

mededeling  
nummer **120**

# uitlooggedrag van slib van waterleidingbedrijven

Rapport van de Werkgroep Uitloging

Samengesteld door  
ir N C Wortel  
ir H M M Koppers

KIWA N V  
Onderzoek en Advies  
Nieuwegein, maart 1992

mededeling  
nummer **120**

# uitlooggedrag van slib van waterleidingbedrijven

Rapport van de Werkgroep Uitloging

Samengesteld door  
ir N C Wortel  
ir H M M Koppers

KIWA N V  
Onderzoek en Advies  
Nieuwegein maart 1992



INHOUD		Blz
	VERANTWOORDING	3
	SAMENVATTING	4
1	INLEIDING	7
2	PORIEWATERONDERZOEK	9
3	PERCOLAATONDERZOEK	17
3 1	Kwaliteit van het percolaat	20
3 2	Bodembelasting ten gevolge van uitspoeling	27
3 3	Beschouwing percolaatsamenstelling tegen de achtergrond van voorgestelde criteria voor toelaatbare bodembelasting	35
3 4	Vergelijking uitkomsten proefdroogbedden met resultaten van laboratoriumtesten	37
4	CONCLUSIES	42
5	AANBEVELINGEN	45
6	LITERATUUR	47
 BIJLAGEN		
Bijlage 1	Afbeelding Mud Sampler	
Bijlage 2	Afbeelding en werkwijze poriewaterpers	
Bijlage 3	Samenstelling poriewater	
Bijlage 4	Samenstelling percolaat	
Bijlage 5	Belasting van de bodem door droogbedden	



## VERANTWOORDING

Deze mededeling bevat de onderzoeksresultaten van het speurwerkproject "Uitlooggedrag van slib van waterleidingbedrijven" Dit project maakt deel uit van het door de Vereniging van Waterleidingbedrijven in Nederland (VEWIN) aan KIWA N V opgedragen Speurwerkprogramma Aan het project is een substantiële bijdrage verleend door een zestal waterleidingbedrijven

Het onderzoek is begeleid door de Werkgroep Uitloging welke ressorteert onder de Commissie Vlokvorming en Vlokverwijdering

De Werkgroep Uitloging bestaat uit de volgende leden

- |  |  |
|--|--|
| -- ir A J van der Veer ( <i>voorzitter</i> ) | NV Waterleidingbedrijf Zuid-Holland-Zuid,                    |
| -- ir N C Wortel ( <i>secretaris</i> )       | KIWA NV Onderzoek en Advies,                                 |
| -- drs J van der Laan                        | NV Waterleidingbedrijf Midden-Nederland,                     |
| -- ir A N van Breemen                        | Technische Universiteit Delft,                               |
| -- ing E T Baars                             | Gemeentewaterleidingen Amsterdam,                            |
| -- ing J Steenstra                           | NV Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland (WRK),       |
| -- drs W C M Bakkum                          | NV Waterleiding Maatschappij Gelderland,                     |
| -- ing W B P van den Broek                   | NV Delta Nutsbedrijven),                                     |
| -- dr I H Anthonissen                        | Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM), |
| -- ir H M M Koppers                          | KIWA NV Onderzoek en Advies                                  |

## SAMENVATTING

Bij de behandeling van spoelwater en behandeling/opslag van slib worden veelal geen preventieve maatregelen getroffen om te voorkomen dat in het slib geaccumuleerde verontreinigingen in (potentieel) schadelijke hoeveelheden in de ondergrond kunnen geraken

Zowel de Hinderwet als de Wet Bodembescherming kwalificeren een dergelijke handelwijze als bodembedreigend en leggen het treffen van bodembeschermende maatregelen in deze gevallen op Of en in welke mate verontreinigende stoffen uit het slib uitspoelen, is onderwerp van een studie die door de VEWIN, in het kader van haar Speurwerkprogramma, aan KIWA is opgedragen

Het onderzoek heeft zich toegespitst op

- vaststelling van de kwaliteit van in het slib aanwezige poriewater
- vaststelling van de kwaliteit van percolaat afkomstig van volgens IBC-criteria ingerichte (proef)droogbedden voor de ontwatering van slib

De samenstelling van poriewater en percolaat is getoetst aan de kwaliteit van (genormaliseerd) schoon grondwater in een multifunctionele bodem zoals vermeld in de Leidraad bodemsanering, aflevering 4, 1988

Het merendeel van de in het onderzoek beschouwde slibsoorten dienen op basis van een verhoogd arseengehalte als een chemische afvalstof conform de Wet chemische afvalstoffen (Wca) te worden gekenschetst De onderzochte slibsoorten worden qua uitlooggedrag karakteristiek geacht voor de Nederlandse situatie

Aangetoond is dat poriewater hoge arseen- en ammoniumconcentraties benevens een hoog organisch stofgehalte (DOC) kan bevatten vooral indien sprake is van een hoge organische stofbelasting van het slib Het poriewater is veelal van beduidend slechtere kwaliteit dan het percolaat van IBC-(proef)droogbedden Dit betekent dat poriewater-analyse niet als directe maatstaf kan gelden voor de kwaliteit van uit slib uittredend water In percolaat wordt bijna altijd minimaal één element in een hogere concentratie aangetroffen dan zijn respectieve referentiewaarde in genormaliseerd grondwater

Met behulp van gegevens over kwaliteit en kwantiteit is de belasting van de bodem onder de (proef)droogbedden met diverse elementen en stoffen berekend. Deze belasting is vergeleken met de natte en droge depositie vanuit de atmosfeer (neerslag en stof) zoals deze gemiddeld in Nederland plaatsvindt. De actuele bodembelasting door de (proef)droogbedden is eveneens getoetst aan een voorlopig referentiekader inzake maximaal toelaatbare bodembelasting (flux) zoals geformuleerd in het concept-rapport "IBC-criteria baggerspeciedepots" van Rijkswaterstaat / Directoraat-Generaal Milieubeheer.

De berekende belasting was, afhankelijk van het element, ver beneden de belasting door natte en droge depositie vanuit de atmosfeer tot een veelvoud daarvan.

Gebleken is dat bij het merendeel van de slibsoorten (4 van de 6) de belasting van de bodem door één of meer elementen in de onderzoeksperiode uitsteeg boven de voorgestelde toelaatbaar geachte flux voor het betreffende element. De overschrijding bedroeg in deze gevallen een factor 1,5 tot 4,5. De elementen nikkel, zink, koper of chroom waren verantwoordelijk voor deze overschrijding. De belasting van de bodem door arseen, lood en cadmium was in de onderzoeksperiode lager dan de voorgestelde toelaatbaar geachte flux voor het betreffende element.

Op grond van de vastgestelde mobiliteitsvolgorde van diverse elementen is aannemelijk dat de zuurgraad (pH) als overheersende milieufactor geldt bij uitloging van slib tijdens ontwatering op droogbedden. In het algemeen is de mobiliteitsvolgorde  $Ni > Cd > Cu > Pb, Zn > As$ . Eveneens geldt  $Co, Cr > As$ . De invloed van een dalende redoxpotentiaal is niet waargenomen. Dit moge blijken uit de uiterst geringe mobiliteit van een sterk redox-gevoelig element zoals arseen, juist dat element dat drinkwaterslib zijn Wca-stigma kan geven. Als maximaal uitloogpercentage voor het element arseen is 0,3% geregistreerd.

Voor de meer pH-gevoelige elementen zoals Cd, Cu, Ni en Zn zijn uitloogpercentages waargenomen die niet meer bedragen dan 1 à 1,5% gedurende een testperiode. Dit kan worden verklaard uit het feit dat drinkwaterslib een dermate grote buffercapaciteit bezit dat slechts geringe pH-dalingen van 0,5 tot circa 1 eenheid zijn waargenomen.

Gelet op de organische stof- en stikstofbelasting van het percolaat van droogbedden is rechtstreekse lozing op oppervlaktewater veelal niet toegestaan. Een oplossing kan bestaan uit lozing op de riolering dan wel recirculatie naar de spoelwaterbehandeling.



Door optimalisatie van de bedrijfsvoering van droogbedden is het mogelijk zowel de hoeveelheid percolaat als de belasting ervan met verontreinigende stoffen te verminderen. Maatregelen dienaangaande betreffen het zo geconcentreerd mogelijk opbrengen van slib, conditionering ervan met synthetische polyelectrolyten, afvoer van bovenstaand water en opbrengen van slib in dunne lagen.

Verhoging van de pH van het slib door bijvoorbeeld toevoeging van kalk en vermindering van de organische stofbelasting van het slib bijvoorbeeld door geen gemakkelijk biologisch afbreekbare vlok(hulp)middelen te doseren, kunnen de kwaliteit van het percolaat eveneens verbeteren.

## 1 INLEIDING

Bij de bereiding van drinkwater uit grond- en oppervlaktewater ontstaan tevens minder gewenste nevenproducten in de vorm van slib en slibhoudend water

Hierin zijn ondermeer de uit de grondstof verwijderde verontreinigende stoffen geaccumuleerd

Het ver- of bewerken en opslaan van slib en spoelwater dient op zodanige wijze te geschieden dat geen gevaar voor bodem- en/of grondwaterverontreiniging bestaat De in de slibmatrix aanwezige verontreinigende stoffen zoals bijvoorbeeld zware metalen en arseen kunnen mogelijk ten gevolge van fysische-, chemische- en/of biologische processen uit hun bindingsvorm worden losgemaakt en derhalve via uitloging in de ondergrond geraken Het feit dat de mogelijkheid van verontreiniging van bodem- en/of grondwater aanwezig is, vereist een hinderwetvergunning voor bovengenoemde ver- of bewerking en opslag

Aan een hinderwetvergunning worden voorschriften verbonden welke een verplichting kunnen inhouden om

- bepaalde voorzieningen of maatregelen te treffen teneinde bodem- en grondwaterverontreiniging tegen te gaan
- duidelijk omschreven milieuhygiënische doelen te verwezelijken

Ook in het kader van de per 1 januari 1987 in werking getreden Wet Bodembescherming kunnen bij Algemene Maatregel van Bestuur algemene regels worden gesteld in het belang van de bescherming van de bodem (artikelen 8 -13) Deze regels hebben bijvoorbeeld betrekking op handelingen waarbij stoffen, die de bodem kunnen verontreinigen of aantasten, voor een zekere tijd op of in de bodem worden gebracht Hierbij valt te denken aan het op of in de bodem doen uitstromen van verontreinigd water of slib De verplichting tot het treffen van bodembeschermende voorzieningen geldt indien men weet of redelijkerwijs had kunnen vermoeden dat door die handeling de bodem kan worden verontreinigd of aangetast Zowel de Hinderwet als de Wet Bodembescherming kennen het IBC-adagium hetgeen inhoudt

- I er moeten isolerende voorzieningen zijn teneinde verontreiniging van de bodem nu en in de toekomst te voorkomen,
- B met het oog op de beheersbaarheid moeten voorzieningen zijn getroffen dan wel maatregelen te nemen zijn zodat onverhoopt optredende bodemverontreiniging kan worden opgeheven en
- C de bodembeschermende voorzieningen en de kwaliteit van bodem en grondwater moeten regelmatig worden gecontroleerd

Op dit moment ontbreken concrete wettelijke richtlijnen om vast te stellen of een handeling waarbij afvalstoffen op / in de bodem worden opgeslagen, daadwerkelijk bodembedreigend is. Hulpmiddelen daartoe zijn echter wel aanwezig.

Kwaliteit van percolaat en de belasting van de bodem met diverse elementen onder een opslag kunnen worden gerelateerd aan

- de genormaliseerde kwaliteit van grondwater in een multifunctionele bodem
- de gemiddeld regionaal optredende bodembelasting door natte en droge depositie in Nederland
- het referentiekader voor toelaatbare bodembelasting uit het door RWS / DGM uitgebrachte rapport "IBC-criteria baggerspeciedepots". Genoemd rapport is uitgebracht als discussierapport en zal onder meer dienen als ondersteuning van een MER aangaande baggerspeciedepots. Het is eveneens aangeboden aan de Technische Commissie Bodembescherming met het verzoek om advies.

Om te kunnen oordelen of het be- of verwerken van slib door middel van droogbedden en het opslaan van slib binnen de eigen inrichting als bodem- en/of grondwaterbedreigend dient te worden aangemerkt, is inzicht vereist in de mate waarin verontreinigende stoffen uit het slib kunnen vrijkomen.

Derhalve heeft de VEWIN, in het kader van haar Speurwerkprogramma, KIWA opgedragen onderzoek te verrichten naar de uitloging van slib van waterleidingbedrijven.

Het onderzoek is op twee verschillende wijzen uitgevoerd, namelijk

- vaststellen van de verontreinigingsgraad van het zich in het slib bevindende intrinsieke water (poriewater). Het poriewater fungeert als transportmedium voor verontreinigende stoffen.
- vaststellen van de verontreinigingsgraad van percolaat afkomstig van volgens IBC-criteria ingerichte (proef)droogbedden.

Het eerste onderzoek heeft plaatsgevonden in het KIWA-laboratorium te Nieuwegein. Het onderzoek met (proef)droogbedden is uitgevoerd bij diverse waterleidingbedrijven in Nederland.

## 2 PORIEWATERONDERZOEK

In eerste instantie is een studie verricht naar de verontreinigingsgraad van in het slib aanwezig intrinsiek water (poriewater)

Poriewater kan in principe als transportmiddel dienen voor allerlei verontreinigingen in het slib en de samenstelling ervan zou een indicatie kunnen geven voor de kwaliteit van daadwerkelijk uittredend percolaat uit een droogbed/slibopslag

Poriewater kan door middel van drukfiltratie van de vaste fase worden gescheiden en vervolgens geanalyseerd. Deze methode geeft een snelle indicatie van de verontreinigingsgraad van het in het slib aanwezige water. Afscheiding van in slib aanwezig water kan ook op andere wijze worden bewerkstelligd, bijvoorbeeld door middel van vriesdooien (*De Waal, 1985*)

Bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de "Mud Sampler" als bemonsteringsapparaat. Dit is een steekapparaat waarmee onder uitsluiting van luchtzuurstof slibmonsters kunnen worden gestoken. Een doorsnede van het apparaat is opgenomen in bijlage 1.

Het gestoken slibmonster wordt in een poriewaterpers bij een druk van 6 MPa onder uitsluiting van luchtzuurstof gefiltreerd over een 0,45 micrometer membraanfilter volgens een gestandaardiseerde methode. Een doorsnede van de gebruikte pers benevens de gevolgde werkwijze is opgenomen in bijlage 2.

In het opvangen poriewater zijn de gehalten aan arseen, diverse metalen en andere stoffen bepaald. De analyses zijn bij diverse laboratoria uitgevoerd volgens genormaliseerde methoden (NEN, VPR, NVN) of interne voorschriften. De uitkomsten zijn opgenomen in bijlage 3.

In samenwerking met zeven waterleidingbedrijven die grondwater, oppervlaktewater of duininfilttraat als grondstof benutten, zijn slibmonsters genomen uit bezinkbassins, slibvijvers of droogbedden. De monsters zijn op diverse plaatsen en diepten genomen. Dit houdt in dat de leeftijd van de diverse monsters verschillend is.

De onderzochte slibsoorten dienen -op één uitzondering na- alle op grond van het arseengehalte in het slib als een chemische afvalstof in de zin van de Wet chemische afvalstoffen te worden beschouwd. De slibsoorten worden qua uitlooggedrag representatief geacht voor de Nederlandse situatie.

Tabel 1 geeft een overzicht van de aard van de grondstof, de soort en ouderdom van de slibmonsters.

Tabel 1 *Herkomst, omschrijving, droge stofgehalte en leeftijd van de slibmonsters t b v het poriewateronderzoek*

slib	grondstof*	slibsoort**	droge- stofgehalte [% w/w]	leef- tijd [jaar]
A	aëroob/anaëroob GW	ijzerhoudend SWS	13-22	1-10
B1	algenhoudend OW	algenhoudend CS	23-32	0-3
B2	algenhoudend OW	poederkoolhoudend SWS	2-13	1-3
C	voorbezonden/ onthard OW	ijzerhoudend CS	14-29	0 5-4 5
D	mengvorm GW/DI	poederkoolhoudend SWS	23	0 1-0 3
E	anaëroob humus- en methaanhoudend GW	ijzerhoudend/bacte- riërijk SWS	14-18	0-2
F	aëroob GW	akdolithoudend SWS	27-31	0-0 5
G	kleihoudend OW	kleihoudend CS	19-23	0-2

\* OW = oppervlaktewater; GW = grondwater, DI = duininfiltraat

\*\* SWS = spoelwaterslib, CS = coagulatieslib

De hoofdcomponenten van de diverse slibsoorten alsmede het gloeiverlies als indicator voor de organische stofbelasting zijn opgenomen in tabel 2. Het in het slib aanwezige ijzer is vastgelegd als (hydr)oxide, carbonaat en fosfaat. Het grootste gedeelte bevindt zich in (hydr)oxidevorm. Het slib van grondwaterbedrijven bevat in de regel 0,7 - 7,5 %w/w als  $\text{PO}_4^{3-}$ . De concentratie aan  $\text{PO}_4^{3-}$  in het slib van oppervlaktewaterbedrijven is doorgaans 0,1 - 1,7 %w/w.

De concentraties aan metalen en arseen in het slib zijn weergegeven in tabel 3. De in tabel 2 en 3 opgenomen waarden zijn volgens genormaliseerde methoden bepaald door het KIWA-laboratorium.

*Tabel 2 Hoofdbestanddelen in de onderzochte slibsoorten en het gloeiverlies in gewichtsprocenten van de droge stof*

slib	Fe	Mn	Ca	Mg	gloeiverlies
A	46	1,43	1,9	0,04	16,1
B1	23	0,14	3,9	0,29	21,0
B2	24	0,42	5,1	0,31	29,0*
C	45	0,09	4,9	0,07	23,2
D	4,4	1,14	1,8	0,15	35,1*
E	27	1,30	3,9	0,18	24,9
F	18	4,60	15	4,5	12,3
G	9,5	0,07	3,9	1,0	15,7

\* deels veroorzaakt door de aanwezigheid van poederkool

*Tabel 3 Anorganische microverontreinigingen in de onderzochte slibsoorten in miligram per kilogram droge stof*

slib	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
A	350	3	65	14	150	36	40	260
B1	31	2	42	17	20	40	40	130
B2	180	1	13	24	40	37	70	190
C	110	1	12	50	110	80	30	150
D	100	0,5	10	15	20	9	30	70
E	100	1	11	5	70	<5	20	180
F	310	3	80	167	30	23	20	320
G	50	4	17	104	90	49	120	560

In tabel 4 is het concentratiebereik van diverse stoffen en elementen in het poriewater van de onderzochte slibsoorten weergegeven (zie bijlage 3) en vergeleken met de kwaliteit van grondwater in een multifunctionele bodem zoals vermeld in de *Leidraad bodemsanering 1988*

*Tabel 4 Concentratiebereik van elementen en stoffen in poriewater van 28 slibmonsters van 7 Nederlandse waterproductiebedrijven alsmede referentiewaarden voor grondwater in een multifunctionele bodem*

element		concentratie- bereik		referentie- waarde grondwater
		min	max	
As	[µg/l]	<0,3	- 122	10
Cd	[µg/l]	<0,1	- 0,51	1,5
Co	[µg/l]	<5	- 50	20
Cr	[µg/l]	<1	- 5	1
Cu	[µg/l]	0,2	- 18,5	15
Ni	[µg/l]	<1	- 65	15
Pb	[µg/l]	<0,5	- 6	15
Zn	[µg/l]	<20	- 70	150
CZV *	[mg/l O <sub>2</sub> ]	<5	- 5100	-
DOC **	[mg/l]	2	- 720	-
NH <sub>4</sub>	[mg/l]	0,8	- 754	2-10
alk ***	[meq/l]	0	- 14	-
SO <sub>4</sub>	[mg/l]	<1	- 82	-
Fe	[mg/l]	<0,1	- 83	-
Mn	[mg/l]	<0,05	- 39	-
pH	[--]	6,5	- 8,5	-

\* *chemisch zuurstofverbruik*

\*\* *opgeloste of organische koolstof*

\*\*\* *alkaliteit gecorrigeerd voor ammonium*

De referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem geeft een concentratiegrenswaarde aan waarbij en waarbeneden een bodem naar de huidige inzichten in het algemeen als multifunctioneel kan worden beschouwd Dit wil zeggen

dat er geen als nadelig te waarden effecten van de desbetreffende stoffen worden verwacht Tabel 4 illustreert dat poriewater een beduidend slechtere kwaliteit kan bezitten dan grondwater in een multifunctionele bodem In tabel 5 is de samenstelling van poriewater van de slibmonsters per locatie (zie bijlage 3) vergeleken met voornoemde referentiewaarden voor grondwater

*Tabel 5 Vergelijking poriewatersamenstelling met referentiewaarden voor grondwater in een multifunctionele bodem*

slib	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	NH <sub>4</sub>
A	-	-	*	-	-	*	-	-	*
B1	*	-	-	*	-	-	-	-	*
B2	-	-	*	*	-	-	-	-	*
C	*	-	-	-	-	*	-	-	*
D	*	-	*	*	*	*	-	-	*
E	*	-	-	*	-	-	-	-	*
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	*	-	-	*	-	*	-	-	*
REF	10 [µg/l]	1,5 [µg/l]	20 [µg/l]	1 [µg/l]	15 [µg/l]	15 [µg/l]	15 [µg/l]	150 [µg/l]	2-10 [mg/l]

- *concentratie lager dan de referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem*

\* *concentratie in minimaal één monster hoger dan de referentiewaarde*

REF *referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem*

Uit tabel 5 valt op te maken dat in het poriewater van de monsters van 7 van de 8 onderzochte slibsoorten tenminste twee elementen en ammonium in een hogere concentratie aanwezig zijn dan hun respectieve referentiewaarden voor genormaliseerd grondwater

Arseen wordt in veel gevallen aangetroffen in concentraties boven de referentiewaarde tot het twaalfvoudige toe Nikkel, chroom en cobalt worden regelmatig aangetroffen in gehalten boven de referentiewaarde tot een 5-voud daarvan Cadmium, lood en zink komen daarentegen in concentraties voor die in alle onderzochte monsters beneden de respectieve referentiewaarden liggen



Tabel 6 geeft tenslotte een indruk omtrent de verhouding tussen de hoeveelheid van een bepaald element in de opgeloste fase (poriewater) ten opzichte van de totaal aanwezige hoeveelheid element in het in bewerking genomen slib

*Tabel 6 Verwijderde fractie van diverse elementen uit slib middels het uitpersen van poriewater*

element	bereik		$X_{geo}^*$ [promille]
	min	max	
As	0,02	2,1	0,38
Cd	0,04	3,2	0,34
Co	0,07	4,3	0,78
Cr	0,01	0,6	0,11
Cu	0,03	1,2	0,14
Ni	0,05	32,7	1,22
Pb	0,03	0,4	0,10
Zn	0,07	1,0	0,22

\* *geometrisch gemiddelde over 8 slibsoorten*

Uit tabel 6 blijkt dat het element nikkel procentueel gezien het meest in oplossing kan gaan, gevolgd door het element cobalt. Voor de overige elementen kan in de diverse slibmonsters geen eenduidige volgorde in de "uitspoelbaarheid" worden vastgesteld. Wel is geconstateerd dat het element lood veelal het minst in het poriewater aanwezig is. Globaal gesproken kan de volgende tendens in de procentuele uit te logen fractie in de afzonderlijke slibmonsters worden waargenomen:

Ni, Co > Cr, Zn, Cu, Cd, Pb en Cd, Zn > Pb

Het element arseen vertoonde ten opzichte van de in de vaste stofmatrix aanwezige hoeveelheid een sterk wisselend beeld.

In het poriewater van nagenoeg alle onderzochte slibmonsters zijn, met uitzondering van de locaties A en F (zeer) hoge CZV-, DOC-,  $NH_4$ - en alkaliteit-waarden gemeten. Dit wijst op een (sterke) organische belasting van het slib. De organische stof kan afkomstig zijn van

-- de grondstof zoals algen en organische detritus

- de bacteriële omzetting van ammonium en methaan in snelfilters tengevolge waarvan bacterieslib ontstaat
- de toevoeging van ondermeer zetmeelderivaat als vlok(hulp)middel bij de zuivering van oppervlaktewater en spoelwater

Door microbiële afbraak van organische stof treden reducerende omstandigheden op hetgeen tot gevolg heeft dat onder meer mangaan en ijzer in oplossing gaan (zie tabel 4) Dit leidt op zijn beurt tot het vrijmaken van arseen uit zijn binding met het ijzer en mangaan Het gehalte aan arseen in de opgeloste fase neemt hierdoor toe (*Lee et al , 1990*)

Tabel 5 toont aan dat met name bij de slibmonsters van de locaties A en F (lage organische stofbelasting) de arseengehalten in het poriewater in vergelijking met de overige slibsoorten lager zijn Ook procentueel gezien was de belasting van het poriewater met arseen het geringst bij deze slibsoorten

Er is geen verband geconstateerd tussen de gehalten aan ijzer en arseen in het poriewater van de onderzochte monsters Een mogelijke verklaring hiervoor kan zijn dat een gedeelte van het gereduceerde ijzer weer wordt gefixeerd in de vorm van ijzersulfide of ijzerfosfaat Het fixeren van eenmaal opgeloste metalen door binding aan sulfide of mogelijk fosfaat heeft bij alle organisch belaste slibben waarschijnlijk een rol van betekenis gespeeld In het poriewater van die slibben kon in veel gevallen geen sulfaat meer worden aangetoond hetgeen duidt op een zo goed als volledige sulfaatreductie Dit duidt op een redoxpotentiaal die lager is dan -200 mV (*Stumm & Morgan, 1981*) De sulfaatreductie is er derhalve waarschijnlijk de oorzaak van dat lage gehalten aan bijvoorbeeld cadmium, zink en lood in het poriewater zijn aangetroffen

Een andere milieufactor die van belang is voor de uitloging is de zuurgraad of pH De pH van het poriewater lag tussen 6,5 en 8,5 hetgeen circa 0,5-1,5 pH-eenheid lager was dan de zuurgraad van het verse slib cq bereide drinkwater Het moet waarschijnlijk worden geacht dat een dergelijke -zij het geringe- pH-daling de oorzaak is van het in oplossing gaan van het element nikkel Dit wordt gestaafd door Eckhardt en Haberer (*1986*) die aantoonden dat een deel van het in het slib aanwezige nikkel in de carbonaafase voorkomt Een lichte pH-daling is derhalve reeds voldoende om een deel van het aanwezige nikkel uit zijn instabiele binding met carbonaat vrij te maken Een ander element dat waarschijnlijk eveneens als zeer pH gevoelig moet worden gekwalificeerd, is cobalt Overigens zij opgemerkt dat de onderzochte slibmonsters circa 5-35 %w/w calciumcarbonaat bevatten Het slib is derhalve redelijk goed gebufferd tegen een pH daling tengevolge van onder meer afbraak van organische stof en indringing van (zuur) regenwater in het slib

Samenvattend kan gesteld worden dat ten gevolge van de aanwezigheid van organisch afbreekbare stoffen in het slib veranderingen kunnen optreden in de redoxtoestand en in de pH van het slib. Een verlaging van de redoxpotentiaal leidt tot het in oplossing gaan van redoxgevoelige elementen zoals ijzer en mangaan. Hierdoor kan op zijn beurt arseen uit zijn binding met ijzer en mangaan worden losgemaakt. Bij verdergaande daling van het redoxniveau kunnen eventueel in oplossing gegane (zware) metalen zoals cadmium, lood, zink en ijzer opnieuw in sulfidevorm worden gefixeerd. De door afbraak van organische stof optredende pH-daling blijft veelal beperkt ten gevolge van de aanwezigheid van calciumcarbonaat in het slib. Desalniettemin kan een lichte pH-daling van 0,5-1,5 eenheden elementen zoals nikkel en waarschijnlijk ook cobalt uit hun instabiele bindingsvormen losmaken. De binding van elementen aan complexvormende stoffen zoals humus- en fulvozuren kan eveneens invloed hebben op de mate van uitspoeling (*Eckhardt, 1988*). Tenslotte resulteert de afbraak van organische stoffen in hoge organische stof- (CZV, DOC) en ammoniumgehalten van het poriewater.

De uitkomsten van het poriewateronderzoek geven aanleiding nader onderzoek uit te voeren naar de samenstelling van percolaat afkomstig van natte slibopslagen zoals slibvijvers en slibdroogbedden.

### 3 PERCOLAATONDERZOEK

Het poriewater is onder hoge druk uit het slib geperst. Het is de vraag of de resultaten van een dergelijk onderzoek representatief zijn voor de samenstelling van percolaat van slibopslagen.

Derhalve zijn volgens IBC-criteria proefdroogbedden ingericht en is de kwaliteit en kwantiteit van het daaruit tredende percolaat gemeten. Op deze wijze kan onder meer inzicht worden verkregen omtrent de belasting van de bodem tengevolge van de uitspoeling van verontreinigende stoffen uit slib.

In samenwerking met zes waterleidingbedrijven die grondwater, oppervlaktewater of duininfiltreet als grondstof voor de drinkwaterbereiding gebruiken, zijn proefdroogbedden volgens IBC-criteria ingericht. Vier bedrijven zijn eveneens betrokken geweest bij het poriewateronderzoek. Bij zeven productielokaties werden tien (proef)droogbedden ingericht in grootte variërend van 0,25 tot 3300 m<sup>2</sup>. De (proef)droogbedden hadden de vorm van een kolom, container of een met HDPE-folie bekleed aarden bassin. Op deze droogbedden werden 13 uitloogexperimenten gedaan in tijdsduur variërend van 13 tot 605 dagen. De aan het onderzoek meewerkende bedrijven produceerden gezamenlijk ongeveer 17% van het totaal in Nederland gedistribueerde drinkwater.

In tabel 7 is per bedrijf de grondstof, slibsoort en kwalificatie van het slib (Wca of AW) benevens de ouderdom van het onderzochte slib aangegeven. Voornoemde kwalificatie houdt verband met het arseengehalte in het slib.

Tabel 7 *Herkomst, omschrijving en leeftijd van het slib waarmee de (proef)droogbedden zijn gevuld*

slib	grondstof <sup>**</sup>	slibsoort <sup>***</sup>	kwalificatie	droge stofgehalte [%w/w]	leeftijd
A *	GW	ijzerhoudend SWS	Wca	18	1-10jr
B	OW	aluminiumhoudend CS	AW	0,5-1	1 wk
C *	OW	ijzerhoudend CS	Wca	7	2 wk
D *	GW/DI	poederkoolhoudend SWS	Wca	14	2 wk
E	GW	kalkrijk SWS	AW	30	0,5-10jr
F *	GW	akdolithoudend SWS	Wca	4	0-0,5jr
G	GW	ijzerhoudend SWS	Wca	4	0,5-2jr

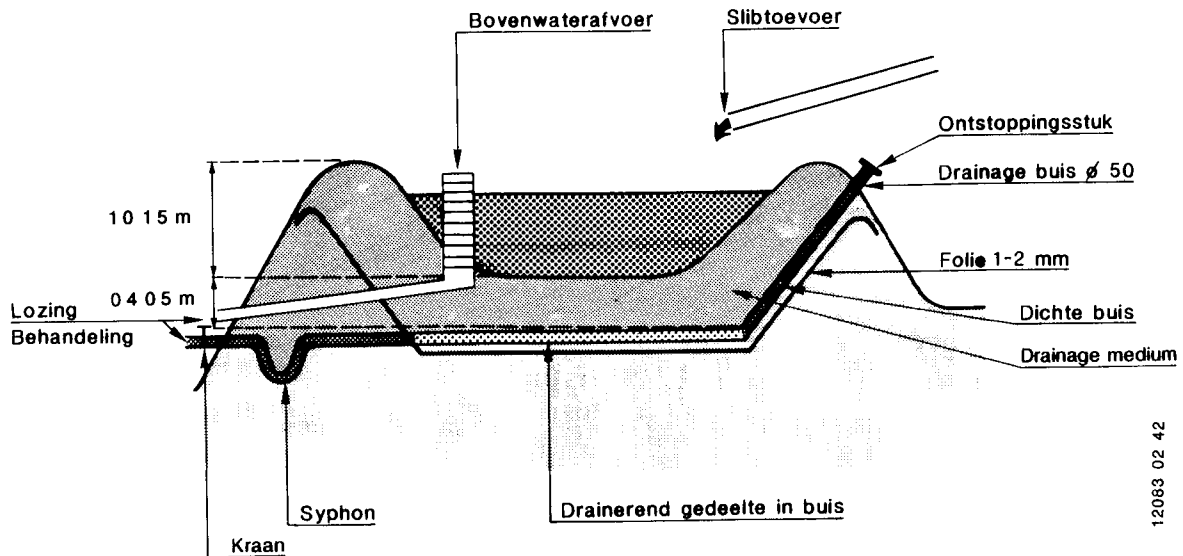
\* *Eveneens betrokken bij poriewateronderzoek*

\*\* *GW = grondwater, OW = oppervlaktewater, DI = duininfiltraat*

\*\*\* *SWS = spoelwaterslib, CS = coagulatieslib*

De diverse droogbedden zijn niet alle exact gelijk ingericht en bedreven. De korrelgrootteverdeling en kwaliteit van het drainagezand, de soort drainageleiding, soort folie, wijze van aftappen van percolaat, het al dan niet hebben van waterdoorlatende taluds konden variëren. Het principe is echter in alle gevallen hetzelfde. Een waterdoorlatend medium, meestal folie, gesteund door aarden kades of containerwand dient als omhulling van het droogbed. Op deze folie wordt een drainagesysteem bestaande uit in filterzand en/of grind ingebedde drainagebuizen aangelegd. De drainage mondt uit buiten de folie en er is een registratiemogelijkheid van het uittredende watervolume en een mogelijkheid om het percolaat te bemonsteren.

Afbeelding 1 toont een doorsnede van een volgens IBC-criteria ingericht (proef)droogbed voor de ontwatering van slib



*Afbeelding 1 Doorsnede van een droogbed voor de ontwatering van slib*

Alvorens slib op te brengen wordt het drainagemedium doorgespoeld met leidingwater en daarna juist onder water gezet waarna het slib wordt opgebracht. Om het slib niet in het drainagemedium te laten indringen wordt tenminste een dag gewacht alvorens de afsluiter in de drainageleiding te openen. De drainagesnelheid wordt om dezelfde reden aan het begin van het drainageproces laag gehouden.

Met het bemonsteren van het percolaat is gewacht tot het leidingwater uit het (proef)droogbed is verwijderd.

### 3.1 Kwaliteit van het percolaat

Tijdens het drainageproces is het uittredende water regelmatig bemonsterd. De ongefilterde monsters zijn onderzocht op de aanwezigheid van diverse elementen en stoffen. De participerende bedrijven hebben de analyses verricht volgens genormaliseerde methoden of interne voorschriften.

De proeven bij de bedrijven A en D zijn uitgevoerd met een kolom of container. Hierbij was de invloed van neerslag vrijwel uitgesloten.

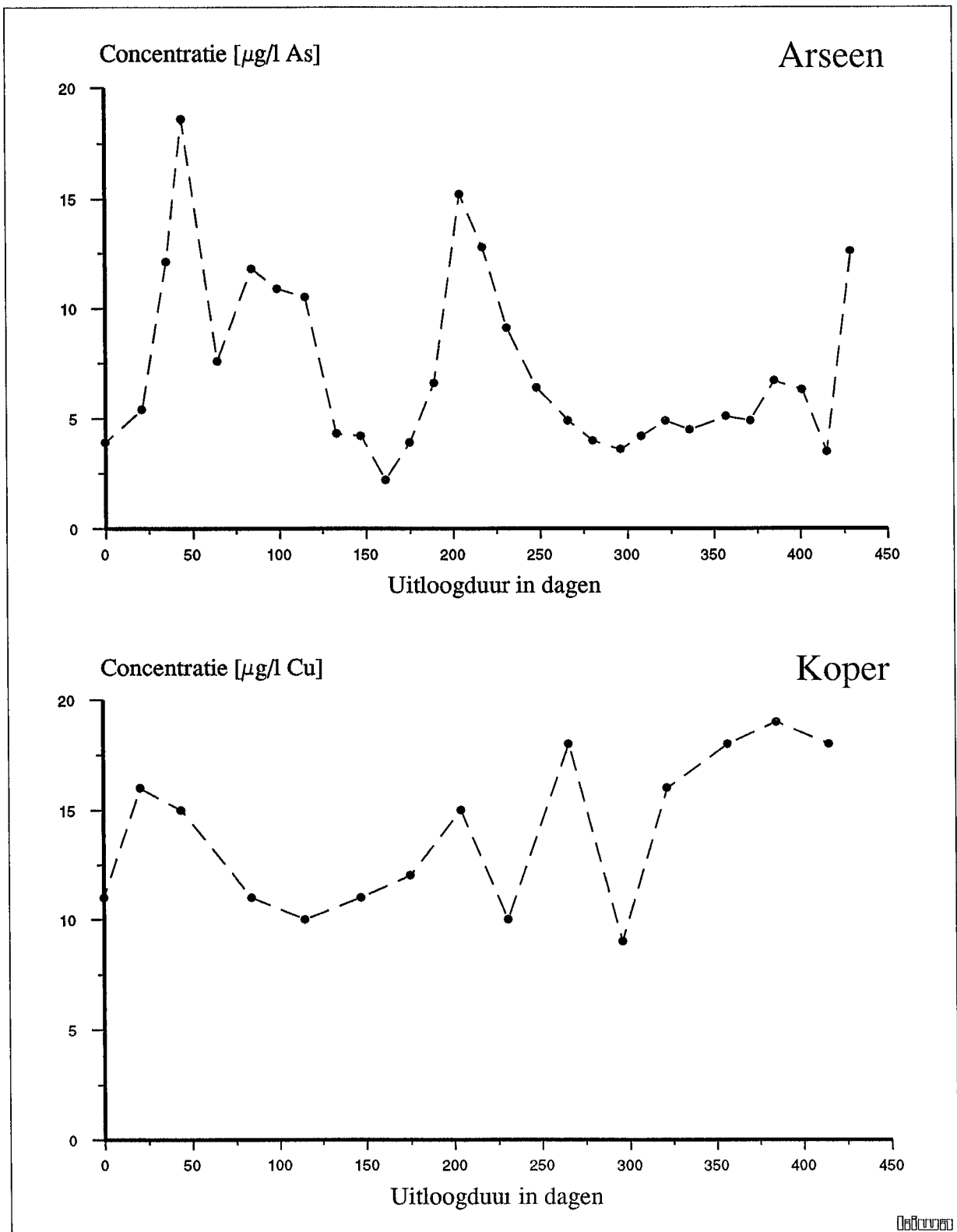
Bij de bedrijven E, F en G waren de droogbedden zodanig gedimensioneerd dat de totale slibproductie van de betreffende productielocatie kon worden verwerkt.

De analyseresultaten van de diverse experimenten tonen aan dat de kwaliteit van de verschillende percolaten gedurende de proeven niet constant is. Als voorbeeld mogen de afbeeldingen 2a t/m 2c dienen waarin de concentraties van diverse elementen en CZV in het percolaat van locatie C tegen de tijd zijn uitgezet. Het betrof hier een proef (C2) waarbij het droogbed enkele malen met dunne lagen slib werd aangevuld. Het percolaat van de overige proefseries verrtoont een overeenkomstig beeld.

Daarom is, voorzover mogelijk, uit de bekende gegevens per parameter een gewogen gemiddelde over de totale looptijd van de proeven bepaald.

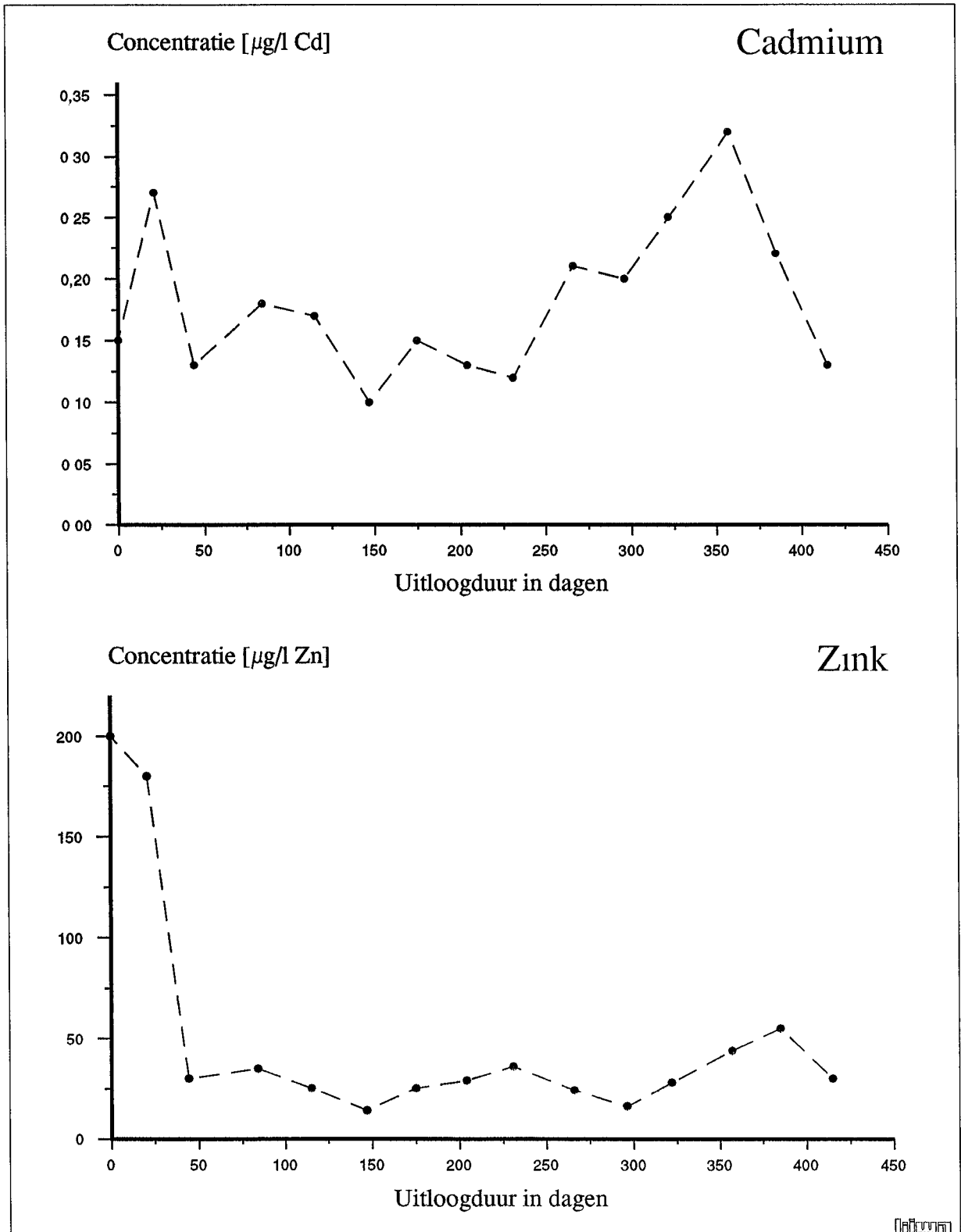
Bij onvoldoende gegevens over het debiet van het percolaat zijn van de diverse parameters analytische en geometrische gemiddelden bepaald. Het geometrisch gemiddelde (de n-de machts wortel uit  $x_1 \cdot x_n$ ) dient om de invloed van extremen in metingen, zowel hoog als laag, af te vlakken. Eerder genoemde gemiddelde concentraties van diverse elementen zijn opgenomen in bijlage 4.

Bij sommige lokaties zijn de slibdroogbedden meer dan eens gevuld. Deze individuele batches zijn, voor zover mogelijk, als aparte tests behandeld.

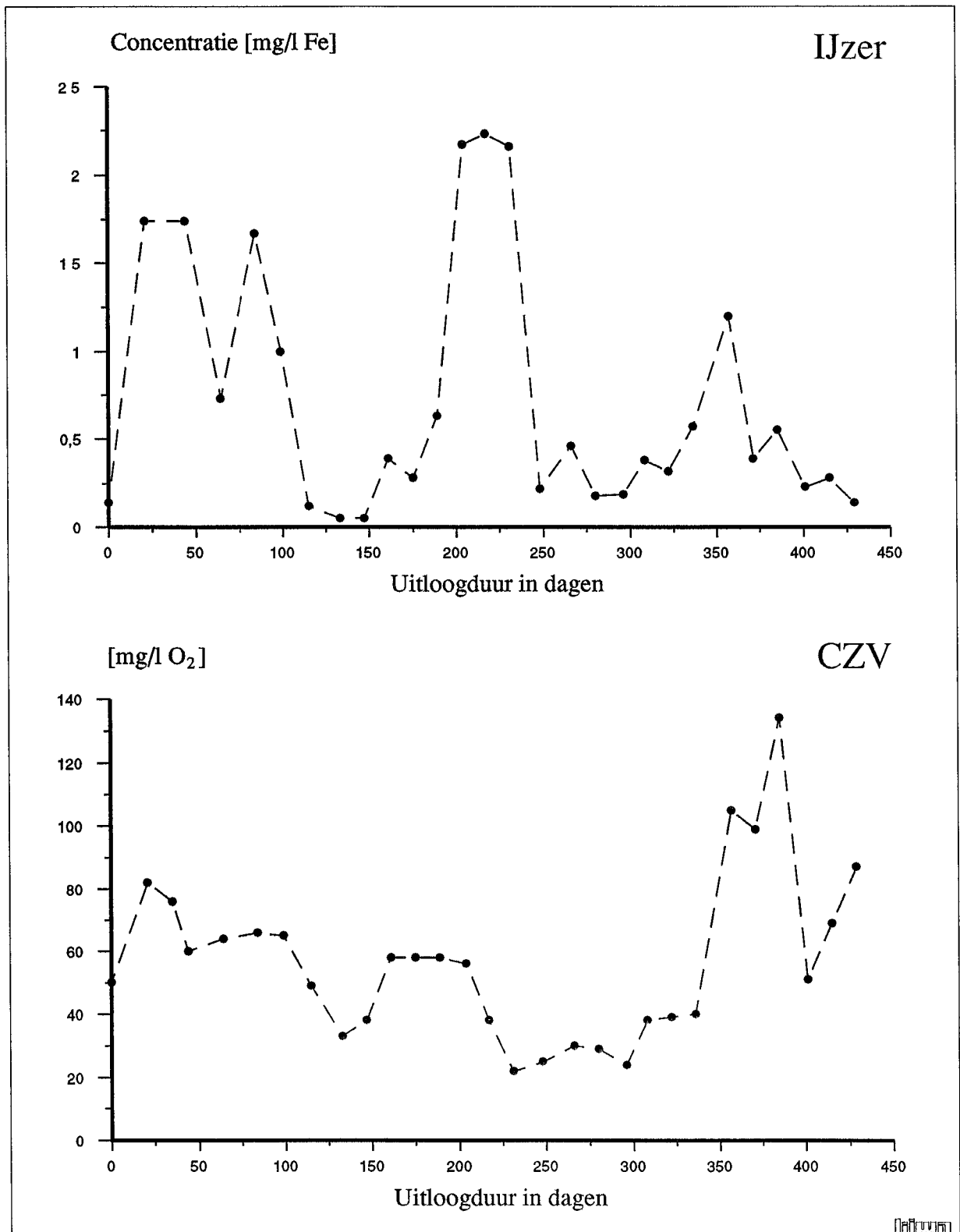


Afbeelding 2a Concentratieverloop van de elementen arseen en koper in het percolaat van locatie C (test C2)





Afbeelding 2b Concentratieverloop van de elementen cadmium en zink in het percolaat van locatie C (test C2)



Afbeelding 2c Concentratieverloop van het element ijzer en het CZV in het percolaat van locatie C (test C2)

In tabel 8 zijn gegevens opgenomen over het aantal testen per locatie, het soort in beschouwing genomen gemiddelde, het aantal dagen dat een experiment duurde, het aantal per test uitgevoerde bemonsteringen en de oppervlakte van het desbetreffende droogbed

*Tabel 8 Overzicht van een aantal basisgegevens met betrekking tot het uitgevoerde onderzoek met (proef)droogbedden*

slib	test	duur [dag]	soort gemiddelde	oppervlak [m <sup>2</sup> ]	aantal bemon- steringen
A	1	58	gewogen	12 5	8
	2	13	gewogen	1	6
B	1	300	gew Q*	30	22
	1		geometrisch		
	1		analytisch		
C	1	605	geometrisch	96	27
	1		analytisch		
	2	429	gewogen	96	31
	3	35	gewogen	96	5
	1	61	gewogen	0 8	5
D	2	61	gewogen	0 25	5
	1	225	gewogen	3294	11
E	2	112	gewogen	3294	7
	1	420	gewogen	94 6	39
F	2	455	gewogen	94 6	26
	1	91	gewogen	420	12

\* Gewogen gemiddelde over de dagen waarop het debiet bekend was

In tabel 9 zijn de resultaten van de metingen aan de (proef)droogbedden samengevat. Bij de samenstelling van het percolaat is een concentratiebereik weergegeven van gewogen gemiddelde gehalten.

*Tabel 9 Gemiddelde samenstelling van het percolaat afkomstig van (proef)droogbedden alsmede referentiewaarden voor grondwater in een multifunctionele bodem*

element		concentratie- bereik		referentie- waarden grondwater
		min	max	
As	[µg/l]	3	- 19,5	10
Ba	[µg/l]	8	-140	50
Cd	[µg/l]	0,1	- 1,2	1,5
Co	[µg/l]	1	- 30	20
Cr	[µg/l]	0,5	- 36,3	1
Cu	[µg/l]	2,5	- 48	15
Ni	[µg/l]	2,2	- 26	15
Pb	[µg/l]	0,3	- 11	15
Zn	[µg/l]	9	-170	150
CZV	[mg/l O <sub>2</sub> ]	6	-195	-
NH <sub>4</sub>	[mg/l]	0,02	- 28,5	2-10
SO <sub>4</sub>	[mg/l]	22	- 90	-
Fe	[mg/l]	0,06	- 8,5	-
Mn	[mg/l]	0,05	- 12,3	-
pH	[--]	5,7*	- 7,8	-

\* *Bij proef E was de pH 5,3-6,2 vermoedelijk t g v oxidatie van pyriet in het drainagemedium*

Uit tabel 9 blijkt dat slechts de elementen cadmium en lood nooit in gewogen gemiddelde concentraties hoger dan hun respectieve referentiewaarden zijn aangetroffen.

In tabel 10 is de gewogen gemiddelde samenstelling van het percolaat per proefserie vergeleken met de referentiewaarden voor grondwater.

*Tabel 10 Vergelijking percolaatsamenstelling met referentiewaarden voor grondwater in een multifunctionele bodem*

slib	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	NH <sub>4</sub>
A1	-	*	-	*	*	*	*	-	-	-
A2	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-
B1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C1	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-
C2	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
C3	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
D1	*	*	-	*	*	*	-	-	-	*
D2	-	*	-	-	*	*	-	-	-	*
E1	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
E2	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-
F1	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-
F2	*	-	-	-	*	-	-	-	-	-
G	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-
REF	10 [µg/l]	50 [µg/l]	1,5 [µg/l]	20 [µg/l]	1 [µg/l]	15 [µg/l]	15 [µg/l]	15 [µg/l]	150 [µg/l]	2-10 [mg/l]

- concentratie lager dan referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem
- \* concentratie hoger dan de referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem niet gemeten
- REF referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem

Uit tabel 10 valt op te maken dat in het percolaat bij 12 van de 13 proefseries minimaal één element in een hogere concentratie dan zijn referentiewaarde wordt aangetroffen. Het element chroom wordt in 7 van de 13 proefseries aangetroffen in een concentratie boven zijn referentiewaarde tot het 36-voudige toe.

Arseen overschrijdt in 4 van de 13 proefseries zijn referentiewaarde tot het tweevoudige toe.

Nikkel, barium, koper en kobalt zijn af en toe aanwezig in gehalten die duidelijk hoger zijn dan hun respectieve referentiewaarden. Op één uitzondering na (A2) lag de concentratie van zink beneden zijn referentiewaarde.

Samenvattend kan gesteld worden dat in het percolaat uit slechts (proef)droogbed (B1) elementen in lagere concentraties aanwezig zijn dan in genormaliseerd grondwater.

### 3 2 Bodembelasting ten gevolge van uitspoeling

De kwaliteit van het percolaat op zich geeft geen uitsluitel over de daadwerkelijke belasting van de bodem met diverse verontreinigende stoffen

Test B1 bijvoorbeeld waarbij het percolaat onverdacht was, betrof flotatieslib met een zeer laag drogestofgehalte. Het hieruit tredende debiet en daarmee de belasting van de bodem is echter betrekkelijk groot.

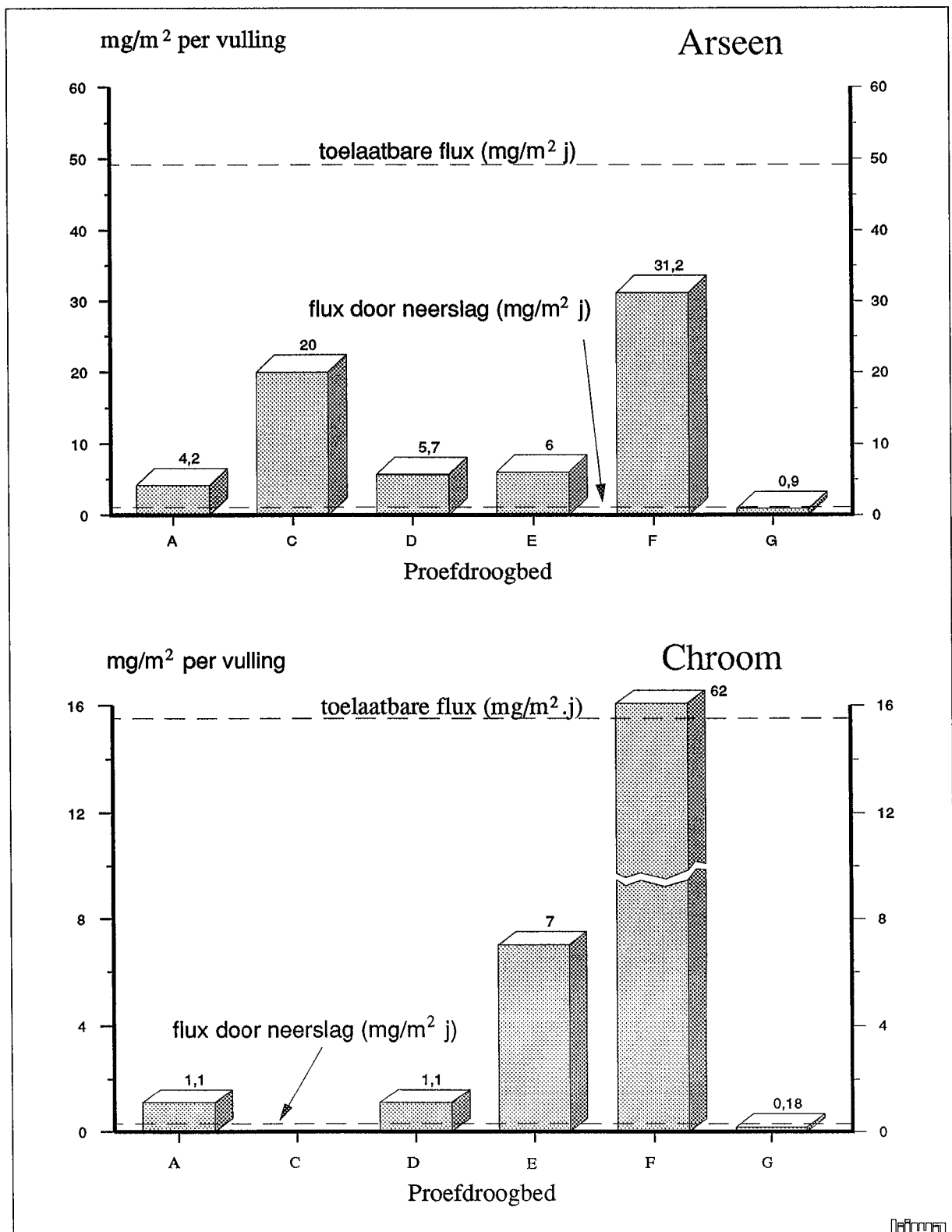
Uit de hoeveelheid uitgetreden percolaat, de gewogen gemiddelde concentratie van de diverse elementen en stoffen en het droogbedoppervlak, is de belasting van de ondergrond (flux) te berekenen. Deze flux is tijdens de proefperiodes sterk variabel en wordt ondermeer bepaald door verschillende factoren zoals

- de bedrijfsvoering, eenmalig of meerdere malen vullen van het droogbed
- het drogestofgehalte van het opgebrachte slib
- de hoeveelheid neerslag en het tijdstip waarin de neerslag valt
- de fysisch-, chemische- en/of biologische processen die in het slib optreden tijdens de waarnemingsperiode

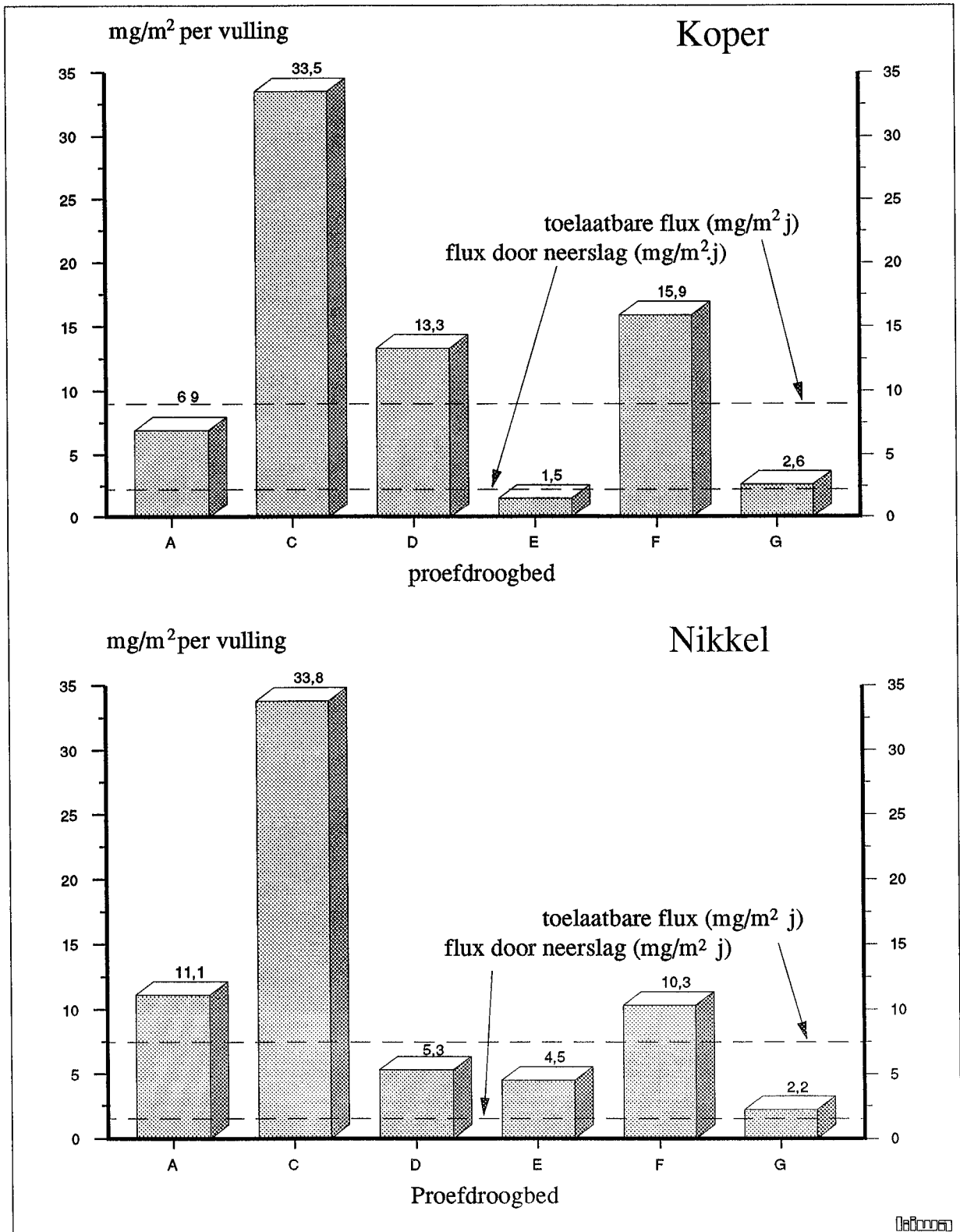
De berekende fluxen van de diverse elementen en stoffen zijn opgenomen in bijlage 5. Uit bijlage 5 valt op te maken dat de flux naar de ondergrond per vulling van het (proef)droogbed, afhankelijk van het element, ver beneden de flux door natte en droge depositie vanuit de atmosfeer ligt (lood) tot een veelvoud daarvan. Chroom bijvoorbeeld belast de ondergrond per vulling 3 tot 200 keer zo zwaar als de jaarlijkse belasting door natte en droge depositie (neerslag en stof).

In de afbeeldingen 3a en 3b is ter illustratie voor enkele elementen de bodembelasting door de (proef)droogbedden uitgezet gedurende de testperiode. In het geval dat op één proefveld meerdere proeven zijn gedaan, is de maximale flux genomen.

In deze afbeelding is tevens de belasting van de ondergrond door natte en droge depositie vanuit de atmosfeer weergegeven alsmede de in het concept-rapport "IBC-criteria baggerspecie-depots" (1989) voorgestelde toelaatbare belasting van de bodem door een opslag van (afval)stoffen op de bodem.



Afbeelding 3a Belasting van de bodem met de elementen arseen en chroom door het percolaat uit (proef)droogbedden per vulling benevens de jaarlijkse atmosferische depositie en voorgestelde toelaatbare flux



Afbeelding 3b Belasting van de bodem met de elementen koper en nikkel door het percolaat uit (proef)droogbedden per vulling benevens de jaarlijkse atmosferische depositie en voorgestelde toelaatbare flux



In tabel 11 is onder meer de het bereik van de fluxen opgegeven waarin diverse elementen en stoffen per vulling uitspoelen

*Tabel 11 Fluxenbereik waarin diverse elementen en stoffen per vulling uitspoelen, de voorgestelde toelaatbare fluxen en de fluxen door natte en droge depositie vanuit de atmosfeer*

element	fluxenbereik <u>per vulling</u> [mg / m <sup>2</sup> ]	voorgestelde toelaatbare flux <u>per jaar</u> * [mg / m <sup>2</sup> :jaar]	flux door natte en droge depo- sitie <u>per jaar</u> ** [mg / m <sup>2</sup> :jaar]
As	0,7 - 31	48,9	0,9
Ba	17 - 70	-	-
Cd	0,02 - 0,5	0,5	0,25
Co	0,9 - 15,2	-	0,52
Cr	0,2 - 63	15,5	0,3
Cu	1,5 - 33,5	8,9	2,3
Ni	2,2 - 33,8	7,4	1,4
Pb	0,3 - 3,6	29,3	10,2
Zn	2 - 105	44,4	16
CZV	4000 - 111000	-	-
NH <sub>4</sub>	10 - 8100	-	-

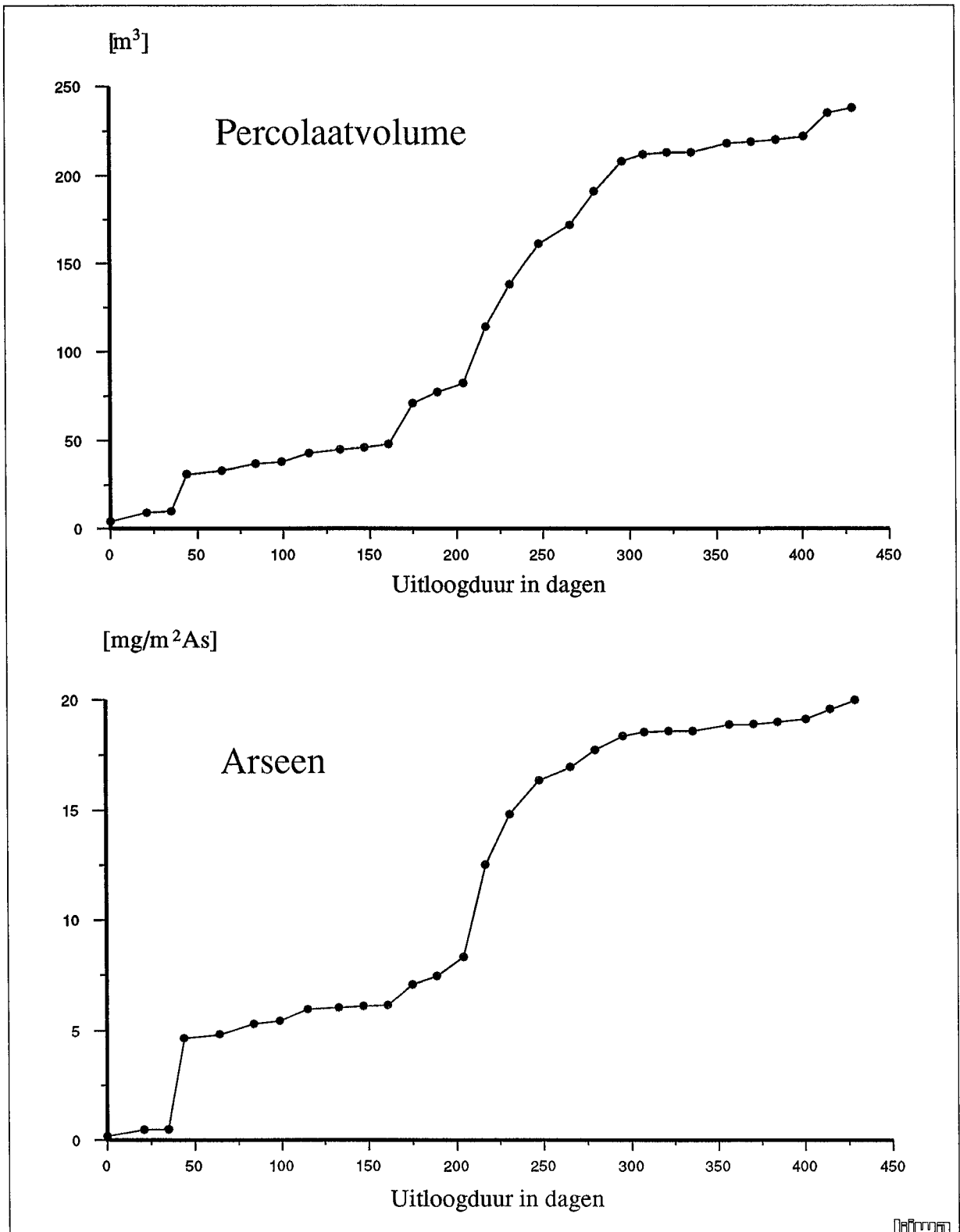
\* RWS / DGM, 1989

\*\* RIVM, 1986

De optredende fluxen over de testperiodes waren te berekenen bij 11 van de 13 proeven en zijn vergeleken met de toelaatbaar geachte fluxen uit een opslag/stort zoals vermeld in het concept-rapport "IBC-criteria baggerspeciedepots" (1989). Gebleken is dat bij 7 van de 11 proeven (uitzondering C3, E1, E2, en G) de flux van één of meer elementen in de proefperiode uitsteeg boven de toelaatbaar geachte flux voor het betreffende element. De overschrijding was fractioneel tot ruim het viervoudige toe (F2, C2).

De resultaten van die proeven die langer duurden dan een jaar zijn herleid tot de periode van een jaar. De aldus berekende fluxen zijn niet zo veel lager dat het beeld voor deze (proef)droogbedden veranderde. Voor die proeven die korter dan een jaar geduurd hebben, kan worden gesteld dat de bodembelasting per jaar in werkelijkheid hoger zal uitvallen dan de in de proefperiode bepaalde flux omdat bij normale bedrijfsvoering een droogbed ongeveer twee maal per jaar wordt gevuld. Bij nagenoeg alle (proef)droogbedden waar de testduur minder dan een jaar bedroeg, is de flux van ten minste één element hoger dan de voorgestelde toelaatbare flux. Bij een volledige jaarcyclus zal het resultaat ongunstiger worden.

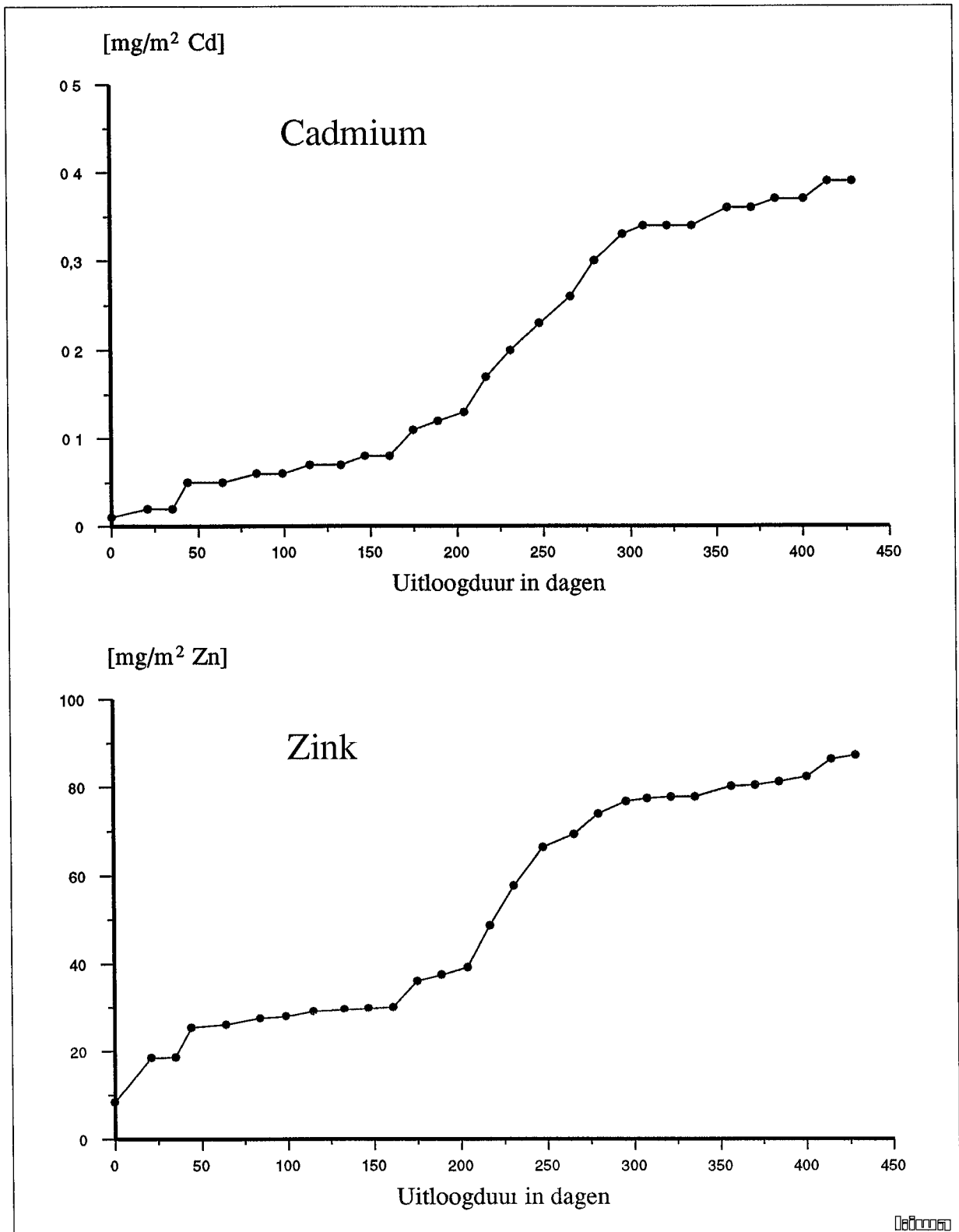
Debiet en flux hangen met elkaar samen. Om een indruk te krijgen van de mate van samenhang zijn het cumulatieve debiet en de cumulatieve fluxen van diverse elementen voor de diverse proefvelden in de tijd uitgezet. Hieruit komt naar voren dat het debiet een duidelijk grotere invloed heeft op de cumulatieve flux dan de (wisselende) concentraties van elementen. Als voorbeeld moge de afbeeldingen 4a en 4b dienen waarin het cumulatief debiet en de cumulatieve fluxen van arseen, cadmium en zink zijn uitgezet.



Afbeelding 4a Cumulatief percolaatvolume en cumulatieve flux van arseen uit droogbed C2

72013 N 04-40





Afbeelding 4b Cumulatieve fluxen van cadmium en zink uit droogbed C2

Regenwater van gemiddelde samenstelling bevat voor de meeste elementen met uitzondering van lood en cadmium aanzienlijk lagere gehalten aan zware metalen en arseen dan het percolaat. Een verdunningseffect op de concentraties aan diverse elementen in het percolaat is evenwel niet waargenomen. Deze constatering heeft consequenties met betrekking tot de grootte van de bodembelasting. Het debiet dat uit de slibopslag komt, wordt evenredig met de grootte van het neerslagoverschot vergroot, terwijl de concentratie aan elementen in het percolaat hierdoor niet blijkt te dalen. Dit houdt in dat de bodembelasting met diverse elementen evenredig met de grootte van het neerslagoverschot toeneemt.

De totale jaarlijkse vulhoogte van droogbedden met slib onder Nederlandse omstandigheden bedraagt maximaal 1 meter (makkelijk ontwaterbaar slib). Het droge stofgehalte van het opgebrachte slib ligt doorgaans tussen 5 en 10 %w/w, terwijl het droge stofgehalte na drainage in de orde van grootte van 15-25 %w/w ligt. Dit houdt in dat gedurende het drainageproces tenminste 500 mm water uit het slib naar de ondergrond draineert. Indien in de drainageperiode het neerslagoverschot bijvoorbeeld 100 mm zou bedragen, aannemende dat dit door de sliblaag percoleert en dat de concentraties van de elementen in het uittredende water niet door de hoeveelheid neerslag worden beïnvloed, betekent dit dat in dit specifieke geval neerslag 20% van de flux naar de ondergrond voor haar rekening neemt. In geval van een moeilijk ontwaterbaar coagulatieslib dat met 150 mm op een droogbed wordt gebracht, draineert in de drainageperiode circa 100 mm water uit het slib naar de ondergrond. In dit geval is een verondersteld neerslagoverschot van 100 mm in de drainageperiode verantwoordelijk voor bijna de helft van de flux.

Om de invloed van regenwater op de flux van diverse elementen en stoffen te minimaliseren, verdient het aanbeveling om slib zo geconcentreerd mogelijk telkens in dunne lagen op het droogbed te brengen teneinde scheurvorming door droging van de sliblaag te versnellen. Opvallend regenwater stroomt dan door de krimpscheuren rechtstreeks naar het drainagestelsel. De contacttijd van regen met slib wordt gereduceerd en daardoor het in oplossing gaan van elementen uit de slibmatrix.

3 3 Beschouwing percolaatsamenstelling tegen de achtergrond van voorgestelde criteria voor toelaatbare bodembelasting

Slib wordt over het algemeen betrekkelijk dun, ergo veel water bevattend op een droogbed gebracht. Dit veroorzaakt een betrekkelijk groot uittredend volume aan percolaat. Zelfs al zou een qua kwaliteit schoon percolaat uittreden, dan zou het grote debiet er de oorzaak van kunnen zijn dat toch een flux van diverse verontreinigingen optreedt die hoger is dan de voorgestelde toelaatbare flux. Een bodem vervuilen met een niet verontreinigd water lijkt een contradictio in terminis. Daarom zijn de bijlagen 4 en 5 met elkaar vergeleken. Daar waar toelaatbaar geachte fluxen overschreden worden, is gekeken naar de concentratie van het desbetreffende element in het percolaat. Het blijkt dat een te hoge flux voor een aantal elementen wordt veroorzaakt door wat de concentratie van het betreffende element aangaat, onverdacht percolaat. Worden de fluxen die veroorzaakt worden door concentraties beneden de referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem van het desbetreffende element, buiten beschouwing gelaten, verandert het totaalbeeld qua overschrijding van toelaatbaar geachte fluxen echter niet. Er resteert per slibsoort waarbij de toelaatbare flux van één of meer elementen te hoog was, altijd minimaal één element waarbij dit het geval is.

De elementen waarvan zowel flux als concentratie hoger zijn dan diverse kaders aangeven, zijn bijeengebracht in tabel 12. Tevens is aangegeven met welke factor de voorgestelde toelaatbare flux wordt overschreden.

Uit tabel 12 blijkt dat bij 7 van de 11 tests minstens één element in een concentratie is aangetroffen die hoger is dan zijn referentiewaarde en waarvan zijn flux tevens uitstijgt boven de voorgestelde toelaatbare flux uit het concept-rapport IBC-criteria-baggerspeciedepots (1989). Dit geldt aldus voor 4 van de 6 onderzochte slibsoorten.

Tabel 12 toont eveneens aan dat de overschrijding van een toelaatbaar geachte flux op kan lopen tot ruim het viervoudige. Voorts valt op te merken dat het "kritieke" element per slibsoort kan verschillen.

De bedrijfsvoering van een droogbed kan zodanig zijn dat het uittredend debiet en daarmee de flux wordt beperkt. Dit kan geschieden door bijvoorbeeld een adequate bovenwater-/ regenwaterafvoer met behulp van lozingskisten en waterdoorlatende taluds aan te brengen. Het valt echter te betwijfelen of de flux in alle gevallen op deze manier voldoende kan worden verminderd.

*Tabel 12 Elementen waarvan zowel de concentratie als de flux hoger zijn dan de waarden zoals opgegeven in de referentiekaders voor respectievelijk grondwater en toelaatbare bodembelasting*

slib	element	overschrijdings- factor toelaatbare flux
A1	nikkel	1,5
2	zink	2,5
C2	nikkel	4,5
3	-	-
D1	koper	1,5
2	koper	1,5
E1	-	-
2	-	-
F1	chroom	1,6
2	chroom	4,1
G1	-	-

Het uittredende debiet en daarmee de flux bij een opslag van reeds ontwaterd slib boven de hoogste grondwaterstand zal voornamelijk bepaald worden door opvallend en indringend regenwater. Indien door middel van een bovenafdichting wordt voorkomen dat regenwater door het slib percoleert, is een dergelijke droge opslag in principe als milieuhygiënisch verantwoord te beschouwen.

3 4 Vergelijking uitkomsten proefdroogbedden met resultaten van laboratoriumtesten.

Tabel 13 geeft een indruk van de fractie van een bepaald element die ten tijde van de droogbedproeven is uitgespoeld ten opzichte van de initieel in het slib aanwezige hoeveelheid. De tabel bevat eveneens de uitkomsten van diverse laboratorium uitloogexperimenten waarbij de mobiliteit van verschillende elementen is vastgesteld. Bij vergelijking van de uitkomsten in tabel 13 moet in gedachte worden gehouden dat de schudtest principieel informatie verschaft over de chemische stabiliteit van een verbinding (pH als variabele).

De condities waaronder de diverse schudtesten zijn uitgevoerd, zijn verschillend. De hoeveelheid extractiemiddel ten opzichte van de hoeveelheid uit te logen materie, de zogenaamde L/S-verhouding en de contacttijd zijn belangrijke parameters. EBI hanteerde een contacttijd van 48 uur en een L/S verhouding van 10. ESWE hanteerde een contacttijd van 24 uur en een L/S verhouding van 1000. De in opdracht van het RIVM uitgevoerde tests (TAUW, 1989) zijn volgens NVN 2508 verricht. Deze procedure schrijft een contacttijd voor van 4 uur, een L/S verhouding van 100 en een constante pH-waarde van 4.

De persproef geeft inzicht in de actuele samenstelling van poriewater en moet als momentopname worden gezien. De droogbedproef geeft uitkomsten welke het resultaat zijn van het inwerken van velerlei milieufactoren op de slibmatrix over langere periode. De vergelijking levert de volgende gezichtspunten op:

- De schudtest bij pH 7 (EBI) levert ten opzichte van de (proef)droogbedden (pH 5,7 - 7,8) 15 à 20 maal hogere uitloogpercentages op voor de mobiele elementen Cd, Ni en Zn.
- Schudtesten en (proef)droogbedden leveren voor nagenoeg alle elementen grote onderlinge verschillen op ten aanzien van de uitloogbaarheid. Dit is waarschijnlijk mede toe te schrijven aan de verdeling van een element over diverse bindingsklassen die per slibsoort sterk kan verschillen (Lee et al, 1990).



*Tabel 13 Vergelijking van procentuele uitloging van slib van waterproductiebedrijven in promille (0,1%) onder praktijk-omstandigheden (proefdroogbedden) en laboratoriumomstandigheden (persproef / schudtesten)*

	(proef)droogbedden		persproef		schudtesten			
	KIWA	X <sub>geo</sub>	KIWA	EBI	EBI	ESWE	ESWE	TAUW
bereik uitgespoelde fractie	X <sub>geo</sub>	X <sub>geo</sub>	X <sub>geo</sub>	X <sub>geo</sub>	X <sub>max</sub>	X <sub>geo</sub>	X <sub>geo</sub>	X
pH = 5,7 -7,8			pH = 6,5- -8,5	pH=7	pH = 4 -5	pH=5	pH=4	pH=4 *
As	0,06 - 3,1	0,5	0,38	0,3	18	6,5	9,1	<1 , 3
Cd	0,16 - 9,0	2,4	0,34	50	524	80,250*	190,460*	160,>80
Co	0,66 - 7,4	2,9	0,78	-	-	-	-	48 ,480
Cr	0,40 - 11,5	1,1	0,11	0,4	5	5	10	<2 , 26
Cu	0,11 - 16,2	3,0	0,14	4,2	26	25	34	100,450
Ni	1,52 - 14,3	3,6	1,22	67	550	38	48	240,470
Pb	0,16 - 2,7	1,1	0,10	1,0	17	<1**	80**	<2 , 27
Zn	0,46 - 8,0	2,7	0,22	43	315	370,550*	810,770*	72 ,540

*X<sub>geo</sub>* geometrisch gemiddelde van de uitgespoelde fracties

*KIWA droogbedden* 6 (uit 7) slibsoorten van Nederlandse waterproductiebedrijven

*KIWA persproef* 8 slibsoorten van Nederlandse waterproductiebedrijven

*EBI* 14 slibsoorten van Duitse waterproductiebedrijven  
(Eckhardt & Dibbets, 1986b)

*ESWE* 6 slibsoorten van Duitse waterproductiebedrijven  
(Lee et al , 1990; Eckhardt & Haber et, 1986, Eckhardt & Dibbets, 1986a)

*TAUW (1989)* 2 slibsoorten van Nederlandse waterproductiebedrijven  
(Tabel 7, slibsoort A en C)

\* 2 metingen

\*\* 1 meting

- De persproef levert in vergelijking met de (proef)droogbedden en de schudtesten bij pH 7 (EBI) met uitzondering van het element arseen meestal veel lagere uitloogpercentages op. Hiervoor valt geen duidelijke verklaring aan te geven. In sommige gevallen zou kunnen worden gedacht aan een vergroting van de procentuele uitspoeling door een percolerend debiet aan regenwater dat een extra hoeveelheid elementen en stoffen oplost. Een duidelijk verschil evenwel tussen de persproef enerzijds en de droogbedden/schudtesten anderzijds is dat laatstgenoemde methoden in een oxidatief milieu hebben plaatsgehad terwijl de persproef onder uitsluiting van luchtzuurstof is uitgevoerd.
- Bij een pH daling in een oxidatief milieu van pH 7 naar pH 4-5 (EBI) neemt de uitloogbaarheid van de meeste elementen met een factor 10 toe terwijl voor arseen een factor 60 is vastgesteld. Een pH daling van 5 naar 4 (ESWE) resulteert in een toename van de uitloogbaarheid met een factor 1,5 à 2.
- Indien de elementen per droogbedproef gerangschikt worden naar de mate van uitspoeling uit de slibmatrix dan ontstaat het volgende beeld

Ni > Cd > Cu > Pb, Zn > As, eveneens geldt Co, Cr > As

- De volgorde van uitloogbaarheid bij de schudtesten met pH als variabele is als volgt

EBI pH 7	Ni > Cd > Zn > Cu > Pb > Cr > As
EBI pH 4-5	Ni > Cd > Zn > Cu > Pb > As > Cr >
ESWE pH 5	Zn, Cd > Ni, Cu > Cr, As
ESWE pH 4	Zn, Cd > Ni, Cu > Cr, As
RIVM pH 4 Slib 1	Zn > Ni > Cu > Cd > Co > Pb > Cr > As
RIVM pH 4 Slib 2	Co > Ni > Cu > Cd > Zn > Pb > Cr > As

Vergelijking van de volgorde in uitloogbaarheid der elementen toont aan dat de elementen Ni, Cd, Cu en Zn in een oxidatief licht basisch tot zuur milieu als meest mobiele elementen moeten worden aangemerkt en Pb, Cr en As als meest immobiele elementen.

De overeenkomst in volgorde der uitspoeling bij de (proef)droogbedden en schudtesten duidt erop dat de pH de meest invloedrijke milieufactoor is bij de

uitspoeling van elementen gedurende de slibontwatering op droogbedden De pH-daling die ten tijde van de slibontwatering op droogbedden is opgetreden bedraagt doorgaans 0,5 eenheid tot meer dan 1 eenheid zoals is weergegeven in tabel 14

Tabel 14 *Vergelijking tussen de pH van vers slib en het pH-bereik in het percolaat van 7 op (proef)droogbedden ontwaterde slibsoorten*

slib	pH vers slib	pH-bereik percolaat
A	7,9	7,0 - 7,5
B	-	7,9 - 7,4
C	8,2	6,9 - 7,6
D	8,1	7,4 - 7,7
E	8,1	5,3 - 6,2*
F	7,8	7,1 - 7,7
G	7,7	7,0 - 7,3

\* vermoedelijk ten gevolge van oxydatie van pyriet in het drainagemedium

De verandering in redoxpotentiaal als milieufactor heeft in veel mindere mate een rol gespeeld bij de mobilisatie van diverse elementen hetgeen onder meer gestaafd wordt door de sulfaatgehalten van het percolaat Deze zijn bij benadering gelijk aan die van het bereide drinkwater (bijlage 4) Ook bevatte het percolaat veelal nog zuurstof en bijgevolg betrekkelijk weinig ijzer

Een aanzienlijk grotere uitspoeling van elementen uit de slibmatrix tijdens de natuurlijke ontwatering op droogbedden dan in tabel 13 is aangegeven moet uitgesloten worden geacht Dit is terug te voeren op onder meer het gehalte aan  $\text{CaCO}_3$  in het slib van waterleidingbedrijven dat veelal tenminste 5% w/w bedraagt (Koppers *et al*, 1985) Hierdoor wordt de invloed van zure neerslag (pH 4,5 à 5,5) tenietgedaan De pH van het slib zal ten gevolge van genoemde buffering in het neutrale bereik blijven

Tenslotte zij opgemerkt dat de belasting van het percolaat met ammonium en organische stof (gemeten als CZV, tabel 9) beduidend minder is dan op basis van de poriewatersamenstelling (tabel 4) zou worden verwacht

Dit is eveneens een aanwijzing dat de afbraak van organische stof tijdens slibontwatering op droogbedden onder meer oxydatieve omstandigheden plaatsvindt. Voor een verdere pH-daling heeft derhalve, in tegenstelling tot bij afbraak van organische stof onder anoxische omstandigheden, niet te worden gevreesd.

De belasting van het percolaat met CZV bedraagt echter veelal meer dan 40 mg/l O<sub>2</sub> hetgeen een directe afvoer op oppervlaktewater veelal belemmert (richtlijn 20 mg/l O<sub>2</sub>, Koppers et al , 1990)

#### 4 CONCLUSIES

Ten gevolge van de aanwezigheid van afbreekbare organische stoffen in het slib kunnen veranderingen optreden in de redoxtoestand en de pH van het slib. Een wijziging in de redoxtoestand leidt tot het in oplossing gaan van redoxgevoelige elementen zoals ijzer en mangaan. Hierdoor kan op zijn beurt arseen uit zijn binding met driewaardig ijzer worden losgemaakt. Bij verdergaande daling van het redoxniveau (sulfaatreductie) kunnen eventueel reeds in oplossing gegane (zware) metalen zoals cadmium, lood, zink en ijzer opnieuw in sulfidevorm worden gefixeerd. De tengevolge van organische stof-afbraak optredende pH daling blijft veelal beperkt ten gevolge van onder andere de aanwezigheid van calciumcarbonaat in het slib. Desalniettemin kan een lichte pH daling van 0,5-1,5 eenheden elementen zoals nikkel en waarschijnlijk ook cobalt uit hun instabiele bindingsvormen losmaken. Tenslotte resulteert de afbraak van organische stoffen in hoge CZV/DOC en ammoniumgehalten van het poriewater.

Bij zeven van de acht onderzochte slibsoorten zijn in het poriewater tenminste twee elementen en ammonium in een hogere concentratie aangetroffen dan hun respectieve referentiewaarden voor grondwater in een multifunctionele bodem.

Arseen is in veel gevallen in concentraties in het poriewater aanwezig boven de referentiewaarde (10 µg/l) tot het twaalfvoudige toe. Nikkel, chroom en cobalt worden regelmatig aangetroffen in gehalten boven hun referentiewaarden van respectievelijk 15, 1, 20 µg/l tot een vijfvoud daarvan. Cadmium, lood en zink komen daarentegen in concentraties voor die in alle gevallen beneden hun referentiewaarden liggen van respectievelijk 1,5, 15 en 150 µg/l.

De maximale hoeveelheid nikkel in het poriewater ten opzichte van de totaal aanwezige hoeveelheid in de vaste stofmatrix bedroeg circa 3%. Voor de elementen chroom, koper, lood en zink beliep deze hoeveelheid maximaal 0,1%. Voor de elementen cobalt, cadmium en arseen lag de maximale hoeveelheid tussen 0,2 en 0,4%.

In het percolaat afkomstig van drie van de zeven onderzochte slibsoorten is een gewogen gemiddelde concentratie aan arseen aangetroffen die maximaal twee maal zo hoog is als de referentiewaarde voor dit element in grondwater in een multifunctionele bodem. In twee van de zeven gevallen is de concentratie aan nikkel en cobalt in het

percolaat hoger dan hun respectieve referentiewaarden voor grondwater tot het tweevoudige toe Bij drie slibsoorten is de concentratie aan barium en koper hoger dan hun respectieve referentiewaarden tot het drievoudige toe Bij vier slibsoorten komt chroom voor in concentraties die het drie- tot zesendertigvoudige bedragen van de referentiewaarde voor dit element van 1 µg/l De elementen cadmium en lood en in -op een na alle gevallen- ook zink zijn nooit in concentraties aanwezig hoger dan hun respectieve referentiewaarden

In het percolaat afkomstig van zes van de zeven slibsoorten is minimaal één element en bij één slib ammonium aangetroffen in concentraties hoger dan hun respectieve referentiewaarden

Het gewogen gemiddelde gehalte aan organische stoffen in het percolaat uitgedrukt als CZV bedraagt veelal meer dan 40 mg/l O<sub>2</sub> hetgeen een directe afvoer op het oppervlaktewater veelal belemmert Het gewogen gemiddelde gehalte aan ammonium bedraagt veelal 0,5-2 mg/l NH<sub>4</sub> en kan incidenteel zelfs uitstijgen boven 20 mg/l NH<sub>4</sub>

Bij zes van de zeven slibsoorten is de bodembelasting door het percolaat uit droogbedden berekend Afhankelijk van slibsoort en element is de bodembelasting ver beneden de belasting door natte en droge depositie vanuit de atmosfeer tot een veelvoud daarvan De belasting met koper, nikkel, chroom of zink is in de proefperiode bij 4 van de 6 slibsoorten hoger dan de voorgestelde toelaatbare bodembelasting in het door RWS / DGM uitgebrachte concept-rapport "IBC-criteria baggerspeciedepots" De overschrijding bedraagt een factor 1,5 tot 4,5

De belasting door cadmium, lood en arseen is in de onderzoeksperiode nooit hoger dan de voorgestelde toelaatbare belasting voor het betreffende element

Regenwater heeft geen aantoonbaar verdunnend effect gehad op gehalten aan zware metalen en arseen in het percolaat Door regenwater worden dus in het slib aanwezige verontreinigende stoffen uitgeloozd De belasting van de bodem wordt derhalve door op het slib vallend regenwater vergroot Afhankelijk van de omstandigheden kan naar schatting ongeveer 20 tot 50% van de bodembelasting tijdens het drainageproces te wijten zijn aan percolerend regenwater

Met betrekking tot de mobiliteitsvolgorde wordt in het algemeen de volgende tendens waargenomen  $Ni > Cd > Cu > Pb, Zn > As$  Tevens geldt  $Co, Cr > As$

Deze tendens wijst op de pH als meest invloedrijke milieufactor bij de uitspoeling van elementen uit slib dat op droogbedden wordt ontwaterd. Door de oxydatieve omstandigheden en door het grote bufferende vermogen (door de aanwezigheid van onder andere calciumcarbonaat) van het slib is het niet waarschijnlijk dat ten gevolge van microbiële afbraak van organische stof of door zure regen de pH veel meer dan 1 eenheid ten opzichte van de uitgangssituatie zal dalen. Een sterk vergrote uitspoeling van elementen en stoffen ten opzichte van de in dit onderzoek gepresenteerde waarden door toedoen van pH invloeden is dan ook niet waarschijnlijk.

Er zijn uitloogpercentages vastgesteld tot circa 1,5 % voor de elementen chroom, koper en nikkel. Tot maximaal 1% is geconstateerd voor de elementen cadmium, cobalt en zink. Voor arseen en lood bedraagt het maximale uitloogpercentage tot 0,3%. Het geometrisch gemiddelde van de uitgeloopte fracties arseen -juist dat element dat drinkwaterslib zijn Wca-stigma kan geven- bedroeg slechts 0,05%.

Een voorspelling van de uitloogbaarheid door schudtesten met pH als variabele geven, naar het zich laat aanzien, beduidend hogere uitloogpercentages voor de pH-gevoelige elementen zoals cadmium, nikkel en zink.

## 5 AANBEVELINGEN

Op grond van de resultaten van het onderzoek naar het uitlooggedrag van slib van waterleidingbedrijven en een toetsing van deze resultaten aan het door RWS / DGM voorgestelde referentiekader ten aanzien van een toelaatbare bodembelasting door (afval)stoffen, moet het ontwateren en opslaan van slib op de bodem veelal als bodembedreigend worden aangemerkt. Uitdrukkelijk zij hier vermeld dat genoemd kader stamt uit een ter discussie uitgebracht rapport en in principe betrekking heeft op baggerspecie. Dit houdt in dat IBC-criteria onverkort van toepassing zijn op alle activiteiten waarbij slib binnen de eigen inrichting op of in de bodem wordt gebracht. In concreto houdt dit in dat de volgende maatregelen getroffen dienen te worden:

- Natte slibopslagen zoals droogbedden en spoelwatervijvers moeten van de bodem worden afgeschermd door het aanbrengen van een waterdoorlatende laag zoals bijvoorbeeld een folie, bitumenlaag, beton etc. Percolaat en eventueel grondwater ter plaatse dienen regelmatig te worden bemonsterd. Het percolaat dient -afhankelijk van de kwaliteit en de bestemming- te worden behandeld.
- Opslagen met reeds ontwaterd slib die zich boven de hoogste grondwaterstand bevinden, moeten minstens voorzien zijn van een bovenafdichting.

De belasting van het percolaat met verontreinigende stoffen evenals de hoeveelheid percolaat kan door diverse maatregelen worden verminderd. Te noemen zijn:

- Afvoer van bovenstaand water uit natte opslagen met behulp van lozingskisten (regelbare overstort) en waterdoorlatende taluds.
- Opbrengen van zo geconcentreerd mogelijk slib op droogbedden. Dit kan geschieden middels voorafgaande gravitatie- of flotatie-indikking.
- Conditionering van het slib met synthetische polyelectrolyten. Hierdoor wordt de waterafgifte door drainage versneld.
- Opbrengen van slib op droogbedden in dunne lagen (10 - 30cm). Hierdoor wordt het ontwateringsproces versneld waardoor eerder scheurvorming optreedt. Regenwater bereikt hierdoor snel het drainagemedium zonder in intensief contact met de slibmatrix te zijn geweest.



- Verhoging van de pH door toevoeging van kalk Elementen die gevoelig zijn voor een lichte pH daling zoals nikkel logen hierdoor in geringere hoeveelheden uit
- Beperking -indien mogelijk- van de organische belasting van het slib door het achterwege laten van natuurlijke vlok(hulp)middelen zoals zetmeelderivaten bij de spoelwaterbehandeling en bij de coagulatie van oppervlaktewater Ook verdient het aanbeveling om methaanhoudend grondwater middels intensieve beluchting te behandelen Dit beperkt de bacteriegroei in de snelfilters hetgeen resulteert in een slib met een lager organisch stofgehalte

Nader onderzoek naar de gezamenlijke deponie van slib van waterleidingbedrijven met huishoudelijke afvalstoffen, riolen-, kolken- en gemalenslib, grondreinigings-residuen en zuiveringsslib zal moeten uitwijzen welke effecten deze gecombineerde stortmethode heeft op het uitflooggedrag van drinkwaterslib

Nader onderzoek naar het uitflooggedrag van reeds ontwaterd slib bij gecompartmenteerd storten of bij opslag in een monodeponie wordt, gelet op de voorhande zijnde resultaten, niet noodzakelijk geacht

6 LITERATUUR

Eckhardt H & Haberer, K 1986 Freisetzung von Spurenelementen aus Wasserwerkschlämmen unter besonderer Berücksichtigung des pH-Wertes, Vom Wasser, 66, pp 197-210

Eckhardt, H & Dibbets G 1986a Charakterisierung der Schlämme für die natürliche Entwässerung DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr 50

Engler Bunte Institut Karlsruhe 1986b, Elutionsversuche mit 14 Schlämmen verschiedener Wasserwerke durchgeführt von der DVGW-Forschungsstelle (EBI Khe)

Uit Eckhardt, H and Dibbets G Charakterisierung der Schlämme für die natürliche Entwässerung DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr 50

Eckhardt, H 1988 Untersuchung zur Freisetzung von Schadstoffen bei der Lagerung von Schlämmen der Trinkwasseraufbereitung Abschlussbericht des BMFT (FK 14 303 36) und Umweltbundesamtes Berlin

Koppers, H M M et al 1985 Gehalten aan anorganische stoffen in het slib van Nederlandse waterleidingbedrijven, KIWA speurwerkrapport SWE 85-004

Koppers, H M M , Rolan, A T , Vandermeijden, C , McTigue, N E , Henke, H A , Martin, H , Nieuwenhuyze, R F 1990 Advanced treatment technologies, Chapter 3, AWWARF / KIWA Cooperative Research Report Slib, Schlamm, Sludge

Lee, R G , Eckhardt, H , Wortel, N C , Koppers, H M M 1990 Toxic concerns regarding water plant wastes, Chapter 4, AWWARF / KIWA Cooperative Research Report Slib, Schlamm, Sludge

Leidraad bodemsanering, aflevering 4, november 1988

Rijkswaterstaat, Directoraat-Generaal Milieubeheer, 1989 IBC-criteria baggerspeciedepots, concept, 1989

RIVM, 1986 Luchtkwaliteit, Jaarverslag 1986

TAUW, 1989 Rapport nummer 51161 52/R0-01

Stumm, W & Morgan, J J : 1981 Aquatic chemistry, 2nd Ed John Wiley and Sons  
An introduction emphasizing chemical equilibrium in natural waters

Waal, de, J F 1985 De uitloging van arseen uit arseenhoudend ijzerhydroxideslib  
Afstudeerverslag Technische Hogeschool Delft, Vakgroep Gezondheidstechniek en  
Waterbeheersing

## **BIJLAGEN**

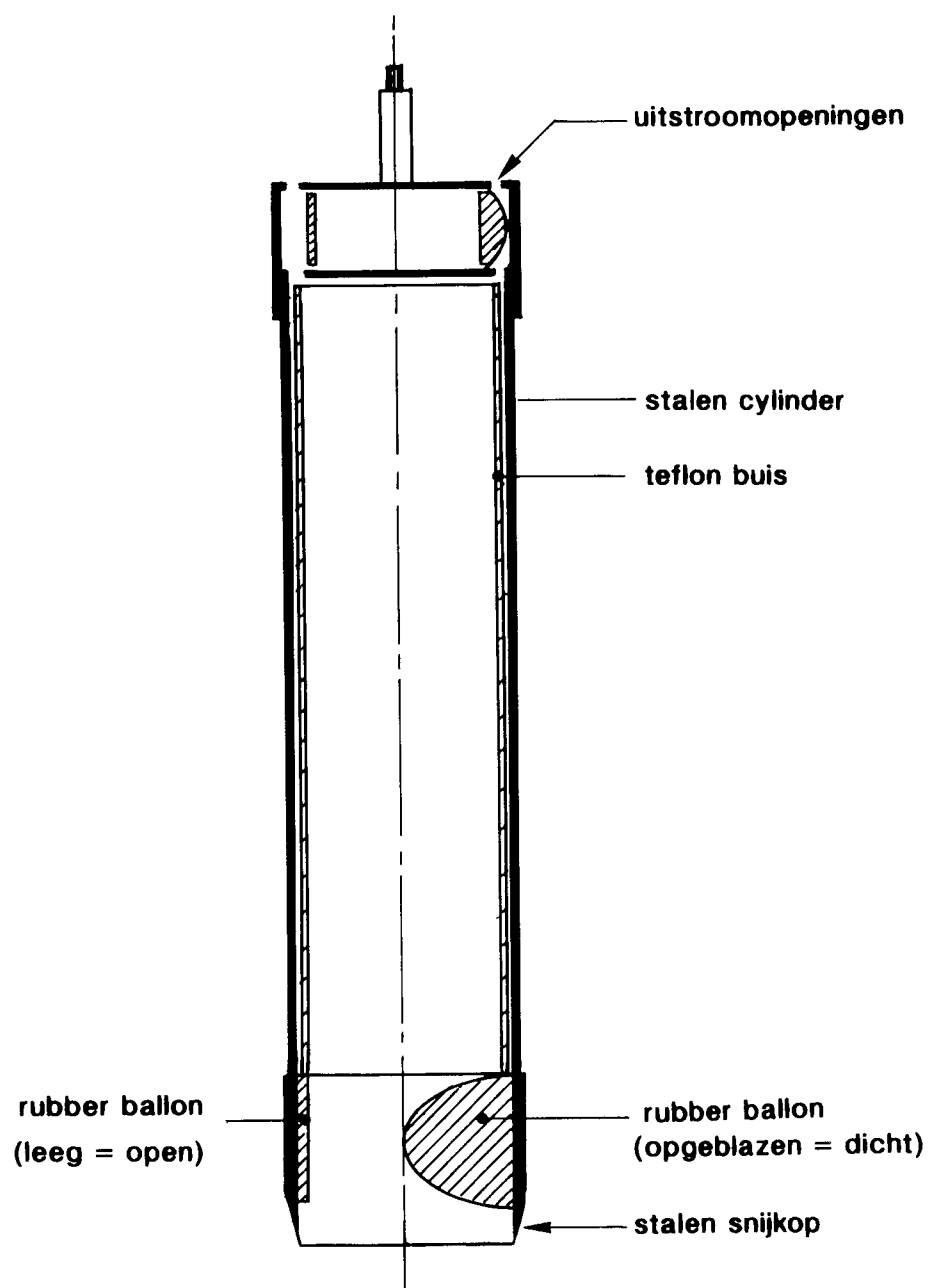
<b>Bijlage 1</b>	<b>Afbeelding Mud Sampler</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Afbeelding en werkwijze poriewaterpers</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Samenstelling poriewater</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Samenstelling percolaat</b>
<b>Bijlage 5</b>	<b>Belasting van de bodem door droogbedden</b>



**BIJLAGE 1 AFBEELDING MUD SAMPLER**



## bijlage 1 afbeelding mud sampler



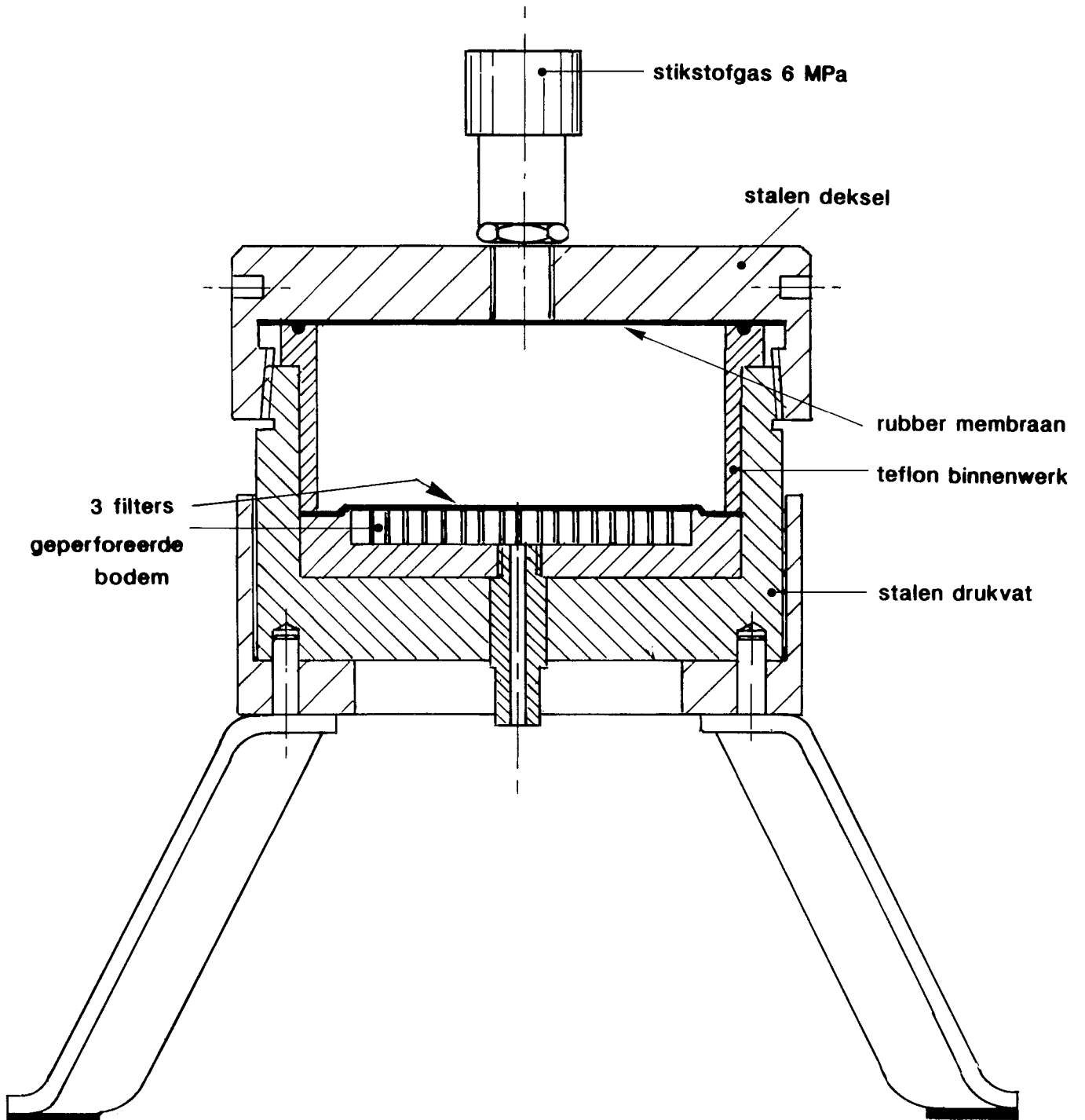




## BIJLAGE 2 AFBEELDING PORIEWATERPERS



bijlage 2 afbeelding poriewaterpers





## BIJLAGE 2 WERKWIJZE PORIEWATERPERS

Alvorens de pers met slib te vullen, wordt deze met de zich daarin bevindende filters, met stikstof doorgespoeld. Na het vullen wordt de deksel die aan de binnenzijde voorzien is van een elastisch natuurrubber membraan vastgezet. Boven dit membraan wordt stikstof onder druk toegevoegd. De druk die opgevoerd wordt tot 6000 kPa wordt via het membraan overgebracht op het zich eronder bevindende slib. Het in het slib aanwezige poriewater wordt hierdoor verdreven en opgevangen. De eerste fractie van 30 ml wordt niet gebruikt voor de analyse van elementen en stoffen. Deze voorzorg is nodig omdat ondanks het vooraf spoelen van pers en filters met stikstof de aanwezigheid van luchtzuurstof niet geheel is uit te sluiten. Elementen die in gereduceerde vorm in het poriewater aanwezig zijn, kunnen door de luchtzuurstof geoxideerd worden. Deze oxidatie kan tot gevolg hebben dat het desbetreffende element in slib of filters achterblijft zodat een te lage concentratie in het poriewater wordt gemeten. Als voorbeeld kan genoemd worden de oxydatie van ijzer ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) dat hierdoor in hydroxidevorm uitvlokt.

De eerste fractie van 30 ml wordt echter wel benut voor de bepaling van temperatuur, pH en alkaliteit. Voor alle analyses is in totaal circa 300 ml poriewater nodig.

BIJLAGE 3 Samenstelling van poriewater afkomstig uit slibmonsters genomen op verschillende plaatsen uit droogbedden en slibopslagen

Test	As [µg/l]	Ba [µg/l]	Cd [µg/l]	Co [µg/l]	Cr [µg/l]	Cu [µg/l]	Ni [µg/l]	Pb [µg/l]	Zn [µg/l]	CZV [mg/l] O <sub>2</sub>	NH <sub>4</sub> [mg/l]
A1	<0,3	116	0,51	9,1	<1	3,3	19	3,3	<20	30	5,1
2	<0,3	166	0,28	27	<1	4,6	15	5,4	20	19	4,3
3	1,6	210	0,31	50	<1	5,4	38	3,2	70	49	10,9
4	4,8	169	0,15	16	<1	5,1	13	1,2	<20	43	5,0
B1	12	49	0,12	<5	1,1	2,8	5	1,1	-	610	90
2	3,5	167	0,20	<5	<1	2,6	<1	<1	<20	230	6,4
3	2,2	145	<0,1	6	<1	2,9	2	<1	<20	85	15
4	3,8	482	0,26	<5	<1	1,0	<1	<1	<20	170	26
5	5,2	325	0,43	<5	1,0	3,8	<1	<1	<20	350	32
C1	23	85	<0,1	<5	<0,5	0,9	65	<0,5	<20	720	148
2	-	101	<0,1	<5	0,6	0,7	51	1,5	<20	1800	98
3	38	70	<0,1	<5	<0,5	0,4	33	1,1	<20	710	128
4	46	175	<0,1	<5	<0,5	0,2	11	<0,5	<20	1800	206
5	44	340	<0,1	<5	<0,5	1,1	9	1,7	<20	2200	272
D1	53	455	0,37	25	3,3	5,2	15	6	30	430	52
2	32	337	0,43	20	1,2	18,5	7	2	<20	1200	87
3	122	720	0,30	<5	1,8	2,9	9	2,1	<20	1300	174
4	59	147	0,40	9	1,9	4,6	7	1,5	<20	330	101
E1	43	1700	0,16	<5	<0,5	1,1	4	1,1	<20	5100	754
2	36	678	0,10	<5	1,1	1,5	9	1,0	<20	2200	476
3	23	677	<0,10	<5	<0,5	0,2	2	0,7	<20	470	198
4	14	793	<0,10	<5	<0,5	0,5	3	0,5	<20	360	149
F1	1,7	9	<0,1	<5	<0,5	0,3	<1	<0,5	<20	<5	1,0
2	2,3	7	<0,1	<5	<0,5	1,4	<1	<0,5	<20	10	0,8
G1	42	1972	0,14	<5	<1	1,1	5	1,3	<20	90	51
2	20	1176	<0,1	<5	3,1	0,8	20	<1	<20	320	236
3	17	979	<0,1	<5	1,4	0,8	14	<1	<20	300	191
4	30	837	<0,1	<5	3,0	1,2	20	<1	<20	420	194
REF * 10		50	1,5	20	1	15	15	15	150	-	2-10

\* Als referentiewaarde is hier aangehouden de "referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem" zoals genoemd in de voortgangsrapportage milieuprogramma 1988-1991 Voor de elementen barium en cobalt is de A-waarde uit de Leidraad bodemsanering aangehouden

BIJLAGE 3 *Samenstelling van poriewater afkomstig uit slibmonsters genomen op verschillende plaatsen uit droogbedden en slibopslagen*

	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	pH [--]	Ca [mg/l]	SO <sub>4</sub> [mg/l]	Cl [mg/l]	DOC [mg/l C]
A1	2,7	21	6,5	102	50	70	7,3
2	3,1	35	6,6	118	50	70	6,5
3	45	22	6,5	214	82	120	17
4	38	14	6,9	134	38	130	18
B1	4,7	0,1	7,6	63	2	290	230
2	4,6	0,5	7,4	68	<1	220	94
3	4,8	0,8	7,2	97	<1	280	26
4	28	0,3	7,3	102	<1	210	59
5	13	0,2	7,3	81	2	210	132
C1	0,6	<0,05	7,5	88	<1	130	250
2	2,2	<0,05	7,4	40	<1	160	630
3	3,0	<0,05	7,3	88	<1	120	240
4	0,7	<0,05	7,8	90	<1	110	560
5	1,4	<0,05	7,8	114	<1	130	720
D1	83	39	6,7	195	4	370	97
2	10	12	7,1	173	17	210	440
3	57	9	7,2	181	3	230	400
4	10	8	7,2	127	29	210	105
E1	0,8	0,6	8,4	128	<1	170	2700
2	0,7	0,3	8,5	52	<1	160	1200
3	3,1	0,1	8,6	37	<1	190	140
4	3,7	0,2	8,3	44	<1	210	120
F1	<0,1	<0,05	6,7	22	10	120	2,1
2	<0,1	<0,05	7,0	18	36	90	2,0
G1	27	0,13	6,9	139	<1	210	27
2	20	0,10	7,3	51	<1	180	185
3	10	<0,05	7,5	48	<1	200	125
4	19	0,05	7,4	54	<1	250	190



BIJLAGE 4 *Gemiddelde samenstelling van percolaat afkomstig van volgens IBC-criteria ingerichte droogbedden voor de ontwatering van slib van waterleidingbedrijven*

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	CZV	NH <sub>4</sub>
	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[µg/l]	[mg/l] O <sub>2</sub>	[mg/l]
A1	9,6	138	0,52	33,4	2,6	15,9	25,6	2,92	-	63	6,6
2	6,3	-	-	24,5	-	-	13,3	-	170	-	-
B1	3,7	12,8	0,53	-	0,5	10,5	7,6	0,27	48	80	0,8
1	4,0	7,6	0,17	1,1	0,6	8,5	10,0	0,61	21	79	0,9
1	4,8	13,5	0,71	1,3	0,6	10,4	11,6	0,67	36	90	1,1
C1	9,7	-	0,15	-	-	19,3	-	-	44	-	-
1	15,7	-	0,20	-	-	21,0	-	-	52	-	-
2	8,1	-	0,16	-	-	13,5	13,7	-	35	45	0,4
3	3,4	-	0,10	-	-	10,2	19,3	-	9	48	0,05
D1	13,5	67,2	1,21	19,9	2,9	31,5	13,4	9,20	97	62	20,5
2	9,2	61,3	0,74	16,0	2,8	48,2	13,8	11,0	62	45	28,5
E1	9,8	39,7	0,22	2,4	8,3	2,5	7,6	2,61	42	140	1,3
2	14,1	-	-	-	16,3	-	-	3,97	20	195	1,6
F1	19,5	44,8	0,19	6,2	18,3	9,6	7,9	0,68	28	12	0,5
2	18,1	40,4	0,09	1,0	36,3	9,2	2,2	0,63	34	6	0,02
G1	3,0	95,6	0,16	2,8	0,6	8,5	7,2	0,9	30	13	0,95
REF* 10		50	1,5	20	1	15	15	15	150	-	2-10

\* Als referentiewaarde is hier aangehouden de "referentiewaarde voor grondwater in een multifunctionele bodem" zoals genoemd in de voortgangsrapportage milieuprogramma 1988-1991. Voor de elementen barium en cobalt is de A-waarde uit de Leidraad bodemsanering aangehouden.

BIJLAGE 4 *Gemiddelde samenstelling van percolaat uit volgens IBC-criteria ingerichte droogbedden voor de ontwatering van slib van waterleidingbedrijven (macroparameters)*

	Fe	Mn	O <sub>2</sub>	pH	SO <sub>4</sub>	PO <sub>4</sub>	Al	Ca	Cl	NO <sub>3</sub>
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[--]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
A1	0,32	12,3	-	7,2	-	-	-	108	-	-
2	0,06	-	-	7,8	-	-	-	-	-	-
B1	0,15	0,43								
1	0,11*	0,26*								
1	0,19	0,32	-	7,6	104*	0,49*	177*	93*	62*	-
C1	1,51,*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0,98	-	-	7,3	67,3*	-	-	-	19*	17,5*
3	0,10	0,54	1,3	7,4	74,0	-	-	-	24	17,4
D1	1,70	2,79	-	7,5	83-	1,53	-	107	224	-
2	0,48	2,45	-	7,6	90	1,46	-	116	263	-
E1	8,45	0,25	-	5,7	33	0,55	-	18	38	-
2	-	-	-	6,1	-	0,12	-	-	-	-
F1	0,17	0,92	5,1	7,3	47,5	-	10,2	-	15	-
2	0,07	0,11	5,6	7,3	21,9	-	-	-	12	-
G1	0,17	0,86	1,8	7,2	-	-	-	-	-	-

\* *analytisch gemiddelde*

**BIJLAGE 5 Flux uit volgens IBC-criteria ingerichte proefdroogbedden voor de ontwatering van slib van waterleidingbedrijven in mg/m<sup>2</sup> per vulling (CZV en NH<sub>4</sub> in g/m<sup>2</sup>)**

	As	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	CZV	NH <sub>4</sub>
A1	4,2	59,6	0,22	14,4	1,1	6,9	11,1	1,3	-	27	2,9
2	3,9	-	-	15,2	-	-	8,2	-	105	-	-
C2	20	-	0,39	-	-	33,5	33,8	-	87	111	1,1
3	0,7	-	0,02	-	-	2,1	3,9	-	2	10	0,01
D1	5,3	26,5	0,48	7,9	1,1	12,4	5,3	3,6	38	24	8,1
2	2,5	16,9	0,20	4,4	0,8	13,3	3,8	3,0	17	13	7,8
E1	5,9	23,8	0,13	1,43	5,0	1,5	4,5	1,6	29	84	0,75
2	6,0	-	-	-	7,0	-	-	1,7	9	84	0,7
F1	26,7	61,5	0,26	8,49	25,0	13,2	10,8	0,9	38	16	0,7
2	31,2	69,8	0,16	1,74	62,8	15,9	3,9	1,1	59	10	0,03
G1	0,9	29	0,05	0,9	0,2	2,6	2,2	0,3	9	4	0,28
N+D*	0,9	-	0,25	0,52	0,3	2,3	1,4	10,2	16	-	-
**	48,9	-	0,5	-	15,5	8,9	7,4	29,3	44,4	-	-

\* Natte en droge depositie in mg/m<sup>2</sup> jaar zoals deze gemiddeld wordt gemeten in Nederland. De verdeling is niet uniform. Voor de maximale depositie op regionale schaal moeten deze waarden met circa 50% worden verhoogd. Lokaal kan de depositie aanzienlijk hoger zijn.

\*\* Toelaatbaar geachte fluxen vanuit een opslagstort in mg/m<sup>2</sup> jaar. Voorstel van Rijkswaterstaat / Directoraat-Generaal Milieubeheer in het concept-rapport IBC-criteria baggerspeciedepots.