

Haven van Antwerpen

Sanering van de gronden
t.h.v. Kaai 57 en het Wachtdok voor Lichters
in het kader van renovatiewerken op Rechteroever

door

L. MEYVIS

Antwerpse Zeehavendienst

L. CORLUY

Antwerpse Zeehavendienst

G. CEULEMANS

E.R.M. n.v.

W. MONDT

E.R.M. n.v.

P. WENS

Alg. Ond. Jan De Nul n.v.

Voorwoord

Als verantwoordelijke voor de dienst Sanering van de OVAM werd mij gevraagd het voorwoord te schrijven voor deze editie van „Infrastructuur in het Leefmilieu”, die volledig gewijd is aan de sanering welke in het kader van de renovatiewerken van de Antwerpse haven werd uitgevoerd. Op deze manier wil ik de constructieve samenwerking die nodig was om deze werken tot een goed einde te brengen onderstrepen evenals de positieve ervaringen van de OVAM in dit dossier.

In opdracht van de Antwerpse Zeehavendienst (Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur) en van de Technische Dienst van het Havenbedrijf (Stad Antwerpen) wordt thans het oude havengedeelte van de Antwerpse haven gerenoveerd. In het kader van deze renovatiewerken werd er een bodem- en grondwaterverontreiniging aangetroffen ter hoogte van kaai 57. Het gaat hier om een historische verontreiniging waarvan de oorzaak dient gezocht te worden in de aanwezigheid van de petrochemische industrie, die hier gevestigd was van 1887 tot circa 1903, en in de

opvullingswerken van de grachten rond het Noordkasteel.

Naar aanleiding van de vastgestelde verontreiniging werd een uitgebreid saneringsonderzoek uitgevoerd door de studiebureaus Betech en ERM in een samenwerkingsverband. Op basis van de onderzoeksresultaten werd een saneringsscenario uitgewerkt en voorgelegd aan de OVAM. Op deze manier werd de OVAM bij dit dossier betrokken. Het saneringsvoorstel waarin tevens een protocol was opgenomen met de te volgen procedures voor de bestemming van de uit te graven verontreinigde gronden werd door onze diensten grondig geëvalueerd.

Uit de basisstudie bleek dat het ondiepe grondwater het meest verontreinigd was. Daarnaast werd er op geïsoleerde lokaties verontreinigd bodemmateriaal aangetroffen.

Bijgevolg werd voorgesteld om een groot aantal ondiepe bemalingsfilters te installeren ter hoogte van kaai 57 en ter hoogte van het geplande wachtdok voor lichters. Het opgepompte ondiepe grondwater

wordt dan vervolgens behandeld in een aangepaste mobiele fysisch-chemische waterzuiveringsinstallatie. Naarmate de bemalingstijd toeneemt, wordt dan ook water uit het Amerikadok opgepompt zodat de gronden als het ware doorgespoeld en uitgewassen worden.

Na de bemalingsperiode worden er dan opnieuw bodemonsters genomen. De gronden waarvoor er dan nog pollutieconcentraties boven de C-waarde worden gemeten dienen selectief uitgegraven te worden en afgevoerd. De andere gronden kunnen gebruikt worden voor de opvulling van het Eerste Havendok en het Schuuldok voor Lichters.

Na gezamenlijk overleg keurde de dienst Sanering van de OVAM dit voorstel principieel goed mits een bestendige controle en milieu-technische begeleiding door milieudeskundigen. Er werden evenwel bijkomende voorwaarden opgelegd voor de opvulling van het Eerste Havendok en het Schuuldok voor Lichters. Daar er geen gegevens bekend waren over de onderafdichting van deze dokken werd de dikte en de doorlatendheid van de sliblaag die op de bodem aanwezig was nog bijkomend onderzocht. Daar het Schuuldok in tegenstelling tot het Eerste Havendok niet volledig zijdelings afgedicht is kon hier alleen materiaal geborgen worden waarvan geen enkele parameter de B-waarde van VROM bereikt en dienden er peilputten geplaatst te worden voor een permanente grondwatercontrole.

Een initiatief zoals dat van de Antwerpse Zeehavendienst, waarbij er in het kader van infrastructurele realisaties vrijwillig wordt overgegaan tot sanering kan door de OVAM alleen maar aangemoedigd en als voorbeeld gesteld worden. De dienst Sanering van de OVAM steunde dan ook dit initiatief waarbij de werkzaamheden op de voet gevolgd werden. In de WE(rkgroep)SAN(eren)-vergaderingen, een initiatief van de Antwerpse Zeehavendienst en de T.V.

AMAL, verantwoordelijk voor de uitvoering van de werken, was er dus ook een participatie van de OVAM.

Zowel de opdrachtgevers, de uitvoerders en de milieu-technische begeleiding waren vertegenwoordigd in deze vergaderingen die op zeer regelmatige basis plaatsvonden.

Voor de uitvoering van de saneringswerken werd gekozen voor een pragmatische en technisch-wetenschappelijk verantwoorde aanpak. Immers, in het kader van de renovatiewerken diende er geopteerd te worden voor een saneringsoperatie die tevens economisch haalbaar is. Zo werd er vanzelfsprekend ook rekening gehouden met de situering van de terreinen in de Antwerpse haven. In die kontekst werden er basisreferentiewaarden vooropgesteld die beantwoorden aan de geest van Vlarem II. Op deze wijze werd er aan de hand van het protocol over gewaakt dat de gronden milieu-technisch verantwoord geborgen werden.

Naast de technisch-wetenschappelijke aspecten vormde ook de administratieve begeleiding en de coördinatie een belangrijk onderdeel van de saneringswerken. Bij de volledige saneringsoperatie, die vanaf de aanvang van de basisstudie tot en met de voltooiing van de saneringswerken toch een periode van ongeveer 2 jaar in beslag nam, waren er een groot aantal partijen betrokken zodat de coördinatie en de opvolging nauwgezet dienden te gebeuren. Ook op dit vlak werd de kracht van deze saneringsoperatie aangetoond en kan ik namens de OVAM spreken van een positieve ervaring en een voorbeeld voor de toekomst.

Met deze positieve noot wil ik dan ook dit voorwoord beëindigen en U allen deze editie van „Infrastructuur in het Leefmilieu” warm aanbevelen.

Lic. Ir. Jur. W. De Nijs,
Inspecteur-Generaal OVAM

INHOUD

1.	HAVEN VAN ANTWERPEN: RENOVATIEPROJECT — SANERINGSPROJECT; PROJECTOMSCHRIJVING	203
2.	ALGEMENE VOORSTELLING VAN HET SANERINGSONDERZOEK	208
2.1.	<i>Inleiding</i>	208
2.2.	<i>Historiek</i>	211
2.3.	<i>Locale geologische en hydrogeologische situatie</i>	222
2.3.1.	Topografie	222
2.3.2.	Geologie	222
2.3.3.	Hydrogeologie	222
2.4.	<i>Terreinstudie</i>	222
2.4.1.	Boorprogramma	222
2.4.2.	Staalnamecampagne voor grondwater en bodem	225
2.5.	<i>Onderzoekresultaten</i>	225
2.5.1.	Geologie en hydrogeologie	225
2.5.1.1.	Stratigrafie	225
2.5.1.2.	Grondwaterstroming	228
2.5.1.3.	Interpretatie van de piëzometertesten	228
2.5.2.	Analyseresultaten	228
2.5.2.1.	Keuze van het referentiekader	228
2.5.2.2.	Bespreking van de parameters in de ondiepe waterlagen	234
2.5.2.3.	Bespreking van de parameters in de diepe waterlagen	234
2.5.2.4.	Bespreking van de parameters in de bodem	234
2.5.3.	Besluit	234
3.	SANERINGSVOORSTEL	237
3.1.	<i>Inleiding</i>	237
3.2.	<i>Uit te voeren saneringsscenario</i>	239
4.	SANERINGSWERKEN	242
4.1.	<i>Administratieve begeleiding</i>	242
4.1.1.	Vergunningstoestand	242
4.1.2.	WESAN-vergadering	246
4.2.	<i>Milieu-technische begeleiding</i>	246
4.2.1.	Fase I: Kaai 57	246
4.2.1.1.	Bemonsteringsstrategie	246
4.2.1.2.	Fysisch-chemische karakterisatie	254
4.2.1.2.1.	Keuze van het referentiekader	254
4.2.1.2.2.	Interpretatie van de analyseresultaten	254
4.2.2.	Fase II: Wachtdok voor lichters	257
4.2.3.	Waterzuiveringsinstallatie	262
4.2.3.1.	Algemeen	262
4.2.3.2.	Beschrijving	263

5.	RESULTATEN VAN DE UITGEVOERDE SANERINGSOPERATIES	266
5.1.	<i>Fase I</i>	266
5.2.	<i>Fase II</i>	266
5.3.	<i>Effect van de waterzuiveringsinstallatie</i>	266
5.3.1.	Effect op het bemalingswater	268
5.3.1.1.	Verloop van de polluenten	268
5.3.1.1.1.	Zwevende stoffen	268
5.3.1.1.2.	Zware metalen	268
5.3.1.1.3.	PAK	268
5.3.1.1.4.	COD	268
5.3.1.2.	Effect van de verschillende componenten	269
5.3.2.	Effect op de grondwaterkwaliteit	269
5.3.2.1.	Conductiviteit	269
5.3.2.2.	Zware metalen	269
5.3.2.3.	Aromatische KWS	269
5.3.2.4.	Poly-aromatische KWS	269
6.	REALISATIE SELECTIEVE AFGRAVING IN FUNCTIE VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN	269
7.	ALGEMENE SAMENVATTING	277

1. HAVEN VAN ANTWERPEN: RENOVATIEPROJECT — SANERINGS- PROJECT; PROJECTOMSCHRIJVING

Het dokkencomplex van de Antwerpse haven op de rechter Scheldeoever (fig. 1.1) heeft zich vanaf het begin van de 19de eeuw tot heden stelselmatig uitgebreid en ontwikkeld naar het noorden vanaf de rand van de Stad tot de Belgisch-Nederlandse grens.

Bij de uitbouw van de haven zijn er in grote lijnen 4 belangrijke fasen te onderscheiden.

1. 19de eeuw

- Aanleg van de dokken ten zuiden van de as Royerssluis — Albertkanaal: Bonapartedok, Willemdok, Kattendijkdok, e.a.
- Deze dokken stonden via de Bonapartesluis (inmiddels gedempt) en de Kattendijksluis (1866) in verbinding met de Schelde.
- Een gedeelte van het huidige Amerikadok en het Lefèbvredok (thans één geheel vormend met het Amerikadok) werd eveneens eind vorige eeuw aangelegd.

2. 1900 — 1914

- Aanleg van het zuidelijke gedeelte van het Albertdok, Eerste Havendok en Graandok (Schuuldok voor Lichters).
- Via de Royerssluis (1907) werd een bijkomende verbinding met de Schelde gecreëerd.

3. 1918 — 1940

- Verdere uitbouw van het Albertdok, Tweede en Derde Havendok, Leopolddok, Hansadok, Vierde Havendok.
- De Kruisschansluis, thans Van Cauwelaertsluis, werd in 1928 voor de scheepvaart opengesteld.

4. 1945 — ...

- In de periode na de Tweede Wereldoorlog kende de Antwerpse haven een explosieve groei. De Boudewijnsluis werd in 1955 voor de scheepvaart opengesteld.
- Het prestigieuze tienjarenplan, gestart in 1955, resulteerde in de grootschalige uitbouw van de haven in noordelijke richting met de bouw van het Kanaaldok B1-B2-B3 uitmonnend in de bouw van de Zandvlietsluis (1968).
- Tevens werden in deze periode het Marshall-dok, Vijfde en Zesde Havendok, Churchill-

dok, Delwaidedok, de Berendrechtsluis en de Schelde-Rijnverbinding aangelegd.

Elke fase van de uitbouw van de haven ging gepaard met een belangrijke schaalvergroting inzake waterdiepte, omvang kaaimuren, terminals, haventerreinen, e.a.

Ingevolge de geschetste ontwikkeling werd ook het zwaartepunt van de havenactiviteit steeds meer in noordelijke richting verplaatst. In het zuidelijke havengebied en in de middensector van de haven stagneerde of daalde de productiviteit. Deze wordt o.m. gemeten aan de beweging van zeevaartgebonden goederenmassa per vierkante meter per jaar.

Om de steeds stijgende goederenstroom op te vangen is, naast de uitbouw van de haven op de linkeroever, het verhogen van de oppervlakteproductiviteit op de rechteroever noodzakelijk, temeer daar de begrenzing van de haven door de gewestplannen werd vastgelegd. De dokken welke in de 19de eeuw gebouwd werden, kunnen — met uitzondering van het Amerikadok — omwille van hun beperkte afmetingen en beschikbare kaai-oppervlakte moeilijk aangepast worden aan de vereisten van de moderne scheepvaart. Deze dokken zijn dan ook tot een vrij marginale rol in het huidige havengebeuren teruggevallen: binnenscheepvaart, kleine kustvaart, toelevering voor havenactiviteit (herstelling, scheepsuitrusting, scheepsbevoorrading, e.a.).

Teneinde te voorkomen dat de middensector van de haven — de zone omheen het Amerikadok, Albertdok en Derde Havendok — naar eenzelfde beperkte activiteit zou afglijden en dat een aantal goederenhandelaars deze zone zouden verlaten, werd een grootscheeps renovatieproject opgestart. Hoofddoel ervan was dit gedeelte van de haven via de zuidelijke route (Vijfde Havendok — Amerikadok — Albertdok) toegankelijk te maken voor middelgrote bulkschepen, type Panamax, met een diepgang van 40' à 42'.

De renovatie heeft twee hoofdaspecten:

- enerzijds dient de vaarweg te worden verruimd en wordt de waterdiepte op ca. 15 m gebracht om de huidige maatgevende zeeschepen te kunnen ontvangen. Dit betekent een verdieping met ongeveer 5 m.
- anderzijds worden de kaaimuren aangepast aan de toegenomen waterdiepte en wordt de oppervlakte van de haventerminals vergroot. Zo worden o.m. in verval geraakte dokken zoals het Eerste Havendok en het oude Schuuldok voor Lichters gedempt en ingericht voor de bouw van nieuwe terminals.

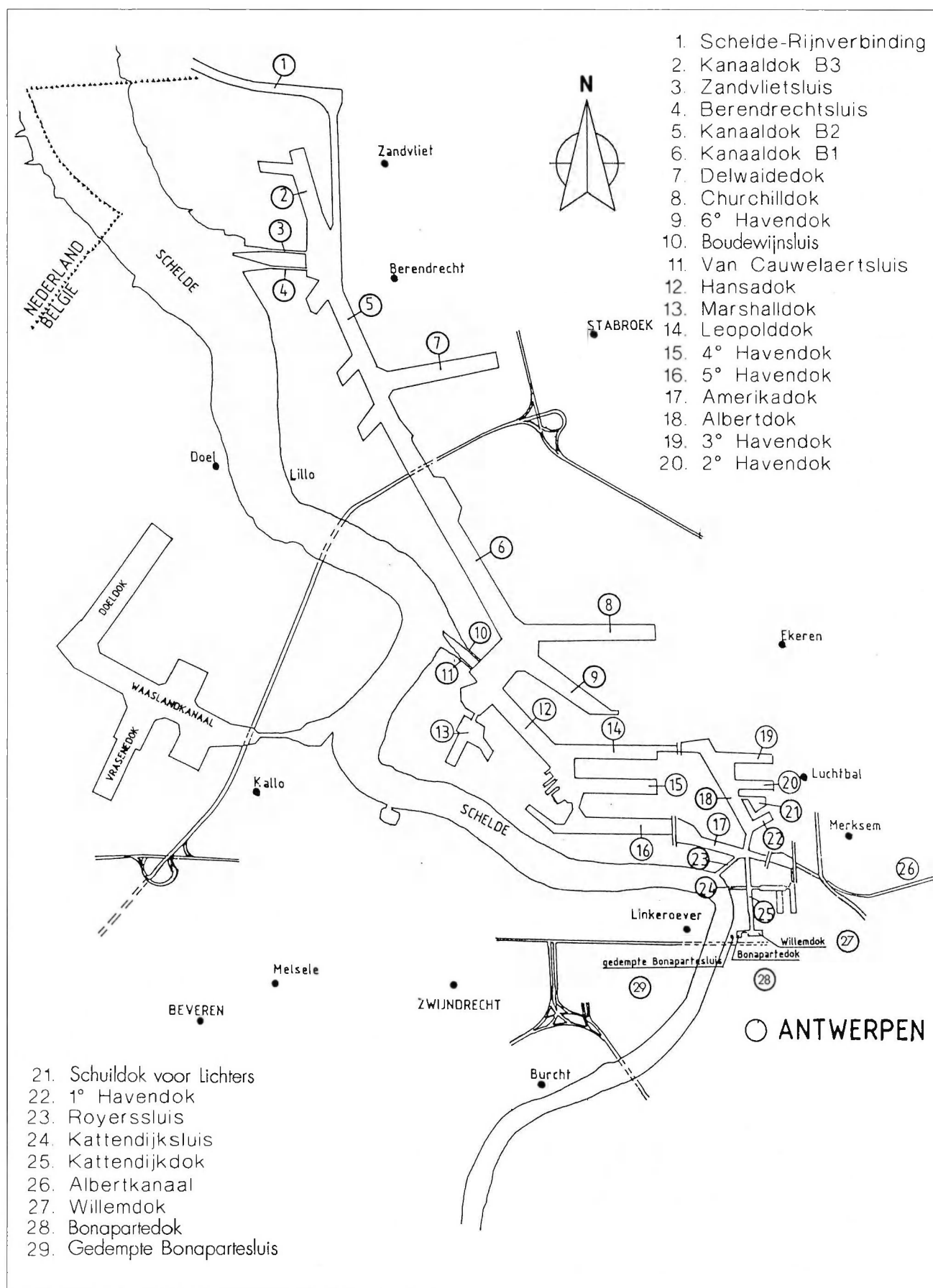


Fig. 1.1. — Haven van Antwerpen.

De verschillende deelprojecten (fig. 1.2) zijn in hoofdzaak de volgende:

- Verdiepingsbaggerwerken in het Vijfde Havendok, Amerikadok, Albertdok en Derde Havendok.
- Verbreding en verdieping van de doorvaartgeul tussen het Amerika- en het Albertdok, met de bouw van nieuwe kaaimuren, na de voorafgaandelijke bouw van de leidingentunnel.
- Dempen van het Eerste Havendok en het Oude Schuildok voor Lichters.
- De renovatie van de kaaien van het Derde Havendok en het Albertdok.
- De bouw van een nieuw Wachtdok voor Lichters, aangepast aan de moderne binnenscheepvaart en duwkonvooien, nabij de Noordkasteelbruggen.

De uit de verdieping van de dokken voortkomende specie (ca. 3.000.000 m³) wordt als volgt aangewend:

- Dempen Eerste Havendok — 800.000 m³ — en oude Schuildok voor Lichters — 500.000 m³
- Dijkversterkingen afwaarts Antwerpen op de rechter scheldeoever, in het kader van het Sigmaplan
- Infrastructuurwerken (o.m. Havenweg) en industrieterreinen (project Renaval ten noorden van de Tijsmanstunnel)

Huidige editie behandelt niet de renovatiewerken als dusdanig (zie hiervoor nummer 1/93 van het tijdschrift *Infrastructuur in het Leefmilieu*) maar wel de in het kader van deze werken uitgevoerde sanering van de in en nabij het nieuwe wachtdok te ontgraven gronden. Zoals verder wordt vermeld, kon deze specie uitsluitend in het Eerste Havendok en deels in het Oude Schuildok geborgen worden. Dit gegeven had ernstige implicaties voor de uitvoering der werken en voor de oorspronkelijk vooropgezette grondstromen. De situering van deze sites wordt weergegeven in figuur 1.3.

De renovatiewerken werden uitgevoerd in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap en de Stad Antwerpen. De leiding ervan is toevertrouwd aan de Antwerpse Zeehaven-dienst en de Technische Dienst van het Havenbedrijf.

Daarnaast werd aan het saneringsproject door volgende instanties en firma's meegewerkt:

- aannemer: T.V. AMAL (Van Laere — De Nul — Besix)

- waterzuiveringsinstallatie: Ondernemingen J. De Nul
- filterinstallatie en dieptebronnen: Smet-Boring
- onderzoek, controle en begeleiding: Betech-E.R.M.
- laboratoria: VITO-P.I.H.
- OVAM: Bestuur Realisatie en Sanering

Gedurende de constructie van de nieuwe kaaimuur ter hoogte van kaai 57 werd visueel verontreiniging vastgesteld. Deze vaststelling was de aanleiding om over te gaan tot een nader bodem- en grondwateronderzoek ter hoogte van deze gronden en ter hoogte van het toekomstige wachtdok voor lichters. Dit onderzoek werd uitgevoerd door de milieuadviesbureaus Betech en ERM in samenwerkingsverband.

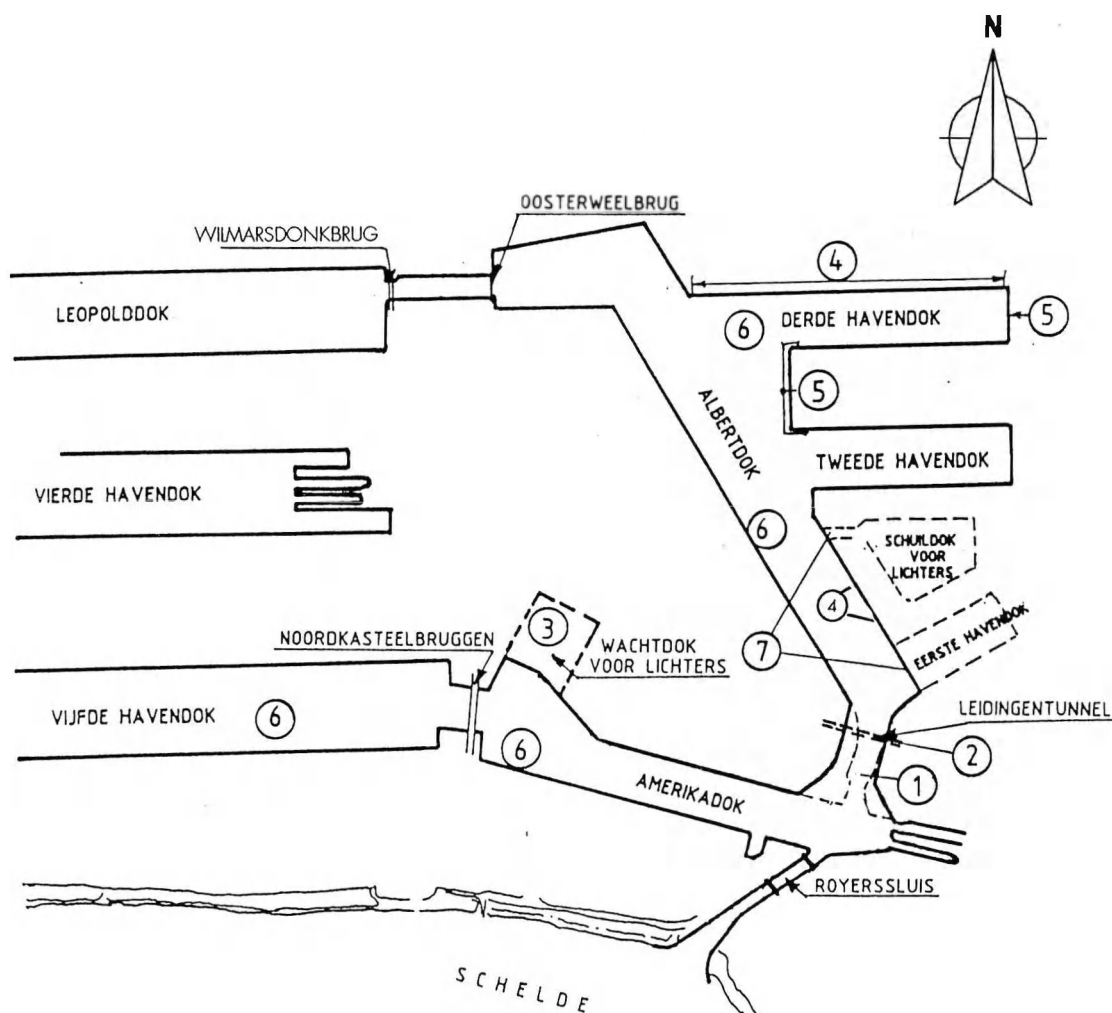
Tijdens het onderzoek werd er ook ruime aandacht besteed aan de historiek van deze sites. In die context dient immers de oorzaak van de verontreiniging gezocht te worden.

Rond de eeuwwisseling werd het in 1887 ingehuldigde Amerikadok voorbehouden voor de opslag van petroleum en olieprodukten. Het ging om een voor die tijd zeer moderne petroleumopslag. Op dit ogenblik wordt daar vanzelfsprekend anders over gedacht. Terecht zo blijkt uit de problemen die aan het licht kwamen bij de uitvoering van deze renovatiewerken.

Aan de hand van de onderzoeksresultaten werd er door de studiegroep Betech-ERM een saneringsscenario uitgewerkt.

Op basis van bestaande regionale, nationale en internationale richtlijnen en toetsingswaarden werd er in dit saneringsscenario een protocol uitgewerkt voor de behandeling en/of bestemming van de uit te graven gronden. Het saneringsscenario, met inbegrip van het protocol, werd goedgekeurd door de dienst Sanering, Bestuur Realisatie en Sanering, van de OVAM.

In deze context mag zeker vermeld worden dat het hier gaat om een eerste constructieve samenwerking tussen het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur en de OVAM voor wat de uitvoering van dit soort werken betreft. Het gaat hierbij dan ook om een bundeling van ervaringen die veel verder reikt dan het technisch-wetenschappelijke en die dus zeker navolging verdient.



- ① Verbreiding en Verdieping Doorvaartgeul - Amerika - Albertdok
- ② Leidigentunnel
- ③ Wachtdok voor Lichters
- ④ Renovatie Noordkaaien 3^o Havendok en Albertdok
- ⑤ Verdiepen bestaande kaaimuren
- ⑥ Verdiepbagscheren + diverse
- ⑦ Afsluiting en demping bestaande dokken

Fig. 1.2. — Haven van Antwerpen. Overzicht renovatieproject.

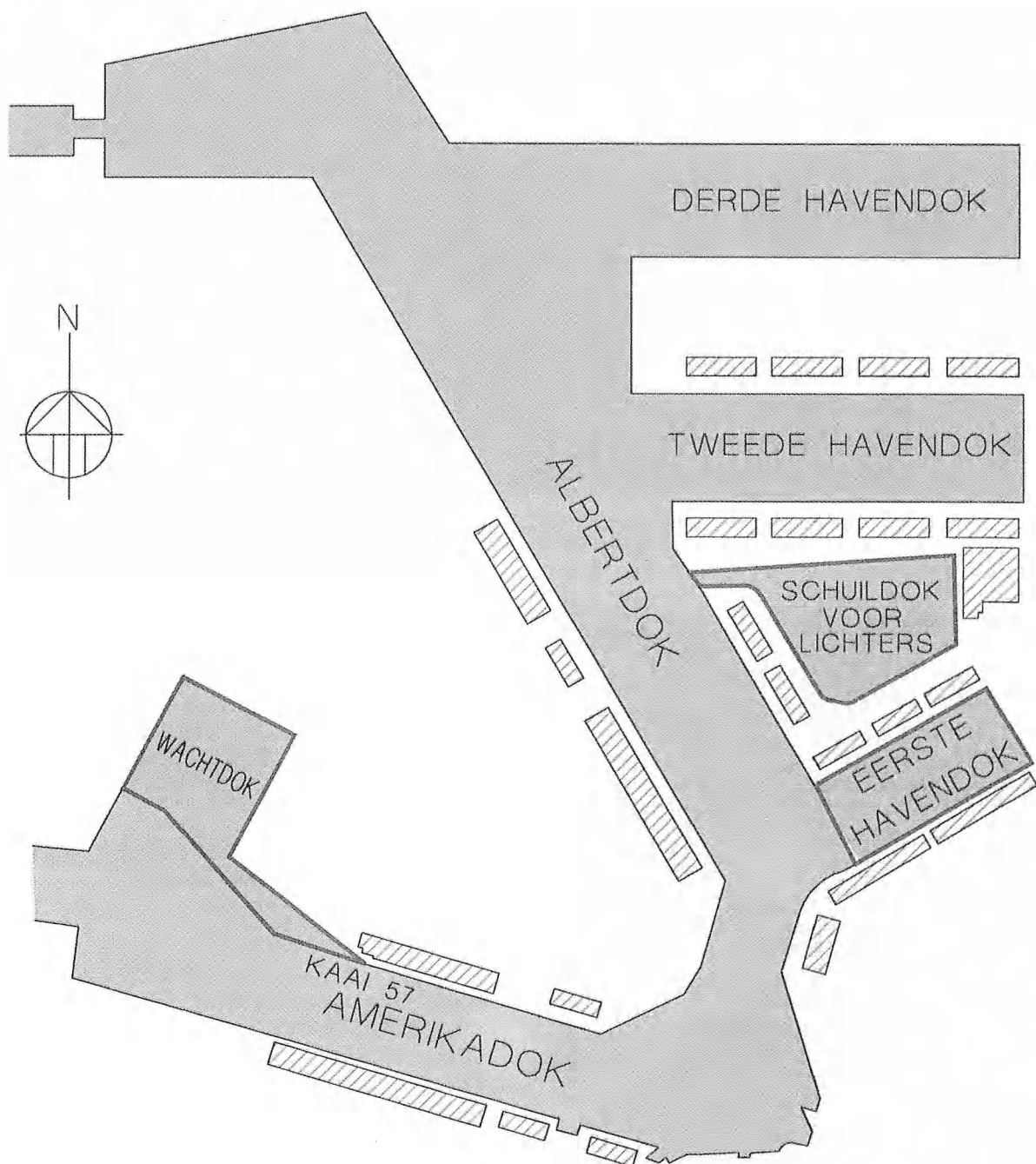


Fig. 1.3. — Situering.



Foto 1. — Op de voorgrond de Noordkasteelbruggen met het toekomstige Wachtdok voor Lichters en de gronden van Kaai 57 die reeds gedeeltelijk werden afgevoerd. Op de achtergrond het Eerste Havendok en het Oude Schuildok voor Lichters.



Foto 2. — De gronden ter hoogte van Kaai 57 en ter hoogte van het geplande wachtdok vóór de aanvang der werken.

Vandaar dan ook de ruime aandacht (en terecht!) die in deze editie besteed wordt aan de onderzoeksresultaten op basis waarvan een saneringsscenario werd uitgewerkt, aan de uitvoering en opvolging van de saneringswerken en aan de evaluatie van de saneringsresultaten.

2. ALGEMENE VOORSTELLING VAN HET SANERINGSONDERZOEK

2.1. Inleiding

Bij de bouw van een verankerde damwand ter hoogte van kaai 57 werd er visueel verontreiniging vastgesteld. Bijgevolg werd beslist, in opdracht van de Technische Dienst van het Havenbedrijf, om water- en bodemstalen, afkomstig van de bouwput, naar het Provinciaal Instituut voor Hygiëne (PIH) te brengen voor analyse (eind januari-begin februari 1992). Daarnaast werden er door het PIH zelf ook nog twee waterstalen genomen: één monster werd d.m.v. een pomp genomen uit de bouwput en één schepmonster werd genomen van de bemaling van de bouwput (nadat er ongeveer 250 m³ was opgepompt).

Uit de analyseresultaten bleek dat de site verontreinigd was met minerale oliën en cyanidehoudende stoffen. Er werden bijkomende stalen genomen die deze eerste resultaten bevestigden (aanwezigheid van cyaniden, minerale olie en poly-aromatische koolwaterstoffen). Uit de analyseresultaten van de waterstalen bleek dat het water organisch zwaar belast was met biologisch moeilijk afbreekbare stoffen (relatie BOD/COD). Daarbij waren de gehalten aan ammonium-N relatief hoog.

In de loop van de maanden maart en april 1992 werden er in opdracht van de Antwerpse Zeehaven-dienst bijkomende bodem- en grondwaterstaalnames uitgevoerd ter hoogte van het toekomstige wachtdok voor lichters. De peilputten werden geboord door het Bestuur Geotechniek van de Administratie

Ondersteunende Studies en Opdrachten (AOSO). Er werden eveneens sleuven getrokken zodat men over een grotere oppervlakte en tot een diepte van 2 à 3 meter een duidelijk beeld kreeg van de ondergrond.

De analyses werden uitgevoerd door de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO). Op basis van deze analyseresultaten werd de aanwezigheid van zowel een **bodem-** als een **grondwaterverontreiniging** aangetoond.

Het is dit geheel aan bevindingen en analyseresultaten dat aan de basis ligt van een uitgebreid nader bodem- en grondwateronderzoek. De historie van deze sites vormde de basis voor de verdere studie.



Foto 3. — Eén van de verkenningssleuven die gegraven werden om een duidelijk beeld van de ondergrond te bekomen. Sleuf 1.



Foto 4, 5. — Bij het graven van de sleuven kwam er allerlei materiaal vrij: bakstenen, autobanden, bouwpuin,...

2.2. Historiek

De gronden die gesaneerd dienden te worden in het kader van deze renovatiewerken zijn te situeren ten noorden van het huidige Amerikadok.

In de 15de eeuw maakte dit gebied deel uit van het bekken van de rivier Schijns waardoor hier nog steeds alluviale afzettingen worden aangetroffen (zie figuur 2.1).

Vóór de ontwikkeling van het dokkencomplex van de haven was dit gebied een landelijke zone. De poldergrond was uitermate geschikt voor landbouw en veeteelt.

Rond 1850 waren er reeds woonkernen ontstaan buiten de 16de eeuwse Spaanse Wallen die gesitueerd kunnen worden ter hoogte van de huidige leien. Deze woonkernen waren op dat ogenblik dus onbeschermd. In 1859 werd Antwerpen als Nationale Redoute gekozen wat het ontstaan gaf aan de Grote Omwalling.

In 1864 werd de Grote Omwalling rond Antwerpen (ca. 15 km) voltooid. Deze omwalling had militaire doeleinden. Als Nationale Redoute was Antwerpen een praktisch oninneembare vesting zodat de stad bij oorlogstijd een toevluchtsoord was voor leger en regering. Als sluitstuk en zwaartepunt ervan ontstond het **Noordkasteel met de twee grachten, de Voorgracht en de Hoofdgracht** en met een totale oppervlakte van ongeveer 170 ha. (fig. 2.2)

Tijdens de bouw van de Grote Omwalling, bekostigd door de Staat, laat de Stad Antwerpen de eerste dokken buiten de oude stadsomwalling aanleggen zodat Antwerpen vanaf dan twee onafhankelijke havenbekkens met elk een zeesluis heeft.

Er wordt geijverd voor verdere havenuitbreiding maar vermits de plannen gedeelten van het Noordkasteel in beslag nemen duurt het nog tot het einde van de 19de eeuw vooraleer er groen licht gegeven wordt voor de bouw van het Amerikadok en het Afrikadok. De Royerssluis wordt pas in het begin van de 20ste eeuw gebouwd (1904-1907).

Het Amerikadok werd aangelegd binnen de grenzen van het toenmalige Noordkasteel (fig. 2.3). De

thans aangetroffen verontreinigde gronden bevonden zich ter hoogte van de noordelijke uitloper hiervan. De oorspronkelijke grachten van het kasteel werden later opgevuld.

In 1887 werden het Amerikadok en het Afrikadok in gebruik genomen. Rond het Amerikadok vestigden zich typische havenfirma's zoals transport- en overslagbedrijven. Hier werden ook de eerste raffinaderijen gebouwd en vestigde zich de **petrochemische industrie** (1870-1ste W.O.). Het is dan ook in deze context dat de vastgestelde verontreiniging dient geplaatst te worden.

In 1904 werd ter hoogte van kaai 57 het derde stedelijk pershuis opgericht, voor de aandrijving van bruggen en hydraulische kranen door middel van koud dokwater. Na 1926 werd het pershuis gesloopt en vervangen door een elektrische transformatorpost.

Na W.O. I lag er tussen het Amerikadok en het Albertdok een Britse legerbasis, belast met het recupereren van oorlogsmateriaal.

De legerbarakken werden in 1921 overgenomen door de stad en ingericht als noodwoningen (tot 1928). Volgens de toen heersende normen was het gebied ver van het centrum gelegen (3 km) en kreeg het de naam „Siberia”.

In 1934 werd de Noordkasteelsite, ondertussen volledig eigendom van de Stad Antwerpen, ingericht als ontspanningsoord, met zwem- en roeigelegenheid in de hoofdgracht. In 1970 werd het terrein gesloten voor het publiek. Er diende immers een deel van het terrein opgeofferd te worden aan de verbinding tussen het Amerikadok en het 5de Havendok.

Hierna startten de **renovatiewerken** van de bestaande haveninfrastructuur in het kader waarvan de sanering die in deze editie aan bod komt werd uitgevoerd.

In tabel 2.1 wordt de evolutie van de Antwerpse haven en meer in het bijzonder de evolutie van het Amerikadok en van de bestudeerde sites in een historische context geplaatst.



Fig. 2.1. — Loop van de rivier Schijns met ondergrondse afleiding in de 15de eeuw.

LEGENDE

- Noordkasteel
- havendokken
- - - - - ondergrondse Schijnsafleiding
- spoor

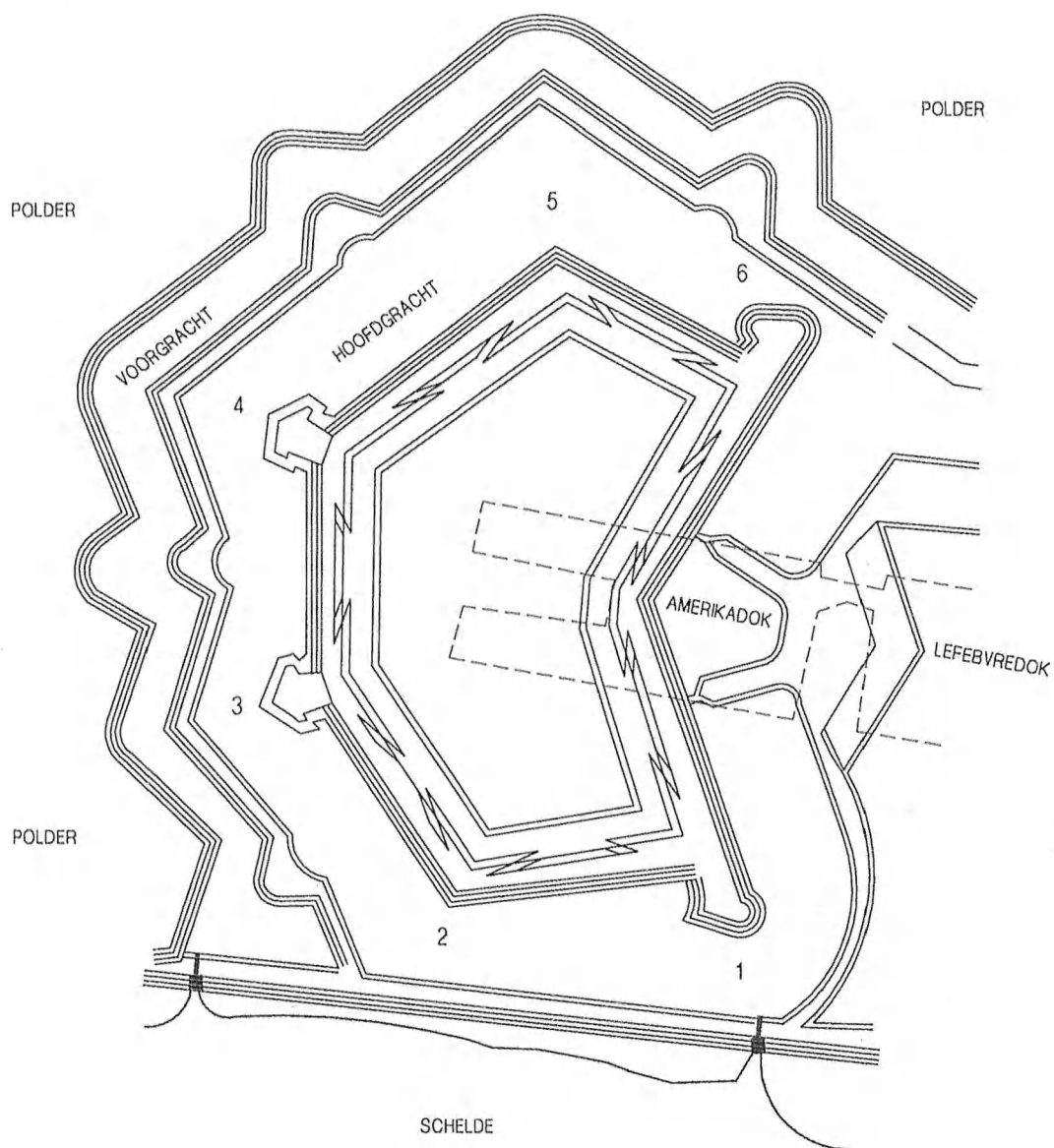
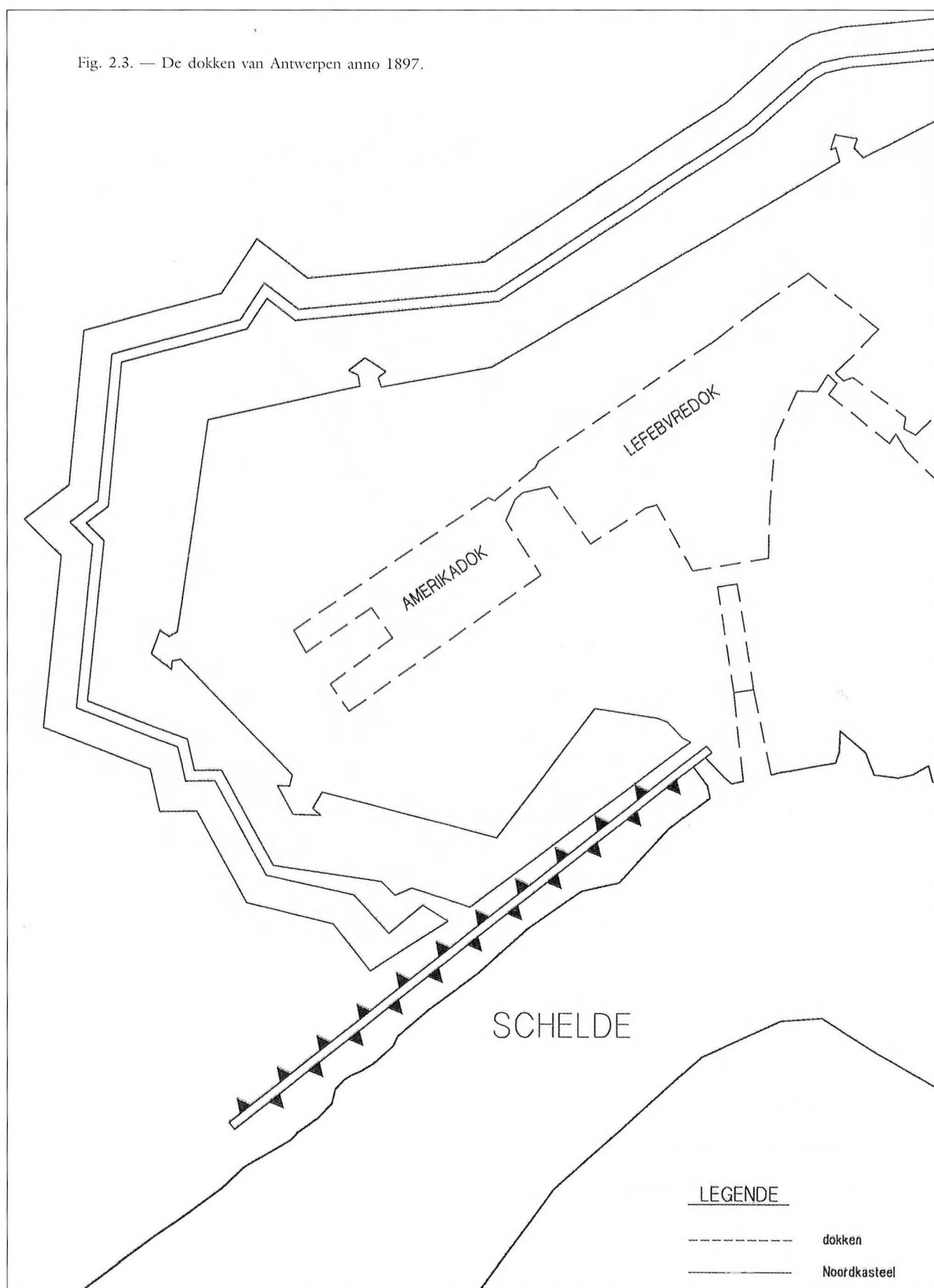


Fig. 2.2. — Het Noordkasteel met de situering van het Amerikadok.

LEGENDE

- Noordkasteel
- situering Amerikadok

Fig. 2.3. — De dokken van Antwerpen anno 1897.



TABEL 2.1 — Historische evolutie van het studiegebied

Jaar/periode	Historische gebeurtenissen (A)	Evolutie van de Antwerpse haven (Oude Haven + Renovatiezone) (B)	Evolutie van het Amerikadok en Noordkasteel site (C)
1811	Lange besprekingen in het Parlement leidden tot de keuze van Antwerpen als Nationale Redoute, waarmee een praktisch oninneembare vesting bedoeld wordt, een veilig toevluchts-oord voor regering en leger bij oorlog, met een concentratie van verdedigingsmiddelen en depots.	Voltooiing van het Bonapartedok.	
1812		Voltooiing van het Willemdok	
1859			
1860-1864	Opheffing van de door Nederland opgelegde Scheldetol voor goederen naar en uit Antwerpen met als gevolg een sterke toename van de havenactiviteiten.	1) Aanleg van de eerste dokken buiten de stadsomwalling, nl. het Kattendijkdok en het Houtdok. 2) Antwerpen was de eerste Europese haven waar petroleum werd ingevoerd (1861).	Het Noordkasteel met twee grachten besloeg ca. 170 ha en had de vorm van een zevenhoek, ingedeukt aan de stadszijde (oostkant) en met de daar gesitueerde twee enige toegangen met bruggen over de 80 m brede hoofdgracht. Daarrond liep een vooruitgeschoven verdedigingslijn, de „bedekte weg”, beschermd door een aarden wal en voorgracht.
1863			
1864			
1869	Ontstaan van de Grote Omwalling, ca. 15 km lang, die loopt van het Zuidkasteel tot bij het Austruweel waar als sluitstuk en zwaartepunt het Noordkasteel ontstond.	Een verbinding tussen enerzijds het Kattendijkdok en het Houtdok en anderzijds het Bonapartedok en het Willemdok komt tot stand.	
1870-1905	Het Noordkasteel verliest zijn functie als citadel door de bouw van verder gelegen forten te Zwijndrecht, Kruike en het Verschanste Kamp Linkebeke.		
1870-1871	Beëindiging van de Frans-Duitse oorlog.	Een wonderjaar wat de produktiviteit betreft.	
1873		Verlenging van het Houtdok en opening van het Kempisch Dok en het Kanaaldok (later Asiadok genaamd).	
1879			Een ontwerp, waarbij de aanleg van het Amerikadok binnen de fronten 1 tot 6 van het Noordkasteel werd voorzien, wordt aanvaard. Daarnaast wordt een bijzonder groot Afrikadok (Lefèbvredok), met onregelmatige vorm en dat rechtstreeks toegang biedt tot het Kattendijkdok, voorzien.
1881		Noordwaartse verlenging met 310 m van het Kattendijkdok.	De binnengrond van het Noordkasteel (33 ha) wordt aan de stad Antwerpen verkocht. Na de afbraak van de fronten 1-7 en 7-6 kunnen hier de twee nieuwe dokken worden aangelegd.

TABEL 2.1 — (vervolg)

Jaar/periode	Historische gebeurtenissen (A)	Evolutie van de Antwerpse haven (Oude Haven + Renovatiezone) (B)	Evolutie van het Amerikadok en Noordkasteel site (C)
1883			De Gemeenteraad keurt de uitvoeringsplannen voor de aanleg van het Amerika- en Afrikadok goed, waarbij de bodem van deze dokken moest komen op het (toenmalige) peil van - 5,5 m zodanig dat, rekening houdend met het toenmalige theoretisch peil van het wateroppervlak in de dokken 9,10 m bedroeg. Het werk wordt aangevat op 1 augustus waarbij aangevangen werd met de omleiding van de Vossenschijn die het Afrikadok doorkruiste en ongeveer op de plaats van de Royerssluis in de Schelde uitmondde.
1886		Hierdoor wordt het wateroppervlak van de dokken met 48% vergroot tot 65 ha, terwijl de nuttige kaaimuur-lengte met 32% groeide tot ca. 14 km, Scheldekaaien inbegrepen.	Drie ijzeren hydraulische draaibruggen (twee tussen Kattendijkdok en Afrikadok en één tussen deze laatste en het Amerikadok) worden afgewerkt, getest en voor het verkeer opengesteld. Er wordt met het vullen van de nieuwe dokken begonnen.
1887			Inhuldiging van het Amerikadok en het Afrikadok (later Lefebvredok genoemd). Het Afrikadok was bestemd voor de algemene handel en het Amerikadok werd voorbehouden voor petroleum, olie e.d. met opslagtanks en stapelhuizen.
1891			Het Afrikadok wordt na de dood van Schepen J. Lefebvre omgedoopt tot Lefebvredok.
1904-1908		Bouw van de Royerssluis waarbij de konische uitloper van de ZW-zijde van het Lefebvredok grotendeels werd gedempt.	Een derde stedelijk waterpershuis wordt opgericht aan de NW-hoek van het Amerikadok, ter hoogte van kaai nr. 57. Het levert koud dokwater, onder druk gebracht van ca. 52 bar, waarmee langs ondergrondse leidingen de brug en een 30-tal hydraulische kranen worden aangedreven.
1905-1906		Beëindiging van het Eerste Havendok en het nieuwe Kanaaldok (later Albertdok genaamd).	
1914		Voltooiing van het Tweede en Derde Havendok.	
1918-1921			Op de spie tussen het Amerikadok en het Albertdok bevindt zich een Britse legerbasis, belast met het recupereren van oorlogsmateriaal.
1921			Bij de opheffing van de Britse legerbasis neemt de Stad de barakken over die ze inricht als noodwoningen.
1926			Het waterpershuis verhuist naar zuidelijker gelegen dokken. Enkele jaren nadien wordt het gebouw gesloopt en vervangen door een elektrische transformatorpost.
1928			De barakken worden ontruimd omdat de nieuwe woonwijk „Luchtbal” voltooid is.
1929			De stad Antwerpen komt in het bezit van het Noordkasteel.

TABEL 2.1 — (vervolg)

Jaar/periode	Historische gebeurtenissen (A)	Evolutie van de Antwerpse haven (Oude Haven + Renovatiezone) (B)	Evolutie van het Amerikadok en Noordkasteel site (C)
1934			Het domein wordt opengesteld als ontspanningsoord, met zwem- en roeigelegenheid in de hoofdgracht.
1970			Het Noordkasteel wordt voor het publiek gesloten met het oog op de verbinding van het Amerikadok met het Vijfde Havendok.
1981-...			De landtong tussen het Amerikadok en het Lefèbvredok is verdwenen. Enige jaren later was ook de in het verlengde ervan gelegen draaibrug (Amerikabrug) gesloopt. Aldus ontstond een brede waterweg, onder één naam: Amerikadok, wat gezien het kruispunt hier van zoveel vaarrichtingen geen overbodige luxe is: naar of van de Royerssluis, het Kattendijkdok, Albertkanaal, Albertdok, Amerikadok en 5de Havendok. In aansluiting startten diverse verdere verbeteringen zoals baggerwerken om een diepgang van het Amerikadok op 12,2 m te brengen. De Zuidkaai van het Amerikadok wordt gerenoveerd en aan de Noordkaai, nr. 58, wordt een kaaimuur gebouwd op de plaats waar voorheen slechts een houten damwand over een lengte van 57, 6 m was.

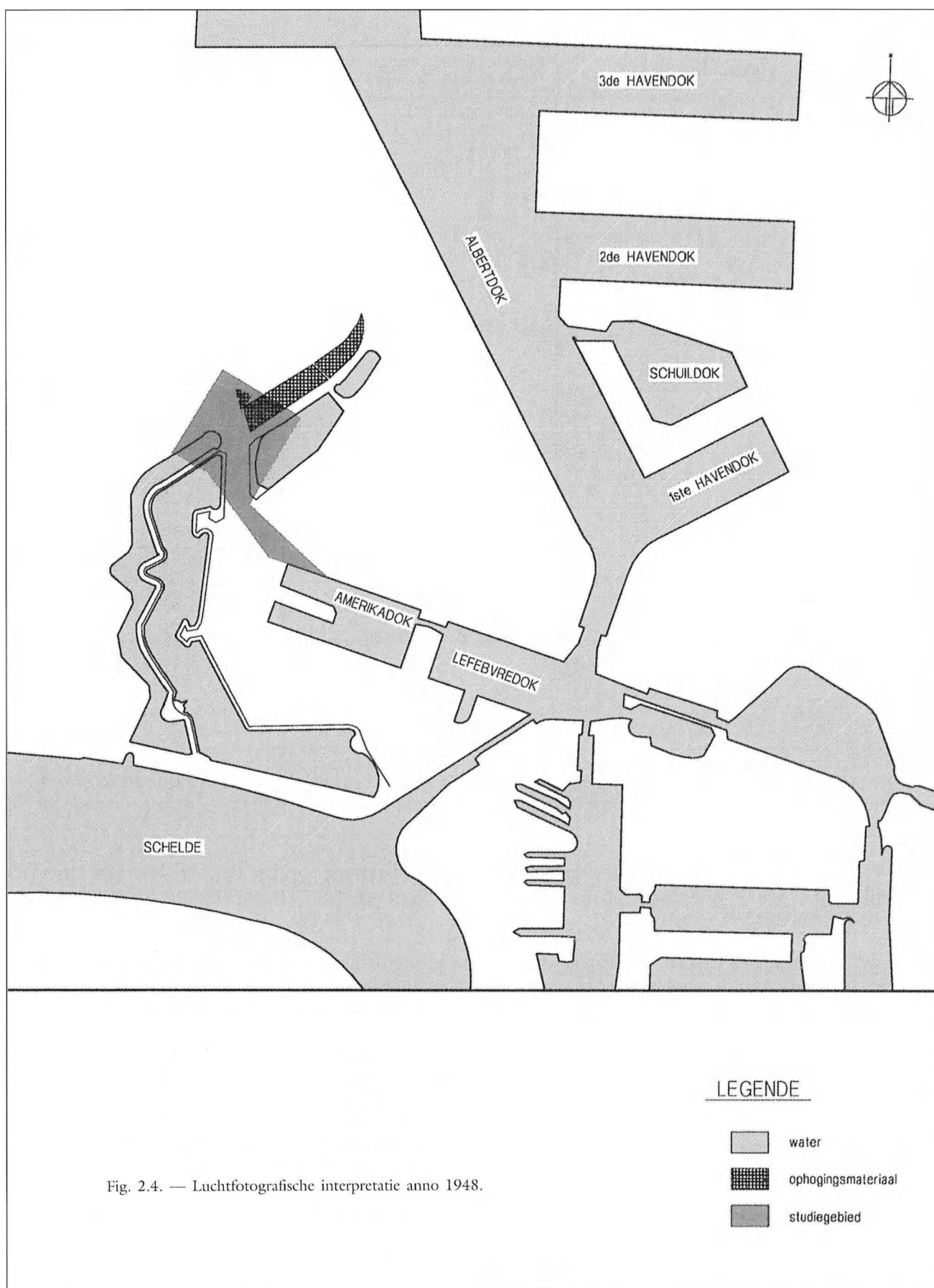
De evolutie van de uitbreiding van het Amerikadok alsook van het ophogen van het studiegebied wordt geïllustreerd aan de hand van de luchtfotografische interpretaties van het studiegebied, gedurende de periode 1948 — 1986.

1948 (fig. 2.4): Het Amerikadok is gescheiden door een landtong van het Lefèbvredok. Het uiterst noordelijk deel van de voorgracht van het Noordkasteel is reeds opgevuld. De hoofdgracht wordt gebruikt om te zwemmen en te roeien.

1967 (fig. 2.5): Het meest noordelijke deel van dit gebied is bijna volledig opgehoogd. Ten oosten ervan zijn reeds vele loodsgebouwen opgetrokken. Het noordelijke deel van de hoofdgracht is bijna volledig opgevuld en er werd gestart met de opvulling van het oostelijke deel van de Voorgracht.

1982 (fig. 2.6): Het voormalige Lefèbvre- en Amerikadok is één groot dok geworden en de verbinding met het Vijfde Havendok is tot stand gekomen. Hierdoor is de structuur van het Noordkasteel helemaal doorbroken. Op een klein gedeelte na is ter hoogte van het studiegebied heel de Hoofd- en Voorgracht opgehoogd. Het gedeelte van de grachten gelegen ten zuiden van het Amerikadok is ook al voor een stuk opgevuld. Het overblijvende deel van de Hoofdgracht, de Roeikom, wordt nog steeds gebruikt voor recreatie. De hoek tussen het Amerikadok en het Albertdok is volgebouwd met loodsen.

1986 (fig. 2.7): Het terrein is bijna volledig opgevuld. Slechts een klein waterplasje is nog getuige van de vroegere hoofdgracht.



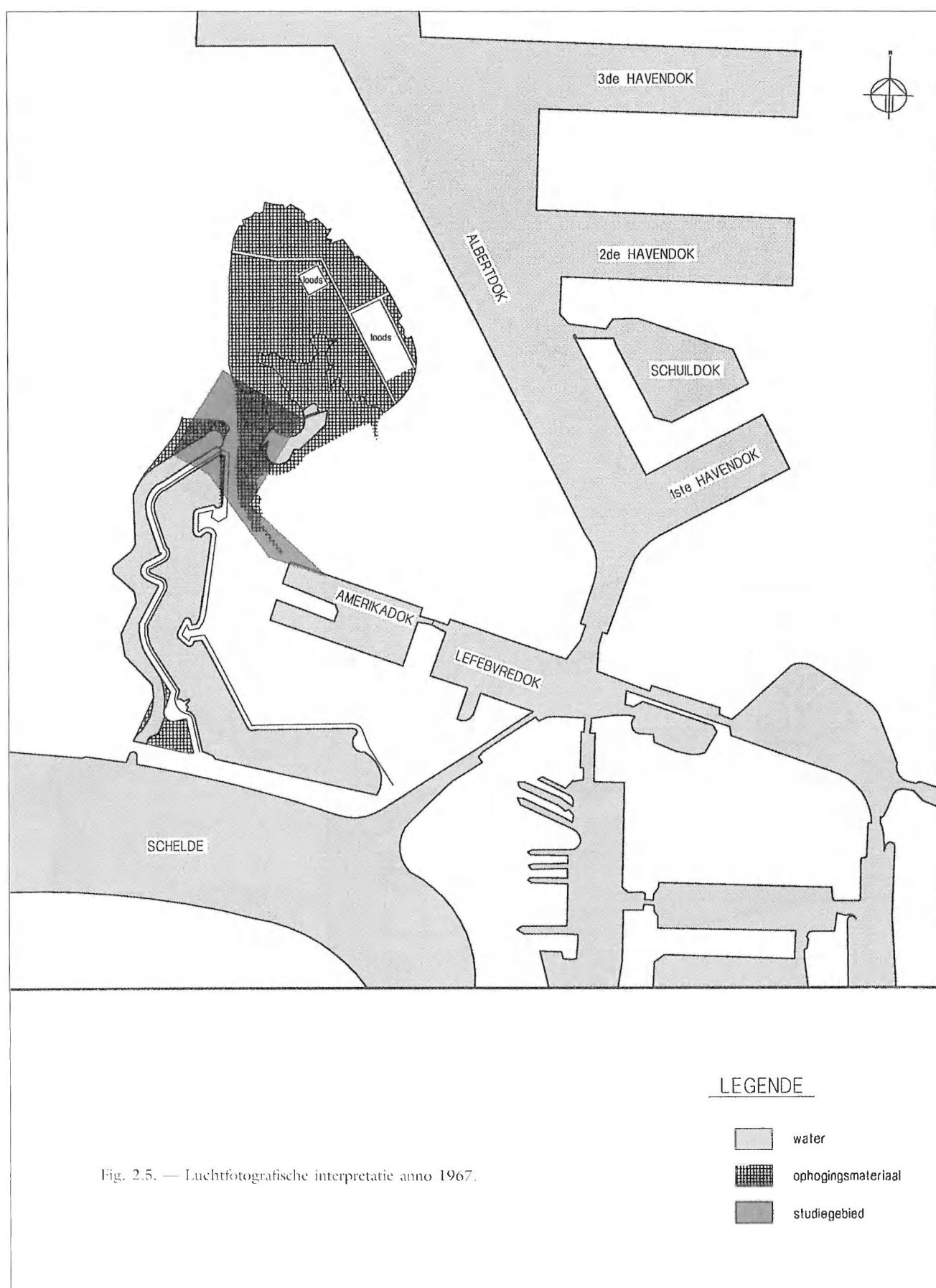


Fig. 2.5. — Luchtfotografische interpretatie anno 1967.

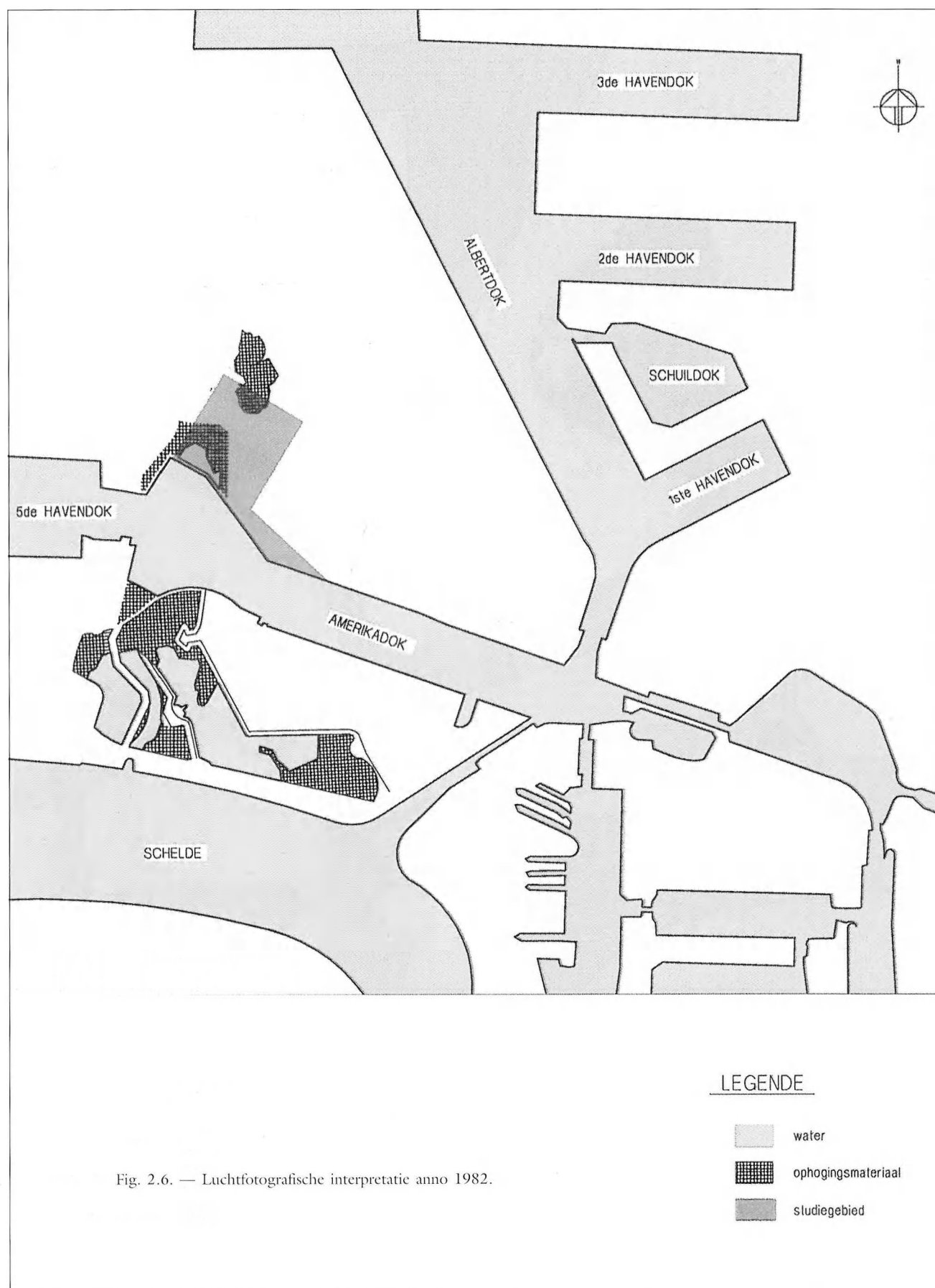


Fig. 2.6. — Luchtfotografische interpretatie anno 1982.

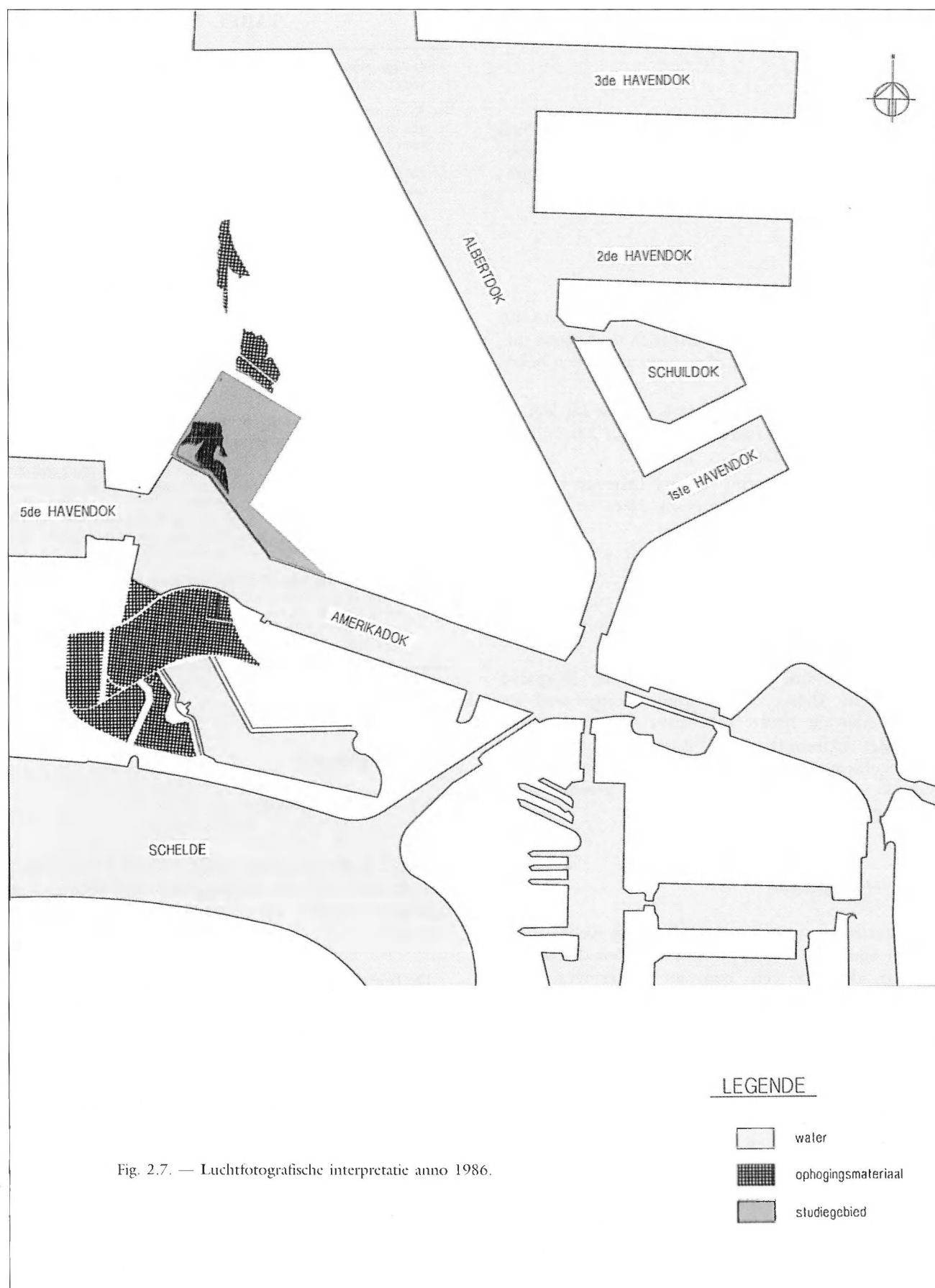


Fig. 2.7. — Luchtfotografische interpretatie anno 1986.

2.3. Locale geologische en hydrogeologische situatie

2.3.1. Topografie

De originele topografie van het poldergebied schommelt tussen +1 en +2 m TAW. Door ophogingen bevindt het maaiveld zich op een topografisch niveau van +6 tot +7 m TAW.

2.3.2. Geologie

Ter hoogte van de site werd er vóór de aanvang van de werken een grondmechanisch onderzoek uitgevoerd waaruit de volgende gegevens werden bekomen:

- de oorspronkelijke polderlaag bestaat uit klei en veen en heeft een dikte van ongeveer 2 m; niveau -1 tot +1 m TAW
- de Boomse Klei vormt hier een hydrogeologische barrière op een diepte van ca. 20 m en met een helling naar het noordoosten
- het ophogingsmateriaal bestaat in hoofdzaak uit gronden vermengd met steenpuin; op sommige plaatsen betreft het een slibachtig materiaal dat hetzij aangevoerd is, hetzij uit oude alluviale afzettingen bestaat

Archiefgegevens, afkomstig van de Belgische Geologische Dienst, van boringen uitgevoerd ter hoogte van de haven van Antwerpen en in het bijzonder ter hoogte van het Amerikadok, tonen aan dat de algemene geologische opbouw in dit gebied (van boven naar onder) kan geschetst worden zoals weergegeven wordt in tabel 2.2.

2.3.3. Hydrogeologie

De terreinen waar de verontreiniging werd aangetroffen zijn bijna volledig omgeven door dokken en kanalen die op een constant waterniveau van +4,25 m TAW gehouden worden. Het water van de dokken kan dus beschouwd worden als stilstaand water.

De Schelde vormt de zuidelijke grens van dit onderzoeksgebied en is onderhevig aan de getijden. De gemiddelde tijkromme te Antwerpen in de periode tussen 1981 en 1990 wordt weergegeven in figuur 2.8.

In de kwartaire zandafzettingen boven de kleiige polderlaag treft men een freatische waterlaag aan. Onder de polderlaag, in de tertiaire zanden, is de waterlaag artesisch.

TABEL 2.2

-
- *Ophogingsmateriaal* bestaande uit steenpuin, opgespoten slib, aangevoerde tertiaire zanden,...
 - *Kwartair* van variabele dikte; aanwezigheid van polderafzettingen die voornamelijk opgebouwd zijn uit compacte kleilagen en veen
 - *De tertiaire afzettingen* bestaan bovenaan uit zandige lagen die onderaan begrensd worden door de Boomse Klei.
De zandige afzettingen worden als volgt onderverdeeld: (van boven naar onder)
 - * **De Formatie van Lillo** bestaat uit glauconiethoudende grijsgroene zanden, zeer rijk aan schelpenresten. De Formatie van Lillo wordt onderverdeeld in 4 verschillende leden. Het onderscheid tussen de verschillende leden wordt voornamelijk aan de hand van typische fossielen gemaakt. De overgang tussen deze zanden gebeurt geleidelijk.
 - * **De Formatie van Kattendijk** bestaat uit grijsgroene fijne zanden, licht klei- en glauconiethoudend. Aan de basis van deze formatie komt een fijn grind voor.
 - * **De Formatie van Berchem** bestaat uit glauconiethoudende zanden, rijk aan fossielen. De Formatie van Berchem omvat bovenaan de Zanden van Antwerpen, ook wel de "Zwarte Zanden van Antwerpen" genoemd wegens het grote gehalte aan glauconiet (60 à 80%). Er komen verschillende schelpenbanken voor in deze zanden. Daaronder komen de Zanden van Edegem voor. Ze worden gekenmerkt door groene glauconiet- en kleihoudende zanden rijk aan mollusken en foraminiferen.
 - * **De Formatie van de Rupel** en meer bepaald de Klei van Boom begrenst deze zandige formaties onderaan. De compacte klei vormt een hydrogeologische barrière zodat het grondwater verhinderd wordt om naar dieper gelegen watervoerende lagen door te sijpelen.
-

2.4. Terreinstudie

2.4.1. Boorprogramma

In het kader van deze studie werden 11 boringen aan de rand van het studiegebied uitgevoerd en 4 boringen werden op het terrein zelf geplaatst (fig. 2.9).

De boringen werden uitgevoerd op 8 verschillende locaties waarbij steeds getracht werd een diepe boring (met de filter boven de Boomse Klei) naast een ondiepe boring (met de filter net boven de Polderklei) te plaatsen, zodanig dat:

- kan nagegaan worden of de polderklei aanwezig is
- een onderscheid gemaakt kan worden tussen de freatische en de artesische grondwatervoerende lagen
- een onderscheid kan gemaakt worden tussen de freatische en de artesische grondwaterstroming

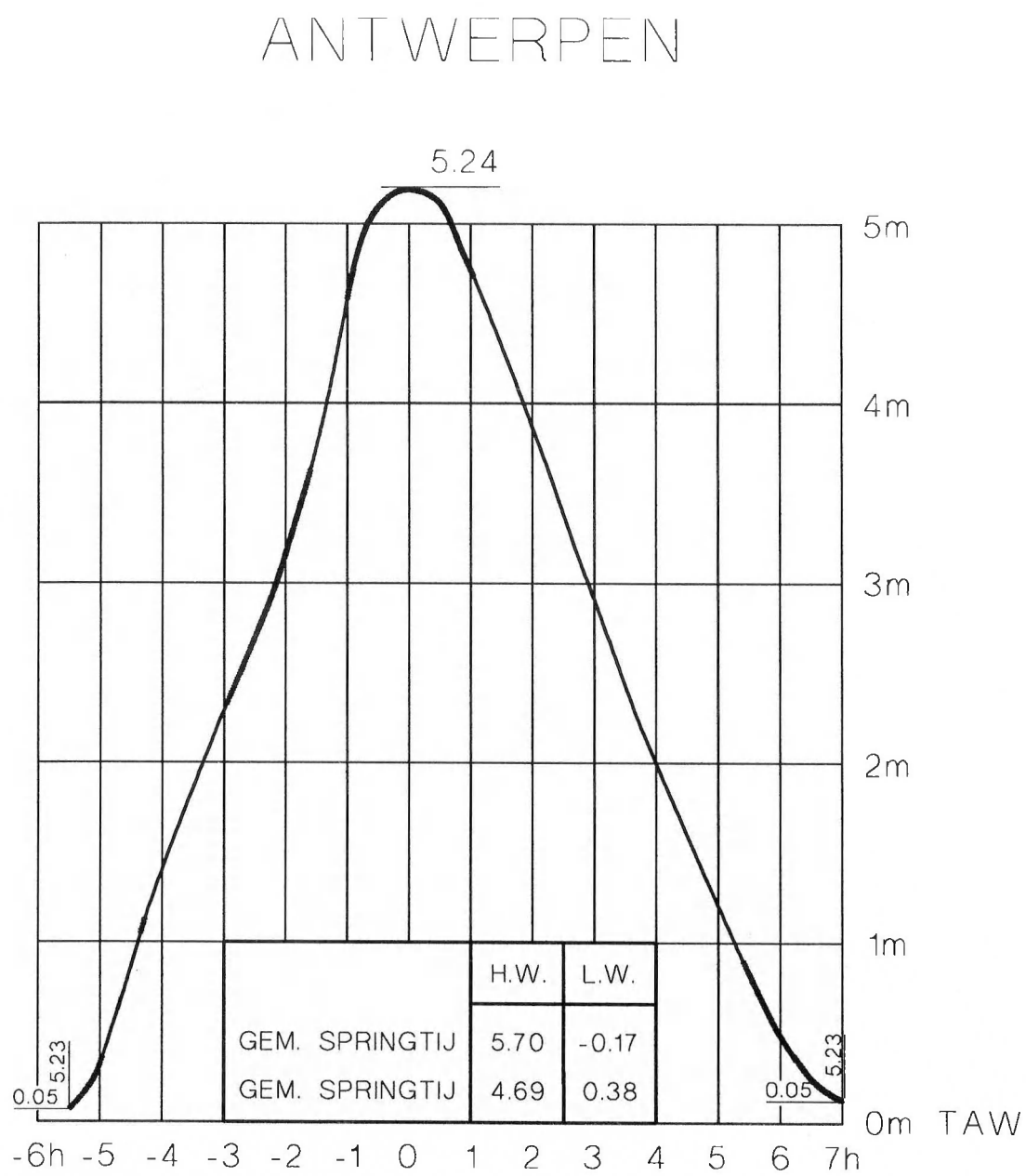


Fig. 2.8. — Gemiddelde tijdkromme, decennium 1981-1990.

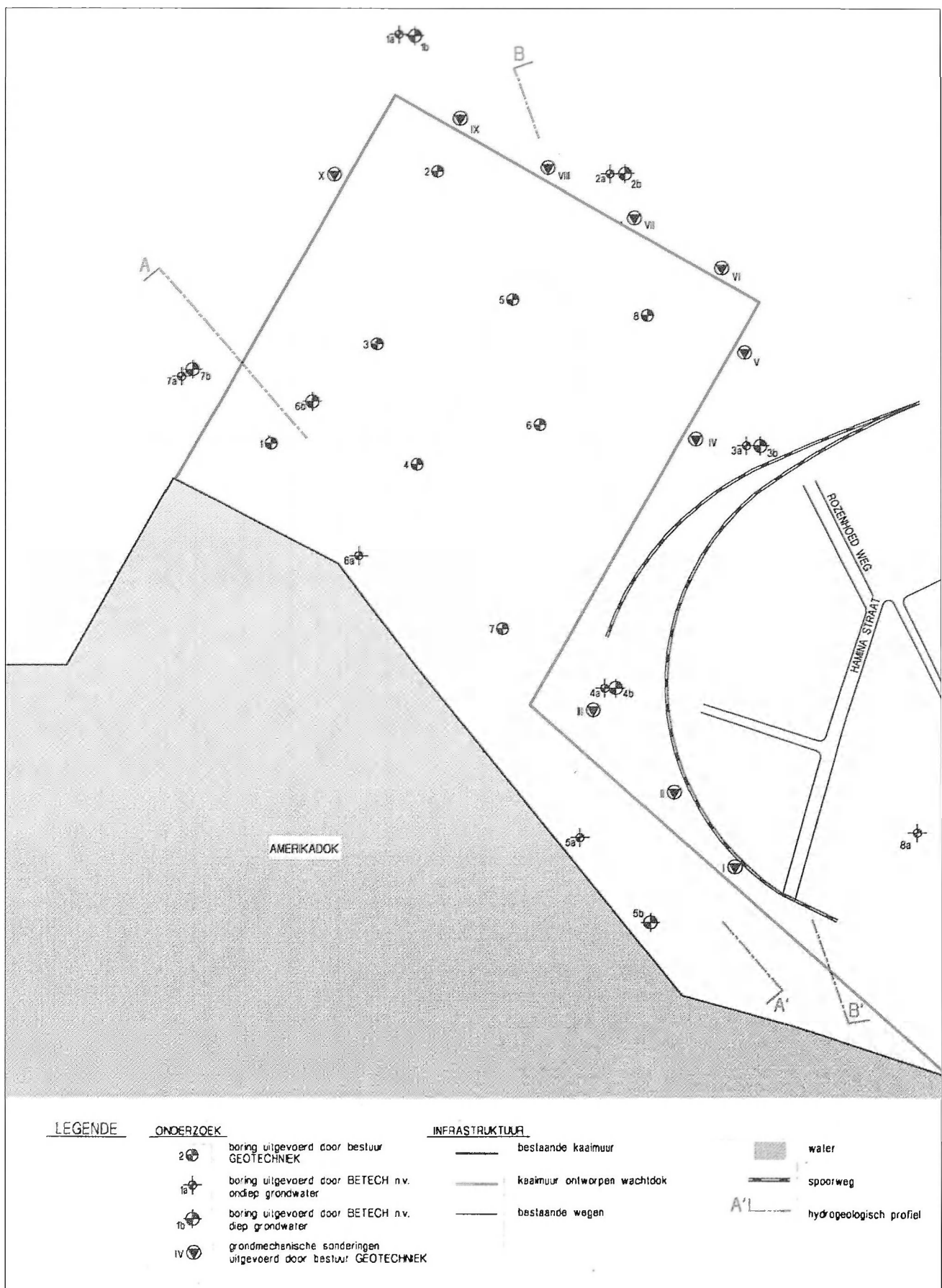


Fig. 2.9. — Situering boringen en hydrogeologische profielen A-A' en B-B'.

— op basis van de piëzometrie kan onderzocht worden of de polderklei voldoende ondoorlatend is om verontreiniging van de diepere grondwaterlagen te voorkomen.

Op twee locaties werden de diepe en de ondiepe boring op enige afstand van elkaar geplaatst om zeer specifieke redenen. Peilput 5b werd meer naar de kant van het dok toe geplaatst om de eventuele instroming vanuit het dok na te gaan. Peilput 6b werd op een grotere afstand van het Amerikadok geboord wegens de moeilijke toegankelijkheid van het terrein. Op locatie 8 werd slechts één ondiepe boring uitgevoerd. Deze boring werd geplaatst als referentieboring.

De ondiepe boringen (a) werden uitgevoerd d.m.v. droogboring en er werd elke 0,5 m een staal genomen en opgeslagen in een aangepast recipiënt. De gemiddelde diepte bedraagt 6 m. De diepe boringen (b) werden eveneens uitgevoerd d.m.v. droogboring en bemonsterd tot op een gemiddelde diepte van 11 m. Verder werden deze boringen systematisch uitgespoeld tot op de Boomse Klei (27 à 28 m diep).

De inbouwschema's van de boringen werden in functie van de doelstellingen van deze studie uitgevoerd. De principeschetsen worden weergegeven in de figuren 2.10 en 2.11.

Karakteristieken van de bodemmonsters zoals lithologie, granulometrie, kleur, geur en de eventuele aanwezigheid van vreemde elementen werden nauwkeurig beschreven. Aan de hand van deze beschrijvingen werd de stratigrafische interpretatie uitgevoerd.

2.4.2. Staalnamecampagne voor grondwater en bodem

Voor de staalname van **grondwater** werden er 15 peilputten bemonsterd door het Provinciaal Instituut voor Hygiëne. In iedere peilput werd de waterinhoud eerst langdurig leeggepompt, met behulp van een centrifugaalpomp, teneinde een representatieve staalname uit te voeren.

De zuurtegraad, temperatuur en conductiviteit van het water werden in anaërobe omstandigheden, door middel van een doorstroomcel, ter plaatse gemeten.

De parameters die voor het grondwater in het labo werden geanalyseerd worden weergegeven in tabel 2.3.

TABEL 2.3 — Geanalyseerde parameters voor het grondwater

<i>Kationen:</i> ammonium, natrium, kalium, calcium en magnesium
<i>Anionen:</i> nitrieten, nitraten, (bi)carbonaten, sulfaten, totaal fosfaten, chloriden, fluoriden, cyaniden
<i>Groepsparameters:</i> DOC (Dissolved Organic Carbon), EOX (extraheerbare organohalogenen), minerale olie
<i>Anorganische micropolluenten:</i> arseen, cadmium, lood, nikkel, zink, kwik, chroom
<i>Organische micropolluenten:</i> poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's), polychloorbifenylen (PCB's), chloorpesticiden, chloorbenzenen, chloorfenolen, aromaten

Tijdens het uitvoeren van de boringen werden er elke 0.5 m **bodemmonsters** genomen. Uit deze bodemstalen werden er 24 voor analyse gekozen. Per locatie werden op 3 verschillende dieptes (0-1 m, 1-2 m, 2-6 m) bodemmonsters voor analyse uitgekozen, waarbij in sommige gevallen mengmonsters werden gevormd.

De parameters die werden geanalyseerd voor het bodemmateriaal vindt men terug in tabel 2.4.

TABEL 2.4 — Geanalyseerde parameters voor het bodemmateriaal

<i>Fysisch-chemisch:</i> droge stof, asrest, zuurtegraad, conductiviteit
<i>Anionen:</i> fluoriden, cyaniden
<i>Groepsparameters:</i> EOX (extraheerbare organohalogenen), minerale olie
<i>Anorganische micropolluenten:</i> arseen, lood, nikkel, zink, kwik, chroom, cobalt, koper
<i>Organische micropolluenten:</i> poly-aromatische koolwaterstoffen (PAK's), polychloorbifenylen (PCB's)

2.5. Onderzoeksresultaten

2.5.1. Geologie en hydrogeologie

2.5.1.1. Stratigrafie

Aan de hand van de gedetailleerde boorbeschrijvingen werd de ondergrond als volgt stratigrafisch ingedeeld:

— Het ophogingsmateriaal bestaat uit klei-leemhoudende zanden met schelpengruis (aangevoerde zanden), opgespoten slib,... Baksteen(gruis), steenslag, asseresten, steenkoolbrokken, kunststofvezels en andere vreemde elementen en afvalstoffen zijn erin aanwezig.

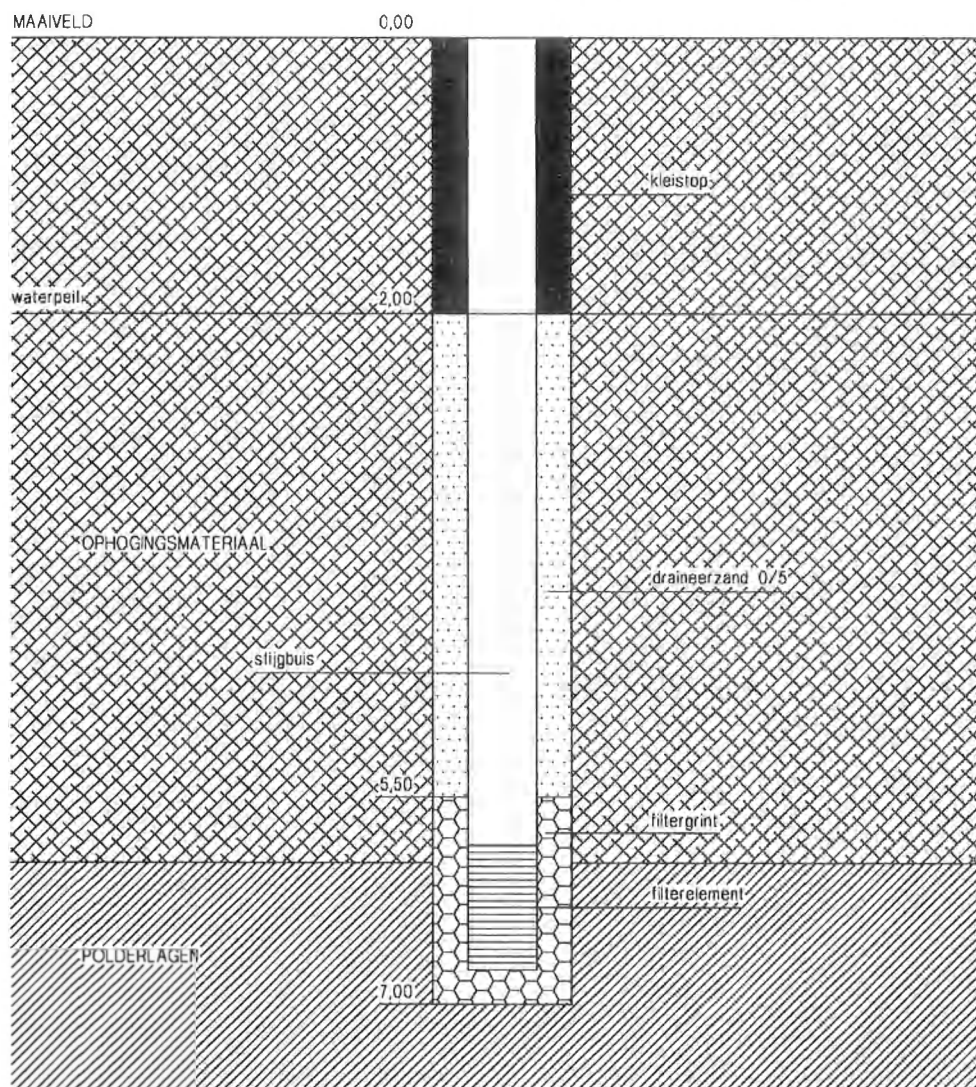


Fig. 2.10. — Principeschema bemalingsfilters.

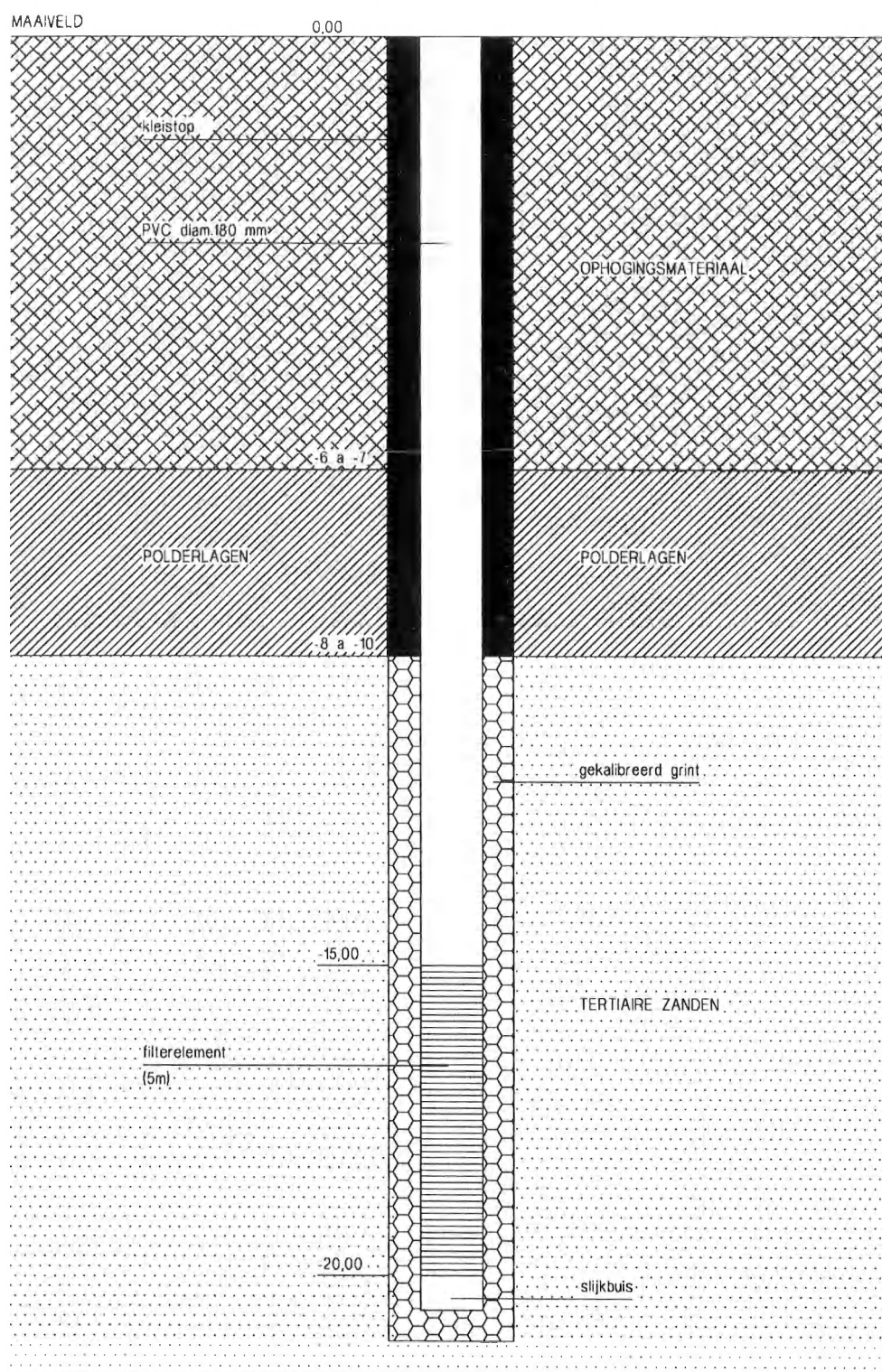


Fig. 2.11. — Principeschema dieptebrommen

- De originele polder (Kwartair) komt bijna overal voor op een diepte van ongeveer 6 m met een gemiddelde dikte van 1,6 tot 2 m. Op locatie 2 werd een polderlaag van slechts 0,3 m aangetroffen. Ter hoogte van locatie 7 bedraagt de dikte van deze laag 4,2 m.
- De Formatie van Lillo (Tertiair) is duidelijk te identificeren en bestaat hoofdzakelijk uit kleihoudende zanden, rijk aan schelpenresten en glauconiet. In sommige boringen werden schelpenbanken aangetroffen (6b en 7b).

De Formaties van Kattendijk en Berchem zijn minder goed te identificeren vermits dit aan de hand van spoelboorgegevens diende te gebeuren. Op basis van de archiefgegevens vermoeden we dat deze formaties in alle boringen voorkomen alhoewel de Formatie van Berchem plaatselijk kan ontbreken.

Er werden 2 hydrogeologische profielen gemaakt die weergegeven worden in figuur 2.12.

2.5.1.2. Grondwaterstroming

De stijghoogten werden opgemeten en genivelleerd op 22 juni en op 9 juli 1992. Voor het bepalen van de grondwaterstroming werd de gemiddelde waarde van de stijghoogten genomen.

Aan de hand van deze gegevens werd de freatische en de artesische grondwaterstroming bepaald.

Figuur 2.13 geeft de piëzometrie weer van het ondiepe watervoerend pakket. Hieruit kunnen we afleiden dat het ondiepe grondwater in het zuidwestelijk deel van het studiegebied naar het Amerikadok afwatert. In het noordoostelijk deel watert het af naar het Albertdok.

Ter hoogte van de werken aan Kaai 57 wordt er grondwater onttrokken waardoor het dokwater naar het studiegebied wordt getrokken.

Figuur 2.14 geeft de piëzometrie weer van de diepe grondwaterlagen. Hieruit kan worden afgeleid dat de diepe grondwaterstroming naar het centrum van het studiegebied is gericht.

Ten zuiden van het studiegebied stroomt er water van het Amerikadok naar het studiegebied toe. Vanuit het noorden en het oosten stroomt het grondwater naar het centrum toe.

2.5.1.3. Interpretatie van de piëzometertesten

Er werden 9 piëzometertesten uitgevoerd. Een piëzometertest biedt de mogelijkheid om de hydraulische geleidbaarheid van de grondlagen rond de filter van de piëzometer te bepalen. Deze waarde is representatief voor de watervoerende laag waarin de filter zich bevindt.

De hydraulische geleidbaarheid (K) kan gedefinieerd worden als de hoeveelheid water die per tijdseenheid en bij een bepaalde temperatuur door een eenheidsoppervlak van 1 m^2 stroomt onder invloed van een hydraulische eenheidsgradiënt. Het bepalen van de K-waarde van een geologische laag is van belang bij de studie van grondwaterverontreinigingen. Een hoge K-waarde duidt op de mogelijk snelle verplaatsing van het water in deze laag, wat tevens betekent dat een in het water aanwezige pollutant zich ook snel verplaatst. Een afzetting met een lage K-waarde (bv. klei) is slecht doorlatend en kan in sommige gevallen zelfs als ondoorlatend beschouwd worden.

Een schematische voorstelling van een piëzometertest vindt men in figuur 2.15. Om een dergelijke proef uit te voeren meet men eerst het originele waterpeil in de filterbuis. Daarna wordt er een bepaalde hoeveelheid water uit die buis gepompt, waarna men de stijging van het waterpeil in functie van de tijd meet.

De berekende K-waarden liggen tussen 1,95 en $3,66 \times 10^{-5} \text{ m/s}$. Deze waarden stemmen overeen met een zandige tot lemige zandige ondergrond.

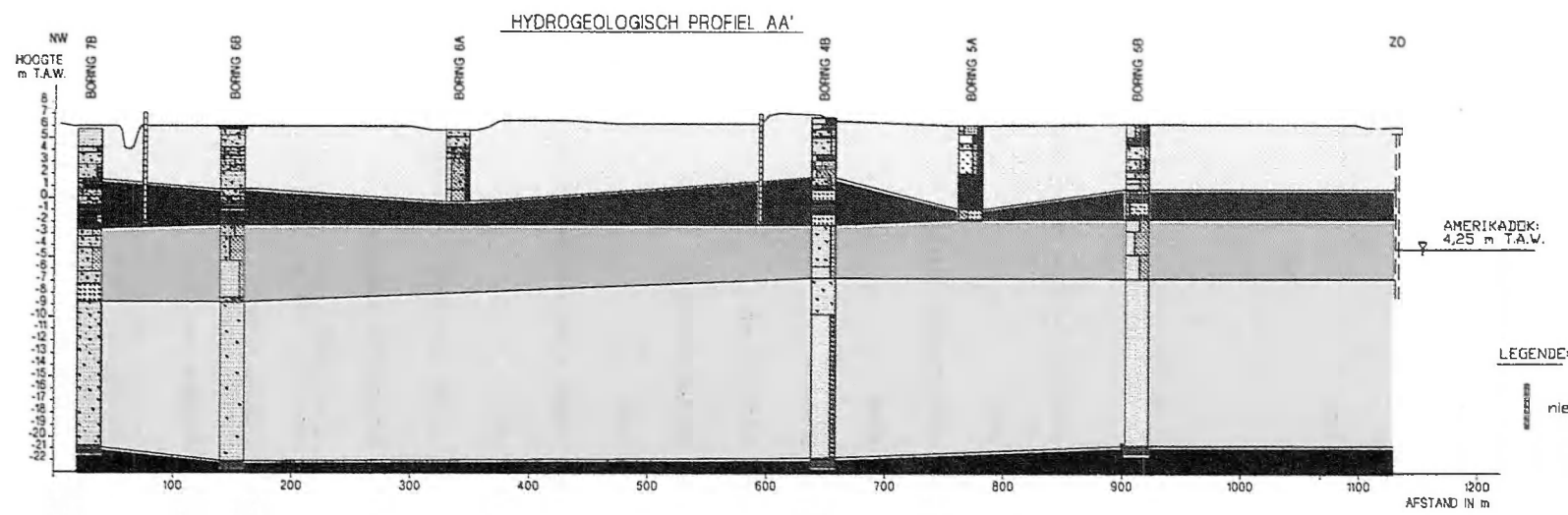
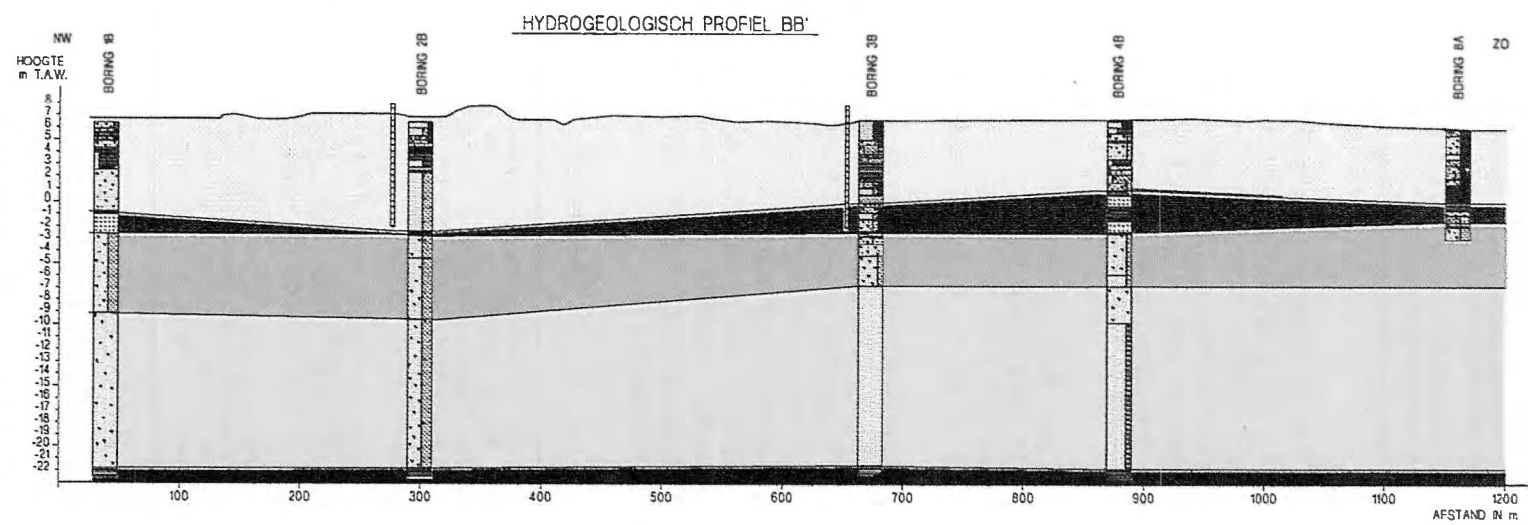
Uit de hier bekomen gegevens blijkt dat er geen verschil is tussen de hydraulische conductiviteit (K-waarde) van het ondiepe en het diepe watervoerende pakket.

Het feit dat zowel boven als onder eenzelfde hydraulische conductiviteit wordt gemeten en dat er tegelijkertijd een verschillende stijghoogte is, wijst op de ondoorlatende eigenschap van de polderlaag.

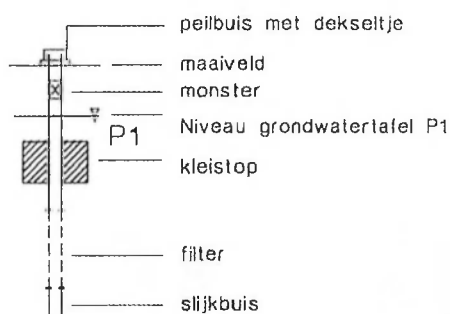
2.5.2. Analyse resultaten

2.5.2.1. Keuze van het referentiekader

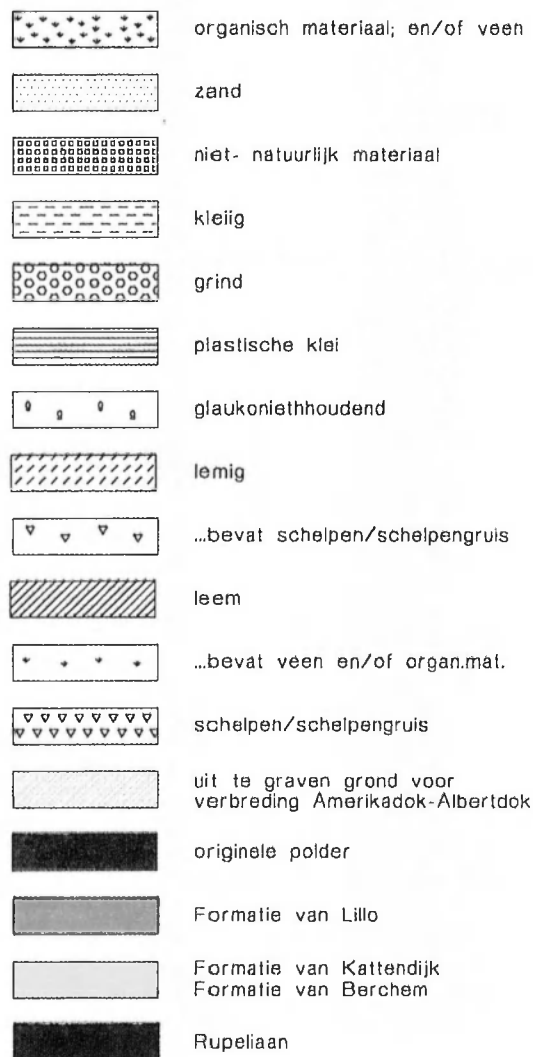
In de huidige milieuwetgeving VLAREM II worden in art. 69 de kwaliteitsdoelstellingen voor onver-



Inbouwschema



Boring (legende bij Fig. 2.12)



harde bodems aangegeven. De indicatieve immissie-waarden worden weergegeven, waarbij

TABEL 2.5

A:	de referentiewaarden, t.t.z. de gemiddelde achtergrond-concentratie en voor milieuvreemde stoffen de detectiegrens
B:	de toetsingswaarden, t.t.z. de waarden waarbij men overgaat tot nader onderzoek
C:	de grenswaarden, t.t.z. de waarden waarbij men overgaat tot sanering(sonderzoek)

Bij het aangeven van de immissiewaarden werd rekening gehouden met de bestemming van de terreinen. Er worden immissiewaarden opgegeven voor kinderspeelterreinen, particuliere groentetuinen, sportpleinen, park- en recreatieterreinen, niet-afgesloten industrieterreinen, afgesloten industrieterreinen, bouwland en niet-agrarische ecosystemen.

De grondwaterkwaliteitsdoelstellingen in VLAREM II worden gelijk gesteld aan de waterkwaliteitsdoelstellingen voor het drinkwater die weergegeven worden in Art. 34 van het VLAREM II.

Het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer in Nederland (VROM) hanteert een tabel waarin van de meest voorkomende soorten verontreiniging zogenaamde indicatieve richtwaarden zijn aangegeven. Aan de hand van dit toetsingskader kan de ernst van de in het onderzoek aangetroffen situatie worden beoordeeld. De tabel kent eveneens drie soorten waarden die verklaard worden in tabel 2.6.

TABEL 2.6

A-waarden: referentiewaarden. A-waarden worden op verschillende plaatsen aangetroffen zonder dat daar sprake is van duidelijke bodemverontreiniging; in natuurgebieden komen overigens wel lagere waarden voor. Men zou kunnen stellen dat deze waarden een normale, niet verontreinigde situatie aangeven.

B-waarden: toetsingswaarden ten behoeve van nader onderzoek. Ligt de aangetroffen concentratie boven de B-waarde, dan wordt nader onderzoek (bijvoorbeeld naar verdere verspreiding van de betrokken stof) gewenst geacht.

C-waarden: toetsingswaarden ten behoeve van saneringsonderzoek. Overschrijdt de aangetroffen concentratie de C-waarde, dan is dat een signaal om op korte termijn een onderzoek in te stellen naar de beste wijze van sanering.

De tabel van het Ministerie van VROM geeft zowel richtwaarden voor de aanwezigheid in grond en slib als voor grond- en oppervlaktewater.

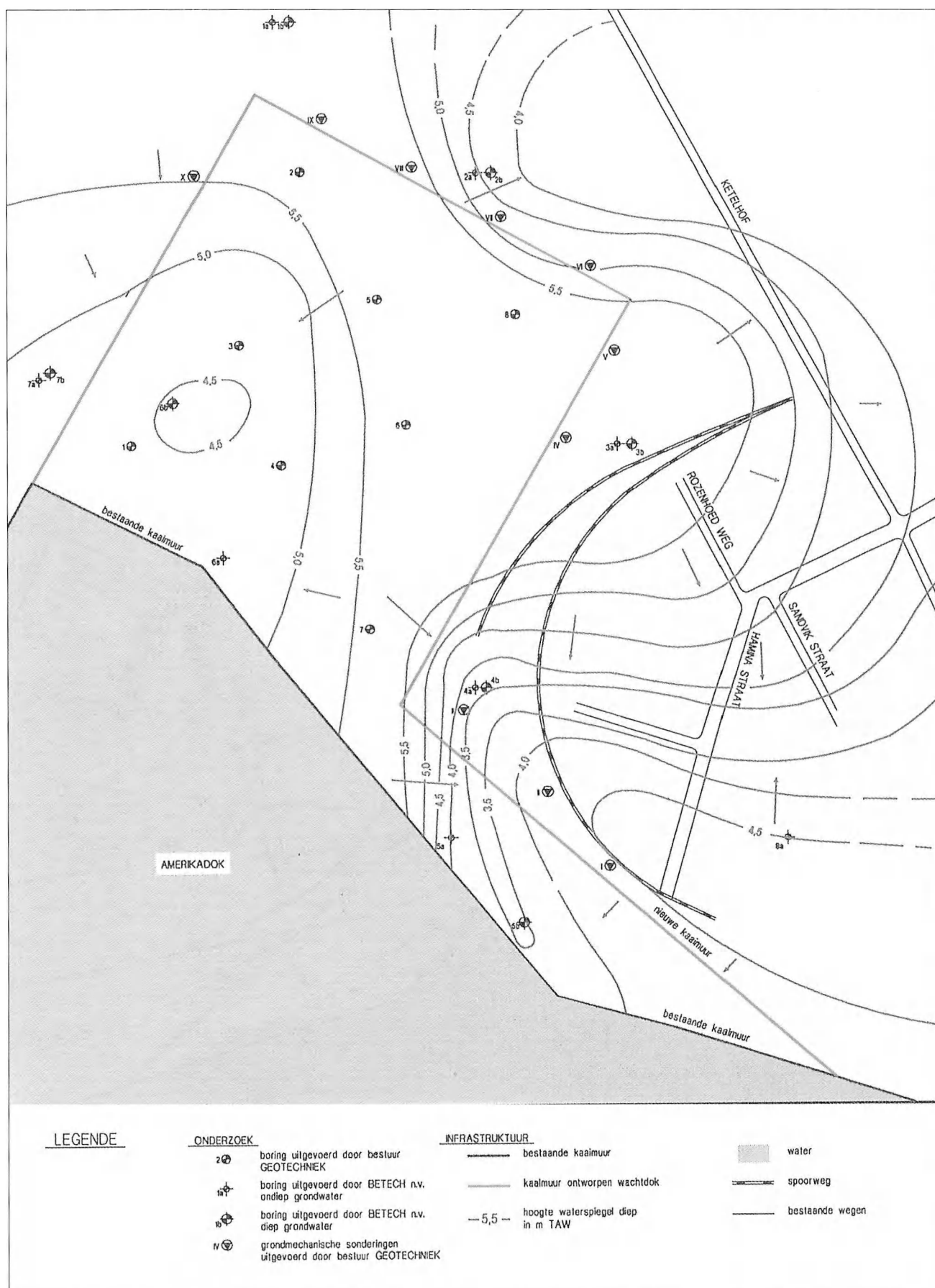


Fig. 2.13. — Piëzometrie. Ondiep watervoerend pakket.

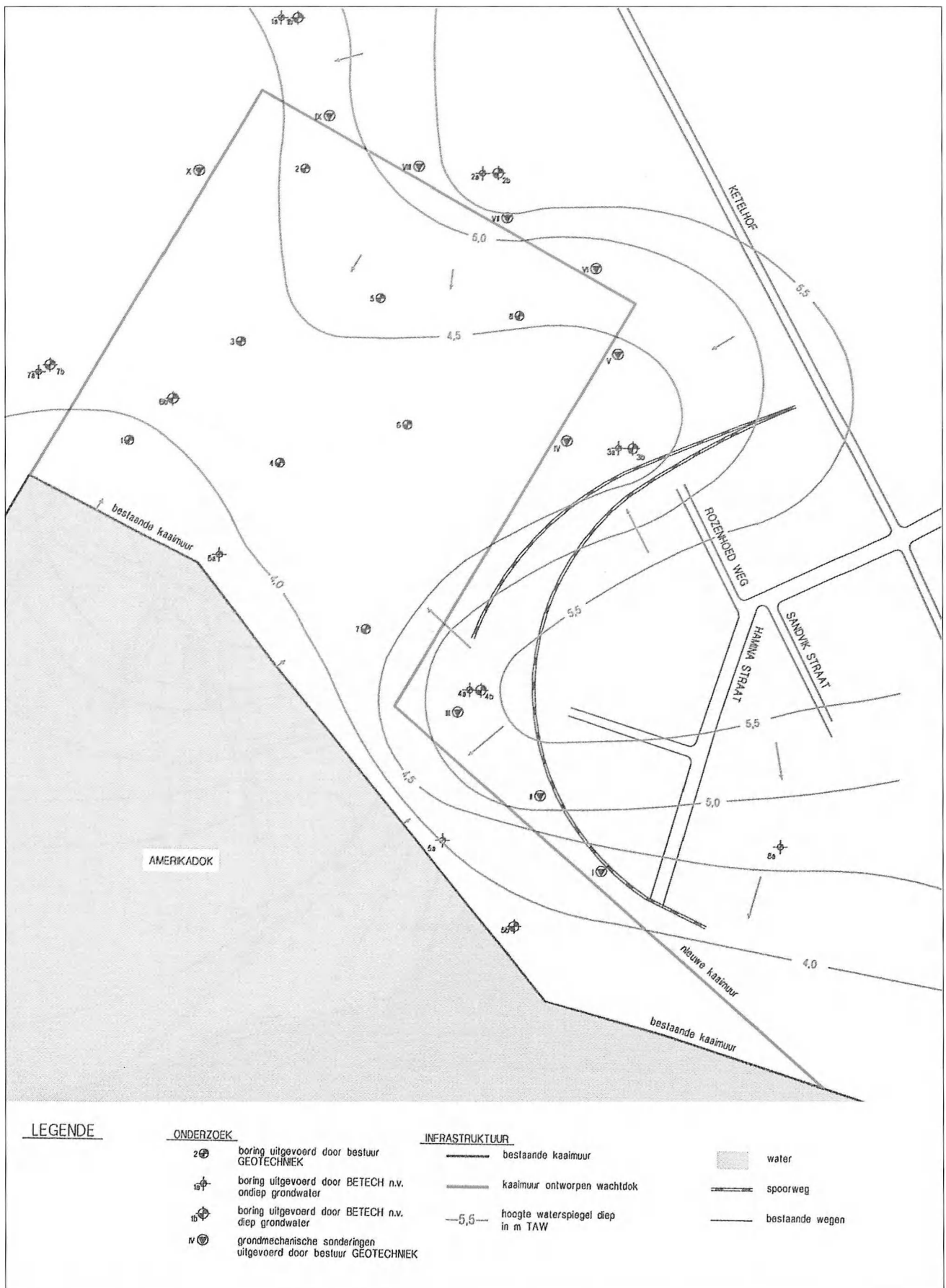
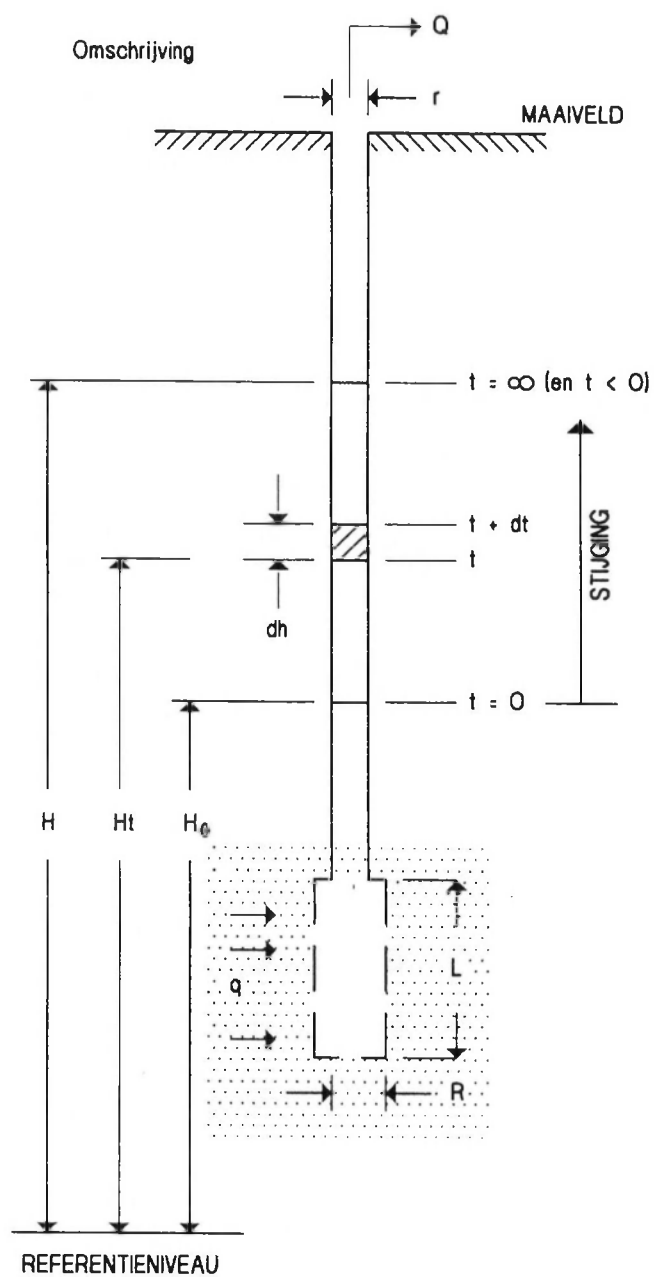


Fig. 2.14. — Piezometrie. Diep watervoerend pakket.



LEGENDE

- H = grondwaterpeil in rusttoestand (m)
- H_0 = hoogte van het grondwaterpeil in evenwicht (m)
- H_t = niveau van het stijgend grondwater
- L = lengte van de filter
- q = toevoer van het grondwater
- R = straal van het boorgat (m)
- T_0 = tijdsconstante (s)

Fig. 2.15. — Geometrische gegevens van een piëzometertest.

Gezien het toetsingskader van de VROM meer parameters in beschouwing neemt dan artikels 34 en 69 van VLAREM II, werd in deze studie geopteerd voor dit toetsingskader om de analyseresultaten te interpreteren. Dit zowel voor bodem als voor grond- en oppervlaktewater.

2.5.2.2. Bespreking van de parameters in de ondiepe waterlagen

In het ondiepe watervoerende pakket werden ter hoogte van het studieterrein concentraties groter dan de C-waarde gemeten voor de volgende anorganische parameters: zink, bromide en ammonium. Ter hoogte van Kaai 57 komen daar ook nog cyaniden en fosfaten bij.

De gemeten concentratie aan kwik binnen de ontworpen toekomstige kaaimuur is groter dan de vooropgestelde B-waarde.

Voor wat de organische parameters in het ondiepe grondwater betreft werden binnen het studieterrein concentraties groter dan de C-waarde gemeten voor EOX, PAK's en organische oplosmiddelen (xyleen, tetrahydrofuraan, cyclohexanon). In peilput 4 werd ook het chloorpesticide endrin in een concentratie groter dan de B-waarde aangetroffen. In put 6a werd een concentratie gemeten groter dan de C-waarde voor minerale olie.

Ter hoogte van Kaai 57 werden hoge BOD en COD waarden aangetroffen. De ongunstige relatie BOD/COD wijst op de aanwezigheid van biologisch niet of slecht afbreekbare organische produkten.

De ruimtelijke spreiding van de parameters wordt weergegeven in figuur 2.16.

2.5.2.3. Bespreking van de parameters in de diepe waterlagen

Over het algemeen kan men stellen dat in de diepe grondwaterlagen weinig verhoogde concentraties werden gemeten (fig. 2.17).

Zowel binnen als rondom het studiegebied werden er voor ammonium concentraties gemeten groter dan de B-waarde van VROM. Buiten het toekomstige wachtdok voor lichters komen er plaatselijk zelfs concentraties boven de C-waarde voor.

Voor wat de organische parameters betreft werd slechts in één peilput, buiten het terrein, een concentratie aan olie gemeten die de C-waarde van VROM overschreed.

2.5.2.4. Bespreking van de parameters in de bodem

Er werd enerzijds verontreiniging gemeten in het noord-noordoostelijke deel van het studieterrein en anderzijds ter hoogte van Kaai 57. Het gaat hier om een organische zowel als een anorganische verontreiniging. De ruimtelijke spreiding wordt weergegeven in figuur 2.18.

De anorganische verontreiniging wordt voornamelijk veroorzaakt door hoge concentraties aan zware metalen. Voor zink, arseen en lood werden waarden gemeten groter dan de C-waarde. Voor koper, kwik, nikkel en kobalt werd de B-waarde overschreden.

Fluoriden en cyaniden komen in concentraties voor groter dan de B-waarde.

Voor wat de organische pollutanten in de bodem betreft werden er binnen het studiegebied EOX en PCB concentraties groter dan de B-waarde gemeten.

Ter hoogte van peilput 5a werd er een waarde voor polyaromatische koolwaterstoffen groter dan de C-waarde gemeten.

2.5.3. *Besluit*

Het ondiepe grondwater is sterk verontreinigd, zowel anorganisch als organisch. Het diepe grondwater daarentegen is zeer weinig tot niet verontreinigd wat wijst op de goede afschermende en/of absorberende werking van de kleiige polderlaag. Over het ganse gebied worden er wel hoge concentraties aan ammonium gemeten.

Het feit dat de polderklei een bescherming vormt voor de onderliggende watervoerende lagen wordt eveneens bevestigd door de analyseresultaten van enkele polderstalen. In deze stalen werden hoge concentraties anorganische pollutanten gemeten. Ter hoogte van peilput 2b, gelegen buiten het studiegebied, komt een hoge concentratie aan minerale olie (> C-waarde) voor wat mogelijk te wijten is aan de aanwezigheid van slechts een dunne polderlaag op deze plaats.

De verontreinigde gronden zijn gesitueerd in het noord-noordoostelijke deel van het toekomstige wachtdok voor lichters en ter hoogte van kaai 57. De verontreiniging is zowel anorganisch als organisch.

Zoals blijkt uit de analyseresultaten voor boring 8a werden er hier sterk verhoogde concentraties gemeten in de bodem en in het water. Deze peilput, die

Fig. 2.16. — Ruimtelijke spreiding van organische en anorganische parameters in de ondiepe waterlagen.

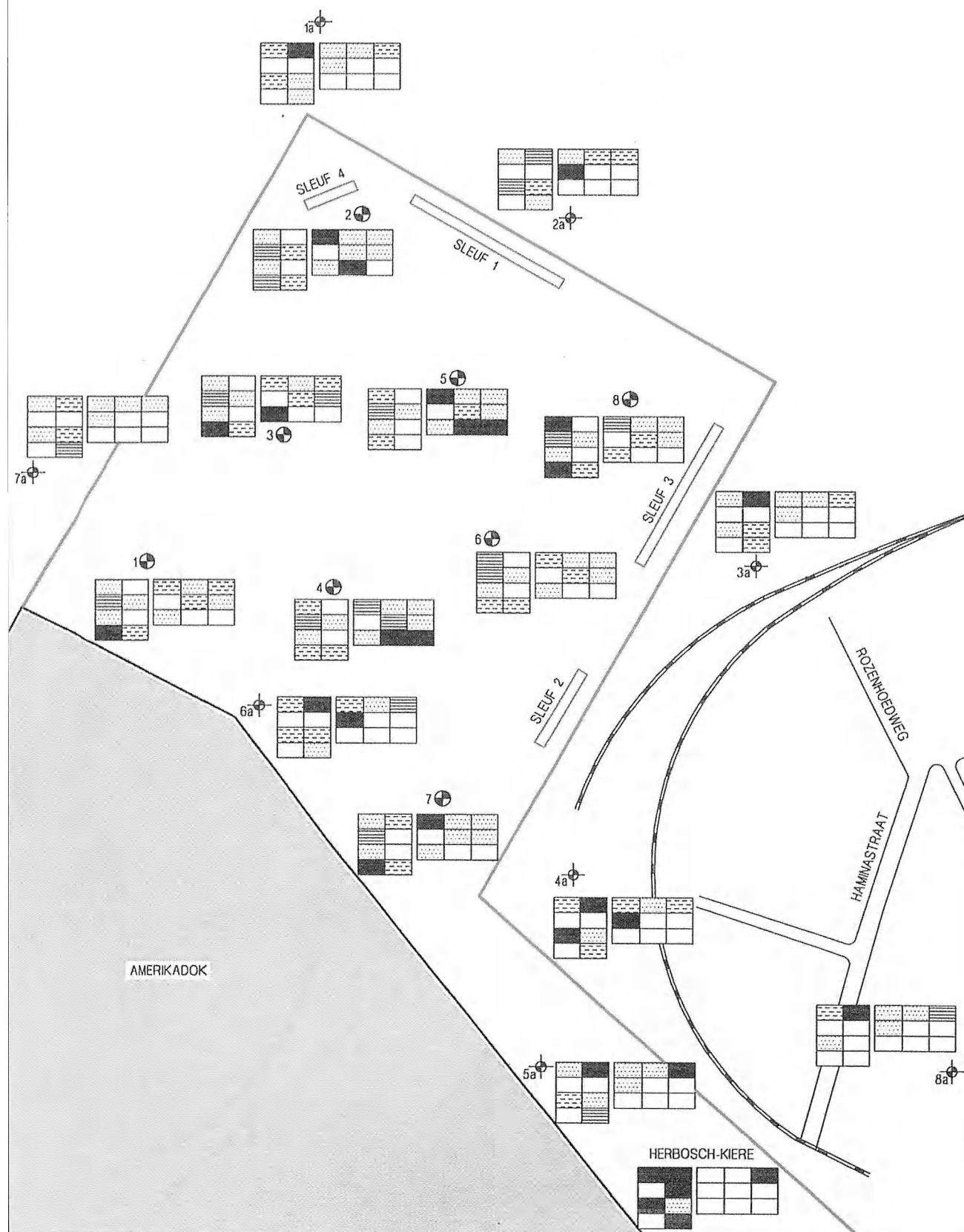
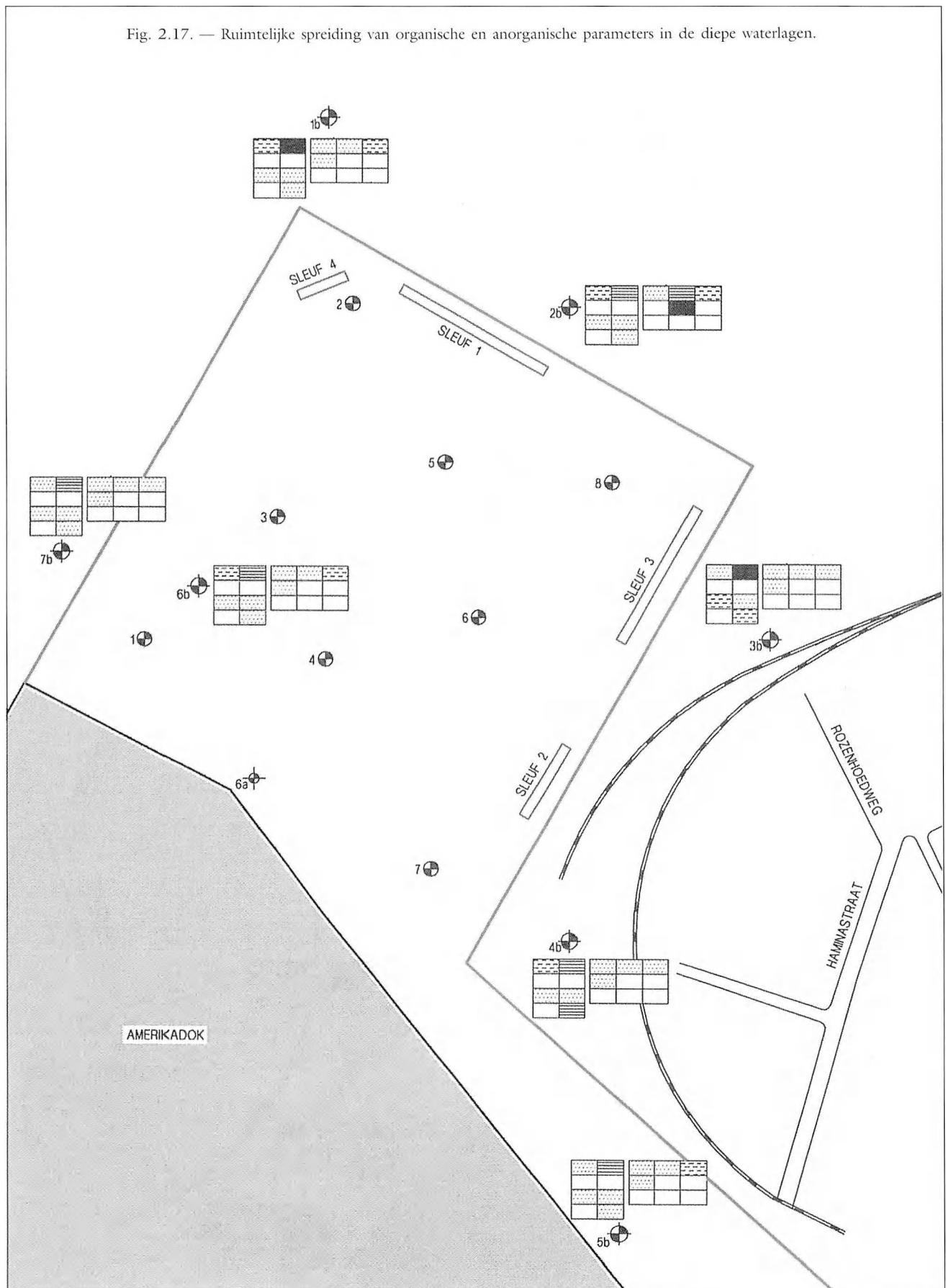


Fig. 2.17. — Ruimtelijke spreiding van organische en anorganische parameters in de diepe waterlagen.



Legende bij Fig. 2.16 en 2.17

-  boring uitgevoerd door bestuur GEOTECHNIEK
 boring uitgevoerd door BETECH n.v. ondiep grondwater
 boring uitgevoerd door BETECH n.v. diep grondwater

BESCHOUWDE PARAMETERS

Zn	NH ₄	EOX	PCB	PAK
Hg	CN	Olle	Endrin	Toluene
As	F	Xyloen	Tetrahydrofuran	Cyclohexanor
Br	P04			

TOETSINGSKADER VROM

Cp: concentratie parameter

-  geen analyses uitgevoerd
 Cp < waarde
 A < Cp < waarde
 B < Cp < C
 C < Cp

INFRASTRUCTUUR

-  bestaande kaaiuur
 kaaiuur ontworpen wachtdok
 spoorweg
 sleuf

geboord werd als referentieput, blijkt gesitueerd te zijn in één van de meest verontreinigde zones van het gebied.

Samengevat kunnen we dus stellen dat het ondiepe grondwater sterk verontreinigd is. In tegenstelling tot de bodem, waarin slechts plaatselijk (in het noord-noordoostelijke deel en ter hoogte van kaai 57) verhoogde concentraties werden gemeten, is het ondiepe grondwater over het gehele studiegebied verontreinigd.

3. SANERINGSVOORSTEL

3.1. Inleiding

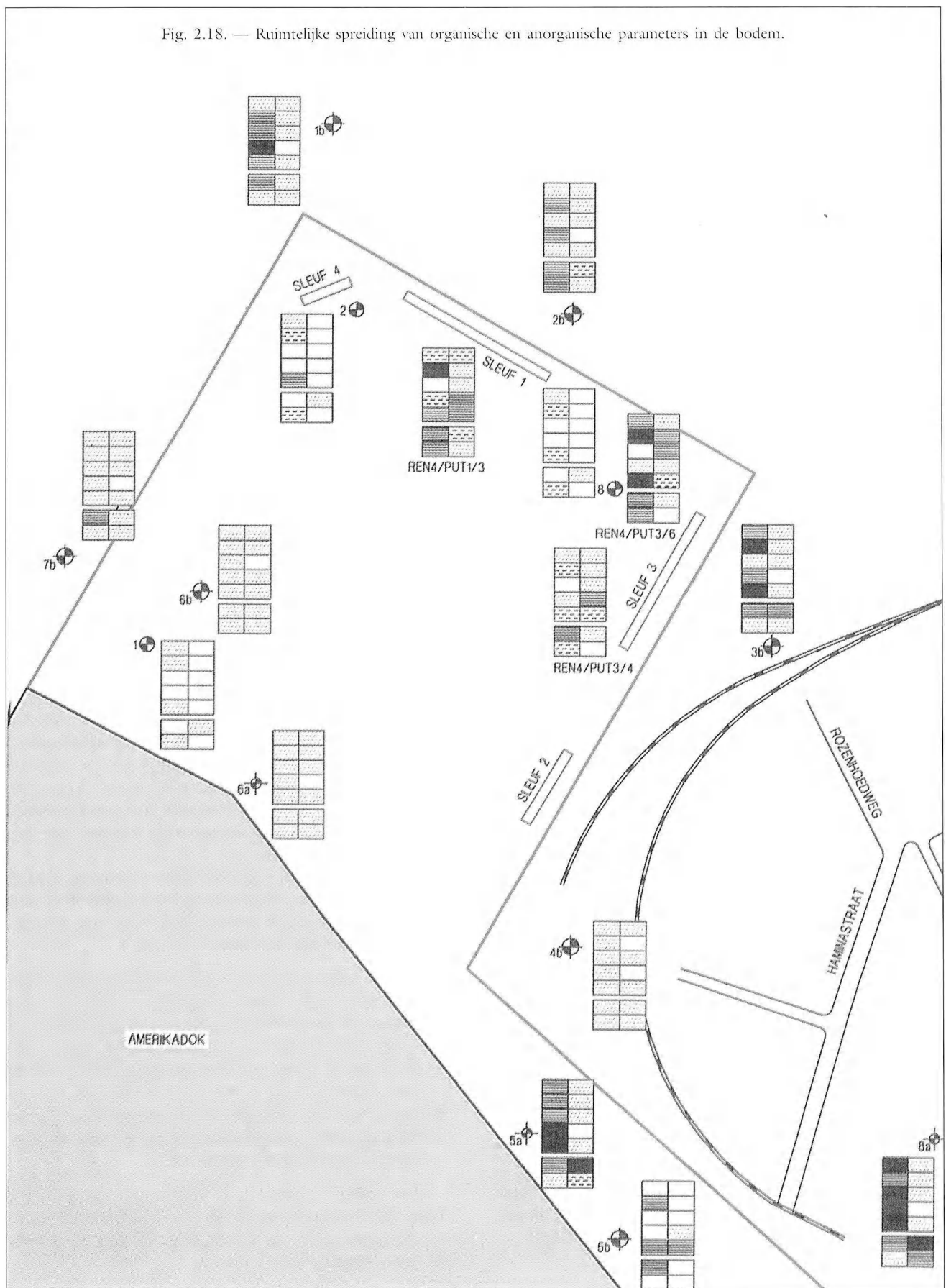
De hiervoor vermelde onderzoeksresultaten, die de basis vormen voor de uitvoering van de vooropgestelde werken, kunnen als volgt samengevat worden:

- het diepe grondwater wordt in belangrijke mate gevoed door het water uit de dokken
 - het ondiepe grondwater, dat zich boven de oorspronkelijke polderlaag bevindt, wordt in belangrijke mate gedraineerd door het Amerikadok
 - het ondiepe grondwater is zowel kwalitatief als piëzometrisch gescheiden van het diepe grondwater door de aanwezigheid van een polderlaag die variabel is van dikte maar waarvan men mag veronderstellen dat deze over gans de site aanwezig is
 - het ondiepe grondwater is het meest vervuilde milieu-compartiment en dient bijgevolg behandeld vooraleer het, bij een droogzuiging, opnieuw geloosd wordt in het oppervlaktewater
 - de te verwijderen gronden voor de uitgraving van het wachtdok kunnen als zeer heterogeen beschouwd worden, waarvan een groot deel niet verontreinigd is, terwijl de overige gronden dienen behandeld te worden of gestort op een gecontroleerde wijze
 - tevens is gebleken dat de vastgestelde verontreiniging zich niet beperkt tot het terrein dat dient uitgegraven te worden voor de bouw van het wachtdok. Immers, een belangrijke verontreiniging, zowel van de bodem als van het ondiepe grondwater, werd vastgesteld tot buiten het betrokken terrein. Het betreft hier in hoofdzaak de zone ten noorden en ten oosten van het geplande wachtdok.
- Een isolatie na uitgraving en sanering dringt zich dan ook op teneinde een eventuele infiltratie van verontreinigd grondwater naar het gerealiseerde wachtdok te verhinderen.

Aan de hand van deze onderzoeksresultaten werden er door de studiegroep Betechn-ERM twee verschillende scenario's voor de saneringswerken uitgewerkt. Het was de verwijdering van de verzadigde gronden die in beide scenario's op een andere manier bekeken werd. In een eerste scenario werd de verwijdering van de verzadigde gronden op een volledig geïsoleerde wijze voorgesteld, in een tweede scenario op een half-geïsoleerde wijze.

Deze saneringsscenario's, waarin ook een protocol voor de bestemming van de uit te graven gronden werd uitgewerkt, werden besproken met de dienst Sanering van de OVAM.

Fig. 2.18. — Ruimtelijke spreiding van organische en anorganische parameters in de bodem.



Legende bij Fig. 2.18

- 2  boring uitgevoerd door bestuur GEOTECHNIEK
- 1a  boring uitgevoerd door BETECH n.v. ondiep grondwater
- 1b  boring uitgevoerd door BETECH n.v. diep grondwater

BESCHOUWDE PARAMETERS

Cu	Cr
Zn	Ni
Hg	Co
As	F
Pb	CN
EOX	PAK
PCB	Olie

TOETSINGSKADER VROM

Cp: concentratie parameter

-  geen analyses uitgevoerd
-  Cp < waarde
-  A < Cp < waarde
-  B < Cp < C
-  C < Cp

INFRASTRUCTUUR

-  bestaande kaaimuur
-  kaaimuur ontworpen wachtdok
-  spoorweg
-  sleuf

3.2. Uit te voeren saneringsscenario

Het saneringsvoorstel waarvoor uiteindelijk werd geopteerd, werd principieel goedgekeurd door de dienst Sanering van de OVAM dd. 28/09/92, mits een bestendige controle en milieu-technische begeleiding.

Teneinde de uitgravingen op een milieu-technisch verantwoorde wijze uit te voeren, werd volgende werkwijze weerhouden :

Volgens een ruwe schatting, op basis van de onderzoeksresultaten van het voorbereidend onderzoek, kan men stellen dat van het totaal uit te graven volume, i.c. 546.000 m³, ongeveer 20 à 25 % dient behandeld te worden of gestort onder gecontroleerde vorm.

Alle niet tot slechts matig verontreinigde gronden kunnen aangewend worden voor de opvulling van het Eerste Havendok en het Oude Schuuldok voor Lichters, op voorwaarde dat deze opvulling milieu-technisch op een geïsoleerde wijze en op een vergunningstechnisch haalbare manier kan gebeuren.

De fractie die als verontreinigd tot zeer verontreinigd kan beschouwd worden, kon op dit ogenblik onmogelijk ingeschat worden gezien de erg heterogene samenstelling van de te verwijderen gronden.

Voor de bestemming van de uit te graven gronden werd er een protocol uitgewerkt waarin de te volgen procedure werd beschreven. Dit **protocol** werd uitgewerkt doordat er geen éénduidig referentiekader voorhanden is. Voor de uitvoering van deze werken was het nochtans noodzakelijk een **duidelijke procedure** te kunnen volgen.

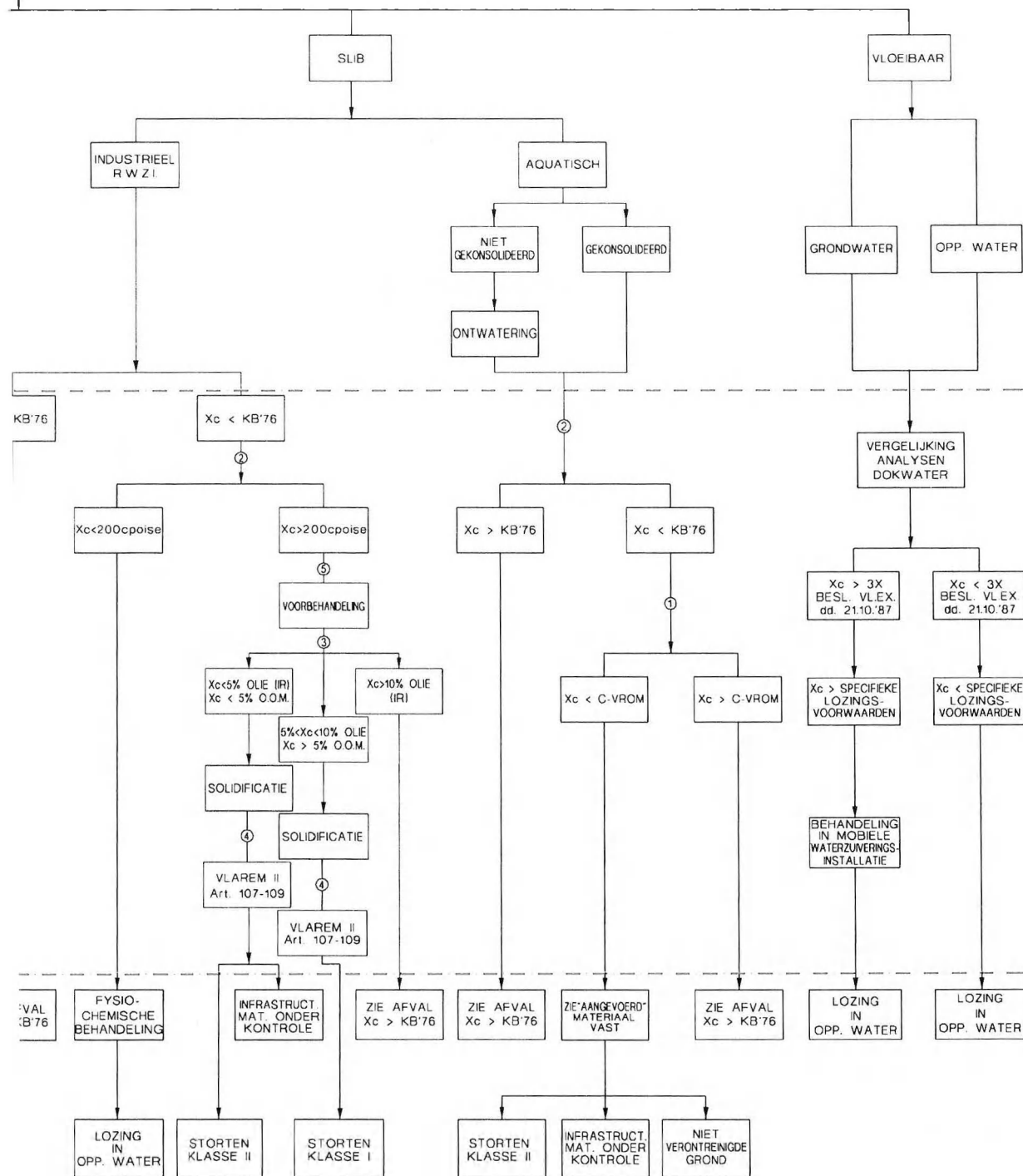
Bijgevolg werd er een **referentiekader** geschetst waarin verschillende regionale, nationale en internationale richtlijnen, toetsingswaarden, (wettelijk vastgelegde) kwaliteitsdoelstellingen, ... werden samengebracht (fig. 3.1). De fysische toestand van de af te graven materialen werd op dit schema onderverdeeld in vast (fig. 3.2), slib (fig. 3.3) en vloeibaar (fig. 3.4).

Voor het verwijderen van de verzadigde gronden, dit zijn de gronden gesitueerd tussen het piëzometrische niveau van het grondwater en de oorspronkelijke polderlaag, werd geopteerd voor de verwijdering op een half-geïsoleerde wijze.

Bij deze methode wordt een verticale waterdichte wand aangebracht ter hoogte van de ontworpen kaaimuur. Zo kan er een eventuele infiltratie van verontreinigd grondwater afkomstig van buiten het betrokken gebied vermeden worden. De open zijde blijft rechtstreeks in contact met het Amerikadok.

Na uitvoering van de waterdichte wand wordt er een droogzuiging uitgevoerd. Voor de zuivering van het verontreinigde grondwater wordt een mobiele **waterzuiveringsinstallatie** voorzien.

AN BESTEMMING
ERWIJDEN
DAN NIET
GDE GRONDEN



Legende bij Fig. 3.1

- ① : toetsingswaarden VROM (A,B,C - waarden)
- ② : KB' 76 wet inzake toxisch afval
- ③ : minerale olie (olie) - organische oplosmiddelen (O.O.M.)
- ④ : VLAREM II : Art. 100
: Art. 69
- ⑤ : vloeibaarheidsgrens
- Xc : specifieke concentratie polluenten

Als doelstelling wordt vooropgesteld dat deze permanente vorm van bemaling eveneens in belangrijke mate zal gevoed worden door het dokwater zodat de gronden ter hoogte van Kaai 57 en ter hoogte van het geplande wachtdok als het ware uitgespoeld worden en de vuilvracht van het bemalingswater gelijkmatig afneemt tot een aanvaardbaar minimum.

Wanneer het vooropgestelde minimum bereikt is, kan men overgaan tot het verwijderen van de overblijvende, nog steeds verzadigde, gronden door middel van een aangepaste milieuvriendelijke bagger-techniek.

De uitgebaggerde gronden kunnen gebruikt worden voor het opvullen van het Eerste Havendok indien deze opvulling op een milieu-technisch geïsoleerde en vergunningstechnisch aanvaardbare wijze kan gebeuren. Dit wil zeggen dat na opvulling van het Eerste Havendok er verder geen interactie mag zijn tussen het aangevoerd materiaal en het omliggende milieu.

Bijgevolg werden door de OVAM dan ook permeabiliteitsmetingen voorgesteld op de sliblaag in het Eerste Havendok. Op de slibmonsters werd een gemiddelde doorlatendheid van $3 \cdot 10^{-10}$ m/s gemeten zodat er van uitgegaan kan worden dat de slibbodem een goed afsluitende laag vormt.

Voor de uitvoering van deze methode werden een aantal randvoorwaarden vooropgesteld.

- In functie van
 - * de lokale waterhuishouding
 - * de lokale hydrogeologische kenmerken
 - * de verwachte vuilvracht
 - * de potentiële zuiveringscapaciteit van de waterzuiveringsinstallatie
 wordt er een bemaling voorzien met een debiet van 100 m³/uur.
- Als kwaliteitsobjectieven van het bemalingswater worden de kwaliteitsdoelstellingen voor oppervlaktewater uit het Vlarem II vooropgesteld.
- Teneinde deze kwaliteitsobjectieven te realiseren werd een bemalingstermijn van 6 maanden vooropgesteld.

4. SANERINGSWERKEN

Door de dienst Sanering, Bestuur Realisatie en Sanering, van de OVAM werden de vooropgestelde saneringsmaatregelen goedgekeurd mits een bestendige controle en begeleiding. Wat de begeleiding van deze werken betreft kunnen er twee luiken onderscheiden worden, enerzijds een **administratief luik**, anderzijds een **milieu-technisch luik**.

Het administratieve luik omvat in eerste instantie het op punt stellen van de vergunningstoestand. Daarnaast wordt de WE(rkgroep)SAN(eren)-vergadering in het leven geroepen. De WESAN komt op regelmatige basis samen zodat de werken door alle betrokkenen van nabij gevolgd worden.

De milieu-technische begeleiding van de werken werd opgedragen aan de studiegroep Betch-ERM.

4.1. Administratieve begeleiding

4.1.1. Vergunningstoestand

De T.V. AMAL, als uitbater van de werken, beschikt over een milieuvergunning klasse 2, dd. 25/10/1992 vanwege het College van Burgemeester en Schepenen van de Stad Antwerpen.

Conform het Grondwaterdecreet van 24/01/1984 (art.9) werd door de firma Smet-Boring N.V. melding gemaakt van de grondwateronttrekking noodzakelijk voor de realisatie van de hydrodynamische saneringsmaatregelen (cat. A, tijdelijke grondwaterwinning voor minder dan 1 jaar).

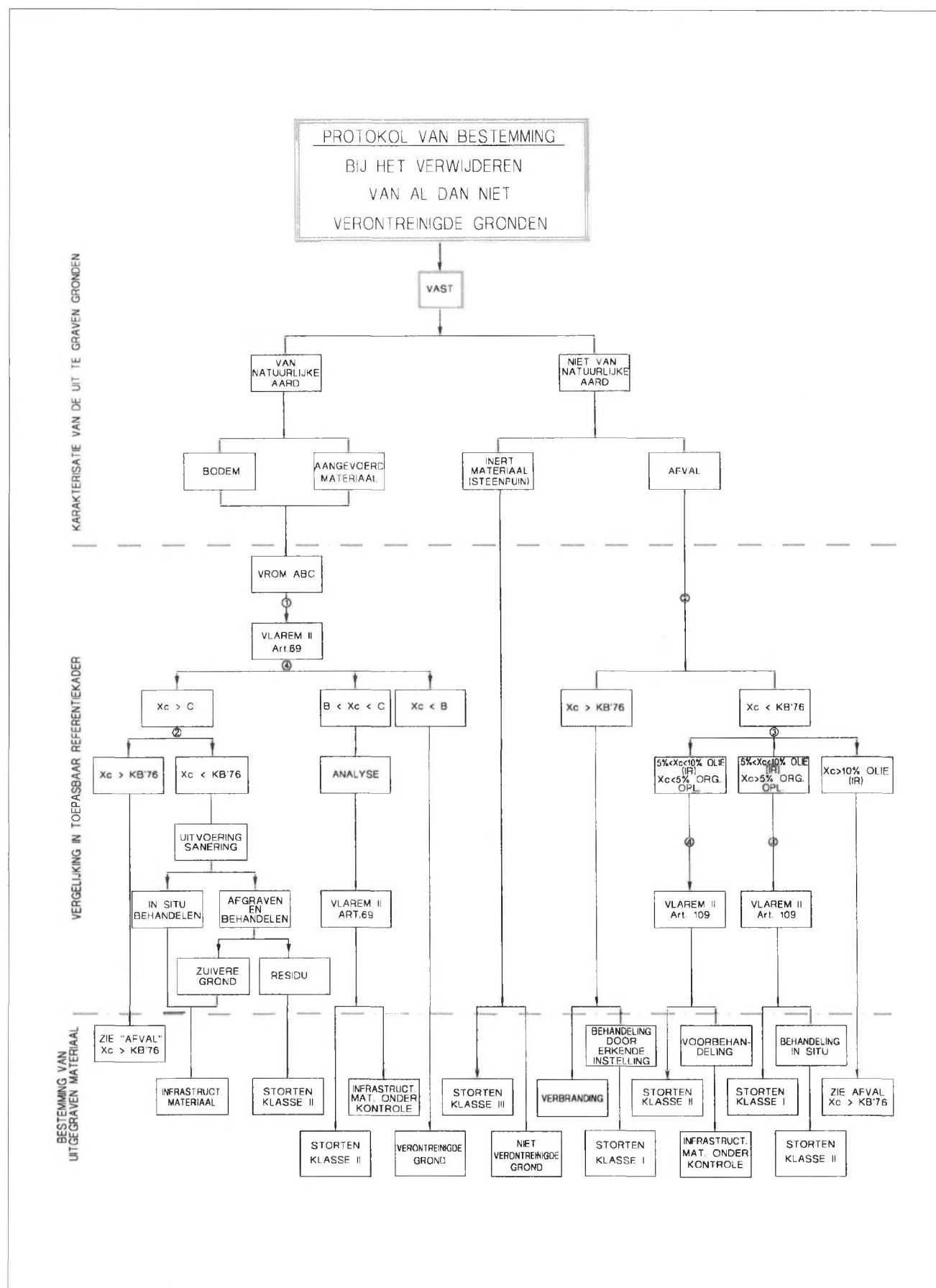


Fig. 3.2. — Protokol van bestemming der uit te graven gronden. Vast.

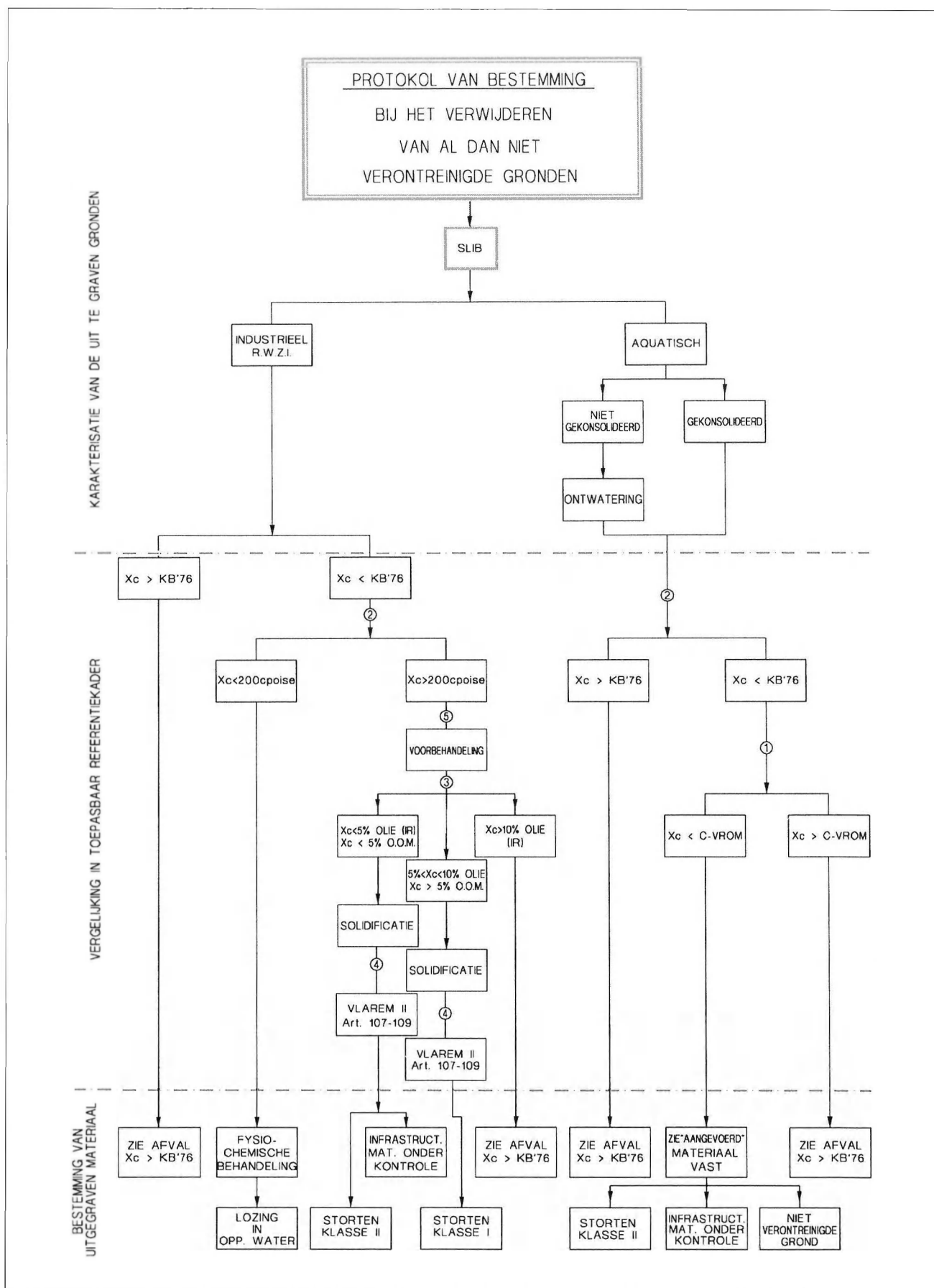


Fig. 3.3. — Protokool van bestemming der uit te graven gronden. Slib.

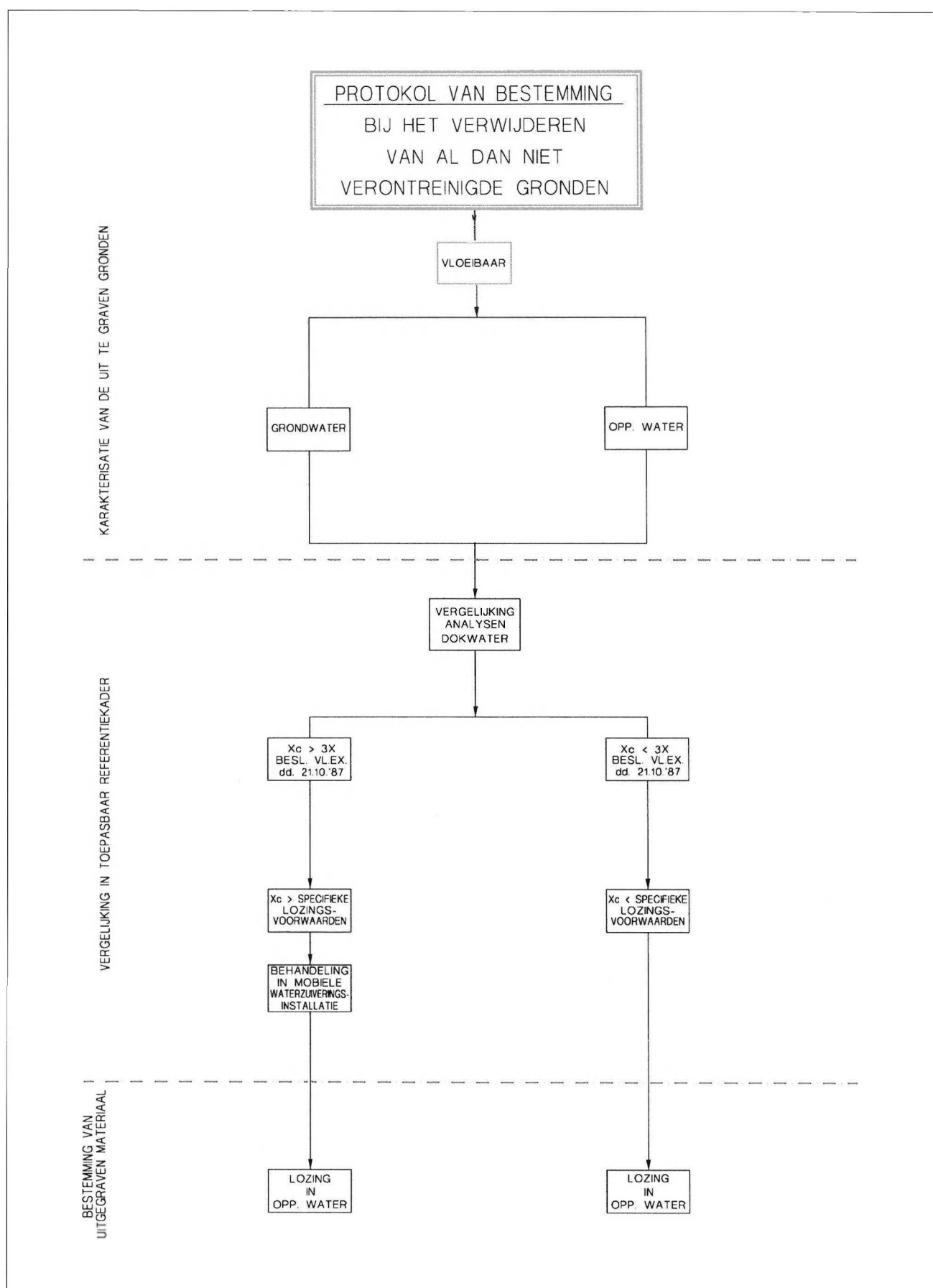


Fig. 3.4. — Protokool van bestemming der uit te graven gronden. Vloeibaar.

Er werd een mobiele waterzuiveringsinstallatie voor de behandeling van het bemalingswater voorzien. Als kwaliteitsdoelstellingen waaraan het effluent dient te voldoen, worden de basiskwaliteitsnormen vooropgesteld die vastgesteld werden door het Besluit van de Vlaamse Executieve van 21 oktober 1987 en door het Koninklijk Besluit van 4 november 1987.

Zoals reeds eerder vermeld keurde de dienst Sanering van de OVAM de vooropgestelde saneringsmaatregelen goed dd. 28/10/1992 mits een bestendige controle en begeleiding. Naast de OVAM werd ook AMINAL door de Antwerpse Zeehavendienst geïnformeerd over de werken.

4.1.2. WESAN-vergadering

Zoals het in het verslag van de eerste WESAN-vergadering dd. 10/12/1992 werd omschreven, wordt de WERKGROEP SANEREN opgericht, om de saneringswerken, die door de T.V. AMAL uitgevoerd worden, te begeleiden.

In de WESAN zijn vertegenwoordigd: het Bestuur (Antwerpse Zeehavendienst), de Technische Dienst van het Havenbedrijf, de OVAM, de T.V. AMAL, de studiegroep Betch-ERM, Smet Boring (droogzuiging), de milieudienst van de firma Jan De Nul (waterzuiveringsinstallatie) en een afvaardiging van de firma's BESIX en Van Laere.

In de WESAN wordt naar verantwoorde oplossingen gezocht in gemeenschappelijk overleg maar de taak van de WESAN blijft beperkt tot het geven van advies. Beslissingen worden door het Bestuur genomen.

De regelmaat waarmee deze vergaderingen plaatsvonden wordt weergegeven in figuur 4.1.

4.2. Milieu-technische begeleiding

De opdracht voor de milieu-technische begeleiding van de saneringswerken werd toevertrouwd aan de studiegroep Betch-ERM. De saneringswerken werden in twee fasen uitgevoerd. In een eerste fase werden de gronden ter hoogte van kaai 57 gesaneerd, in een tweede fase de gronden ter hoogte van het geplande wachtdok voor lichters.

4.2.1. Fase I: Kaai 57

4.2.1.1. Bemonsteringsstrategie

Ter begeleiding van de saneringswerken ter hoogte van kaai 57 werd, wat het bodemmateriaal betreft, de volgende bemonsteringsstrategie gevolgd.

Ter hoogte van kaaimuur 57 werden er 269 bemalingsfilters van 6 à 7 m diepte geplaatst door middel van spoelboringen (fig. 4.2). Per put werd er een mengmonster samengesteld van de verschillende spoelmonsters.

Organoleptisch werden er 42 stalen uit een totaal van 269 geselecteerd voor analyse. Om de kosten te drukken en toch het aantal te analyseren stalen zo hoog mogelijk te houden (milieurendement) werd besloten het volledige analysepakket op te splitsen. Er werd een anorganisch pakket samengesteld waarbij, naar aanleiding van eerder onderzoek, gekozen werd voor de bepaling van het gehalte cyaniden, koper, zink, kwik, arseen, lood, chroom en nikkel. De bepaling van het gehalte minerale olie, van de groepsparameter EOX (extraheerbare organohalogenen) en van de concentratie poly-aromatische koolwaterstoffen vormt de basis voor het organische pakket. Er werden 14 stalen geanalyseerd volgens het anorganische en 28 volgens het organische pakket.

Naast deze spoelmonsters werden er eveneens 6 bodemstalen genomen met de edelmanboor. Deze stalen werden genomen boven de grondwatertafel (= droge stalen) tot op een diepte van 2 m. Op de helft van de stalen werden er anorganische parameters geanalyseerd, op de andere helft werd het organische pakket uitgevoerd.

Uit de analyseresultaten van het bodemmateriaal (fig. 4.3 en figuur 4.4) bleek dat de meeste verontreiniging zich in de zone bevond die bemaald werd door de batterijen 2, 3 en 4. In deze zone werden er nog 8 bijkomende controleboringen uitgevoerd (fig. 4.5).

Op basis van deze controleboringen en de eerder bekomen analyseresultaten werden de verontreinigde plaatsen, waar selectief dient afgegraven te worden, aangewezen. Rond deze plaatsen werd een oppervlakte van 5 m op 5 m over een diepte van 5 m afgegraven. Dit materiaal werd tijdelijk gestockeerd en terug bemonsterd. Op basis van deze analyseresultaten werd dan beslist wat er met dit materiaal diende te gebeuren.

Naast het bodemmateriaal werd ook het water bemonsterd en geanalyseerd. Zoals hiervoor reeds vermeld werden er 269 bemalingsfilters geplaatst. Hierop werden 8 batterijen aangesloten waarop gepompt werd. Het water dat door deze 8 batterijen opgepompt werd kwam als influent in het bezinkingsbekken (bufferput) van de waterzuiveringsinstallatie terecht.



Foto 6. — Een zicht op de 269 bemalingsfilters ter hoogte van kaai 57 die aangesloten zijn op 8 batterijen om het water naar de waterzuiveringsinstallatie te pompen.

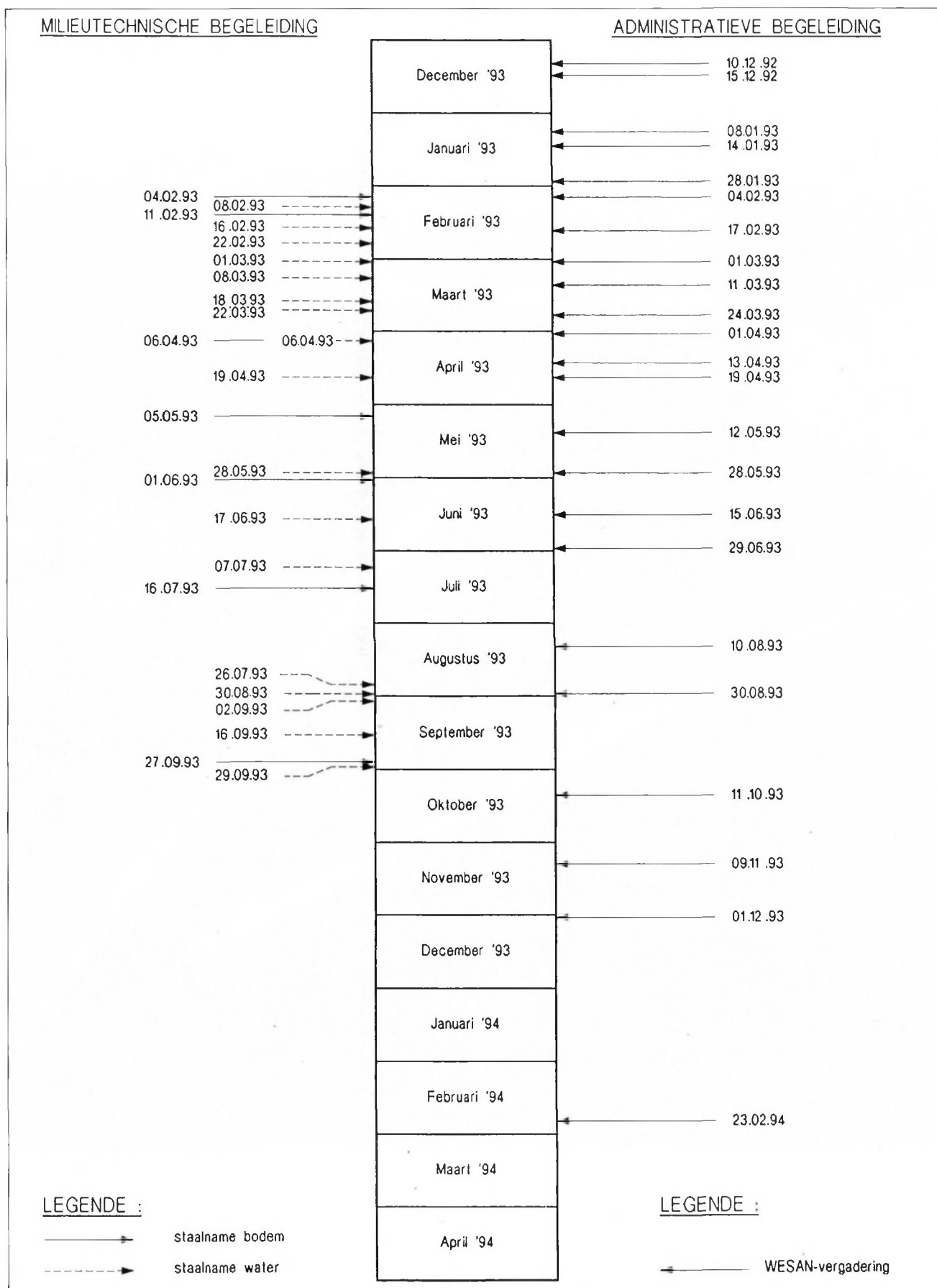


Fig. 4.1. — Administratieve en milieutechnische begeleiding.

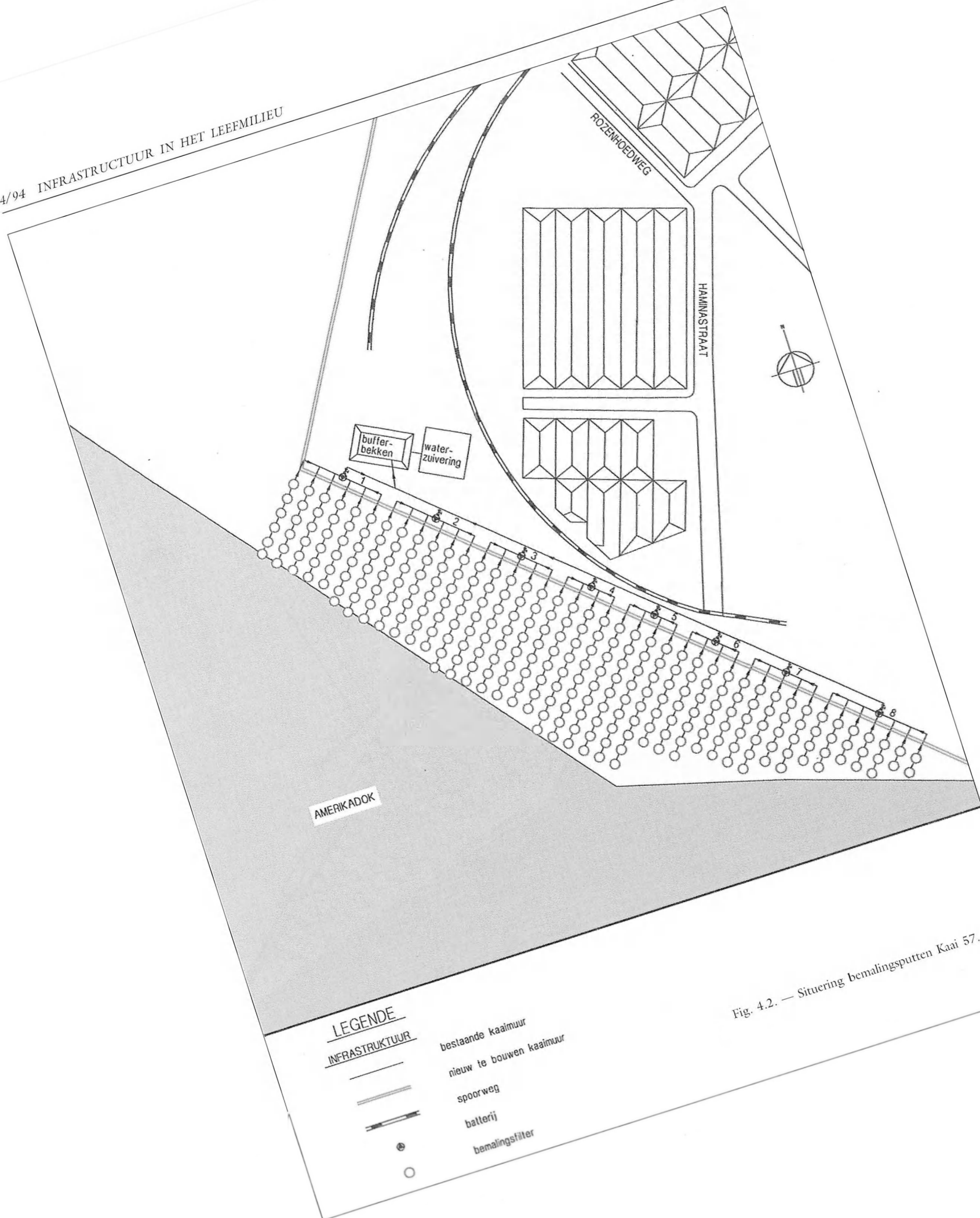


Fig. 4.2. — Situering bemaalingsputten Kaai 57.

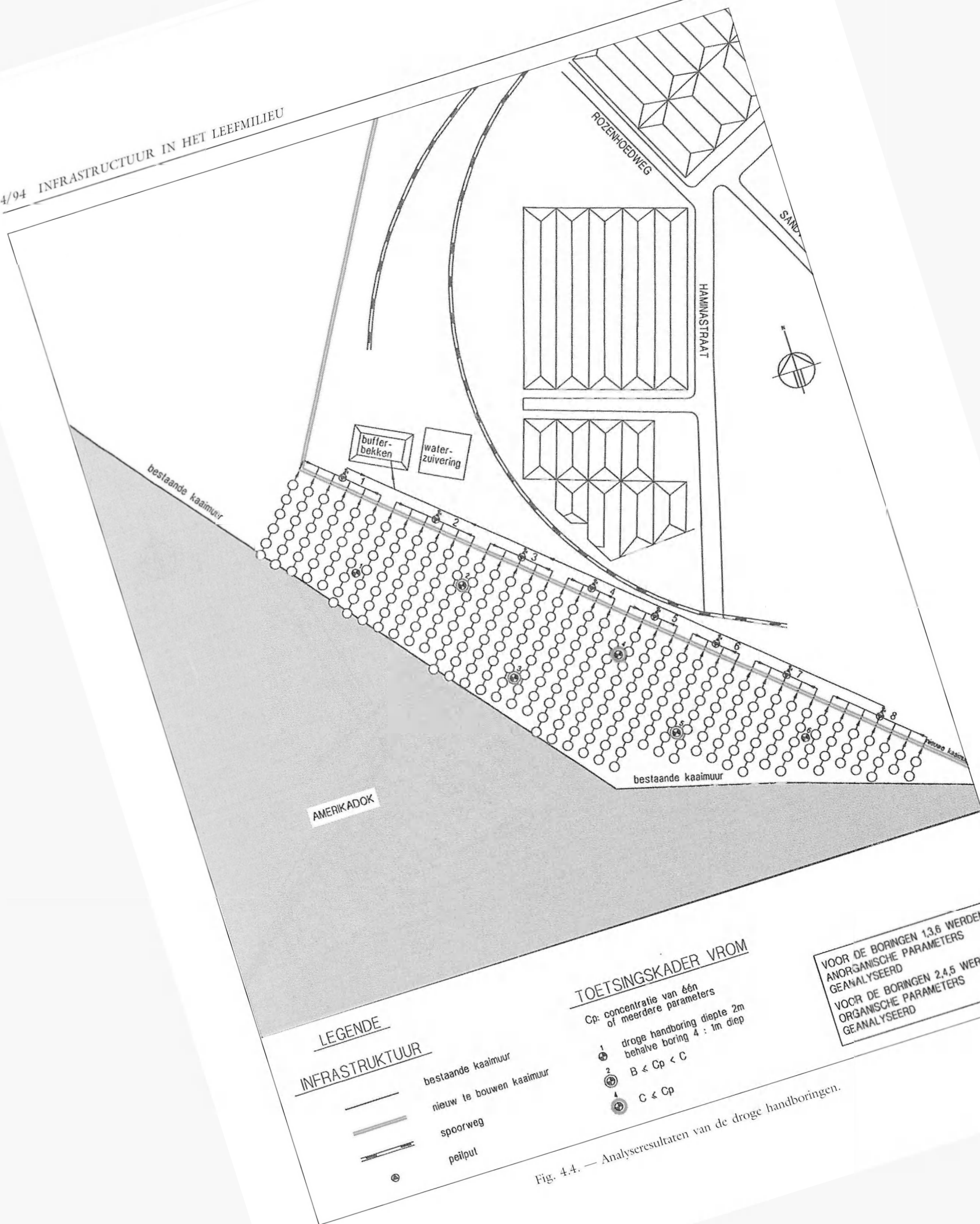


Fig. 4.4. — Analyse resultaten van de droge handboringen.

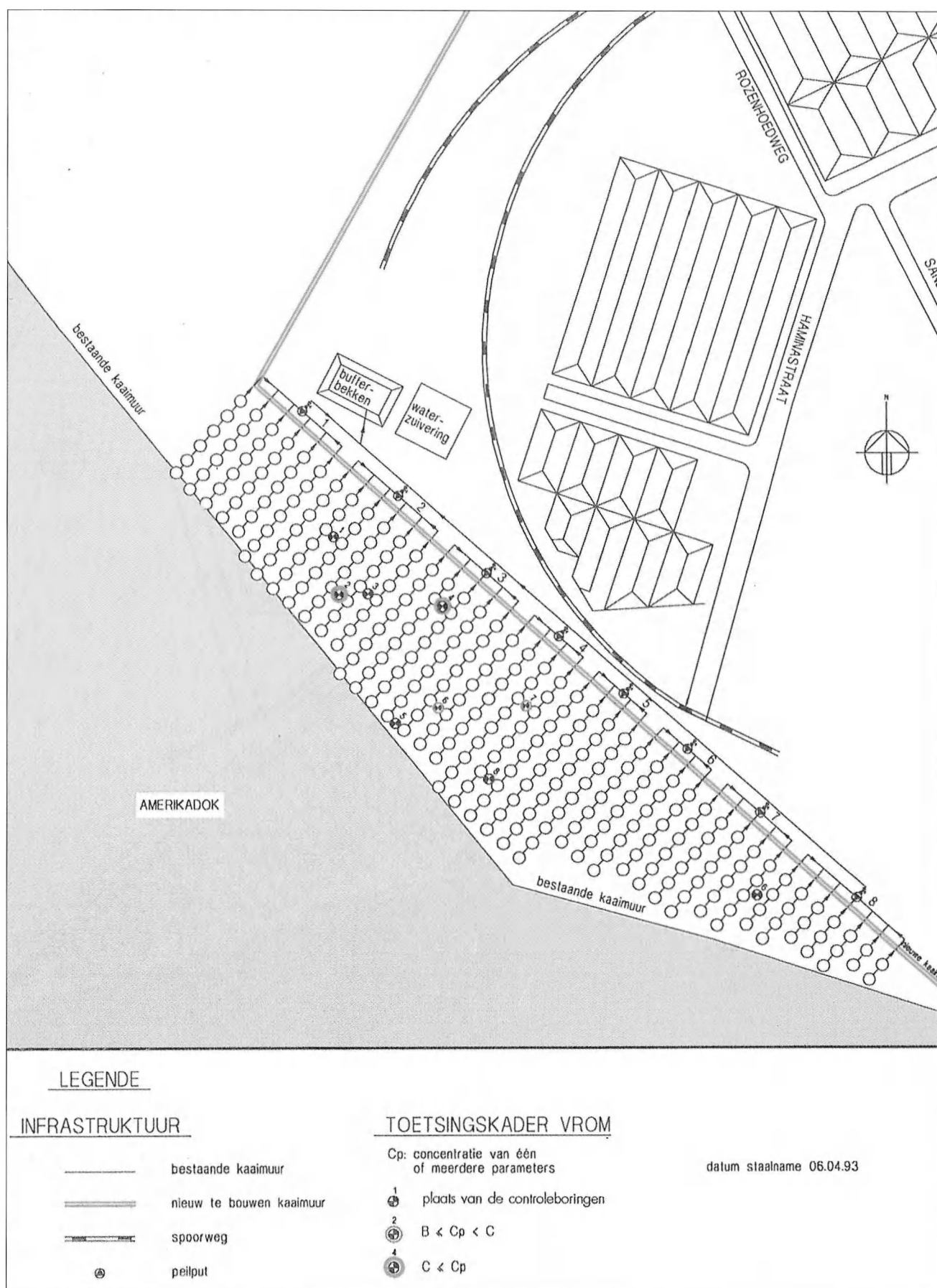


Fig. 4.5. — Situering van de controleboringen.

Voor de bemonstering van het influent werden de volgende varianten gebruikt. Als eerste mogelijkheid werden er 8 stalen genomen voor analyse, 1 uit elke batterij. Een tweede mogelijkheid was de staalname en analyse van 1 monster, dat een mengmonster was van 8 deelstalen. Daarnaast werd ook het effluent,

dat geloosd werd in het dokwater, bemonsterd en geanalyseerd. De regelmaat van de staalname wordt weergegeven in figuur 4.1. Het analysepakket werd aangepast in de loop van de bemalings/bemonsteringsperiode.



Foto 7. — Een meer gedetailleerd beeld van de batterijen waarop de bemalingsfilters zijn aangesloten. Ook een duidelijk beeld van de nieuwe kaaimuur.



Foto 8. — Via de ondiepe bemalingsfilters werd er water uit het Amerikadok opgepompt.

4.2.1.2. Fysisch-chemische karakterisatie

4.2.1.2.1. Keuze van het referentiekader

In het Vlare II werden er voor **bodem** toetsingswaarden opgenomen voor een erg beperkt aantal parameters (vnl. zware metalen). Gezien de onvolledigheid hiervan werden de analyseresultaten in het kader van deze werken geïnterpreteerd volgens de richtwaarden van VROM.

Elke parameter die voor het analysepakket werd gekozen is opgenomen in dit toetsingskader. Bovendien worden deze waarden gebruikt als richtinggevend voor de exploitatie van stortplaatsen, meer bepaald ook voor de Hooge Maey.

Voor de interpretatie van de analyseresultaten voor **water** wordt het KB van 1987 over de basiskwaliteitsnormen voor oppervlaktewater gebruikt, aangevuld met parameters vastgesteld door EG-richtlijnen, zoals weergegeven in het Vlare II. Ook de basiskwaliteitsnormen van het Besluit van de Vlaamse Executieve werden geraadpleegd (1987). De analyseresultaten van het dokwater werden eveneens in beschouwing genomen.

4.2.1.2.2. Interpretatie van de analyseresultaten

Op basis van de analyseresultaten van de genomen bodemonsters konden er 4 plaatsen aangeduid worden waar er meerdere parameters de C-waarden van VROM overschreden. Rond deze punten werd de grond afgegraven over een oppervlakte van 5 m

op 5 m en over een diepte van 5 m. Op die manier werden er 4 hopen van ongeveer 125 m³ bijeengebracht die tijdelijk gestockeerd werden. Van deze hopen werden een tiental deelstalen genomen die samengesteld werden tot een mengstaal dat geanalyseerd werd.

Op basis van de analyseresultaten van deze mengstalen werd er een definitieve beslissing genomen over de bestemming van dit materiaal. Hiervoor werd de procedure gevolgd die vooropgesteld werd in het protocol. Drie van de vier tijdelijk gestockeerde hopen kunnen alsnog in het Eerste Havendok gestort worden. Ongeveer 125 m³ dient afgevoerd te worden daar de C-waarde (VROM) werd overschreden.

Een selectie van de analyseresultaten van het influent en het effluent wordt weergegeven in de tabellen 4.1 en 4.2.

Aan de hand van de analyseresultaten van het influent in de loop van de bemalingsperiode kan duidelijk aangetoond worden dat de bemaling in belangrijke mate gevoed wordt door het dokwater (stijging van de conductiviteit, het chloride- en sulfaatgehalte). De voeding via het dokwater neemt toe naarmate de bemalingstijd toeneemt.

Daarnaast blijkt ook dat de vuilvracht van het bemalingswater geleidelijk afneemt (afname van het totale gehalte metalen, aromatische en polyaromatische koolwaterstoffen).

TABEL 4.1 — Analyseresultaten waterzuivering – influent

Analyse	Eenheid	Evolutie van het influent								
		08/02/93	16/02/93	22/02/93	01/03/93	08/03/93	17/03/93	22/03/93	02/04/93	19/04/93
<i>Fysico-chemische parameters</i>										
Zuurtegraad		7,8	7,6	7,6	7,4	7,3	7,4	7,2		7,54
Conductiviteit	mS/cm 20 °C	2,87	3,44	3,42	2,96	3,12	3,39	3,28		4,59
Zwevende stoffen	mg/l				17	12	43	18	12	4
<i>Chemisch onderzoek kationen</i>										
Ammonium	mg N/l				12,9	9,2	9,4	8	13	4
<i>Chemisch onderzoek anionen</i>										
Chloriden	mg/l				807	821	916	845	1120	1293
Fluoriden	mg/l				0,4	0,42	0,39	0,42	0,43	0,52
Nitrieten	mg/l				< 0,02	0,02	< 0,02	0,03	0,02	0,04
Nitraten	mg/l				< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Sulfaten	mg/l				130	142	166	170	220	300
Totaal fosfor	mg P/l				1,2	0,9	0,7	1	0,2	0,6
<i>Groepsparameters</i>										
Olie	mg/l	< 1	2	< 1	1	1	2	1	1	< 1
BOD	mg O ₂ /l			< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3
COD	mg O ₂ /l			55	65	69	44	52	85	57
EOX	mg org Cl/l	0,001	0,001	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

TABEL 4.1 — Analyseresultaten waterzuivering – influent. (vervolg)

Analyse	Eenheid	Evolutie van het influent								
		08/02/93	16/02/93	22/02/93	01/03/93	08/03/93	17/03/93	22/03/93	02/04/93	19/04/93
<i>Anorganische micropolluenten</i>										
Arseen	mg/l	0,009	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,005	0,004
Cadmium	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Chroom	mg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001	<0,010	<0,010	<0,010	<0,010
Koper	mg/l	0,02	<0,04	<0,04						
Kwik	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Lood	mg/l	<0,005	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,010	<0,010	<0,005	<0,005
Nikkel	mg/l	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025	<0,025
Zink	mg/l	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	0,02	0,01	<0,010	<0,010
Cyanide (tot)	mg CN/l	0,06	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Aromatische koolwaterstoffen</i>										
Benzeen	µg/l	0,4	0,1	0,4	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
Tolueen	µg/l	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	0,1
Tot. aanwezig xyleen	µg/l	0,4	0,6	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Ethylbenzeen	µg/l	0,1	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Propylbenzeen	Fmg/l	0,1	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Tot. aanw. trimethylbenzeen	Fmg/l	0,6	1	0,8	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,2
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Niet-aromat. gechloroerde KWS</i>										
Chloroform	Fmg/l	0,2	0,2	0,1						
1,1 Dichloorethaan	Fmg/l		<0,1	<0,1						
Trichloroethyleen	Fmg/l	<0,1	<0,1	<0,1						
Tetrachloroethyleen	Fmg/l	0,2	0,2	0,1						
1.1.1. Trichloorethaan	Fmg/l	<0,1	<0,1	<0,1						
1.2. Dichloorethaan	Fmg/l	<0,1	<0,1	<0,1						
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Poly-aromatische KWS (EPA)</i>										
Naftaleen	Fmg/l	0,46	1,61	1,66	0,55	0,16	0,4	1,78	0,28	1,05
Acenafthyleen	Fmg/l	0,09	<0,05	0,36	<0,05	0,42	0,15	0,26	<0,05	1,05
Acenaftheen	Fmg/l	0,55	2,74	3,06	2,28	1,14	1,12	2,03	0,51	1,69
Fluoreen	Fmg/l	0,25	1,23	1,38	1,01	0,14	<0,05	0,89	<0,01	0,99
Fenanthreen	Fmg/l	0,15	0,7	0,65	0,4	0,03	<0,01	0,59	0,03	0,84
Anthraceen	Fmg/l	0,03	0,16	0,13	0,14	0,04	0,06	0,17	0,03	0,19
Fluorantheen	Fmg/l	0,27	1,19	1,21	1	0,67	0,76	0,97	0,61	0,99
Pyreen	Fmg/l	0,13	0,52	<0,01	0,48	0,4	0,4	0,36	0,6	0,51
Benzo(a)anthraceen	Fmg/l	0,015	0,03	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Chryseen	Fmg/l	0,014	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02
Benzo(b)fluorantheen	Fmg/l	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
Benzo(k)fluorantheen	Fmg/l	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Benzo(a)pyreen	Fmg/l	0,005	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Dibenzo(a,h)anthraceen	Fmg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benzo(g,h,i)peryleen	Fmg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Indeno(1,2,3,c,d)pyreen	Fmg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
PAK-totaal		2	8,2	8,51	5,89	3,04	2,91	7,33	1,9	6,54

TABEL 4.2 — Analyseresultaten waterzuivering – effluent

Analyse	Eenheid	Evolutie van het effluent						Referentiekader		
		08/02/93	16/02/93	22/02/93	01/03/93	08/03/93	02/04/93	KB '87	B. Vl. Ex 87	Dok-water
<i>Fysico-chemische parameters</i>										
Zuurtegraad		7,9	7,7	7,9	7,7	7,7		6-9	6,5-8,5	7,9
Conductiviteit	mS/cm 20 °C	1,24	3,44	3,23	2,98	3,08			1	5,8
Zwevende stoffen	mg/l				6	3	<2			16
<i>Chemisch onderzoek kationen</i>										
Ammonium	mg N/l				10	9,3	2,8	2	1	0,8
<i>Chemisch onderzoek anionen</i>										
Chloriden	mg/l				772	827	885	250	200	1800
Fluoriden	mg/l				0,39	0,39	0,41		1,5	0,72
Nitrieten	mg/l				0,03	0,07	2,26		10	0,12
Nitraten	mg/l				<0,5	<0,5	8		10	3,2
Sulfaten	mg/l				132	139	240	150	100	328
Totaal fosfor	mg P/l				0,2	0,3	<0,2	1	1	<0,2
<i>Groepsparameters</i>										
Olie	mg/l	<1	<1	<1	2	1	<1			<1
BOD	mg 02/l			<3	<3	<3	<3	6	6	3
COD	mg 02/l			36	52	67	43		30	42
EOX	mg org Cl/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		0,005	<0,001
<i>Anorganische micropolluenten</i>										
Arsen	mg/l	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,05	0,03	0,004
Cadmium	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,005	0,0025	<0,001
Chroom	mg/l	<0,010	<0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,05	<0,01
Koper	mg/l	<0,04	<0,04	<0,04				0,05	0,03	
Kwik	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0005	0,0005	<0,001
Lood	mg/l	<0,0105	<0,010	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,05	<0,006
Nikkel	mg/l	<0,025	<0,025	<0,025	0,025	<0,025	<0,025	0,05	0,05	<0,025
Zink	mg/l	0,02	0,03	0,03	0,07	0,04	0,02	0,3	0,2	0,08
Cyanide (tot)	mg CN/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	<0,05
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Aromatische koolwaterstoffen</i>										
Benzeen	µg/l	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2	1	
Tolueen	µg/l	0,1	0,1	<0,1	0,2	0,1	0,1	2	1	
Tot. aanwezig xyleen	µg/l	0,4	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1	2	1	
Ethylbenzeen	µg/l	0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2	1	
Propylbenzeen	µg/l	0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2	1	
Tot. aanw. trimethylbenzeen	µg/l	0,4	0,7	0,3	0,3	0,2	0,1	2	1	
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Niet-aromat. gechloreerde KWS</i>										
Chloroform	µg/l	0,2	0,2	0,1				12		
1,1 Dichloorethaan	µg/l		<0,1	<0,1						
Trichloroethyleen	µg/l	<0,1	3,1	0,9				10		
Tetrachloroethyleen	µg/l	0,2	0,2	<0,1						
1.1.1. Trichloorethaan	µg/l	<0,1	5,4	1,2						
1.2. Dichloorethaan	µg/l	<0,1	<0,1	<0,1				10		
<i>Organische micropolluenten</i>										
<i>Poly-aromatische KWS (EPA)</i>										
Naftaleen	µg/l	0,66	<0,05	0,09	0,11	<0,05	<0,05	0,1		0,01
Acenafthyleen	µg/l	0,13	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1		<0,01
Acenaftheen	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,1		<0,01
Fluoreen	µg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	0,1		<0,01
Fenanthreen	µg/l	0,04	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01		<0,01
Anthraceen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Fluorantheen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Pyreen	µg/l	0,15	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Benzo(a)anthraceen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Chryseen	µg/l	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,1		<0,01
Benzo(b)fluorantheen	µg/l	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Benzo(a)pyreen	µg/l	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Dibenzo(a,h)anthraceen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Benzo(g,h,i)pervleen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
Indeno(1,2,3,c,d)pyreen	µg/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,1		<0,01
PAK-totaal		1,03	0,01	0,1	0,12		0,02		0,1	0,01

4.2.2. Fase II: Wachtdok voor lichters

Het beschouwde terrein werd onderverdeeld in zones (fig. 4.6). In elke zone werden er bodemstalen genomen. Er werden 10 mengmonsters geanalyseerd, elk samengesteld uit een tiental deelstalen.

Uit de analyseresultaten, weergegeven in tabel 4.3, blijkt dat de hoogste concentraties teruggevonden werden in de zones 5 en 7. Op basis van deze resultaten werd besloten ondiepe filters te plaatsen ter hoogte van de zones 5 en 7 zodat door bemaling de gronden konden uitgewassen worden. Ook werd er water aangebracht dat naar onder kan doorsijpelen.

Twee à drie maanden later werden er opnieuw stalen genomen in deze twee zones. Voor de zones 5 en 7 werden er tussen 0 en 3 m diepte in meerdere stalen verhoogde concentraties (groter dan de C-waarde van VROM) gemeten (fig. 4.7). Voorgesteld werd om het materiaal nog 1 maand extra uit te spoelen. Op deze manier werd getracht om de gemeten concentraties te doen dalen. Na deze uit-

wassingsperiode werden er dan opnieuw controlestalen genomen.

Bij dit controle-onderzoek werden de zones 5 en 7 onderverdeeld in 7, respectievelijk 5 subzones waarvan op twee verschillende dieptes terug mengstalen werden genomen en geanalyseerd (fig. 4.8). Uit de analyseresultaten bleek dat er geen verontreinigende stoffen bijkomend konden uitgewassen worden uit het bodemmateriaal van de zones 5 en 7 (tabel 4.4). De verontreinigingsgraad kon dus niet gereduceerd worden op deze manier.

Ter hoogte van het geplande wachtdok voor lichters werden er niet alleen ondiepe bemalingsfilters geplaatst maar werden er ook dieptebronnen (met filter onder de kleiige polderlaag) aangebracht. Er werden zowel watermonsters genomen van de ondiepe filters als van de dieptebronnen. Daarnaast werd ook het aanwezige oppervlaktewater bemonsterd. De regelmaat waarop deze bemonstering plaatsvond wordt weergegeven in figuur 4.1. Op basis van de analyseresultaten werd besloten de waterzuiveringsinstallatie stop te zetten eind september 1993.

TABEL 4.3 dd. 01/06/93 — Analyseresultaten bodemmateriaal

Parameters	Zone Eenheid	3	5	5	5	5	6	7	7	4+8	4+8	Referentiekader VROM		
		1-2 M	0-1 M	1-2 M	3 M	5 M	1-2 M	0-1 M	1-3 M	0-3 M	4-5 M	A	B	C
Droogrest	%	82	75,5	62,5	62	68,5	79	91	82,5	89,5	86,5			
<i>Anorganische mikropolluenten</i>														
Zink	mg/kg DS	137	9139	464	239	53	602	813	1939	56	109	200	500	3000
Arsen	mg/kg DS	17	29	43	25	12	16	19	35	14	17	20	30	50
Koper	mg/kg DS	47	1218	59	26	4,7	96	226	119	2,7	58	50	100	500
Kwik	mg/kg DS	0,2	0,6	1,6	0,5	<0,3	<0,3	1,8	0,4	<0,3	<0,2	0,5	2	10
Cadmium	mg/kg DS	0,7	1,9	3,8	2,3	0,6	<0,5	1,1	2,4	<0,5	0,7	1	5	20
Lood	mg/kg DS	71	766	160	68	17	83,5	223	116	12	30	50	150	600
Cyanide (tot)	mg CN/kg DS	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	65	<5	<5	1	10	100
<i>Minerale olie</i>														
Olie	mg/kg DS	43	41	174	6	0	220	177	1347	1	0	100	1000	5000
<i>PAK's</i>														
Naftaleen	mg/kg DS	0,66	3,7	1,01	1,73	0,86	<0,5	3,93	2,31	<0,5	<0,5	0,1	5	50
Acenaftyleen	mg/kg DS	<0,5	0,99	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,52	<0,5	<0,5			
Acenaftheen	mg/kg DS	<0,5	3,24	<0,5	0,99	1,28	<0,5	13,91	3,94	<0,5	<0,5			
Fluoreen	mg/kg DS	0,11	0,26	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,19	0,31	<0,1	<0,1			
Fenanthreen	mg/kg DS	0,65	3,62	0,59	0,71	0,37	1,17	8,61	2,4	<0,1	0,16	0,1	10	100
Anthraceen	mg/kg DS	0,14	1	0,18	0,15	<0,1	0,18	1,92	0,54	<0,1	<0,1	0,1	10	100
Fluorantheen	mg/kg DS	2,25	7,69	1,44	1,61	0,82	3,23	14,46	6,22	0,26	0,33	0,1	10	100
Pyreen	mg/kg DS	1,21	2,1	0,91	0,98	0,52	1,68	6,99	5,73	0,14	0,16	0,1	10	100
Benzo(a)anthraceen	mg/kg DS	0,92	3,1	0,82	0,5	0,26	0,81	4,39	3,03	<0,1	0,1		5	50
Chryseen	mg/kg DS	0,93	2,25	0,59	0,57	0,29	0,59	4,53	2,14	<0,1	<0,1		550	
Benzo(b)fluorantheen	mg/kg DS	1,1	2,4	0,61	0,54	0,3	0,7	3,78	2,49	<0,1	0,1			
Benzo(k)fluorantheen	mg/kg DS	0,51	1,2	0,32	0,29	0,15	0,38	1,97	1,36	<0,1	<0,1		5	50
Benzo(a)pyreen	mg/kg DS	0,9	2,33	0,56	0,51	0,27	0,84	3,02	2,49	<0,1	0,1	0,05	1	10
Dibenzo(ah)anthraceen	mg/kg DS	0,22	1,43	0,15	0,16	0,18	0,43	0,81	1,68	<0,1	<0,1			
Benzo(ghi)peryleen	mg/kg DS	0,59	2,04	0,38	0,26	0,13	0,61	0,89	1,72	<0,1	<0,1		10	100
Indenol(123-cd)pyreen	mg/kg DS	0,51	1,61	0,42	0,36	0,19	0,49	1,87	1,66	<0,1	<0,1		5	50
PAK-totaal	mg/kg DS	10,7	38,96	7,98	9,36	5,62	11,11	73,27	38,54	0,4	0,95	1	20	200

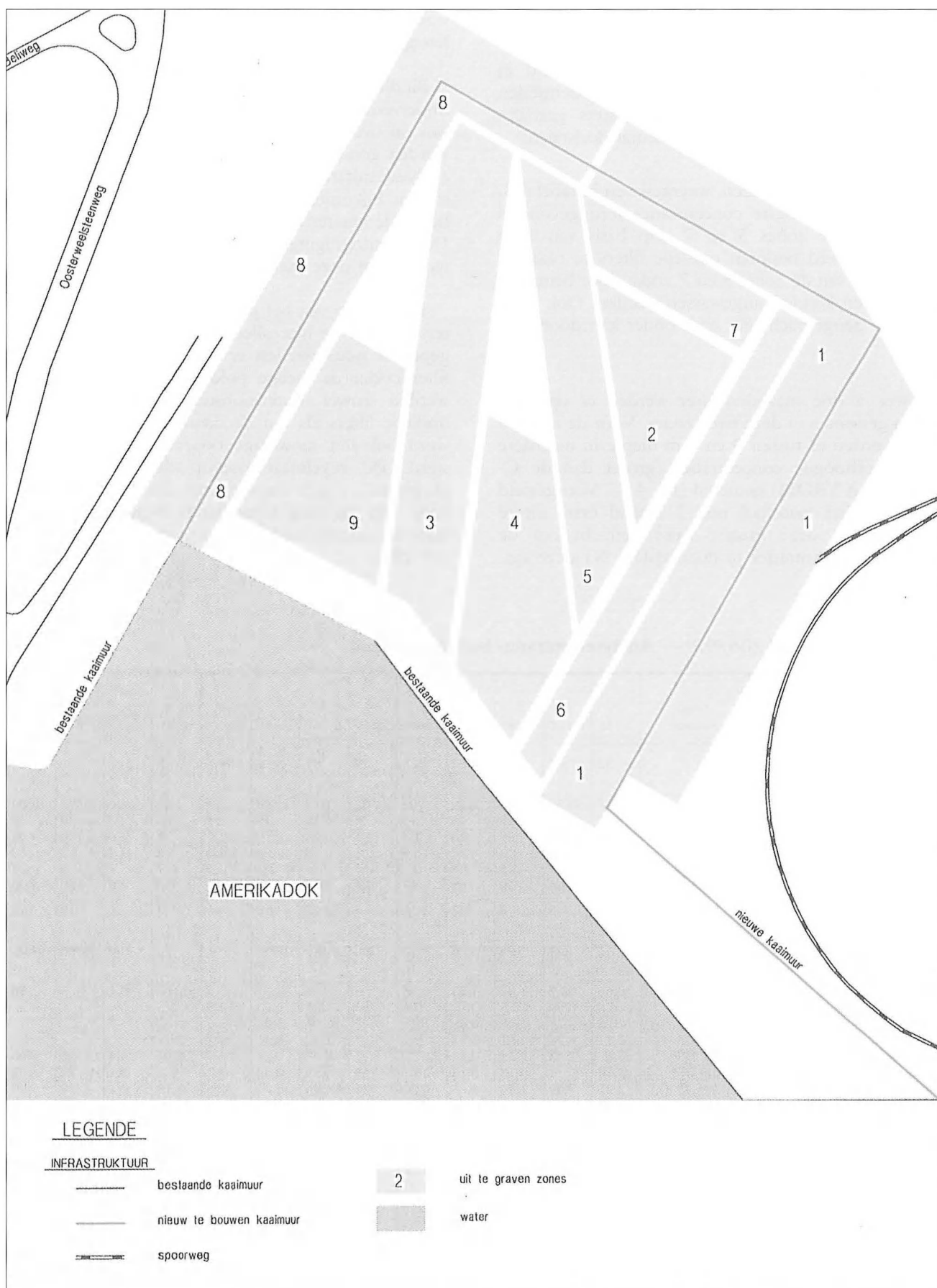


Fig. 4.6. — Overzicht uit te graven zones.

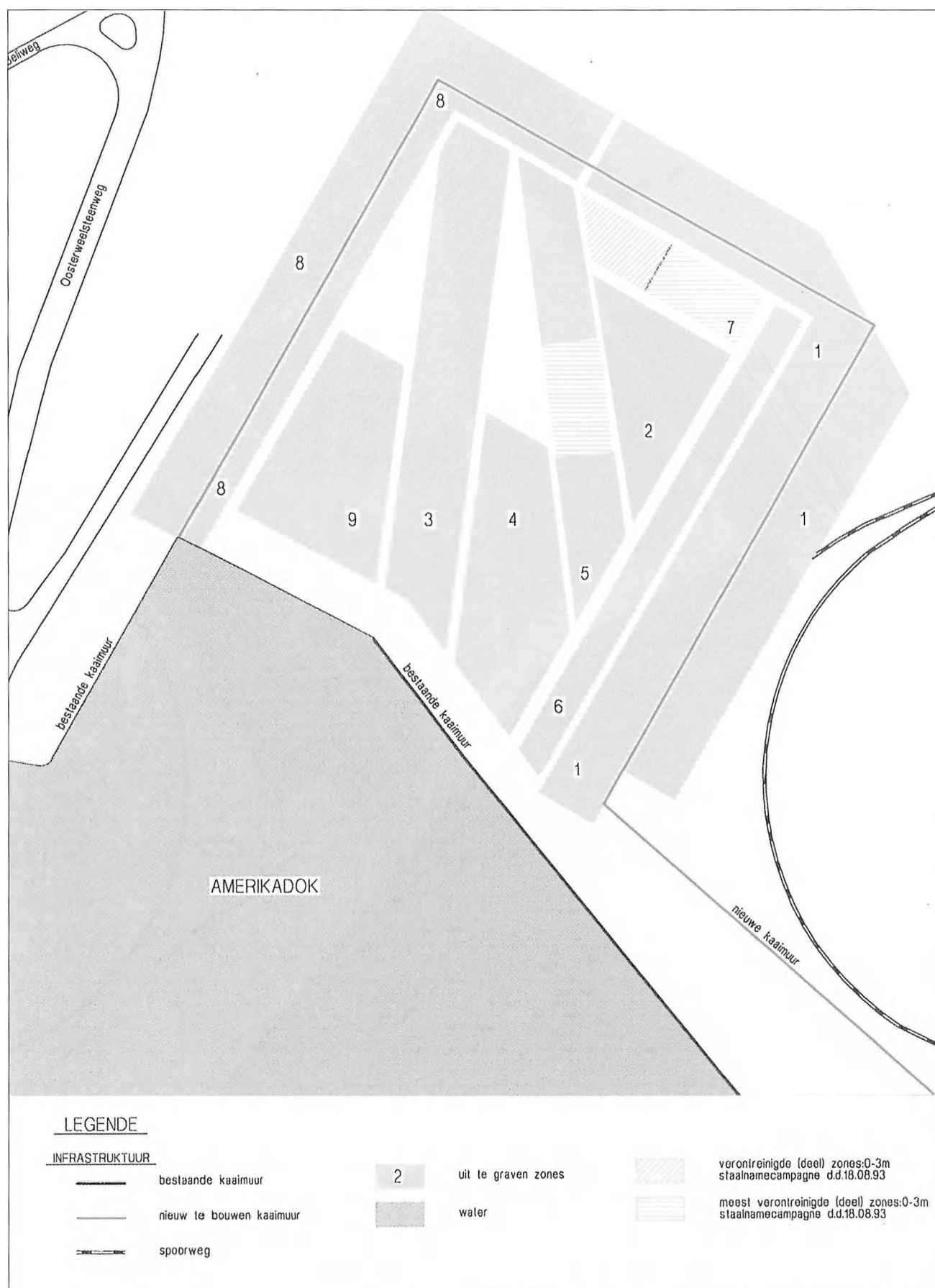


Fig. 4.7. — Situering bodemstaalname dd 18.08.93 met aanduiding van de meest verontreinigde zones.

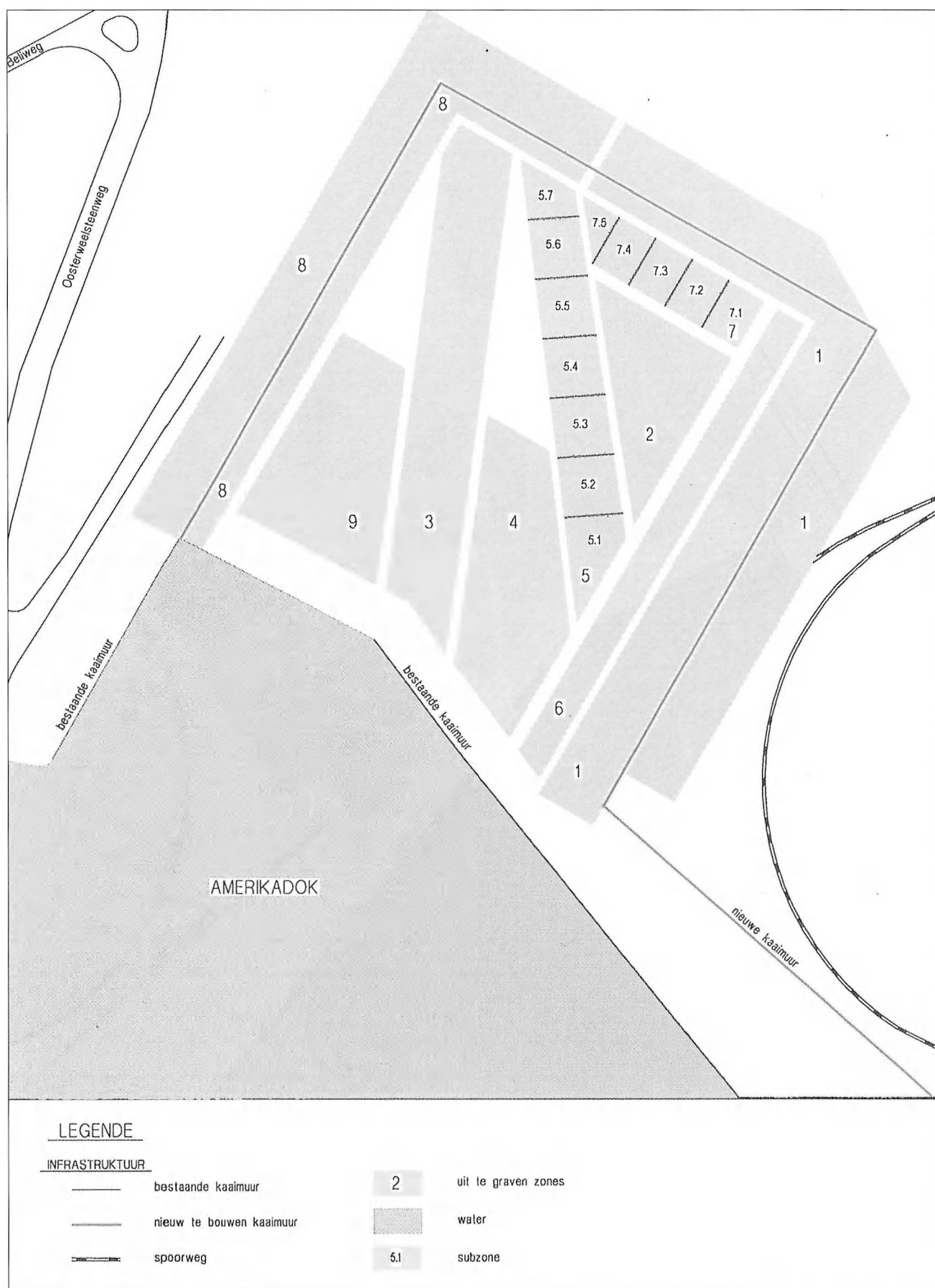


Fig. 4.8. — Zonale verdeling van de representatieve mengstalen.

TABEL 4.4 dd. 28/09/93 — Analyseresultaten bodem

Parameters	Zone Subzone Eenheid	5	5	5	5	5	5	5	5	Referentiekader			
		SZ 1	SZ 1	SZ 2	SZ 2	SZ 6	SZ 6	SZ 7	SZ 7	VROM			
		0-1,5 M	1,5-3 M	0-1,5 M	1,5-3 M	0-1,5 M	1,5-3 M	0-1,5 M	1,5-3 M	A	B	C	
<i>Groepsparameters</i>													
Apolaire koolwaterstoffen	mg/kg DS	460	358	266	326	217	150	<100	141		1000	5000	
<i>Anorganischemikropolluenten</i>													
Zink	mg/kg DS	1500	200	7700	150	270	215	230	470	200	500	3000	
Arseen	mg/kg DS	23	43	8	17	16	4,5	2,7	7	20	30	50	
Koper	mg/kg DS	870	22	290	<1	80	33	33	95	50	100	500	
Kwik	mg/kg DS	3,1	0,71	0,18	0,063	0,27	0,09	0,11	0,25	0,5	2	10	
Cadmium	mg/kg DS	1,5	1,2	<1	<1	2,3	1	<1	1	1	5	20	
Lood	mg/kg DS	1500	67	740	25	220	130	93	290	50	150	600	
Cyanide(tot)	mg CN/kg DS	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1	10	100	
<i>PAK's</i>													
Naftaleen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1	5	50	
Acenafyleen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
Acenaftheen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
Fluoreen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
Fenanthreen	mg/kg DS	0,2	0,1	0,4	0,2	1,1	0,2	0,2	0,8	0,1	10	100	
Anthraceen	mg/kg DS	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	<0,1	<0,1	0,3	0,1	10	100	
Fluorantheen	mg/kg DS	3,1	0,3	1,4	0,6	3,1	0,5	1	3,7	0,1	10	100	
Pyreen	mg/kg DS	0,3	0,2	1,2	0,5	2,7	0,5	0,9	4,1	0,1	10	100	
Benzo(a)anthraceen	mg/kg DS	0,6	0,1	0,6	0,2	1,1	0,2	0,3	1,7		5	50	
Chryseen	mg/kg DS	0,7	<0,1	1	0,4	1,5	0,3	0,6	2,5		5	50	
Benzo(b)fluorantheen	mg/kg DS	<0,1	0,1	0,6	0,2	1,1	0,2	0,4	1,5				
Benzo(k)fluorantheen	mg/kg DS	0,3	<0,1	0,3	0,1	0,5	0,1	0,2	0,7		5	50	
Benzo(a)pyreen	mg/kg DS	0,6	0,1	0,6	0,3	1,1	0,2	0,3	1,8	0,05	1	10	
Dibenzo(ah)anthraceen	mg/kg DS	0,1	<0,1	0,2	<0,1	0,4	<0,1	0,1	0,1				
Benzo(ghi)peryleen	mg/kg DS	0,3	<0,1	0,5	0,1	0,8	0,1	0,2	1		10	100	
Indenol(123-cd)pyreen	mg/kg DS										5	50	
PAK-totaal	mg/kg DS	6,3	1	6,8	2,6	13,6	2,3	4,2	18,2	1	20	200	

Parameters	Zone	5	5	5	5	5	5	Referentiekader		
	Subzone	SZ 3	SZ 3	SZ 4	SZ 4	SZ 5	SZ 5	VROM		
	Eenheid	0-1,5 M	1,5-3 M	0-1,5 M	1,5-3 M	0-1,5 M	1,5-3 M	A	B	C
<i>Groepsparameters</i>										
Apolaire koolwaterstoffen	mg/kg DS	222	607	195	162	<100	936		1000	5000
<i>Anorganische mikropolluenten</i>										
Zink	mg/kg DS	360	1000	380	320	200	690	200	500	3000
Arsen	mg/kg DS	24	58	30	38	7,3	49	20	30	50
Koper	mg/kg DS	60	270	40	41	160	100	50	100	500
Kwik	mg/kg DS	0,6	2,5	1,8	1,4	0,2	2,8	0,5	2	10
Cadmium	mg/kg DS	2	7,4	2,7	2,9	1,7	6,7	1	5	20
Lood	mg/kg DS	140	360	100	120	90	200	50	150	600
Cyanide (tot)	mg CN/kg DS	3	1	<1	<1	<1	<	1	10	100
<i>PAK's</i>										
Naftaleen	mg/kg DS	0,2	0,5	0,2	0,4	0,2	0,5	0,1	5	50
Acenafyleen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Acenaftheen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1			
Fluoreen	mg/kg DS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1			
Fenanthreen	mg/kg DS	0,4	1,7	1,6	0,4	0,8	0,5	0,1	10	100
Anthraceen	mg/kg DS	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	10	100
Fluorantheen	mg/kg DS	1,2	2	2,3	1	2	1,4	0,1	10	100
Pyreen	mg/kg DS	1,2	3,2	3,4	1	2,1	1,5	0,1	10	100
Benzo(a)anthraceen	mg/kg DS	0,4	1,2	1,3	0,4	0,9	0,5		5	50
Chryseen	mg/kg DS	0,6	1,5	1,7	0,5	1,2	0,7		5	50
Benzo(b)fluorantheen	mg/kg DS	0,4	1,1	1,2	0,4	0,8	0,6			
Benzo(k)fluorantheen	mg/kg DS	0,2	0,5	0,5	0,2	0,4	0,3		5	50
Benzo(a)pyreen	mg/kg DS	0,4	1,2	1,1	0,4	0,9	0,6	0,05	1	10
Dibenzo(ah)anthraceen	mg/kg DS	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3			
Benzo(ghi)peryleen +	mg/kg DS	0,1	0,8	0,5	0,3	0,4	0,6		10	100
Indenol(123-cd)pyreen	mg/kg DS								5	50
PAK-totaal	mg/kg DS	5,3	14,3	14,3	5,3	9,9	7,7	1	20	200

4.2.3. Waterzuiveringsinstallatie

4.2.3.1. Algemeen



Foto 9. — Op de voorgrond de mobiele waterzuiveringsinstallatie en een deel van de af te graven gronden van kaai 57. Op de achtergrond de gronden ter hoogte van het geplande wacht dok voor lichten.

Gezien de lage BOD/COD verhouding en de korte projectduur, werd van een biologische sanering afgezien. Dit betekende een makkelijk te opereren doch duurder fysisch-chemische zuivering.

Een chemische zuivering wordt bekomen door ozondosering (O_3). Ozonatie is een milieuvriendelijk zuiveringssysteem omdat geen milieuvreemde stoffen worden toegevoegd. De ozon zal chemisch reageren met polluenten.

De fysische zuivering situeert zich t.h.v. de filters. In tegenstelling tot de chemische zuivering, geldt hier als principe dat de verontreiniging wordt geconcentreerd op de filters. Dit gebeurt op een fysische

manier (zeving door zandfilter) of een fysico-chemische manier (adsorptie op de koolfilter).

Gezien de volledige verwijdering van de EOX en PAK's vooropgesteld werd, was een actief koolfilter een noodzaak. Dit impliceert echter grote kosten, niet alleen m.b.t. de aankoop, maar ook m.b.t. het onderhoud en de verwerking (storten, regeneratie, verbranden).

Daarom werd vóór de actief koolfilter een ozonatie voorzien. Deze dient als buffer voor de actief koolfilter (risico voor doorslaan bij piekbelastingen verlagen). Vóór de koolfilter werd eveneens een zandfilter voorzien om het verstopping van de koolfilter tegen te gaan.

4.2.3. Waterzuiveringsinstallatie

4.2.3.1. Algemeen



Foto 9. — Op de voorgrond de mobiele waterzuiveringsinstallatie en een deel van de af te graven gronden van kaai 57. Op de achtergrond de gronden ter hoogte van het geplande wacht dok voor lichten.

Gezien de lage BOD/COD verhouding en de korte projectduur, werd van een biologische sanering afgezien. Dit betekende een makkelijk te opereren doch duurdere fysisch-chemische zuivering.

Een chemische zuivering wordt bekomen door ozon dosering (O_3). Ozonatie is een milieuvriendelijk zuiveringssysteem omdat geen milieuvreemde stoffen worden toegevoegd. De ozon zal chemisch reageren met pollutanten.

De fysische zuivering situeert zich t.h.v. de filters. In tegenstelling tot de chemische zuivering, geldt hier als principe dat de verontreiniging wordt geconcentreerd op de filters. Dit gebeurt op een fysische

manier (zeving door zandfilter) of een fysico-chemische manier (adsorptie op de koolfilter).

Gezien de volledige verwijdering van de EOX en PAK's vooropgesteld werd, was een actief koolfilter een noodzaak. Dit impliceert echter grote kosten, niet alleen m.b.t. de aankoop, maar ook m.b.t. het onderhoud en de verwerking (storten, regeneratie, verbranden).

Daarom werd vóór de actief koolfilter een ozonatie voorzien. Deze dient als buffer voor de actief koolfilter (risico voor doorslaan bij piekbelastingen verlagen). Vóór de koolfilter werd eveneens een zandfilter voorzien om het verstopping van de koolfilter tegen te gaan.

De waterzuiveringsinstallatie was een tijdelijke installatie waarin zoveel mogelijk met flexibele leidingen werd gewerkt. Dit maakte het eveneens mogelijk de volgorde van saneringsprocédés om te keren naargelang de aard van de binnenkomende verontreiniging.

Op verschillende plaatsen in de installatie zijn monsternameplaatsen voorzien zodat het effect van de verschillende componenten kan geëvalueerd worden.



Foto 10. — De mobiele waterzuiveringsinstallatie, opgebouwd uit verschillende modules. Op de voorgrond het bufferbekken, op de achtergrond de gronden waarop 269 bemalingsfilters werden geplaatst.

4.2.3.2. Beschrijving

De globale installatie bestaat uit de volgende componenten:

- a. **bufferbekken**: Het bekken doet dienst als buffer- en bezinkingsbekken. De afmetingen zijn 10 m bij 20 m, met een diepte van 2 m en 6/4 taluds. Het bekken is bekleed met een HDPE folie van 2 mm dik.

Eventueel kon in het bekken een beluchting gebeuren voor de oxydatie van ijzer (Fe^{2+}). Het water wordt opgepompt d.m.v. een dompelpomp die beschermd wordt door een vetvang.



Foto 11. — Waterzuiveringsinstallatie 1e trap: ozonatie.

- b. **ozon dosering**: In een contactvat wordt ozon gedoseerd. Het gaat hier om een chemische reactie waarbij het pollutent afgebroken wordt. Dit is eveneens in tegenstelling tot actieve kool waarbij het pollutent enkel gefixeerd wordt.

Onder hoogspanning (8.000 V) wordt zuivere zuurstof (O_2) omgezet tot ozon (O_3). Ozon wordt gekarakteriseerd door een sterk oxydatievermogen.

Zelfs chemisch zeer stabiele verontreinigingen (en daarom vaak moeilijk biodegradeerbaar) kunnen door ozon worden afgebroken. De ozon

wordt als gas in het verontreinigde water gedoseerd. De ozon lost praktisch onmiddellijk op en zal vervolgens reageren met oxydeerbaar materiaal. In deze installatie is een contactvat voorzien met een verblijftijd van enkele uren, wat als een voldoende reactietijd wordt beschouwd.

De pollutenten worden door ozon afgebroken tot kleinere, minder schadelijke, componenten of ze worden volledig geoxydeerd tot CO_2 . De reactiesnelheid is sterk afhankelijk van de chemische structuur van de pollutent. In de gebruikte



Foto 12. — Waterzuiveringsinstallatie 1e trap: ozonatie.

opstelling konden volgende rendementen verwacht worden (eerste orde reactie):

polluent	% van initiële concentratie afgebroken in 1 uur
benzeen	60
xyleen	100
naftaleen	100
fenol	100
ammonium	20
nitriet	100

- c. **influenttank**: De tank (20 m^3) is voorzien van beluchtingsleidingen voor de eventuele stripping van vluchtige componenten (rendement $\pm 50\%$). Op de vertrekleiding uit de tank wordt het debiet van de installatie gestuurd.
- d. **zandfilter**: De zandfilter (12 m^3) bevat grof zand met frakcie 0.8-1.2 mm. De zandfilter fungeert als een zeef, waarbij zand, slib, ijzeroxydes, enz. tegengehouden worden. Eveneens kan zich bovenaan enige biologische activiteit ontwikkelen en dit voornamelijk met betrekking tot de oxydatie (precipitatie) van ijzer ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) en mangaan ($\text{Mn}^{2+} \rightarrow \text{Mn}^{4+}$). Eventueel kan dit een extra beluchting in het bufferbekken vereisen. De zandfilter biedt bescherming tegen het dicht-slibben van de actief koolfilter. Door middel van een regelbaar tijdsrelais wordt de filter automatisch teruggespoeld. Tevens is een drukmeting voorzien zodat bij vroegtijdig verstoppingen manueel kan worden terug gespoeld.
- e. **actief koolfilter**: Actieve kool wordt gemaakt uit dennehout. Door verkoling bij verschillende temperaturen wordt een specifieke kool bekomen (= grafiet).



Foto 13. — Waterzuiveringsinstallatie 2e trap: filtratie (zand).



Foto 14. — Waterzuiveringsinstallatie 2e trap filtratie (actieve kool).

Alle actieve kool wordt gekarakteriseerd door een groot specifiek oppervlak, gaande van 500 tot 1.300 m²/g. Dit garandeert een grote beschikbare oppervlakte voor adsorptie van polluenten. Dit grote oppervlak wordt bekomen door de vele kanaaltjes en poriën die in de kool voorkomen. Niet alle plaatsen zijn echter toegankelijk voor alle polluenten. Gezien de fragmentatie van de polluenten door ozon in kleinere, meer biodegradeerbare, producten kan een aanzienlijke biologische activiteit op de actieve kool verwacht worden.

Bij zeer grote chemische verbindingen (bv. oliën) bestaat de kans dat de koolfilter bovenaan toeslibt. Hetzelfde geldt voor grovere partikels (zand, slib, enz.). Deze moeten absoluut op voorhand verwijderd worden. In de actief koolfilter worden de verontreinigingen geadsorbeerd op basis van hun grootte. De verontreiniging van het water wordt met andere woorden geconcentreerd in de filter. Op het einde van de sanering moet dit beschouwd worden als chemisch afval en dient dit materiaal verbrand te worden. Partikels die toch voorbij de zandfilter geraken kunnen deze filter verstopen. Daarom is de mogelijkheid voorzien om deze filter manueel terug te spoelen.

- f. **spoelwatertank:** Het water dat uit de actief koolfilter komt wordt tijdelijk opgeslagen in de spoelwatertank. Dit water wordt gebruikt om de zandfilter en eventueel de actief koolfilter terug te spoelen.
- g. **vuilwatertank:** Het water afkomstig van het spoelen van de filters komt terecht in de vuilwatertank. Hierin bezinkt het water gedurende een bepaalde periode (manueel instelbaar, in dit geval werd een periode van 5 uur ingesteld). Nadien wordt het bovenstaande water teruggepompt naar de influenttank. In de vuilwatertank gebeurt dus een aanrijking van bezonken slib dat regelmatig door een tankwagen dient opgehaald en gestort te worden.
- h. **lozingsput:** Gezien de afwezigheid van een nabije riolering wordt het gezuiverde water d.m.v. een flexibele leiding geloosd in het dok.

5. RESULTATEN VAN DE UITGEVOERDE SANERINGSOPERATIES

5.1. Fase I

Op basis van de onderzoeksresultaten van de analyses die werden uitgevoerd tijdens de saneringswerken kwam men voor de gronden ter hoogte van kaai 57 tot de volgende vaststellingen:

- via de bodemonsternamecampagne konden de meest verontreinigde zones afgebakend worden;

deze zones werden selectief ontgraven en het materiaal werd tijdelijk gestockeerd; er werden opnieuw stalen genomen en op basis van de analyseresultaten kon de bestemming van het materiaal, volgens de procedures weergegeven in het protocol, vastgelegd worden

- het materiaal waarin concentraties werden gemeten boven de C-waarden van VROM diende afgevoerd te worden, het overige kon gebruikt worden voor de opvulling van het Eerste Havendok
- de permanente bemaling via de 269 ondiepe bemalingsfilters werd in belangrijke mate gevoed door het dokwater: naarmate de bemalingstijd toenam werd de invloed van het dokwater groter wat via de analyseresultaten kon aangetoond worden door een toename van de conductiviteit van het opgepompte water en een toename van het chloride- en sulfaatgehalte
- dat de gronden als het ware uitgespoeld werden kon aangetoond worden aan de hand van de analyseresultaten die de evolutie van het influent weergeven: de vuilvracht van het bemalingswater neemt geleidelijk af (afname van het totale gehalte aan metalen, aromatische en poly-aromatische koolwaterstoffen)

5.2. Fase II

Voor de gronden ter hoogte van het toekomstige wachtdok voor lichters kwam men op basis van de onderzoeksresultaten tot de volgende besluiten:

- via de bodemonsternamecampagne kon aangetoond worden dat het meest verontreinigde materiaal kon teruggevonden worden in de zones 5 en 7, meer bepaald in de subzones 1, 2 en 3 (fig. 4.8); in dit materiaal, wat ongeveer een volume van 5.000 m³ vertegenwoordigt, werden waarden gemeten boven de C-waarden van VROM zodat het volgens het protocol niet kon gebruikt worden voor de opvulling van het Eerste Havendok
- gezien uit de controleboringen bleek dat de verontreinigingsgraad van dit materiaal, na 1 maand extra uitspoelen, niet kon gereduceerd worden, dienden deze subzones selectief ontgraven te worden
- door de OVAM werd een afwijking op het protocol toegestaan om deze gronden alsnog te bergen in het Eerste Havendok, mits het materiaal op een duidelijk gelocaliseerde plaats boven het grondwaterpeil werd aangebracht en mits bij de nabestemming de bodem van het vroegere havendok voldoende ondoorlatend werd afgedicht zodat percolaatvorming en uitloging voorkomen kan worden

5.3. Effect van de waterzuiveringsinstallatie



5.3.1. Effect op het bemalingswater

debiet: 20 m³/h

volume bufferbekken: 400 m³

volume ozon contactvat: 100 m³

ozondosering: 3 kg O₃/dag (6 ppm)

volume zandfilter: 18 m³

volume koolfilter: 18 m³

polluent (dimensie)	influent	effluent	rendement (%)
benzeen	0.25	0	100
fenolen	2.2	0.8	64
naftaleen	0.76	0	100
PAK's	3.5	0.14	96
EOX	25	1	88
SS	38	3	92
COD	65	59	9
Fe	5707	442	92
Pb	10	2.5	75
Cu	28	7.5	73
As	6	1.8	70

Effect van de verschillende componenten

Ter hoogte van de saneringsinstallatie werden volgende monsternamapunten voorzien:

- ingang bufferbekken: nagaan kwaliteit grondwater
- ingang ozoncontactvat: nagaan effect bufferbekken
- uitgang ozoncontactvat: nagaan effect ozon
- uitgang properwatertank: nagaan effect zandfilter + koolfilter

Hieruit blijkt dus dat voornamelijk het effect van de ozon en de filters werd bestudeerd.

5.3.1.1. Verloop van de polluenten

5.3.1.1.1. Zwevende stoffen

voor ozon	na ozon	na filters
14	37	3.5

Opvallend is de stijging van zwevende stoffen na de ozonbehandeling. Dit kan voornamelijk verklaard worden door de oxydatie van ijzer dat als ijzeroxyde zal neerslaan.

Deze oxyden worden vervolgens door de zandfilter tegengehouden.

5.3.1.1.2. Zware metalen

metaal	voor ozon	na ozon	na filters
Cu	15	12	7
Pb	13	6	2
As	7	5	2

Opvallend is de daling die wordt waargenomen m.b.t. de zware metalen.

De verwijdering van zware metalen kan verklaard worden door de incorporatie van allerlei metalen in de ijzeroxyden die gevormd worden tijdens de ozonatie. Vervolgens zullen zij tegengehouden worden als slib op de zandfilter. Dit werd bevestigd door de analyse van het zandfilterslib dat sterk verontreinigd was door zware metalen.

5.3.1.1.3. PAK

voor ozon	na ozon	na filters
2.63	0.188	0.054
1.017	0.410	0.024
0.148	0.140	0.02

Het effect van de behandeling is vrij duidelijk. Bij hogere concentraties werden de PAK's vrij effectief verwijderd door ozonisatie (90%). Bij lagere concentraties werd voornamelijk een verwijdering door de actiefkoolfilter verwacht.

Deze verwijdering trad inderdaad op t.h.v. de filters.

Verrassend is echter de hoge concentraties aan PAK's die teruggevonden werden op het zandfilterslib. Daaruit blijkt dat ook het effect van de zandfilter niet mag uitgesloten worden. Opvallend is dat zonder ozonisatie de PAK normen niet gehaald worden (tijdens de opstart in februari).

5.3.1.1.4. COD

voor ozon	na ozon	na filters
64	81	63

Voor COD treedt een eigenaardig fenomeen op dat reeds verschillende malen in de literatuur is vermeld maar niet volledig kan verklaard worden.

Niettegenstaande ozon een sterk oxydans is (oxydeert de COD), stijgt de COD-waarde na behandeling i.p.v. te dalen.

Dit fenomeen wordt soms ook waargenomen met H_2O_2 (waterstofperoxyde - zuurstofwater) behandelingen.

Hiervoor zijn 2 mogelijke verklaringen:

- ozon breekt bepaalde chemische verbindingen die niet als COD gedetecteerd worden in kleinere stukken die wel als COD bepaald worden;
- een deel van de ozon is nog niet weggereageerd en wordt zelf tijdens de COD bepaling verder geoxydeerd door CrO_4^{2-}

5.3.1.2. Effect van de verschillende componenten

Zuiveringscomponent	Parameters waarop effect werd gemeten
ozon	fenolen, PAK's
zandfilter	zwevende stoffen, PAK's
actief koolfilter	fenolen, PAK's
ozon + zandfilter	zware metalen

In bovenstaande tabel worden dus de verschillende behandelingsmodules weergegeven evenals de parameters waarvoor duidelijke effecten werden gemeten.

Niettegenstaande de zandfilter als noodzakelijk kwaad is bedoeld voor de bescherming van de actief koolfilter tegen dichtslibben, blijkt de combinatie ozonatie-zandfilter vrij effectief voor de verwijdering van (zware) metalen.

5.3.2. Effect op de grondwaterkwaliteit

5.3.2.1. Conductiviteit

In functie van de tijd blijkt een stijging waarneembaar voor wat de conductiviteit betreft (fig. 5.1). Dit wijst op het feit dat dokwater met een hogere conductiviteit in de gronden getrokken wordt. Dezelfde tendens en verklaring is merkbaar voor de chloride- (fig. 5.2) en sulfaatconcentratie (fig. 5.3).

5.3.2.2. Zware metalen

Het gehalte aan zware metalen in het influent neemt gevoelig met de tijd af (fig. 5.4). Gezien de

concentratie in het water afhankelijk is van de concentratie in de verontreinigde bodem mag men op dit vlak een zeker effect van de zuivering verwachten. Naar het einde van de behandelingsperiode waren zware metalen bijna niet meer detecteerbaar in het bemalingswater.

5.3.2.3. Aromatische KWS

Dezelfde tendens en verklaring als bij zware metalen kan hier aangehaald worden (fig. 5.5).

5.3.2.4. Poly-aromatische KWS

In de loop van de bemalingsperiode neemt de concentratie PAK's in eerste instantie toe wat er zou kunnen op wijzen dat de PAK's goed vastzitten aan de bodemdeeltjes en pas na een bepaalde periode van bemaling in de waterfractie komen. Daarna neemt de gemeten concentratie terug af met echter nog een piek op 22/03/93. Deze piek zou eventueel kunnen verklaard worden door het tijdelijk stilliggen van de installatie of een deel ervan zodat de hoeveelheid water die in het bekken komt minder is en de concentratie gemeten PAK's hoger is. De concentratie die op 02/04/93 gemeten werd is aanzienlijk lager.

Op 19/04/93 werd er terug een staal genomen waarin men een hogere concentratie meet. Dit kan echter verklaard worden door het feit dat er op dat ogenblik nog slechts 4 batterijen in werking zijn in plaats van 8 (fig. 5.6).

6. REALISATIE SELECTIEVE AFGRAVING IN FUNCTIE VAN DE ONDERZOEKSRESULTATEN

Op basis van uitgebreide bodemonsternamencampagnes werden die zones afgebakend waarin er concentraties werden gemeten groter dan de C-waarde van VROM. Voor de gronden ter hoogte van kaai 57 werd er een paar honderd ton selectief afgegraven en afgevoerd. In de zones 5 en 7 ter hoogte van het geplande wachtdok werd er ongeveer 7500 ton selectief afgegraven. Voor deze laatste gronden werd er een afwijking op het protocol toegestaan door de OVAM mits voldaan werd aan bepaalde voorwaarden. De berging van het materiaal diende te gebeuren op een duidelijk gelocaliseerde plaats boven het grondwaterpeil en bij de nabestemming dient de bodem voldoende ondoorlatend afgedicht te zijn.

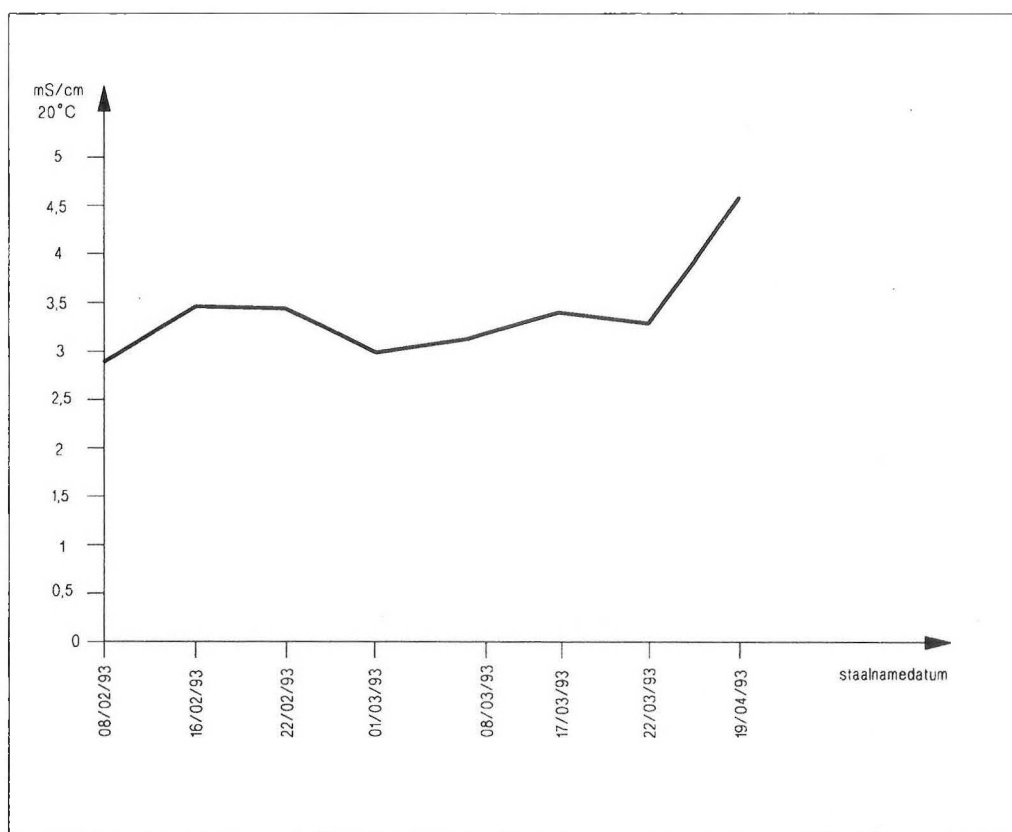


Fig. 5.1. — Evolutie van het influent. Conductiviteit.

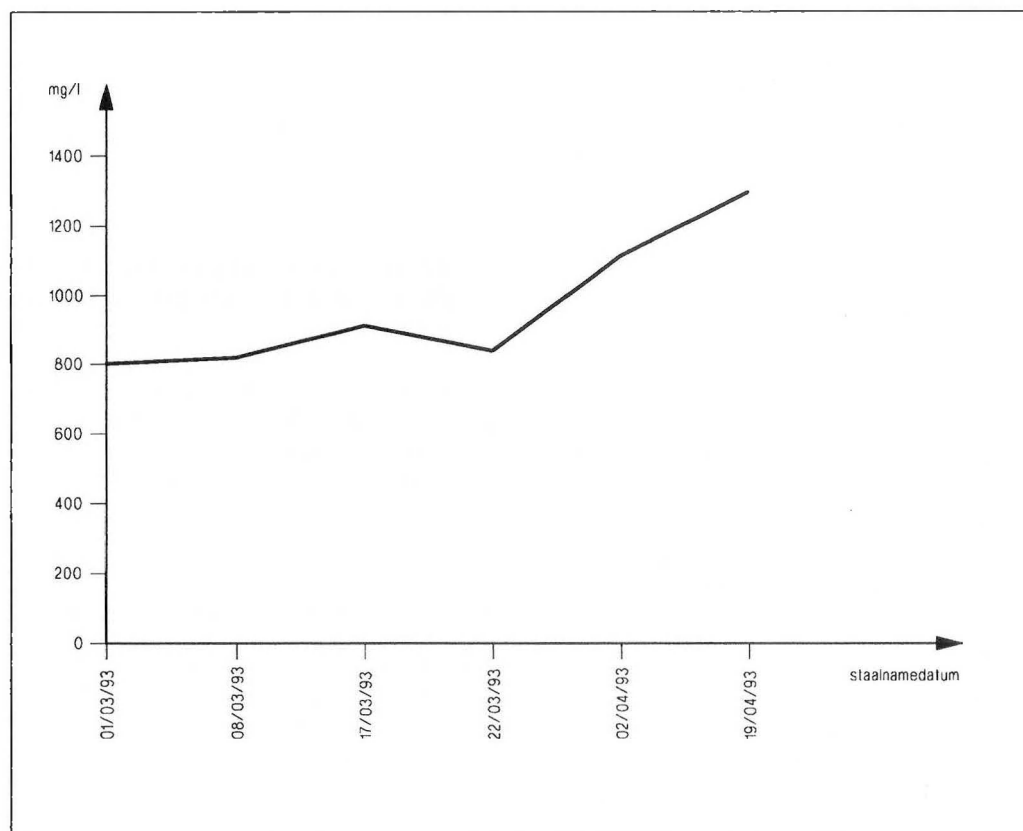


Fig. 5.2. — Evolutie van het influent. Chloriden.

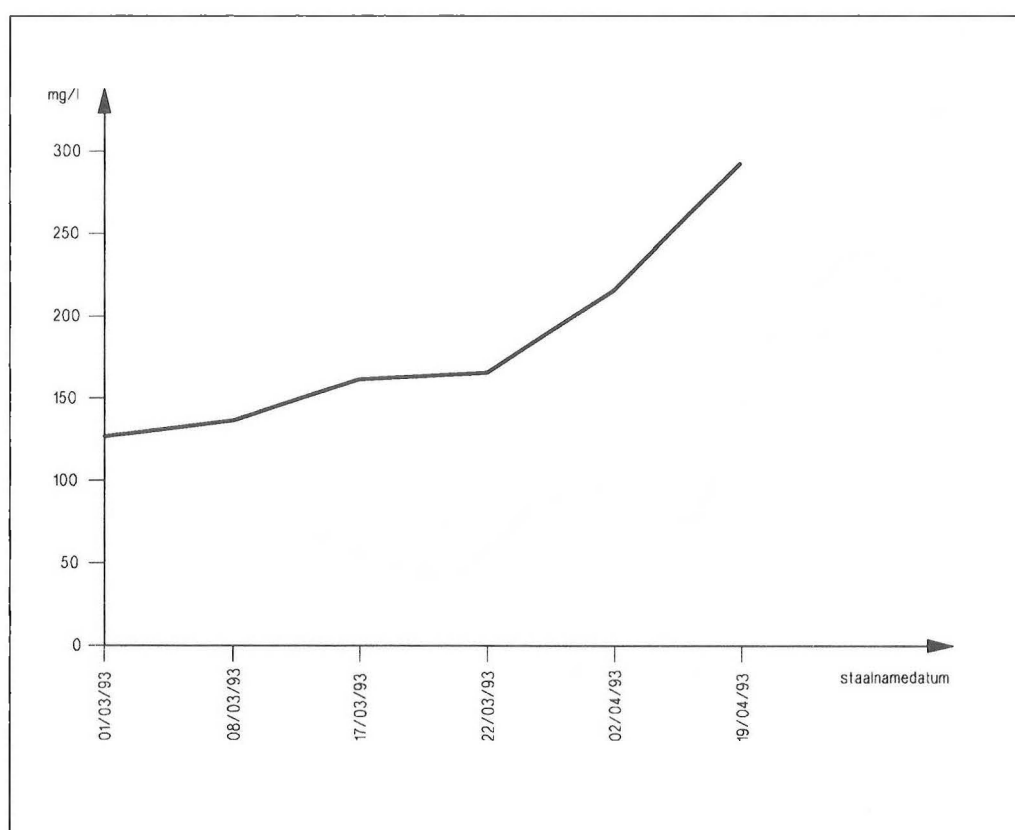


Fig. 5.3. — Evolutie van het influent. Sulfaten.

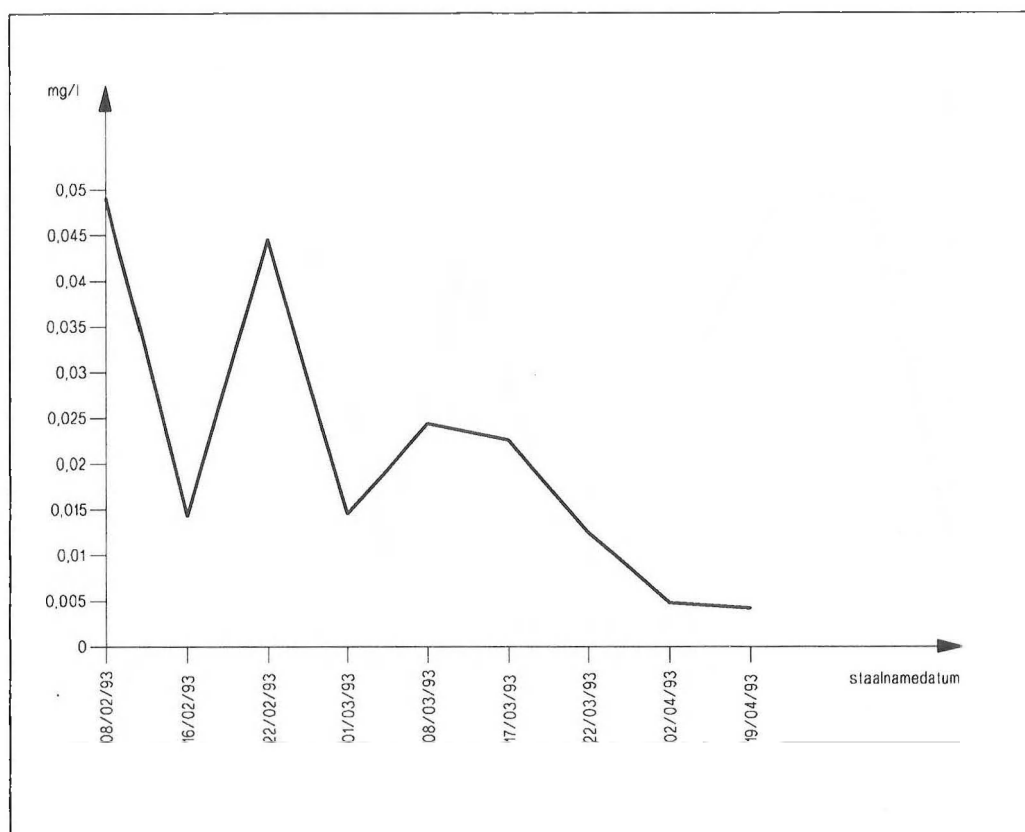


Fig. 5.4. — Evolutie van het influent. Totale concentratie van de metalen.

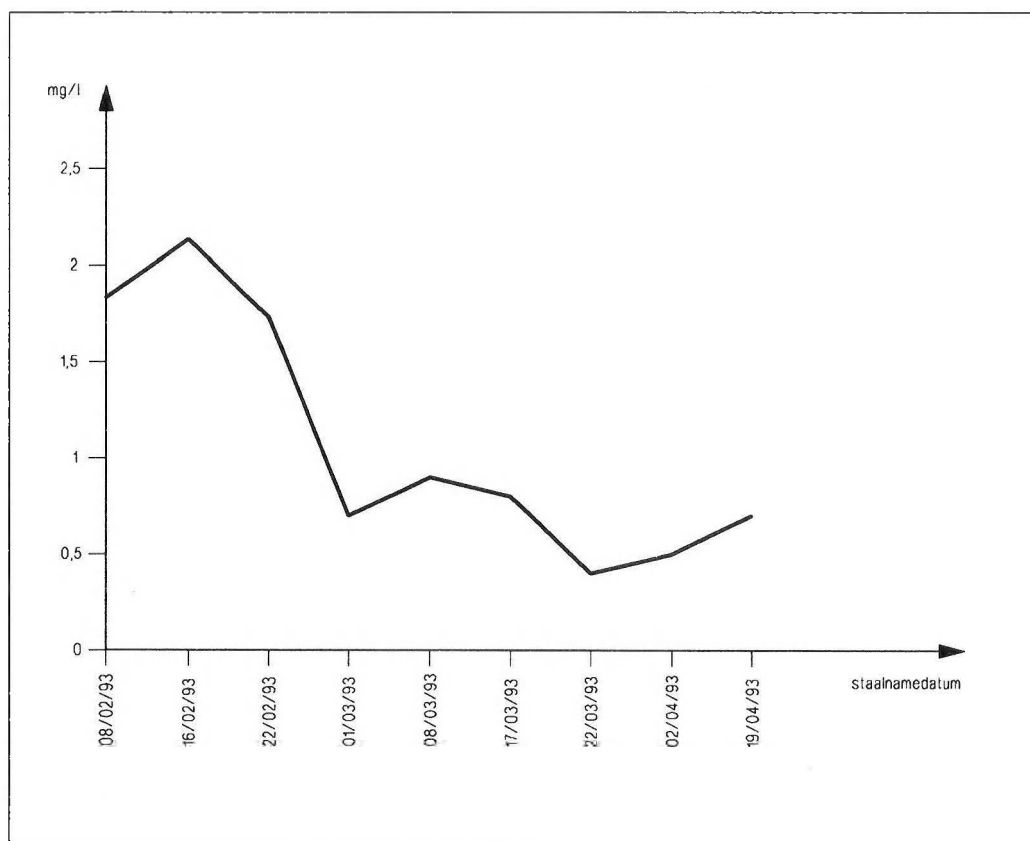


Fig. 5.5. — Evolutie van het influent. Aromatische KWS.

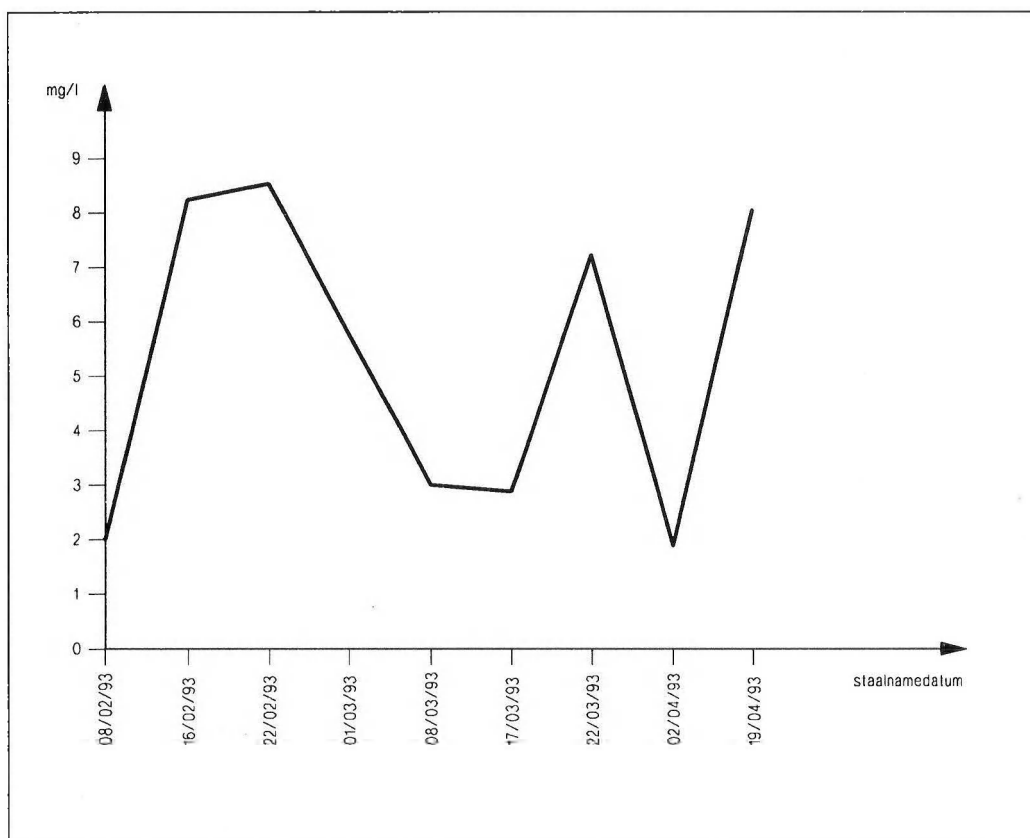


Fig. 5.6. — Evolutie van het influent. Poly-aromatische KWS.



Foto 18. — De uitgraving en het vervoer van de gronden ter hoogte van kaai 57.



Foto 19. — Het geplande wachtdok werd systematisch volgens vooraf bepaalde zones uitgegraven.



Foto 20. — Per schip worden de gronden, afgegraven ter hoogte van kaai 57, aangevoerd voor de opvulling van het Eerste Havendok.



Foto 21. — De eerste fase in de opvulling van het Eerste Havendok is voltooid. Het Eerste Havendok is afgesloten van het Albertdok. Op de achtergrond het Oude Schuuldok voor Lichters dat eveneens dient opgevuld te worden.



Foto 22. — Hier heeft de aanvoer van het materiaal via de persleiding een aanvang genomen.



Foto 23. — De opvulling van het Oude Schuldok met een detail van de spuimond.

Al het andere materiaal dat diende afgegraven te worden ter hoogte van kaai 57 en ter hoogte van het wachtdok voor lichters kon gebruikt worden voor de opvulling van het Eerste Havendok.

Het Eerste Havendok kan na de afwerking als een volledig geïsoleerd geheel beschouwd worden. Voor de aanvang van de werken was het dok omgeven door drie kaaimuren die als ondoorlatend beschouwd worden. Tijdens de werken werd het dok van het Albertdok afgesloten door een dam waarvoor eveneens een muur werd geplaatst. Vooraleer zij de definitieve goedkeuring gaf voor berging in het Eerste Havendok werd door de dienst Sanering van de OVAM gevraagd permeabiliteitstesten uit te voeren op de sliblaag die als onderafdichting van het dok zou fungeren. De doorlatendheidsproeven op de slibmonsters gaven een gemiddelde doorlatendheid van $3 \cdot 10^{-10}$ m/s zodat er van uitgegaan werd dat de slibbodem van het Eerste Havendok een relatief goede afsluitende laag vormt.

Naarmate de werken vorderden bleek dat er meer materiaal zou vrijkomen dan er kon gebruikt worden voor de opvulling van het Eerste Havendok zodat er ook materiaal zou kunnen gebruikt worden voor de opvulling van het Oude Schuildok voor Lichters. Bijgevolg werd aan de studiegroep Betch-ERM gevraagd de te volgen procedure te onderzoeken voor de opvulling van het Oude Schuildok voor Lichters.

In eerste instantie werd ook voor het schuildok de doorlaatbaarheid van de onderafdichting nagegaan. Er werden 2 bodemmonsters genomen met een trilboortoestel (Vibrocore) dat toelaat om representatieve grondmonsters voor geotechnisch onderzoek onder water te nemen. Er werd een gemiddelde doorlaatbaarheid van 4 à $5 \cdot 10^{-10}$ m/s gemeten zodat er kan van uitgegaan worden dat ook deze slibbodem een relatief goed afsluitende laag vormt.

Het schuildok is echter slechts voor een deel omgeven door kaaimuren en kan dus niet als afgesloten beschouwd worden. Er werden enkele peilputten geplaatst aan die zijden waar er geen kaaimuur is zodat men een duidelijk beeld heeft over de aanvangssituatie en er ook in de toekomst een voortdurende controle kan uitgevoerd worden (monitoring). Daar het schuildok niet als geïsoleerd van de omgeving kan beschouwd worden werd voorgesteld hier alleen materiaal te storten waarin de B-waarde van VROM voor geen enkele parameter bereikt werd.

Globaal bekeken kunnen de afgravingen in twee fasen ingedeeld worden, namelijk de afgraving van de **onverzadigde zone** (droge gronden) en de afgraving van de **verzadigde zone** (natte gronden). De droge gronden werden grotendeels met vrachtwagens afgevoerd. Voor de natte gronden werd het cutterprocédé toegepast.



Foto 24. — De eerste fase in de opvulling van het Eerste Havendok. Het Eerste Havendok wordt afgesloten van het Albertdok d.m.v. een wand die bestaat uit niet verontreinigd materiaal.

Met een cutterzuiger wordt specie met een snijkop („cutter”) losgewoeld en nadien hydraulisch opgepompt. De snijkop is voorzien van hardstalen beitels („tanden”) en is gemonteerd op een as die draait aan 20 à 30 toeren per minuut.

De losgewoelde specie wordt opgezogen via een zuigbuis die achter de snijkop is opgesteld. De cutterzuiger heeft een achterspud en wordt heen en weer getrokken op ankers. Hierbij wordt een „snede” breedte van circa 80 meter gebaggerd.

mengsel bezinken en het wateroverschot wordt langs een regelbaar overstort afgevoerd naar het oude schuildok. Vandaar wordt het naderhand geloosd in het Albertdok.

7. ALGEMENE SAMENVATTING

Zoals reeds eerder vermeld maar gezien het belang mag dit zeker nogmaals benadrukt worden, gaat het hier om een **eerste constructieve samenwerking** tussen het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur



Foto 25. — De verzadigde gronden worden via het cutterprocédé afgevoerd. De cutterzuiger „Ortelius” is hier aan het werk ter hoogte van het nieuw te bouwen wachtdok.

Het transport van de gebaggerde specie gebeurt hydraulisch via buisleidingen. Dit transport kan gezien worden als het transport van een homogeen mengsel van zwevend slib en water.

In dit geval wordt het opgespoten mengsel geborgen in het Eerste Havendok. De vaste delen van het

(opdrachtgever) en de OVAM (toezichthoudende overheid) voor wat de uitvoering van dit soort werken betreft. De opgedane ervaringen reikten dan ook veel verder dan het strikt technisch-wetenschappelijke. In deze context kan bijvoorbeeld gewezen worden op de WESAN-vergaderingen. De begeleiding van de werken kon op deze manier snel en

efficiënt gebeuren. Het principe van de WESAN kan dan ook als een bijzonder positief aspect geëvalueerd worden.

Wat het technisch-wetenschappelijke betreft, werd het uitgebreide vooronderzoek dus gestart met het nagaan van de **historiek**. Daaruit bleek dat de oorzaak van de verontreiniging voornamelijk dient gezocht te worden in het feit dat deze terreinen voorbehouden waren voor de opslag van petroleum en olieprodukten.

Uit het **bodem- en grondwateronderzoek** bleek dat het ondiepe grondwater sterk verontreinigd is. Het diepere grondwaterpakket is zeer weinig tot niet verontreinigd wat te danken is aan de geologische opbouw en meer bepaald aan het voorkomen van een goed afscheidende kleiige polderlaag.

Het verontreinigde bodemmateriaal kan gesitueerd worden in het noord-noordoostelijke deel van het wachtdok voor lichters en ter hoogte van kaai 57.

Het **saneringsconcept** dat op basis van de voorafgaande onderzoeken werd vooropgesteld, werd **principeel goedgekeurd** door de dienst Sanering van de OVAM dd. 28/09/1992.

De uit te graven en af te voeren gronden werden gebruikt voor de **opvulling** van het **Eerste Haven-dok** en het **Oude Schuuldok voor Lichters**. Daar

het bodemmateriaal plaatselijk verontreinigd was diende de uitgraving selectief te gebeuren. Voor de bestemming van de uit te graven gronden werd het protocol (fig. 3.1) gevolgd dat eveneens opgenomen was in het goedgekeurde saneringsvoorstel.

Het **ondiepe grondwater** dat het meest vervuilde milieu-compartiment was, werd via een mobiele **waterzuiveringsinstallatie** behandeld en gezuiverd tot het voldeed aan de basiskwaliteitsnormen voor oppervlaktewater, weergegeven in het Vlare II. Daarna werd het geloosd in het Amerikadok.

Zoals uit deze tekst blijkt werden de werken in grote lijnen uitgevoerd volgens het vooropgestelde saneringsscenario. Aanpassingen en bijstellingen werden in gezamenlijk overleg besproken in de **WESAN-vergaderingen**.

Uit de hier opgedane ervaring blijkt dat dit principe een erg nuttige en efficiënte techniek is in het kader van werken met een langere uitvoeringstermijn waarbij er toch ook een groot aantal rechtstreekse betrokkenen zijn.

Men kan hier in ieder geval stellen dat de uitvoering van deze sanering een leerrijke ervaring was voor alle betrokkenen en dat met de voltooiing van de werken een belangrijke stap voorwaarts is gezet in de **saneringshistoriek voor het Vlaamse Gewest**.

RÉSUMÉ :

Le Port d'Anvers

Assainissement de terrains à hauteur du quai 57
et à hauteur du dock d'attente pour péniches
dans le cadre de travaux de renovation de la Rive Droite

Le rénovation du secteur central du Port d'Anvers a pour but de créer un chenal suffisamment profond et large pour pouvoir recevoir des navires Panamax d'un tirant d'eau de 40" à 42".

A côté de la construction de nouveaux murs de quai, les vieux docks tels que le premier dock portuaire et l'ancien dock d'abri pour péniches, sont remblayés.

Les matériaux nécessaires pour ces remblais seront entre autre récoltés dans le nouveau dock d'attente pour péniches au Nord du dock d'Amérique. Les terres situées devant le quai 57 dans la proximité immédiate, furent excavées. L'examen préalable démontrait que les matériaux auprès du dock d'attente, aussi bien que la nappe phréatique, étaient gravement pollués.

L'examen en Laboratoire d'échantillons de sol et d'eaux confirmèrent la pollution déjà constatée. Elle s'explique historiquement.

En effet, à la fin du siècle dernier des firmes portuaires typiques tel que des entreprises de transport et de transbordement s'établirent ici. A cet endroit, on construisit aussi les premières raffineries et s'établit la première industrie pétrochimique (1870-1914):

Les travaux d'assainissement se sont déroulés de la sorte :

- on fit effectuer au préalable un examen d'assainissement en profondeur;*
- les aspects historiques aussi bien que les spécificités géographiques et hydrologiques locales furent étudiés. Une campagne de prise d'échantillons de terre et d'eau fut effectuée.*

A base de celle-ci les bureaux d'études BETECH et ERM ont élaboré en collaboration avec OVAM un

scénario d'assainissement qui fût approuvé moyennant un contrôle permanent et un accompagnement technico-environnemental.

Dans une première phase la nappe phréatique polluée à petite profondeur fût pompée, traitée et assainie par une installation d'assainissement mobile.

De cette façon les terres furent en quelques sorte rincées. Au moyen d'une campagne étendue d'échantillons de terres et d'eau, les zones les plus polluées furent délimitées pour que les terres puissent être enlevées de façon sélective.

Dans une deuxième phase, les résultats d'analyses des sols démontrèrent que les plus hautes concentrations se trouvaient dans la partie Nord-Est du dock d'attente.

Ces matériaux furent rincés intensément par analogie avec la première phase et ceci durant quelques semaines.

Les analyses postérieurs démontrèrent que le degré de pollution, avait diminué de telle façon qu'un stockage dans un endroit bien localisé du premier dock portuaire serait possible.

Des études démontrèrent que les matériaux géologiques du sols trouvés à cet endroit étaient tellement imperméables que ceci ne comportait pas de risques pour le milieu et la santé publique.

Il faut souligner le fait qu'il s'agit ici d'une première collaboration constructive entre le Ministère de la Communauté Flamande, du service portuaire d'Anvers, commanditaire, et OVAM, autorité de contrôle.