

**rijksuniversiteit gent**

leerstoel voor  
toegepaste geologie



**LTG**

geologisch Instituut  
krijgslaan 281-S8  
B 9000 gent

telefoon 091-22.57.15

84102

HYDROGEOLOGISCH ONDERZOEK VAN DE  
TERREINEN VAN RHÔNE-POULENC  
CHEMIE N.V. TE RIEME

FASE 2 - FASE 3

TEKST

**LTG**

geologisch instituut  
krijgslaan 281-S8  
B 9000 gent

telefoon 091-22.57.15<sup>1</sup>

Opdrachtgever :

**RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V.**

Fabriek RIEME



Leiding : Prof. Dr. W. DE BREUCK

Studie en verslag :

Dr. J. DEVOS

Dr. L. LEBBE

Lic. K. PEDE

Lic. Ph. VAN BURM

Lic. M. VAN CAMP

Boringen : Geolab pvba o.l.v.  
Lic. F. RYLANT

Monsternamen en analyse van het  
grondwater : Rhône-Poulenc Chemie

Koördinatie : Lic. Ph. VAN BURM

Onderzoeknummer : TGO 84/02

Datum : 31 Augustus 1985

## INHOUD

1. INLEIDING	1
2. LIGGING EN OMGEVING	1
2.1. Ligging	2
2.2. Topografie	2
2.3. Hydrografie	6
2.4. Bodemgebruik en bestemming	6
2.5. Besluit	9
3. KENMERKEN VAN DE ONDERGROND	11
3.1. Algemeen	11
3.2. Aanvullende boringen	11
3.2.1. Boringen rond het gipsstort	14
3.2.2. Boringen in de geplande uitbreidingszone van het gipsstort	14
3.2.3. Waterpassing	15
3.3. Bodems	15
3.4. Hydro-litostratigrafie	17
3.4.1. Het Kwartair	17
3.4.1.1. Oorsprong van de kwartaire afzettingen	17
3.4.1.2. De watervoerende laag KZ2	18
3.4.1.3. De leemhoudende laag KL	22
3.4.1.4. De watervoerende laag KZ1	23
3.4.2. Het Tertiair substraat	24
3.5. Hydraulische kenmerken van de kwartaire afzettingen	25
3.5.1. Algemeen	25
3.5.2. Soorten watervoerende lagen	26
3.5.2.1. Artesische of afgesloten watervoerende lagen	26
3.5.2.2. Freatische watervoerende lagen	26
3.5.2.3. Gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen : half-artesische en half-freatische lagen	26
3.5.3. Hydraulische parameters	28
3.5.3.1. De hydraulische doorlatendheid k	28
3.5.3.2. De transmissiviteit of doorlaatvermogen kD	29

3.5.3.3. De hydraulische weerstand c	29
3.5.3.4. De elastische bergingscoëfficiënt S	30
3.5.3.5. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel	30
3.5.4. Grondwaterstromingsregimes	31
3.5.5. Pompproeven in de geplande uitbreiding van het gipsstort	32
3.5.5.1. Voorbereiding en uitvoering van de pompproeven	32
3.5.5.2. Berekening van de hydraulische parameters met behulp van grafische interpretatiemetodes	34
3.5.5.2.1. Pompproef KZ1	34
3.5.5.2.2. Pompproef KZ2	35
3.5.5.2.3. Bespreking	42
3.5.5.3. Bepaling van de hydraulische parameters met behulp van een mathematisch model	43
3.6. Besluit	47
4. KENMERKEN VAN HET GIPSSTORT	48
4.1. Algemeen	48
4.2. Ontstaan van het afvalgips	48
4.3. Fysico-chemische eigenschappen van het afvalgips	49
4.3.1. Chemische samenstelling	49
4.3.2. Mineralogische kenmerken	52
4.3.3. Radioactiviteit	55
4.4. Historiek van het gipsstort	58
4.4.1. Bronnen	58
4.4.2. Evolutie van de stortactiviteiten	58
4.4.2.1. Het voormalige gipsstort	58
4.4.2.2. Het huidige gipsstort	60
4.5. Vergunningstoestand	68
4.5.1. Bouwvergunning	68
4.5.2. Uitbatingsvergunning	69
4.6. Uitbating van het gipsstort	71
4.6.1. Stortwijze en problemen	71
4.6.2. Drainering	71

4.7. Waterbalans van het gipsstort	75
4.7.1. Jaarbalans op basis van gegevens van 1984	75
4.7.2. Vergelijking met gegevens van 1985 (fig. 27)	80
4.7.3. Toekomstige balans	83
4.8. Hydraulische kenmerken van het gipsstort	84
4.8.1. Algemeen	84
4.8.2. Boringen in het gipsstort	84
4.8.3. Pompproef in het gipsstort	86
4.8.3.1. Voorbereiding en uitvoering van de pompproef	86
4.8.3.2. Bepaling van de hydraulische parameters met de grafische interpretatiemethodes	92
4.8.3.3. Bespreking	92
4.8.3.4. Bepaling van de hydraulische parameters van het gipsstort met het model SIMPUM	95
4.8.3.5. Vergelijking met literatuurgegevens	98
4.9. Besluit	100
5. STROMING VAN HET GRONDWATER	103
5.1. Algemeen	103
5.2. Het stijghoogtewaarnemingsnet	103
5.3. Stijghoogteverdeling binnen de watervoerende lagen	
KZ1 en KZ2	104
5.3.1. Hydro-isohypsen	104
5.3.2. Stromingsgebied I	105
5.3.3. Stromingsgebied II	107
5.3.4. Stromingsgebied III	107
5.3.5. Stromingsgebied IV	107
5.3.6. Stromingsgebied V	109
5.4. Stijghoogteverschil tussen de watervoerende lagen	
KZ2 en KZ1	109
5.5. Stijghoogteschommelingen	114
5.6. Besluit	118

6. SAMENSTELLING VAN HET GRONDWATER	119
6.1. Algemeen	119
6.2. Aangewende gegevens	119
6.2.1. Beschikbare studierapporten en analyseresultaten	119
6.2.2. Nieuwe gegevens	121
6.2.2.1. Grondwaterbemonstering	121
6.2.2.2. Analysen	123
6.2.2.3. Overzicht van de resultaten	124
6.2.3. Vergelijkbaarheid van de analyseresultaten	130
6.3. Het "natuurlijke" grondwater in het gebied	131
6.3.1. Regenwater	131
6.3.2. Biologische, fysische en chemische processen	133
6.3.3. Kwaliteitsgegevens	134
6.4. Het stortperkolaat	139
6.4.1. Literatuurgegevens	139
6.4.2. Kanaalwaterkwaliteit	142
6.5. Het verontreinigd grondwater	144
6.5.1. Bespreking van de nieuwe analyseresultaten	144
6.5.2. Vergelijking met het kanaalwater	147
6.5.3. Vergelijking met het putwater in Oost-Vlaanderen	147
6.5.4. Vergelijking met de leidingswaternormen	150
6.5.5. Uitbreiding van de verontreiniging	150
6.5.5.1. Hydrochemische doorsnede I-I' (PLAAT VII)	152
6.5.5.2. Hydrochemische doorsnede II-II' (PLAAT VIII)	152
6.5.5.3. Hydrochemische doorsnede III-III' (PLAAT IX)	153
6.5.5.4. Hydrochemische doorsnede IV-IV' (PLAAT X)	153
6.5.5.5. Hydrochemische doorsnede V-V' (PLAAT XI)	154
6.5.5.6. Hydrochemische doorsnede VI-VI' (PLAAT XI)	154
6.5.5.7. Beïnvloed gebied (fig. 39)	154
6.6. Besluit	156

7. MATEMATISCHE MODELLEN	158
7.1. Algemeen	158
7.2. Aangewend mathematisch model	159
7.3. De simulaties	161
7.3.1. Doorsnede loodrecht op kanaal RPC1	163
7.3.1.1. Ligging	163
7.3.1.2. Simulatie zonder maatregelen	163
7.3.1.2.1. Inleiding	163
7.3.1.2.2. Ingebrachte gegevens	163
7.3.1.3. Bespreking van de resultaten	166
7.3.2. Doorsnede door de uitbreiding	168
7.3.2.1. Ligging	168
7.3.2.2. Simulatie zonder de geplande uitbreiding	169
7.3.2.2.1. Inleiding	169
7.3.2.2.2. Ingebrachte gegevens	169
7.3.2.2.3. Resultaten	170
7.3.2.3. Simulatie met de geplande uitbreiding (zonder drainage)	170
7.3.2.3.1. Inleiding	170
7.3.2.3.2. Ingebrachte gegevens	171
7.3.2.3.3. Resultaten	171
7.3.2.4. Simulatie met de geplande uitbreiding (met drainage)	172
7.3.2.4.1. Inleiding	172
7.3.2.4.2. Ingebrachte gegevens	172
7.3.2.4.3. Resultaten	173
7.3.2.5. Simulatie met uitbreiding, met drainage en met pomping van $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ in de laag KZ1	173
7.3.2.5.1. Inleiding	173
7.3.2.5.2. Ingebrachte gegevens	173
7.3.2.5.3. Resultaten	174

7.3.2.6. Simulatie met uitbreiding met pumping van 6,6 m <sup>3</sup> /dag/m in de laag KZ1	174
7.3.2.6.1. Inleiding	174
7.3.2.6.2. Ingebrachte gegevens	175
7.3.2.6.3. Resultaten	175
7.3.3. Doorsnede naar de polders RPC3	175
7.3.3.1. Ligging	175
7.3.3.2. Simulatie zonder maatregelen	176
7.3.3.2.1. Inleiding	176
7.3.3.2.2. Ingebrachte gegevens	176
7.3.3.2.3. Resultaten	176
7.3.3.3. Simulatie met drainagegracht	177
7.3.3.3.1. Inleiding	177
7.3.3.3.2. Ingebrachte gegevens	177
7.3.3.3.3. Resultaten	178
7.3.3.4. Simulatie met drainagegracht en pumping in de laag KZ1	178
7.3.3.4.1. Inleiding	178
7.3.3.4.2. Ingebrachte gegevens	178
7.3.3.4.3. Resultaten	179
7.3.3.5. Simulatie met pumping in de lagen KZ1 en KZ2	180
7.3.3.5.1. Inleiding	180
7.3.3.5.2. Ingebrachte gegevens	180
7.3.3.5.3. Resultaten	180
7.4. Besluit	182
8. BESLUIT	185
REFERENTIES	190



## 1. INLEIDING

Met de bestelling nummer 29121 van 13.06.84 werd de LEERSTOEL VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE van de RIJKSUNIVERSITEIT GENT door het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. verzocht over te gaan tot de tweede en derde fase van de hydrogeologische studie van de bedrijfsterreinen te Rieme.

Een eerste fase van het onderzoek, het verzamelen en inventariseren van de beschikbare gegevens werd reeds afgewerkt in het voorjaar 1984.

De inhoud van de tweede en derde fase werden beschreven in een nota "Hydrogeologische studie van de terreinen van Rhône-Poulenc Chemie N.V. te Zelzate" opgesteld door Prof. Dr. W. DE BREUCK; de fase 2 omvatte het plaatsen van nieuwe peilbuizen en het verrichten van een pompproef terwijl fase 3 het opstellen van een mathematisch kwaliteitsmodel beoogde.

Het studievoorstel werd besproken op de Stuurgroepvergadering onder de leiding van O.V.A.M. van 18 april 1984 en gedeeltelijk gewijzigd op een deelvergadering gehouden op 9 mei 1984. De wijzigingen hadden vooral betrekking op het boorprogramma dat evenwel deel uitmaakt van een afzonderlijke overeenkomst tussen RHONE-POULENC CHEMIE N.V. en de firma GEOLAB pvba.

De studie werd aangevat op 1 juli 1984 en beëindigd op 31 augustus 1985. Een tussentijds verslag werd bij de opdrachtgever ingediend na de vergadering van de Stuurgroep op 12 maart 1985.

Het onderhavige eindverslag omvat de bespreking van de kenmerken van de ondergrond, van het gipsstort, de grondwaterstroming en de kwaliteiten en tenslotte van het mathematisch model.

## 2. LIGGING EN OMGEVING

### 2.1. Ligging

Het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. is gelegen in de Gentse kanaalzone op het grondgebied van de gemeenten Gent, Evergem en Zelzate in de Provincie Oost-Vlaanderen (fig. 1). Het gehucht waar het bedrijf zich bevindt is gekend onder de naam Rieme.

Ten noorden wordt het terrein begrensd door de wijk Klein Rusland te Zelzate en door de rijksweg RW 617 Antwerpen-Kust; ten oosten door het kanaal Gent-Terneuzen; ten zuiden door de Assenedestraat en Calemansputte evenals door een aantal kleinere bedrijfsvestigingen (EDO, VAMIX, OLEOFINA ...); ten westen door de slibbergingsput van het Ministerie van Openbare Werken en door de in aanleg zijnde rijksweg RW 726 (Fig. 2).

De rijksweg RW 617 gaat via een tunnel onder het kanaal Gent-Terneuzen.

Het bestudeerde terrein beslaat een oppervlakte van ca. 145 ha. Het bestaande gipsstort neemt hiervan 48 ha in; de geplande uitbreiding is 17 ha.

Foto 1 is een zicht van het gebied vanuit de lucht.

### 2.2. Topografie

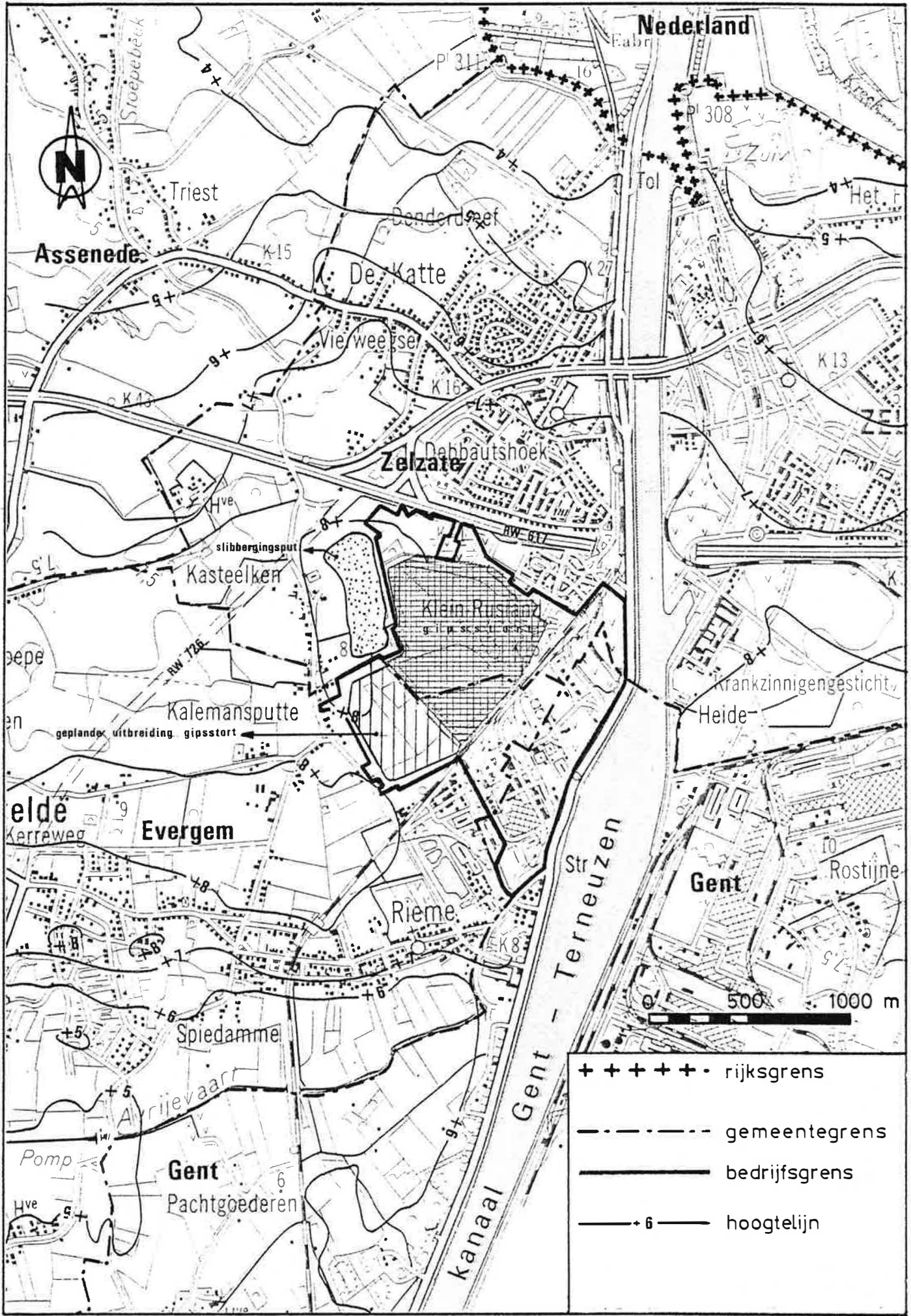
Het bestudeerde terrein is gelegen op een rug waarvan het hoogstepeil in het gebied +8 tot +9\* bereikt. Hoogtelijnen zijn weergegeven op de figuur 2. Deze rug steekt een vier- tot vijftal meters boven de omgeving uit en maakt deel uit van een stuifzandrug welke in de Vlaamse Vallei loopt van Maldegem tot Stekene.

---

\* Alle peilen zijn gegeven in m + TAW (Tweede Algemene Waterpassing)



Figuur 1 - Ligging van RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V. op kaart met schaal 1/300.000 (Basiskaart : NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT, 1983).



Figuur 2 - Ligging van RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V. op kaart met schaal 1/25.000 (Basiskaart : NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT, 1982).



Foto 1 - Luchtfoto van het bedrijf RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V.  
(Aero-Survey, Sint-Niklaas)

Het gipsstort zelf bereikt thans plaatselijk een hoogtepeil van meer dan +40 d.w.z. meer dan 32 m boven het maaiveld.

### 2.3. Hydrografie

De bedrijfsterreinen liggen nagenoeg op de waterscheiding tussen de Zwarte Sluispolder in het noorden en het bekken van de Avrijevaart-Burggravenstroom-Lieve in het zuiden. Een algemeen overzicht van de hydrografische toestand is gegeven in de figuur 3.

Het hydrografisch net is grotendeels kunstmatig. Rond het gipsstort werd een afzonderlijk afwateringssysteem aangelegd; hierop wordt in het hoofdstuk 4 ingegaan.

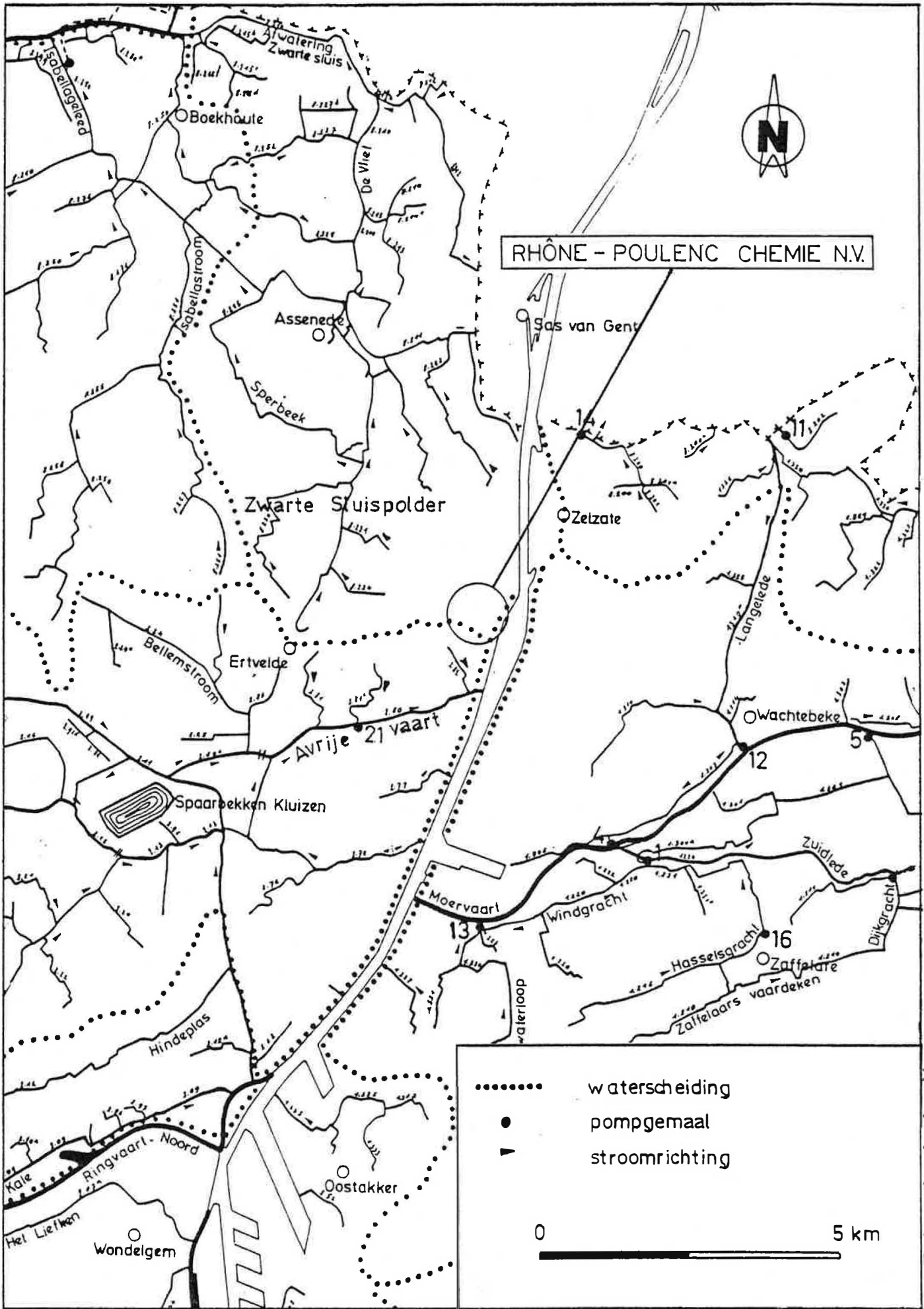
De meeste bebouwde zones in de nabijheid van het bedrijf (Klein Rusland, Debbautshoek, Ertvelde-Rieme) zijn gerioleerd.

In het kanaal Gent-Terneuzen, dat de oostelijke grens van het gebied vormt, staat het waterpeil op +4,45; de diepte ervan bedraagt 13,5 m.

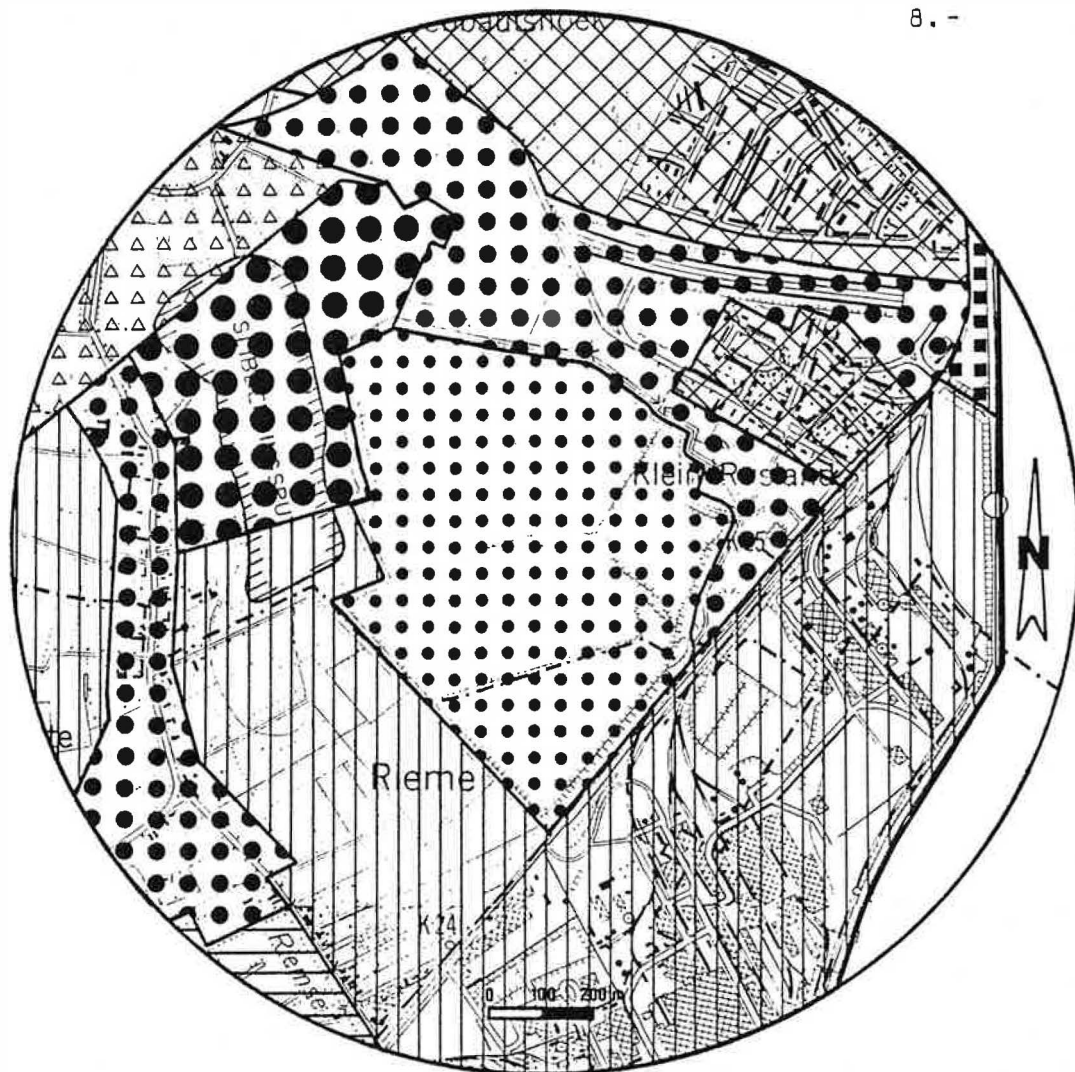
### 2.4. Bodemgebruik en bestemming

Volgens het gewestplan het Gentse en de Kanaalzone (STAATSSECRETARIAAT VOOR STREEKECONOMIE, 1977) behoren de terreinen van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. grotendeels tot volgende gebieden (fig. 4) :

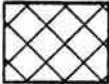

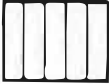

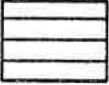
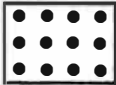
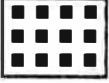


- Industriegebied, waarbinnen de fabrieksgebouwen evenals de geplande uitbreidingszone van het gipsstort zijn gelegen;
- Stortgebied, waar het huidig gipsstort ligt; de bestemming ervan is bufferzone;
- Bufferzone, waaronder een deel valt van de terreinen die gelegen zijn tussen het gipsstort, de rijksweg RW 617 of de woonwijk Klein Rusland.



Figuur 3 - Hydrografische bekkens (naar M. VERCRUYSE, 1983).



### LEGENDE

	Woongebied		Ontginningsgebied
	Industriegebied		Bufferzone
	Gebied voor ambachtelijke bedrijven, voor kleine en middelgrote ondernemingen		Stortgebied
	Gebied voor gemeenschaps- en openbare nutsvoorzieningen		Kanaal
	Agrarisch gebied		

Figuur 4 - Uittreksel uit het gewestplan het Gentse en de Kanaalzone (STAATSSECRETARIAAT VOOR STREEK-ECONOMIE, 1977).



Het huidig bodemgebruik en de bodembestemming in het gebied met een straal van 1 km rond het centrum van het gipsstort, weergegeven in de figuur 4, is samengevat in tabel 1. Het belangrijkste verschil tussen het huidig gebruik en de bestemming van de bodem is te wijten aan het feit dat een deel van de toekomstige industriegebieden nu nog landelijk zijn en dat het ontginningsgebied en het stortgebied in de toekomst bufferzones worden.

De meest nabijgelegen woongebieden zijn de wijken Klein Rusland, tussen het gipsstort en de tunnel onder het kanaal Gent-Terneuzen, en de Debbautshoek gelegen aan de overzijde van de rijksweg RW 617. Beide wijken behoren tot de gemeente Zelzate. Bewoning komt ook voor in de bufferzone gelegen ten zuidwesten van de bedrijfsterreinen (Assenedestraat en Calemansputte).

## 2.5. Besluit

Het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. bevindt zich op een brede stuifzandrug welke 4 tot 5 m boven de omringende gebieden uitsteekt. Hierdoor liggen de terreinen op een waterscheiding. De hydrografie is er kunstmatig geregeld. De omringende zones zijn vooral industrie- en buffergebieden. Eén woonwijk van de gemeente Zelzate leunt tegen het bedrijf aan.

Tabel 1 - Huidig en gepland bodemgebruik in een cirkelvormig gebied met straal van 1 km rondom het gipsstort

Gebieden	Grootte		Bestemming	
	Huidig gebruik		Huidig gebruik	
	Oppervlakte	Verhouding	Oppervlakte	Verhouding
<u>Woongebieden</u>	<u>40 ha</u>	<u>12,7 %</u>	<u>40 ha</u>	<u>12,7 %</u>
<u>Industriegebieden</u>				
- gewone	75 ha	23,9 %	117 ha	37,3 %
- voor ambachtelijke bedrijven en KMO's	-		4 ha	1,3 %
subtotaal	<u>75 ha</u>	<u>23,9 %</u>	<u>121 ha</u>	<u>38,6 %</u>
<u>Landelijke gebieden</u>				
- agrarische			13 ha	4,1 %
- bufferzones			123 ha	39,1 %
subtotaal	<u>112 ha</u>	<u>35,7 %</u>	<u>136 ha</u>	<u>43,2 %</u>
<u>Ontginningsgebied</u>	<u>22 ha</u>	<u>7,0 %</u>	-	-
<u>Stortgebied</u>	<u>48 ha</u>	<u>15,3 %</u>	-	-
<u>Waterwegen</u>	<u>14 ha</u>	<u>4,5 %</u>	<u>14 ha</u>	<u>4,5 %</u>
<u>Gebieden voor gemeen- schapsvoorzieningen en openbare nutsvoorzienin- gen</u>	<u>3 ha</u>	<u>1 %</u>	<u>3 ha</u>	<u>1 %</u>

### 3. KENMERKEN VAN DE ONDERGROND

#### 3.1. Algemeen

De in het voorjaar 1984 verzamelde gegevens over de ondergrond van het bedrijf (resultaten van boringen, diepsonderingen, laboratoriumproeven ... enz.) werden reeds geïnventariseerd en tot kaarten verwerkt tijdens de eerste fase van de studie (W. DE BREUCK, M. BUYASSE & Ph. VAN BURM, 1984). Naast een aantal kaarten werden tevens de grondlagen met hun fysische kenmerken voorgesteld.

Tijdens de tweede fase van het onderzoek, uitgevoerd tijdens de zomer 1984, zijn door de firma GEOLAB pvba, aanvullende boringen verricht waardoor de kennis van de ondergrond verruimde en peilbuizen geplaatst konden worden. Aan de hand van pompproeven kon men meer gedetailleerde gegevens bekomen over de hydraulische kenmerken van de lagen.

In de volgende paragrafen worden de aanvullende boringen, debodems, de hydro-litostratigrafie en de hydraulische kenmerken van de kwartaire lagen besproken. Er wordt evenwel niet meer gedetailleerd ingegaan op de geotechnische kenmerken van de lagen (volumegewicht, drooggewicht, watergehalte, korrelverdeling ... enz.); daarvoor wordt verwezen naar het hogervermeld deelrapport dat betrekking heeft op de fase 1 van dit onderzoek.

#### 3.2. Aanvullende boringen

##### 3.2.1. Boringen rond het gipsstort

De boringen, genummerd van B.I tot B.XV, liggen verspreid over een areaal van ca. 400 ha, dat de ruime omgeving van het bestudeerde terrein bestrijkt. De ligging ervan is weergegeven op de PLAAT I terwijl

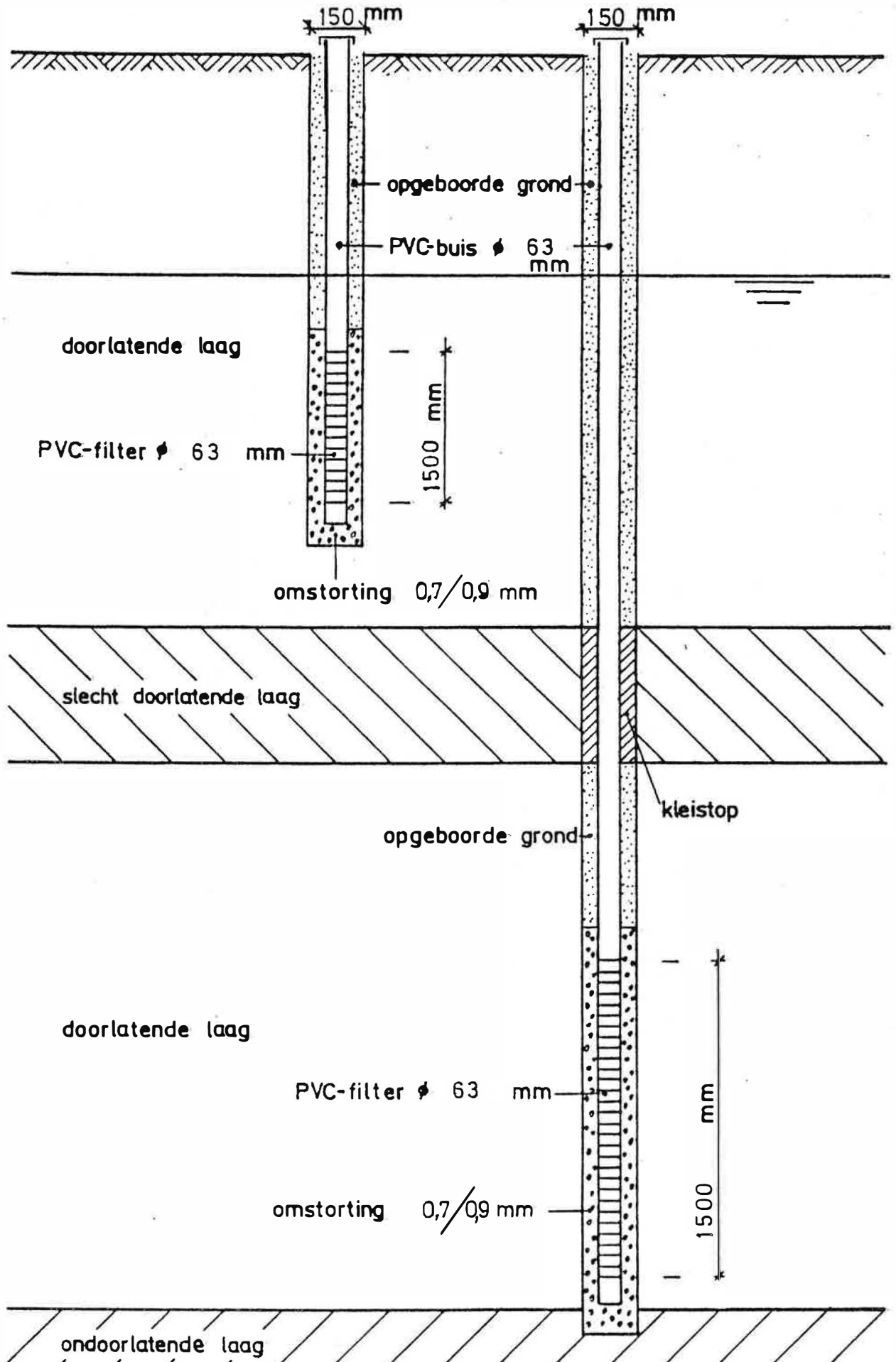
gedetailleerde liggingsplans zijn opgenomen in bijlage 1. Op 15 zorgvuldig uitgekozen plaatsen werd telkens een diepe en een ondiepe boring uitgevoerd. Uitgezonderd B.XV zijn al de dieper boringen droog uitgevoerd tot maximum één meter in het tertiaire kleisubstraat. Tot aan de grondwatertafel werd hierbij de spiraalboor aangewend. Dieper dienden voerbuisen (diameter 150 mm) te worden geplaatst, opdat het boorgat niet zou dichtslaan. Hierin werd het boorgat verder uitgediept met een pulsboor, terwijl de voerbuisen gestadig in de diepte werden gedreven. Nadat de gewenste diepte was bereikt, werd het boorgat voorzien van een PVC-peilbuis (diameter 63 mm) (fig. 5). Vervolgens verwijderde men de voerbuisen en omstortte men het 1,5 m lange filterelement, dat steeds de onderste kwartaire zandlaag (KZ1, zie 3.4.1.4) aansnijdt, met grof zand (0,7/0,9 mm). Ter hoogte van een kwartaire meer leemhoudende laag (KL, zie 3.4.1.3) werd de ringvormige ruimte tussen de peilbuis en boorgatwand afgedicht met een kleistop, teneinde doorsijpeling van water doorheen het boorgat te vermijden. Deze peilbuizen worden steeds aangeduid door "F1", voorafgegaan door het nummer van de boring.

Bij deze droge boringen werd per halve meter een geroerd grondmonster ontnomen. Ter plaatse werd de aangeboorde grond door Lic. F. RYLANT, geoloog bij de Leerstoel voor Toegepaste Geologie, aan een visueel en manueel onderzoek onderworpen. Aandacht werd hierbij besteed aan de kleur, de korrelgrootte, de grintbestanddelen en andere insluitels, de consistentie en het kalk- en humusgehalte. De boorbeschrijvingen zijn opgenomen in bijlage 2. De gronden werden beschreven volgens de klassifikatie in gebruik bij de Leerstoel voor Toegepaste Geologie (M. DEPRET, 1981). Deze klassifikatie is een uitgebreide versie van deze opgenomen in het typebestek 150 van het MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN (1978).

Een paar meters naast elke droge boring werd een relatief ondiepe gespoelde boring uitgevoerd. Hierbij werd het boorgat (diameter 150 mm) niet van voerbuisen voorzien. Het werd steeds afgewerkt met een PVC-peilbuis, analoog aan deze hierboven beschreven (fig. 5). Het fil-

F2 filter +  
stijgbuis

F1 filter +  
stijgbuis



Figuur 5 - Opbouw van de peilbuizen geplaatst in het bestek van deze studie.

terelement snijdt steeds de ondiepe kwartaire zandlaag aan (KZ2, zie 3.4.1.2). Deze peilbuizen worden aangeduid met het symbool "F2", voorafgegaan door het nummer van de nabijgelegen droge boring.

Bijlage 3 resumeert de geometrische kenmerken van de peilbuizen.

### 3.2.2. Boringen in de geplande uitbreidingszone van het gipsstort

In de uitbreidingszone (zone 6 op de PLAAT I), gelegen ten zuidwesten van het bestaande gipsstort, werden twee pompproeven gepland. Hiertoe werden tien boringen uitgevoerd : twee ervan werden uitgebouwd tot pompputten (PP1 en PP2); in de overige (aangeduid met PB gevolgd door één of twee cijfers) werd een peilbuis aangebracht. De gedetailleerde ligging van de boringen is weergegeven in bijlage 1. Eén boring (PB1,1) werd droog uitgevoerd tot op het tertiaire kleisubstraat, op analoge wijze als de diepe boringen vermeld onder paragraaf 3.2.1. De beschrijving van deze droge boring PB1,1 is eveneens opgenomen bij de boorstaten in bijlage 2.

Het boorgat PP1 werd gespoeld met een diameter van 300 mm. Hierin werd een pompbuis (diameter 125 mm) neergelaten, die de onderste zandlaag KZ1 over zijn volledige dikte aansnijdt. Weerom werd het filterelement omstort met grof zand (0,7/0,9 mm) en werd ter hoogte van de leemlaag KL een kleistop aangebracht. De pompbuis PP2 werd eveneens in een gespoeld boorgat (diameter 220 mm) neergelaten. Het filterelement snijdt de bovenste zandlaag KZ2 grotendeels aan. Het werd eveneens omstort met grof zand (0,7/0,9 mm).

Alle overige boringen in de geplande uitbreiding van het gipsstort werden gespoeld met een diameter van 150 mm en werden steeds voorzien van een PVC-peilbuis met een diameter van 63 mm. PB1,2 en PB1,3 bereiken de onderste kwartaire zandlaag (KZ1) terwijl PB2,1, PB2,2 en PB2,3 de bovenste zandlaag (KZ2) gedeeltelijk aansnijden. In de leemlaag

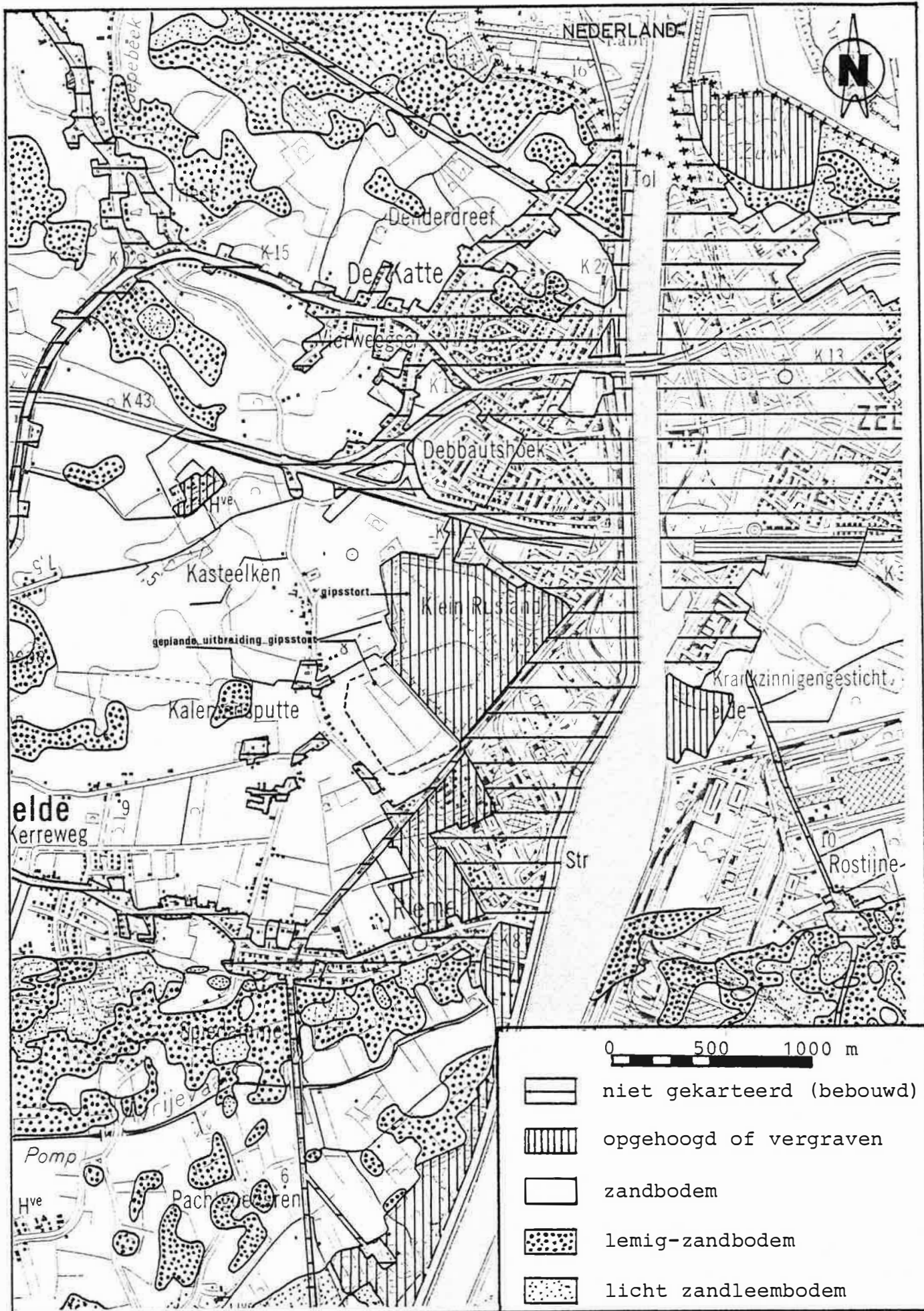
KL werd de peilbuis PB4 geplaatst. Het filterelement van PB3 tenslotte bevindt zich een weinig onder de grondwatertafel in rusttoestand. Alle filterelementen zijn 1,5 m lang, uitgezonderd dit van PB4, dat slechts 0,8 m lang is. Ze werden omstort met grof zand (0,7/0,9 mm). Waar de leemlaag KL doorboord werd, is het boorgat afgesloten met een kleistop. De diepte van de filterelementen is terug te vinden in bijlage 3.

### 3.2.3. Waterpassing

Nadat alle filterputten slib- en zandvrij waren gepompt, waren ze in principe klaar voor gebruik als pompput of als peilbuis. De omrekening van de gemeten diepten tot stijghoogten is evenwel nodig om het regionale grondwaterstromingspatroon te kunnen reconstrueren. Daarom werden de toppen van alle peilbuizen door de firma GEOLAB pvba aangesloten op het referentieniveau van de Tweede Algemene Waterpassing van het N.G.I. (TAW). De aansluiting op het TAW-referentievlak gebeurde vertrekkende van de peilbuizen LO4.4F1 en LO4.1F1 (PLAAT I). Deze peilbuizen werden geplaatst en gewaterpast in het bestek van een hydrogeologisch onderzoek door de Leerstoel voor Toegepaste Geologie in 1982 (W. DE BREUCK, Ph. VAN BURM & M. VAN CAMP, 1983). Meteen werd ook het niveau van het maaiveld ter plaatse van de boringen opgemeten, teneinde met grotere nauwkeurigheid de litologische doorsneden te kunnen opmaken. De peilen van de toppen der peilbuizen zijn weergegeven in bijlage 3.

### 3.3. Bodems

De bodemkaart van België geeft informatie over het bodemprofiel tot op 1,25 m diepte. De kaart is opgesteld door middel van ca. twee handboringen per ha. Uit het kaartblad 25E ZELZATE van de Bodemkaart (C. SYS & H. VANDENHOUDT, 1973) kan men afleiden dat het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. gelegen is op zandgronden. Een overzicht van de bodemgesteldheid in en rond het studiegebied is gegeven in de figuur 6.



Figuur 6 - De bodems (naar J. AMERYCKX, 1963; C. SYS & H. VANDENHOUDT, 1973).



Het voorkomen van de zandgronden (symbool Z op de bodemkaart) houdt verband met de aanwezigheid van de stuifzandrug waarop het bedrijf is gelegen. De textuur van de stuifzanden is doorgaans iets grover dan die van de onderliggende niveo-eolische zanden. De lemig-zandgronden (symbool S) en de licht-zandleemgronden (symbool P) komen voor ten noorden en ten zuiden van de stuifzandrug.

Uit de bodemkaart kan dus afgeleid worden dat het gipsstort op een vrij goed doorlatende bodem, d.i. de oppervlakkige grondstrook, is gelegen.

### 3.4. Hydro-litostratigrafie (PLAAT II)

#### 3.4.1. Het Kwartair

##### 3.4.1.1. Oorsprong van de kwartaire afzettingen

De jongste periode uit de geologische geschiedenis, het Kwartair, is gekenmerkt door een reeks min of meer strenge klimaatschommelingen. In onze streken kwamen deze overeen met een afwisseling van ijstijden (glacialen) en tussenijstijden (interglacialen). In die periode behoorde het studiegebied tot een betrekkelijk diep in het Tertiair uitgeschuurd, noordwaarts afwaterend valleistelsel, de zgn. Vlaamse Vallei. Het klimaat en de ermee verband houdende zeespiegelstand bepaalden in ruime mate de sedimentatieomstandigheden en dus tevens de aard van de afzettingen die men er nu aantreft.

Thans wordt aangenomen dat de diepste insnijding van de Vlaamse Vallei dateert uit het voorlaatste glaciaal, het Saaliaan. De daaropvolgende steeds veranderende sedimentatievoorwaarden, onderbroken door periodes van intense erosie, verklaren het zeer grillige laterale en verticale verloop van de kwartaire afzettingen.

De hier toegepaste indeling van het Kwartair in, van boven naar onder, KZ2, KL en KZ1 berust op hun waterdoorlatende eigenschappen. Deze indeling werd ingevoerd door W. DE BREUCK, Ph. VAN BURM & M. VAN CAMP (1983).

Een globaal overzicht van de lagenopbouw verkrijgt men aan de hand van de PLAAT II, welke de litologische doorsneden weergeeft. De PLAAT I geeft de ligging aan van deze doorsneden.

#### 3.4.1.2. De watervoerende laag KZ2

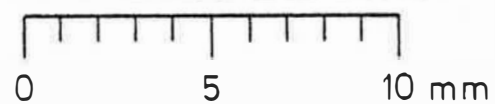
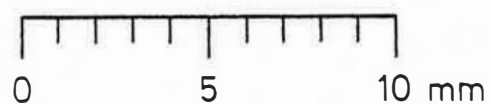
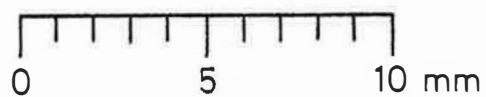
Overal in het studiegebied zijn de bovenste kwartaire afzettingen overwegend zandig. Ze vormen de bovenste watervoerende laag KZ2.

Het zand is afgezet door fluvio-periglaciale en eolische processen gedurende een late fase van het Weichseliaan en gedurende het Weichsel-Tardiglaciaal. Soms is het zand min of meer leemhoudend of komt er, vooral bovenaan, een veenlaagje in voor.

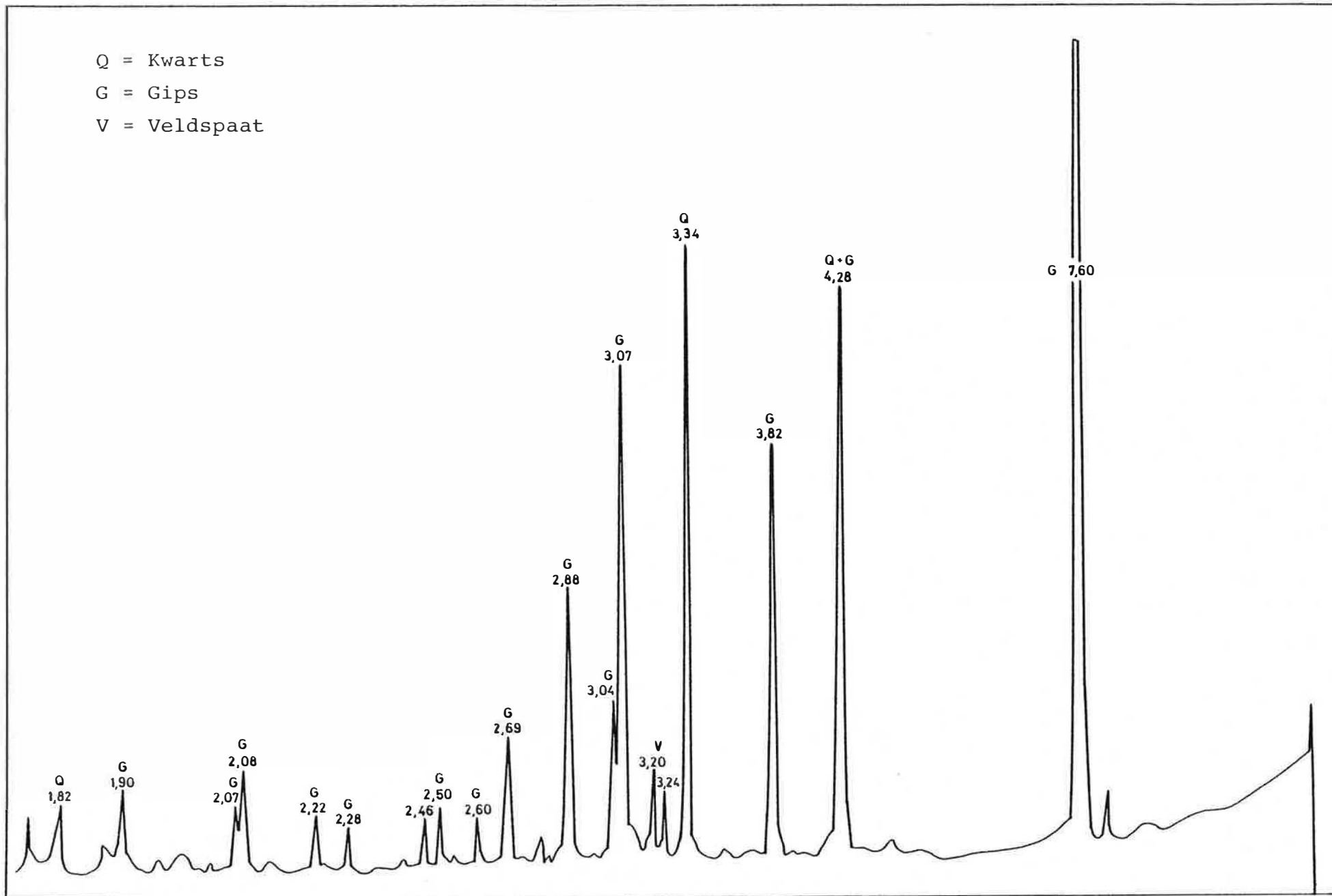
In de boringen B.II tot en met B.VI evenals in B.X werden op verschillende diepten (tabel 2) in de lagen KZ2 en KL kleine kristallijne konkreties (<10 mm)(foto 2) aangetroffen die, zoals kan afgeleid worden uit het X-stralen-diffraktogram (fig. 7), opgebouwd zijn uit vrij zuiver gips. Deze konkreties ontstaan door neerslag uit het grondwater; de factoren welke hier dit kristalliseren in gang zetten en bevorderen zijn echter niet duidelijk.

Tabel 2 - Boringen en lagen waarin, en diepten waarop kleine gips-konkreties werden aangetroffen .

boring nr.	laag	diepte ( m - maaiveld)
BII	KZ2	1.5-2.0 / 3.5-4.0 / 6.5-7.0
BIII	KZ2	4.5-5.0 / 7.0-7.5
	KL	13.5-14.0 / 14.0-14.5 / 15.0-15.5 / 16.0-16.5 / 16.5-17.0
BIV	KZ2	12.0-12.5 / 12.5-13.0
	KL	13.5-14.0
BV	KL	11.5-12.0
BVI	KL	12.5-13.0 / 13.0-13.5 / 13.5-14.0 / 14.0-14.5 / 14.5-15.0
BX	KZ2	6.0-6.5 / 6.5-7.0 / 7.0-7.5 / 7.5-8.0 / 8.0-8.5 / 8.5-9.0 / 9.0-9.5 / 9.5-10.0 / 10.0-10.5 / 10.5-11.0 / 11.0-11.5 / 11.5-12.0 / 12.0-12.5 / 12.5-13.0 / 13.0-13.5 / 13.5-14.0 / 14.0-14.5



Fotoreeks 2 - Verschillende zichten op een gipskoncretie  
zoals aangetroffen in de lagen KZ2 en KL  
(monster TGO 84/02 - BV - 24; diepte 11,5 - 12,0 m)



Figuur 7 - X-stralen diffractogram van een gipskoncretie zoals aangetroffen in de lagen KZ2 en KL (monster TGO 84/02-BV-24; diepte 11,5-12,0 m -maaiveld).

De dikte van KZ2 varieert meestal tussen 6 en 13 m. Waar de onderliggende leemhoudende laag KL ontbreekt, sluit KZ2 op de verticale rechtstreeks aan op KZ1 zodat beide zandlagen één enkele watervoerende laag vormen.

Meestal bevindt de grondwatertafel zich in het min of meer goed doorlatend zand van KZ2, zodat deze laag kan worden beschouwd als een freatische watervoerende laag. Evenwel kunnen relatief weinig doorlatende leem- en/of humushoudende laagjes ter hoogte van de waterspiegel voorkomen en er plaatselijk een half-freatische of zelfs een half-artesische toestand veroorzaken in KZ2.

De aangevulde gronden nabij het kanaal zijn meestal goed doorlatend zodat ze tot de laag KZ2 worden gerekend. Ook het gipsstort zelf staat in hydraulische verbinding met KZ2. Wegens de relatief geringe doorlatendheid van het afvalgips vertoont de grondwatertafel er een aanzienlijke opbolling in.

#### 3.4.1.3. De leemhoudende laag KL

Meestal kan men in het studiegebied tussen de peilen +2 en -11 een leemlaag, of althans een meer leemhoudende laag verwachten. Laatstgenoemde laag KL is, evenals KZ2, tot stand gekomen in verschillende periodes en door verschillende sedimentatiemechanismen. Onderaan komen wellicht nog rivierafzettingen van het Eemiaan voor, bovenaan zijn de sedimenten van fluvioperiglaciale en/of eolische oorsprong en dateren uit het laatste glaciaal, het Weichseliaan.

Samenstelling en dikte van KL kunnen lateraal zeer snel variëren. Meestal omvat de laag enkele meters leem en leem met veel fijn zand. Naar boven en naar onderen toe komen laagjes leemhoudend fijn zand voor. De dikte van KL bedraagt onder het gipsstort en de geplande uitbreiding vermoedelijk 6 tot 7 m. Plaatselijk kan deze laag sterk gereduceerd zijn of zelfs helemaal ontbreken (zie doorsnede C-C' op PLAAT II).

Daar KL een kleine, doch meetbare verticale doorlatendheid bezit, kan deze laag als halfdoorlatend worden beschouwd. Zijn weerstand tegen verticale stroming verschilt echter sterk van plaats tot plaats wegens de snelle laterale dikte- en faciëswisselingen.

#### 3.4.1.4. De watervoerende laag KZ1

De hier besproken laag omvat de min of meer goed doorlatende zandige afzettingen, die het tertiaire kleisubstraat bedekken.

Ofschoon het onderste gedeelte van de watervoerende laag, s3z genaamd, tot het Tertiair behoort wordt het hier samen met het Kwartair beschouwd. De eenheid s3z, vermoedelijk van estuariene oorsprong, is opgebouwd uit glauconiethoudend kleihoudend fijn zand. De uitbreiding ervan in het studiegebied is echter zeer gering; de laag is waarschijnlijk minder dan 1 m dik en komt slechts plaatselijk voor op het grondgebied Zelzate.

Het eigenlijke KZ1 gedeelte is complex van oorsprong en samenstelling. Het materiaal bestaat uit fluvio-periglaciale afzettingen uit het voorlaatste glaciaal (het Saaliaan) en/of uit estuariene afzettingen, daterend uit het daaropvolgende interglaciaal, het Eemiaan.

Onderaan bevat KZ1 vaak een laag van meestal enkele decimeters, soms meer dan 1 m grinthoudend middelmatig zand. Het grint bestaat uit schelpen, schelpfragmenten en silexkeien. Hogerop evenwel bestaat de laag uit leemhoudend fijn tot middelmatig zand. De overgang naar de leemhoudende laag KL is dan ook in de meeste boringen niet scherp. Nabij het zeekanaal wordt soms de volledige KZ1 door dit leemhoudend zand gevormd.

Onder een groot gedeelte van de gipsafvalberg en de geplande uitbreiding ervan is KZ1 3 m dik of minder. Plaatselijk ravineert hij het tertiaire substraat, zodat zijn dikte kan oplopen tot ruim 6 m. Op andere plaatsen is KZ1 naar boven toe beter ontwikkeld, ten koste van KL. Daardoor worden in het westen van het gebied dikten van 8 m gehaald.

Wegens zijn bedekking door de slecht doorlatende laag KL kan KZ1 worden beschouwd als een half-artesische watervoerende laag.

#### 3.4.2. Het tertiair substraat

Een overzicht van de ondiepe tertiaire lagen kan men aantreffen op de litologische doorsneden (PLAAT II). De eenheden, die binnen het studiegebied worden aangetroffen, werden hier ingepast in de bestaande litostratigrafische indeling van het boven-Eoceen en onder-Oligoceen (M. GULINCK, 1965; P. JACOBS, 1978).

Ofschoon in zijn geheel als ondoorlatend beschouwd, bestaat dit substraat uit een afwisseling van kleilagen en meer zandige lagen, die met ongeveer 0,6 % naar het noorden hellen. M. GULINCK (1965) onderscheidde drie kleiige eenheden (a1, a2, a3), die telkens bedekt worden door drie meer zandige afzettingen (s1, s2, s3). Laatstgenoemde zijn gekenmerkt door een wisselende dikte en een heterogene litologie, waarbij de samenstelling kan variëren van fijn zand over leem- of klei-



houdend fijn zand tot leem en fijnzandhoudende klei. Op de litologische doorsneden (PLAAT II) is een kleiige eenheid in de laag s3 samen met de laag a3 getekend.

Onder de kleilaag a1 treft men de zanden aan van het Ledo-Paniseliaan.

Uit de zanden van het Ledo-Paniseliaan werd door het bedrijf tot in 1971 water onttrokken door middel van 5 diepe putten geboord in 1928. De diepte van deze putten bedraagt 60 tot 70 m. Op 2 putten werd nog gepompt tot in 1978. De onttrokken hoeveelheden wisselden van 12 tot 15 m<sup>3</sup> per uur. Ook het naburig bedrijf FINA onttrok vroeger grondwater uit deze artesische laag welke in het bestudeerde gebied een totaal zoutgehalte vertoont van 2000 tot 2500 mg/l.

### 3.5. Hydraulische kenmerken van de kwartaire afzettingen

#### 3.5.1. Algemeen

De hydraulische kenmerken van het grondwaterreservoir vormen in deze studie de basisinformatie voor het mathematisch model dat de grondwaterstroming en -kwaliteitsevolutie in en nabij het gipsstort beschrijft. De hydraulische parameters van de kwartaire lagen werden bepaald door middel van twee pompproeven in de geplande uitbreidingszone van het gipsstort.

Vooraleer de resultaten van de pompproeven te bespreken wordt voor een beter begrip ingegaan op de soorten watervoerende lagen, de hydraulische parameters en de grondwaterstromingsregimes.

De gegevens over de pompproef uitgevoerd in het gipsstort zelf worden besproken in hoofdstuk 4.

### 3.5.2. Soorten watervoerende lagen (fig. 8)

#### 3.5.2.1. Artesische of afgesloten watervoerende lagen

Men noemt een artesische of afgesloten watervoerende laag een volledig met water gevulde, goed doorlatende laag die zowel bovenaan als onderaan wordt begrensd door een ondoorlatende laag. De druk van het poriënwater in een artesische laag is overal groter dan de atmosferische druk.

Artesische watervoerende lagen komen binnen het studiegebied voor op relatief grote diepte (bv. het Ledo-Paniseliaan). In dit stadium van het onderzoek zijn ze evenwel niet van belang.

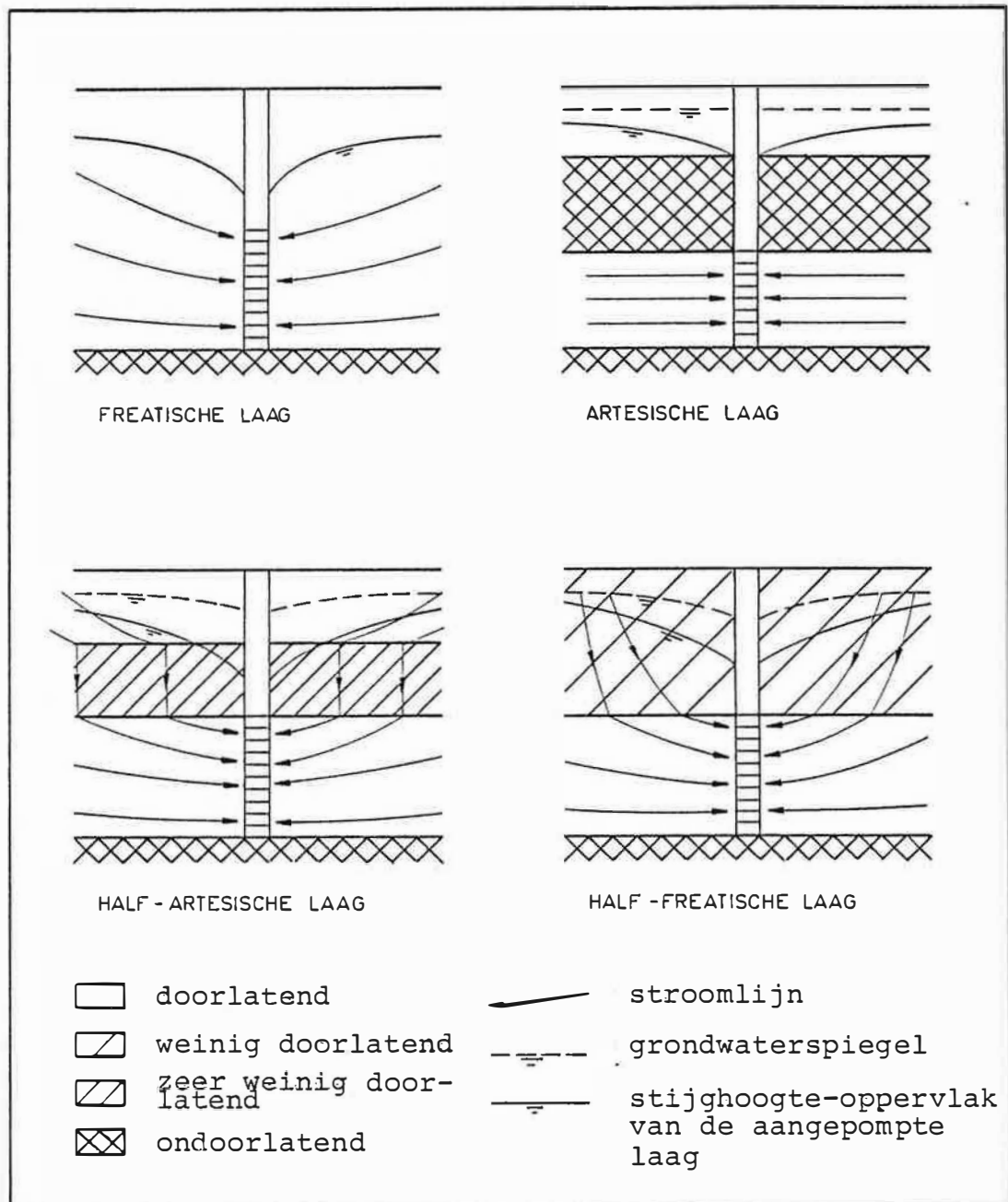
#### 3.5.2.2. Freatische watervoerende lagen

Een freatische watervoerende laag is een goed doorlatende afzetting, onderaan begrensd door een slecht doorlatende of ondoorlatende laag, en bovenaan door de vrije grondwaterspiegel. Deze laatste is het oppervlak waar de druk van het poriënwater gelijk is aan de atmosferische druk; de drukhoogte is er gelijk aan nul.

#### 3.5.2.3. Gedeeltelijk afgesloten watervoerende lagen : half-artesische en half-freatische lagen

Tussen bovenvermelde types van watervoerende lagen - artesische en freatische - zijn alle tussenvormen mogelijk. Naarmate hierbij eerder de artesische dan wel de freatische toestand wordt benaderd, spreekt men van half-artesische en half-freatische lagen.

Een half-artesische laag wordt bovenaan begrensd door een slecht doorlatende laag, onderaan door hetzij een slecht doorlatende, hetzij een ondoorlatende laag. Een slecht doorlatende laag heeft een



Figuur 8 - De verschillende types watervoerende lagen en de grondwaterstromingen bij aanpomping ervan.

kleine, doch meetbare (vertikale) hydraulische doorlatendheid. Horizontale grondwaterstroming is beperkt tot de half-artesische laag, terwijl in de slecht doorlatende laag hoofdzakelijk een verticale stromingskomponent overheerst.

Wordt een goed doorlatende laag bovenaan begrensd door een relatief slecht doorlatende laag, echter voldoende doorlatend opdat er een niet-verwaarloosbare horizontale stromingskomponent in kan optreden, dan spreekt men van een half-freatische toestand.

In het studiegebied vormt KZ1 een half-artesische laag. KZ2 daarentegen is meestal freatisch, soms echter half-freatisch of zelfs half-artesisch. De laag KL is een slecht doorlatende laag.

### 3.5.3. Hydraulische parameters

#### 3.5.3.1. De hydraulische doorlatendheid $k$

De hydraulische doorlatendheid  $k$  (dimensie  $LT^{-1}$ ) wordt gedefinieerd als de hoeveelheid water die per tijdseenheid en onder eenheidsverhang door een transversale eenheidssektie van het poreuze medium stroomt.

De doorlatendheid is een tensor : zijn grootte kan variëren volgens de hoofdrichtingen van een kartesisch coördinatenstelsel. In poreuze media evenwel volstaat het meestal om een horizontale en een verticale doorlatendheid in te voeren, m.a.w.  $k_h = k_x = k_y$  en  $k_v = k_z$ .

### 3.5.3.2. Transmissiviteit of doorlaatvermogen $kD$

Deze grootte  $kD$  wordt gedefinieerd als het produkt van de horizontale hydraulische doorlatendheid en de dikte van de watervoerende laag :

$$kD = k_h \cdot D \quad (L^2 T^{-1})$$

Anders uitgedrukt is het de hoeveelheid water die per tijdseenheid en onder eenheidsverhang stroomt door een sectie van eenheidsbreedte, genomen over de volledige dikte van de watervoerende laag.

Is een watervoerende laag vertikaal niet homogeen dan wordt de transmissiviteit bekomen door de horizontale doorlatendheid van elk afzonderlijk laagje met zijn dikte te vermenigvuldigen en de resultaten op te tellen :

$$kD = \sum_{i=1}^n k_i \cdot D_i$$

Men kan volgens bovenstaande vergelijkingen transmissiviteitswaarden berekenen uitgaande van doorlatendheden, die men in het laboratorium bepaalt op ongeroerde stalen, of die men schat uit de korrelverdeling. De meest betrouwbare informatie aangaande deze parameter bekomt men evenwel door in-situ bepalingen met een pompproef.

### 3.5.3.3. De hydraulische weerstand $c$

De hydraulische weerstand  $c$  (dimensie  $T$ ), een eigenschap van de slecht doorlatende lagen, is een maat voor de weerstand tegen verticale grondwaterstroming en wordt bij een homogene laag gedefinieerd als de verhouding tussen de dikte van de laag en haar verticale doorlatendheid. Wordt  $c$  vermenigvuldigd met de waterdoorlatende porositeit van de laag, dan geeft deze parameter de tijd aan, die een waterdeeltje nodig heeft om onder eenheidsverhand deze laag vertikaal te doorstromen.

### 3.5.3.4. De elastische bergingscoëfficiënt $S$

De elastische bergingscoëfficiënt  $S$  (dimensieloos), is de hoeveelheid water die bij eenheidsverandering van de stijghoogte wordt afgegeven of opgenomen door een volume-element met horizontale eenheidsdoorsnede en genomen over de volledige dikte van de formatie. De specifieke elastische berging  $S'_A$  (dimensie  $L^{-1}$ ) bekomt men door de bergingscoëfficiënt te delen door de dikte van de laag.  $S'_A$  is dus de hoeveelheid water die per volume-eenheid wordt opgenomen of afgegeven bij eenheidstoename of -afname van de stijghoogte.

De opname of afgave van water bij verandering van de druk van de poriënvloeistof is het gevolg van de uitzetting of van de samendrukbaarheid van het korrelskelet en in veel mindere mate het gevolg van de samendrukking of van de uitzetting van het water zelf.

### 3.5.3.5. De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel $S_0$

De bergingscoëfficiënt nabij de watertafel  $S_0$  (dimensieloos) is de hoeveelheid water, die door de formatie wordt afgegeven of opgenomen bij daling of stijging van de watertafel met 1 m. In zandige afzettingen is hij nagenoeg gelijk aan de effectieve porositeit.

De totale bergingscoëfficiënt van een freatische watervoerende laag wordt bekomen door de som te nemen van de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel en de elastische bergingscoëfficiënt.

$$S = D \cdot S'_A + S_0$$

Meestal is de bergingscoëfficiënt nabij de watertafel meerdere grootte-orden belangrijker dan de elastische bergingscoëfficiënt, zodat de eerste term van het rechterlid in bovenstaande vergelijking wegvalt.

#### 3.5.4. Grondwaterstromingsregimes

De horizontale en verticale doorlatendheid, waaruit de transmissiviteit en hydraulische weerstand worden berekend, zijn de noodzakelijke parameters om de permanente grondwaterstroming te analyseren. Bij permanent regime treden geen bergingsveranderingen op in de tijd. Er heerst evenwicht tussen de hoeveelheid water die het reservoir in- en uittreedt. Daardoor veranderen de stijghoogten niet (meer) in de tijd. Dergelijke permanente grondwaterstroming is gerealiseerd wanneer, na een voldoende lange periode van bemaling, de watervoerende laag even snel gevoed wordt als water eruit wordt verwijderd.

Bij niet-permanente stroming daarentegen is (nog) geen evenwicht bereikt tussen de hoeveelheid water, die het grondwaterreservoir in- en uittreedt. Er treden bergingsveranderingen op in de tijd, zodat de stijghoogten eveneens tijdsafhankelijk zijn. Om een dergelijk stromingsregime te beschrijven, is naast de kennis van de horizontale en de verticale doorlatendheid tevens deze van de bergingscoëfficiënt vereist.

Niet-permanente stroming treedt op bijvoorbeeld bij aanvang van de bemaling van een watervoerende laag. Het duurt immers een tijd (enkele minuten tot meerdere dagen) vooraleer de afpompings wordt gekompenseerd door de voeding van het reservoir en aldus een nieuwe evenwichtstoestand intreedt. Gedurende deze periode van niet-evenwicht wordt een steeds kleiner wordende hoeveelheid water onttrokken aan de berging van de laag. Deze bergingsvermindering gebeurt bij freatische lagen door de daling van de grondwaterspiegel, bij (half-)artesische lagen door elastische samendrukking van de laag.

### 3.5.5. Pompproeven in de geplande uitbreiding van het gipsstort

#### 3.5.5.1. Voorbereiding en uitvoering van de pompproeven

Teneinde de hydraulische parameters van het kwartaire grondwaterreservoir, nodig voor de bouw van het matematisch (kwaliteits)model, te bepalen, werden in de geplande uitbreidingszone van het gipsstort twee pompproeven uitgevoerd. Op dezelfde plaats werden achtereenvolgens de watervoerende lagen KZ1 en KZ2 bemalen. De algemene ligging van de proefplaats is aangegeven op de PLAAT I terwijl de bijlage 1 de detailplans bevat. De PLAAT III geeft de gronddoorsneden op de proefplaats aan.

De boringen werden zodanig ingeplant, dat elke peilbuis kon worden gebruikt tijdens beide pompproeven, en de niet-aangepompte pomp-put tevens als bijkomende peilbuis kon fungeren. De boringen werden besproken in paragraaf 3.2.2.; de boorstaten zijn opgenomen in bijlage 2.

Ter plaatse van deze pompproeven rust op het tertiaire klei-substraat ca. 2,5 m middelmatig zand (KZ1), bovenaan leemhoudend en onder aan grinthoudend. De slecht doorlatende laag KL is ca. 6,5 m dik en bestaat uit leem, leem met fijn zand en leemhoudend (zeer) fijn zand. De bovenste zandlaag KZ2 is ca. 12 m dik en is onderaan weinig leemhoudend. Tussen 4 en 5 m diepte werden dunne leemlensjes aangeboord. Aan het oppervlak bevat KZ2 veel humus.



Op de proefplaats was er een duidelijke opwaartse stijghoogtegradiënt waar te nemen. In september 1984 lag het stijghoogte-oppervlak in KZ1 duidelijk boven het maaiveld; de stijghoogte in de onderkant van KZ2 lag iets boven het maaiveld. De vrije grondwaterspiegel viel nagenoeg samen met het maaiveld. Het slootpeil lag 0,1 m lager dan het maaiveld. Dit alles weerspiegelt de sterke voeding van het reservoir vanuit het gipsstort en de kunstmatige drainage van dit water door het systeem van sloten en greppels.

Voor de uitvoering van beide pompproeven werd gebruik gemaakt van een elektrische onderwaterpomp. De waterdruk in de peilbuizen werd gemeten met automatische drukopnemers VEGA-TYPE 137. Ze waren verbonden met een registreerapparaat LOGMASTER MDL-1000 van MESS + SYSTEM TECHNIK aangepast door de LEERSTOEL VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE. Dit apparaat zet de gemeten waterdruk rechtstreeks om in stijghoogteverandering t.o.v. de aanvangswaarde. Het debiet werd gemeten met een elektromagnetische debietmeter EMFLUX en eveneens geregistreerd met bovenvermeld apparaat. De stroom voor de pomp en aanvankelijk ook voor de registreerapparatuur werd geleverd door een dieselgenerator. Het opgepompte water werd afgevoerd naar een drainagesloot, die zelf uitmondt in een kollektor.

Van 3 tot 8 september 1984 werd de laag KZ1 bemalen met een gemiddeld debiet van 48,00 m<sup>3</sup>/d. De stijghoogtereregistraties werden tijdens deze proef evenwel bemoeilijkt door storingen op de stoomtoevoer. Daarom werd besloten om een nieuwe maar kortere pompproef te doen na uitvoering van de pompproef KZ2.

De bemaling van de laag KZ2 werd aangevat op 17 september 1984 nadat de dieselgenerator was vervangen. Tevens werden het registreerapparaat en de drukopnemers veiligheidshalve van stroom voorzien door batterijen. Aanvankelijk bedroeg het debiet 134,6 m<sup>3</sup>/d, doch was na 1 h gedaald tot 119,3 m<sup>3</sup>/d. Nadien nam het nog slechts langzaam af tot 115,9 m<sup>3</sup>/d op 21 september 1984, na 101 h pompen. Gedurende de periode, volgend op het stilleggen van de pomp, werden de stijghoogten verder geregistreerd totdat de rusttoestand nagenoeg was teruggekeerd.

Een nieuwe pompproef op KZ1 werd uitgevoerd tussen 2 en 4 oktober 1984. Het debiet van deze proef bedroeg aanvankelijk  $57,36 \text{ m}^3/\text{d}$  en daalde tot  $54,48 \text{ m}^3/\text{d}$  na 1 h. Vervolgens bleef het nagenoeg konstant. Na 48 h werd de bemaling stopgezet.

Voor de berekeningen werden vooral de metingen van de eerste 24 h aangewend. Na één dag bleek dat de stijghoogteschommelingen veroorzaakt door hoofdzakelijk meteorologische factoren immers even groot waren als die van de bemaling.

### 3.5.5.2. Berekening van de hydraulische parameters met behulp van grafische interpretatiemethodes

#### 3.5.5.2.1. Pompproef KZ1

Een eerste schatting van de hydraulische parameters werd verricht volgens de "klassieke" grafische pompproefinterpretatiemethoden. Voor de uiteenzetting hiervan wordt verwezen naar het werk van G. KRUSEMAN & N. DE RIDDER (1970).

De verlagingen die in de peilbuizen PB1,1 en PB1,2 tijdens de tweede bemaling van de laag KZ1 werden geregistreerd, zijn geïnterpreteerd met de methode van WALTON en de eerste methode van HANTUSH (HANTUSH-I). Deze methoden veronderstellen niet-permanente stroming in half-artesische watervoerende lagen. Verder neemt men aan dat :

- 1° de watervoerende laag en de aangrenzende halfdoorlatende laag (lagen) homogeen en lateraal oneindig uitgestrekt zijn;
- 2° de stijghoogte juist boven de bovenliggende halfdoorlatende laag en de stijghoogte juist onder de onderliggende laag vast zijn gedurende het volledige verloop van de proef, zodat de verticale aanvoer van water doorheen deze lagen naar de aangepompte laag (het "lekken") evenredig is met de stijghoogtedaling in laatstgenoemde laag;

- 3° de daling onmiddellijk wordt beantwoord door een afgifte van water uit de berging van de aangepompte laag,
- 4° de diameter van de pompput klein is, zodat de berging in de pompput kan worden verwaarloosd.

Op de figuur 9 zijn de verlagingen, gemeten tijdens de pomp-proef KZ1, uitgezet op bi-logaritmisch papier. Figuur 10 heeft de verlagingen in PB1,1 en PB1,2 op semi-logaritmisch papier weer. De inpretatie van de grafieken PB1,1 en PB1,2 met de methode van WALTON en de eerste methode van HANTUSH leverden de in tabel 3 samengevatte waarden voor de hydraulische parameters op. In de berekeningen, gegeven in bijlage 4 werd een debiet van  $54,48 \text{ m}^3/\text{d}$  aangewend.

#### 3.5.5.2.2. Pompproef KZ2

Bij deze proef werden de verlagingen, geregistreerd in de peilbuizen PB2,1 , PB2,2 en PB2,3 geïnterpreteerd met de grafische methodes van WALTON en HANTUSH-I. De hierbij gemaakte veronderstellingen werden hiervoor reeds opgesomd. Op de figuren 11 en 12 worden op respectievelijk bi- en semi-logaritmisch papier de verlagingen voorgesteld.

Daar in de aangepompte laag drie peilbuizen ter beschikking stonden, kon tevens de grafische interpretatiemethode van DE GLEE worden toegepast. Bij deze methode wordt weliswaar verondersteld dat op het einde van de proef de permanente stroming is bereikt, m.a.w. dat de op het einde van de proef gemeten verlagingen maximaal zijn. Er mag worden aangenomen dat dit na één dag bemaling benaderend is verwezenlijkt. In figuur 13 worden deze maximale verlagingen t.o.v. de afstand uitgezet op bi-logaritmisch papier.

De waarden die men met de verschillende grafische interpretatiemethodes bekomt voor de hydraulische parameters van KZ2, zijn weergegeven in tabel 4. Een debiet van  $120,0 \text{ m}^3/\text{d}$  werd aangenomen in de berekeningen welke opgenomen zijn in bijlage 4.

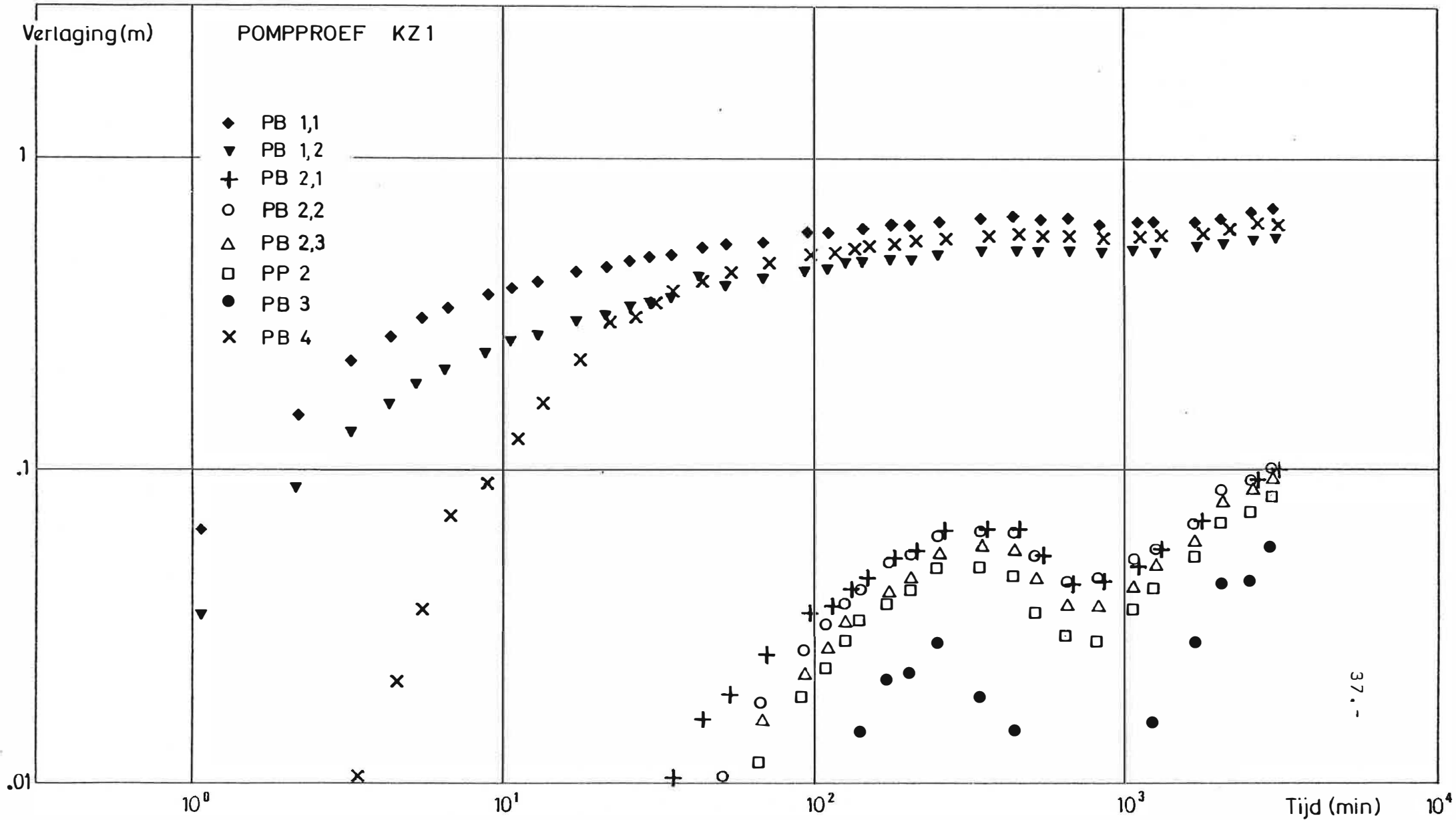
Tabel 3 - Hydraulische parameters, bekomen met grafische interpretatiemethoden uit de pompproef KZ1.

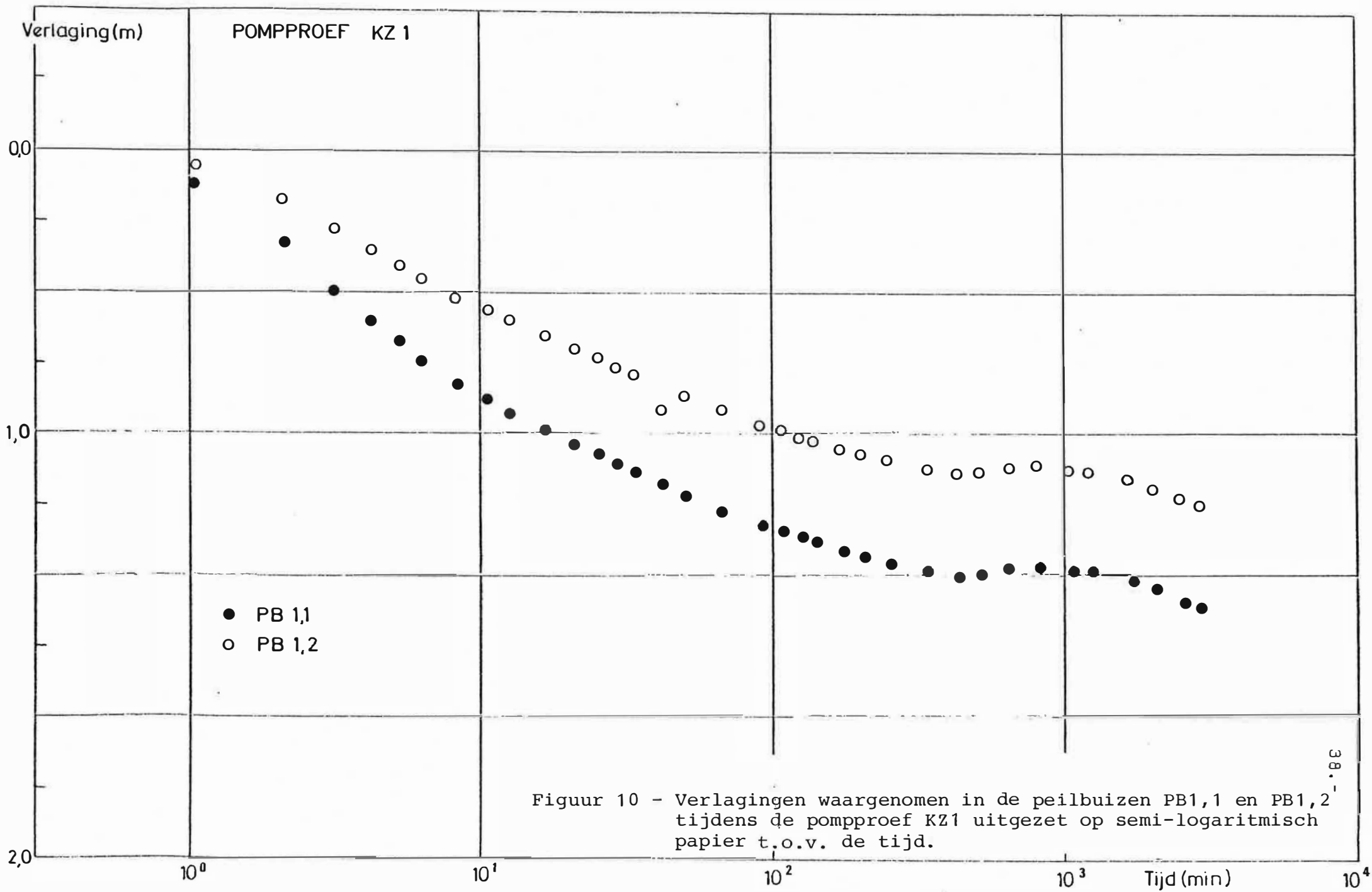
Interpretatiemethode	peilbuis	$kD$ ( $m^2/d$ )	$c$ (d)	$S$ ( $\times 10^{-3}$ )
WALTON	PB 1,1	21	47	1,2
	PB 1,2	31	126	0,5
HANTUSH-I	PB 1,1	27	48	1,0
	PB 1,2	39	204	0,5

Tabel 4 - Hydraulische parameters, bekomen met grafische interpretatiemethoden uit de pompproef KZ2.

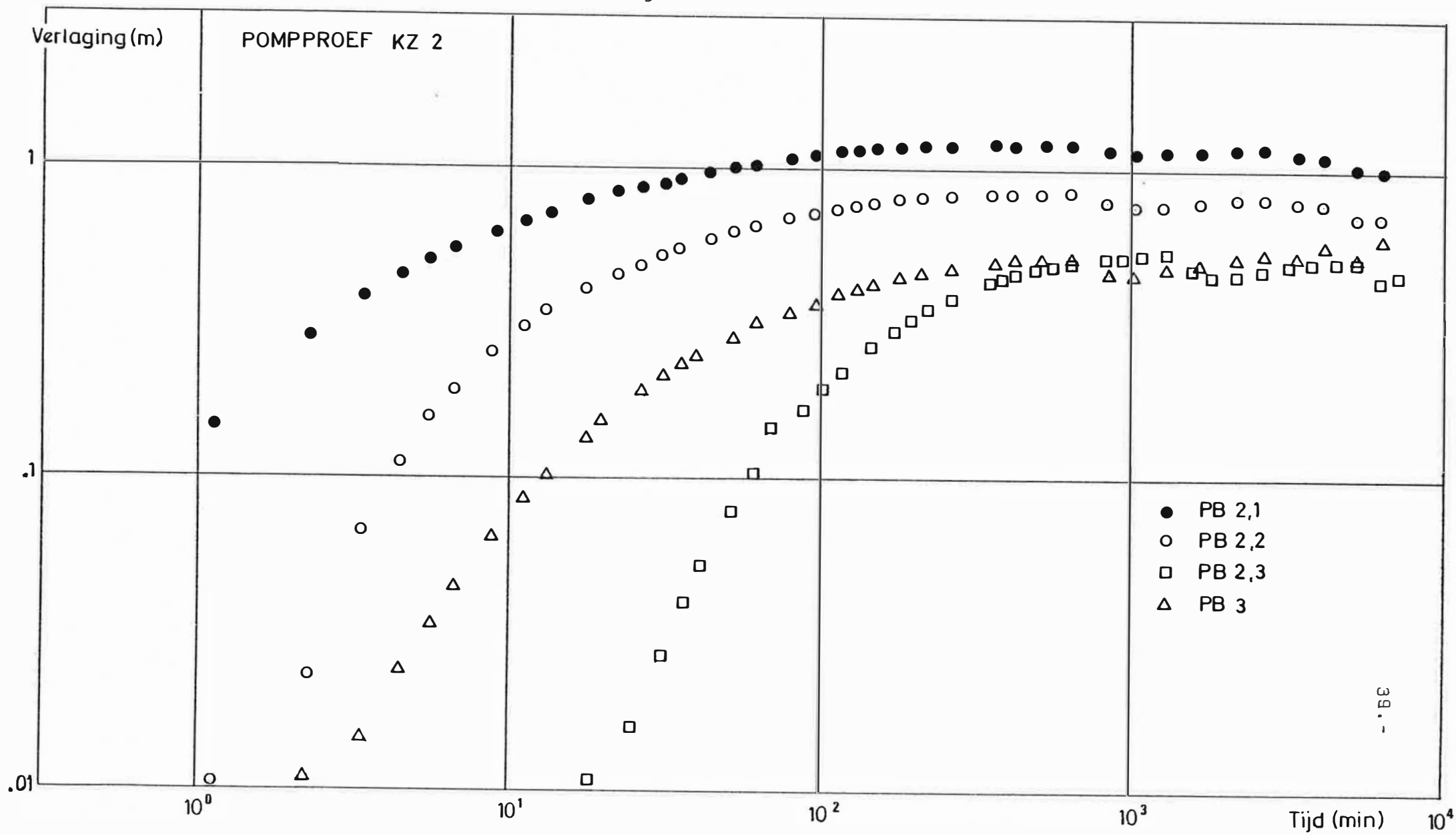
Interpretatiemethode	peilbuis	$kD$ ( $m^2/d$ )	$c$ (d)	$S$ ( $\times 10^{-3}$ )
WALTON	PB 2,1	35	58	1,4
HANTUSH-I	PB 2,1	37	73	6,6
	PB 2,2	41	82	4,1
	PB 2,3	60	150	3,4
DE GLEE	alle bovenvermelde	41	54	-

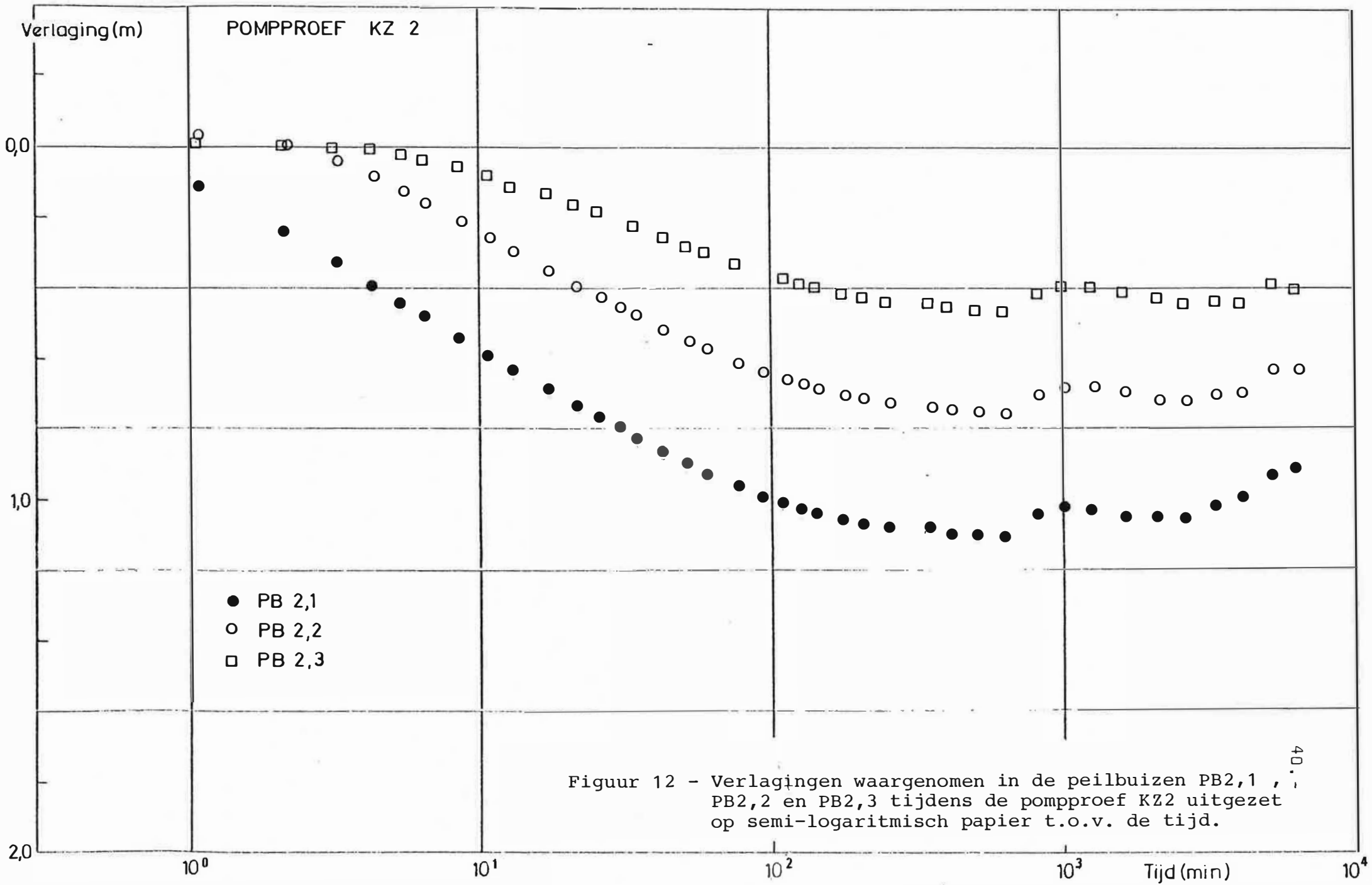
Figuur 9 - Verlagingen waargenomen in de verschillende peilbuizen tijdens de pompproef KZ1 uitgezet op bi-logaritmisch papier t.o.v. de tijd.





Figuur 11 - Verlagingen waargenomen in de verschillende peilbuizen tijdens de pompproef KZ2 uitgezet op bi-logaritmisch papier t.o.v. de tijd.

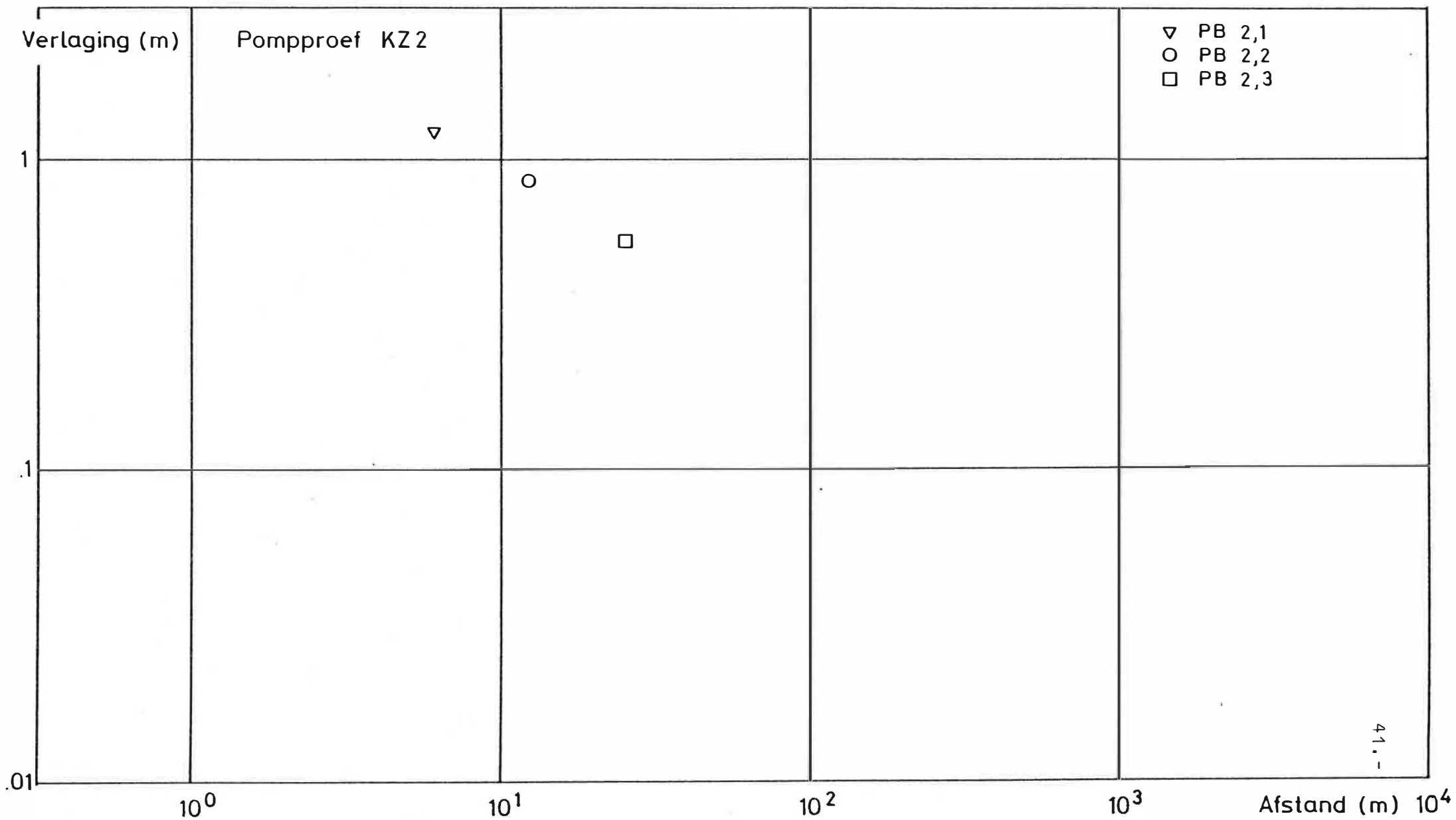




Figuur 12 - Verlagingen waargenomen in de peilbuizen PB2,1 , PB2,2 en PB2,3 tijdens de pompproef KZ2 uitgezet op semi-logaritmisch papier t.o.v. de tijd.



Figuur 13 - Maximale verlagingen waargenomen in de peilbuizen PB2,1 , PB2,2 en PB2,3 tijdens de pompproef KZ2 uitgezet op bi-logaritmisch papier t.o.v. de afstand tot de pompput.



### 3.5.5.2.3. Bespreking

Allereerst valt op te merken dat zowel de KD- als de c-waarden, die men in de beide pompproeven bekomt met de methode van WALTON en met de eerste methode van HANTUSH, toenemen bij toenemende afstand tot de pompput. Het zou evenwel foutief zijn hieruit te besluiten dat de aangepompte laag lateraal, binnen een korte afstand, niet homogeen zou zijn. Deze toename van de KD- en de c-waarde zijn immers het gevolg van de vereenvoudigde veronderstellingen, die men bij de "klassieke" grafische interpretatiemethodes doorvoert (L. LEBBE et al., 1984). Aangenomen wordt immers dat de verticale aanvoer van water naar de aangepompte laag (het "lekken") wordt geleverd door verticale stroming vanuit de begrenzende slecht doorlatende lagen, waarbij de stijghoogte juist boven en onder laatstgenoemde lagen konstant blijft in de tijd. Met de verandering van de berging in de niet aangepompte lagen wordt eveneens geen rekening gehouden. De verticale aanvoer naar de aangepompte laag op een bepaalde afstand tot de pompput is dus evenredig met de peilverlaging in die laag.

Een bijkomende moeilijkheid bij de methode van WALTON bestaat in het afleiden van de hydraulische weerstand aan de hand van peilbuizen op relatief korte afstand tot de pompput. In deze gevallen is het immers moeilijk om een bepaalde standaardkurve te kiezen, die bij de gemeten verlagingen het best past.

De methode van DE GLEE levert een meer betrouwbare c-waarde op. Hiermee bekomt men evenwel geen waarde voor de elastische bergingscoëfficiënt.

Bij de klassieke interpretatiemethodes dient men er tevens rekening mee te houden dat de bekomen c-waarde de resultante is van de waarden van de slecht doorlatende lagen, die de aangepompte laag begrenzen. In pompproef KZ1 is evenwel de c-waarde van de onderliggende laag oneindig groot (ondoorlatend substraat), zodat de bekomen c-waarde

nagenoeg overeenstemt met deze van de laag KL. In pompproef KZ2 daarentegen is hij de resultante van de c-waarde van KL enerzijds en van de c-waarde van de weinig doorlatende leem- en humushoudende laagjes nabij het maaiveld anderzijds. Daar deze beide hydraulische weerstanden met minstens een paar grootte-orden uiteenliggen, kan men de gevonden c-waarden niet aan één welbepaalde laag toekennen.

### 3.5.5.3. Bepaling van de hydraulische parameters met behulp van een matematisch model

Inherent aan de hierbovengenoemde "klassieke" interpretatiemethodes van pompproeven zijn een aantal foutenbronnen, vooral voortvloeiend uit vereenvoudigingen, die worden aangenomen. Daarbij komt nog dat bij pompproeven in veellagige grondwaterreservoirs, zoals hier het geval is, slechts een gedeelte van de hydraulische parameters kan worden bepaald : de transmissiviteit en de elastische bergingscoëfficiënt van de aangepompte laag en een hydraulische weerstand, veelal de resultante van deze van meerdere halfdoorlatende lagen. De transmissiviteit en de bergingscoëfficiënt van de niet-aangepompte doorlatende lagen, de bergingscoëfficiënt van halfdoorlatende lagen en meestal ook hun preciese c-waarde blijven onbekend. Sommige methodes (WALTON, HANTUSH-I) leveren bovendien meerdere waarden op voor  $kD$ ,  $c$  en  $S$  al naargelang van de afstand tussen de pompput en de peilbuis.

Onnauwkeurigheden, te wijten aan deze tekortkomingen, treden niet op wanneer men het volledige reservoir nabij de pompput en de grondwaterstromingen die erin heersen, nabootst met een mathematisch model (L. LEBBE, 1983). Het door Dr. L. LEBBE van de LEERSTOEL VOOR TOEGEPASTE GEOLOGIE opgestelde model SIMPUM is tweedimensionaal en axiaal symmetrisch. Vertikaal wordt het reservoir ingedeeld in een aantal lagen, die worden gekozen naargelang van zijn hydrogeologische

bouw. Verder wordt het reservoir verdeeld in een reeks ringen, concentrisch omheen de pompput aangebracht. De stralen van deze ringen laat men logaritmisch toenemen. Zo bekomt men een schikking van elementaire cellen, waarvan de positie kan worden weergegeven d.m.v. de ring en de laag waartoe de cel behoort. De verste ring wordt op zodanig grote afstand van de pompput aangebracht, dat er zeker geen verlaging meer zal optreden en de stijghoogte dus vast blijft in de tijd.

Aan iedere laag wordt een waarde voor de dikte ( $D$ ), de horizontale hydraulische doorlatendheid ( $k$ ) en de specifieke elastische berging ( $S'_A$ ) toegekend. Tussen iedere laag in dient een waarde voor de hydraulische weerstand ( $c$ ) te worden ingevoerd. Voor iedere ring, d.w.z. op logaritmisch toenemende afstanden tot de pompput, berekent het model de evolutie van de verlagingen in de tijd. De berekeningen gebeuren door de eindigverschilmethode toe te passen op de wet van DARCY en de continuïteitswet. Het bekomen stelsel van differentievergelijkingen wordt opgelost met een iteratief proces.

De berekende tijd-verlagingskurven en afstand-verlagingskurven worden vergeleken met de waarnemingen. Tevens kan men met het rekenprogramma SENPUM, eveneens ontwikkeld door Dr. L. LEBBE, de berekende verlagingen onderwerpen aan een gevoeligheidsanalyse. Dit geeft aan hoe de verlagingen zullen antwoorden op de aanpassing van een bepaalde parameter met een zekere faktor. Het spreekt vanzelf dat de verlaging gemeten op een bepaalde plaats op een bepaald tijdstip niet even gevoelig is voor elke ingevoerde parameter en omgekeerd. De aanpassingen worden herhaald tot voldoende overeenstemming is bereikt tussen de gemeten en de berekende tijd-verlagings- en afstand-verlagingskurven.

De uitvoering van twee pompproeven op dezelfde plaats biedt het voordeel dat elke parameter in minstens één der proeven de verlagingen in één of meerdere peilbuizen in voldoende mate helpt bepalen. Bo-

vendien beschikt men bij de terugkoppeling van de berekende aan de gemeten verlaging over twee stellen onafhankelijke criteria. Op die manier kan men voor alle hydraulische parameters de meest betrouwbare waarden bepalen.

De simulatie van deze pompproeven met het mathematisch model noodzaakte de verdeling van het kwartaire grondwaterreservoir in vijf lagen (L1-L5), boven het als ondoorlatend beschouwde tertiaire substraat (PLAAT III). De onderste watervoerende laag KZ1 valt samen met L1. De halfdoorlatende laag KL wordt ondergebracht in L2. De hydraulische weerstand van KL wordt verdeeld en aangebracht deels tussen L1 en L2, deels tussen L2 en L3. De bovenste watervoerende laag KZ2 valt grotendeels samen met L3. Daar de ondiepe peilbuis (PB3) zich tijdens de pompproeven niet gedraagt zoals de diepere peilbuizen in KZ2 werd een vierde laag (L4) ingevoerd, nagenoeg over het diepste interval van het filterelement van PB3. De c-waarde van de zone met leemlenzen rond 4,5 m diepte, wordt ondergebracht tussen L3 en L4. De humus- en leemhoudende laagjes nabij de watertafel zorgen voor de hydraulische weerstand tussen L4 en L5. Laatstgenoemde laag bevat de grondwatertafel.

De aan iedere laag in het model toegekende aanvangswaarden voor de hydraulische parameters werden bekomen met de "klassieke" interpretatiemethodes of werden geschat op grond van waarnemingen in de boringen of gegevens uit de literatuur.

Na herhaalde simulaties van beide pompproeven, steeds met aangepaste (verbeterde) hydraulische parameters en na meerdere gevoeligheidsanalyses, werd de beste overeenkomst tussen de gemeten en de berekende verlagingen bekomen bij invoer van de waarden die opgenomen zijn in tabel 5 en die ook vermeld zijn op de PLAAT III.

De waarden vermeld in de tabel 5 dienen te worden "vertaald" naar de reële hydrogeologische bouw van het reservoir (tabel 6). De kD- en S-waarde van KZ2 is de som van deze van L3, L4 en L5. De c-waarde van

Tabel 5 - Hydraulische parameters van de onderscheiden lagen in het matematische model SIMPUM (L. LEBBE, 1983) van de pompproeven KZ1 en KZ2.

Laag	dikte (m)	k (m/d)	$S_0'$ ( $\times 10^{-4} m^{-1}$ )	$S_0$	c (d)
L <sub>5</sub>	1	4	5,2	0,20	60
L <sub>4</sub>	2	4	5,2	-	
L <sub>3</sub>	9	4	1,0	-	180
L <sub>2</sub>	6	0,05	0,5	-	
L <sub>1</sub>	3	13	1,1	-	20

Tabel 6 - Hydraulische parameters van de kwartaire hydrogeologische eenheden, berekend met het model SIMPUM (L. LEBBE, 1983).

Laag	dikte (m)	kD (m <sup>2</sup> /d)	s ( $\times 10^{-3}$ )	c (d)
KZ2	12	48	2,5	84
KL	6	-	0,3	200
KZ1	3	39	0,3	

KL is deze tussen L1 en L2 enerzijds en tussen L2 en L3 anderzijds. De hydraulische weerstand van KZ2 (84 d) is de weerstand van het volledig sedimentpakket boven het denkbeeldige vlak door de filterelementen van de peilbuizen PB2,1, PB2,2 en PB2,3. Hij wordt echter in hoofdzaak opgebouwd door de leem- en/of humushoudende laagjes nabij het oppervlak en op ca. 4,5 m diepte.

### 3.6. Besluit

De kenmerken van de ondergrond werden bestudeerd op basis van de nieuwe boorgegevens, de bodemkaart en twee pompproeven in de kwartaire afzettingen.

In het bestudeerde gebied bestaat de bodemlaag uit zand (symbool Z van de bodemkaart). Onder de bodem komt een watervoerende laag zandig materiaal voor (KZ2) rustend op een meer leemhoudende laag (KL), die op de ene plaats uit leem is opgebouwd en op de andere plaats uit leemhoudend zand. Tussen deze leemhoudende laag en het tertiair kleisubstraat komt een watervoerende zandige laag voor (KZ1). De veralgemeende dikte van KZ2, KL en KZ1 bedraagt respectievelijk 9 tot 12 m, 6 m en 3 m. Grote verschillen kunnen echter voorkomen.

Uit twee pompproeven, één in KZ1 en één in KZ2, werd basisinformatie bekomen voor het grondwaterkwaliteitsmodel : de onderste en bovenste watervoerende lagen KZ1 en KZ2 hebben een horizontale doorlatendheid van respectievelijk 13 m/d en 4 m/d. Met de gevonden hydraulische weerstand van 200 d voor de leemhoudende laag KL stemt een verticale doorlatendheid van 0,03 m overeen.

## 4. KENMERKEN VAN HET GIPSSTORT

### 4.1. Algemeen

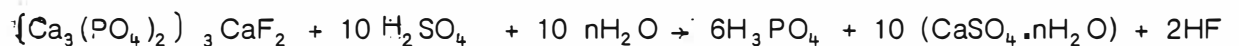
In het hoofdstuk 4 wordt aandacht besteed aan het ontstaan en de kenmerken van het afvalgips, aan de evolutie van de gipsstorten, de vergunningstoestand, de huidige uitbating, de waterbalans en tenslotte de hydraulische kenmerken ervan.

Voor de chemische kenmerken werd er uitgebreid gesteund op een recente publikatie van het OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW (A. VERHASSELT, 1983). Voor de historiek evenals voor de vergunningstoestand van het gipsstort is in extenso beroep gedaan op een nota opgesteld door G. SWAELENS & Y. VERVENNE (1984) van RHONE-POULENC CHEMIE N.V.

Aan de hand van boringen en een pompproef in het gipsstort was het mogelijk een meer gedetailleerd inzicht te verkrijgen in de hydraulische kenmerken van zo'n stort. Dit aspect wordt dan ook uitvoerig behandeld.

### 4.2. Ontstaan van het afvalgips

Het gips is een nevenprodukt van de fosforzuurproductie uit calciumfosfaat (apatiet) en zwavelzuur. Dit proces kan in algemene vorm geschreven worden als (S. MANGIN, 1978) :



met  $n = 2$  bij het dihydraat-procédé

$n = \frac{1}{2}$  bij het half- of hemihydraat-procédé

In de praktijk wordt het dihydraat-procédé het meest aangewend. In Vlaanderen is 70 % van het afvalgips afkomstig van dit procédé (OVAM, 1985).



In België wordt fosforzuur in verschillende bedrijven geproduceerd; enkele kenmerken van deze bedrijven in 1980 zijn opgenomen in de tabel 7. Deze gegevens zijn afgeleid uit een enquête die het OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW (OCW) in 1979 heeft verricht en uit een bezoek van het OCW aan de diverse bedrijven in 1980 (A. VERHASSELT, 1983).

Een schematisch overzicht van de fosforzuurbereiding bij RHONE-POULENC CHEMIE N.V. is gegeven in de figuur 14 : het fijn gemalen fosfaat wordt afgewogen en reageert nadien met zwavelzuur in reaktoren waarin een krachtig roerwerk is geplaatst. Het inbrengen van fosfaat gebeurt over mengkuipen. De bij de reactie vrijkomende dampen worden in een toren met water uitgewassen vooraleer afgevoerd te worden naar de schouw. Het reaktiemengsel van fosforzuur en gips wordt vanuit een voedingstank naar de filters gepompt. Het fosforzuur aan een concentratie van 30 %  $P_2O_5$  (fosforzuuranhydride) wordt naar de opslagtanks gepompt. Het gips wordt met transportwater naar het stort gevoerd. Ongeveer 2/3 van het fosforzuur wordt ingedampt tot een concentratie van 52 % en verwerkt in meststoffen. De rest wordt chemisch gezuiverd en gebruikt voor de productie van natriumpolyfosfaat en ammoniumfosfaat in zuivere vorm.

#### 4.3. Fysico-chemische eigenschappen van het afvalgips

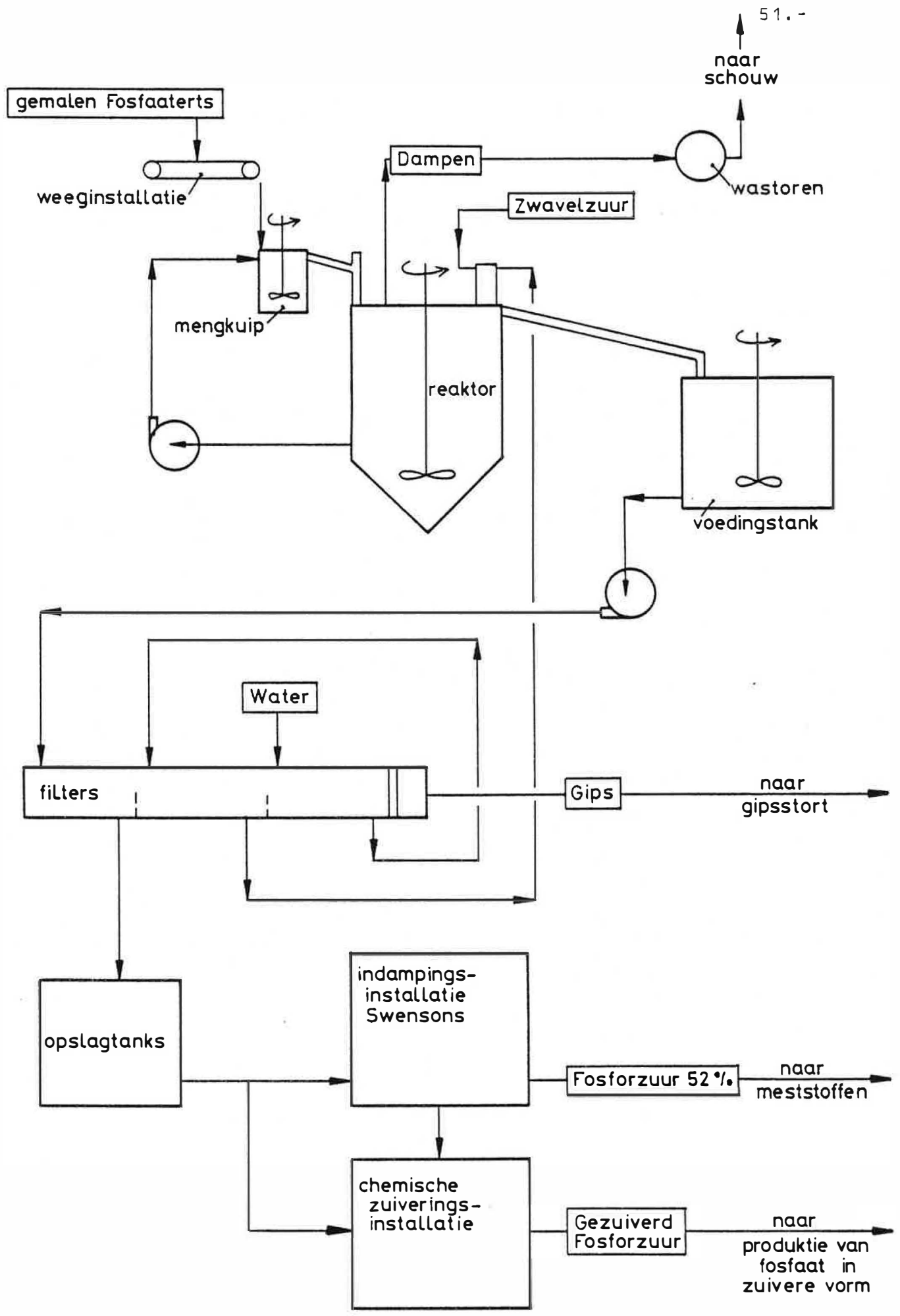
##### 4.3.1. Chemische samenstelling

In 1980 werden door het OCW (A. VERHASSELT, 1983) in de reeds aangehaalde Belgische fosforzuurfabrieken afvalgipsmonsters ontnomen : uitgaande van de NBN-norm 831.06 (BELGISCH INSTITUUT VOOR NORMALISATIE, 1970) welke betrekking heeft op o.a. steenkoolbemonstering, werden verspreide deelmonsters van ca. 20 kg vochtig gips ontnomen om nadien

Tabel 7 - Enkele kenmerken van de Belgische fosforzuurbedrijven (toestand 1980)  
(naar A. VERHASSELT, 1983)

Bedrijf	Procédé	Herkomst erts	Fosfogips				
			J. Prod.* 10 <sup>3</sup> ton	gebruikt 10 <sup>3</sup> ton	Neutra- lisering	Storten	Opslag
BASF Antwerpen	dihydraat	USA (Florida)	350	0	neen	hydraulisch	naar Schelde
CHEMIE RUPEL Ruisbroek	halfhydraat/ dihydraat	Marokko	500	250	ja, niet altijd	hydraulisch	bezinkbekkens
RPC Gent	dihydraat	Marokko Togo	600	0	ja (1976-1979) neen	hydraulisch	bezinkbekkens
UCB Zandvoorde	dihydraat	Marokko	300	0	neen	80 % hydrau- lisch 20 % vracht- wagens	bezinkbekkens perskaden van de bekkens
PRAYON Engis	dihydraat/ halfhydraat	Marokko Togo USSR	350	200- 250	ja, ge- deelte- lijk	transportband + vrachtwagens	in hopen

\* 75 tot 90 % van de maximale produktiekapaciteit



Figuur 14 - Schematisch overzicht van de fosforzuurfabrikatie bij RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V. (naar bedrijfsdocumentatie)

verzamelmonsters van ca. 500 kg droog gips samen te stellen en chemisch te analyseren. Elk verzamelmonster werd gehomogeniseerd volgens een procédé steunende op de OCW-werkwijze MN 37/76 (OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW, 1976).

De monsters die afkomstig waren van het gipsstort van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. werden in 1980 ontnomen in de huidige zone 3 (zie 4.4.2.2) op ca. 1,5 m diepte, in de wanden van een uitgraving gemaakt voor het uithalen van gips ten behoeve van de ophoging van de perskaden (dijken).

De resultaten van de chemische analyses evenals de vermoedelijke chemische samenstelling zoals bepaald aan de hand van de gehalten aan hoofdbestanddelen  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  en  $\text{CaO}$ , zijn opgenomen in de tabel 8. Uit deze tabel blijkt dat een goede overeenkomst bestaat tussen de resultaten van de chemische analyses van de gipsmonsters afkomstig van de diverse bedrijven. Tevens bevatten de bestudeerde soorten Belgische afvalgips vrij weinig onzuiverheden. De pH van een suspensie afvalgips-water (1:4) bedroeg, als het niet geneutraliseerd werd, 2,5 tot 3.

#### 4.3.2. Mineralogische kenmerken

De morfologie van de afvalgipskristallen hangt af van het oorspronkelijk erts en van het aangewende fabricatieprocédé; men onderscheidt (S. MANGIN, 1978) : naaldvormige kristallen, tabulaire kristallen en poly-kristallijne aggregaten.

De gipskristallen in het bestudeerde gipsstort van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. zijn hoofdzakelijk tafelvormig. De foto's 3 en 4 geven een beeld van de kristalmorfologie; de gefotografeerde stalen werden genomen in 1980 (W. DE BREUCK & M. MAHAUDEN, 1980) onder de huidige zone 3 van het stort, respectievelijk bovenaan, op ca. 0,5 m diepte, en onderaan, op ca. 19,8 m diepte. De gemiddelde afmetingen van de kristallen zijn kleiner onderaan dan bovenaan.

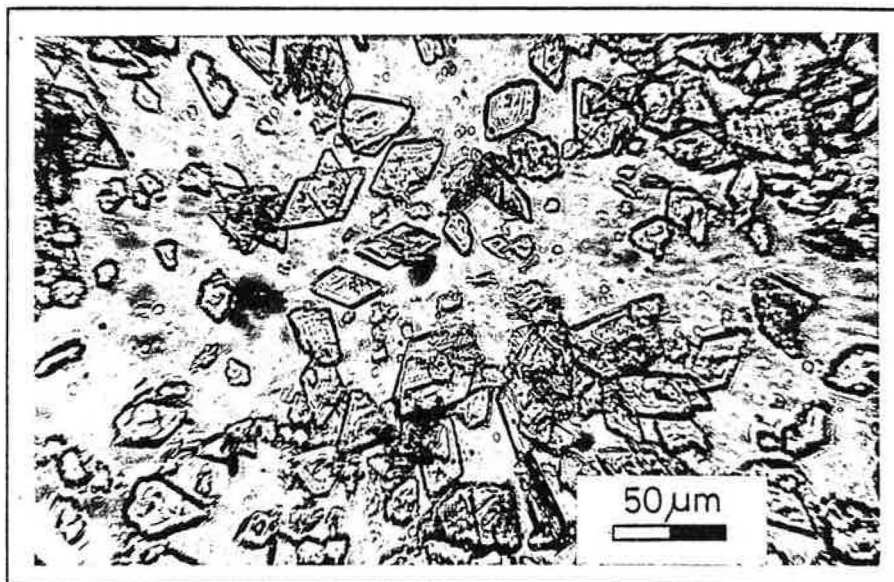


Foto 3 - Tabulaire gipskristallen afkomstig van de top (in 1980) van het gipsstort (huidige zone 3) van RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V.  
(boring TGO 80/04 - KZ 3 ; 0,5 m diepte)

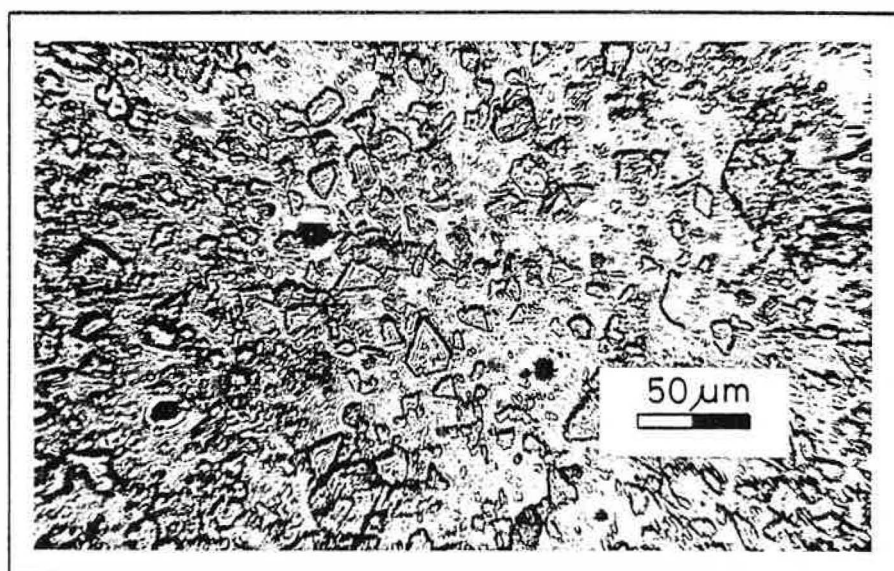


Foto 4 - Tabulaire gipskristallen afkomstig van de basis van het gipsstort (huidige zone 3) van RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V.  
(boring TGO 80/04 - KZ3 ; 19,8 m diepte)

Tabel 8 - Samenstelling van afvalgips afkomstig van Belgische fosforzuurbedrijven (naar A. VERHASSELT, 1983)

Monster OCW	113/449	120/451	125/450	120/452	135/453
Bedrijf	PRAYON	RPC	UCB	CHEMIE	BASF
Samenstell.	Engis	Gent	Zandvoorde	RUPEL Ruisbroek	Antwerpen
Chemische analyse					
SO <sub>2</sub>	-	-	-	-	-
SO <sub>3</sub>	45,7 %	44,3 %	44,0 %	45,6 %	44,3 %
CaO	32,2 %	32,4 %	31,4 %	32,2 %	31,3 %
MgO	0,9 %	0,5 %	0,6 %	0,8 %	0,8 %
SiO <sub>2</sub>	0,9 %	0,8 %	1,6 %	0,8 %	1,9 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4 %	0,3 %	0,4 %	0,3 %	0,5 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,15 %	0,1 %	<0,05 %	<0,05 %	0,1 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,1 %	1,2 %	1,1 %	0,8 %	0,9 %
Subtotaal	81,4 %	79,6 %	79,1 %	80,5 %	79,8 %
Gebonden H <sub>2</sub> O (250 °C)	18,7 %	19,9 %	19,6 %	19,6 %	19,9 %
TOTAAL	100,1 %	99,5 %	98,7 %	100,1 %	99,7 %
Chemische samenstelling					
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	86,4 %	95,2 %	94,6 %	92,1 %	95,2 %
CaSO <sub>4</sub> · 1/2H <sub>2</sub> O	10,0 %	-	-	5,0 %	-
CaSO <sub>3</sub> · 1/2H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	-
CaO-overschot	0,2 %	1,4 %	0,6 %	0,3 %	0,3 %
SO <sub>3</sub> -overschot	-	-	-	-	-
gedoseerde onzuiverheden	3,5 %	2,9 %	3,7 %	2,7 %	4,2 %
TOTAAL	100,1 %	99,5 %	98,9 %	100,1 %	99,7 %

Een beeld van de korrelverdeling van vrij vers geproduceerd afvalgips verkrijgt men aan de hand van de figuur 15. De korrelverdeling die betrekking heeft op gips van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. is deze van het hierboven aangehaald verzamelmonster samengesteld door het OCW in 1980. Uit de korrelverdeling blijken de meeste monsters granulometrisch analoog te zijn met vrij slecht gesorteerd zeer fijn zand of grove leem.

Aan de hand van een X-stralendiffractieonderzoek van een luchtdroog donker laagje afvalgips ontnomen in september 1984 nabij oppervlakte in de huidige zone 2 van het gipsstort kon de aanwezigheid van meerdere mineralen worden vastgesteld. Naast gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) kwamen voor : kwarts ( $\text{SiO}_2$ ), haliet ( $\text{NaCl}$ ), een fyllosolikaat ( $[\text{Na}_2][\text{Ca}] \text{Mg}_6 \text{Al}_2 \text{Si}_6 \text{O}_{20} \text{F}_4$ ), fluor-tremoliet ( $\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2 \text{F}_2$ ) en laurenciet ( $\text{FeCl}_2$ ). Een aantal pieken van het diffraktogram (fig. 16), kan echter niet ondubbelzinnig toegekend worden aan één mineraal. Op de figuur 16 zijn deze aangegeven met een vraagteken.

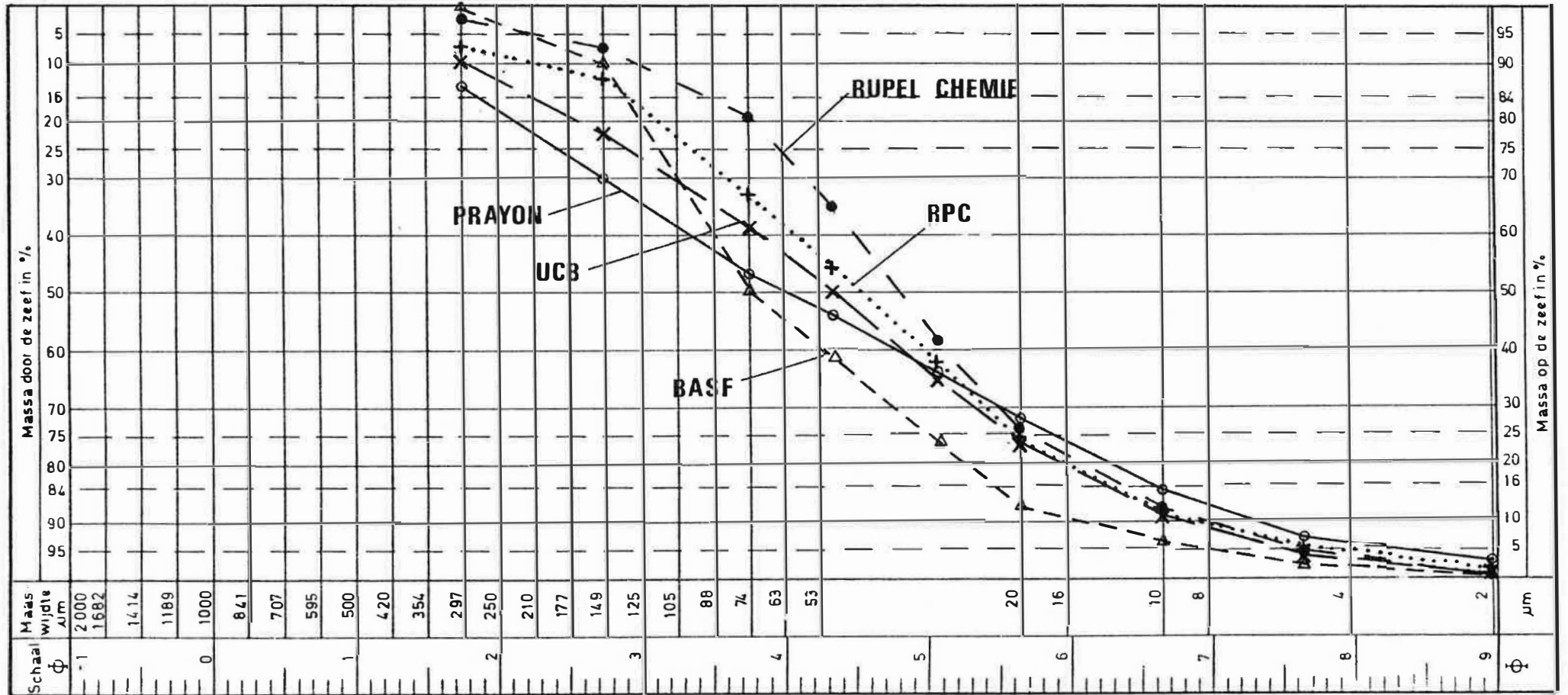
#### 4.3.3. Radioactiviteit

In 1980 werd door CONTROLATOM v.z.w., dit is de Vereniging voor de Controle van de Toepassingen van de Atoomenergie, een erkend organisme voor fysische controle, de radioactiviteit in de fosfaatertsen en in het afvalgips gemeten. De ertsmonsters en het gips werden respectievelijk genomen in een opslagloods en op het stort op 31.07.1980.

De opgespoorde hoeveelheden radioactieve nukliden bedroegen  $0,165 \cdot 10^{-9}$  en  $0,175 \cdot 10^{-9}$  Ci per gram erts en  $0,065 \cdot 10^{-9}$  Ci per gram afvalgips.

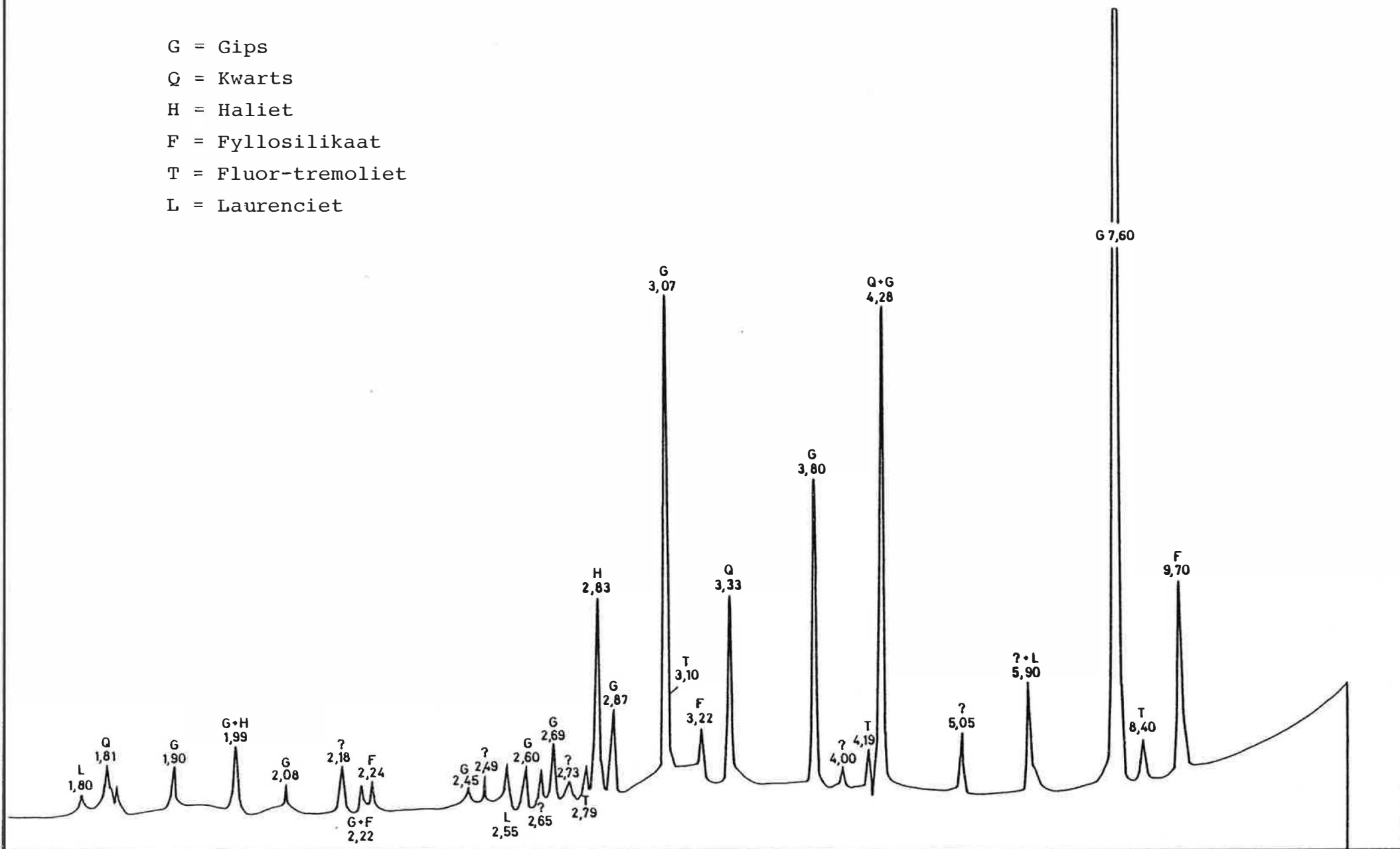
Uit deze en andere resultaten bekomen door CONTROLATOM trekt dit organisme het besluit dat de interne bestralings- en besmettings-niveaus voor de omringende bevolking veel lager zijn dan de toegelaten normen en dat het nemen van bijzondere beschermingsmaatregelen in het

Figuur 15 - Korrelverdelingsdiagrammen van vrij vers geproduceerd afvalgips uit de Belgische fosforzuurbedrijven (naar A. VERHASSELT, 1983).





G = Gips  
 Q = Kwarts  
 H = Haliet  
 F = Fyllosilikaat  
 T = Fluor-tremoliet  
 L = Laurenciet



Figuur 16 - X-stralen diffractogram van een afvalgipsmonster ontnomen aan de oppervlakte in de zone 2 in 1984 (monster TGO 84/02-gi).

kader van de reglementering niet vereist is, noch voor het personeel van het bedrijf noch voor de omringende bevolking. Het WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF (WTCCB) vermeldt dat in de literatuur radionuklidenconcentraties in fotogips variërend van 0,003 tot  $0,040 \cdot 10^{-9}$  Ci/g, met als gemiddelde 0,017 tot  $0,018 \cdot 10^{-9}$  Ci/g aangegeven worden (R. LIEKENS, 1981).

#### 4.4. Historiek van het gipsstort

##### 4.4.1. Bronnen

De historiek van het gipsstort werd grotendeels afgeleid uit de reeds vernoemde nota opgesteld door G. SWAELENS & Y. VERVENNE (1984). Om de ruimtelijke verbreiding van het stort en de omgeving te volgen zijn echter tevens topografische kaarten en luchtfoto's aangewend. De fotoreeksen welke stereoskopisch bekeken en geïnterpreerd\* werden zijn gegeven in tabel 9.

##### 4.4.2. Evolutie van de stortactiviteiten

###### 4.4.2.1. Het voormalige gipsstort

Het bedrijf, dat opgericht is in 1911, begon omstreeks 1925-26 fosforzuur en dus afvalgips te produceren door aantasting van fosfaat (apatiet afkomstig van Kola, USSR) met zwavelzuur. Het gips werd toen gestort in een zone van de bedrijfsterreinen gelegen ten zuidoosten van de spoorweg; de ligging van dit stort is weergegeven op de PLAAT I en is te zien op de luchtfoto's waarvan de interpretaties zijn gegeven in de bijlage 5. Het fosforzuur werd gebruikt voor de fabricatie van tripelsuperfosfaat en biammoniumfosfaat. Net vóór de Tweede Wereldoorlog

---

\* De luchtfotoïnterpretatie werd uitgevoerd door Lic. B. DE VLIEGHER en Lic. Ph. VAN BURM

Tabel 9 - Luchtfotoreeksen aangewend bij de studie van de storten en de omgeving ervan.

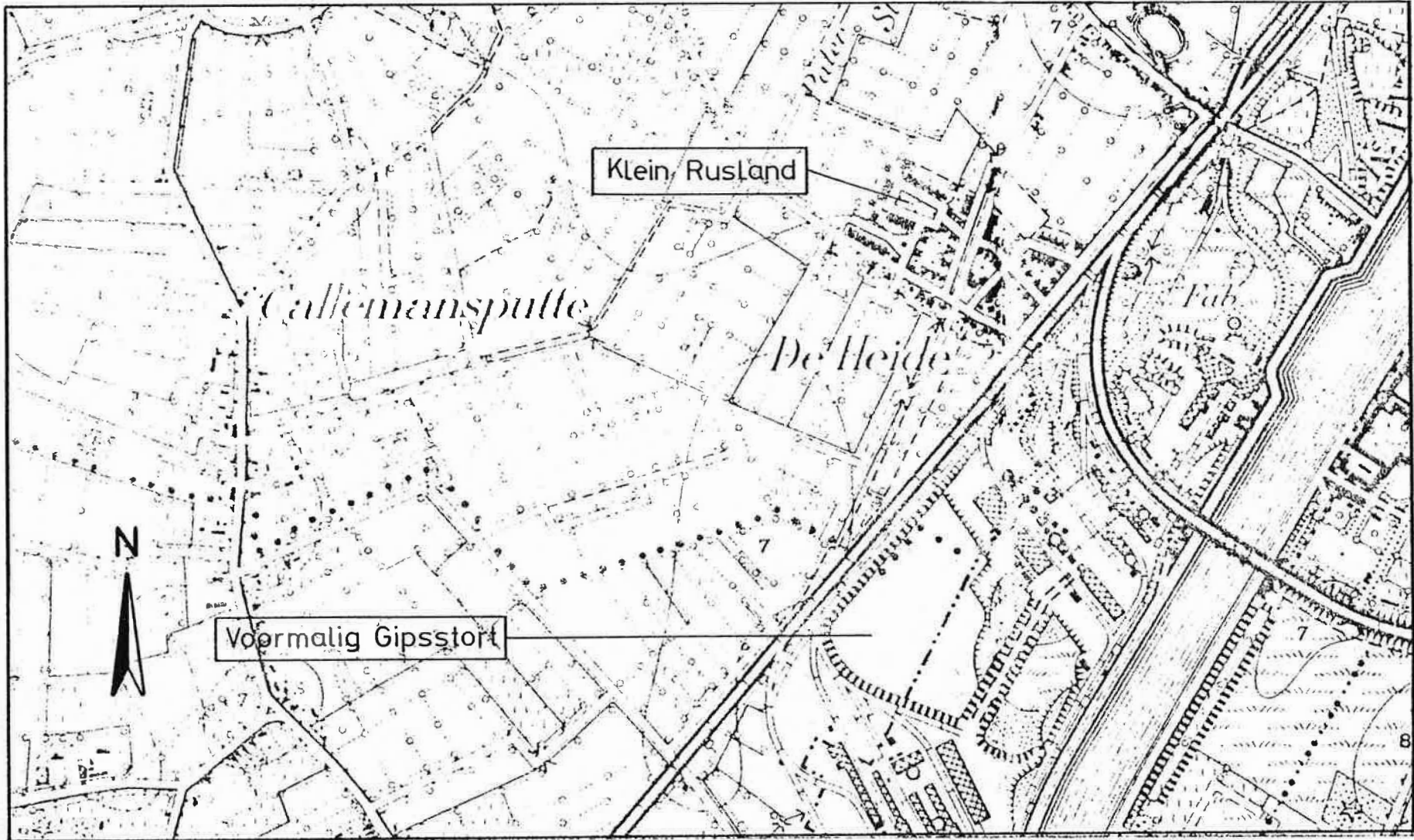
Herkomst	Schaal	Vluchtdatum
Ministerie van Openbare Werken	1/20.000	23.08.1952
Ministerie van Openbare Werken	1/25.000	04.08.1953
Ministerie van Openbare Werken	1/25.000	03.05.1966
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/20.000	27.03.1968
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/20.000	16.04.1968
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/40.000	02.05.1971
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/30.000	30.06.1971
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/ 8.000	19.10.1977
Aero-Survey (St.Niklaas)	1/ 6.000	16.09.1979

bedroeg de fosforzuurproduktie (uitgedrukt als  $P_2O_5$ ) ca. 30 ton per dag wat ca. 140 ton afvalgips per dag opleverde. Dit werd nog steeds gestort ten zuidoosten van de spoorweg; in 1938 bedroeg de oppervlakte van het toenmalig stort ca. 7 ha. Figuur 17 is een uittreksel uit de topografische kaart van toen waarop het voormalig gipsstort en de omgeving goed te zien zijn.

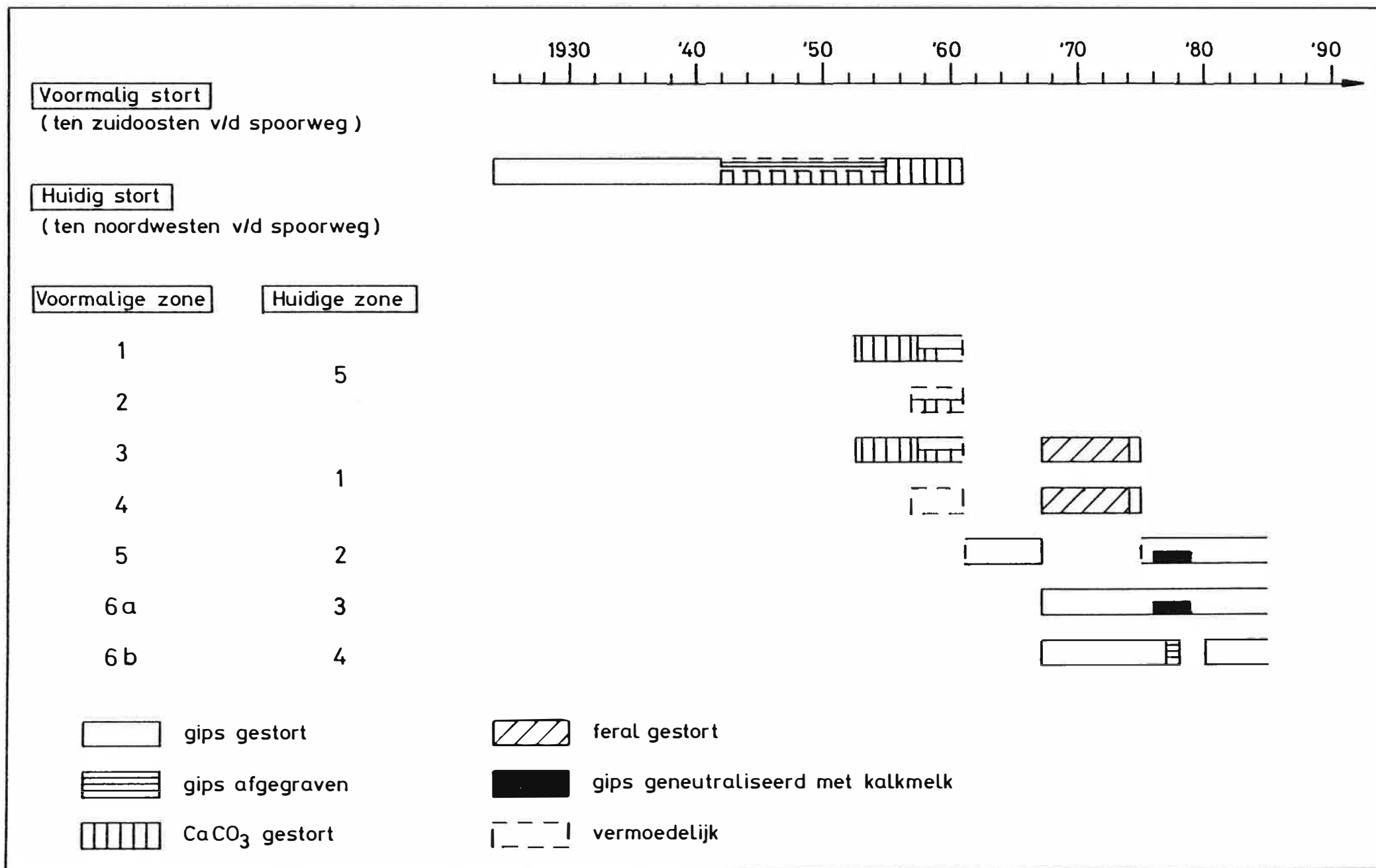
Vanaf 1942 (S. MANGIN, 1978), tot in 1968, werd gips met ammoniumcarbonaat omgezet tot calciumcarbonaat en ammoniumsulfaat. Op basis van de geproduceerde hoeveelheden net voor de Tweede Wereldoorlog kan de hoeveelheid beschikbaar afvalgips in 1942 begroot worden op ca. 800.000 ton. In de jaren vijftig was alle afvalgips van het voormalige stort afgegraven en verwerkt tot ammoniumsulfaat. Er werd toen zelfs natuurlijk gips aangekocht om aan de produktie te kunnen beantwoorden. Het residuair calciumcarbonaatafval werd teruggestort op het voormalig stort of op het nieuw (huidig) stort of verkocht. Vanaf 1961 is het voormalig stort buiten gebruik. Figuur 18 is een poging tot rekonstruktie van de stortactiviteiten.

#### 4.4.2.2. Het huidige gipsstort

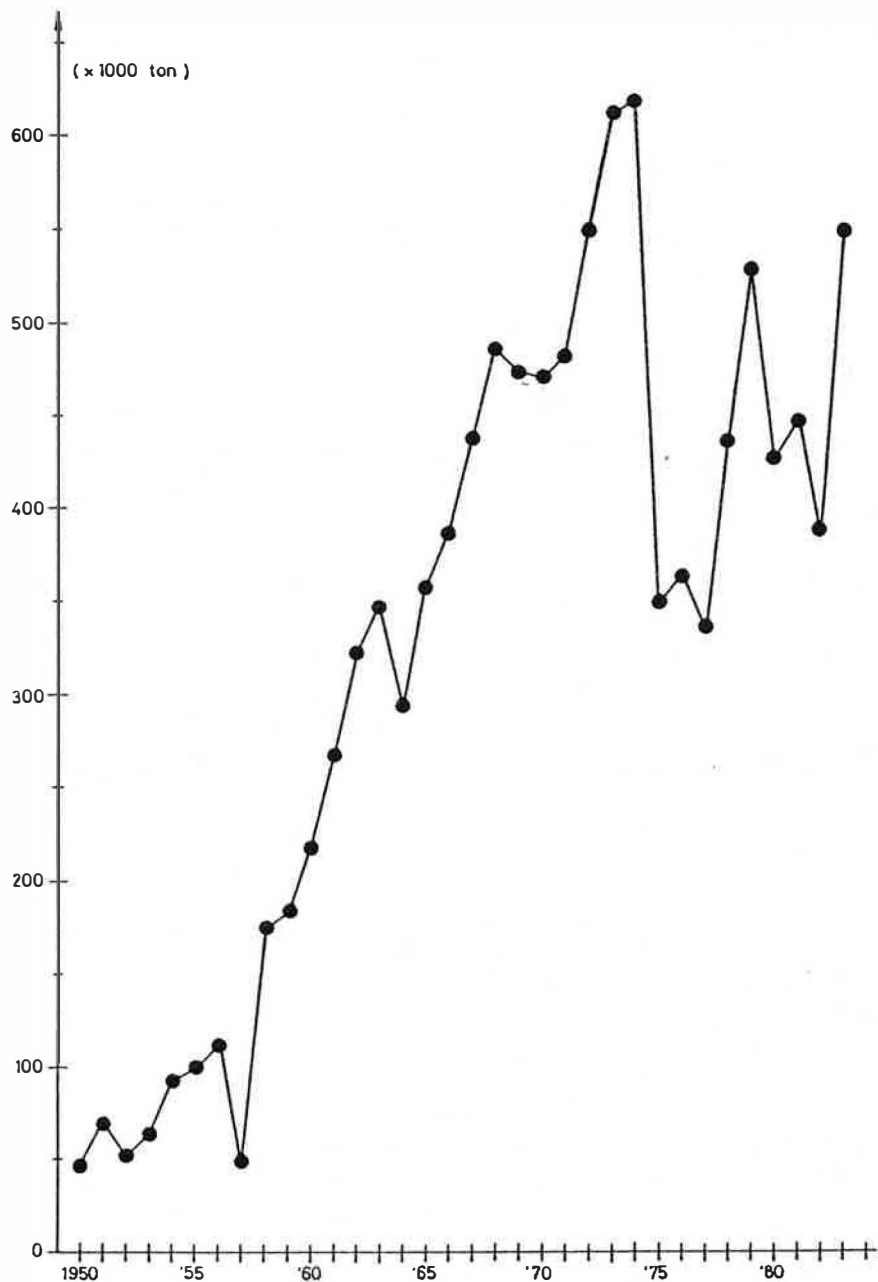
Bepaalde percelen welke deel uitmaken van het huidige gipsstort werden reeds aangekocht in 1936-37. Op basis van de luchtfoto's kan men stellen dat de stortactiviteiten er begonnen tussen augustus 1952 en augustus 1953, meer bepaald op de percelen 643, 644, 645 en 646 (bijlage 5). Aanvankelijk werd calciumcarbonaat, afkomstig van de ammoniumsulfaatproduktie, gestort. Op het einde van de jaren vijftig, waarschijnlijk omstreeks 1957-58, werd de gipsproduktie zodanig groot (fig. 19 en 20) dat het overtollige gips samen met het calciumcarbonaat werd gestort. Deze eerste stortactiviteiten vonden plaats in de voormalige zones 1, 2 en 3 van het stort. De indeling van het stort in zones is weergegeven in figuur 21. Het gebied met de zuivere calciumcarbonaat



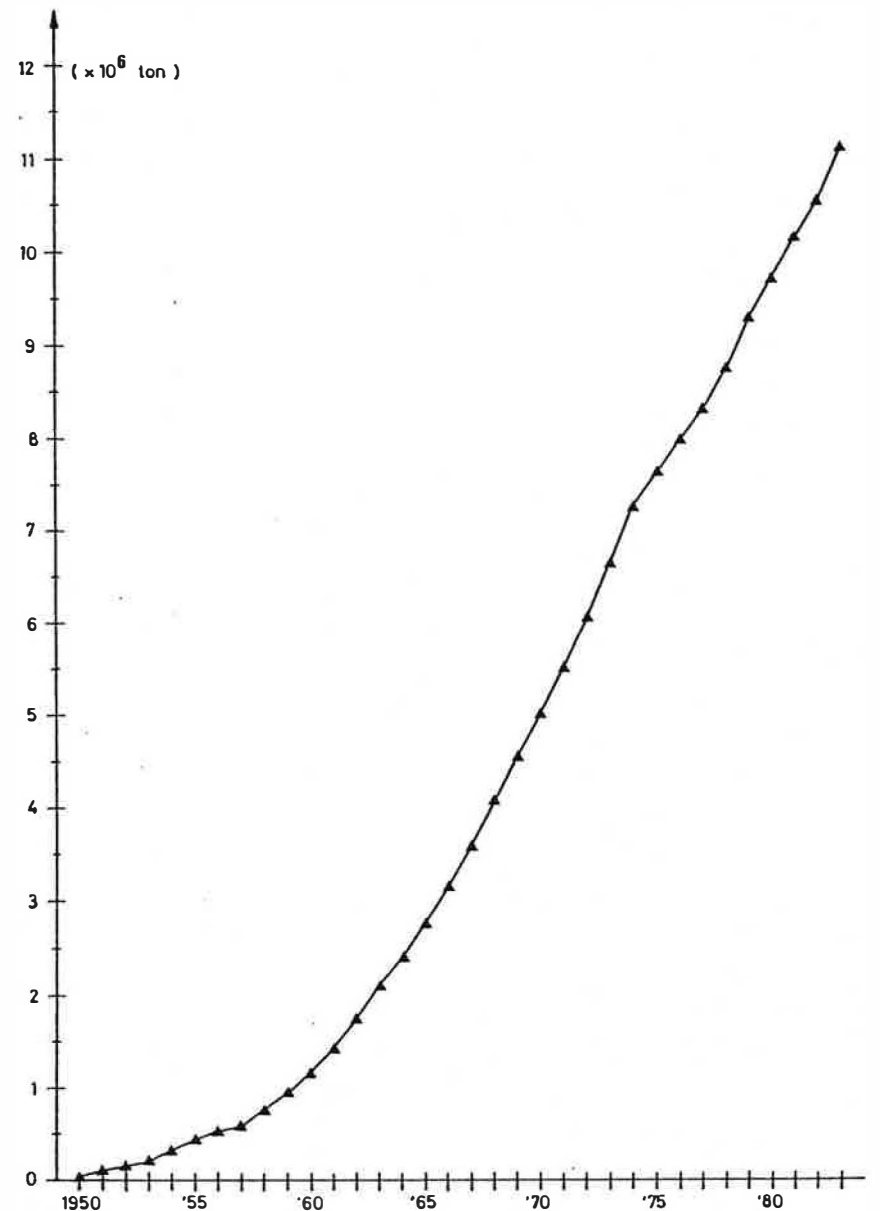
Figuur 17 - Uittreksel uit de topografische kaart welke de toestand aangeeft in 1938  
(MILITAIR CARTOGRAFISCH INSTITUUT, 1948).



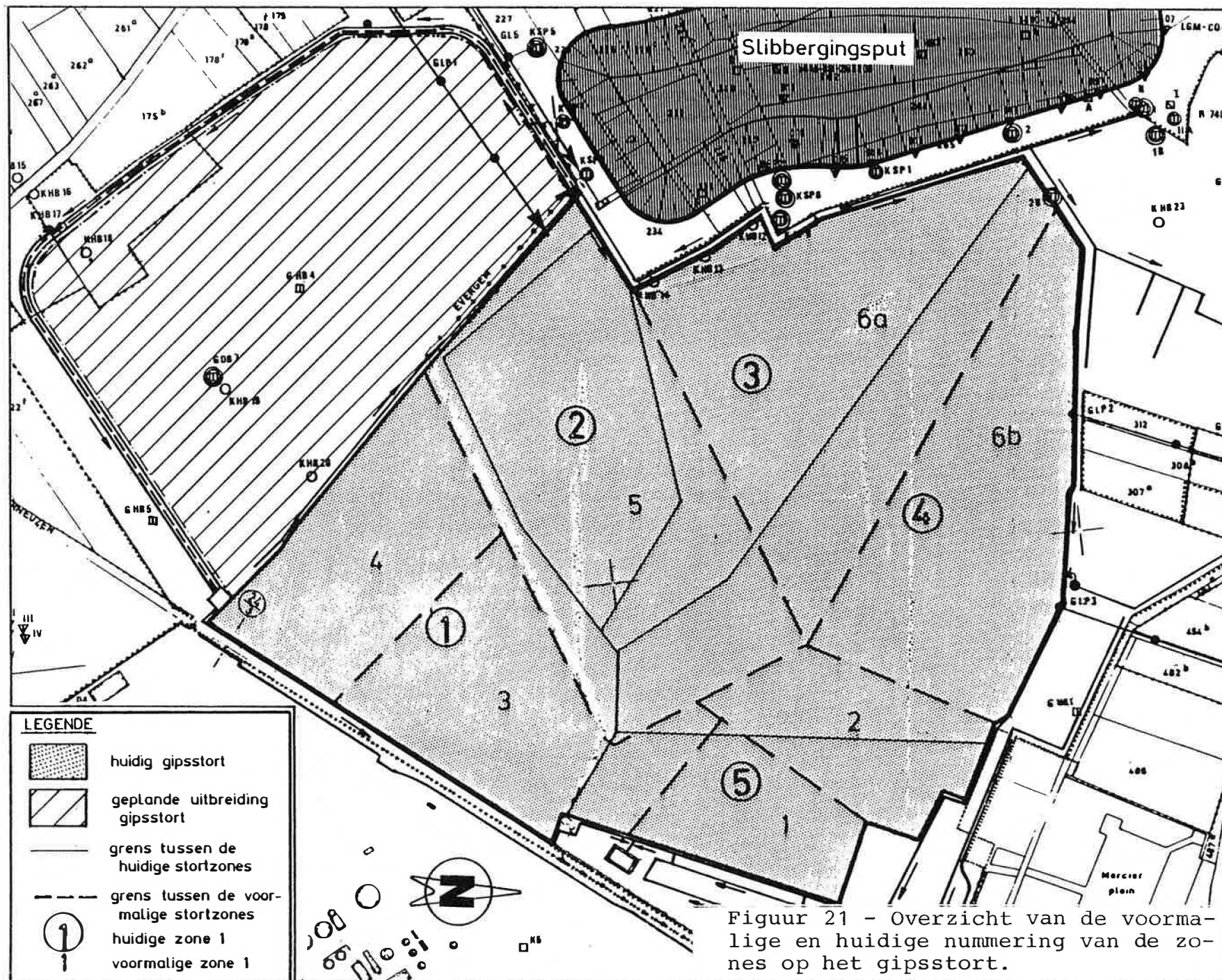
Figuur 18 - Schematische voorstelling van de stortactiviteiten.



Figuur 19 - Jaarlijkse gipsproduktie op het bedrijf vanaf 1950.



Figuur 20 - Totale gipsproduktie op het bedrijf sinds 1950.



Figuur 21 - Overzicht van de voormalige en huidige nummering van de zones op het gipsstort.



bevindt zich waarschijnlijk nabij de grens tussen de voormalige zones 1 en 3. Het is niet duidelijk wanneer de voormalige zone 4 in werking werd gesteld; vermoedelijk vanaf 1957-58.

Vanaf 1961 werd het oude stort, ten zuiden van de spoorweg, niet meer gebruikt; op dat ogenblik was reeds ca. 350.000 ton gips en calciumcarbonaat gestort op het toen ca. 20 ha groot nieuw stortterrein. Het is vermoedelijk omstreeks 1961 dat de voormalige zone 5 in gebruik werd gesteld terwijl de stortactiviteiten op de voormalige zones 1, 2, 3 en 4 afnamen.

Uit de luchtfoto's blijkt dat na mei 1966, vermoedelijk tijdens het laatste kwartaal van 1967, de zones 6a en 6b in gebruik werden genomen. Omstreeks dit tijdstip bedroeg de hoogte van de voormalige zone 5 reeds 10 m.

In het begin van de jaren zeventig veranderd de configuratie van de stortzones min of meer; de zones worden dan genummerd van 1 tot 5. Op de figuur 21 naast zijn de oude ook de nieuwe zonenummers aangegeven. De respektievelijke oppervlakten van de huidige zones bedragen per gemeente :

- zone 1 : 9 ha 76 a 44 ca (Evergem)  
          1 ha 96 a 92 ca (Zelzate)
- zone 2 : 6 ha 38 a 26 ca (Zelzate)
- zone 3 : 7 ha 86 a 67 ca (Zelzate)
- zone 4 : 16 ha 17 a 93 ca (Zelzate)
- zone 5 : 5 ha 74 a 52 ca (Zelzate)
- zone 6 (geplande uitbreidingszone van het gipsstort :  
          17 ha 15 a 10,5 ca (Evergem)  
          17 a 12 ca (Zelzate)

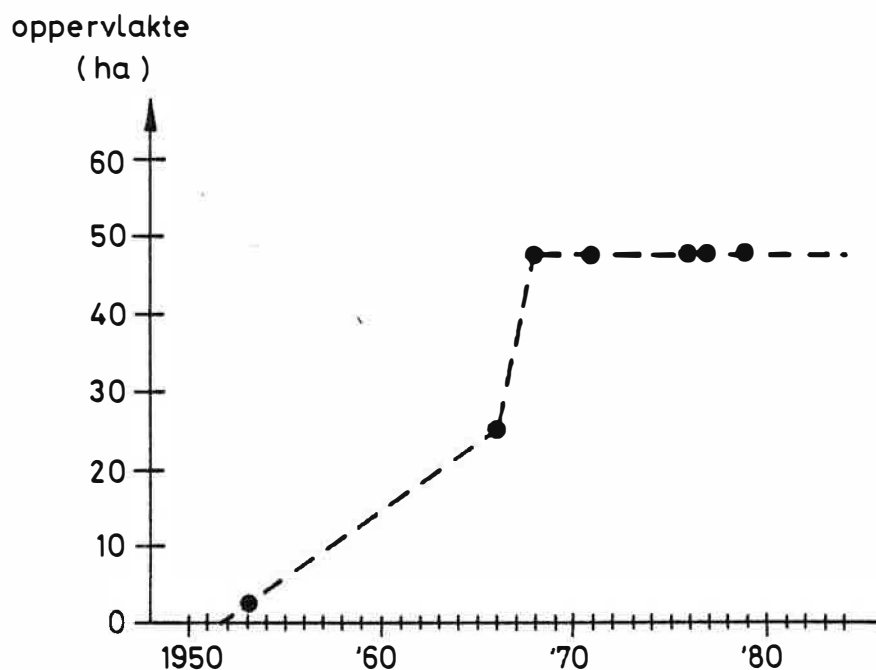
De totale oppervlakte, zonder de uitbreiding, bedraagt thans 47,9 ha.

In de huidige zone 1 werd op het einde van de jaren zestig een bekken gegraven waarin tot 1974 feral wordt gestort. Feral is een ijzer-aluminiumfosfaat bekomen uit de produktie van ammoniumfosfaat en tripolyfosfaat. Een type feral-analyse geeft volgende resultaten :  
39,4 % H<sub>2</sub>O; 30 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 4,5 % NH<sub>3</sub>; 0,3 % Na<sub>2</sub>O; 7,33 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 103 % CaO;  
4,5 % MgO; 3,1 % SiO<sub>2</sub>; 3,0 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en 13 % F. Het feral heeft hetzelfde uitzicht als het afvalgips. De hoeveelheid gestort feral wordt geschat op 30.000 ton; de dikte op 3 m. Rekening houdend met een volumemassa van ca. 1,25 ton/m<sup>3</sup> kan de oppervlakte van het bekken begroot worden op ca. 8000 m<sup>2</sup>. In 1974 werd de huidige zone 1 een laatste maal opgespoten tot de huidige hoogte van ca. 16 m.

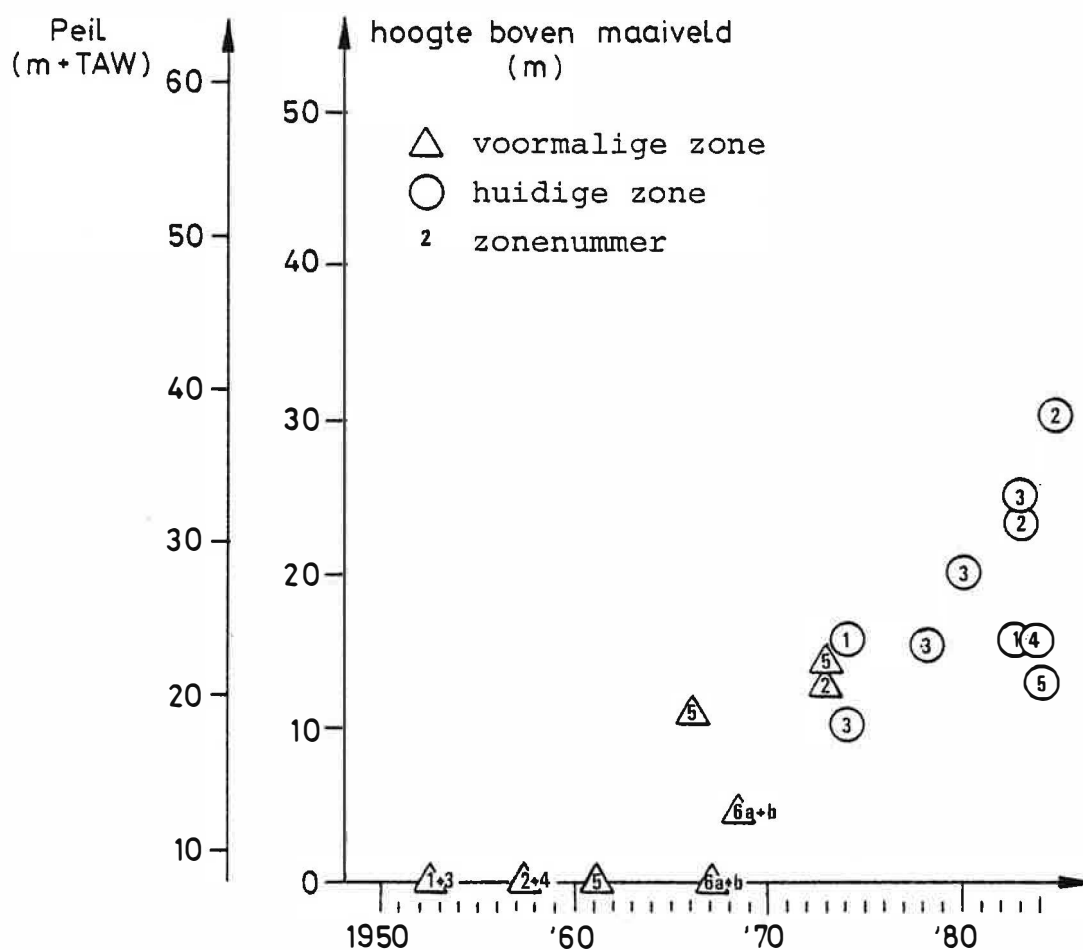
Vanaf 1976 en dit tot 1979 werd het vers gestorte gips met kalkmelk geneutraliseerd. Deze geneutraliseerde lagen bevinden zich vooral op de huidige zones 2 en 3.

In de huidige zone 4 wordt eind 1976, begin 1977 ca. 50.000 m<sup>3</sup> gips afgegraven ten behoeve van twee experimentele gipsophogingen welke zouden dienst doen als landhoofden van een brug op de rijksweg RW 726, over rijksweg RW 617. De huidige zone 4 werd slechts hergebruikt worden in 1980. Sindsdien worden de zones 2, 3 en 4 afwisselend gebruikt.

De totale hoeveelheid gips, calciumcarbonaat en feral op het huidige stort kan geraamd worden op 10,5 tot 11 x 10<sup>6</sup> ton (begin 1984). De figuren 22 en 23 schetsen de evolutie van de totale oppervlakte en van de hoogte per zone van het gipsstort; deze figuren werden opgesteld aan de hand van luchtfoto's en van gegevens ontvangen van het bedrijf.



Figuur 22 - Rekonstruktie van de evolutie van de totale oppervlakte van het gipsstort.



Figuur 23 - Rekonstruktie van de evolutie van de hoogte der stortzones.

## 4.5. Vergunningstoestand

### 4.5.1. Bouwvergunning

Het is slechts met de wet van 29 maart 1962, houdende de organisatie van de Ruimtelijke Ordening en van de Stedebouw, dat de reliëfswijzigingen bouwvergunningsplichtig werden. Dit betekent dan ook dat het voormalige gipsstort ten zuidoosten van de spoorweg, aangelegd werd zonder officiële bouwvergunning. Wel is er toendertijd een mondelinge toestemming verleend door de toenmalige burgemeester van Zelzate.

Wanneer echter, in 1973, bij VENECO een optie werd genomen voor de aankoop van gronden waar thans de slibbergingsput ligt, werd een principiële bouwvergunning gevraagd aan de gemeente Zelzate, zowel voor de in optie genomen terreinen als voor het bestaande gipsstort. In een brief van 21 december 1973 aan de gemeente Zelzate vermeldt het bedrijf dan ook duidelijk :

"Tevens willen wij deze aanvraag te baat nemen om de toestand van onze bestaande gipsterreinen te regulariseren en beide terreinen in één vergunning verenigd te zien".

Deze bouwvergunning, waarmee de gemeente Zelzate akkoord ging, werd echter geweigerd doordat ondertussen het STAATSSECRETARIAAT VOOR STREEKECONOMIE, RUIMTELIJKE ORDENING EN HUISVESTING (1974) het ontwerp van gewestplan had uitgebracht waarin het bestaand gipsstort als bufferzone werd aanzien en de gevraagde uitbreiding gedeeltelijk als bufferzone en gedeeltelijk als industriezone.

Ingevolge het protest door het bedrijf gevoerd tegen dit ontwerp van gewestplan, daarbij gesteund door de omliggende gemeentebesturen, kwam er in dat gewestplan een speciale rubriek die van het gipsterrein een stortgebied maakte. In het Koninklijk Besluit van 14 september 1977 werden aanvullende stedenbouwkundige voorschriften in het gewestplan het Gentse en de Kanaalzone aangebracht en het Koninklijk

Besluit voorzag in zijn artikel 3 het tot stand komen van stortgebieden en meer bepaald dat van het bedrijf. Bijgevolg kreeg het gipsstort, na de aanvankelijke weigering, in 1977 een officiële bouwvergunning, niet meer toegestaan door de gemeente maar wel rechtstreeks bij Koninklijk Besluit van 14 september 1977 en geldig niet alleen voor het gedeelte dat op het grondgebied Zelzate lag, maar ook voor dat op Ertvelde.

Vanaf de aanvang van de onteigeningsprocedure via VENECO van de terreinen te Evergem, die de geplande uitbreiding van het gipsstort uitmaken, werd een principiële bouwvergunning gevraagd aan de gemeente Evergem. Deze dateerde van 10 februari 1981. Zij werd eveneens, voor zover als nodig aan de gemeente Zelzate toegestuurd en werd positief beantwoord. Een jaar later, per 15 maart 1982, toen bleek dat alleen de vergunning van Evergem nodig was voor de uitbreiding van het gipsstort, werd de definitieve bouwvergunning aangevraagd en verkregen op 2 augustus 1982. De enige voorwaarde was dat rondom het terrein, alsook op de afgewerkte glooiingen, een groenbeplanting aangebracht werd.

#### 4.5.2. Uitbatingsvergunning

De uitbatingsvergunning is vereist sinds het invoege treden van het Koninklijk Besluit van 18 Juli 1973 dat industrieel afval vergunningsplichtig stelde. Daarop volgde een hele controverse met o.m. het Ministerie van Tewerkstelling en Arbeid, Administratie van de Arbeidsveiligheid, omtrent het feit of gips al dan niet afval was en dan nog afval, die van aard was het leefmilieu te verontreinigen, zoals in het K.B. voorzien was; tevens stelde zich de vraag of de stortplaats voor gips al dan niet binnen de omheining van de fabriek kon worden beschouwd. Het persoonlijk bezoek van de Gouverneur van de Provincie aan het bedrijf stelde een punt achter de controverse doordat het bedrijf zich bereid verklaarde de uitbatingsvergunning aan te vragen. Deze werd ontvangen op 22 augustus 1975. In 1980 werd de vergunning, op aanvraag van het bedrijf, gewijzigd zowel voor wat de neutralisatie met kalk als wat de storthoogte betreft (vergunningsbesluit van 19 september 1980).

Op 18 maart 1982 richtte het bedrijf een vraag tot uitbatingsvergunning voor de geplande uitbreiding aan de Bestendige Deputatie. Deze aanvraag is onbeantwoord gebleven omdat op 21 april 1982 een aantal besluiten i.v.m. de afvalstoffen is verschenen. Het bedrijf beslistte een nieuwe vergunningsaanvraag in te dienen (mei 1983) tot het exploiteren van een opslagplaats voor gips op het grondgebied van Zelzate en Evergem (bestaand terrein en uitbreiding). Op 3 oktober 1983 ging het bedrijf in beroep tegen de beslissing van de Bestendige Deputatie van 28 augustus 1983 inzake de nieuwe exploitatievergunning. Dit beroep werd beslecht met een vergunning (bijlage 6) verleend door de Gemeenschapsminister van Leefmilieu J. LENSSENS op 23 januari 1984, waarin voor wat het bestaand terrein betreft, de oude vergunning gehandhaafd werd voor een periode van 20 jaar, en voor wat de uitbreiding betreft, een opschorting van exploitatie werd voorzien gedurende 3 jaar, dit ten einde onderhavige hydrogeologische studie te kunnen uitvoeren.

#### 4.6. Uitbating van het gipsstort

##### 4.6.1. Stortwijze en problemen

De eerste stortvakken werden toendertijd klaar gemaakt door het opduwen van de oppervlakkige grondlaag tot perskaden die ringdijken vormden. Binnen deze laatste werd de gipssuspensie hydraulisch aangevoerd. Na bezinking van het gips werd het bovenstaande gipswater afgeheveld naar een buitengracht van waaruit het naar het kanaal werd gepompt. Eenmaal het bekken volgepompt werd in een ander klaargemaakt bekken gestort. Na stabilisatie van het opgespoten gips, dit is na 3 weken tot 6 maanden, werd overgegaan tot het ophogen van nieuwe dijken van ca. 2 m hoogte, bestaande uit gips van het bezinkingsbekken zelf. Aanvankelijk bedroeg de helling van het talud ca. 30°.

In 1965 werd beslist bij verdere ophoging enkele meters verwijderd te blijven van het oorspronkelijk talud. In de ontstane ruimte werd een gracht voorzien om water te detekteren en op te vangen. Sinds 1970 doet het bedrijf voor wat betreft de stabiliteit van het stort beroep op Dr. ir. Y. LEBEGUE, deskundige op het gebied van grondmechanica en verbonden is aan het CEBTP (CENTRE EXPERIMENTAL D'ETUDES DU BATIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS) te Parijs. Deze zorg voor de stabiliteit was gerezen na een aantal doorbraken van water uit het gipsstort. Een overzicht van de incidenten met het gipsstort en van de genomen maatregelen is weergegeven in bijlage 7. De meeste doorbraken worden door het bedrijf toegeschreven aan volgende oorzaken :

- de aanwezigheid, in de onderkant van bepaalde zones van het gipsstort, van in zuur water oplosbaar calciumcarbonaat;
- een te steil talud;
- de kleine verticale doorlatendheid van het gips in het stort evenals de kleine doorlatendheid van de voet der initiële dijken;

- een te kleine pakkingsdichtheid van de dijken bij hun aanleg;
- de aanwezigheid van scherpe hoeken en aanleuningen in de zonekonstruktie.

Sinds 1971 worden de buitendijken aangelegd met een helling van 1 op 2,5. Op de plaatsen waar zich voorheen stabiliteitsproblemen hebben voorgedaan is een veiligheidsstrook aangelegd; de huidige zone 1 wordt niet meer opgehoogd sinds 1974, terwijl de zones 2 en 3 van een veiligheidsstrook zijn voorzien.

Een zicht op een bezinkingsbekken in 1984 is gegeven in de foto 5.

#### 4.6.2. Drainering

Het bestaande gipsstort evenals de geplande uitbreidingszone zijn thans omgeven door een dubbele ringgracht. In de binnenste ringgracht wordt het transportwater van het gips overgeheveld. De ringgrachten welke een diepte hebben van 0,5 tot 1 m hebben tevens een geringe drainerende werking. Vóór 1980 stonden de grachten in verbinding met de omringende sloten en greppels; gipstransportwater kwam op deze wijze terecht in zowel de Zwarte Sluispolder als in het bekken van de Avrijevaart. Thans is het systeem, wat de oppervlaktewateren betreft, volledig geïsoleerd van de omringende waterlopen (fig. 24). Op de PLAAT IV zijn alle omringende waterlopen evenals de ringgrachten van het bedrijf aangegeven zoals ze thans bestaan.

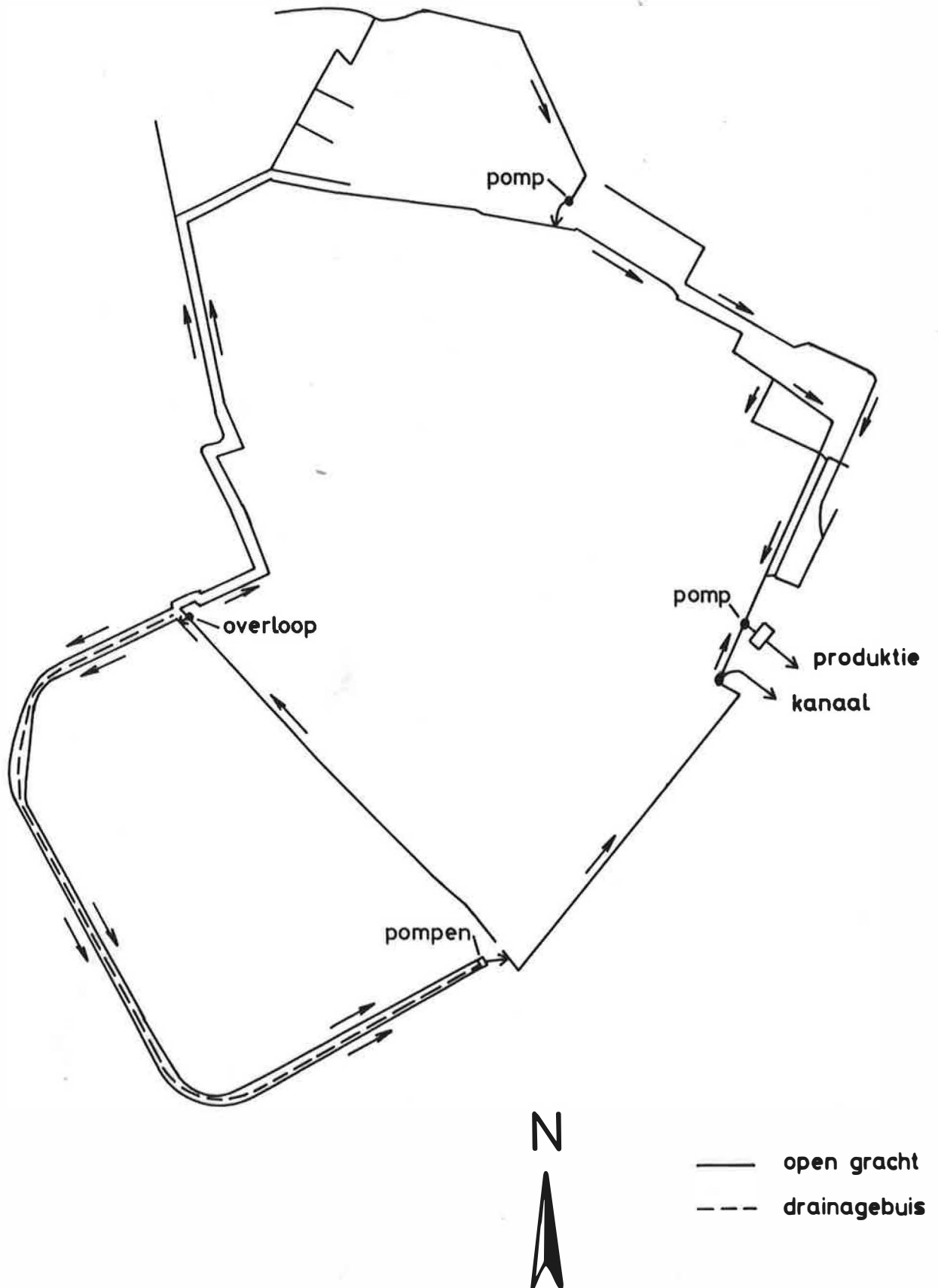
Rond de geplande uitbreidingszone is in februari 1983, tussen de ringgrachten, een drainagesysteem aangelegd bestaande uit een drie meters diep gelegen drainagebuis van 160 mm diameter omgeven door

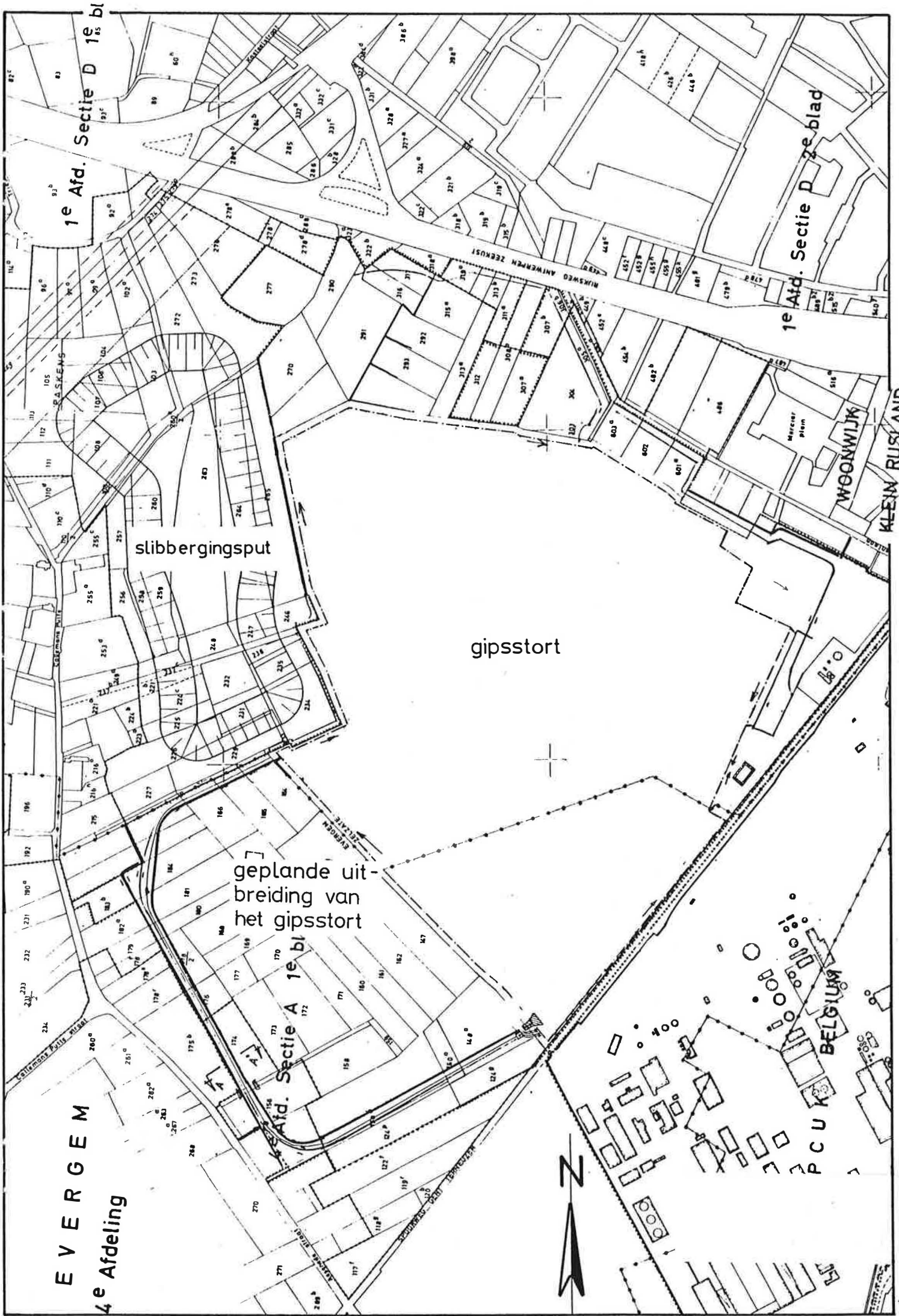




Foto 5 - Zicht op een bezinkingsbekken  
op het stort van RHONE-POULENC  
CHEMIE N.V. in 1984.

figuur 24 - Planzicht van de huidige drainage rond het bestaande en het geplande gipsstort.





EVERGEM  
4e Afdeling

1e Afd. Sectie D 1e bl

1e Afd. Sectie D 2e blad

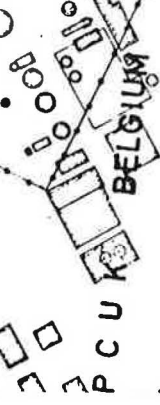
1e Afd. Sectie A 1e bl

slibbergingsput

gipsstort

geplande uitbreiding van het gipsstort

BELGIUM



een textiel Bidim U34 van 600 mm diameter; de ringvormige ruimte tussen beide evenals het geheel zijn respectievelijk gevuld en bedekt met grint. De fotoreeks 6 geeft twee zichten op de aanleg van het drainagesysteem terwijl figuur 25 een doorsnede met detail voorstelt.

Artikel 6, §1, van de huidige uitbatingsvergunning (bijlage 6) bepaalt dat een efficiënt drainagesysteem dient aangebracht te worden zodanig dat verontreiniging van het grondwater vermeden wordt; hierop wordt uitvoeriger ingegaan in het hoofdstuk 7.

#### 4.7. Waterbalans van het gipsstort

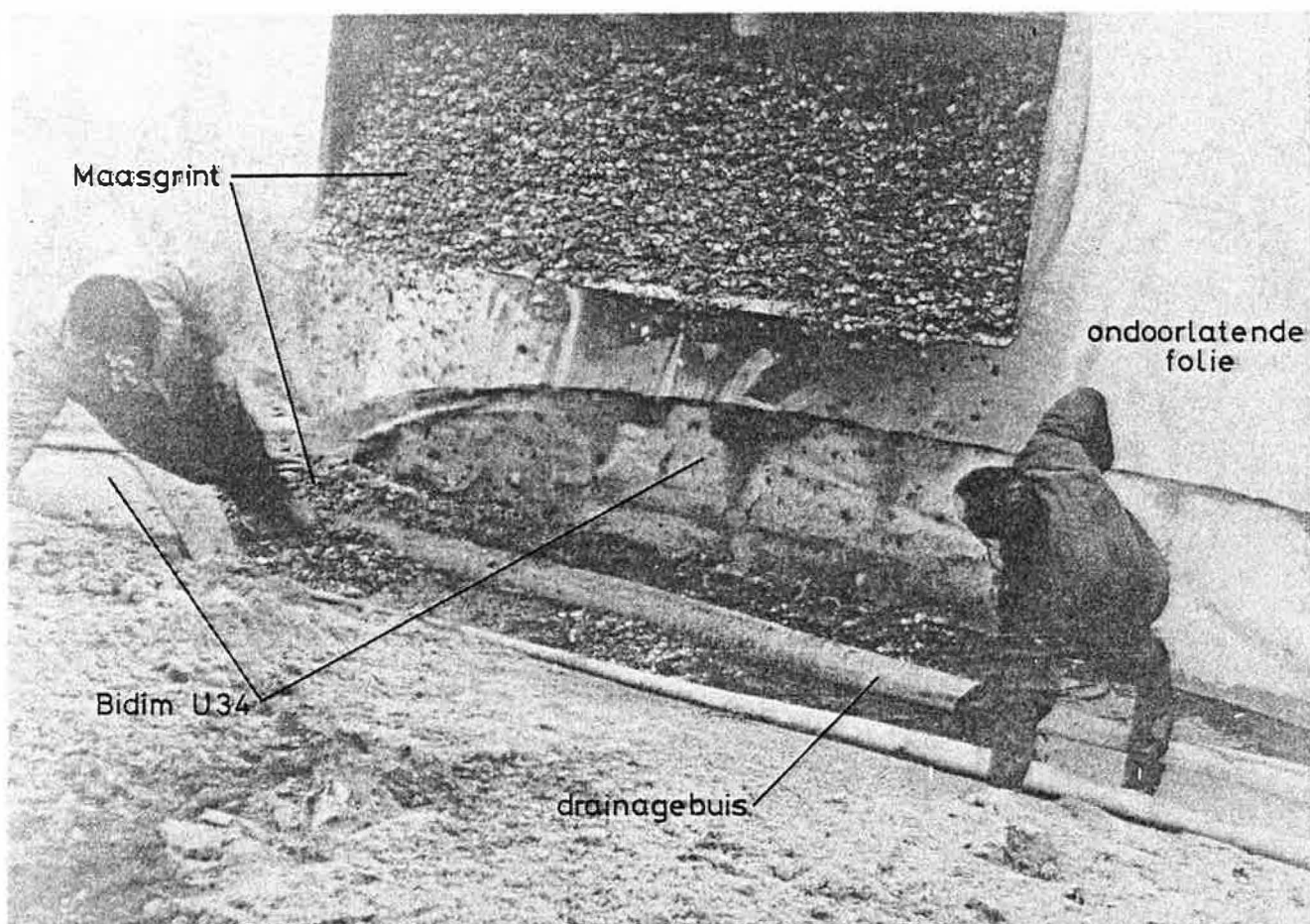
##### 4.7.1. Jaarbalans op basis van gegevens van 1984

Om de waterbalans van het huidig stort nauwkeurig te berekenen zijn er te weinig waarnemingen. Daarom leveren de onderstaande berekeningen slechts een benaderend resultaat.

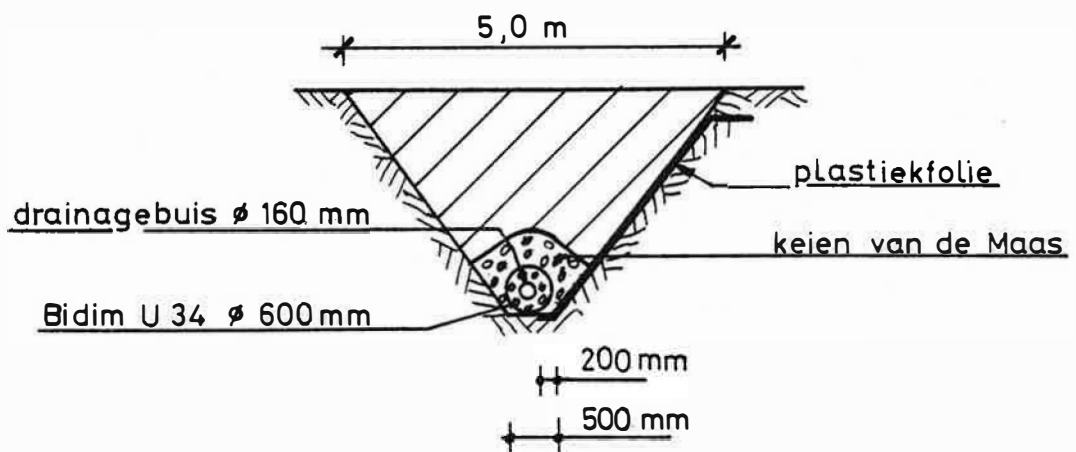
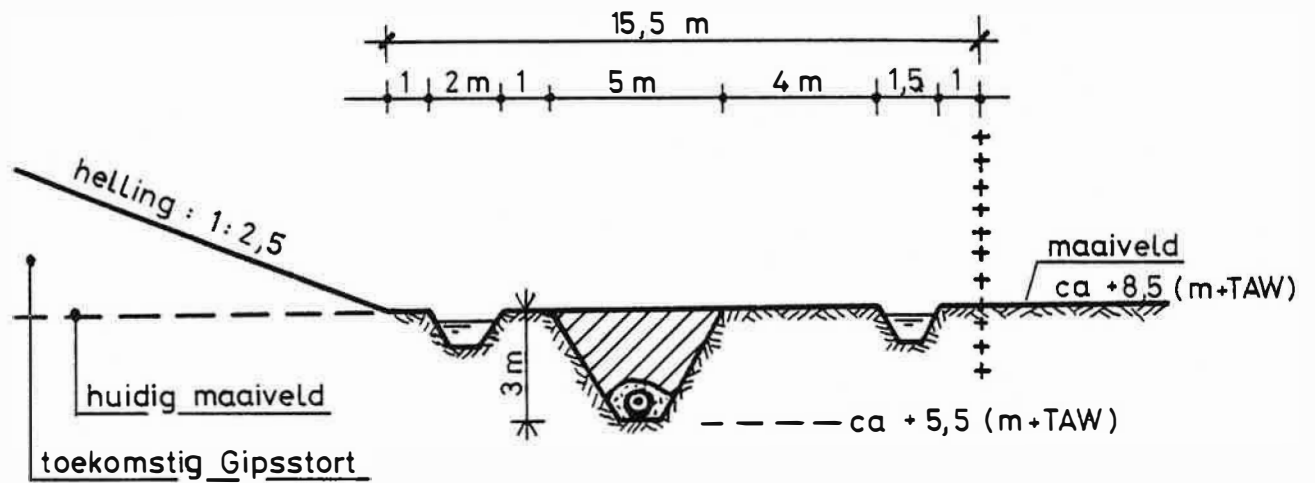
Het neerslagoverschot N, d.i. de hoeveelheid water van de oorspronkelijke neerslag R welke de grondwatertafel bereikt na de verdamping E, bedraagt in onze streken ca. 280 mm per jaar of 0,28 m /m .j. Rekening houdend met een oppervlakte van 48 ha voor het bestaande stort betekent dat:

$$N = 0,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

Het jaarlijks aangewende volume transportwater T kan begroot worden uit de gipsproduktie wanneer men weet dat de gewichtsverhouding gips-transportwater in de suspensie thans gemiddeld 1 op 6,5 bedraagt. Vanaf 1986 zal deze, ten gevolge van het aanwenden van nieuwe filters, vergroten naar 1 op 3 tot 4. Tussen 1961 en 1983 bedroeg de



Fotoreeks 6 - Zichten op de aanleg van de drainage rond de geplande uitbreidingszone van het gipsstort (februari 1983).



figuur 25 - Doorsneden door het drainagesysteem rond het geplande gipsstort.

gemiddelde jaarlijkse gipsproduktie ca. 430.000 ton; deze hoeveelheid is van dezelfde grootte-orde als de produktiehoeveelheden van de laatste jaren. Men heeft dus :

$$T = 430.000 \times 6,5 = 2,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

Metingen uitgevoerd tijdens twee weken in de zomer en de late herfst van 1984 hebben als resultaat gegeven (G. SWAELENS & Y. VERVENNE, 1984):

$$T = 6000 \text{ m}^3/\text{d} = 2,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

en

$$T_{\text{max}} = 7700 \text{ m}^3/\text{d} = 2,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

De waarde van T is sterk afhankelijk van de hoeveelheid geproduceerd gips.

Tijdens de hierboven vermelde periode is, steunend op waarnemingen en op berekeningen uit de watrekwaliteiten, volgende waarde bepaald :

$$H = 3200 \text{ m}^3/\text{d} = 1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

met H = gemiddeld volume dat per dag wordt overgeheveld naar de ringgrachten en

$$H_{\text{max}} = 4700 \text{ m}^3/\text{d} = 1,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

In de onverzadigde zone, boven de grondwatertafel in het stort, blijft tevens een hoeveelheid O van het oorspronkelijk transportwater achter. Rekening houdend met een watergehalte (w) van 25 % is:

$$O = 430.000 \times 0,25 = 0,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

De hoeveelheid water I die de grondwatertafel in het stort bereikt is dan :

$$I = N + T - H - O = 1,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

Dit betekent een infiltratie, omgerekend tot de totale oppervlakte van het stort, van ca. 3300 mm per jaar.

Volgens G. SWAELENS & Y. VERVENNE (1984) is er een gemiddelde zijdelings uittredende waterhoeveelheid U :

$$U = 1000 \text{ m}^3/\text{d} = 0,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

en

$$U_{\text{max}} = 2200 \text{ m}^3/\text{d} = 0,8 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

De hoeveelheid perkolaat P die onderaan het stort uit-treedt en in de oorspronkelijke grond terechtkomt is :

$$P = I - U - \Delta B$$

met  $\Delta B$  = bergingsverandering t.g.v. de beweging van de grondwater-tafel :

Met B gelijk aan 0 zou :

$$P = 1,6 \times 10^6 - 0,4 \times 10^6 = 1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}.$$

Bij hogergemaakte berekeningen is er evenwel van uitgegaan dat de jaarproduktie van gips ca. 430.000 ton bedraagt en dat de waarnemingen uitgevoerd in de zomer en late herfst representatief zijn voor geheel het jaar. Vooral over de parameters H en U bestaan in dat verband twijfels.



Ook voor de volgende berekeningen geldt deze opmerking; uit de nota van G. SWAELENS & Y. VERVENNE (1984) kan worden afgeleid dat, voor de hogergenoemde periode althans, van het ringgrachtwater een hoeveelheid  $F$  gelijk aan  $3200 \text{ m}^3$  per dag herwonnen wordt ten behoeve van de fosforzuurafdeling; dit volume kan grotendeels terug aangewend worden als gipstransportwater. Een volume ringgrachtwater  $V$ , variërend van 0 tot  $1550 \text{ m}^3$ , gemiddeld  $1000 \text{ m}^3$  per dag, liep via een overloop terug naar het kanaal terwijl gemiddeld  $2000 \text{ m}^3$  (D) drainagewater van de geplande uitbreidingszone per dag eveneens in het kanaal terechtkwam. Extrapolerend naar een jaar vindt men :

$$F = 1,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$V = 0,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$D = 0,7 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$$

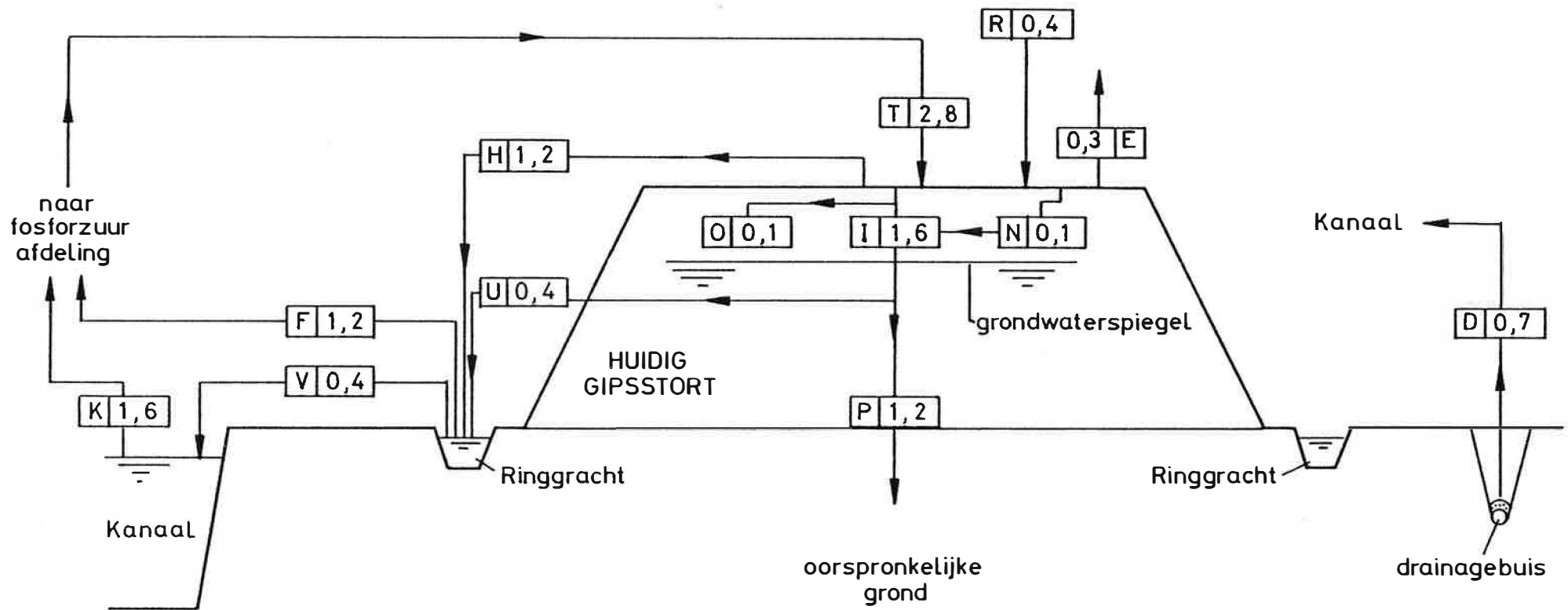
Rekening houdend met de waterbalans voorgesteld in de figuur 26 kan de per jaar aan te wenden hoeveelheid kanaalwater  $K$  begroot worden :

$$K = T - F = 2,8 \times 10^6 - 1,2 \times 10^6 = 1,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j} = 4384 \text{ m}^3/\text{d}$$

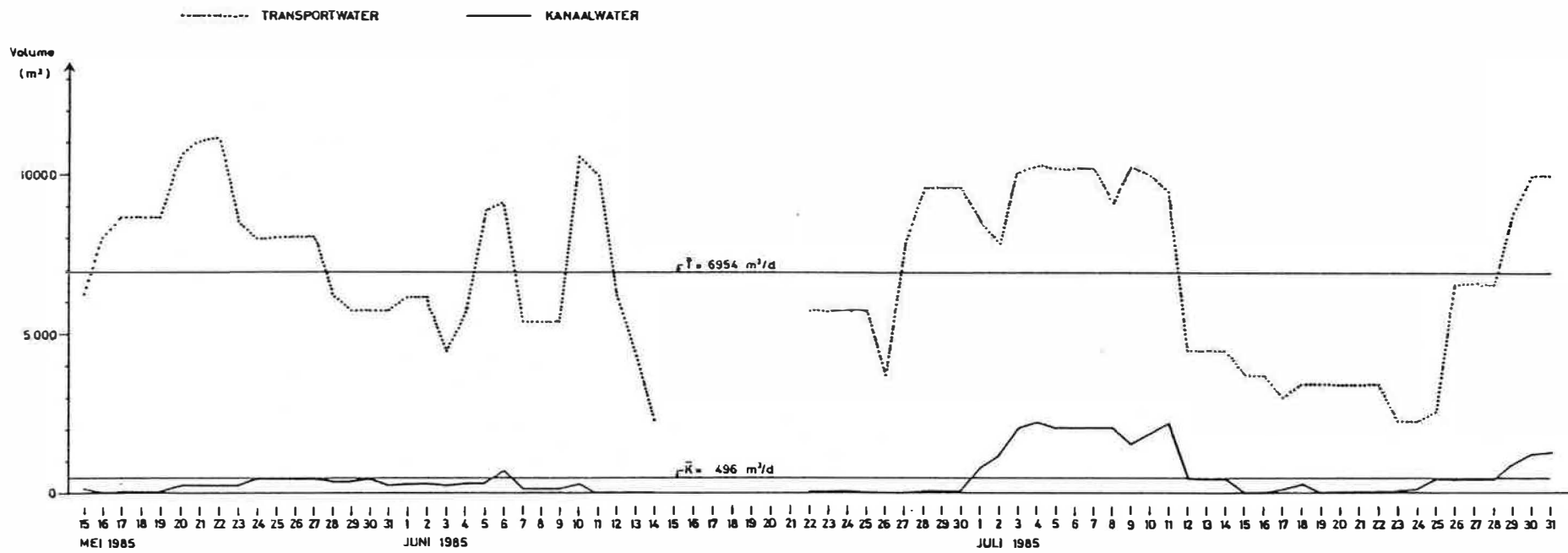
Dit betekent dat ca. 57 % van de totale hoeveelheid gipstransportwater kanaalwater zou zijn.

#### 4.7.2. Vergelijking met gegevens van 1985 (Fig. 27)

Op grond van de informatie opgenomen in het nieuw aangelegde stortregister werden de volumes gipstransportwater  $T$  en opgepompt kanaalwater  $K$  berekend of overgenomen en per dag uitgezet voor de periode van 15 mei tot 31 juli 1985. Gedurende deze periode is gemiddeld ca.  $7000 \text{ m}^3$  transportwater per dag aangewend; omgerekend per jaar is dit  $2,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Het gemiddeld volume per dag opgepompt kanaalwater bedroeg ca.  $500 \text{ m}^3$  of per jaar  $0,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Deze waarde, ca. 6,2 % van  $T$ , is geenszins in overstemming met de waarde voor  $K$  gevonden in paragraaf



Figuur 26 - Schematische voorstelling van de huidige waterbalans van het gipsstort (waarden in  $10^6 \text{ m}^3$  per jaar).



Figuur 27 - Volumens gipstransportwater en opgepompt kanaalwater tussen 1 mei 1985 en 31 juli 1985.

4.7.1 op basis van enkele waarnemingen in 1984. Uit inlichtingen ingewonnen bij de fosforzuurafdeling blijkt dat in het "droge seizoen" een niet gemeten hoeveelheid van het drainagewater van de geplande uitbreidingszone herwonnen wordt; hierdoor dient minder kanaalwater te worden opgepompt. Het verschil tussen de waarde  $1,6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$  voor K in de vorige paragraaf en  $0,2 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$  in deze is echter groot in vergelijking met de reeds berekende waarde  $V + D$  ( $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{j}$ ).

Uit deze ramingen, gesteund op zeer fragmentarische gegevens, blijkt dat het optimaliseren van het watergebruik onmogelijk is zonder de diverse deelstromen grondiger te kennen. Het zou aangewezen zijn aanvankelijk meer waarnemingen te doen en maandelijkse belansen op te stellen. Dit zou kunnen gebeuren overeenkomstig artikel 10, §3, van de huidige uitbatingsvergunning dat bepaalt dat een regelmatige evaluatie dient te gebeuren van o.a. de kwantiteit van het perkolatiewater in de ringsloot en van het kanaalwater gebruikt als drager van het gips.

#### 4.7.3. Toekomstige balans

Zonder berekeningen uit te voeren kan toch verwacht worden dat de ingebruikname van de geplande uitbreidingszone van het stort geen fundamentele verandering van de waterbalans zal teweegbrengen op voorwaarde dat de gipsproduktie van dezelfde grootte-orde blijft.

Een grotere hoeveelheid grondwater zal wel beschikbaar komen indien de drainagebuis volledig rondom het stort wordt aangelegd.

## 4.8. Hydraulische kenmerken van het gipsstort

### 4.8.1. Algemeen

Met het oog op de simulatie van de grondwaterstroming en kwaliteit met het mathematisch model is het noodzakelijk om over nauwkeurige informatie aangaande de hydraulische eigenschappen van het gipsstort vereist.

De beschikbare gegevens aangaande de eigenschappen zijn schaars. Bovendien worden de hydraulische eigenschappen mede bepaald door allerhande factoren eigen aan het gipsstort, zoals de wijze van aanvoer van het afvalgips, de bezinkingsomstandigheden, de pakkingsdichtheid na bezinking en bedekking door recentere lagen. Daarom was een in-situ bepaling van de doorlatendheid onontbeerlijk. Daartoe werden boringen uitgevoerd in het stort. Deze werden voorzien van een pompbuis en peilbuizen teneinde een pompproef te verrichten. Uit de pompproef werden hydraulische kenmerken van het stort bekomen.

In een laatste paragraaf worden de bekomen waarden vergeleken met enkele in de literatuur genoemde grootheden.

### 4.8.2. Boringen in het gipsstort

Ter plaatse van de geplande pompproef in de zone 2 van het gipsstort (PLAAT I) werden zes spoelboringen van 150 mm diameter uitgevoerd. Een detailplan is opgenomen in bijlage 1. De diepste boring (pompput PP) bereikte het oorspronkelijke maaiveld ongeveer 30 m onder het toenmalig (september 1984) opgehoogde niveau. Daar het evenwel onmogelijk bleek om de pompbuis (diameter 125 mm) in een dergelijk boorgat tot op de gewenste diepte te laten zakken, werd het verruimd. Hierbij werd gebruik gemaakt van inspoeling in voerbuizen van 250 mm diameter. Het filterelement van deze pompput is begrepen tussen 23,6 en

27,6 m diepte en werd omstort met grof zand (0,7/0,9 mm). Boven de omstorting werd een kleistop aangebracht om van bovenaf insijpelend water te keren.

Van de andere spoelboringen bereikten er drie een diepte van 27,6 m (PB2,5F1, PB4F1, PB6,3F1). Ze werden voorzien van PVC-peilbuizen met filterelementen ter hoogte van die van de pompput. De twee overige, PB2,5F2 en PB6,3F2 zijn 19 m diep en werden afgewerkt met peilbuizen waarvan het filterelement zich tussen 17 en 19 m diepte bevindt. Omstorting en kleistop werden aangebracht op een analoge manier als bij de pompput PP.

Eén boring werd uitgevoerd met de spiraalboor tot aan de watertafel, en vervolgens tot op 27,6 m met inspoeling in voerbuizen (diameter 150 mm). Hierin werden op 8 en 12 m ongeroerde monsters\* ont-nomen. Nadien werd een peilbuis aangebracht tussen 23,6 en 27,6 m, die op de bovenvermelde manier werd omstort en voorzien van een kleistop.

Op te merken valt dat het aangeboorde materiaal vanaf een diepte van 16 m dermate hard was, dat diende te worden overgeschakeld op een rolbeitel, d.i. een boorbeitel, gebruikt in harde gesteenten. De beschrijving van de boring PP is weergegeven in bijlage 2. Gegevens i.v.m. diepten en peilen van de filters zijn opgenomen in bijlage 3. De PLAAT III geeft een beeld van de inplanting van de boringen alsook de vertikale positie van de diverse filterelementen m.b.t. de hydrogeologische bouw van de gipsberg en het onderliggende kwartaire reservoir. Bij gebrek aan een boring, die vanop de gipsberg het tertiaire substraat

---

\* De ongeroerde monsters werden naderhand niet aan proeven onderworpen in het laboratorium; er werd enkel een visueel onderzoek gedaan

bereikt, werd de hydrogeologische bouw van het kwartair onder het gipsstort beschouwd als zijnde dezelfde als ter plaatse van de pompproeven KZ1 en KZ2 in de geplande uitbreiding van het gipsterrein ca. 400 m ten zuidwesten van de proef.

#### 4.8.3. Pompproef in het gipsstort

##### 4.8.3.1. Voorbereiding en uitvoering van de pompproef

De boringen voor de installatie van de peilbuizen en de pompput werden besproken in paragraaf 4.8.2. Daaruit is gebleken dat er in het gipsstort twee lagen te onderscheiden zijn: boven een diepte van 16 m treft men weinig of niet verhard gips aan. Beneden 16 m is het afvalgips sterk verhard, waarschijnlijk door herkristallisatie. Op de foto 4 is ook te zien dat de gipskristallen onderaan in het stort kleiner zijn dan bovenaan. Of dit iets te maken heeft met een herkristallisatie is evenwel niet duidelijk. De geringe doorlatendheid van de gipsafvalberg veroorzaakt een sterke verticale gradiënt. Zo lag de stijghoogte op een diepte van 18 m, voor de aanvang van de pompproef, 6,5 m onder de grondwatertafel; deze op een diepte van 25 m lag er zelfs 8,5 m onder. De grondwatertafel zelf bevond zich op ca. 4,5 m onder het stortoppervlak (toestand september 1984).

Om tijdens de bemaling optimaal interpreteerbare verlagen in de peilbuizen te bekomen, dient bij elke pompproef de grootste aandacht te worden besteed aan de inplanting van de peilbuizen t.o.v. de pompput. Dit wordt in de eerste plaats bepaald door de verwachte transmissiviteit van de aangepompte laag. Bij pompproeven in poreuze media kan deze min of meer worden geschat. Voor het materiaal in de gipsafvalberg kon weliswaar een kleine doorlatendheidscoëfficiënt worden verwacht, doch hiervan kon hoogstens de grootte-orde worden vooropgesteld. Bovendien rees de vraag of de globale doorlatendheid van het opgehoopte afvalgips niet kan zijn beïnvloed door de resten van krimpscheuren, die

zich vormen na het droog komen van de bezinkingsbekkens (foto's 7 en 8), waardoor dit materiaal zich t.o.v. grondwaterstroming deels zou gedragen zoals gespleten rotsformaties. Over de scheuren is ons geen fundamenteel onderzoek bekend. Bij het ophogen van de experimentele landhoofden voor de brug over de weg RW 617, aangegeven op PLAAT I, zijn ze ook vastgesteld; daarbij bleek de diepte van de scheuren te vergroten naarmate de ophoging vorderde (fig. 28). Het OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW is begonnen met een grondig onderzoek naar de krimpverschijnselen bij afvalgips (A. VERHASSELT, 1983). Op het gipsstort zelf worden oppervlakkige scheuren vermoedelijk grotendeels heropgevuld wanneer een bekken terug in gebruik komt. M. SCHAEFFNER (1978) daarentegen denkt dat een gipsstort bestaat uit een aantal cellen welke min of meer los staan van elkaar.

Uit oppervlakkige ontsluitingen (foto 9) en uit de boringen blijkt het stort ook microgelaagd te zijn; talrijke dunne (enkele mm tot enkele cm) donkerbruine laagjes, vermoedelijk rijker aan organisch materiaal, komen voor.

Wegens bovengenoemde feiten werden de peilbuizen dicht bij de pompput ingeplant. Tevens werd een kleine voorafgaandelijke bemaling uitgevoerd van zodra naast de pompput één peilbuis op 4 m afstand was afgewerkt. Gebruik makend van een kompressor werd gedurende 1 uur de pompput bemalen met een klein debiet van ca. 9 m<sup>3</sup>/d. Het nauwelijke reageren van het grondwaterpeil in de peilbuis (minder dan 20 mm na 1 h) op deze bemaling, werd eerder toegeschreven aan zijn relatief kort filterelement (2 m), dan wel aan een te grote afstand tot de pompput. Daarom werd besloten om de overige peilbuizen in de aangepompte laag te voorzien van filterelementen van 4 m lengte, overeenstemmend met het door de pompput aangesneden diepte-interval. Voor de geplande peilbuizen met een filterelement dat het niveau boven de aangepompte



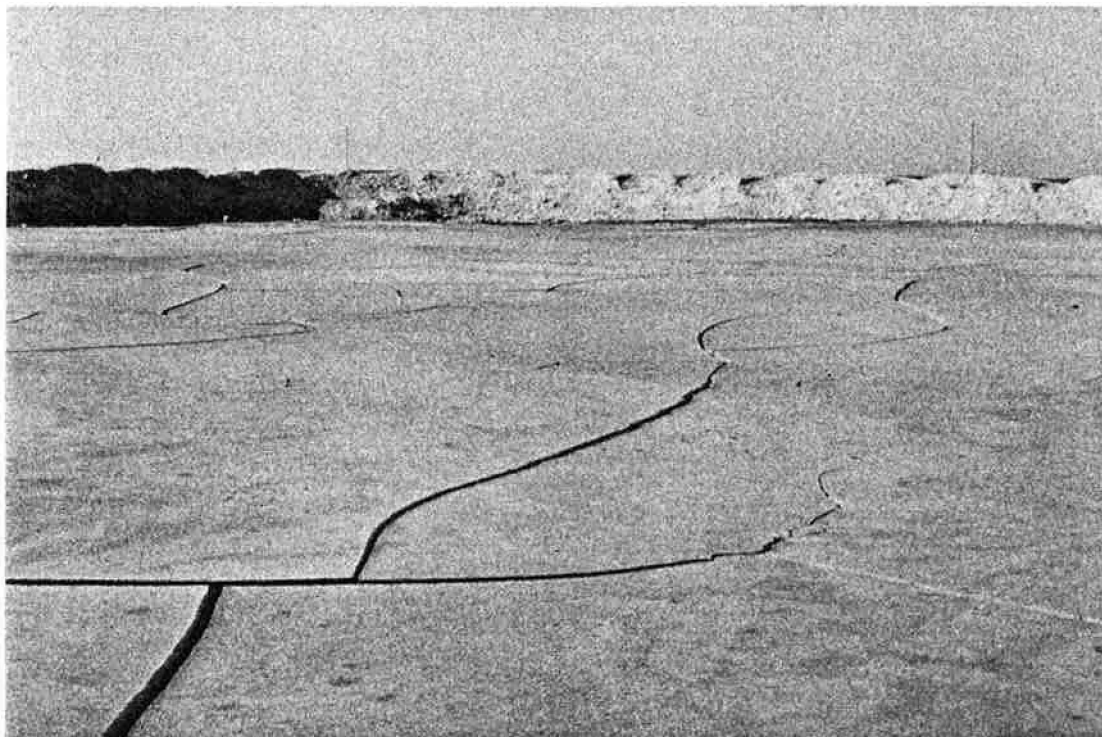


Foto 7 - Zicht op krimpscheuren aan de oppervlakte van een bezinkingsbekken op het gipsstort.

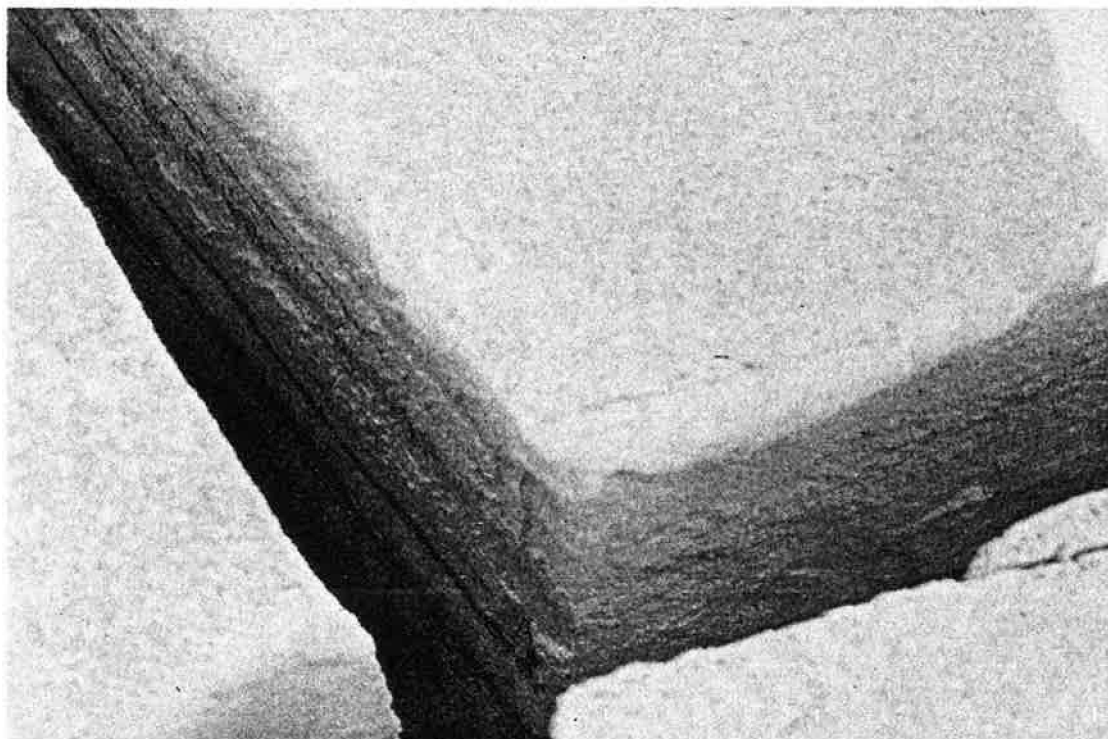


Foto 8 - Detailzicht op een krimpscheur.

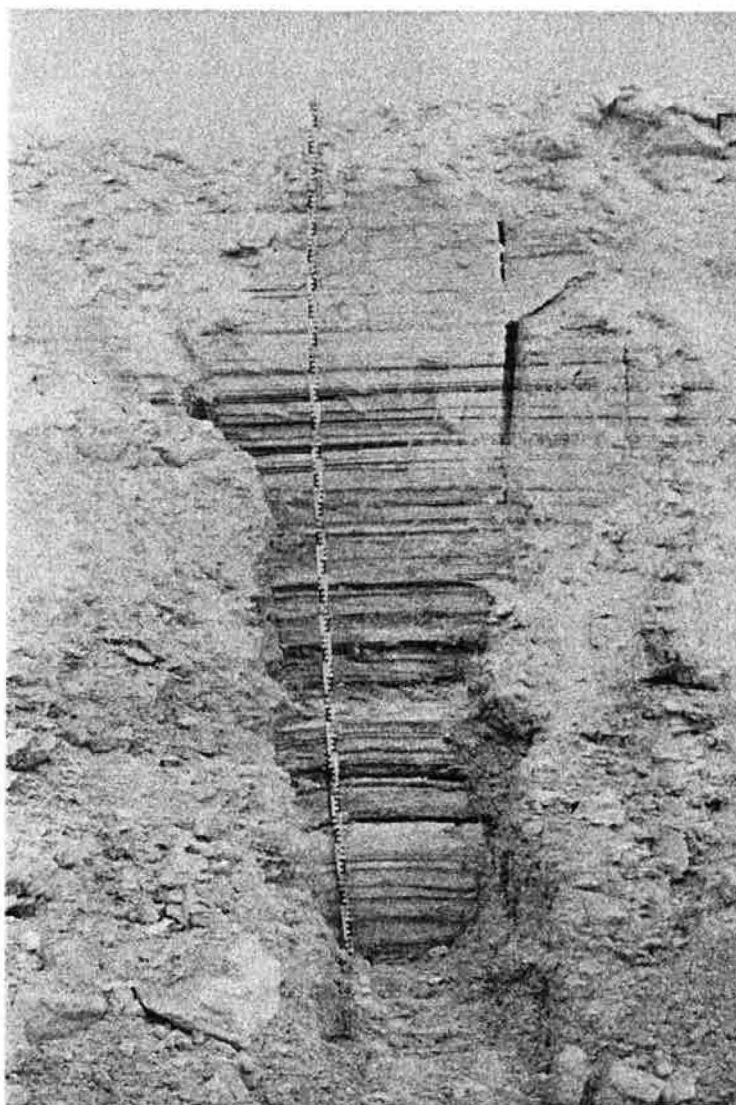
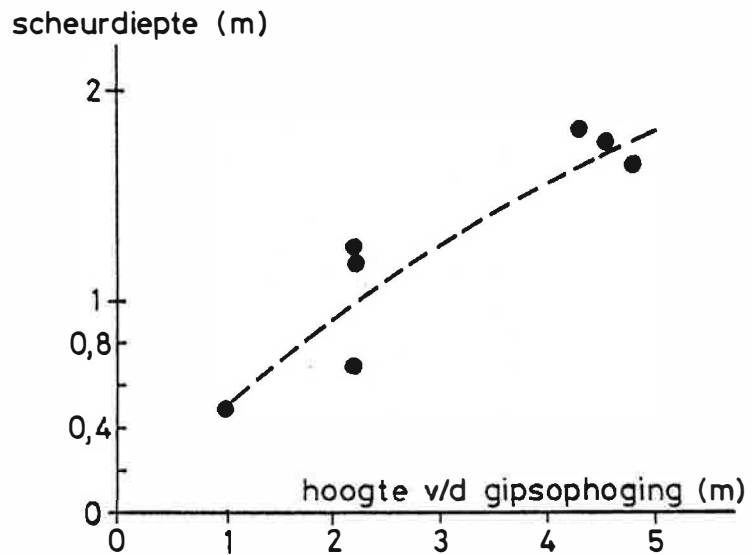


Foto 9 - Zicht op de gelaagde structuur binnen het gipsstort (één eenheid op de lat is 1 cm).



Figuur 28 - Diepte van de scheuren in funktie van de hoogte van de experimentele gipsophoging te Zelzate (naar D. GORLE & J. REICHERT, 1981).

laag aansnijdt daarentegen, werd dit filterelement 2 m lang gekozen (tussen 17 en 19 m). De afstanden tussen peilbuizen en pompput bedragen 1,6 m, 2,5m, 4 m en 6,3 m in de aangepompte laag, 2,5 en 6,3 m in de hoger gelegen laag.

Bij deze proef werd gebruik gemaakt van dezelfde onderwaterpomp als deze, aangewend bij de pompproeven in de uitbreiding van het gipsstort. Ook hier werden de drukopnemers gebruikt om de peilverlagen in de peilbuizen en in de pompput te volgen. Het kleine opgepompte debiet maakte elektromagnetische debietmetingen onmogelijk. Het werd regelmatig opgemeten met behulp van een gekalibreerd vat. Stroom voor de pomp werd geleverd door een dieselgenerator. De drukopnemers en het registreertoestel werkten op batterijen.

De pompproef vatte aan op 11 oktober 1984. Het debiet schommelde tussen 6,60 m<sup>3</sup>/d en 5,45 m<sup>3</sup>/d. Daar de opgepompte hoeveelheid zeer gering is, werd dit water afgevoerd naar een lager gelegen gedeelte van zone 2. Op 16 oktober, na ongeveer 144 h bemaling werd de pomp stilgelegd.

#### 4.8.3.2. Bepaling van de hydraulische parameters met de grafische interpretatiemetodes

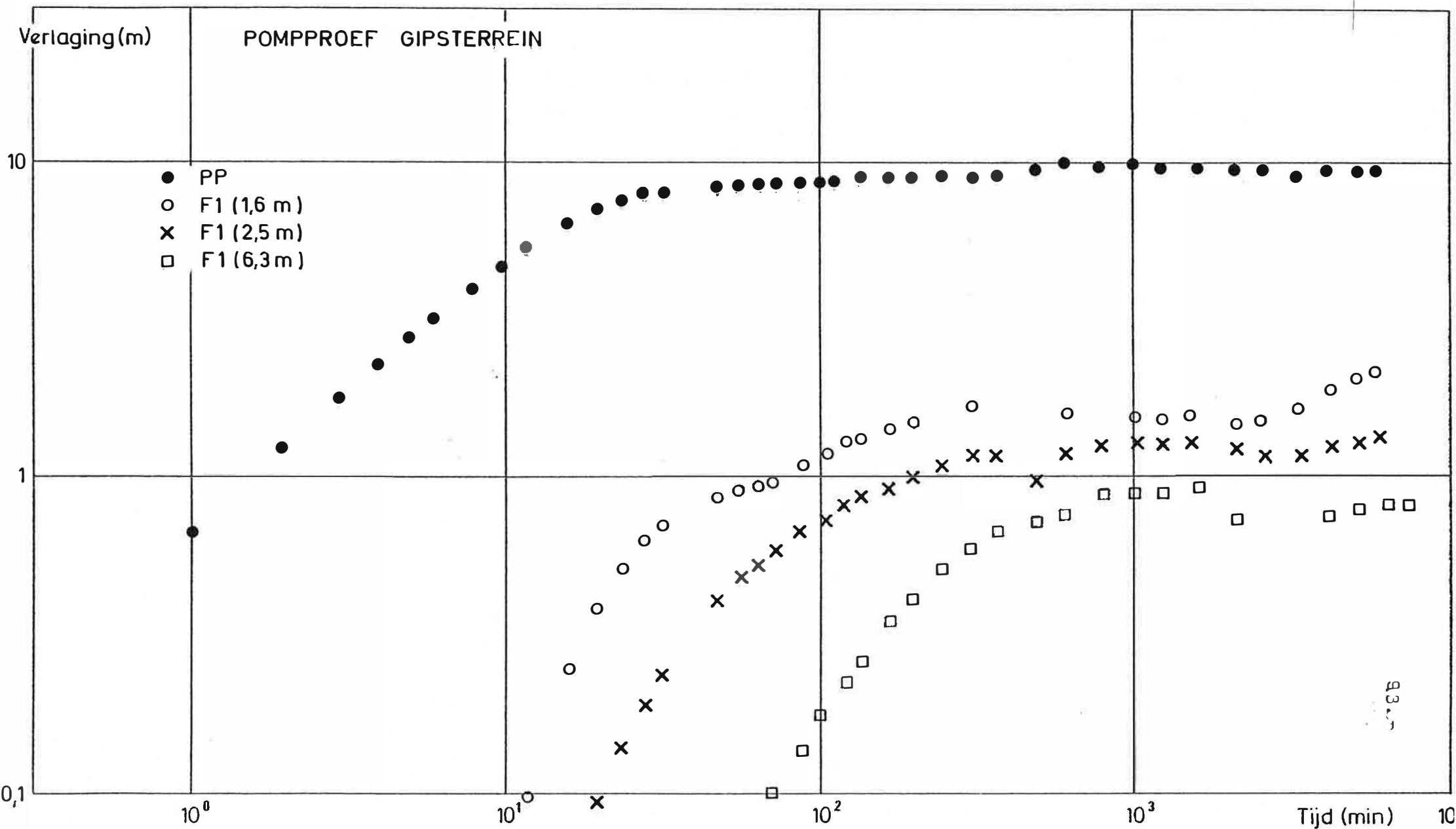
De peildalingen in de aangepompte laag werden uitgezet op bi-logaritmisch papier (fig. 29) en geïnterpreteerd volgens de methode van WALTON. Hiervoor werd echter alleen rekening gehouden met de verlagingen, optredend gedurende de eerste 500 min. van de proef. Nadien bleken de invloeden op de stijghoogten, vreemd aan de afpompings, niet langer verwaarloosbaar tegenover de verlaging veroorzaakt door de bemaling. Ook werden de metingen in de peilbuis op 4 m afstand niet weerhouden. Het zeer laat intreden van de peildaling in deze laag (na 480 min.) is te wijten aan het kortere filterelement (2 m) dat wellicht juist een zeer weinig doorlatende laag aansnijdt.

De veronderstellingen, die gemaakt worden bij het toepassen van de methode van WALTON, zijn reeds hoger besproken. Daar de verlaging in de pompput, alsook in diepere buizen gekend is, kon tevens de methode van DE GLEE worden aangewend. Hiervoor dient te worden aangenomen dat de permanente stromingstoestand was bereikt en de aangewende verlagingen dus maximaal zijn. Het debiet waarmee rekening werd gehouden, bedraagt 6,29 m<sup>3</sup>/d. De berekende hydraulische parameters (bijlage 8) zijn in tabel 10 samengevat. Ook bij deze pompproef werden de langs grafische weg bepaalde parameters aangewend als basisgegevens voor het simulatiemodel SIMPUM.

#### 4.8.3.3. Bespreking

Daar bij de grafische interpretatiemetodes een aantal vereenvoudigende veronderstellingen worden aangenomen, moeten de hieruit bekomen waarden voor de hydraulische parameters met de nodige omzichtigheid worden overgenomen. Dit is des te meer het geval bij de pompproef op het gipsstort, waar het vereenvoudigde schema van een relatief goed doorlatende aangepompte laag, begrensd door relatief slecht doorlatende lagen, helemaal niet meer opgaat. Daardoor bekomt men te lage c-waarden.

Figuur 29 - Gemeten verlagings in de aangepompte laag tijdens de pompproef op het gipsterrein, uitgezet op bilogarithmisch papier t.o.v. de tijd.



93.5

Tabel 10 - Hydraulische parameters, bekomen uit de pomp-  
proef op het gipsstort met de grafische inter-  
pretatiemetodes.

Interpreta- tiemetode	peilbuis	kD (m <sup>2</sup> /d)	c (d)	S (x 10 <sup>-3</sup> )
WALTON	PB1,6 F1	0,46	16	6,5
	PB2,5 F1	0,46	21	6,1
	PB6,3 F1	0,45	88	3,5
DE GLEE	Pompput + alle boven vermelde	0,68	62	-

Tabel 11 - Hydraulische parameters van de onderscheiden la-  
gen in het matematische model SIMPUM (L.LEBBE,  
1983) van de pompbeurt op het gipsstort.

laag	dikte (m)	k (m/d)	S' <sub>A</sub> (10 <sup>-4</sup> m <sup>-1</sup> )	S' <sub>0</sub>	c (d)
L4	9,0	0,32	12,5	0,2	50
L3	3,0	0,32	12,5		
L2	8,6	0,13	6,3		250
L1	22,4	3,50	2,5		1000

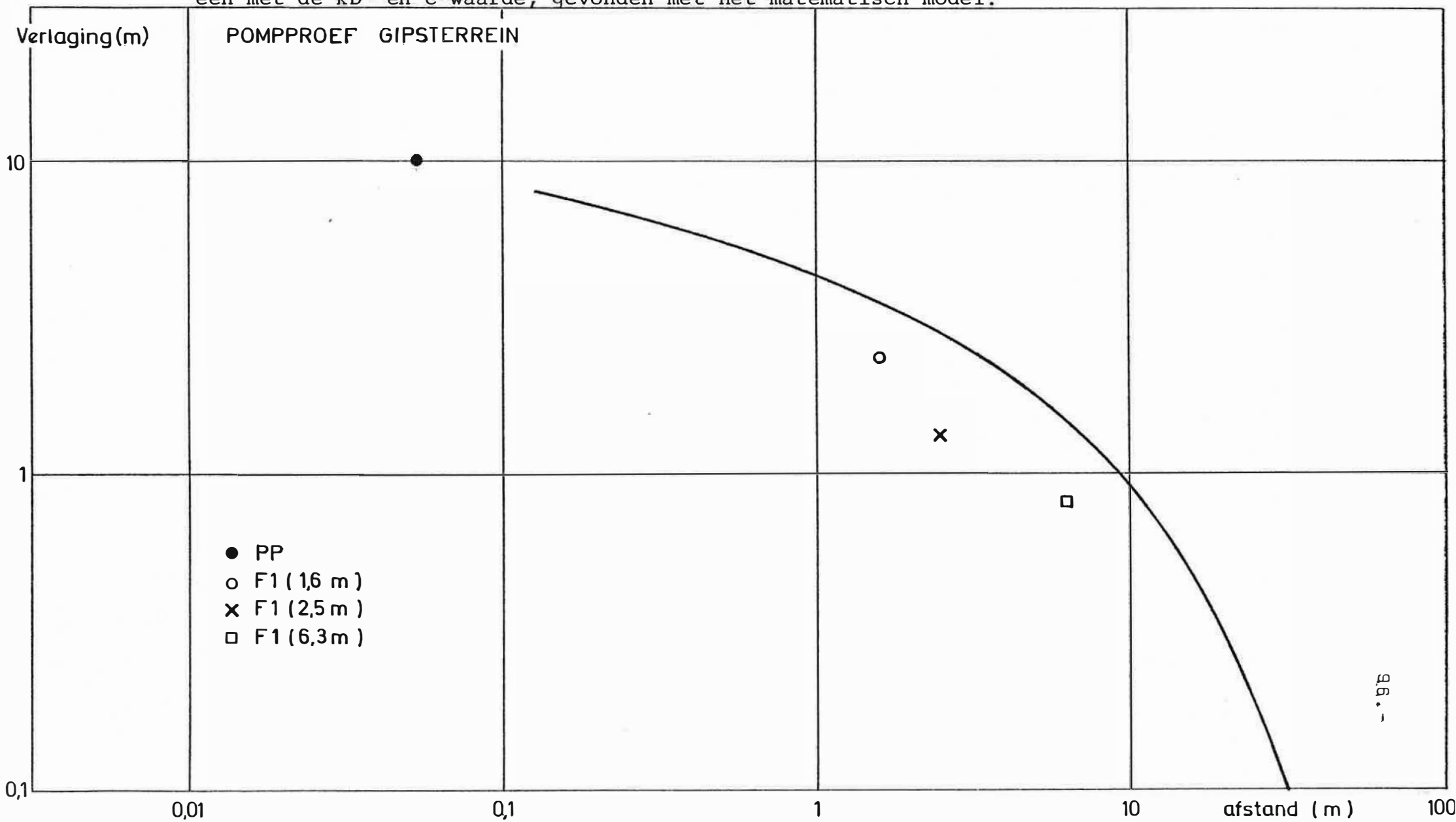
De zandlaag KZ2 is immers minstens een grootte-orde meer doorlatend dan de aangepompte gipslaag. Zijdelingse aanvloei doorheen KZ2 naar de pompput is hier niet langer verwaarloosbaar m.b.t. de hoeveelheid opgepompt water. De klassieke interpretatiemethodes daarentegen veronderstellen een vaste stijghoogte (en dus geen horizontale stroming) in laatstgenoemde laag. Daardoor ligt bij invoer van de meest nauwkeurige  $kD$ - en  $c$ -waarde (bekomen uit het simulatiemodel; zie 4.8.3.4) de DE GLEE-kurve duidelijk boven de gemeten verlagingen (fig. 30). Bovendien is de volgens de grafische methodes gevonden  $c$ -waarde steeds een resultante van de hydraulische weerstand van meerdere lagen in het gipsterrein, boven en onder de aangepompte laag.

#### 4.8.3.4. Bepaling van de hydraulische parameters van het gipsstort met het model SIMPUM (L. LEBBE, 1983)

De waarden van de hydraulische parameters, welke werden gevonden met de "klassieke" interpretatiemethodes, werden ook bij deze pomp-proef verfijnd met het mathematisch model SIMPUM. Dit liet tevens toe om enkele hydraulische parameters te bepalen, die met de klassieke methodes niet kunnen worden achterhaald. Zo kan aan elke halfdoorlatende laag afzonderlijk een waarde voor de hydraulische weerstand worden toegekend. Zijn stijghoogtewaarnemingen in een halfdoorlatende laag beschikbaar, dan kan men tevens haar elastische bergingscoëfficiënt en haar horizontale doorlatendheid bepalen. In de onderste laag (L1) wordt de volledige kwartaire sekwentie ondergebracht (PLAAT III). Bovendien wordt de hydraulische weerstand van het gipspakket onder de aangepompte laag toegekend aan L1. De overige drie lagen liggen in de gipsafvalberg zelf. L2 en L3 bestaan uit min of meer sterk verhard gips. L2 is de aangepompte laag, L3 de laag ter hoogte van de filterelementen tussen 17 en 19 m diepte (peilbuizen op het niveau F2). L4 komt overeen met de laag begrepen tussen de pompput en de peilbuizen F2. De hydraulische weerstand van het niveau tussen laatstgenoemde peilbuizen en de watertafel wordt aan L3 toegekend.



Figuur 30 - Gemeten maximale verlagingen, in de aangepompte laag optredend tijdens de pompproef op het gipsstort, uitgezet op bilogarithmisch papier t.o.v. de afstand. De ligging van de curve stemt overeen met de  $kD$ - en  $c$ -waarde, gevonden met het mathematisch model.



De aanvangswaarden van de hydraulische parameters, bekomen uit de grafische interpretatie van de verlagingen, werden herhaaldelijk aangepast. Telkens werden de berekende verlagingen onderworpen aan een gevoeligheidsanalyse. Uiteindelijk werd de beste overeenkomst tussen de gemeten en de berekende verlagingen bekomen bij invoer van de parameters, weergegeven in tabel 11.

Vanzelfsprekend verkrijgt men met het mathematisch model voor een bepaalde parameter een des te betrouwbaardere waarde, naarmate de verlaging in minstens één beschikbare peilbuis meer gevoelig is voor een wijziging van deze parameter. Zo blijkt uit de gevoeligheidsanalyse dat de doorlatendheid en de elastische berging van L1 (kwartaire sedimenten) in geen enkele van de 6 peilbuizen ook maar de minste invloed op de verlaging uitoefent. Deze parameters werden evenwel met voldoende betrouwbaarheid afgeleid uit de simulatie van de pompproeven in de uitbreiding van het gipsstort.

Van de hydraulische weerstand van L1 (d.i. de hydraulische weerstand van de onderste 2 m van de gipsafvalberg) daarentegen kon tot nog toe helemaal geen nauwkeurige waarde worden vooropgesteld. Zolang men deze parameter niet met minstens een grootte-orde wijzigt, wordt de verlaging in elk van de peilbuizen nauwelijks beïnvloed. Het is immers vooral de verlaging in de laag L1 (het Kwartair), die gevoelig is aan deze c-waarde. Het ontbreken van een peilbuis in de (ondiepe) kwartaire afzettingen ter plaatse van deze pompproef is terugkoppeling tussen de berekende en de gemeten verlaging in deze laag onmogelijk. De waarde van 1000 d moet dan ook slechts als een ruwe schatting worden beschouwd. Deze c-waarde werd zo hoog gekozen, uitgaande van de veronderstelling dat de verticale doorlatendheid van de gipsafvalberg als gevolg van de hogere pakkingsdichtheid en herkristallisatie afneemt met de diepte.

Tenslotte zijn ook de (horizontale) doorlatendheid en de elatische berging van L4 niet te bepalen met deze proef. De opgegeven waarden zijn dan ook slechts schattingen. Deze parameters hebben evenwel minder belang voor het uiteindelijke doel van deze studie.

De hydraulische parameters, bekomen met het model, kan men dan "vertalen" naar de werkelijke bouw van de gipsafvalberg. De resultaten zijn weergegeven in tabel 12.

De waarde voor de verticale doorlatendheid tussen de watertafel en 17 m (0,2 m/d) werd bekomen door de dikte van dit niveau te delen door zijn hydraulische weerstand (50 d). Verwacht mag worden dat de verticale doorlatendheid beduidend kleiner is in de laag sterk verharde gips tussen 16 en 17 m, wat trouwens tevens blijkt uit de lage  $k_v$ -waarde tussen 19 en 23,6 m.

#### 4.8.3.5. Vergelijking met literatuurgegevens

Gepubliceerde gegevens over de doorlatendheid van afvalgipsmassieven zijn schaars ofschoon over het gebruik van afvalgips in de burgerlijke bouwkunde reeds veel aandacht is besteed. Op het "Colloque International sur l'Utilisation des Sous-Produits et Déchets dans le Génie Civil" dat in november 1978 te Parijs doorging, was een speciale zitting aan de afvalsulfaten gewijd (LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES & ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES, 1978a; 1978b). Bij deze gelegenheid verscheen een speciaal nummer van de "Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées" gewijd aan fosfogips. In ons land is vooral door het MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN met het OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW aan toegepast wetenschappelijk onderzoek gedaan i.v.m. het gebruik van afvalgips in de wegenbouw (D. GORLE & R. DE PAEPE, 1978; R. DE PAEPE, 1978; D. GORLE, 1979; D. GORLE & J. REICHERT, 1981; A. VERHASSELT, 1983). In hogergenoemde

Tabel 12 - Hydraulische parameters van het gipsstort, bekomen met het mathematisch model SIMPUM (L.LEBBE, 1983) van de pompproef. De waarden tussen haakjes konden niet op een betrouwbare manier worden bepaald met de gebruikte methodes.

diepte (m) van: - tot	$k_h$ (m/d)	$k_v$ (m/d)	S ( $\times 10^{-3}$ )	$S_0$
watertafel-16	(0,32)	0,2	(11,3)	0,2
16 - 17				
17 - 19	0,48		3,8	
19 - 23,6		0,018		
23,6 - 27,6	0,28		1,4	
27,6 - 29,6		(0,002)		

publikaties werden enkele doorlatendheidswaarden aangegeven (tabel 13). Deze vertonen een grote spreiding; opvallend is dat de in-situ (met de boorgatmethode) bepaalde waarden in de stortten het grootst zijn. De met de pompproef bepaalde grootheden vallen binnen de weliswaar grote marge.

#### 4.9. Besluit

In het fosfogips, dat bestaat uit meer dan 95 % calciumsulfaat dihydraat, konden naast het mineraal gips tevens kwarts, haliet, fyllosilikaten, fluor-tremoliet en laurenciet aangetoond worden. Uit in 1980 door een onafhankelijk organisme uitgevoerde radioactiviteitsmetingen op het gips blijken geen bijzondere beschermingsmaatregelen voor werknemers en omwonenden vereist te zijn.

Het afvalgips dat sinds 1925-26 in het bedrijf wordt geproduceerd kwam aanvankelijk terecht op een oud stort binnen het bedrijf. Het gestorte gips werd er later herwonnen. De aanvang van de stortactiviteiten op het huidig stort ligt omstreeks rond begin 1953. Vanaf 1961 wordt enkel nog het huidig stort gebruikt. In het begin werd er calciumcarbonaat gedeponeerd hetgeen ongunstig is voor de stabiliteit. De verhoging van het stort gebeurt geleidelijk volgens zones. De hoogte bedraagt thans plaatselijk meer dan 30 m. In een beperkt gebied is er feral gestort. Neutralisatie greep slechts plaats van 1976 tot 1979.

De drainage bestaat uit een dubbele ringgracht. De waterbalans van het stort is bij gebrek aan regelmatige waarnemingen moeilijk te berekenen; het is wenselijk in de toekomst meer waarnemingen te doen. Voorlopig kan gesteld worden dat ca. 1,2 miljoen m<sup>3</sup> perkolaat per jaar in de grond zijpelt. Op basis van de schaarse gegevens kan afgeleid worden dat de hoeveelheid kanaalwater varieert van 0 tot ca. 60 % van het volume gipstransportwater.

Tabel 13 - Doorlatendheidswaarden vermeld in de literatuur.

Referentie	k (m/d)	Type gipsmassief		methode		Opmerkingen
		experiment	stort	in situ	labo	
F. GESTIN, B. KIBKALO & A. QUIBEL (1978)	0,43	X			X	
D. GORLE & R. DE PAEPE (1978)	0,03		X		X	
C. QUEVA & P. D'HEM (1978)	4,32		X	X		$\gamma_n = 13,5 \text{ kN/m}^3$
M. SCHAEFFNER (1978)	3,46		X	X		$\gamma_n = 13,5 \text{ kN/m}^3$
	0,09		X		X	gemiddelde waarde bij $\gamma_n = 13,5 \text{ kN/m}^3$

Uit boringen blijkt dat het gipsstort gelaagd is. Afgezien van een microgelaagdheid veroorzaakt door dunne laagjes met meer organisch materiaal, is vastgesteld dat het gips onder de 16 m in zone 2 in 1984 relatief sterk verhard voorkwam.

Voor het min of meer sterk verharde afvalgips onderaan werd een horizontale doorlatendheid gevonden van 0,28 m/d (tussen 23,6 en 27,6 m diepte in zone 2 in 1984) en 0,48 m/d (tussen 17 en 19 m diepte in zone 2 in 1984). De verticale doorlatendheid van dit materiaal bedraagt 0,018 m/d (tussen 19 en 23,6 m diepte in zone 2 in 1984). Men mag aannemen dat de verticale doorlatendheid van het niet verharde afvalgips hogerop en bovenaan de gipsberg groter is. Hiervoor kon echter geen betrouwbare waarde worden afgeleid met de gebruikte methode en de beschikbare peilbuizen, evenmin als voor de basislaag van de gipsberg.

## 5. STROMING VAN HET GRONDWATER

### 5.1. Algemeen

Het stromingspatroon van het grondwater werd bepaald door middel van maandelijkse stijghoogtemetingen in de beschikbare peilbuizen op en rond het bedrijf.

Uit deze metingen kon de verdeling en de schommeling van de stijghoogten in de kwartaire afzettingen worden bepaald. De gegevens zijn weergegeven onder de vorm van hydro-isohypsenkaarten en van tabellen.

### 5.2. Het stijghoogtewaarnemingsnet

De stijghoogten zijn waargenomen in een reeks peilbuizen gelegen op en rond het bedrijf. Op de meeste plaatsen bestaat een waarnemingsstation uit één filter in de laag KZ1 en één in de laag KZ2. In andere gevallen is slechts één peilbuis per plaats aanwezig. Drie peilbuizen (I,II, IIA) hebben hun filterelement onder de tertiaire kleilaag a3.

Naast de reeds eerder besproken nieuwe peilbuizen, waarvan de gegevens zijn opgenomen in bijlage 3, werden tevens oudere nog bruikbare buizen opgezocht en opgenomen in het meetnet, dat aldus bestaat uit 87 peilbuizen. De bijlage 9 groepeert de geometrische kenmerken van deze peilbuizen. In enkele gevallen kon de filterlengte niet meer achterhaald worden. De aanduidingen -F1 of -1 en -F2 of -2 geven aan dat de filter in respectievelijk de laag KZ1 en KZ2 is geplaatst. De waarnemingsplaatsen zijn op kleine schaal aangegeven op de PLAAT V.

De metingen, uitgevoerd door RHONE-POULENC CHEMIE N.V., gebeurden maandelijks, rond de vijftiende. De individuele waarnemingsresultaten zijn opgenomen in de bijlage 10.



De stijghoogte van het grondwater, die de som is van de drukhoogte en de plaatshoogte in een punt, is een maat voor de hydrodynamische potentiaal van het grondwater op die plaats. Uit het verloop van de stijghoogten in een watervoerende pakket is de richting en de grootte van de grondwaterstroming binnen het pakket af te leiden. In zones met een zeer hoog zoutgehalte dienen de stijghoogten omgerekend te worden naar equivalente zoetwaterstijghoogten. Deze correcties werden in deze studie niet doorgevoerd omdat ze over het algemeen voor het beoogde doel, klein zijn. Enkel zeer dicht bij het gipsstort, waar relatief hoge zoutgehalten voorkomen, kunnen de zoetwaterstijghoogten een tiental centimeters hoger zijn dan de gehanteerde stijghoogten.

### 5.3. Stijghoogteverdeling binnen de watervoerende lagen KZ1 en KZ2

#### 5.3.1. Hydro-isohypsen

Op de PLAAT V zijn de lijnen van gelijke stijghoogten of hydro-isohypsen in de watervoerende lagen KZ1 en KZ2 op 20 september 1984 en op 15 april 1985 weergegeven. Het zijn momentopnamen welke een veralgemeende toestand weerspiegelen; aangenomen wordt dat in een watervoerende laag de stijghoogtevariëaties in verticale richting te verwaarlozen zijn. In bepaalde zones zoals onder en juist naast het gipsstort is dit evenwel niet zo. De stijghoogte boven- en onderaan een laag kunnen er beduidend verschillen. Dit wijzigt echter weinig aan de voorgestelde platen. De stijghoogten getekend onder het gipsstort zijn gedeeltelijk waargenomen en gedeeltelijk berekend met het mathematisch model (hoofdstuk 7).

In of nabij het gebied werden op basis van de veralgemeende stroomrichtingen vijf "stromingsgebieden" onderscheiden; deze gebieden alsook de scheiding ertussen staan aangeduid op de PLAAT V. Dit is enkel gebeurd voor de toestand op 20 september 1984 in de laag KZ1; in de andere laag en op andere tijdstippen is deze verdeling vrij analoog. De grootte van de stromingsgebieden kan kleine wisselingen vertonen in de

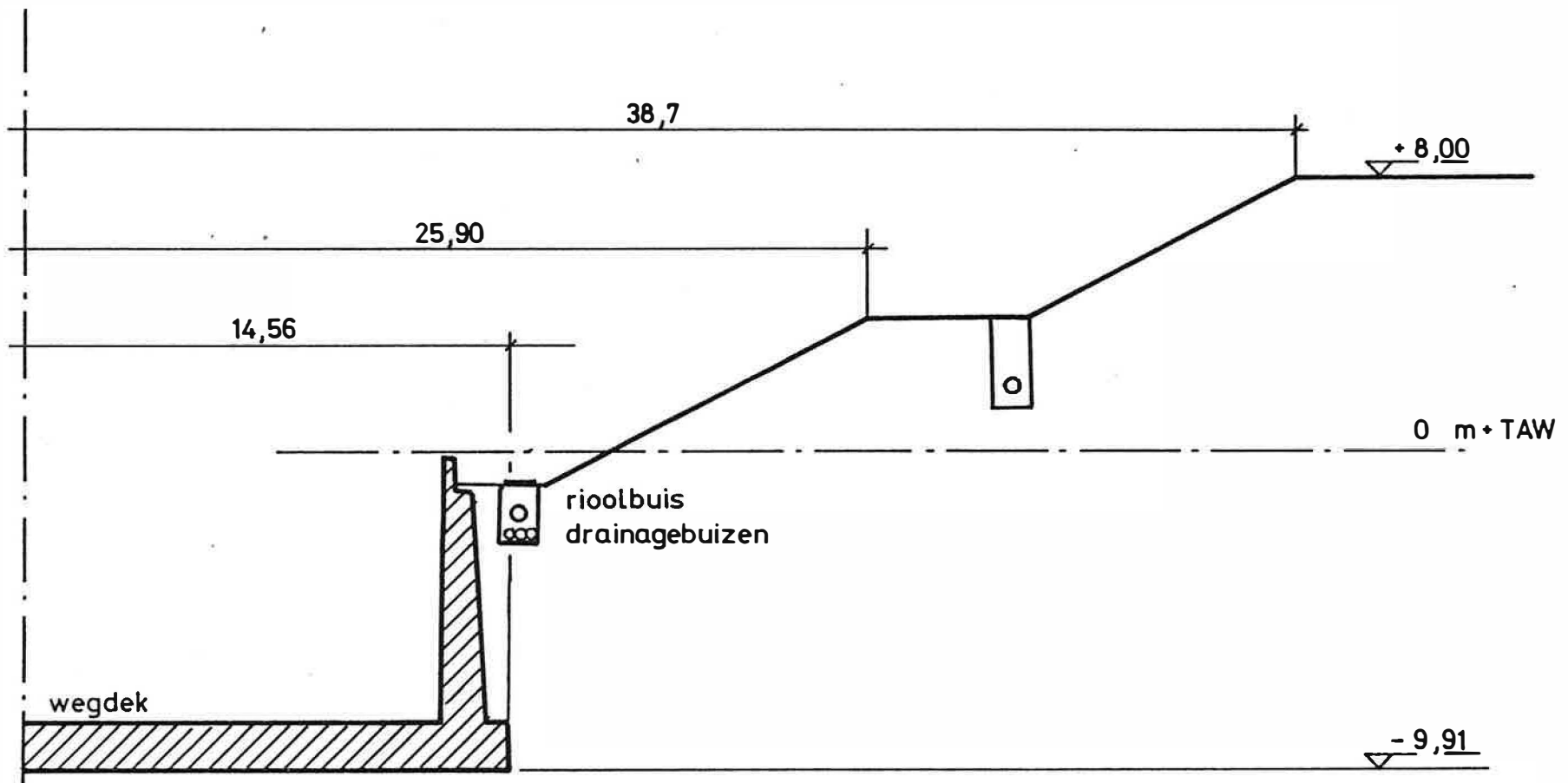
tijd. Binnen deze gebieden komen kleinere deelbekkens voor, zoals bijvoorbeeld de zones die afwateren naar de ringgrachten, de buisdrainage .. enz. Daarop wordt vooral in het hoofdstuk 7 ingegaan.

### 5.3.2. Stromingsgebied I

Het gebied I omvat de terreinen gelegen ten noordoosten van de gipsberg; de grondwaterstroming is er gericht naar de drainage van de verkeerstunnel van Zelzate. De woonwijken Klein Rusland en gedeeltelijk Debbautshoek liggen binnen deze zone.

De toerit van de tunnel bestaat uit een vrijstaand talud boven een betonnen keermuur. Langs de top van de keermuur ligt het drainage-systeem (fig. 31 en PLAAT I). Uit een onderzoeksverslag van 1982 (K. BUTTIENS, 1982) blijkt dat de drainage van het achterliggend talud op twee verschillende wijzen kan gebeuren. Gedurende zware regenval wordt het afstromend oppervlaktewater opgevangen in een betonnen bedding aan de top van de keermuur. Op geregelde afstanden zijn er onder deze bedding verzamelputten waarin het water opgevangen wordt en afgevoerd via een rioleringsbuis met grote diameter. Het grondwater wordt opgevangen door middel van drie geperforeerde filterbuizen die onder de rioleringsbuis liggen, ca. 1 m onder de bedding achter de top van de keermuur en die de verzamelputten verbinden. Deze drainage begint vanaf ca. 250 m voor de toerit van de tunnel en bereikt haar diepste punt naast de opening van de tunnel. Op deze plaats wordt de grondwaterspiegel verlaagd tot een peil van ca. -1,80 m of een diepte van ca. 9,80 m. Het toestromend water wordt verzameld in grote bekkens die onder het wegdek gebouwd zijn. Aan iedere inrit wordt het water door middel van een pomp met een capaciteit van  $500 \text{ m}^3 / \text{h}$  in het kanaal overgepompt. Er bestaan geen gegevens aangaande het aantal uren per dag dat de pompen in werking zijn.

Tijdens de bouw van de verkeerstunnel werden er blikken platen in de grond gedreven rondom de bouwput (G. VAN DER LEEST, 1964). Deze



Figuur 31 - Drainagesysteem van de verkeerstunnel te Zelzate.

platen vormden een scherm en waren bedoeld om grondwater te keren. De dikte bedroeg 1 mm; de breedte welke met behulp van een heistelling in de grond werd gebracht tot 21,50 m was 1 m. De overlapping bedroeg 0,10 m. Men mag aannemen dat dit scherm thans nog weinig grondwaterkerend werkt. Dit wordt bevestigd door de verhanglijn tussen het gipsstort en de tunnel (fig. 32); niets wijst er op een merkbare invloed van een kerend scherm tussen de peilbuizen BVII en BVIII.

### 5.3.3. Stromingsgebied II

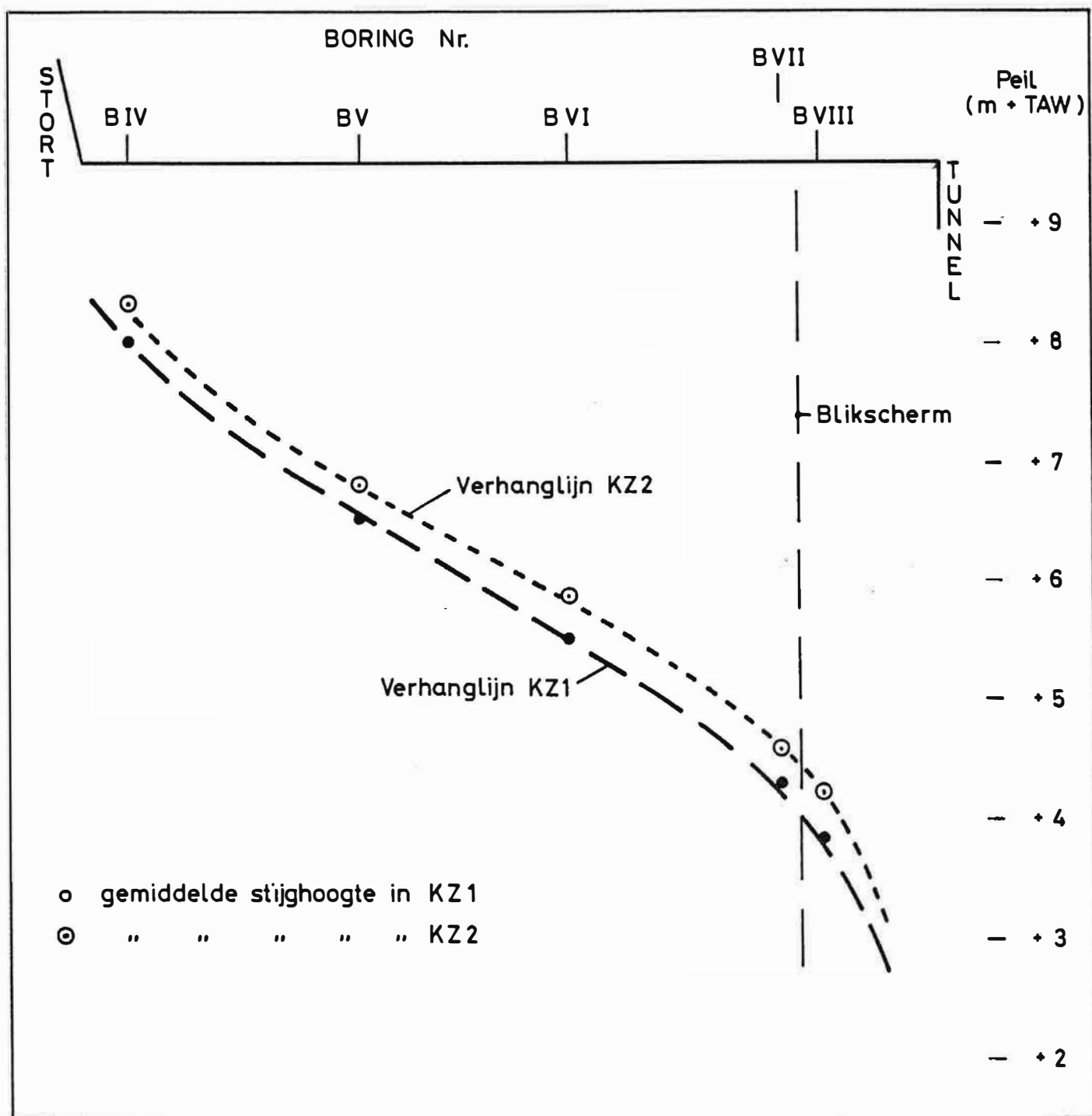
Het stromingsgebied II ligt ten oosten van het gipsstort en ten zuiden van de verkeerstunnel. De grondwaterstroomrichting is er naar het kanaal Gent-Terneuzen. In dit gebied liggen uitsluitend bedrijfsvestigingen (RHONE-POULENC CHEMIE N.V., FINA ... enz.). In dit stromingsgebied liggen de resten van het oude gipsstort.

### 5.3.4. Stromingsgebied III

Het gebied III komt voor ten zuidwesten van het stort. Een gedeelte van de geplande uitbreiding behoort tot deze zone. De stroming geschiedt er in de richting van het gehucht Rieme en de Avrijevaart.

### 5.3.5. Stromingsgebied IV

Het gebied IV neemt het grootste deel van de omgeving in; het ligt ten westen en ten noordwesten van het gipsstort. De slibbergingsput komt erin voor. De stroming is er gericht naar de Zwarte Sluispolder.



Figuur 32 - Gemiddelde verhanglijn (september 1984 - mei 1985) tussen het gipsstort en de verkeerstunnel te Zelzate.

### 5.3.6. Stromingsgebied V

Het stromingsgebied V ligt ten noorden van de verkeerstunnel van Zelzate. Het grondwater stroomt er in de richting van het kanaal Gent-Terneuzen. In principe ligt dit gebied hydrologisch volledig buiten de invloed van het gipsstort.

### 5.4. Stijghoogteverschil tussen de watervoerende lagen KZ2 en KZ1

Heeft een watervoerende laag over de ganse dikte een geringe hydraulische weerstand en is de verticale doorlatendheidscoëfficiënt  $k_v$  groter dan 1 m/dag, dan is de grondwaterstroming weinig afhankelijk van de diepte in de watervoerende laag. Waar echter slecht doorlatende lagen voorkomen of lagen met een grote hydraulische weerstand, kunnen boven en onder deze lagen stijghoogteverschillen optreden. Het stijghoogteverschil is vooral afhankelijk van de verhouding tussen de diepte van de halfdoorlatende laag beneden de grondwaterspiegel en de laterale uitbreiding van deze laag. Het verschil is ook afhankelijk van de hydraulische weerstand van de slechtdoorlatende laag, de doorlatendheidscoëfficiënt van de bovenliggende afzettingen en de plaats van het waarnemingspunt t.o.v. de halfdoorlatende laag (R.A. FREEZE & P.A. WITHERSPOON, 1967).

In het studiegebied komt in de kwartaire afzettingen de laag KL voor als slecht doorlatende laag tussen de watervoerende lagen KZ1 en KZ2. De waarnemingspunten laten toe de stijghoogteverschillen nauwkeurig te volgen.

In de tabel 14 is per peilbuizenpaar dat voorkomt op één plaats (F2 en de F1-filter), het verschil gegeven tussen de gemiddelden van de stijghoogten, waargenomen tussen 20 september 1984 en 15 mei

Tabel 14 - Verschil tussen de gemiddelde stijghoogten  
(september 84 tot mei 85) in de lagen KZ2 en  
KZ1.

Peilbuis nr.	$(\bar{X}_{F1} - \bar{X}_{F2})$ (m)	Peilbuis nr.	$(\bar{X}_{F1} - \bar{X}_{F2})$ (m)	Peilbuis nr.	$(\bar{X}_{F1} - \bar{X}_{F2})$ (m)
1	0,16	BII	0,09	BXII	0,15
1B	-0,03*	BIII	0,02	BXIII	0,01
2	0,00	BIV	0,30	BXIV	-0,01
2B	0,00	BV	0,29	BXV	0,03
5	0,06	BVI	0,33	PB1,2 + PB2,3	-0,24
SP2	Δ	BVII	0,28	LO 3.1	0,20
SP6	Δ	BVIII	0,37	LO 3.3	0,02
SP8	Δ	BIX	-0,37	LO 4.1	0,20
DB11	0,02	BX	1,10	LO 4.4	0,29
BI	0,25	BXI	-0,17	LO 5.1	-0,08
				LO 5.3	0,10
Δ Overlopende buizen					
* Een negatieve waarde duidt op kwel					

1985, in respektievelijk KZ2 en KZ1. Een negatieve waarde wijst op een opwaartse stroming (kwel). Bij de berekening is er evenwel geen correctie volgens het zoutgehalte gebeurd. Er is dus van uitgegaan dat de kwaliteit boven en onder de leemlaag gelijk is.

Kwel treedt op in de uitbreidingszone van het gipsstort, tussen het gipsstort en het ondoorlatend scherm rond de slibbergingsput en in mindere mate nabij de boringen BIX en BXI.

Een kwelwerking in de geplande uitbreidingszone van het gipsstort kon reeds vastgesteld worden bij het boren van de putten voor de pomproef (zie 3.5.5.1); tevens kan men vaststellen dat deze zone vrij vochtig en drassig is.

Het ondoorlatend cement-bentonietscherm rond de slibbergingsput fungeert als ondergrondse dam voor het grondwater afkomstig van het gipsstort (fig. 33). Dit is in het terrein duidelijk te zien (fotoreeks 10); tussen de put en het scherm is het terrein relatief droog terwijl tussen het scherm en de gipsberg het gebied moerasachtig is geworden en soms moeilijk begaanbaar is. De aldaar gelegen peilbuizen lopen continu over.

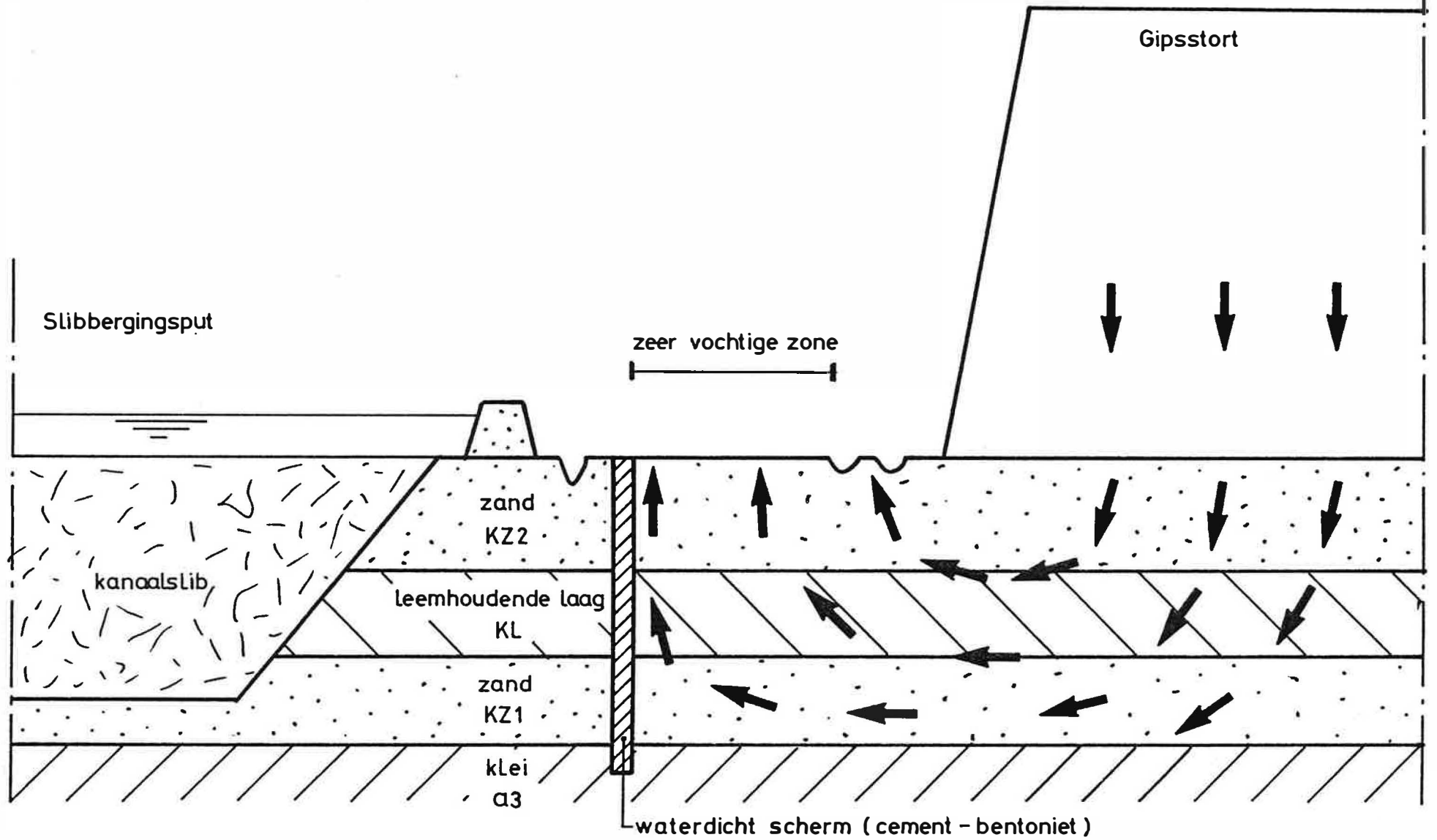
De beweging van het water onder het stort is uiteraard gericht van de laag KZ2 naar de laag KZ1. Dit komt duidelijk tot uiting bij de boring BX welke gelegen is aan de rand van het gipsstort en waar het vertikaal stijghoogteverschil gemiddelde 1,10 m bedraagt.

In de rest van het bestudeerde gebied zijn de stijghoogteverschillen eerder gering.

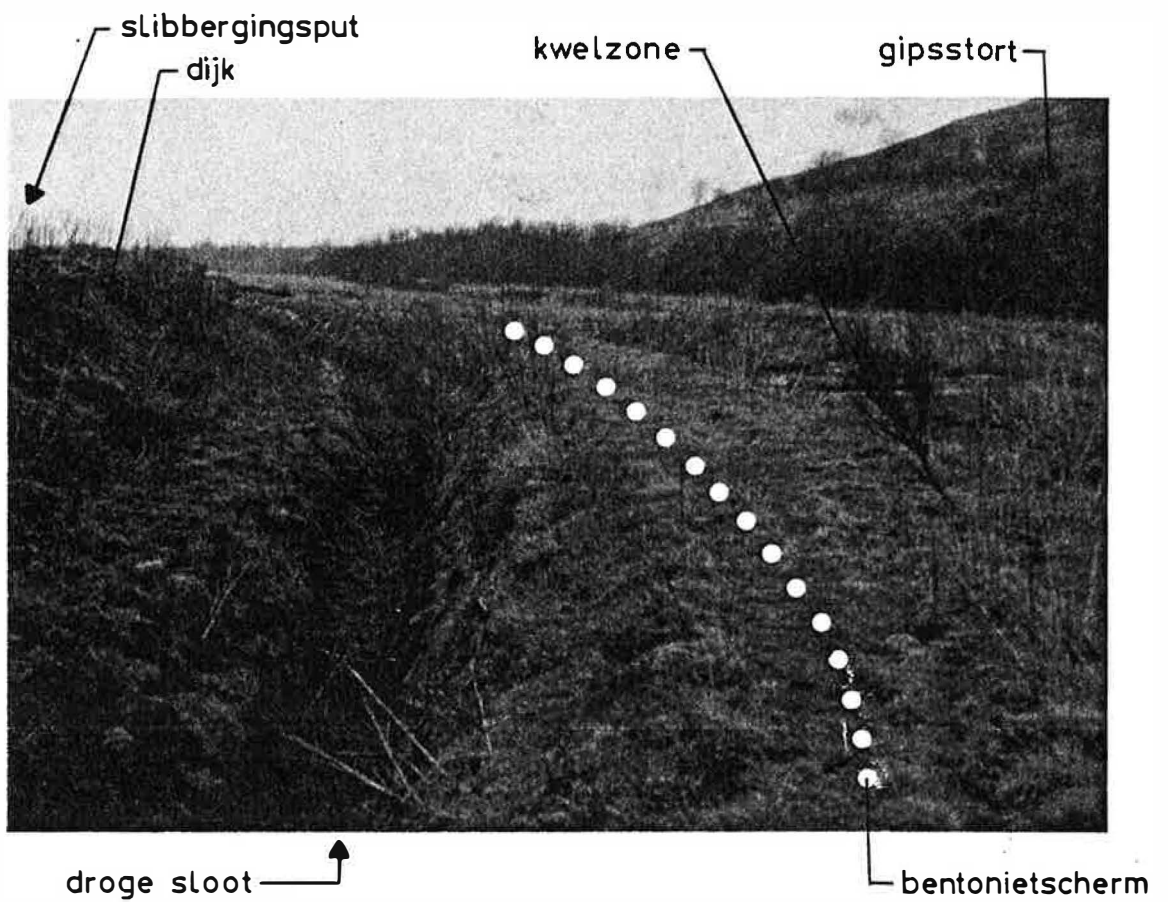
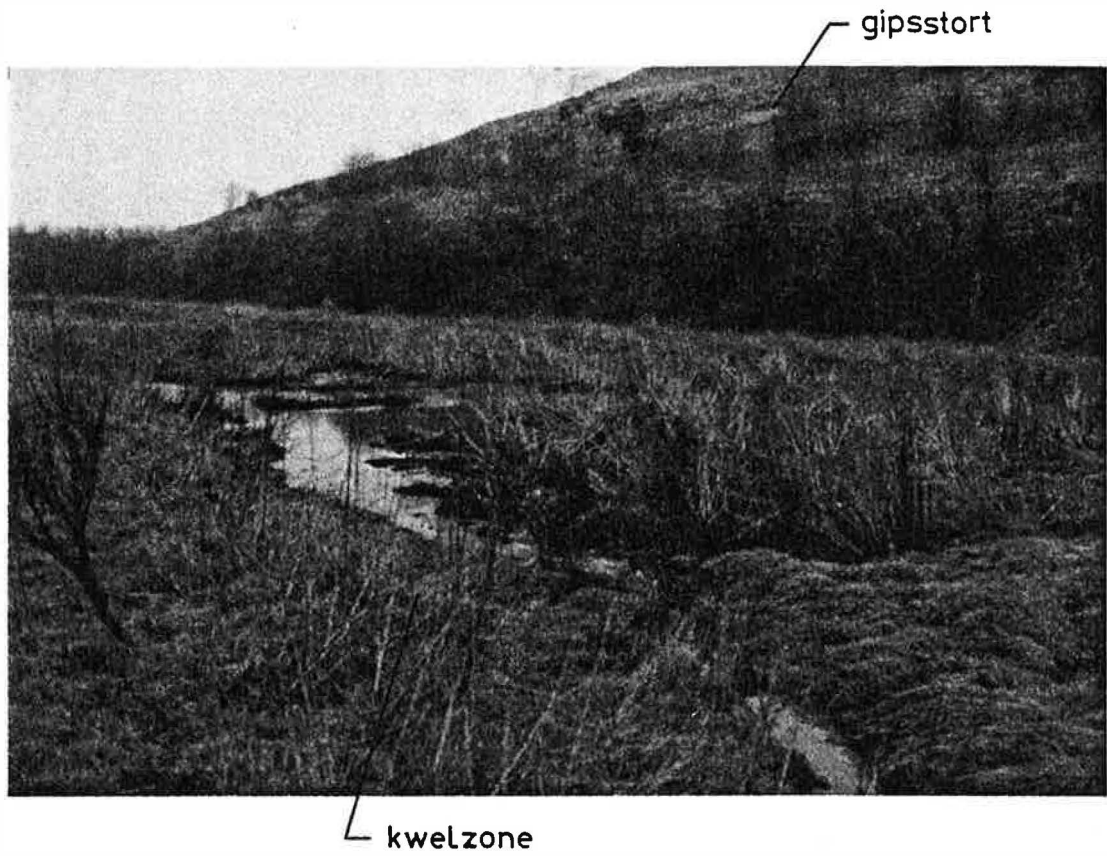


W

E



Figuur 33 - Schematische doorsnede van het gipsstort naar de slibbergingsput.



Fotoreeks 10 - Zichten op het gebied tussen het gipsstort en de slibbergingsput.

### 5.5. Stijghoogteschommelingen

De stijghoogten van het grondwater kunnen variëren als gevolg van natuurlijke of kunstmatige invloeden. De belangrijkste natuurlijke factoren zijn neerslag, of andere voeding, en verdamping. Grondwaterwinning en oppervlaktewaterbeheersing zijn belangrijke kunstmatige ingrepen. Bij de verandering van de stijghoogten in de tijd kunnen drie typen van fluktuaties onderscheiden worden :

- Meerjarige fluktuaties, te wijten aan een opeenvolging van natte of droge jaren;
- Jaarlijkse fluktuaties, bestaande uit een opeenvolging van een opvullings- en afvoerperiode;
- Onregelmatige fluktuaties, ten gevolge van korte perioden van hevige neerslag, grondwaterwinning, ... enz.

In het studiegebied werden de stijghoogten gedurende de periode van 20 september 1984 tot 15 mei 1985 maandelijks opgemeten. Fluktuaties van het tweede en in mindere mate van het derde type konden worden herkend. In tabel 15 werden voor elke peilbuis per filter de minimale en maximale stijghoogte gegeven, alsook het verschil tussen beide, evenals de gemiddelde stijghoogte voor de waarnemingsperiode.

Opvallend zijn de kleine schommelingen welke meestal geringer zijn dan 0,5 m en, behalve onder het stort, nooit groter dan 1 m. De grootste schommelingen komen voor onder het deel van de stuifzandrug dat verder van het kanaal verwijderd is (BXIII, BXIV, BXV, LO4.4).

Van de waargenomen hoogste waterstanden komen 56,1 % voor in april 1985, 12,5 % in december 1984, 9,0 % in november 1984, 8,6 % in februari 1985 en 13,8 % verspreid over de overige maanden. Voor de laagste waterstanden is de verdeling als volgt : 27,6 % in september 1984, 20,1 % in februari 1985, 16,7 % in maart 1985, 10,3 % in mei 1985, 8,0 % in november 1984 en 17,3 % in de resterende maanden.

Tabel 15 - Gegevens over de stijghoogten opgemeten tussen 20.09.84 en 15.05.85

Peilbuis nr.	Stijghoogtegegevens					
	Min (m+TAW)	Datum	Max (m+TAW)	Datum	$\Delta$ (m)	Gem (m+TAW)
I*	6.86	20.09	7.27	14.02	0.41	7.05
II*	6.52	20.09	6.91	14.02	0.39	6.69
IIA*	6.38	17.10	6.48	15.05	0.10	6.43
1-1	7.67	14-15.03	8.11	17.12	0.44	7.94
1-2	8.03	20.09	8.23	15.04	0.20	8.10
1B-1	7.99	20.09	8.21	15.04	0.22	8.08
1B-2	7.97	20.09	8.20	15.04	0.23	8.05
2-1	8.72	15.05	8.82	17.12	0.10	8.77
2-2	8.71	15.05	8.81	17.12	0.10	8.77
2B-1	8.73	15.05	8.84	17.12	0.11	8.79
2B-2	8.73	15.05	8.84	17.12	0.11	8.79
5-1	7.24	20.09	7.84	15.04	0.60	7.50
5-2	7.27	20.09	7.91	15.04	0.64	7.56
SP1-1	8.68	15.05	8.72	14.02	0.04	8.50
SP3-1	7.11	14-15.03	7.93	17.12	0.82	7.57
SP4-1	7.63	14.02	8.47	15.04	0.84	7.88
SP5-1	7.08	14-15.03	7.73	20.09	0.65	7.45
SP5-2	7.47	14.02	7.91	15.04	0.44	7.58
DB11-1	7.63	14.02+15.01	7.87	15.04	0.24	7.77
DB11-2	7.68	14.02	7.91	15.04	0.23	7.79
HB 12	8.34	14-15.03	8.47	15.11	0.13	7.75
HB 13	8.64	14-15.03	8.74	15.11	0.10	8.69
HB 14	8.93	14-15.03	9.07	17.10	0.14	9.01
HB 15	7.07	17.10	7.43	15.04	0.36	7.32
HB 16	7.33	14.02	7.50	15.04	0.17	7.38
HB 17	7.33	14.02	7.41	15.04	0.08	7.36
HB 18	7.43	14.02	7.84	15.04	0.41	7.61
HB 19	7.62	14.02	7.89	20.09	0.27	7.73
HB 20	8.06	14.02	8.11	15.04	0.05	8.09
HB 21	7.47	14.02	7.76	15.04	0.29	7.57
HB 22	7.86	14-15.03	8.07	15.04	0.21	7.94
HB 23	8.34	14.02	8.55	15.04	0.21	8.42
BI-F1	6.53	15.04	6.69	20.09	0.16	6.66
BI-F2	6.76	14-15.03	6.97	17.12	0.21	6.91
BII-F1	7.82	17.10	7.92	15.04+15.11+15.05	0.10	7.88
BII-F2	7.79	20.09	8.08	15.04	0.09	7.97
BIII-F1	8.68	20.09	8.85	14-15.03+ 15.05+17.12	0.17	8.81
BIII-F2	8.59	17.10	8.96	15.04	0.37	8.79

Min = laagste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

Max = hoogste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

 $\Delta$  = Max - Min

Gem = Gemiddelde stijghoogte over de waarnemingsperiode

\* Peilbuizen onder de a3-klei

Tabel 15 - Gegevens over de stijghoogten opgemeten tussen 20.09.84 en 15.05.85

Peilbuis nr.	Stijghoogtegegevens					
	Min (m+TAW)	Datum	Max (m+TAW)	Datum	$\Delta$ (m)	Gem (m+TAW)
BIV-F1	7.86	20.09	8.13	14.02+15.05	0.27	8.04
BIV-F2	8.20	20.09	8.42	15.04+17.12	0.22	8.34
BV-F1	6.69	15.11	6.91	17.10	0.22	6.80
BV-F2	7.03	14-15.03	7.18	15.04	0.15	7.09
BVI-F1	5.24	15.01	5.38	15.05	0.14	5.28
BVI-F2	5.48	20.09	5.66	15.05+15.11	0.18	5.61
BVII-F1	4.23	15.01	4.42	15.11	0.19	4.32
BVII-F2	4.40	20.09	4.74	15.05	0.34	4.60
BVIII-F1	3.74	15.01	3.97	15.11	0.23	3.85
BVIII-F2	4.00	15.04	4.37	15.11	0.37	4.22
BIX-F1	4.79	20.09	5.10	15.05	0.31	4.97
BIX-F2	4.56	14.02	4.80	15.04	0.24	4.60
BX-F1	9.70	20.09	10.25	14.02	0.55	10.06
BX-F2	10.87	15.11	11.29	15.04	0.42	11.16
BXI-F1	7.91	20.09	8.15	15.04	0.24	8.02
BXI-F2	7.79	15.01	8.01	15.04	0.22	7.85
BXII-F1	6.67	20.09	7.02	15.04	0.35	6.88
BXII-F2	6.87	14.02	7.36	15.04	0.49	7.03
BXIII-F1	5.82	20.09	6.65	15.04	0.83	6.21
BXIII-F2	5.83	20.09	6.61	15.04	0.78	6.22
BXIV-F1	6.16	20.09	6.99	15.04	0.83	6.56
BXIV-F2	6.13	20.09	6.94	15.04	0.81	6.55
BXV-F1	7.11	20.09	8.03	15.04	0.92	7.57
BXV-F2	7.17	20.09	8.07	15.04	0.90	7.60
PB1,1	8.08	14-15.03	8.20	15.04	0.12	8.12
PB1,2	8.11	15.05	8.78	14-15.03	0.67	8.35
PB1,3	8.02	15.05	8.03	15.04	0.01	8.02
PB2,1	7.95	14.02	8.11	15.04	0.16	8.05
PB2,2	8.11	15.05	8.15	15.04	0.04	8.13
PB2,3	8.09	15.05	8.13	15.04	0.04	8.11
PB3	7.74	14.02	7.94	15.04	0.20	7.86
PB4	8.12	14-15.03	8.23	15.04	0.11	8.17
pompput1	7.42	14-15.03	7.49	15.04	0.07	7.45
pompput2	7.45	14-15.03	7.57	15.04	0.12	7.51
Pb1,6m-F1	38.05	Enige gemeten waarde		15.11		
Pb2,5m-F1	22.83	14-15.03	24.24	17.12	1.41	23.40
Pb2,5m-F2	27.53	14.02	28.03	17.12	0.50	30.71
LO3.1-F1	5.00	15.11	5.16	15.04	0.16	5.06
LO3.1-F2	5.20	15.01+14-15.03	5.41	15.04	0.21	5.26

Min = laagste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

Max = hoogste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

 $\Delta$  = Max - Min

Gem = Gemiddelde stijghoogte over de waarnemingsperiode

Tabel 15 - Gegevens over de stijghoogten opgemeten tussen 20.09.84 en 15.05.85

Peilbuis nr.	Stijghoogtegegevens					
	Min (m+TAW)	Datum	Max (m+TAW)	Datum	$\Delta$ (m)	Gem (m+TAW)
LO3.3-F1	5.92	14.02	6.33	15.04	0.41	6.05
LO3.3-F2	5.95	14.02	6.32	15.04	0.37	6.07
LO4.1-F1	5.37	15.04	5.46	14.02	0.09	5.41
LO4.1-F2	5.36	15.04	5.86	17.12	0.50	5.61
LO4.4-F1	6.65	15.04	7.23	15.11	0.58	7.00
LO4.4-F2	6.88	20.09	7.83	15.04	0.95	7.29
LO5.1-F1	4.76	15.11	4.87	15.02	0.11	4.82
LO5.1-F2	4.69	15.11	4.80	14.02	0.11	4.74
LO5.3-F1	7.04	15.01	7.48	15.04	0.44	7.11
LO5.3-F2	7.11	15.11	7.48	15.04	0.37	7.21

Min = laagste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

Max = hoogste stijghoogte gemeten tijdens de waarnemingsperiode

$\Delta$  = Max - Min

Gem = Gemiddelde stijghoogte over de waarnemingsperiode

## 5.6. Besluit

Op grond van maandelijkse stijghoogtemetingen, tussen september 1984 en mei 1985, in 87 peilbuizen, zijn in het studiegebied vijf "stromingsgebieden" onderscheiden. Het grondwater stroomt er in de richting van respectievelijk de verkeerstunneldrainage (I), het kanaal (II en V), de Avrijevaart (III) en de Zwarte Sluispolder (IV).

Van een bij de bouw van de tunnel aangelegd blik scherm is thans geen invloed meer te bespeuren.

Vooraf in het geplande uitbreidingsgebied en tussen het gipsstort en de slibbergingsput treedt er kwel op. Deze gebieden zijn zeer vochtig. Onder het stort is de stroming neerwaarts gericht. Op de meeste andere waarnemingsplaatsen is het stijghoogteverschil tussen de lagen KZ2 en KZ1 gering.

De stijghoogten schommelden weinig in de waarnemingsperiode; minder dan 1 m behalve onder het gipsstort waar de variaties iets groter waren.

De hoogste waargenomen stijghoogten vallen voor 56 % in april 1985; de laagste voor 28 % in september 1984.

## 6. SAMENSTELLING VAN HET GRONDWATER

### 6.1. Algemeen

Beschikbare rapporten en analyseresultaten over de grondwaterkwaliteit werden verzameld. Nieuwe monsters werden door RHONE-POULENC CHEMIE N.V. genomen en onderzocht. Gepoogd werd een beeld te verkrijgen van de kwaliteit van niet verontreinigd grondwater in het gebied, van het gipsstortperkolaat en tenslotte van het verontreinigd grondwater zelf. De nieuwe analyseresultaten worden vergeleken met de kwaliteit van het kanaalwater, het putwater in Oost-Vlaanderen en met de nieuwe leidingwaternorm. De uitbreiding van het verontreinigd grondwater wordt geschetst vooral aan de hand van hydrochemische doorsneden door het bestudeerde gebied.

### 6.2. Aangewende gegevens

#### 6.2.1. Beschikbare studierapporten en analyseresultaten

Door het INSTITUUT VOOR HYGIENE EN EPIDEMIOLOGIE (IHE) werd in januari 1981 een rapport uitgebracht over de kwaliteit van het grondwater in de zone waar thans de slibbergingsput is gelegen (D. VERHOEVE et al., 1981). Dit onderzoek werd uitgevoerd in opdracht van het MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN teneinde de nultoestand aldaar te bepalen. De toen bemonsterde peilbuizen zijn aangegeven met de benaming MOW op de PLAAT VI. Voor de analyseresultaten van toen wordt verwezen naar het oorspronkelijk rapport. Recentere analyses daarentegen zijn opgenomen in de bijlage 11.

Uit de studie van het IHE is gebleken dat in de kwartaire afzettingen aan de noordzijde van de slibbergingsput, in de puttenreeksen MOW 5 en MOW 6, "normaal" grondwater voorkomt voor wat betreft de algemene kwaliteitsparameters. Aan de zuidzijde treft men, nog steeds volgens hogergenoemde studie, door infiltratie uit de gipsafvalberg, abnormaal hoge waarden aan voor sommige parameters : de geleidbaar-



heid, chloriden, ammoniumstikstof, totale hardheid, sulfaten, calcium, magnesium en natrium; er werden daar eveneens organische verbindingen van industriële oorsprong in vrij hoge concentraties aangetoond.

Door C. PETRAS (1983) werden, in het bestek van een hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone (W. DE BREUCK et al., 1983), in de nabijheid van het gipsstort elektrische profileringen uitgevoerd. Daaruit bleek dat op drie plaatsen minstens een ondiepe verontreiniging tot ca. 150 m van het stort was doorgedrongen.

In het bestek van de hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone zijn peilbuizen in en rond het bestudeerde gebied geplaatst en bemonsterd. Op deze plaatsen zijn in de boorgaten elektrische boorgatmetingen gebeurd. De peilbuizen zijn op de PLAAT VI aangegeven als G LO gevolgd door twee cijfers. De analyseresultaten, bekomen op verschillende data, zijn terug te vinden in de bijlage 11.

In de studie van W. DE BREUCK et al. (1983) is te lezen dat in het bestudeerde gebied, gezien de ligging ervan op de stuifzandrug, het niet beïnvloed grondwater gekenmerkt is door een overwicht aan aardalkaliën, carbonaat en bicarbonaat en door een hogere tijdelijke hardheid. Het is een groep 3-water in de klassifikatie van G. DE MOOR & W. DE BREUCK (1969) (zie 6.3.3). Talrijke analyseresultaten van stalen die toen ontnomen zijn rond het gipsstort werden wel geïnterpreteerd als kenmerkend voor een door stort verontreinigd grondwater.

Het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. heeft in de loop van de jaren een aantal peilbuizen zelf geplaatst of laten plaatsen en bemonsterd. Deze zijn op de PLAAT VI gekenmerkt door de letters K of G gevolgd door de letters HB of DB en cijfers. De beschikbare analyseresultaten zijn samengebracht in de bijlage 11.

Ook OVAM en het OCW hebben in het gebied enkele staalnamepunten; deze zijn aangeduid op PLAAT VI met respectievelijk OV en OCW. De analyseresultaten van de putten van OVAM staan vermeld in bijlage 11. Van de OCW-putten zijn enkel gemiddelden ter beschikking.

De meeste recente resultaten werden verwerkt in de hydrochemische doorsneden welke besproken worden in paragraaf 6.5.5.

## **6.2.2. Nieuwe gegevens**

### **6.2.2.1. Grondwaterbemonstering**

In het bestek van deze hydrogeologische studie werden 39 peilbuizen voor het eerst of opnieuw bemonsterd. De buizen staan in de tabel 16 aangegeven. De bemonsteringen hadden plaats op 24 en 26 oktober 1984, 17 en 19 december 1984, 14 en 15 maart 1985 en tenslotte op 13 en 14 juni 1985. Ze geschieden door personeel van het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. In het totaal werden 151 monsters genomen.

Er is gebruik gemaakt van een centrifugaalpomp. Het pomplichaam en de leidingen waren van ijzer en messing. Een plasticen buis werd in de peilbuizen gehangen. In de mate van het mogelijke werden minstens drie buisvolumes grondwater opgepompt alvorens tot bemonstering (doorstroombemonstering) over te gaan : in de tabel 16 zijn deze buizen aangeduid als "goed gespuid". In andere gevallen kon dit niet wegens het geringe debiet dat door de filteropeningen kon stromen. In de tabel 16 zijn deze weergegeven als "weinig gespuid" of "niet gespuid"; in dit laatste geval kon enkel het stagnatiewater opgepompt worden. Principieel is dit niet volgens de regels der kunst.

Stalen waarin op zicht duidelijk zwevende stoffen waren te zien werden op het terrein gefilterd. Dit feit is eveneens vermeld in de tabel 16.

Tabel 16 - Staalnameprocedure en ionenbalans (e) van de stalen ontnomen in het bestek van dit onderzoek

datum buisnr.	24-26.10.84		17-19.12.84		14-15.03.85		13-14.06.85	
L05.3-F1	xxx	.	xxx	....	xxx	..	xxx	..
L05.3-F2	-	-	xx	....	xx	F ...	xx	....
DB 11-F1	xxx	..	xxx	....	xxx	....	xxx	..
DB 11-F2	xxx	..	xxx	...	xxx	...	xxx	....
5 - diep	xxx	....	xxx	....	xxx	.	xxx	....
5-ondiep	x	.	x	F ..	x	F .	xx	F ....
2 - diep	xxx	....	xxx	....	xxx	....	xxx	....
2-ondiep	xxx	..	xxx	....	xxx	....	xxx	....
BI -F1	x	.	x	F ..	x	....	x	..
BII -F1	x	....	x	F ...	xx	....	xx	....
BIII -F1	xxx	.	xx	....	xxx	....	xx	..
BIV -F1	xxx	...	xxx	....	xxx	...	xxx	..
BV -F1	xx	..	x	F ...	x	F ..	x	.
BVI -F1	xx	....	xx	F ....	xx	...	x	...
BVII -F1	xxx	....	xxx	...	xx	...	xxx	..
BVIII-F1	xxx	....	x	....	xxx	..	xxx	..
BIX -F1	xx	....	xx	F ....	x	..	xx	....
BX -F1	xx	....	xx	....	xxx	...	x	....
BXI -F1	xxx	...	xxx	....	xxx	...	xxx	..
BXII -F1	xxx	...	xx	F ....	xxx	..	xx	....
BXIV -F1	xxx	.	xxx	F ....	xxx	..	xx	....
BI -F2	-	-	x	F ....	-	- -	x	....
BII -F2	x	...	x	F ....	xx	F ....	xx	....
BIII -F2	x	....	xxx	....	xxx	....	xxx	....
BIV -F2	xxx	....	xxx	F ....	xxx	F ....	xxx	....
BV -F2	xx	....	x	(V) ...	x	F ....	-	- -
BVI -F2	xxx	...	xxx	F ...	xxx	....	xxx	F ....
BVII -F2	-	-	x	(V) ...	x	..	xx	F .
BVIII-F2	x	...	xxx	F ....	xxx	F ...	xx	.
BIX -F2	xxx	....	xxx	....	xxx	...	xxx	....
BX -F2	x	...	x	F ....	x	....	xx	....
BXI -F2	xxx	....	xxx	....	xxx	....	xxx	....
BXII -F2	xx	....	xxx	...	xxx	..	xxx	....
BXIV -F2	xxx	.	xx	F ....	xxx	F .	xxx	..
HB 15	xx	...	xx	F ....	xx	....	x	.
HB 17	xx	..	xx	F ....	xx	..	x	...
HB 18	xx	...	xx	F ...	xx	.	x	....
HB 19	xx	..	xx	F ...	xx	...	x	....
HB 20	xx	....	xx	F ....	xx	....	x	....

- geen staalname

x niet gespuid

xx weinig gespuid

xxx goed gespuid

F staal ter plaatse gefilterd

(V) staal zeer vuil, niet te filteren

.... e ≤ 5 %

... 5 % &lt; e ≤ 10 %

.. 10 % &lt; e ≤ 20 %

. e &gt; 20 %

$$e = 100 \frac{\sum \text{kationen (meq/l)} - \sum \text{anionen (meq/l)}}{\sum \text{kationen (meq/l)} + \sum \text{anionen (meq/l)}}$$

 niet angewend bij het berekenen van gemiddelden.

Drie glazen monsterflessen werden op het terrein gevuld : één zonder toevoeging, één met 1 ml  $\text{HNO}_3$  en één met 1 ml chloroform. Tijdens de eerste bemonsteringscampagne werd slechts één fles gevuld.

De waterstalen werden op de dag zelf van de bemonstering naar het laboratorium overgebracht; de analyses werden nagenoeg onmiddellijk aangevat.

#### 6.2.2.2. Analyses

De analyses op de 151 monsters gebeurden in het laboratorium van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. Volgende parameters werden bepaald : pH,  $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{PO}_4$ , F,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ , Fe, Ca, Mg, Na, K,  $\text{NH}_4$ . De aangewende analysemethoden waren :

- $\text{SO}_4$ , Cl,  $\text{NO}_3$  : HPLC;
- $\text{PO}_4$  : Colorimetrisch;
- F : specifieke elektrode;
- $\text{HCO}_3$ ,  $\text{CO}_3$  : titrimetrisch;
- Fe,  $\text{NH}_4$  : colorimetrisch;
- Ca, Mg : titrimetrische complexometrie (eerste analyse, oktober 1984)  
atoomabsorptie (volgende analyses);
- Na, K : vlamfotometrisch.

In de tabel 16 zijn de monsters ingedeeld in vier klassen gekenmerkt door de grootte van de ionenbalans. Algemeen wordt aangenomen dat de fout kleiner dient te zijn dan 5 % ofschoon men tot 10 % kan tolereren. In deze studie werden enkel de analyses waarvan de ionenbalans meer dan 20 % afweek, verworpen. Dit was het geval bij 15 van de 151 monsters zodat er nog 136 voor verwerking overbleven.

De analyseresultaten zijn opgenomen in de bijlage 12.

### 6.2.2.3. Overzicht van de resultaten

Op grond van de individuele resultaten werden gemiddelden berekend (tabel 17). Van de 136 analysereeksen werden er 11 niet bij het berekenen van de gemiddelden betrokken; ofschoon niet te bewijzen is dat de betrokken stalen niet representatief waren, werd toch een aantal resultaten als twijfelachtig beschouwd wegens de sterke afwijking. Van deze 11 afwijkende resultaten zijn er 7 bekomen in de eerste analysereeks en 4 in de tweede. Vooral tijdens de eerste analyses waren er volgens het bedrijf bepaalde methoden niet volledig op punt wat de afwijkingen kan verklaren. Het blijven volgen van de grondwaterkwaliteit zou hierover in de toekomst meer informatie moeten geven. Tijdens de reeds eerder genoemde studie van het IHE zijn er ook sterke schommelingen in de analyseresultaten waargenomen. Deze werden door het IHE beschouwd als het gevolg van (D. VERHOEVE et al., 1981) :

- de jarenlange verontreiniging;
- de inwerking van de regenneerslag;
- de uitgravingswerken van de slibbergingsput.

Op basis van het totaal aan opgeloste stoffen gegeven in de tabel 17 kan men de thans geanalyseerde monsters in drie grote groepen onderverdelen : één groep (de meerderheid) met een totaal zoutgehalte van meer dan ca. 2000 mg/l, een andere met waarden tussen 1000 en 2000 mg/l (B VII F2, B XII F1, HB 15) en tenslotte monsters met betrekkelijk weinig opgeloste stoffen en wel minder dan 800 mg/l (B XII F2, B XIV F1 en F2, HB 17, HB 18, DB 11 F2, MOW 5 F1 en F2, G LO 5.3 F1 en F2). Rekening houdend met de afstand van de putten tot het gipsstort en met de grondwaterstroomrichting kan men nu reeds stellen dat de drie genoemde groepen respektievelijk sterk, minder sterk en zeer weinig of niet beïnvloed zijn door het perkolaat van het gipsstort (verder ook gipsstortwater, gipsbergwater of gipsperkolaat genoemd).

Tabel 17 - Gemiddelde van de parameters bepaald in het bestek van deze studie.

PARAMETER	BUIS EENHEID	GL BI	GL BI	GL BII	GL BII	GL BIII	GL BIII	GL BIV	GL BIV
		F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
pH		6,47	8,36	6,40	6,50	6,30	6,26	6,54	6,94
Geleidbaarheid	µS/cm								
Temperatuur	° C								
Natrium	mg/l Na	1556	798	1528	429	299	1742	541	1608
Kalium	mg/l K	9,9	24,2	72,9	89,1	10,1	14,1	11,4	8,1
Calcium	mg/l Ca	473	229	741	517	1437	1890	1538	858
Magnesium	mg/l Mg	47,2	56,0	316	89,7	129	311	63,6	173
IJzer	mg/l Fe	56,6	10,2	51	16,2	116	35,9	154	3,1
Mangaan	mg/l Mn								
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	8,6	8,1	124	21,6	40,2	156	25,1	167
Chloriden	mg/l Cl	1746	700	2050	531,5	1435	6161	1862	1831
Sulfaten	mg/l SO <sub>4</sub>	1148	980	3043	1595	1707	1076	2127	2994
Nitraten	mg/l NO <sub>3</sub>	3,25	32	0	10	0	117	0	0
Nitrieten	mg/l NO <sub>2</sub>								
Ortofosfaten	mg/l PO <sub>4</sub>	10,7	23,6	150	185	10,2	18,9	10,4	13,5
Bicarbonaten	mg/l HCC <sub>3</sub>	903	341	830	150	1163	671	817	1058
Carbonaten	mg/l CO <sub>3</sub>	0	12	0	0	0	0	0	0
Fluoriden	mg/l F	0,7	2,7	1,0	2,7	3,1	3,6	0,9	8,9
Tot.opgeloste stoffen	mg/l	5962	3217	8905	3616	6350	12196	7252	8671

Tabel 17 (vervolg) - Gemiddelde van de parameters bepaald in het bestek van deze studie.

PARAMETER	EENHEID	BUIS	GL BV	GL BV	GL BVI	GL BVI	GL BVII	GL BVII	GL BVIII	GL BVIII
		F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2	
pH	-	7,27	7,14	6,60	7,01	6,55	7,30	6,51	6,93	
Geleidbaarheid	µS/cm									
Temperatuur	° C									
Natrium	mg/l Na	537	1286	698	507	697	230	840	671	
Kalium	mg/l K	26,5	61,2	17,0	15,3	17,4	13,9	22,3	27,4	
Calcium	mg/l Ca	193	297	1351	890	1526	244	1598	638	
Magnesium	mg/l Mg	65,3	212	199	48,6	222	42,1	138	54,7	
IJzer	mg/l Fe	0,7	81,3	167	32,5	153	38,9	131	69,8	
Mangaan	mg/l Mn									
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	34,7	855	27,6	9,8	14,8	1,1	14,5	9,1	
Chloriden	mg/l Cl	894	2345	1547	1373	1468	421	1654	1845	
Sulfaten	mg/l SO <sub>4</sub>	364	2786	2080	1051	2585	323	2401	433	
Nitraten	mg/l NO <sub>3</sub>	10	0	0	0	0	15	0	10	
Nitrieten	mg/l NO <sub>2</sub>									
Ortofosfaten	mg/l PO <sub>4</sub>	3,5	10,7	8,1	2,2	7,0	9,5	6,0	5,0	
Bicarbonaten	mg/l HCC <sub>3</sub>	647	1391	1183	329	1305	439	1110	407	
Carbonaten	mg/l CO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	
Fluoriden	mg/l F	2,3	1,8	1,0	0,4	0,6	1,3	2,0	1,4	
Tot.opgeloste stoffen	mg/l	2778	9308	7277	4206	7995	1779	7916	4170	

Tabel 17 (vervolg) - Gemiddelde van de parameters bepaald in het bestek van deze studie.

PARAMETER	BUIS EENHEID	GL BIX	GL BIX	GL BX	GL BX	GL BXI	GL BXI	GL BXII	GL BXII
		F1	F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2
pH		7,15	6,65	6,90	6,43	6,50	6,56	7,32	7,27
Geleidbaarheid	µS/cm								
Temperatuur	° C								
Natrium	mg/l Na	255	1980	655	1456	265	1693	307	11,3
Kalium	mg/l K	24	20,3	30,9	54,2	20,1	19,1	20,6	2,1
Calcium	mg/l Ca	354	451	846	561	1138	927	121	53,1
Magnesium	mg/l Mg	113	261	95,8	173	131	160	53,6	36,1
IJzer	mg/l Fe	24,9	25,9	68,1	10,2	102	60,9	3,3	5,2
Mangaan	mg/l Mn								
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	16,9	162	24,3	30,6	24,2	114	10,6	9,3
Chloriden	mg/l Cl	673	3086	1983	1902	1114	2913	496	29,9
Sulfaten	mg/l SO <sub>4</sub>	578	2036	783	2232	1312	2112	106	53,6
Nitraten	mg/l NO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	12
Nitrieten	mg/l NO <sub>2</sub>								
Ortofosfaten	mg/l PO <sub>4</sub>	7,9	4,7	3,1	319	6,4	2,0	5,1	3,1
Bicarbonaten	mg/l HCC <sub>3</sub>	399	1120	446	317	985	766	403	241
Carbonaten	mg/l CO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluoriden	mg/l F	2,2	0,5	3,7	10,4	0,6	0,6	1,3	0,5
Tot.opgeloste stoffen	mg/l	2449	9099	4947	7064	5099	8786	1527	457



Tabel 17 (vervolg) - Gemiddelde van de parameters bepaald in het bestek van deze studie.

PARAMETER	BUIS	GL BXIV	GL B XIV	K HB15	K HB17	K HB18	K HB19	K HB20	G DB 11
	EENHEID	F1	F2						F1
pH		7,68	4,81	6,88	7,33	7,13	6,84	6,64	6,54
Geleidbaarheid	µS/cm								
Temperatuur	° C								
Natrium	mg/l Na	23,2	28,0	105,3	19,2	39,0	438	1792	983
Kalium	mg/l K	9,8	29,5	70,3	2,5	5,4	3,7	18,8	11,0
Calcium	mg/l Ca	76,6	38,5	164	66,6	94,3	706	2130	1122
Magnesium	mg/l Mg	17,5	32,5	58,8	22,0	6,9	113	304	91,8
IJzer	mg/l Fe	5,3	1,3	0,3	2,6	0,9	41,5	24	29,5
Mangaan	mg/l Mn								
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	0,8	1,9	5,5	3,9	3,8	6,8	112	7,1
Chloriden	mg/l Cl	37,3	56	257	34,2	43,6	976	6623	2184
Sulfaten	mg/l SO <sub>4</sub>	40	151	237	15	31	1065	885	1255
Nitraten	mg/l NO <sub>3</sub>	0	72	129	2,3	0	1,3	114	0
Nitrieten	mg/l NO <sub>2</sub>								
Ortofosfaten	mg/l PO <sub>4</sub>	7,2	2,3	2,0	3,5	2,3	3,4	3,0	1,9
Bicarbonaten	mg/l HCC <sub>3</sub>	201,2	27,5	333	262	374	804	531	782
Carbonaten	mg/l CO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0
Fluoriden	mg/l F	0,6	0,9	1,6	1,2	1,5	1,2	1,1	1,1
Tot.opgeloste stoffen	mg/l	420	441	1364	435	603	4167	12538	6272

Tabel 17 (vervolg) - Gemiddelde van de parameters bepaald in het bestek van deze studie.

PARAMETER	EENHEID	BUIS	G DB 11	MOW 2	MOW2	MOW 5	MOW 5	G LO 5.3	G LO 5.3	
		F2	F1	F2	F1	F2	F1	F2		
pH		7,15	6,39	6,37	7,62	6,71	7,26	6,60		
Geleidbaarheid	µS/cm									
Temperatuur	° C									
Natrium	mg/l Na	70	1023	986	21,9	11,6	13,2	21,6		
Kalium	mg/l K	2,2	17,9	23	3,6	7,8	2,2	17,7		
Calcium	mg/l Ca	170	1410	1671	98,6	48,0	65,7	87,4		
Magnesium	mg/l Mg	28,6	156	200	23,1	2,4	14,2	21		
IJzer	mg/l Fe	3,8	56,2	31,0	3,2	2,7	2,2	1,8		
Mangaan	mg/l Mn									
Ammonium	mg/l NH <sub>4</sub>	2,5	26,1	62,5	4,0	1,4	4,0	0,6		
Chloriden	mg/l Cl	191	3181	3895	62	18,2	17,3	45,8		
Sulfaten	mg/l SO <sub>4</sub>	118	1284	1488	60,6	50,0	0	90		
Nitraten	mg/l NO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	150		
Nitrieten	mg/l NO <sub>2</sub>									
Ortofosfaten	mg/l PO <sub>4</sub>	1,2	7,7	22,4	1,3	7,2	5,7	2,5		
Bicarbonaten	mg/l HCC <sub>3</sub>	208	885	878	292	122	281	69,2		
Carbonaten	mg/l CO <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0		
Fluoriden	mg/l F	1,2	0,4	1,1	1,7	0,6	0,6	2,0		
Tot.opgeloste stoffen	mg/l	796	8047	9258	579	150	406	510		

### 6.2.3. Vergelijkbaarheid van de analyseresultaten

Variabiliteit in ruimte en tijd van de in het laboratorium bepaalde fysische, chemische en biologische kenmerken van het grondwater kunnen te wijten zijn aan veranderingen van de hoeveelheid en de kwaliteit van het voedingswater (neerslag, perkolaat, ...), aan de processen, welke plaatsvinden in de onverzadigde of verzadigde zone, en tenslotte aan de bemonsterings- en laboratoriumprocedures. Om de eerste twee genoemde aspecten te bestuderen dient het derde konstant gehouden te worden; dit is hier niet het geval gezien het grote aantal instellingen, dat zowel bij de bemonstering als bij de analyses is betrokken geweest.

Enkele belangrijke aspecten bij veranderlijkheid ten gevolge van de bemonstering zijn :

- het personeel dat de bemonstering uitvoert;
- de bemonsteringstechniek (vacuumbemonstering, luchtliftbemonstering ...);
- de samenstelling van het aangewende materiaal (flessen, zuigleidingen, pomponderdelen ...);
- het al dan niet filteren van het monster;
- de tijdsperiode tussen het aanzetten van de pomp en de eigenlijke bemonstering;
- de plaats van bemonstering (stijgbuiskop, reservoir ...);
- het tijdstip van bemonsteren (onmiddellijk na het boren, jaren later ...).

Bij de veranderlijkheid ten gevolge van de laboratoriumactiviteiten zijn belangrijk :

- het personeel dat de analyses uitvoert;
- de analyse methoden;
- de gebruikte reagentia;
- de procedures van kwaliteitscontrole;
- de gegevensverwerking.

Een evaluatie van de hogergenoemde factoren is door een gebrek aan gegevens niet mogelijk geweest. Men dient er dus steeds rekening mee te houden dat de aangewende analyseresultaten niet op een uniforme wijze werden verkregen en in bepaalde gevallen misschien niet vergelijkbaar zijn.

### 6.3. Het "natuurlijke" grondwater in het gebied

#### 6.3.1. Regenwater

Het regenwater dat op de stuifzandrug infiltreert is min of meer beïnvloed door emissie in de lucht.

In de tabel 18 en 19 is de evolutie van de regenwaterkwaliteit in de meetpunten te Sas-van-Gent (Westdam 37) en te Ertvelde (Stuivenbergstraat) gegeven. Het meetpunt te Sas-van-Gent wordt beheerd door de Provinciale Waterstaat Zeeland; dat te Ertvelde behoort toe aan de Rijksuniversiteit Gent en wordt beheerd door het Laboratorium voor Anorganische Technische Chemie, Electrochemie en Industriële Electrochemie.

De medegedeelde gewogen gemiddelden voor Sas-van-Gent hebben betrekking op metingen van juli van het ene jaar tot juli van het daaropvolgende jaar.

Uit de tabellen blijken de gewogen gemiddelden per station weinig te veranderen van jaar tot jaar. De pH is laag (normaal 5,6 voor regenwater). Het chloridegehalte is normaal te noemen, rekening houdende met de afstand tot de zee. Het SO<sub>4</sub>-gehalte is vrij hoog. Opvallend te Sas-van-Gent zijn de hoger PO<sub>4</sub>- en F-waarden terwijl te Ertvelde hoge NH<sub>4</sub>-concentraties voorkomen.

Tabel 18 - Gewogen gemiddelden van concentraties van stoffen in regenwater te Sas-van-Gent (TNO, 1974; H.A. KRUYT, 1976; J.J. VAN GIEZEN, 1977; 1978a, 1978b; 1980; 1981a; 1981b; 1982)

BEPALING	73-74	74-75	75-76	76-77	77-78	78-79	79-80	80-81	81-82	
pH	5,1	5,2	5,5	5,2	5,8	5,2	5,25	4,83	4,74	
Opgeloste stof mg/l	53,5	39,1	51,7	43,2	49,3	45,7	40,3	49,0	-	
Cl <sup>-</sup> mg/l	8,4	4,2	4,3	4,4	7,1	4,7	4,4	5,5	5,6	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	17,2	9,3	14,8	9,9	10,1	11,1	11,6	11,2	10,9	
F <sup>-</sup> mg/l	0,39	0,39	0,18	0,20	0,26	0,14	0,23	0,22	0,19	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	2,8	2,6	3,8	3,6	3,7	2,9	3,2	3,3	3,7	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	1,32	0,99	0,69	0,92	1,08	0,33	0,99	1,02	0,70	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	2,3	
K <sup>+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4	
Na <sup>+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	2,9	
Ca <sup>2+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	
Mg <sup>2+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	0,5	
Cd <sup>2+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Zn <sup>2+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cu <sup>2+</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Tabel 19 - Gewogen gemiddelden van concentraties van stoffen in het regenwater te Ertvelde (gegevens RUG, Laborat. voor Anorganische Technische Chemie, Electrothermie en Industriële Electrochemie, Prof. Dr. ir. F. BOSCH)

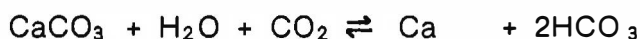
BEPALING	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
pH	5,12	4,97	4,55	4,99	5,38	5,04	4,91	4,76	4,87	5,59
Opgeloste stof mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cl <sup>-</sup> mg/l	8,17	8,55	3,89	4,80	6,29	6,30	5,04	5,10	4,76	2,90
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/l	25,73	15,30	15,44	24,20	19,46	25,39	21,72	19,35	15,58	15,32
F <sup>-</sup> mg/l	0,18	0,30	0,12	0,16	0,12	0,20	0,15	0,10	0,09	0,12
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	5,75	2,61	4,79	5,15	5,01	5,79	5,00	3,59	3,52	3,84
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> mg/l	1,10	0,64	0,91	1,66	0,65	0,47	0,43	0,68	0,31	0,17
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/l	7,16	4,89	8,04	7,99	6,62	8,29	6,03	5,70	4,72	5,79
K <sup>+</sup> mg/l	0,62	0,73	0,69	0,77	0,67	0,46	0,38	0,39	0,38	0,22
Na <sup>+</sup> mg/l	4,43	4,98	2,14	3,52	3,53	3,80	2,13	2,74	2,71	1,61
Ca <sup>2+</sup> mg/l	3,22	1,87	2,80	2,98	2,33	3,00	1,59	1,31	1,35	2,04
Mg <sup>2+</sup> mg/l	0,53	0,27	0,31	0,63	0,32	0,43	0,31	0,27	0,30	0,28
Mn <sup>2+</sup> mg/l	0,08	0,05	0,08	0,12	0,08	0,09	0,07	0,05	0,06	0,06
Zn <sup>2+</sup> mg/l	0,46	0,21	0,34	0,35	0,51	0,39	0,21	0,20	0,17	0,18
Cu <sup>2+</sup> mg/l	0,07	0,07	0,11	0,11	0,15	0,13	0,08	0,09	0,05	0,06

- = niet bepaald

### 6.3.2. Biologische, fysische en chemische processen

Biologische, fysische en chemische processen in de onverzadigde en in de verzadigde zone zijn meestal complex van aard. De onderstaande onderverdeling is dan ook als een ruwe schematisering te beschouwen. In werkelijkheid is er een wisselwerking tussen alle processen.

In de bodem worden in het algemeen organische verbindingen omgezet tot  $\text{CO}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  waarbij  $\text{O}_2$  gebruikt wordt. Stikstof en zwavel worden onder aërobe omstandigheden omgezet tot respectievelijk  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NO}_2$  en  $\text{SO}_4$ . In anaerobe omstandigheden daarentegen doen denitrifikatie, sulfaatreductie en methaangisting zich voor, waardoor  $\text{NH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$  en uiteindelijk  $\text{CO}_2$  worden gevormd. Het gevolg is dat in de bodemlucht een hogere partiële druk van het  $\text{CO}_2$  wordt veroorzaakt terwijl die van het  $\text{O}_2$  afneemt. De hoeveelheid  $\text{CO}_2$  die in het grondwater oplost, is afhankelijk van de hoeveelheid geproduceerd  $\text{CO}_2$  en van de mate waarin het infiltrerend grondwater in aanraking komt met de bodemlucht. Het  $\text{CO}_2$  kan  $\text{CaCO}_3$  oplossen volgens het evenwicht :



Indien het grondwater meer  $\text{CO}_2$  bevat dan nodig voor dit evenwicht wordt het agressief t.o.v.  $\text{CaCO}_3$ . Als het water in de verzadigde zone nog zuurstof bevat ontstaat er nog  $\text{CO}_2$  waardoor de vorming van  $\text{HCO}_3^-$  nog kan doorgaan tot op grotere diepte. De gehalten aan  $\text{Ca}^{2+}$  en  $\text{HCO}_3^-$  nemen dan toe met de afstand tot het infiltratiegebied waardoor de hardheid stijgt.

De verdamping, die bij de infiltratie optreedt veroorzaakt een toename van de concentratie aan opgeloste stoffen terwijl de onderlinge verhoudingen nagenoeg konstant blijven. De concentratiefactor is de verhouding tussen de neerslag en de nuttige neerslag. Voor de Gentse kanaalzone varieert deze van 2 (grasland) over 4 (loofbomen) tot 5

(naaldbomen) (W. DE BREUCK et al., 1983). Daar het chloriden weinig of niet beïnvloed worden in de bodem, en in de veronderstelling dat de neerslag de enige Cl -bron is, kan aan de hand van de concentratie aan chloriden in het regenwater enerzijds en van de concentratiefactor anderzijds een eerste idee verkregen worden van het te verwachten Cl-gehalte in het "natuurlijke" grondwater :

$$(Cl_G) = C \cdot (Cl_R)$$

met

$(Cl_G)$  : Concentratie Cl in grondwater (mg/l)

$(Cl_R)$  : Concentratie Cl in regenwater (mg/l)

C : Concentratiefactor.

Het gemiddelde Cl -gehalte in het regenwater in het bestudeerde gebied is ca. 5 mg/l. Met een concentratiefactor variërend van 2 tot 4 bekomt men 10 tot 20 mg/l in het grondwater.

Veranderingen in de chemische samenstelling van het grondwater kunnen ook worden veroorzaakt door reacties van het water met de mineralen in de grond evenals door ionenwisselingen. Het is echter niet te verwachten dat zich in het studiegebied grote veranderingen in de samenstelling van het grondwater zullen voordoen ten gevolge van deze processen.

### 6.3.3. Kwaliteitsgegevens

Op basis van de studie van de freatische waters in de Vlaamse Vallei door G. DE MOOR en W. DE BREUCK (1969) zal men in het bestudeerde gebied grondwaters aantreffen die door de aangehaalde auteurs groep 3- en groep 8- grondwaters zijn genoemd. Enkele gemiddelde karakteristieken van de grondwatertypen beschreven door G. DE MOOR en W. DE BREUCK (1969) staan in de tabel 20.

Tabel 20 - Grondwatergroepen volgens G. DE MOOR &amp; W. DE BREUCK (1969)

Groep	Beschrijving van de grondwaters	Waarde-mediaan					
		Tot.miner.	TH	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> +CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
		(mg/l)	(°F)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	Zout, uiterst hard, alkali-chloorrijk	29.880	620	17.700	1.120	9.890	1623
2	Matig zout tot zeer brak, uiterst hard, alkali-chloorrijk	14.382	293	7.440	950	4.012	607
3	Matig zoet tot zoet, matig hard, calcium- en bicarbonaathoudend	406	24	28	28	22	260
4	Matig brak tot zwak zoet, zacht, alkalirijk	1.662	13	416	44	480	671
5	Brak, zeer hard, alkali-chloorhoudend	4.134	138	1.922	183	960	498
6	Matig brak tot matig zoet, hard tot matig hard, magnesium- en bicarbonaathoudend	1.346	42,5	164	98	274	534
7	Zwak zoet tot matig zoet, matig hard, magnesium- en bicarbonaathoudend	755	40	63	60,5	76	433
8	Matig zoet, matig hard, sulfaathoudend	449	28	43	142,5	31	140



Tabel 21 - Samenstelling van het watertype b<sub>0</sub> beschreven door  
W. DE BREUCK, P. VAN BURM & M. VAN CAMP (1983)

Parameter	Eenheid	Watertype b <sub>0</sub>					
		$\bar{x}^*$	s**	s/ $\bar{x}^{***}$	Min.	Max.	N****
geleid.	μS/cm	453,0	91,6	0,20	286,0	647,0	20
TH	°F	22,7	4,7	0,21	14,30	30,10	20
Na <sup>+</sup>	mg/l	17,4	8,2	0,47	9,8	39,4	19
K <sup>+</sup>	mg/l	4,3	4,6	1,07	0,9	20,8	17
Mg <sup>2+</sup>	mg/l	8,3	5,9	0,71	3,4	22,1	18
Ca <sup>2+</sup>	mg/l	73,1	13,7	0,19	48,2	99,0	18
Fe <sup>2+ / 3+</sup>	mg/l	3,82	1,92	0,50	0,07	7,53	18
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	1,59	1,44	0,91	0,64	5,38	17
Cl <sup>-</sup>	mg/l	25,6	6,3	0,25	16,0	39,0	21
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/l	30,5	25,6	0,84	1,0	83,0	19
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	246,4	72,7	0,30	162,0	431,0	19
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	0,09	0,04	0,44	sp	0,12	18

\* Gemiddelde

\*\* Standaardafwijking

\*\*\* Variatiecoëfficiënt

\*\*\*\* Aantal

De waters van groep 3 zijn matig zoete en zoete waters, gekenmerkt door het overwicht van de aardalkaliën die meestal meer dan 80 % van de kationen uitmaken en door een hoog gehalte aan carbonaat en bicarbonaat, die samen 65 tot 90 % van de anionen uitmaken.

De waters van groep 8 zijn matig zoet met 20 tot 30 % alkaliën en 60 tot 80 % calcium. Ze bevatten weinig magnesium. Het carbonaat- en bicarbonaatgehalte schommelt tussen 30 en 50 % van de anionen; het sulfaatgehalte ligt hoger dan 30 %. Het chloridegehalte schommelt tussen 15 en 30 % van de anionen.

Volgens de hydrogeologische studie van W. DE BREUCK et al. (1983) ligt het gebied rond RHONE-POULENC CHEMIE N.V. in een zone welke gekenmerkt is door het voorkomen van het grondwatertype  $b_0$  (tabel 21); dit watertype is een groep 3-water dat weinig of niet beïnvloed is door menselijke activiteiten.

Een beeld van het zeer weinig of niet verontreinigd grondwater in de onmiddellijke buurt van het bedrijf verkrijgt men aan de hand van de analyseresultaten van de peilbuizen G LO 5.4 F1, G LO 5.3 F1, G LO 4.4 F1 en G LO 3.3 F1 (tabel 22). Ze liggen betrekkelijk dicht bij de bedrijfsterreinen doch buiten de rechtstreekse invloed van de industriële verontreinigingsbronnen.

Het Cl-gehalte in tabel 22 ligt in de lijn van de berekening uitgevoerd op basis van de concentratiefactor en de regenwaterkwaliteit. Ten opzichte van de gemiddelden voor de kanaalzone (tabel 21) liggen de parameterwaarden wel aan de lage kant.

Tabel 22 - Parameterwaarden en gemiddelden van niet verontreinigd grondwater rond het bedrijf (mg/l)

buis Param.	L0 3.3 F1	L0 4.4 F1	L0 5.3			L0 5.4 F1	$\bar{x}$ *	
			F1					
Na	26,4	18,9	11,7	14	13	12,7	11,5	15,5
K	5,0	2,4	1,91	2	1,8	2,8	2,4	2,6
Ca	48,6	99	67,4	69	64,1	64	48,2	65,8
Mg	7,4	4,3	4,2	11	29,2	2,4	3,4	8,8
Fe	4,04	3,3	4,07	2,2	1,1	3,4	2,21	2,9
NH <sub>4</sub>	1,59	1,50	2,04	6	3	2,9	1,29	2,6
Cl	21	16	16	24	14,2	13,7	16,9	17,4
SO <sub>4</sub>	10,5	2,5	10,5	0	0	0	2,5	3,7
NO <sub>3</sub>	0,4	0,31	0,49	0	0	0	0,09	0,2
PO <sub>4</sub>		0,96		2,4	10	4,8	1,29	3,9
HCO <sub>3</sub>	220	362	231	281	256	305	176	262
F				0,57	0,41	0,93		0,6
TDS	345	511	350	412	393	413	266	384

\* gemiddelde

## 6.4. Het stortperkolaat

### 6.4.1. Literatuurgegevens

Vooraf i.v.m. experimentele gipsophogingen zijn proeven gedaan naar de kwaliteit van het afvalgipsperkolaat.

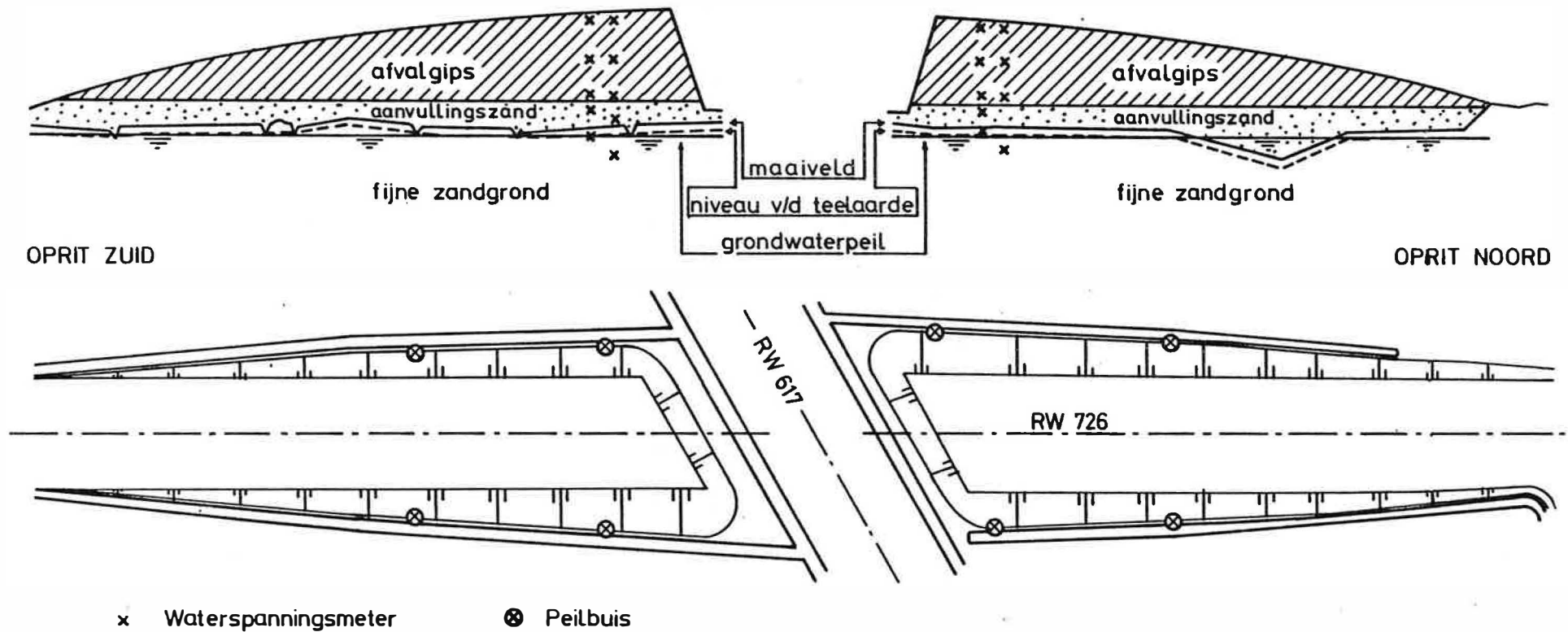
F. GESTIN, B. KIBKALO & A. QUIBEL (1978) hebben het poriënwater in een experimentele gipsophoging onderzocht. Het sulfaatgehalte varieerde bij een pH tussen 4,4 en 5,1 van 2090 mg/l tot 4830 mg/l. Deze laatste waarde is moeilijk verklaarbaar gezien de oplosbaarheid van gips (2,3 g/l bij pH 4,5). Op 0,15 m onder de ophoging werden, in de doorlatende grond, volgende concentraties gevonden :

PO<sub>4</sub> : 1,5 tot 23 mg/l; F : 1,1 tot 10 mg/l; Cd : 0,016 tot 0,027 mg/l;  
Cu : 0,139 tot 0,295 mg/l; Hg : 0,0019 mg/l.

C. QUEVA & P. D'HEM (1978) geven ook enkele waarden voor fosfogipsperkolaat bij een pH van 3,5 tot 4 : Fenolen : 0,45 mg/l; As : 0,16 mg/l; Mg : 0,69 mg/l; Cd : 0,04 mg/l; Pb : 0,2 mg/l; Fe : 0,02 mg/l; Cr : 0,02 mg/l; Cu : 0,05 mg/l; Zn : 0,39 mg/l.

M. SCHAEFFNER (1978) wijst op het belang van het neutraliseren van het gips teneinde de oplosbaarheid van bepaalde toxische bestanddelen te verminderen.

Naast de experimentele gipsophoging te Zelzate (fig. 34) werden door het OCW peilbuizen geplaatst nabij de grondwaterspiegel. Op regelmatige tijdstippen worden monsters genomen teneinde de invloed van het perkolaat op de grondwaterkwaliteit te volgen (D. GORLE, 1979; D. GORLE & J. REICHERT, 1981) (tabel 23). De analyse van 1976 weerspiegelt de toestand voor de aanvang der ophogingswerken. Het filtraat waarvan de kwaliteit in tabel 23 is gegeven werd bekomen door het mengen van 600 g fosfogips in 10 l gedemineraliseerd water. Tot in 1978 is er weinig invloed van de ophoging te zien; dit kan verklaard worden door de opper-



figuur 34 - Detailbeeld van de experimentele gipsophoging te Zelzate  
 (naar D. Gorle & J. Reichert , 1978 )

Tabel 23 - Grondwaterkwaliteit nabij de experimentele  
gipsophoging te Zelzate (D. Gorle , 1979)

Param.	een- heid	gips- fil- traat	Noordzijde				Zuidzijde			
			Datum				Datum			
			15/10 1976	13/12 1977	20/3 1978	4/10 1978	29/9 1977	13/12 1977	20/3 1978	4/10 1978
Ca <sup>++</sup>	mg/l	580	80	232	313	108	104	70	122	72
Mg <sup>++</sup>	mg/l	1,3	8,3	20	25	12,9	7,9	9,3	10,3	9,0
Fe <sup>++</sup>	mg/l	0,2	0	0,04	0,27	0,75	0,13	2,08	9,52	8,0
Pb <sup>++</sup>	ug/l	20	-	13	18	11	9	12	13	6
Cd <sup>++</sup>	ug/l	54	-	2,1	2,0	1,0	4,1	2,6	2,8	1,1
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1875	137	190	780	247	83	73	368	229
PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	96,6	0,06	2,73	0,73	0,95	2,85	3,05	0,79	1,15
F <sup>-</sup>	mg/l	26,8	0,23	0,14	0,24	0,10	0,30	0,37	0,45	0,18
residu (110°)	mg/l	2500	415	1233	1639	920	665	695	883	705
residu (600°)	mg/l	2250	357	975	1357	696	545	496	691	594
pH	-	4,2	5,5	5,7	5,8	5,2	-	5,3	4,8	5,8

vlaakkige afdichting van de ophoging waardoor er zeer weinig of geen perkolaat aan de onderzijde zich vormt.

Een regenwaterextractie op monsters afkomstig van het gipsstort van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. werd uitgevoerd door het IHE (D. VERHOEVE et al., 1981). Zoals verwacht gaf dit veel calcium, sulfaat en fluoriden. Minder verwacht was het hoog gehalte chloriden en ammoniumstikstof. De concentratie aan fosfaten was vrij laag. De extractie deed veel Na en K vrijkomen maar zeer weinig andere metalen.

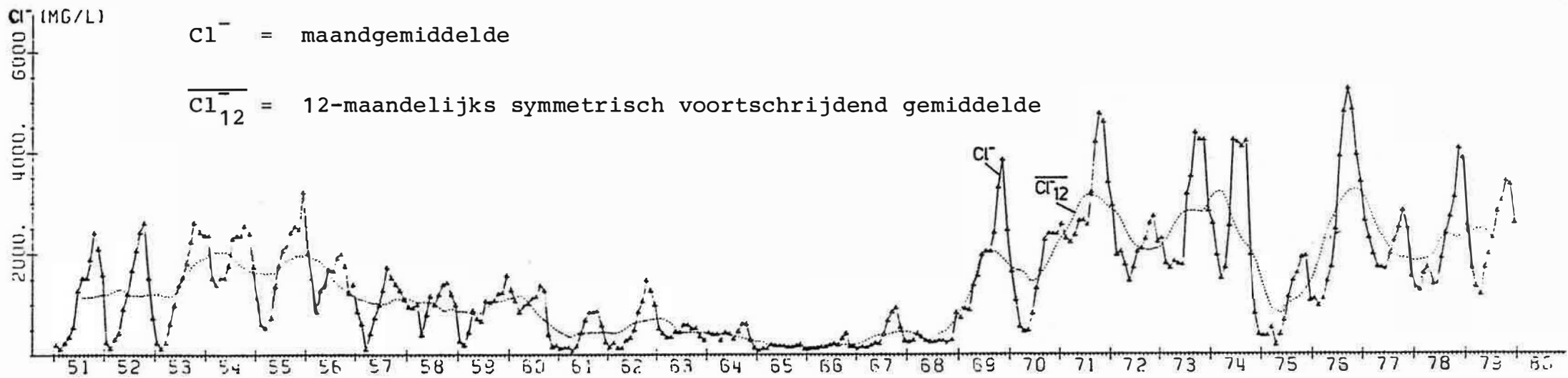
Uit de literatuur blijkt in het algemeen dat niet afgedekte ophogingen, door oplossing het grondwater kunnen verontreinigen, niet alleen met Ca en SO<sub>4</sub> maar tevens met PO<sub>4</sub>, F en eventueel bepaalde zware metalen. SCHAEFFNER (1978) besluit dan ook dat men fotogipsterrils of ophogingen zoveel mogelijk moet isoleren van oppervlaktewater en grondwater terwijl het transportwater maximaal hergebruikt dient te worden.

#### 6.4.2. De kanaalwaterkwaliteit

In het geval van het gipsstort van RHONE-POULENC CHEMIE N.V. is de herkomst van het transport- en dus van het perkolerend water, het kanaal Gent-Terneuzen. De kwaliteit van het perkolaat is dus niet alleen afhankelijk van het in oplossing gaan van het afvalgips maar ook van de kanaalwatersamenstelling.

Het huidige gipsstort bestaat sinds het najaar 1952 of het voorjaar 1953. Er bestaan geen uitgebreide kwaliteitsgegevens van het kanaal voor de periode 1953-1968. Na het opstellen van de nieuwe Zeesluis in Terneuzen in 1968 zijn er meer gegevens beschikbaar geworden.

Interessant is de grafiek (fig. 35), overgenomen uit een studie van het BECEWA (M. VERCRUYSSSE, 1983), welke de evolutie van het chloridengehalte in het kanaal, voor het bedrijf, op een diepte van 0 tot 5 m diepte, weergeeft. Daaruit blijkt tussen 1951 en 1956 het Cl-gehalte gemiddeld te variëren tussen 1500 en 2000 mg/l. Vanaf 1956 is er



Figuur 35 - Chloridegehalte in het kanaal, tussen 0 en 5 m diepte, in functie van de tijd t.h.v.  
 het bedrijf RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V. (M. VERCRUYSSÉ, 1983).



een geleidelijke daling, tot in het najaar 1968, van ca. 1500 mg/l naar minder dan 500 mg/l. Na het openstellen van de sluis te Terneuzen is het chloridegehalte terug gestegen tot gemiddeld ca. 2100 mg/l. Waaraan de dalende trend tussen 1956 en 1968 is te wijten, is ons niet bekend.

Een overzicht van de gemiddelde kwaliteit van het kanaalwater tussen 0 en 5 m diepte voor de periode van 1 januari 1968 tot 31 december 1982 ter hoogte van het bedrijf is weergegeven in de tabel 24. Dit water heeft de laatste twintig jaar gediend als oplosmiddel voor het afvalgips : het vormt dus, aangerijkt met de opgeloste stoffen uit de gipsberg, het stortperkolaat.

## **6.5. Het verontreinigd grondwater**

### **6.5.1. Bespreking van de nieuwe analyseresultaten**

De resultaten van de nieuwe analyses werden reeds summier voorgesteld in paragraaf 6.2.2.3 en in tabel 17. Daaruit blijken de meeste stalen ontnomen te zijn in zones beïnvloed door het perkolaat van het gipsstort. Weinig of niet door verontreinigende factoren beïnvloede peilbuizen zijn B XII F2, B XIV F1 en F2, HB 17, HB 18, DB 11 F2, MOW 5 F1 en F2, G LO 5.3 F1 en F2.

De pH-waarden zijn vrij normaal; een vrij hoge waarde (8,4) en een vrij lage waarde (4,8) vindt men in respectievelijk B I F2 en B XIV F2. Deze laatste put is ondiep en ligt buiten de invloed van de storten . Het grondwater vertoont er dezelfde pH-waarde als het regenwater.

De meeste parameterwaarden in het door het gipsperkolaat beïnvloed grondwater liggen hoog tot zeer hoog wanneer men ze vergelijkt met die voor grondwater in de ondiepe lagen. Op deze vergelijking wordt verder ingegaan in de paragraaf 6.5.3.

Tabel 24 - Gemiddelde kwaliteit van het kanaalwater tussen 0 en 5 m diepte voor de periode van 1 januari 1968 tot 31 december 1982 ter hoogte van het bedrijf RHÔNE-POULENC CHEMIE N.V. (naar gegevens van het BECEWA).

Parameter	Eenheid	Waarde	Aantal monsters
pH	-	7,3	52
K <sub>20</sub>	µS/cm	6250	(grafiek)
T	°C	16	53
Cl	mg/l	2087	(grafiek)
O <sub>2</sub>	mg/l	0,9	18
BOD	mg/l	14,6	22
COD	mg/l	129,6	22
NH <sub>4</sub>	mg/l	13,6	37
NO <sub>3</sub>	mg/l	0,5	18
T-PO <sub>4</sub>	mg/l	10,1	34
SO <sub>4</sub>	mg/l	556,3	18
Mg	mg/l	173,9	18
TH	°F	129,2	35
Na	mg/l	1413	18
Pb	mg/l	0,10	10

Tabel 25 - Gemiddelde kwaliteit van het putwater in Oost-Vlaanderen in 1983 (J. DIERICKX et al., 1985).

PARAMETER	GEM.	MIN.	MAX.	MED.	N RESULT.	N > NORM
PH	7,33	4,80	10,6	7,40	544	41
K <sub>20</sub> uS/cm	806	170	2450	777	543	2
KMnO <sub>4</sub> c mg/l	3,0	0,0	28,5	2,0	544	71
TOC mgC/l	4,9	2,7	7,5	4,5	3	0
CO <sub>3</sub> = mg/l	0,0	0,0	0,0	0,0	4	0
T.H. oF	34,4	0,0	108	33,4	543	65
TAP oF	0,0	0,0	0,0	0,0	4	0
TAP meq/l	0,0	0,0	0,0	0,0	4	0
SO <sub>4</sub> = mg/l	6	-	-	-	1	0
Cl- mg/l	44	3	264	35	544	2
NH <sub>4</sub> + mg/l	0,453	0,000	12,6	0,040	544	95
NO <sub>2</sub> - mg/l	0,210	0,000	8,200	0,020	544	133
NO <sub>3</sub> - mg/l	63,8	0,00	954	12,8	544	238
o-P mg/l	0,46	0,10	0,90	0,40	4	0
Cd ug/l	0,00	0,00	-	0,00	2	0
Fe ug/l	8	0	2665	0	544	2
Pb ug/l	62,0	0,00	310	0,00	5	1
Zn ug/l	78	-	-	-	1	0
TCount /ml	2121	0	10000	530	543	0
TColf /100ml	67	0	10000	0	544	140
EColf /100ml	27	0	1500	0	544	104
FStrep /100ml	13	0	1230	0	544	87

Moeilijk verklaarbaar echter zijn de soms zeer hoge gemiddelde Cl<sup>-</sup>-waarden : meer dan 6000 mg/l in B III F2 en HB 20. Een mogelijke verklaring is dat vroeger Cl<sup>-</sup>-rijk afvalwater tijdelijk als transportwater voor het gips zou hebben gediend. Opvallend voor het studiegebied zijn de hoge NH<sub>4</sub><sup>-</sup>- en PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-waarden : zelfs watermonsters welke buiten de onmiddellijke invloed van het stort zijn gelegen vertonen nog altijd vrij hoge (soms abnormaal hoge NH<sub>4</sub><sup>-</sup>- en PO<sub>4</sub><sup>-</sup>-waarden. In mindere mate dient hetzelfde gezegd van fluor. Dezelfde vaststelling werd ook reeds gedaan i.v.m. de regenwaterkwaliteit (paragraaf 6.3.1.).

Zoals al is gebleken uit de literatuur kunnen de SO<sub>4</sub>-concentraties hoger liggen dan de te verwachten waarden; in B II F1 is een concentratie van 3043 mg/l gevonden.

#### 6.5.2. Vergelijking met het kanaalwater

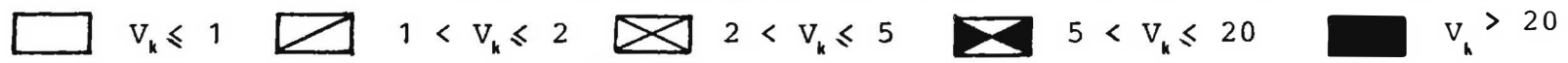
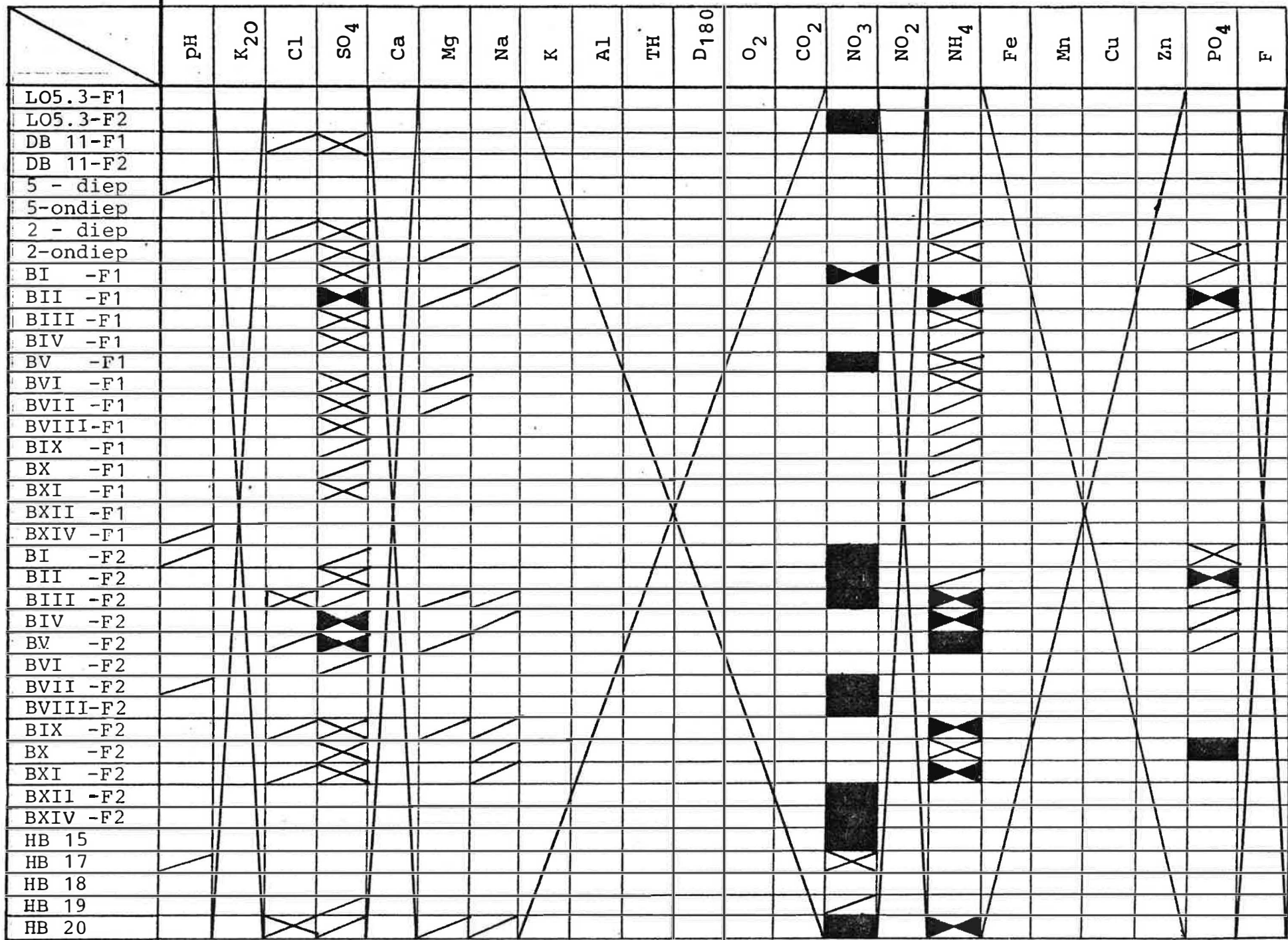
De gemiddelde parameterwaarden van het grondwater dat in het bestek van deze studie is geanalyseerd (tabel 17) werden vergeleken met de gemiddelde waarden van het kanaalwater (tabel 24). De verhouding, hier  $V_k$  genoemd, van de gemiddelde grondwaterkwaliteit tot de gemiddelde kanaalwaterkwaliteit, is schematisch weergegeven in de figuur 36.

Naast een als normaal te beschouwen aanrijking aan Ca, SO<sub>4</sub> en PO<sub>4</sub> is er een opvallende toename aan NO<sub>3</sub> of NH<sub>4</sub> in het grondwater van bepaalde peilbuizen. De twee zeer hoge Cl<sup>-</sup>-gehalten werden reeds besproken in paragraaf 6.5.1.

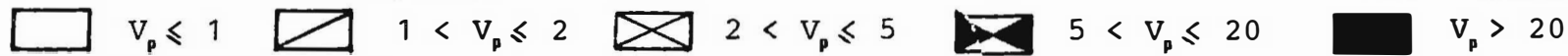
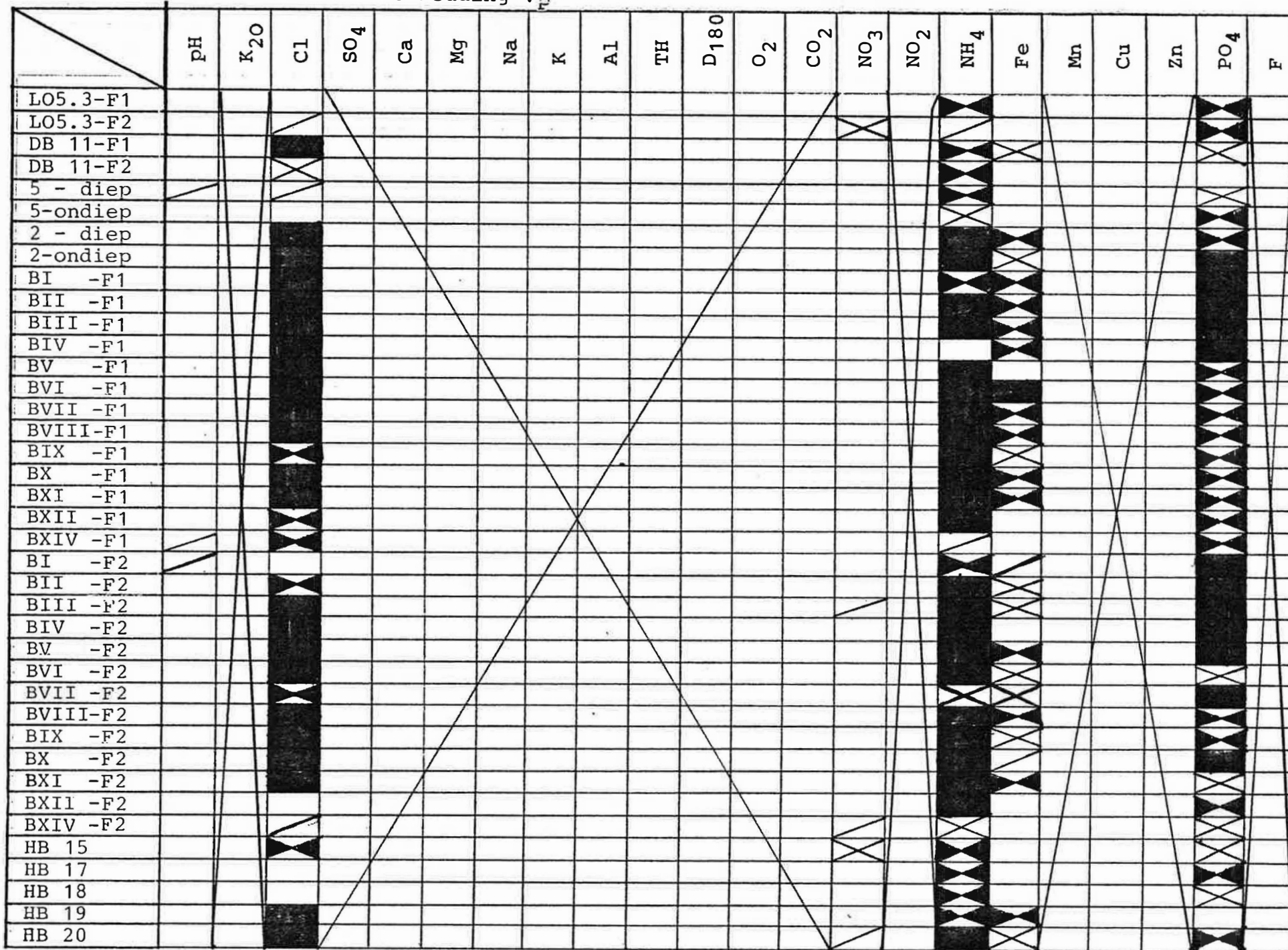
#### 6.5.3. Vergelijking met het putwater in Oost-Vlaanderen

Analoog als hierboven werd het gemiddeld grondwater rond het gipsstort vergeleken met het gemiddeld putwater in Oost-Vlaanderen in 1983 (J. DIERICKX et al., 1985)(tabel 25). De waarden van de verhouding, hier  $V_p$  genoemd, van grondwater tot Oostvlaams putwater, zijn weergegeven in de figuur 37. Ofschoon in de oorspronkelijke publikatie niet

Figuur 36 - Waarden van de verhouding  $V_k$



Figuur 37 - Waarden van de verhouding  $V_p$



vermeld, mag men redelijkerwijze aannemen dat putwater in Oost-Vlaanderen gelijkgesteld mag worden met ondiep grondwater (tot ca. 30 m diepte).

Uit de figuur blijkt dat nagenoeg alle stalen, zelfs deze van het weinig of niet verontreinigde grondwater, minstens voor wat betreft chloriden, ammoniumstikstof en fosfaat slechter zijn dan het gemiddeld putwater in Oost-Vlaanderen.

#### **6.5.4. Vergelijking met de leidingwaternormen**

De grondwaterkwaliteit rond het gipsstort werd ook getoetst aan de parameterwaarden opgenomen in het Koninklijk Besluit van 24 april 1984 betreffende de kwaliteit van het leidingwater (BS van 6 juli 1984). Dit besluit is in werking getreden op 15 juli 1985.

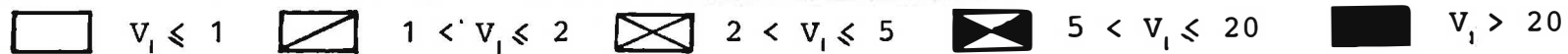
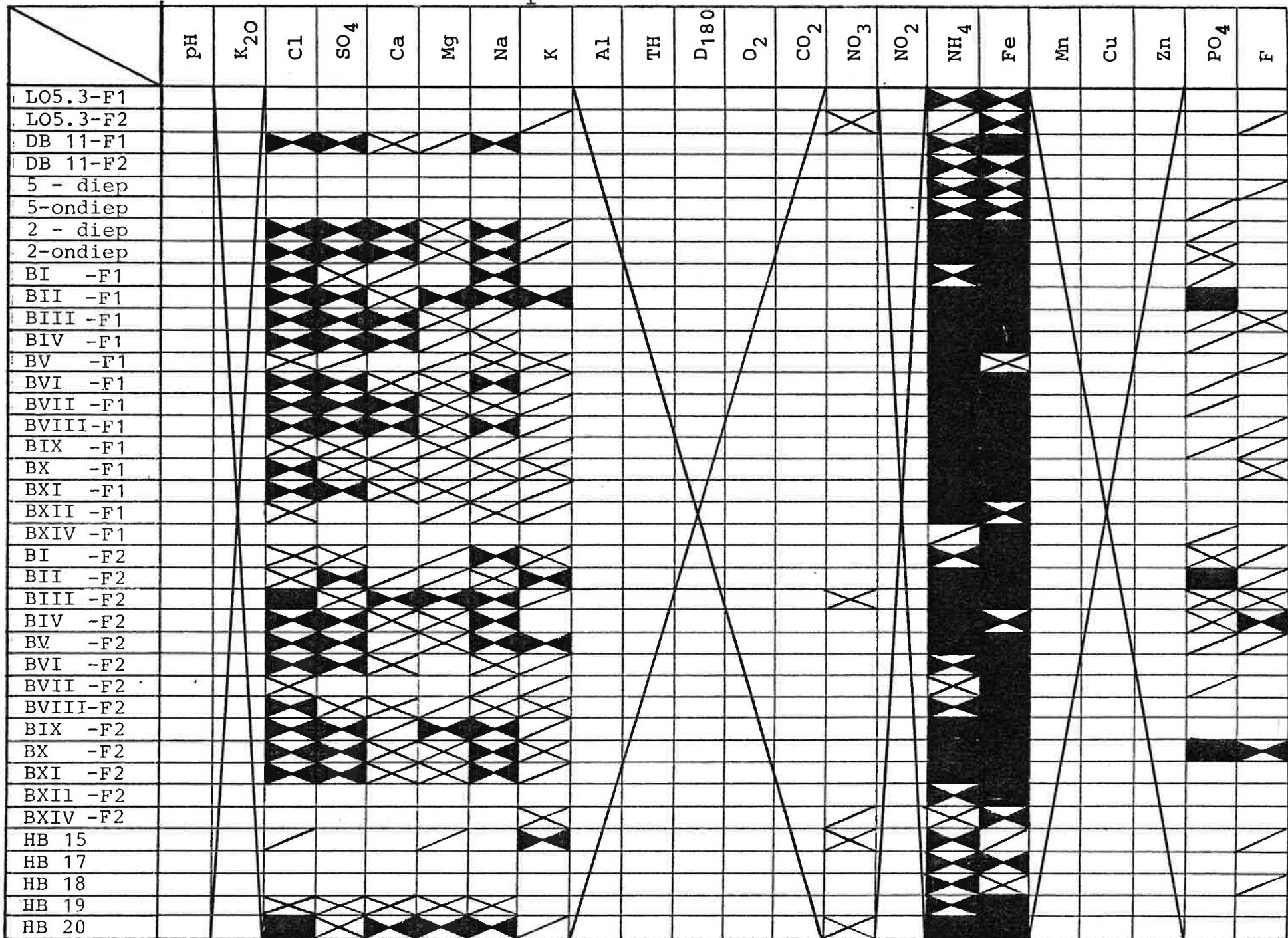
Uit de verhouding  $V_1$  van het grondwater tot de leidingwater-norm, is af te leiden dat geen van de waters volgens het besluit geschikt is voor menselijke komsumptie (fig. 38).

#### **6.5.5. Uitbreiding van de verontreiniging**

##### **6.5.5.1. Hydrochemische doorsnede I-I' (PLAAT VII)**

De ligging van de hydrochemische doorsneden is aangeduid op de PLAAT VI. De hydrochemische doorsneden trachten een schematisch beeld op te hangen van de uitbreiding van de verontreiniging in een vertikaal vlak. De begrenzing van de verontreiniging is vermoedelijk; ze tracht de zone te begrenzen waar de verontreiniging duidelijk is. Een zeer lichte verontreiniging, bijvoorbeeld door minder dan 1 % of zelfs 5 % perkolaat is in ons geval niet ondubbelzinnig aan te wijzen.

Figuur 38- Waarden van de verhouding  $V_1$





Op de doorsneden zijn de filterelementen aangegeven. Daarnaast staan de resultaten van de wateranalyses; de analyses van vóór 1984 zijn ze tussen haakjes gezet. De zones waar kleine gips konkreties in de sedimenten zijn aangetroffen (zie paragraaf 3.4.1.2) werden met kruisjes aangeduid. De resistiviteitsdiagrammen bekomen door middel van een boorgatmeting zijn naast het betrokken boorgat getekend. De gemiddelde grondwaterspiegelstand is afgeleid uit tabel 15.

De doorsnede I-I' loopt van de hoek Rieme-kaai - Dordrechtstraat, over het zuurteerstort van FINA en de geplande uitbreidingszone van het gipsstort naar de experimentele gipsophoging te Zelzate.

Slechts het punt MOW 4B is duidelijk beïnvloed door het gipsstortperkolaat. De verontreinigde zone is doorgetekend tot onder de geplande uitbreidingszone van het stort; dit is gebeurd op basis van de gegevens bekomen uit de doorsnede IV-IV' (paragraaf 6.5.5.4). De hogere parameterwaarden in G LO 5.1 F1 kunnen het gevolg zijn van het nabije zuurteerstort.

Ofschoon de tertiaire lagen niet het onderwerp uitmaken van deze studie werden volledigheidshalve de diepe peilbuizen en de korresponderende analyseresultaten op de doorsneden aangebracht.

#### 6.5.5.2. Hydrochemische doorsnede II-II' (PLAAT VIII)

De doorsnede II-II' loopt van het kanaal, over het voormalig gipsstort, het huidig gipsstort en de slibbergingsput tot aan de winningsput IHE 1.

Het gebied tussen het huidig stort en het kanaal is volledig beïnvloed door het voormalige en het huidige stort. Op de boorplaatsen B II en B III heeft men op verschillende diepten de aanwezigheid van

gipskonkreties vastgesteld. Aan de andere zijde van het stort valt de vermoedelijke verontreinigingsgrens nagenoeg samen met het cementbentonietscherm rond de slibbergingsput.

#### **6.5.5.3. Hydrochemische doorsnede III-III' (PLAAT IX)**

De hydrochemische doorsnede III-III' volgt de RIJKSWEG RW 617 vanaf de verkeerstunnel te Zelzate tot aan de afrit naar de rijksweg RW 726 (boorpunt G DB 11). De doorsnede snijdt het voormalig huisvuilstort van Zelzate.

In deze doorsnede zijn alle filters, afgezien van DB11 F2, gelegen in verontreinigd grondwater. De analyseresultaten welke zijn aangeduid bij de boring G DB9 dateren van 1976 en wijzen op een toenmalige geringe verontreiniging. De in bijlage 12 gegeven resultaten voor de peilbuis DB11 F1 (pagina 177 en 178 van de bijlagen) laten een geleidelijke kwaliteitsvermindering van het grondwater sinds 1979 zien.

#### **6.5.5.4. Hydrochemische doorsnede IV-IV' (PLAAT X)**

De doorsnede IV-IV' doorkruist het gebied vanaf boring G LO 5.4 over de geplande uitbreidingszone, het gipsstort en de wijk Klein Rusland tot aan de verkeerstunnel te Zelzate.

In de doorsnede is te zien dat de verontreiniging onder de uitbreidingszone voorkomt (G DB7). De maximale uitbreiding ervan, vooral in de laag KZ1 is niet gekend. Het is dan ook niet uitgesloten dat de verontreiniging in de KZ1 de Assenedestraat heeft bereikt. Aan de andere zijde van het gipsstort, onder de wijk Klein Rusland, is het grondwater verontreinigd. In de boringen B IV, B V en B VI zijn kleine gipskonkreties aangetroffen.

#### 6.5.5.5. Hydrochemische doorsnede V-V' (PLAAT XI)

De doorsnede V-V' loopt van de noordwestelijke punt van het gipsstort, over rijksweg RW 617 en de wijk Debbautshoek, naar de Assenedesteenweg in Zelzate (peilbuis G LO 3.3).

De doorsnede toont aan dat in de KZ2 de verontreiniging nog niet of nauwelijks is doorgedrongen tot aan de rijksweg, terwijl dat in de KZ1 wel het geval is. De beïnvloede zone strekt zich uit tot onder de zuidkant van Debbautshoek.

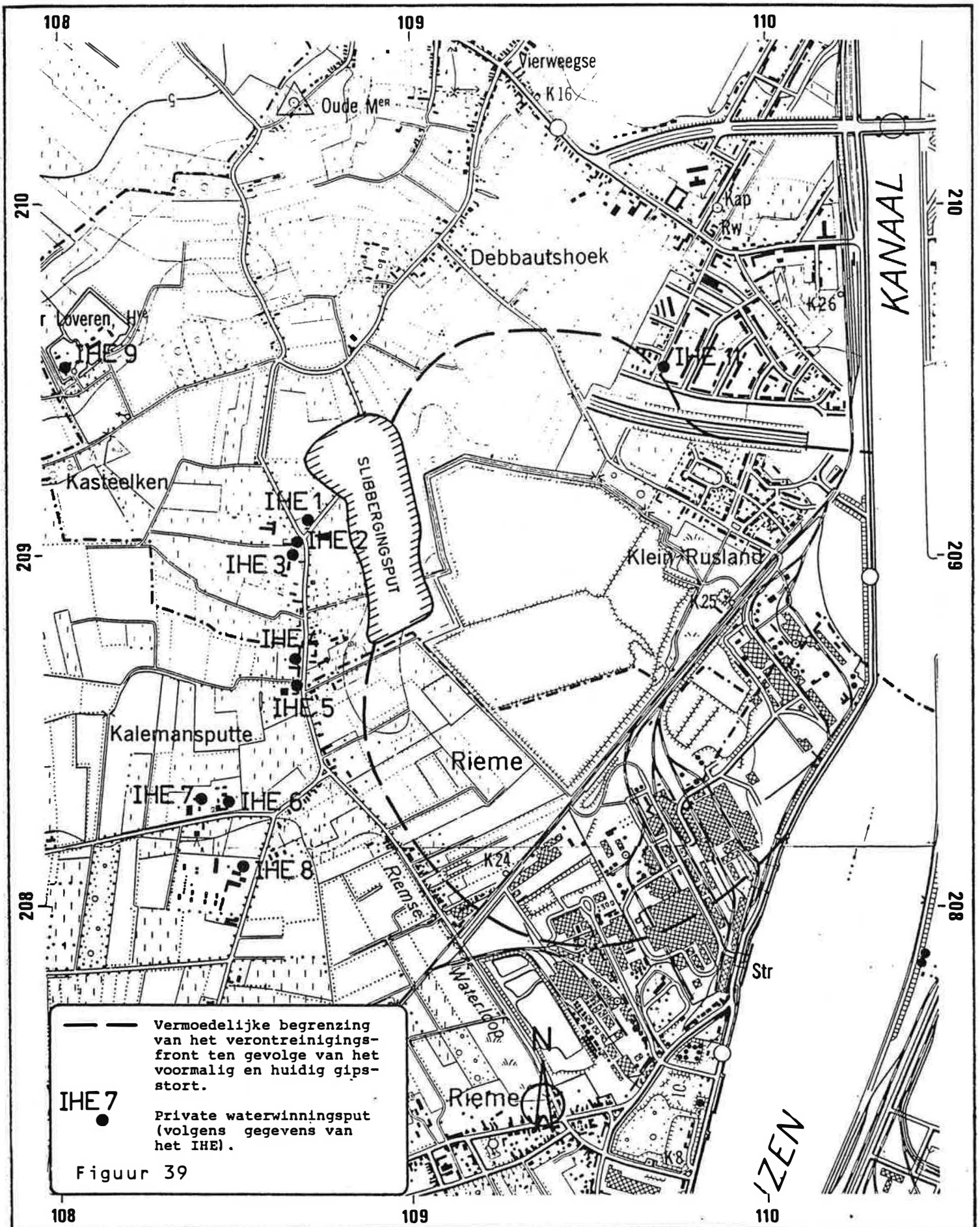
#### 6.5.5.6. Hydrochemische doorsnede VI-VI' (PLAAT XI)

Doorsnede VI-VI' loopt min of meer evenwijdig met V-V' en ligt er oostwaarts van.

Men treft er hetzelfde beeld aan als in de doorsnede V-V'. De verontreiniging in de laag KZ2 is er echter doorgedrongen tot bij de rijksweg. In de laag KZ1 is het begin van verontreiniging merkbaar in de filter B XII F1 onder Debbautshoek.

#### 6.5.5.7. Het beïnvloed gebied

Op grond van alle gegevens aangehaald in hoofdstuk 6 is de vermoedelijke uitbreiding getekend (fig. 39) van het gebied waar de KZ1 verontreinigd is ten gevolge van menging met het perkolaat van het voormalige en van het huidige gipsstort. Deze zone omvat een groot deel van de bedrijfsterreinen ten zuidoosten van de spoorweg, de geplande uitbreidingszone van het huidige gipsstort, de gronden tussen de rijksweg RW 617 en het gipsstort, waartoe ook de wijk Klein Rusland behoort, en ten slotte het zuiden van de wijk Debbautshoek. De totale oppervlakte van het gebied bedraagt ca. 190 ha.



De verontreiniging in de KZ2 is minder uitgebreid dan deze in KZ1.

In de verontreinigde zone komen ook andere stortplaatsen voor zoals het voormalig huisvuilstort van Zelzate en enkele stortzones ten zuidoosten van de spoorweg (PLAAT I en PLAAT VI). Deze stortplaatsen kunnen lokale anomalieën veroorzaken in het verwachte verontreinigingspatroon.

Op de figuur 39 zijn ook de private waterwinningsputten aangegeven. Het zijn de putten bekend bij en bemonsterd door het IHE. Of er nog andere private winningsputten in de nabijheid van het gipsstort zijn gelegen is ons niet bekend; het opsporen ervan is maar mogelijk door een huis-aan-huis enquête. Alle bekende putten liggen buiten de verontreinigde zone in de KZ1. In de nabijheid van het studiegebied liggen geen vergunde winningen.

De analyseresultaten die betrekking hebben op de stalen uit deze private winningsputten zijn opgenomen in de bijlage 11.

## 6.6. Besluit

Door RHONE-POULENC CHEMIE N.V. zijn 39 peilbuizen op en rond het bedrijf voor het eerst of opnieuw bemonsterd. Gedurende vier campagnes zijn 151 stalen genomen waarvan 125 analyseresultaten zijn verwerkt.

Het niet verontreinigd grondwater in het gebied is een zoet water met een zoutgehalte dat lager is dan 800 mg/l, zelfs meestal lager dan 500 mg/l. Het duidelijk beïnvloed grondwater rond het gipsstort bevat meer dan 2000 mg/l zouten; het zoutgehalte kan oplopen tot meer dan 12.000 mg/l. Het vertoont voor alle parameters te hoge waarden ten opzichte van het normale grondwater in Oost-Vlaanderen. Het lijkt qua samenstelling op het kanaalwater, dat als gipstransportwater heeft gediend, maar dan aangerijkt vooral aan calcium, sulfaat, ammoniumstik-

stof, fosfaat en fluoride. De hoge concentraties ammoniumstikstof, ook al opgemerkt in de regenneerslag van het gebied, zijn typerend voor de bestudeerde omgeving maar zijn niet onmiddellijk verklaarbaar.

De verontreiniging in de laag KZ1 strekt zich vermoedelijk uit over een oppervlakte van ca. 190 ha onder en rond het gipsstort; naast een deel van de bedrijfsterreinen vindt men ze ook terug onder de wijk Klein Rusland evenals onder het zuidelijk deel van de wijk Debbautshoek te Zelzate. De verontreiniging in de laag KZ2 is minder omvangrijk. In het door het stort beïnvloede grondwater blijken er geen private winningsputten gelegen te zijn.

## 7. MATEMATISCHE MODELLEN

### 7.1. Algemeen

Om een beter inzicht te verkrijgen in de evolutie en de ruimtelijke verspreiding van de grondwaterkwaliteit werd een mathematisch model opgesteld. Het mathematisch model berekent, uitgaande van hydraulische parameters en randvoorwaarden, de stijghoogteconfiguratie, het stromingspatroon en de grondwaterkwaliteitsverdeling van het studiegebied. Het biedt de mogelijkheid de evolutie van de grondwaterkwaliteit te rekonstrueren en het effect van ingrepen in het hydrogeologisch systeem van het gebied te evalueren.

Een dergelijk model houdt in dat een reeks differentiaalvergelijkingen worden opgelost. Door gebruik te maken van een computer is het mogelijk numerieke oplossings technieken toe te passen. Dergelijke berekeningen zijn tijdrovend en stellen strenge eisen betreffende reksnelheid en beschikbare geheugenruimte van het aangewende systeem.

Het opstellen van een mathematisch model houdt in dat er een schematisering van de werkelijke hydrogeologische toestand wordt doorgevoerd. Het studiegebied wordt ingedeeld in een beperkt aantal cellen in een netwerk. Voor elke cel dienen hydraulische parameters ingevoerd te worden. In de cellen die samenvallen met de begrenzing van het gebied moeten randvoorwaarden opgegeven worden. De gekozen afmetingen van de cellen is mede bepalend voor de nauwkeurigheid van de berekende resultaten. In een eerste fase dient het model geijkt te worden. De berekende stijghoogten worden vergeleken met de veldwaarnemingen. De ingevoerde hydraulische parameters worden aangepast tot voldoende overeenstemming bereikt is.

In deze studie werd de voorkeur gegeven aan een twee-dimensionaal kwaliteitsmodel. De simulaties gebeuren in een vertikaal vlak, zodat ook de verticale variaties in het grondwaterreservoir berekend

worden. Er werd gebruik gemaakt van het model van L.F. KONIKOW & J.D. BREDEHOEFT (1978), dat werd aangepast om ook dichtheidsstromingen in rekening te brengen (L. LEBBE, 1983). Het simulatieprogramma werd gekoppeld aan een grafisch outputprogramma dat schematische voorstellingen produceert van de berekende waterstijghoogten, snelheden en concentraties. Dit laat een snelle overzichtelijke interpretatie toe van de verkregen resultaten. Beide programma's zijn geschreven in FORTRAN IV. De berekeningen zijn uitgevoerd op het SIEMENS 7740 bedrijfssysteem van het CDR (Centraal Digitaal Rekencentrum) van de Rijksuniversiteit Gent.

## 7.2. Aangewend mathematisch model

Het numeriek model simuleert het opgeloste- stoffentransport en de dispersie in een grondwaterreservoir. Het berekent de opeenvolgende concentratieveranderingen van een niet-reaktieve (konservatieve) opgeloste stof. Het programma lost gelijktijdig twee partieel-differentiaalvergelijkingen op. De eerste vergelijking is de grondwaterstromingsvergelijking, waarbij rekening gehouden wordt met de dichtheidsverdeling. Deze bepaalt de zoetwaterstijghoogteconfiguratie. De tweede vergelijking is de opgeloste-stoffenvergelijking, die de concentratie van de opgeloste stoffen bepaalt.

De stromingsvergelijking wordt afgeleid met behulp van de uitgebreide wet van DARCY, waarin de dichtheidsverschillen verwerkt zijn, en van de continuïteitswet. Deze vergelijking wordt gediskretiseerd in een eindig-verschilnetwerk. Hierbij wordt op de verticale doorsnede van het grondwaterreservoir een netwerk gelegd dat bestaat uit rechthoekige cellen. In het centrum van de cellen wordt de zoetwaterstijghoogte berekend met behulp van de afwisselende richting-impliciet procedure. Uit de zoetwaterstijghoogten en de dichtheidsverdeling worden de stroomsnelheden afgeleid.

De opgeloste-stoffentransportvergelijking wordt opgelost met de methode van de karakteristieken. Deze methode geeft de beste resulta-



ten indien het transport van de opgeloste stoffen vooral konvektief gebeurt. Bij het invoeren van een geringe dispersiviteit treedt dan ook geen numerieke dispersie op, d.i. dispersie tengevolge van het rekenproces. Bij deze oplossingsmethode worden numeriek een reeks bewegende deeltjes ingevoerd. De verplaatsing van de deeltjes wordt afgeleid uit de stroomsnelheid op deze plaats. Deze techniek wordt soms de techniek van het volgen van deeltjes genoemd ("particle tracking"). Bij de aanvang van de berekening plaatst men een aantal deeltjes, elk met de aanvangskoncentratie gelijk aan deze toegekend aan de cel. De deeltjes zijn dan gelijkmatig over het netwerk verspreid. De verplaatsing van de deeltjes gedurende een bepaalde periode wordt afgeleid uit de DARCY-stroomsnelheid op de plaats van het deeltje. De duur van de verplaatsing is functie van de injectiesnelheid, de stroomsnelheid of de dispersiecoëfficiënt. Gedurende de opgegeven tijdsstap worden dan ook meerdere bewegingen uitgevoerd.

Naast het konvektieve transport tengevolge van de beweging van de waterdeeltjes is er hydrodynamische dispersie. Deze wordt bepaald door de DARCY-stroomsnelheid en het verhang in concentratie op een bepaalde plaats. De hydrodynamische dispersie omvat twee processen : de mechanische dispersie en de moleculaire diffusie.

Na iedere opgegeven tijdsstap wordt uit de bekomen concentratie het drijfvermogen afgeleid. Dit is de verhouding van het verschil tussen de dichtheid van het water met een bepaalde concentratie en de dichtheid van zoetwater tegenover de dichtheid van het zoetwater. Een eenvoudig lineair verband tussen de concentratie en de dichtheid wordt aangenomen.

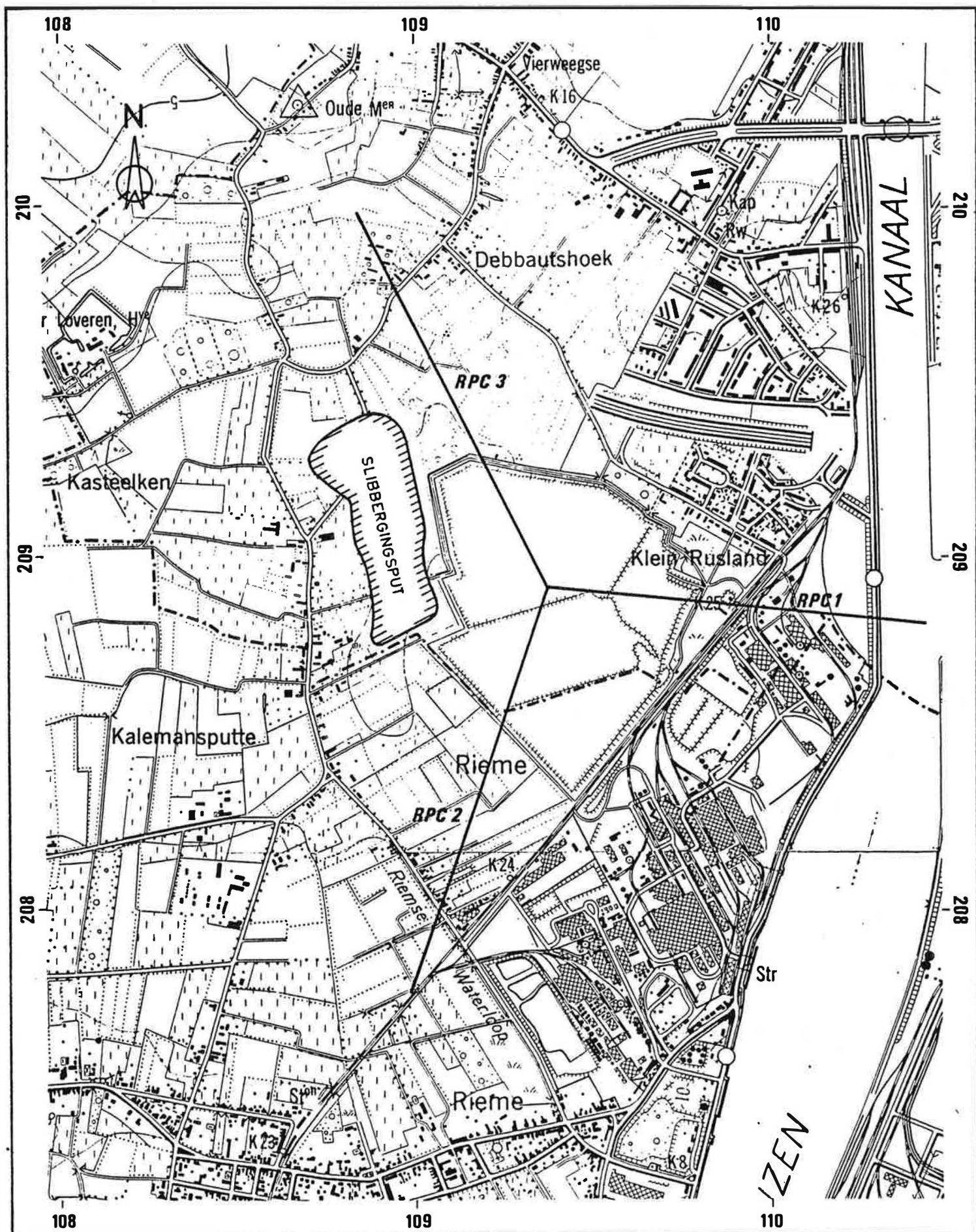
Met het nieuwe drijfvermogen tussen de verschillende knooppunten na iedere tijdstap wordt een nieuwe zoetwaterconfiguratie berekend, waaruit dan een nieuw stromingspatroon berekend wordt.

### 7.3. De simulaties

De simulaties gebeuren in een tweedimensionaal model volgens een verticale doorsnede. Hierdoor krijgt men een duidelijk beeld van de invloed van de gelaagdheid van het grondwaterreservoir op het stromingspatroon. Eveneens krijgen we een beeld van de verspreiding van de grondwaterkwaliteit. Dit laatste kan enkel als richtinggevend beschouwd worden omwille van volgende redenen : 1° de keuze van de aanvangsvoorwaarden is kunstmatig, 2° de grootte van de overgangszone tussen de twee primaire waters is niet gekend, 3° men kiest een tweedimensionaal model in een vertikaal vlak in de veronderstelling dat langs beide kanten van het model dezelfde toestand zich oneindig voortzet.

Er werd volgens drie doorsneden (RPC1, RPC2 en RPC3) gewerkt, telkens beginnend vanaf het centrum van het gipsstort. De ligging is aangegeven op figuur 40. Het profiel RPC1 loopt naar het kanaal Gent-Terneuzen, de doorsneden RPC2 en RPC3 respectievelijk naar het noordwesten en het zuidwesten. Bij de doorsneden RPC2 en RPC3 werden verschillende omstandigheden gesimuleerd. Volgens de doorsnede RPC2, die het uitbreidingsterrein omvat, werden vijf verschillende toestanden gesimuleerd : zonder uitbreiding van het stort; met uitbreiding van het stort maar zonder drainage; met uitbreiding van het stort en met drainage en tenslotte met uitbreiding van het stort, met drainage en met pumping in de laag KZ1 (twee verschillende debieten). Analoog werden volgens het profiel RPC3 vier simulaties uitgevoerd; één voor de bestaande toestand; één na aanbrenging van een drainagesysteem; één bij pumping in de laag KZ1 + KZ2, en tenslotte één met zowel een pumping in KZ1 als met de drainage .

Alle berekeningen werden uitgevoerd voor een periode van 10 of 20 jaren. Hierdoor is het mogelijk voor ieder profiel de invloed van de verschillende ingrepen te vergelijken en te evalueren.



Figuur 40-Ligging van de simulatiedoorsneden.

### **7.3.1. Doorsnede loodrecht op het kanaal, RPC1**

#### **7.3.1.1. Ligging**

De doorsnede RPC1 loopt vanuit het centrum van de gipsberg in oostelijke richting naar het kanaal Gent-Terneuzen. Ze omvat een hoog gedeelte van het stort, een lager gelegen gedeelte waar niet meer gestort wordt, het fabrieksterrein en de helft van het kanaal.

#### **7.3.1.2. Simulatie zonder maatregelen**

##### **7.3.1.2.1. Inleiding**

Deze eerste simulatie beoogt alleen een inzicht te verschaffen in de bestaande grondwaterstroming. De evolutie van de verontreiniging wordt berekend. Hierbij wordt verondersteld dat bij de aanvangstijd de gipsberg de hedendaagse afmetingen heeft. Het gipsstort is dan gevuld met verontreinigd water, de watervoerende laag is gevuld met niet verontreinigd water. Hier wordt dus geen historische evolutie van de verontreiniging gesimuleerd daar er geen rekening gehouden wordt met de evolutie van de opbouw van het gipsstort.

##### **7.3.1.2.2. Ingebrachte gegevens**

De situering van het netwerk van de eindig-verschilmethode op de doorsnede wordt weergegeven op PLAAT XII. Het model omvat achtendertig kolommen van gelijke breedte (25 m). Zestien kolommen zijn gelegen onder het gipsstort, negentien onder het fabrieksterrein en twee kolommen onder het kanaal. Voor het gipsstort beschouwt men zeven lagen van drie meter dikte, voor de ondergrond ervan negen lagen van eveneens drie meter dikte.

De verticale grens onder het hoogste punt van het gipsstort aanziet men als een waterscheidingslijn. Als randvoorwaarde kan een ondoorlatende grens ingevoerd worden. De verticale grens onder het midden van het kanaal wordt eveneens ondoorlatend beschouwd. De onderste laag wordt door een ondoorlatend substraat begrensd.

In het model wordt aan iedere cel een horizontale hydraulische doorlatendheid toegekend. De waarde van de verticale hydraulische doorlatendheid wordt onrechtstreeks ingevoerd door de anisotropie (d.i. de verhouding tussen de horizontale en de verticale doorlatendheid). Slechts één waarde voor de anisotropie wordt in het model gebracht. Daar de grondwaterbeweging in de doorlatende laag hoofdzakelijk horizontaal is, wordt voor deze lagen de horizontale doorlatendheid, afgeleid uit de pompproeven, ingevoerd. Aan de halfdoorlatende lagen en de gipsberg, waar de grondwaterbeweging hoofdzakelijk vertikaal is, heeft men waarden toegekend voor de verticale doorlatendheid die bepaald werden met de pompproeven. Uit deze verticale doorlatendheden en de enige gekozen waarden van de anisotropie worden de in te voeren waarde voor de horizontale hydraulische doorlatendheid berekend. Op deze wijze wordt de juiste waarde van de horizontale doorlatendheid ingevoerd in de lagen waar de stroming hoofdzakelijk horizontaal is en de juiste waarde van de verticale doorlatendheid van de lagen waar de stroming hoofdzakelijk vertikaal is. De verticale doorlatendheid wordt slechts benaderend ingevoerd in de lagen waar de stroming horizontaal is en de horizontale doorlatendheid wordt slechts bij benadering ingevoerd waar de stroming vertikaal is.

Onder het hoogste gedeelte van de gipsberg (acht eerste kolommen) veronderstelt men een konstante insijpelingsnelheid van 3250 mm per jaar. Onder het talud tussen het hogere en lagere gedeelte van het stort (kolom 9, 10, 11) worden vaste stijghoogten verondersteld. Deze stijghoogten zijn gelijk aan de hoogte waarop het beschouwde punt in het eindig-verschil netwerk gelegen is. Onder het lagere gedeelte van het stort (kolommen 10 tot en met 17) neemt men een konstante insijpelings-

snelheid van 280 mm/jaar aan (d.i. de gemiddelde neerslag verminderd met de gemiddelde verdamping). De twee cellen van kolom 17 die samenvallen met het talud van het lagere gedeelte van de gipsberg zijn vaste stijghoogtegrenzen, waar de stijghoogte gelijk is aan de hoogte van het beschouwde punt. De cellen onder het fabrieksterrein (kolommen 18 tot en met 37) zijn vaste stijghoogtegrenzen. De ingevoerde stijghoogten werden afgeleid uit de stijghoogtekaarten (PLAAT V). De drie cellen die samenvallen met de kaaimuur in kolom 37, worden als ondoorlatend beschouwd. De andere cellen, die samenvallen met de vrije kanaalwand (kolom 37, laag 13) en met de kanaalvloer (laag 14, kolom 38 en 39), worden als vaste stijghoogtegrenzen beschouwd. De stijghoogten komen overeen met het gemiddelde kanaalpeil (+4,5).

Bij deze studie veronderstelt men twee primaire waters. Het eerste primaire water is het regenwater dat buiten de gipsberg door de onverzadigde zone perkoleert (100 % normaal water). Het tweede primaire water is het water, dat doorheen het gipsstort perkoleert (100 % gipsstortwater). Van bij de aanvang van de simulatie gaat men ervan uit dat de opbouw van de gipsberg gelijk is aan de toestand in 1984. Bijgevolg veronderstelt men eveneens een grondwaterstroming vanuit het gipsstort naar de omgeving zoals deze zich toen voordeed. Op het aanvangstijdstip stellen we verder dat de gipsberg volledig gevuld is met 100 % gipsbergwater, terwijl de ondergrond volledig gevuld is met 100 % normaal water.

De berekende grondwaterstromingen resulteren uit de opgegeven grensvoorwaarden en waarden voor de hydraulische doorlatendheid. Voor het berekenen van de evolutie van de kwaliteit wordt de methode van de karakteristieken toegepast. Hierbij worden de concentratie gevolgd in negen deeltjes per cel van het eindig-verschil netwerk. In opeenvolgende bewegingen volgt men de ligging van deze deeltjes en berekent men de menging. Om de beweging van deze deeltjes te volgen moet de werkelijke doorsijpelingsnelheid berekend worden. Hierbij is een waterdoorlatende porositeit van 0,3 aangenomen. De duur van één beweging is afhankelijk

van de maximale doorsijpelingsnelheid, die in het modelgebied voorkomt. Deze wordt bepaald door de maximale celafstand dat een deeltje gedurende één beweging mag afleggen. Deze maximale celafstand werd gekozen op 0,95. De menging van de twee primaire waters tijdens het stromen door de ondergrond wordt bepaald door de longitudinale en transversale dispersiviteit. De longitudinale dispersiviteit van het poreuze midden werd overal gelijk gekozen (0,3 m) alsook de verhouding transversale tot longitudinale dispersiviteit (0,3). Deze kleine waarde voor de dispersiviteiten werd afgeleid uit een onderzoek van de zoet- en zoutwaterstroming onder het strand en de duinen van De Panne waar de watervoerende laag een gelijkaardige opbouw vertoont als het huidig studiegebied. Een ijking van het model was enkel mogelijk geweest indien in de voorziene spoelboringen LN-resistiviteitsmetingen uitgevoerd werden. De grondwaterstroming is eveneens functie van de dichtheidsverschillen. Na iedere 1,25 jaar wordt de grondwaterstroming opnieuw berekend rekening houdend met de nieuwe verspreiding van de verschillende waters. De dichtheid van het perkolatiewater is gelijk gesteld aan 1, de dichtheid van het gipsbergwater is gelijk gesteld aan 1,008.

De verspreiding en menging van de twee primaire waters wordt berekend voor een periode van 20 jaar.

### 7.3.1.3. Bespreking van de resultaten

Als resultaten bekomt men de zoetwaterstijghoogten, de grondwatersnelheid en de menging van de twee primaire waters. De resultaten worden voorgesteld in een verticale doorsnede voor de tijden 1,25, 2,5, 5, 10, 15 en 20 jaar na de aanvang (PLAAT XII). De verticale as is in deze doorsneden tienmaal overdreven ten opzichte van de horizontale as. De lijnen van gelijke zoetwaterstijghoogte op de voormelde tijdstippen werden bekomen door een bilineaire interpolatie tussen de stijghoogten in de nodale punten. De grondwatersnelheid wordt weergegeven door een vektor. Deze vektor wordt bekomen uit de verticale en de

horizontale komponent in het nodale punt. De lengte van deze componenten worden bepaald door de snelheid te vermenigvuldigen met een arbitraire tijdsduur nl. 91,3125 dagen of 1/4 jaar. Bij het tekenen van de vektoren wordt immers rekening gehouden met de verticale en de horizontale schaal (respektievelijk 1/500 en 1/5000). De mengverhouding van de twee primaire waters wordt weergegeven door lijnen van gelijke mengverhouding die eveneens verkregen worden door bilineaire interpolatie tussen de waarden in de nodale punten.

Met een konstante insijpelingsnelheid van 3250 mm/jaar op het hoogste gedeelte van de gipsberg bekomt men een stijghoogte van 34,9 m, d.i. ongeveer 5 m onder het oppervlak. De watertafel daalt naar de rand van de gipsberg. Er is een uitsijpeling van water aan de rand van de gipsberg. Deze is het grootst in het bovenste gedeelte van het gipsstort, waar de Darciaanse horizontale uitsijpelingsnelheid 0,025 m/d is en de horizontale hydraulische gradiënt 0,08 bedraagt. Onder het hoogste centrale gedeelte van de gipsstort gebeurt de stroming hoofdzakelijk vertikaal in de lagen KZ2, KL en KZ1. Onder het lagere gedeelte van het stort waar een geringe insijpeling en natuurlijke infiltratiesnelheid voorkomen, is de stroming in de doorlatende lagen KZ2 en KZ1 hoofdzakelijk horizontaal naar de rand van de gipsberg toe. Aan de voet van de gipsberg vloeit een gedeelte van het water vertikaal opwaarts uit de doorlatende laag KZ2. Hierdoor vermindert de horizontale komponent van de stroming in de laag KZ2 naarmate men zich verder van de gipsberg verwijdert totdat deze wegvalt. In de doorlatende laag KZ1 blijft het water onder de voet van de gipsberg hoofdzakelijk horizontaal stromen. Slechts een geringe hoeveelheid water stroomt opwaarts vanuit de laag KZ1 door de laag KL naar KZ2. Hierdoor vermindert de horizontale komponent in de laag KZ1 slechts weinig naarmate men zich verder van de gipsberg verwijdert. Op een bepaalde afstand van de voet van de gipsberg bereikt de horizontale komponent in KZ1 een minimum maar blijft steeds belangrijk. Verder van het gipsstort vermeerdert deze terug door



de insijpeling vanuit KZ2 door KL naar de KZ1. Uit deze stroomsnelheidskonfiguratie kan men dan ook afleiden dat de uitbreiding van de verontreiniging in de bovenste doorlatende laag (KZ2) beperkt zal blijven tot waar de horizontale komponent van de stroming wegvalt. Dit zal niet het geval zijn in de onderste doorlatende laag (KZ1) waar de horizontale stroming vanuit de gipsberg blijft bestaan. Dit blijkt dan ook uit de verspreiding van de verontreiniging. Deze verspreiding wordt eveneens bepaald door de ingevoerde dispersiteit. Deze bepaalt vooral de grootte van de overgangszone tussen de twee primaire waters. Aangezien geen doorsneden met lijnen van gelijke concentratie konden opgesteld worden kunnen de resultaten van het mathematisch model niet geïkt worden. Een dergelijke doorsnede kan bekomen worden door het uitvoeren van resistiviteitsmetingen in de boorgaten van de gespoelde boringen.

Tenslotte merken we nog op dat de lens van iets minder verontreinigd water onder het lagere gedeelte van het stort het gevolg is van de kunstmatige keuze van de aanvangsvoorwaarden : men veronderstelt immers dat de gipsberg op het aanvangstijdstip plots volledig aanwezig is en gevuld met 100 % gipsbergwater terwijl het water in de ondergrond niet verontreinigd is. De gipsberg is in werkelijkheid geleidelijk opgebouwd. Op het lager gedeelte van het stort is destijds actief gestort waardoor de stroming er hoofdzakelijk vertikaal gebeurde. Dat heeft voor gevolg dat het niet verontreinigd water verdreven is. De lens zoals aangegeven in PLAAT XII bestaat in werkelijkheid niet.

### **7.3.2. Doorsnede door de uitbreiding, RPC2**

#### **7.3.2.1. Ligging**

De doorsnede RPC2 loopt vanaf het centrum van het gipsstort in zuidzuidwestelijke richting, naar het centrum van Rieme toe. Het profiel is 1200 m lang en strekt zich uit tot aan de spoorweg Gent-Zelzate.

### 7.3.2.2. Simulatie zonder de geplande uitbreiding

#### 7.3.2.2.1. Inleiding

Om het stromingspatroon en de evolutie van de waterkwaliteiten te kennen in een situatie zonder uitbreiding en zonder speciale drainage-maatregelen, werd een simulatie uitgevoerd, waarbij de huidige afmetingen van het gipsstort gebruikt werden, en waarin verondersteld werd dat het huidige drainagesysteem niet aanwezig is. Er is aangenomen dat zich tegen de gipsberg een klein slootje bevindt.

#### 7.3.2.2.2. Ingebrachte gegevens

Het netwerk dat gebruikt is voor deze simulatie kan afgeleid worden uit PLAAT XIII. De gipsberg beslaat de eerste 12 cellen van het raster. Aan de top wordt de breedte op 10 cellen genomen. Op het talud worden vaste stijghoogten ingevoerd, overeenkomend met het peil van het centrum van deze cellen. In de tien volgende cellen achter het talud werden eveneens vaste stijghoogten verondersteld. Het betreft hier het weiland, aan de voet van de berg, dat zeer vochtig is door de optredende kwelwerking, en waar de watertafel zich steeds dicht onder het maaiveld bevindt. De Riemse waterloop situeert zich ter hoogte van de dertigste cel. Er wordt een konstante stijghoogte van + 7,20 aangehouden. De overige cellen zijn infiltratiecellen : de top van het stort heeft een infiltratiesnelheid van 2935 mm/jaar; het infiltrerend water is 100 % gipsstortwater. Deze waarde werd gevonden na kalibratie aan de hand van de waargenomen peilmetingen. De overige cellen hebben een infiltratie van 280 mm/jaar, overeenkomend met de nuttige neerslag bestaande uit 100 % normaal water. Bij de aanvang wordt dus aangenomen dat de gipsberg volledig gevuld is met gipsstortperkolaat terwijl de rest van het reservoir geen gipsstortwater bevat. Voor de overige hydraulische parameters werden dezelfde waarden ingevoerd als in doorsnede RPC1.

### 7.3.2.2.3. Resultaten

Er werd een periode van 20 jaar gesimuleerd. De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XIII.

Uit het stromingspatroon komt tot uiting dat de waterbeweging in het gipsstort hoofdzakelijk vertikaal gebeurt. Er komt een sterke verticale gradiënt voor. Aan het talud is er zijwaartse uitvloeijing. Het water dat vertikaal doorheen de gipsberg stroomt wordt gedeeltelijk zijdelings weggedraineerd in de laag KZ2. Er grijpt een stroming plaats naar de voet van het talud waar kwel plaatsgrijpt.

Ongeveer de helft van de hoeveelheid water dat door de berg perkoleert (ongeveer 3850 m<sup>3</sup>/dag), infiltreert doorheen de laag KL tot in de onderste watervoerende laag KZ1 (ongeveer 2075 m<sup>3</sup>/dag). Hier wordt het vrij snel lateraal afgevoerd. Een klein deel hiervan wordt in de zone aan de voet van het stort door kwel afgestaan aan de bovenste laag KZ2 waar het gedeeltelijk weggedraineerd wordt. Het overige deel gaat zich door de hoge stroomsnelheid snel verspreiden. De verontreiniging zal vlugger voortschrijden in de onderste laag KZ1, dan in de laag KZ2. Vanaf 200 m afstand tot het stort neemt de stroomsnelheid in de laag KZ1 geleidelijk af.

### 7.3.2.3. Simulatie met de geplande uitbreiding (zonder drainage)

#### 7.3.2.3.1. Inleiding

Deze toestand werd gesimuleerd om de situatie te kennen indien bij een uitbreiding geen maatregelen genomen worden. Door vergelijking met de simulatie waarbij de drainagegracht wel aanwezig is, kon de invloed van deze ingreep geëvalueerd worden.

#### 7.3.2.3.2. Ingebrachte gegevens

Het netwerk dat gebruikt is voor deze simulatie kan afgeleid worden uit PLAAT XIV. Het centrum van de uitgebreide gipsberg is verplaatst naar de rechterzijde van het profiel. Daarom zijn 2 kolommen weggelaten.

Een vereenvoudiging werd ingevoerd door te veronderstellen dat de uitbreiding van bij de aanvang van de simulatie op dezelfde hoogte is van het huidig stort. Momenteel is niet bekend hoe snel de ophoging in de toekomst zal vorderen. Bovendien veranderen de hydraulische parameters van het gips met toenemende belasting van bovenliggend materiaal. Hierover zijn ons geen gegevens bekend.

In het begin is de gipsberg tot aan de laag KZ2 gevuld met 100 % gipsstortwater. De infiltratiesnelheid op de top van het gipsstort is aangepast tot 2150 mm/jaar, een waarde die overeenkomt met de hoeveelheid die infiltreert wanneer de huidige gemiddelde transportwaterhoeveelheid gebruikt wordt om de hele berg (48 ha momenteel + 17 ha uitbreiding) op te hogen. Ter hoogte van het talud worden vaste stijghoogtecellen ingevoerd. De stijghoogte is het peil van het centrum van de overeenkomstige cel. De eerste 6 cellen naast de berg (kolommen 24 tot en met 29) werden eveneens vaste potentiaalcellen genomen. De stijghoogten komen overeen met de watertafel. De Riemse waterloop heeft een vaste stijghoogte van +7,20.

De hydraulische parameters zijn identiek als in doorsnede RPC1.

#### 7.3.2.3.3. Resultaten

De resultaten van de simulatie zijn afgebeeld op PLAAT XIV.

De berekende maximale stijghoogten in de gipsberg met uitbreiding zijn ongeveer 3 m hoger dan in de huidige toestand : ca. +38,0. Ook hier treedt aan de wand zijdelingse uitvloeiing op.

Onder de centrale zone van de gipsberg, aan de linkerzijde van de figuur, is de stroomrichting in de berg bijna uitsluitend vertikaal. Hier gaat het gepercoleerde water bijna volledig infiltreren doorheen de laag KL tot in de laag KZ1 en wordt slechts weinig horizontaal afgevoerd via de laag KZ2. Deze centrale zone neemt in grootte toe door de uitbreiding van de horizontale afmetingen van de berg. Bij uitbreiding van het gipsstort zal dus meer water in de laag KZ1 terecht komen (ongeveer 2600 m<sup>3</sup>/dag) en zullen de stromingssnelheden in deze laag groter worden. De laterale afvloeï in KZ1 zal sneller gebeuren, waardoor de verontreiniging-vlugger zal voortschrijden. Vanaf driehonderd meter van het stort worden de snelheden in KZ1 aanzienlijk kleiner.

#### **7.3.2.4. Simulatie met de geplande uitbreiding (met drainage)**

##### **7.3.2.4.1. Inleiding**

Rond het geplande uitbreidingsterrein is reeds een drainage-systeem aangebracht dat het peil op ca. +7,20 houdt. Bij deze simulatie wordt de toestand gesimuleerd met uitbreiding van het stort samen met het nu reeds bestaande drainagesysteem.

##### **7.3.2.4.2. Ingebrachte gegevens**

In de zes vaste potentiaalcellen vlak naast het stort werden andere stijghoogten ingevoerd : +7,20 voor de cel die het drainagesysteem voorstelt (kolom 24.1). Voor het overige zijn de ingevoerde gegevens gelijk aan die in vorige simulatie.

#### 7.3.2.4.3. Resultaten

Evenals in de vorige simulatie neemt de hoeveelheid perkolaat dat in de laag KZ1 terechtkomt toe t.o.v. de huidige situatie. Door de drainage treedt er een sterkere kwel op aan de voet van het talud. Een gedeelte van het water dat in de laag KZ2 afgevoerd wordt, zal evenwel onder de drainagegracht weglopen. De aanwezigheid van een dergelijk drainagesysteem zal verontreiniging in de laag KZ2 dus niet tegenhouden.

In de kwelzone zal meer water vanuit de onderste laag KZ1 aan de laag KZ2 afgegeven worden; een groot deel blijft in de laag zelf verderstromen. De stromingssnelheden in de onderste laag zijn groter dan in de laag KZ2, waardoor de verontreiniging sneller en verder zal wijken in de laag KZ1.

#### 7.3.2.5. Simulatie met uitbreiding, met drainage en met pomping van $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ in de laag KZ1

##### 7.3.2.5.1. Inleiding

Er werd een simulatie uitgevoerd, waarbij naast de nu reeds bestaande drainage, een pomping in de laag KZ1 verondersteld werd. Het debiet van de pomping werd benaderend gelijk gesteld aan de hoeveelheid water die vanonder de gipsberg doorheen de laag KZ1 stroomt, nl.  $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ .

##### 7.3.2.5.2. Ingebrachte gegevens

In de cel (kolom 25, rij 15) werd een debiet onttrokken van  $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . Berekend werd dat bij dergelijk debiet het drainagesysteem niet droogvalt. De drainagegracht werd bijgevolg als vaste stijghoogte ingevoerd met peil +7,20.

### 7.3.2.5.3. Resultaten

De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XVI.

De berekende maximale stijghoogten in de gipsberg zijn ca. 3 m lager dan in de simulatie zonder pumping. Er ontstaat een nieuw stromingspatroon. Het kwelverschijnsel aan de voet van de berg verdwijnt grotendeels. Doorheen de laag KL gebeurt nu een neerwaartse stroming vanuit de laag KZ2 naar de laag KZ1. De draineerwerking van de gracht is nu zeer beperkt. Hierdoor zal het meeste water dat in de laag KZ2 stroomt onder de drainagegracht, waardoor de verontreiniging in de laag KZ2 zal verder schrijden.

In de laag KZ1 ontstaan door de pumping hoge snelheden onder het gipsstort : het water dat onder de berg in de laag KZ1 infiltreert wordt snel lateraal afgevoerd. De stroming vanuit de omgeving, dit is de rechterzijde van de figuur, naar de pompput toe gebeurt veel langzamer. De verspreiding van de verontreiniging in de laag KZ1 zal wel vertraagd worden, maar om de verontreiniging in de laag KZ1 volledig tegen te houden is een groter pompdebiet vereist dan  $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ .

### 7.3.2.6. Simulatie met uitbreiding met pumping van $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ in de laag KZ1

#### 7.3.2.6.1. Inleiding

In deze simulatie werd het opgepompte debiet verdubbeld tot  $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . Dit is het dubbel van de hoeveelheid water die van onder de gipsberg in de laag KZ1 stroomt; het komt ongeveer overeen met de hoeveelheid water die op de top van de gipsberg infiltreert ( $1,4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{sec}$ ).

#### 7.3.2.6.2. Ingebrachte gegevens

Uit de cel (kolom 25, rij 15) werd een debiet onttrokken van 6,6 m<sup>3</sup>/dag/m.

#### 7.3.2.6.3. Resultaten

De resultaten zijn afgebeeld op PLAAT XVII.

De berekende maximale stijghoogten in de gipsberg liggen ca. 7 m lager dan in de toestand zonder pomping. Door de onttrekking in de laag KZ1 ontstaat een sterke stroming naar de pompput toe : zowel onder het stort als vanuit de omgeving is er een sterke gradiënt naar de winning. Met een dergelijk debiet zal de verontreiniging in de laag KZ1 tegengehouden worden.

Vanuit de laag KZ2 zal een sterke neerwaartse stroming naar de laag KZ1 plaatsvinden. In de zone tot 200 m van de berg bezit de stroming in de laag KZ2 een overwegend verticale komponent. De watertafel zal er dalen tot onder het drainagesysteem (+7,20) dat bijgevolg droogvalt. Om deze reden is de drainagegracht niet op de figuur aangeduid. Er bestaat slechts een heel geringe horizontale afvoer. Hierdoor zal ook in de laag KZ2 de verontreiniging beperkt blijven tot de omgeving van de pompput.

### 7.3.3. Doorsnede naar de polders RPC3

#### 7.3.3.1. Ligging

De doorsnede RPC3 loopt vanaf het centrum van de gipsberg in noordnoordwestelijke richting. Het profiel is 1200 m lang, en kruist de rijksweg RW 617 Antwerpen-Zeekust. Het strekt zich uit tot het westelijk deel van het gehucht Debbautshoek (gemeente Zelzate).



### 7.3.3.2. Simulatie zonder maatregelen

#### 7.3.3.2.1. Inleiding

Langs de noordzijde van het stort is er geen uitbreiding gepland en werd tot nog toe geen drainagesysteem aangelegd. Deze huidige situatie werd gesimuleerd voor een periode van 20 jaar.

#### 7.3.3.2.2. Ingebrachte gegevens

Voor alle simulaties werd een netwerk van dezelfde vorm gebruikt. Het kan afgeleid worden uit de PLAAT XVIII. Op de top van het stort, 3 kolommen breed, werd een infiltratiesnelheid van 2982 mm/jaar ingevoerd, gevonden na kalibratie naar waargenomen stijghoogten. Aan de voet van de gipsberg wordt een vaste stijghoogte van +7,70 m aangenomen, overeenkomend met een klein grachtje. Verder in het profiel komen nog enkele verspreide vaste stijghoogtecellen voor. Aan de noordergrens van het profiel, aan de rechterzijde van de figuren, werden over de ganse dikte (rijen 10 tot en met 15) vaste potentialen ingevoerd (+6,12 m).

Vanaf de 31e kolom werd de dikte van het reservoir teruggebracht van 7 tot 6 rijen, te wijten aan de topografische daling van het maaiveld. Hier bestaat de bovenste watervoerende laag uit slechts 3 rijen. De bovenste hiervan heeft een k-waarde van 0,4 m/dag, de twee onderliggende cellen een k-waarde van 4 m/dag. De lagen KZ1 en KL bestaan uit respectievelijk één en twee rijen, en hebben dezelfde hydraulische doorlatendheid als in de profielen RPC1 en RPC2.

#### 7.3.3.2.3. Resultaten

De resultaten zijn afgebeeld op PLAAT XVIII.

Het stromingspatroon is vrij analoog aan het patroon in de doorsnede RPC2 (PLAAT XIII). In de berg zelf is de stroming overwegend vertikaal. Aan de randen van de berg treedt uitvloeijing op. Een gedeelte van het water dat doorheen de berg sijpelt wordt in de laag KZ2 horizontaal afgevoerd. Het wordt gedeeltelijk weggedraineerd aan de voet van het talud, waar kwel plaatsvindt. Deze zone, ongeveer 100 m breed, is zeer vochtig en wordt gekenmerkt door hoge waterstanden. De gemiddelde stromingssnelheid onder de voet van het stort bedraagt in de laag KZ2 ca. 0,5 m/dag.

Ongeveer de helft van het water dat doorheen de berg percoleert, infiltreert doorheen de halfdoorlatende laag KL in de watervoevende laag KZ1. Hierin wordt het snel lateraal afgevoerd (stromingssnelheid tot 0,80 m/dag). Een beperkt deel hiervan stroomt opwaarts doorheen de laag KL naar de laag KZ2. De stromingssnelheid in de laag KZ1 daalt geleidelijk tot ca. 0,30 m/dag op een afstand van 200 m en ca. 0,20 m/dag op 500 m van de gipsberg. De verspreiding van de verontreiniging zal sneller gaan in de laag KZ1 dan in de laag KZ2, en gaat vooral vlug in de onmiddellijke nabijheid van het stort.

### **7.3.3.3. Simulatie met drainagegracht**

#### **7.3.3.3.1. Inleiding**

Naar analogie met het profiel RPC2, werd een berekening uitgevoerd om de invloed van een drainagesysteem, zoals dat op het uitbreidingsterrein is aangelegd, te evalueren.

#### **7.3.3.3.2. Ingebrachte gegevens**

Er wordt verondersteld dat de stijghoogte in de drainagegracht op +7,00 wordt gehouden. Deze bevindt zich aan de voet van het talud, en wordt als een vaste potentiaalcel voorgesteld.

#### **7.3.3.3. Resultaten**

De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XIX.

Het stromingspatroon is sterk gelijkend op dat van de vorige simulatie. In de laag KZ2 wordt meer water weggedraineerd, maar een belangrijke hoeveelheid loopt onder de drainagegracht. In de laag KZ1 wordt wat meer water door kwelwerking afgegeven aan de bovenste laag KZ2.

Zowel in de laag KZ1, als in de laag KZ2 zal de verontreiniging zich voorbij het drainagekanaal verplaatsen.

#### **7.3.3.4. Simulatie met drainagegracht en pumping in de laag KZ1**

##### **7.3.3.4.1. Inleiding**

Bij deze berekening wordt verondersteld dat er zich een drainagegracht bevindt aan de voet van het talud, en dat er gepompt wordt in de onderste watervoerende laag KZ1 : het een debiet is  $3,3 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . Dat debiet komt ongeveer overeen met de hoeveelheid water die doorheen de laag KZ1 vanonder de gipsberg naar de omgeving stroomt aan de rand van de berg.

##### **7.3.3.4.2. Ingebrachte gegevens**

Het peil in de drainagegracht wordt op +7,00 gehouden en als vaste stijghoogte ingevoerd. De pumping bevindt zich in de 15e kolom, rij 15. Er wordt uit één cel gepompt. De berekende stijghoogten zonder drainage zijn hoger, zodat het afwateringssysteem in werking blijft.

#### 7.3.3.4.3. Resultaten

De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XX.

De hoogste berekende stijghoogten in het gipsstort zijn circa 2 meter hoger dan in de toestand zonder maatregelen. Door de pumping treden in de laag KZ1 hogere stromingssnelheden op onder het gipsstort. Verder van de gipsberg en de pompput weg ontstaat een zone waar de horizontale stroomkomponent in de laag KZ1 zeer klein is. Hier is er een heel kleine stroomsnelheid. Hiervoor is een groter debiet vereist.

Vanuit de laag KZ2 treedt in de omgeving van de pumping een neerwaartse stroming op doorheen de laag KL. Hierdoor wordt het kwelverschijnsel in de zone aan de voet van het talud verminderd t.o.v. de huidige toestand.

De verontreiniging zal verder gaan dan de plaats van drainagegracht en pumping, maar de verspreiding zal trager gaan.

### 7.3.3.5. Simulatie met pumping in de lagen KZ1 en KZ2

#### 7.3.3.5.1. Inleiding

Bij het plaatsen van pompputten in de laag KZ1, kan het filterelement gemakkelijk uitgebreid worden tot in de bovenste watervoerende laag KZ2. In dit geval wordt het plaatsen van een drainagegracht overbodig. Deze berekening simuleert de toestand waarbij een debiet van  $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$  gewonnen wordt. Dit is ongeveer het dubbele van de hoeveelheid die vanonder het gipsstort door de laag KZ1 vloeit aan de rand van de berg of ongeveer de hoeveelheid water die op de gipsberg terecht komt.

#### 7.3.3.5.2. Ingebrachte gegevens

In het model wordt uit één cel in de laag KZ1 gepompt (kolom 15, rij 15) en uit drie cellen in de laag KZ2 (kolom 15, rijen 10, 11 en 12). Het totaal onttrokken debiet bedraagt  $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ , en de hoeveelheden per cel afzonderlijk zijn evenredig met de transmissiviteiten (of permeabiliteiten) van de verschillende lagen. Van de  $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$  wordt er  $3,43 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$  uit de onderste laag KZ1 gehaald. Per aangepompte cel in de laag KZ2 wordt er  $1,06 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$  onttrokken.

De cellen aan de voet van de berg worden als infiltratiecellen beschouwd; de infiltratie is gelijk aan de nuttige neerslag of 280 mm/jaar.

#### 7.3.3.5.3. Resultaten

De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XXI.

De berekende stijghoogten in de gipsstort bedragen maximaal ca. +28,5 m. Dit is ongeveer 6,5 m lager dan in de huidige toestand.

Door de pumping ontstaat een nieuw stromingspatroon. Er treedt een sterke verticale neerwaartse stroming op doorheen de laag KL in de omgeving van de pompput. Hierdoor zal de watertafel verschillende meters dalen. Een eventueel aanwezige drainagegracht zal in dit geval droog komen. De invloed van de pumping doet zich tot op ongeveer 200 m gelden. Grachten in de onmiddellijke nabijheid van de berg kunnen irrigierend gaan werken.

In de laag KZ1 en in de laag KZ2 ontstaat een stromingsveld dat naar de pompput toe gericht is, zowel onder de gipsberg, als in de omgeving. In de laag KZ1 is tot op een afstand van ruim 400 m van het gipsstort de stromingsrichting naar de berg toe gericht. Hierdoor zal de verspreiding van de verontreiniging efficiënt beperkt worden. Een dergelijke pumping blijkt dan ook de meest aangewezen saneringsmogelijkheid te zijn.

Aangezien bij een sanering het in voege treden van de maatregelen niet vanaf de hier gegeven nultoestand plaatsvindt, maar vanaf een situatie waarbij het reservoir gedeeltelijk gevuld is met verontreinigd grondwater, werd een extra simulatie uitgevoerd. Hierbij werden als begintoestand de resultaten genomen van de simulatie van de toestand zonder maatregelen na 20 jaren. Dan werden de berekeningen uitgevoerd voor een periode van 10 jaren, om de evolutie van de grondwaterkwaliteiten te simuleren, bij ingebruikname van de hierboven beschreven pumping van  $6,6 \text{ m}^3/\text{dag}/\text{m}$ . De resultaten zijn voorgesteld op PLAAT XXII.

Bij het inwerkingstellen van de voorgestelde saneringsmethode, zal door de stroming in de laag KZ2, de verontreiniging worden teruggedrongen tot de plaats van de winning, waar het verontreinigingfront zal stabiliseren. Hoofdzakelijk neerslag-infiltratiewater zal de verontreiniging verdringen.

In de laag KZ1 daarentegen is de verontreiniging reeds verder doorgedrongen. Door de infiltratie van water uit de laag KZ2 doorheen de leemlaag zal in een zone achter de pomp (van de gipsberg weg) de laag KZ1 betere waterkwaliteiten gaan vertonen. Verder van de pomp verwijderd (rechterzijde van de figuur) blijft aanvankelijk een lens verontreinigd grondwater aanwezig. Deze lens van verontreinigd water zal zich zeer langzaam noordwaarts verplaatsen (rechterkant van de figuur); een zeer geleidelijke vermindering in concentratie zal plaatsvinden.

#### 7.4. Besluit

Alhoewel de matematische modellen niet precies de evolutie van het gipsperkolaat kunnen weergeven, verstrekken ze een goed inzicht in de grondwaterstromingen in de gipsberg en zijn omgeving en tevens in de wijze waarop het perkolaat zich in het verleden heeft verplaatst en in de toekomst kan bewegen. Hierop kan men zich steunen om die bewegingen te beheersen.

De bouw van het grondwaterreservoir werd in het mathematisch model geschematiseerd tot een doorsnede, zoals ze werd waargenomen op de plaats van de pompproeven. De hieruit bepaalde horizontale en verticale doorlatendheden werden voor het model gebruikt. De randvoorwaarden werden afgeleid uit de veldwaarnemingen. Uit het berekende grondwaterstromingspatroon is af te leiden dat onder de gipsberg het gipsperkolaat tot in de onderste doorlatende laag dringt. Door de betrekkelijk grote doorlatendheid van die onderste laag KZ1 en de geringe doorlatendheid van de bedekkende laag KL heeft de oppervlakkige drain slechts een kleine invloed op de grondwaterstroming. Aldus kan het gipsperkolaat zich in de laag KZ1 tot op grote afstand van de gipsberg bewegen.

Bemaling van de laag KZ1 kan evenwel de verontreiniging keren. In dat geval zal de stroming in de ondiepe doorlatende laag KZ2 niet alleen door de drain maar ook door de pomp in de laag KZ1 worden

beïnvloed. In de laag KZ2 blijft evenwel steeds een horizontale stroming perkolaat vanuit de gipsberg aanvoeren tot voorbij de plaats van de drain en de bemaling. De beweging van het gipsperkolaat stabiliseert zich op een zekere afstand van de gipsberg, namelijk waar de horizontale stromingskomponent nul wordt. In deze optie van beheersing zou men in de praktijk een gordel van pompputten met filters in de laag KZ1 rondom de gipsberg moeten aanleggen. De hoeveelheid perkolaat, die onder de gipsberg in de laag KZ1 terechtkomt, is ongeveer de helft van het totale perkolaat. Bijgevolg zou die hoeveelheid moeten worden onttrokken aan de laag KZ1 om de stroming in de omgeving naar de gipsberg toe te doen keren. Steunend op de beschikbare gegevens zou dat in de huidige omstandigheden neerkomen op 600.000 m<sup>3</sup> per jaar.

Een betere optie bestaat er evenwel in om de filterelementen van de pompputten zowel in de laag KZ1 als in de laag KZ2 aan te brengen. In beide lagen samen komt een hoeveelheid gipsperkolaat terecht, die gelijk is aan de hoeveelheid water op de berg min de hoeveelheid, die lateraal uit de bermen stroomt. Om de verontreiniging te keren dient men een grotere hoeveelheid water aan beide lagen te onttrekken. Daardoor zou ook de kwaliteit van het opgepompte water verbeteren, omdat dan ook niet-verontreinigd water wordt aangepompt. Als beheersmaatregel zou men bijgevolg kunnen voorstellen anderhalf maal zoveel water op te pompen uit beide lagen als er perkolaat door de gipsberg dringt, d.w.z. ca. 1,8 miljoen m<sup>3</sup> per jaar in de huidige omstandigheden.

Ter controle zou men een nader te bepalen aantal groepen van peilbuizen rond de gipsberg moeten aanbrengen. Op een vijftal plaatsen zou men halfweg tussen de pompputten een peilput in de KZ1 en een peilput in KZ2 aanbrengen. Op een tweehonderdtal meters hiervan verwijderd, weg van de gipsberg, zouden eveneens in beide lagen nogmaals peilputten worden geplaatst. Hierdoor zou men kunnen nagaan of het hydraulisch verhang naar de gipsberg gericht blijft.



Bij het eventueel aanbrengen van een pomping zal overleg met het Ministerie van Openbare Werken over de invloed ervan op de slibbergingsput noodzakelijk zijn.

De bemaling zou ook de waterstanden in de gipsberg doen dalen, waardoor de laterale afvoer door de bermen zou afnemen.

## 8. BESLUIT

Het bedrijf RHONE-POULENC CHEMIE N.V. met het gipsstort bevindt zich op een brede stuifzandrug die het noorden van Vlaanderen doorkruist en 4 à 5 m boven de omringende gronden uitsteekt. Hierdoor liggen de bestudeerde terreinen op een waterscheiding; ten noorden ervan ligt de Zwarte Sluispolder, ten zuiden het bekken van de Avrijevaart-Burggravenstroom.

De omliggende zones zijn vooral industrie- en buffergebieden. Eén woonwijk van de gemeente Zelzate leunt tegen het bedrijf aan : Klein Rusland. Een andere wijk, Debbautshoek, ligt op 300 m van het bedrijf.

De bodem is opgebouwd uit zand. Onder de bodem komt een watervoerende zandlaag (KZ2) voor. Deze rust op een leemhoudende laag (KL), die op de ene plaats uit leem is opgebouwd en op de andere uit leemhoudend zand. Tussen de laag KL en het tertiair kleisubstraat treft men een tweede watervoerende zandlaag (KZ1) aan. De gemiddelde dikte van KZ2, KL en KZ1 bedraagt respectievelijk 9 tot 12 m, 6 m en 3 m. Grote verschillen kunnen evenwel voorkomen.

Aan de hand van twee pompproeven, één in KZ1 en één in KZ2, zijn de hydraulische kenmerken van het geohydrologisch systeem berekend. De lagen KZ1 en KZ2 hebben een horizontale doorlatendheid van respectievelijk 13 m/d en 4 m/d. Met de berekende hydraulische weerstand van 200 d voor de leemhoudende laag KL stemt een verticale doorlatendheid van 0,03 m/d overeen.

In het fosfogips van het stort, dat bestaat uit meer dan 95 % gehydrateerd calciumsulfaat, konden naast het mineraal gips tevens kwarts, haliet, fyllosilikaten, fluor-tremoliet en laurenciet worden aangetoond.

De historiek van het gipsstort is beschreven op grond van gegevens van het bedrijf en van luchtfoto's. Het afvalgips, dat sinds 1925-26 in het bedrijf wordt geproduceerd, kwam aanvankelijk terecht op

een oud stort binnen het bedrijf. Dat gips werd er later herwonnen. De aanvang van de stortactiviteiten op het huidig stort dateert van begin 1953. Vanaf 1961 wordt enkel nog het huidig stort gebruikt. Aanvankelijk werd er calciumcarbonaat gedeponeerd, hetgeen ongunstig is voor de stabiliteit. De verhoging van het stort gebeurt geleidelijk volgens zones. De hoogte bedraagt thans plaatselijk meer dan 30 m. In een beperkt gebied is er feral gestort. Neutralisatie greep slechts plaats van 1976 tot 1979.

De drainage gebeurt door een dubbele ringgracht. De waterbalans van het stort is bij gebrek aan regelmatige waarnemingen moeilijk te berekenen; het is wenselijk in de toekomst meer waarnemingen te doen. Voorlopig kan gesteld worden dat ca. 1,2 miljoen m<sup>3</sup> perkolaat per jaar in de grond sijpelt. Op grond van de schaarse gegevens kan afgeleid worden dat de hoeveelheid kanaalwater varieert van 0 tot meer dan 50 % van het volume gipstransportwater.

Uit boringen in het stort blijkt dat het gelaagd is. Er is een mikrogelaagdheid veroorzaakt door dunne laagjes met meer organisch materiaal. Men heeft vastgesteld dat het gips onder de 16 m in zone 2 in 1984 relatief sterk verhard voorkwam.

Voor het min of meer sterk verharde afvalgips onderaan werd een horizontale doorlatendheid gevonden van 0,28 m/d tot 0,48 m/d. De verticale doorlatendheid van dit materiaal bedraagt 0,018 m/d. Men mag aannemen dat de verticale doorlatendheid van het niet verharde afvalgips hogerop en bovenaan de gipsberg groter is. Hiervoor kon echter geen betrouwbare waarde worden afgeleid met de gebruikte interpretatiemethode en de beschikbare peilbuizen, evenmin als voor de basislaag van de gipsberg.

Op grond van maandelijks stijghoogtemetingen rond het gipsstort, tussen september 1984 en mei 1985, in 87 peilbuizen, zijn in het studiegebied vijf "stromingsgebieden" onderscheiden. Het grondwater stroomt er in de richting van respectievelijk de verkeerstunneldrainage, het kanaal, de Avrijevaart en de Zwarte Sluispolder.

Van een bij de bouw van de tunnel aangelegd blik scherm is thans geen merkbare invloed meer te bespeuren.

Vooraf het geplande uitbreidingsgebied en de zone tussen het gipsstort en de slibbergingsput zijn zeer vochtig ten gevolge van kwel.

Onder het stort is de stroming neerwaarts gericht. Op de meeste andere waarnemingsplaatsen is het stijghoogteverschil tussen de lagen KZ2 en KZ1 gering. De stijghoogten schommelden weinig in de waarnemingsperiode : minder dan 1 m, behalve onder het gipsstort waar de variaties iets groter waren.

Door RHONE-POULENC CHEMIE N.V. zijn 39 peilbuizen op en rond het bedrijf voor het eerst of opnieuw bemonsterd. Gedurende vier campagnes zijn 151 stalen genomen waarvan 125 analyseresultaten zijn verwerkt. Het niet verontreinigd grondwater in het gebied is een zoet water met een zoutgehalte dat lager is dan 800 mg/l, zelfs meestal lager dan 500 mg/l. Het duidelijk beïnvloed grondwater rond het gipsstort bevat meer dan 2000 mg/l zouten maar het zoutgehalte kan oplopen tot meer dan 12.000 mg/l. Het vertoont voor alle parameters te hoge waarden ten opzichte van het normale grondwater in Oost-Vlaanderen. Het lijkt qua samenstelling op het kanaalwater, dat als gipstransportwater heeft gediend, maar dan aangerijkt vooral aan calcium, sulfaat, ammoniumstikstof, fosfaat en fluoride. De hoge concentraties ammoniumstikstof, ook opgemerkt in de regenneerslag van het gebied, zijn typerend voor de bestudeerde omgeving.

De verontreiniging in de laag KZ1 strekt zich vermoedelijk uit over een oppervlakte van ca. 190 ha onder en rond het gipsstort; naast een deel van de bedrijfsterreinen vindt men ze ook terug onder de wijk Klein Rusland evenals onder het zuidelijk deel van de wijk Debbautshoek te Zelzate. De verontreiniging in de laag KZ2 is minder omvangrijk. In het door het stort beïnvloede grondwater blijken er geen private winningsputten gelegen te zijn.

Met behulp van een mathematisch model is de grondwaterstroming en -kwaliteit onder en rond het bedrijf gesimuleerd.

De bouw van het grondwaterreservoir werd in het mathematisch model geschematiseerd tot een doorsnede, zoals ze werd waargenomen op de plaats van de pompproeven. De hieruit bepaalde horizontale en verticale doorlatendheden werden voor het model gebruikt. De randvoorwaarden werden afgeleid uit de veldwaarnemingen. Uit het berekende grondwaterstromingspatroon is af te leiden dat onder de gipsberg het gipsperkolaat tot in de onderste doorlatende laag dringt. Door de betrekkelijk grote doorlatendheid van die onderste laag KZ1 en de geringe doorlatendheid van de bedekkende laag KL heeft de oppervlakkige drain slechts een kleine invloed op de grondwaterstroming. Aldus kan het gipsperkolaat zich in de laag KZ1 tot op de grote afstand van de gipsberg bewegen.

Bemaling van de laag KZ1 kan evenwel de verontreiniging keren. In dat geval zal de stroming in de ondiepe doorlatende laag KZ2 niet alleen door de drain maar ook door de pumping in de laag KZ1 worden beïnvloed. In de laag KZ2 blijft evenwel steeds een horizontale stroming perkolaat vanuit de gipsberg aanvoeren tot voorbij de plaats van de drain en de bemaling. In de praktijk zou men bij deze optie een gordel van pompputten met filters in de laag KZ1 rondom de gipsberg moeten aanleggen. De hoeveelheid perkolaat, die onder de gipsberg in de laag KZ1 terechtkomt, is ongeveer de helft van het totale perkolaat. Bijgevolg zou in de huidige omstandigheden ca. 600.000 m<sup>3</sup> per jaar moeten worden

onttrokken aan de laag KZ1 om de stroming in de omgeving naar de gipsberg toe te doen keren.

Een betere optie bestaat er evenwel in om de filterelementen van de pompputten zowel in de laag KZ1 als in de laag KZ2 aan te brengen. In beide lagen samen komt een hoeveelheid gipsperkolaat terecht die, steunend op de beschikbare gegevens, gelijk is aan ca. 1,2 miljoen m<sup>3</sup> per jaar. Als beheersmaatregel zou men bijgevolg kunnen voorstellen anderhalf maal zoveel water op te pompen uit beide lagen als er perkolaat door de gipsberg dringt, d.w.z. ca. 1,8 miljoen m<sup>3</sup> per jaar in de huidige omstandigheden.

Ter controle zou men een nader te bepalen aantal groepen van peilbuizen rond de gipsberg moeten aanbrengen. Op een vijftal plaatsen zou men halfweg tussen de pompputten een peilput in de KZ1 en een peilput in KZ2 moeten aanbrengen. Op een tweehonderdtal meters hiervan verwijderd, weg van de gipsberg, zouden eveneens in beide lagen nogmaals peilputten worden geplaatst. Hierdoor zou men kunnen nagaan of het hydraulisch verhang naar de gipsberg gericht blijft. Overleg met de bevoegde instanties, waaronder het Ministerie van Openbare Werken, dat de slibbergingsput beheert, evenals met de Administratie voor Ruimtelijke Ordening en Leefmilieu en met de Openbare Afvalstoffenmaatschappij voor het Vlaamse Gewest, zal noodzakelijk zijn.

## REFERENTIES

- AMERYCKX, J. (1963). Verklarende tekst bij het Kaartblad LOCHRISTI 40E. 67 p., 1 kaart schaal 1/20.000. Gent : Centrum voor Bodemkartering.
- BELGISCH INSTITUUT VOOR NORMALISATIE. (1970). Norm NBN 831.06. Steenkool : Vaste minerale brandstoffen. Steenkoolbemonstering. Brussel : Belgisch Instituut voor Normalisatie.
- BUTTIENS, K. (1982). Onderzoeksverslag (Tunnel Zelzate). 6 p., 5 fig. Gent : Ministerie van Economische Zaken, Mijnwezen, afdeling Vlaanderen.
- DE MOOR, G. & DE BREUCK, W. (1969). De freatische waters in het Oostelijk Kustgebied en in de Vlaamse Vallei. Natuurwet. Tijdschr. 51, 3-68.
- DE PAEPE, R. (1978). Compléments d'information concernant le remblai expérimental à Zelzate (Belgique). C.R. Conf. Int. Sous-produits et déchets dans le génie civil. Paris 1978. vol. III, 57-60.
- DEPRET, M. (1981). Litostratigrafie van het Kwartair en van het Tertiaire substraat te Zeebrugge. Litologische en stratigrafische interpretatie van diepsonderingen met de konus van Begemann. 186 p., 45 tab., 91 fig., 6 kaarten, 1 bijl. Gent : Rijksuniversiteit - Leerstoel voor Toegepaste Geologie (doktoraatproefschrift).
- DE BREUCK, W. & MAHAUDEN, M. (1980). Verslag van de boring op de gipsheuvel (zone 3) van de firma PCUK Belgium te Zelzate - Ertvelde. 2 p., 2 bijl., 2 fig. Gent : Rijksuniversiteit. Leerstoel voor Toegepaste Geologie (rapport TGO 80/04).

- DE BREUCK, W., BUYSSE, M. & VAN BURM, Ph. (1984). Hydrogeologisch onderzoek van de terreinen van Rhône-Poulenc Chemie N.V. te Zelzate. Deel I. Inventaris van de gegevens. 24 p., 1 bijl., 10 platen schaal 1/4000. Gent : Rijksuniversiteit. Leerstoel voor Toegepaste Geologie (rapport TGO 84/02).
- DE BREUCK, W., VAN BURM, Ph. & VAN CAMP, M. (1983). Hydrogeologische studie van de Gentse Kanaalzone. 243 p., 293 p. bijl., 42 platen schaal 1/25.000. Gent : Rijksuniversiteit. Leerstoel voor Toegepaste Geologie (rapport TGO 81/07).
- DIERICKX, J., DE BRABANDER, K., LABEAU, M. & BOELEN, C. (1985). De kwaliteit van de putwaters in Vlaanderen. Eerste deel. Inventaris van de analyseresultaten. 157 p. Brussel : Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie.
- FREEZE, R.A. & WITHERSPOON, P.A. (1967). Theoretical analysis of regional groundwater flow, II : Effect of watertable configuration and subsurface permeability variations. Wat. Resources Res., 3, 623-634.
- GORLE, D. (1979). Experimental embankment in phosphogypsum. Proc. Symp. The Engineering Behaviour of Industrial and Urban Fill. Birmingham 1979. D17-D28.
- GULINCK, M. (1965). Le Passage du Bartonien au Rupélien dans la Région Boom-Malines. Bull. Soc. Belg. Géol., 74, 115-120.
- GORLE, D. & DE PAEPE, R. (1978). Réalisation d'un remblai expérimental en phosphogypse. Premiers résultats du comportement dans le temps. C.R. Conf. Int. Sous-produits et déchets dans le génie civil. Paris 1978. 223-228.



- GORLE, D. & REICHERT, J. (1981). Un remblai expérimental en phosphogypse. Proc. Tenth Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Stockholm 1981. Vol. 2, 323-327.
- GESTIN, F., KIBKALO, B. & QUIBEL, A. (1978). Etude en laboratoire et expérimentations en vraie grandeur du comportement de remblais en phosphogypse. C.R. Conf. Int. Sous-produits et déchets dans le génie civil. Paris 1978. Vol. I, 215-221.
- JACOBS, P. (1978). Litostratigraphie van het Boven-Eoceen en van het Onder-Eoceen in Noordwest-België. Prof. Paper Belg. Geol. Dienst, 3, 93 p.
- KONIKOW, L. & BREDEHOEFT, J. (1978). Computer model of two-dimensional solute transport and dispersion in groundwater. U.S. Geol. Surv. Techniques of Water-Resources Inv., Book 7, Chap. C2, 90 p.
- KRUSEMAN, G. & DE RIDDER, N. (1970). Analysis and evaluation of pumping Test data. 200 p. Wageningen : International Institute for Land Reclamation and Improvement (Bulletin 11).
- KRUYT, H.A. (1976). De verontreiniging van de buitenlucht in Zeeland van 18.7.1974 t/m 17.7.1975. 28 p. Delft : I.M.G. - T.N.O. (rapport G591).
- LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES & ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES. (1978a). Colloque International sur l'Utilisation des Sous-Produits et Déchets dans le Génie Civil. Paris 1978. Sulphates résiduaire. Vol. I, 181-257.

- LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSEES & ECOLE NATIONALE DES PONTS ET CHAUSSEES. (1978b). Colloque International sur l'Utilisation des Sous-Produits et Déchets dans le Génie Civil. Paris 1978. Sulphates résiduaires. Vol. III, 43-60. 1978. Sulphates résiduaires. Vol. III, 43-60.
- LEBBE, L. (1983a). Een mathematisch model voor de niet-permanente grondwaterstroming naar een pompput in een veellagig grondwaterreservoir en enkele beschouwingen over de stroomtijd. Tijdschr. BECEWA, 70, 33-48.
- LEBBE, L. (1983b). Mathematical model of the evolution of the fresh water lens under the dunes and beach with semi-diurnal tides. Proc. 8th Salt Water Intr. Meeting, Bari. 1983. Geologia Applicata e Idrogeologia, Special issue, 211-226.
- LEBBE, L., PEDE, K. & VAN HOUTTE, E. (1984). Analyse van pompproeven in een veellagig grondwaterreservoir met behulp van een mathematisch model. Tijdschr. BECEWA, 78, 132-146.
- LIEKENS, R. (1981). Fosfogips als bouw materiaal. Een literatuuronderzoek betreffende de radioactieve eigenschappen en de biologische effecten. W.T.C.B.-Tijdschrift, 3, 1981, 15-22.
- MANGIN, S. (1978). Généralités. Bull. de Liaison des Lab. des Ponts et Chaussées, VII (spécial), 7-13.
- MILITAIR GEOGRAFISCH INSTITUUT. (1948). Zelzate 14/2 1 kaart schaal 1/10000. Brussel : Militair Geografisch Instituut.
- MINISTERIE VAN OPENBARE WERKEN. (1978). Type-Bestek 150. Hoofdstuk C. Bouwmaterialen. 75 p. Brussel : Wegenfonds.

NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT. (1982). (Kaart van de Gentse Kanaalzone). 1 kaart schaal 1/25.000. Brussel : Nationaal Geografisch Instituut (onuitgegeven kaart samengesteld i.o.v. RUG).

NATIONAAL GEOGRAFISCH INSTITUUT. (1983). Administratieve kaart België. 1 kaart schaal 1/300.000. Brussel : Nationaal Geografisch Instituut.

OPZOEKINGSCENTRUM VOOR DE WEGENBOUW. (1976). Werkwijze Reductie van grondmonsters in het laboratorium. Meetmethode O.C.W.-MN. 37/76. 15 p. Brussel : Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw.

OVAM (OPENBARE AFVALSTOFFENMAATSCHAPPIJ VOOR HET VLAAMSE GEWEST). (1985). Ontwerpplan afvalstoffen 1986-1990. Deelplan industriële afvalstoffen. 146 p. Mechelen : OVAM-Directie Planning.

PETRAS, C. (1983). Geo-elektrische verkenning in de Gentse Kanaalzone. 56 p., 62 p. fig. + tab. Gent : Rijksuniversiteit Gent. Leerstoel voor Toegepaste Geologie (Licentiaatsverhandeling).

QUEVA, C. & D'HEM, P. (1978). Etude d'un phosphogypse et utilisation en remblais routiers. C.R. Conf. Int. Sous-produits et déchets dans le génie civil. Paris 1978. Vol. I, 249-254.

SCHAEFFNER, M. (1978). Premiers résultats relatifs aux conditions de stockage et d'utilisation du phosphogypse dans les remblais routiers. Bull. de Liaison des Lab. des Ponts et Chaussées, VII (spécial), 80-98.

- STAATSSECRETARIAAT VOOR STREEKECONOMIE. (1977). Gewestplan Gentse en Kanaalzone. 24 p., 20 kaarten schaal 1/25.000, 1 legende.  
Brussel: Ministerie van Openbare Werken.
- STAATSSECRETARIAAT VOOR STREEKECONOMIE, RUIMTELIJKE ORDENING EN HUISVESTING. (1974). Ontwerp-gewestplan Gentse en Kanaalzone. 16 p., 21 platen schaal 1/25.000. Brussel : Ministerie van Openbare Werken.
- SWAELENS, G. & VERVENNE, Y. (1984). Historiek en gegevens omtrent de uitbating van het fosfogipsstort van Rhône-Poulenc Chemie N.V. 21 p. Gent : Rhône-Poulenc Chemie N.V.-Fabriek Rieme.
- SYS, C. & VANDENHOUDT, H. (1973). Verklarende tekst bij het Kaartblad ZELZATE 25E. 71 p., 1 kaart schaal 1/20.000. Gent : Centrum voor Bodemkartering.
- TNO (1974). De verontreiniging van de buitenlucht in Zeeland van 19.7.73 t/m 18.7.1974, 28 p. Delft : IMG-TNO (rapport G547).
- VAN DER LEEST, G. (1964). Oude en nieuwe methoden bij het drooghouden van bouwputten. Verh. 4de Int. Havencongres. Antwerpen 1964. 437-438.
- VAN GIEZEN, J. (1977; 1978a; 1978b; 1980; 1981a; 1981b; 1982). De verontreiniging van de buitenlucht in Zeeland van ... t/m ... (van juli tot juli). Delft : IMG-TNO (rapporten G690, G729; G820; G834; G884; G957; G1039).
- VERCRUYSSSE, M. (1983). Oppervlaktewaterstudie van het Kanaal Gent-Terneuzen. 320 p. 2 bijl. Gent : BECEWA.

VERHASSELT, A. (1983). Mogelijkheden tot behandeling van verschillende soorten afvalgips. 72 p. Brussel : Opzoekingscentrum voor de Wegenbouw (rapport RV 20/83).

VERHOEVE, D., QUAGHEBEUR, D., DE SCHEPPER, H. & DE BRABANDER, K.(1981). Berging slib Kanaal Gent-Terneuzen. Kwaliteit van het grondwater te Callemansputte (Zelzate). Toestand 1980 voor de slibberging (nultoestand). 91 p. Brussel : Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie (onuitgegeven rapport).