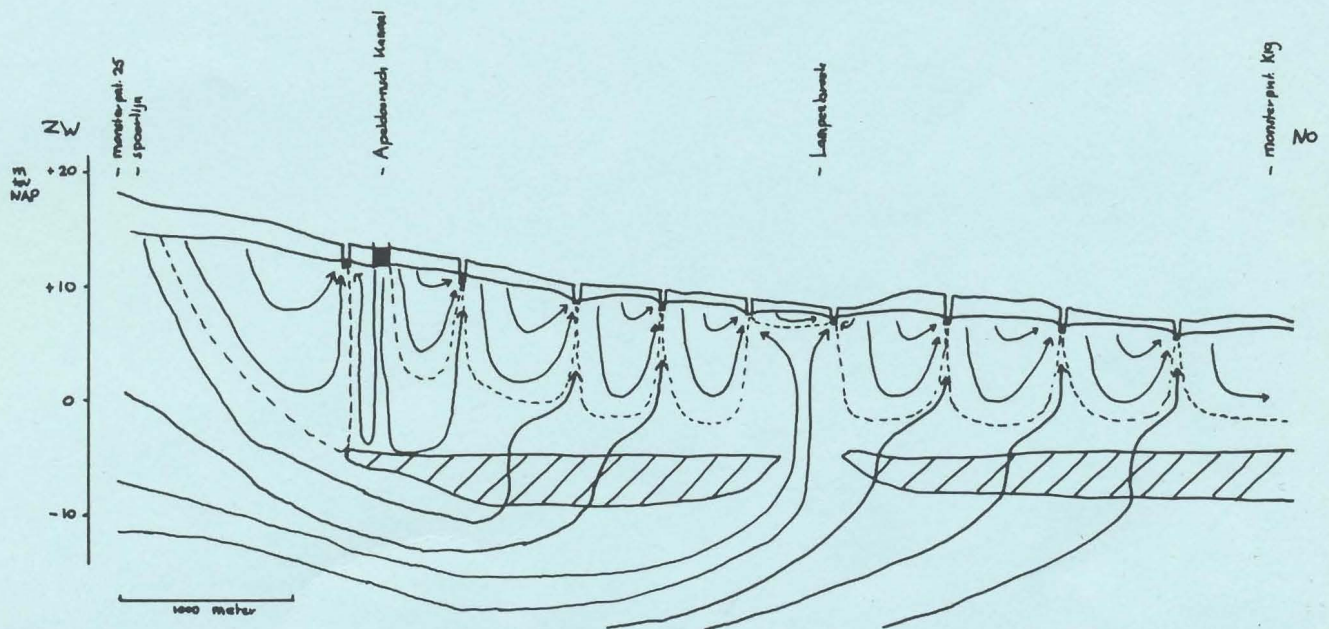


# Hydrologische Systemanalyse rond Lampenbroek

(ten zuiden van Klarenbeek, Gelderland)

## EINDRAPPORT



Martin Cadée

Vereniging Natuurmonumenten

Vakgroep Fysische Geografie  
Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen  
Universiteit Utrecht

oktober, 1994



# **Hydrologische Systemanalyse rond Lampenbroek**

**(ten zuiden van Klarenbeek, Gelderland)**

**EINDRAPPORT**

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van Vereniging Natuurmonumenten en stond daar onder leiding van ir. N.G.J. Straathof. Het viel binnen het kader van het studieonderdeel doctoraalveldwerk van de studie fysische geografie aan de Universiteit van Utrecht (contactpersoon: dr. W. Bleuten).



## INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	7
2. GEBIEDSBESCHRIJVING	8
2.1 Ligging	8
2.2 Hydrogeologie	8
2.3 Hoogteligging en reliëf	9
2.4 Hydrologie	10
2.4.1 Het grondwaterstromingsstelsel	11
2.4.2 Oppervlaktewaterlopen	12
2.5 Hydrochemie	13
2.5.1 Grondwatersamenstelling in het grondwaterstromingsstelsel	13
2.5.2 Chemische samenstelling oppervlaktewater	14
2.6 Bodem, landgebruik en vegetatie	15
3. WERKWIJZE	16
4. HYDROCHEMISCH ONDERZOEK	17
4.1 Werkwijze	17
4.2 Kwaliteit chemische data	17
4.3 Resultaten chemische analyse grondwater	18
4.4 Resultaten chemische analyse oppervlaktewater	23
4.5 Discussie met betrekking tot grondwaterstromingspatroon	24
5. VERKENNENDE BEREKENINGEN	28
5.1 De kwel rond Lampenbroek	28
5.1.1 Momentane kwelflux in veldperiode	29
5.1.2 Berekening momentane kwelflux uit stijghoogteverschil over Eemklei	30
5.1.3 Berekening gemiddelde kwelflux in regionaal model	30
5.1.4 Berekening gemiddelde kwelflux uit dikte neerslagbel	33
5.1.5 Conclusie	35
5.2 De wegzijging uit het Apeldoornsch Kanaal	35
6. NUMERIEKE MODELLERING	36
6.1 Inleiding	36
6.2 Opzet model	36
6.3 Calibratie en beschrijving modelresultaten	37
6.4 Conclusie	41
7. DISCUSSIE	42
8. CONCLUSIE	44

APPENDIX A: Locale hydrologie - seizoenseffecten	46
APPENDIX B: Grondwaterontwikkeling	48
B.1 Grondwaterontwikkeling	48
B.2 Effecten van bemesting	50
LITERATUURLIJST	52
DANK...	55

## BIJLAGEN

- Bijlage 1: Meetnet grond- en oppervlaktewater
- Bijlage 2: Hoogtekaart
- Bijlage 3: Overzicht chemische analyses grond- en oppervlaktewater
- Bijlage 3a: Concentratieveranderingen grondwater ten opzichte van ingedampde neerslag
- Bijlage 4: Staaftogrammen korte termijn variatie grondwatersamenstelling
- Bijlage 5: Chemische data grondwater uitgezet tegen afstand langs raai
- Bijlage 6: Chemische data oppervlaktewater uitgezet tegen afstand langs beek
- Bijlage 7: Grondwaterstandsgegevens
- Bijlage 8: Beschrijving modelrooster

## LIJST VAN FIGUREN

- Figuur 1.1: Ligging van het reservaat Lampenbroek.  
Figuur 2.1: Geologisch profiel.  
Figuur 2.2: Hydrogeologisch profiel met een globale schatting van de geohydrologische eigenschappen van de verschillende pakketten.  
Figuur 2.3: a. Isohypsenpatroon 28 april 1978.  
b. Isohypsenpatroon 28 augustus 1978.  
Figuur 2.4: Grondwaterstromingsystemen.  
Figuur 2.5: Waterlopen.  
Figuur 4.1: Vergelijking pH-veld en pH-lab.  
Figuur 4.2: Samenvatting resultaten chemische analyse grondwater - monsters langs raai.  
Figuur 4.3: Stiff-diagrammen grondwater Lampenbroek.  
Figuur 4.4: Overzicht belangrijkste resultaten hydrochemisch onderzoek en belangrijkste conclusies met betrekking tot het grondwaterstromingspatroon.  
Figuur 5.1: Waterbalans freatisch grondwater.  
Figuur 5.2: a. Model regionale grondwaterstroming ter berekening gemiddelde kwelflux.  
b. Ligging modelprofielen.  
Figuur 5.3: Berekende plaats uittreden diepe kwel als functie van verticale grondwateraanvoer.  
Figuur 5.4: Effect relatieve toename diepe grondwateraanvoer op dikte neerslagbel.  
Figuur 5.5: Berekende plaats uittreden diepe kwel als functie van verticale grondwateraanvoer: 'gat in Eemklei'.  
Figuur 5.6: Model voor berekening kwelflux uit dikte neerslagbel.  
Figuur 5.7: Kwel en wegzijging langs het Apeldoornsch Kanaal.  
Figuur 6.1: Geïnterpoleerde en aangepaste bovenrandvoorwaarden FLOWNET.  
Figuur 6.2: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 1.  
Figuur 6.3: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 2 - gat in Eemklei.  
Figuur 6.4: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 3 - aangepaste doorlatendheden.  
Figuur 6.5: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 4 - invloed Apeldoornsch Kanaal.  
Figuur 8.1: Gemiddeld grondwaterstromingspatroon onderzoeksgebied.  
Figuur A.1: Het grondwaterstromingspatroon in zomer- en winterperiode en het gevolg daarvan voor de beweging van waterdeeltjes door de ondergrond.  
Figuur A.2: Relaties tussen de grondwaterstand en: a) de afstand tussen de watervoerende waterlopen; b) de totale hoeveelheid via het oppervlaktewaterafgevoerd grondwater; c) de drainage weerstand.  
Figuur A.3: Het effect van het droogvallen van de detailontwatering op een tijd-stijghoogtelijn in een lokaal systeem.  
Figuur B.1: Verandering van de grondwatersamenstelling door de opeenvolging van oxidatie-reductie reacties.

## LIJST VAN TABELLEN

- Tabel 2.1: Belangrijkste gegevens chemische samenstelling grond- en oppervlaktewater.  
Tabel 4.1: Vergelijking chemische samenstelling grondwater Lampenbroek en grondwater onder Eemklei.  
Tabel B.1: Chemische samenstelling neerslag vóór 1940 (Leeflang, 1938) en rond 1980 en het berekende effect van indamping en nitrificatie (Appelo, 1985).





## 1. INLEIDING

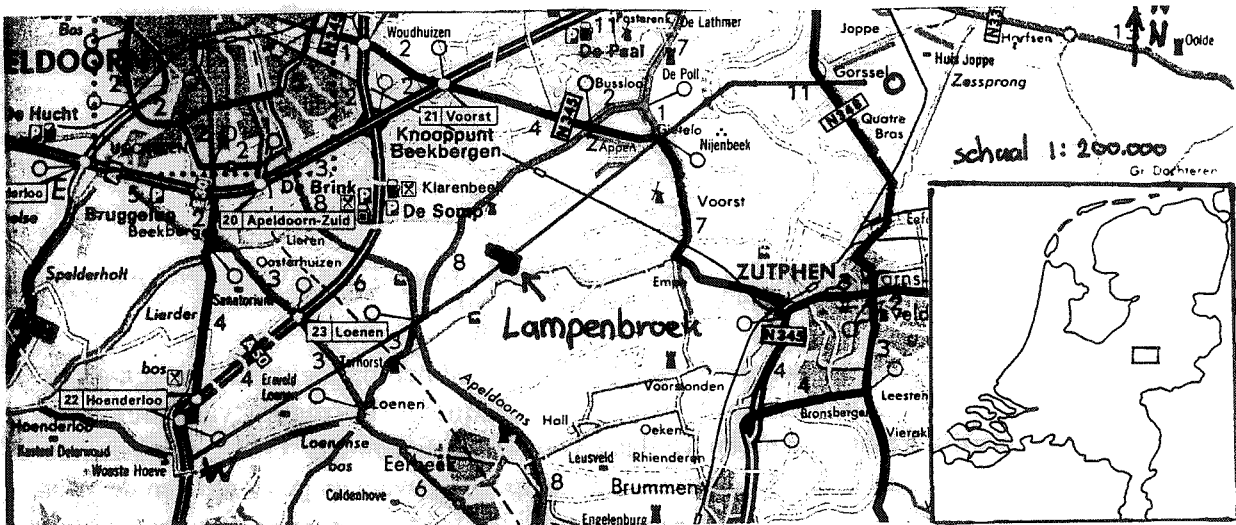
In het kader van de Ruilverkaveling Brummen-Voorst zal de oppervlakte reservaatgronden worden uitgebreid (Centrale Cultuurtechnische Commissie, 1985). Hierbij wordt natuurontwikkeling in de richting van soortenrijk hooiland voorgestaan. De uitbreiding zal zich onder andere concentreren rond Lampenbroek; een terrein van Vereniging Natuurmonumenten (zie figuur 1.1). Dit ca. 30 ha. grote reservaat bestaat uit botanisch waardevolle hakhoutbosjes en schrale hooilanden. In het gebied treedt nog altijd kwel op, afkomstig van westelijker gelegen infiltratiegebieden (Bakker & Lichthart, 1976).

Een goed inzicht in de hydrologische situatie van het gebied is noodzakelijk voor de landinrichting en voor eventuele natuurontwikkeling in het bijzonder. Voor de iets zuidelijker gelegen Empese en Tondense Heide (tevens van Vereniging Natuurmonumenten) is deze situatie redelijk bekend (oa. van Ganswijk et. al., 1988; Hendriks, 1988; van Walsum, 1992). Dit inzicht ontbrak voor het gebied rond Lampenbroek. Het hier gepresenteerde onderzoek had tot doel dit inzicht te vergroten, met name ten behoeve van de toekomstige beheersplanning. Dit is gebeurd aan de hand van de volgende vraagstellingen:

1. a. Wat zijn de hydrologische relaties in het gebied rond Lampenbroek?
- b. Wat is de herkomst van het in Lampenbroek opkwellende water?
2. Wat zijn de huidige grootte en kwaliteit van de kwelflux in Lampenbroek en hoe zullen deze zich in de toekomst waarschijnlijk ontwikkelen?

In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van het onderzoeksgebied. Daarna wordt in hoofdstuk 3 beschreven hoe met hydrochemisch en hydrologisch onderzoek is getracht op bovenstaande vragen antwoord te vinden.

Het hydrochemisch onderzoek leidt tot een globaal beeld van het grondwaterstromingspatroon (hoofdstuk 4). In hoofdstuk 5 wordt door middel van berekeningen en literatuuronderzoek een schatting gemaakt van de kwelflux rond Lampenbroek en de wegzijgingsflux uit het Apeldoornsch Kanaal. Daarna is getracht de regionale grondwaterstroming te simuleren met behulp van een numeriek grondwaterstromingsmodel (hoofdstuk 6). In hoofdstuk 7 volgt een discussie waarin de verschillende resultaten met elkaar en met eerdere onderzoeken worden vergeleken. Hoofdstuk 8 geeft uiteindelijk een compilatie van de belangrijkste onderzoeksresultaten.



Figuur 1.1: Ligging van het reservaat Lampenbroek. (tevens ligging profiellijn figuren 2.1, 2.2 en 2.4)

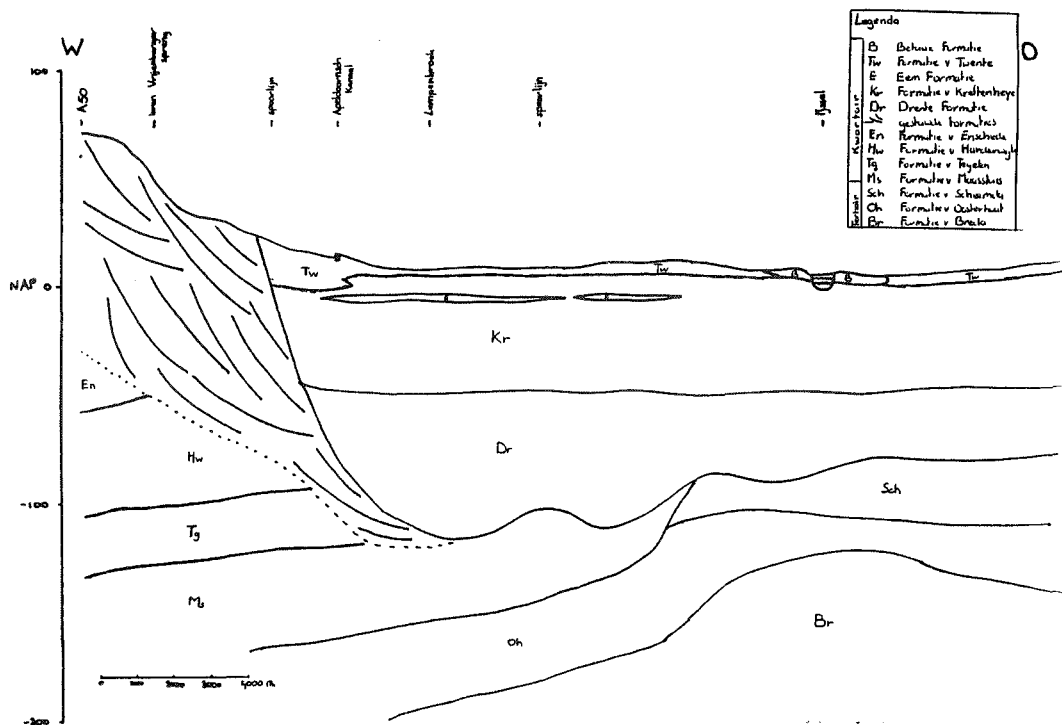
## 2. GEBIEDSBESCHRIJVING

### 2.1 Ligging

Het onderzoeksgebied ligt rond het reservaat Lampenbroek. Dit terrein van Vereniging Natuurmonumenten ligt ca. één kilometer ten zuiden van Klarenbeek, Gelderland (figuur 1.1).

### 2.2 Hydrogeologie

De geologische opbouw rond het onderzoeksgebied wordt geschetst in een profiel ongeveer haaks op de isohypsen (figuur 2.1). In het late Tertiair werden hier in marien milieu overwegend zandige kleien en fijne zanden afgezet (Formaties van Breda en Oosterhout). Gedurende het vroeg en midden Pleistoceen zetten rivieren hierop dikke pakketten zand (Formaties van Harderwijk, Enschede en Urk) en klei (Formatie van Tegelen) af. Tijdens het Saale-glaciaal drong een gletsjertong het gebied van de huidige IJsselvallei binnen. Deze schuurde enerzijds een diep bekken uit en stuwde anderzijds de fluviaatiele zanden op tot de stuwwallen van de Veluwe. Op de bodem van dit dal werd onder het ijs keileem afgezet

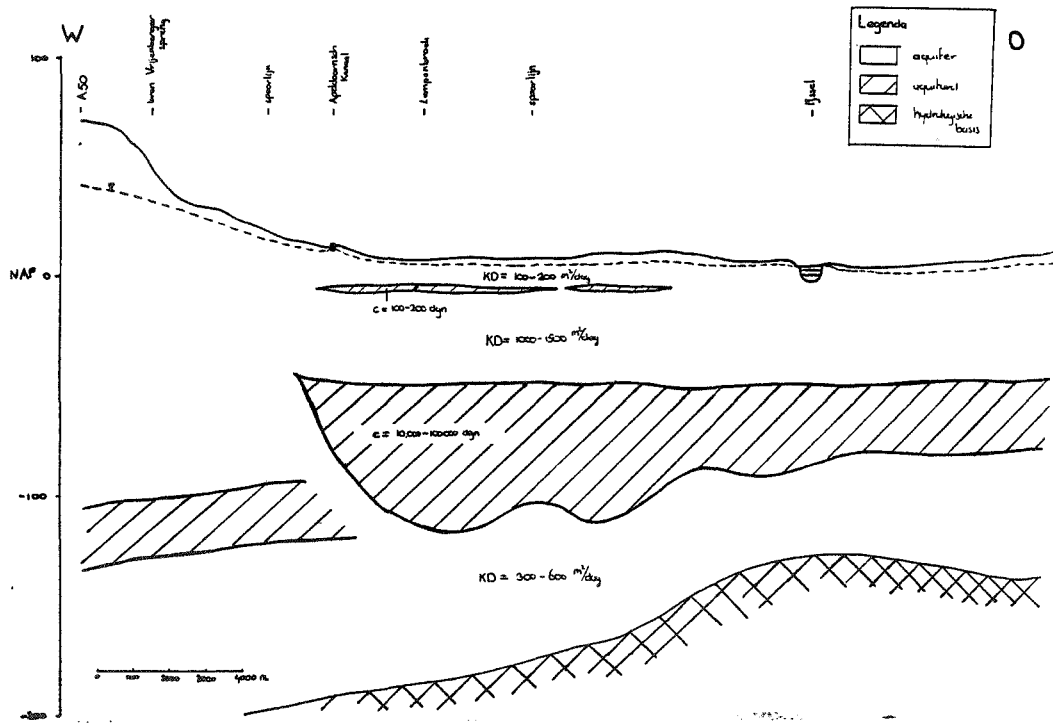


Figuur 2.1: Geologisch profiel. Ligging profiellijn is weergegeven in figuur 1.1. (naar RGD, 1975; Aelmans, 1983; Brouwer & Hoogendoorn, 1986 en Hoogendoorn, 1990a)

(Formatie van Drente). Tijdens het wegsmelten van het ijs werd het tongbekken voor een groot deel opgevuld met fluvioglaciale en later fluviaatiele afzettingen (Formaties van Drente en Kreftenheye). Plaatselijk komt hierin een kleilaag voor (Eem Formatie). Onder periglaciaire condities werden in het begin van het Weichselien daluitspoelingswaaiers gevormd aan de voet van het Veluwemassief. Midden en laat Weichselien werd het bekken afgedekt door een enkele

meters dik pakket fijne, soms lemige zanden van eolische oorsprong (Formatie van Twente). Het oppervlak van de dekzanden is licht golvend. Tijdens het Holoceen was dit oppervlak op verscheidene plaatsen slecht gedraineerd en vormde zich veen.

In figuur 2.2 is de hydrogeologie van het profiel in figuur 2.1 weergegeven. Volgens Aelmans (1983) moet de Tertiare klei van de Formanties van Breda en Oosterhout als hydrologische basis worden beschouwd. De klei van de Formatie van Tegelen, de keileem van de Formatie van Drente en de klei van de Eemformatie zijn slecht doorlatend. De overige in het gebied aanwezige afzettingen zijn overwegend zandig en worden als watervoerend beschouwd. Grote rivierzanden van de gestuwde formaties en de Formaties van Drente en Kreftenheye zijn goed doorlatend. Het fijne dekzand is matig doorlatend.



Figuur 2.2: Hydrogeologisch profiel met een globale schatting van de geohydrologische eigenschappen van de verschillende pakketten. Tevens is de gemiddelde hoogte van het freatische vlak weergegeven. (naar Aelmans, 1983; Brouwer & Hoogendoorn, 1986; Hoogendoorn, 1990a en IWACO, 1992)

Al met al leidt dit tot het volgende hydrogeologische beeld: In vrijwel het gehele profiel zijn er twee watervoerende pakketten. Ten westen van het Apeldoornsch Kanaal vormt de kleilaag van de Formatie van Tegelen de scheidende laag. Ten oosten van het Apeldoornsch Kanaal is de 30 tot 50 m dikke laag Drenteklei de scheidende laag. De Tegelenklei en de Drenteklei sluiten niet op elkaar aan. Daardoor is er ter plekke van het Apeldoornsch Kanaal een verbinding tussen de twee watervoerende pakketten. In het centrale deel van het profiel verdeelt de enkele meters dikke Eemklei het bovenste watervoerende pakket in twee delen. In dit gebied is sprake van drie watervoerende pakketten. Hydrologische eigenschappen van de verschillende lagen en pakketten zijn weergegeven in figuur 2.2.

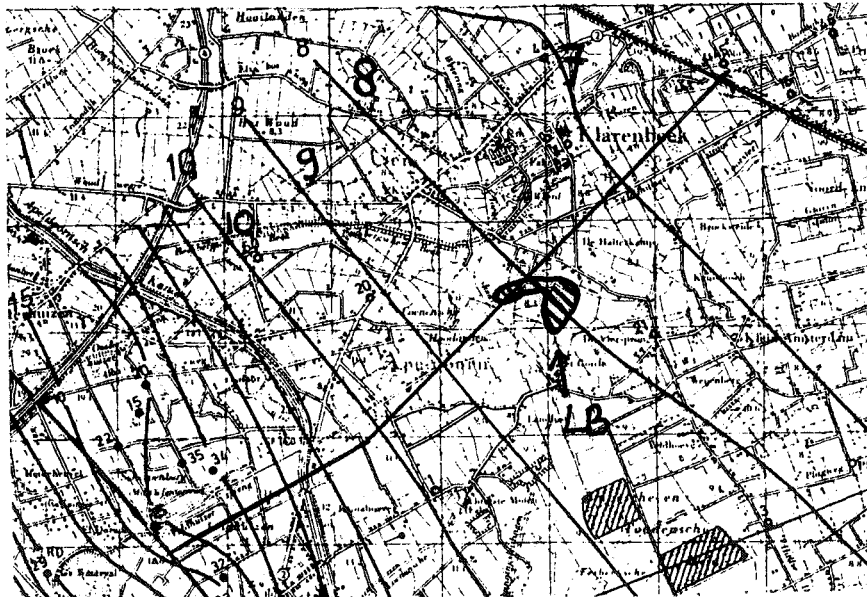
### 2.3 Hoogteligging en reliëf

Een hoogtekarta van het onderzoeksgebied is opgenomen in bijlage 2. De algemene terreinhelling is WZW-ONO. Met een helling van maximaal 3 m per 1000 m neemt de hoogteligging in het zuid-westelijke deel af van ca. 17 m + NAP tot ca. 10 m + NAP. Ter plaatse van de

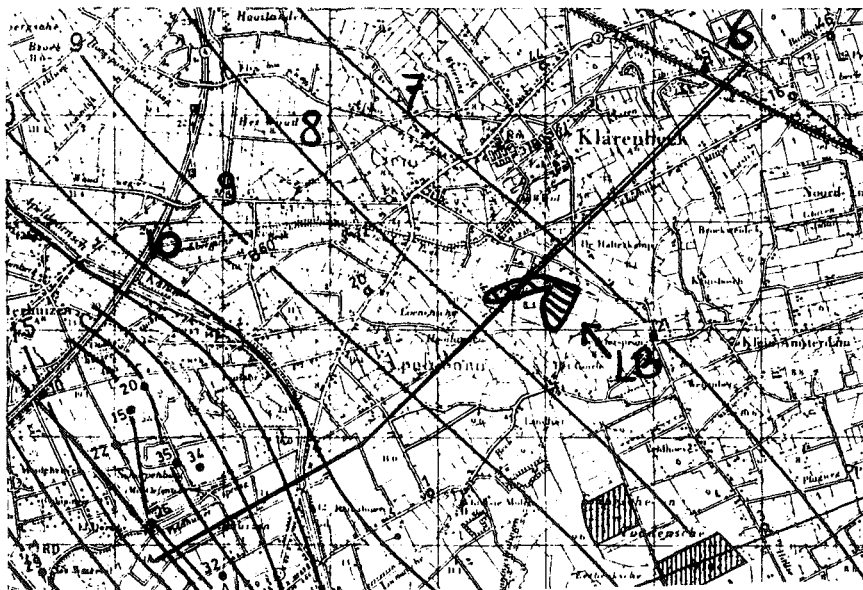
Loenensche Hooilanden, waar Lampenbroek deel van uitmaakt, is er vrijwel geen reliëf. Deze gronden liggen tussen de 8 en de 9 m + NAP. In het noord-oostelijke deel van het onderzoeksgebied is het reliëf onregelmatig; het wordt bepaald door dekzandruggen met hoogtes tot ca. 1 m. De hoogteligging is hier tussen de 7 en de 9 m + NAP.

## 2.4 Hydrologie

Rond het onderzoeksgebied bedraagt de gemiddelde jaarlijkse neerslag 750 tot 800 mm. De gemiddelde jaarlijkse actuele verdamping wordt geschat ca. 450 mm. Er is dus een neerslagoverschot van 300 tot 350 mm per jaar (KNMI, 1972). Dit water wordt via grond- en oppervlaktewater afgevoerd naar de IJssel. De wijze waarop dit gebeurt wordt hieronder beschreven.



Figuur 2.3: a. Isohyetspatroon 28 april 1978. (van Ganswijk et al., 1988)



b. Isohyetspatroon 28 augustus 1978.

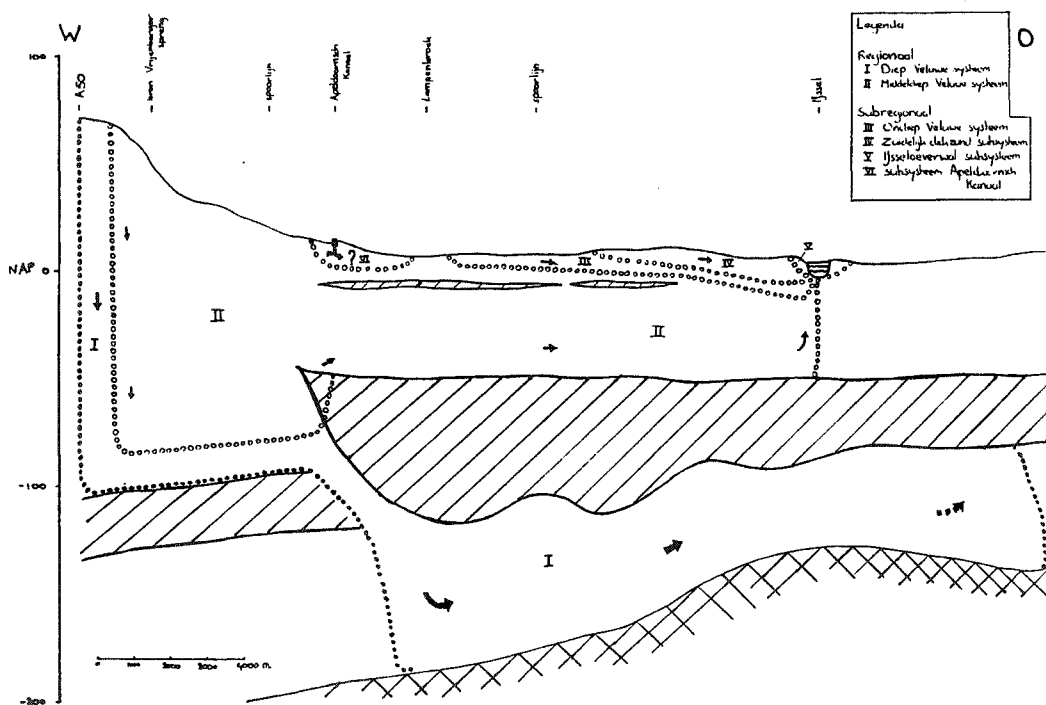
### 2.4.1 Het grondwaterstromingsstelsel<sup>1</sup>

Figuur 2.3 geeft isohypsenpatronen rond het onderzoeksgebied weergegeven voor een nat en een droog seizoen. In het onderzoeksgebied kunnen op verschillende ruimtelijke schaalniveau's grondwaterstromingsystemen<sup>1</sup> worden onderscheiden (Brouwer & Hoogendoorn, 1986):

- regionaal:
  - diep Veluwe systeem
  - middeldiep Veluwe systeem
- subregionaal:
  - ondiep Veluwe systeem
  - zuidelijk dekzand subsysteem
  - IJsseloeverwal subsysteem

locaal o.a.: - subsysteem van het Apledoornsch Kanaal

De ligging van de verschillende systemen in de ondergrond is weergegeven in figuur 2.4. De subregionale systemen zijn het meest geprononceerd in de winter. In de drogere zomer verdwijnen kleinere grondwaterstromingsystemen door gebrek aan voeding (zie appendix A).



Figuur 2.4: Grondwaterstromingsystemen. (naar Brouwer & Hoogendoorn, 1986)

Het diepe Veluwe systeem voedt de aquifer onder de Drenteklei. Vroeger was er vrijwel geen stroming in deze aquifer; de zeer dikke en wijd verspreide Drenteklei verhindert verticale stroming. Door grondwaterwinningen is de doorvoer in deze aquifer vergroot. Deze is echter nog steeds gering, zodat het infiltratiegebied smal is. De west grens van het systeem wordt gevormd door de grondwaterscheiding op de Veluwe. Voorlopig wordt aangenomen dat de oost-grens ligt bij een opwelling van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater, iets ten oosten van de IJssel (Brouwer & Hoogendoorn, 1986).

Het middeldiepe Veluwe systeem voedt een groot deel van de aquifer boven de Drenteklei. Infiltratie vindt plaats op de Veluwe. Het water dat tussen Drenteklei en Eemklei stroomt kwelt

<sup>1</sup> Bij de systeembenadering van grondwaterstroming ligt de nadruk op het watertransport in drie dimensies en niet, als in de vroegere benadering, op het onderscheid in aquifers en aquitards alleen. Elk grondwaterstromings-systeem bestaat uit drie delen: 1) een infiltratiegebied, waar het (regen)water in de ondergrond dringt; 2) een zone met ondergronds transport; 3) een kwelgebied waar het grondwater weer uittreedt. Vaak staan meerdere grondwaterstromingsystemen op hiërarchische wijze tot elkaar in relatie. Samen vormen ze het grondwaterstromings-stelsel (Engelen, 1984; Engelen, 1986).

op rond de IJssel. Of dit systeem ook thans nog een deel van de aquifer boven de Eemklei voedt, is afhankelijk van de kwel door de Eemklei en de grootte van het subsysteem van het Apeldoornsch Kanaal. Uit modelberekeningen van Groenendijk (1990) blijkt dat er kwel optreedt door de Eemklei.

Het Apeldoornsch Kanaal ligt aan de oostrand van de heuvels van de Veluwe. Het kanaalpeil is ter plaatse van het onderzoeksgebied één tot twee meter hoger dan het freatisch vlak. Door dit hoogteverschil zijn er aanzienlijke wegzijgingsverliezen (te Luggenhorst, 1980; van Amstel, 1984). Volgens van Ganswijk et al. (1988) voedt dit wegzijgingsverlies waarschijnlijk de gehele ruimte boven de Eemklei. Hierover scheppen zij en onder andere Brouwer & Hoogendoorn (1986) echter geen duidelijkheid.

Ten oosten van het Apeldoornsch Kanaal is de oppervlaktehelling zeer klein en wordt het gebied doorsneden door watergangen. Hoogendoorn (1983) geeft aan dat de grondwaterstroming in zo'n gebied met name lokaal van aard is: lokale infiltratie, lokale kwel naar watergangen. Het ondiepe Veluwe systeem, dat hier het bovenste deel van de freatische aquifer vult, draineert dus waarschijnlijk grotendeels lokaal. Mogelijk stroomt een klein deel regionaal af naar de IJssel.

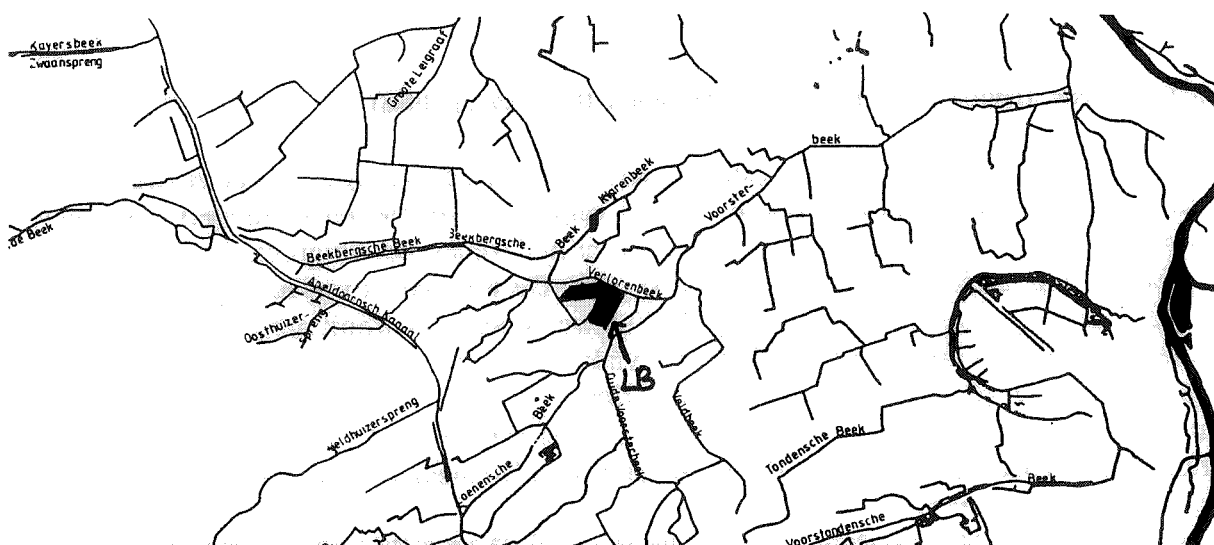
De herkomst van de kwel in Lampenbroek is onbekend. Er zijn vier mogelijkheden: 1) kwel van lokaal geïnfiltrerd regenwater; 2) kwel uit het subsysteem van het Apeldoornsch Kanaal; 3) kwel uit het middeldiepe Veluwe systeem boven de Eemklei; of 4) kwel uit het middeldiepe Veluwe systeem onder de Eemklei.

Ter hoogte van Voorst ligt het dekzandgebied relatief hoog. Dit is het infiltratiegebied van het zuidelijk dekzand subsysteem, dat direct en indirect draineert op de IJssel.

Het subsysteem van de IJsseloeverwallen heeft de hoger gelegen IJsseloeverwallen als infiltratiegebied. Het subsysteem draineert op de IJssel.

#### 2.4.2 Oppervlaktewaterlopen

De meeste beken ontspringen aan de oostrand van de Veluwe (figuur 2.5). Hier kwelt veel water op vanuit het middeldiepe Veluwe systeem en het subsysteem van het Apeldoornsch Kanaal. Verder oostelijk ontspringen enkele beken die het overtollige water van het ondiepe Veluwe systeem en het zuidelijk dekzand subsysteem draineren. De afwateringsrichting is als de terreinhelling: WZW - ONO.



Figuur 2.5: Waterlopen. (Brouwer & Hoogendoorn, 1986)

De afvoer van deze beken was oorspronkelijk zeer onregelmatig met een zeer hoge afvoer, soms overstromingen, in de winter en droge beddingen in de zomer. Na ca. 1200 na Chr. heeft

de mens in belangrijke mate op het natuurlijke regime van deze beken ingegrepen. De afvoer werd groter en constanter door het graven van sprengen. Sprengen zijn in de stuwwal ingegraven waterlopen die het grondwaterlichaam van de Veluwe draineren en verbinden met de beken (IJzerman, 1982). Ze zijn gegraven ten behoeve van de aandrijving van watermolens. Later zijn vrijwel alle beken rechtgetrokken, uitgediept en verbreed om de wateroverlast in de winter te verminderen.

Om het gebied tussen Veluwe en IJssel beter te ontwateren werden in de loop der tijd sloten gegraven, die hun water uiteindelijk lozen op een van de beken. De dichtheid van het slotenstelsel varieert en is het grootst in de natste gebieden, onder andere rond Lampenbroek. Veel sloten zijn alleen in de winter watervoerend.

Aan de voet van de Veluwe is in 1869 het Apeldoornsch Kanaal aangelegd ten behoeve van de scheepvaart. In het eerste pand wordt een peil van NAP + 13.21 m gehandhaafd. Normaliter wordt het kanaal geheel gevoed door een vijftal sprengen. In zeer droge zomers wordt er IJsselwater ingelaten via een gemaal bij Dieren. Tot 1976 was dit in drie van de vier jaren het geval, daarna is het slechts enkele malen gebeurd (Zuiveringsschap Oost-Veluwe, pers. com.).

## 2.5 Hydrochemie

Voor een beschrijving van de processen die spelen bij de chemische ontwikkeling van grondwater wordt verwezen naar appendix B. Op deze plaats wordt alleen een beschrijving gegeven van de grond- en oppervlaktewatersamenstelling in en rond het onderzoeksgebied.

### 2.5.1 Grondwatersamenstelling in het grondwaterstromingsstelsel

In het infiltratiegebied van het diepe en het middeldiepe Veluwe systeem is de bodem kalkarm en bestaat de begroeiing vooral uit heidevelden en naald- en loofbossen. Met uitzondering van  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  is de chemische samenstelling van het ondiepe grondwater hier ongeveer gelijk aan ingedamppte neerslag (Meinardi, 1974; Verkooijen et al., 1985); zie tabel 2.1. Meinardi (1974) geeft voor de Veluwe een gemiddelde indampingsfactor van 2.2. Appelo (1985) gebruikt een indampingsfactor van 3.

De  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  concentraties zijn vaak iets hoger door kalkoplossing. Veel is dit echter niet doordat het bovenste sediment al is ontkalkt en de productie van  $\text{CO}_2$  laag is door een lage activiteit van het bodemleven.  $\text{Ca}^{2+}$  concentraties blijven onder 1 mmol/l. De lagere activiteit van het bodemleven heeft ook tot gevolg dat het grondwater wat zuurstof bevat. De  $\text{Fe}^{2+}$  concentratie is daardoor laag: minder dan 1 mg/l (0.018 mmol/l).

Na infiltratie stroomt het grondwater richting IJssel. Door de langere verblijftijd verandert de samenstelling van het grondwater (zie tabel 2.1). Met behulp van nog beschikbaar  $\text{CO}_2$  lost kalk op; er is nauwelijks extra productie van  $\text{CO}_2$ . De  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  concentraties zijn iets hoger dan in het ondiepe grondwater op de Veluwe. De  $\text{Ca}^{2+}$  concentratie stijgt tot maximaal 1 mmol/l.  $\text{O}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  zijn verdwenen door oxidatie van organische stof. De concentratie  $\text{Fe}^{2+}$  stijgt daardoor vaak tot boven 1 mg/l. (Meinardi, 1974; Verkooijen et al., 1985)

De boven beschreven processen bepalen de grondwatersamenstelling in het gehele diepe Veluwe systeem en het middeldiepe Veluwe systeem onder de Eemklei. Ten oosten van de Veluwe is de samenstelling van het ondiepe grondwater anders dan op de Veluwe (zie tabel 2.1). De neerslag infiltreert hier in subregionale en lokale grondwaterstromingssystemen. Globaal heeft dit grondwater de volgende kenmerken (Meinardi, 1974; Verkooijen et al., 1985): 1) de  $\text{Ca}^{2+}$  concentratie neemt richting IJssel toe tot waarden boven de 2 mmol/l; 2) de  $\text{Cl}^-$  concentratie is 3 tot 10 keer hoger dan de 10 mg/l (0.28 mmol/l) in het Veluwse grondwater;

3) een hogere  $\text{SO}_4^{2-}$  concentratie, zodanig dat de verhouding  $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$  (in meq/l) ca. 1 is, terwijl deze verhouding normaal vaak kleiner dan 1 is; 4) plaatselijk is de  $\text{NO}_3^-$  concentratie zeer hoog. Deze eigenschappen worden verklaard door het bodemgebruik ter plekke (Hoogendoorn, 1983). Ten oosten van de Veluwe wordt de grond grotendeels gebruikt voor de landbouw. De biologische activiteit in de bodem is groot. Dit leidt tot een grote  $\text{CO}_2$  productie, waardoor veel kalk kan oplossen. Bemesting leidt tot hogere concentraties  $\text{Cl}^-$  en zal tevens leiden tot een verharding van het grondwater ter plekke (zie appendix B, paragraaf B.2). Op de Veluwerand is de grondwaterstand laag.  $\text{O}_2$  kan daardoor goed toetreden en er wordt gemakkelijk  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{NO}_3^-$  gevormd, zeker waar bemesting zorgt voor een extra invoer van N- en S-verbindingen. Langs de rand van het Veluwemassief en door de Eemklei kan water opkwellen uit het middel-diepe Veluwe systeem (zie paragraaf 2.4.1). Met name een lagere  $\text{Cl}^-$  concentratie en een hogere  $\text{Fe}^{2+}$  concentratie onderscheidt dit water van het overige ondiepe grondwater ten oosten van de Veluwe.

Over de grondwaterkwaliteit in het subsysteem van het Apeldoornsch Kanaal is geen specifieke literatuur gevonden. Wel is bekend dat het kanaal wordt gevoed door sprengwater, dat vroeger af en toe IJsselwater werd ingelaten en dat enkele fabrieken effluent lozen/loosden op het kanaal (Zuiveringsschap Oost-Veluwe, pers. comm.). De samenstelling van het kanaalwater is, voor zover bekend, weergegeven in tabel 2.1. Of de samenstelling van het wegzijgende water te onderscheiden is van het ondiepe grondwater in de omgeving is niet duidelijk.

	infiltratiewater Veluwe <sup>1</sup>	diepe Veluwesysteem <sup>2</sup>	ondiep grondwater ten O. Veluwe <sup>2</sup>	Apeldoornsch Kanaal <sup>3</sup>
pH	3.08	..	..	6.5 - 7.8
EC	..	200 - 400	≥ 400	140 - 300
$\text{Na}^+$	0.219	ca. 0.2	..	..
$\text{K}^+$	0.012	ca. 0.01	..	..
$\text{Mg}^{2+}$	0.027	..	..	..
$\text{Ca}^{2+}$	0.042	ca. 1	≥ 2	..
$\text{NH}_4^+$	-	-	..	-
$\text{Fe}^{2+}$	-	≥ 0.02	..	..
$\text{Cl}^-$	0.255	0.2 - 0.3	1 - 3	0.5 - 1.0
$\text{HCO}_3^-$	-	1 - 2	> 2	..
$\text{SO}_4^{2-}$	0.213	-	0.5 - 1.5	0.2 - 0.3
$\text{NO}_3^-$	0.573	-	..	< 0.1

Tabel 2.1: Belangrijkste gegevens chemische samenstelling grond- en oppervlaktewater. Concentraties in mmol/l. (- : afwezig, .. : onbekend). <sup>1</sup> Appelo (1985); <sup>2</sup> naar Meinardi (1974) en Verkooijen et al. (1985); <sup>3</sup> Zuiveringsschap O-Veluwe (pers. comm.)

### 2.5.2 Chemische samenstelling oppervlaktewater

De waterlopen worden met name gevoed door toestroming van grondwater en lozingen van afvalwater. De samenstelling van het oppervlaktewater is het resultaat van menging en beluchting van het water van deze twee bronnen (Kant, 1982).

Natuurlijke verschillen van betekenis in de chemische samenstelling van het beekwater zullen zich met name voordoen ten aanzien van de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  en Fe gehalten (Kant, 1982). De  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  concentraties van het beekwater zullen in het algemeen hoger zijn naarmate het grondwater langer in contact heeft gestaan met de ondergrond. In dat geval worden eveneens hogere waarden voor de pH, de hardheid en het geleidend vermogen bepaald. Met name de laatste twee grootheden worden echter ook beïnvloedt door verontreinigingen. IJzerverbindingen gaan niet snel in oplossing. Daarom kan worden aangenomen dat ijzerhoudende beken op de Veluwe relatief diep grondwater afvoeren. Appelo (1988) geeft aan dat



ook een lagere  $\text{NO}_3^-$  concentratie een aanwijzing kan zijn voor aanvoer van dieper grondwater. De lager  $\text{NO}_3^-$  concentratie wijst op denitrificatie.

Verontreiniging van beekwater komt, net als in grondwater, tot uiting in verhoogde  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{NO}_3^-$  gehalten. In veel gevallen is er ook een verhoging van één of meer van de volgende ionen:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  (Kant, 1982).

## **2.6 Bodem, landgebruik en vegetatie**

Het onderzoeksgebied bestaat vrijwel geheel uit zandgronden. Hier en daar komen moerige of lemige gronden voor. De zandgronden kunnen worden onderverdeeld in podzolgronden, eerdgronden en vaaggronden. De podzolgronden bevinden zich met name in het westelijke deel van het onderzoeksgebied. De eerdgronden komen met name voor bij de Loenensche Hooilanden. Vaaggronden worden vooral in het westelijker deel van het onderzoeksgebied aangetroffen (Groot Obbink et al., 1979).

De cultuurgronden in het onderzoeksgebied zijn voor het overgrote deel in gebruik als grasland. Hier en daar wordt ook snijmais geteeld.

In het reservaat Lampenbroek komen vrijwel uitsluitend broekeerdgronden voor (Groot Obbink et al. 1979). Het westelijke deel van Lampenbroek is een schraal hooiland; een van de laatste relictten orchideeën-rijk blauwgrasland. Aan de noordzijde van dit deel bevindt zich een soortenrijke houtwal. Lampenbroek-oost is een populierenbosje (Bakker & Lichthart, 1976).

### 3. WERKWIJZE

Om in een gebied met een vrij grondwaterpeil een nauwkeurig antwoord te vinden op de gestelde vragen, is een driedimensionale, niet-stationaire benadering vereist. Gedurende een langere periode (enkele jaren) moeten hydrologische gegevens worden verzameld. In het kader van dit onderzoek was dat niet mogelijk; er waren nog niet genoeg gegevens bekend en de veldperiode besloeg slechts de maanden juni en juli 1993.

Uit figuur 2.3 blijkt dat de isohypsen in het onderzoeksgebied vrijwel evenwijdige, rechte lijnen zijn. De richting van de maximale gradiënt, de globale richting van de regionale grondwaterstroming, is ZW-NO en staat loodrecht op de belangrijkste geologische structuren. De essentiële kenmerken van de regionale grondwaterstroming zijn dus samen te vatten in een verticaal vlak loodrecht op de isohypsen. Daarom is gekozen voor een beschrijving van de grondwaterstroming in een verticaal vlak loodrecht op de isohypsen (tweedimensionaal).

Hiertoe is op 21 punten langs een lijn, loodrecht op de isohypsen en door Lampenbroek, de grondwatersamenstelling bepaald. Een aantal van de monsterbuizen is ingemeten ten opzichte van NAP. In deze buizen is op een drietal tijdstippen de grondwaterstand ten opzichte van NAP bepaald. Een overzicht van het meetnet wordt gegeven in bijlage 1.

Wegens tijdsdruk zijn slechts vijf van de 21 grondwaterbuizen speciaal voor dit onderzoek geplaatst. Verder zijn gegevens verzameld uit al aanwezige grondwaterbuizen en uit zogenaamde puntstukken (door boeren geslagen pvc buizen om drinkwater voor het vee omhoog te pompen). Filterlengtes en filterdieptes zijn aangegeven in bijlage 1. Bij de puntstukken is voornamelijk uitgegaan van door boeren verstrekte gegevens. Van de grondwaterbuizen zijn nauwkeurige gegevens bekend.

De filterdieptes van de puntstukken zijn voor zover mogelijk in het veld gecontroleerd; in ieder geval bevinden alle filters zich in het eerste watervoerende pakket, de onderkant van het filter op minstens 5 m-mv en een filterlengte van ca. 2 m.

Om een iets duidelijker beeld te krijgen van de grondwaterstroming in de nabije omgeving van Lampenbroek zijn grondwaterstanden en grondwatersamenstellingen opgenomen uit een aantal rond Lampenbroek geplaatste grondwaterbuizen. De grondwaterbuizen staan in een lijn loodrecht op het Verloren Beekje, de belangrijkste afwateringsgang in de omgeving. Bij elk monsterpunt staan minstens twee grondwaterbuizen met verschillende filterdieptes. Daarnaast zijn stijghoogtes in een drietal bij Lampenbroek geplaatste TNO-peilbuizen opgenomen.

De samenstelling van het oppervlaktewater wordt mede bepaald door de chemie van het aangevoerde grondwater. De oppervlaktewaterkwaliteit kan dus aanwijzingen geven met betrekking tot het grondwaterstromingspatroon. Er zijn daarom gegevens verzameld van de oppervlaktewatersamenstelling in de Loenensche Beek, het Verloren Beekje, de Voorster Beek, het Apeldoornsch Kanaal en de Vrijenberger Spreng. Tevens is er gekeken naar de afvoer van de beken en het landgebruik langs de beken is gekarteerd.

Gegevens met betrekking tot de hydrogeologische eigenschappen van sedimenten in het gebied zijn ontleend aan de literatuur. Ook gegevens over bodemtypen en hoogteligging van het maaiveld zijn uit beschikbare publicaties gehaald.

De verzamelde hydrochemische gegevens zijn geïnterpreteerd tot een globaal beeld van het grondwaterstromingspatroon in het onderzoeksgebied. Met een aantal analytische berekeningen en literatuuronderzoek is hierna een schatting gemaakt van de kwelflux rond Lampenbroek en van de wegzijgingsflux uit het Apeldoornsch Kanaal. Tenslotte is de regionale grondwaterstroming gemodelleerd met behulp van de modelcode FLOWNET (van Elburg et al., 1986).

## 4. HYDROCHEMISCH ONDERZOEK

### 4.1 Werkwijze

Bij de peilbuizen werd het grondwater omhooggepompt met behulp van de kogelklep-methode (Hobma, 1993). Bij de puntstukken werd gebruik gemaakt van een motorpomp. In beide gevallen werd het eigenlijke grondwatermonster genomen als EC en temperatuur van het omhooggepompte water constant bleven. Op de meeste punten is slechts één keer een monster genomen, maar bij de punten 14, 22, 25, 28, K3, K5, K15 en K18 is het grondwater binnen drie weken drie keer bemonsterd (zie bijlage 1).

Oppervlaktewatermonsters werden eenmalig genomen. Ten eerste op regelmatige afstanden in de Voorster Beek, de Loenensche Beek en het Verloren Beekje (zie bijlage 1). Daarnaast werden monsters genomen uit het Apeldoornsch Kanaal, de Vrijenberger Spreng en van slootwater rond Lampenbroek.

Per monsterpunt werden twee 50 ml buisjes luchtvrij gevuld, in een koelbox bewaard en 's avonds in de koelkast gedaan. EC en pH werden zoveel mogelijk direct in het veld gemeten. De pH-meter werkte echter niet altijd goed, zodat van sommige monsters geen veld-pH bekend is. IJking van de EC-meter leverde veel problemen op. Daarom is verder geen waarde gehecht aan de veld-EC gegevens.

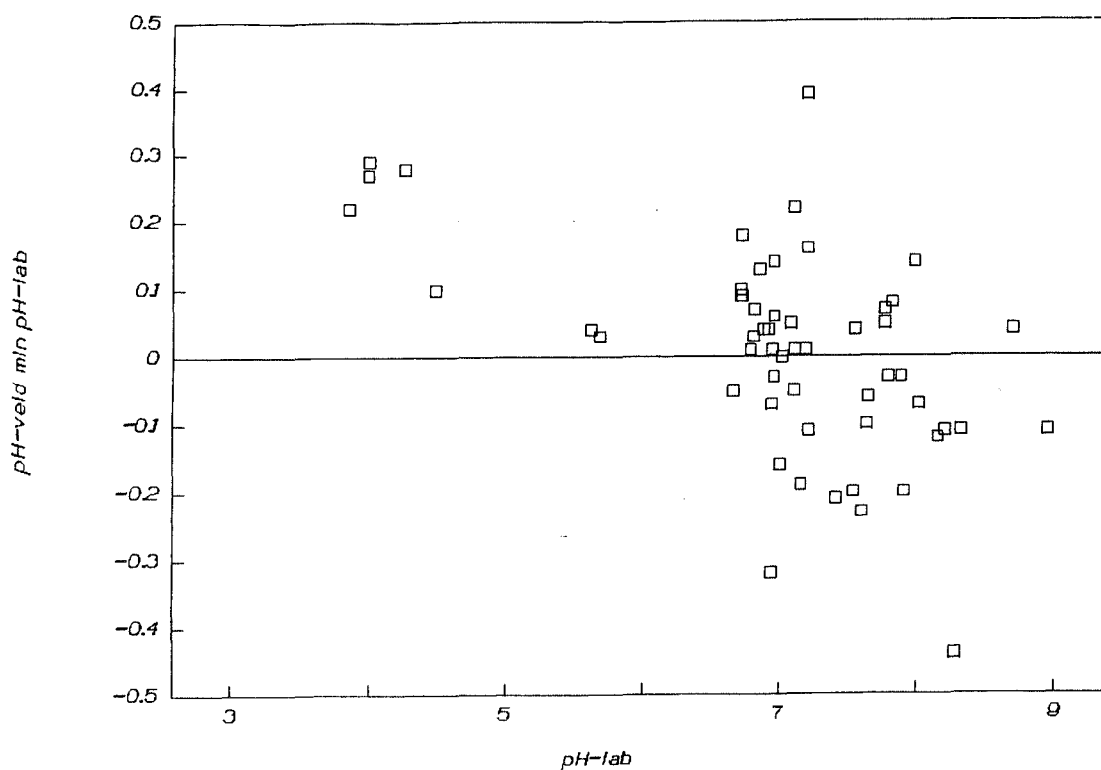
De monsters werden de eerste of de tweede dag na monsternamen behandeld in het Fysisch Geografisch Laboratorium te Utrecht. Eerst werden ze gecentrifugeerd. Met het gecentrifugeerde monster werden twee 8 ml buisjes gevuld, waarvan er een met HNO<sub>3</sub> werd aangezuurd tot een pH kleiner dan 2. In het niet aangezuurde monster werden dezelfde dag nog de concentraties TIC, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> bepaald op de autoanalyser. De aangezuurde monsters werden gekoeld bewaard en later allemaal tegelijk geanalyseerd op Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Al, Cd, Cu, Fe<sup>2+</sup>, Mn, Pb, Si, Zn op de ICP. In de rest van het monster werden nogmaals pH en EC gemeten. Met behulp van deze pH werd uit de TIC de concentratie HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> berekend.

### 4.2 Kwaliteit chemische data

De resultaten van de chemische analyse zijn opgenomen in bijlage 3. De gegevens zijn gecontroleerd op analysefouten, door per monster de ionenbalans uit te rekenen. Op twee na voldoen alle oppervlaktewatermonsters aan de analyse-criteria van Stuyfzand (1989a). Bij deze twee monsters is de fout echter vrij klein (kleiner dan 7%); de monsters zijn gewoon meegenomen in de interpretatie. Volgens dezelfde criteria is bij ongeveer de helft van de grondwatermonsters sprake van een kleine analysefout (tussen de 5% en de 10%). Vergelijking van som anionen (in meq/l) en som kationen (in meq/l) met de EC geeft aan dat er een fout zit in de kationbepaling. Waarschijnlijk is de Ca<sup>2+</sup> concentratie systematisch te hoog bepaald (hoofd FG-lab, pers. comm.). Voor de kwalitatieve interpretatie van de chemische gegevens is deze fout van weinig belang. Bij de uiteindelijke interpretatie is steeds gekeken naar monsters van de eerste monsteronde; alleen monster 14A-1 is wegens een te grote fout op de ionenbalans vervangen door 14A-2.

Door de in het veld gemeten pH te vergelijken met de in het lab gemeten pH is gekeken in hoeverre het monster door monsternamen, transport en opslag veranderd was. In figuur 4.1 is te

zien dat het verschil in de meeste gevallen kleiner was dan 0.3. Rond de pH=7 is het verschil stochastisch, rond pH=4 is de pH-veld hoger dan de pH-lab. Deze verschillen geven geen reden om de analyses als onbetrouwbare weergave van de veldsituatie te beschouwen. Waar in het onderstaande over de pH wordt gesproken, wordt bedoeld op de pH-lab.



Figuur 4.1: Vergelijking pH-veld en pH-lab.

Om een idee te krijgen van de korte termijn variatie in de chemische samenstelling van het grondwater zijn de analyse resultaten van de drie keer bemonsterde punten met elkaar vergeleken (bijlagen 3 en 4). Het blijkt dat de concentraties van de meeste ionen constant zijn in de tijd en eenduidig kunnen worden geïnterpreteerd. Bij  $K^+$ , Al en Si is de korte termijn variatie alleen aanwezig in Lampenbroek en is telkens de concentratie uit de derde monsterronde het hoogst. Een goede verklaring hiervoor is niet gevonden. Bij  $NH_4^+$  en  $Fe^{2+}$  is de korte termijn variatie grillig en niet eenduidig te verklaren. Het is waarschijnlijk dat beluchting tijdens monsternamen hierbij een belangrijke rol speelt. De  $NH_4^+$  en  $Fe^{2+}$  concentraties zullen zeker geen doorslaggevende rol kunnen vervullen in de interpretatie.

### 4.3 Resultaten chemische analyse grondwater

De gegevens van de chemische analyse van het grondwater zijn op verschillende manieren bewerkt om te kunnen achterhalen welke processen de grondwatersamenstelling hebben beïnvloed. Hierbij is onder andere gebruik gemaakt van het computerprogramma CHEMPROC (Biesheuvel, 1992):

1. Voor de belangrijkste ionen zijn de concentratie-verschillen tussen de grondwatermonsters en ingedampt regenwater berekend: bijlage 3a.
2. De monsters zijn geïnclassificeerd volgens de methode van Stuyfzand (1986).
3. Per monster is een stiff-diagram getekend.
4. Per monster zijn de calciëverzadigingsindex en de heersende CO<sub>2</sub>-spanning berekend. Opmerking: bij de monsters 25, 24, K1, K2 en K3 kon CHEMPROC deze waarden niet berekenen.
5. De bicarbonaat-calciumverhouding is berekend als indicator voor bodemverzurende effecten (van Bennekom, 1987).
6. Voor monsterpunten langs de raai zijn grafieken gemaakt waarin concentraties, verzadigingsindici en bicarbonaat-calciumverhoudingen zijn uitgezet tegen de afstand langs de raai (bijlage 5).

De belangrijkste kenmerken van de chemische samenstelling van het grondwater zijn samengevat in figuur 4.2. In deze figuur zijn de monsterpunten ingedeeld in clusters, op basis van de Stuyfzand-watertypes. Per cluster wordt in het navolgende een proces-interpretatie gegeven van de grondwatersamenstellingen. Aan de monsterpunten in Lampenbroek wordt daarna nog extra aandacht besteed. Een uitgebreide interpretatie van het grondwaterstromingspatroon wordt hier nog niet gegeven; hierop wordt in paragraaf 4.5 ingegaan.

#### I. Monsterpunt 25

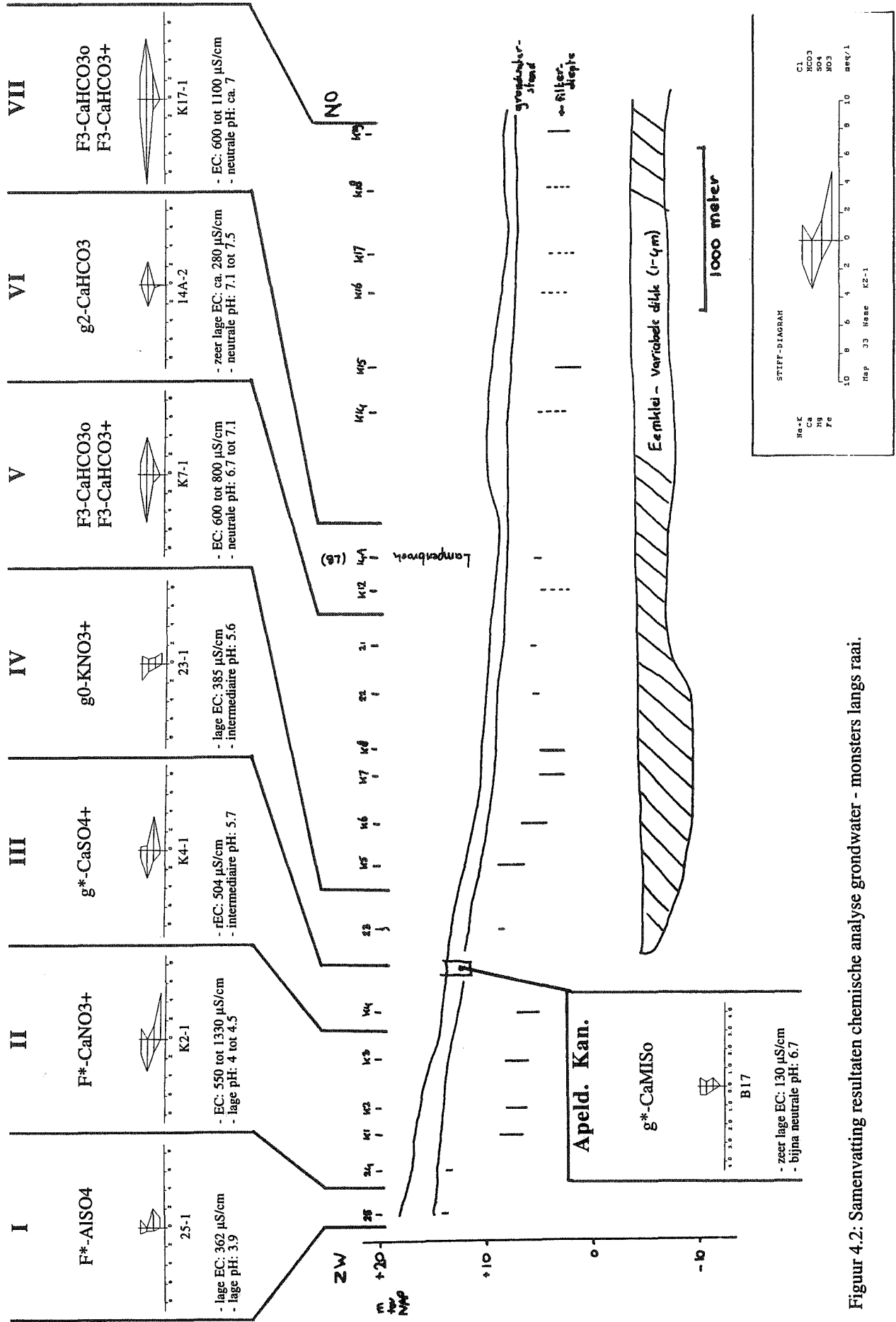
De samenstelling van het grondwater wordt bepaald door indamping van zure neerslag (hoge SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) en nitrificatie van alle, door verwaaiing van mest in de zure neerslag aanwezige NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (geen NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, hoge NO<sub>3</sub><sup>-</sup>). Het hierbij ontstane zuur is enigszins gebufferd door gibbsiet (Al(OH)<sub>3</sub>), leidend tot de hoge Al concentratie. Buffering door calcië speelt geen rol; de bodem is waarschijnlijk al tot grote diepte ontkalkt.

#### II. Monsterpunten 24, K1, K2 en K3

Hier bepaald vermist de samenstelling van het grondwater. Directe invloeden zijn de verhoogde concentraties K<sup>+</sup> en Cl<sup>-</sup>. Alle in de mest aanwezige NH<sub>4</sub><sup>+</sup> is genitrificeerd. Het hierbij geproduceerde zuur zorgt voor de lage pH. Enige buffering is opgetreden door oplossing van calcië (verhoogde Ca<sup>2+</sup>) en gibbsiet (verhoogde Al). In het aërobe milieu is het NO<sub>3</sub><sup>-</sup> niet gereduceerd.

#### III. Monsterpunt K4

De concentraties van Na<sup>+</sup> en Cl<sup>-</sup> in dit grondwatermonster zijn ongeveer even hoog als in het Apeldoornsch Kanaal (zie bijlage 3, monster B17). Daarnaast zijn met name de Cl<sup>-</sup> concentraties van omliggende monsterpunten hoger. Dit wijst er mogelijk op dat het water ter plekke van K4 is geïnfilteerd uit het Apeldoornsch Kanaal. Dit kan ook het, bij het zelfde landgebruik als de vorige monsterpunten, lage NO<sub>3</sub><sup>-</sup> gehalte verklaren. De lage concentratie NO<sub>3</sub><sup>-</sup> kan echter ook verklaard worden door een moeizame nitrificatie als gevolg van de hoge grondwaterstand ter plekke of door verbruik bij pyrietoxydatie. De combinatie van een hoog SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> gehalte met een hoog Fe<sup>2+</sup> gehalte wijst namelijk op opgetreden pyrietoxydatie. Als oxydator is hierbij O<sub>2</sub>



Figuur 4.2: Samenvatting resultaten chemische analyse grondwater - monsters langs raai.

en waarschijnlijk ook  $\text{NO}_3^-$  gebruikt. Het bij pyrietoxydatie geproduceerde zuur is gebufferd door enige kalkoplossing, zodat het  $\text{Ca}^{2+}$  gehalte iets is gestegen.

Dat het hier gaat om een wat uitzonderlijk watertype, blijkt nog eens uit het volgende. Bij een  $\text{Fe}^{2+}$  concentratie van meer dan 1 mg/l komt toch nog  $\text{NO}_3^-$  voor. Dit is in tegenspraak met alle gegevens van Hoogendoorn (1990b, pers. comm.).

#### IV. Monsterpunt 23

De hoge concentraties  $\text{K}^+$  en  $\text{NO}_3^-$  en het iets verhoogde  $\text{Cl}^-$  gehalte geven aan dat vermisting de watersamenstelling heeft beïnvloed. De  $\text{Na}^+$  concentratie is net als bij K4 ongeveer even hoog als in het Apeldoornsch Kanaal. Samen met de lage EC en de lage concentraties  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  zou dit erop kunnen wijzen dat ook het water te plekke van monsterpunt 23 is geïnfiltrerd vanuit het Apeldoornsch Kanaal. Bij infiltratie in het grondwaterlichaam wordt aan het kanaalwater geen  $\text{CO}_2$  toegevoegd door activiteit van bodemflora en -fauna. Daardoor kan er maar heel weinig kalkoplossing plaatsvinden en zijn de  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  concentraties laag. Heel sterk zijn deze argumenten echter niet. De  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{Mg}^{2+}$  concentraties kunnen ook bepaald zijn bij infiltratie aan de oppervlakte.

#### V. Monsterpunten K5, K6, K7, K8, 22 en 21

De grondwatersamenstelling wordt bij deze monsterpunten met name beïnvloed door vermisting. Dit heeft een directe uitwerking op de  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$  concentraties. De uit de mest afkomstige  $\text{NH}_4^+$  is genitrificeerd tot  $\text{NO}_3^-$ . Het hierbij geproduceerde zuur is geheel gebufferd door kalkoplossing (verhoogde  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  concentraties, bijna-verzadiging calciet, pH rond 7). Ook de bicarbonaat-calcium verhouding, die kleiner is dan 1, geeft aan dat verzuring een rol heeft gespeeld bij kalkoplossing. De  $\text{NO}_3^-$  is verdwenen door denitrificatie, waarschijnlijk met organische stof. Als gevolg van deze reactie moet de bicarbonaat-calcium verhouding zijn gestegen.

#### VI. Monsterpunten K12 en 14A

De samenstelling van het grondwater wordt hier verklaard door kalkoplossing. Gezien de hoge bicarbonaat-calciumverhouding en de lage concentraties  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  en  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$  heeft vermisting hierbij geen rol gespeeld. De afwezigheid van  $\text{SO}_4^{2-}$  wordt waarschijnlijk verklaard door sulfaatreductie, hetgeen aangeeft dat het water sterk anaëroob is. Op de herkomst van het water wordt ingegaan in paragraaf 4.5.

#### VII. Monsterpunten K14, K15, K16, K17, K18 en K19

Net als bij cluster V zijn vermisting en kalkoplossing grotendeels verantwoordelijk voor de grondwatersamenstelling binnen dit cluster. Tussen de monsterpunten is er echter een grote variatie in kwaliteit en kwantiteit van de mestgift.

#### VIII. Rond Lampenbroek: Monsterpunten 14A,B,C, 26A,B, 27A,B, 28A,B,C, 29A,B

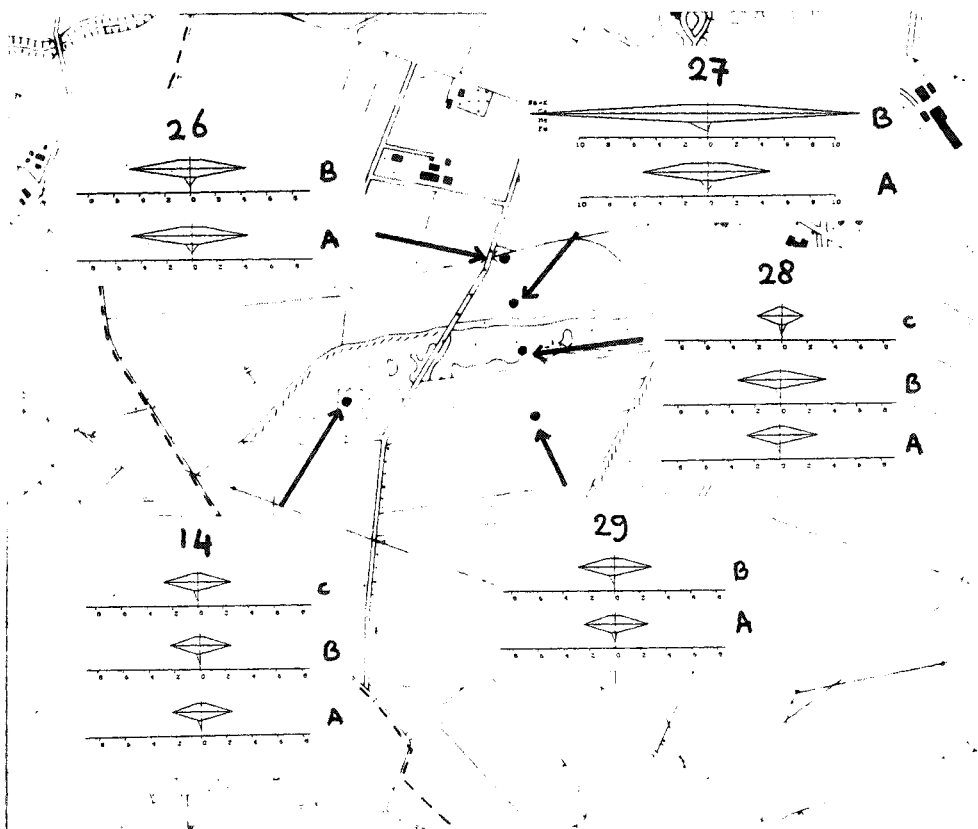
Voor de monsterpunten 14B, 14C, 28A, 28B, 29A en 29B is de grondwatersamenstelling volledig te vergelijken met 14A en K12 (cluster VI). Dit gaat niet op voor de monsters 26A, 26B, 27A, 27B en 28C (zie figuur 4.3).

Monster 28C valt op door een lagere EC, lagere  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$  concentraties, een lagere bicarbonaat-calciumverhouding (0.8) en een onderverzadiging van calciet (Stuyfzand-watertype: g1- $\text{CaHCO}_3$ ). Daarnaast is de  $\text{SO}_4^{2-}$  concentratie hoger dan bij voorgenoemde monsterpunten. Bij de monsterpunten 26A, 26B, 27A en 27B is duidelijk de invloed van vermisting te zien: hogere EC, hogere  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  concentraties en

bicarbonaat-calciumverhoudingen kleiner dan 1 (Stuyfzand-watertype: F3-CaHCO<sub>3</sub>). Bij punt 27B is dit extreem: Stuyfzand-watertype F4-CaHCO<sub>3</sub>.

Binnen Lampenbroek (monsterpunten 14 en 28) is de variatie van de grondwatersamenstelling met de diepte klein. Alleen het ondiepe grondwater op punt 28C verschilt wezenlijk van het diepere grondwater ter plekke. Nader beschouwd zijn er enkele kleine variaties met de diepte: een afname van Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentraties met de diepte; een toename van het chlooridegehalte met de diepte; een toename van de bicarbonaat-calcium verhouding met de diepte; een toename van de calciëverzadiging met de diepte.

De samenstelling van het grondwater op de monsterpunten 14A, 14B, 14C, 28A, 28B, 29A en 29B wordt verklaard door kalkoplossing (zie cluster VI). Bij 29A en 29B is een kleine invloed van vermisting merkbaar in het Cl<sup>-</sup> gehalte. Het grondwater op punt 28C heeft duidelijk kenmerken van ingedampt regenwater (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> concentraties). Daarnaast heeft er was kalkoplossing plaatsgevonden (verhoogd Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> gehalte). De grondwaterchemie op de monsterpunten 26A, 26B, 27A en 27B wordt volledig bepaald door de effecten van vermisting en kalkoplossing.



Figuur 4.3: Stiff-diagrammen grondwater Lampenbroek.

#### 4.4 Resultaten chemische analyse oppervlaktewater

Het is belangrijk vooraf te vermelden dat de afvoer van de sloten en beken minimaal was tijdens de twee dagen dat de beek- en slootmonsters werden genomen. De genomen monsters representeren derhalve de basisafvoer van de beken. Dit is gunstig voor een interpretatie van het grondwaterstromingspatroon, omdat de beken in dit geval alleen worden gevoed door aanvoer van grondwater.



I. Voorster Beek (B1-B9), Verloren Beekje (B10V-B16), Loenensche Beek (B10L, B22-B25)  
Van de monsters langs de Voorster Beek, het Verloren Beekje en de Loenensche Beek zijn grafieken gemaakt waarin verschillende chemische parameters zijn uitgezet tegen de afstand langs de beken (bijlage 6). In de grafieken komen een aantal dingen duidelijk naar voren:

1. De monsters in het Verloren Beekje bevatten minder  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{NO}_3^-$  dan de monsters in Loenensche Beek en Voorster Beek. De concentraties  $\text{Mg}^{2+}$  en  $\text{Fe}^{2+}$  zijn daarentegen hoger.
2. In de Loenensche Beek nemen de EC en de concentraties  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{NO}_3^-$  af in stroomafwaartse richting. In dezelfde richting neemt de pH toe.
3. Vlak bij Lampenbroek hebben de monsters in het Verloren Beekje (B12, B13) een lage EC, een hoge pH en bevatten relatief weinig  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .
4. Stroomopwaarts van Lampenbroek (B14, B15, B16) is de pH lager en zijn de EC en de concentraties  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en bij B15 ook  $\text{Na}^+$  en  $\text{Cl}^-$  hoger.
5. Stroomafwaarts van Lampenbroek (B10V, B11) is de pH lager en zijn de concentraties  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  hoger. Zeer opvallend is de hoge  $\text{Fe}^{2+}$  concentratie.
6. De monsters in het eerste deel van de Voorster Beek (B4 t/m B9) lijken chemisch het meest op het laatste monster in de Loenensche Beek (B10L).
7. De laatste drie monster in de Voorster Beek (B1, B2, B3) hebben een lagere EC en pH, lagere concentraties  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  en een hoger  $\text{NO}_3^-$  gehalte dan de andere monsters in deze beek.

De waterkwaliteit in de beken wordt grotendeels bepaald door het landgebruik in het stroomgebied. Het stroomgebied van de Loenensche Beek wordt intensiever gebruikt als landbouwgrond dan het stroomgebied van het Verloren Beekje. Dit leidt tot hogere concentraties  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  en  $\text{NO}_3^-$  in de Loenensche Beek. Ook langs het Verloren Beekje zijn echter invloeden van landbouw te zien; met name stroomopwaarts en stroomafwaarts van Lampenbroek. De effecten blijven hier zeer lokaal doordat de afvoer op het moment van monsternamen minimaal was.

De onder punt 2 genoemde kenmerken geven aan dat het water van de Loenensche Beek stroomafwaarts verdund wordt. Dit kan verschillende oorzaken hebben: 1) Bij de Loenensche Beek minder voegen zich andere waterlopen. Deze kunnen schoner zijn. 2) Stroomafwaarts wordt het landgebruik meer grasland. 3) Er kan stroomafwaarts dieper, schoner grondwater worden afgevoerd naar de beek. Welke van deze oorzaken een overheersende invloed heeft is met de huidige gegevens niet te zeggen.

De Loenensche Beek heeft een veel groter stroomgebied en daardoor een grotere afvoer dan het Verloren Beekje. Daarom lijkt de samenstelling van het water in de Voorster Beek sterk op het water in de Loenensche Beek. De afwijkende chemie van het water in de laatste drie monsterpunten in de Voorster Beek wordt waarschijnlijk ook veroorzaakt door een ander landgebruik. Hier grenst een iets hoger gelegen grond met veel bos en wat akkerbouw aan de beek. Vermestingseffecten zijn daardoor minder groot.

Hoewel het landgebruik langs het Verloren Beekje bij Lampenbroek bestaat uit mais en grasland, is van vermestende effecten relatief weinig terug te zien in de chemie van het beekwater. De EC en de concentraties  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  zijn laag en komen in de buurt van de concentraties in het diepere grondwater onder Lampenbroek. Ten opzichte van dit diepere grondwater zijn de concentraties  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  en  $\text{SO}_4^{2-}$  een weinig verhoogd. Waarschijnlijk wordt het Verloren Beekje bij Lampenbroek grotendeels gevoed door het diepere grondwater.

Het ontbreken van  $\text{NO}_3^-$  en de aanwezigheid van  $\text{Fe}^{2+}$  in de monsters uit het Verloren Beekje geven aan dat er op het moment van monsternamen een anaëroob milieu heerste. De zeer hoge  $\text{Fe}^{2+}$  concentraties bij de punten B10V en B11 zijn een extra aanwijzing dat het Verloren Beekje bij Lampenbroek grotendeels wordt gevoed door het diepere grondwater.

## II. Lampenbroek (B18-B21)

De monsters van slootwater in Lampenbroek vertonen geen essentiële verschillen met het grondwater in de dichtst bij gelegen monsterpunten 28A,B en 29A,B.

## III. Apeldoornsch Kanaal (B17) en Vrijenberger Spreng (B27)

Het water uit het Apeldoornsch Kanaal heeft vrijwel dezelfde chemische samenstelling als het water uit de Vrijenberger Spreng. Het Apeldoornsch Kanaal wordt dan ook grotendeels gevoed door sprengwater (Zuiveringsschap Oost-Veluwe, pers.comm.). De EC is zeer laag (ca. 130  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) en de pH ligt rond de 6.7. Ten opzichte van ingedampt regenwater zijn alleen het  $\text{Ca}^{2+}$  en het  $\text{HCO}_3^-$  gehalte iets toegenomen. Een Stiff-diagram van het kanaalwater is weergegeven in figuur 4.2.

De samenstelling van het sprengwater is bepaald door indamping van regenwater en de daarop volgende kalkoplossing.

## 4.5 Discussie met betrekking tot grondwaterstromingspatroon

Bij afstroming van grondwater worden laterale verschillen in samenstelling van infiltrerend grondwater gestapeld en ontstaat in de verticaal een hydrochemisch profiel. Meting van dit profiel op verschillende plaatsen kan daardoor inzicht verschaffen in het grondwaterstromingspatroon (Engelen, 1981; Stuyfzand, 1989b; Hoogendoorn, 1990a).

Het is belangrijk bij deze methode te bedenken dat het grondwaterstromingspatroon door het jaar heen verandert. In de droge zomerperiode is er vrijwel uitsluitend sprake van regionale grondwaterstroming. In de natte winterperiode ontstaan er grondwaterbewegingen op localere schaal, gesuperponeerd op de regionale stroming. Stroompaden krijgen hierdoor een grillig verloop en vormen een soort gemiddeld grondwaterstromingspatroon (figuur A.1, appendix A). De chemische ontwikkeling van het grondwater vindt plaats langs deze stroompaden. Met behulp van de grondwaterchemie kan dit stroompadenbeeld, en dus het gemiddelde grondwaterstromingspatroon, globaal, maar zeker niet tot in detail achterhaald worden (Hoogendoorn, pers. comm.). Ook al omdat de chemie van het grondwater zelden geheel eenduidig te verklaren is (Hoogendoorn, 1990b). Bij de meting van het hydrochemisch profiel in dit onderzoek moeten nog een aantal extra kanttekeningen worden geplaatst.

Bij de meeste monsterpunten is slechts één filter aanwezig. Daarmee kan geen beeld worden verkregen van de verticale stapeling van watertypen. Relaties tussen de verschillende monsterpunten zijn daardoor moeilijk te leggen. Ook wordt het moeilijk de richting van de grondwaterstroming te achterhalen. Horizontale grondwaterstroming geeft vaak duidelijke grenzen in het hydrochemisch profiel. Bij meer verticale grondwaterstroming wordt het hydrochemisch profiel als het ware in één zone samengeperst. Door menging en dispersie leidt dit hydrochemisch profiel zonder duidelijke grenzen (Hoogendoorn, 1990a).

De filterlengte van de monsterbuizen in de raai is erg groot: 50 cm tot 2 m. Bij monsternamen wordt daardoor water uit verschillende stroombanen vermengd. Kleinschalige verschillen in de grondwaterchemie, bijvoorbeeld ten gevolge van verschillen in landgebruik op perceelschaal, worden op deze manier weggemiddeld. Daarnaast kan de interpretatie van de watersamenstelling tot verkeerde conclusies leiden wanneer het gaat om een mengsel van twee sterk verschillende, in de ondergrond vlak boven elkaar voorkomende watertypes.

Het gevolg van bovengenoemde bezwaren is dat met de beschikbare gegevens slechts een zeer globaal beeld kan worden gevormd van het grondwaterstromingspatroon. Combinatie met overige gegevens (bijvoorbeeld: grondwaterstand, landgebruik en bodemtype) en vergelijking met eerder onderzoek is hierbij essentieel.



In figuur 4.4 wordt een overzicht gegeven van chemische processen in het grondwater, grondwaterstanden en bodemtypes en landgebruik langs de raai. In grote lijnen komt het beeld overeen met het in eerder onderzoek gepresenteerde resultaten (zie paragraaf 2.5.1). Heel duidelijk komen verschillen tussen het westelijk deel en de rest van de raai naar voren. De overgangszone ligt rond het Apeldoornsch Kanaal. Het westelijk deel heeft een aantal kenmerken die er duidelijk op wijzen dat het een infiltratiegebied is (vergelijk o.a. Verkooijen et al., 1985; Vissers et al., 1985; Hoogendoorn, 1990b): de hoge ligging, de diepe grondwaterstand, het ontbreken van watergangen, de kalkarme bodem (slechte buffering zuur en dus lage pH grondwater) en de zuurstofrijkdome van het grondwater (hoog  $\text{NO}_3^-$  gehalte).

Ten oosten van het Apeldoornsch Kanaal is de grondwaterstand hoger en zijn er in de grondwatersamenstelling twee belangrijke algemene kenmerken: een goede buffering door kalkoplossing (een overheersende aanwezigheid van  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  en een vrijwel neutrale pH) en een totale denitrificatie.

Wanneer we de grondwaterchemie in de oostelijke clusters nader beschouwen, valt op dat er geen trendmatige ontwikkeling in de concentraties van opeenvolgende monsterpunten te ontdekken valt, zoals bijvoorbeeld toenemende  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  concentraties. De variatie binnen het landbouwgebied is juist grillig, met name in cluster VII. Er is waarschijnlijk een sterke relatie tussen de chemische samenstelling van het grondwater en bodemtype en landgebruik ter plaatse. Daarnaast zijn de qua grondwaterchemie afwijkende clusters rond het Apeldoornsch Kanaal en rond Lampenbroek erg smal. Al deze punten kunnen erop wijzen dat de gemiddelde grondwaterstroming in het freatische pakket een sterk lokaal karakter heeft. Bovengenoemde kanttekeningen maken een harde conclusie echter onmogelijk. Horizontale regionale afstroming, zoals lijkt te volgen uit het isohypsenpatroon van figuur 2.3, zal waarschijnlijk met name onder de Eemkleilaag plaatsvinden. Op een en ander zal in hoofdstuk 7 nader worden ingegaan.

In twee smalle zones, rond het Apeldoornsch Kanaal en rond Lampenbroek, wijkt de samenstelling van het grondwater sterk af van de rest van de raai. In de vorige paragraaf is al gezegd dat het afwijkende grondwater rond het Apeldoornsch Kanaal mogelijk vanuit het kanaal zelf is geïnfiltrerd. De grootte van het invloedsgebied kan met de grondwatersamenstelling alleen zeker niet worden bepaald. Door menging en dispersie kan uit het kanaal geïnfiltrerd grondwater onherkenbaar van samenstelling veranderen. In hoofdstuk 6 wordt daarom getracht de grootte van het invloedsgebied met behulp van modelberekeningen te bepalen.

Het grondwater rond Lampenbroek vertoont in de chemische samenstelling zeer sterke overeenkomsten met het water uit het watervoerende pakket onder de Eemklei (zie tabel 4.1). Er wordt dan ook vermoed dat er rond Lampenbroek kwel optreedt vanuit het tweede naar het eerste watervoerende pakket. Wanneer het water lokaal was geïnfiltrerd, zouden vermistingsinvloeden aanwezig moeten zijn als bij de clusters V en VII. Dit geldt met name bij punt K12, waaromheen het land gewoon door de boeren wordt bemest. In de hoofdstukken 5 en 6 wordt het hier uitgesproken vermoeden getest.

parameter	Lampenbroek (mn. diepere monsters)	onder Eemklei (Verkooijen et al., 1985)
EC	260-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	240-250 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Totale Hardheid	1.3-1.5 mM	1.2-1.3 mM
$\text{Cl}^-$	0.30-0.40 mM	0.34-0.42 mM
$\text{NO}_3^-$	0 mM	0 mM
$\text{SO}_4^{2-}$	0 mM	0.02 mM
$\text{Fe}^{2+}$	0.5-2.1 mg/l	0.7-2.2 mg/l

Tabel 4.1: Vergelijking chemische samenstelling grondwater Lampenbroek en grondwater onder Eemklei.

Bovenstaande aanwijzingen met betrekking tot het grondwaterstromingspatroon zijn verwerkt in figuur 4.4. De belangrijkste voorlopige conclusies zijn: 1. Clusters I en II: infiltratiegebied regionale grondwaterstroming; 2. Clusters III en IV: gebied met een afwijkende chemische invoer, misschien subsysteem gevoed door wegzijging uit het Apeldoornsch Kanaal; 3. Cluster VI: gebied waar kwel uit het regionale systeem onder de Eemklei aan de oppervlakte treedt; 4. Clusters V en VII: twee tussengebieden waar de grondwaterstroming waarschijnlijk niet zo sterk regionaal is en een meer lokaal karakter heeft.

## 5. VERKENNENDE BEREKENINGEN

In dit hoofdstuk worden schattingen gemaakt van de kwelflux rond Lampenbroek en de wegzijgingsflux uit het Apeldoornsch Kanaal. Hiermee wordt een eerste beeld verkregen van de grootte-orde van de grondwaterfluxen in het onderzoeksgebied. Daarnaast kunnen de gegevens worden gebruikt bij de opzet en de calibratie van het numerieke grondwaterstromingsmodel.

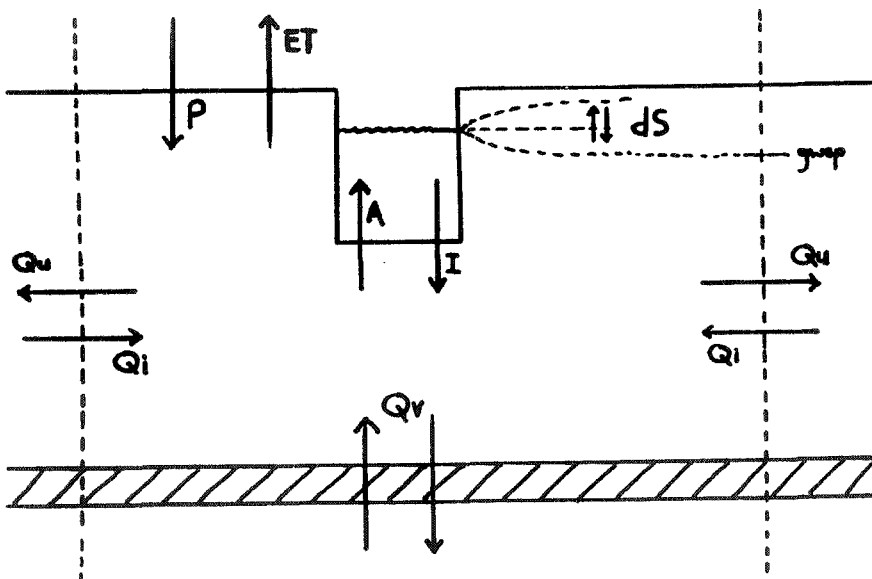
### 5.1 De kwel rond Lampenbroek

Onder kwel wordt hier verstaan het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten buiten het beschouwde gebied; het uittreden van water, dat binnen het gebied aan het oppervlak is toegevoerd valt buiten deze term (CHO-TNO, 1986). In feite is dit de netto horizontale en verticale grondwateraanvoer (figuur 5.1):

$$\text{kwelflux} = (Q_i - Q_u) + Q_v = ET + A + dS - P \quad (5.1)$$

- waarin:
- kwelflux wordt berekend in  $[LT^{-1}]$
  - $Q_i$  horizontale instroming grondwater  $[LT^{-1}]$
  - $Q_u$  horizontale uitstroming grondwater  $[LT^{-1}]$
  - $Q_v$  verticale instroming grondwater  $[LT^{-1}]$
  - ET evapotranspiratie  $[LT^{-1}]$
  - A afvoer grondwater naar watergang  $[LT^{-1}]$
  - dS verandering berging  $[LT^{-1}]$
  - P neerslag  $[LT^{-1}]$

Door stijghoogtefluctuaties kan de kwelflux in de tijd variëren. Op een drietal verschillende manieren is geprobeerd een schatting te maken van de kwelflux rond Lampenbroek.



Figuur 5.1: Waterbalans freatisch grondwater.

### 5.1.1 Momentane kwelflux in veldperiode

Met behulp van in de veldperiode verzamelde gegevens en weergegevens van het KNMI (KNMI, 1993) is een schatting gemaakt van de kwelflux rond Lampenbroek over de periode van 22 tot en met 30 juni. De verschillende termen van vergelijking 5.1 zijn als volgt geschat:

ET: Uit Makkink-verdampingsgegevens van KNMI-station Deelen. Overheersend landgebruik is gras, daarnaast wat mais. Voor beiden is de gewasfactor eind juni ca. 1 (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1992).

$$ET = 2.6 + 1.7 + 3.5 + 1.4 + 1.4 + 4.0 + 2.6 + 5.2 = 22.4 \text{ mm}$$

dS: Over deze periode daalt de grondwaterstand in het betreffende gebied ca. 7 cm (zie bijlage 7). De bergingscoëfficiënt in de fijnzandige, lemige top van het freatische pakket (Formatie van Twente) wordt geschat op 0.20 (Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum, 1992).

$$dS = S \cdot dh = 0.20 \cdot 70 \text{ mm} = 14 \text{ mm}$$

P: Neerslaggegevens van het KNMI-station Eerbeek geven een cumulatieve neerslag van 1.4 mm over de genoemde periode.

$$P = 1.4 \text{ mm}$$

A: In deze periode is nauwelijks afvoer waargenomen door de Verloren Beek en de Loenensche Beek.

$$A = 0 \text{ mm}$$

Uit bovenstaande gegevens kan de kwelflux worden berekend:

$$\text{kwelflux} = ET + A + dS - P = 22.4 + 0 - 14 - 1.4 = 7 \text{ mm} / 8 \text{ dgn} = 0.9 \text{ mm/dag}$$

Met behulp van vergelijking 5.1 kan berekend worden hoe groot het aandeel van de verticale grondwateraanvoer in de kwelflux is. Hiervoor gaan we uit van het gebied tussen monsterpunten K7 en K8 en monsterpunten 14 en K14 (kaart zie bijlage 1). De lengte van dit gebied is 1750 m. De horizontale grondwaterfluxen worden berekend met behulp van de gemiddelde stijghoogtegradiënten op de randen van het gebied. KD is doorlaatvermogen in  $\text{m}^2/\text{dag}$ , grad() is gradiënt stijghoogteverloop tussen genoemde monsterpunten.

$$Q_i = -KD \cdot \text{grad}(K7 - K8) = -200 \cdot \frac{8.70 - 8.84}{170} = 0.165 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\Rightarrow 0.165 \text{ m}^2/\text{dag} \cdot \frac{8 \text{ dgn}}{1750 \text{ m}} = 0.75 \text{ mm in 8 dgn}$$

$$Q_u = -KD \cdot \text{grad}(14 - K14) = -200 \cdot \frac{(7.18 + 7.02 - 7.41 - 7.35) / 2}{860} = 0.065 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\Rightarrow 0.065 \text{ m}^2/\text{dag} \cdot \frac{8 \text{ dgn}}{1750 \text{ m}} = 0.30 \text{ mm in 8 dgn}$$

Samen met bovenstaande kwelfluxberekening volgt hieruit de verticale grondwateraanvoer:

$$Q_v = \text{kwelflux} - (Q_i - Q_u) = 7 - (0.75 - 0.30) = 6.55 \text{ mm} / 8 \text{ dgn} = 0.8 \text{ mm/dag}$$

Uit deze berekeningen blijkt dat de kwelflux vrijwel geheel bestaat uit grondwater aanvoer uit een dieper watervoerend pakket. Dit is in overeenstemming met de chemische gegevens (hoofdstuk 4), waaruit blijkt dat het ondiepe grondwater rond Lampenbroek dezelfde samenstelling heeft als het grondwater in het tweede watervoerende pakket.

Een drietal opmerkingen bij deze berekeningen:

1. Bovenstaande berekeningen zijn met name erg gevoelig voor de keuze van de bergingscoëfficiënt. Deze zal in de praktijk waarschijnlijk liggen tussen de 0.15 en de 0.25. Bij een  $S$  van 0.15 wordt een kwelflux berekend van 1.3 mm/dag; bij een  $S$  van 0.25 wordt een  $S$  berekend van 0.4 mm/dag.
2. Het is mogelijk dat er in de genoemde periode toch sprake is geweest van enige afvoer. In dat geval is  $A$  onderschat. Hierdoor is de berekende momentane kwelflux een minimumschatting.
3. Het zou beter zijn bij deze berekeningen een wat langere periode te beschouwen. Hiervoor ontbreken echter met name gegevens met betrekking tot de sloot- en beekafvoer.

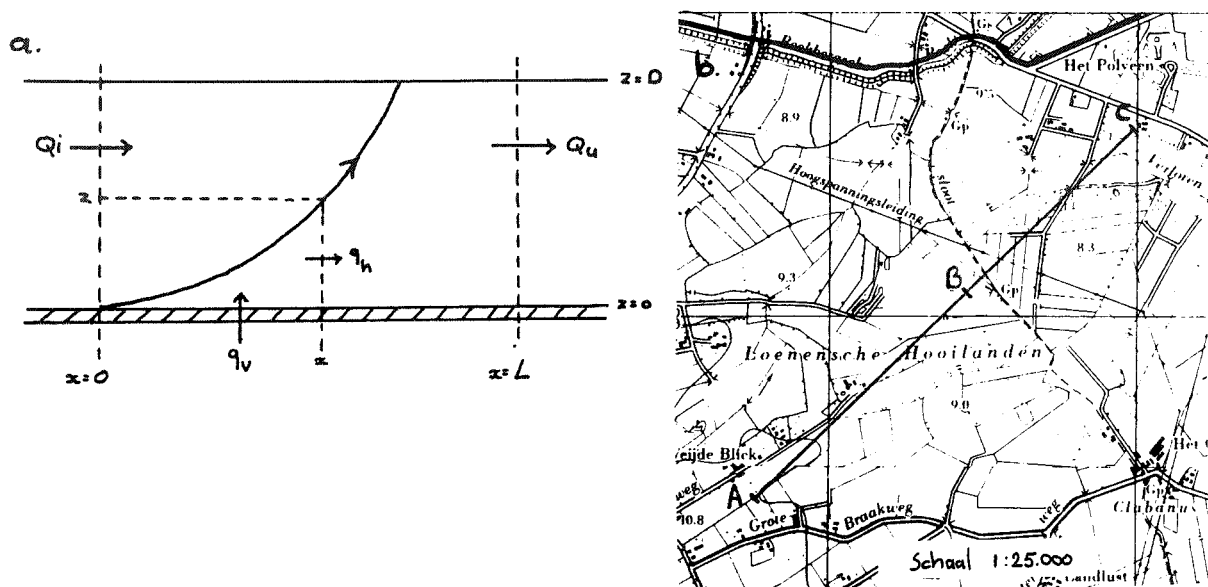
### 5.1.2 Berekening momentane kwelflux uit stijghoogteverschil over Eemklei

Op 17 maart 1994 zijn stijghoogtes opgenomen in drie peilfilters van TNO vlak bij Lampenbroek (meetpunt C12, Hoogendoorn (1990a)). De locatie van dit meetpunt is weergegeven in bijlage 1, de grondwaterstanden zijn vermeld in bijlage 7. Uit deze gegevens blijkt dat er over de Eemklei een stijghoogteverschil bestaat van 27 cm. De stijghoogte onder de Eemklei is hoger. Hoogendoorn (1990a) geeft aan dat de Eemkleilaag hier ca. 2 m dik is. De  $c$ -waarde van de laag wordt daarom geschat op 100 d (Hendriks, 1988; Groenendijk, 1990). Hieruit volgt dat de verticale grondwateraanvoer vanuit het diepere watervoerende pakket naar het freatische pakket 2.7 mm/dag bedraagt. De regionale gradiënt bij Lampenbroek is zo laag dat de kwelflux ook ongeveer 2.7 mm/dag zal bedragen.

### 5.1.3 Berekening gemiddelde kwelflux in regionaal model

In figuur 4.4 is schematisch het grondwaterstromingspatroon rond Lampenbroek weergegeven. We beschouwen een deel van dit gebied waarover kwel vanuit het tweede watervoerende pakket naar het freatische pakket optreedt en gaan uit van een stationaire situatie. Daarnaast beschouwen we alleen regionale stroming en gaan er van uit dat alle in het modelgebied infiltrerende neerslag direct lokaal naar de sloten wordt afgevoerd.

Figuur 5.2a geeft het model nog eens schematisch weer. De mogelijke ligging van de scheiding tussen uit het tweede watervoerende pakket opkwellende water en het water van het freatische pakket is weergegeven als een lijn. Deze scheidingslijn is in feite de stroombaan van het deeltje dat linksonder het modelgebied binnenkomt. De plek waar deze stroombaan aan de oppervlakte



Figuur 5.2: a. Model regionale grondwaterstroming ter berekening gemiddelde kwelflux.  
b. Ligging modelprofielen.



komt is de westelijke grens van het gebied waar grondwater uit het tweede watervoerende pakket aan de oppervlakte treedt. Volgens de chemische gegevens moet deze plek in ieder geval ten westen van Lampenbroek liggen.

De ligging van de stroombaan is simpel te berekenen met behulp van een waterbalans benadering (van Ganswijk et al., 1988). Er wordt uitgegaan van een homogeen, isotroop pakket waarin de Dupuit-Forchheimer aannames gelden. De waterbalans onder de stroomlijn:

$$\text{volume in (m}^2/\text{dag)} \quad q_v \cdot x \quad (5.2)$$

$$\text{volume uit (m}^2/\text{dag)} \quad q_h \cdot z = \frac{Q_i \cdot (L - x) + Q_u \cdot x}{L \cdot D} \cdot z \quad (5.3)$$

waarin:  $q_v$  verticale grondwaterfluxdichtheid onderrand model (m/dag)  
 $q_h$  horizontale grondwaterfluxdichtheid op punt x (m/dag)  
 $Q_i$  horizontale grondwaterdebiet linker modelrand (m<sup>2</sup>/dag)  
 $Q_u$  horizontale grondwaterdebiet rechter modelrand (m<sup>2</sup>/dag)  
 $L$  lengte modelgebied (m)  
 $D$  dikte freatische pakket (m)

Voor een stationaire situatie geldt dus:

$$q_v \cdot x = \frac{Q_i \cdot L + (Q_u - Q_i) \cdot x}{L \cdot D} \cdot z \quad (5.4)$$

$$z = \frac{q_v \cdot L \cdot D \cdot x}{Q_i \cdot L + (Q_u - Q_i) \cdot x} \quad (5.5)$$

Los nu x op voor z=D. Dit geeft een uitdrukking voor de plaats waar de stroombaan aan de oppervlakte treedt.

$$x = \frac{Q_i \cdot L}{q_v \cdot L + Q_i - Q_u} \quad (5.6)$$

De gemiddelde kwelflux in het gebied tussen x en L ( $x < L$ ) is dan:

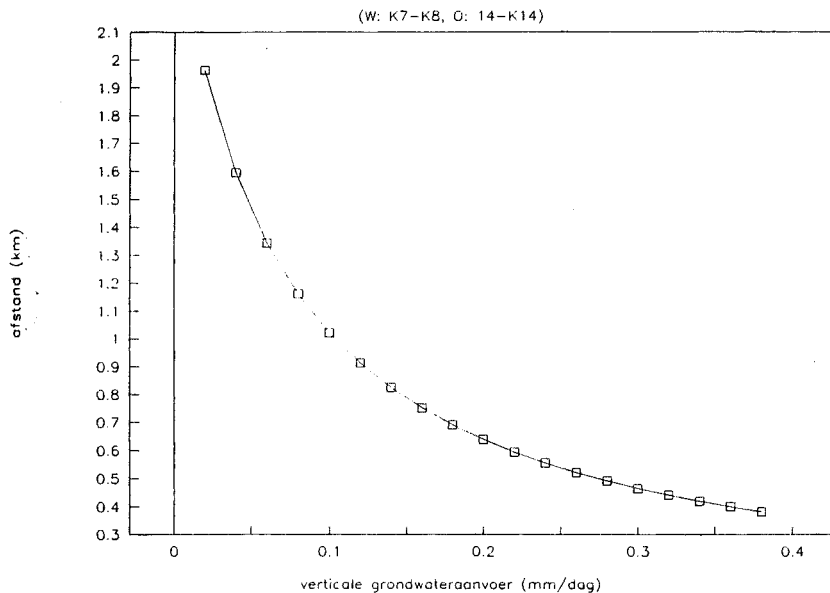
$$\text{kwelflux} = q_v \cdot L - \frac{Q_u}{L - x} \quad \text{in [LT}^{-1}\text{]} \quad (5.7)$$

Nu passen we het model toe op de werkelijke situatie. Linkergrens tussen monsterpunten K7 en K8, rechter modelgrens tussen monsterpunten 14 en K14 (lijnstuk AC in figuur 5.2b). De verschillende parameters zijn als volgt gekozen:

$$\begin{aligned} L &= 1750 \text{ m} \\ D &= 13 \text{ m} \quad (\text{Aelmans, 1983}) \\ KD &= 200 \text{ m}^2/\text{dag} \quad (\text{Hendriks, 1988}) \\ Q_i &= -KD \cdot \text{grad}(K7-K8) = -200 \cdot -0.000853 = 0.171 \text{ m}^2/\text{dag} \\ Q_u &= -KD \cdot \text{grad}(14-K14) = -200 \cdot -0.000267 = 0.0534 \text{ m}^2/\text{dag} \end{aligned}$$

Bij verschillende waarden voor  $q_v$  is x uitgerekend. Het resultaat is weergegeven in figuur 5.3. De  $q_v$  waarbij de stroomlijn aan de oppervlakte treedt op de westgrens van Lampenbroek (rond

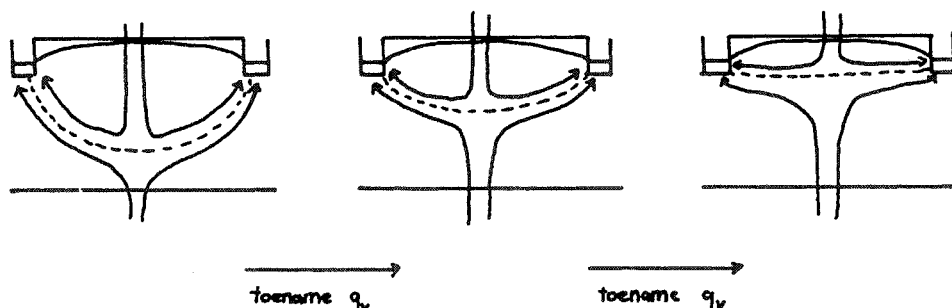
$x=1100$  m) geeft een soort minimumschatting voor de  $q_v$  rond Lampenbroek. Uit de figuur blijkt dat deze  $q_v$  ca. 0.1 mm/dag bedraagt. Bij een zeer geringe  $q_v$  kan dus al diep grondwater in Lampenbroek aan de oppervlakte treden. De gemiddelde kwelflux rond Lampenbroek volgt uit vergelijking 5.7 en is in dit geval 0.19 mm/dag.



Figuur 5.3: Berekende plaats uittreden diepe kwel als functie van verticale grondwateraanvoer.

Een aantal kanttekeningen is bij deze berekening op zijn plaats.

1. In het model is alleen gelet op de regionale grondwaterstroming. Er is geen rekening gehouden met effecten van de lokale afvoer van neerslag naar waterlopen. De neerslagafvoer zal tussen de waterlopen een soort neerslagbel doen ontstaan, die de verticale grondwateraanvoer naar de waterlopen dwingt (zie figuur 5.4). Bij de hier berekende minimale  $q_v$  zal het ondiepe grondwater tussen de waterlopen bestaan uit lokaal geïnfiltrerd neerslagwater. Een grotere verticale grondwateraanvoer zal de neerslagbel als het ware kunnen indrukken. Hoe groter  $q_v$ , hoe hoger het diepe kwelwater in het freatische pakket voorkomt. In Lampenbroek had het ondiepe grondwater alle kenmerken van het grondwater uit het tweede watervoerende pakket. De  $q_v$  moet hier dus (veel) groter zijn dan het met dit model berekende minimum. Hierop wordt in de volgende paragraaf verder ingegaan.



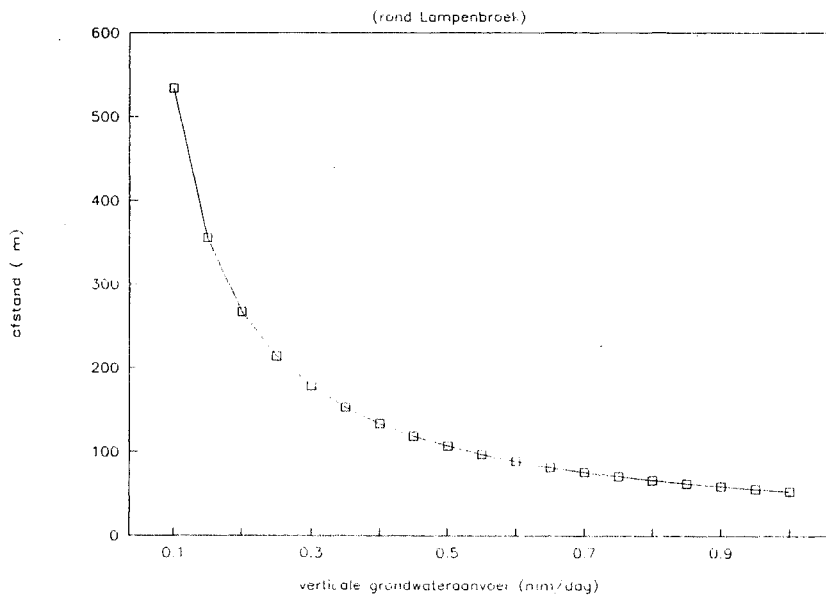
Figuur 5.4: Effect relatieve toename diepe grondwateraanvoer op dikte neerslagbel.

2. In het model vindt de verticale grondwatertoevoer over de gehele lengte  $L$  plaats. Gezien het discontinue karakter van de Eemkleilaag is het waarschijnlijker dat de verticale grondwateraanvoer is geconcentreerd op één of op een aantal plaatsen waar de Eemklei zeer dun of afwezig is. Het is te complex om dit analytisch te modelleren. Het enige geval dat hier nog

wordt bekeken is de situatie waarbij precies rond Lampenbroek een gat in de Eemklei aanwezig is. Er wordt een constante regionale gradiënt verondersteld. Lijnstuk BC in figuur 5.2b geeft de ligging van het modelprofiel, de veronderstelde plaats van het gat in de Eemklei.

$$\begin{aligned}
 L &= 700 \text{ m} \\
 D &= 13 \text{ m} \\
 KD &= 200 \text{ m}^2/\text{dag} \\
 Q_i &= Q_u = -K \cdot \text{grad}(14-K14) = -200 \cdot -0.000267 = 0.0534 \text{ m}^2/\text{dag}
 \end{aligned}$$

De resultaten zijn weergegeven in figuur 5.5. De westgrens van Lampenbroek ligt rond  $x=200$  m. De stroomlijn treedt hier aan de oppervlakte bij een  $q_v$  van ca. 0.3 mm/dag; de gemiddelde kwelflux is hierbij natuurlijk ook ca. 0.3 mm/dag, want  $Q_u$  is gelijk aan  $Q_i$ . Dit is nog steeds een zeer lage waarde. Het belangrijkste mankement van het model is dan ook het eerstgenoemde probleem.

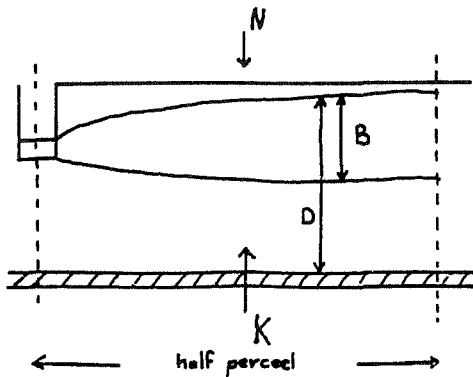


Figuur 5.5: Berekende plaats uittreden diepe kwel als functie van verticale grondwateraanvoer: 'gat in Eemklei'.

#### 5.1.4 Berekening gemiddelde kwelflux uit dikte neerslagbel

In het vorige paragraaf is opgemerkt dat de hoeveelheid aangevoerd diep grondwater groter moet zijn dan het daar berekende minimum (ca. 0.3 mm/dag) om in Lampenbroek zo ondiep voor te komen als uit de chemie blijkt. Om te berekenen hoe groot deze diepe grondwateraanvoer dan moet zijn, wordt het model in figuur 5.6 beschouwd.

Het gaat om een stationaire situatie waarbij het grondwaterlichaam wordt gevoed door neerslag en door grondwateraanvoer van buiten het modelgebied en wordt gedraineerd door een sloot. Grondwaterstroming vindt alleen plaats evenwijdig aan het profiel en voldoet aan de Dupuit-Forchheimer aannamen.  $B$  is de dikte van de neerslagbel,  $D$  is de dikte van het watervoerende deel van de freatische aquifer,  $N$  is de neerslag die bijdraagt aan de opbouw van de neerslagbel,  $K$  is de grondwateraanvoer van buiten het modelgebied (de kwelflux) en  $Q_{tot}$  is de totale grondwaterafvoer naar de sloot in een verticale doorsnede op punt  $x$ . Nu kan de volgende relatie worden opgesteld (Ernst, 1983):



Figuur 5.6: Model voor berekening kwelflux uit dikte neerslagbel.

$$\frac{D-B}{D} = \frac{K \cdot x}{Q_{tot} \cdot x} = \frac{K}{Q_{tot}} = \frac{K}{N+K} \quad (5.8)$$

$$K = Q_{tot} \cdot \frac{D-B}{D} = N \cdot \frac{D-B}{B} \quad (5.9)$$

De dikte van de neerslagbel wordt dus bepaald door de verhouding tussen de neerslagflux en de diepere grondwateraanvoer. Uit de dikte van de neerslagbel, de totale grondwaterafvoer en de dikte van het watervoerende pakket is met behulp van vergelijking 5.9 de kwelflux te berekenen.

Een groot deel van het jaar rijkt de grondwaterstand in Lampenbroek tot aan het maaiveld (archieff buis 14C, Natuurmonumenten). Deze situatie bepaalt dan ook de opbouw van de neerslagbel. Geschat wordt dat het slootpeil gemiddeld ca. 40 cm onder het maaiveld ligt. De opbolling bedraagt dan grote delen van het jaar ca. 40 cm. Uitgaande van een drainageweerstand ( $v$ ) van 100 tot 200 dagen (Hendriks, 1988; IWACO, 1992) betekent dit dat  $Q_{tot}$  2 tot 4 mm/dag bedraagt. In Lampenbroek is de dikte van het freatische pakket ( $D$ ) ongeveer 13 m (Hoogendoorn, 1990a). Met deze waarden geeft het model de volgende resultaten:

B (m)	berekende kwelflux K (mm/dag)		
	$v = 100$ d $Q_{tot} = 4$ mm/d	$v = 150$ d $Q_{tot} = 2.7$ mm/d	$v = 200$ d $Q_{tot} = 2$ mm/d
8	1.5	1.0	0.8
7	1.8	1.2	0.9
6	2.2	1.4	1.1
5	2.5	1.6	1.2
4	2.8	1.8	1.4
3	3.1	2.1	1.5
2	3.4	2.3	1.7
1	3.7	2.5	1.8

Uit de chemische data kan de dikte van de neerslagbel worden afgeleid. In buis 14B komt, duidelijker dan in buis 14C, 'diep' grondwater voor. De filterdiepte van buis 14B is 2.8 m onder het maaiveld. Bij een grondwaterstand tot aan het maaiveld is de neerslagbel dus maximaal 3 m dik. Uit het model volgt dan een kwelflux van 1.5 tot 3 mm/d.

Opmerking 1: Het model is zeer gevoelig voor de keuze van de drainageweerstand. Deze is in dit gebied niet goed bekend. Hier is uitgegaan van in andere modelstudies gebruikte gegevens. Er zijn te weinig gegevens van het gebied rond Lampenbroek bekend om een betere schatting te maken.

Opmerking 2: Het grondwaterstromingspatroon varieert tussen droog en nat seizoen (zie appendix A). In het natte seizoen is de lokale afvoer naar de waterlopen duidelijk aanwezig in het grondwaterstromingspatroon, terwijl deze in het droge seizoen volledig kan verdwijnen. Stroompaden krijgen hierdoor een grillig verloop en vormen een soort gemiddeld grondwaterstromingspatroon (figuur A.1, appendix A). De chemische ontwikkeling van het grondwater vindt plaats langs de stroompaden. Analyse van de chemie van het grondwater is dus een goede methode om de gemiddelde dikte van de neerslagbel te schatten. In welk jaargetijde de chemie wordt bepaald is hiervoor niet van belang.

### 5.1.5 Conclusie

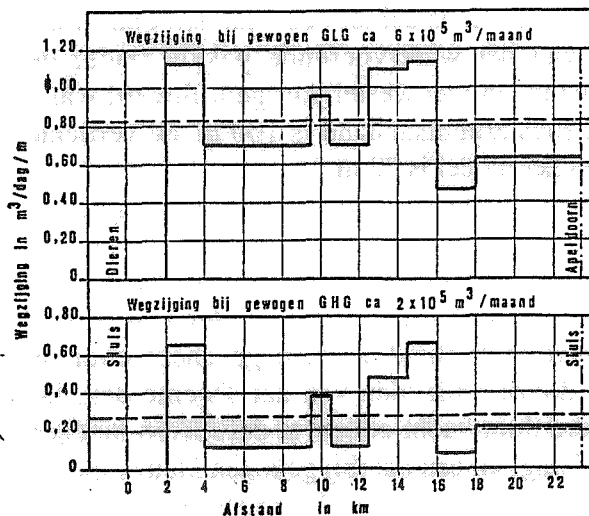
Bovenstaande berekeningen geven nogal verschillende resultaten:

momentane kwelflux veldperiode (5.1.1)	0.8 mm/dag
momentane kwelflux stijgh. versch. EK (5.1.2)	2.7 mm/dag
gemiddelde kwelflux regionaal model (5.1.3)	0.3 mm/dag
gemiddelde kwelflux neerslagbel model (5.1.4)	1.5 - 3 mm/dag

Om eerder vermelde redenen worden de schattingen in paragraaf 5.1.3 niet reëel geacht. Bij alle overige berekeningen zijn grove aannames gedaan. Het meeste waarde wordt echter gehecht aan de berekeningen in 5.1.2 en 5.1.4. In de GMN+ studie berekent IWACO (1992) een kwelflux van 2.5 mm/dag. Er kunnen hier geen harde conclusie worden getrokken omtrent de grootte van de kwelflux. Uit de beschikbare informatie wordt de kwelflux rond Lampenbroek geschat op  $2 \pm 0.5$  mm/dag.

## 5.2 De wegzijging uit het Apeldoornsch Kanaal

Te Luggenhorst (1980) geeft in figuur 5.7 waarden voor de wegzijging uit het eerste pand van het Apeldoornsch Kanaal. Bij de gemiddeld laagste grondwaterstand in de omgeving van het kanaal (zomersituatie) is de wegzijging ter plekke van het kanaal ca.  $1.10 \text{ m}^3/\text{dag}$  per meter kanaallengte. Bij de gemiddeld hoogste grondwaterstand (wintersituatie) is dit ca.  $0.48 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . Uitgaande van een gelijke duur van zomer- en wintersituatie zal de jaargemiddelde wegzijging liggen rond de  $0.79 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . De natte doorsnede van het kanaal is 21.4 m (te Luggenhorst, 1980). De wegzijging naar het freatische pakket kan hiermee omgerekend worden naar mm/dag:  $0.79 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m} / (21.4 \text{ m} \cdot 1 \text{ m}) = 37 \text{ mm}/\text{dag}$ .



Figuur 5.7: Kwel en wegzijging langs het Apeldoornsch Kanaal. (te Luggenhorst, 1980)

## 6. NUMERIEKE MODELLERING

### 6.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is een globaal beeld geschetst van grondwaterstromingspatroon en grondwaterfluxen in het onderzoeksgebied. Doel van de hier gepresenteerde modellering is de simulatie van de huidige grondwaterstroming. Ten eerste om een gedetailleerder beeld te verkrijgen van het grondwaterstromingspatroon, met name rond Lampenbroek. Ten tweede om meer inzicht te krijgen in de grootte van de grondwaterfluxen in het onderzoeksgebied.

Er is, aansluitend bij de rest van het onderzoek, gekozen voor modellering van een stationaire situatie in een verticale doorsnede langs de in hoofdstuk 3 beschreven raai. De modellering is uitgevoerd met behulp van de grondwaterstromingsmodelcode FLOWNET (van Elburg et al., 1986). Belangrijkste aanname bij deze modellering is dat alle stroming plaatsvindt in het vlak van het modelprofiel; geen stroming onder een hoek met deze lijn. Gezien het evenwijdige verloop van de isohypsen (figuur 2.3) gaat deze aanname redelijk op voor de regionale grondwaterstroming in het onderzoeksgebied. Op locale schaal kan de richting van de grondwaterbewegingen afwijken van deze lijn. Het reconstrueren van de locale grondwaterstroming valt echter buiten het kader van deze modelstudie.

### 6.2 Opzet model

Allereerst is een overzicht gemaakt van de essentiële hydrologische kenmerken van het onderzoeksgebied. Op basis van deze gegevens is het roosterpuntennet voor het model opgezet en zijn hydrologische eigenschappen toegekend aan de roostercellen. Een beschrijving van het modelrooster is opgenomen in bijlage 8.

Het modelprofiel is gekozen op de regionale stroomlijn waarlangs ook het hydrochemische onderzoek heeft plaatsgevonden. De linker, zuid-westelijke modelgrens is gekozen op de 15 m + NAP isohyps van 28 april 1978 (van Ganswijk et al., 1988). De rechter, noord-oostelijke modelgrens is gekozen bij de spoorlijn van Apeldoorn naar Zutphen; stijghoogte ca. 6.4 m + NAP op 28 april 1978 volgens van Ganswijk et al. (1988). De lengte van het modelprofiel is 7.5 km. De Drenteklei is genomen als ondoorlatende ondergrens. Alleen in het meest westelijke deel van het profiel komt de Drenteklei niet voor. Ook hier is echter een gesloten onderrand verondersteld, omdat de grondwateraanvulling van het watervoerende pakket onder de Drenteklei zeer gering is en voornamelijk zal plaatsvinden met westelijker geïnfiltrerd water (Brouwer & Hoogendoorn, 1986). De horizontale roosterpuntsafstand is 100 m, de verticale roosterpuntsafstand is 2 m. De maximale hoogte van het model is 72 m.

Doorlatendheden en ligging van de doorlatendheidsgrenzen zijn afgeleid uit de in bijlage 8 vermelde bronnen. Net als bij de modellering van Hoogendoorn (1990b) wordt hier anisotropie aangenomen voor het gestuwde materiaal. In het gestuwde materiaal komen sterk scheefgestelde leemlagen voor. Hierdoor zal de verticale doorlatendheid groter zijn dan de horizontale. Uit de literatuurgegevens kon geen duidelijkheid worden geschept over de continuïteit van de Eemkleilaag en over dikte en doorlatendheden van het Twente-dek. De hoogteligging van de grondwaterspiegel is ingevoerd door 'lucht-cellen' te definiëren met een zo hoog mogelijke verticale doorlatendheid (800 m<sup>2</sup>/dag) en een daarbij gekozen kleinst mogelijke horizontale doorlatendheid (5 m<sup>2</sup>/dag). Op deze manier is de grondwaterstroming door de

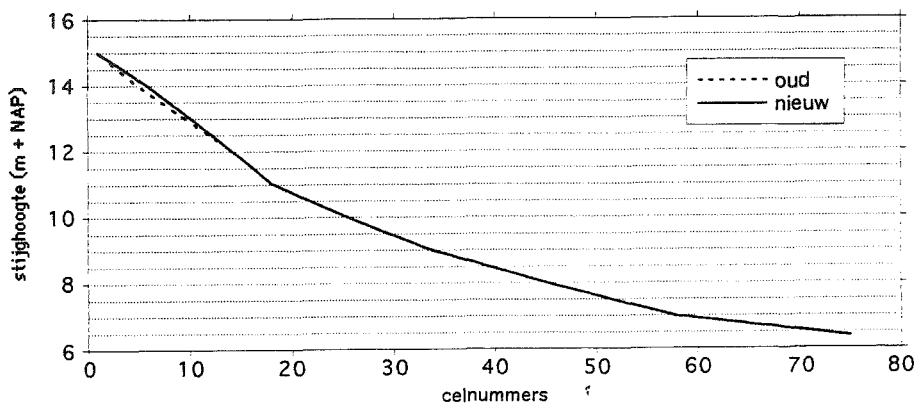
'lucht-cellen' verticaal en is het stijghoogteverlies over deze cellen minimaal, zodat de opgegeven randvoorwaarde in feite geldt voor de bovenste watervoerende cel.

Zowel de bovenrand als de linker en de rechter modelrand zijn 'open'. Als randvoorwaarden zijn aan de bovenrand in eerste instantie uit de isohypsenkaart van 28 april 1978 geïnterpoleerde grondwaterstanden opgegeven. Op de zijranden is dezelfde stijghoogte opgegeven als de grondwaterstand (=bovenrandvoorwaarde) ter plekke. Bij de eerste modellering is het Apeldoornsch Kanaal nog niet meegenomen.

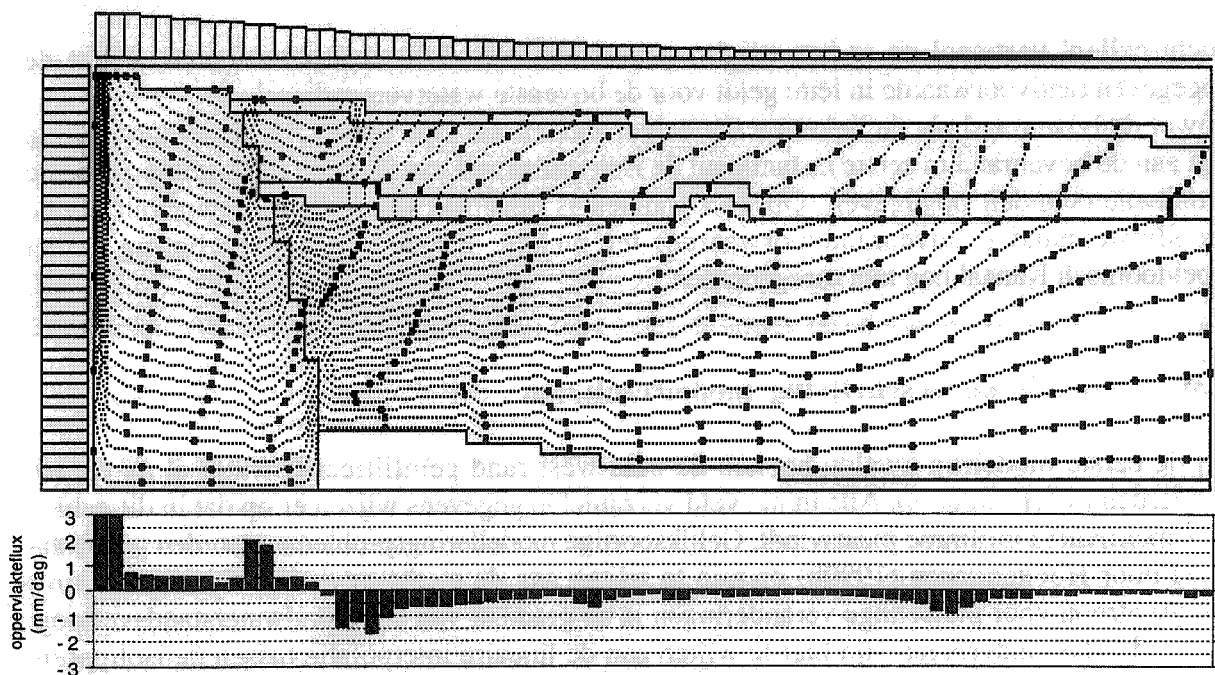
### 6.3 Calibratie en beschrijving modelresultaten

Bij de eerste modelrun kwelde het aan de zuid-west rand geïnfiltreerde water al na enkele honderden meters weer op. Alle in het veld verzamelde gegevens wijzen er op dat in dit gebied in werkelijkheid infiltratie plaatsvindt. Gelijksortige modelleringsproblemen worden geconstateerd door Hoogendoorn (1990b) en zijn te wijten aan de sterke gevoeligheid van het stromingspatroon voor plotselinge veranderingen in de gradiënt van het grondwaterstandsverloop. De gradiëntveranderingen zijn hier te wijten aan de lineaire interpolatie tussen de isohypsen. Om het grondwater in het infiltratiegebied 'ondergronds' te houden berekent Hoogendoorn (1990b) het grondwaterstandsverloop conform de formule voor de afstroming van grondwater naar twee drains. In de meest eenvoudige vorm (homogeen, isotroop, volkomen watergangen) heeft de grondwaterstand hierbij een parabolisch verloop (Hooghout). Ook bij deze modelstudie is in het infiltratiegebied een meer parabolisch grondwaterstandsverloop opgelegd om het grondwater zeker tot aan het Apeldoornsch Kanaal ondergronds te houden. Zowel de oude als de aangepaste bovenrandvoorwaarden zijn weergegeven in figuur 6.1. Het resultaat van de modellering met de aangepaste bovenrandvoorwaarden is weergegeven in figuur 6.2. De gemodelleerde grondwaterstroming heeft de volgende kenmerken:

- Infiltratie ten westen van het Apeldoornsch Kanaal. Gemiddeld ca. 0.6 mm/dag, lokaal echter uitschieters tot 2 mm/dag.
- Vrij sterke, korte kwelstroom van 1 tot 2 mm/dag rond het Apeldoornsch Kanaal.
- Zwakke kwelstroom van enkele tienden mm/dag door de Eemklei. Alleen op plekken waar het grondwaterstandsverloop een knik vertoont ten gevolge van interpolatie is de kwelflux 0.7 tot 0.9 mm/dag.
- Totale grondwaterinstroming vanuit het westen op  $x=7$  is  $2.57 \text{ m}^2/\text{dag}$ .
- Een zeer sterke infiltratie van ca. 5 mm/dag aan de uiterste linker modelrand.



Figuur 6.1: Geïnterpoleerde en aangepaste bovenrandvoorwaarden FLOWNET.



Figuur 6.2: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 1.

Er zijn een aantal punten waarop de gemodelleerde situatie zeer sterk afwijkt van de werkelijke situatie:

1. De rond Lampenbroek berekende kwelflux is veel kleiner dan de in hoofdstuk 5 geschatte  $2 \pm 0.5$  mm/dag.
2. De totale grondwaterinstroming vanuit het westen op  $x=7$  is kleiner dan verwacht: Uitgaande van een afstand tot de grondwaterscheiding van ca. 6 km, een gemiddeld neerslagoverschot van 0.7 mm/dag en een verwaarloosbare grondwaterafvoer naar het derde watervoerende pakket en naar sprengen, is hier een grondwaterinstroming te verwachten van ca.  $4.2$  m<sup>2</sup>/dag. Dit is, gelet op de laatste aanname, een maximum schatting.
3. Het grondwaterstromingspatroon ten oosten van het Apeldoornsch Kanaal vertoont alleen regionale kwelstroming, terwijl er, zeker in de natte periode, sprake is van een sterke lokale grondwaterafvoer naar de vele watergangen in dit gebied. De hydrochemische gegevens vertonen in dit gebied dan ook kenmerken van lokaal geïnfiltrerd water. Dit probleem wordt veroorzaakt doordat lokale variaties in de grondwaterstand veroorzaakt door afvoer naar watergangen in deze modellering niet zijn meegenomen. Hoogendoorn (1990b) geeft aan dat FLOWNET in principe wel in staat is deze lokale grondwaterafvoer te simuleren. Hiermee verder experimenteren viel echter buiten het kader van deze modelstudie.
4. De infiltratie aan de uiterste linker modelrand is veel te hoog. Dit moet worden gezien als een modelcalamiteit. De infiltratie compenseert een tekort aan instroming over deze modelrand. Er is geprobeerd de instroming beter te simuleren door aan de linkerrand een hogere stijghoogte op te geven (bijv. 15.1 m in plaats van 15 m). Dit had tot gevolg dat de instroming over de linker modelrand horizontaler was. De totale grondwaterinstroming vanuit het westen op  $x=7$  veranderde hierdoor echter nauwelijks. Het effect op de grondwaterstroming in de rest van het gebied was ook nihil. Daarom is een linkerrandvoorwaarde van 15 m aangehouden.

In eerste instantie werd verwacht de eerste twee problemen tegelijk op te lossen door de horizontale doorlatendheid in het gestuwde materiaal te vergroten van 17 m/dag naar 25 m/dag. Hierdoor veranderde met name de totale grondwaterinstroming vanuit het westen. Deze werd nu 4 m<sup>2</sup>/dag op  $x=7$ . De kwelflux rond Lampenbroek bleef echter ca. 0.3 mm/dag. Door de vergrote grondwaterinstroming vanuit het westen werd het kwelgebied rond het Apeldoornsch



Kanaal sterk uitgebreid in westelijke richting en namen de kwelfluxen toe tot boven de 2 mm/dag. Dit is niet in overeenstemming met de werkelijke situatie. Verhoging van de doorlatendheid van het watervoerende pakket onder de Eemklei tot 50 m/dag gaf ook geen beter resultaat.

Enige mogelijkheid om de kwelflux rond Lampenbroek te verhogen was het veronderstellen van een gat in de Eemkleilaag ter plaatse van Lampenbroek. Dit had wel het gewenste resultaat. Ten opzichte van de eerste modelrun in figuur 6.2 is verder alleen de horizontale doorlatendheid voor het gestuwde materiaal veranderd naar 20 m/dag, om toch een iets grotere horizontale grondwaterinstroming te verkrijgen.

Het berekende grondwaterstromingspatroon is weergegeven in figuur 6.3:

- De kwelflux rond Lampenbroek is 1.2 mm/dag over een gebied van 200 m lengte, recht boven het gat in de Eemklei.
- De infiltratie ten westen van het Apeldoornsch Kanaal is in deze modelrun gelijkmatiger en iets hoger (gemiddeld 0.7 mm/dag) dan in de modelrun van figuur 6.2.
- De horizontale grondwaterinvoer op  $x=7$  is  $3.0 \text{ m}^2/\text{dag}$ .

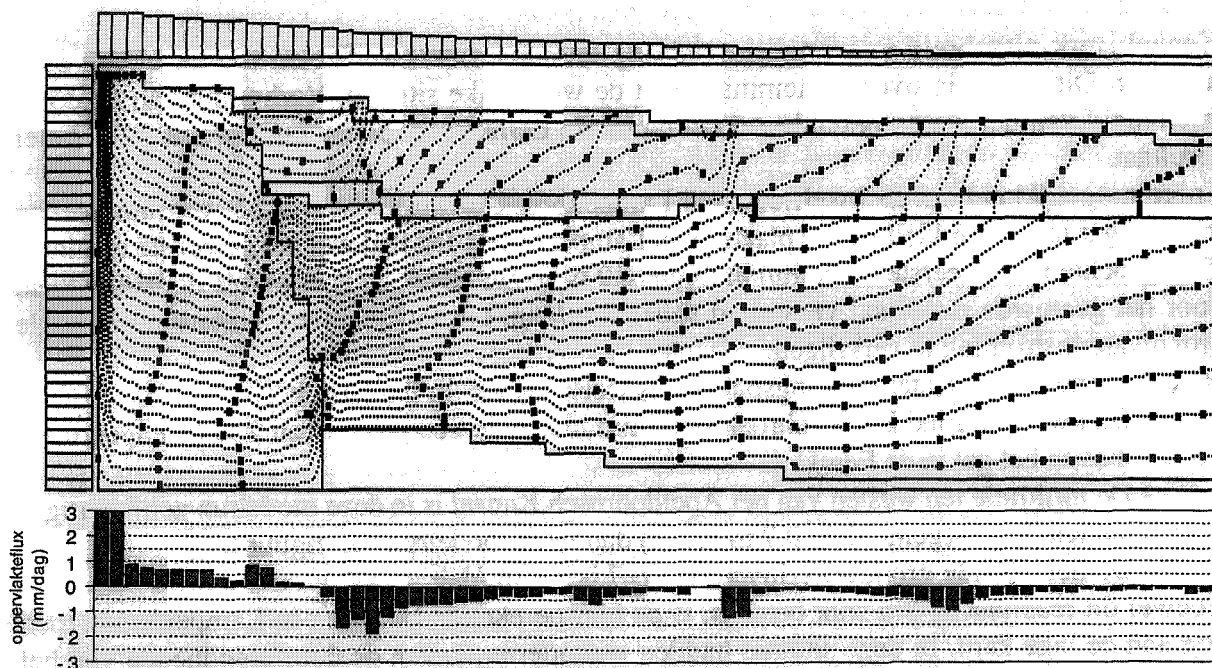
Hoewel dit resultaat al een stuk beter is, is de hier berekende kwelflux in Lampenbroek toch nog aan de lage kant. In deze situatie hadden veranderingen van de doorlatendheden van het gestuwde materiaal en het watervoerende pakket onder de Eemklei wél invloed op de kwelflux rond Lampenbroek. Door verandering van deze waarden is dan ook geprobeerd een hogere kwelflux te modelleren.

De doorlatendheden werden zo gekozen dat de horizontale grondwaterinvoer op  $x=7$  dichterbij de  $4 \text{ m}^2/\text{dag}$  kwam, zonder dat het grondwaterstromingspatroon ten westen van het Apeldoornsch Kanaal sterk veranderde. Voor het gestuwde materiaal is uiteindelijk gekomen tot een horizontale doorlatendheid van 26 m/dag en een verticale doorlatendheid van 40 m/dag. Voor het watervoerende pakket onder de Eemklei werden horizontale en verticale doorlatendheid op 53 m/dag gesteld. Het modelresultaat is weergegeven in figuur 6.4:

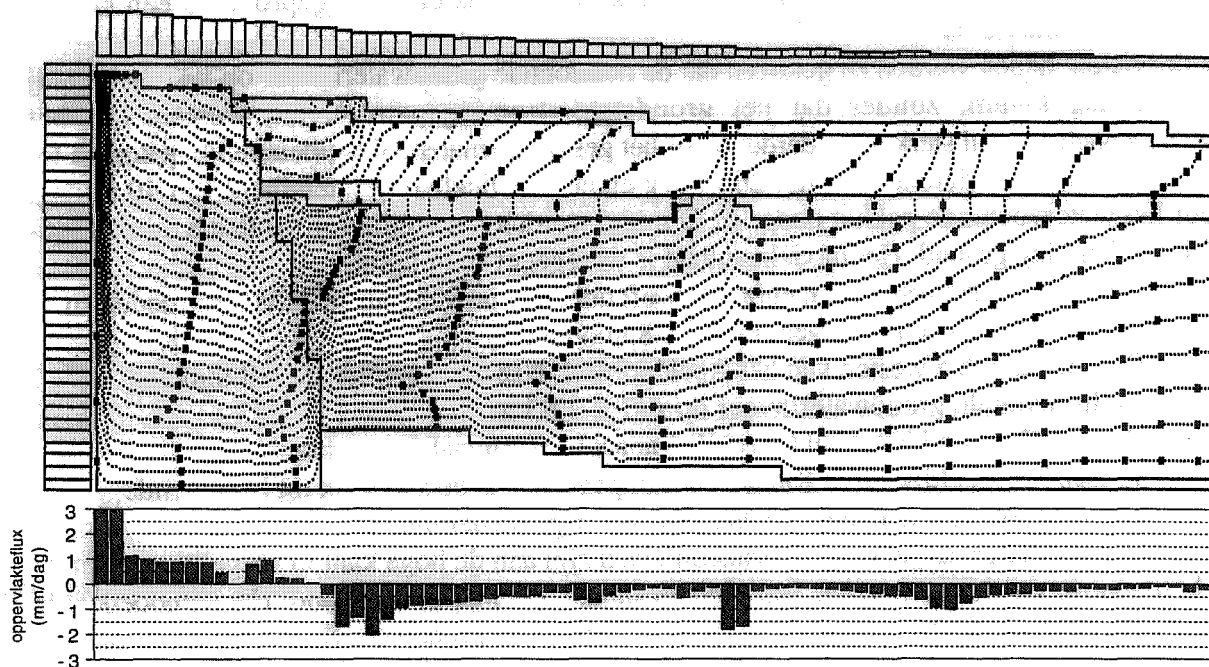
- Het kwelgebied rond Lampenbroek heeft dezelfde omvang als in de vorige modelrun. De kwelflux is echter hoger: 1.7 tot 1.8 mm/dag.
- De infiltratie ten westen van het Apeldoornsch Kanaal is gemiddeld 0.9 mm/dag.
- De horizontale grondwaterinvoer op  $x=7$  is  $3.93 \text{ m}^2/\text{dag}$ .
- De kwelflux rond het Apeldoornsch Kanaal is maximaal 2 mm/dag.
- Tussen het Apeldoornsch Kanaal en Lampenbroek is de kwelflux tot twee tiende mm/dag toegenomen ten opzichte van de vorige modelrun.

De bij deze modellering gekozen doorlatendheden zijn aan de hoge kant in vergelijking met de in de literatuur vermelde waarden. Het modelresultaat is echter bevredigend: Het gemodelleerde grondwaterstromingspatroon is realistisch en de berekende grondwaterfluxen liggen dichterbij de verwachte situatie. De kwelflux in het gebied rond Lampenbroek komt ook beter overeen met de in hoofdstuk 5 geschatte waarde. Het water dat in Lampenbroek opkwelt infiltreert in de linker-bovenhoek van het model. Gelet op de hiervoor gemaakte opmerking over de grote infiltratie in deze cel, zal het water in werkelijkheid waarschijnlijk westelijker infiltreren. De ouderdom van het kwelwater is daarom niet goed te schatten.

Tenslotte is geprobeerd het effect van wegzijging uit het Apeldoornsch Kanaal te modelleren. Eerste probleem hierbij is dat de natte doorsnede van het kanaal (21.4 m) veel kleiner is dan de horizontale afmetingen van een roostercel. Het kanaal wordt toch als één roosterpunt gemodelleerd. Als gevolg hiervan zullen de effecten van de wegzijging op het stromingspatroon waarschijnlijk over een groter gebied worden uitgesmeerd. Het kanaal is gemodelleerd door ter plaatse een hogere stijghoogte op te geven als bovenrandvoorwaarde. Hierbij is gecalibreerd op de in paragraaf 5.2 vermelde wegzijgingsflux. De gemiddelde wegzijging uit het kanaal is  $0.79 \text{ m}^3/\text{dag}$  per meter kanaallengte. Over een afstand van 100 m betekent dit een wegzijging van



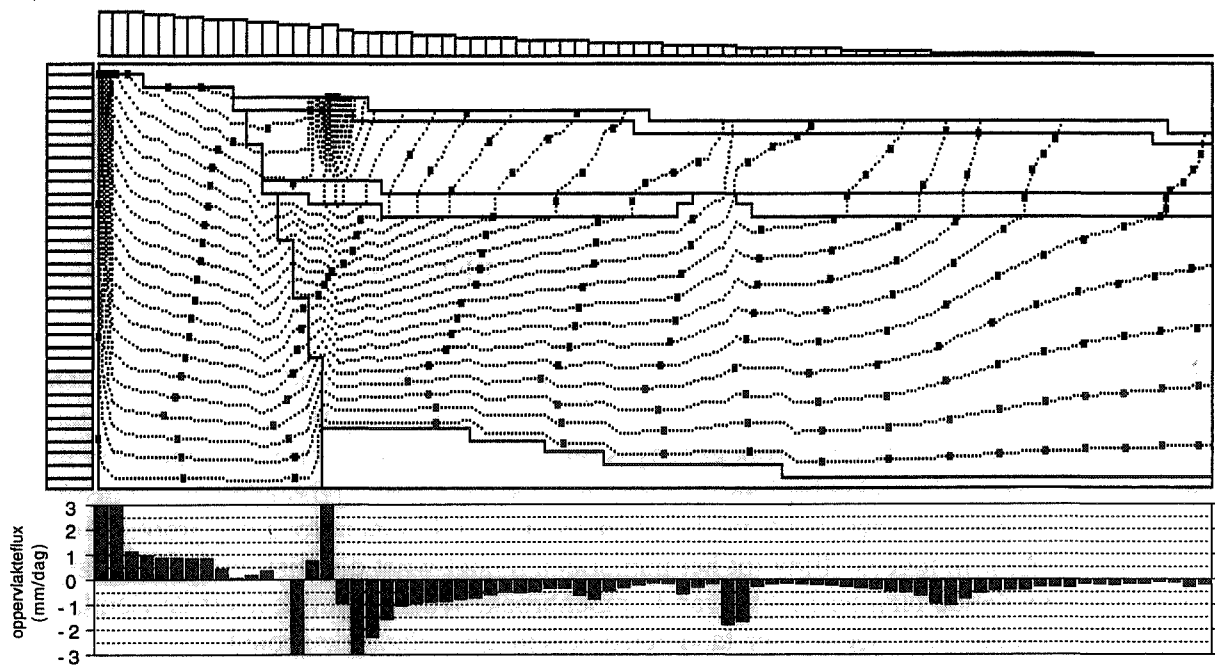
Figuur 6.3: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 2 - gat in Eemklei.



Figuur 6.4: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 3 - aangepaste doorlatendheden.

7.9 mm/dag. Het resultaat van deze modellering is gegeven in figuur 6.5. Een aantal dingen vallen op:

- De kwel die eerst ter plaatse van het Apeldoornsch Kanaal optrad wordt nu naar links gedrukt en komt ten westen van het Apeldoornsch Kanaal aan de oppervlakte met een intensiteit van ca. 3 mm/dag.
- Ten noord-oosten van het Apeldoornsch Kanaal komt een zeer sterke kwelstroom (2 tot 4 mm/dag) aan de oppervlakte, gevoed door uit het kanaal geïnfiltreerd water.
- Tussen voorgenoemd kwelgebied en Lampenbroek zijn de kwelfluxen iets verhoogd ten opzichte van de vorige modelrun.
- Ter plekke van Lampenbroek en verder naar het noord-oosten is er niks veranderd ten opzichte van de vorige modelrun.



Figuur 6.5: Grondwaterstromingspatroon en oppervlaktefluxen modelrun 4 - invloed Apeldoornsch Kanaal.

De wegzijging uit het Apeldoornsch Kanaal sluit het watervoerende pakket boven de Eemklei af voor instroming vanuit het westen. Water dat tot ca. 1.5 km ten westen van het kanaal infiltreert kwelt net voor het kanaal op. Water dat westelijker geïnfiltreert is stroomt af onder de Eemklei. De berekende kwelfluxen bij het Apeldoornsch Kanaal zijn aan de hoge kant. Het grondwaterstromingspatroon is echter duidelijk: Uit het Apeldoornsch Kanaal geïnfiltreerd water stroomt met name in noord-oostelijke richting af en kwelt tot een afstand van enkele honderden meters op. Of het uit het kanaal geïnfiltreerd water onder invloed van lokaal infiltrerend regenwater toch nog verder noord-oostelijk aan de oppervlakte treedt, is met dit model niet na te gaan.

## 6.4 Conclusie

Hoewel bij elke modellering van grondwaterstroming concessies worden gedaan aan de werkelijkheid kunnen er toch een aantal conclusies worden getrokken uit de hier gepresenteerde gegevens:

1. Waarschijnlijk is de Eemkleilaag ter plekke van Lampenbroek niet aanwezig of zeer dun.
2. Het is mogelijk om in Lampenbroek een kwelflux van ca. 1.7 mm/dag te modelleren.
3. Het in Lampenbroek opkwellende water is geïnfiltreerd op de Veluwe, ten westen van de westelijke modelrand.
4. Over de gehele lengte van de Eemklei bestaat er een kwelstroom vanuit het tweede watervoerende pakket naar het freatische pakket. In het zuid-westen is deze bijna 1 mm/dag. Naar het noord-oosten neemt de flux af tot enkele tienden mm/dag.
5. Het uit het Apeldoornsch Kanaal wegzijgende water vult de het gehele freatische pakket onder het kanaal. Dit sluit het freatische pakket als het ware af voor horizontale instroming van westelijker geïnfiltreerd water. Aan beide kanten van het Apeldoornsch Kanaal kwelt uit het kanaal geïnfiltreerd water op. Het grootste deel stroomt echter in noord-oostelijke richting af. Hier kwelt het kanaalwater waarschijnlijk op tot een afstand van enkele honderden meters van het kanaal.
6. Vlak naast het Apeldoornsch Kanaal, aan de west-kant, kwelt water op dat tot ca. 1.5 kilometer westelijker is geïnfiltreerd.

## 7. DISCUSSIE

Er is al een aantal keer opgemerkt dat het grondwaterstromingspatroon varieert tussen droog en nat seizoen. In dit onderzoek is geprobeerd een beeld te krijgen van het 'gemiddelde' grondwaterstromingspatroon.

Numerieke modellering en hydrochemische reconstructie zijn eenduidig over de herkomst van de kwel rond Lampenbroek. Deze komt uit het watervoerende pakket onder de Eemklei. De modellering geeft aan dat er bij Lampenbroek een gat in de Eemkleilaag zit. Alleen dan ontstaat er in het model een kwelstroom die groot genoeg is om het hoge voorkomen van grondwater uit het tweede watervoerende pakket bij Lampenbroek te verklaren. Het stijghoogteverschil tussen het eerste en het tweede watervoerende pakket is ter plekke van Lampenbroek vrij groot: 27 cm (zie paragraaf 5.1.2). In tegenstelling tot het numerieke model wijst dit juist op de aanwezigheid van een scheidende laag ter plekke van Lampenbroek. Waarschijnlijk heeft de Eemklei rond Lampenbroek een veel lagere weerstand dan elders in het onderzoeksgebied.

De numerieke modellering geeft aan dat de kwelflux rond Lampenbroek ca. 1.7 mm/dag bedraagt. In hoofdstuk 5 werd de kwelflux zeer globaal geschat op  $2 \pm 0.5$  mm/dag. IWACO (1992) is de enige die voor dit gebied een kwelflux heeft berekend. Met het GMN+ model komen zij op een waarde van 2.5 mm/dag. De schaal van de GMN+ modellering is veel kleiner dan de schaal van de hier gepresenteerde modellering. Gezien de vele aannames die bij deze modelstudie zijn gedaan wordt het GMN+ model echter niet als minder nauwkeurig beschouwd. De conclusie blijft dan ook dat de kwelflux rond Lampenbroek ligt tussen de 1.5 en 2.5 mm/dag.

Ten westen van het Apeldoornsch Kanaal (clusters I en II) geven zowel numerieke modellering als hydrochemische reconstructie een infiltratiegebied aan. Dit is in overeenstemming met de systeemkartering van Brouwer & Hoogendoorn (1986). Uit de hydrochemische gegevens kon niet goed worden gereconstrueerd hoe het geïnfiltreerde water afstroomt. Het numerieke model geeft aan dat alleen het meest westelijk geïnfiltreerd water bijdraagt aan de voeding van het watervoerende pakket onder de Eemklei. Water geïnfiltreerd binnen een afstand van 1.5 km ten westen van het Apeldoornsch Kanaal kwelt net ten westen van het kanaal op. Dit volgt niet direct uit de hydrochemische gegevens, maar wordt er ook niet door tegengesproken. Het water van monsterpunt K4 kan best westelijker op de Veluwe zijn geïnfiltreerd. In dit geval is het water ouder dan wanneer het uit het Apeldoornsch Kanaal zou zijn geïnfiltreerd. Pyrietoxydatie en het hiermee samenhangende hoge  $Fe^{2+}$  gehalte zijn dan zelfs beter verklaarbaar. De vochtigheid van het gebied (sloten aanwezig) geeft in ieder geval aan dat er kwel optreedt, maar kan natuurlijk geen uitsluitsel geven over de herkomst van de kwel.

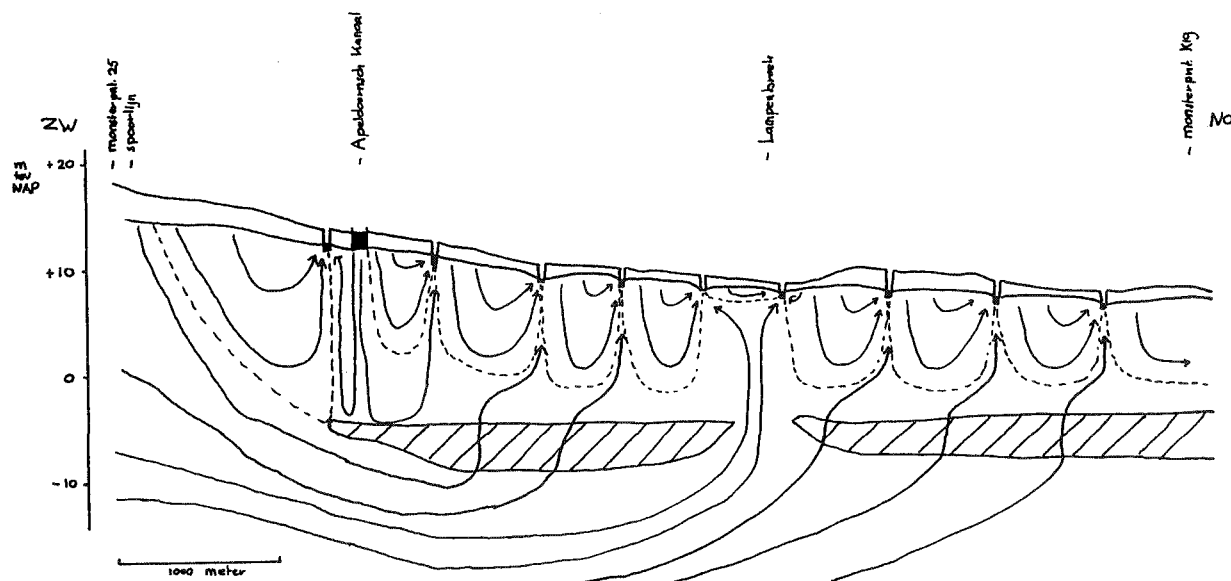
Het numerieke model geeft een beeld van de stroming van het wegzijgingsverlies uit het Apeldoornsch Kanaal. Zoals van Ganswijk et al. (1988) al vermoedden neemt deze de gehele ruimte boven de Eemklei in beslag, zodat grondwaterstroming van de Veluwe naar het oosten zich onder deze klei een weg moet zoeken. Uit het model blijkt verder dat het kanaalwater naar beide kanten van het kanaal afstroomt en opkwelt. In noord-oostelijke richting is de afstroming het grootst. Waar het kanaalwater opkwelt is afhankelijk van het patroon van lokale infiltratie en lokale kwel. Waarschijnlijk kwelt het meeste water op tot een afstand van enkele honderden meters van het kanaal.

Ten noord-oosten van het Apeldoornsch Kanaal faalt het numerieke model in de simulatie van het uit de hydrochemische gegevens gereconstrueerde grondwaterstromingspatroon. De grondwatersamenstelling wijst op lokale infiltratie, terwijl het model alleen regionale kwel

berekent. In hoofdstuk 6 werd al aangegeven dat dit probleem wordt veroorzaakt doordat lokale variaties in de grondwaterstand veroorzaakt door afvoer naar watergangen in deze modellering niet zijn meegenomen. Dit neemt niet weg dat er waarschijnlijk kwel door de Eemklei optreedt. Het stromingspatroon is alleen anders dan het gemodelleerde. De kwelstroom van enkele mm/dag zal er waarschijnlijk voor zorgen dat vrijwel al het lokaal geïnfiltreerde water lokaal afstroomt. Er is geen 'ruimte' voor regionale afstroming. De kwel zelf treedt waarschijnlijk in de sloten aan de oppervlakte. Dit patroon van lokale infiltratie en lokale kwel komt overeen met door Hoogendoorn (1983 en 1990b) in vergelijkbare gebieden (Oost Veluwe, Salland) gereconstrueerde grondwaterstromingspatronen.

## 8. CONCLUSIE

In figuur 8.1 is het gemiddelde grondwaterstromingspatroon in het onderzoeksgebied weergegeven, zoals dat volgt uit dit onderzoek.



Figuur 8.1: Gemiddeld grondwaterstromingspatroon onderzoeksgebied.

Ten aanzien van de hydrologische situatie van het gebied rond Lampenbroek kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

1. Rond Lampenbroek kwelt water op vanuit het watervoerende pakket onder de Eemklei. Dit water is geïnfiltreerd op de Veluwe, ten westen van het onderzoeksgebied.
2. Het kwelwater treedt aan de oppervlakte met een flux die waarschijnlijk ligt tussen 1.5 en 2.5 mm/dag.
3. De chemische samenstelling van het kwelwater is als volgt:

pH	6.8 - 7.5	EC	260 - 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$
$\text{Ca}^{2+}$	1.2 - 1.4 mM	$\text{HCO}_3^-$	2.5 - 2.9 mM
$\text{Mg}^{2+}$	0.15 - 0.20 mM	$\text{Cl}^-$	0.30 - 0.40 mM
$\text{Na}^+$	ca. 0.35 mM	$\text{SO}_4^{2-}$	0 mM
$\text{K}^+$	ca. 0.02 mM	$\text{NO}_3^-$	0 mM
$\text{NH}_4^+$	ca. 0.02 mM	$\text{PO}_4^{3-}$	0 mM

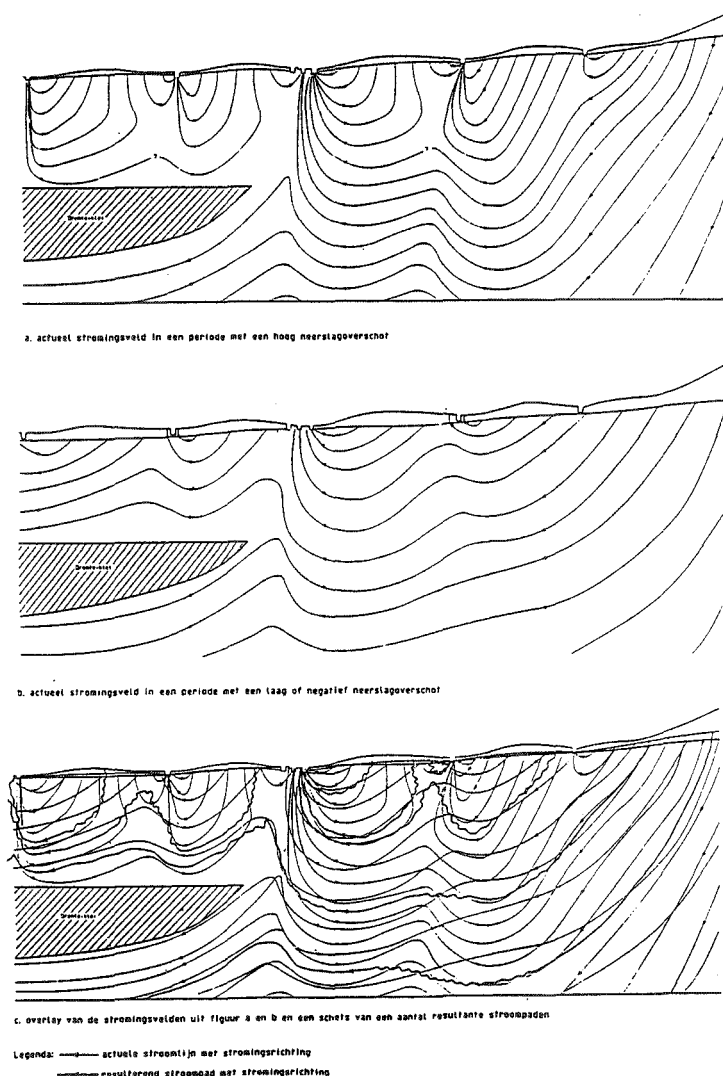
4. Gezien herkomst en verwachte ouderdom van het kwelwater zullen de chemische samenstelling en de flux in de nabije toekomst ongeveer constant blijven.
5. Rond Lampenbroek heeft de Eemkleilaag een relatief lage weerstand.

Ten aanzien van de hydrologie van de rest van het onderzoeksgebied blijkt uit dit onderzoek het volgende:

1. Het gebied ten westen van het Apeldoornsch Kanaal fungeert als infiltratiegebied. Een deel van dit water kwelt net ten westen van het Apeldoornsch Kanaal weer op. Het overige water voedt het watervoerende pakket onder de Eemklei.
2. Het uit het Apeldoornsch Kanaal wegzijgende water vult de het gehele freatische pakket onder het kanaal. Dit sluit het freatische pakket als het ware af voor horizontale instroming van westelijker geïnfiltreerd water. Aan beide kanten van het kanaal kwelt uit het kanaal weggezege water op. Het grootste deel stroomt echter in noord-oostelijke richting af. Hier kwelt het kanaalwater waarschijnlijk met name op tot een afstand van enkele honderden meters van het kanaal.
3. Over de gehele lengte van de Eemkleilaag treedt kwel op van het tweede watervoerende pakket naar het freatische pakket. De flux van deze stroom varieert van enkele tienden mm/dag in het noord-oosten tot bijna 1 mm/dag nabij het Apeldoornsch Kanaal.
4. Locale infiltratie en locale kwel bepalen het gemiddelde grondwaterstromingspatroon ten noord-oosten van het Apeldoornsch Kanaal. Uitzondering hierop is het gebied rond Lampenbroek.

## APPENDIX A: Locale hydrologie - seizoen effecten

Het verschil in neerslagoverschot tussen zomer- en winterperiode heeft een grote invloed op het grondwaterstromingspatroon (figuur A.1a en b). In de droge zomer is de regionale grondwaterstroming het meest geprononceerd. De grondwaterstand is relatief laag. Alleen de grootste waterlopen, de primaire waterlopen, zijn watervoerend. In de natte winterperiode stijgt de grondwaterstand en worden grondwaterbewegingen op kleinere schaal van veel groter belang. Dekzandruggen en hogere delen in het dekzandgebied gaan fungeren als lokaal respectievelijk subregionaal infiltratiegebied. Sloten en kleinere beken voeren het in de lagere delen opkwellende water af naar de primaire waterlopen (oa. Ernst et al, 1970; de Vries, 1977; Ernst, 1978). Figuur A.1c laat zien dat de wisselingen in de geometrie van het actuele grondwaterstromingspatroon leiden tot een grillig verloop van de door één waterdeeltje afgelegde weg door de ondergrond (Hoogendoorn, 1990b).



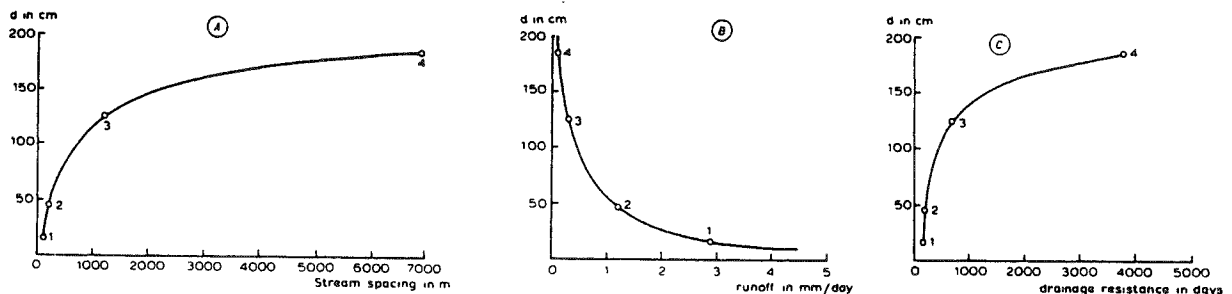
Figuur A.1: Het grondwaterstromingspatroon in winter- en zomerperiode en het gevolg daarvan voor de beweging van waterdeeltjes door de ondergrond. (Hoogendoorn, 1990b)



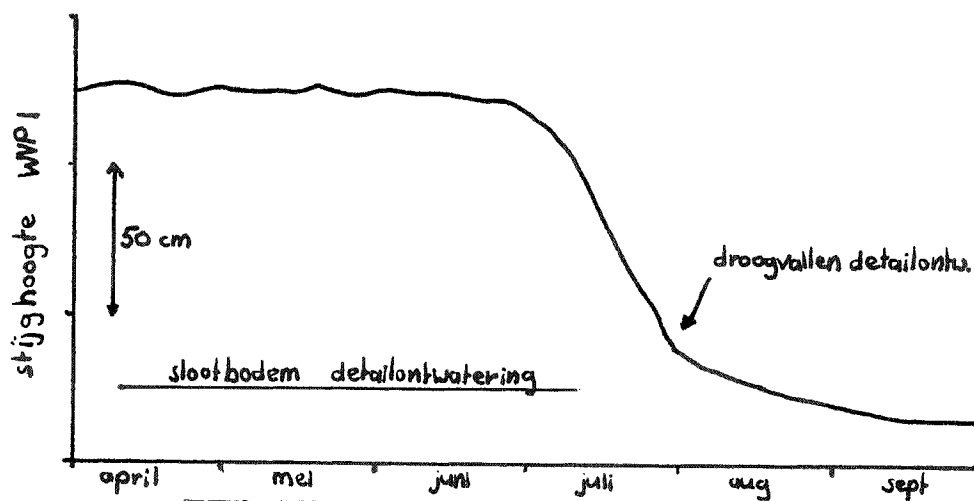
Het stijghoogteverschil tussen zomer- en winterperiode is in infiltratiegebieden veel groter dan in kwelgebieden. Infiltratiegebieden worden vaak gekenmerkt door grondwatertrappen VI en VII, terwijl grondwatertrappen I, II en III overheersen in kwelgebieden (Vissers et al., 1985). De afname van het neerslagoverschot van winter naar zomer en de hierdoor veroorzaakte stijghoogteverlaging heeft samengevat de volgende effecten (Ernst et al., 1970): 1) de afstand tussen de watervoerende waterlopen neemt toe (figuur A.2a); 2) de drainage weerstand neemt hierdoor toe (figuur A.2b); 3) de totale hoeveelheid via het oppervlaktewater afgevoerd grondwater neemt af (figuur A.2c).

De toename van de drainage weerstand komt tot uiting in de tijd-stijghoogtelijn van een peilbuis in een lokaal systeem (van Ganswijk et al., 1988). In figuur A.3 is te zien dat de snelheid van de stijghoogteafname sterk afneemt als de detailontwatering droogvalt. Het systeem wordt dan gedraineerd door verder weg gelegen, grotere waterlopen. De grotere afstand leidt tot een grotere drainage weerstand en dus een langzamere stijghoogteafname.

Vergelijkbare patronen zijn waarneembaar in de afvoer-tijd relaties van door grondwater gevoede beken (Ernst et al., 1970). Bij het droogvallen van sloten en beken neemt de grondwaterafvoer sterk af. Ernst (1978) schetst het fysische kader voor berekeningen aan de grondwaterdrainage in dit soort gebieden. Het voert te ver om hierop op deze plaats in te gaan.



Figuur A.2: Relaties tussen de grondwaterstand en: a) de afstand tussen de watervoerende waterlopen; b) de totale hoeveelheid via het oppervlaktewater afgevoerd grondwater; c) de drainage weerstand. (de Vries, 1977)



Figuur A.3: Het effect van het droogvallen van de detailontwatering op een tijd-stijghoogtelijn in een lokaal systeem. (naar van Ganswijk et al., 1988)

## APPENDIX B: Grondwaterontwikkeling<sup>1</sup>

### B.1 Grondwaterontwikkeling

De chemische samenstelling van grondwater wordt in eerste instantie bepaald door het infiltrerende water. Op de Oost-Veluwe is dit over het algemeen neerslagwater. Tabel B.1 geeft de gemiddelde samenstelling van de neerslag op de Veluwe vóór 1940 en rond 1980. In de tweede helft van de twintigste eeuw zorgde de toegenomen industriële activiteit voor een uitstoot van zwaveldioxide en stikstofoxiden. Daarnaast zorgde de intensievere bemesting in de landbouw voor een uitstoot van ammoniak. Dit heeft geleid tot een sterke toename van de concentraties van  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$  in de neerslag (Appelo, 1985):

De regenwatersamenstellingen van tabel B.1 zijn gemeten in neerslagwater opgevangen in regenmeters. De regenmeter vangt ook depositie van ionen in droge periodes op (droge neerslag). Meestal is de droge neerslag op vegetatie echter groter dan op de trechter van een regenmeter (Appelo, 1988). Concentraties in het infiltrerende neerslagwater zijn daarom vaak iets hoger dan de gemeten waarden.

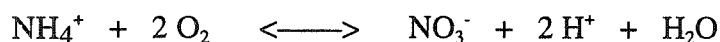
In de bodem spelen een aantal processen die de samenstelling van het net geïnfiltreerde neerslagwater veranderen. Ten eerste zorgt indamping voor een toename van de ion-concentraties met de indampingsfactor:

$$\text{indampingsfactor} = \frac{N}{N - E}$$

waarin N en E respectievelijk de hoeveelheid neerslag en evapotranspiratie (bijv. in mm/jaar). De evapotranspiratie is sterk afhankelijk van de vegetatie.

De indampingsfactor kan simpel worden achterhaald met behulp van in neerslag en in ondiep grondwater gemeten  $\text{Cl}^-$ -concentraties. Dit kan omdat het chlorideion vrijwel niet afgegeven of opgenomen wordt door sediment of vegetatie. Er moet echter wel rekening gehouden worden met de grotere droge neerslag op vegetatie (Appelo, 1988; Appelo & Postma, 1993).

Een tweede proces dat leidt tot een verandering van de watersamenstelling is de omzetting van een deel van de  $\text{NH}_4^+$  in  $\text{NO}_3^-$  door nitrificerende bacteriën. Bij deze omzetting komt  $\text{H}^+$  vrij:



In tabel B.1 geeft Appelo (1985) aan welk effect indamping en nitrificatie hebben op de samenstelling van het ondiepe grondwater. Het blijkt dat indamping en nitrificatie van het zure regenwater van 1980 leidt tot een daling van de pH tot ongeveer 3. Dit terwijl het regenwater van vóór 1940 niet zuurder wordt. Nitrificatie van het hogere ammoniumgehalte in het regenwater van 1980 leidt tot een grotere zuurproductie. Vaak wordt in sterk verzuurd grondwater een verhoogde concentratie van  $\text{Al}^{3+}$  aangetroffen; verschillende alluminiumverbindingen reageren met het zuur, waarbij  $\text{Al}^{3+}$  vrijkomt.

---

<sup>1</sup> Voor een uitgebreide beschrijving van de processen die spelen bij ontwikkeling van grond- en oppervlaktewatersamenstelling wordt verwezen naar boeken als Appelo & Postma (1993), Domenico & Schwartz (1990) en Stumm & Morgan (1981). In de onderstaande tekst wordt met name ingegaan op de grond- en oppervlaktewatersamenstelling van de Oost-Veluwe.

	vóór 1940	1)	rond 1980	1)
pH	5.4	5.62	4.52	3.08
Na <sup>+</sup>	0.07 <sup>2)</sup>	0.21 <sup>2)</sup>	0.073	0.219
K <sup>+</sup>			0.004	0.012
Mg <sup>2+</sup>	0.03	0.09	0.009	0.027
Ca <sup>2+</sup>	0.04	0.12	0.014	0.042
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.03	-	0.13	-
Cl <sup>-</sup>	0.09	0.27	0.085	0.255
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.06	0.002	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.045	0.135	0.071	0.213
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	0.09	0.061	0.573

Tabel B.1: Chemische samenstelling neerslag vóór 1940 (Leeflang, 1938) en rond 1980 en het berekende effect van indamping en nitrificatie (Appelo, 1985). Concentraties in mmol/l. <sup>1)</sup> indampingsfactor = 3 en  $P_{CO_2} = 10^{-3.5}$ , <sup>2)</sup> Na<sup>+</sup> + K<sup>+</sup>.

Een derde proces dat de watersamenstelling van het infiltrerende water beïnvloedt is de biologische productie van koolzuurgas in de wortelzone. Een deel van dit koolzuurgas lost op in het water en kan verderop in het grondwatersysteem in de grond aanwezige kalk (CaCO<sub>3</sub>) oplossen.

Ondiep grondwater waarvan de samenstelling geheel kan worden verklaard door bovenstaande processen komt tegenwoordig vrijwel alleen nog voor onder bos- en heidegebieden (Kant, 1982). Het menselijk bodemgebruik beïnvloedt de samenstelling van het net geïnfiltreerde neerslagwater zeer sterk. Met name bemesting speelt hierbij een belangrijke rol. Hierop wordt in paragraaf B.2 nader ingegaan.

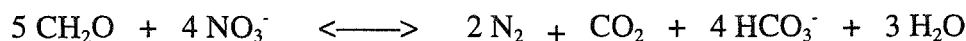
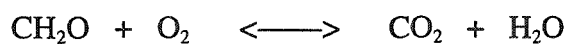
Na infiltratie stroomt het water ondergronds richting ontwateringsbasis. Tijdens dit transport zijn met name kalkoplossing en oxidatie van organisch materiaal van invloed op de chemische samenstelling van het grondwater. Waar chemisch sterk verschillend water naast elkaar in de ondergrond stroomt spelen tevens menging en dispersie een belangrijke rol.

Kalk lost op met behulp van het in de wortelzone opgenomen koolzuur:

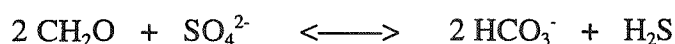


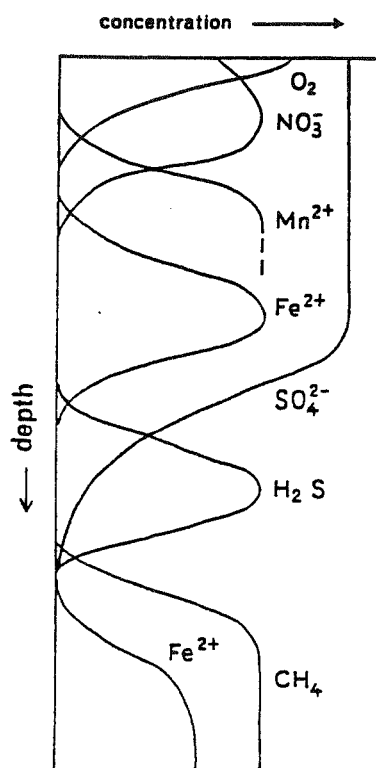
Als gevolg van deze reactie nemen de Ca<sup>2+</sup> en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> concentraties toe, evenals hardheid, geleidend vermogen en pH. Bodemgebruik cq. bodemactiviteit en verblijftijd van het grondwater in de ondergrond bepalen hoeveel kalk er uiteindelijk oplost.

In de diepere ondergrond wordt organische stof geoxideerd met behulp van achtereenvolgens O<sub>2</sub> en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>:



Als gevolg hiervan neemt de pe van het grondwater sterk af en kunnen ijzerhydroxiden en ijzer-oxiden in oplossing gaan. De concentratie van Fe<sup>2+</sup> zal hierdoor stijgen. De bij deze reacties vrijkomende CO<sub>2</sub> kan gebruikt worden voor kalkoplossing. Wanneer er nog meer organische stof aanwezig is zal ook SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> als oxidator optreden:





Hierbij ontstaat  $H_2S$ , dat neerslaat met ijzer. De verandering van de chemische samenstelling van het grondwater door de opeenvolging van oxidatie-reductie reacties is weergegeven in figuur B.1.

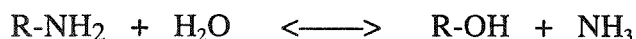
Menging en dispersie leiden tot vervaging van de verschillen in chemische samenstelling tussen verschillende grondwatersystemen. Een locale verontreiniging kan zo een groot deel van een aquifer beïnvloeden. Door verandering van de pH of de pe kunnen oplossings- en neerslagreacties optreden. Voor uitgebreidere beschrijving van deze processen wordt verwezen naar Appelo & Postma (1993).

Figuur B.1: Verandering van de grondwatersamenstelling door de opeenvolging van oxidatie-reductie reacties. (naar Berner, 1981)

## B.2 Effecten van bemesting (naar van Bennekom (1987))

Uitspoeling van meststoffen naar het grondwater heeft grote gevolgen voor de grondwatersamenstelling. De duidelijkste indicatie is een geleidelijke toename van de hardheid van het water. Daarnaast stijgt het nitraatgehalte. Als gevolg van denitrificatie kan het nitraat echter weer verdwijnen.

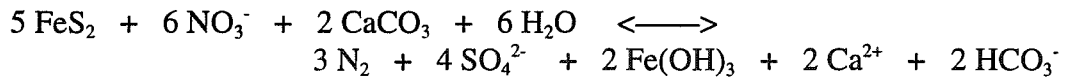
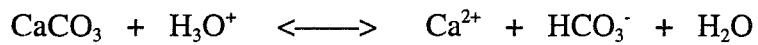
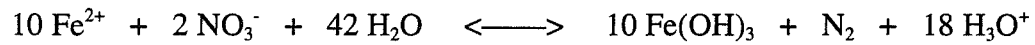
In eerste instantie worden de organische stikstofverbindingen gemineraliseerd. Hierbij komt ammonium vrij:



In paragraaf B.1 is al gezegd dat nitrificerende bacteriën de ontstane ammonium omzetten in nitraat, waarbij ook  $H^+$  vrijkomt en het infiltrerende water verzuurt. Bevat de bodem bufferende bestanddelen, zoals calciumcarbonaat en magnesiumverbindingen, dan wordt dit zuur geneutraliseerd en gaan  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  en  $HCO_3^-$  ionen in oplossing. Overbemesting in een aëroob grondwatermilieu heeft dus naast een stijging van het nitraatgehalte een toename van de hardheidsbestanddelen tot gevolg.

In de diepere ondergrond kan het grondwater anaëroob worden door oxidatie van organisch materiaal met achtereenvolgens  $O_2$  en  $NO_3^-$  (zie paragraaf B.1). Denitrificatie met organisch materiaal leidt tot een verdere stijging van het gehalte aan  $HCO_3^-$  en een toename van het gehalte aan vrije stikstof.

Waar zich pyriet in de ondergrond bevindt, kan denitrificatie optreden door pyrietoxidatie:



In tegenstelling tot denitrificatie met organisch materiaal heeft dit een verzurend effect, wat bij aanwezigheid van bufferende bestanddelen leidt tot een verdere toename van de hardheid van het water. Daarnaast stijgt het sulfaatgehalte.

In een anaëroob grondwatermilieu leidt overbemesting dus minimaal tot eenzelfde hardheidstoename als bij aëroob grondwater. Als denitrificatie plaatsvindt met pyriet leidt dit tot een verdere toename van hardheidsbestanddelen.

## LITERATUURLIJST

- Aelmans, F.G. (1983). Grondwaterkaart van Nederland: Inventarisatierapport Apeldoorn-Oost; kaartblad 33 Oost. Rapport nr. GWK 31. TNO-DGV, Delft, 36 p.
- Amstel, H.T. van (1984). Aanzet tot kwantitatief waterbeheersplan Apeldoornsch Kanaal. Afstudeerwerk Technische Hogeschool Delft.
- Anderson, M.P. & W.W. Woessner (1992), Applied groundwater modelling. Academic Press, San Diego, 381 p.
- Appelo, C.A.J. (1985). CAC, computer aided chemistry, of de samenstelling van grondwater verklaard met een geochemisch rekenmodel. *H<sub>2</sub>O*, 18(26), 557-562.
- Appelo, C.A.J. (1988). Beïnvloeding van de waterkwaliteit in het Hierdensche Beek gebied (N.W. Veluwe). VU-IvA, Amsterdam, 100 p.
- Appelo, C.A.J. & D. Postma (1993). *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. Balkema, Rotterdam, 536 p.
- Bakker, P.A. & R.H. Lichthart (1976). Lampenbroek en Halterkamp. Beheersrichtlijnen. Vereniging Natuurmonumenten, 's-Graveland, 11 p.
- Bennekom, C.A. van (1987). Kwaliteitsveranderingen van grondwater als gevolg van uitspoeling van meststoffen. *H<sub>2</sub>O*, 20(9), 194-199.
- Berner, R.A. (1981). Authigenic mineral formation resulting from organic matter decomposition in modern sediments. *Fortschr. Miner.*, 59, 117-135.
- Biesheuvel, A. (1992). CHEMPROC version 4.0. Storage and analysis of Hydrochemical data. (computerprogramma). Amsterdam
- Brouwer, G.K. & J.H. Hoogendoorn (1986). Hydrologische systemkartering Salland/O-Veluwe. TNO-DGV rapport OS 86-36. TNO-DGV, Delft/Oosterwolde, 68 p.
- Centrale Cultuurtechnische Commissie (1985). Rapport voor de ruilverkaveling Brummen-Voorst. CCC, Nijmegen, 63 p.
- CHO-TNO (1986). Verklarende hydrologische woordenlijst. CHO-TNO, Den Haag, 130 p.
- Domenico, P.A. & Schwatz, F.W. (1990). *Physical and Chemical Hydrogeology*. John Wiley & Sons, Singapore, 824 p.
- Elburg, H. van, G.B. Engelen & C.J. Hemker (1986). FLOWNET: computerprogram for modelling two-dimensional stationary groundwaterflow in an inhomogeneous anisotropic section. VU-IvA, Amsterdam.
- Engelen, G.B. (1981). A systems approach to groundwater quality. In: Duijvenbooden, W. van, P. Glasbergen & H. van Lelyveld (eds.). *Quality of groundwater, Proceedings of an international symposium, Noordwijkerhout*. Studies in Environmental Science, 17. Elsevier, Amsterdam, 1-25.
- Engelen, G.B. (1984). Hydrological systems analysis: A regional case study. TNO-DGV rapport OS 84-20. TNO-DGV, Delft.
- Engelen, G.B. (1986). Groundwater systems, methodology and definitions. In: Engelen, G.B. & G.P. Jones (1986). *Developments in the analysis of groundwater flow systems*. IAHS publ. 163. IAHS, Wallingford, 67-107.
- Ernst, L.F., N.A. de Rider & J.J. de Vries (1970). A geohydrologic study of East Gelderland (Netherlands). *Geologie en Mijnbouw*, 48, 457-488.
- Ernst, L.F. (1978). Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables. I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio. *Journal of Hydrology*, 39, 1-30.

- Ernst, L.F. (1983). Wegzijing en kwel; de grondwaterstroming van hogere naar lagere gebieden. ICW-rapport 7. ICW, Wageningen, 38 p.
- Ganswijk, A.J. van, F.A.M. Claessen & G. Veenbaas (1988). Een leidraad voor de hydrologische systeembeschrijving van natuurgebieden. SWNBL rapport 4f. SWNBL, Utrecht, 53 p.
- Groenendijk, P. (1988). Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 8: STRELIN, een computerprogramma voor de berekening van stroomlijnen, potentialen en verblijftijden. ICW nota 1810. ICW, Wageningen.
- Groenendijk, P. (1990). De invloed van wateraanvoer op de grondwaterstroming in een verticale doorsnee door de Empese en Tondense heide berekend met het model STRELIN. Rapport 63. Staring Centrum, Wageningen, 35 p.
- Grootjans, P. (1984). De geohydrologische beschrijving van de provincie Gelderland. TNO-DGV, Oosterwolde/Delft; Dienst Waterbeheer, Provincie Gelderland, Arnhem, 60 p.
- Hendriks, R.F.A. (1988). Onderzoek naar de effecten van wateraanvoer en peilveranderingen in agrarische gebieden op de waterkwaliteit in natuurgebieden. Deel 10. Nota 1876. ICW, Wageningen, 68 p.
- Hobma, T.W. (1993). Ecohydrologie en hydrochemie van de Brabantse Wal en aanliggende polders. VU, Amsterdam.
- Hoogendoorn, J.H. (1983). Ruimtelijke variatie van enkele belangrijke chemische componenten en de implicaties daarvan voor de grondwaterstroming. Jaarverslag TNO-DGV, TNO-DGV, Delft/Oosterwolde, 60-77.
- Hoogendoorn, J.H. (1990a). Grondwatersysteemonderzoek Salland I. TNO-rapport OS 88-63. TNO-DGV, Oosterwolde, 33 p.
- Hoogendoorn, J.H. (1990b). Grondwatersysteemonderzoek Salland II. TNO-rapport OS90-48-B. TNO-DGV, Oosterwolde, 112 p.
- Hubbert, M.K. (1940). Theory of groundwater motion. *Journal of Geology*, 48, 785-944.
- IWACO (1992). GMN+. Grondwatermodelstudie Oost-Veluwe. IWACO, Rotterdam, 48 p.
- Kant, G.R. (1982). Beken op de Veluwe. Hydrologische aspecten in relatie tot de watervoering van de beken op de Oost- en Zuid-Veluwe. Provincie Gelderland.
- KNMI (1972). Klimaatatlas van Nederland. KNMI, De Bilt.
- KNMI (1993). Maandoverzicht neerslag & verdamping in Nederland. 62<sup>e</sup> jaargang, no. 6. KNMI, De Bilt.
- Leefflang, K.W.H. (1938). De chemische samenstelling van de neerslag in Nederland. *Chemisch Weekblad*, 35, 658-664.
- Luggenhorst, E.J. te (1980). De waterbalans van het 1e pand van het Apeldoornsch Kanaal. RWS nota 80-16. RWS, Directie W en W, District Zuidoost, 46 p.
- Meinardi, C.R. (1974). De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe. R.I.D.-mededeling, 74-4, 48 p.
- RGD (1975). Geologische overzichtskaarten van Nederland. RGD, Haarlem.
- Schot, P.P. (1991). Solute transport by groundwater flow to wetland ecosystems. Proefschrift. RUU, Utrecht, 134 p.
- Stumm, W. & J.J. Morgan (1981). *Aquatic Chemistry*. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, 780 p.
- Stuyfzand, P.J. (1986). Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen, met Nederlandse voorbeelden van toepassing. *H<sub>2</sub>O*, 19(23), 562-568.
- Stuyfzand, P.J. (1989a). Hydrochemische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstroming, deel 1. *H<sub>2</sub>O*, 22(5), 141-146.

- Stuyfzand, P.J. (1989b). Hydrochemische onderzoeksmethoden ter analyse van grondwaterstroming, deel 2. *H<sub>2</sub>O*, 22(6), 166-169.
- Verkooijen, R.G.V.A., J.H. Hoogendoorn & P. Grootjans (1985). Hydrogeochemie van de provincie Gelderland. Rapport van de Dienst Waterbeheer. Provincie Gelderland.
- Vissers, H.J.S.M., N.H.S.M. de Wit & W. Bleuten (1985). Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater. RUU, Utrecht, 246 p.
- Vries, J.J. de (1977). The stream network in The Netherlands as a groundwater discharge phenomenon. *Geologie en Mijnbouw*, 56, 103-122.
- Walsum, P.E.V. van (1992). Hydrologisch modelonderzoek ruilverkaveling "Brummen-Voorst". Interne mededeling nr. ??? Concept. Staring Centrum, Wageningen, 121 p.
- Werkgroep Herziening Cultuurtechnisch Vademecum (1992). Cultuurtechnisch Vademecum. Vereniging voor Landinrichting, Utrecht, 1084 p.
- IJzerman, A.J. (1982). De sprengen en sprengebeken van de Veluwe. Wetenschappelijke mededelingen KNNV.



## DANK...

In de allereerste plaats ben ik heel veel dank verschuldigd aan Jelle Buma, die, in de veronderstelling dat hij ook nog wat met de uitkomsten mocht gaan worstelen, geheel belangeloos de volle zeven weken veld- en labwerk heeft meegedaan en daarna ook nog geïnteresseerd en behulpzaam bleef. Alleen wij weten hoe je om moet gaan met een factor vijf en waarom de aardappelschilmesjes in Klarenbeek zijn uitverkocht. Ja wedel! Jelle, bedankt!

Daarnaast dank aan Nicko Straathof voor de begeleiding, Wim Niemeijers voor de hulp bij het veldwerk, Arnold Boers voor het opzoeken van grondwatergegevens en m'n burens Machiel, Frans en Jan-Willem voor de vruchtbare discussies. Tevens dank aan dhr. Hoogendoorn voor het kritisch lezen van het hydrochemische deel van het onderzoek en aan dhr. Teunisse, terreinopzichter Lampenbroek, voor praktische hulp bij het veldwerk. Ook dank aan de Landinrichtingsdienst voor het beschikbaar stellen van kaartmateriaal en informatie over de ruilverkaveling. Last but not least dank aan de boeren en andere landeigenaren in het onderzoeksgebied voor het mogen plaatsen van de grondwaterbuizen en voor het beschikbaar stellen van hun puntstukken.



## **BIJLAGEN**



GEGEVENS CHEMISCHE ANALYSES VELDWERK LAMPENBROEK (ruimtelijke data, eenheid mmol/l)																									
Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn	Som kat	Som an	Som k+a	E.N.
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
14A-1	267	7.53	7.33	1.37	0.17	0.35	0.03	0.02	2.54	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.32	0.00	3.64	2.85	6.49	12.19
14B-1	283	7.21	7.10	1.18	0.15	0.34	0.02	0.04	2.49	0.32	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.31	0.00	3.12	2.82	5.94	5.17
14C-1	308	6.78	6.79	1.37	0.17	0.33	0.01	0.01	2.65	0.28	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.32	0.00	3.52	2.95	6.46	8.81
26A-1	502	7.20	7.59	2.41	0.27	0.78	0.13	0.11	4.40	1.01	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.37	0.00	6.43	5.91	12.34	4.20
26A-1A	454	7.20	7.36	2.39	0.27	0.77	0.11	0.12	4.42	1.05	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.37	0.00	6.36	5.96	12.31	3.26
26B-1	577	7.10	7.32	2.39	0.27	0.81	0.08	0.09	4.40	1.01	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.37	0.00	6.35	5.90	12.25	3.69
27A-1	677	6.81	6.88	2.58	0.30	1.70	0.05	0.09	4.87	1.34	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.40	0.00	7.65	6.86	14.51	5.40
27B-1	1367	6.72	6.90	6.94	0.77	1.79	0.03	0.06	11.91	2.16	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.07	0.00	0.35	0.00	17.51	14.33	31.84	10.00
28A-1	290	7.41	7.20	1.29	0.15	0.34	0.02	0.04	2.93	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.35	0.00	3.33	3.32	6.65	0.23
28B-1	370	6.95	6.92	1.67	0.20	0.44	0.02	0.03	3.59	0.35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.47	0.00	4.34	3.94	8.28	4.85
28C-1	213	6.94	6.62	0.96	0.12	0.22	0.02	0.00	1.67	0.16	0.16	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.34	0.00	2.55	2.14	4.69	8.72
29A-1	305	7.18	7.19	1.22	0.17	0.45	0.03	0.05	2.59	0.43	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.34	0.00	3.36	3.11	6.47	3.76
29B-1	354	7.00	6.84	1.43	0.20	0.52	0.03	0.05	2.95	0.55	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.36	0.00	3.99	3.53	7.52	6.15
25-1	362	3.85	4.07	0.18	0.17	0.56	0.09	0.00	0.00	0.85	1.02	1.08	0.00	0.74	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.36	0.01	3.74	3.97	7.71	-2.92
24-1	796	4.48	4.58	1.47	0.89	0.58	1.97	0.00	0.03	1.07	0.67	5.43	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.14	0.00	7.57	7.88	15.45	-2.04
K1-1	578	3.99	4.26	1.17	0.49	0.81	0.57	0.01	0.01	1.11	0.92	2.23	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.18	0.00	5.36	5.19	10.55	1.61
K2-1	769	4.26	4.54	1.71	0.69	0.67	0.94	0.00	0.02	1.11	0.74	4.94	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.28	0.00	6.90	7.56	14.47	-4.57
K3-1	1331	4.00	4.29	3.52	1.31	0.67	0.57	0.01	0.01	1.12	0.50	10.58	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.19	0.00	12.45	12.71	25.16	-1.05
K4-1	504	5.68	5.71	1.49	0.57	0.45	0.31	0.02	0.50	0.37	1.82	0.20	0.00	0.02	0.00	0.00	0.16	0.01	0.00	0.19	0.00	5.29	4.72	10.01	5.73
23-1	385	5.62	5.66	0.42	0.23	0.39	1.37	0.18	0.51	0.81	0.35	1.19	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	3.28	3.21	6.49	1.09
K5-1	809	6.71	6.81	3.21	0.47	1.23	0.04	0.11	4.14	1.50	1.32	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00	0.28	0.00	8.99	8.28	17.27	4.14
K6-1	633	7.10	7.05	2.42	0.40	1.11	0.03	0.04	4.26	1.44	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.26	0.00	6.89	6.62	13.51	1.97
K7-1	680	6.87	6.91	2.56	0.42	1.32	0.03	0.07	3.98	1.27	0.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.27	0.00	7.48	7.01	14.49	3.25
K8-1	610	6.71	6.80	2.42	0.18	1.02	0.03	0.11	3.19	1.91	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.26	0.00	6.48	5.67	12.15	6.64
22-1	603	6.91	6.95	2.59	0.38	1.06	0.03	0.09	4.46	0.57	0.70	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.33	0.00	7.19	6.43	13.62	5.54
21-1	642	7.10	7.11	2.64	0.37	1.00	0.03	0.04	4.51	1.23	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.31	0.00	7.14	6.88	14.03	1.84
K12-1	293	7.15	6.96	1.26	0.17	0.34	0.02	0.03	2.56	0.40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.30	0.00	3.30	2.98	6.29	5.12
14A-1	267	7.53	7.33	1.37	0.17	0.35	0.03	0.02	2.54	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.32	0.00	3.64	2.85	6.49	12.19
K14-1	768	6.72	6.81	3.35	0.79	0.42	0.26	0.02	5.56	0.41	0.96	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	0.18	0.00	9.20	7.89	17.08	7.67
K15-1	914	6.80	6.83	3.03	0.47	3.02	0.03	0.06	5.78	2.46	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.32	0.00	10.22	9.25	19.47	5.00
K16-1	623	7.07	7.12	2.69	0.50	0.67	0.03	0.05	4.53	0.65	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.34	0.00	7.21	6.73	13.94	3.40
K17-1	1084	6.95	7.01	4.56	0.60	1.78	0.09	0.12	6.48	2.40	1.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.40	0.00	12.38	11.58	23.97	3.34
K18-1	1039	6.85	6.98	4.58	1.23	1.04	0.11	0.04	6.78	1.31	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.24	0.00	13.00	11.54	24.54	5.95
K19-1	837	6.95	7.09	3.62	0.50	1.17	0.03	0.16	5.20	1.71	0.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.35	0.00	9.67	8.62	18.28	5.73

BIJLAGE 3: Overzicht chemische analyses grond- en oppervlaktewater (2)

Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn	Som kat	Som an	Som k+a	E.N.
B1	386	7.54	7.58	1.08	0.24	1.18	0.12	0.00	1.77	0.97	0.42	0.18	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	3.97	3.85	7.82	1.49
B2	386	7.63	7.53	1.06	0.24	1.15	0.10	0.00	1.77	0.95	0.42	0.19	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	3.87	3.80	7.67	0.87
B3	391	7.64	7.58	1.10	0.24	1.21	0.11	0.00	1.86	0.94	0.41	0.17	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.09	0.00	4.03	3.79	7.82	3.16	
B4	429	8.01	7.94	1.26	0.23	1.39	0.09	0.00	2.46	0.89	0.47	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	4.48	4.37	8.85	1.24
B5	440	7.78	7.75	1.30	0.23	1.44	0.09	0.00	2.51	0.88	0.45	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	4.60	4.38	8.98	2.52
B6	440	7.88	7.85	1.26	0.23	1.42	0.09	0.00	2.42	0.89	0.47	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	4.50	4.35	8.85	1.67
B7	440	7.90	7.70	1.29	0.23	1.39	0.09	0.00	2.50	0.89	0.47	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	4.54	4.41	8.95	1.51
B8	431	8.20	8.09	1.24	0.22	1.39	0.10	0.00	2.38	0.90	0.47	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	4.43	4.33	8.76	1.04
B9	408	8.27	7.83	1.16	0.21	1.37	0.09	0.00	2.25	0.88	0.42	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	4.23	4.12	8.35	1.27
B10L	420	8.32	8.21	1.17	0.20	1.48	0.11	0.00	2.30	0.87	0.45	0.09	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	4.34	4.23	8.57	1.26
B10V	374	7.76	7.83	1.16	0.29	0.80	0.07	0.00	2.12	0.96	0.28	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.04	0.00	3.85	3.67	7.53	2.39
B11	363	7.76	7.81	1.13	0.29	0.79	0.05	0.00	2.01	0.95	0.29	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.09	0.00	3.75	3.57	7.32	2.49
B12	338	8.95	8.84	1.02	0.29	0.77	0.03	0.00	1.61	0.93	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.19	0.00	3.43	3.11	6.55	4.93
B13	333	8.69	8.73	0.95	0.28	0.81	0.04	0.00	1.51	0.96	0.29	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.20	0.00	3.34	3.10	6.45	3.66
B14	414	7.81	7.89	1.32	0.30	0.87	0.05	0.00	2.33	1.02	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.18	0.00	4.18	4.04	8.22	1.68
B15	496	7.98	8.12	1.44	0.37	1.25	0.04	0.00	2.31	1.56	0.42	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	0.00	4.95	4.77	9.73	1.84
B16	404	8.15	8.03	1.18	0.32	0.97	0.03	0.00	1.84	1.15	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.07	0.00	4.04	3.81	7.85	2.85
B17	137	6.66	6.61	0.23	0.10	0.42	0.04	0.00	0.24	0.44	0.22	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	1.13	1.19	2.32	-2.46
B18	372	7.60	7.37	1.50	0.19	0.47	0.07	0.06	2.99	0.66	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.25	0.00	4.06	3.70	7.76	4.62
B19	351	6.94	6.87	1.38	0.21	0.46	0.02	0.03	2.79	0.58	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.36	0.00	3.83	3.42	7.25	5.65
B20	404	7.01	7.01	1.71	0.26	0.38	0.04	0.06	3.07	0.53	0.15	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.33	0.00	4.48	3.93	8.40	6.58
B21	303	6.94	6.95	1.19	0.17	0.37	0.01	0.04	2.28	0.46	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.24	0.00	3.24	2.90	6.14	5.53
B22	431	8.54		1.18	0.19	1.79	0.09	0.00	2.50	0.91	0.49	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	4.64	4.49	9.13	1.59
B23	439	7.89		1.18	0.19	1.81	0.09	0.00	2.57	0.91	0.50	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	4.65	4.58	9.23	0.79
B24	470	7.54		1.20	0.17	2.24	0.12	0.00	2.68	0.95	0.56	0.11	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	5.10	4.95	10.05	1.45
B25	473	7.36		1.16	0.16	2.24	0.12	0.00	2.62	0.94	0.57	0.12	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	5.03	4.90	9.93	1.29
B26	324	7.82		0.72	0.19	1.04	0.18	0.00	0.63	1.03	0.36	0.61	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	3.06	3.03	6.09	0.62
B27	122	6.76		0.32	0.09	0.33	0.03	0.00	0.79	0.31	0.12	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.00	1.20	1.38	2.58	-6.95

GEGEVENS CHEMISCHE ANALYSES VELDWERK LAMPENBROEK																									
(data korte-termijn-variatie, eenheid mmol/l)																									
Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn	Som kat	Som an	Som k+a	E.N.
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
14A-1	267	7.53	7.33	1.37	0.17	0.35	0.03	0.02	2.54	0.31	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.32	0.00	3.64	2.85	6.49	12.19
14A-2	279	7.35		1.16	0.14	0.31	0.02	0.02	2.50	0.34	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.30	0.00	3.01	2.84	5.85	2.82
14A-3	278	7.28		1.18	0.15	0.32	0.04	0.03	2.50	0.33	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.42	0.00	3.32	2.83	6.14	7.96
14B-1	283	7.21	7.1	1.18	0.15	0.34	0.02	0.04	2.49	0.32	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.31	0.00	3.12	2.82	5.94	5.17
14B-2	286	7.17		1.26	0.16	0.34	0.02	0.03	2.54	0.34	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.32	0.00	3.35	2.89	6.24	7.49
14B-3	291	7.19		1.23	0.17	0.33	0.05	0.05	2.63	0.34	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	2.97	6.86	13.32
14C-1	308	6.78	6.79	1.37	0.17	0.33	0.01	0.01	2.65	0.28	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.32	0.00	3.52	2.95	6.46	8.81
14C-2	306	6.8		1.35	0.17	0.33	0.01	0.01	2.61	0.32	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.32	0.00	3.50	2.95	6.44	8.56
14C-3	295	6.99		1.29	0.17	0.32	0.02	0.03	2.68	0.31	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.48	0.00	3.61	3.01	6.62	9.12
28A-1	290	7.41	7.2	1.29	0.15	0.34	0.02	0.04	2.93	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.35	0.00	3.33	3.32	6.65	0.23
28A-2	297	7.21		1.32	0.16	0.34	0.02	0.04	2.72	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.35	0.00	3.40	3.09	6.49	4.76
28A-3	298	7.23		1.26	0.15	0.33	0.02	0.04	2.73	0.37	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.41	0.00	3.39	3.10	6.50	4.52
28B-1	370	6.95	6.92	1.67	0.20	0.44	0.02	0.03	3.59	0.35	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.47	0.00	4.34	3.94	8.28	4.85
28B-2	358	6.81		1.61	0.20	0.43	0.02	0.03	3.12	0.37	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.46	0.00	4.18	3.50	7.68	8.93
28B-3	346	6.93		1.48	0.18	0.40	0.02	0.03	3.12	0.35	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.52	0.00	3.99	3.48	7.47	6.88
28C-1	213	6.94	6.62	0.96	0.12	0.22	0.02	0.00	1.67	0.16	0.16	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.34	0.00	2.55	2.14	4.69	8.72
28C-2	230	6.78		1.06	0.14	0.23	0.02	0.00	1.79	0.17	0.13	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.36	0.00	2.95	2.22	5.17	14.21
28C-3	231	6.79		1.00	0.15	0.23	0.05	0.02	1.76	0.16	0.12	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	3.35	2.16	5.51	21.66
25-1	362	3.85	4.07	0.18	0.17	0.56	0.09	0.00	0.00	0.85	1.02	1.08	0.00	0.74	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.36	0.01	3.74	3.97	7.71	-2.92
25-2	368	3.91		0.18	0.17	0.55	0.09	0.00	0.00	0.85	0.98	0.79	0.00	0.80	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.36	0.01	3.89	3.60	7.50	3.86
25-3	369	3.9		0.17	0.16	0.54	0.09	0.01	0.00	0.82	0.94	0.71	0.00	0.79	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.38	0.01	3.81	3.41	7.22	5.63
K3-1	1331	4	4.29	3.52	1.31	0.67	0.57	0.01	0.01	1.12	0.50	10.58	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.19	0.00	12.45	12.71	25.16	-1.05
K3-2	1323	4.09		3.55	1.31	0.66	0.58	0.00	0.01	1.09	0.52	10.94	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.19	0.01	12.62	13.08	25.70	-1.79
K3-3	1311	4.11		3.38	1.25	0.63	0.55	0.02	0.01	1.06	0.52	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.20	0.00	12.06	2.10	14.16	70.27
K5-1	809	6.71	6.81	3.21	0.47	1.23	0.04	0.11	4.14	1.50	1.32	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.09	0.01	0.00	0.28	0.00	8.99	8.28	17.27	4.14
K5-2	806	6.7		3.32	0.48	1.22	0.04	0.08	4.05	1.49	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.01	0.00	0.28	0.00	9.13	8.14	17.27	5.76
K5-3	805	6.78		3.13	0.46	1.16	0.04	0.11	4.11	1.45	1.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.27	0.00	8.63	8.20	16.83	2.52
22-1	603	6.91	6.95	2.59	0.38	1.06	0.03	0.09	4.46	0.57	0.70	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.33	0.00	7.19	6.43	13.62	5.54
22-2	587	6.83		2.39	0.35	0.97	0.03	0.08	4.28	0.54	0.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.33	0.00	6.61	6.26	12.87	2.75
22-3	592	6.9		2.39	0.35	0.97	0.03	0.09	4.27	0.52	0.71	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.35	0.00	6.67	6.21	12.88	3.59
K15-1	914	6.8	6.83	3.03	0.47	3.02	0.03	0.06	5.78	2.46	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.32	0.00	10.22	9.25	19.47	5.00
K15-2	934	6.75		3.08	0.47	3.24	0.03	0.07	5.78	2.56	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.01	0.00	0.32	0.00	10.56	9.30	19.85	6.33
K15-3	936	6.83		2.95	0.45	3.08	0.02	0.07	5.90	2.41	0.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.32	0.00	10.13	9.37	19.49	3.90
K18-1	1039	6.85	6.98	4.58	1.23	1.04	0.11	0.04	6.78	1.31	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.00	0.24	0.00	13.00	11.54	24.54	5.95
K18-2	1058	6.77		4.52	1.20	1.00	0.11	0.03	6.70	1.30	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.02	0.00	0.24	0.00	12.80	11.43	24.23	5.65
K18-3	1060	6.9		4.44	1.18	0.99	0.11	0.04	6.90	1.26	1.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.23	0.00	12.53	11.66	24.19	3.57
K4-1	504	5.68	5.71	1.49	0.57	0.45	0.31	0.02	0.50	0.37	1.82	0.20	0.00	0.02	0.00	0.00	0.16	0.01	0.00	0.19	0.00	5.29	4.72	10.01	5.73
K4-2	473	5.85		1.40	0.51	0.46	0.34	0.02	0.77	0.37	1.87	0.18	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	0.01	0.00	0.18	0.00	4.88	5.05	9.93	-1.68

BIJLAGE 3: Overzicht chemische analyses grond- en oppervlaktewater (4)

GEGEVENS CHEMISCHE ANALYSES VELDWERK LAMPENBROEK (ruimtelijke data, eenheid mg/l)																					
Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
14A-1	267	7.53	7.33	54.9	4.1	8.0	1.1	0.4	154.9	11.0	0.0	0.0	0.0	0.33	0.00	0.04	3.36	0.21	0.06	8.98	0.06
14B-1	283	7.21	7.10	47.4	3.5	7.8	1.0	0.7	152.1	11.5	0.0	0.0	0.0	0.29	0.00	0.01	0.94	0.12	0.02	8.60	0.03
14C-1	308	6.78	6.79	54.8	4.1	7.5	0.2	0.2	161.9	10.1	0.4	0.0	0.0	0.14	0.00	0.03	2.33	0.20	0.04	8.99	0.04
26A-1	502	7.20	7.59	96.6	6.6	17.9	5.1	2.0	268.7	36.0	23.6	0.0	0.0	0.06	0.00	0.02	0.53	0.54	0.04	10.40	0.06
26A-1A	454	7.20	7.36	95.8	6.5	17.6	4.5	2.1	270.0	37.2	23.2	0.0	0.0	0.10	0.00	0.03	0.52	0.52	0.05	10.40	0.08
26B-1	577	7.10	7.32	95.7	6.6	18.7	3.3	1.7	268.3	35.7	23.8	0.0	0.0	0.07	0.00	0.02	0.45	0.57	0.04	10.40	0.03
27A-1	677	6.81	6.88	103.3	7.2	39.0	1.9	1.6	297.0	47.3	31.7	0.0	0.0	0.13	0.00	0.02	0.91	0.59	0.04	11.30	0.03
27B-1	1367	6.72	6.90	278.2	18.7	41.2	1.0	1.0	726.8	76.7	12.2	0.0	0.0	0.06	0.01	0.02	1.71	4.01	0.03	9.80	0.05
28A-1	290	7.41	7.20	51.8	3.7	7.9	0.8	0.8	178.8	13.7	0.0	0.0	0.0	0.07	0.00	0.02	0.61	0.21	0.08	9.86	0.03
28B-1	370	6.95	6.92	67.0	5.0	10.2	1.0	0.5	218.8	12.4	0.2	0.0	0.0	0.21	0.00	0.02	1.51	0.35	0.06	13.10	0.03
28C-1	213	6.94	6.62	38.6	2.9	5.0	0.6	0.0	102.1	5.7	14.9	0.0	0.0	0.82	0.00	0.03	1.57	0.23	0.09	9.65	0.05
29A-1	305	7.18	7.19	48.7	4.1	10.3	1.0	0.8	157.8	15.2	4.8	0.0	0.0	0.29	0.00	0.02	0.89	0.16	0.00	9.47	0.04
29B-1	354	7.00	6.84	57.3	5.0	12.0	1.3	0.9	180.0	19.5	1.3	0.0	0.0	0.54	0.00	0.00	1.14	0.40	0.00	9.98	0.03
25-1	362	3.85	4.07	7.2	4.2	12.8	3.4	0.0	0.1	30.3	97.5	67.2	0.0	20.10	0.00	0.08	0.49	0.14	0.04	9.98	0.58
24-1	796	4.48	4.58	58.8	21.6	13.4	77.0	0.0	1.8	38.1	64.7	336.8	0.0	2.27	0.00	0.05	0.49	0.06	0.00	4.05	0.07
K1-1	578	3.99	4.26	46.8	11.9	18.7	22.3	0.2	0.4	39.3	88.5	138.4	0.0	4.76	0.00	0.04	0.27	0.38	0.03	5.19	0.25
K2-1	769	4.26	4.54	68.5	16.7	15.4	36.8	0.0	1.5	39.3	71.5	306.4	0.0	3.84	0.00	0.02	0.06	0.37	0.04	7.74	0.10
K3-1	1331	4.00	4.29	141.0	31.8	15.5	22.4	0.1	0.3	39.6	48.5	656.0	0.0	12.50	0.00	0.04	0.16	1.28	0.05	5.20	0.27
K4-1	504	5.68	5.71	59.8	13.8	10.4	12.2	0.4	30.4	13.2	175.0	12.6	0.0	0.45	0.00	0.00	8.89	0.37	0.00	5.32	0.05
23-1	385	5.62	5.66	16.7	5.5	9.0	53.5	3.3	31.2	28.6	33.7	73.9	0.0	0.23	0.00	0.02	0.72	0.06	0.00	2.38	0.03
K5-1	809	6.71	6.81	128.5	11.4	28.2	1.6	1.9	252.3	53.3	126.7	0.0	0.0	0.52	0.00	0.02	5.11	0.77	0.00	7.97	0.07
K6-1	633	7.10	7.05	97.2	9.8	25.5	1.1	0.8	260.1	51.2	43.9	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	0.95	0.35	0.00	7.34	0.03
K7-1	680	6.87	6.91	102.5	10.2	30.4	1.1	1.2	242.7	45.0	84.6	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	2.42	0.45	0.02	7.48	0.04
K8-1	610	6.71	6.80	97.0	4.3	23.4	1.1	1.9	194.5	67.8	27.5	0.0	0.0	0.03	0.00	0.01	2.98	0.49	0.00	7.35	0.04
22-1	603	6.91	6.95	103.8	9.2	24.4	1.2	1.7	272.3	20.0	67.5	0.0	0.0	0.15	0.00	0.00	0.95	0.44	0.00	9.16	0.03
21-1	642	7.10	7.11	105.9	9.1	23.1	1.2	0.7	275.2	43.6	54.9	0.0	0.0	0.11	0.00	0.01	0.38	0.35	0.00	8.71	0.03
K12-1	293	7.15	6.96	50.6	4.3	7.8	0.8	0.5	156.2	14.3	0.9	0.0	0.0	0.04	0.00	0.02	0.74	0.23	0.00	8.47	0.02
14A-1	267	7.53	7.33	54.9	4.1	8.0	1.1	0.4	154.9	11.0	0.0	0.0	0.0	0.33	0.00	0.04	3.36	0.21	0.06	8.98	0.06
K14-1	768	6.72	6.81	134.2	19.1	9.8	10.2	0.4	339.3	14.4	92.2	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	5.42	0.48	0.00	4.99	0.28
K15-1	914	6.80	6.83	121.3	11.4	69.4	1.0	1.1	352.6	87.2	48.5	0.0	0.0	0.07	0.00	0.02	2.49	0.68	0.00	8.90	0.04
K16-1	623	7.07	7.12	107.8	12.2	15.5	1.3	0.9	276.6	23.1	74.4	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	1.17	0.47	0.00	9.45	0.03
K17-1	1084	6.95	7.01	182.8	14.5	41.0	3.6	2.2	395.2	84.9	130.2	0.0	0.0	0.03	0.00	0.02	1.19	0.58	0.03	11.20	0.04
K18-1	1039	6.85	6.98	183.6	30.0	24.0	4.5	0.7	413.6	46.6	165.6	0.0	0.0	0.04	0.00	0.01	3.57	1.09	0.06	6.71	0.04
K19-1	837	6.95	7.09	145.0	12.2	27.0	1.1	3.0	317.4	60.5	82.1	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	1.21	0.39	0.00	9.82	0.06



Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
B1	386	7.54	7.58	43.2	5.9	27.2	4.7	0.0	107.9	34.4	40.8	11.4	0.9	0.07	0.00	0.03	0.33	0.05	0.03	2.52	0.06
B2	386	7.63	7.53	42.4	5.8	26.5	4.1	0.0	108.1	33.6	40.0	11.5	0.6	0.05	0.00	0.03	0.33	0.06	0.00	2.53	0.03
B3	391	7.64	7.58	44.3	5.9	27.9	4.2	0.0	113.4	33.2	39.6	10.5	0.0	0.05	0.00	0.03	0.40	0.06	0.03	2.51	0.04
B4	429	8.01	7.94	50.6	5.5	31.9	3.6	0.0	150.3	31.5	45.1	2.2	0.4	0.03	0.00	0.01	0.39	0.05	0.00	1.96	0.03
B5	440	7.78	7.75	51.9	5.6	33.0	3.7	0.0	153.2	31.4	43.5	2.1	0.5	0.03	0.00	0.02	0.47	0.04	0.00	2.05	0.03
B6	440	7.88	7.85	50.3	5.5	32.6	3.7	0.0	147.8	31.4	44.8	2.7	0.7	0.04	0.00	0.02	0.51	0.03	0.00	2.17	0.03
B7	440	7.90	7.70	51.7	5.5	32.0	3.6	0.0	152.7	31.4	44.8	2.8	0.4	0.03	0.00	0.02	0.57	0.04	0.00	2.32	0.03
B8	431	8.20	8.09	49.6	5.4	31.9	3.8	0.0	145.5	31.8	44.7	3.9	0.6	0.03	0.00	0.02	0.53	0.03	0.00	2.17	0.03
B9	408	8.27	7.83	46.5	5.1	31.5	3.7	0.0	137.0	31.2	40.6	4.4	0.9	0.03	0.00	0.03	0.58	0.02	0.00	1.97	0.03
B10L	420	8.32	8.21	46.8	4.8	34.0	4.3	0.0	140.2	30.9	43.6	5.4	0.7	0.03	0.00	0.02	0.33	0.02	0.04	2.31	0.04
B10V	374	7.76	7.83	46.4	7.0	18.3	2.6	0.0	129.1	34.1	27.3	0.0	0.3	0.06	0.00	0.03	2.46	0.11	0.00	0.99	0.03
B11	363	7.76	7.81	45.4	7.0	18.1	2.2	0.0	122.9	33.8	27.9	0.0	0.2	0.06	0.00	0.02	1.73	0.06	0.00	2.44	0.03
B12	338	8.95	8.84	40.8	7.0	17.7	1.3	0.0	98.3	33.1	27.3	0.0	0.0	0.03	0.00	0.02	0.52	0.00	0.00	5.20	0.02
B13	333	8.69	8.73	38.1	6.9	18.6	1.7	0.0	92.2	34.1	28.0	0.0	0.5	0.03	0.00	0.03	0.47	0.00	0.03	5.75	0.03
B14	414	7.81	7.89	52.9	7.2	19.9	2.0	0.0	142.1	36.2	33.1	0.0	0.0	0.04	0.00	0.04	0.53	0.05	0.00	5.14	0.03
B15	496	7.98	8.12	57.7	9.1	28.8	1.7	0.0	140.8	55.4	40.2	0.0	0.7	0.04	0.00	0.03	0.68	0.05	0.00	2.79	0.02
B16	404	8.15	8.03	47.5	7.8	22.3	1.1	0.0	112.3	40.9	39.3	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	0.55	0.04	0.00	1.86	0.02
B17	137	6.66	6.61	9.2	2.5	9.6	1.4	0.0	14.4	15.5	21.4	4.3	0.0	0.05	0.00	0.01	0.00	0.10	0.02	6.24	0.03
B18	372	7.60	7.37	60.0	4.7	10.8	2.6	1.1	182.4	23.4	2.5	0.0	0.0	0.03	0.00	0.01	1.93	0.22	0.03	6.90	0.02
B19	351	6.94	6.87	55.1	5.0	10.6	1.0	0.5	170.5	20.5	0.8	0.0	0.3	0.03	0.00	0.02	4.12	0.15	0.00	10.10	0.04
B20	404	7.01	7.01	68.5	6.4	8.8	1.5	1.0	187.5	18.8	14.4	0.0	0.2	0.03	0.00	0.01	1.30	0.32	0.03	9.25	0.03
B21	303	6.94	6.95	47.8	4.2	8.6	0.4	0.7	139.3	16.3	7.5	0.0	0.0	0.04	0.00	0.02	1.81	0.24	0.04	6.63	0.02
B22	431	8.54		47.3	4.7	41.1	3.6	0.0	152.4	32.1	46.6	3.7	0.6	0.04	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	3.74	0.04
B23	439	7.89		47.2	4.6	41.7	3.5	0.0	156.7	32.1	47.7	3.5	0.6	0.04	0.00	0.00	0.22	0.03	0.00	3.45	0.03
B24	470	7.54		47.9	4.1	51.5	4.9	0.0	163.4	33.7	54.2	6.9	0.9	0.05	0.00	0.00	0.10	0.04	0.00	3.71	0.04
B25	473	7.36		46.7	3.9	51.6	4.9	0.0	159.8	33.2	54.8	7.2	0.9	0.04	0.00	0.00	0.08	0.05	0.03	3.78	0.04
B26	324	7.82		28.7	4.7	23.9	7.1	0.0	38.4	36.5	34.3	37.8	0.5	0.09	0.00	0.00	0.24	0.12	0.03	6.55	0.02
B27	122	6.76		12.7	2.3	7.7	1.3	0.0	48.2	10.9	11.7	2.5	0.0	0.03	0.00	0.00	0.06	0.22	0.00	7.27	0.08

BILJAGE 3: Overzicht chemische analyses grond- en oppervlaktewater (5)

BIJLAGE 3: Overzicht chemische analyses grond- en oppervlaktewater (6)

GEGEVENS CHEMISCHE ANALYSES VELDWERK LAMPENBROEK																					
(data korte-termijn-variatie, eenheid mg/l)																					
Monster	EGV25	pH lab	pH veld	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3	PO4	Al	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Si	Zn
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
14A-1	267	7.53	7.33	54.9	4.1	8.0	1.1	0.4	154.9	11.0	0.0	0.0	0.0	0.33	0.00	0.04	3.36	0.21	0.06	8.98	0.06
14A-2	279	7.35		46.6	3.3	7.2	0.9	0.4	152.8	12.0	0.0	0.0	0.0	0.19	0.00	0.00	0.69	0.13	0.03	8.39	0.02
14A-3	278	7.28		47.4	3.6	7.4	1.5	0.6	152.3	11.7	0.0	0.0	0.0	1.85	0.00	0.00	1.47	0.14	0.00	11.90	0.02
14B-1	283	7.21	7.10	47.4	3.5	7.8	1.0	0.7	152.1	11.5	0.0	0.0	0.0	0.29	0.00	0.01	0.94	0.12	0.02	8.60	0.03
14B-2	286	7.17		50.3	3.8	7.7	0.9	0.6	155.1	12.2	0.0	0.0	0.0	0.71	0.00	0.00	1.54	0.14	0.03	8.95	0.02
14B-3	291	7.19		49.4	4.1	7.5	2.1	0.9	160.6	12.1	0.0	0.0	0.0	4.88	0.00	0.00	2.91	0.13	0.05	18.30	0.03
14C-1	308	6.78	6.79	54.8	4.1	7.5	0.2	0.2	161.9	10.1	0.4	0.0	0.0	0.14	0.00	0.03	2.33	0.20	0.04	8.99	0.04
14C-2	306	6.80		54.1	4.1	7.5	0.5	0.2	159.4	11.5	0.5	0.0	0.0	0.27	0.00	0.00	2.02	0.21	0.04	8.97	0.03
14C-3	295	6.99		51.7	4.1	7.3	0.9	0.5	163.8	10.9	0.7	0.0	0.0	2.18	0.00	0.00	2.05	0.18	0.05	13.40	0.03
28A-1	290	7.41	7.20	51.8	3.7	7.9	0.8	0.8	178.8	13.7	0.0	0.0	0.0	0.07	0.00	0.02	0.61	0.21	0.08	9.86	0.03
28A-2	297	7.21		53.0	3.8	7.9	0.8	0.6	165.8	13.2	0.0	0.0	0.0	0.12	0.00	0.00	0.53	0.21	0.03	9.80	0.02
28A-3	298	7.23		50.7	3.8	7.5	1.0	0.7	166.7	13.1	0.0	0.0	0.0	1.14	0.00	0.00	0.88	0.20	0.03	11.50	0.02
28B-1	370	6.95	6.92	67.0	5.0	10.2	1.0	0.5	218.8	12.4	0.2	0.0	0.0	0.21	0.00	0.02	1.51	0.35	0.06	13.10	0.03
28B-2	358	6.81		64.4	4.7	9.8	1.0	0.5	190.6	13.1	0.1	0.0	0.0	0.28	0.00	0.00	1.59	0.35	0.04	12.80	0.02
28B-3	346	6.93		59.5	4.5	9.2	0.9	0.6	190.1	12.6	0.0	0.0	0.2	0.94	0.00	0.00	2.39	0.31	0.03	14.50	0.02
28C-1	213	6.94	6.62	38.6	2.9	5.0	0.6	0.0	102.1	5.7	14.9	0.0	0.0	0.82	0.00	0.03	1.57	0.23	0.09	9.65	0.05
28C-2	230	6.78		42.3	3.4	5.3	1.0	0.0	109.0	5.9	12.3	0.0	0.2	1.61	0.00	0.00	3.26	0.29	0.05	10.20	0.05
28C-3	231	6.79		40.0	3.6	5.3	1.9	0.3	107.2	5.8	11.4	0.0	0.0	5.53	0.00	0.00	3.77	0.29	0.05	20.20	0.04
25-1	362	3.85	4.07	7.2	4.2	12.8	3.4	0.0	0.1	30.3	97.5	67.2	0.0	20.10	0.00	0.08	0.49	0.14	0.04	9.98	0.58
25-2	368	3.91		7.1	4.2	12.6	3.4	0.0	0.1	30.1	94.5	48.7	0.0	21.70	0.00	0.06	0.44	0.16	0.08	10.10	0.62
25-3	369	3.90		6.8	4.0	12.4	3.4	0.2	0.1	29.2	89.9	44.0	0.0	21.20	0.00	0.06	0.50	0.14	0.04	10.60	0.60
K3-1	1331	4.00	4.29	141.0	31.8	15.5	22.4	0.1	0.3	39.6	48.5	656.0	0.0	12.50	0.00	0.04	0.16	1.28	0.05	5.20	0.27
K3-2	1323	4.09		142.1	31.9	15.2	22.6	0.0	0.4	38.8	49.9	678.5	0.0	13.80	0.00	0.03	0.11	1.29	0.08	5.25	0.35
K3-3	1311	4.11		135.5	30.4	14.5	21.6	0.3	0.4	37.6	49.8		0.0	13.20	0.00	0.06	0.16	1.24	0.07	5.73	0.30
K5-1	809	6.71	6.81	128.5	11.4	28.2	1.6	1.9	252.3	53.3	126.7	0.0	0.0	0.52	0.00	0.02	5.11	0.77	0.00	7.97	0.07
K5-2	806	6.70		133.2	11.7	28.1	1.7	1.4	247.3	52.7	124.7	0.0	0.0	0.05	0.00	0.00	4.06	0.78	0.05	7.87	0.04
K5-3	805	6.78		125.3	11.1	26.7	1.5	1.9	250.9	51.4	126.9	0.0	0.0	0.03	0.00	0.00	3.44	0.72	0.03	7.67	0.04
22-1	603	6.91	6.95	103.8	9.2	24.4	1.2	1.7	272.3	20.0	67.5	0.0	0.0	0.15	0.00	0.00	0.95	0.44	0.00	9.16	0.03
22-2	587	6.83		95.8	8.5	22.4	1.3	1.5	261.2	19.1	69.0	0.0	0.0	0.09	0.00	0.00	0.32	0.42	0.00	9.18	0.03
22-3	592	6.90		95.8	8.5	22.4	1.1	1.6	260.6	18.4	68.2	0.0	0.0	0.49	0.00	0.00	0.75	0.42	0.00	9.97	0.03
K15-1	914	6.80	6.83	121.3	11.4	69.4	1.0	1.1	352.6	87.2	48.5	0.0	0.0	0.07	0.00	0.02	2.49	0.68	0.00	8.90	0.04
K15-2	934	6.75		123.3	11.4	74.5	1.0	1.2	352.7	90.7	46.2	0.0	0.0	0.09	0.00	0.00	2.65	0.72	0.00	8.95	0.04
K15-3	936	6.83		118.3	11.0	70.9	0.9	1.2	360.0	85.6	50.5	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	3.11	0.70	0.03	8.90	0.03
K18-1	1039	6.85	6.98	183.6	30.0	24.0	4.5	0.7	413.6	46.6	165.6	0.0	0.0	0.04	0.00	0.01	3.57	1.09	0.06	6.71	0.04
K18-2	1058	6.77		181.1	29.2	23.1	4.3	0.6	408.8	45.9	164.9	0.0	0.0	0.04	0.00	0.00	4.62	1.07	0.04	6.63	0.04
K18-3	1060	6.90		178.0	28.8	22.7	4.2	0.8	421.0	44.7	168.2	0.0	0.0	0.07	0.00	0.00	2.43	1.06	0.00	6.58	0.04
K4-1	504	5.68	5.71	59.8	13.8	10.4	12.2	0.4	30.4	13.2	175.0	12.6	0.0	0.45	0.00	0.00	8.89	0.37	0.00	5.32	0.05
K4-2	473	5.85		56.2	12.3	10.6	13.2	0.4	46.7	13.0	179.3	11.3	0.0	0.31	0.00	0.00	5.47	0.33	0.00	5.07	0.12

### BIJLAGE 3a:

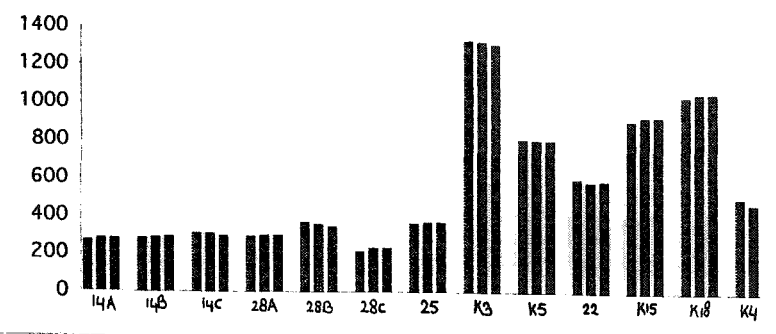
#### Concentratieveranderingen grondwater ten opzichte van ingedampte neerslag

Monster	pH lab	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	Cl	SO4	NO3
ing nrslg	4.04	0.04	0.03	0.22	0.01	0.39	0.00	0.26	0.21	0.18
14A-2	+3.31	+1.12	+0.11	+0.09	+0.01	-0.37	+2.50	+0.08	-0.21	-0.18
14B-1	+3.17	+1.14	+0.12	+0.12	+0.01	-0.35	+2.49	+0.07	-0.21	-0.18
14C-1	+2.74	+1.32	+0.14	+0.11	-0.01	-0.38	+2.65	+0.03	-0.21	-0.18
26A-1	+3.16	+2.37	+0.24	+0.56	+0.12	-0.28	+4.40	+0.76	+0.03	-0.18
26B-1	+3.06	+2.35	+0.24	+0.59	+0.07	-0.30	+4.40	+0.75	+0.03	-0.18
27A-1	+2.77	+2.54	+0.27	+1.48	+0.04	-0.30	+4.87	+1.08	+0.12	-0.18
27B-1	+2.68	+6.90	+0.74	+1.57	+0.01	-0.33	+11.91	+1.91	-0.09	-0.18
28A-1	+3.37	+1.25	+0.13	+0.12	+0.01	-0.35	+2.93	+0.13	-0.21	-0.18
28B-1	+2.91	+1.63	+0.18	+0.22	+0.01	-0.36	+3.59	+0.09	-0.21	-0.18
28C-1	+2.90	+0.92	+0.09	+0.00	+0.00	-0.39	+1.67	-0.10	-0.06	-0.18
29A-1	+3.14	+1.17	+0.14	+0.23	+0.01	-0.34	+2.59	+0.17	-0.16	-0.18
29B-1	+2.96	+1.39	+0.18	+0.30	+0.02	-0.34	+2.95	+0.30	-0.20	-0.18
25-1	-0.19	+0.14	+0.15	+0.34	+0.08	-0.39	+0.00	+0.60	+0.80	+0.90
24-1	+0.44	+1.42	+0.86	+0.36	+1.96	-0.39	+0.03	+0.82	+0.46	+5.25
K1-1	-0.05	+1.12	+0.46	+0.59	+0.56	-0.38	+0.01	+0.85	+0.71	+2.05
K2-1	+0.22	+1.67	+0.66	+0.45	+0.93	-0.39	+0.02	+0.85	+0.53	+4.76
K3-1	-0.04	+3.48	+1.28	+0.46	+0.56	-0.38	+0.01	+0.86	+0.29	+10.40
K4-1	+1.64	+1.45	+0.54	+0.23	+0.30	-0.37	+0.50	+0.12	+1.61	+0.02
23-1	+1.58	+0.37	+0.20	+0.17	+1.36	-0.21	+0.51	+0.55	+0.14	+1.01
K5-1	+2.67	+3.16	+0.44	+1.01	+0.03	-0.28	+4.14	+1.25	+1.11	-0.18
K6-1	+3.06	+2.38	+0.38	+0.89	+0.02	-0.35	+4.26	+1.19	+0.24	-0.18
K7-1	+2.83	+2.52	+0.39	+1.10	+0.02	-0.32	+3.98	+1.01	+0.67	-0.18
K8-1	+2.67	+2.38	+0.15	+0.80	+0.02	-0.28	+3.19	+1.66	+0.07	-0.18
22-1	+2.87	+2.55	+0.35	+0.84	+0.02	-0.30	+4.46	+0.31	+0.49	-0.18
21-1	+3.06	+2.60	+0.35	+0.79	+0.02	-0.35	+4.51	+0.98	+0.36	-0.18
K12-1	+3.11	+1.22	+0.15	+0.12	+0.01	-0.36	+2.56	+0.15	-0.20	-0.18
14A-2	+3.31	+1.12	+0.11	+0.09	+0.01	-0.37	+2.50	+0.08	-0.21	-0.18
K14-1	+2.68	+3.31	+0.76	+0.21	+0.25	-0.37	+5.56	+0.15	+0.75	-0.18
K15-1	+2.76	+2.99	+0.44	+2.80	+0.01	-0.33	+5.78	+2.20	+0.29	-0.18
K16-1	+3.03	+2.65	+0.47	+0.46	+0.02	-0.34	+4.53	+0.40	+0.56	-0.18
K17-1	+2.91	+4.52	+0.57	+1.56	+0.08	-0.27	+6.48	+2.14	+1.14	-0.18
K18-1	+2.81	+4.54	+1.21	+0.82	+0.10	-0.35	+6.78	+1.06	+1.51	-0.18
K19-1	+2.91	+3.58	+0.47	+0.96	+0.02	-0.23	+5.20	+1.45	+0.64	-0.18

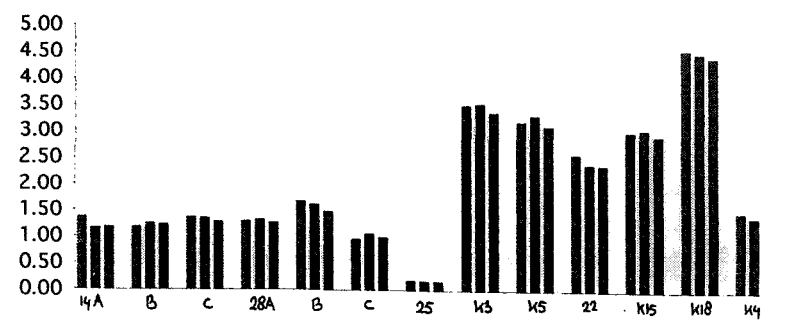
\*) Neerslaggegevens volgens Appelo (1980), indampingsfactor = 3, eenheid mmol/l.



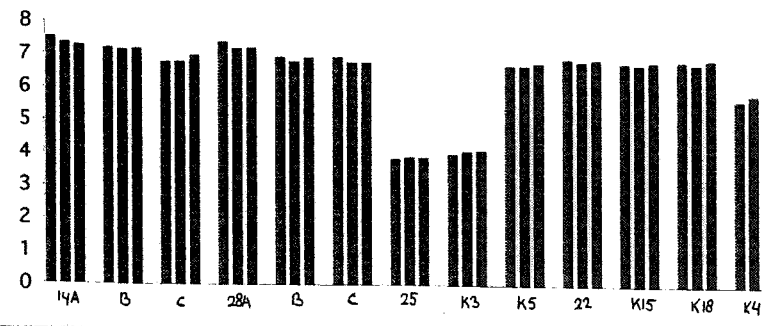
EGV: variatie in de tijd



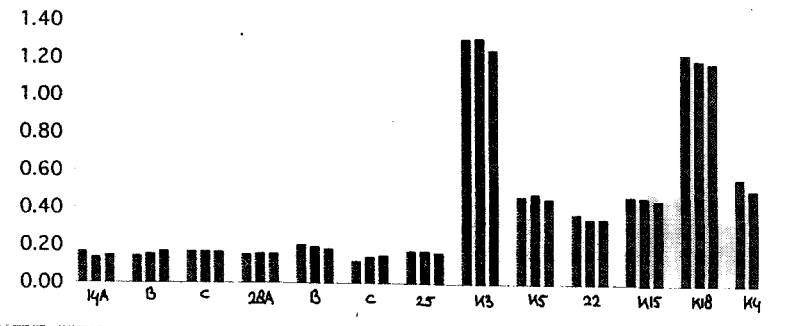
Ca: variatie in de tijd



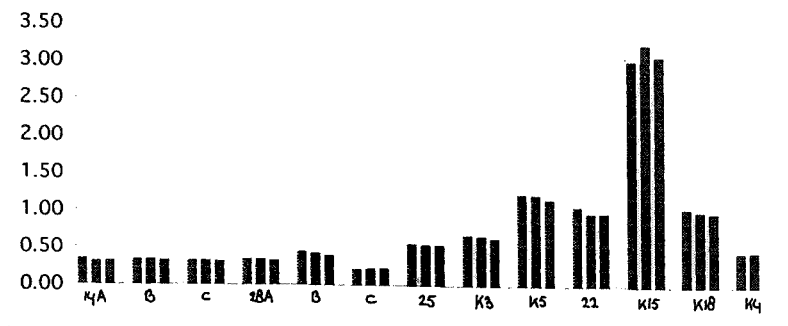
pH (lab): variatie in de tijd



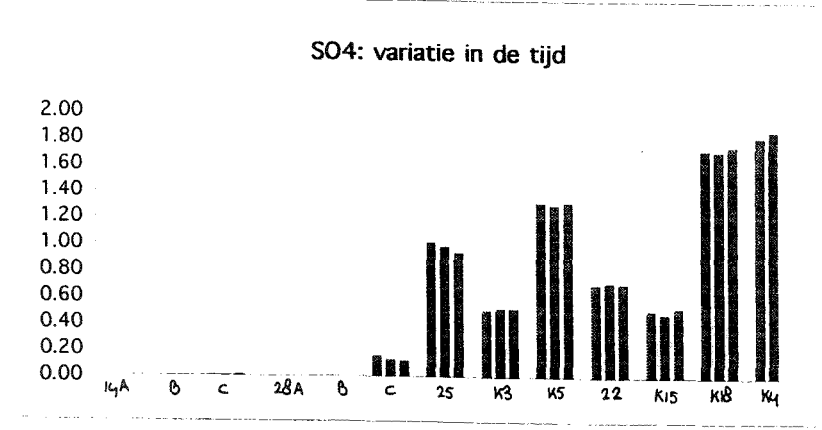
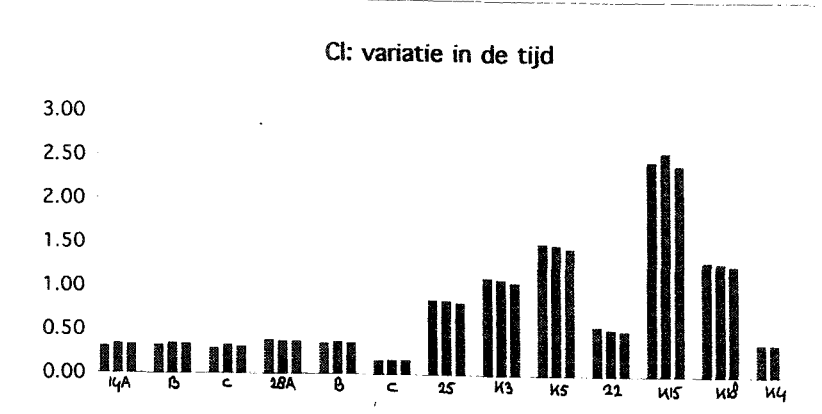
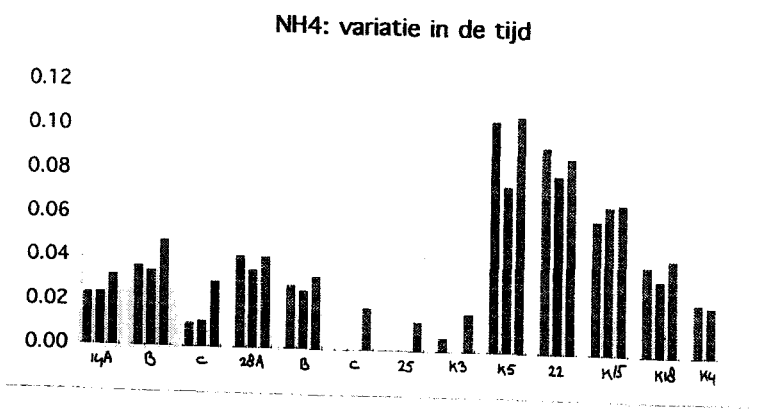
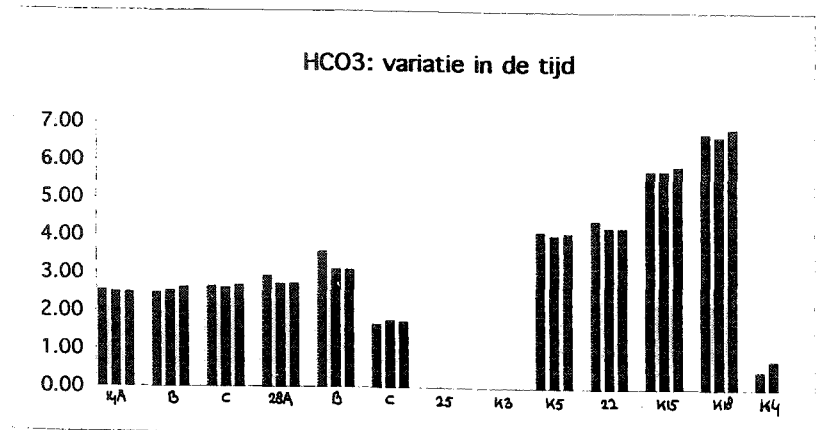
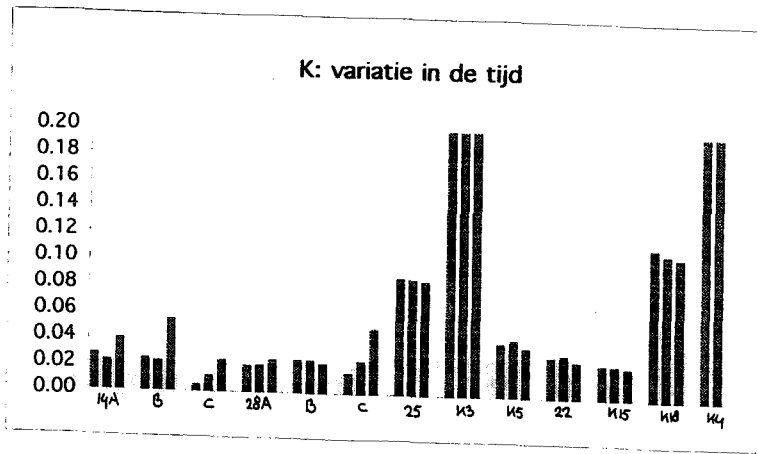
Mg: variatie in de tijd

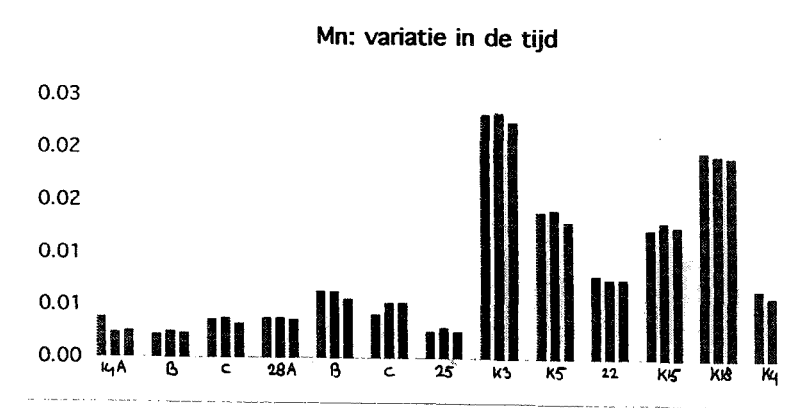
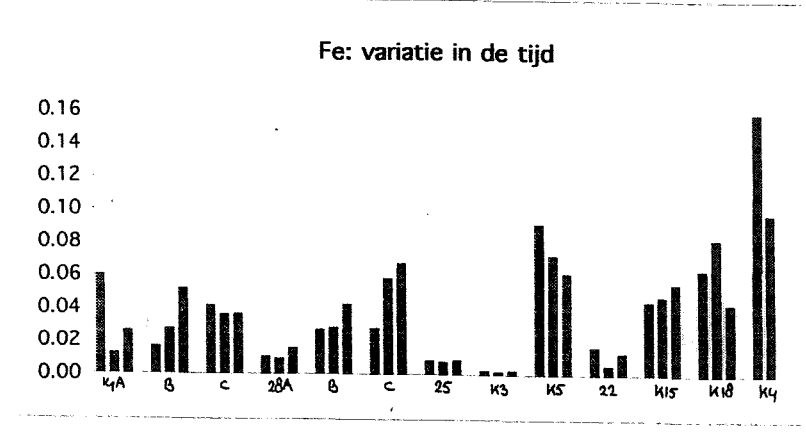
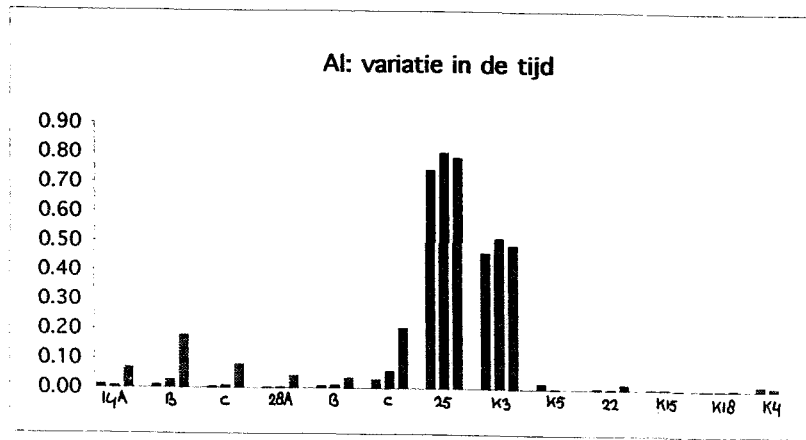
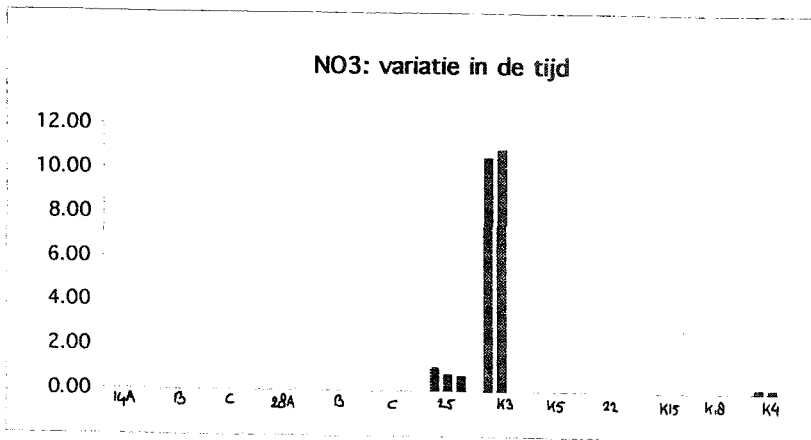


Na: variatie in de tijd



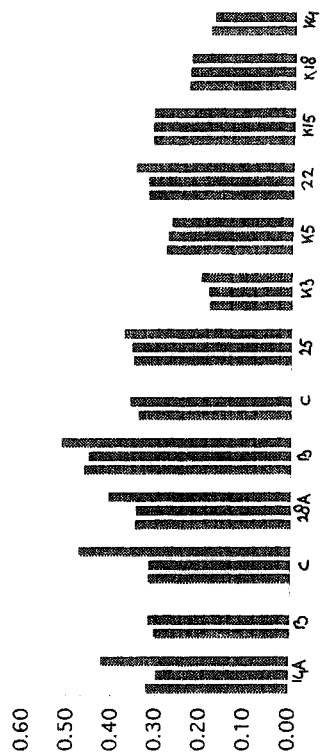
BIJLAGE 4: Staafdiagrammen korte termijn variatie grondwatersamenstelling (2)



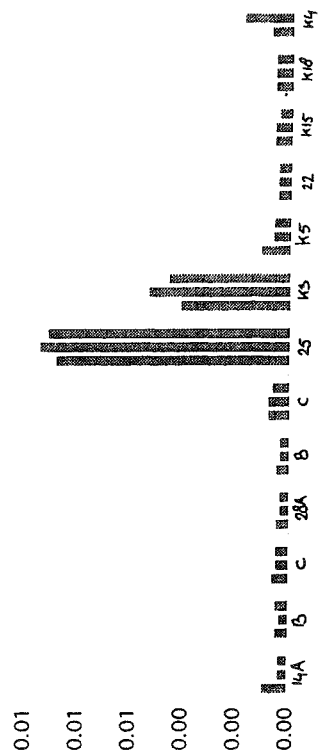


BIJLAGE 4: Staafdiagrammen korte termijn variatie grondwatersamenstelling (4)

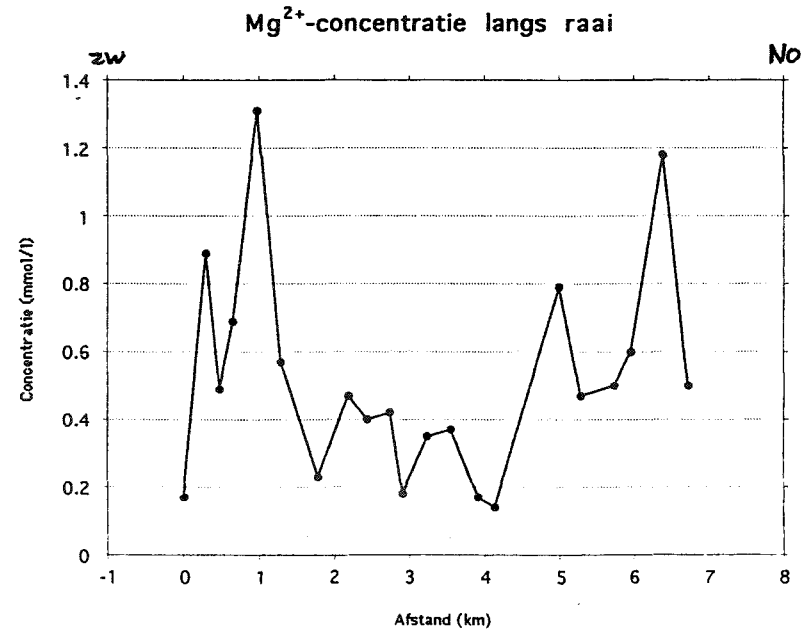
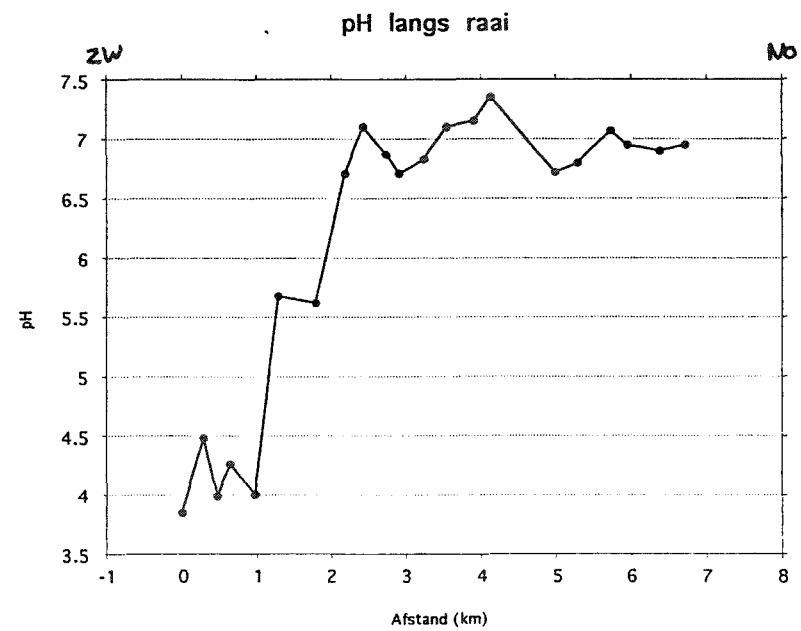
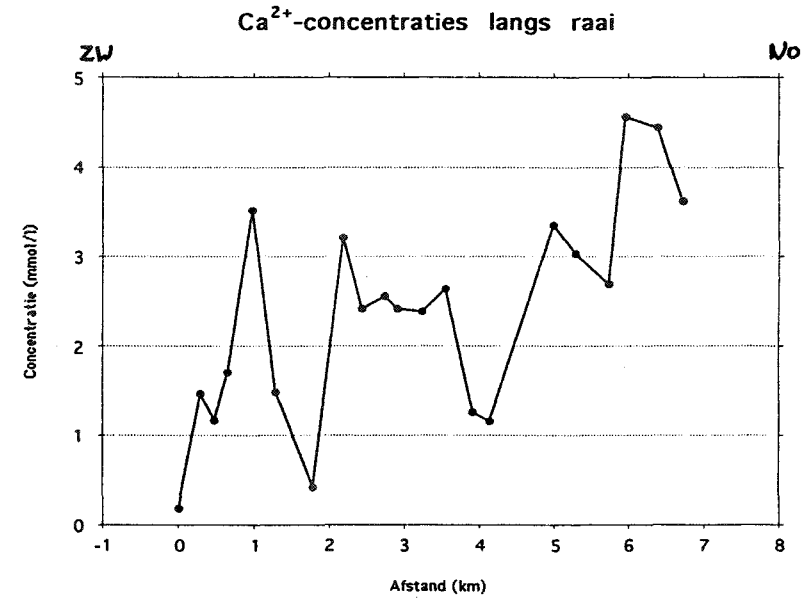
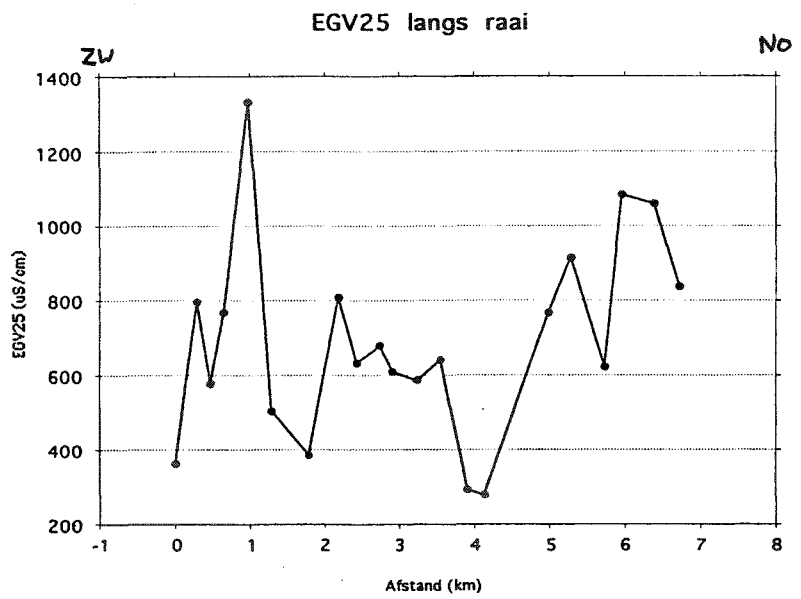
Si: variatie in de tijd



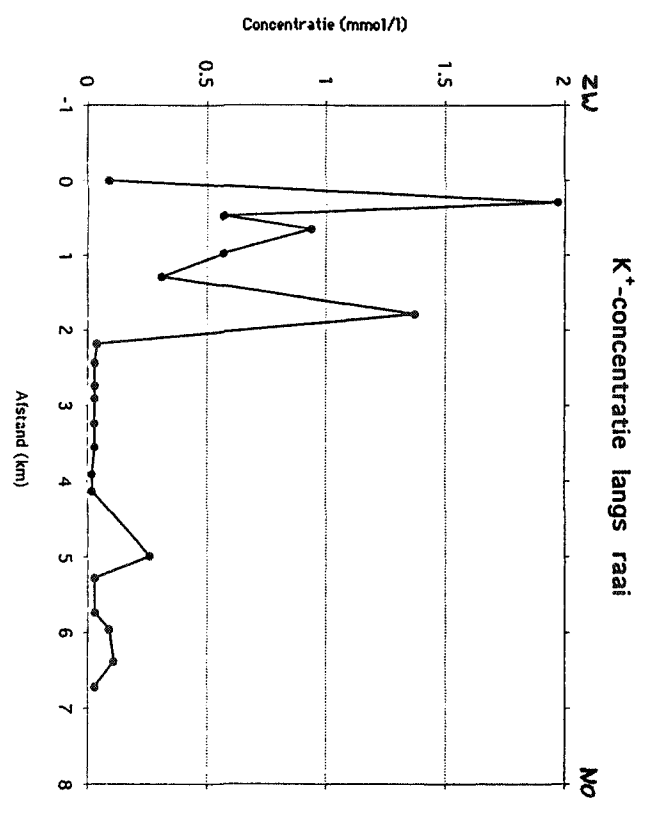
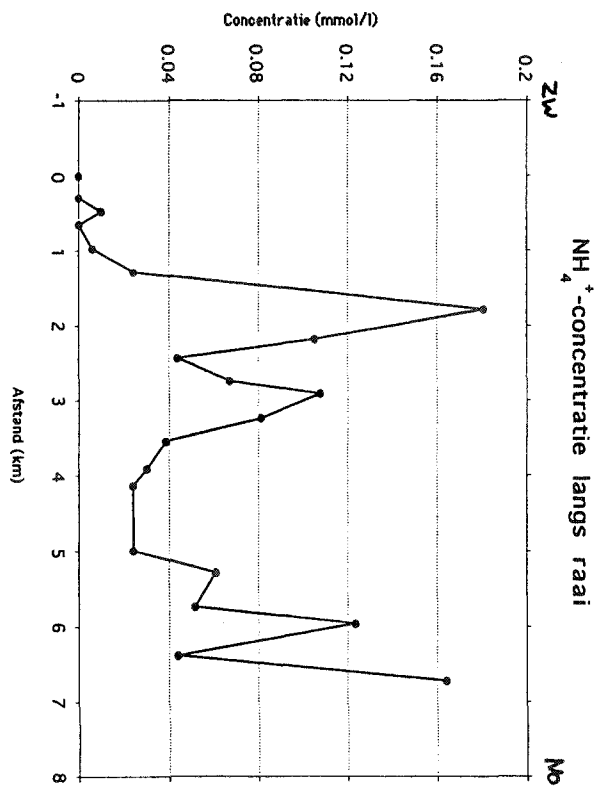
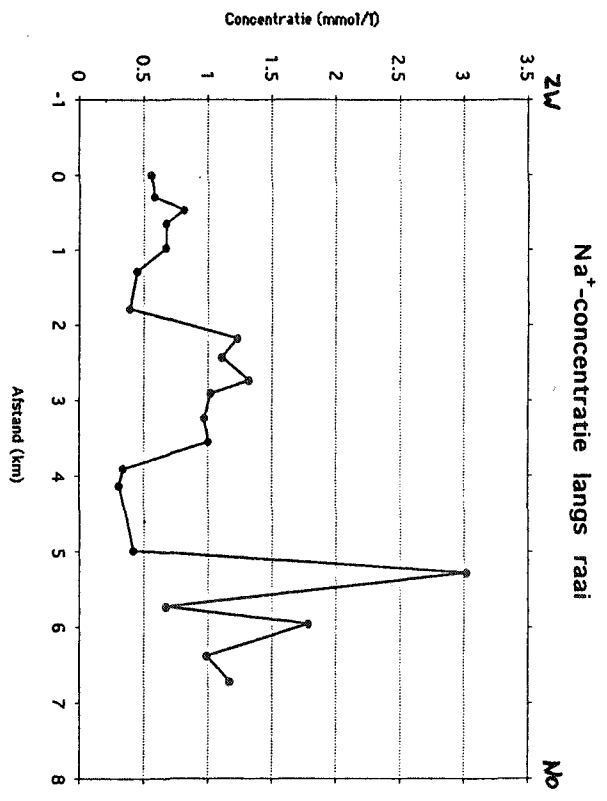
Zn: variatie in de tijd

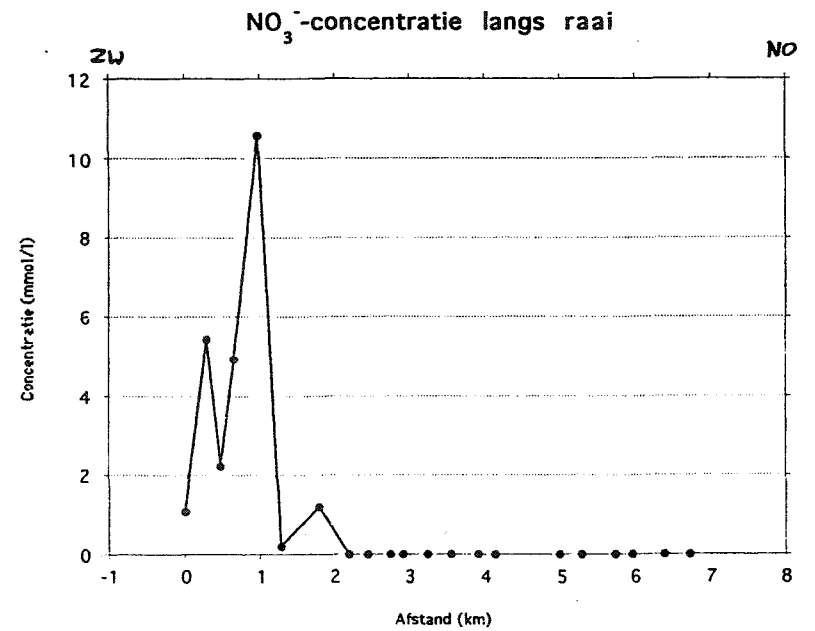
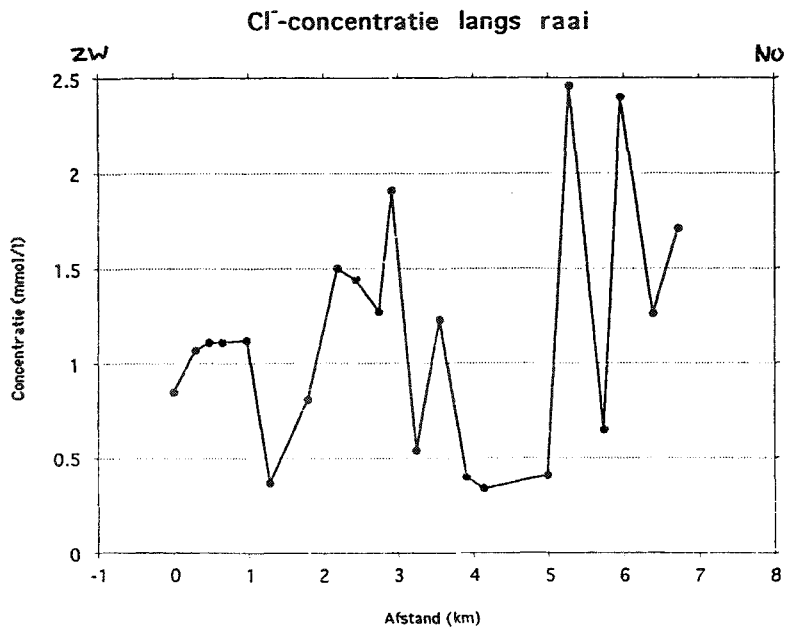
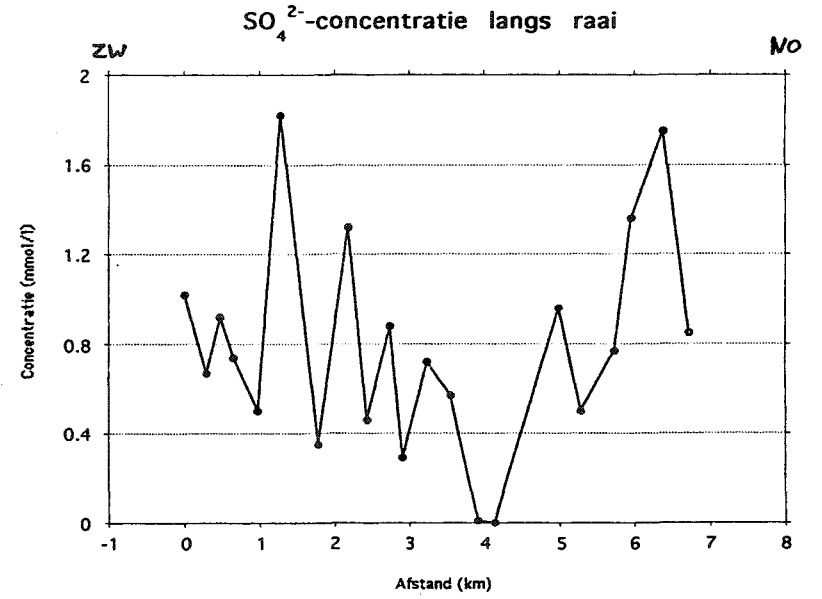
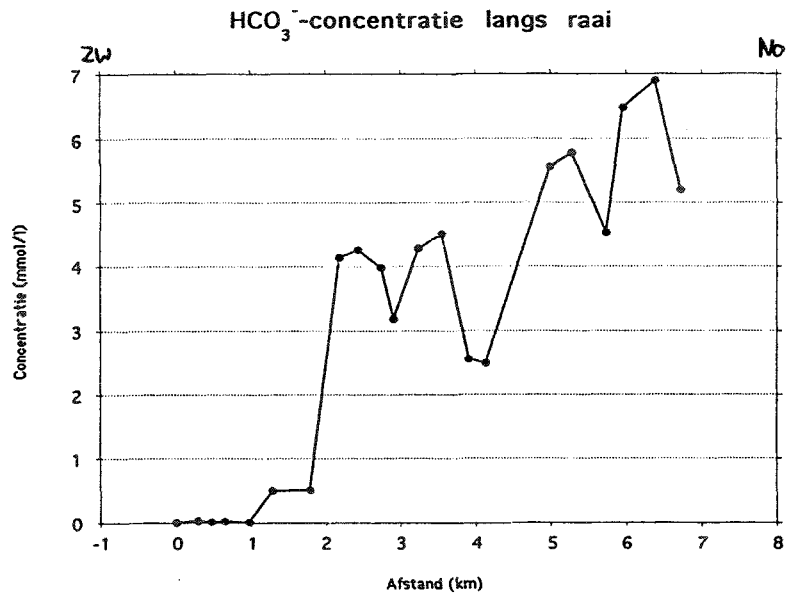




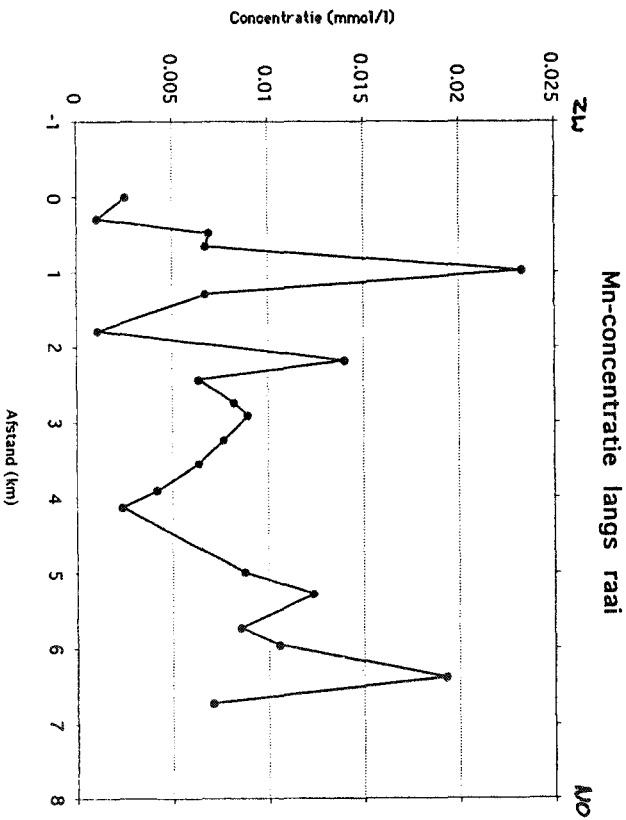
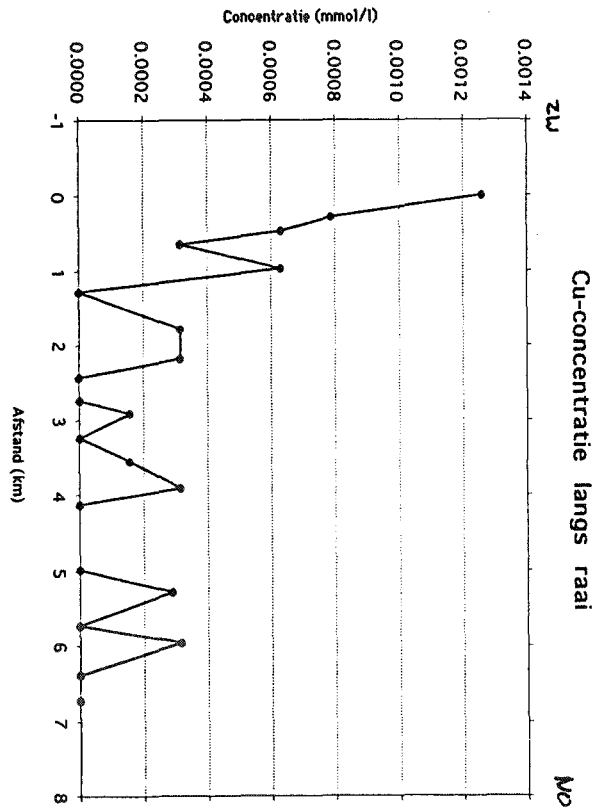
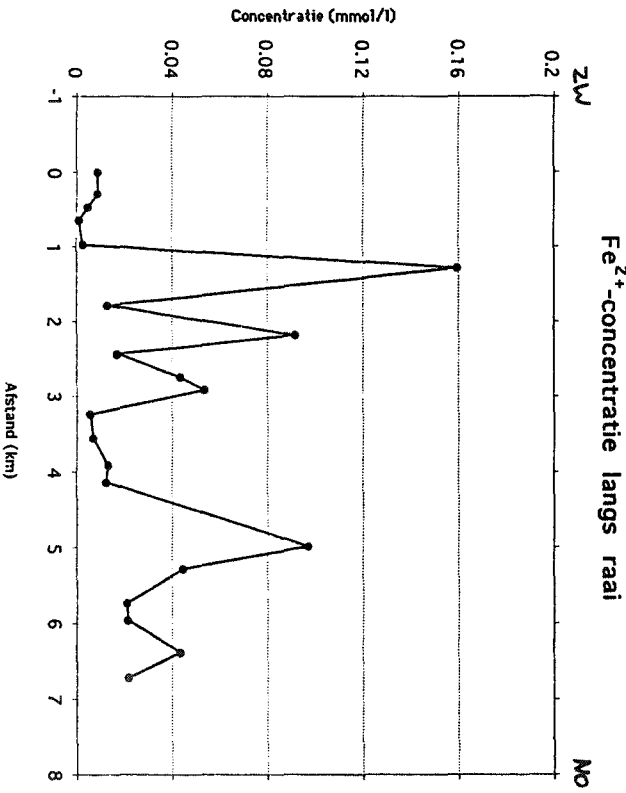
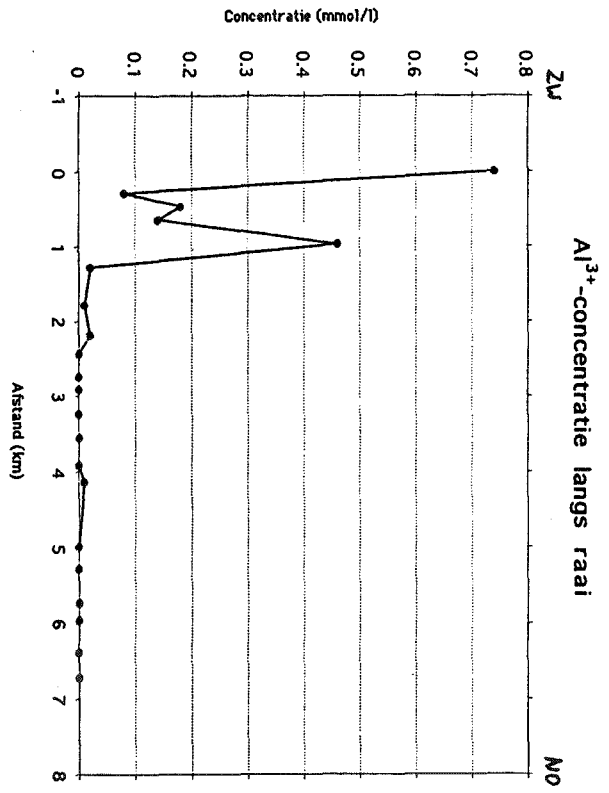


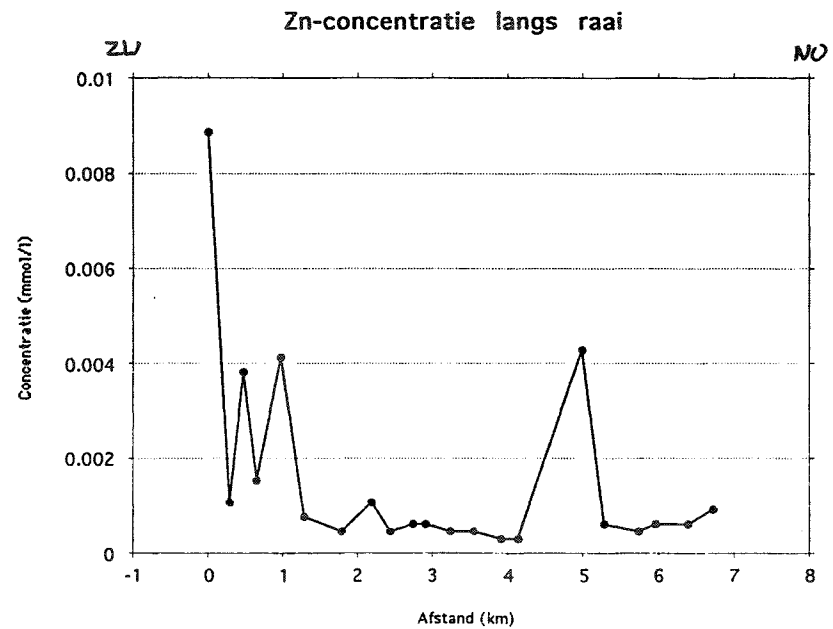
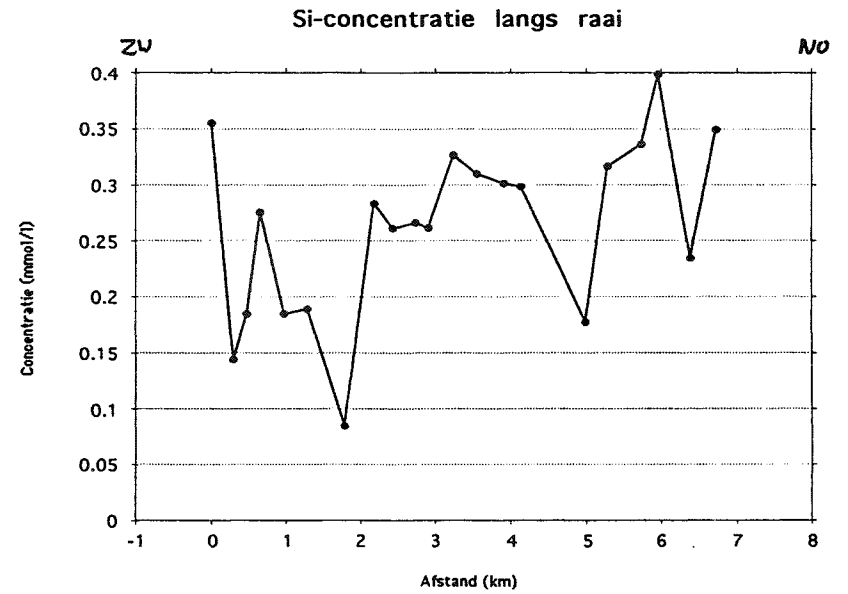
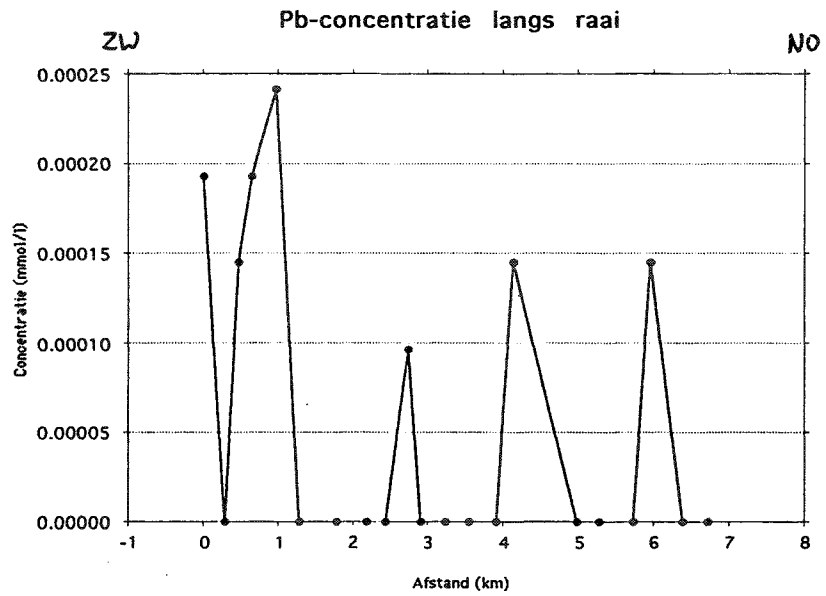
BIJLAGE 5: Chemische data grondwater uitgezet tegen afstand langs raai (2)



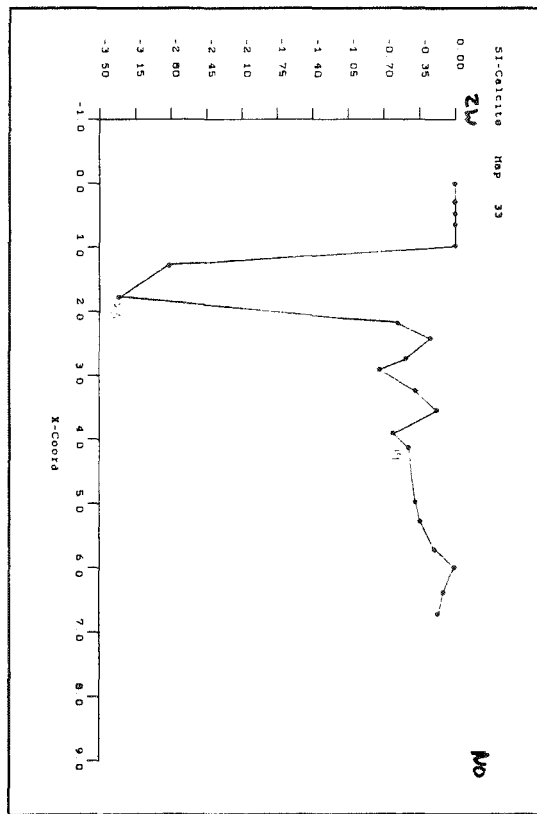
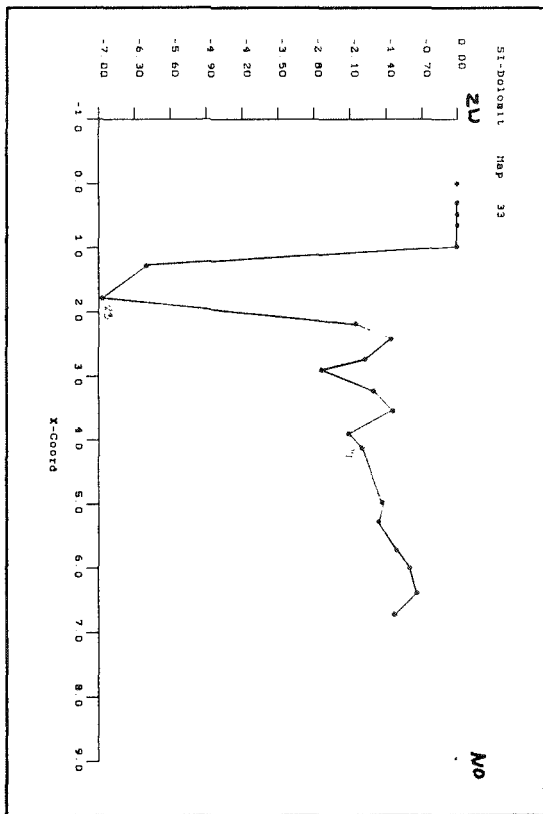
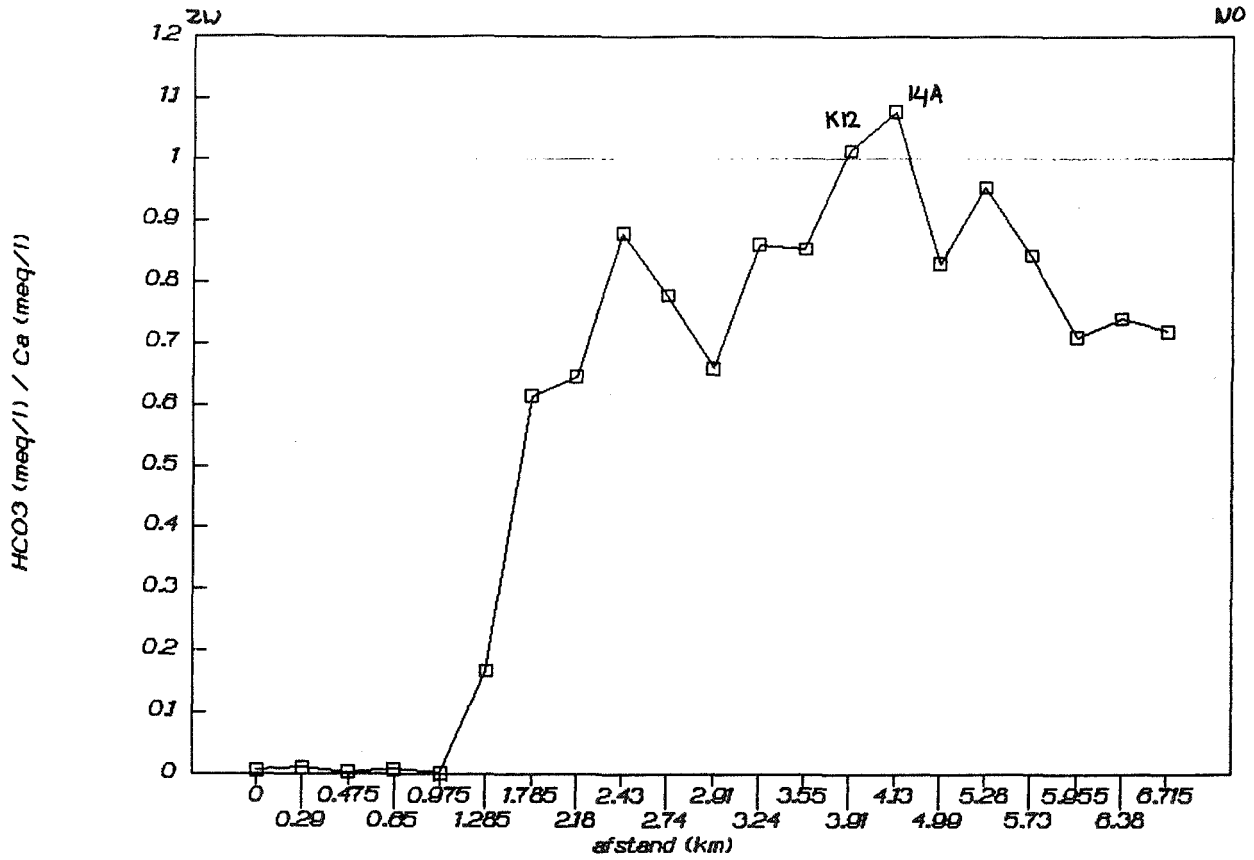


BIJLAGE 5: Chemische data grondwater uitgezet tegen afstand langs raai (4)

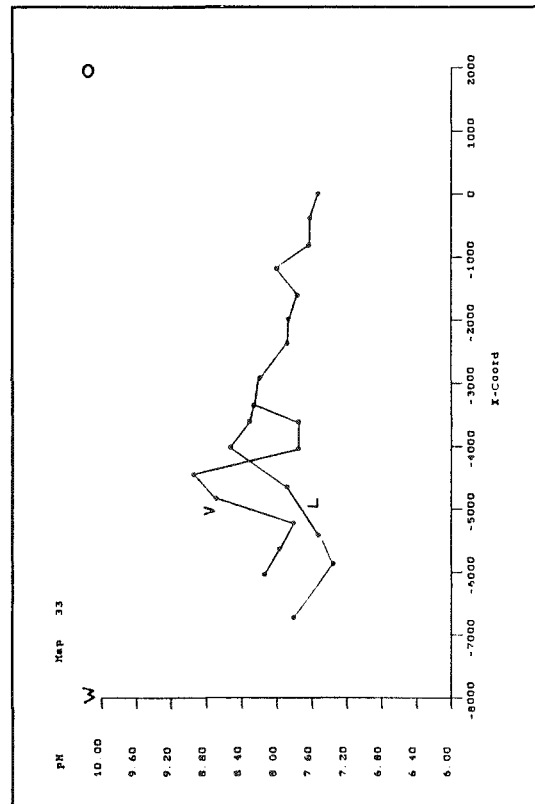
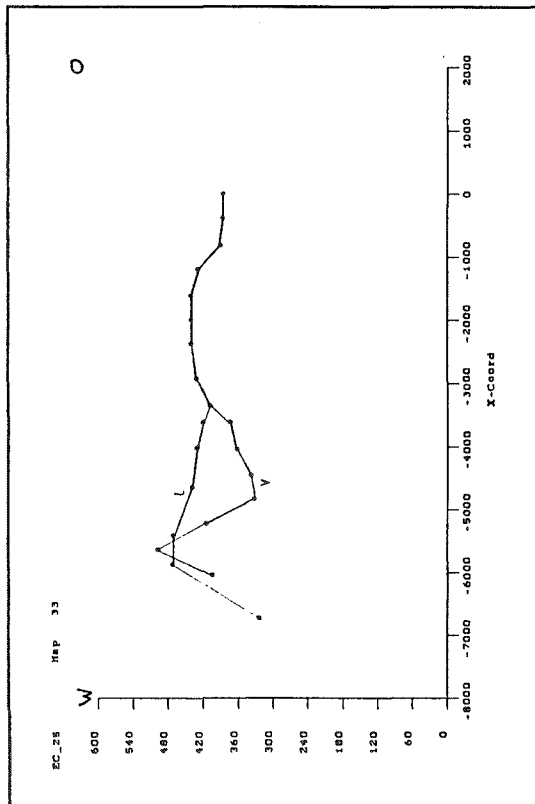
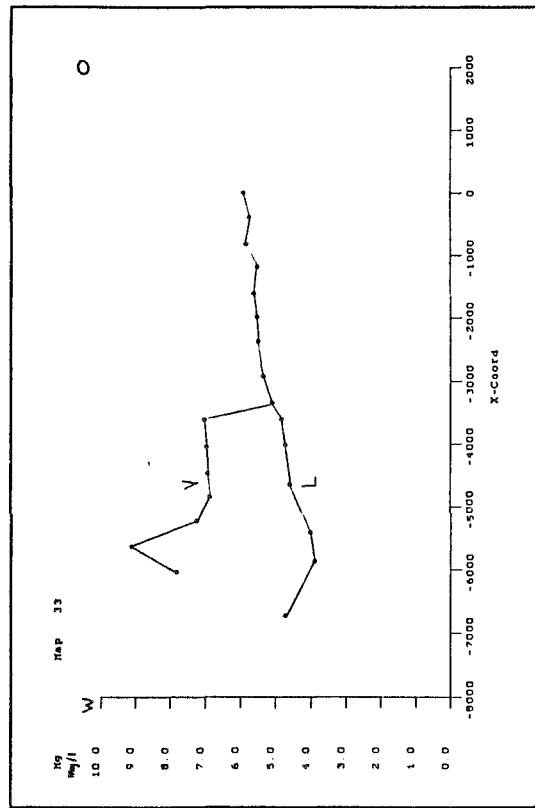
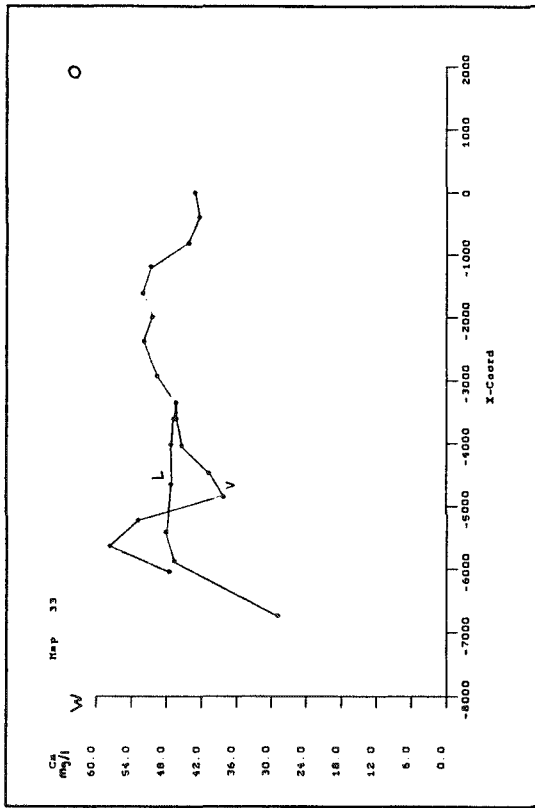




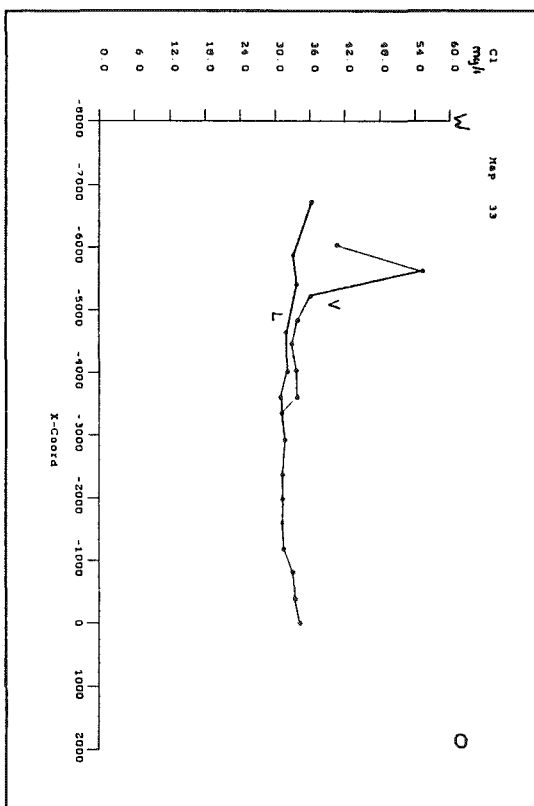
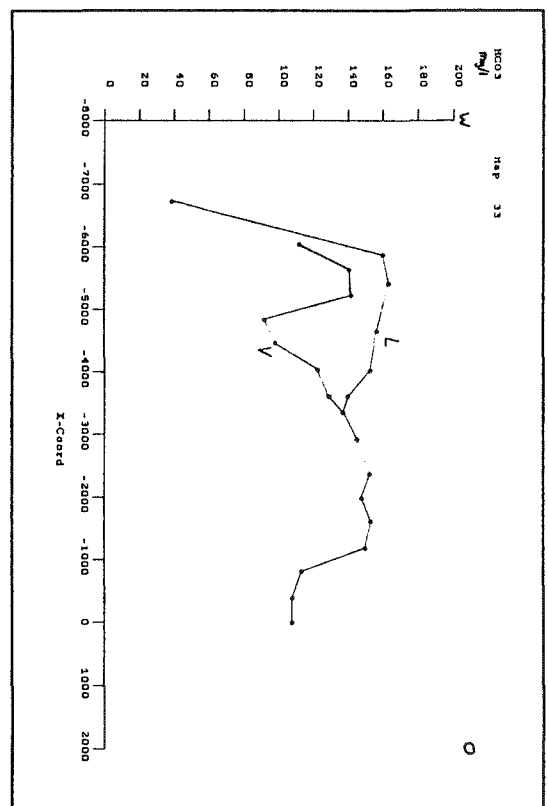
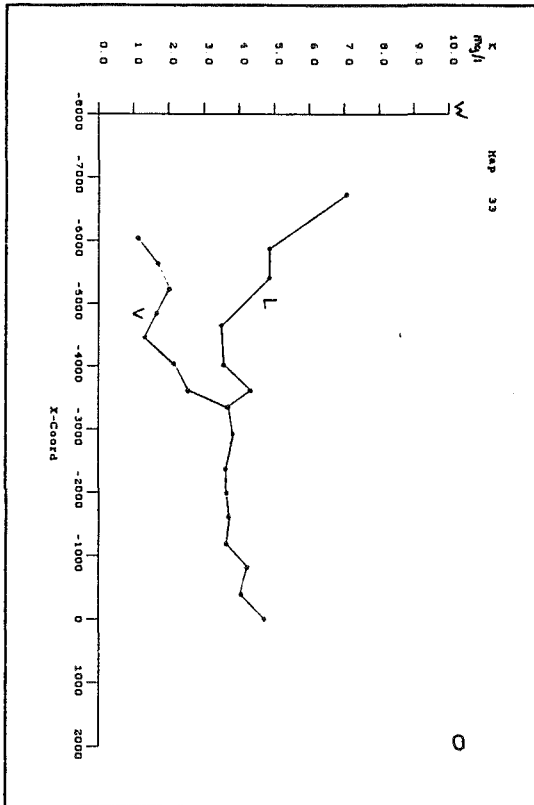
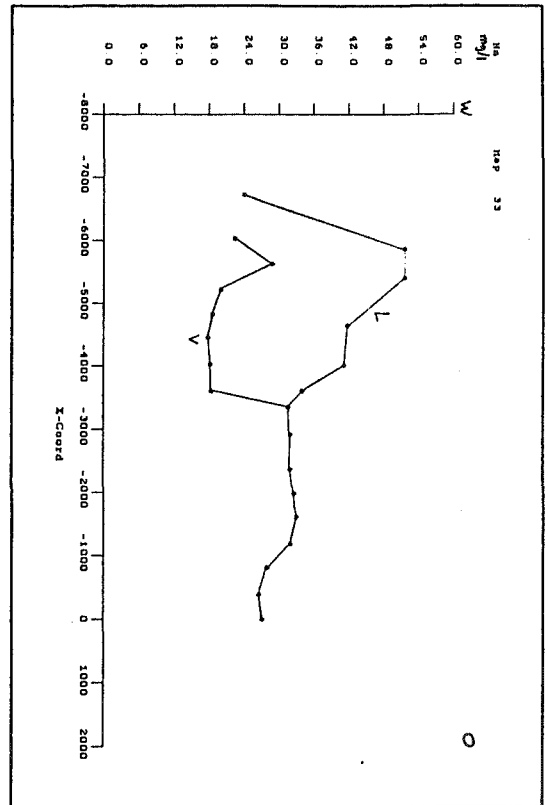
### Bicarbonaat-Calcium verhouding raai



**BIJLAGE 6: Chemische data oppervlaktewater uitgezet tegen afstand langs beek**

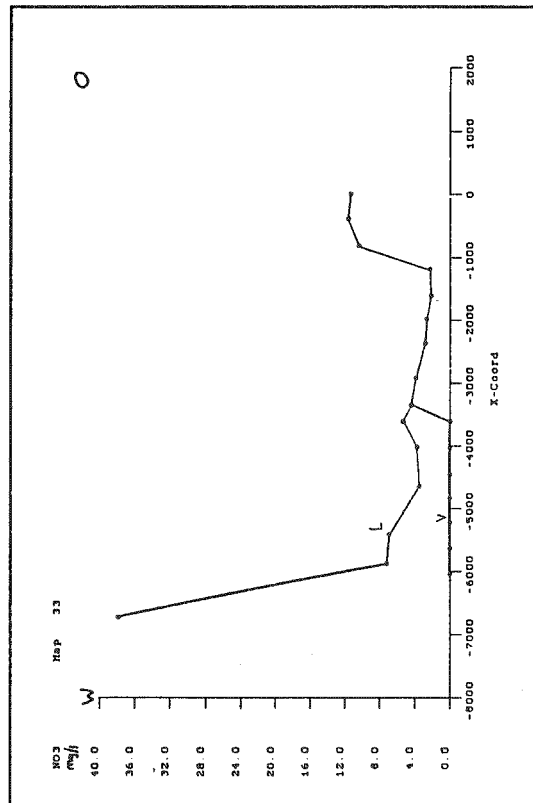
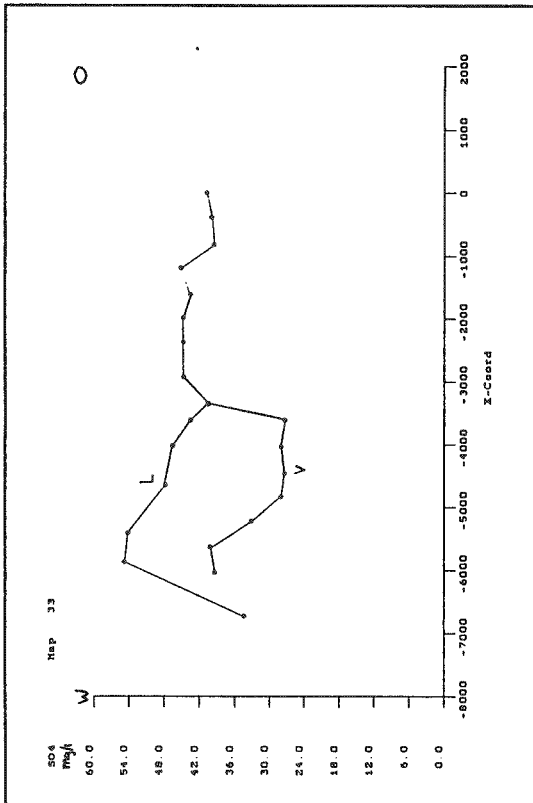
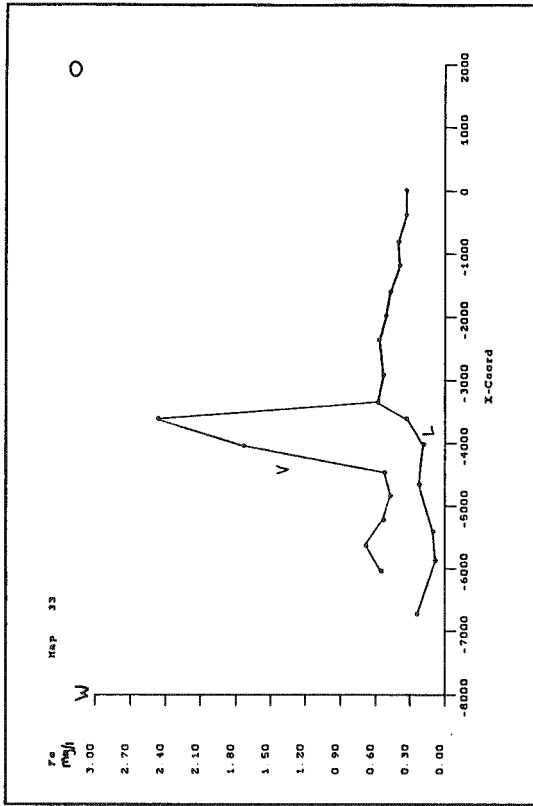


BIJLAGE 6: Chemische data oppervlaktewater uitgezet tegen afstand langs beek (2)





BIJLAGE 6: Chemische data oppervlaktewater uitgezet tegen afstand langs beek (3)



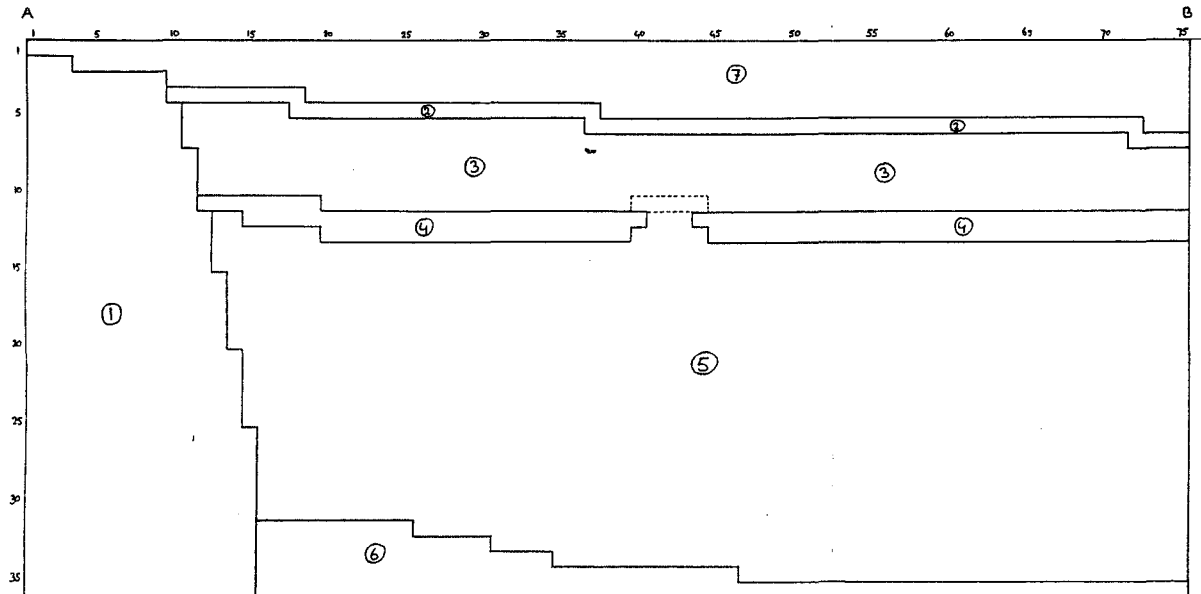


## BIJLAGE 7: Grondwaterstandsgegevens

buisnr	BKB ref	BKB mv	22-6 (C12: 17-3-'94)		30-6		5-7		12-7	
			GWS	GWS ref	GWS	GWS ref	GWS	GWS ref	GWS	GWS ref
14A	821.0	40.0	80.0	741	86.0	735	95.5	726	87.0	734
14B	813.0	32.0	73.0	740	78.0	735	89.5	724	77.5	736
14C	815.0	34.0	81.0	734	88.0	727	95.0	720	85.5	730
26A	814.7	0.5	88.0	727	94.5	720	95.0	720	94.0	721
26B	809.9	-1.0	85.0	725	93.0	717	90.0	720	89.5	720
27A	813.2	-10.0	75.0	738	84.0	729	89.0	724	84.0	729
27B	811.7	-6.0	75.0	737	81.5	730	88.5	723	83.5	728
28A	827.7	13.2	86.7	741	94.7	733	100.7	727	95.0	733
28B	812.9	1.0	78.0	735	84.0	729	87.5	725	85.0	728
28C	828.4	14.0	95.0	733	112.0	716	100.0	728	111.0	717
29A	779.9	0.0	39.0	741	46.0	734	51.0	729	47.0	733
29B	779.7	0.0	45.0	735	50.0	730	48.0	732	50.5	729
C12A	870.2		26	844						
C12B	868.4		29	839						
C12C	866.4		54	812						
buisnr	BKB ref	BKB mv	24-6 (14,K12: 22-6)		30-6		5-7			
			GWS	GWS ref	GWS	GWS ref	GWS	GWS ref		
25		0.0	297.0		299.0		301.0			
24	1701.1	0.0	247.0	1454	250.5	1451	255.0	1446		
K1	1681.0	6.0	280.0	1401	283.0	1398	289.0	1392		
K2	1664.5	15.0	290.0	1375	294.0	1371	299.0	1366		
K3		11.5	230.0		231.0		235.0			
K4		16.5	156.0							
23		0.0	139.0							
K5	1171.5	12.0	163.0	1009	167.0	1005	176.0	996		
K6	1078.0	38.5	123.5	955	127.0	951	128.5	950		
K7	1047.1	12.0	163.0	884						
K8	1033.6	25.0	164.0	870						
22		-1.0	98.0		102.0		103.0			
21		-1.0	94.0							
K12	niet opgenomen									
14A	821.0	40.0	80.0	741	86.0	735	95.5	726		
K14	847.6	0.0	130.0	718	146.0	702	148.0	700		
K15	870.8	0.0	172.0	699	185.5	685	189.0	682		
K16		1.0	120.0							
K17		0.0	90.0							
K18	797.5	2.0	173.0	625	181.0	617	185.0	613		
K19	742.5	4.0	132.0	611	146.0	597	140.0	603		



## BIJLAGE 8: Beschrijving modelrooster



aantal kolommen: 75      aantal rijen: 36      celdimensies: 100 m horizontaal bij 2 m verticaal

randvoorwaarden:      boven: open, vaste stijghoogte (fig. 6.1)      links: open, vaste stijghoogte  
 onder: ondoorlatend      rechts: open, vaste stijghoogte

Verbreiding pakketten naar: RGD (1975), Aelmans (1983), Brouwer & Hoogendoorn (1986), Grootjans (1984), Hoogendoorn (1990a)

cluster	K-hor. <sup>1</sup> (m/d)	K-vert. <sup>1</sup> (m/d)	n <sup>1</sup>	omschrijving
1 (r 1)	17	30	0.3	gestuwd materiaal
1 (r 2)	20	30	0.3	idem
1 (r 3+4)	26	40	0.3	idem
2	5	2.5	0.3	dekzand
3	17	17	0.3	Formatie van Kreftenheye boven Eemklei
4	0.02	0.02	0.25	Eemklei
5 (r 1,2)	38	38	0.3	Formatie vna Kreftenheye onder Eemklei
5 (r 3,4)	53	53	0.3	idem
6	0.01	0.01	0.01	Drenteklei
7	40	800	1	lucht

<sup>1</sup> Doorlatendheden en porositeit naar: Aelmans (1983), Hendriks (1988), Groenendijk (1990), Hoogendoorn (1990b), IWACO (1992).

Ligging profiellijn: zie kaartje.

