



TAUW Infra Consult bv

XI.8.3 -  
175



EFFEKTEN VAN ASSENWEGEN OP DE

GRONDWATERKwaliteit IN DE KEMPEN

188

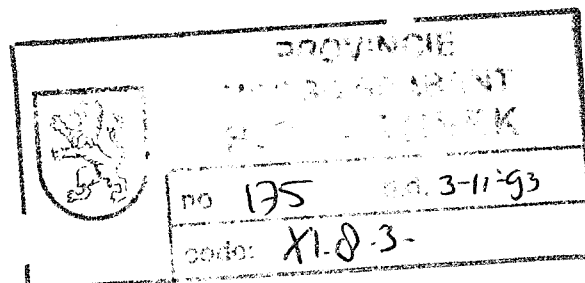


EFFEKTEN VAN ASSENWEGEN OP DE  
GRONDWATERKWALITEIT IN  
DE KEMPEN



Deventer, maart 1988

LE/RAP/13/AG-1v





SAMENVATTING

In de Kempen zijn bodem en grondwater voornamelijk verontreinigd met cadmium en zink ten gevolge van de activiteiten van metallurgische industrieën die gevestigd zijn in het grensgebied van de Nederlandse en de Belgische Kempen. De verontreinigingen zijn hierin terecht gekomen via de lucht (stof- en schoorsteen emissies), via het oppervlaktewater (lozingen) en via afvalstoffen (hergebruik of storting). Uit voorgaand onderzoek is onder meer gebleken dat daar waar zinkassen gebruikt zijn voor weg- en erfverharding bodem- en grondwaterverontreiniging opgetreden is. Zinkas is een reststof, die in het verleden in grote hoeveelheden vrij is gekomen bij de zinkerts verwerking onder andere bij de Kempense Zinkmaatschappij te Budel.

Door de provincies Noord-Brabant en Limburg is een vervolgonderzoek ingesteld dat tot doel heeft vast te stellen wat de horizontale en verticale verspreiding van de verontreinigingen in het grondwater is rond een lokatie waar zinkassen zijn opgebracht, dus het vaststellen van een verontreinigingspluim. De mogelijkheid is onderzocht of de omvang van de verontreinigingspluim modelmatig te voorspellen is voor verschillende lokaties waar zinkassen opgebracht zijn, zodat de grondwaterkwaliteit van drinkwaterwinningen met inbegrip van partikuliere onttrekkingen voorspeld kan worden. Het tweede doel van het onderzoek is op basis van de verontreiniging van het grondwater nabij assenverhardingen de risico's aan te geven voor de volksgezondheid en/of milieu. Voorliggend rapport bevat de verslaglegging van dit onderzoek, dat is uitgevoerd door TAUW Infra Consult B.V.

Het onderzoek is als volgt opgezet: op een beperkt aantal lokaties is nagegaan of verontreiniging is opgetreden en zijn veldgegevens bepaald en vergeleken met de literatuurgegevens. Tevens is het uitlooggedrag van de zinkassen in het proeflaboratorium onderzocht en zijn de retardatiefactoren voor cadmium en zink van het bodemmateriaal bepaald en vergeleken met de literatuur. Vervolgens zijn de mogelijkheden onderzocht om de migratie van verontreinigingen, die uit een assenweg of -erf uitlogen, modelmatig te benaderen. De uit de migratieberekeningen naar voren gekomen huidige omvang van de verontreinigingspluim is vervolgens getoetst met behulp van onderzoek in het veld naar de verontreinigingssituatie van het diepere grondwater. Vervolgens is geïnteriseerd in hoeverre met behulp van computermodellen de migratie van de verontreiniging gesimuleerd kan worden en of er verontreinigingszones rond assenwegen en -erven zijn aan te geven. De kwaliteit van het grondwater met betrekking tot componenten die uit de assen uitlogen en voorkomen in de verontreinigingspluim, is ver-



volgens geëvalueerd vanuit het oogpunt van risico's voor de volksgezondheid en met milieu, die het gebruik van dit grondwater met zich meebrengt.

Uit het onderzoek blijkt dat de mobielere zware metalen cadmium, zink, nikkel en cobalt in de verontreinigingspluimen van assenwegen en -erven voor kunnen komen. Arseen, antimoon en lood logen nauwelijks uit.

Uit veldonderzoek dat is uitgevoerd bij drie lokaties, blijkt dat de verspreiding van de verontreinigingen veel groter is dan op basis van een modelmatige benadering wordt geschat. De oorzaak hiervan kan liggen in de mogelijkheid dat uit de literatuur en de laboratoriumexperimenten een te grote retardatie (=vertraging)-factor van de verontreiniging blijkt of dat een te lage waarde voor de verticale stromingskomponent is gehanteerd. Gezien de geringe overeenkomst tussen de verwachte retardatie op basis van de migratieberekeningen en de gemeten retardatie in het veld blijkt het daarom vooralsnog zinvoller op basis van veldgegevens verontreinigingszones rond assenwegen en -erven te schatten. Er bestaat behalve een grote diversiteit in de samenstelling van de assen ook een grote spreiding in de mate waarin uitloging al heeft plaatsgevonden. Verondersteld wordt dat sommige assenwegen en -erven hun maximale uitlogingspiek reeds hebben gehad en dat andere deze nog moeten krijgen.

Onder de assenwegen en -erven, die in dit onderzoek zijn onderzocht zijn in het grondwater de volgende overschrijdingspercentages gemeten: cadmium 35% van de waarnemingen boven de B-waarde en zink 88% van de waarnemingen boven de B-waarde.

De mediaan van de gemeten concentraties in de verontreinigingspluimen overschrijdt voor zink de drinkwaternorm en voor nikkel is deze gelijk aan de norm. Voor cadmium wordt deze norm in 33% van de waarnemingen in de pluim overschreden. Het verdient daarom aanbeveling ten aanzien van het grondwater dat ter plaatse van de verontreinigingspluim opgepompt wordt voor gebruik als drinkwater beperkingen te stellen.

Bij gebruik van het grondwater ter plaatse van de verontreinigingspluim voor beregeningswater ten behoeve van tuinbouwgewassen wordt geen direkt risico voor de volksgezondheid verwacht.

De maximale omvang van de verontreinigingspluim is nog niet vastgesteld. Op basis van een geschatte omvang van de verontreinigingspluim van meerdere honderden meters wordt verwacht dat een tiental openliggende assenwegen openbare drinkwaterwinningen



bedreigt. Een tiental afgegraven of begraven assenwegen ligt bovendien binnen de 25-jaarszone van openbare drinkwaterwinningen.



INHOUDSOPGAVE

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Blz.</u>
	SAMENVATTING	I
1.	INLEIDING	1
2.	LITERATUURONDERZOEK	5
	2.1. Eerder uitgevoerd onderzoek nabij assenwegen	5
	2.2. Regionale geohydrologie	8
3.	OPZET VAN HET ONDERZOEK NAAR DE GRONDWATERVERONTREINIGING TEN GEVOLGE VAN ASSENWEGEN	10
	3.1. Keuze voor de onderzoekslokaties	10
	3.2. Opzet van het veldonderzoek en chemische analyses	14
	3.3. Laboratoriumproeven met veldmateriaal	15
	3.3.1. Uitloging van zinkassen	15
	3.3.2. Adsorptie aan de bodem	16
	3.4. Bevestiging verontreinigingsbeeld in het ondiepe grondwater	17
	3.5. Samenvatting onderzoeksopzet van de drie lokaties	17
	3.6. Opzet van migratie van verontreinigingen, modelonderzoek	18
4.	VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE VALKENSWAARD	20
	4.1. Verrichte werkzaamheden	20
	4.2. Resultaten van veld- en geohydrologisch onderzoek, Valkenswaard	20
	4.3. Analyseresultaten van zinkassen en grondwater van de lokatie Valkenswaard	28
	4.4. Resultaten van de laboratoriumexperimenten	34
	4.4.1. Desorptie-experimenten met het assenmateriaal	34
	4.4.2. Adsorptie-experimenten met verschillende grondsoorten van Valkenswaard	39



INHOUDSOPGAVE (vervolg)

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Blz.</u>
5.	VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE BUDEL	42
	5.1. Verrichte werkzaamheden	42
	5.2. Resultaten van veld- en geohydro- logisch onderzoek, Budel	42
	5.3. Analyseresultaten van zinkassen en het grondwater Budel	46
	5.4. Resultaten en bespreking van de laboratoriumexperimenten	49
	5.4.1. Desorptie-experimenten met de assen	49
	5.4.2. Adsorptie-experimenten	54
6.	VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE TUNGELROY	55
	6.1. Verrichte werkzaamheden	55
	6.2. Resultaten van veld- en geohydro- logisch onderzoek, Tungelroy	55
	6.3. Analyseresultaten van zinkassen en het grondwater van de lokatie Tungelroy	61
	6.4. Resultaten van de laboratorium- experimenten	65
	6.4.1. Desorptie-experimenten met het assenmateriaal	65
	6.4.2. Resultaten van de adsorp- tie-experimenten	69
7.	BEVESTIGING VERONTREINIGINGSBEELD ONDIEP GRONDWATER VAN VIJF TOEGEVOEGDE LOKATIES	71
	7.1. Inleiding	71
	7.2. Verrichte werkzaamheden	71
	7.3. Resultaten en bespreking	71

INHOUDSOPGAVE (vervolg)

<u>Hoofdstuk</u>	<u>Omschrijving</u>	<u>Blz.</u>
8.	TOEPASBAARHEID VAN DE ONDERZOEKSGEGEVENS OP ANDERE LOKATIES	74
	8.1. Inleiding	74
	8.2. Rekenmodellen	76
	8.2.1. Stroombanenprogramma STROP	76
	8.2.2. Kolommodellen ADSORB en ONZAT	79
	8.2.3. Numeriek model STATRECT	83
	8.2.4. Samenvatting rekenmodellen	83
	8.3. Resultaten veldgegevens versus model onderzoek	83
9.	CADMIUMBALANS PER STREKKENDE METER ASSENWEG	88
	9.1. Omvang verontreinigingspluim geschat op 250 m	89
	9.2. Overzicht vrachten in watervoe- rend pakket in de huidige situatie	92
10.	SCHATTING VAN GEZONDHEIDSRISIKO EN DE RISIKO'S VOOR HET MILIEU	94
	10.1. Inleiding	94
	10.2. Risiko schatting ten gevolge van de grondwaterverontreiniging voor de gezondheid	94
	10.2.1. Drinkwater	94
	10.2.2. Berekening	96
	10.2.3. Veedrenking	100
	10.3. Risiko's voor het milieu	101
11.	KONKLUSIES EN AANBEVELINGEN	103
	LITERATUURLIJST	107



INHOUDSOPGAVE (vervolg)

BIJLAGEN:

1. Situering monsterpunten
2. Geohydrologische gegevens
3. Monsternametechnieken
4. Resultaten van eerder onderzoek assenerf te Valkenswaard
5. Cascade, kolom en adsorptie-experimenten
- 6.1. Uitgetekende boorstaten
- 6.2. Stijghoogten ten opzichte van NAP
- 6.3. Grondwaterstijghoogten Budel
7. Resultaten infiltratieproeven
8. Analyseresultaten
9. Toetsingskader
10. Evenwichtsgehalten in grondwater berekend volgens Freundlich
11. Resultaten adsorptie-experimenten
12. Ligging van vijf toegevoegde lokaties
13. Analyseresultaten zinkassen uit andere onderzoeken.



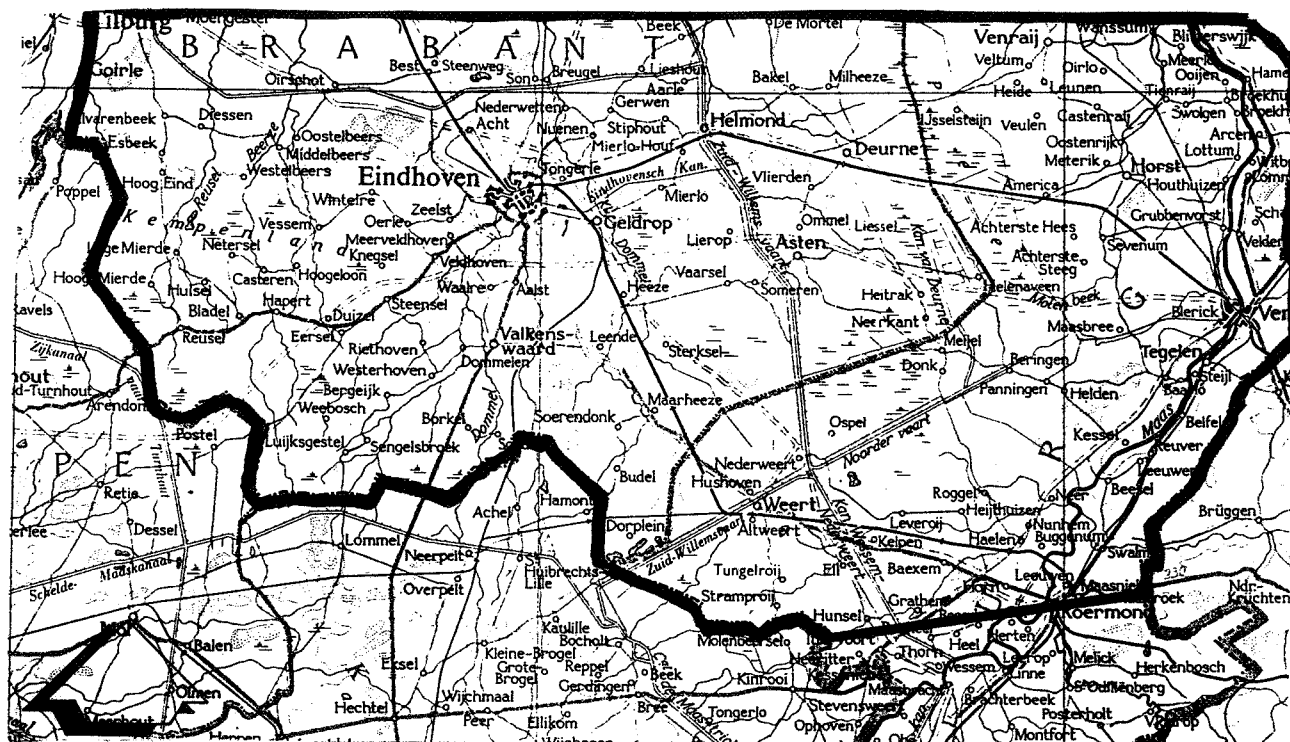
1. INLEIDING

In de Nederlandse en Belgische Kempen zijn sinds een eeuw metallurgische industrieën gevestigd, welke met name zink verwerkt hebben. Deze industriële activiteiten hebben geleid tot een verontreiniging van het milieu met o.a. zink en cadmium, hetgeen door velen onderzocht is (o.a. lit 1, 2, 3).

De verontreiniging is verspreid via de lucht, door stof en schoorsteenemissies, via oppervlaktewater door lozingen en via afvalstoffen welke hergebruikt of opgeslagen zijn.

Door Haskoning (lit. 3) is in het kader van de Interimwet Bodemsanering een onderzoek verricht naar de omvang van de verontreiniging in de Nederlandse Kempen via deze drie verspreidingsroutes. In het onderzoek is geconstateerd dat er verontreiniging van het grondwater met zink en cadmium opgetreden is door uitloging van zinkassen, waarmee een deel van de wegen in de Kempen verhard is.

In opdracht van de Provincies van Noord-Brabant en Limburg is door TAUW Infra Consult B.V. een vervolgonderzoek ingesteld naar de omvang van de verontreiniging van het grondwater, welke veroorzaakt wordt door assenverhardingen in de Kempen. Naast het vaststellen van verontreinigingen afkomstig van deze bronlocaties wordt ook aandacht besteed aan de bijdrage van de diffuse verontreiniging aan de totale grondwaterverontreiniging. In het onderzoek is aandacht besteed aan de mogelijkheden om de toekomstige grondwaterkwaliteit van drinkwaterwinningen in te schatten. De ligging van het onderzoeksgebied is aangegeven in figuur 1.1.



Figuur 1.1. Ligging van het onderzoeksgebied

(Bron: Grote wereld atlas, schaal 1:500.000)

Om de verontreinigingspluim van de verschillende assenwegen, -erven en -depôts, die als punt- of lijnbronnen fungeren, te kunnen schatten is in dit onderzoek de omvang van de verontreiniging bij drie voorbeeldlocaties bepaald. Op basis van veldgegevens,



laboratoriumexperimenten en literatuur wordt vervolgens getracht een voorspelling te doen over de verspreiding van de verontreinigingen op overeenkomstige lokaties.

In het onderzoek zijn hiertoe vier aspecten nader bekeken:

1. Het verspreidingspatroon rond drie voorbeeldlokaties wordt in kaart gebracht.
2. De uitloogbaarheid van de zinkassen (desorptie) en de doorlatendheid van het wegdek worden onderzocht.
3. De migratie van verontreinigingen in de bodem wordt onderzocht door middel van de grondwaterbeweging en het gedrag van verontreinigingen (o.a. adsorptie)
4. Op basis van literatuurgegevens en enige veldgegevens met betrekking tot de grondwaterbeweging, adsorptie en desorptie wordt door berekening geschat, waar het grondwater verontreinigd kan zijn met zink en cadmium. Vervolgens wordt door middel van verder veldonderzoek nagegaan of extrapolatie van deze geschatte gegevens mogelijk is.

Naast het in kaart brengen en voorspellen van verontreinigingspluimen bij assenwegen, -erven en -depôts zal ook een inschatting van de risico's voor volksgezondheid en milieu ten gevolge van de (eventuele) grondwaterverontreiniging gegeven worden.

In dit rapport is verslag gegeven van de resultaten van bovenbeschreven onderzoek.

De indeling van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt een overzicht gegeven van relevante gegevens uit de literatuur.

Voorafgaand onderzoek naar assenwegen, -erven en -depôts en de regionale bodemopbouw en grondwaterstroming worden hierin behandeld. In hoofdstuk 3 wordt de onderzoeksopzet besproken.

In de hoofdstukken 4, 5 en 6 worden onderzoeksgegevens van drie verschillende lokaties behandeld. Teneinde de resultaten van het ondiepe grondwater ter plaatse van de assenerven en -weg op de drie lokaties te bevestigen is onder nog vijf openliggende assenwegen het ondiepe grondwater onderzocht. Dit deelonderzoek is besproken in hoofdstuk 7. In hoofdstuk 8 is een synthese van de onderzoeksresultaten van met name drie voorbeeldlokaties gemaakt. Hiertoe zijn verschillen en overeenkomsten tussen de drie lokaties aangegeven en zijn een aantal algemene gegevens gedestilleerd, die gebruikt worden voor een schatting van de migratie van de verontreinigingen in het grondwater. Vervolgens is nagegaan of met behulp van modelberekening extrapolatie van deze geschatte gegevens mogelijk is.

In hoofdstuk 9 is een cadmiumbalans voor een stuk assenweg in samenhang met zijn verontreinigingspluim opgesteld. Op deze wijze



is een schatting gemaakt van de cadmiumconcentratie zoals deze in het verleden geweest zou zijn. Ook is een schatting gemaakt voor de totale omvang van een verontreinigingspluim.

In hoofdstuk 10 is een schatting van de risico's voor de volksgezondheid en het milieu gemaakt.

Konklusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 11.

2. LITERATUURONDERZOEKInleiding

In dit hoofdstuk worden gegevens over eerder uitgevoerde onderzoeken naar bodem en grondwaterkwaliteit nabij assenwegen besproken. Er wordt vervolgens een overzicht gegeven van de regionale bodemopbouw en grondwaterstroming.

2.1. Eerder uitgevoerd onderzoek nabij assenwegen

Door vier instanties is eerder onderzoek verricht naar de effecten van assenwegen op de bodemkwaliteit en in één geval is tevens gekeken naar de effecten op de grondwaterkwaliteit. Deze instanties zijn de Directie Landbouw en Voedselvoorziening Tilburg (lit. 4), de VU (lit. 5), de LU (lit. 6) en Haskoning (lit. 3). Ook zijn twee gevallen van bodemverontreiniging onderzocht waarvan het ene de omgeving van enkele uitgegraven assenwegen en een zink-assendepot omvatte (de Weerterbergen, onderzocht door TAUW Infra Consult (lit. 7)). De andere was een assenerf (reinwaterkelder Valkenswaard, onderzocht door de Dienst Bouwtoezicht en Milieuzaken van de gemeente Eindhoven (lit. 8)).

In het algemeen bevatten de assen hoge gehalten cadmium, koper, lood, arseen, antimoon en zink. Het cadmiumgehalte varieert van 1,7 mg/kg tot 37 mg/kg. Het gemiddelde zinkgehalte ligt in de orde grootte van 25.000-30.000 mg/kg (lit. 3). Uit een experiment van het Waterschap (Zuiveringschap) Limburg blijkt dat zinkassen uitloogbaar zijn.

In onderstaande tabel zijn de gemiddelde cadmium- en zinkgehalten in de bouwvoor (10-30 cm -mv) op verschillende afstanden van de (voormalige) met assen verharde wegen opgenomen (lit. 3)

Afstand vanaf wegzijde	Cadmium mg/kg d.s.	Zink mg/kg d.s.	Onderzoeksinstellingen
1 - 1½ m	0,96	445	VU, LU, Akkerbouw, TAUW
5 - 6 m	0,64	70	VU, LU, Haskoning
+ 10 m	0,43	55	LU, Akkerbouw
+ 25 m	0,69	56	LU, Akkerbouw, Haskoning
+ 50 m	0,57	35	LU, Akkerbouw
Achtergrond- waarde	0,74	62	Edelman, Leidraad bodem- sanering





Uit de tabel blijkt dat tot op 1,5 m afstand van de weg het gemiddelde cadmiumgehalte in de bouwvoor verhoogd is.

Het cadmium en zinkgehalte is door Haskoning ook in het grondwater bij assenwegen onderzocht.

Een overzicht van deze resultaten wordt in tabel 2 gegeven.

TABEL 2 Cadmium - en zinkconcentraties in bodem en grondwater op 6 m en 30 m afstand van nabij verschillende typen assenwegen (lit).

Wegtype I openliggende assenweg locatie 1 + 2

	Locatie 1			Locatie 2		
	Zink	Cadmium	pH	Zink	Cadmium	pH
Assen (mg/kg)	40.000	1,7		19.000	7,4	
6 m, grond (mg/kg)	23,0	0,2		64,0	0,4	
6 m, water (µg/l)	160,0	0,1	5,6	13.000	57	4,7
30 m, grond (mg/kg)	11,0	0,2		280	2,1	
30 m, water (µg/l)	20,0	0,1	5,9	270	1,4	4,4

Wegtype II voormalige assenweg locatie 3 + 4

	Locatie 3			Locatie 4		
	Zink	Cadmium	pH	Zink	Cadmium	pH
Assen (mg/kg)	790	0,5		100	1,1	
6 m, grond (mg/kg)	91	0,3		130	0,7	
6 m, water (µg/l)	120	0,2	6,4	2.900	3,6	6,0
30 m, grond (mg/kg)	63	0,6		11	0,1	
30 m, water (µg/l)	50	0,1	6,5	3.300	26,0	4,5

Wegtype III assen, afgedekt met andersoortige verharding  
locatie 5 + 6

	Locatie 5			Locatie 6		
	Zink	Cadmium	pH	Zink	Cadmium	pH
Assen (mg/kg)	50.000	37,0		2.100	2,4	
6 m, grond (mg/kg)	3.700	17,0		3.100	8,6	
6 m, water (µg/l)	18.000	11,0	5,7	31.000	61,0	4,7
30 m, grond (mg/kg)	130	1,0		270	2,1	
30 m, water (µg/l)	980	6,5	5,0	590	1,8	5,4

Wegtype IV assenerf locatie 7 + 8

	Locatie 7			Locatie 8		
	Zink	Cadmium	pH	Zink	Cadmium	pH
Assen	61.000	15,0		25.000	16,0	
6 m, grond	530	0,73		130	1,1	
6 m, water	61.000	10,0	5,6	120	0,6	5,6
30 m, grond				130	1,2	
30 m, water	450	0,6	5,4	410	2,4	6,4



In tabel 3 zijn de cadmium- lood- en zinkconcentraties van de weggegraven assenwegen ter plaatse van de Weerterbergen opgenomen (lit. 7). Profiel A en B zijn beiden 25 m lang.

TABEL 3 Samenstelling grond- en grondwatermonsters

Grondmonsters	ZO		Profiel B					NW	Z	Profiel A					N	
	36	35	34	33	29	30	31	32	5	4	3	2	1	6	7	8
				assenweg									assenweg			
Cadmium	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
lood mg/kg	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
zink mg/kg	27	15	12	36	38	19	11	15	23	14	24	21	93	22	32	58
Grondwater bezonken	36	35	34	assenweg		30	31	32	5	4	3	2	assenweg		7	8
pH	5,1	5,7	5,6	5,9	5,6	5,2	5,8	4,2	5,1	4,6	3,6	3,5	3,5	4,2	5,6	5,1
cadmium µg/l	<1	<1	<1	<1	5	22	<1	170	<1	<1	<1	<1	<1	(1	<1	<1
lood µg/l	40	55	65	25	20	30	35	50	40	10	25	30	30	25	30	10
zink µg/l	530	375	370	415	7900	4050	760	23000	170	125	155	230	225	8200	220	160

Uit tabel 2 en 3 blijkt dat het grondwater onder invloed van de assenwegen matig tot sterk verontreinigd is (boven de B-waarde) met zink en cadmium. Er is geen duidelijk verband aangetoond met het type assenweg. Uit de onderzoeken blijkt tevens dat in de bouwvoor op 6 m afstand van de weg verhoogde zink- en cadmiumgehalten voorkomen.

Bij sommige assenwegen zijn de verontreinigingen in het freatisch grondwater tot 30 m verspreid. Ook hier blijkt geen duidelijk verband te bestaan tussen de mate van verspreiding van de verontreiniging en het type assenweg.



## 2.2. Regionale geohydrologie

De geohydrologische situatie is reeds inleidend beschreven in het onderzoeksvoorstel. Hieraan wordt thans enige detaillering gegeven.

De geohydrologische opbouw van het onderzoeksgebied kan in grote lijnen worden beschreven als een matig doorlatende deklaag met daaronder een goed doorlatend watervoerend pakket.

De deklaag wordt zanddiluvium genoemd en bestaat uit een complex van meer of minder leemhoudende zanden. Voor de beschrijving van de dikte van de deklaag staan meerdere bronnen ter beschikking: De Ridder e.a., 1967 (lit. 9), TNO 1974 (lit. 10) en TNO 1983 (lit. 11). Deze bronnen geven verschillende interpretaties. Het lijkt waarschijnlijk dat hieraan een verschil in definitie ten grondslag ligt. Voorlopig zal de beschrijving van TNO 1983 (lit. 11) worden aangehouden, die is weergegeven in bijlage 2.1.

Daaruit blijkt dat de deklaag in dikte varieert tussen 0 en 30 meter. Lokaties met een relatief dunne deklaag komen voor westelijk van Valkenswaard, noordelijk van pompstation Budel en westelijk van Tungelroy. De deklaag is het dikst (20 à 25 m) ten westen van pompstation Budel. De doorlaatfactor van het materiaal ligt in de orde van 0,01 tot 1,0 m/dag, vooral afhankelijk van het leemgehalte van het materiaal. Op grond daarvan worden voor de hydraulische weerstand of C-waarde van de deklaag waarden gevonden van 0 tot 3.000 dagen.

De dikte van het watervoerend pakket is aangegeven in bijlage 2.2. Daaruit blijkt dat zuidelijk van de lijn Budel-Ospel het watervoerend pakket in dikte varieert tussen 70 en 130 m. Hier is de formatie van Kedichem zandig ontwikkeld en wordt daardoor tot het eerste watervoerende pakket gerekend. Ten noorden van deze lijn is het watervoerend pakket 40 à 50 m dik.

Het doorlatend vermogen of KD-waarde van het watervoerend pakket is weergegeven in bijlage 2.3. Daaruit blijkt dat de KD-waarden variëren tussen 2000 en 4000 m<sup>2</sup>/dag. De gevonden KD-waarden vormen geen weerspiegeling van de dikte van het watervoerend pakket; de variatie in KD-waarde wordt vooral bepaald door de grofheid van het zandpakket. De natuurlijke grondwaterstroming in de deklaag is regionaal gezien regionaal gezien overwegend in noordelijke richting, waarbij beken veelal een drainerende werking hebben. Zuidelijk van de lijn Budel-Dorplein-Weert is er sprake van een stroming in globaal oostelijke richting. Een overeenkomstig beeld vertoont de stijghoogte van het watervoerend pakket (zie bijlage 2.4), zij het dat daarbij het effect van beken verwaarloosbaar is. Door het genoemde contrast in doorlaatfactor tussen deklaag en



watervoerend pakket is er bij een neerslagoverschot sprake van een neerwaartse stromingskomponent door de deklaag heen naar het watervoerend pakket. Dit blijkt ook uit het feit dat de stijghoogte van het freatisch grondwater (in de deklaag) veelal hoger is dan de stijghoogte in het watervoerend pakket.

Voor een gebied juist noordelijk van het onderzoeksgebied geeft de Rijks Geologische Dienst(1973) een gemiddelde voeding naar het eerste watervoerend pakket van 75 mm/jaar (bij een nuttige neerslag van ca. 250 mm/jaar). De rest van het overschot (175 mm/jaar) wordt afgevoerd door oppervlakkige drainage (beken) en horizontale afstroming in de deklagen



3. OPZET VAN HET ONDERZOEK NAAR DE GRONDWATERVERONTREINIGING TEN GEVOLGE VAN ASSENWEGEN

Het onderzoek valt in een vijftal onderdelen uiteen:

1. Keuze van de drie te onderzoeken voorbeeldlokaties;
2. Veldonderzoek en chemische analyses;
3. Laboratoriumonderzoek met materiaal uit het veld;
4. Bevestiging van het verontreinigingsbeeld van het ondiepe grondwater van vijf toegevoegde open assenwegen;
5. Schatting van de migratie van de verontreiniging in het grondwater in de praktijk een modelmatige beschrijving en vergelijking van beide.

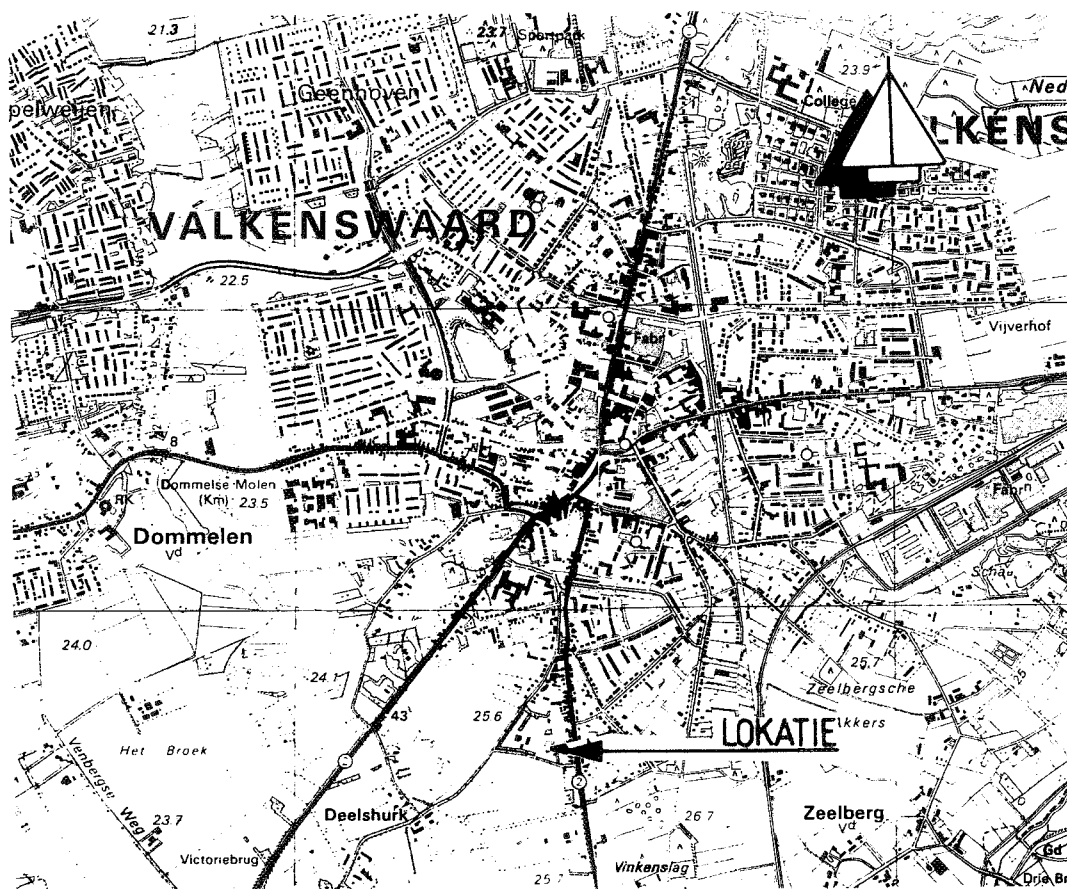
3.1. Keuze van de onderzoekslokaties

Er is uitgegaan van drie onderzoekslokaties, welke aan de volgende randvoorwaarden moeten voldoen:

- de assenweg, het -erf of depôt dient zoveel mogelijk loodrecht op de grondwaterstroming te liggen;
- de assenweg, het -erf of depôt dient zo mogelijk dicht bij een (toekomstig) grondwaterpompstation te liggen. Zo kunnen eventuele verontreinigingen die een bedreiging vormen voor de grondwaterwinning opgespoord worden;
- de assenweg het -erf of depôt dient openliggend te zijn;
- bij voorkeur dienen twee onderzoekslokaties in Noord-Brabant en één in Limburg te liggen.

Er is gekozen voor een assenerf in Valkenswaard, een assenweg in Budel en een assenerf in Tungalroy. De regionale ligging van de onderzoekslokaties is opgenomen in de figuren 3.1.1. tot en met 3.1.3. Tevens is in het kort aangegeven in hoeverre ze aan bovengenoemde randvoorwaarden voldoen en zijn de literatuurgegevens over de lokatie samengevat.

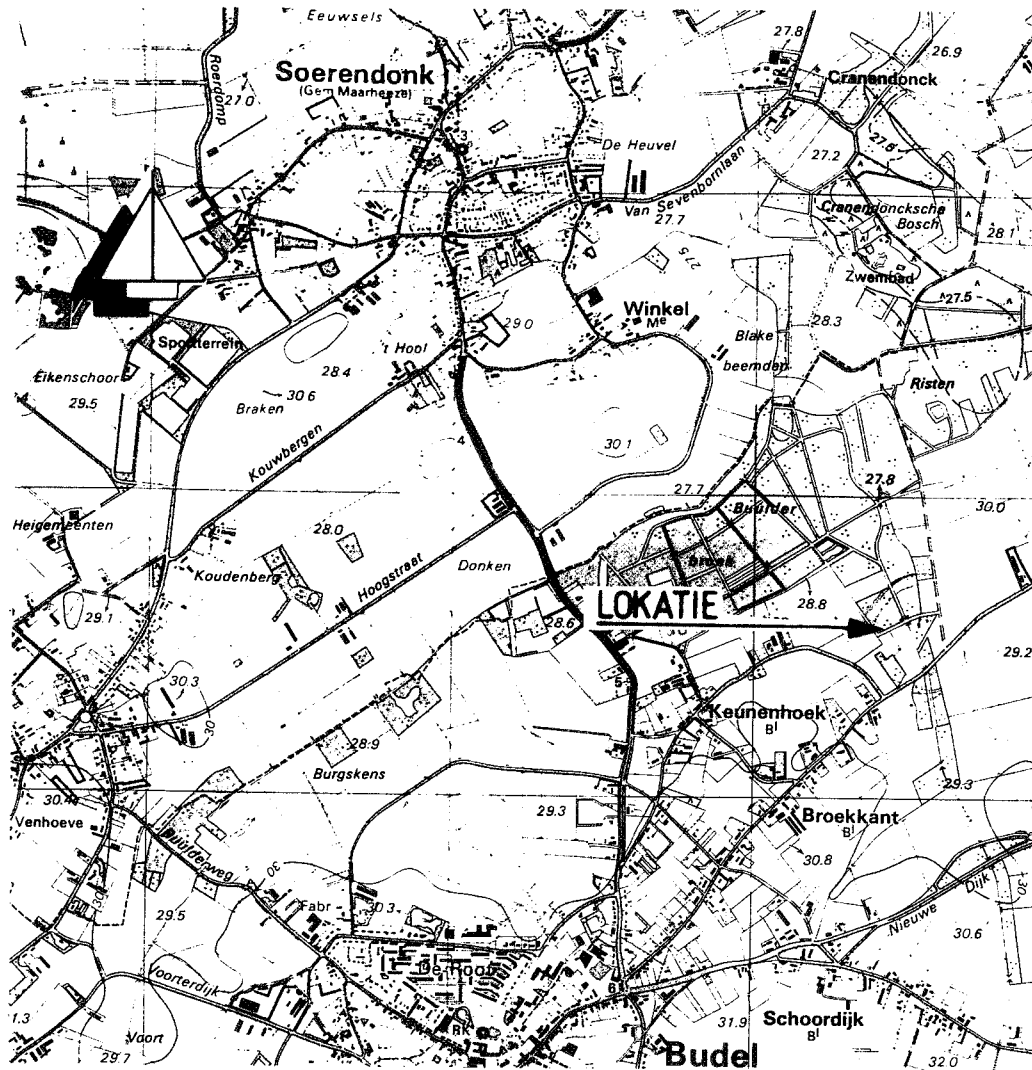
Lokatie Valkenswaard



Figuur 3.1.1. Ligging van het assenerf in Valkenswaard (Bron: topografische kaart van Nederland, kaart blad 57B schaal 1 : 25000)

De regionale grondwaterstromingsrichting ter plaatse van de onderzoekslokatie Valkenswaard is globaal noordwestelijk en is vrijwel loodrecht gericht op de lengterichting van het assenerf. De lokatie ligt niet in het intrekgebied van een pompstation voor drinkwaterwinning en ook niet van andere, industriële onttrekkers. Het assenerf is openliggend, dus is niet afgedekt met andersoortig afdek materiaal. De dikte van de deklaag boven het eerste watervoerend pakket nabij Valkenswaard varieert van enkele meters tot meer dan 10 m. Het watervoerend pakket is circa 40 m dik (lit 11). Het doorlatend vermogen (kD) bedraagt circa 2.000 m<sup>2</sup>/dag.

Lokatie Budel

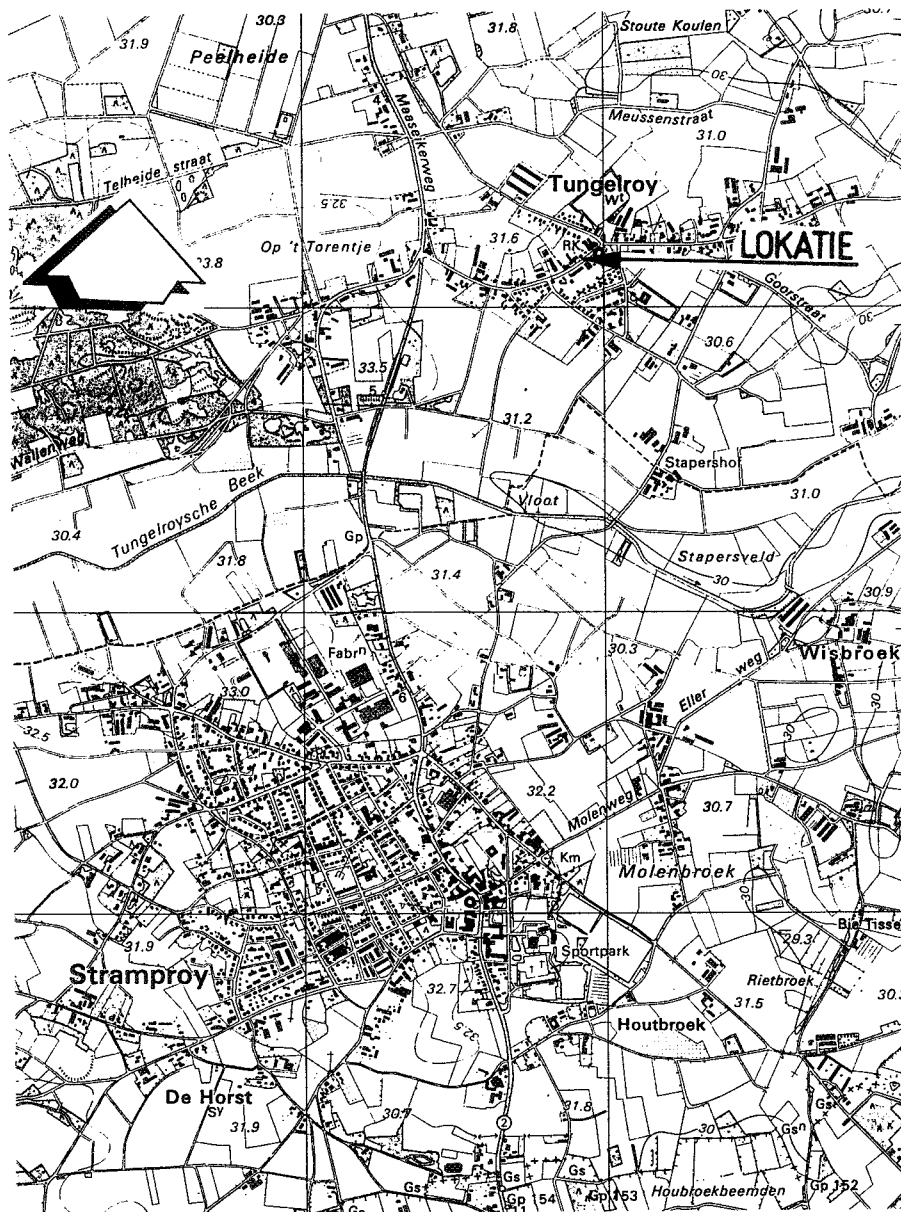


Figuur 3.1.2. Ligging van de assenweg in Budel (Bron: topografische kaart van Nederland, kaartblad 57E schaal 1 : 25000)

De regionale grondwaterstromingsrichting ter plaatse van het onderzoekslocatie Budel is noordelijk en de assenweg loopt van oost-zuidoost naar westnoordwest. Er ligt een grondwaterwinning ca.  $\frac{3}{4}$  kilometer ten westen van de onderzoekslocatie. De onderzoekslocatie ligt binnen de 10-jaars zone, zodat stroming van met name het diepere grondwater ter plaatse globaal noordwestelijk gericht is.

De assenweg is niet afgedekt of weggegraven. De dikte van deklaag boven het le water voerend pakket wordt op 0 à 10 meter geschat. Het watervoerend pakket is 40 à 50 m dik. Het doorlatend vermogen van het watervoerend pakket wordt geschat op 2.000 m<sup>2</sup>/dag.

Lokatie Tungelroy



Figuur 3.1.3. Ligging van het assenerf in Tungelroy (Bron: Topografische kaart van Nederland, kaartblad 57H schaal 1 : 25.000)





Op de lokatie Tungelroy is eerder onderzoek gedaan door Haskoning (lit. 3). Het assenerf is noch afgedekt met andersoortig verhardingsmateriaal, noch weggegraven. De regionale grondwaterstroming is niet eenduidig bekend, maar is globaal oostelijk gericht. De lengterichting van het assenerf loopt vrijwel van zuid naar noord. De dikte van de deklaag bedraagt ca. 0 à 5 meter. De dikte van het watervoerend pakket is meer dan 100 m (zandige ontwikkeling Kedichemformatie). Er wordt een kD-waarde gegeven van 4.200 m<sup>2</sup>/dag. Het assenerf ligt niet binnen het intrekgebied van een drinkwaterpompstation.

Er is wel onderzocht of een open assenweg gelegen in de provincie Limburg in een dergelijk intrekgebied ligt.

Weliswaar ligt enkele kilometers noordelijker een pompstation in de gemeente Weert en is een tweede pompstation ten noorden van Weert gepland, maar uit de nadere inventarisatie van assenwegen is gebleken dat in de gemeente Weert geen open assenwegen -erven of depôts aanwezig zijn (mondelinge mededeling de heer Kaspers, gemeente Weert).

Bij het drinkwaterpompstation in Someren is wel een open zinkassenwegen aanwezig, maar deze ligt geenszins loodrecht op de regionale grondwaterstromingsrichting. Er is daarom toch voor de lokatie Tungelroy gekozen.

### 3.2. Opzet van veldonderzoek en chemische analyses

Het veldwerk op de drie lokaties is gefaseerd uitgevoerd. In de eerste fase worden per lokatie vijf peilbuizen geplaatst om de plaatselijke grondwaterstromingsrichting te bepalen. Tevens wordt het grondwater van drie van de vijf peilbuizen onderzocht op het voorkomen van cadmium en zink. Ook worden pH en het chloridegehalte bepaald, componenten die invloed hebben op de mobiliteit van cadmium en zink.

Per lokatie worden twee representatieve assenmonsters onderzocht op cadmium en zink. Het monster met het hoogste metaalgehalte wordt vervolgens met behulp van ICP (inductive coupled plasma) op circa 25 elementen onderzocht.

Tenslotte wordt de doorlatendheid van de assenverharding bepaald met behulp van een infiltratieproef om de maximale waterflux door de assenverharding vast te stellen.

Indien in de eerste fase een verontreiniging van het grondwater aangetoond is, wordt er in de tweede fase per lokatie een diepe boring tot juist in het eerste watervoerend pakket geplaatst om de grondwaterbeweging en de verspreiding van de zink- en cadmium-



verontreiniging in verticale richting te bepalen, alsmede de dikte en de samenstelling van de deklaag vast te stellen.

In de derde fase wordt de omvang van verontreinigingspluim onderzocht door minifilters te plaatsen en het grondwater op verscheidene uitlogbare, mobiele metaalionen te onderzoeken. De plaats van minifilters wordt vastgesteld met behulp van grondwaterstromingsgegevens uit fase 1 en 2 en van uitloog- en retardatiegegevens welke door middel van laboratoriumproeven bepaald worden (zie paragraaf 3.3).

### 3.3. Laboratoriumproeven met veldmateriaal

De belasting van het grondwater met verontreinigingen uit de assenwegen wordt bepaald door de uitloging van de zinkassen en door de mogelijkheid tot verspreiding van de verontreinigingen in de ondergrond. De migratie van de verontreinigingen wordt bepaald door zowel de grondwaterstroming als door de adsorptie van de verontreinigingen aan het bodemmateriaal.

#### 3.3.1. Uitloging van zinkassen

De uitloging van zinkassen wordt onderzocht met behulp van 2 à 3 maanden durende kolomproeven, welke ingericht zijn met het doel de veldomstandigheden zo goed mogelijk te benaderen. Ook wordt de uitloging onderzocht met de cascade-schudtesten om na te gaan of deze snellere en goedkopere methode ook voldoet. Daarnaast geven cascadetesten ook een beter inzicht in de uitloging op lange termijn. Uit het onderzoek van Haskoning blijkt dat de samenstelling van de zinkassen per wegerf of depot sterk kan verschillen. Dit verschil in uitlooggedrag kan door zeer veel factoren bewerkstelligd worden. Waarschijnlijk zijn de ouderdom en de herkomst van de zinkassen de belangrijkste aspecten in deze.

Twee zinkassenmonsters worden verkleind tot korrels van 3 mm en het uitlooggedrag wordt bepaald met behulp van cascadetesten.

Tevens wordt met het monster met de hoogste cadmiumconcentratie een kolomexperiment uitgevoerd. Het eerste perkolaatmonster van de kolomproef wordt met ICP onderzocht om na te gaan welke elementen uitloogbaar zijn uit de assenmatrix. Op basis van de ICP-resultaten van het perkolaatmonster worden de schudwatermonsters van de cascade-experimenten op drie à vier uitlogbare elementen onderzocht.

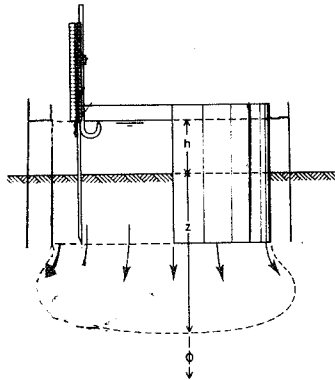
#### Infiltratie van regenwater door de assen

Om inzicht te verkrijgen in de doorlatendheid van de aanwezige assen worden infiltratie-experimenten uitgevoerd. De doorlatend-

heid en de uitloogbaarheid van de assen samen geven een indicatie van de flux aan verontreinigingen uit de assen die in het grondwater terecht komen. Wanneer de doorlatendheid van de assen erg klein is zal naast de infiltratie met name oppervlakkige afstroming van neerslag optreden.

De experimenten worden als volgt uitgevoerd:

Twee concentrische ringen worden op de meetlocatie in de grond geplaatst en de grond wordt met water verzadigd. Vervolgens worden beide ringen op gelijke hoogte met water gevuld en wordt in de middelste ring de zaksnelheid van het water gemeten. De zaksnelheid is bij benadering gelijk aan verticale doorlaatfaktor van de bodem. In figuur 3.3.1 is een meetopstelling van een infiltrometer weergegeven.



Figuur 3.3.1. Principe opstelling van een infiltrometer of dubbele ringenmethode

### 3.3.2. Adsorptie aan de bodem

De adsorptie van zink en cadmium aan vaste bodemdeeltjes wordt vastgesteld door middel van schudproeven.

Om een schatting te kunnen maken ten aanzien van de snelheid waarmee de opgeloste verontreinigingen zich via het bodemvocht verspreiden is het noodzakelijk de mate van adsorptie aan bodemmateriaal te bepalen. De  $K_d$ , de verdelingscoëfficiënt van een verontreiniging over grond en grondwater, bepaalt namelijk de verplaatsingssnelheid van de verontreiniging ten opzichte van de snelheid van de grondwaterverplaatsing. Voor de componenten cadmium en zink zijn met name de pH, de deeltjesgroottefractie, de redoxpotential en het chloridegehalte van bodem en grondwater van invloed op de  $K_d$ .

De adsorptie wordt per lokatie vastgesteld aan vier geselecteerde bodemmonsters, nl. drie van de deklaag (zanddiluvium) en één van het watervoerend pakket. Hiertoe worden in de eerste fase van het



veldonderzoek drie monsters op geringe diepte genomen, waarmee schudexperimenten worden uitgevoerd. In de tweede fase van het veldonderzoek wordt een grondmonster van het watervoerend pakket genomen, waaraan ook de adsorptie wordt bepaald.

De adsorptie-isotherm is slechts in een beperkt concentratiegebied lineair. Daarom wordt per grondmonster een adsorptie-isotherm van vier punten bepaald. Hiertoe wordt sterk met cadmium en zink verontreinigd grondwater in vier verschillende schudverhoudingen gedurende 24 uur geschud. Doordat op drie lokaties peilbuizen worden bemonsterd, wordt een indicatie verkregen omtrent de invloed van makroparameters als pH en chloridegehalte op het adsorptiegedrag.

#### 3.4. Bevestiging verontreinigingsbeeld in het ondiepe grondwater

Uit fase 1 van het onderzoek (het ondiepe grondwater) blijken lagere cadmium- en zinkconcentraties in het ondiepe grondwater voor te komen dan op basis van de literatuur te verwachten zijn.

De cadmiumconcentraties zijn ter plaatse van de assenerven en -weg in het ondiepe grondwater lager dan de B-waarde. Derhalve is op vijf lokaties nogmaals het ondiepe grondwater onder een openliggende assenweg onderzocht. Hiertoe is de volgende onderzoeksopzet gekozen:

- op basis van een aanvullende inventarisatie van assenwegen, -erven en -depots (lit. 12) worden vijf openliggende assenwegen gekozen. Per lokatie worden twee peilbuizen in de assenweg geplaatst ter bemonstering van het ondiepe grondwater onder de weg. De monsters worden geanalyseerd op zink, cadmium, pH en geleidbaarheid.

#### 3.5. Samenvatting onderzoeksopzet van de drie lokaties

In tabel 3.5.1. is de opzet van het veld- en laboratoriumonderzoek van de drie voorbeeldlokaties nog eens samengevat.



Tabel 3.5.1. Samenvatting onderzoekopzet voorbeeldlokaties

veldwerk	analyses		laboratorium- experimenten
	grondwater	grond	
<u>1e fase</u>			
plaatsen 5 peilbuizen waterpassen, peilen, boorbeschrijving	3x Cd, Zn, Cl <sup>-</sup> , pH, EC		
3x infiltratie-experi- menten assen			
2x bemonstering assen		1x 25 elementen met ICP 2x Cd, Zn	2x cascadetest 1x kolomexpe- riment
3 boringen deklaag, monsters verschillende bodemplagen		3x zeefkromme, organische stof, CaCO <sub>3</sub>	3x adsorptie- isotherm Cd en Zn
<u>2e fase</u>			
1 diepe boring tot juist in watervoerend pakket met 3 peilfil- ters; waterpassen + peilen	3x Cd, Zn, Cl <sup>-</sup> , pH, EC	1x zeefkromme, organische stof, CaCO <sub>3</sub>	1x adsorptie isotherm Cd en Zn
<u>3e fase</u>			
3 lokaties plaatsen van 6 minifilters m.b.v. sonderen	15x Cd, Zn, Cl <sup>-</sup> , pH EC en e.v. andere		
1 sondering met conus en kleefweerstand	goed uitlogende elementen		

### 3.6. Opzet van onderzoek naar migratie van verontreinigingen, model- onderzoek

Met behulp van een computermodellen wordt nagegaan of de verplaatsing van de verontreiniging gesimuleerd kan worden. Hier-  
toe zijn een aantal modellen geïnventariseerd.

De parameters van de modellen worden geput uit de literatuur.

Dan wordt getoetst of de modellen voldoen voor de beschrijving van het verspreidingspatroon van de verontreinigingen op de drie onderzoeklokaties. Vervolgens wordt nagegaan of een bredere toe-  
passing mogelijk is, namelijk een voorspelling van zones, waarin



verontreinigingen uit assenwegen voorkomen, die afhankelijk is van algemene geohydrologische parameters en desorptie- en adsorptiegedrag van de verontreinigingen.



#### 4. VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE VALKENSWAARD

##### 4.1. Verrichte werkzaamheden

Het veldwerk van fase 1 en fase 2 is konform de onderzoeksopzet uitgevoerd (zie ook paragraaf 3.2. en 3.5.) uitgezonderd de plaatsing van twee extra peilbuizen met filters van 3-5 m -mv. Deze zijn geplaatst om een beter inzicht in de grondwaterstroming in de deklaag te krijgen. De diepe boring in fase 2 is geplaatst tot 15 m -mv.

In fase 3 zijn op drie plaatsen elke drie meter minifilters geplaatst tot een diepte van 20 m -mv. De plaatskeuze is gebaseerd op de resultaten van het veldonderzoek en deels op de gemeten concentraties in het grondwater en de resultaten van het adsorptie-onderzoek. Eveneens zijn op basis hiervan kleef- en conusweerstandsmetingen achterwege gelaten.

In bijlage 1.1. is een situatieschets met de ligging van de monsterpunten opgenomen. In bijlage 3 is een overzicht gegeven van de gehanteerde monsternametechnieken.

Om het desorptiegedrag te onderzoeken zijn met de zinkassen (monsterpunten 9 en 10) cascade schudtesten uitgevoerd, nadat ze tot 3 mm zijn verkleind. Het schudwater en de assen zijn in afwijking van de onderzoeksopzet voor en na schudden geanalyseerd op antimoon, arseen, cadmium, cobalt koper, nikkel, lood, zink, pH en geleidbaarheid. De keuze voor deze parameters is o.a. gebaseerd op het onderzoek van de gemeente Eindhoven ter plaatse van dit assenerf. De onderzoeksgegevens van de gemeente Eindhoven zijn opgenomen in bijlage 4. Een volledige beschrijving van de cascade-schudtesten is opgenomen in bijlage 5.1. Op basis van de resultaten is monster 9 geselecteerd voor een kolomproef. Er is van november '86 tot en met februari '87 geperkoleerd met synthetisch regenwater met pH 4 en een flux van 50 cm/dag. De flux is gekozen op basis van de resultaten van de infiltratieproeven (zie ook paragraaf 4.2). Om deze vloeistofflux te realiseren is het assenmonster gemengd met 30 % uitgegloeid kwartzand. Van dit experiment is een beschrijving opgenomen in bijlage 5.2.

##### 4.2. Resultaten van veld- en geohydrologisch onderzoek, Valkenswaard

Een schematisch geohydrologisch profiel is gegeven in figuur 4.2.1. (voor ligging zie bijlage 2.1.).

De boorbeschrijvingen van de boringen en peilbuizen zijn opgenomen in bijlage 6.1. en in een dwarsprofiel verwerkt in figuur 4.2.2. (de ligging is aangegeven in figuur 4.2.3.).



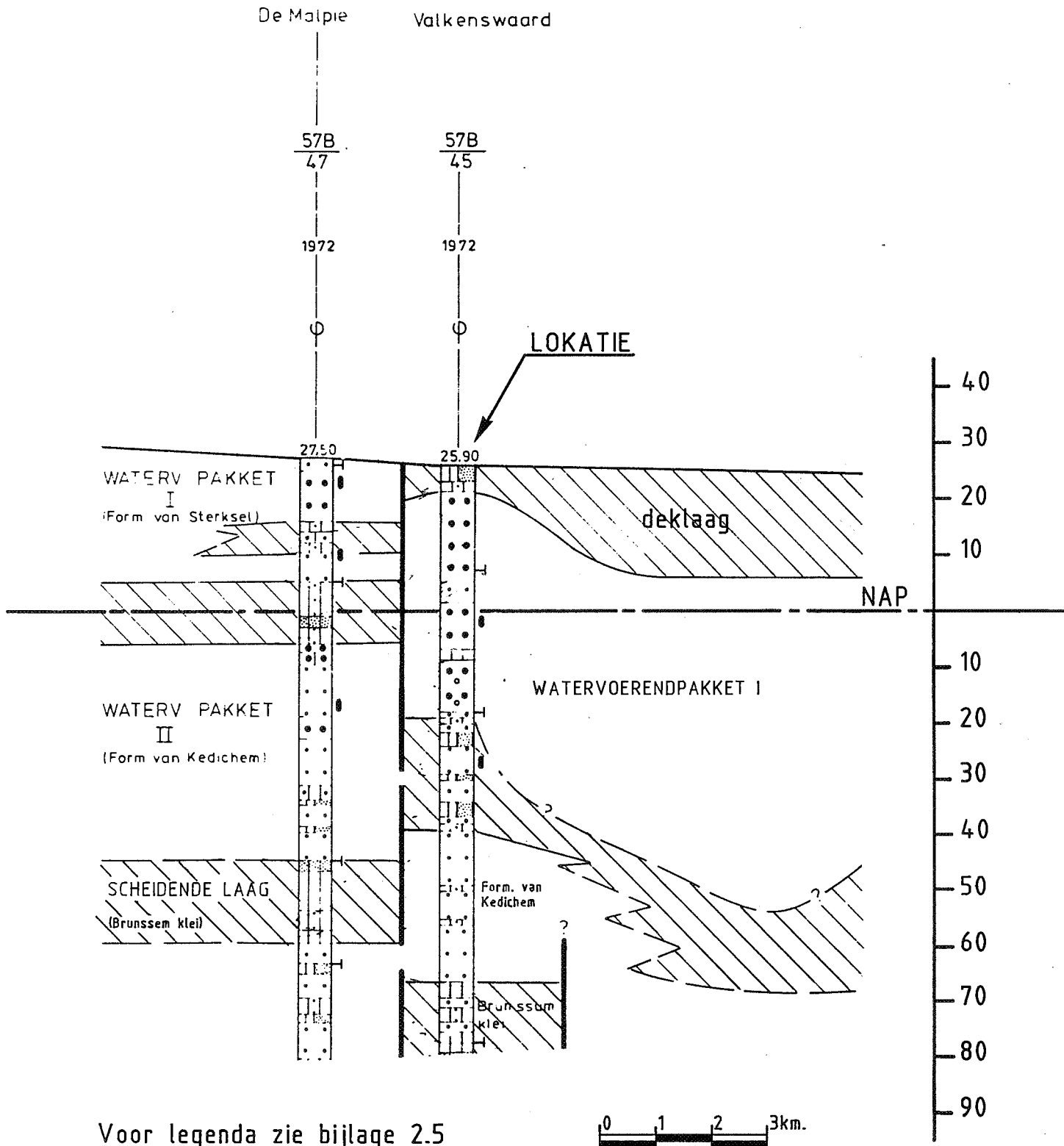
Uit het dwarsprofiel blijkt dat de deklaag 4 à 6 m dik is en bestaat uit leemhoudende fijne zanden waarin plaatselijk leembanden voorkomen. Een relatief dichte leemlaag lijkt voor te komen op een niveau van 22 tot 23,5 m +NAP (2,5 à 4 m -mv).





Z.W.

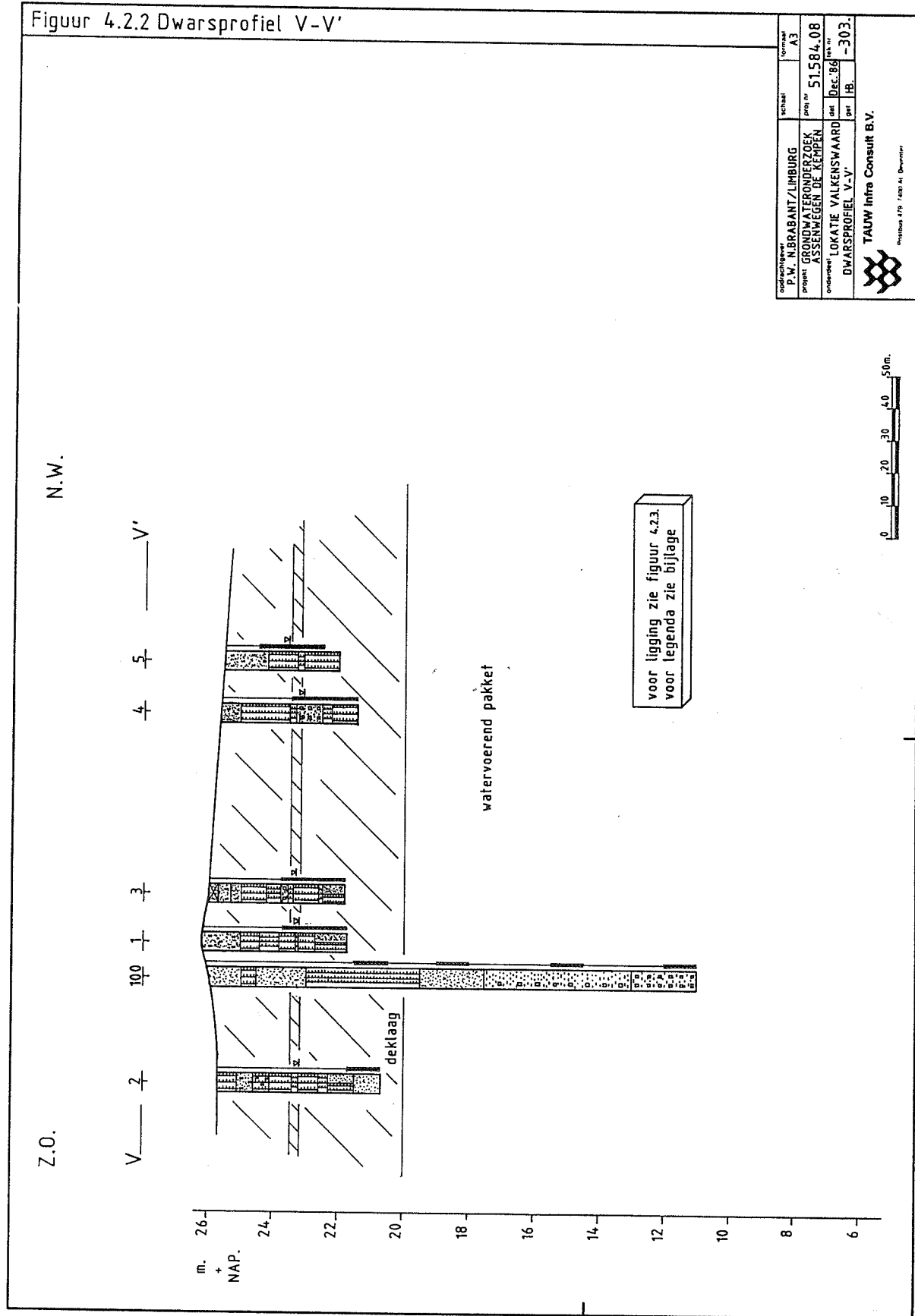
N.O.



Figuur 4.2.1. Geohydrologisch dwarsprofiel nabij Valkenswaard.  
Bron: TNO (1983).



Figuur 4.2.2 Dwarsprofiel V-V'



opdrachtgever	P.W. NBRABANT/LIMBURG	schaal	formaat
project	GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KETEPEN	plaat nr.	51584.08
onderwerp	LOKATIE VALKENWAARD DWARSPROFIEL V-V'	dat.	Dec. '89
		get.	HB.
 <b>TAUW Infra Consult B.V.</b> <small>omroep 479 1420 41 Drenthe</small>			



Deze laag is circa 1 m dik, met uitzondering van de boringen 5 t/m 8 waarin deze leemlaag 0 tot 0,2 m dik is. Daarentegen duidt het grondwaterstandverloop in peilbuis 5 wel op de aanwezigheid van een weerstandbiedende laag.

Onder de deklaag komt zand voor, met een grindlaag op een diepte van 12,5 tot 14 m -mv.

De verschillende filters zijn gewaterpast en enkele keren gepeild. De gegevens zijn weergegeven in bijlage 6.2.

Uit deze gegevens blijkt dat er een stijghoogte verschil bestaat tussen het water in de deklaag en in het watervoerend pakket. De grootte het stijghoogteverschil ( $\Delta h$ ) varieert plaatselijk sterk en ligt tussen 0,03 m en 0,90 m.

Gerekend over een verzadigde deklaag van 5 m betekent dit een vertikaal verhang van 6 à 180 ‰. De hydraulische weerstand ( $c$ ) van de deklaag is niet exakt bekend maar bedraagt hooguit enkele honderden dagen. Er zal dus sprake zijn van een aanzienlijke neerwaartse grondwaterstroming. Gemiddeld over een jaar zal deze circa 250 mm bedragen. De neerwaartse stromingssnelheid wordt berekend

$$\text{volgens } V = \frac{\Delta h}{p \cdot c}$$

en bedraagt bij een porositeit ( $p$ ) van 35 à 40% circa 1 m/jaar.

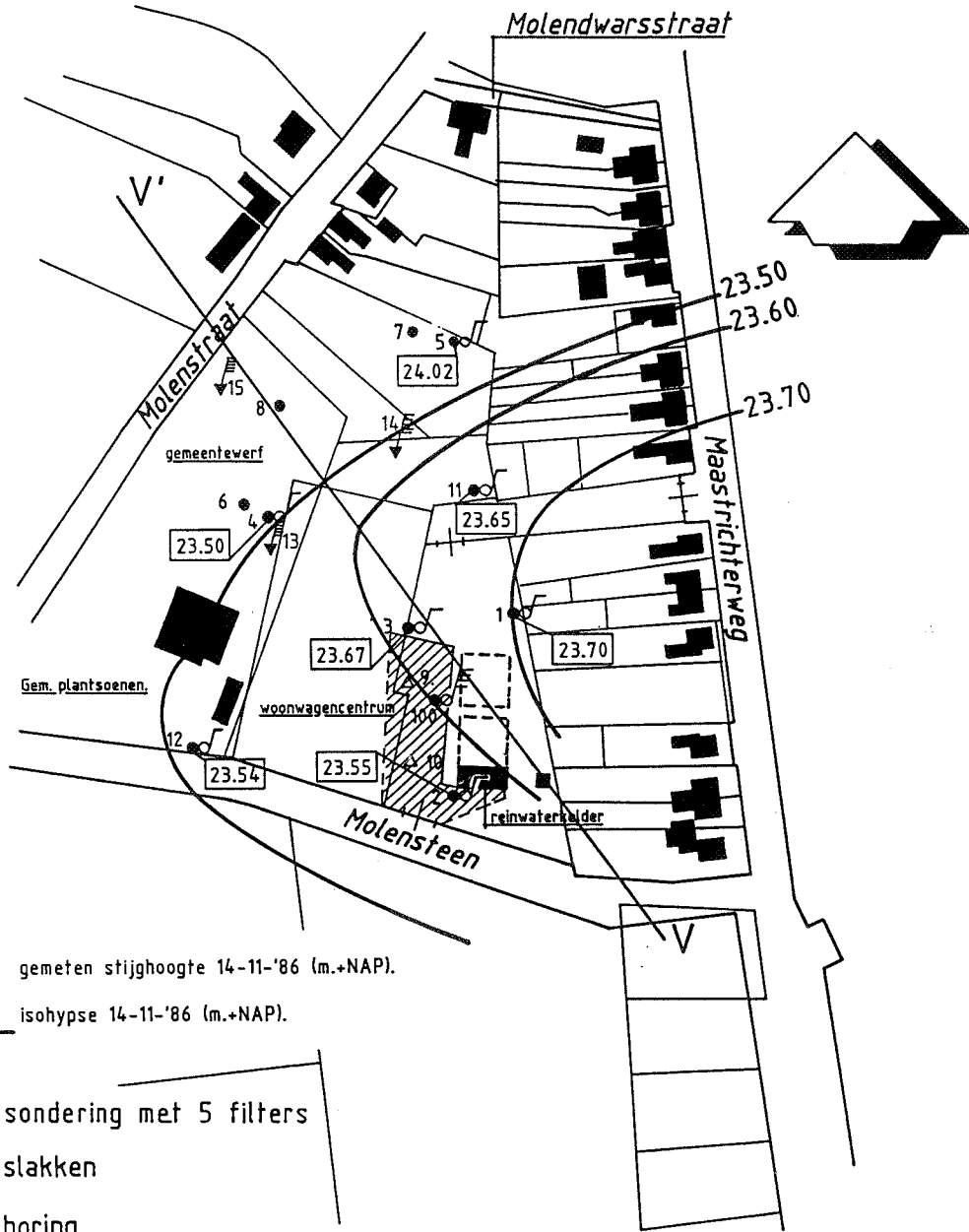
Daarnaast is er mogelijk sprake van een horizontale stromingskomponent in de deklaag. Om dit vast te stellen zijn de gemeten stijghoogten van op 14-11-'86 en 26-01-'87 weergegeven in respectievelijk figuur 4.2.3. en 4.2.4. Daaruit lijkt voor het assenerf een stroming in zuidwestelijke richting af te leiden te zijn. Deze interpretatie is evenwel twijfelachtig, daar de stijghoogte in een peilbuis mede afhangt van de diepte van de peilbuis en de samenstelling van de deklaag ter plaatse.

Het verschil tussen de twee figuren ontstaat voornamelijk door het al dan niet meenemen van peilbuis 5 die een relatief hoge grondwaterstand kent.

Het horizontale stijghoogteverhang bedraagt 4 à 5 ‰, hetgeen weinig is in vergelijking met het verticale verhang.

Het lijkt in dit geval dan ook aannemelijk dat de verplaatsing in de deklaag in horizontale richting klein is in verhouding tot de verticale verplaatsing.

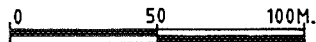
Figuur 4.2.3 Grondwaterstijghoogtes en isohypsen in deklaag.



23.50 gemeten stijghoogte 14-11-'86 (m.+NAP).

23.50 isohypse 14-11-'86 (m.+NAP).

- sondering met 5 filters
- slakken
- boring
- combinatie boring/peilbuis
- combinatie boring/peilbuis met meerdere filters
- assenerf



Opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>		Schaal 1:500	Formaat A4
Project <b>GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN</b>		Proj. nr. <b>51584.08</b>	
Onderdeel <b>LOKATIE VALKENSWAARD</b>		dat. <b>OKT'86</b>	tek. nr. <b>-302.</b>
		get. <b>H.F.B.</b>	

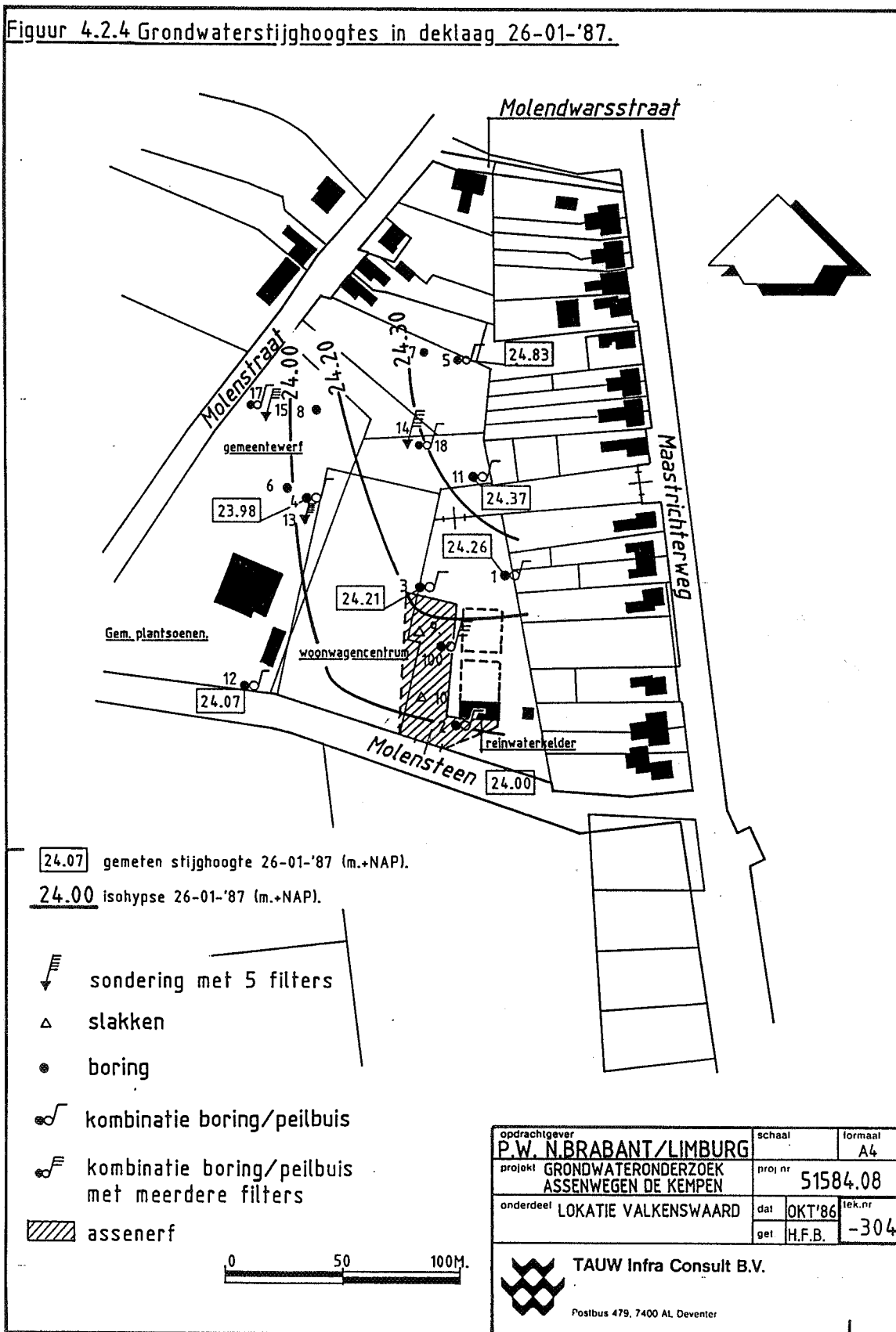


TAUW Infra Consult B.V.

Postbus 379 4001 Al Deventer



Figuur 4.2.4 Grondwaterstijghoogtes in deklaag 26-01-'87.





In het diepe grondwater (grondwater in het eerste watervoerend pakket) zijn op vier punten grondwaterstanden gemeten: punten 13, 14, 15 en 100. De stijghoogte in de sonderingfilters 13, 14 en 15 zijn gemeten met de verhangmeter. Daarbij worden stijghoogteverschillen gemeten ten opzichte van een peilfilter, waarvan de grondwaterstand direkt is te peilen.

Uit een controle is gebleken dat deze methode met name in slecht doorlatende lagen een beperkte nauwkeurigheid heeft (afwijking van circa 14 cm).

Hierdoor kunnen deze gegevens alleen gebruikt worden om een orde van grootte van de stijghoogte aan te geven. De stijghoogten zijn evenwel niet nauwkeurig genoeg om een stromingsrichting aan te geven. Op grond van de literatuur mag een stroming in noordnoordwestelijke richting worden aangehouden. De gekonstateerde verontreinigingen in het diepe grondwater lijken eerder te duiden op een stroming in noordwestelijke richting.

In het watervoerend pakket is er ook sprake van een verticale stromingskomponent. Deze kan op grond van de theorie worden berekend als de verhouding tussen stroming in het watervoerend pakket en aanvulling door neerslag (waterbalans). Voor conservatieve verontreiniging in een homogeen watervoerend pakket is deze vergelijking:

$$d_{w\text{rp}} = \frac{x N}{xN + kDi * 365} * D$$

met

$d_{w\text{rp}}$	= diepte conservatieve verontreiniging in het watervoerend pakket	(m)
$x$	= afstand tot bron van de verontreiniging	m
$N$	= voeding watervoerend pakket	0,250 m/jaar
$kD$	= doorlatend vermogen watervoerend pakket	2.000 m <sup>2</sup> /dag
$i$	= verhang grondwaterstijghoogte watervoerend pakket	1 ‰
$D$	= dikte watervoerend pakket	

In de praktijk blijken verontreinigingen meestal dieper voor te komen dan op grond van theorie wordt voorspeld. Een ruw praktijkcijfer vuistregel is een helling van 1/10. Als verklaringen hiervoor zijn te geven:

- heterogeniteit van het pakket voorkeursstromen, makro-dispersie
- dichtheidsstroming

In tabel 4.2.1. zijn verwachte en aangetoonde diepten waarop verontreinigingen voorkomen aangegeven.



Tabel 4.2.1. Verwachte en aangetoonde verontreinigingsdiepte

peilbuis	afstand (m)	Verwachte verontreinigingsdiepte		aangetoonde verontreinigingsdiepte (m)
		theorie (m)	vuistregel (m)	
100	0	6	6	ca. 11,5
13	120	7,5	18	ca. 16
15	170	8,2	23	20 of dieper

De gevonden verontreinigingsdiepten zijn veel groter dan de op grond van de theorie te verwachten diepte. Ook de verwachte diepte op grond van de vuistregel wordt overschreden. Dit geldt met name voor peilbuis 100 die direkt in het assenerf staat. Een verklaring hiervoor is niet duidelijk.

Verder is het opvallend dat in de filters op grotere afstand van het assenerf ook op betrekkelijk geringe diepte nog relatief hoge concentraties worden gevonden. Dit kan duiden op een verspreiding via het ondiepe grondwater in de deklaag.

#### Infiltratie-experiment

Het infiltratie-experiment om de doorlatendheid van het assenerf te onderzoeken is uitgevoerd nabij monsterpunt 10. De meetwaarden zijn opgenomen in bijlage 7.1. De verticale doorlatendheid bedraagt ter plaatse  $0,5 \pm 0,1$  m/dag.

#### 4.3. Analyseresultaten van zinkassen en grondwater van de lokatie Valkenswaard

In de tabellen 4.3.1. en 4.3.2. zijn de analyseresultaten van respectievelijk de zinkassen en van het grondwater gepresenteerd. Tevens zijn de toetsingswaarden van het toetsingskader uit de Leidraad bodemsanering van het Ministerie van VROM, alsmede de WCA-grenzen opgenomen. Door de onderlijning van de analyseresultaten is weergegeven of deze zich tussen de B- en de C-waarde bevinden (—) tussen de C-waarde en de Wca-grens bevinden (===) of boven de Wca-grens liggen (-.-). Voor grondwater is onderscheid gemaakt voor tussen B- en C-waarde (—) en boven C-waarde (===). Een volledig overzicht van de analyseresultaten die betrekking hebben op Valkenswaard, is opgenomen in bijlage 8.1.



Tabel 4.3.1. Analyseresultaten van assen van de lokatie Valkenswaard.

	anti- moon	ar- seen	cad- mium	co- balt	ko- per	nik- kel	lood	zink
<u>Assen</u> (gehalten in mg/kg)								
9 (0-10 cm- mv)	125	105	10	40	6.500	190	2.600	54.000
10 (0-10 cm- mv)	130	150	9	30	5.800	150	1.750	40.000
<u>Toetsingswaarden grond en WCA-grenzen</u> ( in mg/kg)								
B-waarde		30	5	50	100	100	150	500
C-waarde		50	20	300	500	500	600	3.000
WCA-grens	50	50	50	5.000	5.000	5.000	5.000	20.000





Tabel 4.3.2. Analyseresultaten grondwater Valkenswaard

	cadmium	nikkel	zink	pH
<u>Grondwater</u> (gehalten in ug/l)				
2 ( 3 - 5 m -mv)	2,1		3.750	5,0
3 ( 2,2- 4,2 m -mv)	0,5		190	4,8
5 ( 1,1- 3,1 m -mv)	1,1		<u>480</u>	5,3
100 ( 4,5- 5,5 m -mv)	0,2		150	6,8
100 ( 7 - 8 m -mv)	0,6		<u>330</u>	6,5
100 (10,5- 11,5 m -mv)	<u>2,7</u>		1.550	5,8
			=====	
100 (14 - 15 m -mv)	1,3		940	6,0
			====	
13 ( 2 - 3 m -mv)	<u>2,6</u>	<1	<u>370</u>	5,3
13 ( 5 - 6 m -mv)	<u>8,1</u>	45	80	5,8
13 ( 8 - 9 m -mv)	<u>7,3</u>	12	50	6,3
13 (11 - 12 m -mv)	<u>7,0</u>	<u>295</u>	<u>670</u>	4,4
		====		
13 (15 - 16 m -mv)	<u>27</u>	<u>99</u>	<u>300</u>	6,6
	==			
13 (19 - 20 m -mv)	<u>8,9</u>	<u>700</u>	<u>490</u>	6,6
		====		
14 ( 2 - 3 m -mv)	0,8	17	20	5,0
14 ( 5 - 6 m -mv)	0,2	11	10	4,5
14 ( 8 - 9 m -mv)	1,0	29	40	4,9
14 (11 - 12 m -mv)	2,1	<u>150</u>	<u>250</u>	5,8
14 (15 - 16 m -mv)	1,6	27	30	5,9
14 (19 - 20 m -mv)	0,4	26	<6	6,1
15 ( 2 - 3 m -mv)	0,8	11	40	4,7
15 ( 5 - 6 m -mv)	1,6	10	588	4,4
15 ( 8 - 9 m -mv)	1,7	<u>82</u>	160	5,4
15 (11 - 12 m -mv)	<u>6,1</u>	28	90	4,4
15 (15 - 16 m -mv)	<u>5,5</u>	435	940	5,4
		====	====	
15 (19 - 20 m -mv)	60	22	70	6,6
	==			

Toetsingswaarden grondwater ( in ug/l)

B-waarde	<u>2,5</u>	<u>50</u>	<u>200</u>
C-waarde	10	200	800
	==	====	====



### Assen

Uit de analyseresultaten van de assen blijkt een grote overeenkomst tussen de twee assenmonsters. De antimoon-, arseen-, koper- en zinkgehalten overschrijden de WCA-grens. Het cadmiumgehalte ligt tussen de B en de C-waarde van het toetsingskader uit de Leidraad Bodemsanering van het Ministerie van VROM, welke is opgenomen in bijlage 9.

### Oppervlakkig grondwater (2-5 m -mv)

Uit de analyseresultaten komt geen eenduidig beeld naar voren. Ter plaatse van het assenerf is bij één monsterpunt (nr.2) een sterk verhoogd zinkgehalte gemeten (5x de C-waarde). Het cadmiumgehalte is hier enigszins verhoogd ten opzichte van de omgeving doch overschrijdt de B-waarde niet.

Er heeft een verspreiding plaatsgevonden in westelijk tot noordwestelijke richting in de richting van monsterpunt 13. Het cadmium- en het zinkgehalte liggen hier (net) boven de B-waarde.

Het verhoogde cadmium- en zinkgehalte bij monsterpunt 5 is niet te verklaren uit verspreidingsgegevens. Monsterpunt 5 ligt namelijk stroomopwaarts van het assenerf terwijl de gehalten hier verhoogd zijn ten opzichte van de omgeving.

Ook het feit dat het filter in de grondwaterlaag boven de leemlaag is geplaatst is geen verklaring; slechts in de helft van de gevallen wordt in deze grondwaterlaag verhoogde cadmium- en zinkgehalten gevonden.

### Het diepere grondwater (5-20 m -mv)

In de tweede fase van het veldonderzoek is ter plaatse van het assenerf de verandering van de cadmium- en zinkconcentratie in het grondwater in verticale zin bepaald. Uit de meetresultaten van het grondwater van de peilfilters, die in boorgat 100 geplaatst zijn, blijkt dat de hoogste verontreinigingsconcentratie zich op 10,5-11,5 m -mv bevindt. De cadmiumconcentratie ligt hier boven de B-waarde en de zinkconcentratie boven de C-waarde (2x) van het toetsingskader. In het filter van 14-15 m -mv zijn de concentraties afgenomen en ligt tussen de A- en de B-waarde en de zinkconcentratie boven de C-waarde (1x).

Op basis hiervan zijn in de derde fase van het veldonderzoek op drie plaatsen series van 6 minifilters geplaatst tot 20 m -mv. Er is hierbij uitgegaan van een verticale verspreidingssnelheid van de verontreinigingen door de deklaag van 0,1-5 cm/jaar.

De verticale stromingskomponent in de deklaag is namelijk geschat op 1 m/jaar en de retardatiefactor op 50 à 1.000 (op basis van literatuurgegevens).

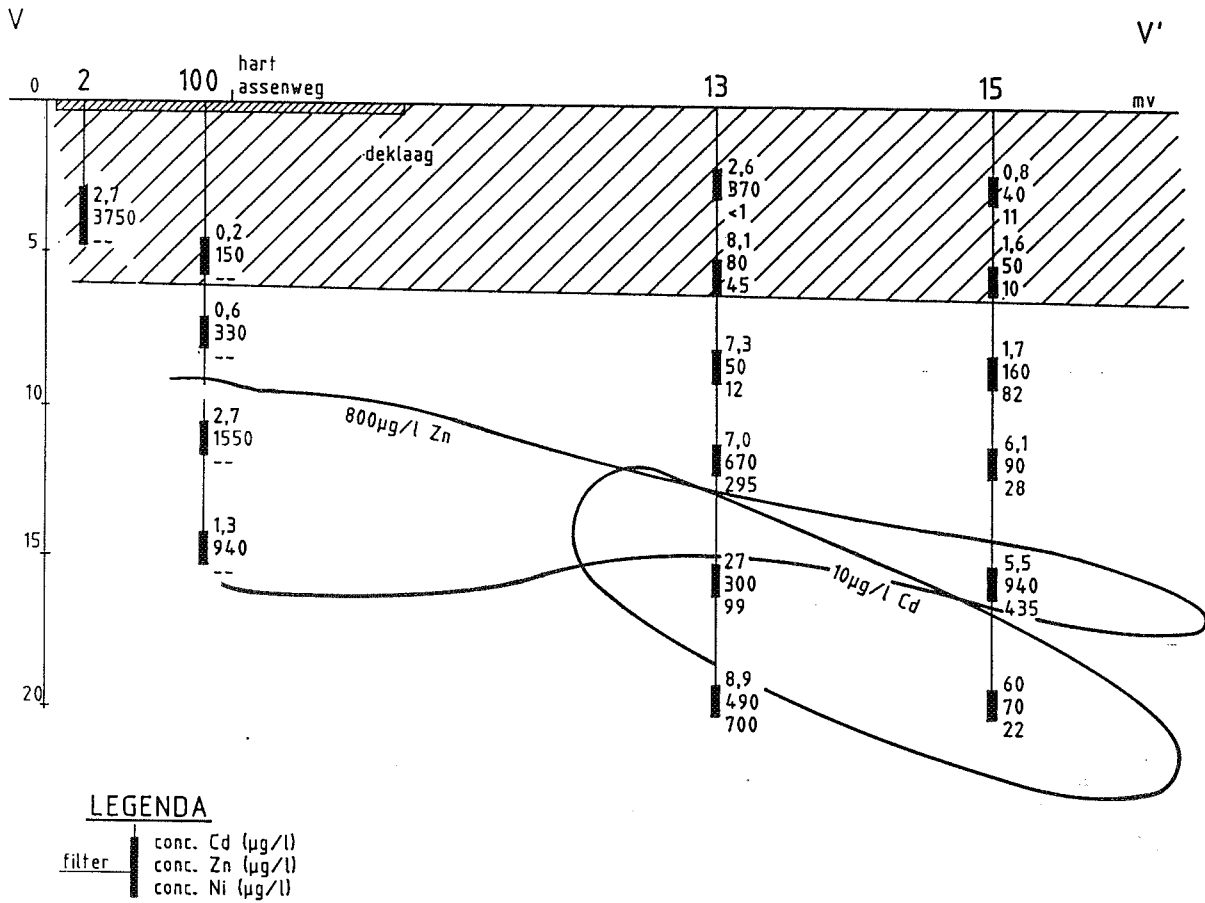


In het watervoerend pakket is de horizontale stromingskomponent geschat op 20 m/jaar en de verticale komponent op 1 m/jaar.

Uitgaande van een maximale verspreidingssnelheid in de 4 m dikke deklaag en storting van de assen 95 jaar geleden is een maximale verontreinigingsdiepte van 19 m geschat en een maximale horizontale verspreiding van 300 m.

Op deze schatting is een marge genomen; de minifilters zijn dichterbij (80 en 130 m van het hart van het assenerf) geplaatst. Het grondwater is op zink en cadmium alsmede op nikkel onderzocht omdat uit de cascade-experimenten is gebleken dat ook nikkel redelijk goed uitloopt uit de zinkassen (zie ook § 4.4.)

In figuur 4.3.1. is in een dwarsdoorsnede de verspreiding van de verontreinigingen in het grondwater weergegeven.



Figuur 4.3.1 Verontreinigingssituatie grondwater Valkenswaard.



Uit figuur 4.3.1. blijkt dat op 80 m afstand van de bron (monsterpunt 13) de piek van de cadmiumverontreiniging zich reeds op 16 m diepte bevindt en op 130 m van de bron op 20 m -mv en mogelijk dieper. De cadmiumconcentratie overschrijdt op deze plaatsen respectievelijk 3x en 6x de C-waarde. Ter plaatse van het assenerf wordt in de deklaag een hoge zinkgehalte gemeten (3.730 ug/l: 4,5x de C-waarde).

Vermoedelijk blijft deze verontreiniging in de deklaag tot daar waar de deklaag zandiger en dus beter doorlatend is. Dit komt waarschijnlijk voor tussen de monsterpunten 13 en 15.

Uit het verloop van de zink en de cadmiumconcentratie bij monsterpunt 100 blijkt verder dat in het verleden de uitloging sterker was dan op dit moment.

Uit de analyseresultaten (tabel 4.2.) blijkt verder dat monsterpunt 14 niet in de verontreinigingsbaan ligt.

Tenslotte moet opgemerkt worden dat bij monsterpunt 13 in het grondwater in de lagen 5-6 m -mv en 8-9 m -mv relatief hoge cadmiumgehalten ten opzichte van de omgeving worden gevonden, respectievelijk 8,1 en 7,3 ug/l.

Een mogelijke verklaring is de volgende: in de directe omgeving stroomopwaarts van monsterpunt 13 zijn nog assen verwerkt, bijvoorbeeld als wegverharding ter plaatse van het woonwagenkamp. Dit blijkt echter niet uit historische gegevens en niet uit veldgegevens.

#### 4.4. Resultaten van de laboratoriumexperimenten

##### 4.4.1. Desorptie-experimenten met het assenmateriaal

###### Cascade-schudtesten

Met de assen zijn cascade-schudtesten uitgevoerd, waarvan in tabel 4.4.1. de resultaten zijn weergegeven. Tevens zijn de evenwichtsconstanten (Kd) van de assen met de eerste schudfractie en met de gemiddelde concentratie van de vijf schudfracties bepaald. De Kd is gedefinieerd als:

$$Kd = \frac{C \text{ vaste fase (mg/kg)}}{C \text{ vloeibare fase (mg/dm}^3\text{)}}$$



Tabel 4.4.1. Resultaten van cascade-schudtesten

	assen 9 (mg/kg)	batch 1 (mg/L)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)	gemiddelde (5x) (mg/L)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)	assen 10 (mg/kg)	batch 1 (mg/L)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)	gemiddelde (5x) (mg/L)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)
antimoon	125	0.0004	31.10 <sup>4</sup>	0.0003	37.10 <sup>4</sup>	130	0.0005	26.10 <sup>4</sup>	0,00046	28.10 <sup>4</sup>
arseen	105	0.0005	21.10 <sup>4</sup>	0.0003	35.10 <sup>4</sup>	150	0.0002	75.10 <sup>4</sup>	0.00015	10.10 <sup>4</sup>
cadmium	10	0.008	13.10 <sup>2</sup>	0.0032	31.10 <sup>2</sup>	9	0.005	18.10 <sup>2</sup>	0.0026	35.10 <sup>2</sup>
cobalt	40	0.014	29.10 <sup>2</sup>	0.005	80.10 <sup>2</sup>	30	0.019	16.10 <sup>2</sup>	0.0088	34.10 <sup>2</sup>
koper	6500	0.062	11.10 <sup>4</sup>	0.030	22.10 <sup>4</sup>	5800	0.099	59.10 <sup>3</sup>	0.047	12.10 <sup>4</sup>
nikkel	190	0.230	826	0.108	18.10 <sup>2</sup>	150	0.230	652	0.093	16.10 <sup>2</sup>
lood	2600	<0.020	>13.10 <sup>4</sup>	<0.020	>13.10 <sup>4</sup>	1750	>88.10 <sup>3</sup>	<0.020	<0.020	>88.10 <sup>3</sup>
Zink	54000	35	15.10 <sup>2</sup>	15	36.10 <sup>2</sup>	40000	46	870	18.9	21.10 <sup>2</sup>

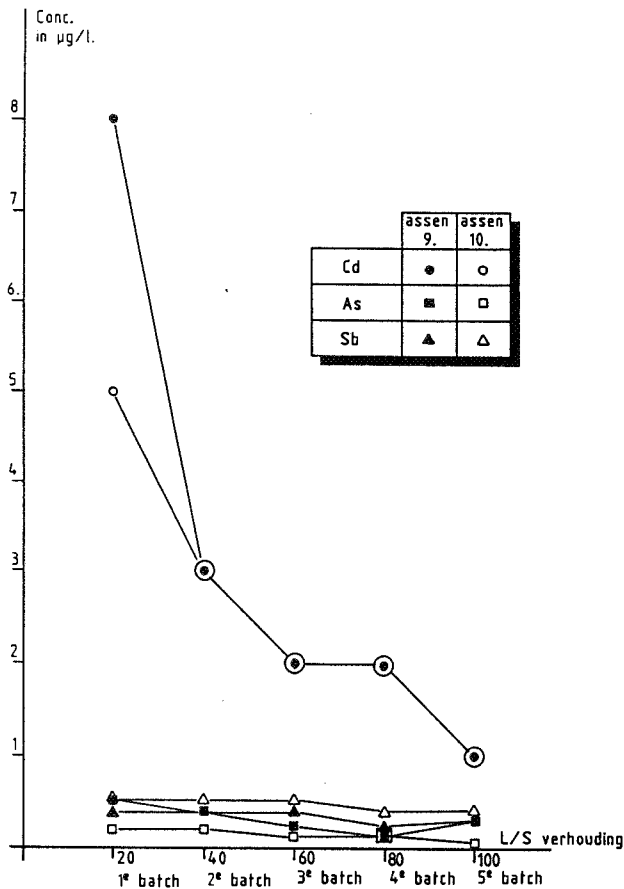
Uit de tabel 4.4.1. blijkt dat nikkel, cadmium, zink en cobalt het best uitloogbaar uit de assen zijn (de laagste Kd-waarde hebben). De Kd-waarde van de eerste schudfrakties is in alle gevallen lager dan van het gemiddelde van de vijf schudfrakties. Dit betekent dat de concentratie aan metalen in het schudwater afneemt naarmate de assen met meer schudwater in contact geweest zijn. Het uitloogpercentage van cadmium en zink is voor monster 9 voor beide 3% en voor monster 10 respectievelijk 3% en 5%.

De Kd-waarden, berekend met het gemiddelde van de vijf schudfrakties, komen voor de assenmonsters 9 en 10 in orde grootte overeen. In figuren 4.4.1. t/m 4.4.3. is het concentratieverloop in het schudwater uitgezet tegen de afnemende L/S (vloeistof/vaste stof)-verhouding.

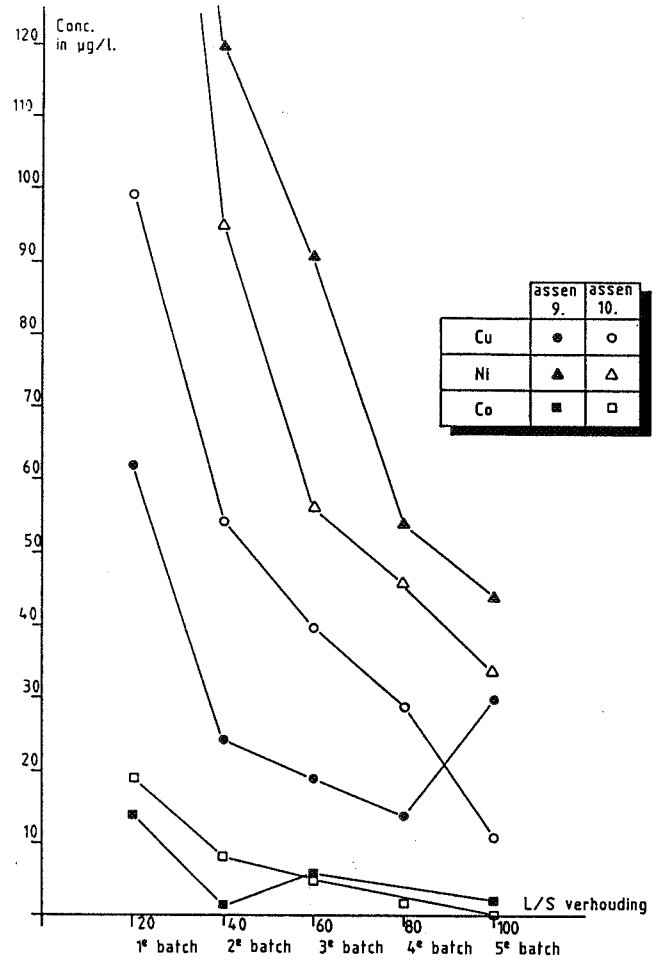
#### Kolomproef

Van de kolomproef met assenmonster 9 zijn de analyseresultaten van het eerste perkolaat monster (L/S 28) opgenomen in bijlage 8.1, blad 7. Hieruit blijkt dat behalve de concentraties van de zeer mobiele alkaliën en aardalkaliën met name de zink- en nikkelgehalten hoog zijn. Worden de gemeten gehalten geïnterpreteerd dan zijn zink en nikkel boven de C-waarde, cadmium en koper liggen tussen de B- en de C-waarde en barium ligt tussen A- en B-waarde. Chroom, lood, arseen en cobalt liggen onder de A-waarde.

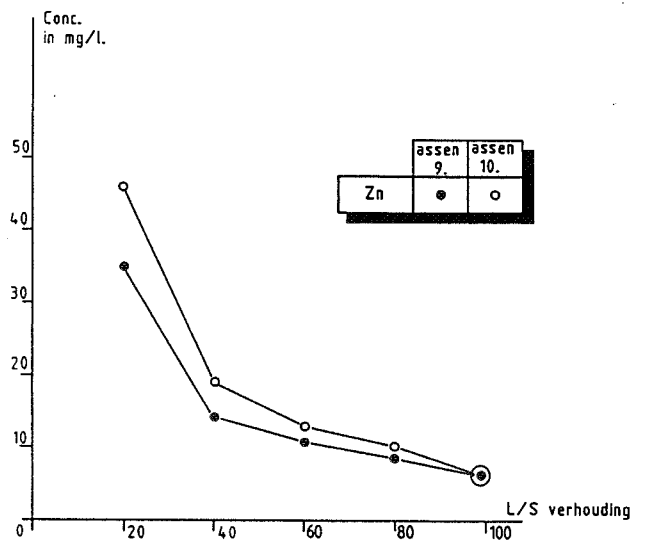
In figuur 4.4.4. is het verloop van de concentratie van respectievelijk het perkolaat uitgezet tegen de toenemende L/S-verhouding. Hieruit kan de gemiddelde concentratie in het uitlopende perkolaat op termijn geschat worden.



FIGUUR 4.4.1 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE IN HET SCHUDWATER MET TOENEMENDE L/S VERHOUDING; CASCADESCHUDEXPERIMENTEN MET ASSEN VAN ASSENERF VALKENSWAARD.

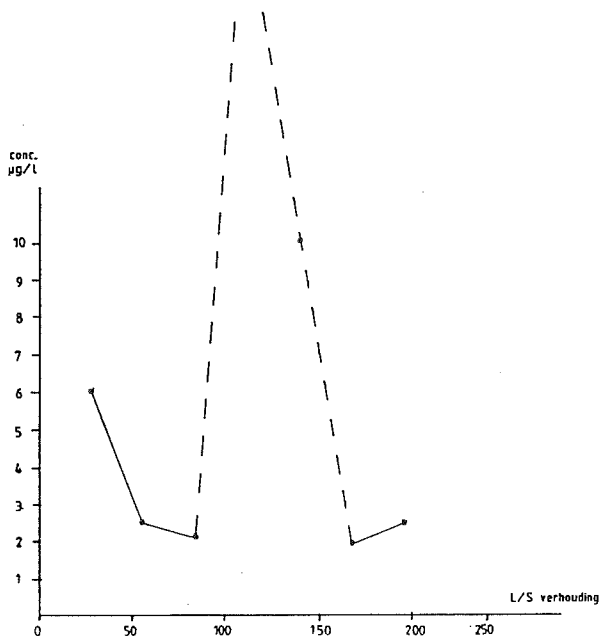


FIGUUR 4.4.2 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE IN HET SCHUDWATER MET TOENEMENDE L/S VERHOUDING; CASCADESCHUDEXPERIMENTEN MET ASSEN VAN ASSENERF VALKENSWAARD.

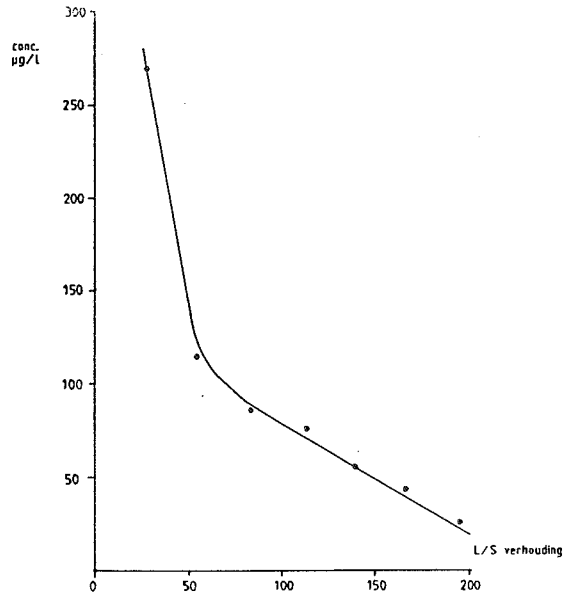


FIGUUR 4.4.3 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE IN HET SCHUDWATER MET TOENEMENDE L/S VERHOUDING; CASCADESCHUDEXPERIMENTEN MET ASSEN VAN ASSENERF VALKENSWAARD.

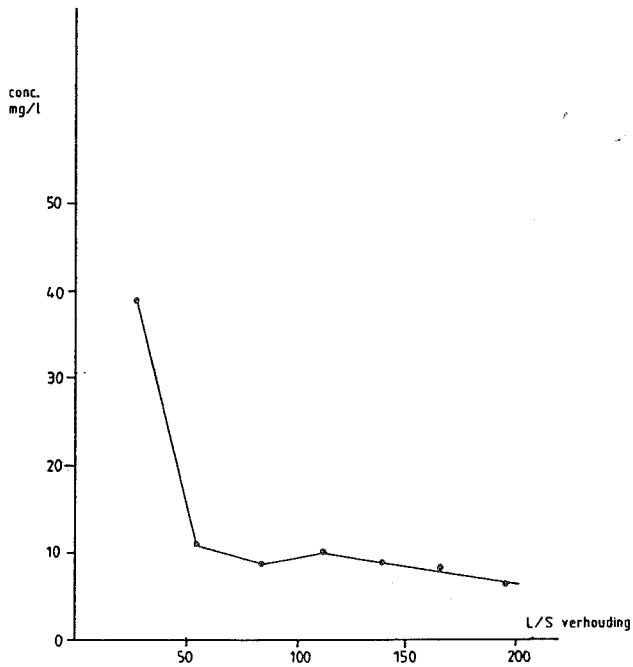
Figuur 4.4. 1 t/m 3



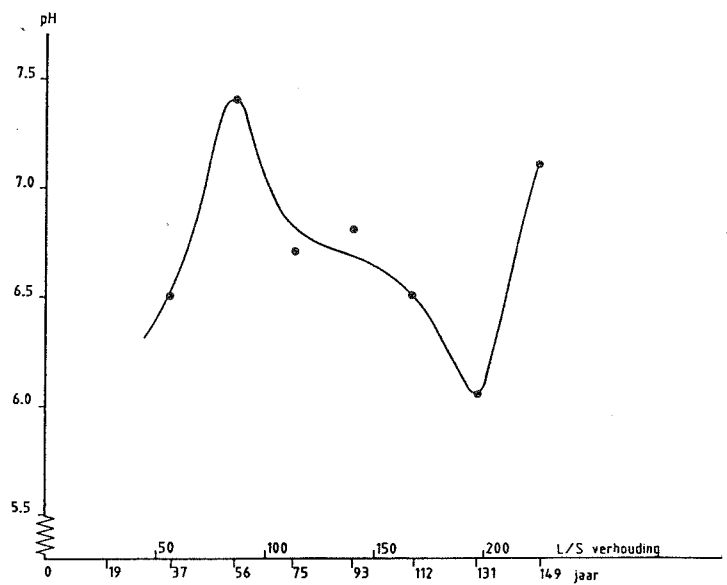
Verloop van de cadmiumconcentratie in percolaat met toenemende L/S verhouding : kolomproef met assen van assenerf Valkenswaard.



Verloop van de nikkelconcentratie in percolaat met toenemende L/S verhouding : kolomproef met assen van assenerf Valkenswaard.



Verloop van de zinkconcentratie in percolaat met toenemende L/S verhouding : kolomproef met assen van assenerf Valkenswaard.



Figuur 4.4.4. Kolomexperiment Valkenswaard





Opvallend is de piek van 46 ug/l in de cadmiumconcentratie in het perkolaat bij L/S 112 (monster 4). Dit piekgedrag kan verklaard worden uit het dichtslaan van de kolom, dat ten tijde van het verzamelen van perkolaatmonster 4 plaatsvond en dat tot een grotere verblijftijd leidde en dus een langer durend contact.

Het dichtslaan van de kolom is mogelijk veroorzaakt door verandering van chemische samenstelling van de kolom. Uit het verloop van de pH zie bijlage 5 figuur 5.2. is te zien dat de pH toeneemt met toenemende L/S-verhouding van monster 1 tot en met 3. Mogelijk is hierdoor precipitatie van (ijzer)hydroxiden opgetreden waardoor de doorlatendheid van de kolom verminderde. Doordat vervolgens een daling van de pH optreedt kan de mobiliteit van cadmium toegenomen zijn.

De uitgevoerde kolomproef geeft een inzicht van de uitloogbaarheid van de assen op termijn van circa 20-150 jaar waarbij uitgegaan is van een assenlaag van 20 cm dikte met een poriënvolume van 30%. Rekening houdend met het gegeven dat de eerste 1 à 2 monsters van een kolomproef verhoogde uitloging laten zien als gevolg van vergroting van het kontaktoppervlak van vaste en vloeibare fase is de gemiddelde concentratie in het perkolaat van de monsters 3 t/m 6 bepaald.

komponent	gemiddelde concentratie
	in perkolaat, monsters 3 t/m 6
cadmium	12,5 ug/l
nikkel	62 ug/l
zink	8,5 mg/l

Wanneer deze resultaten vergeleken worden met de grondwatergegevens van peilbuis 2 dan blijkt dat in het veld de cadmiumconcentratie een faktor 6 lager en de zinkconcentratie een faktor 2 lager ligt. Dit kan deels verklaard worden uit het verschil in doorlatendheid van de assen in assenweg of -erf en de naastgelegen grond. Bij een grotere doorlatendheid van de grond dan van de assen zal na een regenbui de grondwaterstand naast de assenweg of -erf hoger zijn dan eronder. Na enige tijd zal nivellering plaatsvinden en stroomt dus grondwater dat niet door de assen geperkeerd is toe onder de assenweg of het -erf. Hierdoor zal verdunning van het door de assen geperkoleerde water optreden.

De resultaten van de cascadetest en de kolomproef komen goed overeen zoals blijkt uit de figuren 4.4.1. tot en met 4.4.4.



#### 4.4.2. Adsorptie-experimenten met verschillende grondsoorten van Valkenswaard

De verdelingscoëfficiënt van cadmium en zink over grond en grondwater is bepaald voor enkele grondsoorten welke zijn aangetroffen ter plaatse van de onderzoekslokatie. De K<sub>d</sub>-waarden zijn bepaald met behulp van Freundlich adsorptie-isothermen. De Freundlich adsorptie-isotherm wordt geschreven als:

$$q = K_d C^{1/n}$$

Hierin is: q = de concentratie in grond na evenwichtinstelling in mg/kg d.s.  
 K<sub>d</sub> = de verdelingscoëfficiënt in dm<sup>3</sup>/kg  
 C = de concentratie in het grondwater na evenwichtstelling in mg/dm<sup>3</sup>  
 1/n = konstante, afhankelijk van het milieu waarin en de stof waarvan de adsorptie-isotherm wordt bepaald dimensieloos

Om de adsorptie-isotherm te bepalen is schone grond in vier verschillende L/S-verhoudingen geschud met verontreinigd grondwater van de lokatie. In bijlage 5.3. is de experimentele opzet gedetailleerder weergegeven.

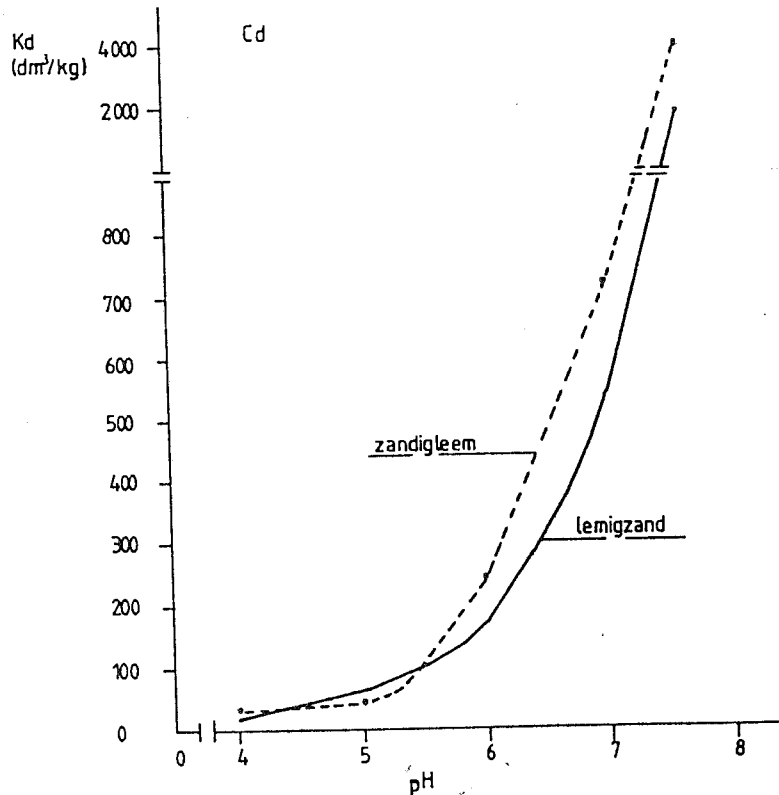
In tabel 4.4.2. zijn de K<sub>d</sub>-waarden en 1/n voor zink en cadmium weergegeven samen met pH en grondsoort.

Tabel 4.4.2. K<sub>d</sub>-waarden voor zink en cadmium

monster-punt	diepte (m -mv)	grondsoort	fraktie 2-16 um	% org. koolstof	pH	K <sub>d</sub> Zn (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Zn	K <sub>d</sub> Cd (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Cd
6	0,3- 0,5	zwak lemig fijn zand humusarm	2,1	1,0	5,4 ± 0,3	11.000	0,08	24 ± 15	1,8
6	1,0- 2,5					*		*	
7	1,4- 1,6	zeer sterk lemig zand humusarm	4,9	0,1	5,9	(1,73 ± 0,09)10 <sup>-3</sup>	20	(6,2 ± 0,4)10 <sup>-3</sup>	2,8
100	15 -15,3	matig grof zand	1,5	<0,1	5,6 ± 0,3	2.400 ± 600	0,3	17 ± 1	0,8

\* korrelatie zeer gering

De resultaten van de adsorptie-experimenten voor cadmium zijn vergeleken met Christensen (lit 13) welke zijn weergegeven in figuur 4.4.5.



Figuur 4.4.5. De adsorptie van Cd aan twee leemgronden: verdelingskoëfficiënt ( $K_d$  in  $\text{dm}^3/\text{kg}$ ) als de functie van de pH (gebaseerd op gegevens van Christensen, lit 13)

Echter de gemeten verdelingskoëfficiënt van cadmium van monster 7, die  $6 \cdot 10^{-3} \text{ dm}^3/\text{kg}$  bedraagt bij een pH 5,9 is extreem laag. Hetzelfde beeld lijkt voor zink te gelden. Een verklaring hiervoor kan niet gegeven worden.

De verdelingskoëfficiënt voor zink ligt circa een factor 300 hoger. Zink is dus minder mobiel dan cadmium bij gegeven pH.

De retardatie van cadmium en zink ten opzichte van een zich conservatief gedragende stof in het grondwater kan berekend worden volgens

$$\text{retardatiefactor (R)} = 1 + \frac{P}{\Theta} K_d$$



Hierin is:  $P$  = de soortelijke massa van de grond (kg/dm<sup>3</sup>)  
 $\Theta$  = porositeit (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>)  
 $K_d$  = verdelingscoëfficiënt van een stof over grond en grondwater (dm<sup>3</sup>/kg)

De retardatiefactor van cadmium in een homogene deklaag bestaande uit zwak lemig humusarm fijn zand ( $K_d = 24 \text{ dm}^3/\text{kg}$ ) bij een soortelijke massa van de grond van  $1,5 \text{ kg}/\text{dm}^3$  en een porositeit van  $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^3$  bedraagt 91.

Voor zink bedraagt de retardatiefactor onder bovengenoemde voorwaarden  $41 \cdot 10^3$ .

Dit betekent bij een verticale stroming in de deklaag van 1 m/jaar cadmium zich verplaatst met een snelheid van 0,01 m/jaar en zink met een snelheid van  $2 \cdot 10^{-5}$  m/jaar. Het assenerf is maximaal 95 jaar oud en op basis van de gemeten retardatiefactoren zullen zowel cadmium als zink de 4 m dikke deklaag in deze periode niet gepasseerd hebben. Dit is niet in overeenstemming met de gemeten verontreinigingsdiepte, die ter plaatse van monsterpunt 15 voor cadmium 20 meter of meer en voor zink circa 12 m bedraagt.

Wordt uitgegaan van de retardatiefactoren die gemeten zijn voor het zand van het eerste watervoerend pakket dan bedraagt de retardatiefactor voor cadmium 52 ( $P = 1,5 \text{ kg}/\text{dm}^3$ ,  $\Theta = 0,5 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ). Voor zink bedraagt deze dan 7.200. Bij een verticale stromingssnelheid van 1 m/jaar kan cadmium zich dan over 19 m in verticale richting verplaatst hebben en zink over 1 cm.

De retardatie van cadmium stemt onder bovengenoemde aannamen in orde van grootte overeen met de in het veld gevonden dieptes. Zink blijkt in de veldsituatie een factor  $10^3$  tot  $10^4$  mobieler te zijn dan op basis van de adsorptie-isotherm verwacht wordt.



## 5. VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE BUDEL

### 5.1. Verrichte werkzaamheden

Het veldwerk en de chemische analyses van fase 1 zijn uitgevoerd conform de onderzoeksopzet. Een situatieschets met de ligging van de monsterpunten is gegeven in bijlage 1.2. Ten westen van de Weergraaf zijn nog vier extra peilbuizen geplaatst, teneinde de invloed van de waterloop op de grondwaterstroming vast te stellen en de keuze voor lokaties van de minifilters in fase 3 beter te onderbouwen.

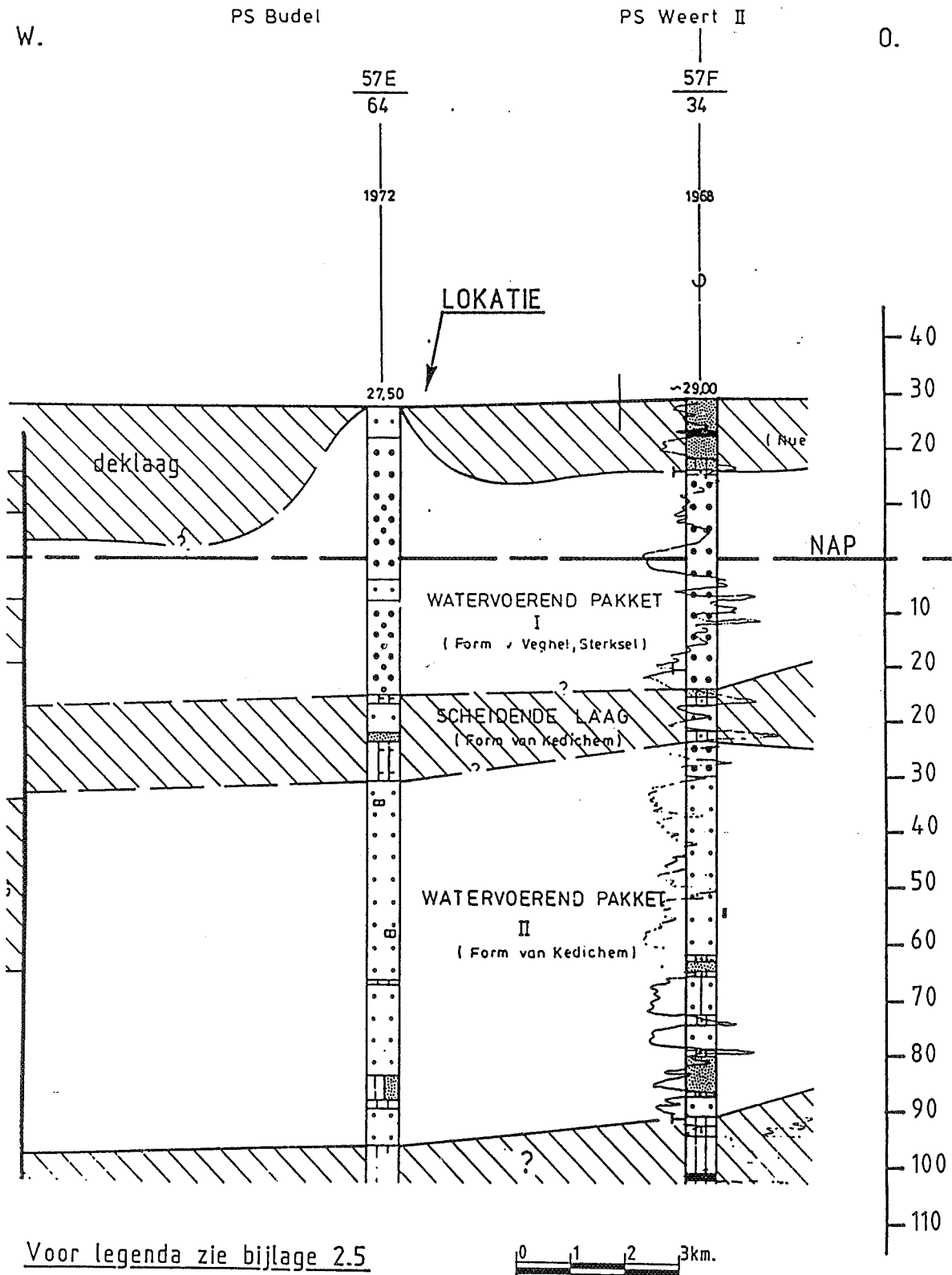
Omdat uit de veldgegevens van fase 1 bleek dat de dikte van deklaag beperkt blijft is in de tweede fase een diepe boring tot 10 m -mv geplaatst. Bij de keuze van de plaats van de boring is een afwijking gemaakt tussen een plaats zo dicht mogelijk bij de waargenomen assen en zo ver mogelijk buiten de invloedssfeer van de Weergraaf.

In fase 3 zijn nog op drie plaatsen minifilters geplaatst. Per lokatie zijn 6 filters regelmatig verdeeld tussen 3 en 20 m -mv. De peilbuizen zijn gewaterpast en gepeild. De resultaten van de peilingen zijn gebruikt om de lokaties van de diepe peilbuis en de minifilters te bepalen. Met een verhangmeter zijn tenslotte de minifilters gepeild en de stijghoogten ten opzichte van NAP ingemeten.

### 5.2. Resultaten van het veld- en geohydrologisch onderzoek Budel

Een schematisch geohydrologisch dwarsprofiel is gegeven in figuur 5.2.1. (voor ligging zie bijlage 2.1).

De boorbeschrijvingen van de lokatie zijn verwerkt in een dwarsprofiel in figuur 5.2.2. (voor ligging zie figuur 5.2.3). Daaruit blijkt dat de deklaag 2 à 4 m dik is en bestaat uit leemhoudende fijne zanden, op sommige plaatsen ontwikkeld als duidelijke leembanden. Uit de diepe boring 55 blijkt dat van 2-4,5 m -mv fijne zanden voorkomen. Daaronder komen tot 9 m -mv matig grove zanden voor al dan niet slibhoudend met veenbrokjes. Op 9-10 m -mv wordt weer een slecht doorlatende laag aangeboord bestaande uit klei met zandlagen en veenbrokken. De verbreiding van deze laag is niet duidelijk. Op grond hiervan is het onduidelijk of het daarboven voorkomende zandpakket tot de deklaag of tot het watervoerend pakket moet worden gerekend.

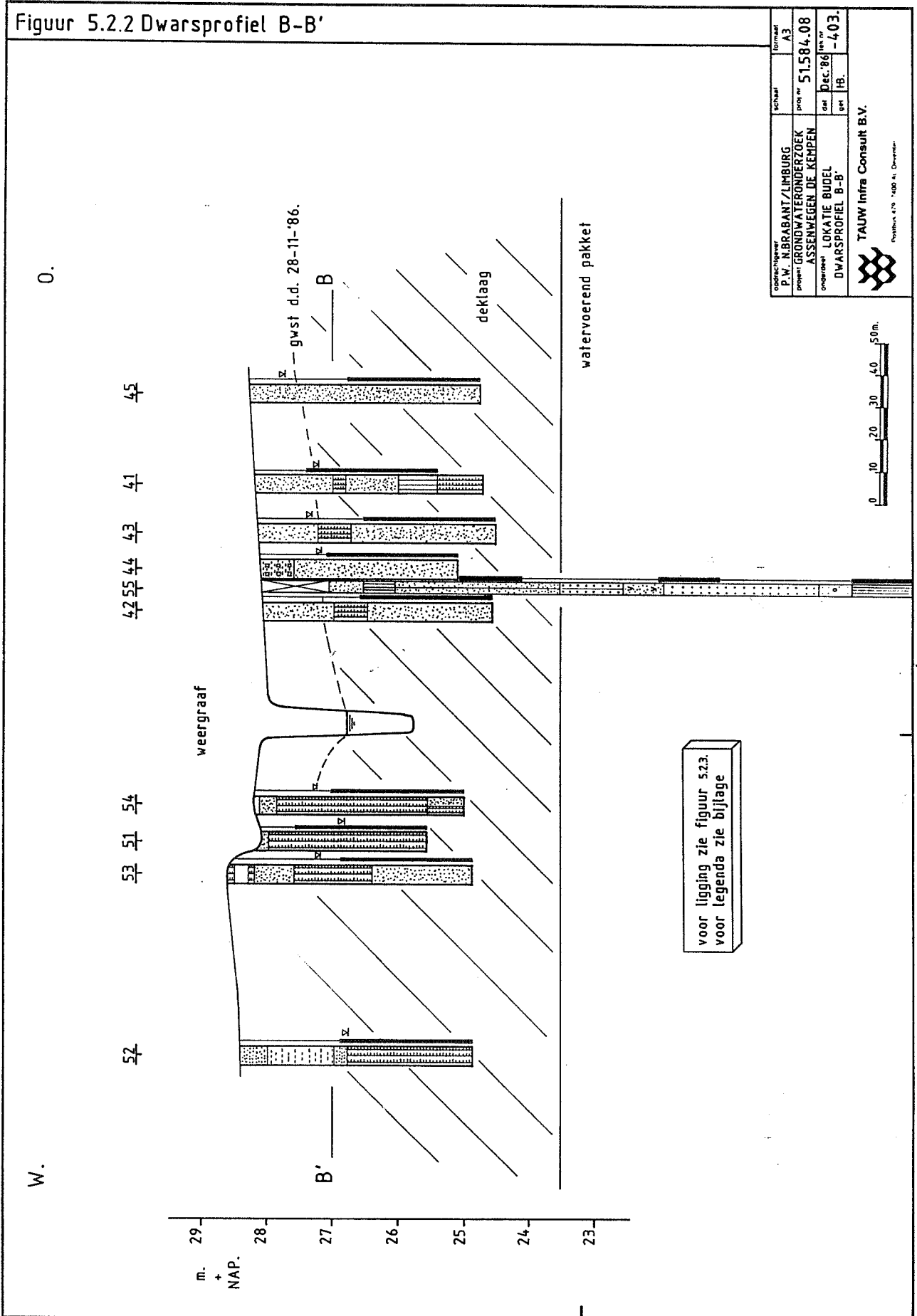


Figuur 5.2.1. Geohydrologisch dwarsprofiel nabij Budel.

Bron: TNO (1983).



Figuur 5.2.2 Dwarsprofiel B-B'

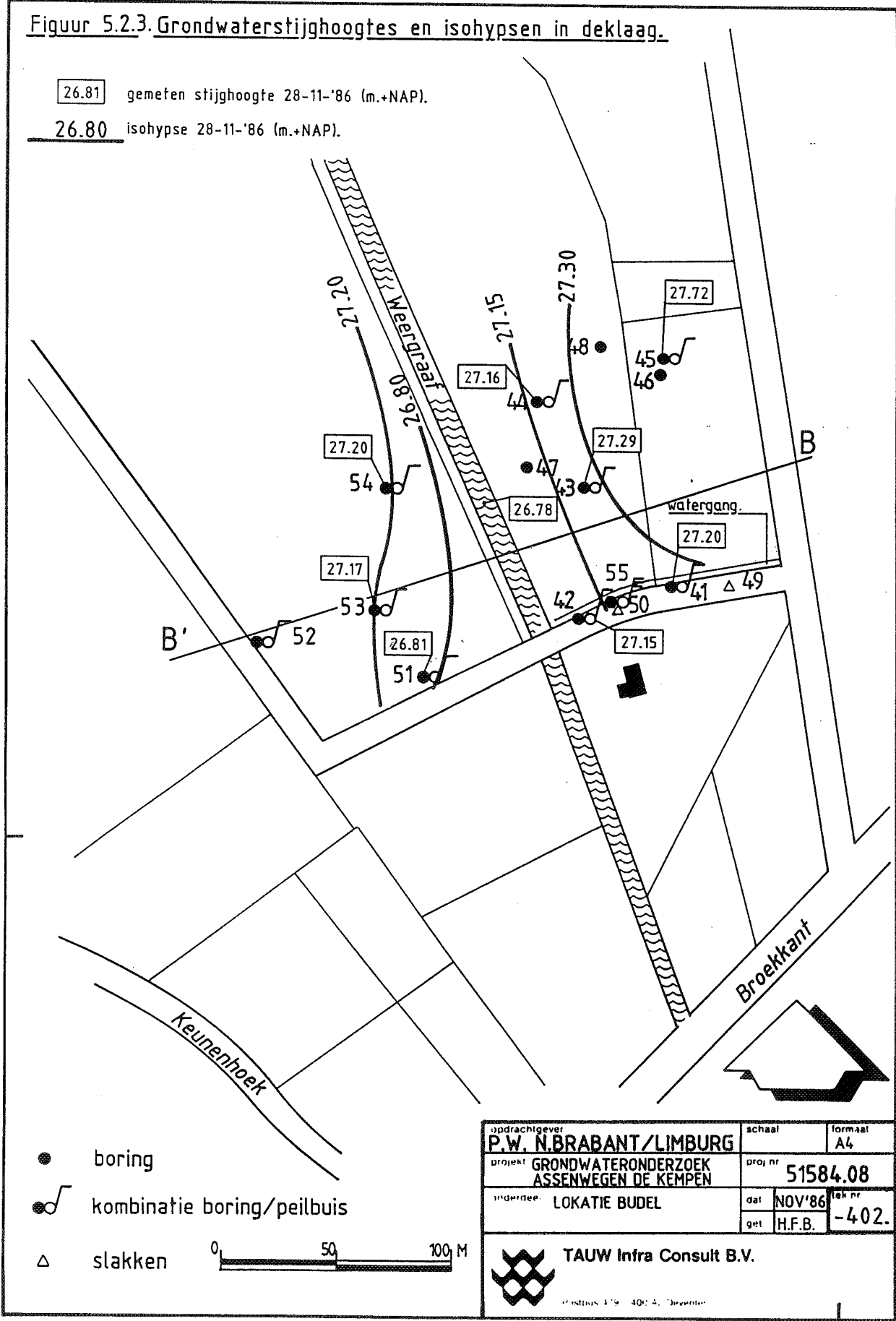




Figuur 5.2.3. Grondwaterstijghoogtes en isohypsen in deklaag.

26.81 gemeten stijghoogte 28-11-'86 (m.+NAP).

26.80 isohypse 28-11-'86 (m.+NAP).



- boring
- /♩ combinatie boring/peilbuis
- △ slakken



opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>		schaal	formaat
project <b>GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN</b>		proj nr	<b>51584.08</b>
locatie <b>LOKATIE BUDEL</b>		dat	NOV'86
		get	H.F.B.
		tek nr	<b>-402.</b>
<b>TAUW Infra Consult B.V.</b>			





De meetresultaten zijn samengevat in bijlage 6.2. De meetgegevens voor de deklaag op 28-11-'86 is weergegeven in de figuren 5.2.3. en de gegevens van 26-01-'87 zijn opgenomen in bijlage 6.3. De resultaten zijn niet erg duidelijk. Oostelijk van de Weergraaf lijkt er sprake te zijn van een stroming in westelijke richting. Voor het gebied westelijk van de Weergraaf lijken de gegevens in figuur 5.3. te duiden op een stroming in oostelijke richting (drainage van de Weergraaf), terwijl er op grond van de figuur in bijlage 3.2. sprake lijkt te zijn van een stroming in westelijke richting.

Dit veranderde patroon komt voor rekening van peilbuis 51 waarin de grondwaterstand (evenals peilbuis 43) 0,7 m is gestegen ten opzichte van 26-01-'86, tegen circa 0,3 m in de overige peilbuizen. De gemeten stijghoogte in peilbuis 52 is erg laag en is verder buiten beschouwing gelaten.

De stijghoogten in de minifilters zijn gemeten met de verhangmeter (voor gemeten waarden zie bijlage 6.2.).

Tussen de verschillende filters van één sonderingslokatie zijn de stijghoogteverschillen niet erg groot (tussen 0 en 0,30 m), althans gezien de nauwkeurigheid van de verhangmeter die  $\pm 0,15$  m bedraagt in slecht doorlatende gronden.

Er zijn wel verschillen te constateren tussen de verschillende lokaties. Deze lijken te duiden op een stroming in noordwestelijke richting.

Samenvattend kan gezegd worden dat de veldgegevens geen duidelijk beeld opleveren van de stromingssituatie op de lokatie. Evenmin bestaat er duidelijkheid over het drainerend effect van de Weergraaf. Een mogelijke verklaring van de resultaten zou kunnen zijn dat de deklaag zelfs dikker is dan 20 m en in dit onderzoek het watervoerend pakket niet is aangeboord.

#### Infiltratie-experiment in de assen

De resultaten van de infiltratie-experimenten zijn opgenomen in bijlage 7.2. De verticale doorlatendheid van de assenweg is zeer gering en bedraagt ongeveer 1 à 2 cm/dag. De weg is behalve met assen ook met ander puin verhard. De verharde laag bedraagt ca. 50 cm, waarbij de zinkassen zich op 40-50 cm -mv bevinden.

#### 5.3. Analyseresultaten van zinkassen en het grondwater Budel

In de tabellen 5.3.1. en 5.3.2. zijn de analyseresultaten van respectievelijk de zinkassen en van het grondwater gepresenteerd. Tevens zijn de resultaten geïnterpreteerd volgens de toetsings-



waarden van het toetsingskader uit de Leidraad bodemsanering van het Ministerie van VROM, alsmede de WCA-grenzen. Beide zijn opgenomen in de tabel (De wijze van onderstrepen is verklaard in § 4.3.).

Een volledig overzicht van de analyseresultaten, die betrekking hebben op Budel, is opgenomen in bijlage 8.2.

Tabel 5.3.1. Analyseresultaten van assen van de lokatie Budel

	anti- moon	ar- seen	cad- mium	co- balt	ko- per	nik- kel	lood	zink
<u>Assen (in mg/kg)</u>								
49 (40-50 cm-mv)	<u>275</u>	<u>2200</u>	<u>48</u>	<u>98</u>	<u>2450</u>	<u>170</u>	<u>19000</u>	<u>32000</u>
50 (40-50 cm-mv)			<u>6</u>					<u>16000</u>
<u>Toetsingswaarden en WCA-grenzen (in mg/kg)</u>								
B-waarde		<u>30</u>	<u>5</u>	<u>50</u>	<u>100</u>	<u>100</u>	<u>150</u>	<u>500</u>
C-waarde		<u>50</u>	<u>20</u>	<u>300</u>	<u>500</u>	<u>500</u>	<u>600</u>	<u>3000</u>
WCA-grens	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>5000</u>	<u>20000</u>

Tabel 5.3.2. Analyseresultaten grondwater Budel

	cadmium	cobalt	nikkel	zink	pH
<u>Grondwater (in ug/l)</u>					
41 ( 1,5- 3,5 m -mv)	<0,1			<u>2950</u>	5,7
43 ( 2 - 4 m -mv)	0,2			40	5,9
45 ( 1,5- 3,5 m -mv)	<0,1			30	6,3
55 ( 3 - 4 m -mv)	<0,1			10	6,5
55 ( 6 - 7 m -mv)	<0,1			90	6,5
55 ( 9 -10 m -mv)	<0,1			180	6,7
56 ( 2 - 3 m -mv)	0,5	12	23	<u>1350</u>	6,0



Tabel 5.3.2. Analyseresultaten grondwater Budel (vervolg)

56 ( 5 - 6 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,0
56 ( 8 - 9 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,1
56 (11 -12 m -mv)	0,1	<1	<1	<6	6,4
56 (15 -16 m -mv)	0,4	1	3	<6	6,6
56 (19 -20 m -mv)	0,1	<1	<1	<6	6,4
57 ( 2 - 3 m -mv)	<0,1	2	12	<6	5,9
57 ( 5 - 6 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,6
57 ( 8 - 9 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,9
57 (11 -12 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,6
57 (15 -16 m -mv)	0,5	1	11	<6	7,0
57 (19 -20 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,9
58 ( 2 - 3 m -mv)	0,3	18	28	40	6,4
58 ( 5 - 6 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	7,0
58 ( 8 - 9 m -mv)	<0,1	<1	<1	<6	6,6
58 (11 -12 m -mv)	1,3	<1	5	<6	7,0
58 (15 -16 m -mv)	0,3	<1	3	<6	6,5
58 (19 -20 m -mv)	0,3	<1	2	<6	6,7

Toetsingswaarden (in ug/l)

B-waarde	<u>2,5</u>	<u>50</u>	<u>50</u>	<u>200</u>
C-waarde	10	200	200	800
	==	===	===	===

Uit de analyseresultaten van de assen blijkt dat monster 50 lagere gehalten aan cadmium en zink bevat dan monster 49. Dit is te verklaren uit het feit dat monster 50 vooral uit poedervormig materiaal vermengd met bodemmateriaal bestaat, terwijl monster 49 met name wat grotere (roestbruine) slakken bevat. Waarschijnlijk is bij monster 50 toch verdunning met schoner bodemmateriaal opgetreden.

Ondiepe grondwater (2-4 m -mv)

Uit tabel 5.3.2. blijkt dat in het ondiepe grondwater op twee plaatsen zinkgehalten boven de C-waarde zijn gemeten. Dit is bij peilbuis 41, die door het wegdek van de assenweg is geplaatst en



bij monsterpunt 56 dat enkele meters stroomafwaarts van een tweede onafgedekte assenweg ligt. Het zinkgehalte in het grondwater van de overige ondiepe peilbuizen en minifilters ligt lager of rond de gemiddelde achtergrondwaarde van grondwater op 10-15 m -mv. Deze achtergrondwaarde bedraagt 30 ug/l (lit 14).

De cadmiumgehalten in het ondiepe grondwater zijn niet verhoogd ten opzicht van normale achtergrondwaarden in dit gebied dat ten gevolge van depositie van cadmium- en zinkhoudend stof binnen de cadmiumzoneringsgrens van 2,5 mg/kg d.s. cadmium in de grond is gelegen (lit 3). In bijlage 10 zijn hiertoe achtergrondwaarden in het grondwater berekend bij verschillende zuurgraden en verschillende cadmiumconcentraties in de grond, die voorkomen in de Kempen ten gevolge van depositie van het stof.

#### Diepe grondwater (4-20 m -mv)

In het diepe grondwater zijn geen overschrijdingen van de B-waarde voor één van de onderzochte metalen waargenomen.

Mogelijke verklaringen zijn:

- a de doorlatendheid van de assen is zeer gering en dit is in het verleden ook altijd zo geweest;
- b de Weegraaf draineert zodanig dat in het onderzochte gebied verontreinigingen, als die al vanuit de assen vrijkomen, hierdoor via het oppervlaktewater worden afgevoerd;
- c de metalen in de assen zijn zo goed vastgelegd dat nauwelijks uitloging optreedt.

#### 5.4. Resultaten en bespreking van de laboratoriumexperimenten

##### 5.4.1. Desorptie-experimenten met de assen

Ook met de assen die ter plaatse van de lokatie Budel zijn bemonsterd zijn cascade- en kolomexperimenten uitgevoerd.

Onderstaand zijn ten eerste de resultaten van de cascade-experimenten besproken en ten tweede komt het kolomexperiment aan bod.

#### Cascade experimenten

De resultaten van de cascade-experimenten zijn opgenomen in bijlage 8.2.

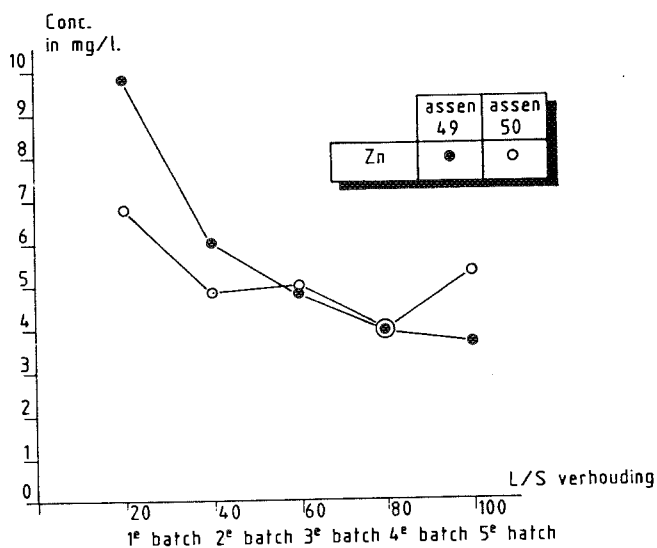
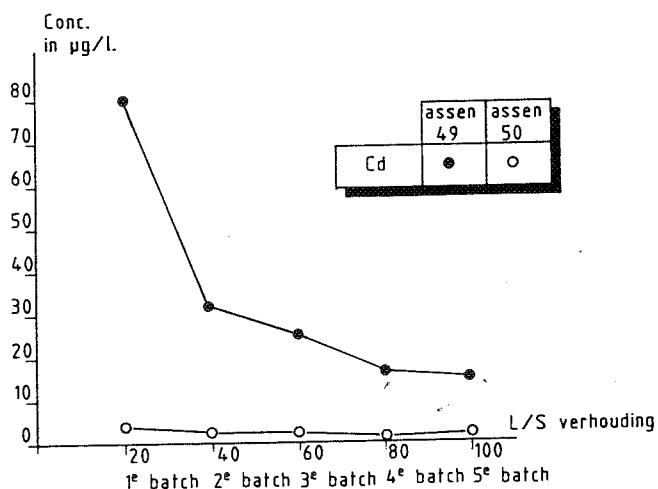
In tabel 5.4.1. zijn de zink- en cadmiumconcentratie van de eerste schudfractie en van het gemiddelde over de vijf fracties weergegeven. Ook zijn de verdelingscoëfficiënten (Kd's) van de assen met de eerste schudfractie respectievelijk de gemiddelde van de vijf fracties opgenomen.



Tabel 5.4.1. Resultaten van de cascade-experimenten Budel

	assen (mg/kg)	batch 1 (mg/l)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)	gemiddelde (5x) (mg/l)	Kd dm <sup>3</sup> /kg
<u>monster 49</u>					
cadmium	45,0	0,080	56.10 <sup>2</sup>	0,034	13.10 <sup>2</sup>
zink	30.000	9,800	3061	5,660	5300
<u>monster 50</u>					
cadmium	6,0	0,0045	13.10 <sup>2</sup>	0,0028	21.10 <sup>2</sup>
zink	16.000	6,700	2388	5,260	3042

In figuur 5.4.1. zijn de resultaten van de schudexperimenten grafisch weergegeven.



Figuur 5.4.1. Cascade-experiment Budel



Het uitloogpercentage cadmium bedraagt in monster 49 8% en in monster 50 5%. Het uitloogpercentage zink bedraagt respectievelijk 3% en 4%. Uit beide monsters (49 en 50) blijkt dat cadmium beter uitloogt dan zink.

Bij een vergelijking van de monsters onderling blijken deze zich anders te gedragen. Uit het assenmonster (49) loogt cadmium beter uit dan uit het gruis/grondmonster (50), terwijl zink juist uit de laatste beter uitloogt dan uit de eerste. Waarschijnlijk is dit verschil in uitlooggedrag toe te schrijven aan het verschil in assenmateriaal maar ook de vermenging van asen (gruis) met grond kan een rol spelen.

#### Kolomexperiment

Monster 49 is geselecteerd voor het kolomexperiment omdat dit monster het hoogste gehalte cadmium en zink bevat. Het uitgangsmateriaal en het eerste perkolaatmonster (L/S 28) zijn geanalyseerd met behulp van ICP. De analyseresultaten zijn opgenomen in bijlage 8.2., bladen 7 en 8. De resultaten van de assen zijn geïnterpreteerd in tabel 5.3.1.

Er blijkt dat in de assen de concentraties lood, arseen, antimoon en tellurium de Wca-grens overschrijden en daarnaast cadmium, koper en zink de C-waarde van het toetsingskader. De nikkel- en cobaltconcentratie liggen tussen de B- en de C-waarde.

In het eerste perkolaatmonster zijn cadmium, nikkel, zink en cobalt boven de C-waarde aangetoond.

Opvallend zijn de lage gehalten aan koper (<A-waarde) arseen (tussen de A- en B-waarde) en antimoon (3,5 ug/l) in het perkolaat. Tellurium is niet aangetoond in de screening van het perkolaat. Het loodgehalte ligt tussen de B- en C-waarde van het toetsingskader, gezien het zeer hoge gehalte in de assen moet gekonkludeerd worden dat de mobiliteit van lood echter zeer gering is (hoge Kd-waarde).

In de hierna verzamelde perkolaatmonsters zijn cadmium- en zinkanalyses en enkele malen ook nikkelanalyses uitgevoerd. In figuur 5.4.2. is het verloop van deze metaalkoncentraties met toenemende L/S-verhouding weergegeven.

Uit de figuur blijkt dat zowel bij cadmium als nikkel een verhoogde uitloging plaatsvindt bij L/S 84. Zink wordt in verhoogde mate uitgelooft bij een hogere L/S-verhouding, hetgeen aangeeft dat de desorptie van zink minder snel verloopt dan die van cadmium en nikkel. Dit komt overeen met de resultaten van het cascade-experimenten van monster 49.



Met name voor cadmium geven cascade-experimenten lagere gehalten in het perkolaat te zien. Mogelijk is de evenwichtsinstelling in de kolom door de langere contacttijd beter.

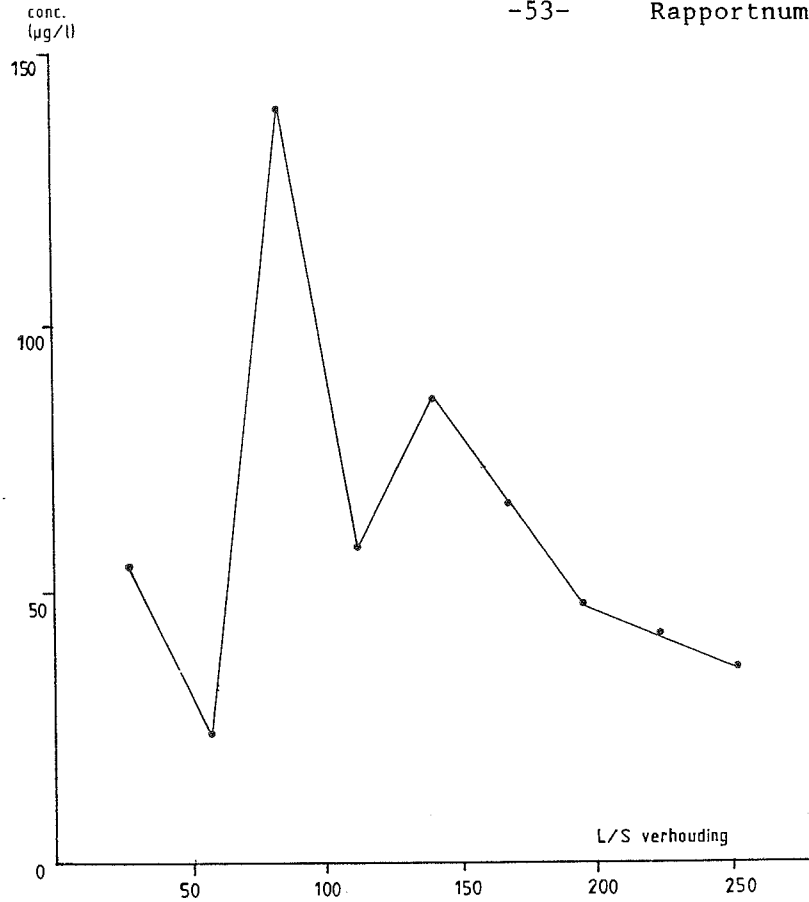
In de perkolaat-monsters worden hoge cadmium-, zink- en nikkelgehalten gemeten; voor cadmium en zink zijn de gehalten tot en met L/S 252, groter dan de C-waarde.

Deze L/S-verhouding komt overeen met een periode van uitlogen in de praktijk van circa 170 jaar.

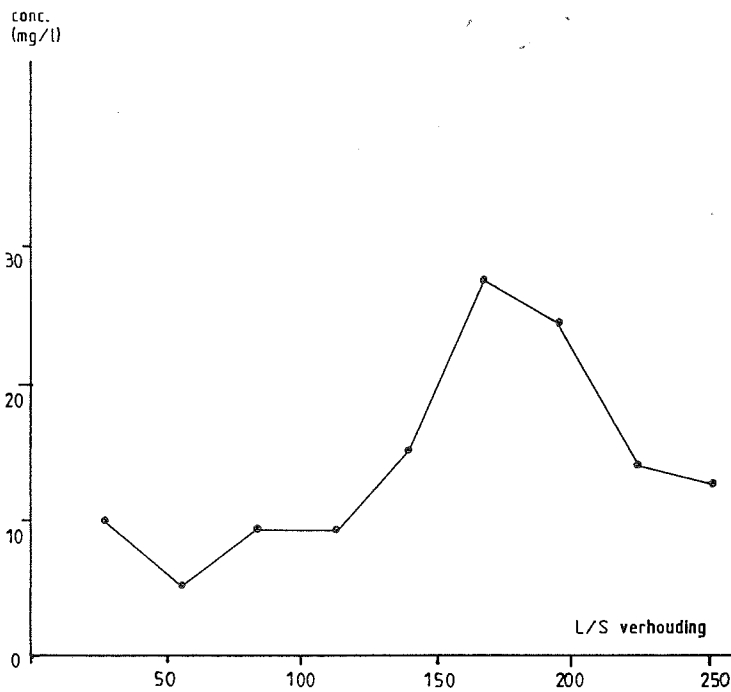
Het nikkelgehalte ligt tussen de B- en de C-waarde. In het veld zijn met uitzondering van een tweetal oppervlakkige filters geen verhoogde cadmium, nikkel en zinkgehalten gemeten ondanks de potentiële goede uitloogbaarheid van deze elementen.

Gekonkludeerd moet worden dat de zeer slechte doorlatendheid van het wegdek, zoals uit de infiltratieproef is gebleken, ook in het verleden zo geweest moet zijn. Hierdoor is waarschijnlijk slechts zeer plaatselijk enige verontreiniging vanuit het wegdek getransporteerd.

Het verhoogde zinkgehalte in peilbuis 41 en de niet verhoogde zinkgehalten in de peilbuizen 42 en 55 (3-4 m -mv) duiden dan op de plaatselijke betere doorlatendheid.



Verloop van de cadmiumconcentratie in percolaat met toenemende L/S verhouding : kolomproef met assen van assenweg Budel.



Verloop van de zinkconcentratie in percolaat met toenemende L/S verhouding : kolomproef met assen van assenweg Budel.

Figuur 5.4.2. Kolomproef Budel



5.4.2. Adsorptie-experimenten

De resultaten adsorptie-experimenten zijn opgenomen in bijlage 11. In tabel 5.4.2. zijn de adsorptiekonstanten voor de adsorptie van zink en cadmium aan verschillende grondsoorten opgenomen alsmede de zuurgraad.

Tabel 5.4.2. Adsorptie van zink en cadmium aan verschillende grondsoorten ter plaatse van Budel

monster-punt	diepte (m -mv)	grondsoort	fractie 2-16 um	% org. koolstof	pH	K <sub>d</sub> Zn (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Zn	K <sub>d</sub> Cd (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Cd
46	2,5-3	zeer sterk lemig zand humusarm	11,9	0,1	6,6 ± 0,2	(67 ± 1,7)10 <sup>3</sup>	0,4	90 ± 20	0,6
47	2 -3	sterk lemig fijn zand humusarm	2,4	<0,1	5,65 ± 0,04	2 · 10 <sup>-3</sup> *	2,0	2	2,1
55	10 -10,3	zeer grof zand humusarm	1,2/3,8	0,1	6,4 ± 0,6	5,4 · 10 <sup>-4</sup> *	2,2	0,79	2,0

\* korrelatie zeer gering

De K<sub>d</sub>-waarden voor zink en cadmium zijn voor monster 46 in overeenstemming met de eerder gevonden resultaten in Valkenswaard. Voor de monsterpunten 47 en 55 worden in vergelijking lage K<sub>d</sub>-waarden gemeten. Tevens zijn voor de experimenten met zink geringe korrelaties gevonden.

Een vergelijking met retardatie in het veld, berekend op basis van de K<sub>d</sub> is niet mogelijk omdat nauwelijks verontreiniging in het grondwater is gemeten.



## 6. VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK VAN DE LOKATIE TUNGELROY

### 6.1 . Verrichte werkzaamheden

Het veldwerk is uitgevoerd conform de onderzoeksopzet (zie § 3.5.). Een situatieschets met de ligging van de monsterpunten is opgenomen in bijlage 1.3.

Omdat uit fase 1 bleek dat de dikte van deklaag slechts enkele meters besloeg is in fase 2 de diepe boring tot 10 m -mv geplaatst. In het boorgat zijn 3 filters geplaatst.

De grondwaterstromingsrichting gaf in fase 1 een eenduidig beeld. Derhalve zijn 2 plaatsen gekozen om sonderingen met minifilters te plaatsen. Per lokatie zijn tot 20 m -mv 6 minifilters geplaatst. Kleef- en conusweerstandsmetingen zijn achterwege gelaten vanwege de veld- en analyseresultaten van het grondwater in fase 1.

De grondwaterstanden zijn tweemaal gepeild.

De assen-, en grondmonsters zijn geanalyseerd op cadmium en zink, één assenmonster is tevens met ICP onderzocht. De grondwatermonsters zijn onderzocht op cadmium, zink, pH, geleidbaarheid en chloride.

### 6.2. Resultaten van veld- en geohydrologisch onderzoek, Tungelroy

Een schematisch geohydrologisch profiel is gegeven in figuur 6.2.1. (voor ligging zie bijlage 2.1).

De beschrijvingen van de boringen eventueel gekombineerd met peilbuizen zijn opgenomen in bijlage 6.1. en verwerkt in een dwarsprofiel in figuur 6.2.2. (voor ligging zie figuur 6.2.3.). Hieruit blijkt dat de deklaag 2 à 4 m dik is en bestaat uit leemhoudende fijne zanden. Daaronder komen matig grove tot grove zanden voor. De grondwaterspiegel bevindt zich op ca. 2 m -mv, zodat de deklaag grotendeels tot de onverzadigde zone kan worden gerekend.

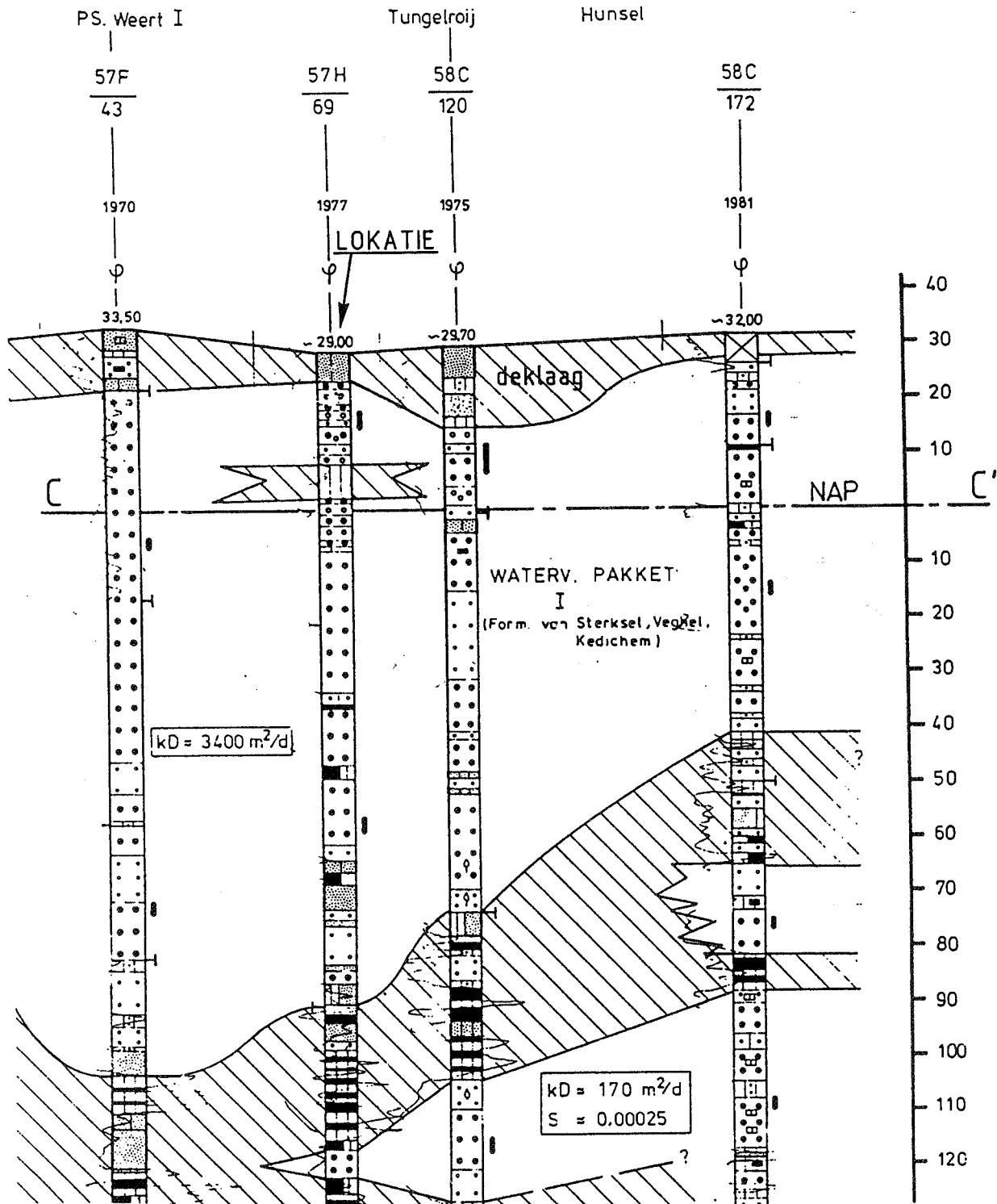
Ook uit de geplaatste boring tot 10 m -mv (boring 71) blijkt dat er beneden grondwaterniveau nauwelijks nog een weerstandbiedende laag voorkomt.

De stroming is de deklaag is dus grotendeels onverzadigd en dus vertikaal. De stroomsnelheid kan geschat worden op circa 1 m/jaar.



N.W.

Z.O.



Voor legenda zie bijlage 2.5



Figuur 6.2.1. Geohydrologisch dwarsprofiel nabij Tungelroy.

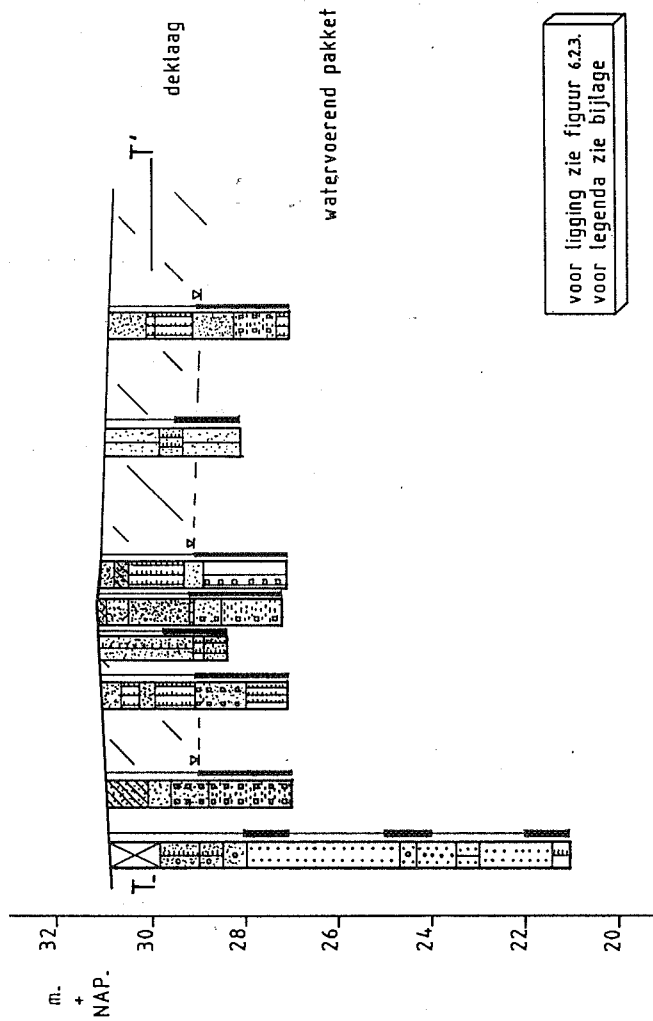
Bron: TNO (1983).



Figuur 6.2.2 Dwarsprofiel T-T'

0.

W.



opdrachtgever	P.W. NBRABANT/LIMBURG	schaal	formaat
project	GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KERPEN	proj.nr	51.584.08
onderzoek	LOKATIE TUNGELROY DWARSPROFIEL T-T'	dat	dec. '88
		ger.	HB.
			-503

TAUW Infra Consult B.V.  
Postbus 419 4001 AA Dordrecht



De stijghoogtemetingen in de peilbuizen geven direkt het horizontale verhang in het watervoerend pakket. In figuren 6.2.3. en 6.2.4. zijn de gemeten stijghoogten op respektievelijk 06-12-'86 en 26-01-'87 weergegeven. Daaruit blijkt dat er sprake is van een stroming in noordoostelijke richting.

Het verhang van de grondwaterstijghoogte bedraagt circa 1 ‰. De doorlaatfaktor van het watervoerend pakket wordt geschat op 20 à 30 m/d.

Bij een stijghoogteverhang van 1 ‰ is de horizontale verplaatsingssnelheid dan 20 à 30 m/jaar.

In tabel 6.2.1. zijn verwachte verontreinigingsdiepten op grond van continuïteitsvergelijking die de verhouding tussen stroming in watervoerend pakket en de voeding door neerslag aangeeft (§4.2.) en volgens de vuistregel 'helling = 1/10' opgenomen en geplaatst naast de gemeten verontreinigingsdiepten. Adsorptie van de verontreiniging is hierbij buiten beschouwing gelaten.

Tabel 6.2.1. Verwachte en gemeten verontreinigingsdiepte

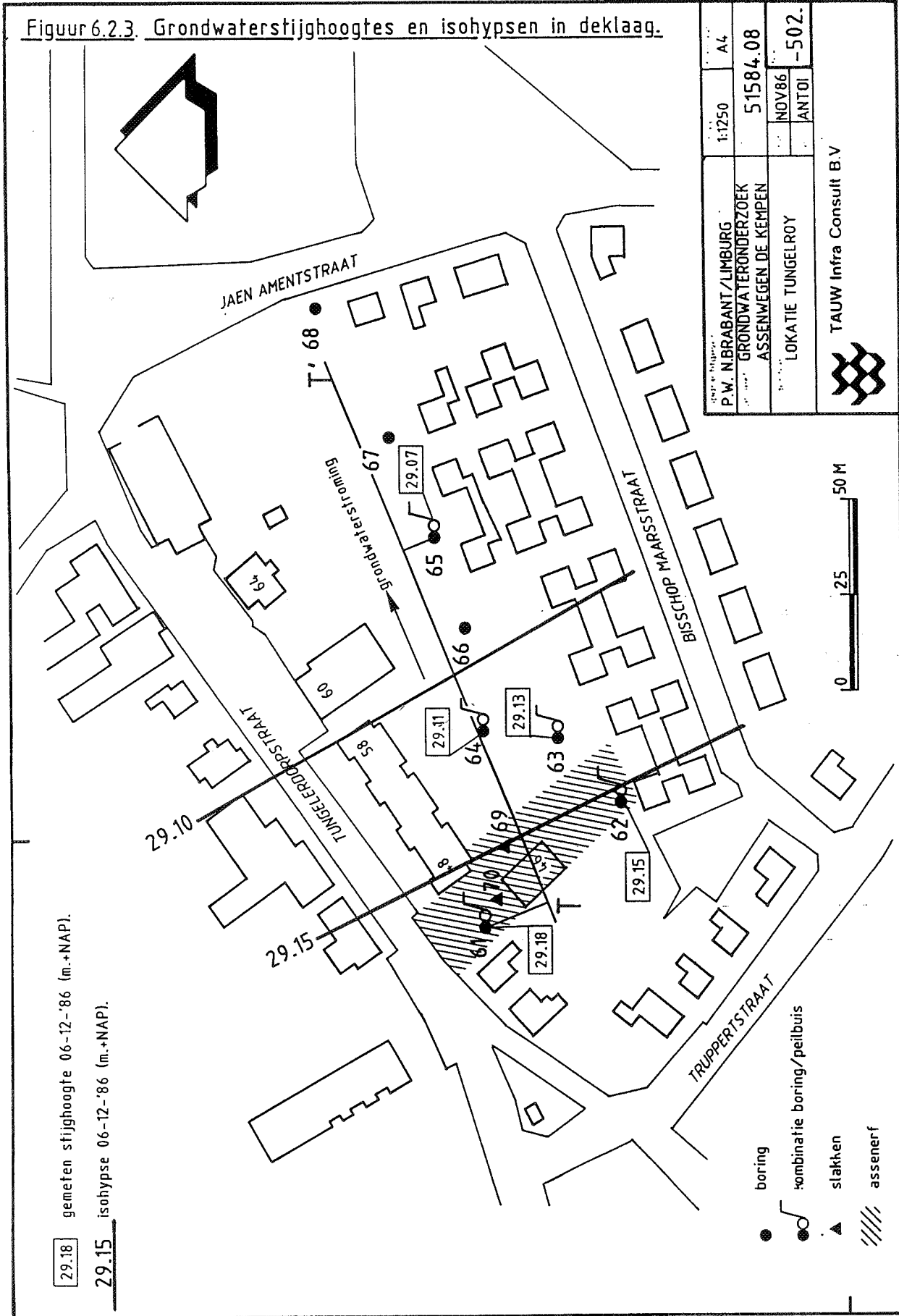
filter	afstand m	verwachte diepte		gemeten diepte
		theorie m	vuistregel m	m
71	0	2	2	4
72	35	2,5	5,5	9
73	60	3	8	16

De verontreiniging bevindt zich dieper dan werd verwacht. De oorzaak hiervan is niet duidelijk.

De diskrepancie is met name direkt onder het assenerf groot.

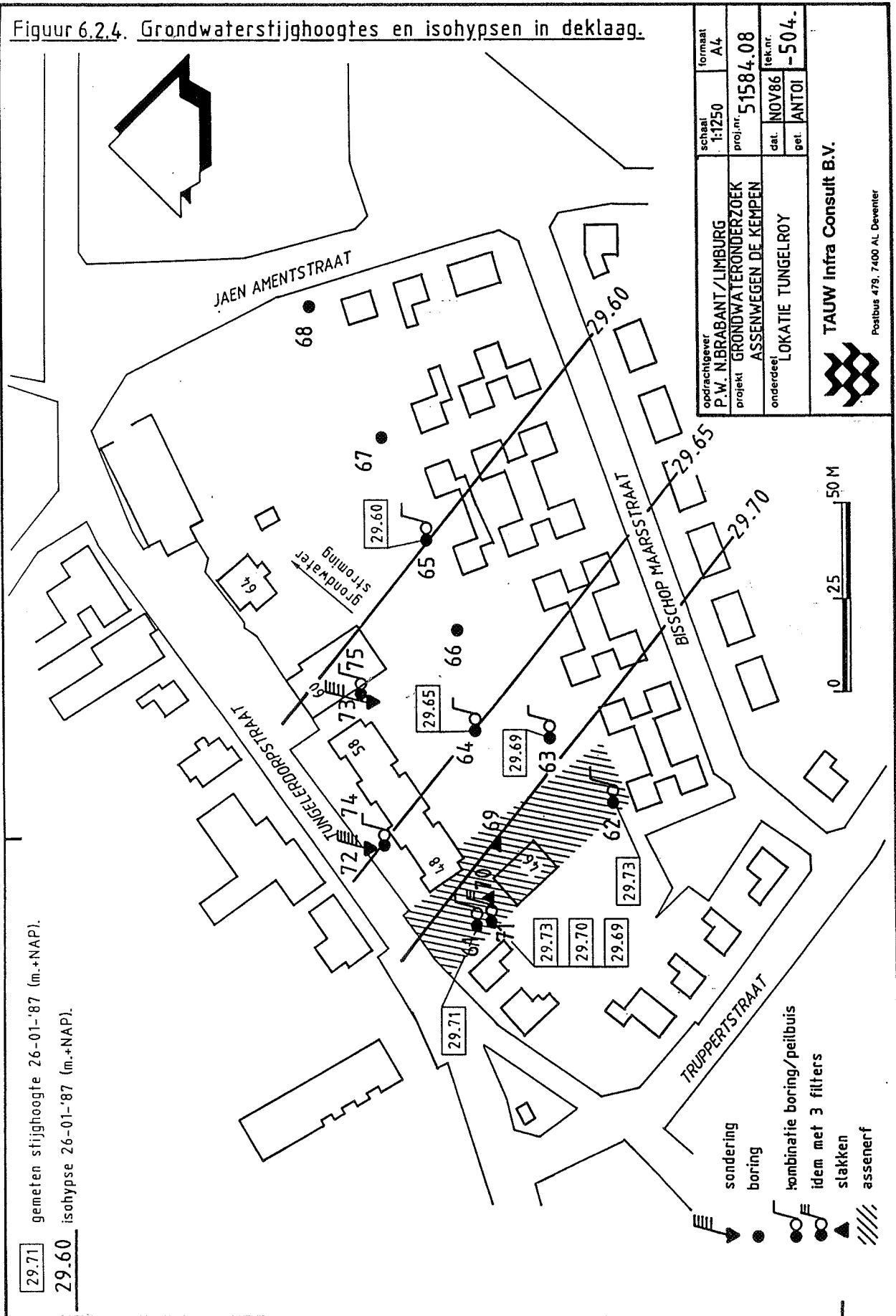
#### Infiltratie-experiment, assen

De meetgegevens van de infiltratie-experimenten welke uitgevoerd zijn bij monsterpunt 70 zijn opgenomen in bijlage 7.3. De gemiddelde verticale doorlatendheid van de assen bedraagt  $\pm 2$  m/dag.





Figuur 6.2.4. Grondwaterstijghoogtes en isohypsen in deklaag.





6.3. Analyseresultaten van zinkassen en het grondwater van de lokatie Tungelroy

In tabel 6.3.1. zijn de analyseresultaten van de zinkassen en het grondwater gepresenteerd. In tabel 6.3.2. zijn de analyseresultaten van het grondwater opgenomen. Tevens zijn de toetsingswaarden van het toetsingskader uit de Leidraad Bodemsanering van het Ministerie van VROM, alsmede de Wca-grenzen opgenomen. Een volledig overzicht van de analyseresultaten, die betrekking hebben op Tungelroy is opgenomen in bijlage 8.3. De weergave van de interpretatie volgens het toetsingskader en de Wca-grenzen is verklaard in § 4.3.

Tabel 6.3.1. Analyseresultaten van assen van de lokatie Tungelroy.

	anti- moon	ar- seen	cad- mium	co- balt	chroom	ko- per	kwik	lood	nik- kel	zink
<u>Assen (in mg/kg)</u>										
69 (0-20 cm-mv)			6,5							6050
70 (0-20 cm-mv)	295	780	23	57	73	5200	0,1	9500	465	30000
<u>Toetsingswaarden en Wca-grenzen (in mg/kg)</u>										
B-waarde		30	5	50	250	100	2	150	100	200
C-waarde		50	20	300	800	500	10	600	500	800
Wca-grens	50	50	50	5000	50	5000	50	5000	5000	20000





Tabel 6.3.2. Analyseresultaten grondwater te Tungelroy

	cadmium	cobalt	nikkel	zink	pH
<u>Grondwater</u> (in ug/l)					
61 ( 2 - 4 m -mv)	0,4			<u>660</u>	6,4
62 ( 2 - 4 m -mv)	1,0			<u>270</u>	6,1
64 ( 2 - 4 m -mv)	0,6			50	6,5
71 ( 3 - 4 m -mv)	0,5			<u>980</u>	6,5
71 ( 6 - 7 m -mv)	0,3			<u>220</u>	6,4
71 ( 9 -10 m -mv)	0,3			170	6,4
72 ( 2 - 3 m -mv)	0,3	5	8	10	6,9
72 ( 5 - 6 m -mv)	1,1	20	30	130	5,7
72 ( 8 - 9 m -mv)	2,2	22	56	920	5,9
				===	
72 (11 -12 m -mv)	2,0	26	57	<u>620</u>	6,1
72 (15 -16 m -mv)	1,0	27	57	30	6,4
72 (19 -20 m -mv)	0,9	<u>69</u>	<u>120</u>	<u>210</u>	5,9
73 ( 2 - 3 m -mv)	1,4	13	20	160	2,5
73 ( 5 - 6 m -mv)	2,0	18	30	90	5,7
73 ( 8 - 9 m -mv)	<u>4,5</u>	22	49	<u>770</u>	6,0
73 (11 -12 m -mv)	<u>2,8</u>	22	52	<u>410</u>	6,0
73 (15 -16 m -mv)	22	20	50	20	6,3
73 (19 -20 m -mv)	<u>1,1</u>	<u>87</u>	<u>140</u>	<u>230</u>	5,8
<u>Toetsingswaarden</u> (in ug/l)					
B-waarde	<u>2,5</u>	<u>50</u>	<u>100</u>	<u>200</u>	
C-waarde	10	300	500	800	
	==	===	===	===	

Assen

Uit de resultaten van de ICP-analyse van assenmonster 70 blijkt dat de concentraties antimoon, arseen, koper en lood de Wca-grens overschrijden. Het cadmium- en zinkgehalte overschrijden de C-waarde. Cobalt en nikkel liggen tussen de B- en de C-waarde. Kwik en chroom overschrijden de B-waarde niet. Deze resultaten komen zeer goed overeen met de resultaten van de assen die ter plaatse van Budel zijn onderzocht en in iets mindere mate met de assen van Valkenswaard.

De verschillen in de zink- en cadmiumgehalten van de assenmonsters 69 en 70 kunnen verklaard worden door verdunning van monster 69



met schoner bodemmateriaal. Mengmonster 69 is samengesteld uit assen gelegen langs de zijgevel van de smederij Tungelerdorpstraat 46. Hier zijn duidelijk zichtbaar assen gekonstateerd, zij het in mindere mate dan voor het pand nr. 46, waar monster 70 is genomen. Het assenerf strekt zich waarschijnlijk uit over het deel van de figuur in bijlage 1.3, dat gearceerd is weergegeven.

#### Ondiepe grondwater tot 4 m -mv

In het ondiepe grondwater worden ter plaatse van het assenerf verhoogde zinkgehalten gemeten, monsterpunten 61 en 62 tussen B- en de C-waarde en monsterpunt 71 groter dan de C-waarde. Buiten het assenerf wordt de B-waarde voor zink in het ondiepe grondwater niet overschreden.

De cadmiumconcentratie in het ondiepe grondwater overschrijdt bij geen van de meetpunten de B-waarde. Echter wanneer uitgegaan wordt van een achtergrondconcentratie van cadmium in de grond van 1 mg/kg d.s. ten gevolge van depositie en wanneer de invloed van de pH op de evenwichtsinstelling van de concentratie in grond en grondwater wordt meegenomen, dan worden in het ondiepe grondwater van de peilbuizen 62, 64 en 71 de te verwachten achtergrondconcentraties voor grondwater overschreden. Deze achtergrondconcentraties zijn berekend door uit te gaan van evenwicht tussen de cadmiumconcentratie in de grond en in het grondwater. Voor de cadmiumconcentratie in de grond is de achtergrondwaarde gekozen die ten gevolge van de emissie van de zinkfabriek ter plaatse voorkomt. De berekeningsmethode is beschreven in bijlage 10.

De peilbuizen 62 en 71 zijn op het assenerf gelegen en peilbuis 64 ligt circa 25 m stroomafwaarts. De lichte verhoging van de cadmiumconcentratie in het grondwater duidt derhalve op enige uitlozing van cadmium uit de assen.

#### Diepe grondwater, 4-20 m -mv

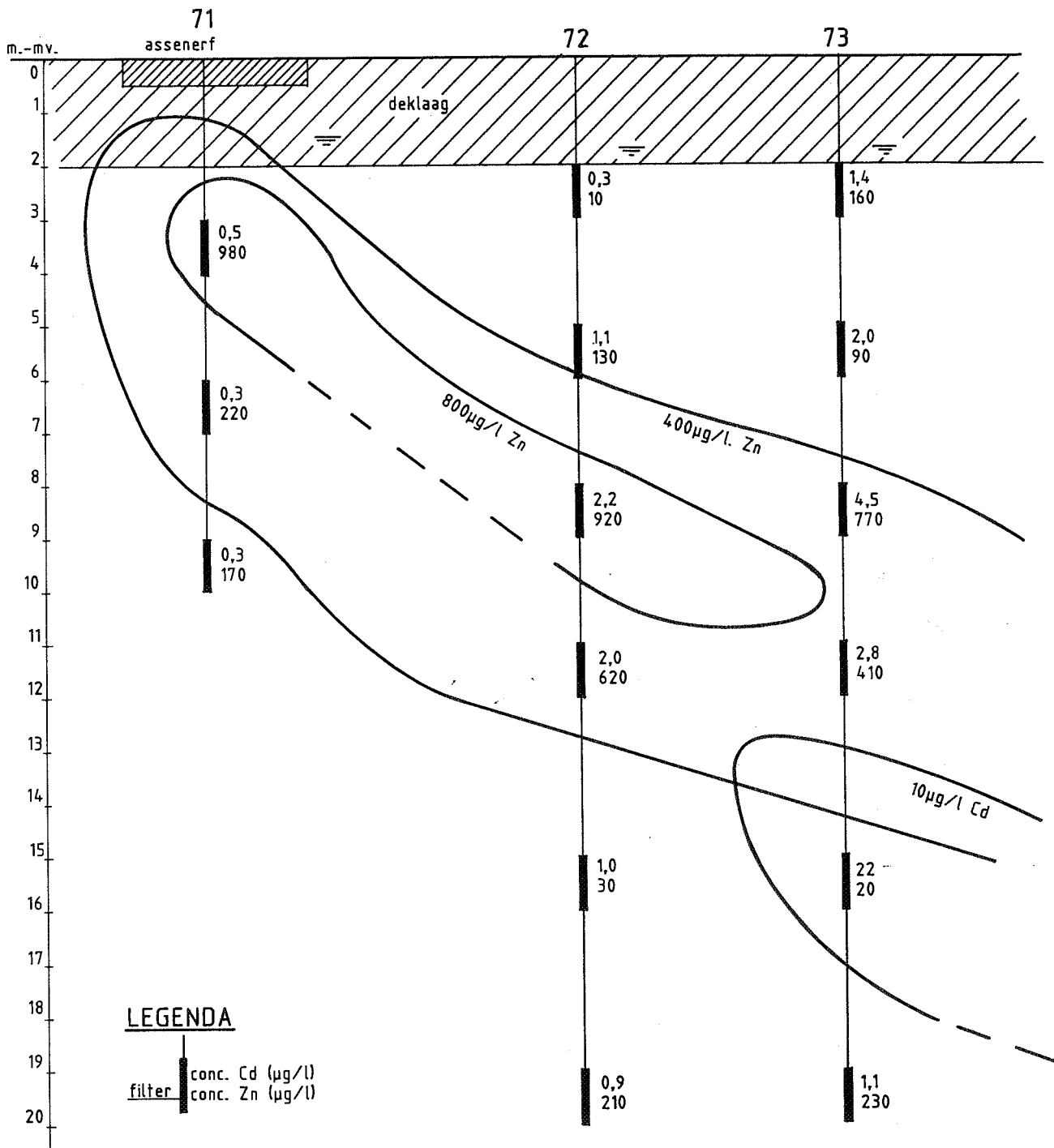
In figuur 6.3.1. zijn de analyseresultaten van cadmium en zink voor het diepere grondwater weergegeven. Hieruit blijkt dat zink verspreid is vanaf het assenerf. Circa 20 à 35 m stroomafwaarts (monsterpunt 72) wordt de hoogste zinkconcentratie op 10 m -mv gevonden. Deze is in orde van grootte gelijk aan de concentratie onder het assenerf (1x C-waarde). Op circa 60 m stroomafwaarts is de hoogste zinkverontreiniging op dezelfde hoogte terug gevonden. De inzijging van de verontreiniging is dus beperkt.

Ook de lage zinkconcentraties die op 7 en 10 m -mv onder het assenerf zijn gemeten geven dit aan (Zn rond de B-waarde).



C

C'



Figuur 6.3.1 Verontreinigingssituatie grondwater Tengelroy.



Op 16 m -mv worden zeer lage zinkgehalten gemeten, terwijl op 20 m -mv de zinkconcentratie weer toeneemt (tot 1x B-waarde).

Dit duidt of op een lens van minder goed doorlatend materiaal waar het grondwater langs stroomt of op diskontinuïteit van de assen. Hierbij is dan op 20 m -mv de staart van een oudere zinkverontreiniging waargenomen.

De cadmiumconcentratie van het grondwater bedraagt stroomafwaarts van het assenerf 1 à 2 ug/l. Er wordt echter bij monsterpunt 73 op 16 m -mv een onverklaarbaar hoge cadmiumconcentratie gemeten, 22 ug/l. Gezien de juist lage zinkgehalten in dit filter is diskontinuïteit in de uitloging, waarbij cadmium zich tevens sneller verspreidt dan zink, de meest waarschijnlijke verklaring. Ook het iets hogere chloridegehalte bij monsterpunt 73 is geen verklaring voor de verhoogde mobiliteit van cadmium c.q. verschuiving van het evenwicht naar de opgeloste vorm. Bij een chloridegehalte van 69 mg/l is circa 20% van het cadmium gebonden als ongeladen en dus mobielere CdCl<sub>2</sub>-komplex. Dit geldt evenzo voor een chloridegehalte van 50 mg/l (lit 15).

#### 6.4. Resultaten van de laboratoriumexperimenten

##### 6.4.1. Desorptie-experimenten met het assenmateriaal

Zoals met de assen van de vorige twee lokaties zijn ook met de assen van Tungelroy cascade-schudproeven en een kolomexperiment uitgevoerd. Deze worden hieronder beschreven.

##### Cascade-experimenten

De resultaten van de cascade-experimenten zijn opgenomen in bijlage 8.3., bladen 5 en 6.

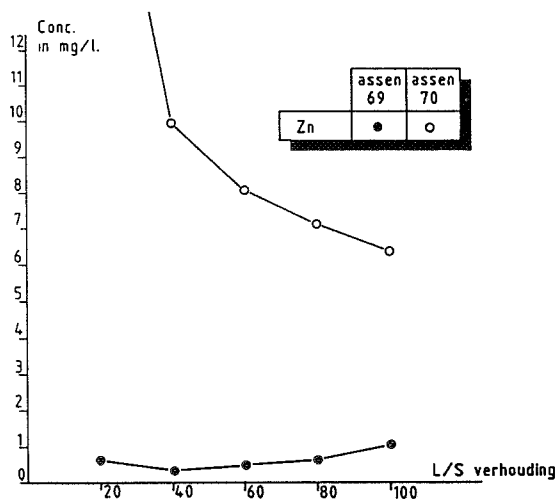
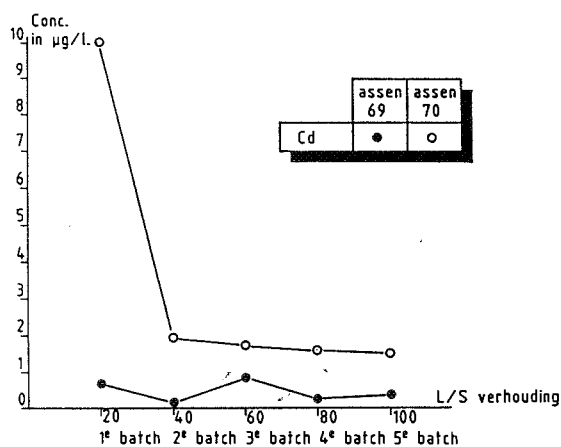
In tabel 6.4.1. zijn de zink- en cadmiumconcentratie van de eerste schudfrakties en van het gemiddelde over de vijf schudfrakties weergegeven ook zijn de verdelingscoëfficiënten (Kd's) van de assen met de eerste schudfrakties en het gemiddelde van de vijf schudfrakties opgenomen.



Tabel 6.4.1. Resultaten cascade-experimenten Tungelroy

	assen (mg/kg)	batch 1 (mg/l)	Kd (dm <sup>3</sup> /kg)	gemiddelde (5x) (mg/l)	Kd dm <sup>3</sup> /kg
<u>monster 69</u>					
cadmium	2,0	0,0006	38.10 <sup>2</sup>	0,0005	46.10 <sup>2</sup>
zink	6050	0,65	93.10 <sup>2</sup>	0,66	92.10 <sup>2</sup>
<u>monster 70</u>					
cadmium	6,5	0,010	6,5.10 <sup>2</sup>	0,004	16.10 <sup>2</sup>
zink	35000	24	15.10 <sup>2</sup>	11	32.10 <sup>2</sup>

In figuur 6.4.1. is het uitlooggedrag grafisch weergegeven.



FIGUUR 6.4.1 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE IN HET SCHUDWATER MET TOENEMENDE L/S VERHOUDING; CASCADESCHUDEXPERIMENTEN MET ASSEN VAN ASSENERF TUNGELROY

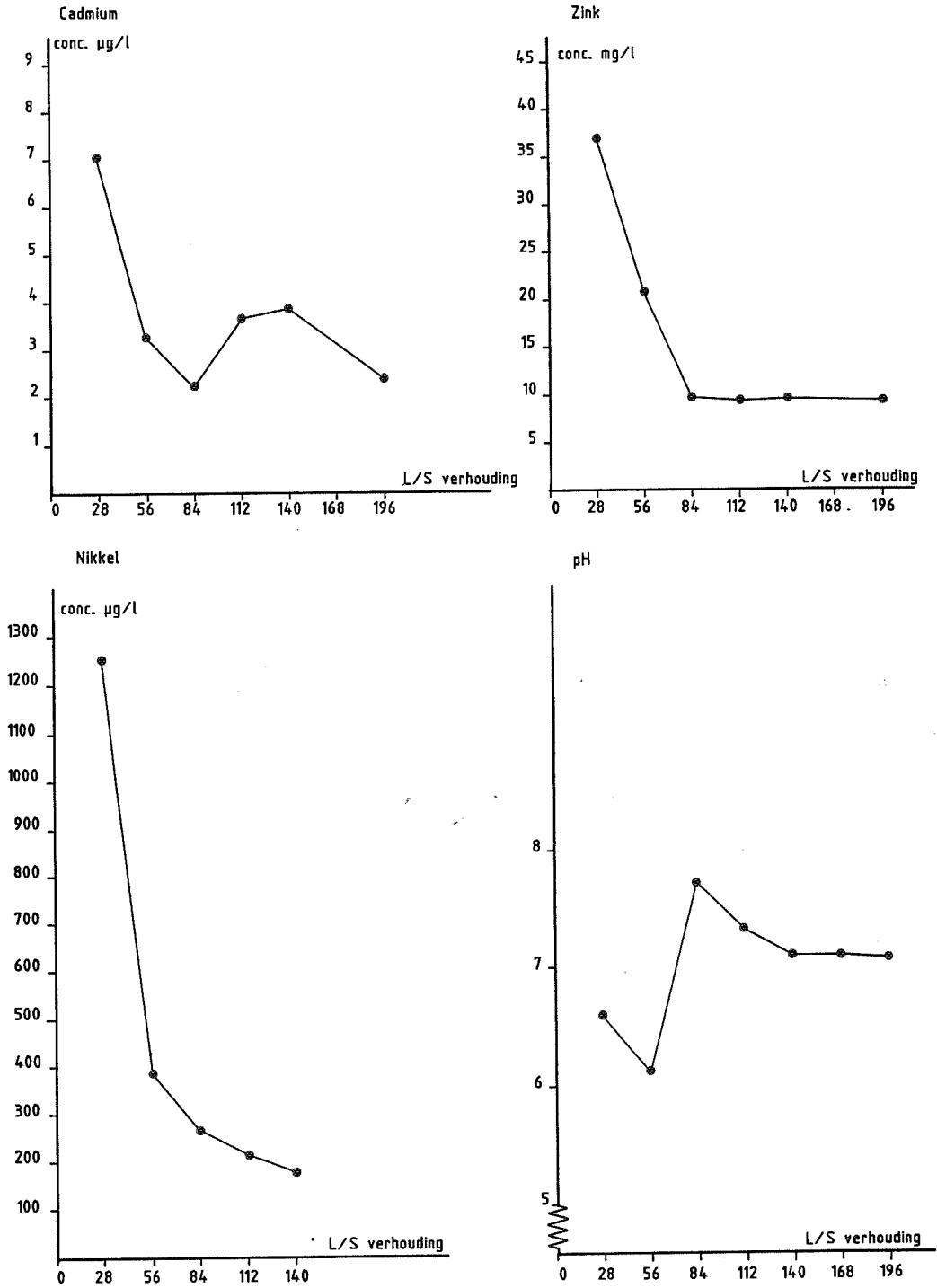
Het uitloogpercentage cadmium bedraagt voor de monsters 69 en 70 respectievelijk 2% en 6%. Het uitloogpercentage zink bedraagt



respektievelijk 1% en 3%. Hieruit blijkt dat er bij monster 69 nauwelijks of geen sprake van desorptiegedrag is; de Kd-waarde van de eerste schudfractie, komt vrijwel overeen met de gemiddelde Kd-waarde van de vijf schudfrakties. Aan monster 69 zijn de metalen kennelijk sterker geadsorbeerd dan aan de assen. Evenals bij de lokatie Budel blijkt een duidelijk verschil tussen het uitlooggedrag van het gruisgrondmonster en het assenmonster. Uit de resultaten van monster 70 blijkt dat cadmium gemakkelijker desorbeert dan zink.

#### Kolomexperiment

Met de assen van monster 70 is een kolomexperiment uitgevoerd. In figuur 6.4.2. is het verloop van de concentratie met toenemende L/S-verhouding weergegeven.



Figuur 6.4.2 Kolomexperiment Tungelroy.



Uit het onderzoek van het eerste perkolaatmonster (L/S 28) met ICP komt een vergelijkbaar beeld met het eerder beschreven resultaat van Budel naar voren. Cobalt, nikkel en zink zijn in gehalten boven de C-waarde aangetoond. Het cadmium- maar ook kopergehalte liggen tussen de B- en de C-waarde. Het kwik- en loodgehalte liggen tussen de A- en de B-waarde. Ondanks de hoge gehalten aan arseen en antimoon in de assen worden deze elementen nauwelijks in het perkolaat gemeten. Het arseengehalte bedraagt 3,8 ug/l (<A-waarde) en antimoongehalte 1,0 ug/l. Deze elementen logen dus nauwelijks uit zinkassen.

Daarnaast zijn de gehalten aan alkaliën en aardalkaliën hoog, in de orde van grootte 10 mg/l.

De resultaten van de cascade schudtesten en het kolomexperiment komen redelijk overeen.

Alleen de lichte toename van de cadmiumconcentratie in het perkolaat bij L/S 112 en 140 wordt niet gevonden in de cascade-experimenten.

#### 6.4.2. Resultaten van de adsorptie-experimenten

De adsorptie-isothermen zijn opgenomen in bijlage 11. Hieruit zijn de K<sub>d</sub>-waarde en 1/n volgens Freundlich bepaald (zie ook § 4.4.2.). In tabel 6.4.2. zijn de K<sub>d</sub> en 1/n voor cadmium en zink voor drie onderzochte monsters gepresenteerd.

Tabel 6.4.2. Resultaten van de adsorptie-experimenten

monster-punt	diepte (m -mv)	grondsoort	fractie 2-16 um	% org. koolstof	pH	K <sub>d</sub> Zn (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Zn	K <sub>d</sub> Cd (dm <sup>3</sup> /kg)	1/n Cd
67	0,9- 2,2	zandige leem humusarm	0,3	<0,1	6,85 ± 0,07	63 ± 6	0,9	-	-
68	0,65- 1,3	sterk lemig fijn zand humusarm	1,2	0,2	6,8 ± 0,3	15	1,5	80 ± 60	0,8
71	10 -10,3	matig grof zand humusarm	2,9	<0,1	7,5 ± 0,1	5800 ± 500	0,2	50 ± 10	0,7

In vergelijking met de resultaten van Christensen (zie § 4.4.2.) zijn de K<sub>d</sub>-waarden voor cadmium bij gemeten pH tamelijk laag. Wordt op basis van de K<sub>d</sub>-waarde de verplaatsingssnelheid van cadmium in het watervoerend pakket berekend dan bedraagt deze bij een geschatte verticale grondwaterstroomsnelheid van 1 m/jaar





0,007 m/jaar (retardatiefactor 50). De geschatte ouderdom van het assenerf te Tungelroy is circa 30 jaar (lit 3). Op basis hiervan kan cadmium zich maximaal circa 21 cm in verticale richting verplaatst hebben.

Uit de veldgegevens blijkt dat de cadmiumverontreiniging zich in deze periode over tenminste 16 m in verticale richting verplaatst heeft.

De retardatiefactor voor zink in het watervoerend pakket wordt berekend op  $17,4 \cdot 10^3$ . Dit komt overeen met een verticale verplaatsingssnelheid van zink van enkele millimeters in 30 jaar. Deze waarden komen zelfs in orde van grootte niet overeen met de in het veld gemeten verplaatsingssnelheid. Op basis van de geschatte maximale verspreiding van de verontreinigingen blijkt echter dat de adsorptie en dus de retardatie veel geringer is dan uit de laboratorium-experimenten en ook de literatuur blijkt.

Een mogelijke verklaring is dat de adsorptie-isotherm zoals in het laboratorium gemeten zijn geen juist beeld geven van de werkelijke adsorptie in het veld.

Eerder bleek al dat wanneer geen rekening gehouden wordt met adsorptie de verontreinigingen in het veld op grotere diepte worden teruggevonden dan op basis van de verhouding mag worden verwacht (zie tabel 6.2.1.). Derhalve zou ook het optreden van of in het verleden opgetreden zijn van dichtheidsstroming een mogelijke verklaring kunnen zijn.



## 7. BEVESTIGING VERONTREINIGINGSBEELD ONDIEP GRONDWATER VAN VIJF TOEGEVOEGDE LOKATIES

### 7.1. Inleiding

Teneinde na te gaan of het beeld juist is dat slechts geringe cadmiumconcentraties in het ondiepe grondwater onder de assenwegen voorkomen en de in het verleden gemeten cadmium- en zinkconcentraties aan de hoge kant zijn ten gevolge van het tegenwoordig toepassen van filtratie van de grondwaterbemonstering in het veld over 0,45 µm, is op 5 lokaties aanvullend onderzoek naar het ondiepe grondwater uitgevoerd.

Op basis van de aanvullende inventarisatie assenwegen, -erven en depots (lit 12) zijn de volgende lokaties gekozen:

- de Parallelweg te Budel-Schoot
- Hoenderstraat te Budel
- Roerdomp te Soerendonk
- de Borkeldijk te Bergeijk
- Liskes te Bergeijk

De ligging van de lokaties is aangegeven in bijlage 12.

### 7.2. Verrichte werkzaamheden

Per lokatie zijn 2 peilbuizen in de assenweg geplaatst tot circa 3 m -mv. Het grondwater is na een week bemonsterd en in het veld onderzocht op pH en geleidbaarheid. In het laboratorium zijn de grondwatermonsters geanalyseerd op cadmium, zink en chloride.

### 7.3. Resultaten en bespreking

In bijlage 6 zijn de uitgetekende boorstaten van de geplaatste peilbuizen opgenomen. Hieruit blijkt met betrekking tot de assen dat zich op de wegen een 20 à 40 cm dikke assenlaag bevindt. De assen verschillen nogal van uiterlijk; in de Hoenderstraat te Budel en de Roerdomp te Soerendonk bevinden zich bruine zinkslakken. De overige drie lokaties bevatten zwarte zinkassen, grijs materiaal. De analyseresultaten zijn opgenomen in bijlage 8.4. en geïnterpreteerd in tabel 7.3.1.



Tabel 7.3.1. Verontreiniging ondiep grondwater van vijf toegevoegde lokaties

Lokatie	peilbuis- nummer	cadmium (ug/l)	zink (ug/l)
Parallelweg	101	1,0	2.450 =====
	102	1,9	2.050 =====
Hoenderstraat	103	16 ==	25.000 =====
	104	150 ==	68.000 =====
Borkelsedijk	105	16 ==	2.750 =====
	106	5,5	4.800 =====
Roerdomp	107	0,7	5.200 =====
	108	0,1	2.750 =====
Liskes	109	15 ==	3.800 =====
	110	16 ==	3.600 =====
B-waarde		2,5	200
C-waarde		10 ==	800 =====

Uit de tabel en in vergelijking met de resultaten van de drie voorbeeldlokaties Valkenswaard, Budel en Tungelroy blijkt dat met name ter plaatse van de Hoenderstraat maar ook het bospad Bergeijk en de Liskes hogere cadmium en zinkconcentraties gemeten worden dan ter plaatse van de drie voorbeeldlokaties. De Parallelweg en de Roerdomp komen redelijk overeen met eerder gevonden resultaten. Er wordt geen verband gevonden tussen de soort zinkassen en de gemeten cadmium- en zinkconcentraties in het ondiepe grondwater onder de assenwegen.

Gekonkludeerd kan worden dat de lage cadmiumconcentraties bij de drie voorbeeldlokaties toevallig zijn en dat ook hoge concentra-



ties (boven de C-waarde kunnen voorkomen). De zinkgehalten zijn in alle gevallen hoog (>C-waarde) doch de gemeten gehalten zijn in het gehele onderzoek lager dan uit literatuur 3 blijkt.



## 8. TOEPASBAARHEID VAN DE ONDERZOEKSgegevens OP ANDERE LOKATIES

### 8.1. Inleiding

Een schematisch beeld van de migratie van grondwater en de daarin opgeloste verontreinigingen is gegeven in figuur 8.1.1. De migratie van het grondwater wordt beschreven door een richting en een snelheid.

Het neerslagoverschot (verschil tussen neerslag en verdamping) infiltreert en vormt voor een deel de voeding van het watervoerend pakket. Voor een ander deel wordt het neerslagoverschot afgevoerd door ontwateringsmiddelen (sloten, drains, beken).

De verhouding tussen de horizontale en verticale stromingskomponent in de deklaag wordt bepaald door:

- het contrast in doorlaatfaktor tussen watervoerend pakket en deklaag
- de dichtheid van de ontwateringsmiddelen (drainage, sloten, etc.)

Wanneer de dichtheid van de ontwateringsmiddelen niet erg groot is overheerst voor het onderzoeksgebied de verticale stromingskomponent in de deklaag die minder doorlatend is. Deze bedraagt voor horizontale komponent voor het onderzoeksgebied 0,5 m/jaar en voor de verticale komponent 1 m/jaar.

De verhouding tussen de horizontale en de verticale stromingskomponent in het watervoerend pakket wordt bepaald door de verhouding van de voeding van het watervoerend pakket tot de aanvoer van water met de natuurlijke grondwaterstroming. In het algemeen is de horizontale stromingskomponent aanzienlijk groter dan de verticale komponent, orde van groottes voor het onderzoeksgebied respectievelijk 20 en 1 m/jaar.

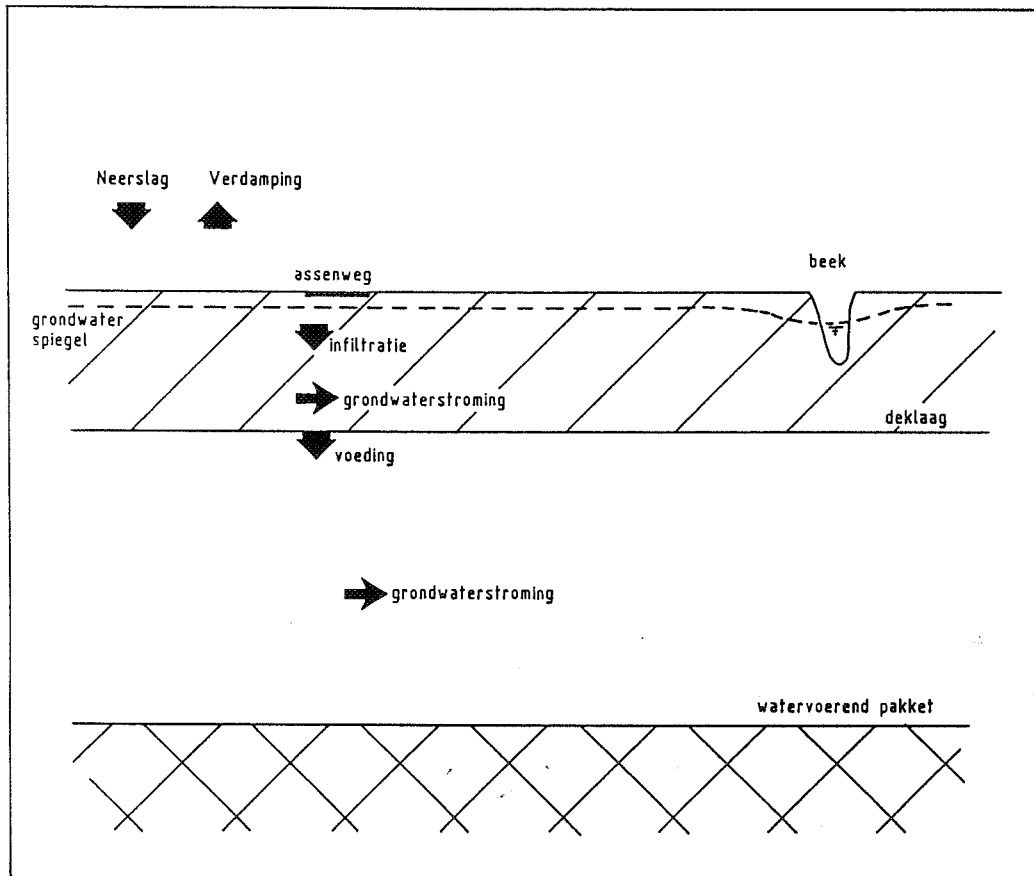
Naast de grondwaterstroming zijn ook enkele stofeigenschappen van belang voor het transport van opgeloste stoffen in de bodem; nl. adsorptie, diffusie/dispersie en afbraak.

Adsorptie is het mechanisme waarbij opgeloste stoffen zich hechten aan de vaste fase van de bodem, afhankelijk van bodemeigenschappen en concentratie van de verontreiniging in de waterfase. Door adsorptie kan de verplaatsing van opgeloste stoffen aanzienlijk achterblijven bij de waterverplaatsing.

Het adsorptie-evenwicht voor zware metalen als zink en cadmium wordt in sterke mate bepaald door:

- korrelgrootteverdeling bodemmateriaal
- gehalte organische stof
- zuurgraad bodemwater

Ook speelt de redoxpotentiaal in het bodemmilieu en precipitatie en complexvorming van de metalen een rol.



Figuur 8.1.1 Schematische migratie van grondwater met de daarin opgeloste verontreinigingen

Door diffusie/dispersie worden scherpe concentratiegrenzen weggenomen en breidt de verontreinigde watermassa zich uit naarmate de afgelegde weg groter is. In veldsituaties is de dispersie veelal belangrijker dan de diffusie. Het mengproces wordt dan vooral bepaald door de heterogeniteit van de bodem met betrekking tot de doorlaatfactor en door de stroomsnelheid van het grondwater. Zware metalen worden niet afgebroken, zodat deze factor voor dit onderzoek niet relevant is.

De verschillende parameters die het stoftransport bepalen zijn geput uit:

- literatuur: bodemopbouw en doorlaatfactor, stijghoogte grondwater, voeding watervoerend pakket



- veldsituatie: bodemopbouw, stijghoogte, verspreiding verontreiniging
- labexperimenten: doorlaatfactor bodemmateriaal, adsorptie-evenwicht.

Genoemde processen kunnen worden gesimuleerd met modellen. Er zijn geen modellen die alle processen in voldoende detail beschrijven. Wel zijn er modellen waarin deelprocessen worden beschreven. Een aantal benaderingen worden onderstaand weergegeven.

## 8.2. Rekenmodellen

### 8.2.1. Stroombanenprogramma STROP

Het stroombanenprogramma STROP is een uitbreiding van het bekende programma FLOP en bepaalt eveneens stroombanen en verblijftijden in een watervoerend pakket onder invloed van natuurlijke grondwaterstroming en putonttrekkingen (infiltraties). De uitbreiding omvat:

- beschrijving stroming in slecht doorlatende lagen en wel als een zuiver verticale stroming;
- beschrijving transport van verontreinigingen beïnvloed door lineaire adsorptie en diffusie/dispersie met behulp van de "random-walk" methode. In de hier gepresenteerde figuren is alleen het adsorptieproces in de berekening meegenomen.

Een van de belangrijkste kenmerken in verband met bedreiging van bepaalde doelen (drinkwaterwinning, natuurgebieden) en een eventuele grondwatersanering is de afstand die de verontreiniging in horizontale richting reeds heeft afgelegd in het watervoerend pakket. Deze afstand wordt voornamelijk bepaald door de volgende factoren:

- de ouderdom van de assenweg
- de dikte van de deklaag
- de adsorptie van verontreinigingen aan de vaste fase
- de natuurlijke grondwaterstroming in het watervoerend pakket.

De invloed van deze factoren kan met het programma STROP op eenvoudige wijze worden doorgerekend.

Er zijn twee voorbeeldberekeningen uitgevoerd, waarbij de geohydrologische parameters waarden hebben die ongeveer de gemiddelde situatie van het onderzoeksgebied beschrijven. Er is uitgegaan van een neerslagoverschot van 250 mm/jaar en een afvoer naar beken van 60 mm/jaar. De effectieve neerslag bedraagt derhalve 190 mm/jaar. Voor de pakketdikte is 50 m aangehouden en voor de dikte van de deklaag 5.5. m. Voor de porositeit is 35% aangehouden.



STROP PROGRAMMA

datum: 16dec86  
schaal 1: 10000

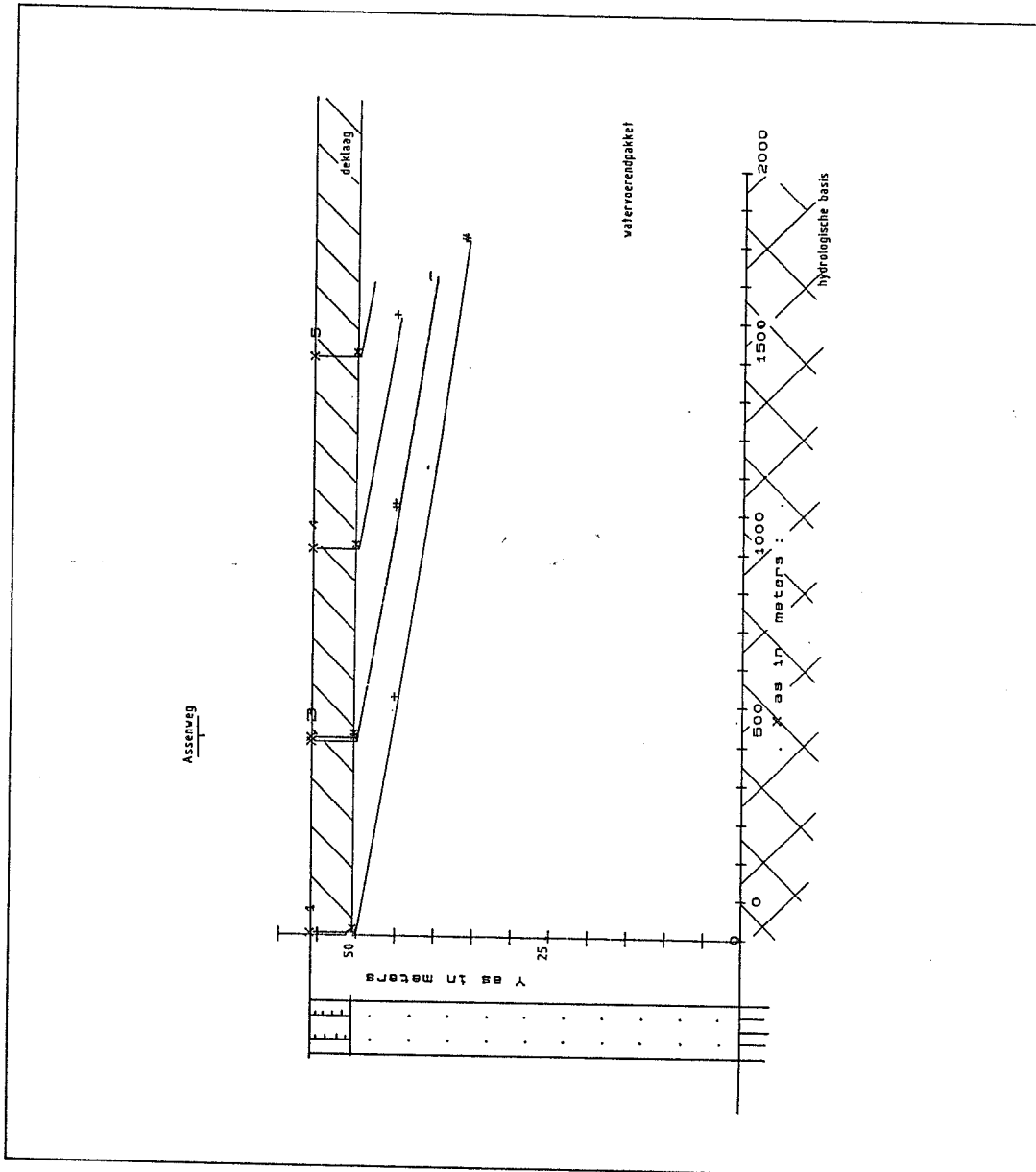
TYD (dagen) SYMBOL

3650. \*  
7300. +  
10950. -  
14600. #  
18250. \$

assenwegen Kempen  
semi-gespannen Dakke

pakketdikte 50 m  
porositeit .95  
eff. nieraal 190 mm/l  
nat. stroming .0 m<sup>2</sup>/d  
hoek tov Xas 0 gr  
geen asorptie

BRONGEGEVENS	(X)
NR m <sup>3</sup> /d	NR m <sup>3</sup> /d
1 0 3 0 0	
2 0 4 5 0	



TAUW INFRA CONSULT

Figuur 8.2.1.1. STROP 1





STROP PROGRAMMA

datum: 16dec86  
 schaal 1: 10000

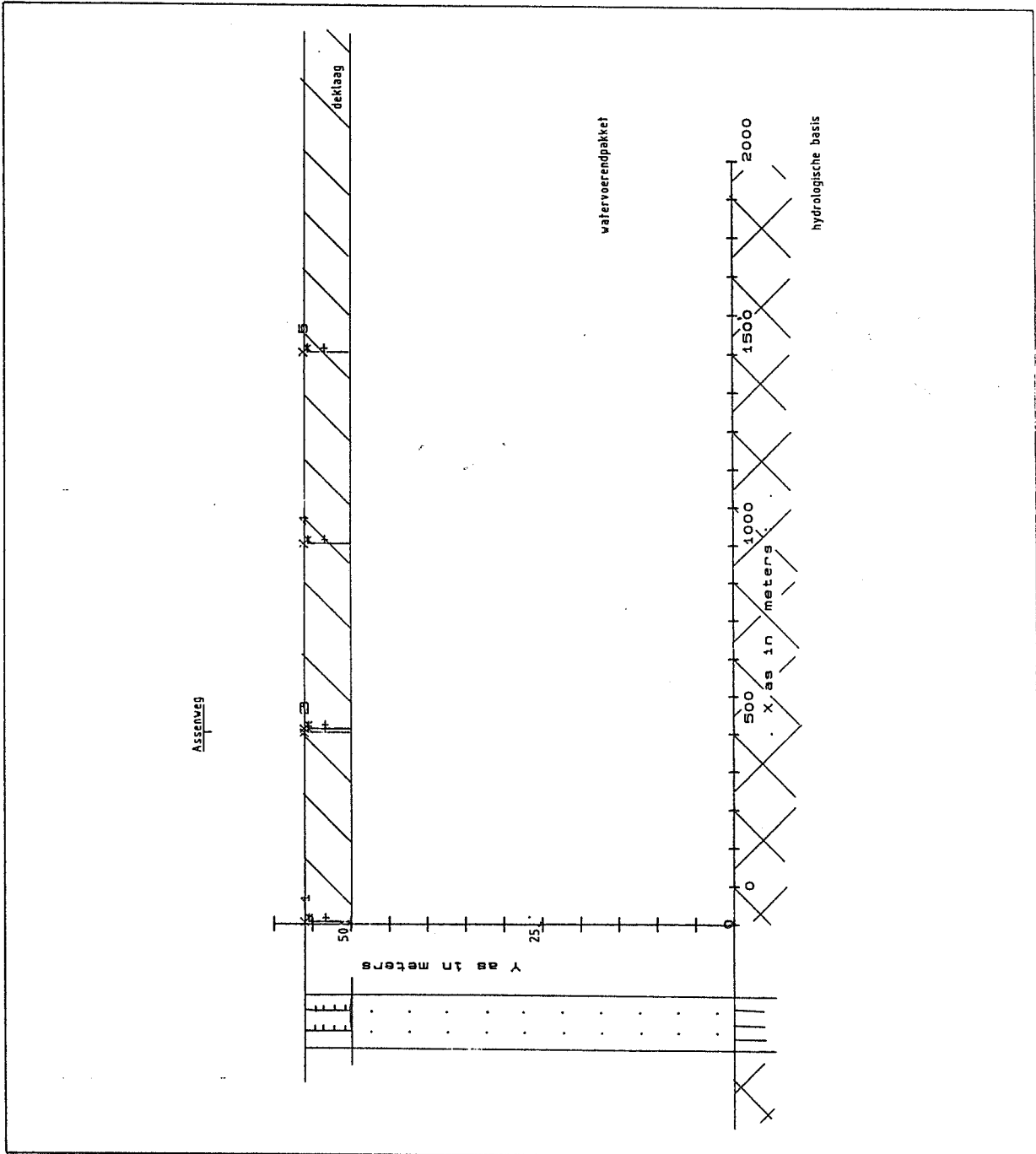
TYD (dagen) SYMBOL  
 3650. \*  
 18250. +  
 36500. -

assenwegen Kempen  
 semi-gespannen pakke

pakketdikte 50 m  
 porositeit .35  
 eff. neerl 190 mm/d  
 nat. stroming 2,87 m<sup>2</sup>/d  
 hoek tov Xas 0 gr

retardatiefactor deklaag = 10  
 retardatiefactor water-  
 voerend pakket = 1

BRONGEGEVENS	(X)	
NR	m <sup>3</sup> /d NR	m <sup>3</sup> /d
1	0	3
2	0	4
		5
		0
		0



TAUW INFRA CONSULT

FIGUUR 8.2.2. STROP 2



Als voorbeeld is in figuur 8.2.2. is de retardatiefactor voor de deklaag op 10 gesteld.

Daaruit blijkt dat ten gevolge van adsorptie de verplaatsing van de verontreiniging aanzienlijk wordt verkleind. Na 100 jaar bevindt het front van de verontreiniging zich slechts nabij de onderzijde van de deklaag.

#### 8.2.2. Kolommodellen ADSORB en ONZAT

Met de kolommodellen ADSORB en ONZAT kan het effect van adsorptie en diffusie/dispersie in één dimensie worden berekend. Deze modellen zijn met name gebruikt om het transport in de deklaag te beschrijven en vormen daarmee een detaillering van het model STROP.

ADSORB berekent het transport van verontreinigingen onder invloed van een konstante waterstroming, lineaire reversibele adsorptie aan een homogene bodem, afbraak en diffusie/dispersie.

Met ONZAT kan een verdere detaillering worden verkregen

- ook niet lineaire adsorptie is mogelijk
- de bodemkolom kan in meerdere lagen worden verdeeld met verschillende fysische en fysische/chemische eigenschappen
- de nuttige neerslag en de verontreinigingsconcentratie ervan mag in de loop van de tijd variëren
- ook het stoftransport in de onverzadigde zone kan worden berekend.

Uit de ADSORB-berekening (figuur 8.2.3.) blijkt dat na 50 jaar op 5,5 m (veronderstelde dikte deklaag) reeds verontreiniging aanwezig is, zij het in lage concentraties. Na 100 jaar is de concentratie op 5,5 m -mv ca. 50% van de invoerconcentratie. De 50% concentratiegrens is de diepte van het verontreinigingsfront, zoals die wordt berekend in een model zonder diffusie/dispersie. Onder invloed van diffusie/dispersie is dus reeds verontreiniging in een aanzienlijke concentratie de deklaag gepasseerd.

In de ONZAT-berekening (figuur 8.2.4.) is een deklaag gesimuleerd met een gelaagde bodemopbouw, waarbij het totale adsorberend vermogen gelijk is aan die in de ADSORB-berekening.



PROGRAMMA ADSORB

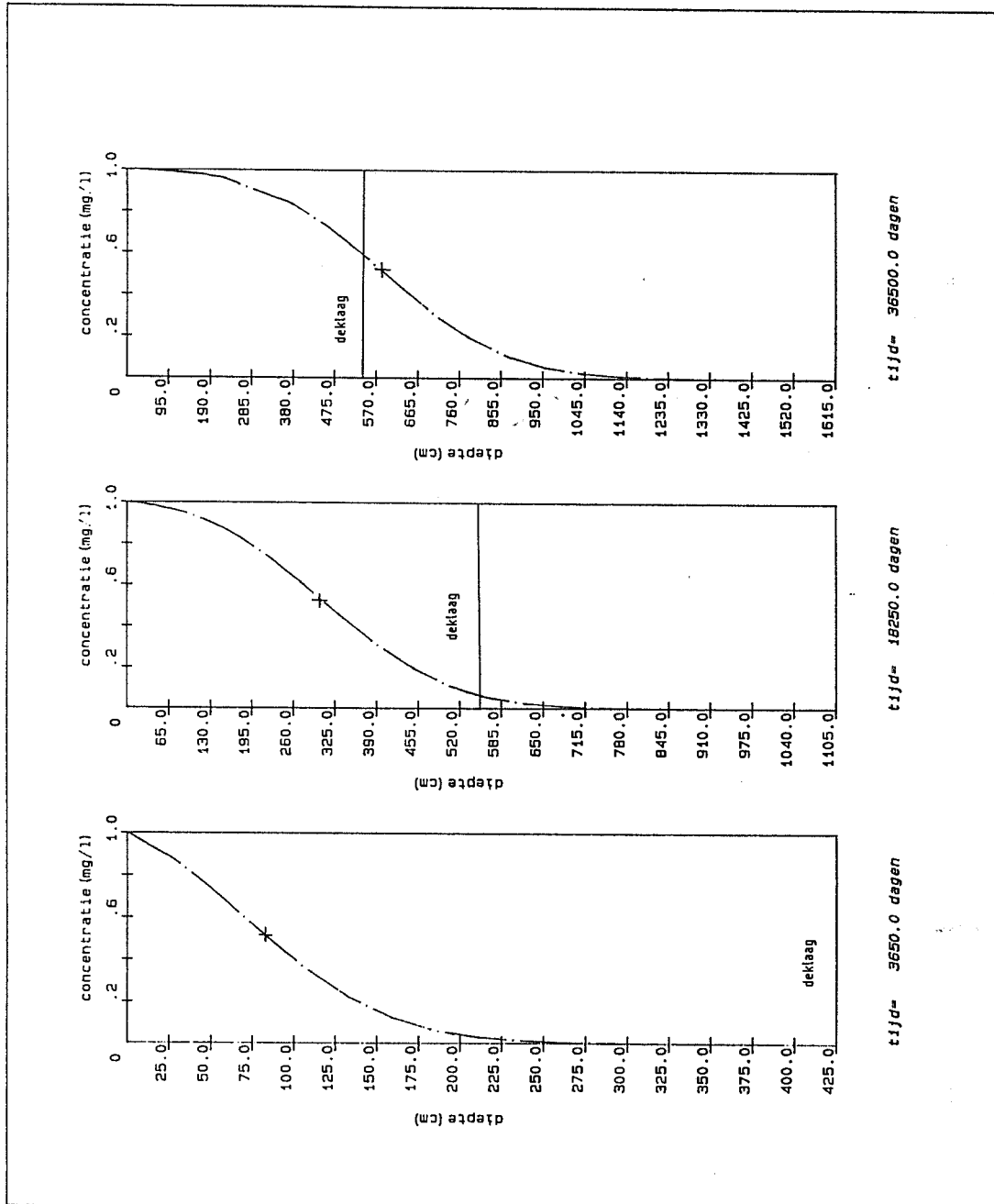
ASSENWEGEN KEMPEN

VERONTREINIGINGSFRONT

invoerconcentratie (mg/l): 1.00  
 invoerdebiet (m/d): .000520  
 vochtgehalte (volumefrac): .35  
 soortelijk gewicht (kg/dm3): 1.50  
 evenwichtsconstante (dm3/kg): 2.10  
 diffusiecoëfficiënt (m2/dag): .00074300  
 retardatiefactor (-): 10.00

afbraakcoëfficiënt (t) .00

+ : diepte met  $\frac{\text{concentratie}}{\text{invoerconc.}} = .50$



TAUW Infra consult

Figuur 8.2.3. ADSORB



PROGRAMMA ONZAT

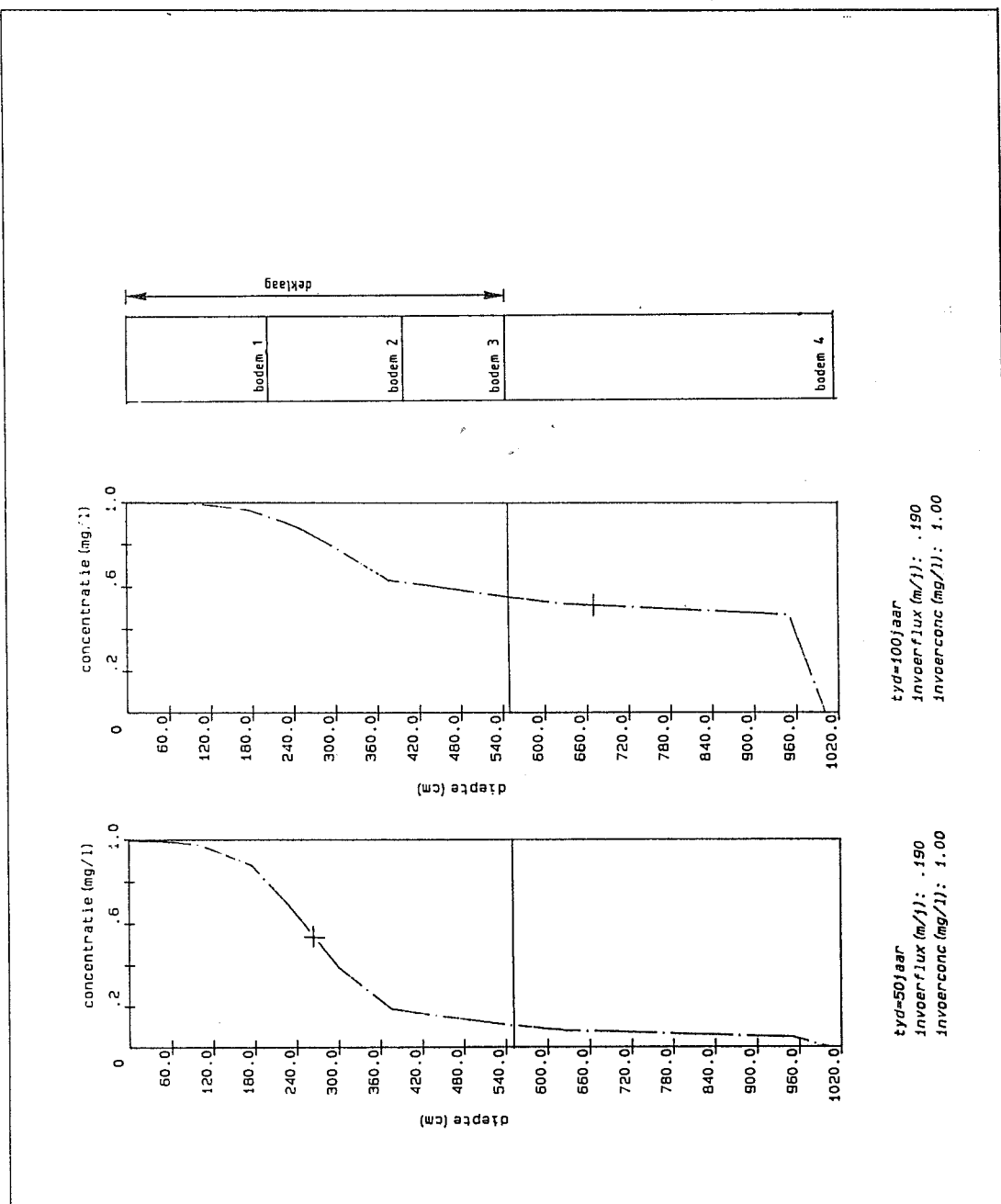
VERONTREINIGINGSFRONT

ASSENWEGEN KEMPEN

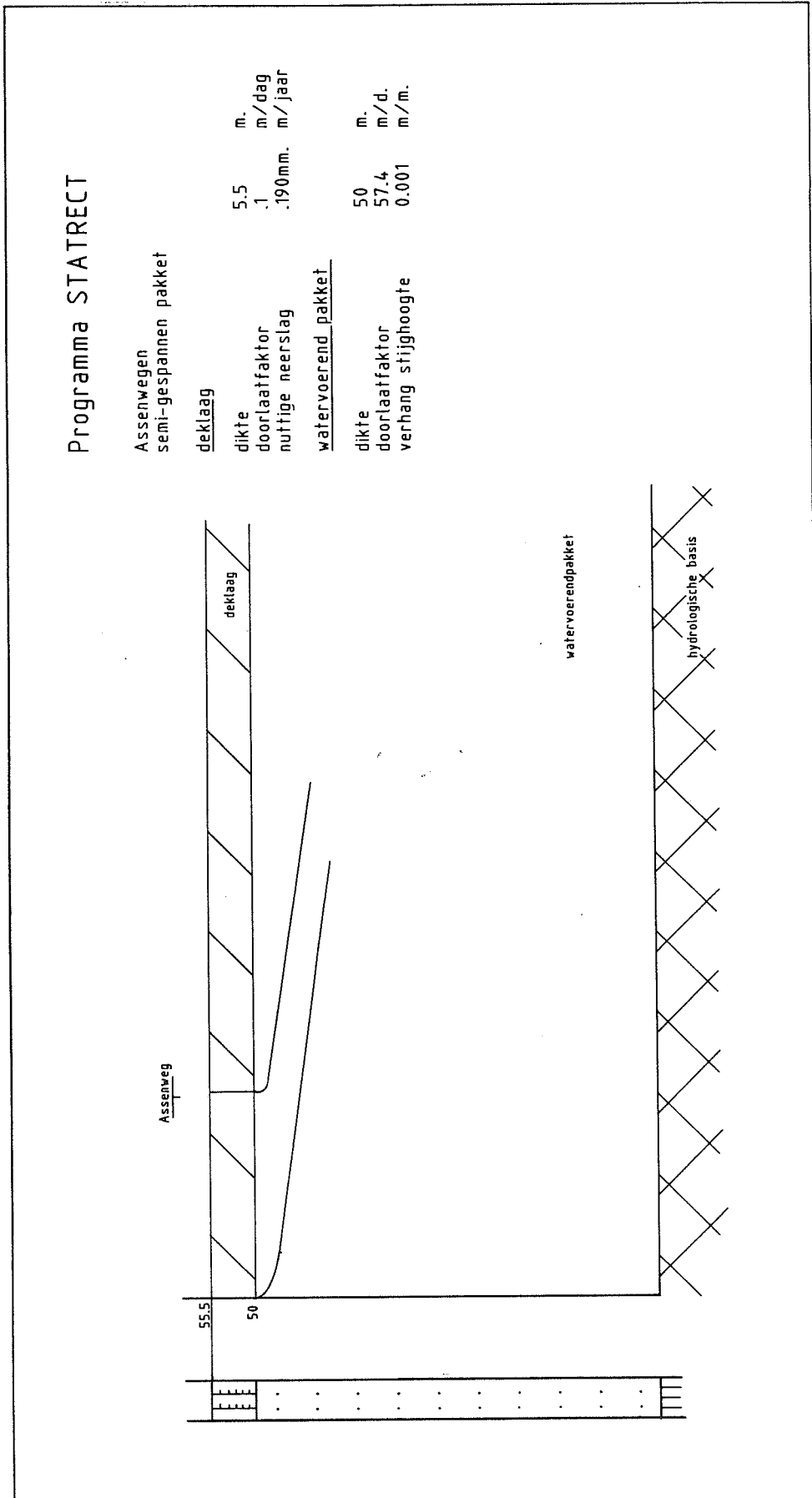
Bodem 1 0.0-2.0m-mv		
SOORTELIJK GEWICHT (kg/dm3):	1.50	
EVENWICHTSCONSTANTE (dm3/kg):	0.71	
DIFFUSIECOEFFICIENT (m2/dag):	.000000000	
DISPERSTELENGT (m):	.500	
AFBRAAKCOEFFICIENT (dagen):	.00	
Bodem 2 2.0-4.0m-mv		
SOORTELIJK GEWICHT (kg/dm3):	1.50	
EVENWICHTSCONSTANTE (dm3/kg):	4.73	
DIFFUSIECOEFFICIENT (m2/dag):	.000000000	
DISPERSTELENGT (m):	.500	
AFBRAAKCOEFFICIENT (dagen):	.00	
Bodem 3 4.0-5.5m-mv		
SOORTELIJK GEWICHT (kg/dm3):	1.50	
EVENWICHTSCONSTANTE (dm3/kg):	.55	
DIFFUSIECOEFFICIENT (m2/dag):	.000000000	
DISPERSTELENGT (m):	.500	
AFBRAAKCOEFFICIENT (dagen):	.00	
Bodem 4 5.5-10.0m-mv		
SOORTELIJK GEWICHT (kg/dm3):	1.50	
DIFFUSIECOEFFICIENT (m2/dag):	.000000000	
DISPERSTELENGT (m):	.500	
AFBRAAKCOEFFICIENT (dagen):	.00	

+ : diepte met concentratie = .50

TAUW Infra consult



Figuur 8.2.4. ONZAT



Figuur 8.2.5. STATRECT



### 8.2.3. Numeriek model STATRECT

Met het eindige elementen model STATRECT is in een verticale doorsnede gerekend met de stroomfunctie als randvoorwaarde. Dit betekent dat op de rand een verdeling wordt gegeven van de in -en uitgaande waterstromen (debeten). De grootheden zijn zo gekozen dat de berekening overeen komt met de uitgevoerde STROP-berekening. Met het model STATRECT wordt evenwel ook een horizontale komponent in de deklaag berekend, afhankelijk van het contrast in doorlaatfactor tussen deklaag en watervoerend pakket (respektievelijk op 0,1 en 57,4 m/d gesteld). Voor resultaten zie figuur 8.2.5. Daaruit blijkt dat de stroombanen overeenkomen met die in de STROP-berekening. Verder kan met STATRECT het effect van inhomogeniteiten worden berekend. In een berekening waarbij in de deklaag een gat zit van 5 m breedte, wat is opgevuld met zeer goed doorlatend zand, bleek de transportsnelheid met ca. 20% toe te nemen.

### 8.2.4. Samenvatting rekenmodellen

De belangrijkste factoren voor de mate van verspreiding van verontreinigingen in het horizontale vlak zijn de dikte van de deklaag, adsorptie in de deklaag, nuttige neerslag en stroomsnelheid in het watervoerend pakket. Met het model STROP kan op eenvoudige wijze een gemiddeld beeld worden berekend, rekeninghoudend met deze factoren.

Een detaillering van het adsorptie en diffusie/dispersie proces kan worden berekend met de kolommodellen ADSORB en ONZAT. Daaruit blijkt dat verontreiniging in lage concentraties eerder het watervoerend pakket bereiken dan op grond van een gemiddelde retardatiefactor kan worden verwacht.

Met het model STATRECT tenslotte kan het effect van een heterogene bodemopbouw worden doorgerekend, met name relevant in verband met het eventueel voorkomen van beter doorlatende plaatsen in de overigens matig doorlatende deklaag.

### 8.3. Resultaten veldgegevens versus modelonderzoek

Voor het maken van berekeningen voor de vaststelling van zones rond de assenwegen waarin het grondwater mogelijk verontreinigd is, zijn meerdere benaderingen mogelijk. In § 8.2. zijn een aantal modellen beschreven, die uiteenlopen in gedetailleerdheid.

Afhankelijk van de hoeveelheid bruikbare gegevens en de voorspelende waarde van de uitkomsten kan gekozen worden voor een globale of een meer gedetailleerde benadering.

In tabel 8.3.1. is een overzicht gegeven van de belangrijkste modelaannamen en parameters van een eenvoudige modelbenadering, waarbij tevens theoretische en literatuurwaarden worden vergeleken met de veld- en laboratoriumgegevens voor de drie lokaties.



Voor de lokatie Budel zijn de resultaten van het geohydrologisch onderzoek nauwelijks interpreteerbaar. Verontreiniging van het grondwater is daar evenmin in enige mate van enige betekenis aangetoond. Voor deze lokatie zijn dan ook slechts een beperkt aantal parameters opgenomen in tabel 8.3.1.

Tabel 8.3.1. Vergelijking literatuur, laboratorium en veldgegevens voor de belangrijkste parameters van een elementaire berekeningsmethodiek

		Valkenswaard			Tungelroy			Budel		
		lit		veld	lit		veld	lit		veld
<u>geohydrologische schematisatie</u>										
dikte deklaag	(m)	2 à 10		6	3 à 5		2	0 à 10		6
dikte watervoerend pakket	(m)	40		-	100		-	45		-
doorlatend vermogen	(m <sup>2</sup> /dag)	2600		-	4200		-	2000		-
stromingsrichting grondwater		NNW		NW	0		NO	NW		-
voeding	m/ jaar	0,25		-	0,25		-	0,25		-
<u>stofparameters</u>										
beginconcentratie	(mg/l) Zn	lit 13,16	lab	veld	lit 13,16	lab	veld	lit 16	lab	veld
		-	7	4	-	9	1			
	(µg/l) Cd	-	2	2	-	2	0,5			
I Kd	(dm <sup>3</sup> /kg) Zn	450	2400	?	450	5800	?	450		
I retardatiefactor	Zn	1350	7200	<30	1350	17000	<30	1350		
I Kd	(dm <sup>3</sup> /kg) Cd	500	17	?	500	50	?	500	0,79	?
I retardatiefactor	Cd	1500	52	<30	1500	150	<30	1500		
II Kd	(dm <sup>3</sup> /kg) Zn	450	11000	-	450	15	-	450		
II retardatiefactor	Zn	1350	33000	-	1350	46	-	1350		
II Kd	(dm <sup>3</sup> /kg) Cd	80	24	-	320	80	-		2-90	?
II retardatiefactor	Cd	240	74	-	960	240	-			
<u>Schematisatie stroming</u>										
horizontale stroming deklaag	(m/j)	0		<0?	0		>0?			
vertikale stroming deklaag	(m/j)	1		-	1		-			
horizontale stroming, watervoerend pakket	(m/j)	20		20?	20		20?			
vertikale stroming, watervoerend pakket	(m/j)	ca. 1		<2	ca. 1		>5			

\* KI = Kd-waarde en retardatie voor watervoerend pakket  
KII = Kd-waarde en retardatie voor lemig zand in de deklaag

Uit de tabel blijkt het volgende:

#### - Geohydrologische parameters

De literatuurgegevens met betrekking tot dikte deklaag en stromingsrichting grondwater in watervoerend pakket komen redelijk overeen met de resultaten in het veld. Daarbij is de beschrijving van de dikte van de deklaag in de literatuur niet erg gedetailleerd.

De stromingsrichting van het grondwater wijkt in detail wel iets af van de voorspelde richting:

voor Valkenswaard noordwestelijk in plaats van noord-noordwes-



telijk en voor Tungelroy noordoostelijk in plaats van oostelijk. Dikte watervoerend pakket en doorlatend vermogen zijn in dit onderzoek niet getoetst, evenmin als de voeding. Voor deze laatste parameter wordt regionaal gezien een waarde, van 0,075 m/jaar aangehouden.

Voor lokale verontreinigingsbronnen lijkt een voeding gelijk aan het neerslagoverschot van circa 0,25 m/jaar beter bruikbaar. Het verschil tussen de twee cijfers komt voornamelijk door afvoer van water naar sloten.

#### - Stofparameters en retardatie

De concentraties die nu in het veld direkt onder de assenwegen gemeten worden, in de tabel beginkoncentratie genoemd, komen goed overeen met resultaten van de laboratoriumexperimenten.

De Kd-waarden voor cadmium van de laboratorium-experimenten komen redelijk overeen met de Kd-waarden uit de literatuur. Echter wanneer op basis van de Kd-waarden retardatiefactoren berekend worden, uitgaande van de gegevens van het watervoerend pakket en deze vergeleken worden met de geschatte retardatie in het veld dan wordt in het veld weinig tot geen retardatie gevonden. Dit kan betekenen dat de adsorptie-experimenten te weinig de veldsituatie benaderen of dat de verticale stroomsnelheid van het grondwater nog hoger is dan nu geschat wordt.

De laboratoriumexperimenten geven voor zink een hogere Kd-waarde dan in de literatuur en ook hoger dan op basis van de metingen in het veld geschat wordt.

Voor een 'worst case' benadering met betrekking tot de verspreiding van de verontreiniging dient derhalve voor zowel zink als cadmium geen retardatie aangehouden te worden.

#### - Schematisatie stroming

De schematisatie van de stroming tot een verticale stroming in de deklaag en een horizontale en verticale stromingskomponent in het watervoerend pakket lijkt acceptabel. In Valkenswaard is mogelijk ook nog sprake van een horizontale stromingskomponent in de deklaag.

De stroomsnelheden in deklaag en watervoerend pakket zijn in het veld moeilijk te schatten. Zelfs bij een grote afwijking van de verticale stromingskomponent (100%) wordt het verontreinigingsbeeld niet bevestigd (bij veronderstelde retardatie).

Wel kan uit de resultaten worden afgeleid dat de neerwaartse stro-





mingskomponent in het watervoerend pakket veel groter is dan op grond van de continuïteitsvoorwaarde kan worden verwacht. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Een verklaring zou kunnen zijn dat het watervoerend pakket niet homogeen is, maar bij de onderzoekslokaties gelaagd in die zin dat bovenin relatief fijne zanden voorkomen.

Voor de verklaring van de veel lagere retardatiefactor voor cadmium in het veld dan op grond van literatuur en laboratoriumexperimenten blijkt, zijn een aantal hypothesen op te stellen:

- \* bij de adsorptie-experimenten heersen zodanig andere omstandigheden dan in het veld (een lagere redoxpotentiaal in het veld waardoor mobielere organische complexen worden gevormd) waardoor de experimenten niet representatief zouden kunnen zijn voor de veldsituatie. Deze verklaring is echter alleen mogelijk als er geen sulfide in de bodem aanwezig is anders zal precipitatie van  $CdS_2$  optreden en zal dus geen migratie van cadmium plaatsvinden.
- \* in het verleden was de uitloogconcentratie onder de assen veel hoger waardoor dichtheidsstroming opgetreden zou zijn.

Samenvattend kan worden gezegd dat voor het maken van berekeningen nog een aantal onzekerheden bestaan:

- de retardatie in het veld lijkt veel kleiner te zijn dan op grond van literatuur en laboratoriumexperimenten mag worden verwacht.  
Deze factor is van groot belang voor de vaststelling van zones rond assenwegen waarin een verontreiniging van het grondwater kan worden verwacht;
- de verontreinigingen komen tot grotere diepte voor dan op grond van het continuïteitsprincipe in een homogeen pakket mag worden verwacht.

Uit de veldresultaten kan wel worden gekonkludeerd dat gebruik van numerieke modellen veelal niet zinvol is. Zij vragen een gedetailleerde beschrijving van bodemopbouw en hydrologische randvoorwaarden en geven niet persé betere resultaten.

Wanneer nog meer bekend wordt omtrent de retardatie van de zware metalen in het veld dan kunnen voor de globale vaststelling van mogelijke verontreinigde zones rond assenwegen wel berekeningen worden uitgevoerd. Een acceptabel model is dan bijvoorbeeld ook het programma STROP.

Voor een specifieke lokatie is het wel wenselijk de lokatie gebonden parameters te toetsen. Bijvoorbeeld door vaststelling



van de dikte van de deklaag door middel van boringen. Ook is het controleren van de voorspelde verspreiding van de verontreinigingen door analyse van grondwatermonsters wenselijk.

9. CADMIUMBALANS PER STREKKENDE METER ASSENWEG

Op basis van het veld- en laboratoriumonderzoek is met behulp van een cadmiumbalans een globale schatting gemaakt van de cadmiumconcentratie, zoals deze geweest is in de zinkassen voordat uitloging plaatsvond. Door Budelco/KZM zijn in het verleden metaalgehalten gemeten in "kelderassen", de zinkassen die gebruikt zijn voor wegverharding. Analyseresultaten hiervan zijn opgenomen in bijlage 13. Het maximale aangetoonde gehalte in assen op het Budelco-terrein bedraagt 0,020 gewichts % cadmium, dat wil zeggen  $2,0 * 10^2$  mg/kg d.s. De vraag is nu of een dergelijk gehalte als uitgangskonzentratie van "verse" assen gezien moet worden, hetgeen zou betekenen dat momenteel gemiddeld reeds circa 90% cadmium is uitgelooft, of dat het analyseresultaat 0,020 gewichts % een uitschieter is.

Uit uitloogexperimenten blijkt empirisch (TAUW Infra Consult B.V.) dat de maximale uitloogbaarheid van cadmium en zink uit allerlei verschillende verse slakken en andere bulkstoffen als volgt is:

- zuur reagerend : 20-50%
- basisch reagerend: enkele procenten.

De RIVM-LAE studie 'Onderzoek naar de mobiliteit van metalen in toepassingen van bulkafvalstoffen' (lit 17) bevestigt dit beeld. Uit de cascade schudtesten met de zinkassen blijkt dat de zuurgraad van het schudwater circa pH 7 is, oftewel neutraal. De te verwachten uitloogbaarheid van de zinkassen in de Kempen wordt op basis van het bovenstaande dan ook niet hoger ingeschat dan de eerder genoemde 20-50%. In een 'worst case' benadering waarbij is uitgegaan van een maximaal gemeten cadmiumgehalte in assen van 46 mg/kg d.s. (Tungelroy) (zie bijlage 14) zal de maximale beginconcentratie van de assen dan ten hoogste 96 mg/kg d.s. hebben bedragen. Voor Valkenswaard ligt dit nog lager namelijk 20 mg/kg d.s.. Deze waarden geven aan dat zelfs bij een extreem hoge schatting van het uitgelooft percentage cadmium uit de assen (zuur-reagerend assenmateriaal) niet te verwachten is dat 0,020 gew% cadmium een reële beginconcentratie is geweest van de assen in Tungelroy of Valkenswaard.

Nadeel van boven gegeven benaderingswijze is dat het andere bulkmaterialen betreft dan de hier onderzochte zinkassen- en slakken. Derhalve is ter vergelijking een massabalans opgesteld.

De massabalans bestaat enerzijds uit de cadmiumvracht in de assen en anderzijds de cadmiumvracht in de verontreinigingspluim. Deze balans zou op te lossen zijn wanneer of de beginconcentratie van de assen te berekenen is of de omvang van de verontreinigingspluim



volledig bepaald is. Aangezien dit niet het geval is zijn twee verschillende benaderingswijzen gekozen:

- de omvang van de verontreinigingspluim is geschat op 250 m. Dit is een ruwe aanname met een niet in te schatten onzekerheid;
- de cadmiumbalans is opgesteld voor de huidige situatie zoals gemeten in het veld waarbij de aanname wordt gedaan dat de verontreinigingspluim afgeperkt is met de nu geplaatste peil- en minifilters op 130 en 60 m van de bron voor Valkenswaard respectievelijk Tungelroy.

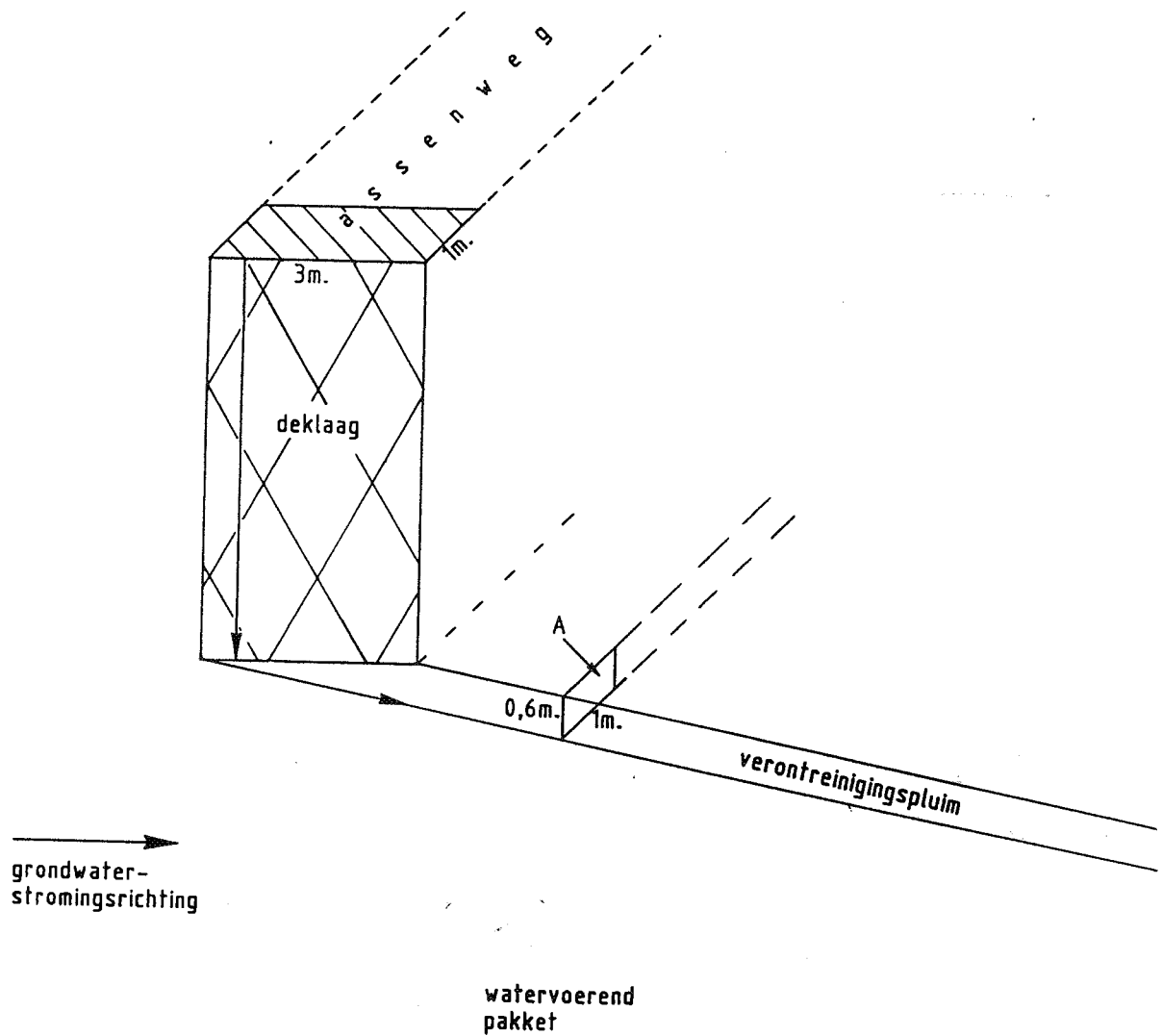
9.1. Omvang verontreinigingspluim geschat op 250 m

Er is een cadmiumbalans opgesteld voor de uitloging van een strekkende meter assenweg en de omvang van de hiermee samenhangende verontreiniging van de bodem.

Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- 1) Op de lange termijn looft alle in de assen aanwezige cadmium uit.
- 2) De cadmiumconcentratie in de verontreinigingspluim is overal even hoog.
- 3) In de deklaag is de grondwaterstroming vertikaal. De dikte van de deklaag is 5,5 m.
- 4) In het watervoerend pakket is op basis van de ervaring bij het veldonderzoek de verhouding tussen verticale en horizontale grondwaterstromingskomponent geschat op 1:5,
- 5) Er wordt geen rekening gehouden met diffusie en dispersie waardoor er gerekend kan worden met een scherp begrensde verontreinigingspluim.

In figuur 9.1. is weergegeven hoe de verontreinigingspluim ter plaatse van een assen is geschematiseerd.



schaal 1 : 100

Figuur 9.1. Schematische weergave uitloging van een 'standaard' assenweg

Cadmiumvracht

De cadmiumvracht in de assen wordt berekend met:

$$\text{vracht} = \text{volume} * P_{as} * [\text{Cd}]$$

Het volume assen per strekkende meter assenweg (3 m breed en 0,1 m dik) bedraagt  $0,3 \text{ m}^3$ . Voor de soortelijke massa P van het gestorte materiaal wordt  $1.000 \text{ kg/m}^3$  aangehouden.

De gemiddelde cadmiumconcentratie [Cd] in de assen bedraagt momenteel  $17 \text{ mg/kg}$  d.s. (zie bijlage 13, blad 5).



De cadmiumvracht per strekkende meter bedraagt derhalve 5.100 mg.

Uit laboratoriumexperimenten blijken de volgende Kd-waarden:

deklaag : 2 -80 dm<sup>3</sup>/kg

watervoerend pakket: 0,8-50 dm<sup>3</sup>/kg

De gemiddelde cadmiumconcentratie in het grondwater in de pluim bedraagt 10 mg/m<sup>3</sup>.

Bij volledige oplading van het adsorptiecomplex in de deklaag kunnen de volgende vrachten worden berekend.

Vracht in grondwater in deklaag bij een grondwaterspiegel van 2 m -mv:

$$3,5 \text{ m} \times 3 \text{ m}^2 \times 35\% \times 10 \text{ mg/m}^3 = \underline{37 \text{ mg}}$$

Vracht in grond in deklaag (Kd = 2-80 dm<sup>3</sup>/kg):

$$\text{Vracht in grond} = Kd \times Cw \times V_{\text{grond}} \times P \times l$$

Hierin is:

Kd = verdelingscoëfficiënt grond/grondwater

Cw = concentratie in grondwater 10 mg/m<sup>3</sup>

V<sub>grond</sub> = volume grond waarin adsorptie complex is opgeladen

$$5,5 \times 3 \text{ m}^2 = 16,5 \text{ m}^3$$

P = soortelijke massa grond = 1,5 kg/dm<sup>3</sup>

$$\text{Vracht grond (Kd = 2 dm}^3/\text{kg)} = \underline{495 \text{ mg}}$$

$$\text{Vracht grond (Kd = 80 dm}^3/\text{kg)} = \underline{19.800 \text{ mg}}$$

Vracht in grondwater in watervoerend pakket

$$V = 0,6 \times 1 \text{ m}^3$$

waarin l = lengte verontreinigingspluim in (m)

$$\text{Vracht in grondwater} = 0,6 \times 1 \times 0,35 \times 10 = \underline{2,1 \times 1 \text{ mg}}$$

Vracht in grond in watervoerend pakket:

$$\begin{aligned} \text{vracht in grond (Kd = 0,8 dm}^3/\text{kg)} &= 1,5 \times 0,6 \times 1 \times 0,010 \times 0,8 \\ &= \underline{0,007 \times 1 \text{ mg}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{vracht in grond (Kd = 50 dm}^3/\text{kg)} &= 1,5 \times 0,6 \times 1 \times 0,010 \times 50 \\ &= \underline{0,45 \times 1 \text{ mg}} \end{aligned}$$

Stel de lengte l van de verontreinigingspluim is 250 m (gegevens ontbreken om een onderbouwde schatting te geven) dan kan het reeds uitgeloopte percentage cadmium als volgt geschat worden.



Vracht uitgeloogd cadmium:

(Kd laag)  $37 \text{ mg} + 495 \text{ mg} + 525 \text{ mg} + 1,8 \text{ mg} = 1059 \text{ mg}$

(Kd hoog)  $37 \text{ mg} + 19800 \text{ mg} + 525 \text{ mg} + 113 \text{ mg} = 20475 \text{ mg}$

Het reeds uitgeloogde percentage varieert op basis van deze benadering tussen 17% en 80%. Hieruit zou derhalve gekonkludeerd kunnen worden dat het gemeten gehalte van 200 mg Cd/kg in assen op het Budelco terrein iets lager is dan wat maximaal als beginkoncentratie berekend kan worden uit het bovenstaande (namelijk 240 mg/kg bij een maximale concentratie in de huidige assen van 48 mg/kg). Een dergelijke beginkoncentratie hangt echter samen met de hoge Kd-waarde in de deklaag en een verontreinigingspluim in het watervoerend pakket van 250 m. Uit de modellering blijkt dat bij deze hoge Kd de cadmiumpulm de deklaag in praktijk nog niet gepasseerd kan zijn. De ingevoerde schatting van de pluimomvang is dus waarschijnlijk te ruw. Daarom is in paragraaf 9.2. met veldgegevens geschat wat de beginkoncentratie in de assen is geweest.

Uit de modelmatige benadering kan berekend worden dat indien 100% van de vracht in de verse assen uitloopt en de verontreinigingspluim zich op de zeer lange termijn volledig in het watervoerend pakket bevindt dat de maximale lengte van de pluim tussen 2847-10000 m ligt. Uit literatuur en empirische gegevens is een uitloogpercentage van circa 10% waarschijnlijker; dit betekent een maximale lengte van de pluim tussen circa 300-1000 m.

## 9.2. Overzicht vrachten in het watervoerend pakket in de huidige situatie

In onderstaande tabellen zijn de cadmiumvrachten in de huidige situatie geschat aan de hand van de veldgegevens van respectievelijk Valkenswaard en Tungelroy. Er zijn schattingen gemaakt voor bodemmateriaal met  $Kd = 0,8 \text{ dm}^3/\text{kg}$  en  $Kd = 50 \text{ dm}^3/\text{kg}$ .

### Valkenswaard

Het totaal volume grond in de verontreinigingspluim wordt geschat op  $2250 \text{ m}^3$ .

De gemiddelde concentratie in het grondwater in het watervoerend pakket bedraagt  $10,8 \text{ ug/l}$

Volume van het grondwater is  $788 \text{ m}^3$ . De vracht in grondwater is dus  $8,5 \text{ g}$ .



	Kd 0,8 dm <sup>3</sup> /kg	Kd = 50 dm <sup>3</sup> /kg
gemiddelde concentratie in grond mg/kg	8,5	537,5
vracht (g) in grond (g)	22	1179
vracht totaal (g)	30	1187

#### Tungelroy

Het totaal volume bodem in de verontreinigingspluim wordt geschat op 1475 m<sup>3</sup>. Het volume grondwater op 516 m<sup>3</sup> en de gemiddelde grondwaterconcentratie 2,6 ug/l. De vracht in het grondwater is dus 1,4 g. In onderstaande tabel staan de geschatte vrachten in grond bij de laagste- en hoogste gemeten Kd.

	Kd = 0,8 dm <sup>3</sup> /kg	Kd = 50 dm <sup>3</sup> /kg
gemiddelde concentratie grond mg/kg	2,1	131,3
vracht in grond (g)	4,6	290
vracht totaal (g)	6	291

Gekonkludeerd kan worden dat:

- afhankelijk van aanname ten aanzien van Kd is in Valkenswaard tussen 10,5 en 1822 g en in Tungelroy tussen 3,5 en 291 g uitgespoeld. Dit betekent dat de beginkoncentratie in 'verse' assen van het erf te Valkenswaard tussen 9,3 en 21,7 mg/kg d.s. geschat wordt. Voor Tungelroy wordt de beginkoncentratie geschat tussen 6,52 en 23,9 mg/kg d.s.;
- vracht in grondwater in Valkenswaard hoger dan in Tungelroy (gemiddeld respectievelijk 8,5 en 1,4 g). Dit wordt veroorzaakt doordat in Valkenswaard op grotere afstand van het assenerf is bemonsterd (respectievelijk circa 130 en 60 m) waarbij juist op grotere afstand hoge concentraties zijn gevonden;

Uit de veldgegevens blijkt een geringere uitloging dan op basis van de modelmatige benadering en dus ook een lagere concentratie in de assen. De veldgegevens geven een uitlogingspercentage tussen enkele procenten en 20% § 4.4, 5.4. en 6.4).





## 10. SCHATTING VAN GEZONDHEIDSRISIKO EN RISIKO'S VOOR HET MILIEU

### 10.1. Inleiding

Recent zijn een aantal onderzoeken gepubliceerd met betrekking tot risico's en mogelijke gevolgen voor de volksgezondheid ten gevolge van de bodemverontreiniging in de Kempen. In een onderzoek verricht door het RIVM, onder bewoners van Luyksgestel in de Kempen is een verandering in nierfunctie gemeten en het wordt niet uitgesloten geacht dat deze verandering samenhangt met de hogere lichaamsbelasting met cadmium (lit.18.). Uit een risico-inschatting met betrekking tot de volksgezondheid uitgevoerd door Haskoning (lit. 3) lijkt het dat met name opname van cadmium via voedingsmiddelen en aan in het bijzonder zelfgeteelde groenten in de Kempen, van belang is voor de inschatting van de risico's voor de volksgezondheid.

Op basis van bovengenoemde onderzoeken hebben de inspecties van de volksgezondheid voor de milieuhygiëne en met toezicht op de levensmiddelen gesteld dat uit gezondheidskundig oogpunt in de Kempen sprake is van een ongewenste situatie en dat maatregelen geboden zijn om de cadmiumbelasting terug te dringen door middel van aanpak van de verontreinigde grond in privé- en volkstuinten alhier.

### 10.2. Risico-schatting ten gevolge van de grondwaterverontreiniging voor de gezondheid

De noodzaak van sanering van de bovengrond wordt derhalve door de inspecties aangegeven.

Afgevraagd moet worden of de verontreiniging van het grondwater ten gevolge van de uitloging van de assen in assenwegen eveneens bij de sanering moet worden meegenomen.

De verontreinigingen in het grondwater kunnen door mens en dier opgenomen worden doordat het grondwater in de verontreinigingspluim opgepompt wordt. Het kan hierbij gaan om partikuliere onttrekkingen voor drinkwatergebruik, veedrenkputten, beregeningsinstallaties en dergelijke en om openbare drinkwaterwinnings. In de paragrafen 10.2.1. tot en met 10.2.3. wordt een schatting gemaakt van deze risico's. Opgemerkt moet worden dat deze risikoschatting beperkt is tot het aspect van contact met verontreinigd grondwater.

#### 10.2.1. Drinkwater

In tabel 10.1 zijn de maximale concentratie, de mediaanwaarde en de 90-percentielwaarde van de gemeten concentraties in het grondwater



in de verontreinigingspluim van de uitlogende assenweg opgenomen. Deze concentraties zijn vergeleken met de norm uit het Waterleidingbesluit en de maximaal toelaatbare concentraties volgens de EG (MTC).

Tabel 10.1 Verontreinigingsconcentratie in het grondwater tot 20 m -mv in de verontreinigingspluim van de uitlogende assenweg.

	<u>cadmium(ug/l)</u>	<u>zink(mg/l)</u>	<u>nikkel(ug/l)</u>
mediane concentratie*	2	0,4	50
90-percentiel*	16	4	350
maximale concentratie	150	68	700
MTC-EG	-	0,1	-
Waterleiding besluit	5	-	50

\* De mediaan en 90-percentielwaarde zijn berekend op de volgende peilbuizen en minifilters: 2, 3, 5, 13A t/m F, 15 B t/m F, 61, 62, 64, 71A t/m C, 72 B t/m F, 73 B t/m F, 100A t/m C en 101 tot en met 110.

Uit de tabel blijkt dat de mediaanwaarde voor cadmium de drinkwaternorm van het Waterleidingsbesluit niet overschrijdt. De 90-percentielwaarden en de maximale concentratie overschrijden deze drinkwaternorm wel.

Uit de gemeten cadmiumconcentraties in de verontreinigingspluim blijkt dat 66% van de waarnemingen de norm van het Waterleidingbesluit onderschrijdt.

De mediane waarde voor zink overschrijdt de maximaal toelaatbare concentratie voor drinkwater zoals gesteld door de EG. Dit geldt derhalve ook voor de 90-percentiel waarde en de maximale concentratie.

Voor nikkel ligt de mediaanwaarde op de drinkwaternorm van het Waterleidingsbesluit. De 90-percentiel waarde en de maximale concentratie overschrijden deze norm.

Uit het bovenstaande wordt gekonkludeerd dat grondwater, dat opgepompt wordt ter plaatse van de verontreinigingspluimen, en gebruikt wordt voor drinkwater niet voldoet aan de drinkwaternorm en daarmee een risico voor de volksgezondheid kan vormen <sup>1)</sup>.

1) Het valt buiten het kader van dit onderzoek de validiteit van drinkwaternormen uitputtend te onderzoeken. Wel moet opgemerkt worden dat de drinkwaternorm voor zink niet alleen op gezondheidkundige overwegingen is gebaseerd, maar verder is ingeperkt ten behoeve van het aspect smaak.

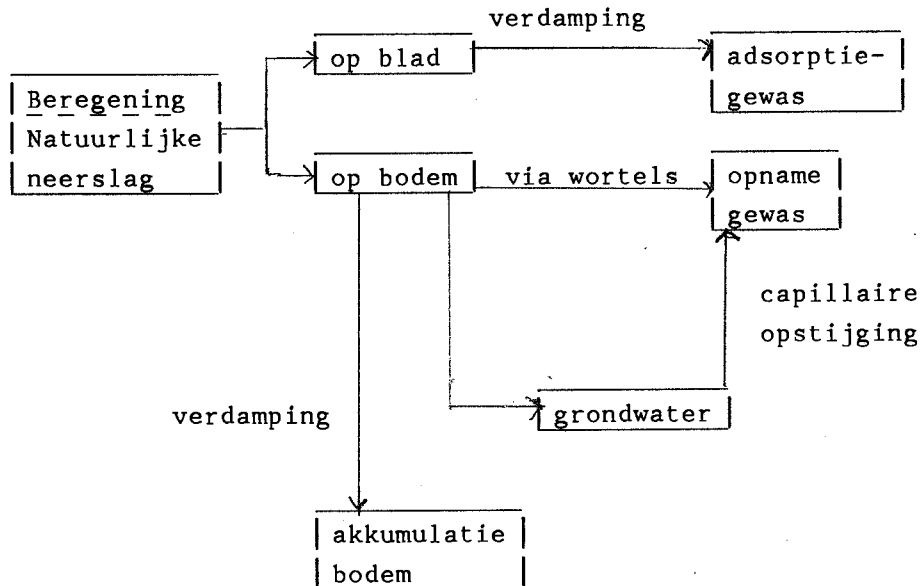


### 10.2.2. Berekening

Bij de beschouwing van de risico's door berekening van voedingsgewassen met verontreinigd grondwater is getoetst aan de Warenwet-norm voor zware metaalgehalten in voedingsgewassen. Van de in dit kader relevante elementen is er alleen een norm voor cadmium. Van de elementen cadmium, zink, nikkel en cobalt is cadmium voor de mens ook de meest toxische. Derhalve is hiertoe beperkt. In de onderstaande schatting is er vanuit gegaan dat de grond niet verontreinigd is met cadmium.

#### Opname van met cadmium verontreinigd water door gewas

De opname van cadmium via water door gewas kan als volgt worden geschematiseerd.



Figuur 10.1. Schematische route opname van cadmium via berekening/  
neerslag door gewas

De opname van cadmium door gewassen ten gevolge van capillaire opstijging van verontreinigd grondwater is verwaarloosbaar omdat cadmium alvorens de wortelzone te bereiken in de onverzadigde zone aan het bodemmateriaal zal adsorberen. Derhalve wordt voor de opname van cadmium door gewassen ten gevolge van contact met verontreinigd grondwater alleen rekening gehouden met berekening met dit grondwater. De berekening wordt daarnaast vergeleken met de toevoer van cadmium via natuurlijke neerslag.

Uit figuur 10.1 blijkt dat regenwater gedeeltelijk verdampt vanaf het blad en gedeeltelijk op de bodem terecht komt. Hier verdampt



eveneens een gedeelte. Het restant verplaatst zich grotendeels naar het grondwater.

Op basis van gegevens van het CAD te Wageningen (lit 19) zijn de volgende schattingen gemaakt.

Er wordt geschat dat slechts enkele procenten van het beregeningswater door het gewas via de wortels wordt opgenomen en dat de toevoer van cadmium via deze weg verwaarloosbaar is ten opzichte van de hoeveelheid cadmium die op het blad of tussen de bladeren achterblijft nadat het beregeningswater is verdampt.

Behalve de afvoer van het beregeningswater naar het grondwater speelt hierbij ook een rol dat de cadmiumionen tijdens het transport naar het grondwater aan het bodemmateriaal adsorberen.

De volgende uitgangsgegevens zijn gehanteerd (CAD, Wageningen lit 19.):

- in het voorjaar en de zomer wordt een gemiddelde beregeningsgift gegeven van 200 mm per jaar (per teelt 100 mm). Deze beregeningsgift wordt verdeeld over 20 à 40 beregeningen in het groeiseizoen gegeven.
- per ha. wordt per teelt 25-40 ton gewas geoogst (vers gewicht);
- het percentage aan beregeningswater dat achterblijft op het gewas door de regeninvang kan variëren met het gewas (kompakt groeiende prei of losgroeiend sla). Daarnaast valt op te merken dat bij spinazie door een nieuwe berekening het stof en cadmium dat via de voorgaande berekening is aangevoerd op het blad, weggespoeld zal worden. Bij losse kropvormige gewassen kan daarentegen stapeling van cadmium bij de opeenvolgende beregeningen optreden. Bij gebrek aan voldoende onderzoek is door het CAD (lit 19) een schatting gemaakt van de verdamping op het blad. In tabel 10.2. is de extra verontreiniging met cadmium ten gevolge van berekening berekend, waarbij uitgegaan is van verschillende gewasopbrengsten en toenemende percentages van verdamping van water op het blad.



Tabel 10.2

Extra gehalten in tuinbouwgewassen als gevolg van berekening met Cd-verontreinigd grondwater (lit 19)

C grondwater ug/l	Verhoging gehalte in/op het gewas door berekening mg/kg		
	25%	10%	5%
<u>verdamping op het blad</u>			
<u>Opbrengst 20 ton/ha</u>			
150	<u>1,9</u>	<u>0,75</u>	<u>0,4</u>
16	<u>0,20</u>	0,08	0,04
10	0,125	0,05	0,025
2	0,025	0,01	0,005
<u>Opbrengst 25 ton/ha</u> (prei, sla)			
150	<u>1,5</u>	<u>0,60</u>	<u>0,3</u>
16	0,16	0,064	0,03
10	0,10	0,04	0,02
2	0,02	0,008	0,004
<u>Opbrengst 30 ton/ha</u> (prei)			
150	<u>1,25</u>	<u>0,50</u>	<u>0,25</u>
16	0,14	0,06	0,03
10	0,08	0,03	0,02
2	0,017	0,006	0,003
<u>Opbrengst 35 ton/ha</u> (spinazie, prei)			
150	<u>1,07</u>	<u>0,43</u>	<u>0,2</u>
16	0,11	0,05	0,02
10	0,07	0,03	0,01
2	0,015	0,006	0,002
<u>Opbrengst 40 ton/ha</u> (andijvie)			
150	<u>0,95</u>	<u>0,4</u>	<u>0,19</u>
16	0,1	0,04	0,02
10	0,065	0,026	0,012
2	0,013	0,005	0,002

= gelijk of hoger dan de warenwetnorm, (0,2 mg/kg vers gewicht)

Akkumulatie in de bouwvoor

Door berekening van de bouwvoor met verontreinigd grondwater treedt ook accumulatie van cadmium in de grond op. Deze accumulatie kan als volgt worden geschat uitgaande van dezelfde punten als in de vorige paragraaf.

Per jaar wordt een beregeningsgift gegeven van 200 mm (lit 19).

Het percentage dat op de bodem terecht komt is het totaal vermindert met het percentage dat op het blad achterblijft.

In tabel 10.3 is de accumulatie in de bouwvoor per jaar berekend voor de verschillende percentages, achtergebleven op het blad.

Tabel 10.3. Jaarlijkse accumulatie van cadmium in de bouwvoor (in mg/kg d.s.) door berekening met 200 mm grondwater

C grondwater (ug/l)	percentage beregeningswater op bodem		
	75%	90%	95%
150	0,075	0,09	0,095
16	0,008	0,01	0,01
10	0,005	0,006	0,006
2	0,001	0,001	0,001

Evaluatie van gegevens met betrekking tot berekening

Uit tabel 10.2 blijkt dat bij geschatte percentages achterblijvend cadmium nauwelijks een directe overschrijding van de warenwetnorm voor andijvie, sla, spinazie en prei is te verwachten. Alleen bij een geringe opbrengst per hectare (20 ton/ha) en een concentratie in grondwater gelijk aan de 90 percentielwaarde (16 ug/l) of bij iedere opbrengst en de concentratie in het grondwater gelijk aan de maximaal gemeten waarde in grondwater onder de assenweg ((150 ug/l), zou overschrijding van deze norm optreden.

Uit tabel 10.3 blijkt dat de accumulatie van de bouwvoor met name optreedt bij berekening met sterk verontreinigd grondwater (150 ug/l).

De totale extra cadmiumtoevoer (gewas en bodem) per jaar ten gevolge van berekening met grondwater met een concentratie van 10 ug/l bedraagt 200 mg/100m<sup>2</sup>. In 1985/1986 bedroeg in Eindhoven de gemiddelde cadmium depositie per 100 m<sup>2</sup> 25,5 mg (lit 20). Bij deze concentratie in het beregeningswater wordt hierdoor circa 8x



zoveel cadmium toegevoerd aan bouwvoor en gewas dan door atmosferische depositie. Bij een concentratie in het beregeningswater van 2 ug/l bedraagt de extra cadmiumtoevoer circa 40 mg cadmium/100 m<sup>2</sup>. Deze vracht is vergelijkbaar met hetgeen door depositie op gewas en bodem achterblijft.

Bij de toepassing van fosfaatkunstmest is in proefveldonderzoek jaarlijkse een cadmiumakkumulatie gevonden variërend tussen 0,002 en 0,010 mg/kg bij een fosfaatgift van 200 kg P205 per jaar (lit 21). (Overigens is een fosfaatgift van 70 kg een normaal gemiddelde).

Wanneer de jaarlijkse akkumulatie van cadmium in de bouwvoor ten gevolge van beregening vergeleken wordt met de akkumulatie ten gevolge van de toepassing van fosfaatkunstmest blijkt het volgende. Bij cadmiumconcentraties die al groter zijn dan 2 ug/l in het beregeningswater is de jaarlijkse akkumulatie in de bodem in dezelfde orde van grootte of is groter dan de akkumulatie ten gevolge de toepassing van fosfaatkunstmest. Beide bijdragen aan de cadmiumakkumulatie in de bouwvoor zijn dus van belang.

### 10.2.3. Veedrenking

#### Veterinair-toxische risico's

Door de Stichting gezondheidszorg voor dieren te Zwolle (lit 22) zijn advieswaarden voor water voor veedrenking opgesteld waarboven afgeraden wordt dat water te gebruiken. Deze bedragen voor cadmium 5 ug/l en voor zink 0,5 mg/l. Voor nikkel is geen advieswaarde opgesteld omdat er geen gegevens zijn over de belasting van landbouwhuisdieren met nikkel. Deze advieswaarden zijn gebaseerd op veterinair-toxische overwegingen, alsmede op de overweging dat van deze advieswaarden een probleemsignalerende werking uitgaat.

In het kader van dit onderzoek zijn veterinair-toxische effecten buiten beschouwing gelaten.

#### Risico's voor de volksgezondheid

De maximale belasting met cadmium per volwassen rund per dag, zoals voorgesteld door de 'Landbouw Advies Commissie (LAC)-werkgroep zware metalen', bedraagt 15 mg (lit 23). Boven deze waarde kunnen de gehalten in de runderlever en -nieren oplopen zodat deze niet meer geschikt zijn voor de menselijke consumptie.

De opname door het dier vindt plaats via voer en drinkwater. De bijdrage aan de cadmiumopname wordt voornamelijk bepaald door het gehalte in krachtvoer. Er is echter geen standaardsituatie te geven waarin overschrijding van de maximale cadmiumbelasting per dag optreedt. Daarom zou per bestaande situatie berekend moeten worden



of normoverschrijding optreedt. Ter verduidelijking is onderstaand een voorbeeldberekening uitgevoerd, waarvan de resultaten voor verschillende cadmiumconcentraties in het grondwater in tabel 10.4 zijn weergegeven.

Hierbij zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

Een rund neemt aan voer gemiddeld per dag 20 kg d.s. op. Het cadmiumgehalte in voer bedraagt 0,5 mg/kg d.s. (de toelaatbare grens voor krachtvoer). De opname van water bedraagt gemiddeld 50 l/dag. Voor een koe op stal met droog ruwvoer bedraagt de opname tot circa 100 l, voor een koe op het land bij nat weer circa 30 l/dag en bij droog heet weer tot circa 100 l/dag (lit 24).

Tabel 10.4. Dagelijkse cadmiumopname via voer en drinkwater door rund

	concentratie in drenkwater (ug/l)	opname per dag (mg)	vergelijking norm LAC
maximale waarde	150	17,5	+
90-percentiel waarde	16	10,8	-
mediaan	2	10,1	-

Uit de tabel blijkt dat bij een concentratie van 150 ug/l zoals eenmaal is waargenomen onder een assenweg, overschrijding van de maximaal toelaatbare belasting met cadmium voor het rund optreedt.

Hieruit blijkt dat drenking van runderen met grondwater dat opgepompt is ter plaatse verontreinigingspluimen ten gevolge van assenwegen voor de volksgezondheid vrijwel geen risico oplevert.

In hoeverre bij andere landbouwhuisdieren dan runderen opname van verontreinigd drinkwater zal leiden tot te hoge gehalten in de consumptieproducten die deze dieren voor de mens leveren, is onbekend. Ook zijn er voor nikkel en zink geen gegevens bekend met betrekking tot gehalten in voer en/of drinkwater die kunnen leiden tot normoverschrijding in dierlijke produkten, die bestemd zijn voor menselijke consumptie.

### 10.3. Risiko's voor het milieu

Ook naar de risico's voor het milieu zijn een aantal onderzoeken verricht. Eén van de meest toepasselijke onderzoeken in dit kader is het onderzoek naar ekotoxicologische effecten van assenwegen in de Brabantse Kempen (lit 5).

Uit dit onderzoek blijkt dat assenwegen en hun verontreinigde bermen in vergelijking met niet verontreinigde zandwegen invloed hebben op zowel het totaal aantal soorten planten dat gevonden wordt





als op de hoeveelheid planten (primaire produktie). Uit een overzicht van effecten op ecosystemen, zoals beschreven is in lit 25, blijkt dat vooral onderzoek is gedaan naar een aantal groepen organismen (regenwormen, pissebedden, springstaarten) maar dat geen gegevens beschikbaar zijn van hogere trophische niveaus. Gekonkludeerd wordt dat hogere gehalten zware metalen (waaronder cadmium en zink), in bodem en organisch materiaal lijken te accumuleren in regenwormen en pissebedden en dat hun funktioneren in de biologische stofkringloop hierdoor wordt belemmerd. Op basis van dit effect en andere effecten (vertraagde dekompositie van strooisel door effecten op aantal eigenschappen van bij de dekompositie betrokken organismen) wordt gekonkludeerd dat de ekologische funktie van de bodem wordt aangetast bij hoge metaalkoncentraties zoals worden gevonden in wegbermen bij assenwegen. In hoevere er sprake is van een milieurisiko wanneer alleen gekeken wordt naar grondwaterverontreiniging is op basis van de literatuur moeilijk te zeggen.

11. KONKLUSIES EN AANBEVELINGENKonklusies

Uit het veldonderzoek op twee lokaties blijkt dat de verspreiding van cadmium en zink in het grondwater in werkelijkheid groter is dan op basis van modelmatig onderzoek verwacht wordt.

In het veld is een horizontale verspreiding van cadmium in het le watervoerend pakket tot tenminste 130 m gemeten. Uit de modelmatige berekening op basis van gemiddelde retardatiefactoren - verdragingsfaktor ten opzichte van de grondwater verplaatsing - komt naar voren dat cadmium en zink de deklaag niet zouden passeren. Voor cadmium is een waarschijnlijke verklaring dat de veldomstandigheden te veel afwijken van de laboratoriumomstandigheden. Voor zink blijkt uit vergelijking met literatuurgegevens dat de verdelingscoëfficiënt over grond en grondwater te hoog is ingeschat op basis van de laboratoriumexperimenten.

In het onderzoek naar de cadmium- en zinkgehalten onder acht verschillende openliggende assenwegen en -erven zijn sterk uiteenlopende gehalten in het grondwater gemeten. Verondersteld wordt dat er assenverhardingen zijn waarbij de maximale uitlogingspiek reeds is gepasseerd en andere assenverhardingen waarbij maximale uitlogingspiek nog zal passeren.

Het blijkt dat openliggende assenwegen en -erven in sommige gevallen een ernstige bron van grondwaterverontreiniging vormen (maximaal gemeten Cd-koncentratie onder een assenweg 15x C-waarde, Zn-koncentratie 85x C-waarde. De gemeten cadmiumkoncentratie onder een assenweg of erf ligt tussen <0,1 en 150 ug/l en de zinkkoncentratie tussen 10 en 68000 ug/l. Dit is als volgt verdeeld, 35% van de waarnemingen voor cadmium ligt boven de B-waarde en 88% van de in waarnemingen voor zink ligt boven de B-waarde.

Uit de kolomproeven en de cascadeschudtesten met assenmateriaal blijken antimoon, arseen en lood nauwelijks mobiel te zijn, terwijl de concentraties aan deze elementen in de assen hoog zijn. Cadmium, zink, nikkel en cobalt zijn de meest mobiele elementen in de assen die tevens een bedreiging kunnen vormen voor de grondwaterkwaliteit.

De mediaanwaarde van de gemeten concentraties in de verontreinigingspluim onderschrijden voor cadmium de drinkwaternorm van het Waterleidingsbesluit. De 90-percentielwaarden en de maximale concentratie overschrijden deze drinkwaternorm. Uit de gemeten cadmiumconcentraties in de verontreinigingspluim blijkt dat 33% van



de waarnemingen de norm van het Waterleidingsbesluit overschrijdt. De mediane waarde voor zink overschrijdt de maximaal toelaatbare concentratie voor drinkwater zoals gesteld door de EG. Dit geldt derhalve ook voor de 90-percentiel waarde en de maximale concentratie.

Voor nikkel ligt de mediaanwaarde op de drinkwaternorm van het Waterleidingsbesluit. De 90-percentiel waarde en de maximale concentratie overschrijdt deze norm.

Aan mogelijk gebruik van grondwater dat ter plaatse van een dergelijke verontreinigingspluim wordt opgepompt, dienen derhalve beperkte beperkingen gesteld te worden.

Het gebruik van grondwater, dat opgepompt wordt ter plaatse van de verontreinigingspluimen, voor drenking van runderen, zal wat betreft cadmium nauwelijks een risico vormen voor normoverschrijding van dierlijke produkten voor menselijke consumptie. Voor nikkel en zink zijn geen gegevens bekend met betrekking tot gehalten in voor en/of drinkwater die kunnen leiden tot normoverschrijding in dierlijke produkten bestemd voor menselijke consumptie. Veterinaire-toxische overwegingen met betrekking tot de gemeten verontreinigingen zijn buiten beschouwing gelaten.

De berekening van sla, andijvie, prei en spinazie zal waarschijnlijk geen overschrijding van de Warenwetnorm tot gevolg hebben voor deze groenten. In de "worst case" benadering (berekening met verontreinigd grondwater met een concentratie gelijk aan de hoogst gemeten concentratie onder assenwegen) echter blijkt overschrijding van de genoemde norm op te kunnen treden.

Uit de cadmiumbalans van assen in relatie met de verontreinigingspluim blijkt dat als deze met een vereenvoudigd model wordt benaderd en als er ruw geschat een pluim met een omvang van 250 m ontstaat, het uitlogingspercentage van cadmium uit de assen varieert tussen 17 en 80%. Gezien de lengte van de verontreinigingspluim in de huidige veldsituatie ligt het uitlogingspercentage eerder aan de kant van 17%.

De noodzaak van aanpak van assenverhardingen blijkt gezien de diversiteit in uitloging van de assen niet eenduidig. Saneren van assenverhardingen die hun maximale uitloogpiek reeds sinds enige tijd hebben gehad is in dit kader niet zinvol terwijl het saneren van assenverhardingen die nu nog sterk uitlogen, gezien de risico's voor verontreiniging van (toekomstig) drinkwater, wel zinvol is.

Een eenduidige schatting van de omvang van een verontreinigingspluim ten gevolge van uitloging van assenverhardingen en daarmee



de omvang van een bedreigd gebied, kan niet worden gegeven gezien de diversiteit in de mate van uitloging, bodemopbouw en (geo)hydrologische omstandigheden. Op basis van een globale cadmium-balansberekening met ten opzichte van de complexe veldsituatie, vereenvoudigde uitgangspunten (zie paragraaf 9.1.) blijkt echter dat omvang van een verontreinigingspluim in het watervoerend pakket meerdere honderden meters kan bedragen.

In gebieden waar de assenwegen en -erven dicht opeen liggen zal een elkaar beïnvloedende verontreinigingssituatie bestaan. Verder onderzoek zal vanwege het diffuse karakter van de verontreinigingen en het diverse karakter van de verontreinigingsbron in de concentratiegebieden van assenverhardingen, derhalve beter effectgericht in plaats van brongericht uitgevoerd kunnen worden. De noodzaak van aanpak van de assenverhardingen kan dan nader ingevuld worden aan de hand van gemeten gehalten in drinkwaterbronnen. Opgemerkt moet worden dat betreffende de noodzaak van saneren van de openliggende assenverhardingen meer aspecten dan contaminatie van het grondwater een rol spelen (verwaaïing van vergruisd assenmateriaal en beïnvloeding van de bouwvoor direkt langs de weg).

#### Aanbevelingen

Aanbevolen wordt grondwater, dat incidenteel sterk verontreinigd is met zware metalen ten gevolge van uitloging van assenverhardingen, niet te gebruiken voor drinkwater. Derhalve wordt aanbevolen het grondwater nabij assenverhardingen in en in de direkte omgeving van 25 jaars-zones van openbare drinkwaterwinningen nader te onderzoeken en indien nodig saneringsmaatregelen te treffen. Ook wordt aanbevolen partikuliere onttrekkingen voor drinkwatergebruik te inventariseren en te onderzoeken.



LITERATUURLIJST

1. Werkgroep Milieuverontreiniging Rijksinstituut voor Natuurbeheer, 1982 "Zware metalen belasten het milieu tot op 25 km afstand".
2. Luit, B. van, 1984, "Cadmiumopname door gewassen" Landbouwkundig tijdschrift (96-12), P. 19.
3. Haskoning, 1985, "De zware metalenverontreiniging in een gedeelte van Noord-Brabant en van Limburg" nader onderzoek fase II.
4. Directie Landbouw en Voedselvoorziening Tilburg, 1984 "Cadmiumverontreiniging in de Kempen" (uit lit. 3).
5. Endedijk, G.J., Klein Ikking H.G., 1985, "Oecotoxicologische effecten van assenwegen in de Brabantse Kempen", Werkgroep Plantenoecologie Vrije Universiteit, Amsterdam.
6. Beltman, 1985, "Onderzoek naar de horizontale en verticale verspreiding van zink en cadmium rond een zinkassenweg". Verslag voor vak milieuprobleemanalyse LU Wageningen (uit lit. 3).
7. TAUW Infra Consult B.V., 1983, "Beschrijving van een milieutechnisch onderzoek naar verontreiniging van bodem, inclusief grond- en oppervlaktewater op het terrein van de "Weerterbergen" te Weert, Deventer, rapportnummer 51371.02/RO-04.
8. Gemeente Eindhoven, dienst bouwtoezicht en milieuzaken, "Bodemonderzoek omgeving reinwaterkelder", 1986, Eindhoven, opdracht-nummer 6026C.
9. Ridder, N.A., P. Hondius en A.J. Hellings, 1967, "Hydrogeological investigations of the Peel Region and its environs". Technical bulletin 48, I.C.W. Wageningen.
10. Homan, M., 1974, "Grondwaterkaart van Nederland, voorlopige resultaten geohydrologische verkenning Roerdalslenk.", Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
11. Lekahena, E.G., 1983, "Grondwaterkaart van Nederland, voorlopige resultaten geohydrologische verkenning Roerdalslenk.", Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

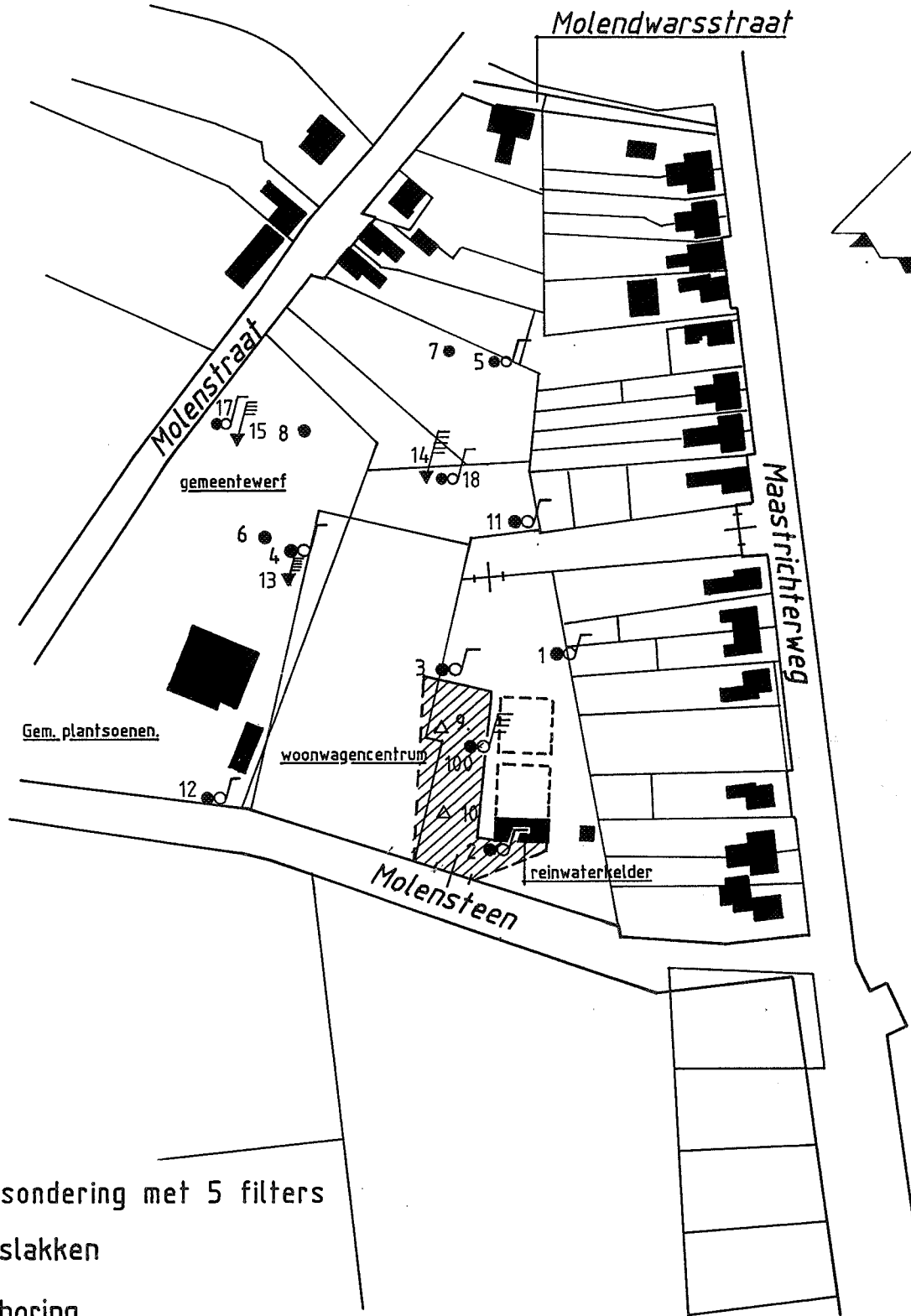
LITERATUURLIJST (vervolg)

12. Haskoning 1987, "Aanvullende inventarisatie van assenwegen, - erven en -depots en van de overstromingsgebieden van een aantal door zware metalen verontreinigde waterlopen in Noord-Brabant en Limburg".
13. Christensen, T.H., 1980 "A model for low range, cadmium migration in soil: principles and verification".
14. "Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit; Eindrapport van de inrichtingsfase", Bodembeschermingsreeks 46a, Staatsuitgeverij 's-Gravenhage 1985.
15. Hahne, Kroontje, 1973, J. Environm. Qual. 2, p444.
16. Toepassing EG-Grondwaterrichtlijn, Bodembeschermingsreeks 49, Staatsuitgeverij Den Haag, 1985.
17. RIVM LAE "Onderzoek naar de mobiliteit van metalen in toepassingen van bulk afvalstoffen", Bilthoven maart 1984.
18. RIVM et al. "Rapportage van een onderzoek naar effecten op de nierfunctie in een langdurig aan cadmium blootgestelde populatie in de Kempen en een controle populatie" januari '87.
19. Mondelinge mededeling de heer Meeuwissen, CAD, Wageningen, 1987
20. "Luchtverontreiniging, metingen buitenlucht", april '85-maart '86, CBS.
21. Ros J.P.M., Slooff W., "Ontwerp basisdocument cadmium", RIVM, Bilthoven 1987.
22. Mondelinge mededeling de heer Counotte, Stichting gezondheidszorg voor dieren, Zwolle, 1987
23. Landbouw adviescommissie
24. Mondelinge mededeling de heer Malestein, Faculteit diergeneeskunde, afdeling zoötechniek, Utrecht, 1987.
25. Denneman W.D., Faber J.H., Eijsackers H.J.P., "Zware metalen en hun effecten op natuurwaarden; een casestudy over de Brabantse Kempen", RIN, Arnhem, 1986.









- sondering met 5 filters
- slakken
- boring
- combinatie boring/peilbuis
- combinatie boring/peilbuis met meerdere filters
- assenerf

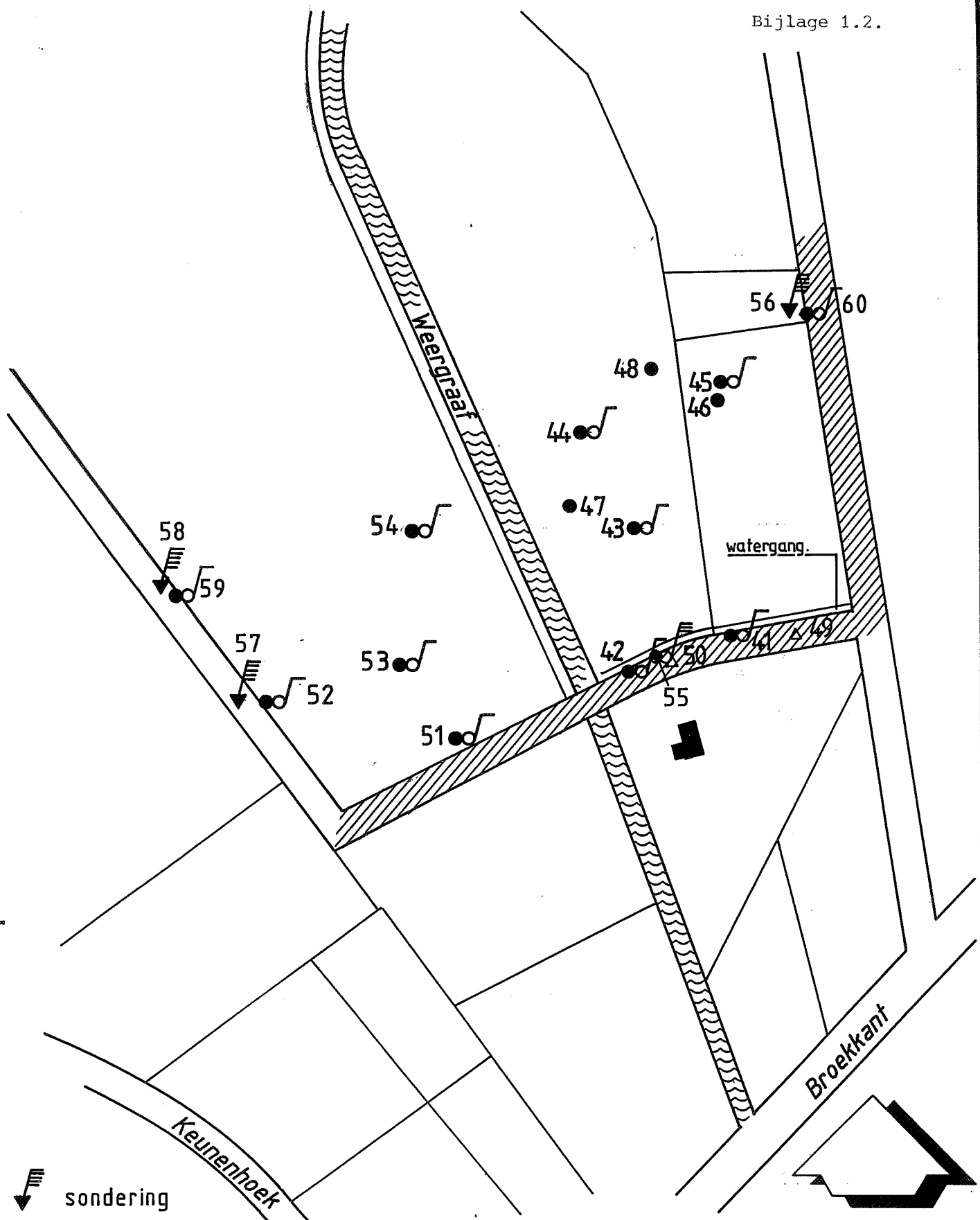







opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>	schaal 1:2000	formaat A4
projekt GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN	proj nr 51584.08	
onderdeel LOKATIE VALKENSWAARD SITUERING MONSTERPUNTEN	dat. OKT'86	tek.nr. -301.
	get H.F.B.	

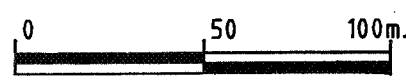


**TAUW Infra Consult B.V.**

Postbus 479, 7400 AL Deventer



-  sondering
-  boring
-  combinatie boring/peilbuis
-  idem met 3 filters
-  slakken
-  assenweg



opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>	schaal 1:2000	formaat A4
projekt GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN	proj.nr. <b>51584.08</b>	
onderdeel LOKATIE BUDEL SITUERING MONSTERPUNTEN	dat. NOV'86	tek.nr. <b>-401.</b>
	get. H.F.B.	

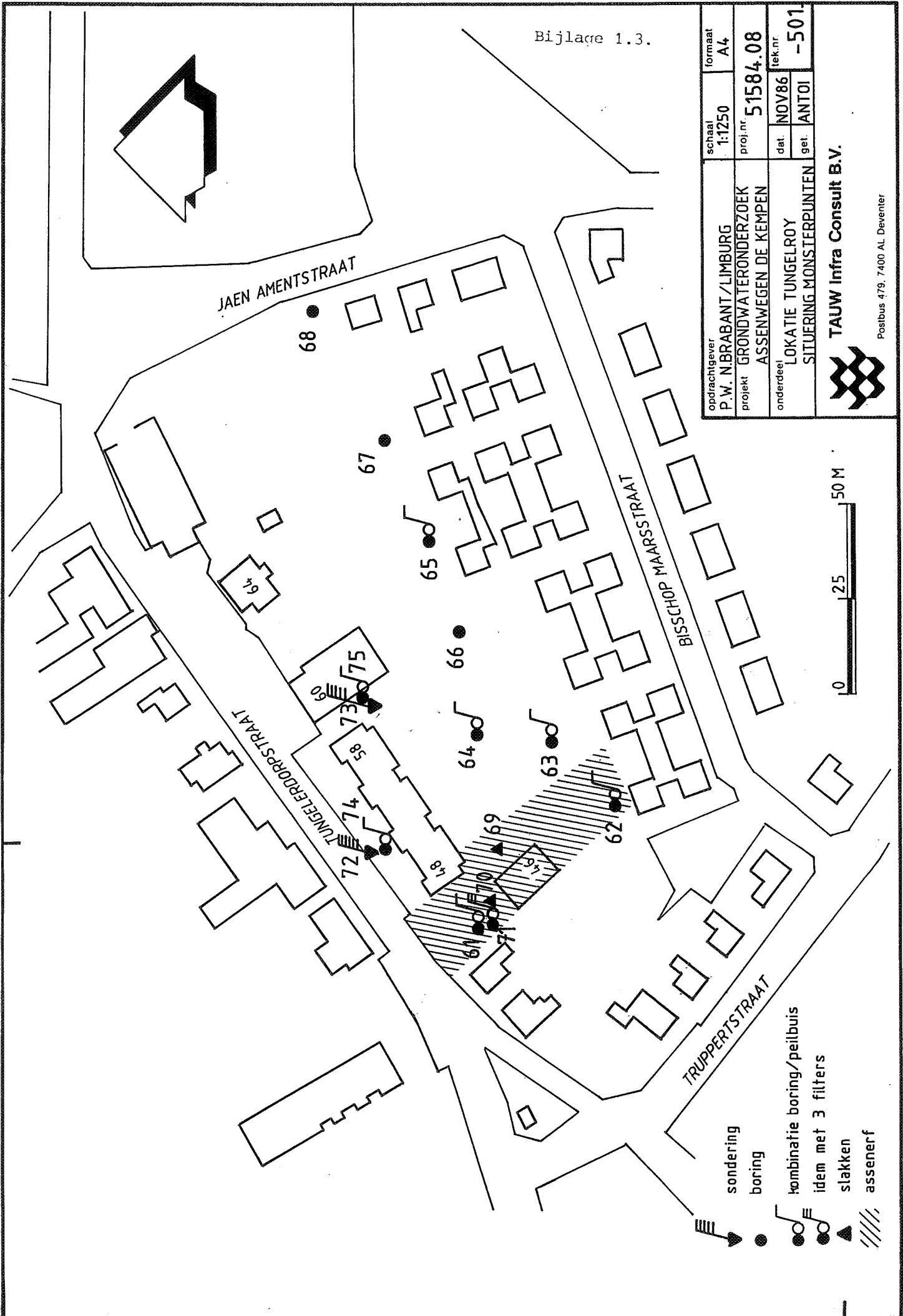
 **TAUW Infra Consult B.V.**  
Postbus 479, 7400 AL Deventer

opdrachtgever	schaal	formaat
P.W. N.BRABANT/LIMBURG	1:1250	A4
project	proj.nr.	
GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN	51584.08	
onderdeel	dat.	tek.nr.
LOKATIE TUNGELROY SITUERING MONSTERPUNTEN	NOV86	-501.
	get.	
	JANTOI	

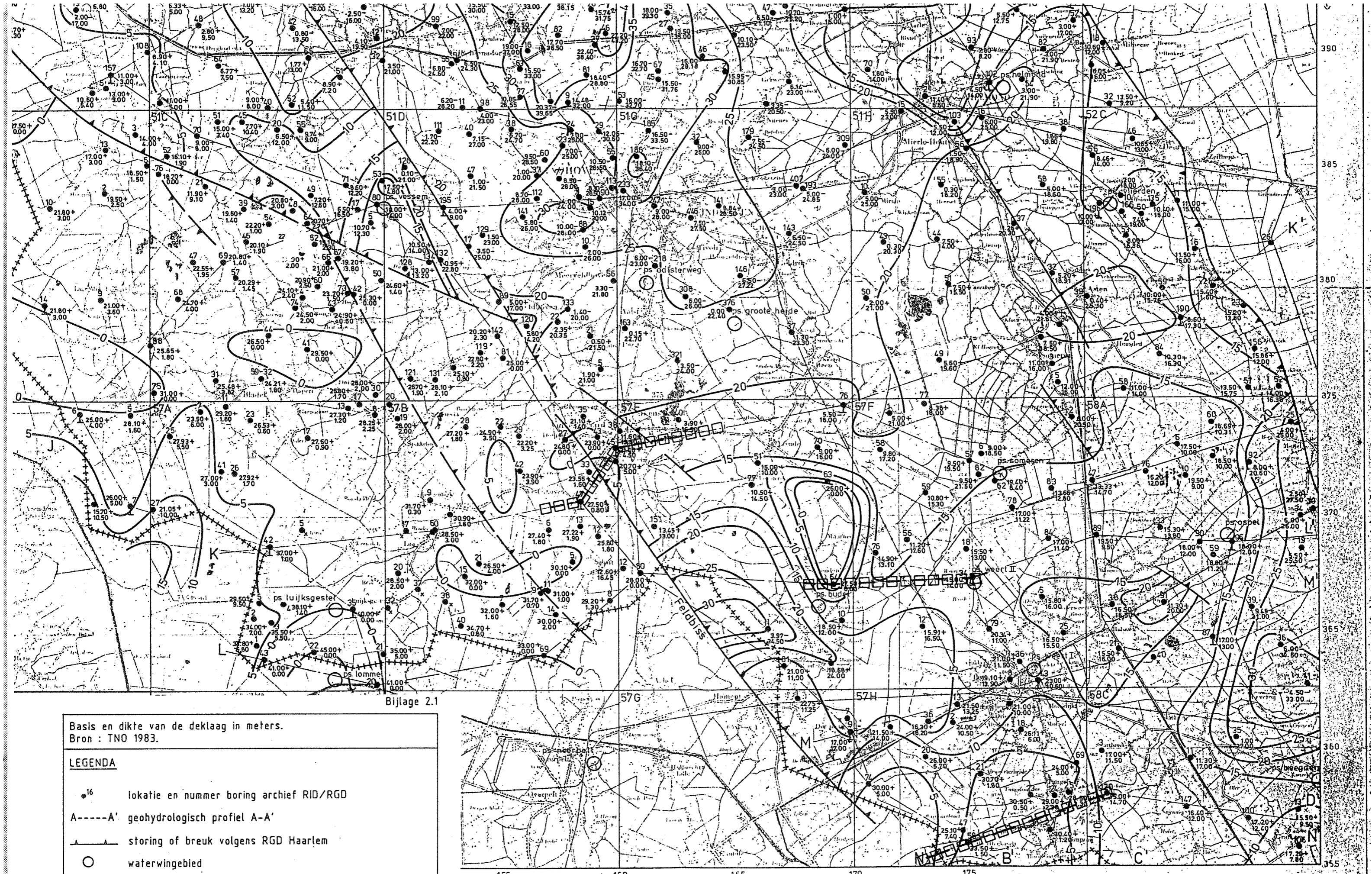
TAUW Infra Consult B.V.



Postbus 479, 7400 AL Deventer



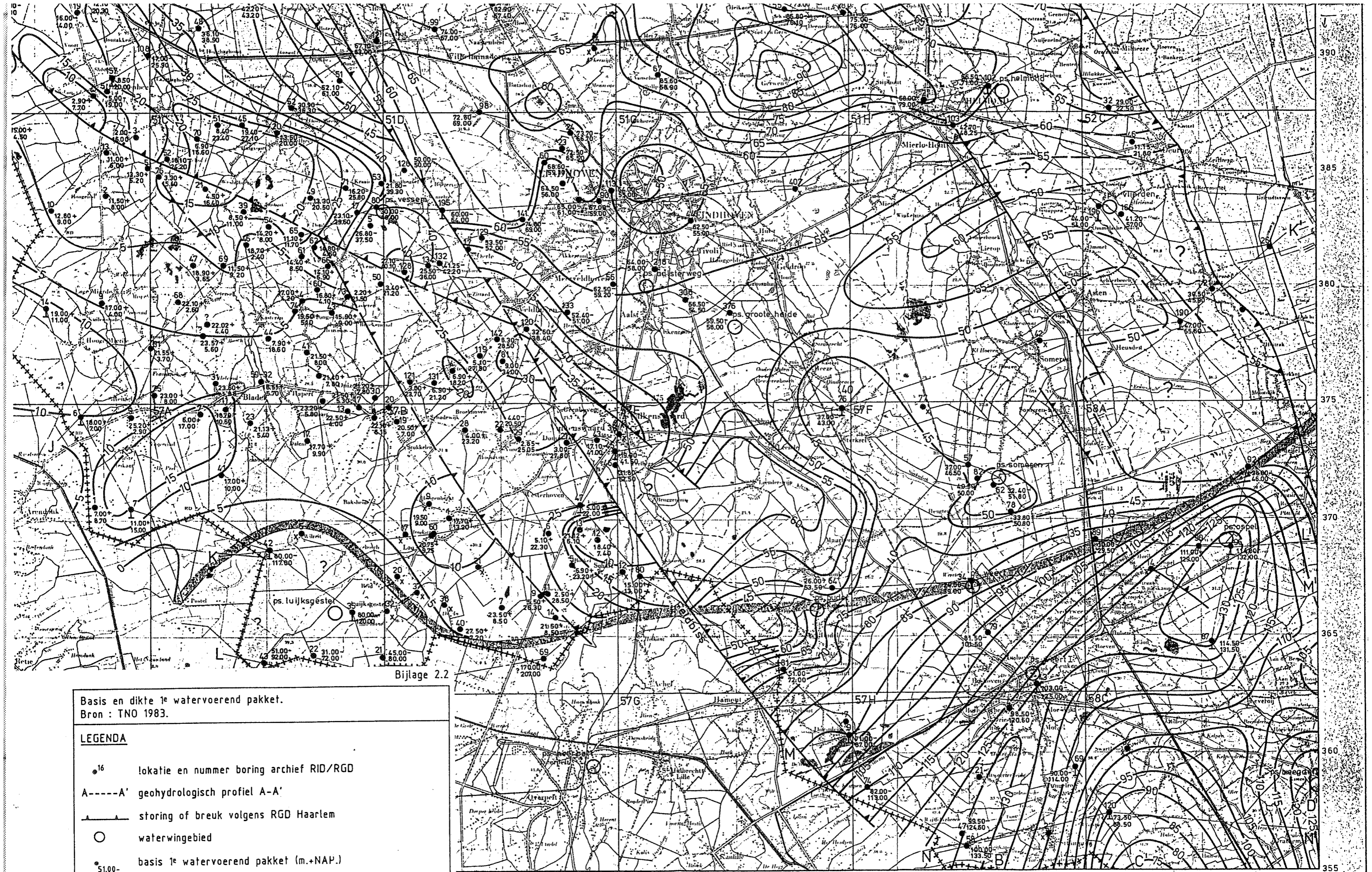




Basis en dikte van de deklaag in meters.  
Bron : TNO 1983.

- LEGENDA**
- <sup>16</sup> lokatie en nummer boring archief RID/RGD
  - A-----A' geohydrologisch profiel A-A'
  - |—|—| storing of breuk volgens RGD Haarlem
  - waterwingebied
  - <sup>26.00</sup> basis van de deklaag (m.+NAP.)
  - 5.00 dikte deklaag in meters
  - 5 lijngelijke dikte deklaag in meters

<b>DIENST GRONDWATERVERKENNING TNO</b>			
<b>BASIS EN DIKTE VAN DE DEKLAAG IN METERS</b>			
1983	SCHAAL 1 : 100'000	KAARTBLAD CENTRALE SLEK	BULAGE



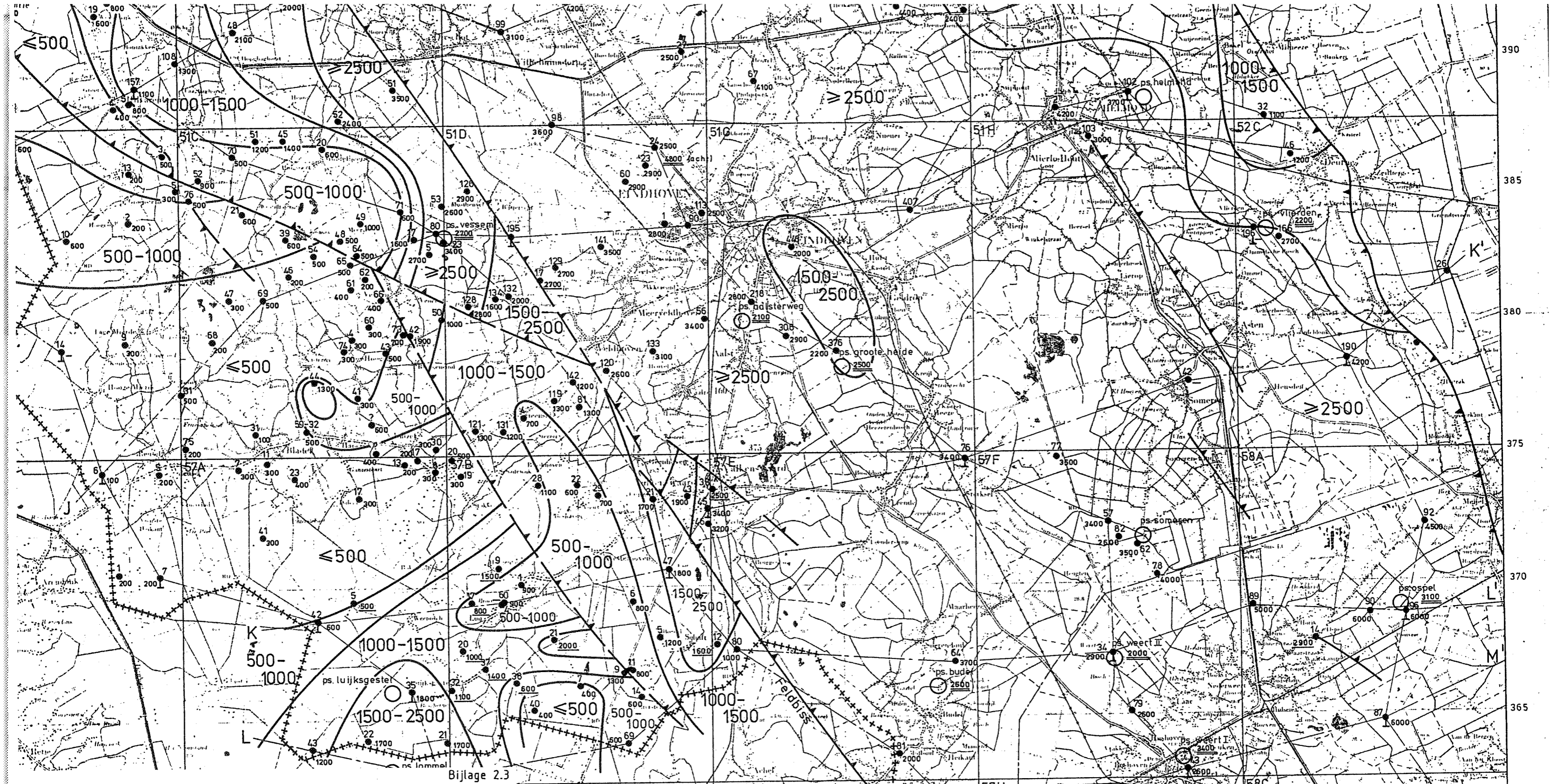
Bijlage 2.2

Basis en dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.  
Bron : TNO 1983.

**LEGENDA**

- <sup>16</sup> lokatie en nummer boring archief RID/RGD
- A-----A' geohydrologisch profiel A-A'
- storing of breuk volgens RGD Haarlem
- waterwingebied
- 51.00- basis 1<sup>e</sup> watervoerend pakket (m.+NAP.)
- 92.00 dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket (m.)
- 90 lijn van gelijke dikte 1<sup>e</sup> watervoerend pakket (m.)
- overgangszone, ten zuiden waarvan de Formatie van Kedichem zandig is ontwikkeld.

DIENST GRONDWATERVERKENNING <b>TNO</b>		
BASIS EN DIKTE VAN HET EERSTE WATVEROEREND PAKKET IN METERS		
1983	SCHAAL 1 : 100 000	KAARTBLAD CENTRALE SLENK
		BULAGE

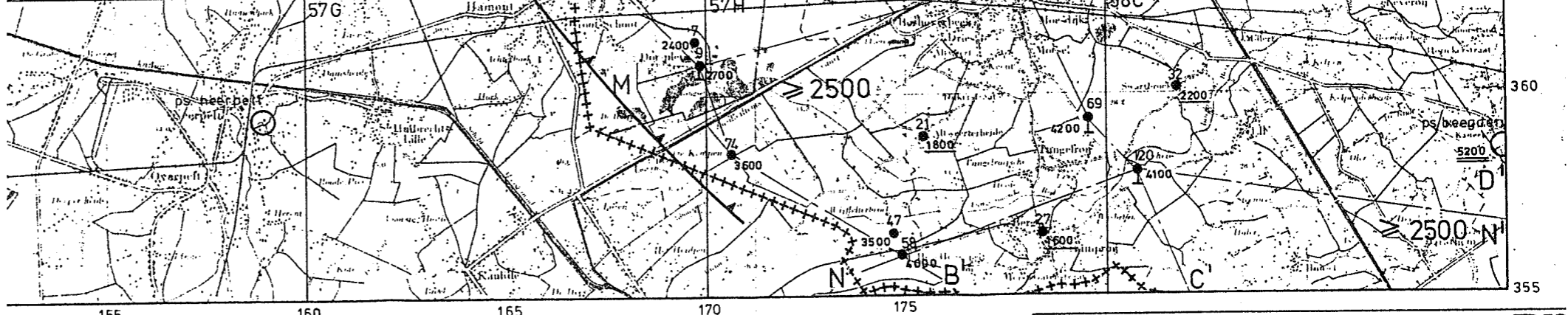


Bijlage 2.3

Doorlatend vermogen (kD-waarde) 1<sup>e</sup> watervoerend pakket.  
Bron : TNO 1983.

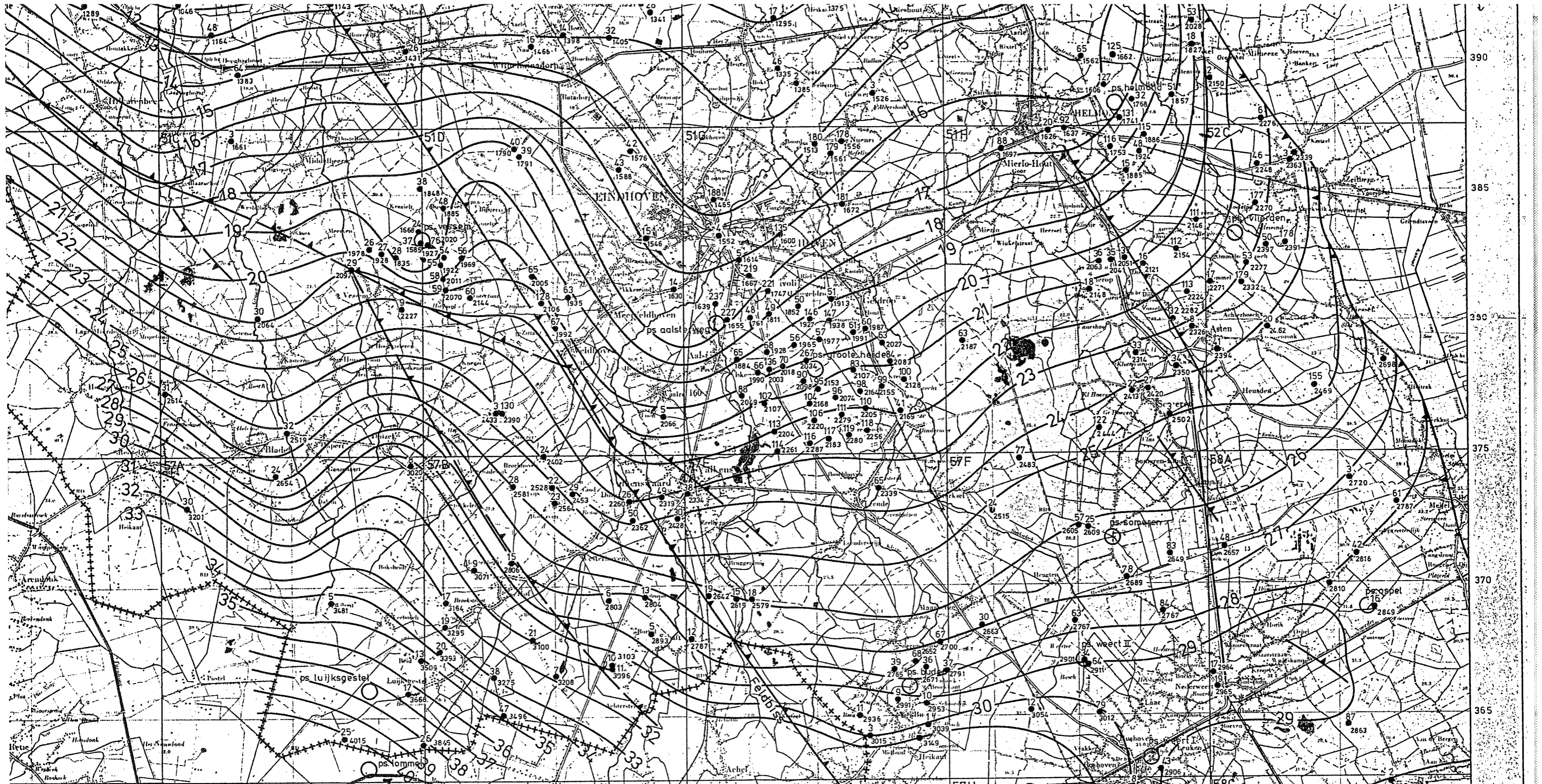
**LEGENDA**

- <sup>16</sup> lokatie en nummer boring archief RID/RGD
- A-----A' geohydrologisch profiel A-A'
- storing of breuk volgens RGD Haarlem
- waterwingebied
- 400 kD-waarde geschat uit korrel grootte
- 2000 kD-waarde uit pompproof berekend
- 500 kD-waarde uit putproof berekend
- grenslijn tussen gebieden met verschillende kD-waarde



DIENST GRONDWATERVERKENNING			
TRANSMISSIVITEIT (kD-WAARDE) IN m <sup>2</sup> PER DAG VAN HET 1 <sup>e</sup> WATVEROEREND PAKKET			
1983	SCHAAL 1 : 100 000	KAARTBLAD CENTRALE SLENK	BULAGE



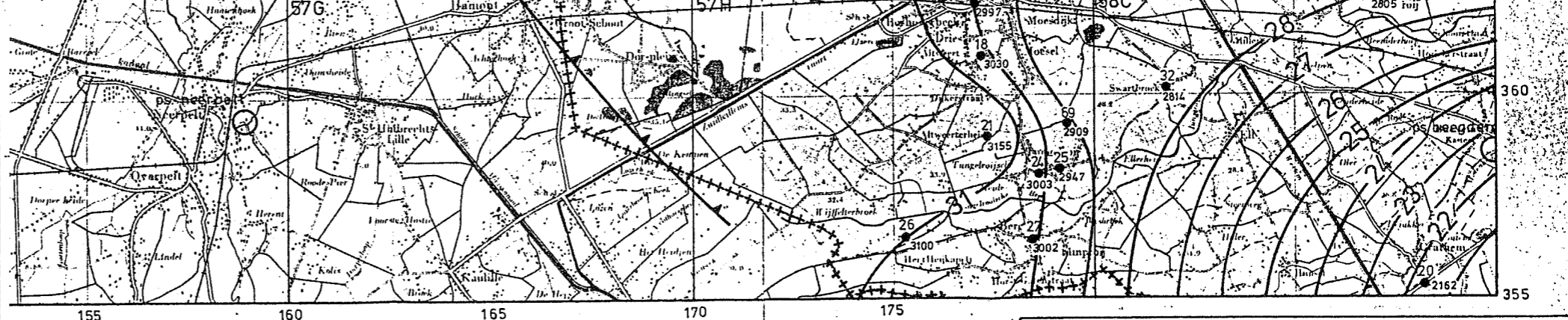


Bijlage 2.4






















Stijghoogte grondwater 1<sup>e</sup> watervoerend pakket d.d. 28-04-'79.  
Bron : TNO 1983.

**LEGENDA**

- 16 lokatie en nummer peilput, archief grondwaterstanden
- 4015 grondwaterstand in cm.t.o.v. NAP.
- lijn van gelijke grondwaterstand in m.+NAP.
- storing of breuk volgens RGD Haarlem
- waterwingebied
- waterlopen



DIENST GRONDWATERVERKENNING <b>TNO</b>		
STUIGHOOGTEVERDELING BINNEN HET EERSTE WATEROVEREND PAKKET OP 28 APRIL 1979		
1983	SCHAAL 1:100000	KAARTBLAD CENTRALE SLENK
		BJLAGE

	opgebrachte grond
	fijn zand 63 - 250 $\mu\text{m}$
	matig grof zand 250 - 500 $\mu\text{m}$
	zeer grof zand 500 - 2000 $\mu\text{m}$
	kleiig 1 - 12% < 2 $\mu\text{m}$
	zavel, zandige klei 12 - 25% < 2 $\mu\text{m}$
	klei 25 - 100% < 2 $\mu\text{m}$
	leem > 75% deeltjes < 63 $\mu\text{m}$
	lemig < 75% deeltjes < 63 $\mu\text{m}$
	afwisselend zand en kleilaagjes
	afwisselend zand en leemiaagjes
	kleibroljes
	grind
	grindig
	stenen
	veen
	veenbrokjes
	stortsel, puin
	puin, boring gestopt
	schelpen
	humeus

legenda Geohydrologisch dwarsprofiel

BEMONSTERINGSTECHNIKEN EN ANALYSEMETHODEN1. BEMONSTERINGSTECHNIKEN

In het onderstaande wordt beknopt omschreven welke technieken door TAUW/Infra Consult B.V. worden toegepast ter bemonstering van grond en grondwater. Er wordt gebruik gemaakt van handbediende apparatuur.

1.1. Boringen tot aan de grondwaterspiegel

Voor het uitvoeren van boringen tot aan de grondwaterspiegel wordt in 90% van de gevallen een Edelmanboor gebruikt; in de overige gevallen een Riverside boor, een gutsboor of een spiraalboor.

De Edelmanboor

In sterk cohesieve kleigronden en weinig cohesieve zandgronden worden Edelmanboren (kombinatie-type) met een diameter van 7, 10, 15 of 18 cm toegepast; de boor van 7 cm veelal voor boringen ten behoeve van het nemen van grondmonsters, de andere voor het aanbrengen van boorgaten waarin peilbuizen ter bemonstering van het grondwater worden geplaatst. Bij grofzandige gronden wordt gebruik gemaakt van de Edelman grofzandboor.

Riverside boor

De Riverside boor wordt met name gehanteerd bij het doorboren van puinrijke lagen. Daarnaast vindt deze boor toepassing bij het aanbrengen van boorgaten in gronden met weinig of geen cohesieve eigenschappen.

Spiraalboor

De boor wordt als een kurkentrekker in de bodem gedraaid. Daar bij deze boor geen monstermateriaal wordt verkregen, is de toepassing beperkt tot het doorboren van zeer harde lagen of om snel na te gaan of ondergronds bijvoorbeeld een fundering aanwezig is.

Gutsboor

De boor is geschikt om binnen een kort tijdsbestek een indruk te verkrijgen van de opbouw van de bovenste meter van de bodem. In puinrijke of weinig cohesieve bodems is de boor ongeschikt. Per boring komt weinig monstermateriaal vrij, zodat toepassing van de boor op beperkte schaal plaatsvindt en dan met name voor organoleptische waarnemingen (b.v. olieverontreinigingen) of om een mengmonster te nemen van de toplaag van het terrein (bijvoorbeeld de teeltlaag van volkstuinen of landbouwgronden)

1.2. Boringen onder de grondwaterspiegel

Boringen onder de grondwaterspiegel worden uitgevoerd met een Edelmanboor, een zuigerboor of met pulsapparatuur.

Edelmanboor

De Edelmanboor is toepasbaar mits het boorgat niet inzakt, dus in sterk cohesieve klei- en leemgronden en in sommige voldoende cohesieve zandgronden. (meestal alleen boven het grondwater). Indien het boorgat inzakt en/of geen materiaal meer met de boor omhoog wordt gehaald, kan worden overgeschakeld op de zuigerboor of op pulsapparatuur.

Zuigerboor

Deze boor kan alléén onder de grondwaterspiegel of oppervlaktewaterspiegel in weinig cohesieve gronden (zand, slappe bodemlagen e.d.) worden gebruikt. Met de boor worden vrijwel ongeroerde monsters verkregen zodat een goed beeld van de bodemopbouw over een diepte van maximaal 1 à 2 m wordt verkregen.

Voor het maken van boorgaten voor peilbuizen is deze boor nauwelijks geschikt, gezien zijn geringe diameter (4 cm) en het feit dat het boorgat na het ophalen van de boor inzakt. Veelal wordt de boor gehanteerd bij het nemen van monsters uit de bodem van ondiepe watergangen, overige toepassingen komen zelden voor.

Pulsapparatuur

De puls met mantelbuizen biedt de mogelijkheid pulsboringen tot onder de grondwaterspiegel te verrichten in weinig cohesieve gronden. De mantelbuizen dienen om inzakken van het pulsgat te voorkomen.

Bij het pulsen is het in enkele gevallen noodzakelijk "werk"-water toe te voegen; dit wordt echter zoveel mogelijk beperkt om de samenstelling van het grondwater ter plaatse zo min mogelijk te beïnvloeden met het oog op de bemonstering ervan. Toevoegen van "werk"-water is vooral nodig om onderdruk van het water in het boorgat ten opzichte van de omgeving te voorkomen. Deze onderdruk ontstaat doordat in de puls ook water omhooggehaald wordt. Door deze onderdruk kan in het pulsgat materiaal omhoog wellen. In de praktijk blijkt toevoeging van "werk"-water bij het aanbrengen van boorgaten tot 1,5 à 2 m onder de grondwaterspiegel in de meeste gevallen noodzakelijk te zijn. Als bij het aanbrengen van bovengenoemde boorgaten kan worden volstaan met de Edelmanboor wordt geen "werk"-water toegevoegd.

Er wordt gebruik gemaakt van twee pulsboorsets. Eén set met kunststof mantelbuizen met een diameter van 9 cm en een puls met een diameter van 6,5 cm, voor boringen tot een diepte van circa 7 m. Voor het aanbrengen van boringen tot grotere diepte (tot circa 30 m) wordt een set gehanteerd met stalen mantelbuizen met een diameter van 15 cm en een puls van 13 cm.

1.3. Het nemen en bewaren van grondmonsters

Van de bij de boringen vrijkomende grond wordt in het veld over iedere laag van 50 cm een mengmonster samengesteld d.w.z. een mengmonster van de grond aanwezig op een diepte van 0-50 cm, 50-100 cm etc. Daarnaast kunnen monsters worden genomen van de diverse bodemlagen. Dit gebeurt vooral bij pulsboringen op grotere dieptes met het oog op profielbeschrijvingen. In het veld worden luchtdicht afsluitbare glazen jampotten geheel gevuld met het monstermateriaal. De monsterpotten worden opgeslagen in een koele ruimte (temperatuur circa 10°C).

1.4. Het nemen en bewaren van grondwatermonsters

Voor het nemen van grondwatermonsters worden kunststof peilbuizen in het boorgat geplaatst met een diameter van 4-5 cm.

Een peilbuis bestaat uit een geperforeerd deel (het filter) -de onderste 1 of 2 m- en een blind bovenstuk tot aan het maaiveld. Om het geperforeerde deel wordt een nylon filterkous aangebracht om binnendringen van zand of ander materiaal zoveel mogelijk te beperken. Daarnaast wordt in het boorgat rond het geperforeerde deel uitgegloeid filtergrind (1,5-2,5 mm) aangebracht. De peilbuizen worden op of iets onder het maaiveld afgewerkt. Als bij het aanbrengen van het boorgat een slecht watervoerende bodemlaag (b.v. een kleilaag) is doorboord, wordt op de betreffende diepte het boorgat afgedicht met bentoniet. Als op meerdere diepten grondwatermonsters moeten worden genomen, worden in één boorgat meerdere filters geplaatst. Daarbij wordt dan afhankelijk van de pakketopbouw tussen de filters een bentonietlaag in het boorgat aangebracht om eventueel vertikaal watertransport door de vulling van het boorgat zoveel mogelijk te beperken.

Alvorens de watermonsters worden genomen, worden de peilbuizen doorgepompt. Bij ondiepe peilbuizen, waarvoor geen werkwater is gebruik wordt 2,5 maal de peilbuisinhoud doorgepompt. Peilbuizen met filters op grotere diepte onder het grondwater en waarbij werkwater is gebruikt worden doorgepompt tot temperatuur, pH en geleidbaarheid van het opgepompte water konstant blijven. Voor het doorpompen van oppervlakkige buizen wordt een slangenpomp gebruikt; in de andere gevallen een centrifugaalpompe.

De monsterneming geschiedt altijd met een slangenpomp. Bij de bemonstering wordt bij iedere peilbuis een nieuwe slang gebruikt ter voorkoming vna het overbrengen van verontreinigingen naar andere monsterpunten. Voordat het monster wordt genomen worden de glazen monsterflessen 3x gespoeld met het te bemonsteren water. De flessen worden geheel gevuld en in een koelcel (temperatuur circa 4°C) opgeslagen.

Bij het bemonsteren van peilbuizen met een grondwaterstand dieper dan 5 m onder maaiveld wordt een door TAUW ontwikkelde watermonsternemer volgens de stikstofdrukmethod (fabrikaat Eykelkamp) toegepast.



VERZONDEN 10 APR. 1986

dienst  
bouwtoezicht  
en milieuzaken

10/4-86

telefoon (040) 36 91 11

telefoon (040) 36 91 11

MILIEUZAKEN

Bijlage 4 blad 1

dienst: bouwtoezicht en milieuzaken  
postbus 996, 5600 AZ Eindhoven

Gemeentewerken en -bedrijven van  
de gemeente Valkenswaard  
T.a.v. de heer H. Roukes  
Maastrichterweg 51  
5554 GE VALKENSWAARD

GEMEENTE VALKENSWAARD	
nr	ingekomen
afd	11. 04. 86
STW	317
197	
198	

doc.: nBA165      typ/dict.: AK/HM      toestel: 362040      uw brief van: 10 februari 1986      datum: 10 april 1986

onderwerp: bodemonderzoek omgeving reinwaterkelder;      uw kenmerk:      ons kenmerk: CMT/86P001962

opdrachtnr.: 6026C;      notanr. : 29324/6.0.0409.

Geachte heer Roukes,

Bij brief van 10 februari 1986 hebt u mij verzocht om een onderzoek in te stellen naar de mate van verontreiniging door zware metalen van de zinkasverharding op een terrein nabij de reinwaterkelder aan de Molenstraat in Valkenswaard. Monsternamen heeft in overleg met de heer Van Gils van uw dienst plaatsgevonden. Daarbij is besloten zes grondmonsters te nemen uit de bovenste halve meter van de bodem (monsterpunten 1 t/m 6) en centraal één peilfilter te plaatsen (monsterpunt 7); een en ander is weergegeven op de als bijlage 1 toegevoegde situatieschets.

De sintellaag bleek ca. 20 cm dik te zijn. De grondwaterspiegel werd aangetroffen op ca. 1,25 m beneden maaiveld. Op het terrein was nergens sprake van enige begroeiing.

De grondmonsters 1 t/m 6 zijn door opmenging van gelijke gewichtsdelen samengesteld tot twee mengmonsters; tevens is uit de sintellaag op de zes monsterpunten een mengmonster samengesteld om de verticale verspreiding van de verontreiniging in te kunnen schatten. De analyseresultaten van grond en grondwater zijn weergegeven in bijlage 2. Hieruit blijkt, dat de grond zeer ernstig is verontreinigd door zink, ernstig is verontreinigd door koper en lood en in mindere mate door arseen, cadmium en tin. Het grondwater heeft een lage zuurgraad en is zeer ernstig verontreinigd door zink en nikkel.

kas open van 9.30 tot 12.30 uur  
kassier technische diensten

bank N.M.B. 66.30.14.115  
postgiro 1086695  
bij betaling notanummer vermelden



dienst  
bouwtoezicht  
en milieuzaken

Bijlage 4 blad 2  
Frederik-Jan Eedenplein 1

telefoon (040) 36 91 11

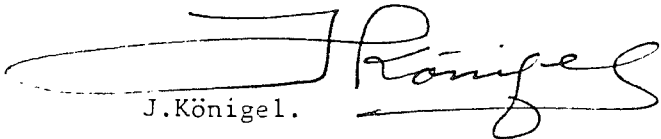
dienst bouwtoezicht en milieuzaken  
postbus 9995 6610 AZ Landrover

blad: 2.

De heer Mulders van mijn dienst heeft telefonisch contact gehad met de heer Van Gils over interpretatie van de meetresultaten en mogelijkheden van verdere aanpak.

De nota van de voor dit onderzoek gemaakte kosten is in duplo bijgevoegd.

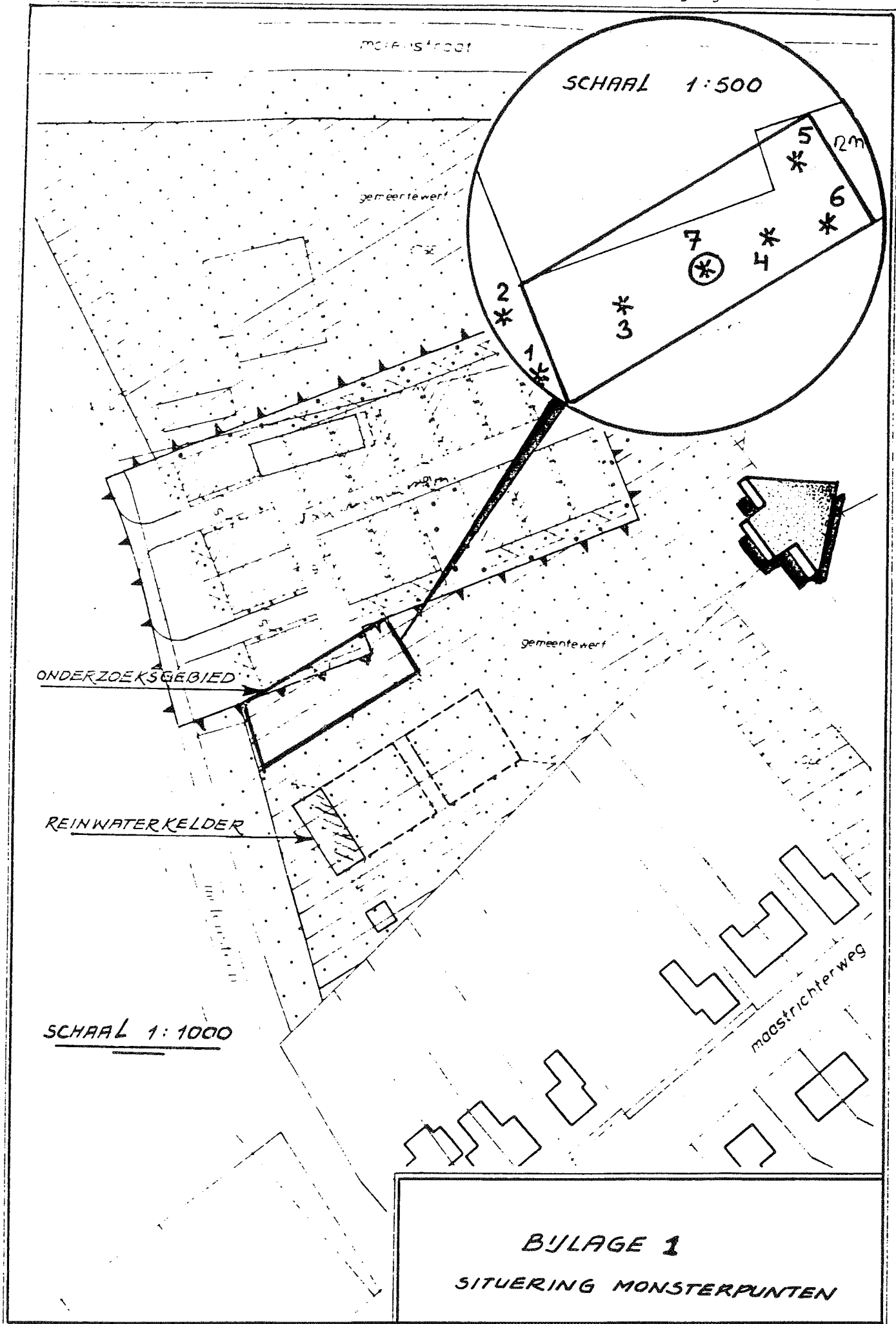
Hoogachtend,  
het hoofd milieuzaken,

  
J.Königel.

Bijl.: 4

kas open van 9.30 tot 12.30 uur  
kassier technische diensten

bank N.M.B. 66.30.14.115  
postgiro 1086695  
bij betaling notanummer vermelden



SCHAAL 1:500

ONDERZOEKSGBIED

REINWATERKELDER

SCHAAL 1:1000

BIJLAGE 1  
SITUERING MONSTERPUNTEN

## MOLENSTEEN VALKENSWAARD

ANALYSERESULTATEN

Monsternr.	(1+2+3)	(4+5+6)	8	7	
	(...)	(0-50 ...)	(assen)	(...)	
parameter					
droge stof	84,2	85,6	82,4		
pH	--	--	--	4,8	
geleidbaarheid (20°C) ms/m	--	--	--	49,3	
arsen (mg kg/ds)	35**	29*	5	--	
cadmium (mg kg/ds)	3,8*	2,4*	5,8**	8,4**	(ug/l)
chrom (mg kg/ds)	11	3,5	12	2,5	(ug/l)
koper (mg kg/ds)	2700***	1900***	4900***	24*	(ug/l)
lood (mg kg/ds)	1500***	860***	2200***	3,0	(ug/l)
nikkel (mg kg/ds)	170**	140**	300**	200***	(ug/l)
zink (mg kg/ds)	28000***	21000***	48000***	120.000***	(ug/l)
tin (mg kg/ds)	95**	85**	45		

Mate van verontreiniging (zie ook bijlage 3)

zonder \*-aanduiding = niet verontreinigd ( 'A'-waarde)

\* = licht verontreinigd ( 'A'-waarde; 'B'-waarde)

\*\* = verontreinigd ( 'B'-waarde; 'C'-waarde)

\*\*\* = ernstig verontreinigd ( 'C'-waarde)

(Toetsingskader Interimwet bodemsanering, ministerie VROM (DGMH/HIMH, juli '83)  
Indicatieve richtwaarden (concentraties beschouwen in samenhang met gebruik van de bodem en lokale verontreinigingssituatie).

A-waarde: referentiewaarde gemiddeld achtergrondniveau.

B-waarde: signaalwaarde ten behoeve van (nader) onderzoek.

C-waarde: signaalwaarde ten behoeve van saneringsonderzoek.)

ANALYSERESULTATEN

BIIJLAGE 2



Kolomproeven Assenwegen de Kempen

Algemeen

Kolomproeven worden uitgevoerd ter simulatie van een perkolatiesysteem met het oog op het uitloggedrag van het materiaal op de middellange termijn (10-15 jaar)

Werkwijze

benodigde apparatuur/chemikaliën

- glaskolom  $\phi = 4$  cm met ingebouwd glasfilter en kraan;  
h = 80 cm
- membraanpomp (CFG E 2001 prominent)
- synthetisch regenwater (demiwater (pH= 4)) met
  - 0,0095 mg  $\text{CaCl}_2$
  - 0,0202 mg KCl
  - 0,0041 mg NaCl
- glasparels ( $\phi$  2 mm)
- uitgegloeid zand ( $\phi$  0,6-0,9 mm)

De kolomproeven zijn uitgevoerd volgens figuur 2. downflow kolomproef.

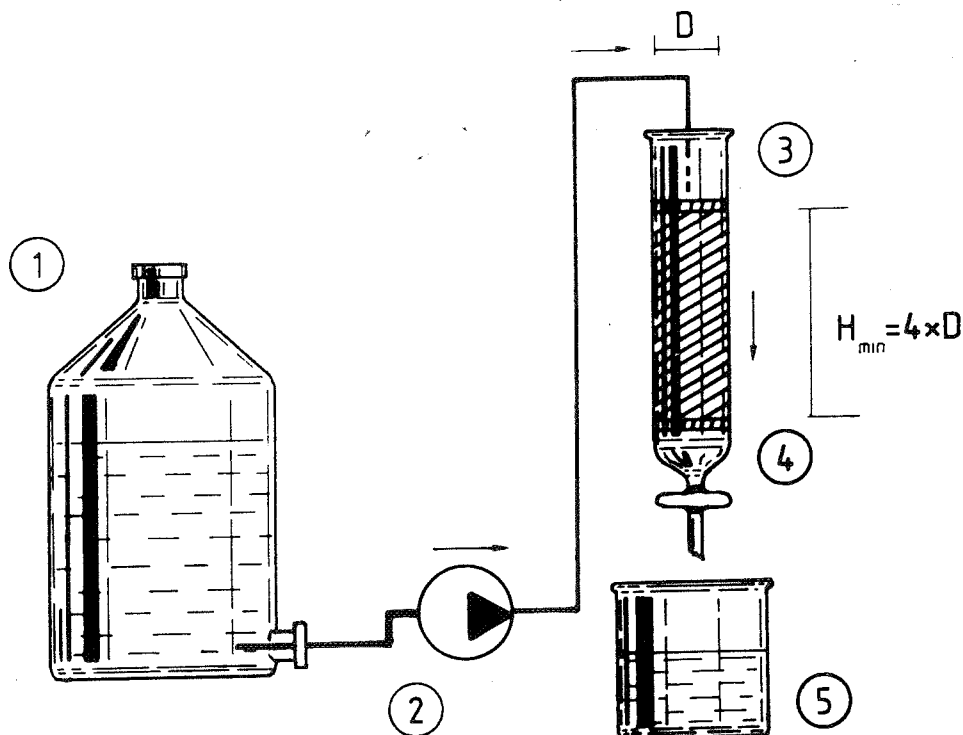


fig. 2 Downflow kolomproef

- 1 voorraadvat
- 2 pomp
- 3 kolom
- 4 monster
- 5 opvang eluaat



Uitvoering

Een glazen kolom wordt gevuld met 250 gr assen nr. 9, 49 en 70, die gedroogd en gemalen (<3 mm) zijn en waaraan 84 gram gegloeid zand toegevoegd is. Dit is ter voorkoming van het dichtslaan van het materiaal gedurende de berekening.

Vervolgens wordt op het vulmateriaal glasparels aangebracht (circa 2 cm).

De kolom wordt van onderaf bevochtigd om luchtinsluiting te voorkomen.

Als het materiaal verzadigd is met water, wordt van bovenaf synthetisch regenwater op het materiaal aangebracht, met een debiet van 1 liter/dag.

Het eluaat wordt per dag opgevangen in een 1-liter PE-fles. Van het eluaat wordt de pH en EC gemeten.

De monsters worden vervolgens aangezuurd tot pH = 2 met behulp van 1N HNO<sub>3</sub>. Het doorgevoerde volume wordt tevens bijgehouden. Van elke 7 liter eluaat wordt een mengmonster gemaakt en ter analyse bij het laboratorium aangeboden.



Adsorptie-isothermen

Algemeen

Adsorptie-isothermen worden bepaald om de adsorptie aan verschillende grondsoorten in de Kempen te bepalen.

Werkwijze

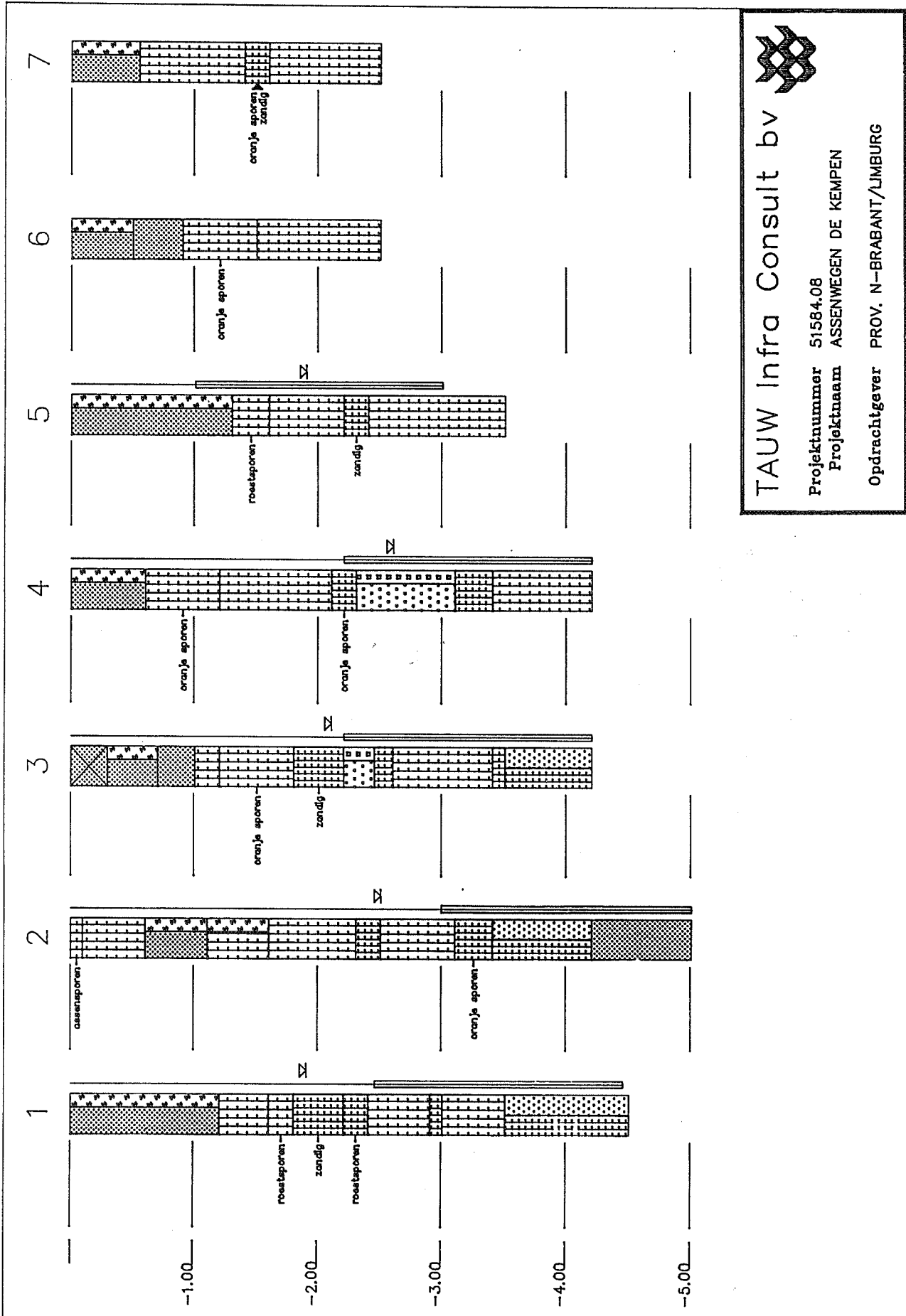
Verontreinigd grondwater van de onderzoekslokatie is gedurende 24 uur geschud met veldvochtige grond in vier verschillende schudverhoudingen.


De schudverhoudingen zijn:

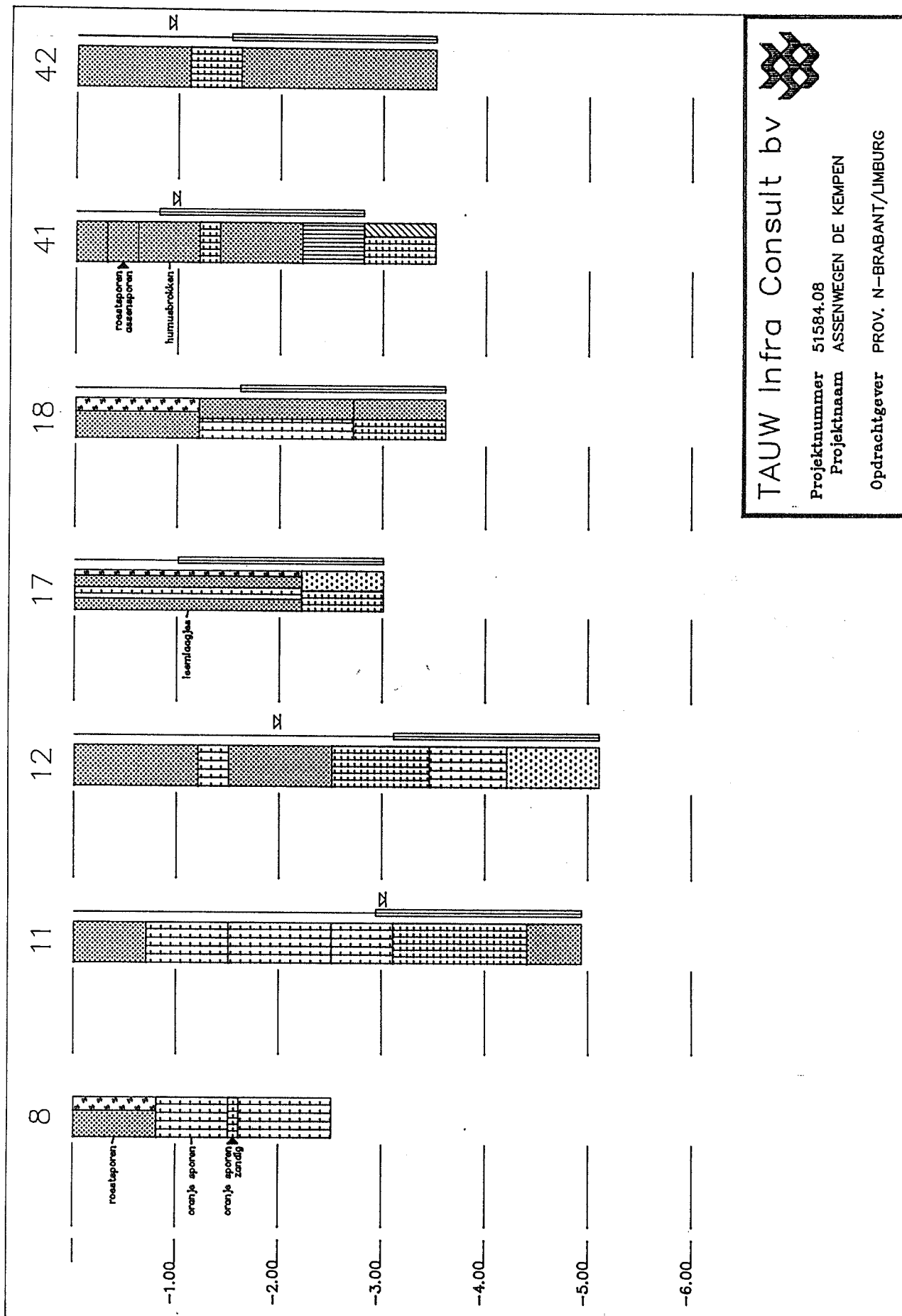
	cadmium	zink
L/S 1	67	67
L/S 2	20	
L/S 3	6,7	6,7
L/S 4	3,3	3,3
L/S 5		1,7

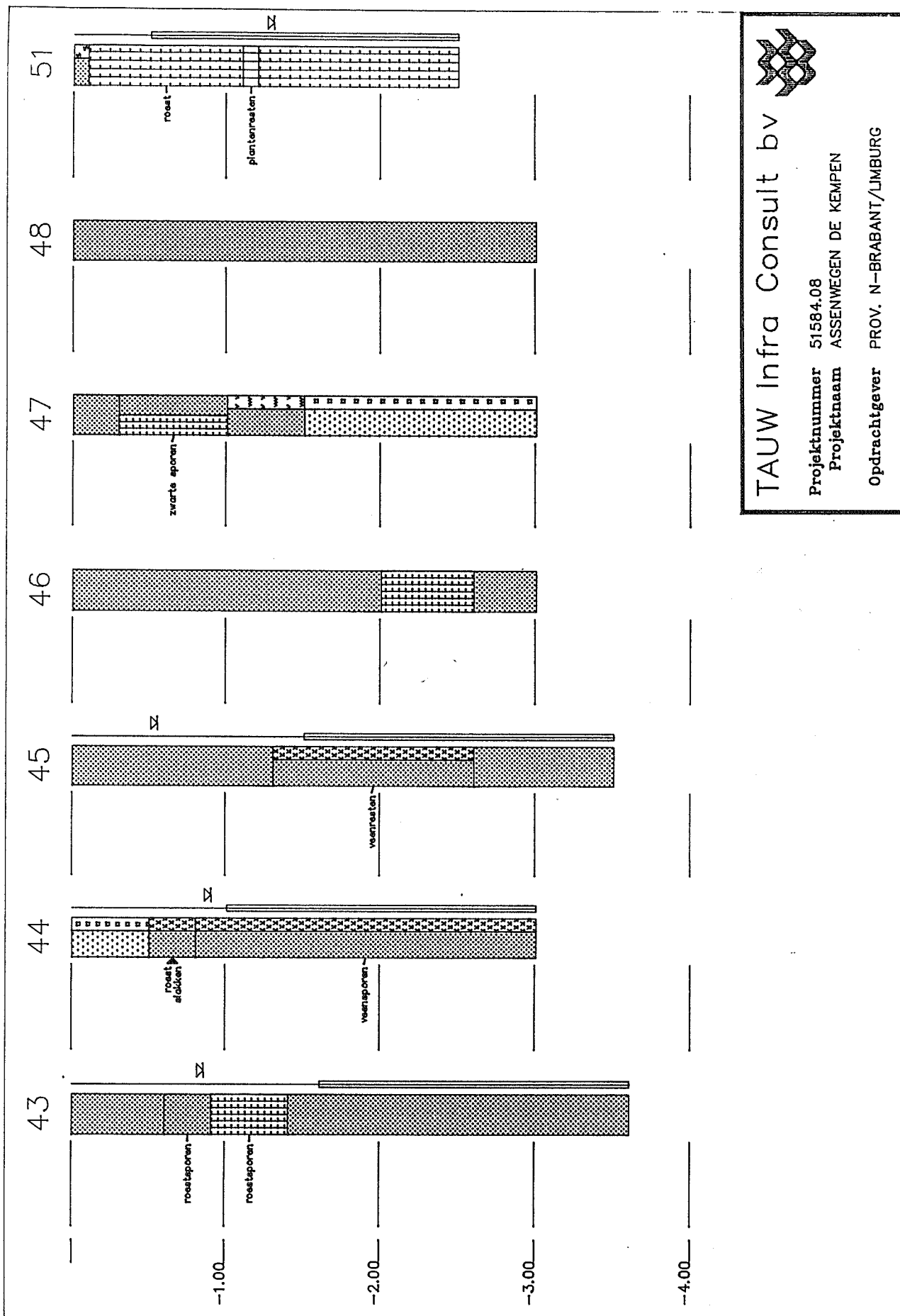
Het schudwater is afgefiltreerd over 0,45 um en filtraat en residu zijn geanalyseerd op cadmium en zink.

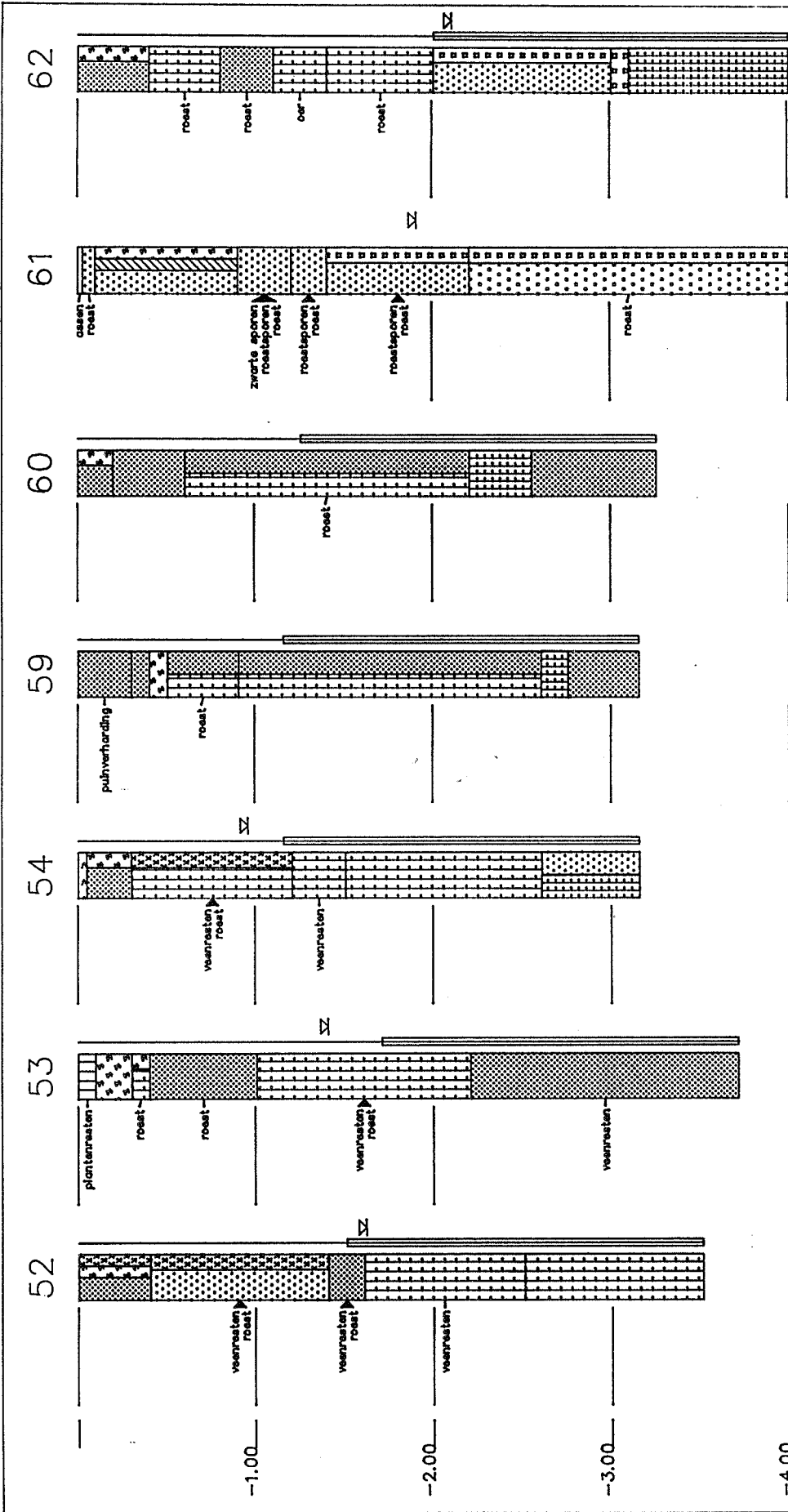

Omdat het grondwater van lokaties Budel en Tungalroy onvoldoende cadmium bevatte om de experimenten uit te voeren is 75 ug/l Cd<sup>2+</sup> toegevoegd als CdNO<sub>3</sub>.



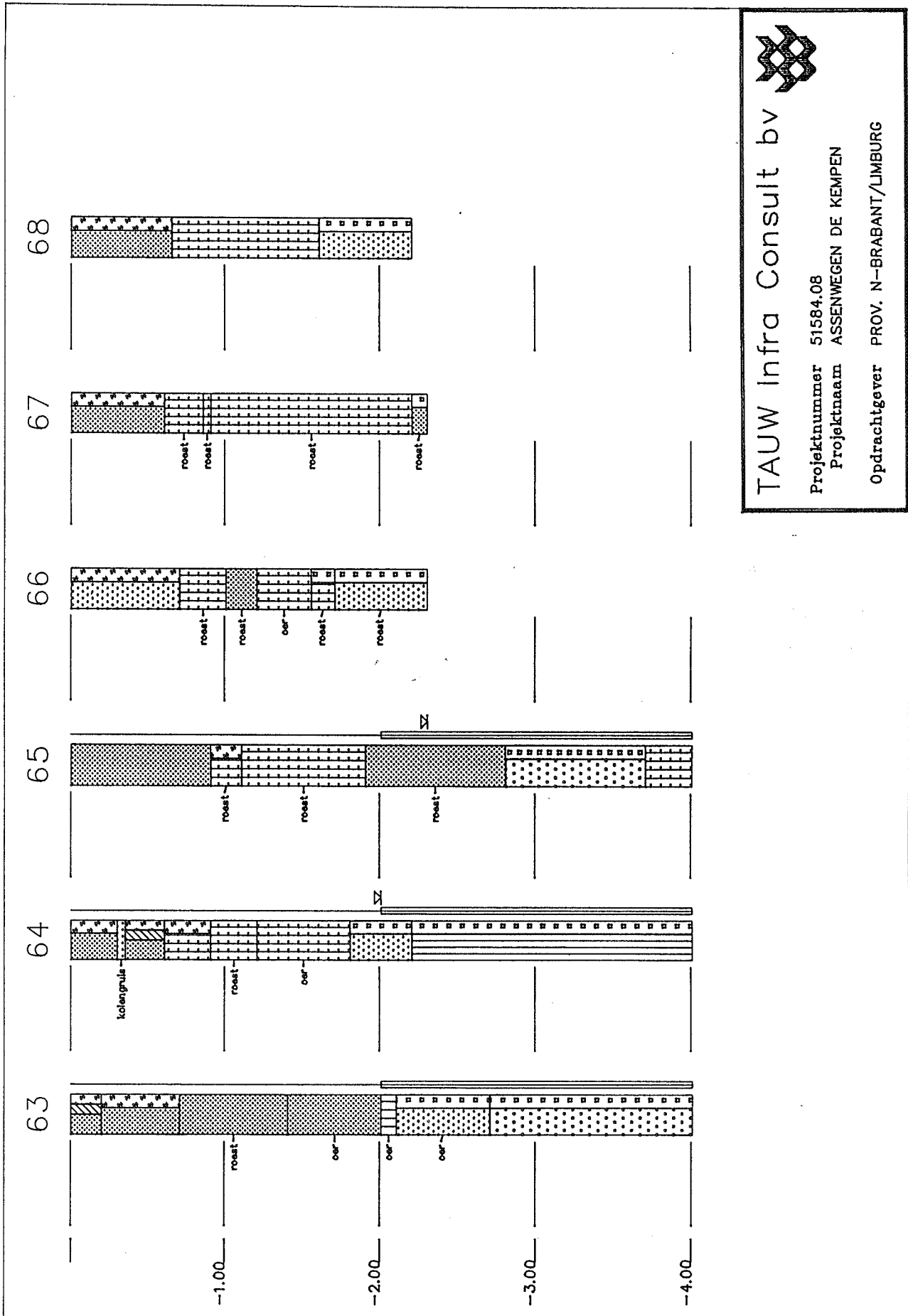
  
**TAUW Infra Consult bv**  
 Projektnummer 51584.08  
 Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN  
 Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LJMBURG





**TAUW Infra Consult bv**  
 Projektnummer 51584.08  
 Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN  
 Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LIMBURG



TAUW Infra Consult bv

Projektnummer 51584.08

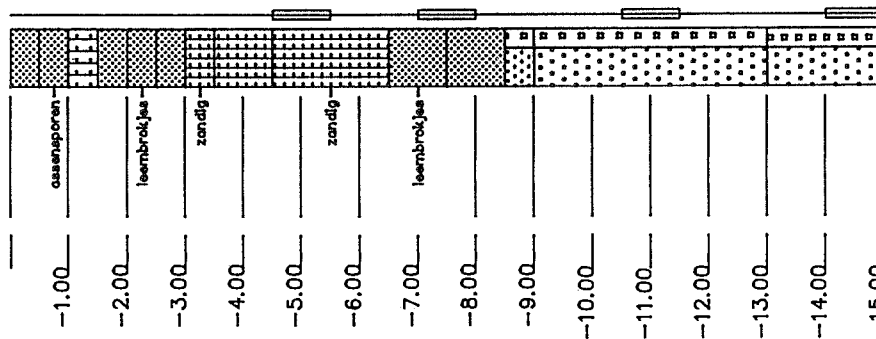
Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN

Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LIMBURG





100

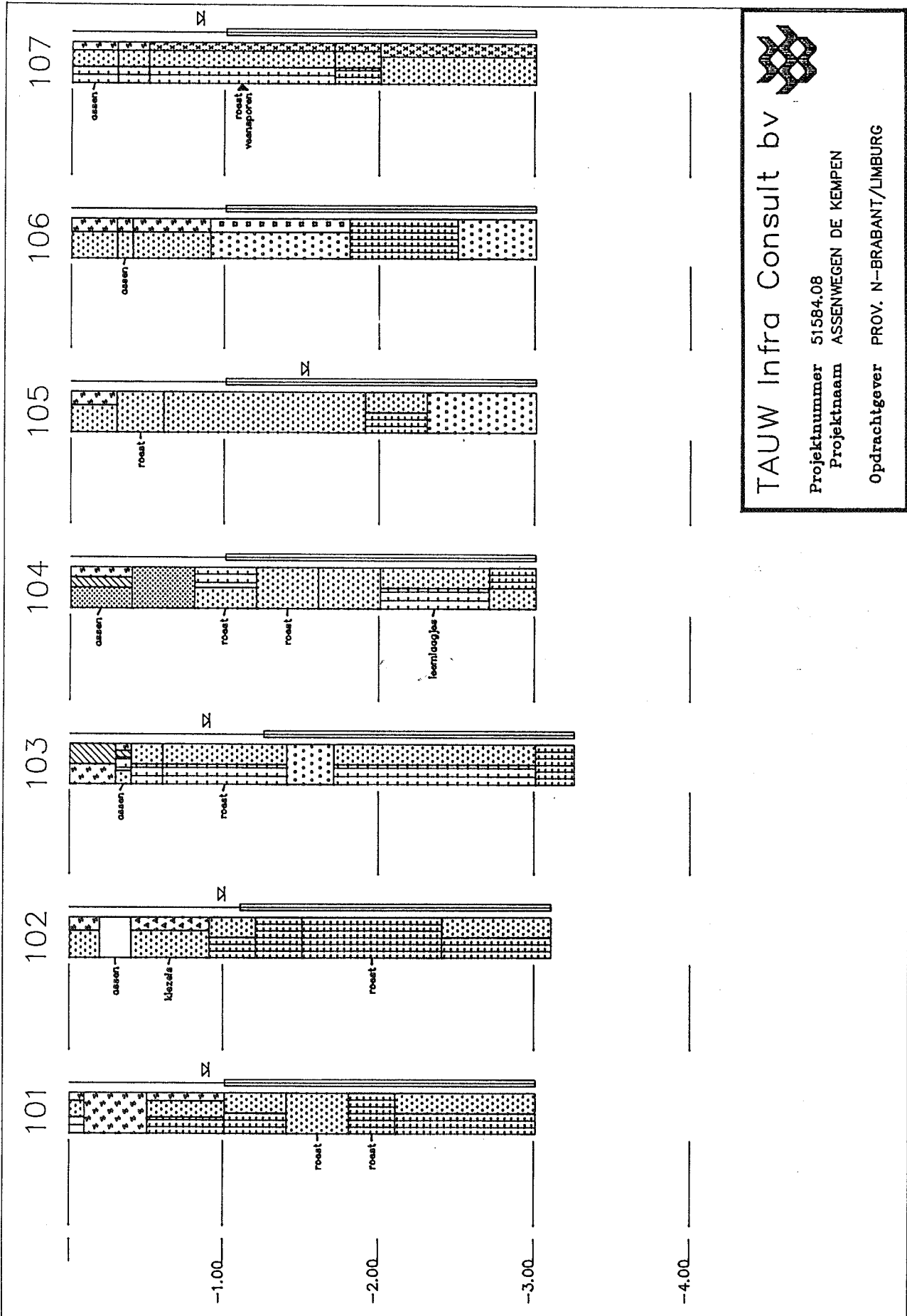


TAUW Infra Consult bv

Projektnummer 51584.08

Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN

Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LIMBURG


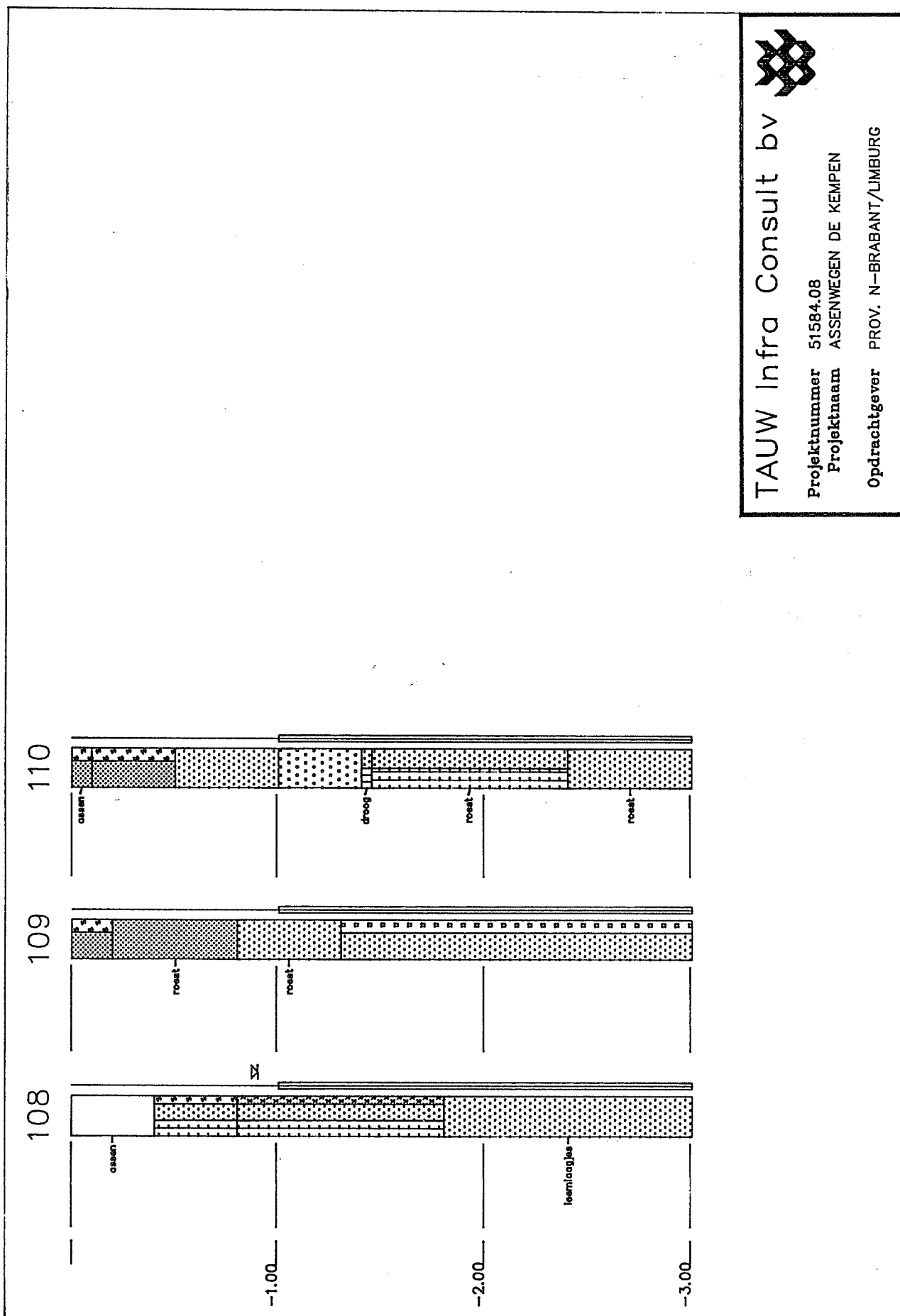


TAUW Infra Consult bv

Projektnummer 51584.08

Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN

Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LIMBURG




TAUW Infra Consult bv

Projektnummer 51584.08  
Projektnaam ASSENWEGEN DE KEMPEN

Opdrachtgever PROV. N-BRABANT/LIMBURG

afkorting	arcering		afkorting	arcering	afkorting	arcering
OG		opgebrachte grond	KB		kleibrokjes	
FZ		fijn zand 63-250 µm	G		grind	
MGZ		matig grof zand 250-500 µm	GIG		grindig	
ZGZ		zeer grof zand 500-2000 µm	S		stenen	
ZAV		zavel, zandige klei 12-25% < 2 µm	SI		sintels, puin	
KIG		kleiig 1-12% < 2 µm	VB		veenbrokjes	
K		klei 25-100% < 2 µm	V		veen	
L		leem > 75% deeltjes < 63 µm	P		puin, boring gestopt	
LIG		lemig < 75% deeltjes < 63 µm	SCH		schelpen	
		peilbuis	H		humeus	
		filter				
		grondwaterstand				

TAUW Infra Consult bv



legenda bodemprofielen

Gemeten stijghoogten in peilbuizen en minifilters, Valkenswaard

filter- diepte	(m)	kop peilbuis				26-01-87 maart 87
		m + NAP	15-10-86	14-11-86	06-12-86	
1	(4)	26,24	23,32	23,70		24,26
2	(5)	25,73	23,22	23,55		24,00
3	(4)	25,88	23,29	23,67		24,21
4	(4)	25,55	23,15	23,50		23,98
5	(3)	25,52	23,54	24,02		24,83
11	(5)	25,88		23,65		24,37
12	(5)	25,47		23,54		24,07
100	(5)	25,82			23,66	23,94
100	(8)	25,78			23,65	23,94
100	(11)	25,75			23,65	23,94
100	(15)	25,72			23,64	23,91
13	(3)					24,79
13	(6)					23,94
13	(9)					23,92 $\pm$ 7.5 cm
13	(12)					23,95
13	(16)					23,97
13	(20)					23,97 $\pm$ 0.1 cm
14	(3)					24,64
14	(6)					23,96
14	(9)					24,01 $\pm$ 15 cm
14	(12)					23,97
14	(16)					23,99
14	(20)					23,98
15	(3)					24,98
15	(6)					24,34
15	(9)					24,32 $\pm$ 3 cm
15	(12)					24,16
15	(16)					24,20
15	(29)					24,19 + 14 cm

Gemeten stijghoogten in peilbuizen en minifilters, Budel

Filter- diepte (m)	kop peilbuis		gemeten grondwaterstand (m +NAP)			
	m +NAP		d.d. 28-11-'86	26-01-'87		
41	28,40		27,20	27,63		
42	28,38		27,15	27,43		
43	28,98		27,29	28,03		
44	28,43		27,16	weg		
45	28,72		27,72	weg		
51	28,42		26,81	27,59		
52	28,62			26,77		
53	29,07		27,17	27,50		
54	28,20		27,20	27,52		
Weergraaf			26,78			
55	(3,8)	28,36		27,60		
55	(6,4)	28,34		27,75		
56	(9,8)	28,30		27,76		
56	(3)			28,83		
56	(6)			28,73		
56	(9)			28,72	± 2	cm
56	(12)			28,67		
56	(16)			28,69		
56	(20)			28,70	± 0,3	cm
57	(3)			27,90		
57	(6)			27,86		
57	(9)			27,87	± 16	cm
57	(12)			28,12		
57	(16)			28,23		
57	(20)			28,25	± 19	cm
58	(3)			27,56		
58	(6)			27,58		
58	(12)			25,57 (?)	± 5	cm
58	(16)			27,55		
58	(20)			27,54		
				27,62	± 4	cm

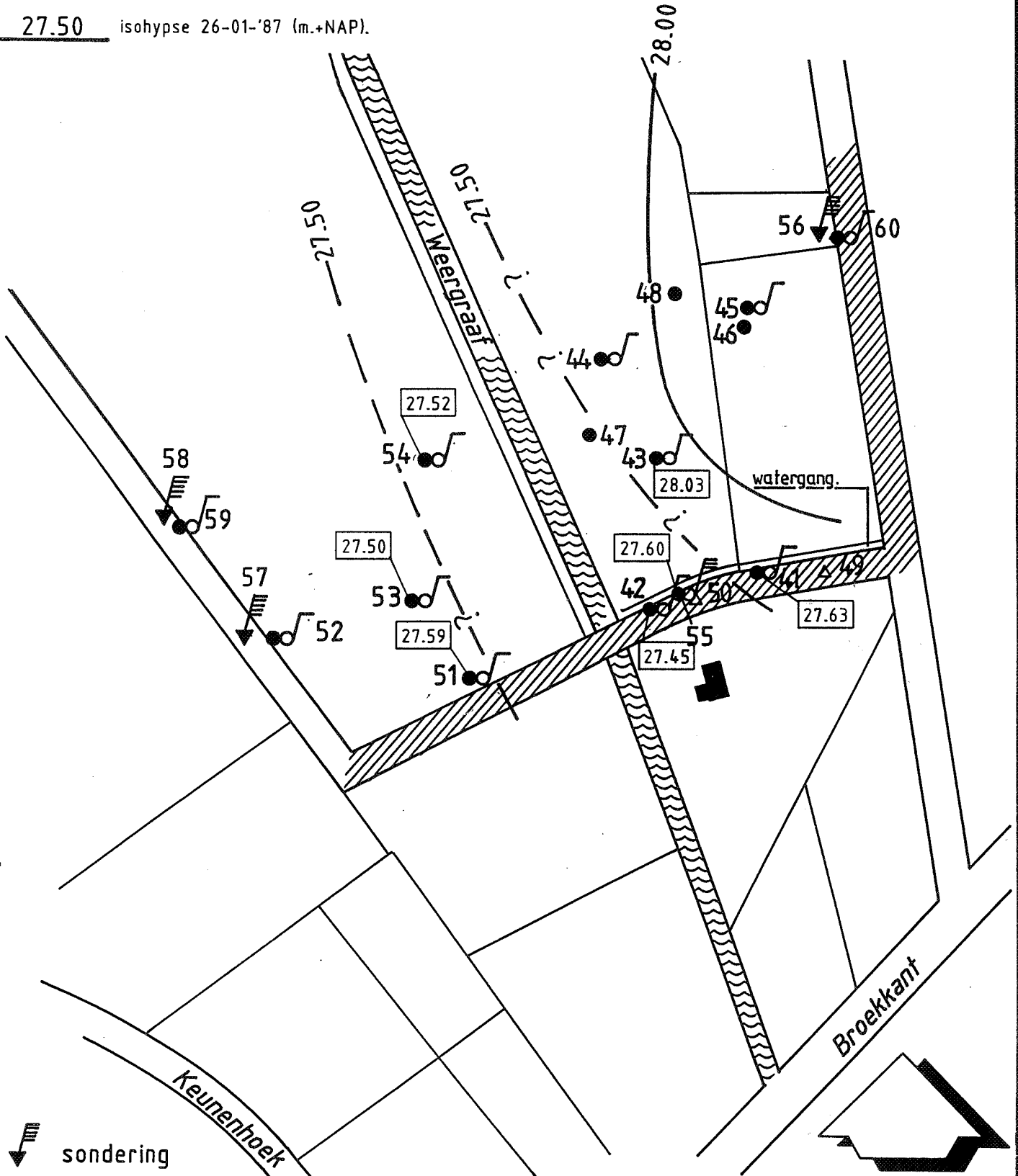
Gemeten stijghoogten in peilbuizen en minifilters, Tungelroy







Filter- diepte (m)	kop peilbuis m +NAP	gemeten grondwaterstand (m +NAP)				
		d.d. 28-11-'86	06-12-'86	26-01-'87	maart'87	
61	(4)	31,16	29,08	29,18	29,71	
62	(4)	31,32	28,98	29,15	29,73	
63	(4)	31,62	-	29,13	29,69	
64	(4)	31,50	29,06	29,11	29,65	
65	(4)	31,19	28,62	29,07	29,60	
71	(4)	31,19			29,73	
71	(7)	31,17			29,70	
72	(10)	31,15			29,69	
72	(3)					29,71
72	(6)					29,67
72	(9)					29,69 ± 3 cm
72	(12)					29,83
72	(16)					29,85
73	(20)					29,83 ± 10 cm
73	(3)					30,12
73	(6)					30,08
73	(9)					30,09 ± 2 cm
73	(12)					29,72
73	(16)					29,71
73	(20)					29,72 ± 1 cm

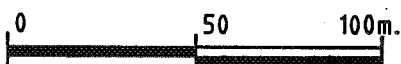
Bijlage 6.3 blad 1 Grondwaterstijghoogtes in de deklaag d.d. 26-01-'87.

27.63 gemeten stijghoogte 26-01-'87 (m.+NAP).

27.50 isohypse 26-01-'87 (m.+NAP).



-  sondering
-  boring
-  combinatie boring/peilbuis
-  idem met 3 filters
-  slakken
-  assenweg



opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>	schaal 1:2000	formaat A4
project <b>GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN</b>	proj.nr. <b>51584.08</b>	
onderdeel <b>LOKATIE BUDEL</b>	dat. NOV'86	tek.nr. -401.
	get. H.F.B.	



**TAUW Infra Consult B.V.**

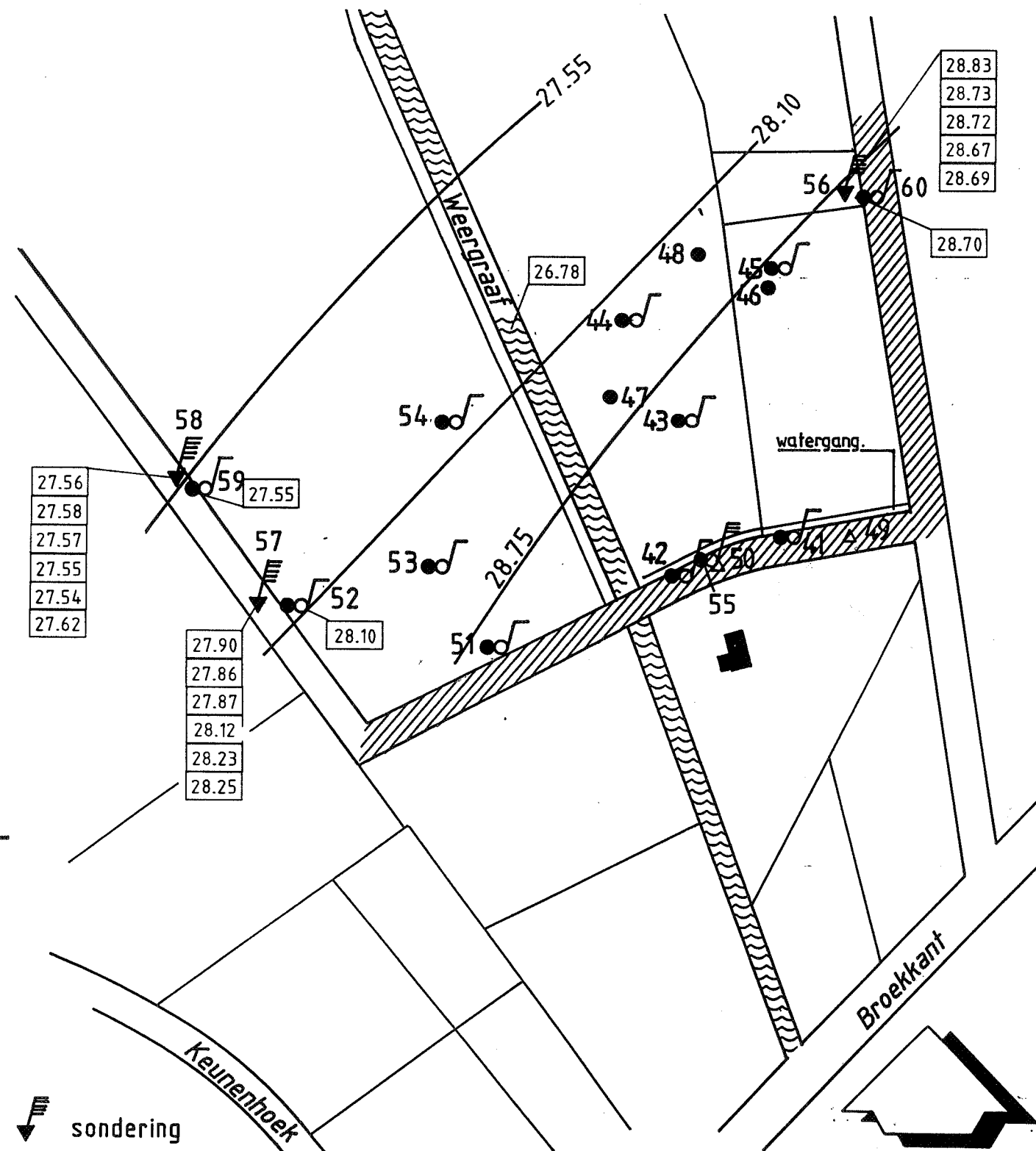
Postbus 479, 7400 AL Deventer



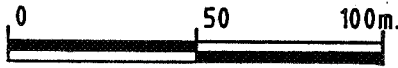
# Bijlage 6.3 blad 2 Gemeten stijghoogtes diepgrondwater.

28.10 gemeten stijghoogtes d.d. 31-03-'87 (m.+NAP).

28.10 isohypse diepe grondwater (m.+NAP).



- sondering
- boring
- combinatie boring/peilbuis
- idem met 3 filters
- slakken
- assenweg



opdrachtgever <b>P.W. N.BRABANT/LIMBURG</b>	schaal 1:2000	formaat A4
project <b>GRONDWATERONDERZOEK ASSENWEGEN DE KEMPEN</b>	proj.nr. <b>51584.08</b>	
onderdeel <b>LOKATIE BUDEL SITUERING MONSTERPUNTEN</b>	dat. NOV'86	tek.nr. <b>-401.</b>
	get. H.F.B.	

**TAUW Infra Consult B.V.**  
Postbus 479, 7400 AL Deventer

Infiltratie experiment Valkenswaard

<u>Diepte</u> <u>(in cm)</u>	<u>tijd</u> <u>(sec.)</u>	<u>tijd</u> <u>(sec.)</u>
32,7	0,0	
32,8	273	273
32,9	405	132
33,0	568	163
33,1	723	155
33,2	916	193
33,3	1122	206
33,4	1269	147
33,5	1423	154
33,6	1590	167
33,7	1736	146

---

Bijlage 7.2Infiltratie experiment Budel

<u>Diepte</u> <u>(in cm)</u>	<u>tijd</u> <u>(in min.)</u>
30,6	0
30,6	0,5
30,6	1,0
30,6	1,5
30,6	2,0
30,6	2,5
30,6	5,0
30,6	10,0
30,6	15,0
30,6	20,0
30,6	30,0
30,6	40,0
30,6	65,0
30,6	75,0
30,7	90

Infiltratie experiment Tungaloy

Diepte (in cm)	tijd (sec.)	tijd (sec.)
30,9	0	
31,0	34	34
31,1	80	46
31,2	130	50
<hr/>		
28,8	0	
28,9	50	50
29,0	88	38
29,1	129	41
29,2	163	34
29,3	198	35
29,4	242	44
29,5	290	48
29,6	335	45
29,7	373	38
29,8	430	57
30,0	516	86
30,1	545	29
30,2	606	61

x = 43 sec./mm.

s = 8 sec.



## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

## ANALYSE RESULTATEN

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5075/5376

Betreffende: grondmonsters

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

I : 6 ( 30- 50 cm-mv)

II : 6 (100-250 cm-mv)

III : 7 (140-160 cm-mv)

IV : 100 (400-450 cm-mv)

V : 100 ( 15-15.3 m-mv)

Datum monsterneming: okt. 1986

Datum onderzoek : okt. 1986/dec. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES						
Droge stof	%	90.2	88.2	85.3	85.2	82.9
CaCO <sub>3</sub>	% van ds	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1
Fracties <2µm	% van ds	2.1	3.2	5.6	7.2	1.2
Fracties <16µm	% van ds	4.2	4.1	10.5	8.9	3.7
Verteerbaar koolstof volgens EAWAG	% van ds	1.0	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	0.4	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Zink (Zn)	mg/kg ds	28	8	11	42	26
Droge stof						
Deeltjesgrootte verdeling						
>2mm	% van ds	0.28	0.06	0.02	<0.1	0.4
1.00 - 2.00 mm	% van ds	1.0	0.42	0.15	0.1	0.8
0.50 - 1.00 mm	% van ds	3.8	0.84	1.5	0.9	9.0
0.355 - 0.50 mm	% van ds	4.8	1.9	2.6	2.2	15.9
0.250 - 0.355 mm	% van ds	10.2	6.9	6.4	9.1	34.4
0.180 - 0.250 mm	% van ds	15.5	16.1	10.3	14.9	24.8
0.125 - 0.180 mm	% van ds	23.9	33.2	21.5	25.4	9.6
0.090 - 0.125 mm	% van ds	14.9	21.6	14.6	18.1	2.3
0.063 - 0.090 mm	% van ds	9.3	8.4	8.4	7.0	1.1
< 0.063 mm	% van ds	16.1	11.0	34.78	22.5	10.4



# TAUW Infra Consult B.V.

## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.

Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.1, blad 2

### A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5075-1

Betreffende: Grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

I : peilbuis 2 (3 -5 m-mv)

II : peilbuis 3 (2,2-4,2 m-mv)

III : peilbuis 5 (1,1-3,1 m-mv)

IV : peilbuis 100 (4,5-5,5 m-mv)

V : peilbuis 100 (7 -8 m-mv)

Datum monsterneming: okt. 1986

Datum onderzoek : okt. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES						
pH		5.0	4.8	5.3	6.8	6.5
Geleidbaarheid	µS/cm	385	208	320	782	654
Nitraat	mg/l N	3.2	6.4	19		
Chloride	mg/l Cl	11	6	7	25	14
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	µg/l	2.1	0.5	1.1	0.2	0.6
Zink (Zn)	µg/l	3750	190	480	150	330



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5075-1-1

Betreffende: Grondwatermonsters

Effekten van assenwegen op grond-  
water kwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

I : peilbuis 100 (10,5-11,5 m-mv)

II : peilbuis 100 (14 -15 m-mv)

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: okt. 1986

Datum onderzoek : okt. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
---------	---------	---	----	-----	----	---

**KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES**

pH		5.8	6.0			
Geleidbaarheid	µS/cm	583	651			
Chloride	mg/l /Cl	100	93			

**ZWARE METALEN**

Cadmium (Cd)	µg/l	2.7	1.3			
Zink (Zn)	µg/l	1550	660			



# TAUW Infra Consult B.V.

milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.1, blad 4

## ANALYSERESULTATEN

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5131-1

Betreffende: Assen

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard  
Cascade experimenten

Omschrijving monsters:

I : 9 voor schudden

II : 10 voor schudden

III : 9 na schudden

IV : 10 na schudden

V :

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : okt. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
---------	---------	---	----	-----	----	---

### KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES

Droge stof	%			76.2	77.6	
------------	---	--	--	------	------	--

### ZWARE METALEN

Cadmium (Cd)	mg/kg ds	10	9	5	3	
Koper (Cu)	mg/kg ds	6500	5800			
Nikkel (Ni)	mg/kg ds	190	150			
Lood (Pb)	mg/kg ds	2600	1750			
Zink (Zn)	g/kg ds	54	40	44	34	
Arseen (As)	mg/kg ds	105	150			
Cobalt (Co)	mg/kg ds	40	30			
Antimoon (Sb)	mg/kg ds	125	130			



# TAUW Infra Consult B.V.

milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.1, blad 5

## A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5131-2

Betreffende: Schudwater

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard  
Cascade experimenten

Omschrijving monsters:

I : 9 batch 1

II : 9 batch 2

III : 9 batch 3

IV : 9 batch 4

V : 9 batch 5

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : okt. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES						
pH		6.7	6.7	6.8	6.8	6.7
Geleidbaarheid	µS/cm	1160	690	540	470	470
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	µg/l	8	3	2	2	1
Koper (Cu)	µg/l	62	24	19	14	30
Nikkel (Ni)	µg/l	230	120	91	54	44
Lood (Pb)	µg/l	<20	<20	<20	<20	<20
Zink (Zn)	mg/l	35	14	11	8.0	6.7
Arseen (As)	µg/l	0.5	0.4	0.2	0.1	0.3
Cobalt (Co)	µg/l	14	2	6	<2	2
Antimoon (Sb)	µg/l	0.4	0.4	0.4	0.2	0.3





# TAUW Infra Consult B.V.

milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.1, blad 6

## A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5131-3

Betreffende: Schudwater

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard  
Cascade-experiment

Omschrijving monsters:

I : 10 batch 1

II : 10 batch 2

III : 10 batch 3

IV : 10 batch 4

V : 10 batch 5

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : okt. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.6	6.7	6.8	6.7	6.6
Geleidbaarheid	µS/cm	1660	1270	570	490	470
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	5	3	2	2	1
Koper (Cu)	µg/l	99	54	40	28	14
Nikkel (Ni)	µg/l	230	95	59	48	34
Lood (Pb)	µg/l	<20	<20	<20	<20	<20
Zink (Zn)	mg/l	46	19	13	9.9	6.7
Arseen (As)	µg/l	0.2	0.2	0.1	0.1	<0.1
Cobalt (Co)	µg/l	19	8	6	2	<2
Antimoon (Sb)	µg/l	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5294-1

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Valkenswaard

KOLOM EXPERIMENT

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : dec.1986 t/m apr. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 9 L/S 28

II : 9 L/S 56

III : 9 L/S 84

IV : 9 L/S 112

V : 9 L/S 140

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	6	2.5	2.1	46	10
Chroom (Cr)	µg/l	3				
Koper (Cu)	µg/l	68				
Nikkel (Ni)	µg/l	270	115	87	78	66
Lood (Pb)	µg/l	<20				
Zink (Zn)	mg/l	39	11	8.7	10.0	8.80
Arseen (As)	µg/l	<0.1				
Kalium (K)	mg/l	10				
Calcium (Ca)	µg/l	9200				
Magnesium (Mg)	µg/l	710				
Natrium (Na)	µg/l	1350				
Cobalt (Co)	µg/l	19				
Mangaan (Mn)	µg/l	1100				
Aluminium (Al)	µg/l	30				
Titaan (Ti)	µg/l	<1				
Barium (Ba)	µg/l	85				
IJzer (Fe)	µg/l	24				
Zwavel (S)	mg/l	18				
Silicium (Si)	µg/l	600				
Borium (B)	µg/l	55				



# TAUW Infra Consult B.V.

Bijlage 8.1, blad 8

## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

### ANALYSERESULTATEN

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr:

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard

Kolom experiment

Omschrijving monsters:

I : 9 L/S 168

II : L/S 196

III :

IV :

V :

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : dec. 1986 t/m apr. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	µg/l	1.9	2.5			
Nikkel (Ni)	µg/l	42	37			
Zink (Zn)	µg/l	8400	6500			

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.

Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-1

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.I : minifilter 13 ( 2- 3 m-mv)  
II : minifilter 13 ( 5- 6 m-mv)  
III : minifilter 13 ( 8- 9 m-mv)  
IV : minifilter 13 (11-12 m-mv)  
V : minifilter 13 (15-16 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		5.3	5.8	6.3	4.4	6.6
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	175	525	555	1190	1450
Chloride	mg/l Cl	10	67	68	290	420
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	2.6	8.1	7.3	7.0	27
Nikkel (Ni)	$\mu\text{g/l}$	<1	45	12	295	99
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	370	80	50	670	300



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-2

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

I : minifilter 13 (19-20 m-mv)

II : minifilter 14 ( 2- 3 m-mv)

III : minifilter 14 ( 5- 6 m-mv)

IV : minifilter 14 ( 8- 9 m-mv)

V : minifilter 14 (11-12 m-mv)

Datum monsterneming: maart 1987

Datum onderzoek : maart 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.6	5.0	4.5	4.9	5.8
Geleidbaarheid	µS/cm	3450	242	446	336	525
Chloride	mg/l Cl	980	11	14	29	35
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	8.9	0.8	0.2	1.0	2.1
Nikkel (Ni)	µg/l	700	17	11	29	150
Zink (Zn)	µg/l	490	20	10	40	250

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-3

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Valkenswaard

## Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

I : minifilter 14 (15-16 m-mv)  
II : minifilter 14 (19-20 m-mv)  
III : minifilter 15 (2-3 m-mv)  
IV : minifilter 15 (5-6 m-mv)  
V : minifilter 15 (8-9 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		5.9	6.1	4.7	4.4	5.4
Geleidbaarheid	µS/cm	306	290	278	336	426
Chloride	mg/l Cl	27	31	7	9	19
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	1.6	0.4	0.8	1.6	1.7
Nikkel (Ni)	µg/l	27	26	11	10	82
Zink (Zn)	µg/l	30	<6	40	50	160

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-4

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Valkenswaard

Omschrijving monsters:

I : minifilter 15 (11-12 m-mv)

II : minifilter 15 (15-16 m-mv)

III : minifilter 15 (19-20 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: maart 1987

Datum onderzoek : maart 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		4.4	5.4	6.6		
Geleidbaarheid	µS/cm	640	575	695		
Chloride	mg/l Cl	32	43	165		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	6.1	5.5	60		
Nikkel (Ni)	µg/l	28	435	22		
Zink (Zn)	µg/l	90	940	70		

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5272/5387/5502

Betreffende: grondmonsters

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

I : 44 (200-300 cm-mv)

II : 46 (200-250 cm-mv)

III : 47 (200-300 cm-mv)

IV : 55 ( 10-10.3 m-mv)

V :

Datum monsterneming: nov. 1986/jan. 1987

Datum onderzoek : nov. 1986/jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
Droge stof	%	82.7	83.5	86.4	87.4	
CaCO <sub>3</sub>	% van ds	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	
Fracties <2µm	% van ds	6.8	11.5	5.5	3.2/4.4	
Fracties <16µm	% van ds	13.8	23.4	7.9	5.6/7.0	
Verteerbaar koolstof volgens EAWAG	% van ds	0.3	<0.1	0.1	0.1	
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Zink (Zn)	mg/kg ds	26	10	9	7	
<b>Droge stof</b>						
<b>Deeltjesgrootte verdeling</b>						
>2mm	% van ds	<0.1	<0.1	<0.1	9.7	
1.00 - 2.00 mm	% van ds	0.2	0.1	0.3	2.5	
0.50 - 1.00 mm	% van ds	3.1	1.6	1.8	17.3	
0.355 - 0.50 mm	% van ds	4.9	3.6	4.0	18.8	
0.250 - 0.355 mm	% van ds	13.1	11.1	11.2	19.5	
0.180 - 0.250 mm	% van ds	16.5	13.3	14.7	12.2	
0.125 - 0.180 mm	% van ds	21.2	16.1	30.1	7.8	
0.090 - 0.125 mm	% van ds	7.8	5.4	13.6	2.7	
0.063 - 0.090 mm	% van ds	3.1	2.4	4.6	1.5	
< 0.063 mm	% van ds	31.0	45.9	18.7	8.4	





# TAUW Infra Consult B.V.

## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.2, blad 2

### A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5272-2

Betreffende: Grondwatermonsters

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

I : peilbuis 41 (1,5-3,5 m-mv)

II : peilbuis 43 (2 -4 m-mv)

III : peilbuis 45 (1,5-3,5 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: nov. 1986

Datum onderzoek : nov. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES						
pH		5.7	5.9	6.3		
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	520	530	562		
Chloride	mg/l Cl	30	40	25		
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	<0.1	0.2	<0.1		
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	2950	40	30		

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5502-1

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: jan. 1987  
Datum onderzoek : jan. 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra ConsultI : peilbuis 55 (3- 4 m-mv)  
II : peilbuis 55 (6- 7 m-mv)  
III : peilbuis 55 (9-10 m-mv)  
IV :  
V :

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.5	6.5	6.7		
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	147	183	159		
Chloride	mg/l Cl			21		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	<0.1	<0.1	<0.1		
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	10	90	180		



# TAUW Infra Consult B.V.

milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.

Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.2, blad 4

## A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5772-1

Betreffende: Assen

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Budel

Cascade experimenten

Omschrijving monsters:

I : 49

II : 50

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: nov. 1986

Datum onderzoek : nov. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
Droge stof	%	93.2	88.3			
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	45.0	6.0			
Zink (Zn)	g/kg ds	30	16			

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7198-1

Betreffende: SCHUDWATER

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

CASCADE-EXPERIMENTEN

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 49 batch 1

II : 49 batch 2

III : 49 batch 3

IV : 49 batch 4

V : 49 batch 5

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.8	6.9	6.7	6.8	7.1
Geleidbaarheid	µS/cm	522	180	166	87	82
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	80	32	25	17	15
Zink (Zn)	µg/l	9800	6000	4900	3950	3650

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7198-2

Betreffende: SCHUDWATER

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

CASCADE-EXPERIMENTEN

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 50 batch 1

II : 50 batch 2

III : 50 batch 3

IV : 50 batch 4

V : 50 batch 5

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.9	7.0	7.0	6.9	6.9
Geleidbaarheid	µS/cm	118	48	47	30	38
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	4.5	2.8	2.4	1.9	2.4
Zink (Zn)	µg/l	6700	4700	5000	4550	5350



# TAUW Infra Consult B.V.

## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.2, blad 7

### A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5356-1

Betreffende: Assen

Effekten van grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

I : 49

II :

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: nov. 1986

Datum onderzoek : dec. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Droge stof	%	93.7				
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	48				
Chroom (Cr)	mg/kg ds	155				
Koper (Cu)	mg/kg ds	2450				
Nikkel (Ni)	mg/kg ds	170				
Lood (Pb)	g/kg ds	19				
Zink (Zn)	g/kg ds	32				
Arseen (As)	mg/kg ds	2200				
Kalium (K)	mg/kg ds	205				
Calcium (Ca)	mg/kg ds	8450				
Magnesium (Mg)	mg/kg ds	850				
Natrium (Na)	mg/kg ds	400				
Cobalt (Co)	mg/kg ds	98				
Antimoon (Sb)	mg/kg ds	275				
Seleen (Se)	mg/kg ds	<1				
Mangaan (Mn)	mg/kg ds	1800				
Aluminium (Al)	mg/kg ds	3350				
Titaan (Ti)	mg/kg ds	325				
Barium (Ba)	mg/kg ds	305				
Strontium (Sr)	mg/kg ds	500				
Goud (Au)	mg/kg ds	48				
IJzer (Fe)	g/kg ds	170				
Lithium (Li)	mg/kg ds	<10				
Borium (B)	mg/kg ds	440				
Zwavel (S)	g/kg ds	12				
Tellurium (Te)	mg/kg ds	470				
Silicium (Si)	mg/kg ds	1850				

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7199-1

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

KOLOM EXPERIMENT

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : dec.1986 t/m apr. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 49 L/S 28

II : 49 L/S 56

III : 49 L/S 84

IV : 49 L/S 112

V : 49 L/S 140

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	55	24	140	59	86
Chroom (Cr)	µg/l	8				
Koper (Cu)	µg/l	6				
Nikkel (Ni)	µg/l	315	120	175		
Lood (Pb)	µg/l	115				
Zink (Zn)	mg/l	10	5.1	9.4	9.4	15
Arseen (As)	µg/l	18				
Kalium (K)	mg/l	13				
Calcium (Ca)	mg/l	93				
Magnesium (Mg)	µg/l	2500				
Natrium (Na)	µg/l	465				
Cobalt (Co)	µg/l	370				
Zilver (Ag)	µg/l	<3				
Antimoon (Sb)	µg/l	3.5				
Mangaan (Mn)	µg/l	4850				
Aluminium (Al)	µg/l	96				
Vanadium (V)	µg/l	<1				
Barium (Ba)	µg/l	160				
Strontium (Sr)	µg/l	1650				
IJzer (Fe)	µg/l	29				
Tin (Sn)	µg/l	<20				
Zirkonium	µg/l	<3				
Zwavel (S)	mg/l	75				

\* Ook Cesium en Cerium aangetoond, doch niet kwantitatief.



**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7199-2

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

KOLOM EXPERIMENT

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : dec. 1986 t/m apr. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 49 L/S 168

II : 49 L/S 196

III : 49 L/S 224

IV : 49 L/S 252

V :

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	66	49	43	36	
Nikkel (Ni)	µg/l	120	75	56	45	
Zink (Zn)	mg/l	28	25	14	13	



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-5

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.I : minifilter 56 ( 2- 3 m-mv)  
II : minifilter 56 ( 5- 6 m-mv)  
III : minifilter 56 ( 8- 9 m-mv)  
IV : minifilter 56 (11-12 m-mv)  
V : minifilter 56 (15-16 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.0	6.0	6.1	6.4	6.6
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	357	380	364	307	307
Chloride	mg/l Cl	22	56	40	34	19
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	0.5	<0.1	<0.1	0.1	0.4
Nikkel (Ni)	$\mu\text{g/l}$	23	<1	<1	<1	3
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	1350	<6	<6	<6	<6
Cobalt (Co)	$\mu\text{g/l}$	12	<1	<1	<1	1

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-6

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.I : minifilter 56 (19-20 m-mv)  
II : minifilter 57 ( 2- 3 m-mv)  
III : minifilter 57 ( 5- 6 m-mv)  
IV : minifilter 57 ( 8- 9 m-mv)  
V : minifilter 57 (11-12 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.4	5.9	6.6	6.9	6.6
Geleidbaarheid	µS/cm	145	196	83	87	95
Chloride	mg/l Cl	26	9	8	8	9
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Nikkel (Ni)	µg/l	<1	12	<1	<1	<1
Zink (Zn)	µg/l	<6	<6	<6	<6	<6
Cobalt (Co)	µg/l	<1	2	<1	<1	<1

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-7

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987

I : minifilter 57 (15-16 m-mv)

Datum onderzoek : maart 1987

II : minifilter 57 (19-20 m-mv)

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

III : minifilter 58 ( 2- 3 m-mv)

IV : minifilter 58 ( 5- 6 m-mv)

V : minifilter 58 ( 8- 9 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		7.0	6.9	6.4	7.0	6.6
Geleidbaarheid	µS/cm	170	96	845	170	82
Chloride	mg/l Cl	14	8	46	6	8
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	0.5	<0.1	0.3	<0.1	<0.1
Nikkel (Ni)	µg/l	11	<1	28	<1	<1
Zink (Zn)	µg/l	<6	<6	40	<6	<6
Cobalt (Co)	µg/l	1	<1	18	<1	<1

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-8

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Budel

Omschrijving monsters:

I : minifilter 58 (11-12 m-mv)

II : minifilter 58 (15-16 m-mv)

III : minifilter 58 (19-20 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: maart 1987

Datum onderzoek : maart 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		7.0	6.5	6.7		
Geleidbaarheid	µS/cm	183	124	103		
Chloride	mg/l Cl	15	15	9		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	1.3	0.3	0.3		
Nikkel (Ni)	µg/l	5	3	2		
Zink (Zn)	µg/l	<6	<6	<6		
Cobalt (Co)	µg/l	<1	<1	<1		

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5356-1

Betreffende: grondmonsters  
Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Tungelroy

Omschrijving monsters:

I : 67 (90-220 cm-mv)

II : 68 (65-130 cm-mv)

III : 71 (10-10.3 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: nov. 1986

Datum onderzoek : dec. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
Droge stof	%	84.3	88.7	83.5		
CaCO <sub>3</sub>	% van ds	<0.1	0.1	0.1		
Fracties <2µm	% van ds	16.6	7.3	3.7		
Fracties <16µm	% van ds	16.9	8.5	6.6		
Verteerbaar koolstof volgens EAWAG	% van ds	<0.1	0.2	<0.1		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	0.1	<0.1	<0.1		
Zink (Zn)	mg/kg ds	22	10	9		
<b>Droge stof</b>						
<b>Deeltjesgrootte verdeling</b>						
>2mm	% van ds	0.2	0.5	2.5		
1.00 - 2.00 mm	% van ds	0.4	0.3	0.6		
0.50 - 1.00 mm	% van ds	0.8	1.8	21.2		
0.355 - 0.50 mm	% van ds	1.1	3.0	27.7		
0.250 - 0.355 mm	% van ds	2.9	8.4	25.4		
0.180 - 0.250 mm	% van ds	5.3	15.2	8.7		
0.125 - 0.180 mm	% van ds	11.8	24.9	3.1		
0.090 - 0.125 mm	% van ds	12.2	14.2	1.5		
0.063 - 0.090 mm	% van ds	13.9	8.2	0.9		
< 0.063 mm	% van ds	51.5	23.0	8.2		



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5356-4

Betreffende: Grondwatermonsters

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Tungalroy

Omschrijving monsters:

I : peilbuis 61 (2-4 m-mv)

II : peilbuis 62 (2-4 m-mv)

III : peilbuis 64 (2-4 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: dec. 1986

Datum onderzoek : dec. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.4	6.1	6.5		
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	528	257	743		
Chloride	mg/l Cl	4	11	34		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	0.4	1.0	0.6		
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	660	270	50		

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5502-2

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op de grond-  
waterkwaliteit, Tungalroy

Omschrijving monsters:

I : peilbuis 71 (3- 4 m-mv)

II : peilbuis 71 (6- 7 m-mv)

III : peilbuis 71 (9-10 m-mv)

IV :

V :

Datum monsterneming: jan. 1987

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.5	6.4	6.4		
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	538	463	668		
Chloride	mg/l Cl	10	12	37		
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	0.5	0.3	0.3		
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	980	220	170		



# TAUW Infra Consult B.V.

## milieulaboratorium

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

Bijlage 8.3, blad 4

### A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5356-3

Betreffende: Assen

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Tungalroy

Omschrijving monsters:

I : 69

II : 70

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: nov. 1986

Datum onderzoek : dec. 1986

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult

---

#### Analyse

#### Eenheid

#### I

#### II

#### III

#### IV

#### V

---

#### KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES

Droge stof

%

87.6

91.2

#### ZWARE METALEN

Cadmium (Cd)

mg/kg ds

2.3

6.5

Zink (Zn)

mg/kg ds

6050

35000



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7198-3

Betreffende: SCHUDWATER

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Tungelroy

CASCADE-EXPERIMENTEN

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 69 batch 1

II : 69 batch 2

III : 69 batch 3

IV : 69 batch 4

V : 69 batch 5

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.9	7.2	6.8	7.1	7.2
Geleidbaarheid	µS/cm	105	51	37	35	33.2
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	0.6	0.2	0.8	0.3	0.4
Zink (Zn)	µg/l	650	400	510	700	1050

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 7198-4

Betreffende: SCHUDWATER

Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Tungalroy

CASCADE-EXPERIMENTEN

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Omschrijving monsters:

I : 70 batch 1

II : 70 batch 2

III : 70 batch 3

IV : 70 batch 4

V : 70 batch 5

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.1	6.6	6.8	6.1	6.9
Geleidbaarheid	µS/cm	178	63	45	43	33
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	10	2.9	2.5	2.2	2.0
Zink (Zn)	µg/l			8600	7600	6400
Zink (Zn)	mg/l	24	10			

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5567-1

Betreffende: Assen;

Effekten van assenwegen op grond-  
waterkwaliteit, Tungelroy

Omschrijving monsters:

I : 70

II :

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: jan. 1987

Datum onderzoek : jan. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Droge stof	%	91.0				
Cadmium (Cd)	mg/kg ds	23				
Chroom (Cr)	mg/kg ds	73				
Koper (Cu)	mg/kg ds	5200				
Kwik (Hg)	mg/kg ds	0.1				
Nikkel (Ni)	mg/kg ds	465				
Lood (Pb)	mg/kg ds	9500				
Zink (Zn)	g/kg ds	30				
Arseen (As)	mg/kg ds	780				
Kalium (K)	mg/kg ds	390				
Calcium (Ca)	mg/kg ds	5600				
Magnesium (Mg)	mg/kg ds	590				
Cobalt (Co)	mg/kg ds	57				
Antimoon (Sb)	mg/kg ds	295				
Mangaan (Mn)	mg/kg ds	2250				
Aluminium (Al)	mg/kg ds	3600				
Titaan (Ti)	mg/kg ds	185				
Barium (Ba)	mg/kg ds	360				
IJzer (Fe)	g/kg ds	95				
Silicium (Si)	mg/kg ds	7200				

\* Bevat eveneens Ru, Ir, Er, Gd, Lu en P.

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijnstnr: 5550-1

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op de  
grondwaterkwaliteit, Tungelroy  
Kolom experiment

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming:

I : 70 L/S 28

II : 70 L/S 56

III : 70 L/S 84

Datum onderzoek : dec. 1986 t/m apr. 1987

IV : 70 L/S 112

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

V : 70 L/S 140

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	7	3.3	2.2	3.6	3.7
Chroom (Cr)	µg/l	20				
Koper (Cu)	µg/l	125				
Kwik (Hg)	µg/l	0.4				
Nikkel (Ni)	µg/l	1250	380	260	215	165
Lood (Pb)	µg/l	48				
Zink (Zn)	mg/l	42	21	9.7	8.8	9.6
Arseen (As)	µg/l	3.8				
Kalium (K)	mg/l	11				
Calcium (Ca)	mg/l	14				
Magnesium (Mg)	µg/l	1800				
Cobalt (Co)	µg/l	250				
Mangaan (Mn)	µg/l	4200				
Aluminium (Al)	µg/l	75				
Barium (Ba)	µg/l	140				
Strontium (Sr)	µg/l	45				
IJzer (Fe)	µg/l	18				
Silicium (Si)	µg/l	710				
Zwavel (S)	mg/l	20				



A N A L Y S E R E S U L T A T E N

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5550-2

Betreffende: PERCOLAAT

Effekten van assenwegen op de  
grondwaterkwaliteit, Tengelroy  
Kolom experiment

Omschrijving monsters:

I : 70 L/S 196

II :

III :

IV :

V :

Datum monsterneming:

Datum onderzoek : dec. 1986 t/m apr. 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
ZWARE METALEN						
Cadmium (Cd)	µg/l	2.3				
Zink (Zn)	µg/l	9.0				

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.

Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-9

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Tungalroy

## Omschrijving monsters:

I : minifilter 72 ( 2- 3 m-mv)

II : minifilter 72 ( 5- 6 m-mv)

III : minifilter 72 ( 8- 9 m-mv)

IV : minifilter 72 (11-12 m-mv)

V : minifilter 72 (15-16 m-mv)

Datum monsterneming: maart 1987

Datum onderzoek : maart 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.9	5.7	5.9	6.1	6.4
Geleidbaarheid	µS/cm	685	780	540	550	710
Chloride	mg/l Cl	19	170	35	41	71
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	0.3	1.1	2.2	2.0	1.0
Nikkel (Ni)	µg/l	8	30	56	57	57
Zink (Zn)	µg/l	10	130	920	620	30
Cobalt (Co)	µg/l	5	20	22	26	27

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-10

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Tungelroy

## Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

I : minifilter 72 (19-20 m-mv)  
II : minifilter 73 ( 2- 3 m-mv)  
III : minifilter 73 ( 5- 6 m-mv)  
IV : minifilter 73 ( 8- 9 m-mv)  
V : minifilter 73 (11-12 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		5.9	2.5	5.7	6.0	6.0
Geleidbaarheid	$\mu\text{S}/\text{cm}$	444	1900	710	530	545
Chloride	$\text{mg}/\text{l Cl}$	52	71	52	46	39
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g}/\text{l}$	0.9	1.4	2.0	4.5	2.8
Nikkel (Ni)	$\mu\text{g}/\text{l}$	120	20	30	49	52
Zink (Zn)	$\mu\text{g}/\text{l}$	210	160	90	770	410
Cobalt (Co)	$\mu\text{g}/\text{l}$	69	13	18	22	22

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5642-11

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op grondwater-  
kwaliteit, Tungelroy

## Omschrijving monsters:

I : minifilter 73 (15-16 m-mv)

II : minifilter 73 (19-20 m-mv)

III :

IV :

V :

Datum monsterneming: maart 1987

Datum onderzoek : maart 1987

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.3	5.8			
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	720	437			
Chloride	mg/l Cl	69	55			
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	22	1.1			
Nikkel (Ni)	$\mu\text{g/l}$	50	140			
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	20	230			
Cobalt (Co)	$\mu\text{g/l}$	20	87			



**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5756-1

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op de  
grondwaterkwaliteit

Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987

I : peilbuis 101 (1,0-3,0 m-mv)

Datum onderzoek : maart 1987

II : peilbuis 102 (1,0-3,0 m-mv)

Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

III : peilbuis 103 (0,9-2,9 m-mv)

IV : peilbuis 104 (1,3-3,3 m-mv)

V : peilbuis 105 (0,9-2,9 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		6.1	5.2	4.5	5.0	4.0
Geleidbaarheid	µS/cm	370	380	200	320	280
Chloride	mg/l Cl	15	24	27	44	20
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	µg/l	1.0	1.9	16	150	16
Zink (Zn)	µg/l	2450	2050			2750
Zink (Zn)	mg/l			25	68	

**milieulaboratorium**

Deventer, Handelskade 11, telefoon (05700) 99760, fax 99761, telex 49545.  
Korrespondentieadres, Postbus 479, 7400 AL Deventer.

**A N A L Y S E R E S U L T A T E N**

Projektnummer : 51584.08

Analyselijstnr: 5756-2

Betreffende: grondwatermonsters  
Effekten van assenwegen op de  
grondwaterkwaliteit

## Omschrijving monsters:

Datum monsterneming: maart 1987  
Datum onderzoek : maart 1987  
Bemonsterd door : TAUW Infra Consult B.V.

I : peilbuis 106 (1,1-3,1 m-mv)  
II : peilbuis 107 (0,9-2,9 m-mv)  
III : peilbuis 108 (1,4-3,4 m-mv)  
IV : peilbuis 109 (0,7-2,7 m-mv)  
V : peilbuis 110 (1,0-3,0 m-mv)

Analyse	Eenheid	I	II	III	IV	V
<b>KLASSIEK CHEMISCHE ANALYSES</b>						
pH		4.0	5.3	5.8	3.4	4.1
Geleidbaarheid	$\mu\text{S/cm}$	80	160	200	70	120
Chloride	mg/l Cl	6	24	29	6	6
<b>ZWARE METALEN</b>						
Cadmium (Cd)	$\mu\text{g/l}$	5.5	0.7	0.1	15	16
Zink (Zn)	$\mu\text{g/l}$	4800	5200	2750	3800	3600

**TOETSINGSTABEL voor de beoordeling van de concentratieniveaus van diverse verontreinigingen in de bodem.\***

Indicatieve richtwaarden: A – referentiewaarde

B – toetsingswaarde t.b.v. (nader) onderzoek

C – toetsingswaarde t.b.v. sanering(-sonderzoek)

Voorkomen in: Component/niveau	Grond (mg/kg droge stof)			Grondwater ( $\mu\text{g/l}$ )		
	A**	B	C	A**	B	C
<i>I. Metalen</i>						
Cr	100	250	800	20	50	200
Co	20	50	300	20	50	200
Ni	50	100	500	20	50	200
Cu	50	100	500	20	50	200
Zn	200	500	3000	50	200	800
As	20	30	50	10	30	100
Mo	10	40	200	5	20	100
Cd	1	5	20	1	2,5	10
Sn	20	50	300	10	30	150
Ba	200	400	2000	50	100	500
Hg	0,5	2	10	0,2	0,5	2
Pb	50	150	600	20	50	200
<i>II. Anorganische verontreinigingen</i>						
NH <sub>4</sub> (als N)	–	–	–	200	1000	3000
F (totaal)	200	400	2000	300	1200	4000
CN (totaal-vrij)	1	10	100	5	30	100
CN (totaal-complex)	5	50	500	10	50	200
S (totaal)	2	20	200	10	100	300
Br (totaal)	20	50	300	100	500	2000
PO <sub>4</sub> (als P)	–	–	–	50	200	700
<i>III. Aromatische verbindingen</i>						
benzeen	0,01	0,5	5	0,2	1	5
ethylbenzeen	0,05	5	50	0,5	20	60
tolueen	0,05	3	30	0,5	15	50
xylenen	0,05	5	50	0,5	20	60
fenolen	0,02	1	10	0,5	15	50
aromaten (totaal)	0,1	7	70	1	30	100
<i>IV. Polycyclische koolwaterstoffen</i>						
naftaleen	0,1	5	50	0,2	7	30
anthraceen	0,1	10	100	0,1	2	10
fenanthreen	0,1	10	100	0,1	2	10
fluorantheen	0,1	10	100	0,02	1	5
pyreen	0,1	10	100	0,02	1	5
benzo(a)pyreen	0,05	1	10	0,01	0,2	1
pck's (totaal)	1	20	200	0,2	10	40
<i>V. Gechloreerde koolwaterstoffen</i>						
alifatische chloor-kwst (indiv.)	0,1	5	50	1	10	50
alifatische chloor-kwst (totaal)	0,1	7	70	1	15	70
chloorbenzenen (indiv.)	0,05	1	10	0,02	0,5	2
chloorbenzenen (totaal)	0,05	2	20	0,02	1	5
chloorfenolen (indiv.)	0,01	0,5	5	0,01	0,3	1,5
chloorfenolen (totaal)	0,01	1	10	0,01	0,5	2
chloorpck's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
PCB's (totaal)	0,05	1	10	0,01	0,2	1
EOCI (totaal)	0,1	8	80	1	15	70
<i>VI. Bestrijdingsmiddelen</i>						
org. chloor- (indiv.)	0,1	0,5	5	0,05	0,2	1
org. chloor- (totaal)	0,1	1	10	0,1	0,5	2
pesticiden (totaal)	0,1	2	20	0,1	1	5
<i>VII. Overige verontreinigingen</i>						
tetrahydrofuran	0,1	4	40	0,5	20	60
pyridine	0,1	2	20	0,5	10	30
tetrahydrothiofeen	0,1	5	50	0,5	20	60
cyclohexanon	0,1	6	60	0,5	15	50
styreen	0,1	5	50	0,5	20	60
benzine	20	100	800	10	40	150
minerale olie	100	1000	5000	20	200	600

\* De concentraties dienen te worden beschouwd in samenhang met het gebruik van de bodem en de lokale verontreinigingssituatie.

\*\* Zie opmerkingen in bijgaande tekst.



## Bijlage 10

Evenwichtsgehalten in het grondwater berekend volgens Freundlich

Het verdelingsevenwicht van cadmium over grond en grondwater kan geschreven worden volgens de Freundlich adsorptie-isotherm.

$$C_g = k C_w^{1/n}$$

waarin:

$C_g$  = de concentratie in de grond (in  $\mu\text{g/g}$ )

$C_w$  = de concentratie in het grondwater (in  $\mu\text{g/l}$ )

$k$  = verdelings evenwichtsconstante ( $\text{dm}^3/\text{g}$ )

$n$  = constante specifiek voor de grond het grondwater en het milieu (dimensieloos).

Met behulp van de regressie vergelijking

$$k = 0,0528 * 10^{0,2598 * \text{pH}}$$

is de  $k$  geschat. (Chardon 1984)

Voor  $1/n$  is 0,8 aangehouden (Chardon 1984).

In onderstaande tabel zijn de  $k$ -waarden met oplopende pH gegeven alsmede de cadmiumconcentratie in het grondwater bij een achtergrondconcentratie in de bodem van respectievelijk 1  $\mu\text{g/g}$ , 2,5  $\mu\text{g/g}$ , 5  $\mu\text{g/g}$  en 10  $\mu\text{g/g}$ .

Tabel Achtergrondconcentraties in het grondwater

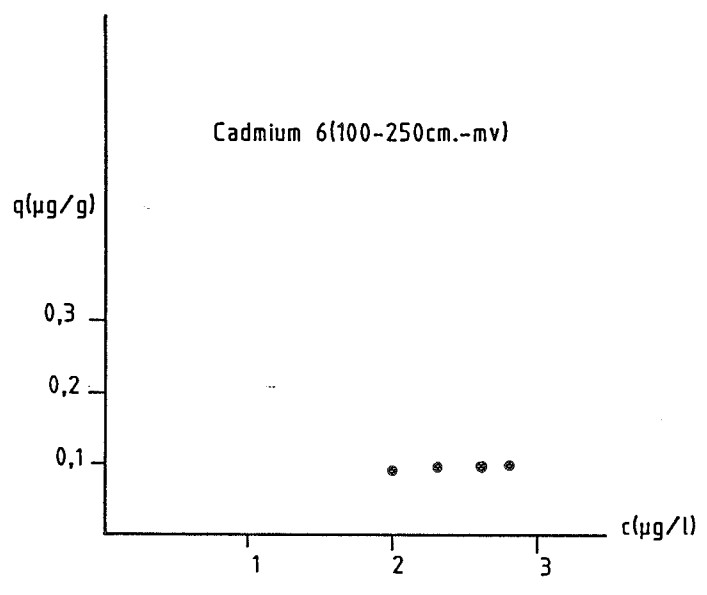
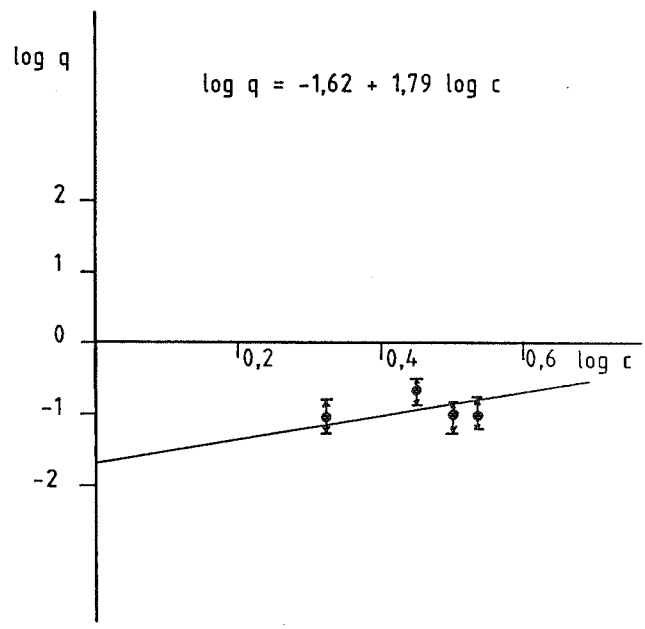
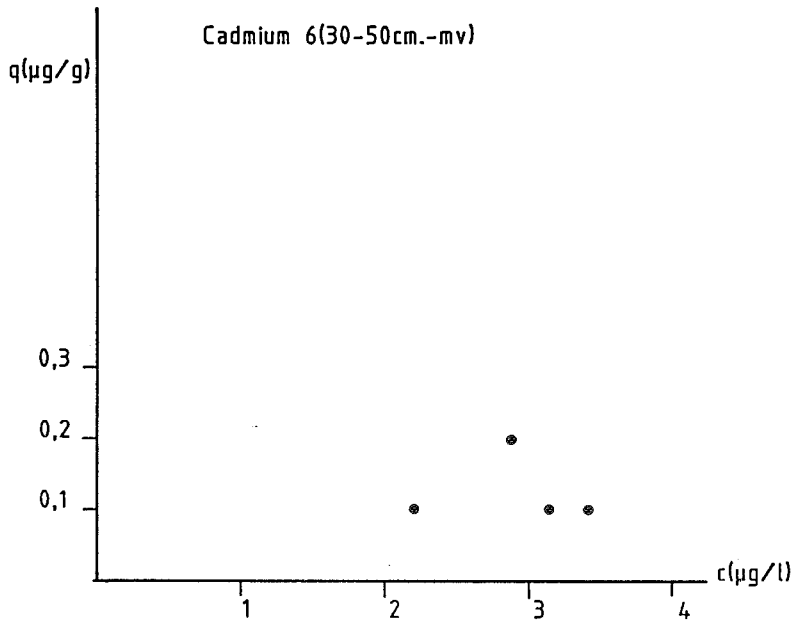
pH	k $\text{dm}^3/\text{g}$	procentuele fout in k	Cwater ( $\mu\text{g/l}$ ) bij:			
			Cgrond = 1 $\mu\text{g/g}$	Cgrond = 2,5 $\mu\text{g/g}$	Cgrond = 5 $\mu\text{g/g}$	Cgrond = 10 $\mu\text{g/g}$
4,0	0,25	240%	6	18	42	101
4,3	0,36	165%	4	11	27	64
4,5	0,45	130%	3	9	20	48
4,7	0,55	109%	2	7	16	38
5,0	0,72	83%	2	5	11	27
5,2	0,86	70%	1	4	9	21
5,4	1,01	60%	1	3	7	18
6,0	1,58	38%	0,6	2	4	10
6,3	1,96	31%	0,4	1	3	8
6,8	2,76	21%	0,3	0,9	2	5
7,1	3,36	18%	0,2	0,7	2	4

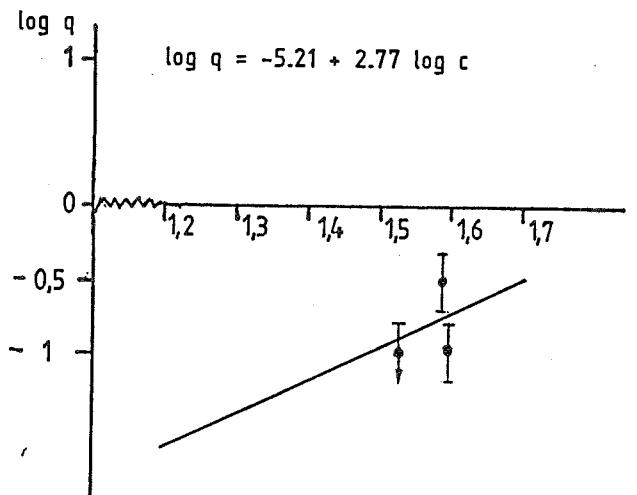
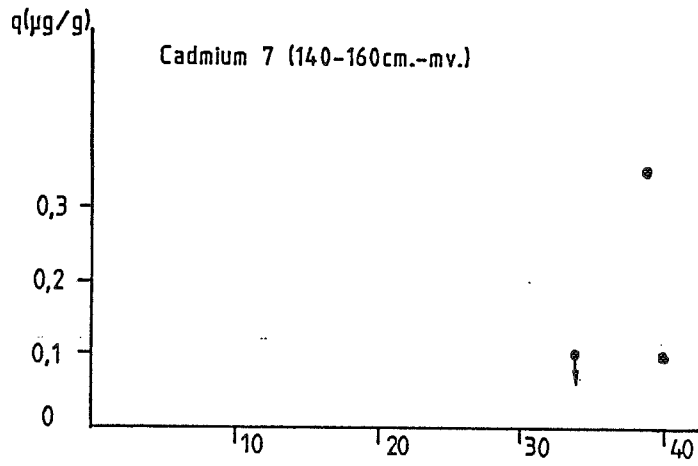


Bijlage 10 blad 2

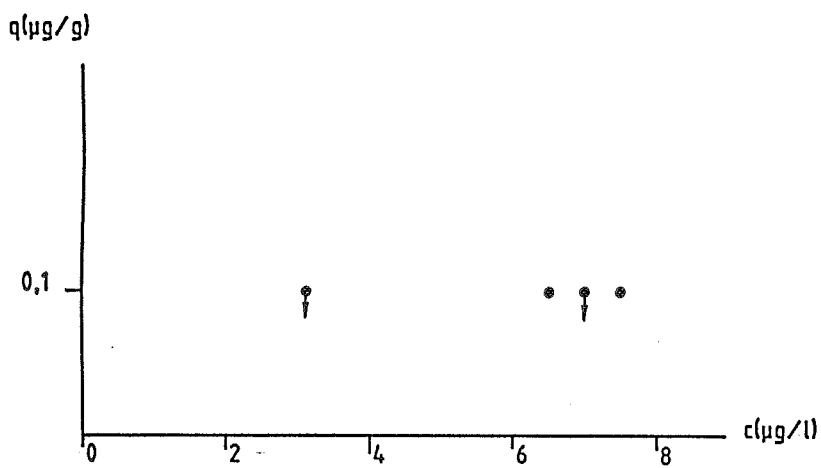
Literatuur

Chardon W.J. "Mobiliteit van cadmium in de bodem" Bodembeschermingsreeks nr. 36, Staatsuitgeverij, Den Haag.

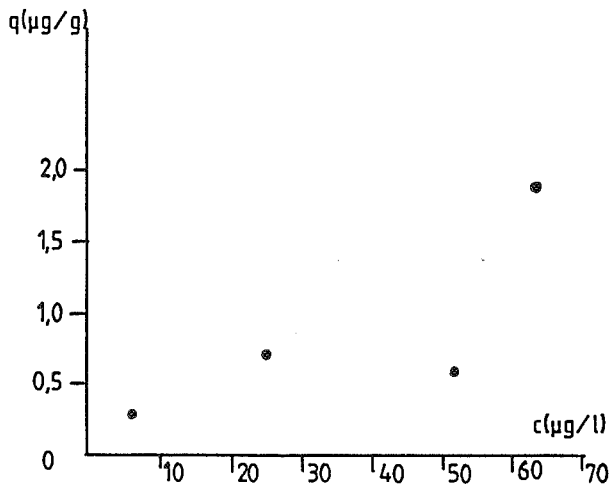




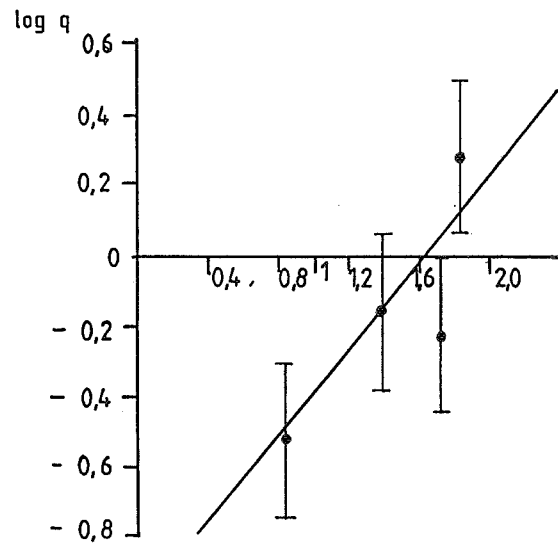
Cadmium 44 (200-300)



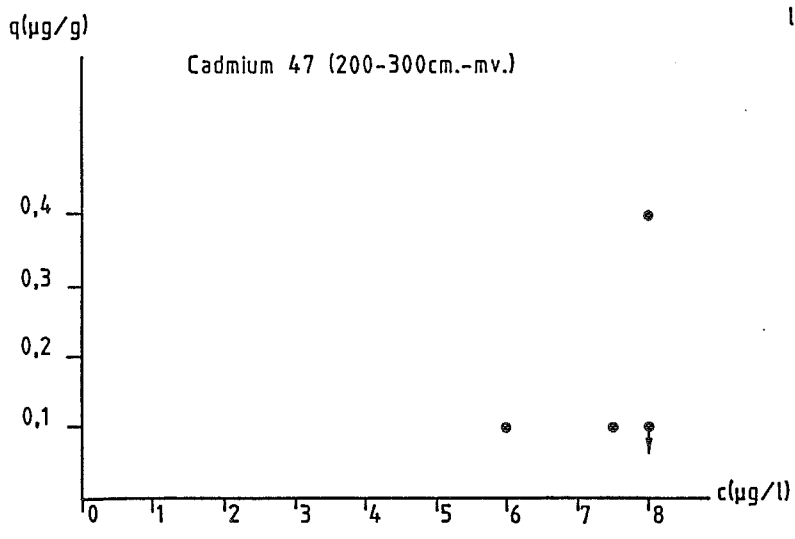
Cadmium 46 (250-300cm.-mv.)



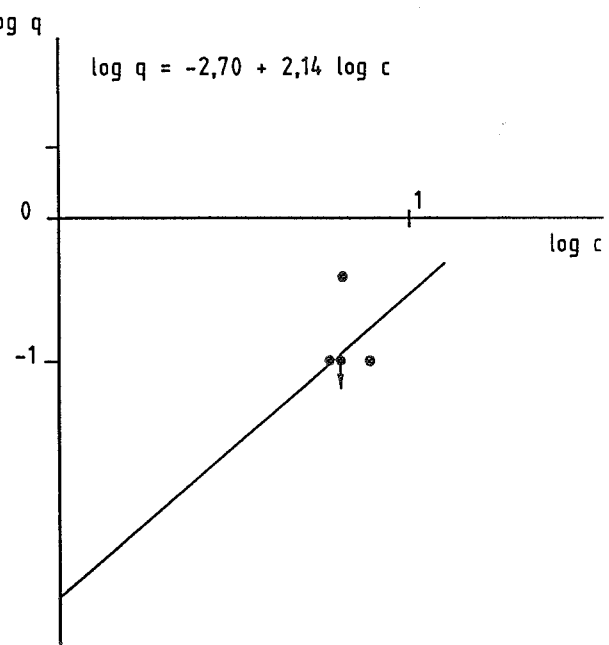
$$\log q = -1,01 + 0,62 \log c$$



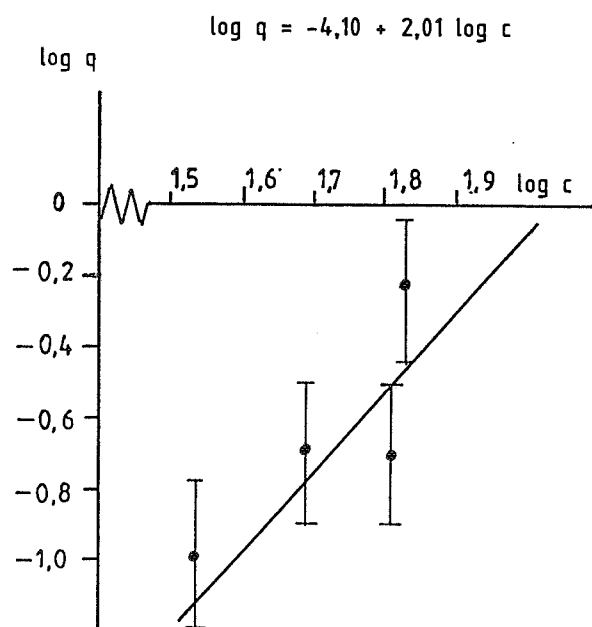
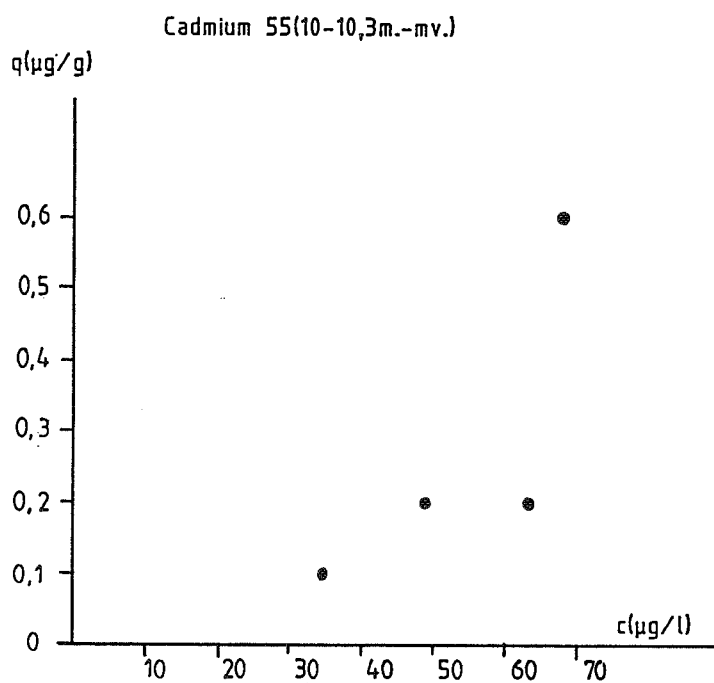
Cadmium 47 (200-300cm.-mv.)

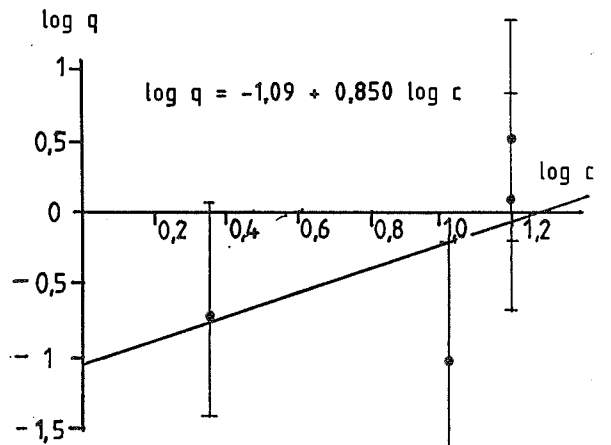
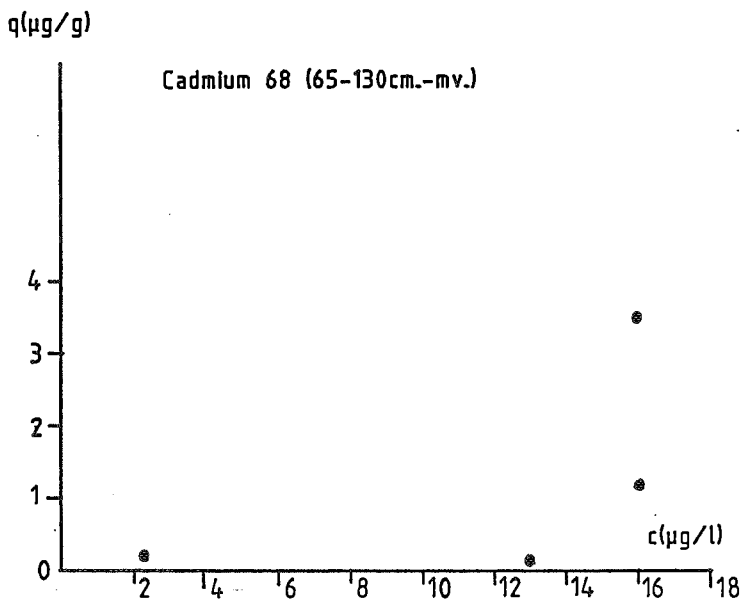
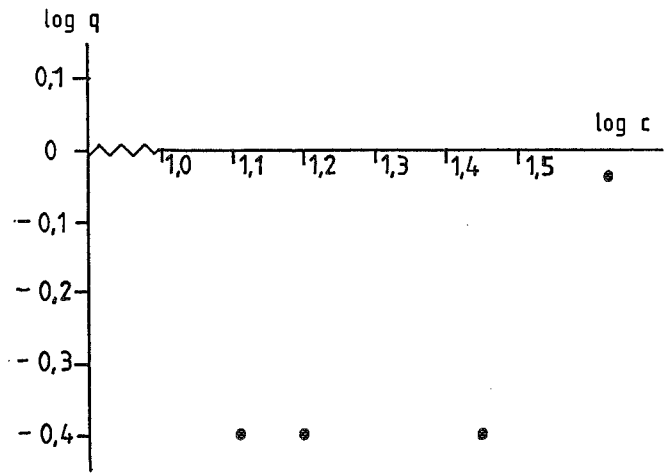
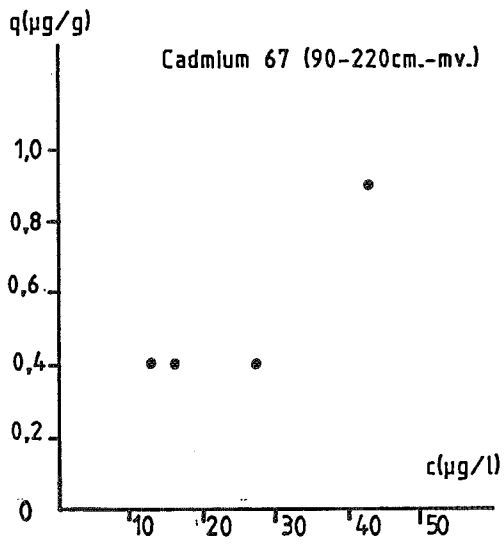


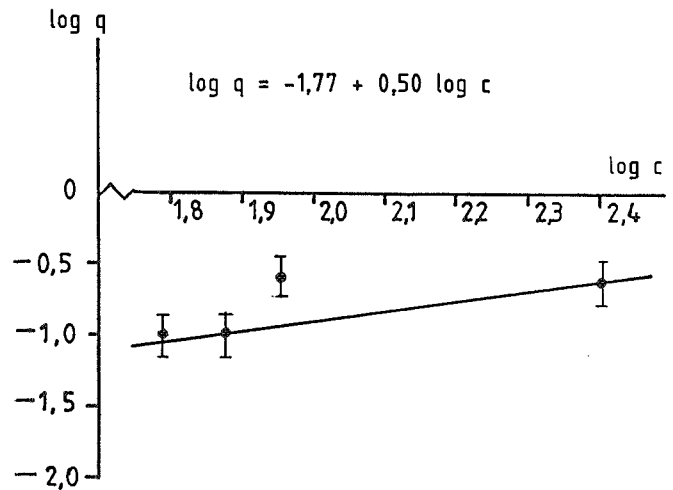
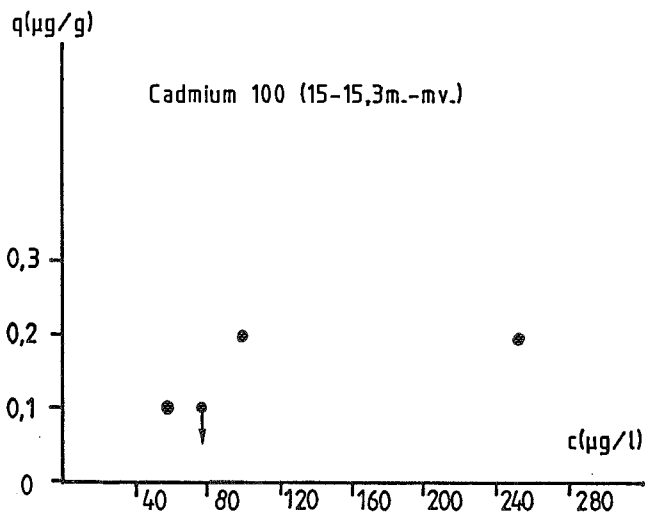
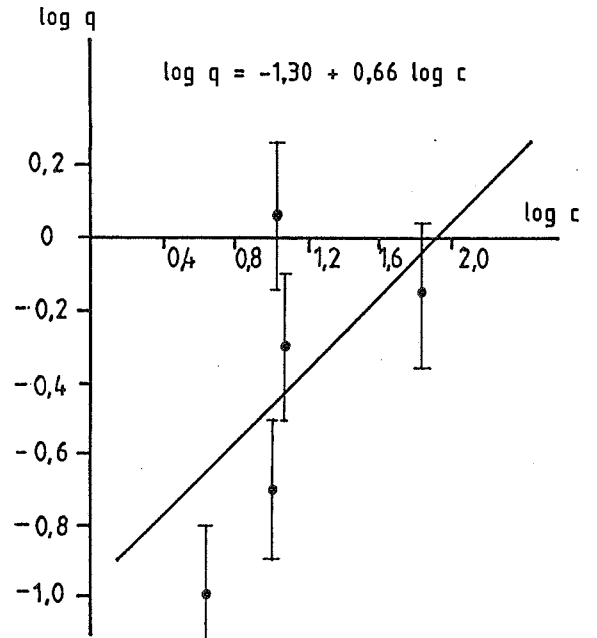
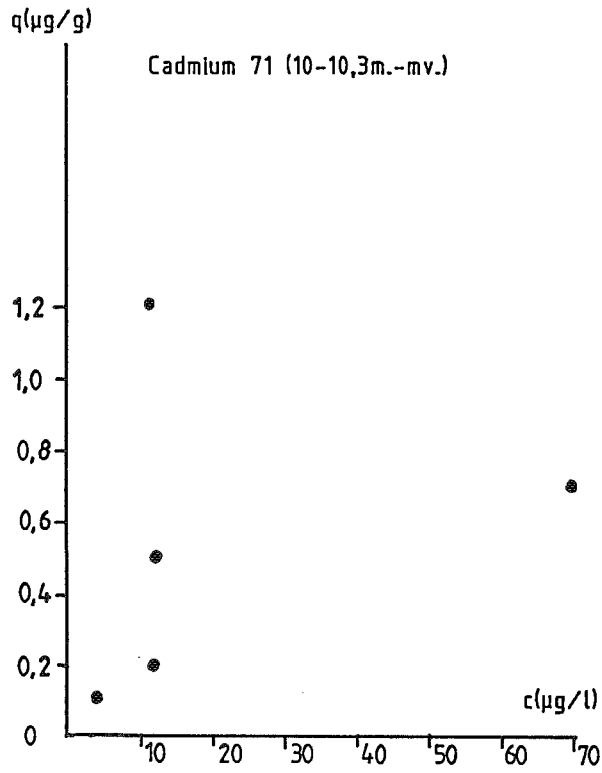
$$\log q = -2,70 + 2,14 \log c$$

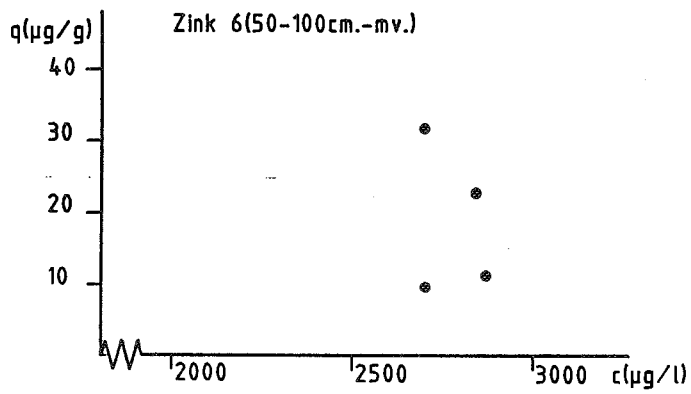
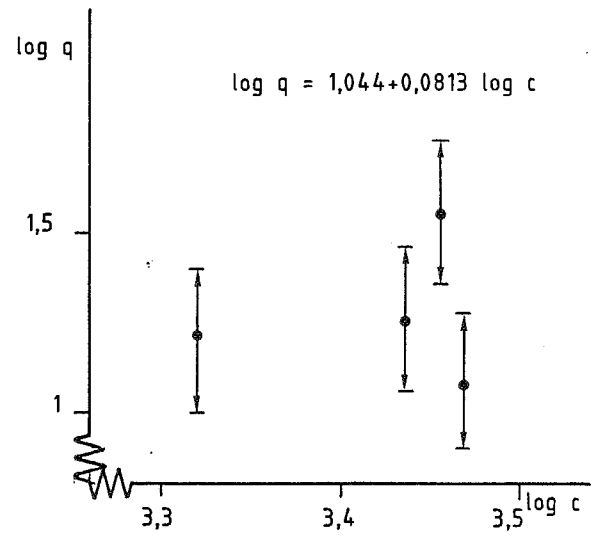
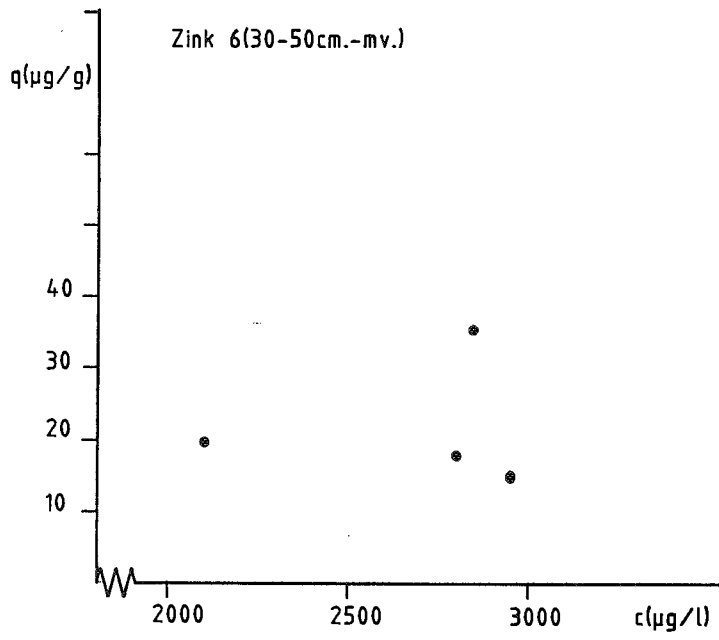


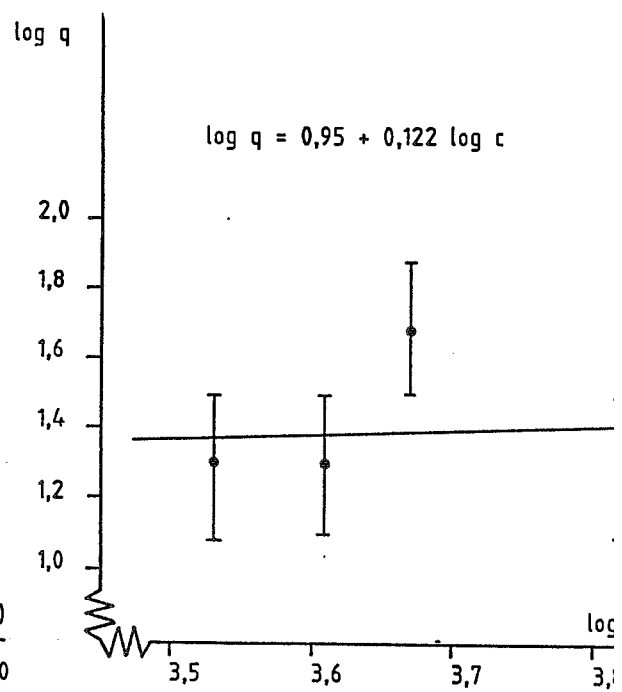
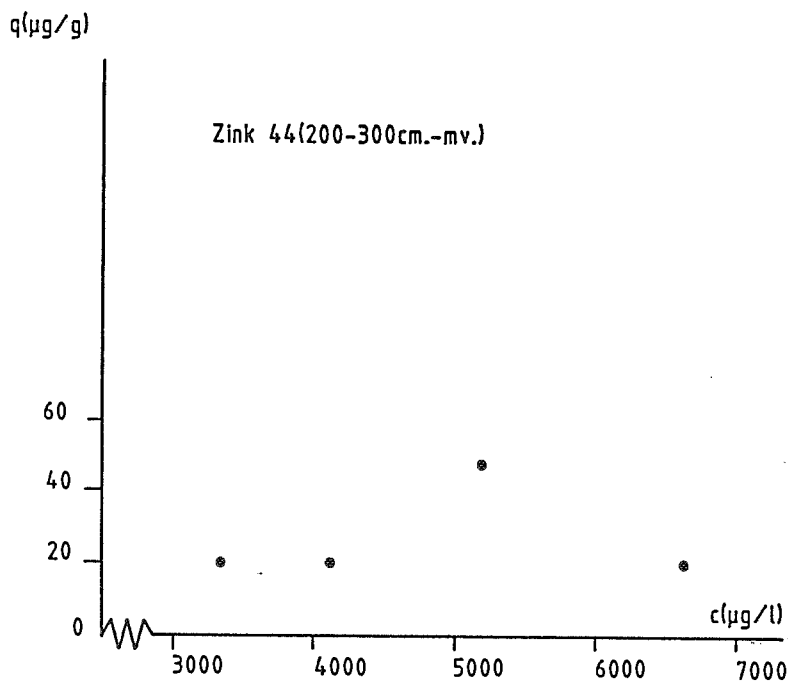
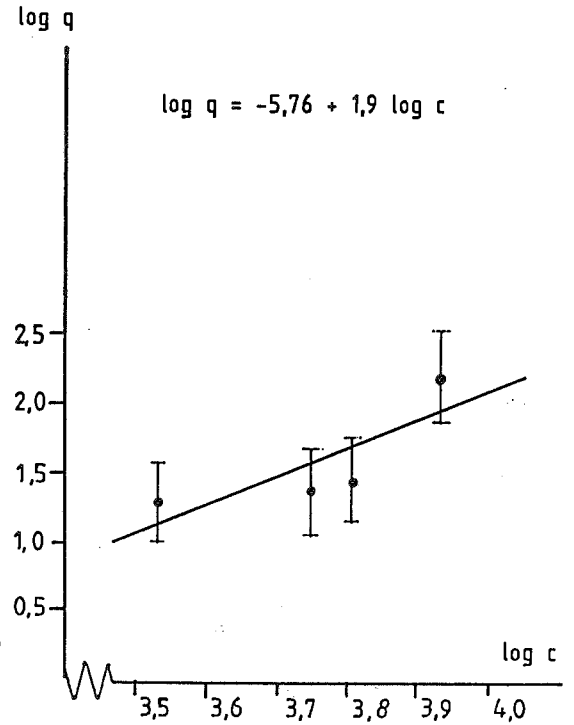
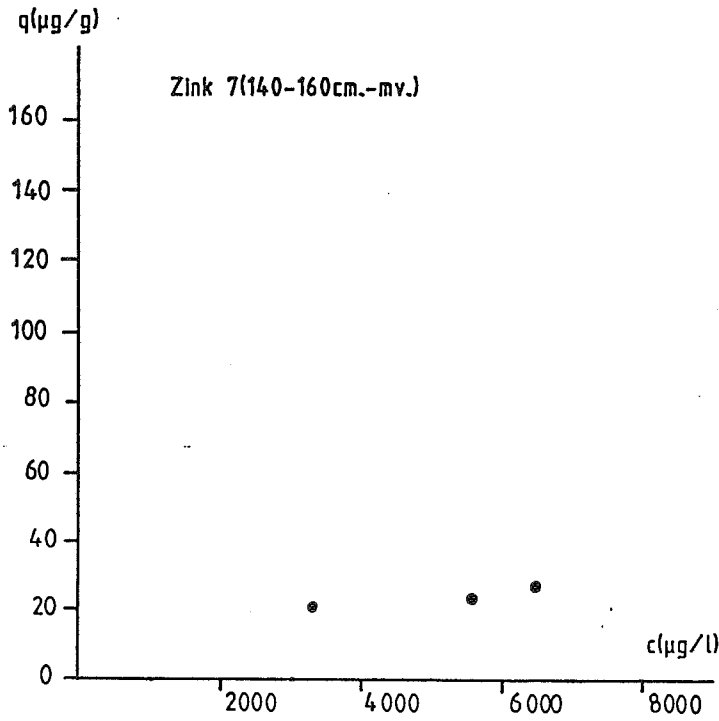


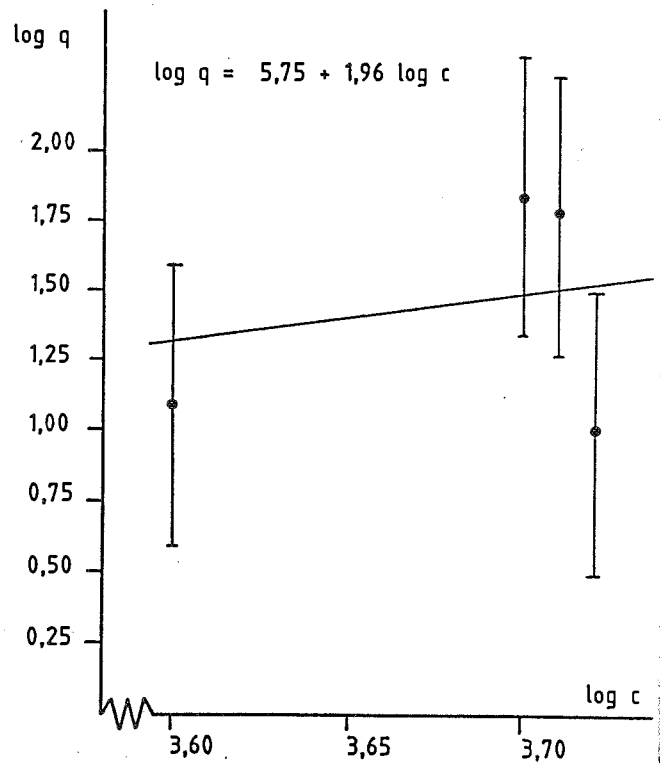
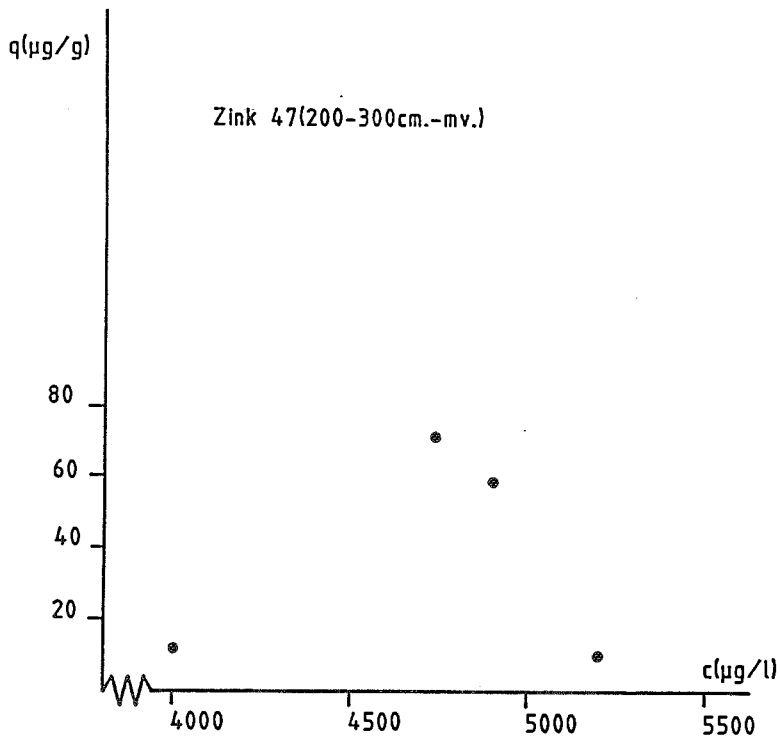
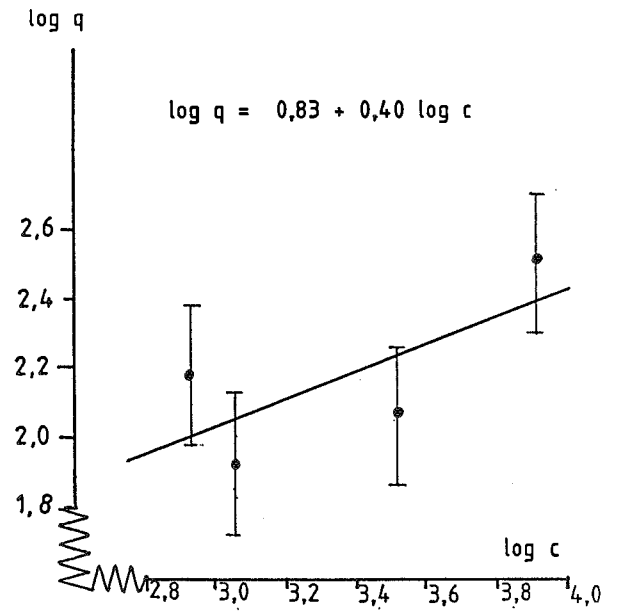
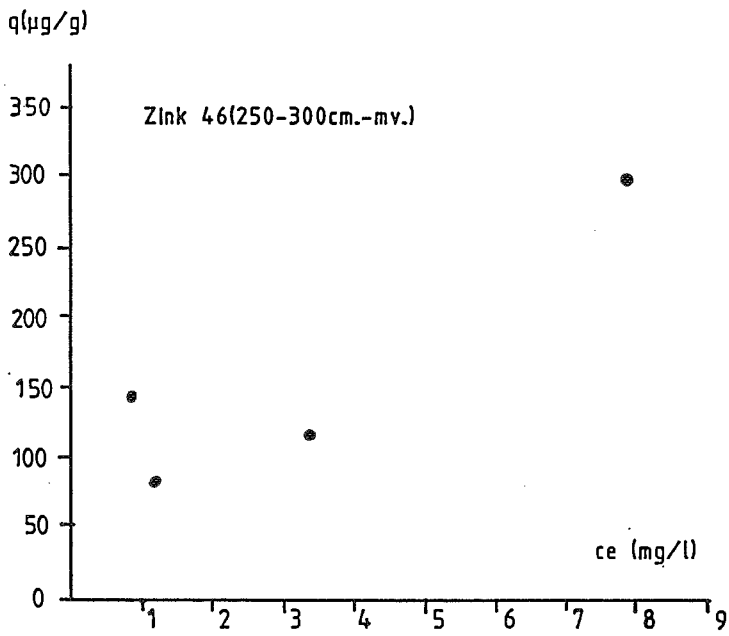


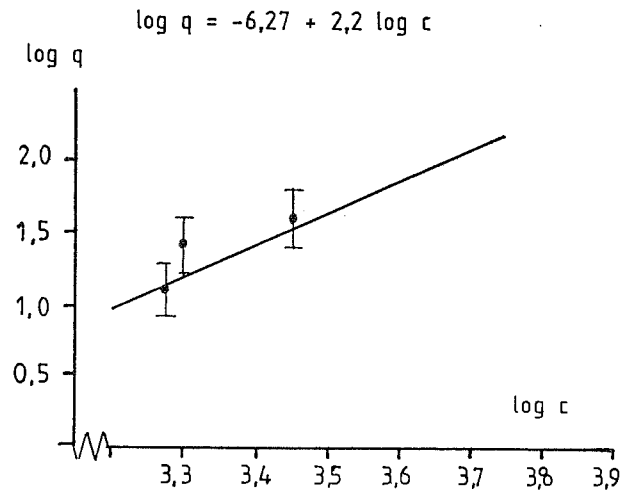
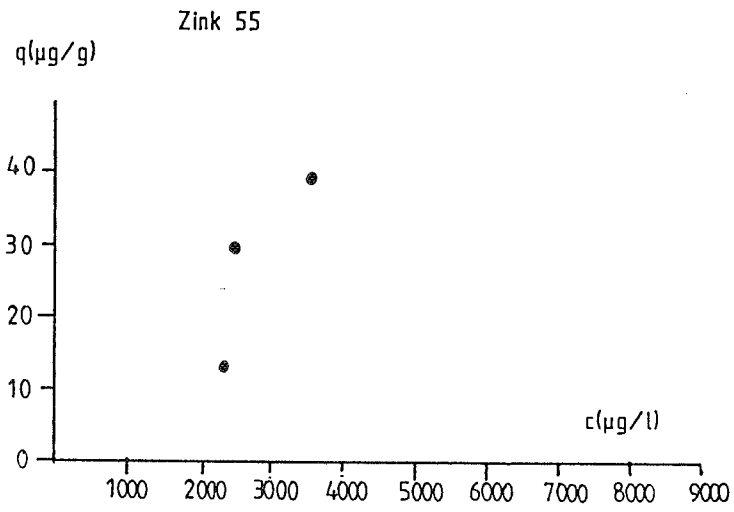




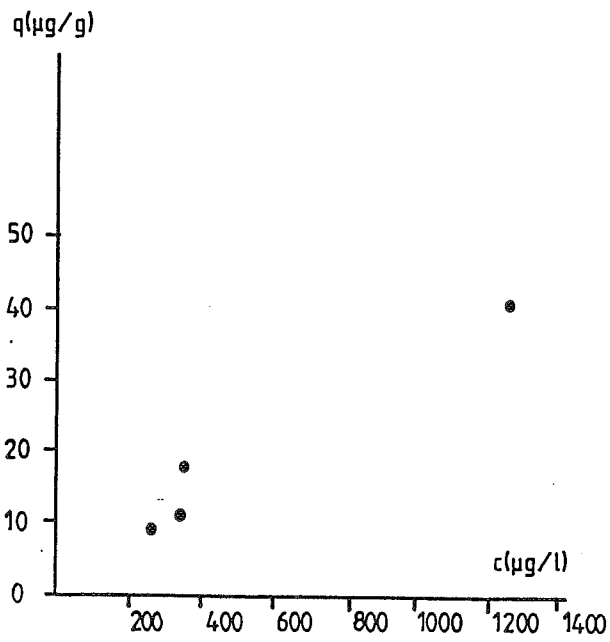




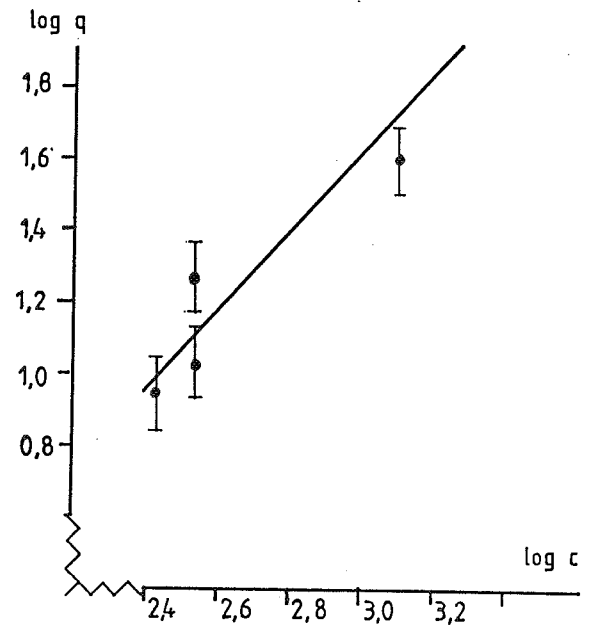




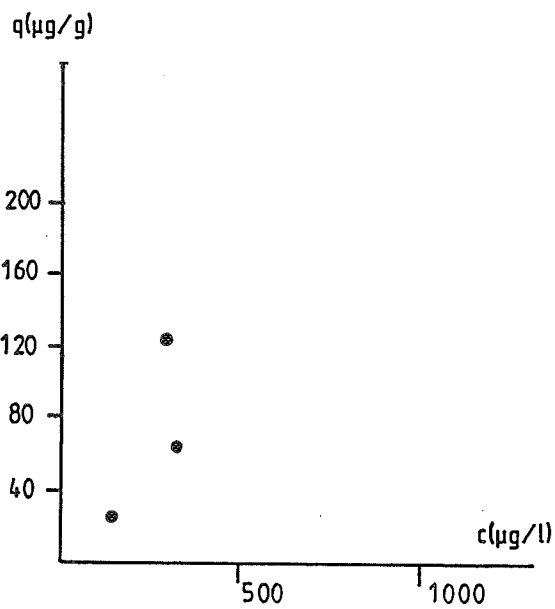
Zink 67(90-220cm.-mv.)



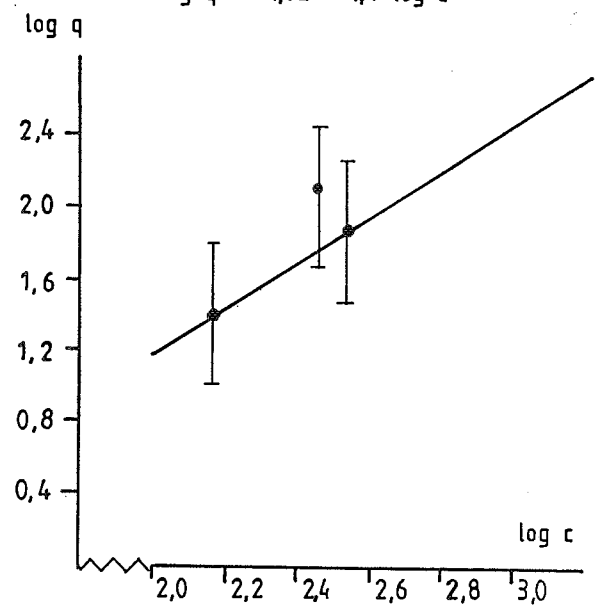
$$\log q = -1,20 + 0,91 \log c$$



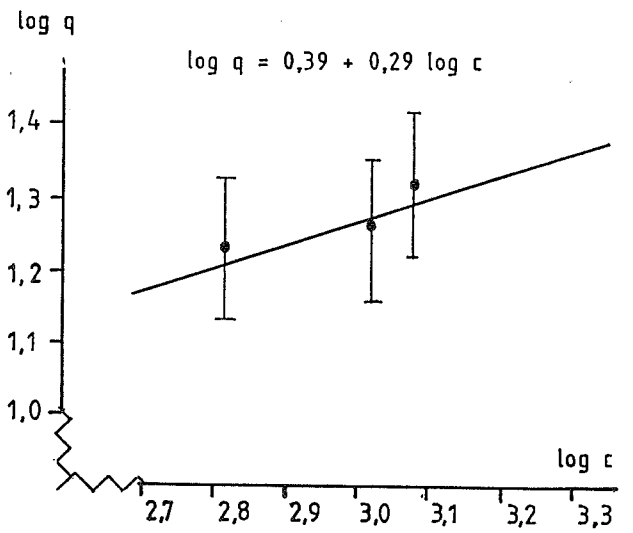
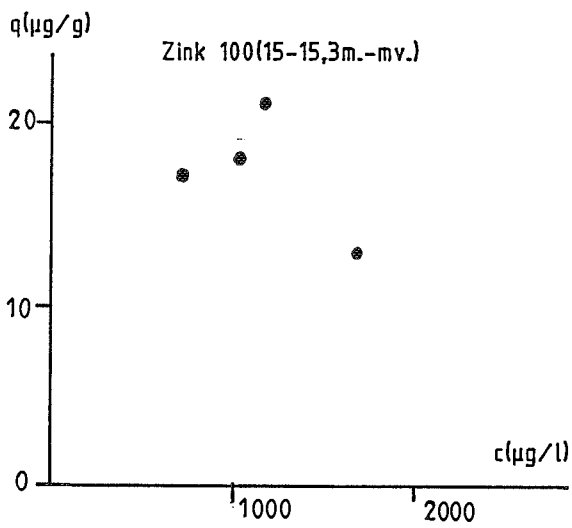
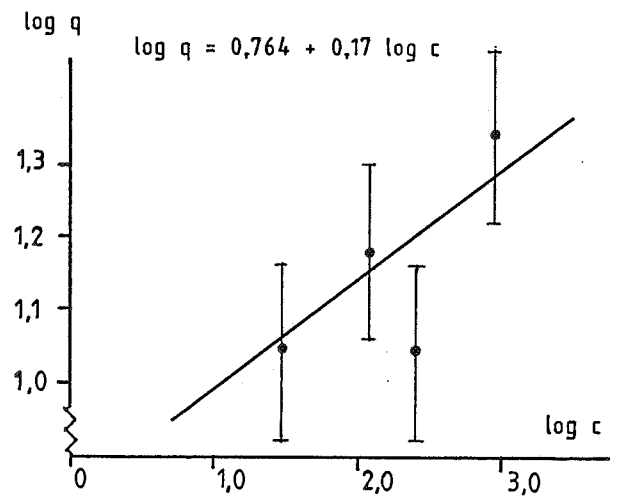
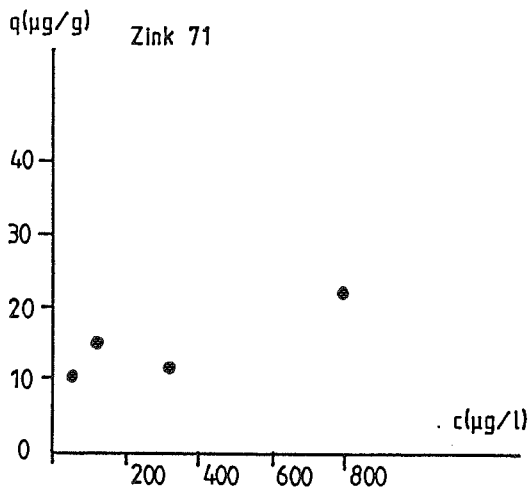
Zink 68(65-130cm.-mv.)

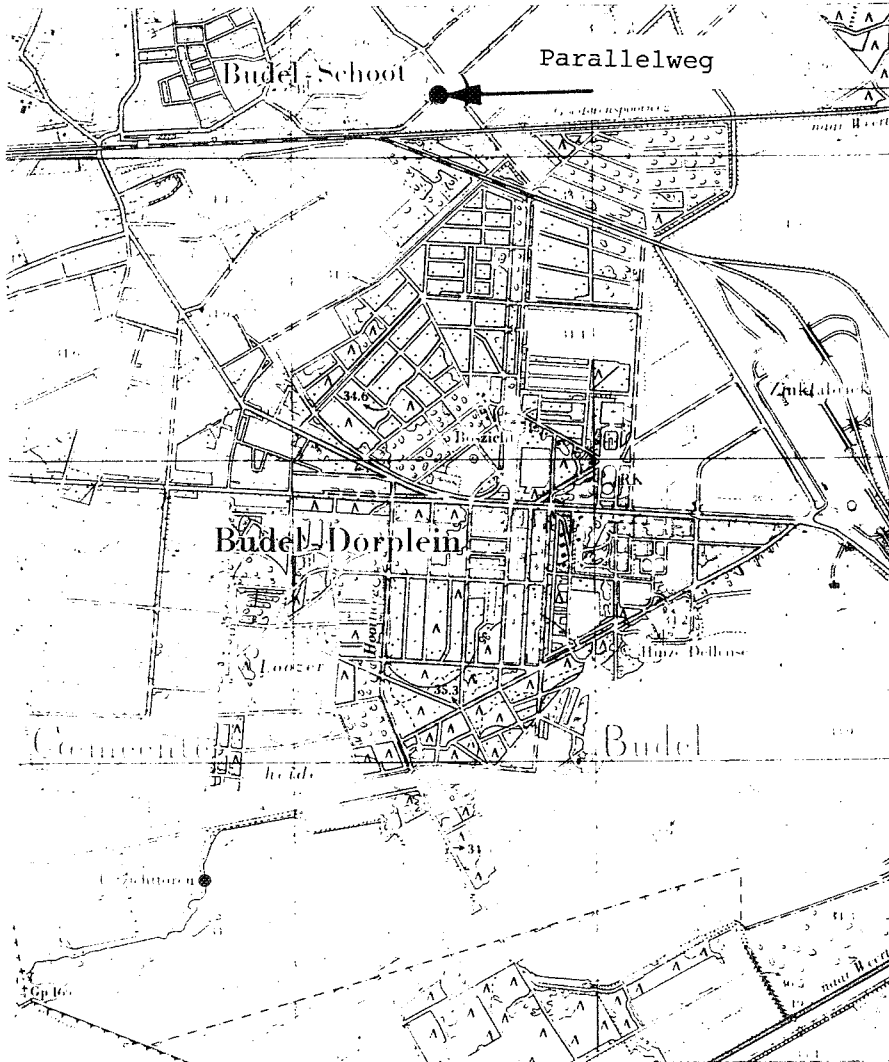


$$\log q = -1,62 + 1,4 \log c$$

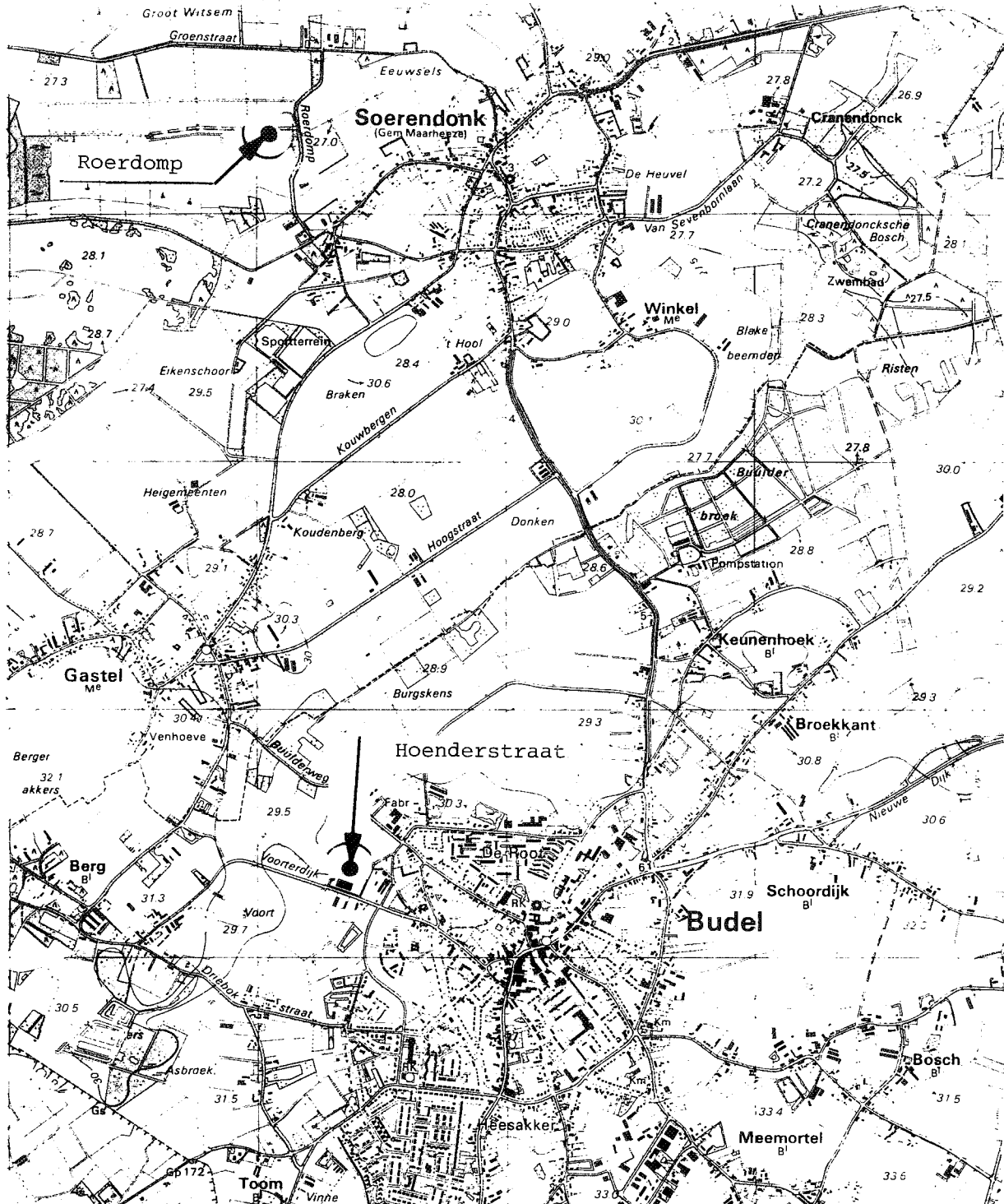




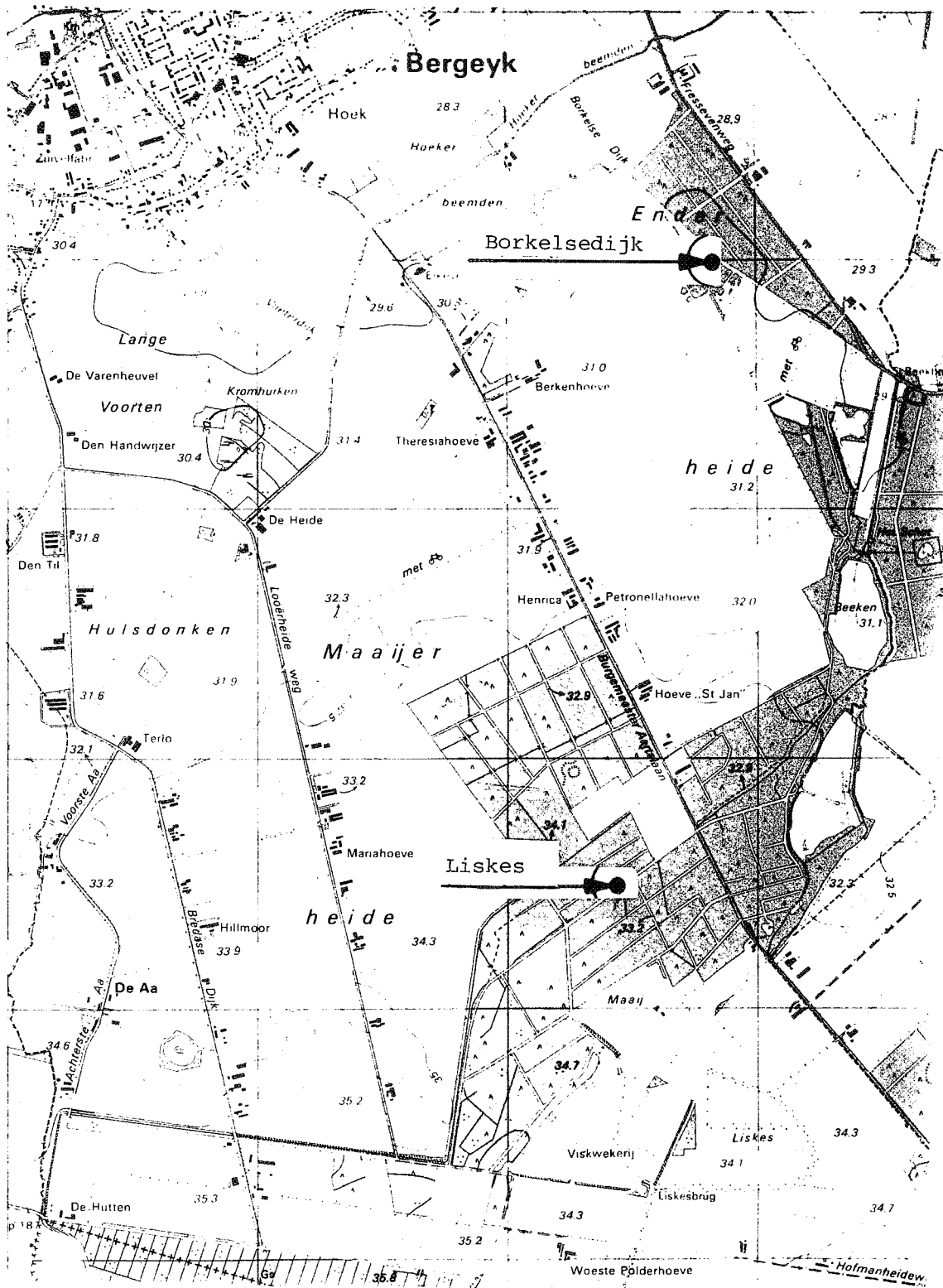




Topografische kaart van Nederland, blad 57 G  
schaal 1: 25.000



Topografische kaart van Nederland, blad 57 B  
schaal 1: 25.000



Topografische kaart van Nederland, blad 57 E  
schaal 1: 25.000

KELDERASSEN ANALYSES BUDELCO/KZM

Locatie	diepte	Zn %	Cd mg/kg	Pb %
Hal III	opp.	6,0	24	-
	opp.	5,8	24	0,47
	opp.	6,1	25	0,47
	- 10 cm.	6,1	22	0,44
	opp.	3,1	68	-
Klaarvijver 1-2	opp.	10,6	79	0,66
	opp.	9,5	69	0,48
	- 10 cm.	8,2	24	0,40
	- 10 cm.	8,9	27	0,53
	opp.	10,0	74	-
	- 10 cm.	8,6	25	-
Boszicht		2,4	25	-
"Hoort"		3,3	10	-
Kerkplein		2,0	24	-
Panweg Someren		2,6	21	-
Dorp. (ontgraven assen)		1,8	61	-
Boszicht		2,4	30	-
		2,4	30	-
Stevensstr.		3,3	10	-
		3,2	10	-
Kerkplein		2,1	20	-
		2,0	20	-
Panweg		2,6	20	-
		2,6	20	-
Dorp.		1,8	60	-
		1,8	60	-
Hal III		3,1	70	-
		3,1	70	-



## Bijlage 13, blad 2

## Assen terrein bij Haven Zn (tot) Zn (water oplosbaar) %

aan opp.	3,9	0,04	
- 25 cm	1,9	0,13	
- 75 cm	1,7	0,09	eenmalige
- 100 cm	2,7	0,19	wassing
- 125 cm	2,0	0,11	
- 150 cm	1,9	0,06	

## Naast Roosting Zn % Mn %

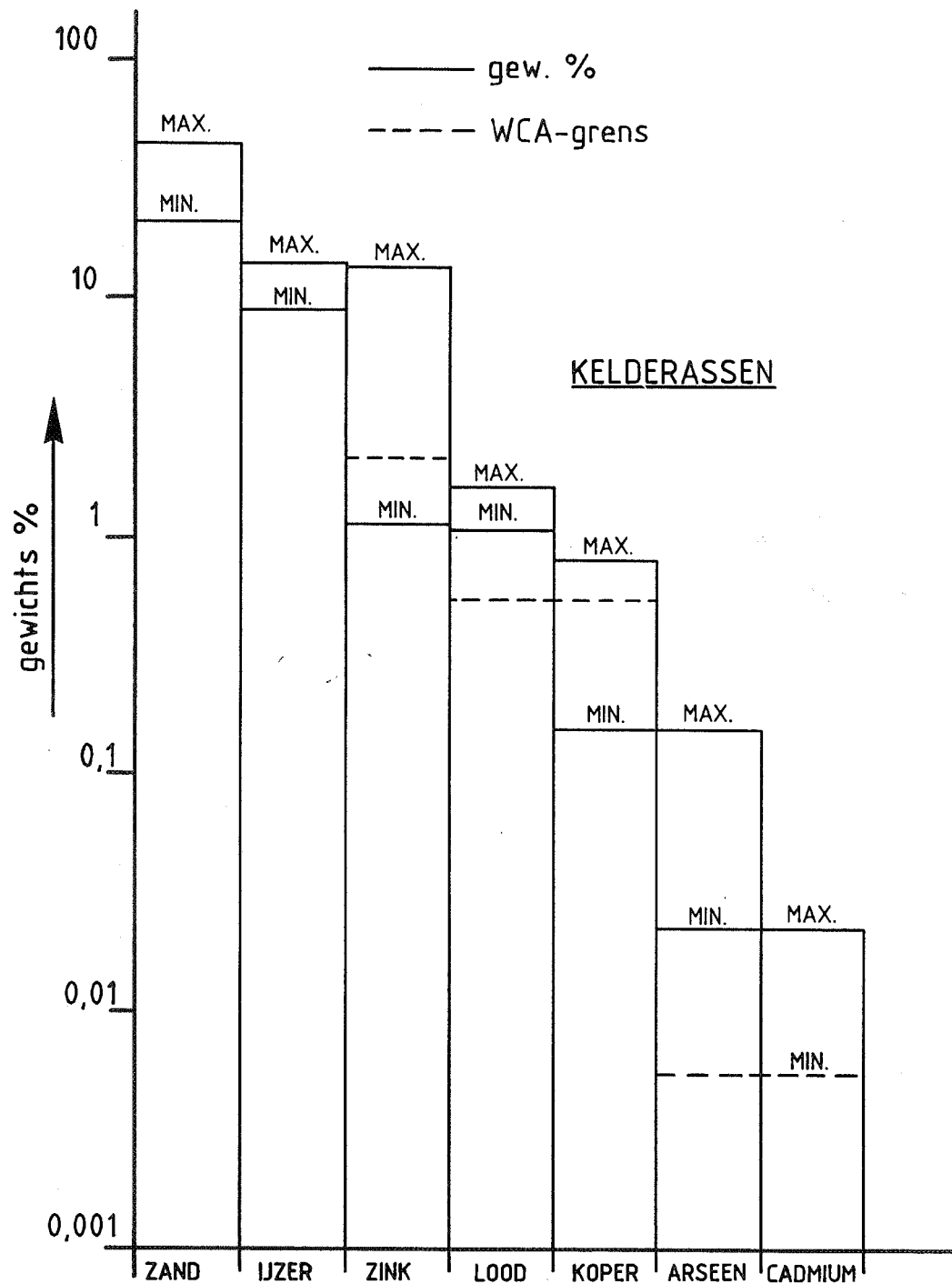
0,9	0,13
0,5	0,2
3,4	0,13
6,0	0,18
2,6	0,22
2,4	0,28
4,5	0,39
1,4	0,13
2,4	0,23
2,0	0,17
2,4	0,21
3,2	0,33
2,2	0,13
2,7	0,44
1,2	0,11
1,8	0,28
3,2	0,28
2,5	0,17
5,1	0,26
5,3	0,26
6,4	0,23
10,1	0,18

## Mengmonster

	%
Zn	4,2
Pb	1,2
Cd	0,008
Co	0,011
Fe	10,2
As	0,07
Cu	0,38
Si	17
Ni	0,02
Mn	0,26
Ag	0,007
Mg	0,22
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,79
Stot	0,27
S <sup>0</sup>	0,08



SAMENSTELLING KELDERASSEN BUDELCO KZM TERREIN





## Bijlage 13, blad 4

Analyses kelderassen

Aan: HH. B. Runderkamp, J. Hill, J. Kooyman

Van: afd. M &amp; V

Op een viertal plaatsen op het Budelco terrein zijn monsters genomen van de zg. kelderassen (-5 tot -25 cm).

Op bijgevoegde plattegrond zijn de monsterpunten aangegeven, analyses op droog materiaal (gew. %).

Monsters	1	2	3	4	gemiddeld
% Zn	7,7	1,1	12,0	12,5	8,3
S tot	0,6	0,4	0,8	0,8	0,65
Cu	0,60	0,14	0,70	0,71	0,54
Cd	0,020	0,005	0,008	0,009	0,010
Fe	11,4	8,6	12,6	13,0	11,4
Pb	1,5	1,2	0,9	0,9	1,12
Co	0,012	0,008	0,018	0,019	0,014
Mn	0,33	0,26	0,17	0,18	0,24
Ag	0,012	0,004	0,006	0,006	0,007
Mg	0,21	0,22	0,17	0,17	0,19
Ca	0,8	1,0	0,6	0,6	0,75
Hg	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
Ni	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Na	0,25	0,14	0,18	0,18	0,19
Al	1,3	2,4	1,6	1,6	1,7
SiO <sub>2</sub>	29	43	20	20	28
As	0,14	0,05	0,02	0,02	0,06
Sb	0,07	0,02	0,01	0,02	0,03
Tl	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ge	0,0007	0,0008	0,010	0,0010	0,0009
Cr	0,01	0,01	0,02	0,02	0,015
Se	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002
Te	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Sn	0,03	0,01	0,04	0,04	0,03
F	0,012	0,019	0,015	0,018	0,016
Cl	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02



Gehalten in assen in mg/kg d.s.

	cadmium	zink
Ruilverkavelingsweg Budel	1,7	40.000
Ant. Stevenstr. Budel	7,4	19.000
Ruilverkavelingsweg Budel	48	32.000
Ruilverkavelingsweg Budel	6	16.000
Budel-B-171	15,8	9.240
Barbaraweg Budeldorplein	2,4	2.100
erf Hogerijt Luyksgestel	16,0	25.000
Maassenweg Weert	37,0	50.000
Assenerf Tungelroy	15,0	61.000
idem	6,5	6.050
idem	23	30.000
Assenerf Valkenswaard	5,8	48.000
idem	9	40.000
idem	10	54.000
Genneperweg Eindhoven	25	

Er zijn geen analyses uitgevoerd op assen uit Bergeijk, Vessem, Maarheze, Leende, Boxtel.

Uit het nader onderzoek fase 2 blijkt het volgende wat betreft het cadmiumgehalte in zinkassen:

"Door Budelco zijn in januari 1985 analyses verricht van het assenmateriaal dat aanwezig is op het fabrieksterrein. Het cadmiumgehalte varieert van 50 tot 200 mg/kg d.s. Het zinkgehalte varieert van 10.000 tot 150.000 mg/kg d.s. Uit onderzoek verricht aan assenwegen blijkt dat het cadmiumgehalte van 10 tot 40 mg/kg d.s.

Een verklaring voor het verschil wordt gegeven door het feit dat er nabij de fabriek door depositie veel cadmium op het terrein is terechtgekomen. Tevens kan door verwaaiing van cadmiumhoudende produkten uit de vroegere opslag de cadmiumconcentratie op het terrein zijn toegenomen.

Het cadmiumgehalte in de assen van de assenwegen die door Haskoning zijn aangetroffen varieert van 2,4 tot 37 mg/kg d.s. Het cadmiumgehalte in de assen van assenwegen die door TAUW zijn aangetroffen variëren van 6 tot 48 mg/kg d.s. De resultaten van de drie onderzoeken liggen voor de assen van assenwegen dus in dezelfde orde van grootte. Het assenmateriaal aanwezig op het fabrieksterrein van Budelco bevat hogere cadmiumgehalten maar de verklaring hiervoor moet niet gezocht worden in de redenering dat de samenstelling van de assen op het fabrieksterrein meer de samenstelling van "verse" assen zou benaderen.