	820	23,3	615	17,5	6,93
9	17 B	1070	31,8	1160	34,5	1135	33,7	6,65
10	18	1950	49,9	1000	25,6	955	24,5	6,91
11	18 A	2870	79,8	330	9,2	395	11,0	7,19
12	18 B	2450	49,6	1280	25,9	1210	24,5	6,82
13	19	1320	33,9	1430	36,8	1140	29,3	6,19
14	19 A	1160	24,1	2120	44,1	1530	31,8	6,45
15	20	390	9,0	2400	55,2	1560	35,9	5,64
16	20 A	480	10,9	2320	52,8	1590	36,2	5,71
17	20 B	1440	27,5	2880	55,0	920	17,6	5,78
18	21	440	10,0	2730	61,8	1245	28,2	5,52
19	21 A	420	6,9	3900	64,3	1750	28,8	5,64
20	22	2730	59,1	1180	25,5	710	15,4	6,82
21	23	5030	92,1	160	2,9	270	4,5	7,32
22	24	3130	81,7	310	8,1	390	10,2	7,21
23	25	790	21,3	1660	44,7	1260	34,0	6,32
24	26	630	18,6	1500	44,2	1265	37,3	6,78
25	27	320	8,6	2020	54,3	1380	37,1	5,01
26	28	670	36,0	1100	59,1	90	4,8	5,51
27	29	1570	48,2	1360	41,7	330	10,1	6,48
28	30	3940	78,5	460	9,2	620	12,4	6,81
29	31	---	0,0	1800	55,9	1420	44,1	3,69
30	32	790	13,8	3680	64,2	1260	22,0	5,89
31	33	160	6,9	1440	62,5	705	30,6	5,17
32	34	770	6,6	7200	61,7	3700	31,7	5,93
33	I	460	12,2	1960	52,0	1350	35,8	6,28
34	II	120	4,4	1480	54,0	1140	41,6	4,93
35	III	600	22,1	1180	43,5	930	34,3	6,52

Tabel 4: Bodemwater, april 1981.

no.	buis	NO_3^-	NH_4^+	PO_4^{3-}
		µmol/l	µmol/l	µmol/l
1	11	62	40	2,5
2	12	5	23	3
3	13	18	82	1
4	14	2	29	2,5
5	15	3	7	1
6	16	2	23	4
7	17	13	5	1
8	17 A	27	53	2
9	17 B	4	3	1
10	18	5	4	2
11	18 A	5	24	2
12	18 B	2	19	11,5
13	19	2	57	12,5
14	19 A	34	80	1,5
15	20	3	156	7,5
16	20 A	20	45	1
17	20 B	7	68	1
18	21	2	29	2
19	21 A	24	33	1
20	22	5	580	13,5
21	23	2	123	1,5
22	24	2	15	7
23	25	3	41	6,5
24	26	2	10	3
25	27	4	98	10,5
26	28	7	18	3
27	29	36	186	5
28	30	6	20	1
29	31	2	19	1
30	32	7	44	7,5
31	33	1	70	2
32	34	2	62	3
33	I	230	10	1
34	II	660	78	1
35	III	235	38	1

Tabel 7: Bodemwater dec'81

no	buis	NO_3^-	NH_4^+
		µmol/l	µmol/l
1	11	91	9
2	12	9	23
3	13	7	10
4	14	8	14
5	15	9	11
6	17	41	12
7	18	5	19
8	19	23	10
9	20	6	20
10	21	10	11
11	22	38	15
12	23	9	12
13	24	6	11
14	25	9	12
15	27	3	6
16	28	9	23
17	29	-	6
18	30	13	19
19	31	8	9
20	32	8	10
21	5	10	9
22	4	9	11
23	3	6	26
24	2	5	52
25	1	7	12
26	IV	257	25
27	V	270	25
28	VI	280	25
29	VII	296	25
30	VIII	133	20
31	IX	152	23
32	X	263	25
33	XI	1650	57
34	XII	1580	11
35	XIII	765	83
36	XIV	310	47
37	34	296	357

Tabel 9: Koolstof- en watergehalte.

no.	% H_2O	% Org*	% C **	% Org***
1	32,8	12,0	9,9	17,1
2	48,3	12,6	11,0	19,0
3	54,8	24,2	20,9	36,0
4	34,4	9,4	10,1	17,4
5	19,5	6,2	5,3	9,1
6	21,6	6,8	5,0	8,6
7	21,7	5,0	4,4	7,6
8	53,2	10,0	9,2	15,9
9	11,7	3,6	4,1	7,1
10	25,9	7,2	9,4	16,2
11	45,3	12,4	7,2	12,4
12	52,1	25,0	19,1	32,9
13	52,7	21,2	21,6	37,2
14	63,0	31,2	22,9	39,5
15	48,4	17,0	19,4	33,4
16	18,0	9,0	8,5	14,7
17	40,2	16,2	20,4	35,2
18	67,7	25,2	21,0	36,2
19	20,2	27,6	14,0	24,1
20	68,0	30,0	21,3	36,7
21	29,6	7,8	5,9	10,2
22	41,0	14,6	11,3	19,5
23	50,7	21,4	21,9	37,8
24	70,7	31,6	23,2	40,0
25	68,4	47,6	34,0	58,6
26	45,8	15,4	11,2	19,3
27	73,2	62,0	33,6	57,9
28	76,1	59,0	35,1	60,5
29	61,0	38,0	32,1	55,3
30	45,0	28,8	20,5	35,3
31	42,2	12,6	10,6	18,3
32	38,2	11,4	10,7	18,4
33	24,9	8,6	11,2	19,3

* Volgens gloeiverliesbepaling.
**Volgens oxidatie met kaliumbichromaat.
***Berekend uit resultaten **, x 1,724.
(C-gehalte = 58 %).

Tabel 12: Fosfaatconcentraties in Bodem.

no.	Waterextractie	Citroenzuurextractie	
	PO_4^{3-}	PO_4^{3-}	PO_4^{3-}
	µmol/l.	µmol/l	mg/100 g.
1	1,1	217,0	
2	0,9	912,5	
3	1,2	272,3	
4	0,9	112,1	
5	0,6	285,8	
6	0,1	256,7	
7	0,4	133,9	
8	3,0	417,9	
9	42,4	828,0	
10	12,0	1416,8	
11	2,3	699,8	
12	2,6	761,6	
13	1,9	657,3	
14	1,3	1176,7	
15	1,7	858,2	
16	48,8	1001,7	
17	1,2	555,8	
18	2,1	956,9	
19	27,2	1235,5	
20	1,5	275,0	
21	1,5	123,8	
22	1,2	954,1	
23	1,0	199,8	
24	3,0	2572,5	
25	1,9	1080,1	
26	4,6	1566,6	
27	0,1	834,4	
28	0,3	455,0	
29	1,2	237,2	
30	1,3	354,2	
31	0,9	159,7	
32	0,7	174,7	
33	6,8	589,4	

Tabel 5: Anioncconc. en pH Bodemwater. dec. 1981

no.	buis	HCO_3^-	HCO_3^-	SO_4^{2-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Cl^-	pH
		µmol/l	%	µmol/l	%	µmol/l	%	
1	11	2020	44,4	1700	37,4	530	15,2	6,30
2	12	1522	32,2	2030	42,9	1180	24,9	5,69
3	13	2390	40,0	2270	38,0	1320	22,0	5,88
4	14	1152	23,9	2550	53,6	1080	22,4	5,61
5	15	---	0,0	2990	93,1	220	6,9	4,08
6	17	1721	35,8	1990	41,4	1095	22,8	6,21
7	18	669	18,2	1810	49,2	1200	32,6	5,62
8	19	299	18,9	990	62,7	290	18,4	5,41
9	20	5235	58,3	2390	26,6	1360	15,1	5,97
10	21	541	23,5	1680	73,0	80	3,5	5,19
11	22	3542	67,0	1420	26,9	320	6,1	6,78
12	23	7515	90,8	480	5,8	280	3,4	6,68
13	24	2760	55,0	1500	29,9	760	15,1	6,01
14	25	1679	38,3	1585	36,2	1120	25,5	6,19
15	27	484	12,4	2080	53,3	1340	34,3	5,09
16	28	199	15,8	1000	79,4	60	4,8	4,96
17	29	3941	75,9	1070	20,6	180	3,5	6,25
18	30	5861	81,2	660	9,1	700	9,7	6,08
19	31	1736	38,4	1370	30,3	1410	31,2	5,87
20	32	598	15,9	2300	61,0	870	23,1	5,20
21	5	1878	49,5	1800	47,5	115	3,0	6,37
22	4	3301	65,9	1410	28,1	300	6,0	6,22
23	3	3073	65,6	1420	30,3	195	4,2	5,87
24	2	5762	87,0	720	10,9	140	2,1	6,07
25	1	1750	36,5	2390	49,8	660	13,8	5,72
26	IV	1024	24,5	1860	44,5	1300	31,0	6,33
27	V	1067	24,9	1870	43,6	1350	31,5	6,27
28	VI	1039	23,8	1900	43,6	1420	32,6	6,21
29	VII	1010	23,3	1900	43,9	1420	32,8	5,97
30	VIII	1138	28,1	1620	39,9	1300	32,0	6,40
31	IX	1309	28,1	1930	41,4	1420	30,5	6,21
32	X	797	18,3	2000	45,9	1560	35,8	5,90
33	XI	1921	29,6	1990	30,7	2580	39,7	6,05
34	XII	114	4,4	1500	57,6	990	38,0	4,41
35	XIII	341	10,6	1570	48,7	1310	40,7	5,02
36	XIV	1295	32,7	1530	38,6	1140	28,7	6,42
37	34	683	12,7	2320	43,1	2380	44,2	5,72

Tabel 6: Kationenconcentratie Bodemwater. dec. 1981

no	buis	Ca^{2+}	Ca^{2+}	K^+	Na^+	$K^+ - Na^+$	Mg^{2+}	Mg^{2+}
		µmol/l	%	µmol/l	µmol/l	%	µmol/l	%
1	11	1600	59,5	91	595	35,7	398	14,5
2	12	2040	50,3	143	910	26,0	960	23,7
3	13	2305	57,1	103	928	25,5	704	17,4
4	14	2730	62,5	45	505	18,5	786	18,0
5	15	3780	68,7	25	320	6,2	1380	25,1
6	17	1250	46,8	224	740	36,1	458	17,1
7	18	1000	48,9	105	698	39,4	240	11,7
8	19	320	44,0	54	276	45,5	76	10,5
9	20	1860	55,8	273	1200	22,0	740	22,2
10	21	800	56,2	319	164	34,0	140	9,8
11	22	900	56,9	122	224	21,9	336	21,2
12	23	1090	60,1	138	229	20,3	356	19,6
13	24	1260	59,5	62	516	27,3	280	13,2
14	25	1230	52,2	107	742	36,1	276	11,7
15	27	1280	37,2	544	852	40,6	764	22,2
16	28	370	69,8	40	38	14,7	82	15,5
17	29	1780	68,7	15	366	14,7	430	16,6
18	30	840	48,7	16	540	32,2	330	19,1
19	31	720	32,7	48	936	44,8	496	22,5
20	32	1370	52,3	16	566	22,1	670	25,6
21	5	460	51,9	69	258	36,8	100	11,3
22	4	820	55,0	56	354	27,5	260	17,5
23	3	950	81,7	21	58	6,8	134	11,5
24	2	1035	59,9	111	232	20,3	350	19,8
25	1	1310	42,7	579	162	24,1	1020	33,2
26	IV	1080	33,4	429	1086	47,0	634	19,6
27	V	1080	33,1	442	1110	47,5	634	19,4
28	VI	1070	32,5	453	1138	48,3	634	19,2
29	VII	1070	32,3	459	1154	48,6	634	19,1
30	VIII	1200	41,3	303	816	38,5	586	20,2
31	IX	1200	40,3	329	844	39,5	604	20,3
32	X	1180	35,3	460	1002	43,8	700	20,9
33	XI	1700	38,5	600	1200	40,7	920	20,8
34	XII	1140	39,7	600	706	45,5	424	14,8
35	XIII	840	30,6	600	862	53,4	440	16,0
36	XIV	780	34,4	386	724	51,1	380	16,7
37	34	2150	47,5	600	1200	39,7	580	12,8

Bijlage C De afschatting van de breukweerstanden

Calibration based on Groundwater Trap & Net Recharge

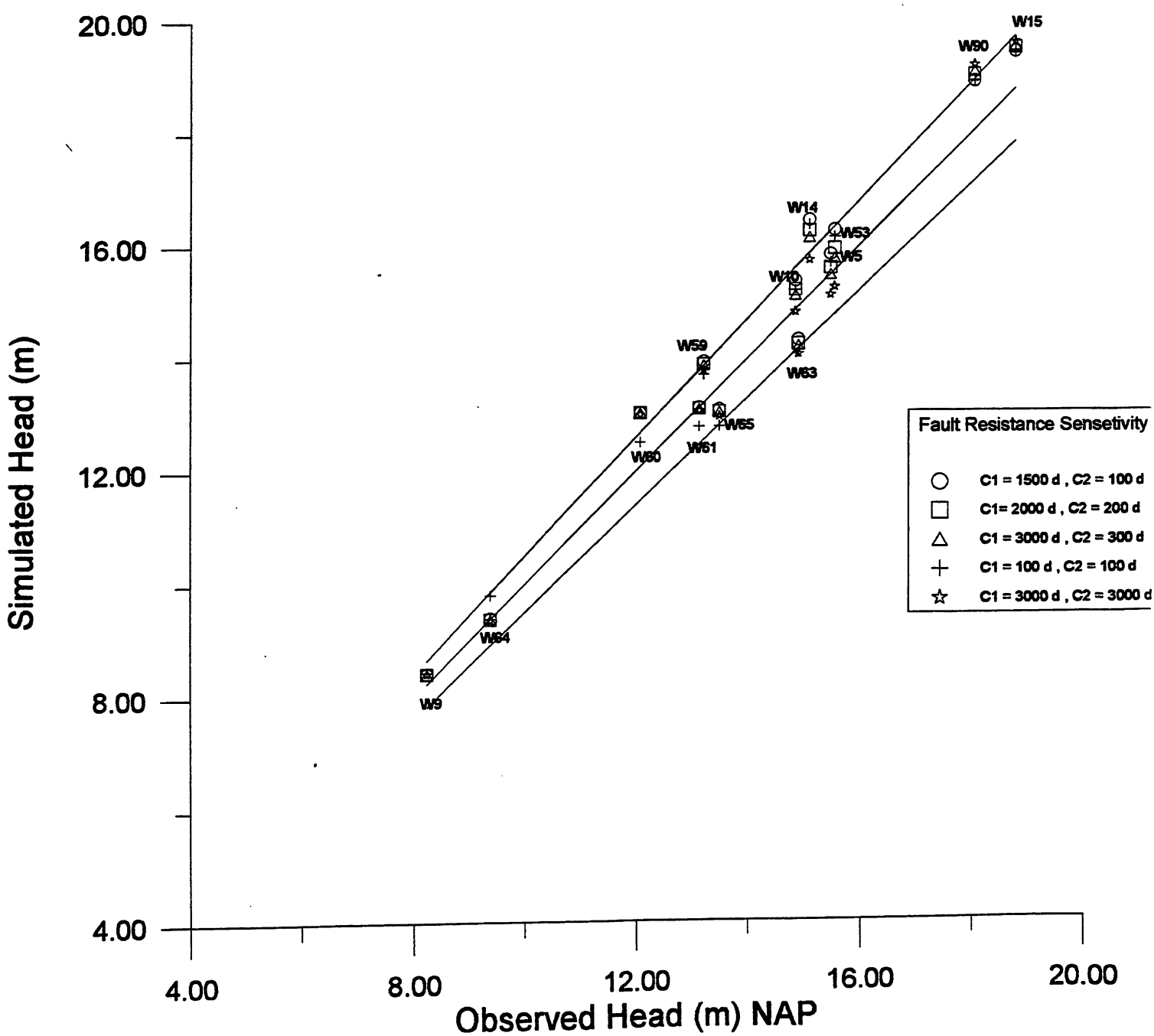
Objectives :

To Check the system's sensitivity to the Fault(s).
To estimate an initial values for Fault resistance.
To estimate initial values for the Drainage volume.
To locate the zones of differant resistance.

Recharge: Net recharge 240 mm/a
Drainage: Groundwater Trap
Drains Level : -1.5 m
Abstraction: No

®

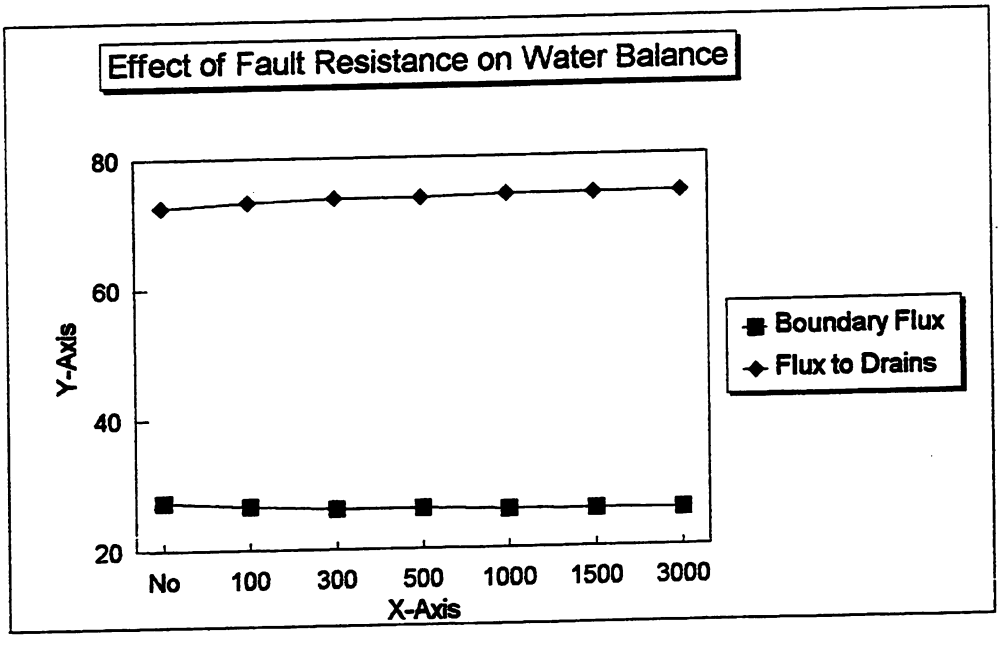
High resistance for the Peelrandbreuk fault and Medium resistance for the Northern part of the Tegelen fault and Low for the Mid and Low resistance the Mid and Lower side (W90,W15)



Water Balance Analysis
The effect of the Faults on the Hydrological System

m^3/d

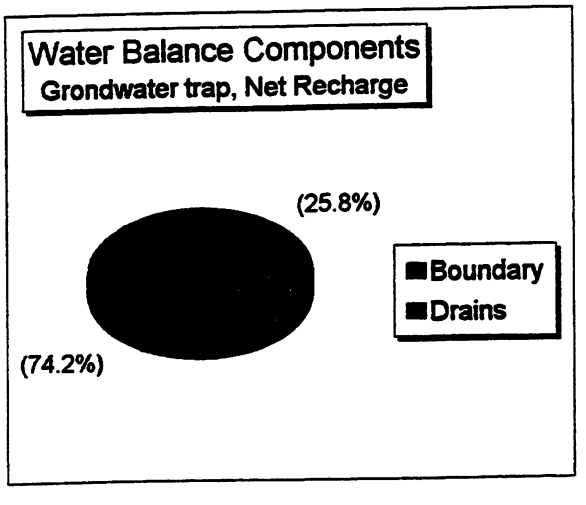
C	% Flux	% Dra	Flux (out)	Drains
No	27.40	72.57	5040	13350
100	26.64	73.33	4900	13490
300	26.18	73.82	4816	13580
500	26.18	73.82	4816	13580
1000	25.85	74.15	4755	13641
1500	25.79	74.21	4744	13652
3000	25.73	74.27	4733	13663



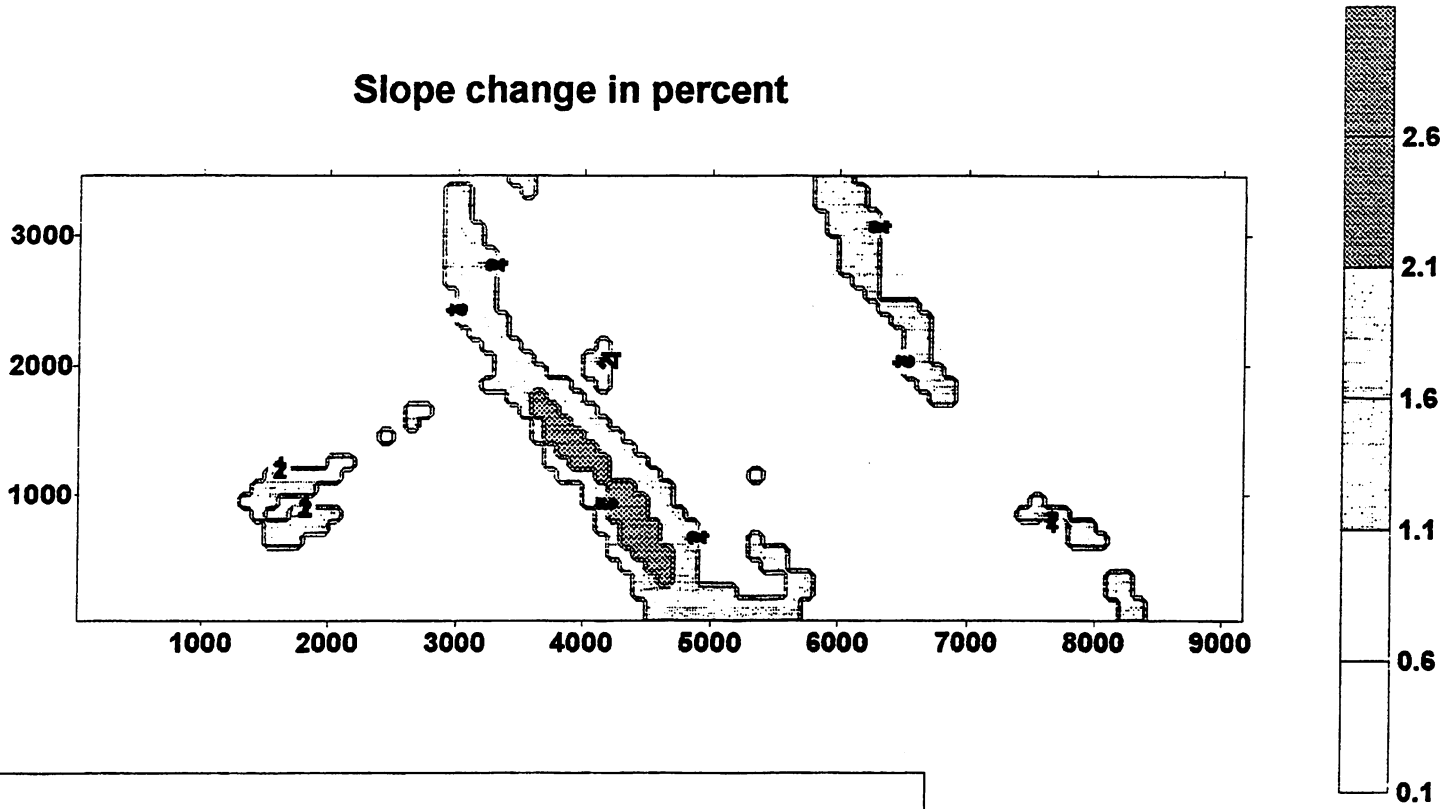
No major effect of the fault resistance on the water balance .
The stable Flux to the boundary insures stability for the west controlled h

The selected Run C1= 1500 d , C2 = 100 d
Water Balance shown below

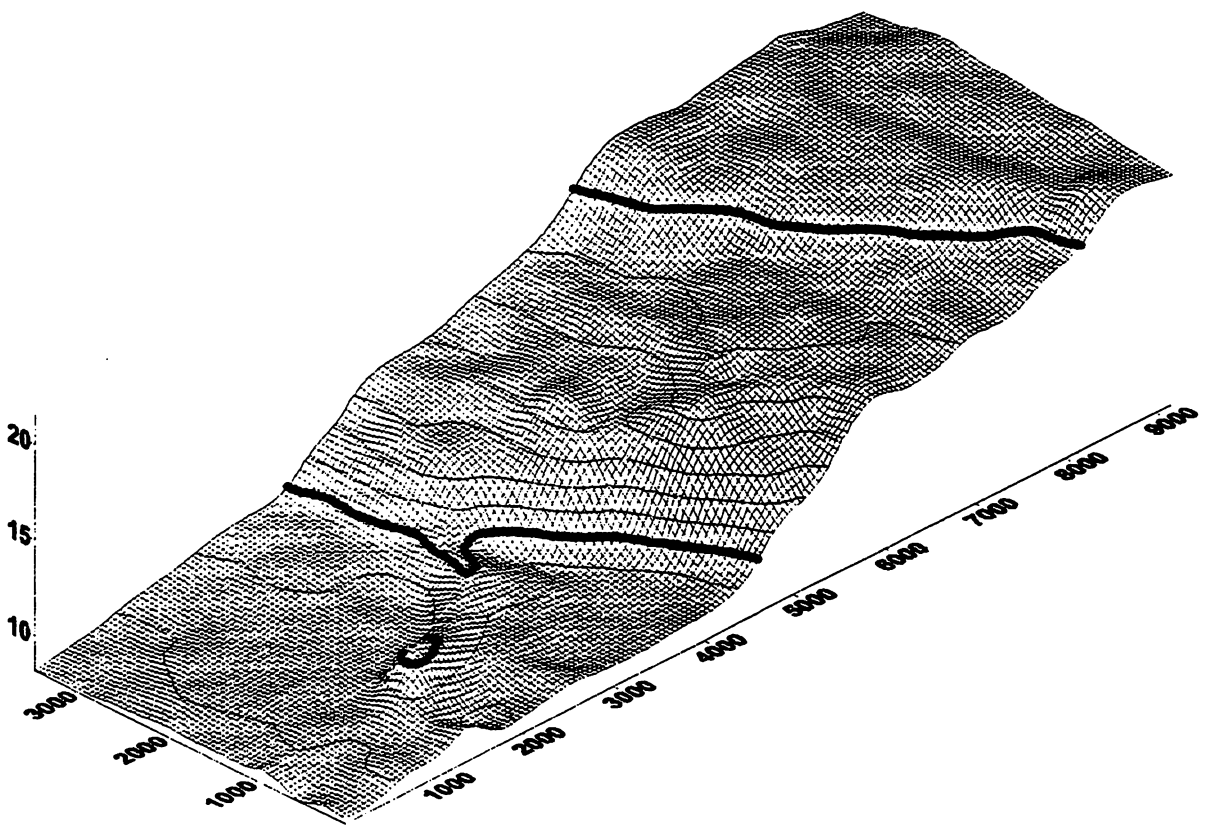
	Boundary	Drains	Net Recharge
%	25.80	74.20	
m^3/d	4746	13651	18396.6



Bijlage D Bepaling van de breuklocaties net behulp van gradiëntenanalyse



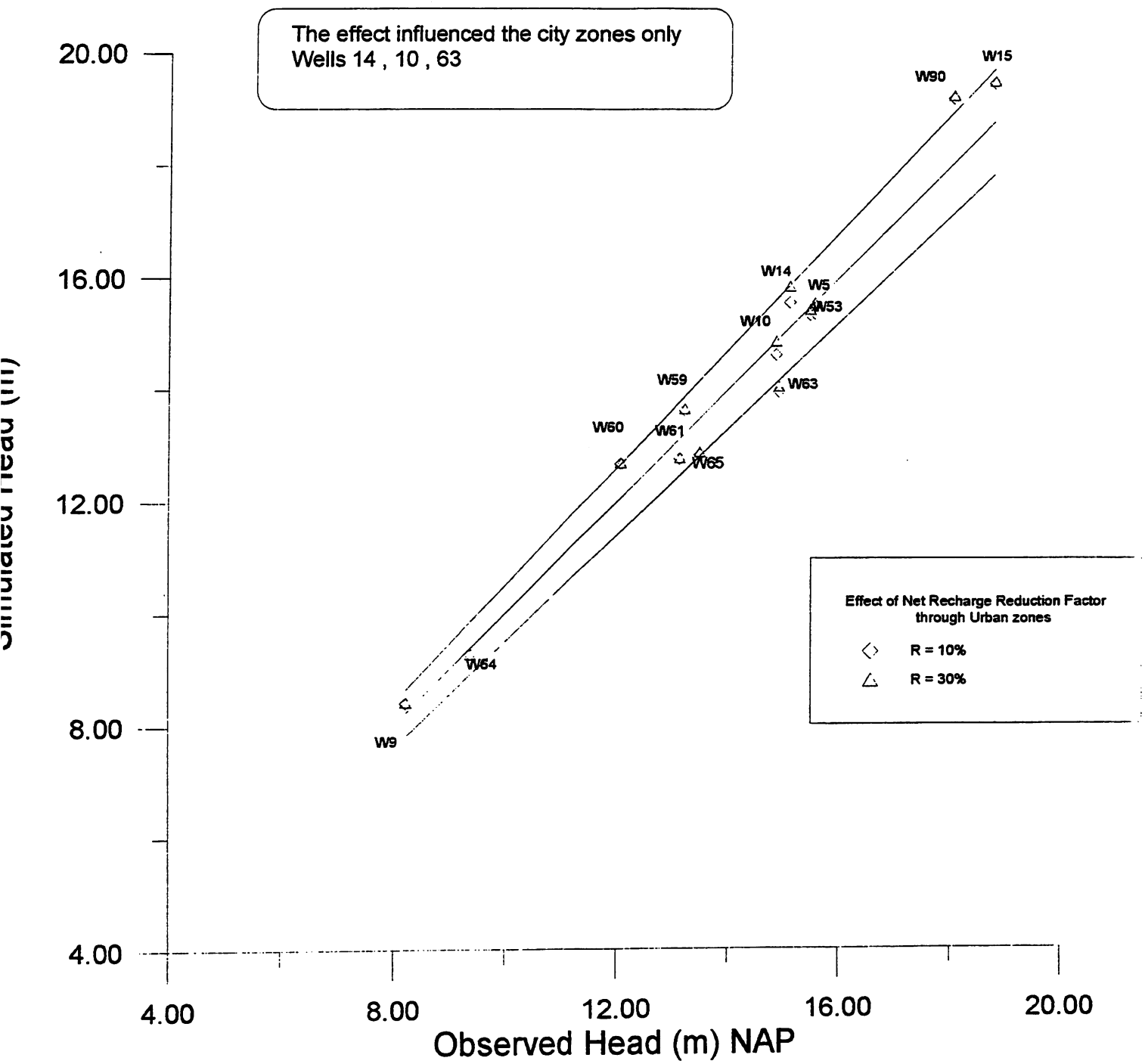
Determination of the Fault Orientation



Bijlage E Gevoeligheidsanalyse wat betreft het verdrogend effect van het stedelijk gebied

Well ID	Surface	h2o NAP
W9	9.29	8.24
W59	15.00	13.22
W60	13.08	12.08
W61	13.60	13.14
W63	15.67	14.93
W64	10.48	9.39
W65	13.93	13.50
W5	16.82	15.49
W10	17.12	14.87
W14	17.05	15.12
W15	20.70	18.80
W90	19.91	18.06
W53	17.72	15.57

R10%	R30%
8.41	8.43
13.64	13.67
12.69	12.70
12.78	12.79
13.98	14.07
9.28	9.29
12.85	12.90
15.35	15.45
14.64	14.88
15.56	15.86
19.48	19.52
19.21	19.26
15.38	15.56

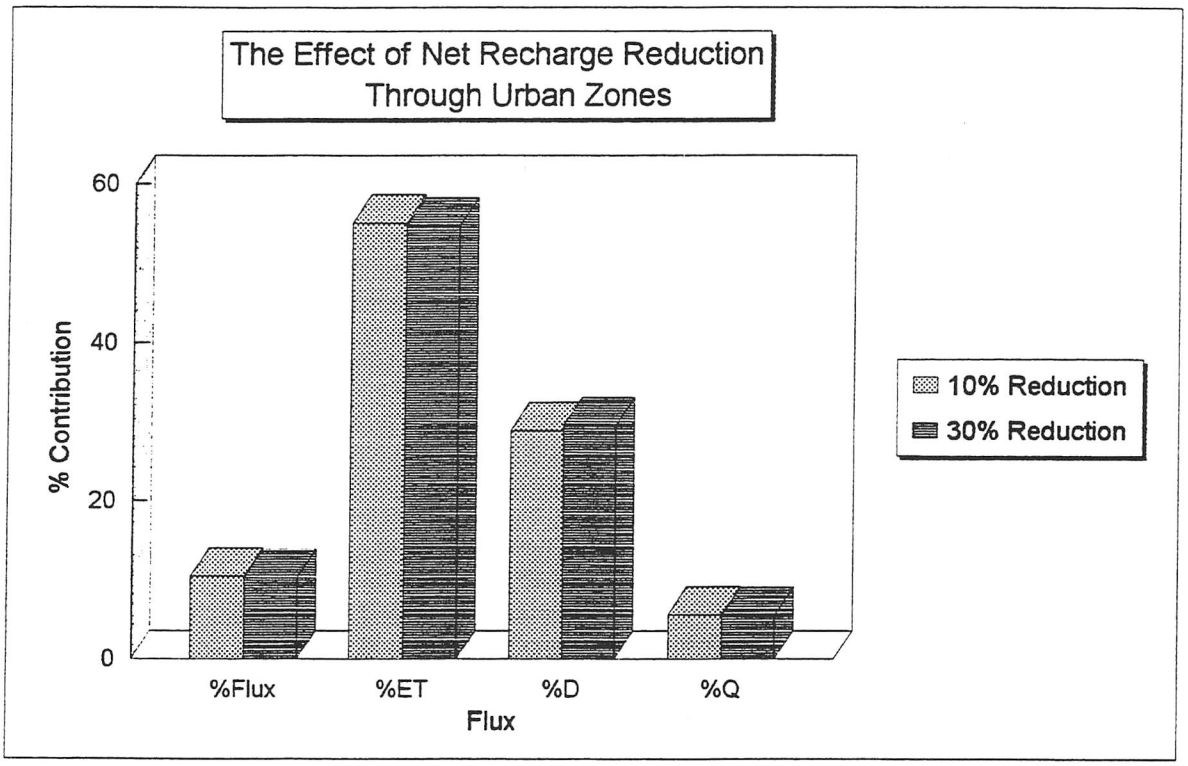


Water Balance Analysis

Effect of Net Recharge Reduction through Uden City

Critiria	Flux	ET	D	P	Q
10% R	4704.12	24691	12942	44843	2504.7
30% R	4737.5	25154	13562	45970	2515.2

	%Flux	%ET	%D	%Q	Total
10% R	10.49	55.06	28.86	5.59	100
30% R	10.31	54.72	29.50	5.47	100

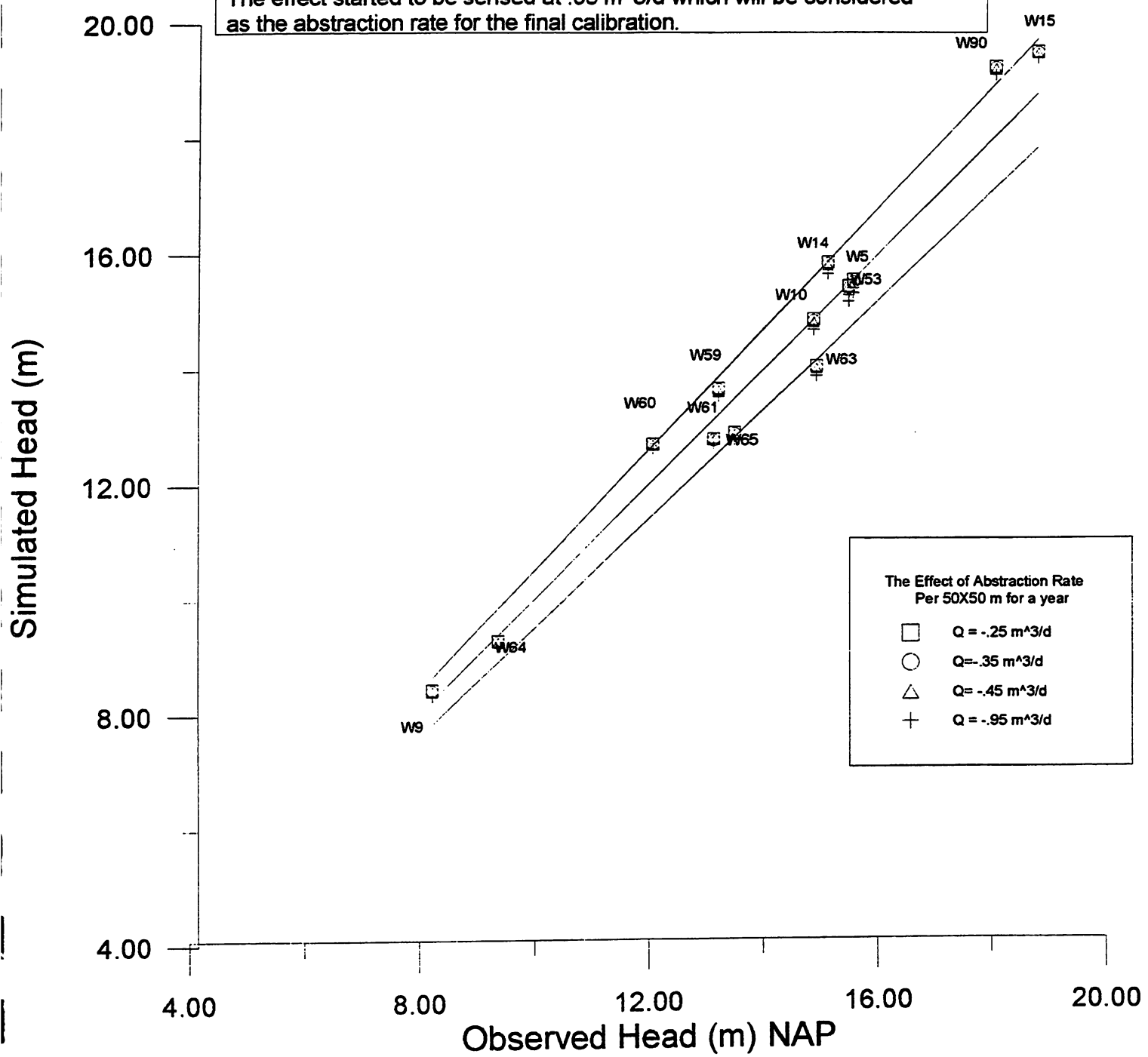


Bijlage F Gevoeligheidsanalyse wat betreft het verdrogend effect van beregening

Well ID	Surface	h2o NAP
W9	9.29	8.24
W59	15.00	13.22
W60	13.08	12.08
W61	13.60	13.14
W63	15.67	14.93
W64	10.48	9.39
W65	13.93	13.50
W5	16.82	15.49
W10	17.12	14.87
W14	17.05	15.12
W15	20.70	18.80
W90	19.91	18.06
W53	17.72	15.57

Q25	Q35	Q45	Q95
8.43	8.42	8.40	8.32
13.68	13.66	13.64	13.53
12.71	12.70	12.69	12.62
12.80	12.79	12.78	12.72
14.07	14.05	14.03	13.90
9.29	9.28	9.27	9.20
12.91	12.89	12.87	12.78
15.45	15.42	15.38	15.19
14.88	14.86	14.83	14.70
15.87	15.84	15.81	15.67
19.52	19.51	19.49	19.40
19.26	19.24	19.22	19.13
15.57	15.53	15.50	15.33

The seasonal abstraction has a neglegable effect at Low rates
The effect started to be sensed at .95 m^3/d which will be considered as the abstraction rate for the final calibration.

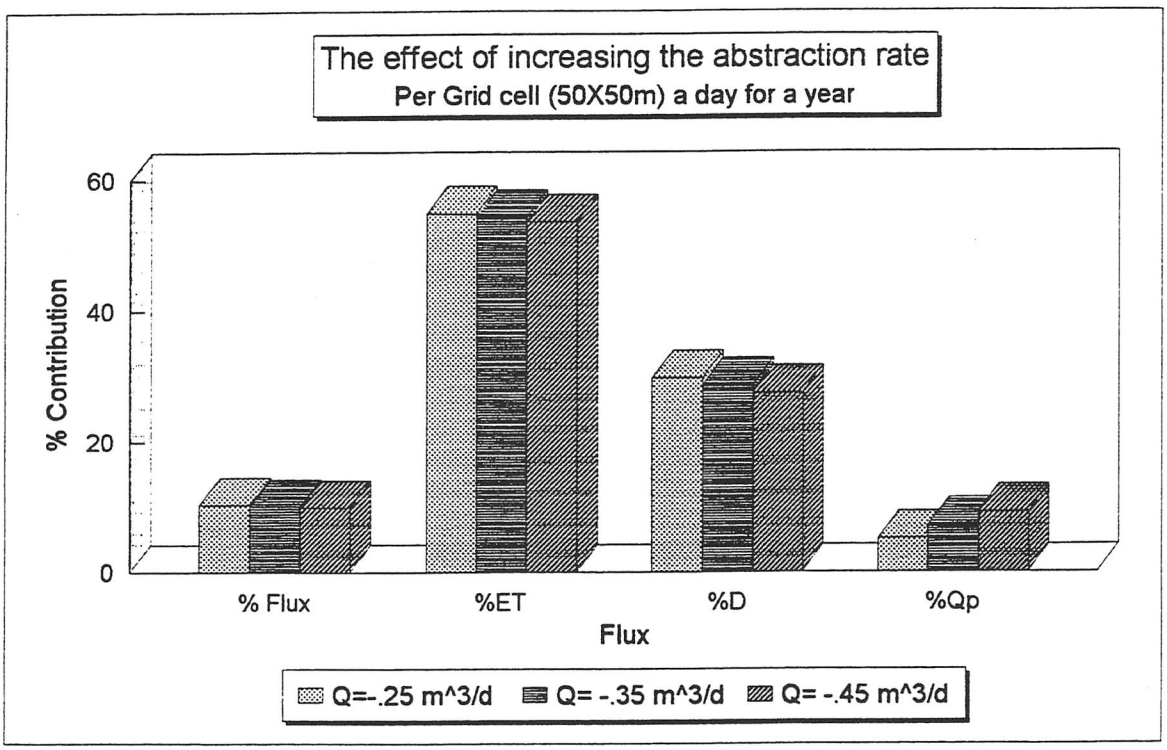


The Effect of Seasonal abstraction rate

per 50X50m

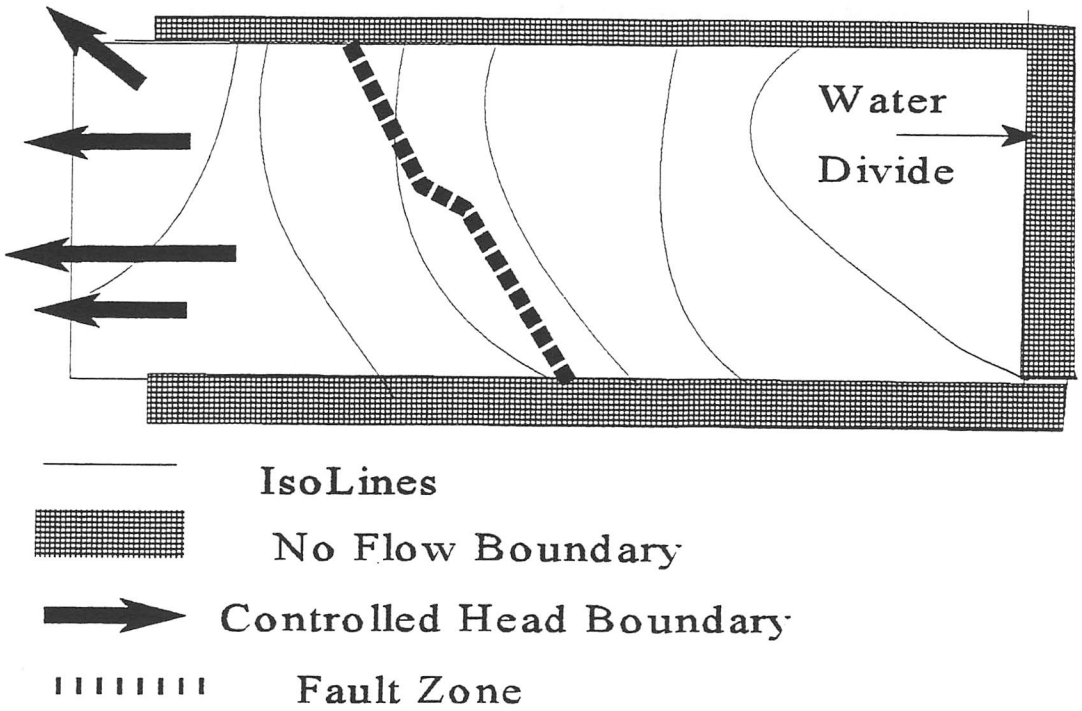
m^3/d	-.25	-.35	-.45
B.Flux	4760.5	4645.5	4530.2
ET	25211.6	24917	24615
D	13667.7	13146	12635.7
Qp	2328.75	3258.7	4186.9
P	45969	45969	45969

% Flux	10.4	10.1	9.9
%ET	54.8	54.2	53.5
%D	29.7	28.6	27.5
%Qp	5.1	7.1	9.1



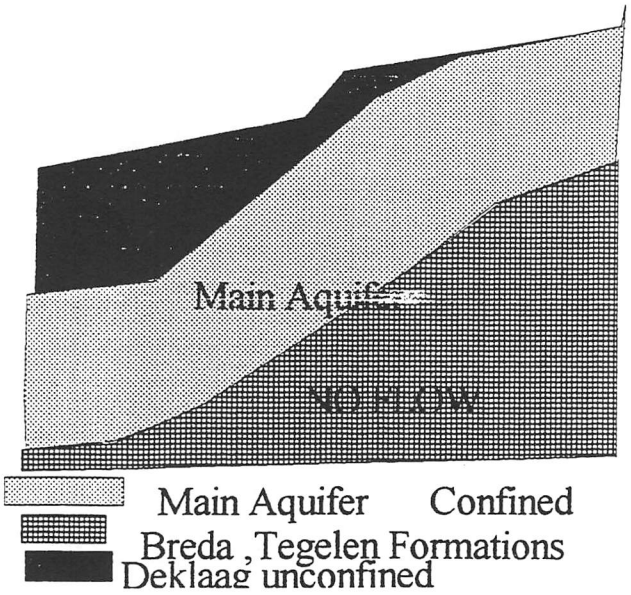
Bijlage G Resultaten verificatiefase van het model

Boundary Conditions



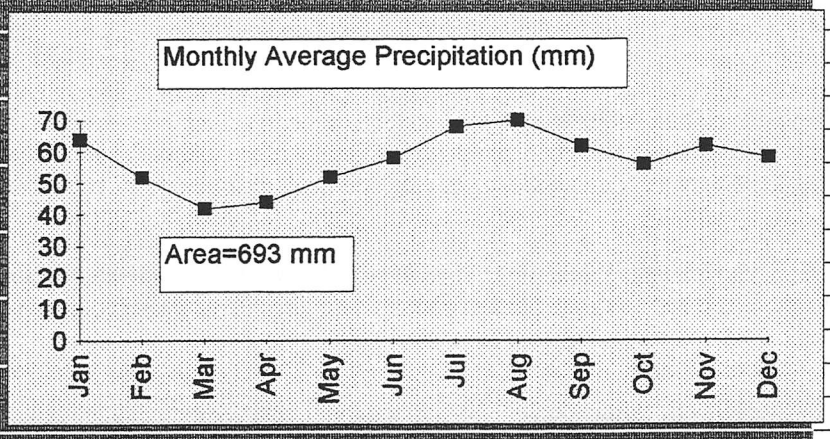
The Boundary conditions can be classified as two types:

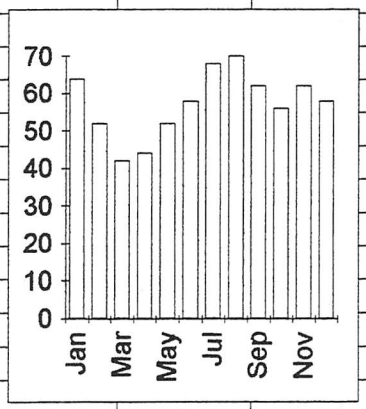
No Flow Boundary A water Divide in the east part, Neglecting the flow in the Y direction based on the Isolines map and A controlled head boundary in the west side taken as an average value represent the steady state.



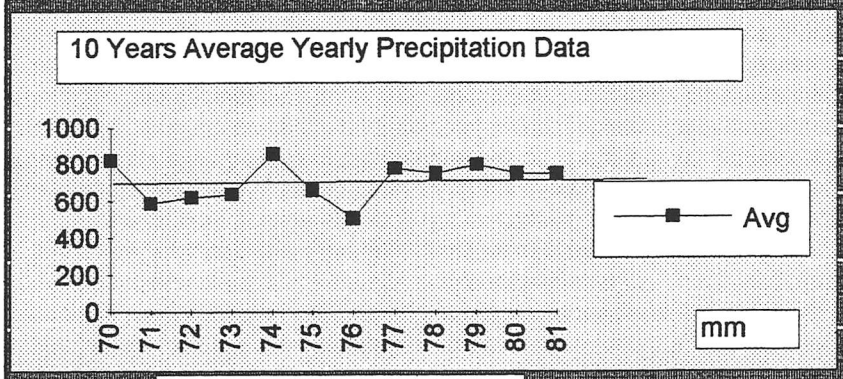
Precipitation Data From historical data (1970-1981)

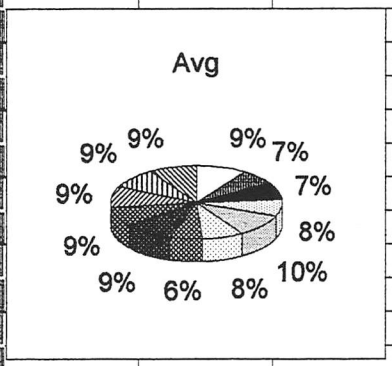
Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
mm	64	52	42	44	52	58	68	70	62	56	62	58





Year	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Avg (mm)	820	590	620	640	860	660	500	780	760	780	760	750

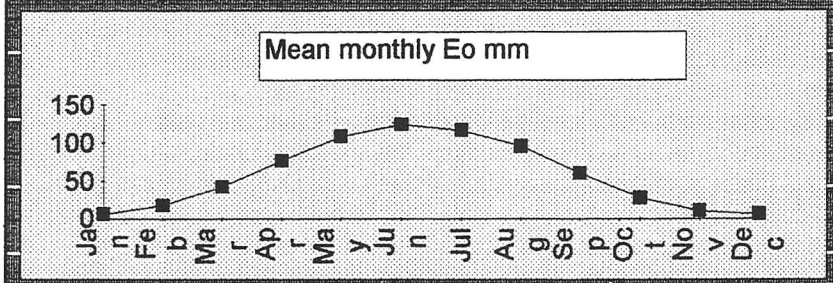


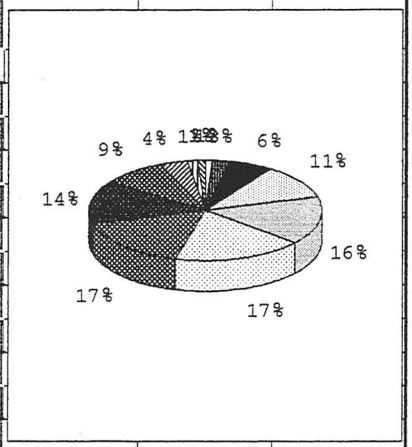


Average=693 mm

Evaporation Eo

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
mm	61	72	92	76	106	124	110	96	80	78	70	6





Results of Sensetivity Analysis

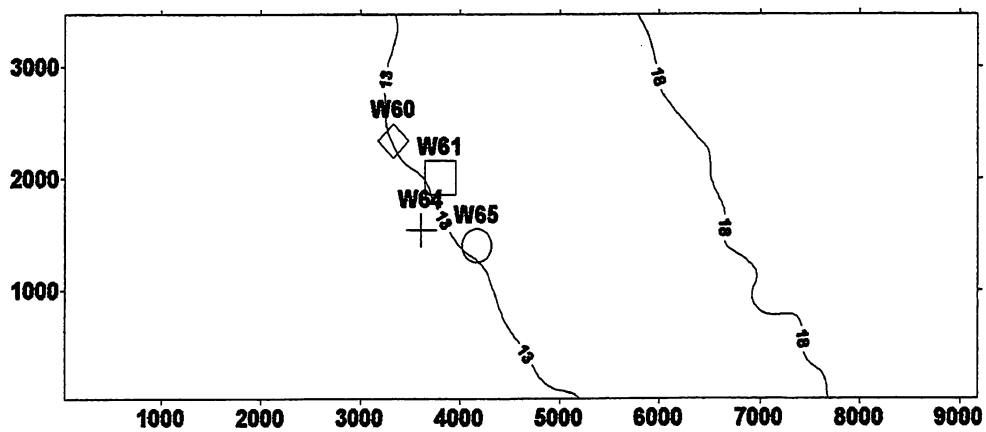
1. The Model showed good respond for the assumption of the orientation of the faults also for high resistance values 1500-3000 days.

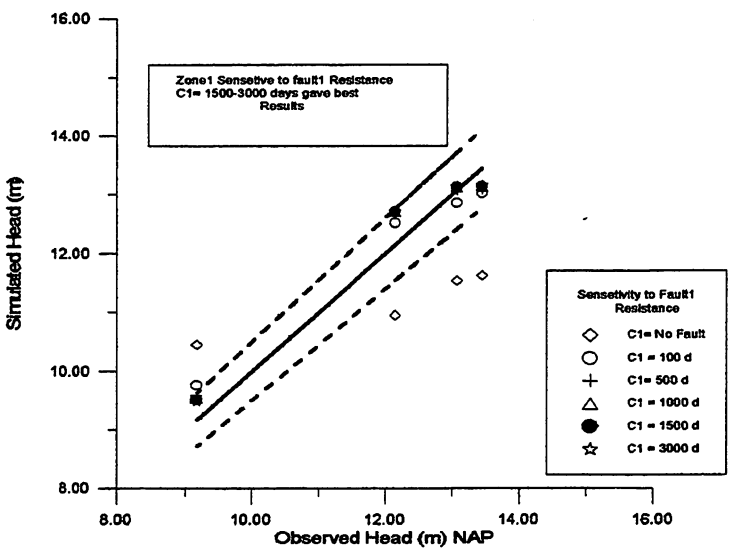
2. The second fault can be discontinous in the lower part.

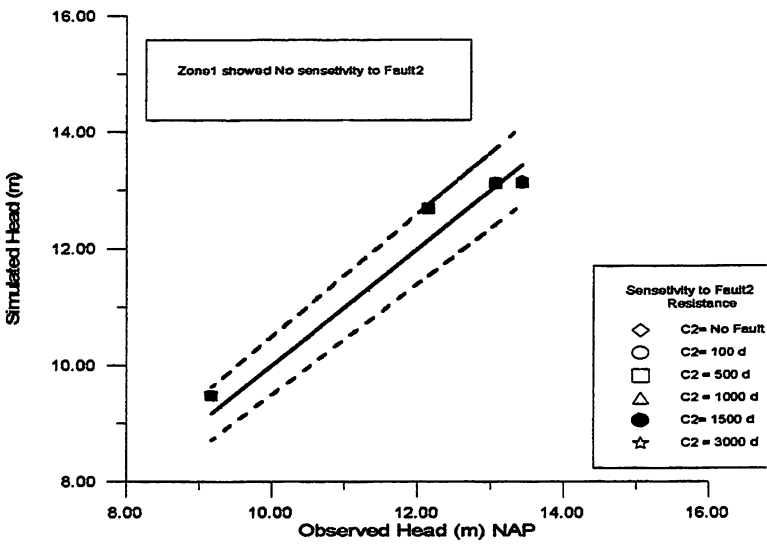
3. The model showed good respond for 30% Net recharge through Uden City.

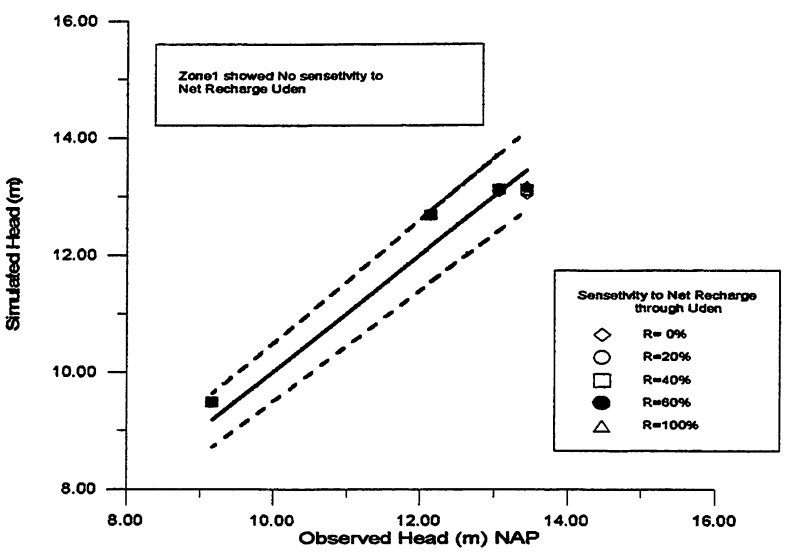
4. The use of the grondwater trap was usefull during the calibration of the fault resistance,also that method was usefull to estimate the over all flow to the Drains and the Drains resistance per zone.

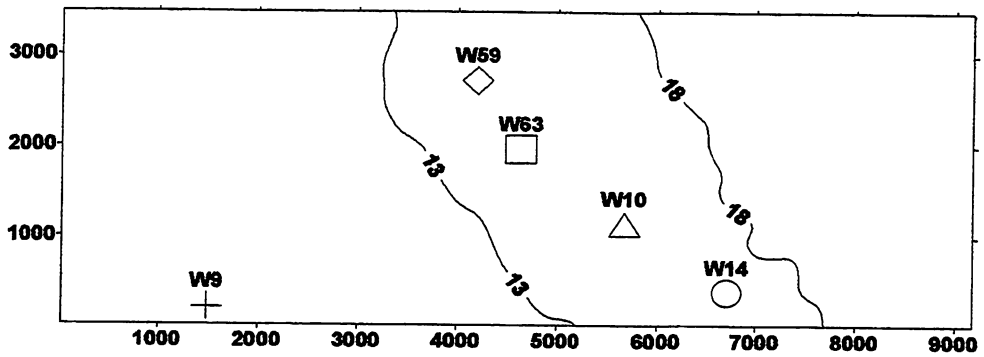
5. The actual drainage system is currently in calibration process also the use of Evapotranspiration instead of net recharge.

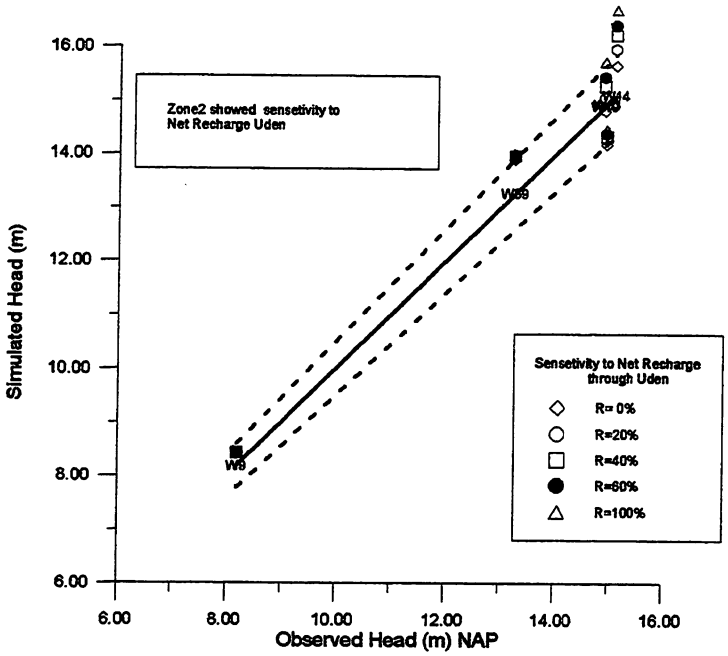

3000
2000
1000
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000
W60
W61
W64
W65
13
18

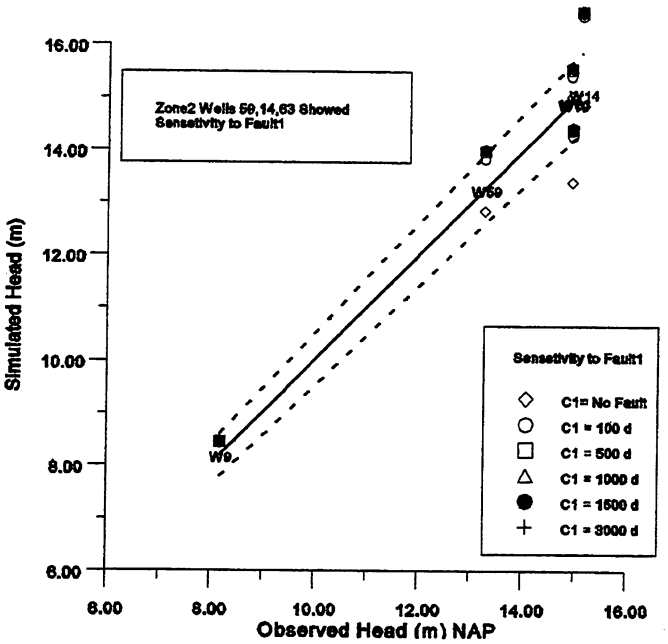

Zone1 Sensetive to fault1 Resistance
C1= 1500-3000 days gave best
Results
Sensetivity to Fault1
Resistance
C1= No Fault
C1 = 100 d
C1= 500 d
C1 = 1000 d
C1 = 1500 d
C1 = 3000 d
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00

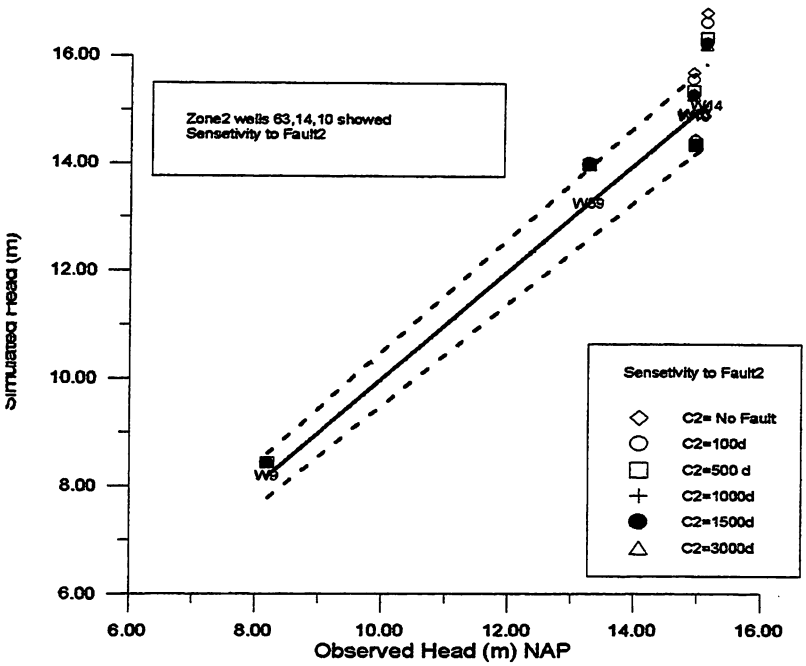

Zone1 showed No sensetivity to Fault2
Sensetivity to Fault2
Resistance
C2= No Fault
C2= 100 d
C2 = 500 d
C2 = 1000 d
C2= 1500 d
C2 = 3000 d
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00

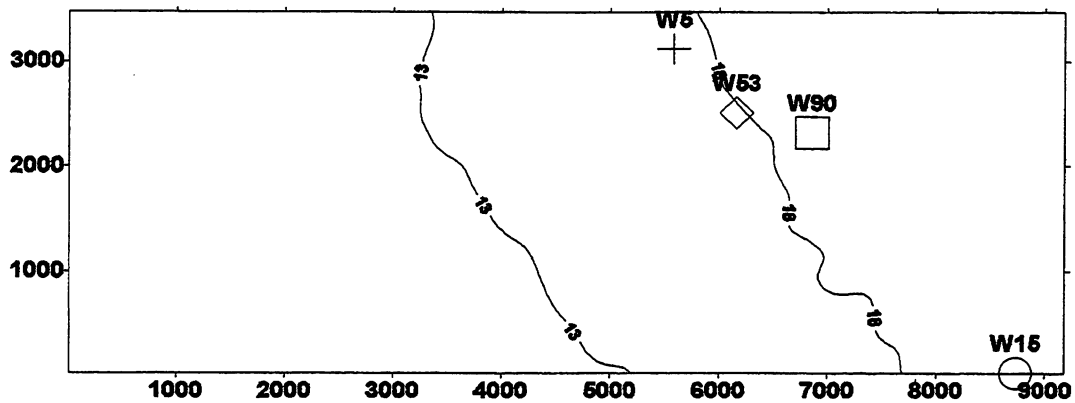

Zone1 showed No sensetivity to
Net Recharge Uden
Sensetivity to Net Recharge
through Uden
R= 0%
R=20%
R=40%
R=60%
R=100%
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00

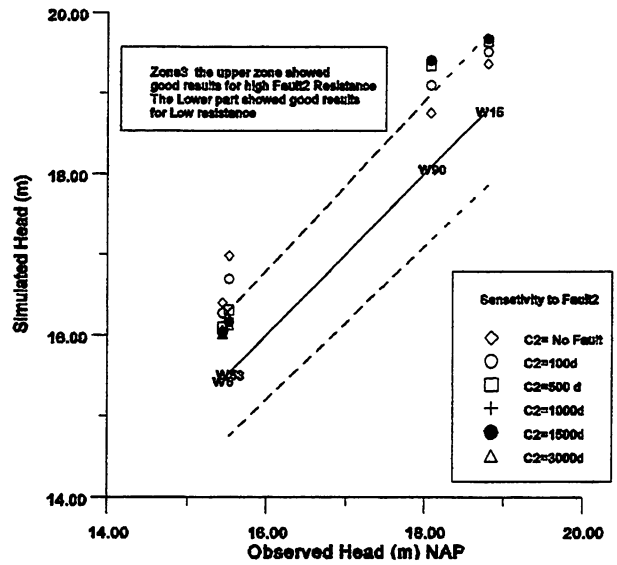

W59
W63
W10
W9
W14
13
18
3000
2000
1000
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000

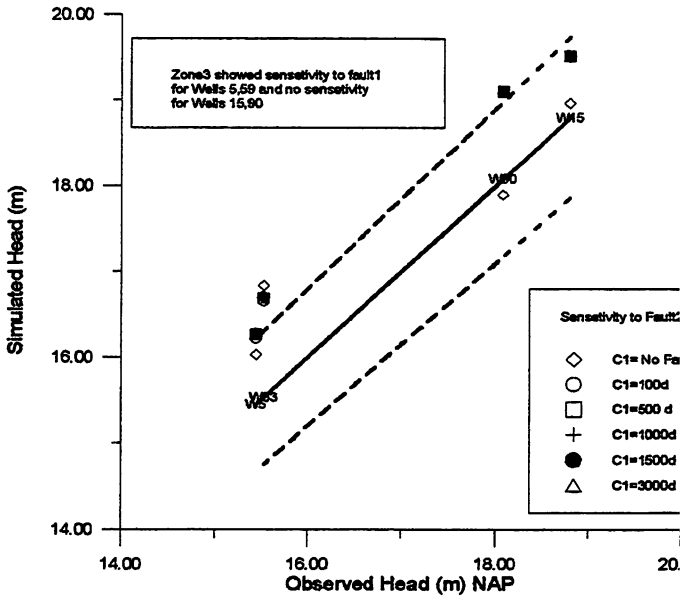

Zone2 showed sensetivity to
Net Recharge Uden
Sensetivity to Net Recharge
through Uden
R= 0%
R=20%
R=40%
R=60%
R=100%
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
W9
W59
W14
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00

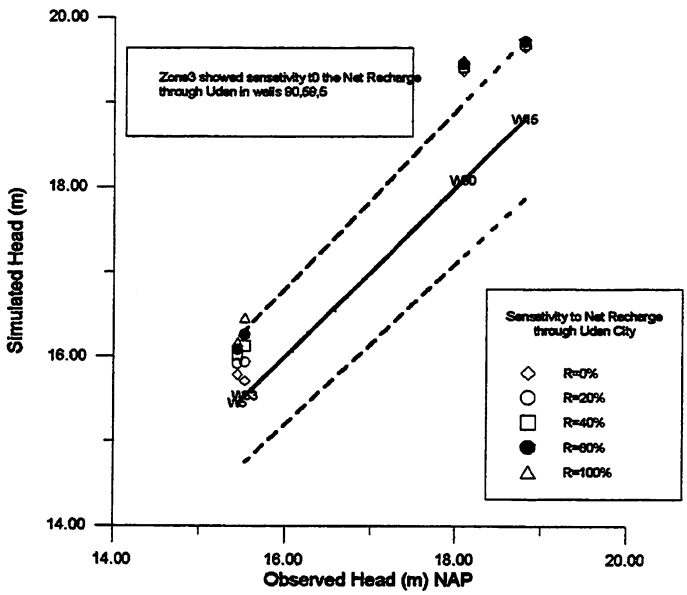

Zone2 Wells 59,14,63 Showed
Sensetivity to Fault1
Sensetivity to Fault1
C1= No Fault
C1 = 100 d
C1 = 500 d
C1 = 1000 d
C1 = 1500 d
C1 = 3000 d
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
W9
W59
W14
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00


Zone2 wells 63,14,10 showed
Sensetivity to Fault2
Sensetivity to Fault2
C2= No Fault
C2=100d
C2=500 d
C2=1000d
C2=1500d
C2=3000d
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
W9
W59
W14
6.00
8.00
10.00
12.00
14.00
16.00

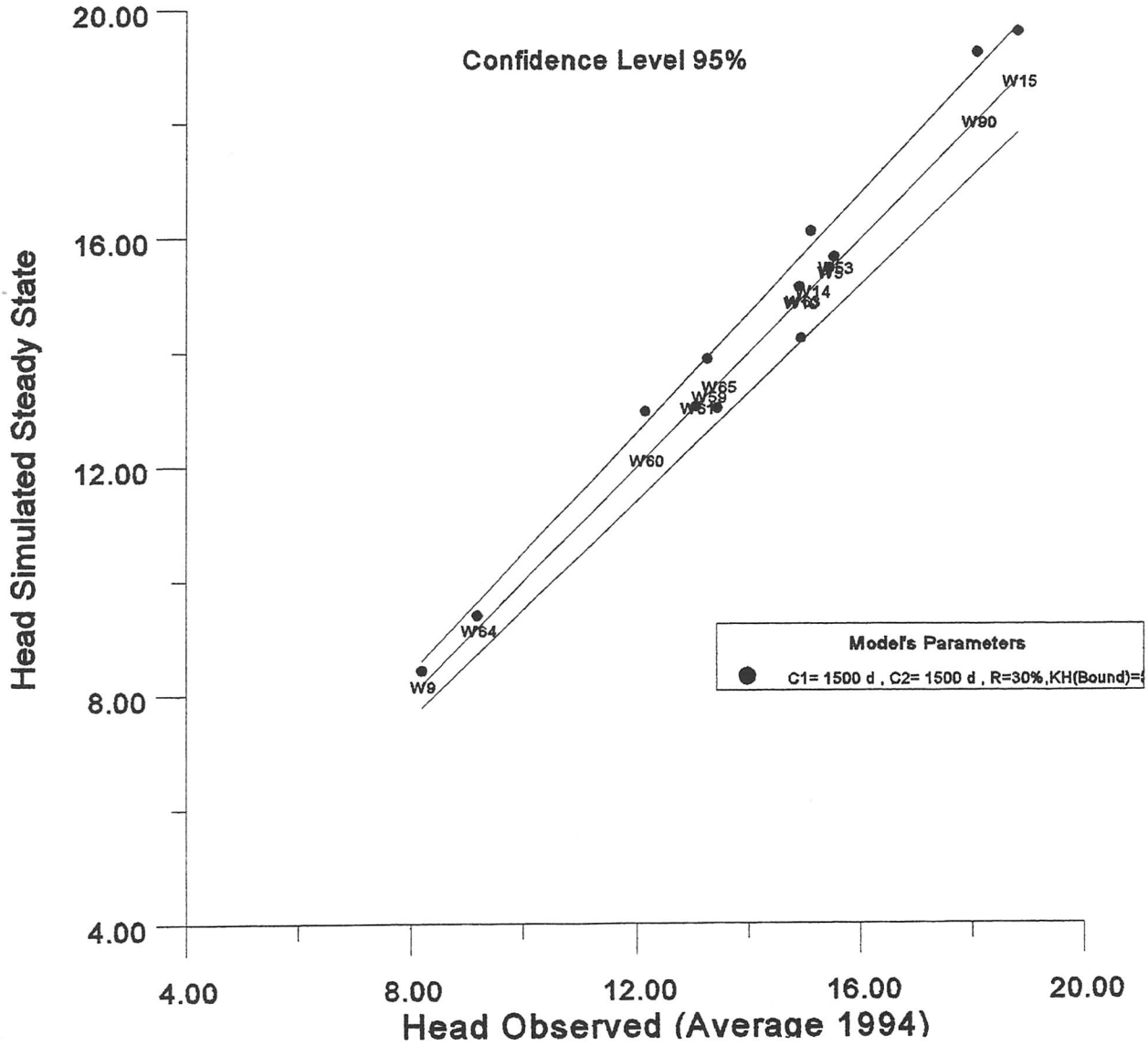

W5
W53
W90
W15
13
18
3000
2000
1000
1000
2000
3000
4000
5000
6000
7000
8000
9000


Zone3 the upper zone showed good results for high Fault2 Resistance The Lower part showed good results for Low resistance
Sensetivity to Fault2
C2= No Fault
C2=100d
C2=500 d
C2=1000d
C2=1500d
C2=3000d
W15
W90
W53
W5
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
20.00
18.00
16.00
14.00
14.00
16.00
18.00
20.00


Zone3 showed sensetivity to fault1 for Wells 5,59 and no sensetivity for Wells 15,90
Sensetivity to Fault2
C1= No Fa
C1=100d
C1=500 d
C1=1000d
C1=1500d
C1=3000d
W15
W90
W53
W5
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
20.00
18.00
16.00
14.00
14.00
16.00
18.00
20.


Zone3 showed sensetivity t0 the Net Recharge through Uden in wells 90,59,5
Sensetivity to Net Recharge through Uden City
R=0%
R=20%
R=40%
R=60%
R=100%
W15
W90
W53
W5
Simulated Head (m)
Observed Head (m) NAP
20.00
18.00
16.00
14.00
14.00
16.00
18.00
20.00

Well Id	X-Model	Y-Model	Head BS Surface	Head m	hs
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]



Water Balance Analysis

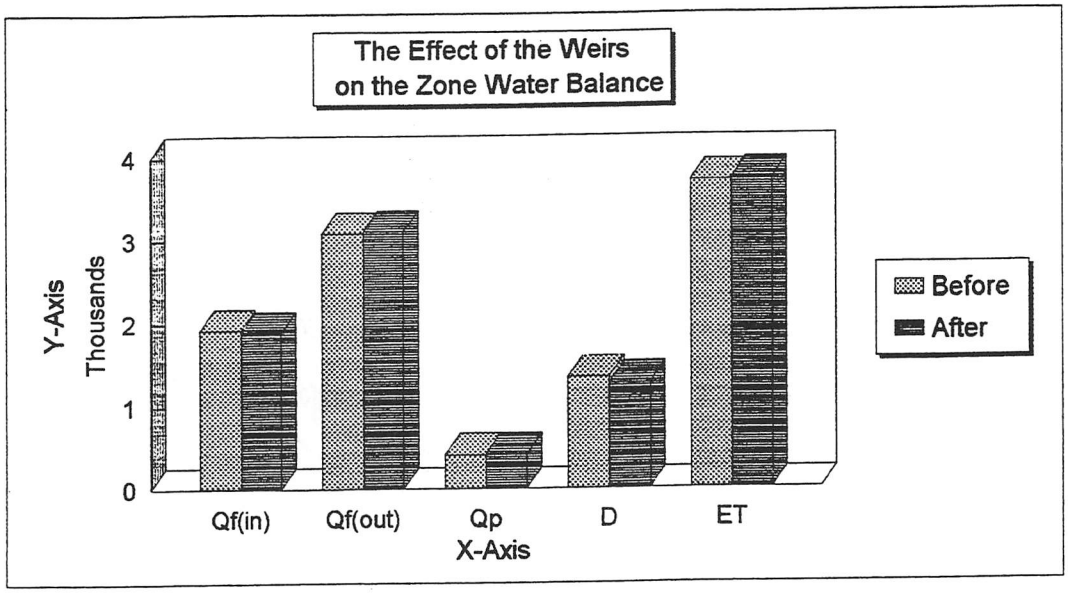
The Effect of Construction of the Weirs

ALL

Flux	Before	After
Qf	3199.4	3199.4
Qw	3127.8	3128.4
D	16139.8	16103.9
ET	28338.15	28373.3
P	50805.1	50805.1

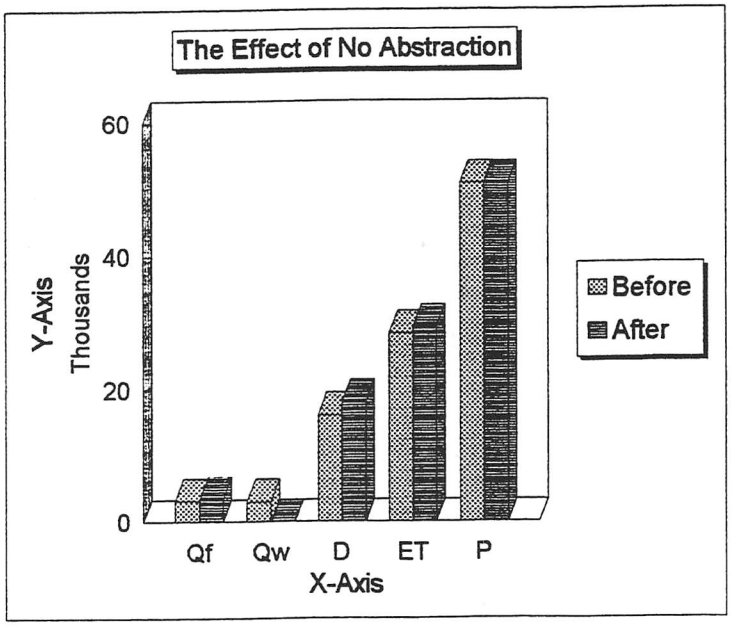
ZONE

	Before	After
Qf(in)	1920.7	1890.8
Qf(out)	3081.1	3104.8
Qp	415.5	416
D	1347.7	1271.5
ET	3702	3723.1
P	6695.4	6695.4

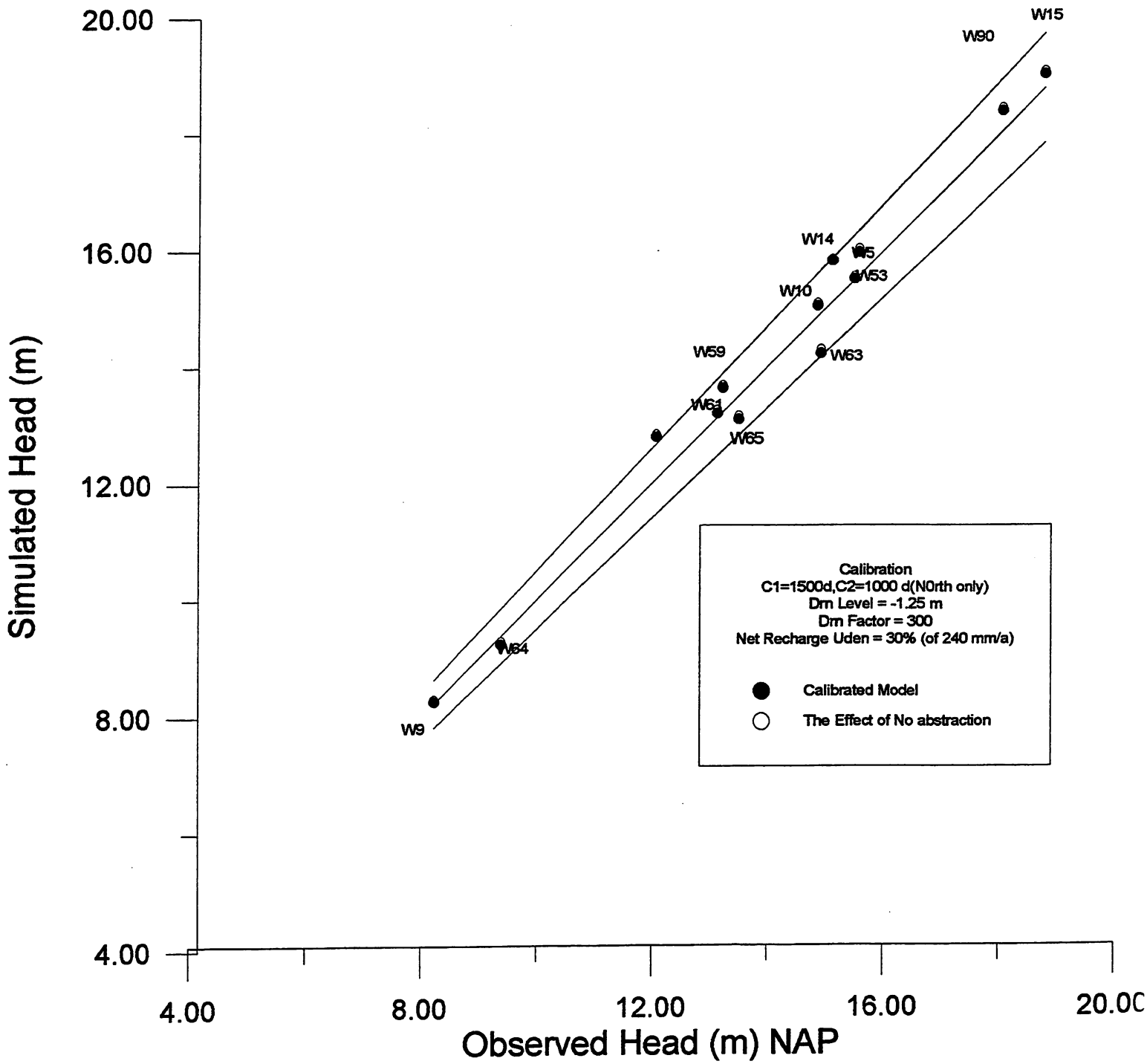


ALL

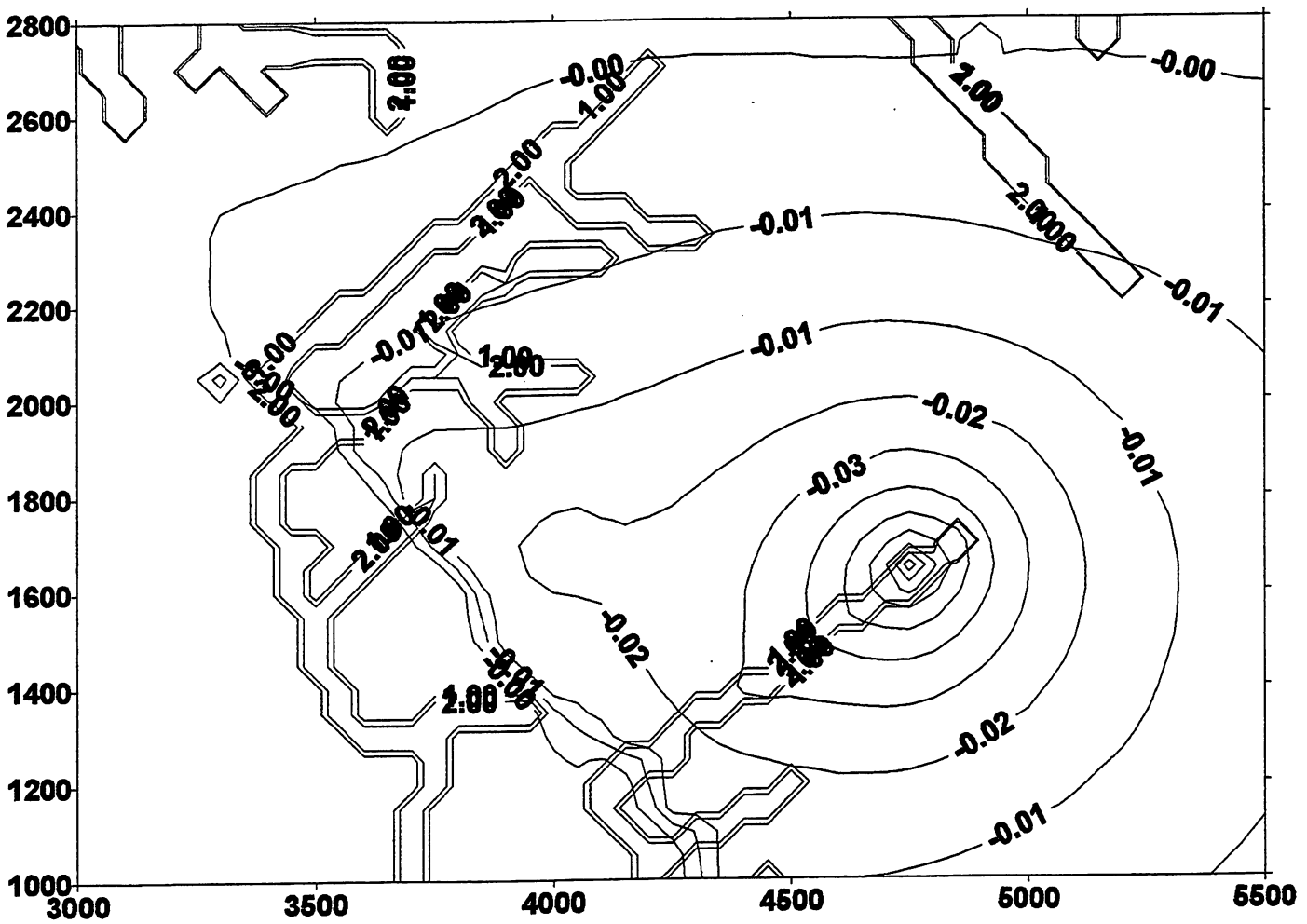
Flux	Before	After
Qf	3199.4	3495.3
Qw	3127.8	0
D	16139.8	18073.1
ET	28338.15	29236.4
P	50805.1	50805.1

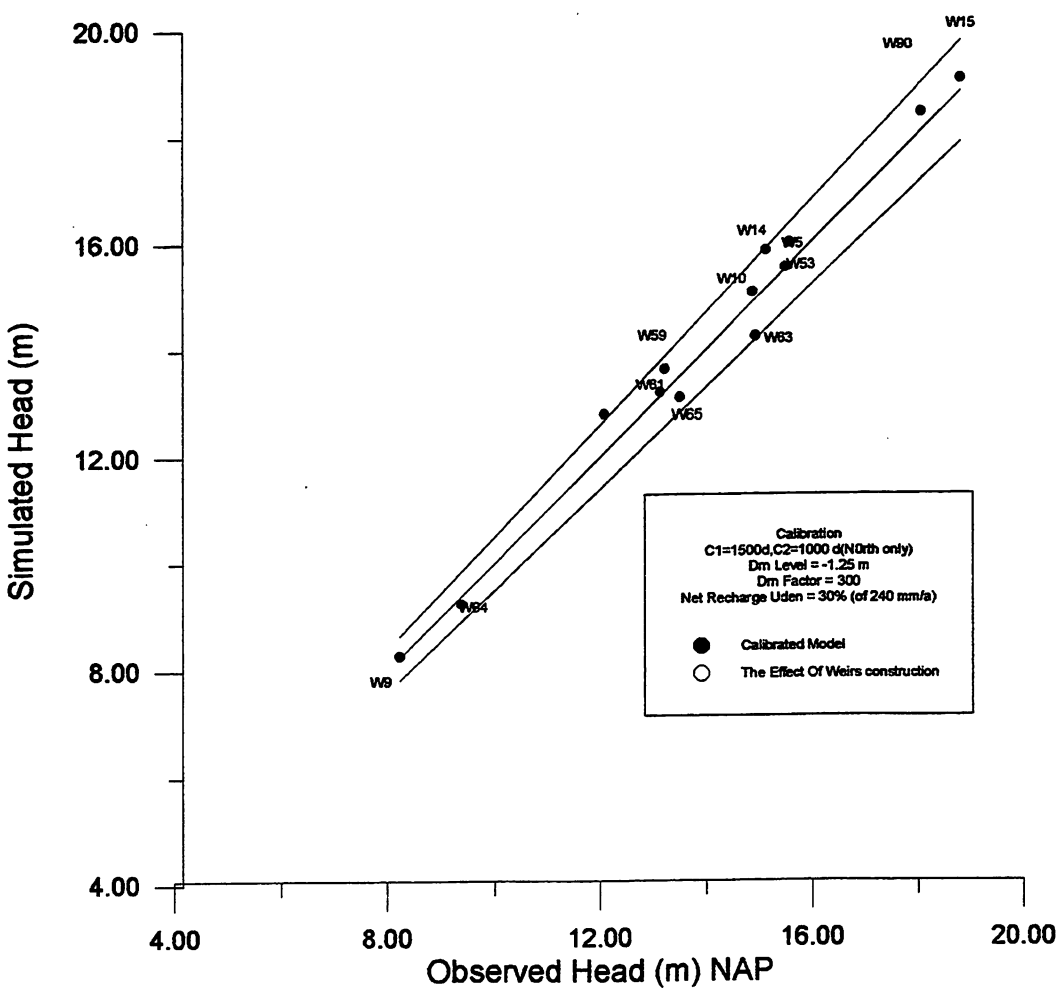


The Effect of No Abstraction

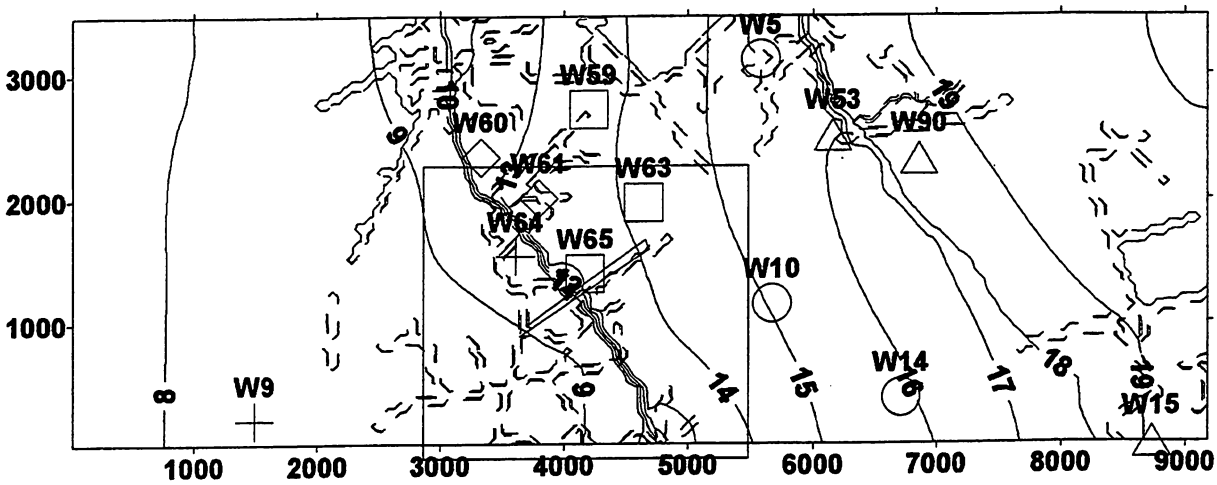


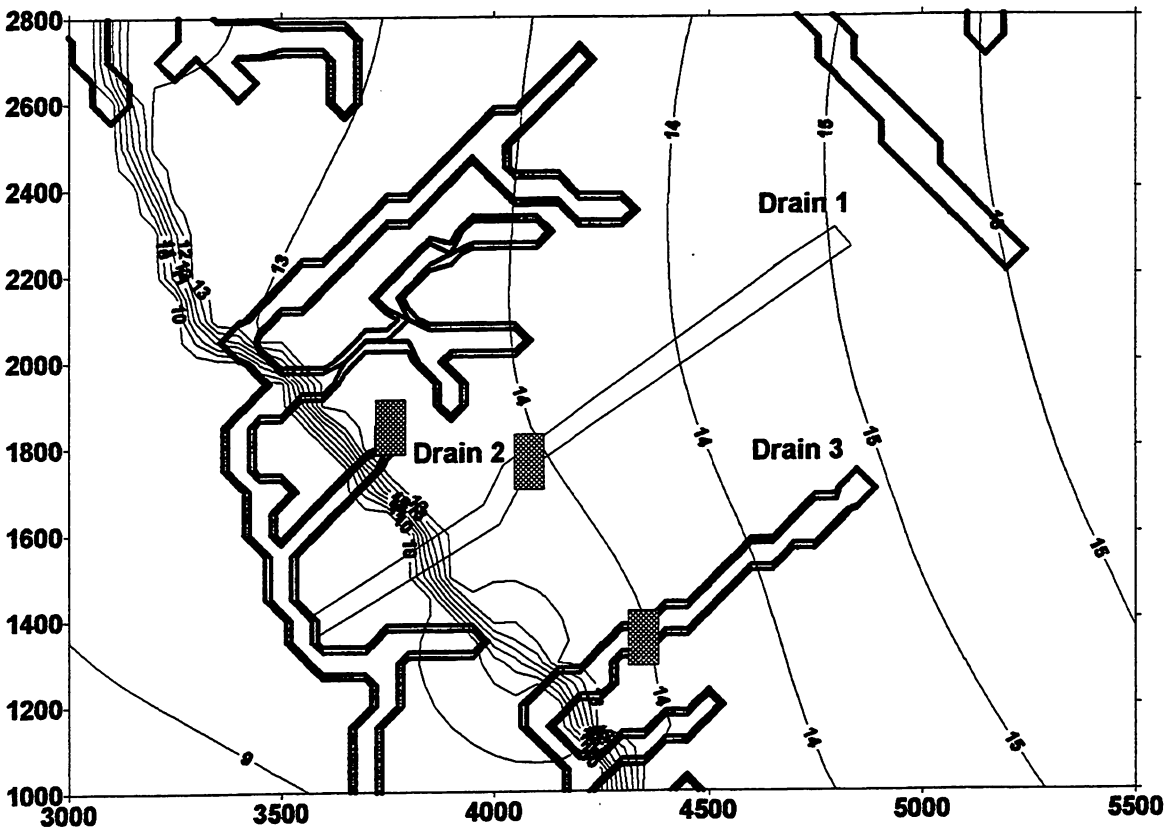
The Differance in water Level Before and After cpnstructing the Weirs





The Water Level for the zoning area at present





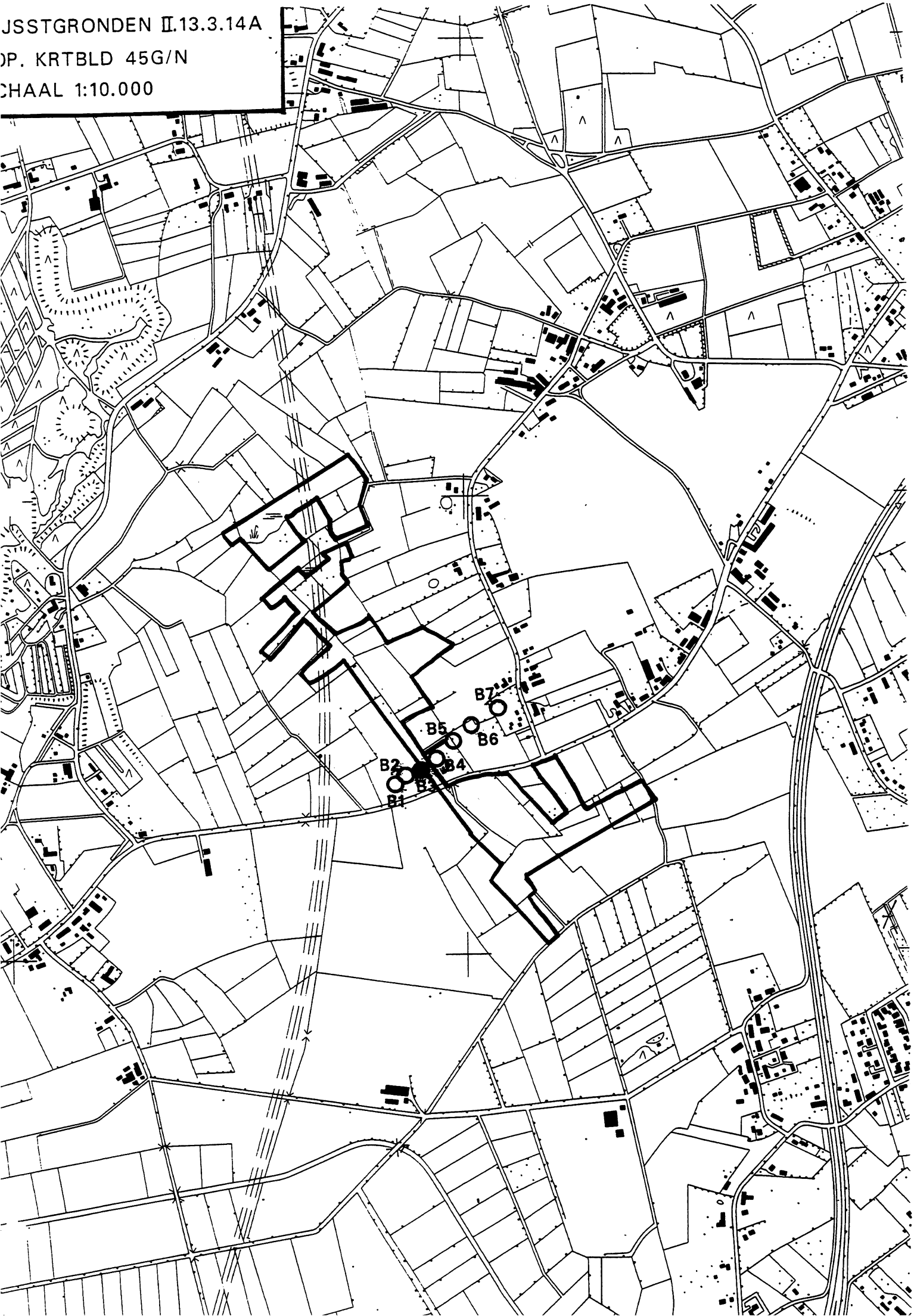
Proposed Weirs

Drains Level control

The Model calibrated at drain level= -1.25 m Below surface

Reach3 Before	Slope= After	-0.001167 Reach1 Before	After	Slope	-0.00347 Reach2 Before	After	Slope
13.83	14.58	14.81	15.36		11.5	12.25	
13.78	14.53	14.73	15.28				
13.74	14.49	14.59	15.14				
13.71	14.46	14.53	15.08				
13.71	14.46	14.2	14.75				
13.71	14.46	13.97	14.52				
13.67	14.42	13.92	14.47				
13.58	14.33	13.66	14.21				
13.56	14.31	13.62	14.17				
13.42	14.17	13.4	13.95				
13.33	14.08	13.11	13.66				
13.13	13.88	12.73	13.28				

Bijlage H Uitgewerkte meetresultaten SBB-grondwaterbuizen


JSSTGRONDEN II.13.3.14A
OP. KRTBLD 45G/N
CHAAL 1:10.000
B7
B5
B6
B2
B4
B3
B1

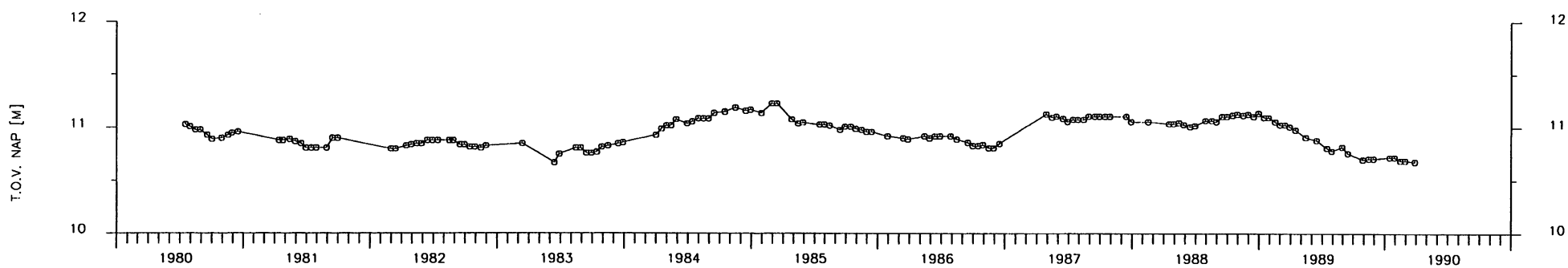
IGG-TNO ** Catalogus over de periode 01/01/00 t/m 13/06/96 ** Pagina: 1DATUM: 13/06/96

Locatie	filter Nr	filter Bovenk	filter Onderk	Begin datum	Eind datum	Administratief PRO	FRQ	EMB	PRI	VER	KRS	Technisch X-coor	Y-coor	Maaiv.	Meetp	Grndw stand	Dicht heid	Che mie	Bod. const	Waterv. pakket
45G P 7025	01	990	960	01/01/80	01/11/90	13		N	N	N	N	168870	408395	1165	J	J	N	N	N	
45G P 7026	01	1090	1060	01/01/80		13	12	N	J	N	N	168900	408400	1265	J	J	N	N	N	
45G P 7027	01	1155	1125	01/01/80	01/11/90	13		N	N	N	N	168940	408430	1330	J	J	N	N	N	
45G P 7028	01	1171	1141	01/01/80	01/11/90	13		N	N	N	N	168970	408470	1346	J	J	N	N	N	

PRO = Provincie FRQ = Frequentie EMB = Embargo PRI = Primair VER = Verplicht KRS = Kroonstambuis * = GESCHAT

B1

VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE OVER 365 DAGEN

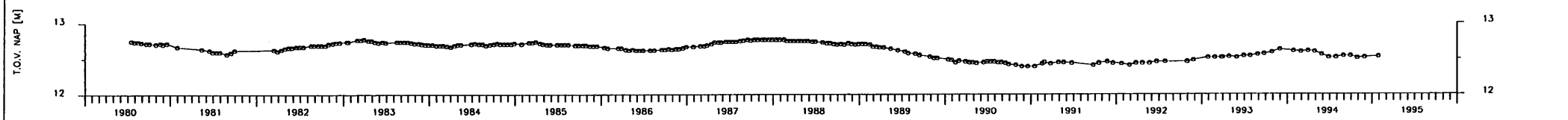


TNO AAND.	EXTERNE_AANDUIDING	X-COORD.	Y-COORD.	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45G P 7025 1	PROKO 83154105	168870	408395	990	960

SUN_INFOB

B2

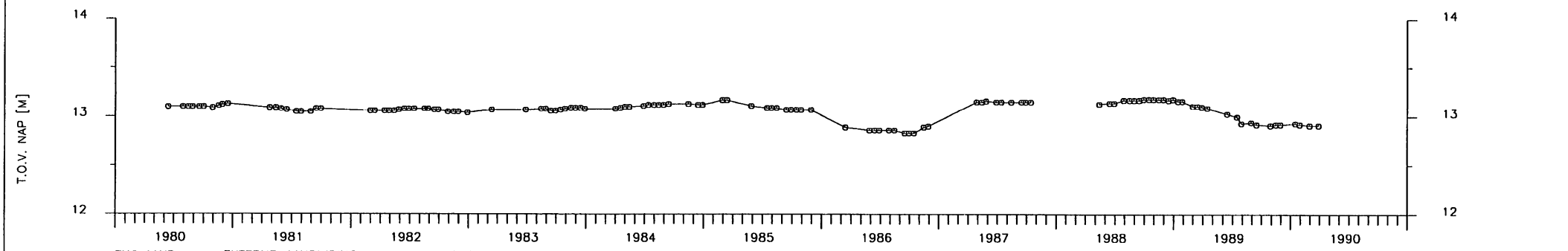
VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE OVER 365 DAGEN



TNO AAND.	EXTERNE_AANDUIDING		X-COORD.	Y-COORD.	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45G P 7026 1	PROKO	83154105	168900	408400	1090	1060

B3

VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE OVER 365 DAGEN

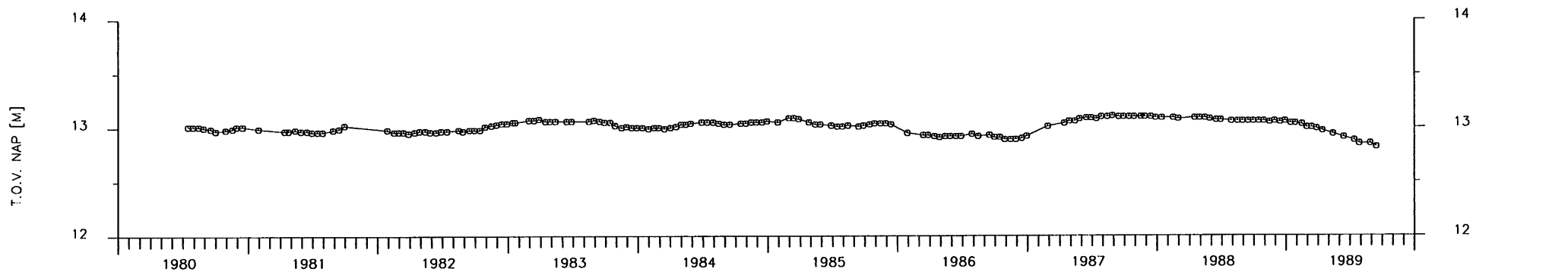


TNO AAND.		EXTERNE_AANDUIDING		X-COORD.	Y-COORD.	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45G P 7027	1	PROKO	83154105	168940	408430	1155	1125

SUN_INFOB

B4

VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELDE OVER 365 DAGEN

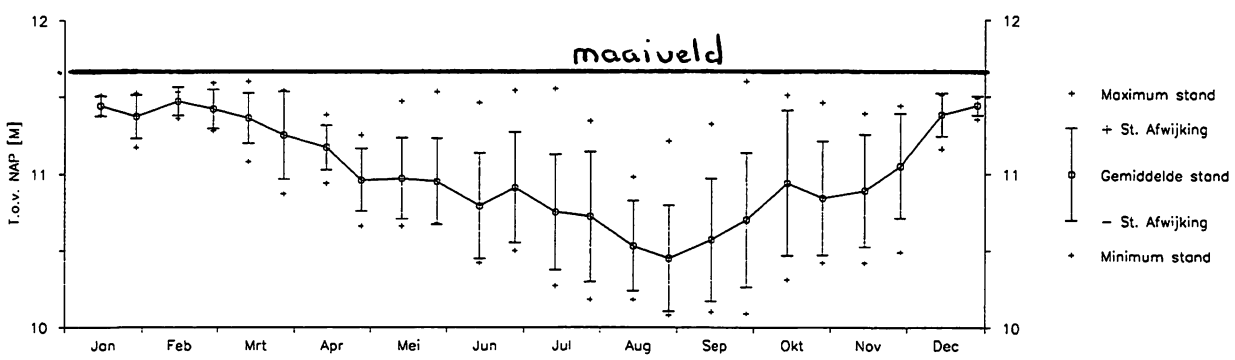


TNO AAND.	EXTERNE_AANDUIDING		X-COORD.	Y-COORD.	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45G P 7028 1	PROKO	83154105	168970	408470	1171	1141

SUN_INFOB

B1

Regime curve van 01/01/1980 t/m 13/06/1996

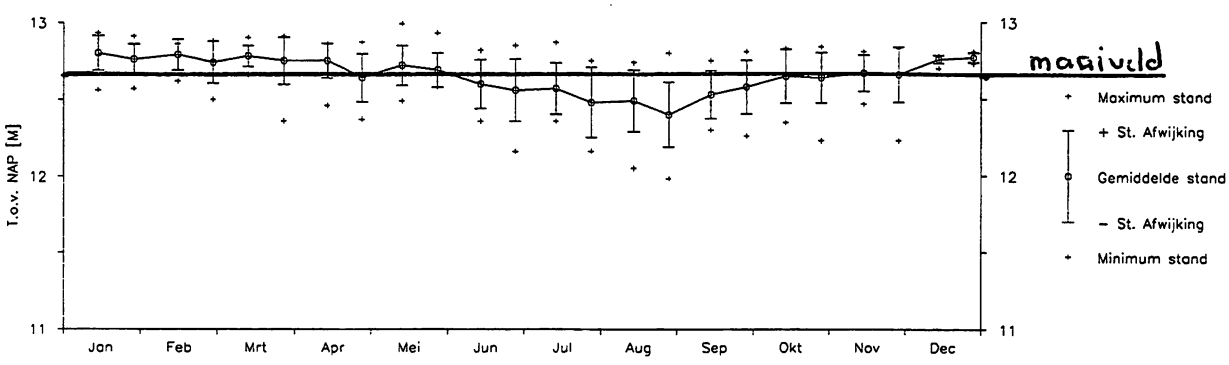


TNO AAND	EXTERNE AANDUIDING	X COORD	Y COORD	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45GP702501	PROKO 83154105	168870	408395	990	960

SUN_INFOB

B2

Regime curve van 01/01/1980 t/m 13/06/1996

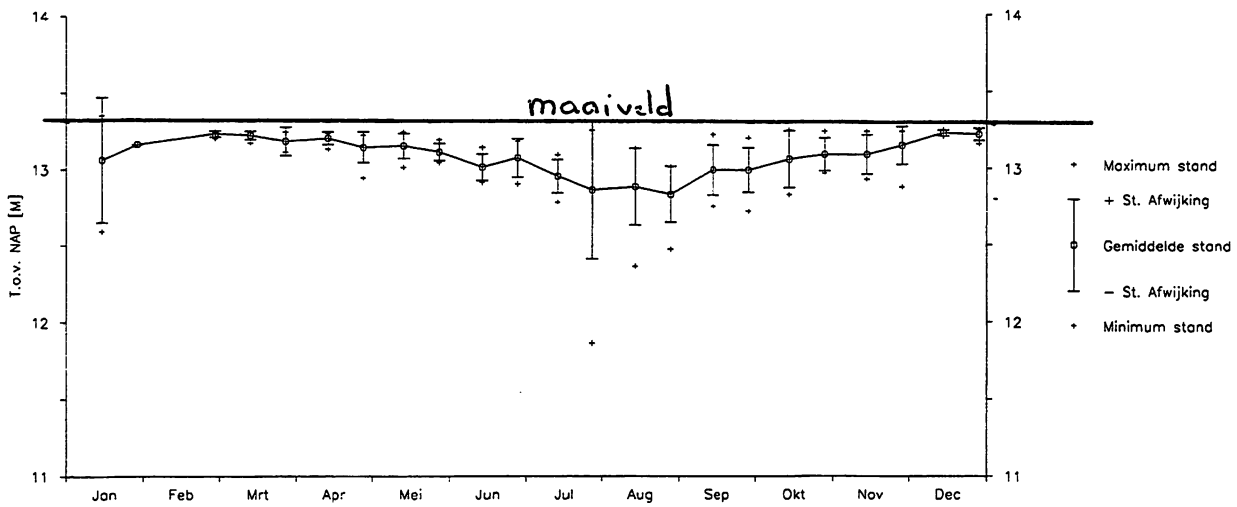


TNO AAND	EXTERNE AANDUIDING	X COORD	Y COORD	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45GP702601	PROKO 83154105	168900	408400	1090	1060

SUN_INFOB

B3

Regime curve van 01/01/1980 t/m 13/06/1996

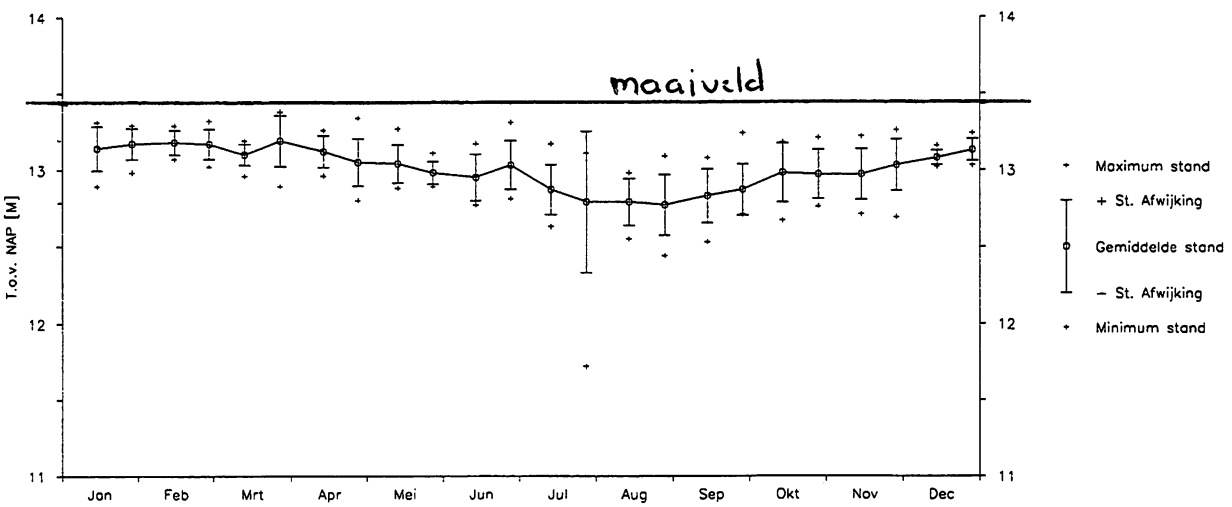


TNO AAND	EXTERNE AANDUIDING	X COORD	Y COORD	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45GP702701	PROKO 83154105	168940	408430	1155	1125

SUN_INFOB

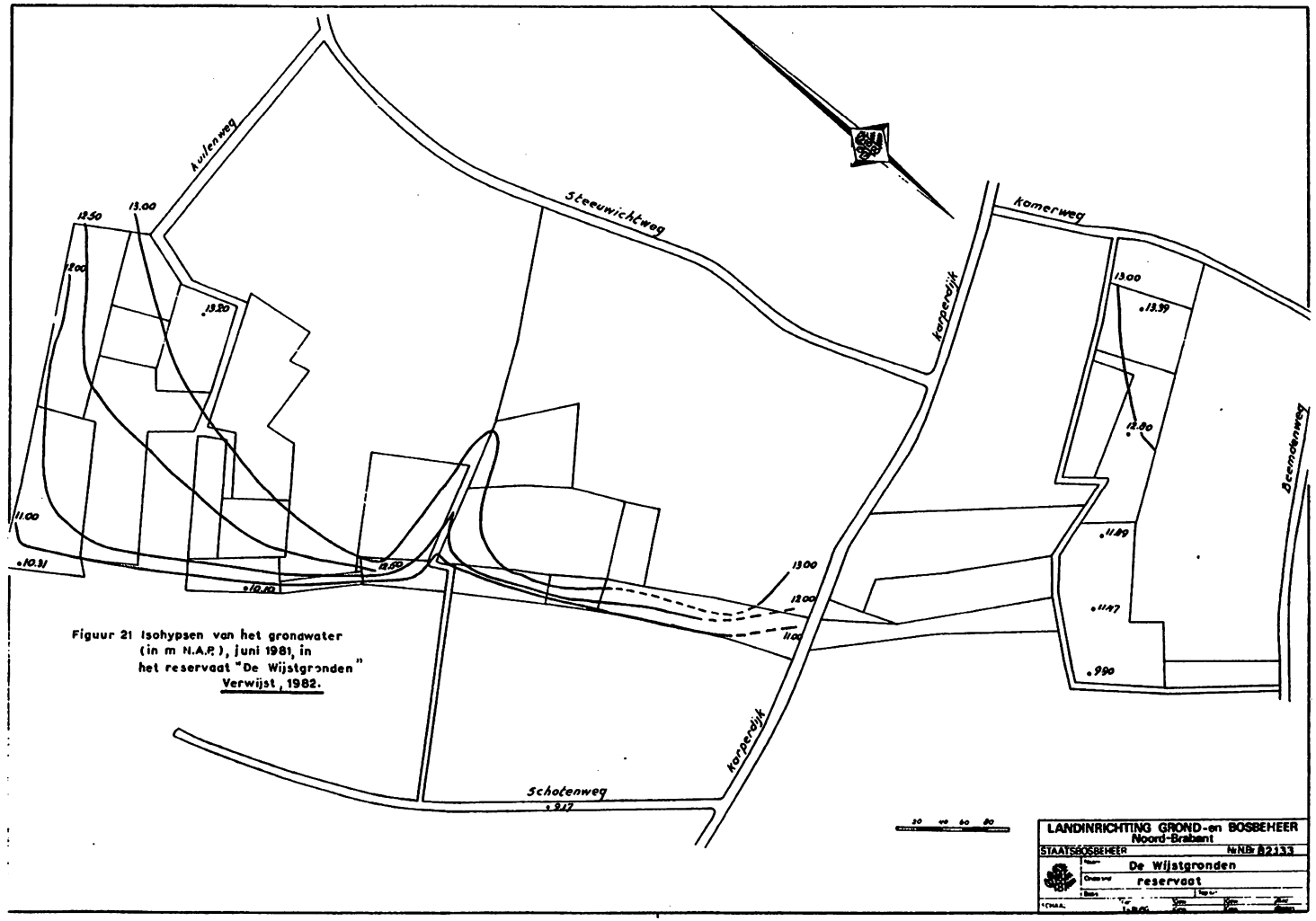
B4

Regime curve van 01/01/1980 t/m 13/06/1996



TNO AAND	EXTERNE AANDUIDING	X COORD	Y COORD	BOVENK.FILTER	ONDERK.FILTER
45GP702801	PROKO 83154105	168970	408470	1171	1141

SUN_INFOB



Figuur 21 Isohypsen van het grondwater (in m N.A.P.), juni 1981, in het reservaat "De Wijstgronden" Verwijst, 1982.