

NN31545.1635

STABINCOLOM

Nota ICW 1635
augustus 1985



nota

— instituut voor cultuurtechniek en waterhuishouding, wageningen —

ONDERZOEK NAAR ADSORPTIEGEDRAG VAN ENKELE AROMATEN IN
GRONDKOLOMMEN, MET BEHULP VAN HPLC

G.J. Versteeg

Dit rapport is een ICW-nota over het onderzoek, verricht tijdens de praktijkleerperiode van het HLO, waarbij de heer J. Harmsen stage-begeleider was

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0121 5934

JSM 237401-02

INHOUD

	blz.
1. INLEIDING	1
2. THEORIE	2
2.1. Adsorptie	2
2.1.1. Adsorptiebindingen	2
2.1.2. De Langmuir vergelijking	3
2.2. Doorbraakcurven	4
3. MATERIALEN EN METHODEN	7
3.1. Het pakken van een kolom	7
3.2. Aansluiten van twee pompen op een zeswegkraan	7
3.3. Automatisering	8
3.3.1. De toepassing van twee HPLC-pompen op een kolom	8
3.3.2. Automatisch schakelen	8
3.4. Detectie	9
3.4.1. UV-detectie	9
3.4.2. Vlamionisatie detector	9
3.5. Registratie	10
3.6. Bepaling van enkele eigenschappen van het kolom materiaal	10
4. RESULTATEN EN DISCUSSIE	11
4.1. Doorbraak van nitraat en de aromaten benzeen, toluen en xyleen	11
4.1.1. Doorbraak van nitraat	11
4.1.2. Doorbraak van bezeen, toluen en xyleen	12
4.1.3. Invloed van de concentratie op de doorbraak	21
4.2. Bepaling van enkele eigenschappen van de zandgronden	23
4.3. Ontwikkeling van F.I.D. detectie van vluchtige organische componenten voor HPLC	24
5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES	26
LITERATUUR	27
BIJLAGEN	

1. INLEIDING

Op vele plaatsen in Nederland worden tegenwoordig verontreinigingen door aromaten (o.a. benzeen, toluen en xyleen) aangetoond. Door grondwaterstromingen zullen deze verontreinigingen in de loop van de tijd verspreiden over een groter gebied.

Door middel van conventionele kolom experimenten met bodemmateriaal is zo'n verspreiding in een laboratorium na te bootsen. Deze experimenten zijn echter langdurig. Door gebruik te maken van HPLC-technieken zijn de kolomexperimenten in korte tijd uit te voeren.

Deze techniek is op het waterkwaliteitslaboratorium ontwikkeld. Resultaten wat betreft adsorptie van organische stoffen zijn al eerder gepubliceerd door HARMSSEN en HOEKS (1983) en op het gebied van uitwisseling van kationen door EL GUINDY en HARMSSEN (1985). Het werken met HPLC heeft naast zijn voordelen ook nadelen.

Voordelen: - het kunnen werken onder verhoogde druk

- een gesloten systeem, waardoor geen vervluchtiging kan optreden
- afbraak van de aromaten door micro-organismen is verwaarloosbaar door de korte duur van het experiment.

Nadelen: - er kunnen alleen processen worden gesimuleerd die tijdsafhankelijk zijn, dus geen afbraak en het in oplossing gaan van vaste stoffen.

Door de HPLC-techniek is het mogelijk in een korter tijdsbestek een beeld te vormen over de verplaatsing van de aromatische verontreinigingen in de grond en de mate van adsorptie aan het bodemmateriaal.

Met name de gehalten aan organische stof, lipiden en lutum zullen van invloed zijn op de adsorptie. De mate van adsorptie aan het bodemmateriaal in een kolom is zichtbaar te maken door het opnemen van doorbraakcurven van in water opgeloste aromaten.

2. THEORIE

2.1. Adsorptie

2.1.1. Adsorptie bindingen

Eén van de processen die zich afspelen in de bodem en van invloed is op de verplaatsing en uiteindelijke concentraties, is het adsorptieproces. Adsorptie is het verschijnsel van stofophoping aan een grensvlak. De stof waaraan geadsorbeerd wordt heet adsorbens, de stof die adsorbeerd het adsorbaat.

Bij de adsorptie van aromaten aan de bodem zijn waarschijnlijk de London-VanderWaals kracht en de hydrofobe binding de belangrijkste vormen van binding van molekulen aan het oppervlak van gronddeeltjes.

De oorzaak van adsorptie kan bij enkele wisselwerkingen liggen.

- bekend om stof in watermoleculen*
- a. London-VanderWaals: deze vorm van adsorptie is een fysische adsorptie, wat meestal een snel en reversibel verlopend proces is. Wanneer deze evenwichtsinstelling langzaam verloopt is gewoonlijk nog iets anders dan zuivere adsorptie in het spel. Bevat het adsorbens zeer nauwe poriën, dan kan het bijvoorbeeld een geruime tijd duren voor de diffusie de te adsorberen stof tot in de poriën gebracht heeft.
 - b. Dipoolinteracties bij polaire adsorbaatmolekulen en geladen of polaire groepen in het oppervlak van het adsorbens. Bij goed polariseerbare adsorbaatmolekulen kunnen geïnduceerde dipolen een belangrijke rol gaan spelen.
 - c. Hydrofobe binding, een belangrijk verschijnsel dat optreedt tussen apolaire molekulen of delen van molekulen in waterig milieu. Om koolwaterstofketens in water op te lossen moeten H-bruggen verbroken worden, wat energetisch ongunstig is. De watermolekulen zullen proberen dit verlies aan energie zoveel mogelijk te beperken, met als gevolg een zekere fixatie van de structuur, daar waar de koolwaterstoffen zich bevinden. Dit houdt een plaatselijke entropieverlaging in. Wanneer een koolwaterstof aan een hydrofoob oppervlak adsorbeert, kan een entropiewinst optreden.

Uit de regel van Traube blijkt dat de adsorptie van organische stoffen vanuit water sterk toeneemt als men in de homologe reeks opklimt en dat daarbij de oplosbaarheid in water terugloopt. Uit het feit dat de regel evengoed opgaat aan SC als aan GL grensvlakken,

blijkt dat het gaat om de afnemende affiniteit voor het water en niet om de binding met het adsorbens. LYKLEMA en KOOPAL (1973).

2.1.2. De Langmuir vergelijking

Het beschrijven van de adsorptie is onder andere mogelijk met de Langmuir vergelijking, een adsorptie formule die in vele gevallen goed voldoet KRUYT en OVERBEEK (1969).

Langmuir gaat er van uit dat op een oppervlak (bijvoorbeeld 1 cm^2) N geschikte plaatsen voor adsorptie zijn, waarvan bij evenwicht n bezet zijn door het adsorbaat en $N-n$ vrij zijn. Door de adsorptie als evenwichtsreactie te beschouwen:



geeft dit:

$$\frac{n}{(N-n)C} = k \quad (1a)$$

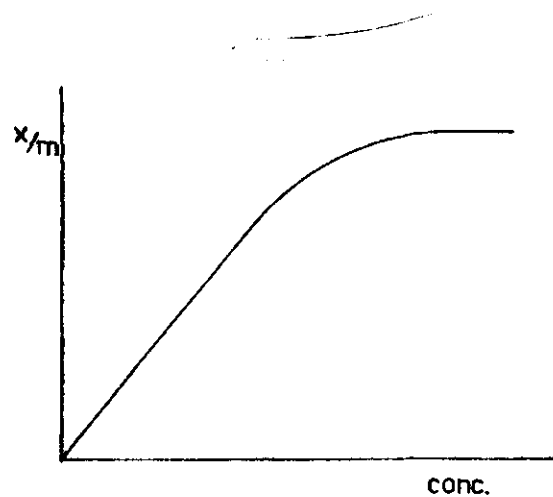
waaruit volgt:

$$n = \frac{N \cdot kC}{1 + kC} \quad (1b)$$

Daar het aantal bezette plaatsen n per cm^2 evenredig is met $\frac{x}{m}$, volgt hieruit Langmuir's adsorptie isotherm:

$$\frac{x}{m} = \frac{k_1 C}{1 + k_2 C} \quad (2)$$

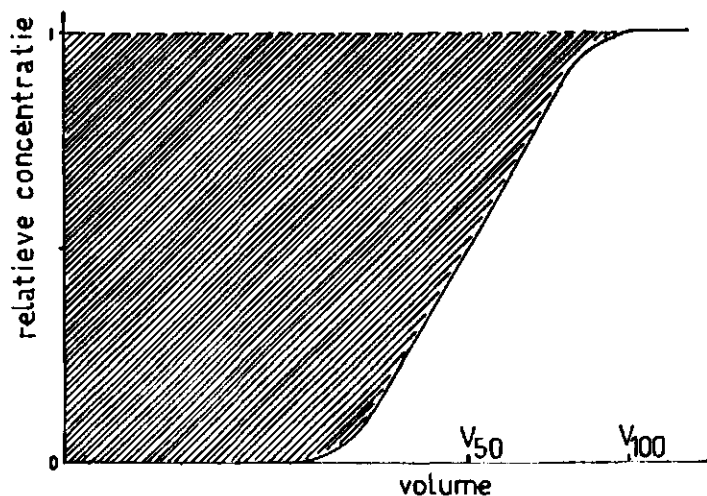
Hierin zijn k_1 en k_2 constanten (zij bezitten voor elke combinatie van adsorbens, opgeloste stof, milieu en temperatuur andere waarden), x is de hoeveelheid geadsorbeerde stof, m de hoeveelheid adsorbens en c de concentratie.



Figuur 1.1. Adsorptie-isotherm van Langmuir.

2.2. Doorbraakcurven

Het verloop van het adsorptieproces is via een doorbraak in een kolom te bepalen. De doorbraak wordt verkregen door de continue doorstroming met een oplossing van een organische component in water. Met behulp van de gevonden meetwaarden en enkele grootheden als de kolomlengte en de stroomsnelheid van het eluens is de doorvraag via een analytische berekening te bepalen.



Figuur 1.2. Doorbraakcurve

Aan de hand van deze gegevens is dan ook een adsorptie isotherm te bepalen. Hierbij speelt vooral de statistische benadering een grote rol.

De berekening van enkele grootheden als de gemiddelde doorbraaktijd (\bar{t}), het aantal lagen (N), de laagdikte (L_N) en de effectieve poriënruimte betrokken bij het transport (θ) is gegeven door ROEST en RIJTEMA (1983). Deze sommatiecurve is gedefinieerd als de integraal van de impuls respons en gegeven door:

$$S(t) = \int_0^t h(t) dt \quad (3)$$

waarin: $S(t)$ = sommatie curve

$h(t)$ = impuls respons

De impuls respons is eenvoudig verkregen als de eerste afgeleide van de doorbraakcurve als tijdsonafhankelijke. De vorm van de impuls respons van het systeem is gekarakteriseerd door het statische moment

$$M_i = \frac{\int_0^{\infty} t^i h(t) dt}{\int_0^{\infty} h(t) dt} \quad (4)$$

waarin M_i het i^{de} moment is met betrekking tot de oorsprong.

De gemiddelde doorbraaktijd is gegeven door het eerste moment:

$$\bar{t} = M_1$$

De variantie σ_t^2 is gegeven door het tweede moment. Hiermee zijn met behulp van NO_3^- , dat geen adsorptie vertoont met het bodemmateriaal, θ , L_N en N te bepalen:

$$N \cdot L_N = L_T \quad (5)$$

L_T = kolomlengte, en

$$\theta = \frac{\bar{t} F_d}{L_T} \quad (6)$$

F_d = stroomsnelheid, en

$$L_N = L_T \frac{\sigma_t^2}{(\bar{t})^2} \quad (7)$$

Voor de uitvoering van deze bepalingen en de berekening van de adsorptie isotherm uit de doorbraak, zijn drie computerprogramma's ontwikkeld door BLÖMER (1985).

Het eerste programma berekent uit de doorbraak van NO_3^- de waarde voor θ en de dispersielengte α_L :

$$\alpha_L = \frac{\sigma_t^2 F_d^2}{2\theta^2 L_T} \quad (8)$$

Het tweede programma berekent de gemiddelde distributieratio (R_d) van de doorbraakcurve en de gemiddelde doorbraaktijd (μ_t) van een component, die aan het bodemmateriaal adsorbeert, evenals de retardatiefactor (R):

$$R_d = \frac{\mu_t F_d}{\theta L_T} - 1 = \frac{\mu_t - \mu_{\text{NO}_3^-}}{\mu_{\text{NO}_3^-}} = k' \quad (\text{chromatografie}) \quad (9)$$

en

$$R = \frac{1}{1 + R_d} \quad (10)$$

Met het derde programma is de adsorptie isotherm te bepalen. Daartoe zijn de doorbraakgegevens van zowel het NO_3^- als van de adsorberende component nodig. De berekening van de adsorptie isotherm geschiedt door de sommatie te nemen van verschillende momenten (tijden) van concentratie (C_i) van de doorbraakcurve te nemen, met de daarbij behorende distributieratio (R_{d_i}):

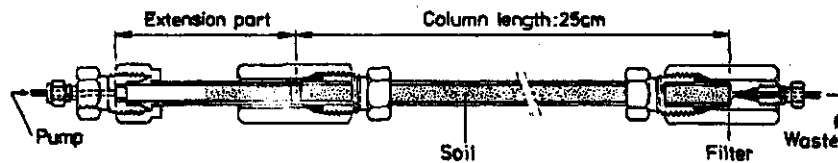
$$q_j = \sum_{k=1}^j \theta R_{d_k} C_k + q_i \quad (11)$$

waarin q_j = totaal geadsorbeerde hoeveelheid.

3. MATERIALEN EN METHODEN

3.1. Het pakken van een kolom

Een roestvrijstalen kolom (4,6 x 250 mm) is gevuld met grond, die gedurende 24 uur bij 105°C is gedroogd in een droogstoof. Het vullen van de kolom gebeurt met behulp van een korte (ca. 5 cm) vulkolom. Deze vulkolom is gekoppeld aan de kolom en dit systeem wordt gevuld tot de vulkolom ongeveer halfvol is.



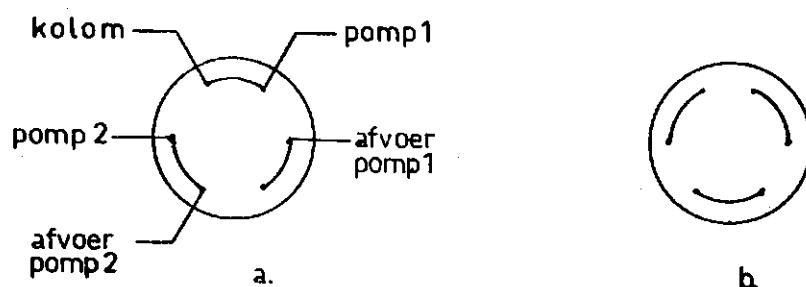
Figuur 2.1. De verbinding van de kolom met de vulkolom, gedurende het vullen en pakken.

De kolom is verticaal geplaatst en gedurende een uur van onder naar boven doorgepompt met water om eventueel aanwezige lucht te verwijderen. Daarna is via een verloopfitting de HPLC-pomp aangesloten op de vulkolom en vindt pakking van de kolom plaats gedurende ca. 24 uur bij een flowrate van 0,10 ml/min. Het water is door het systeem gepompt als aangegeven in de figuur.

Voor het pakken van de kolom is leidingwater gebruikt. Demi-water is niet gebruikt, omdat de structuur van de grond kan veranderen. Het demi-water kan ionen uit de grond opnemen, welke dan als het ware uit de grond gespoeld kunnen worden.

3.2. Aansluiten van twee pompen op een zeswegkraan

Om een continue doorstroming van de kolom tijdens het onderzoek te verwezenlijken, zijn twee HPLC-pompen (SF 400 Spectroflow) via een zesweg injectiekraan (Rheodyne) op de kolom aangesloten. De aansluitingen van de roestvrijstalen leidingen zijn in figuur 2.2. getoond.



Figuur 2.2. Aansluitings- en schakelschema zeswegkraan

- a. pomp 1 met kolom verbonden
- b. pomp 2 met kolom verbonden

De leidingen zijn met behulp van koppelingen op de kraan aangesloten, waarbij om en om gebruik gemaakt is van lange en korte koppelingen. De kraan kent twee standen; "inject" en "load". Is de kraan in stand load gezet, dan staat pomp 2 in verbinding met de kolom; in de stand inject is pomp 1 in verbinding met de kolom.

3.3. Automatisering

3.3.1. De toepassing van twee HPLC-pompen op een kolom

De gebruikmaking van twee HPLC-pompen vindt plaats om een continue doorstroming van de kolom te verkrijgen. Dit betekent dat er direct overgeschakeld kan worden naar een nieuwe, door de kolom te leiden oplossing.

De beide pompen hebben daarbij de volgende taak: pomp 1 is gebruikt om een aromaat in leidingwater door de kolom te pompen, pomp 2 is gebruikt om de kolom weer schoon te spoelen met leidingwater.

Tijdens de uitspoeling door pomp 2 kan voor pomp 1 een nieuwe oplossing aangemaakt worden en is er de tijd om de leidingen van pomp 1 met de nieuwe oplossing te spoelen. Dit is belangrijk omdat er stof uit de oplossing aan de pulsdemper geadsorbeerd kan zijn. Het spoelen houdt een paar maal vervangen van het leidingenvolume in.

3.3.2. Automatisch schakelen

Het systeem van twee pompen op een kraan leent zich uitstekend voor automatisering. Hiertoe is de knop van de kraan verwijderd en kan de kraan met behulp van een koppelstukje op de as, gekoppeld worden met een Model 7001 Pneumatic Actuator (Rheodyne).

De actuator en de beide pompen zijn elektronisch gestuurd door de Solvent Programmer Model 9224 (Kipp Analytica). Deze stuureenheid bevat een microprocessor, die het mogelijk maakt de tijden van schakelen en de flowrates voor de HPLC-pompen voor te programmeren.

3.4. Detectie

3.4.1. UV-detectie

De detectie van nitraat, benzeen, toluen en xyleen geschiedt spectrofotometrisch in het UV-gebied bij 210 nm (Varian Vari-Chrom UV-VIS Detector). Bij deze golflengte heeft het nitraat een absorptiemaximum, terwijl ook de organische componenten benzeen, toluen en xyleen in dit gebied goed meetbaar zijn. De gevoeligheid ligt voor deze organische componenten bij 210 nm wel lager dan bij hun absorptiemaximum.

Tabel 1. Absorptiemaxima voor benzeen, toluen en xyleen in water

component	λ_{max1} (nm)	λ_{max2} (nm)
benzeen	203	254
toluen	206	261
xyleen		265

Een tweede mogelijkheid voor de aromaten is het 2^{de} maximum bij ca. 260 nm. Het nadeel van deze golflengte is, dat de gevoeligheid lager is, en bij de gebruikte detector te veel ruis geeft. Het voordeel van meten bij 210 nm ligt bij de hogere gevoeligheid, waardoor er minder last van storingen optreedt.

3.4.2. Vlamionisatie detector

De vlamionisatie detector (FID, GC 8200 Kipp Analytica) is toepasbaar bij het bepalen van organische componenten. De FID is vooral dan inzetbaar wanneer er organische componenten gebruikt zullen worden die niet met behulp van UV-detectie meetbaar zijn.

Om de FID te kunnen toepassen bij de HPLC wordt een scheidingskolom ontwikkeld, waarin de vluchtige organische componenten met behulp

van het draaggas (N_2) voor de FID, uit de waterige oplossing is vrij te maken.

Dit systeem is nog in ontwikkeling. Het ontwikkelingswerk hieraan gedaan in dit onderzoek wordt verderop in deze nota beschreven.

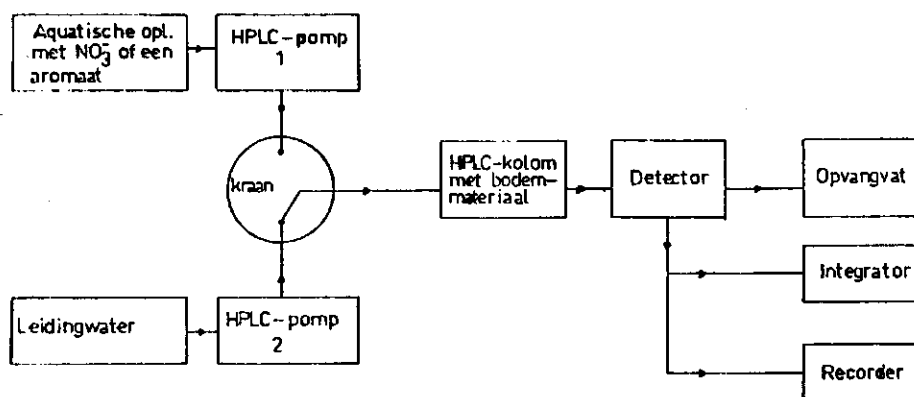
3.5. Registratie

De registratie van de detectie geschiedt tweevoudig. De UV-detector is hiervoor aangesloten op een integrator (Varian Vista CDS 401) en een recorder (Kipp & Zonen BD 40), welke parallel zijn aangesloten.

De integrator is toegepast om de gegevens op te slaan op floppy-disc's, zodat deze meerdere malen, en eventueel later, uitgeprint kunnen worden. De recorder is toegepast om een direct overzicht van het proces te hebben, en indien nodig dient het ter controle. Op de recorder is direct de doorbraak weergegeven van de door de kolom gepompte oplossing.

Als oplossingen zijn gebruikt, een nitraatoplossing ter bepaling van de V_0 van de kolom, en oplossingen van enkele aromaten. Om de invloed van de flowrate op de doorbraak te bepalen is er bij verschillende flowrates gemeten.

Dit registratiesysteem is ook toepasbaar op de FID.



Figuur 2.3. Schematische illustratie van het experiment

3.6. Bepaling van enkele eigenschappen van het kolommateriaal

Van het kolommateriaal zijn een paar eigenschappen bepaald die een rol spelen bij de adsorptie. Door middel van de gloeivliesmethode is het totaal organische stofgehalte bepaald. De droge grond staat gedu-

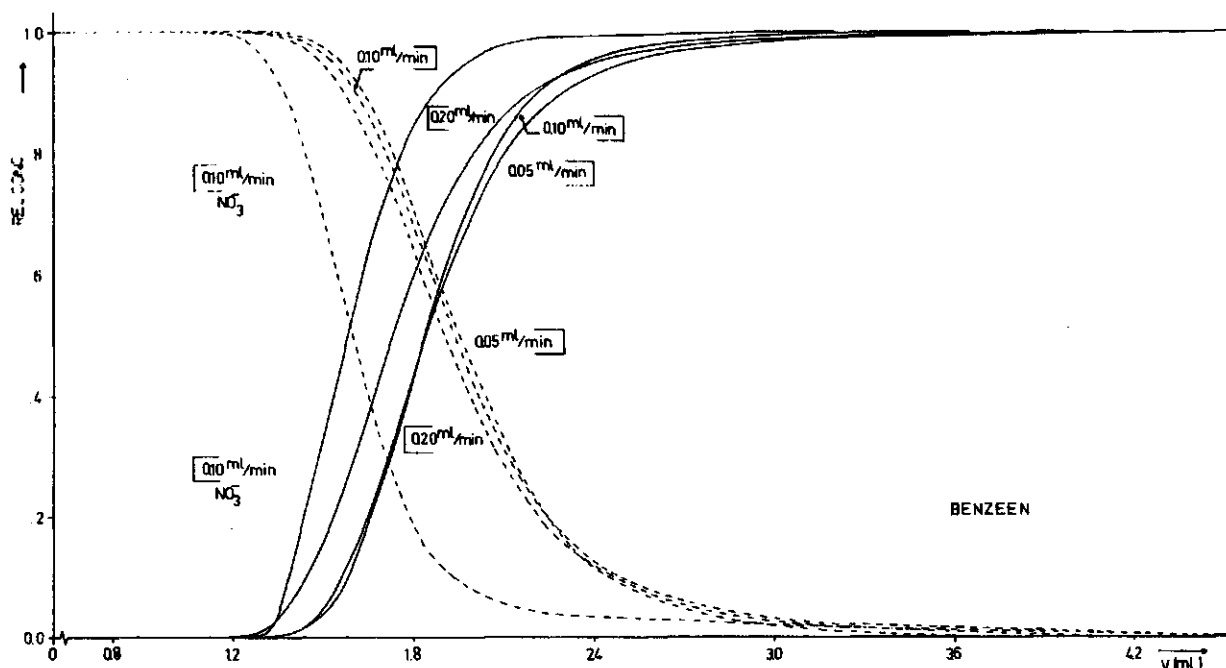
zal afnemen tot zeer geringe waarden, omdat de HPLC-pompen bij hoge druk nauwkeuriger flowrates geven. Dit is gebleken bij flowcontroles gedurende 60 minuten, bij de verschillende componenten en flowrates.

Uit het verloop van de nitraatcurven is op te maken dat de kolom niet homogeen gepakt is, doordat de gronddeeltjes niet evengroot zijn. Tevens is de poriënverdeling niet ideaal. De curven geven hiervoor twee aanwijzingen:

1. het aan het eind langzaam bereiken van de relatieve concentratie van 1,0 (adsorptie) c.q. 0,0 (desorptie)
2. de adsorptie en desorptiecurven snijden elkaar niet bij 50% (relatieve concentratie 0,5), maar er iets boven.

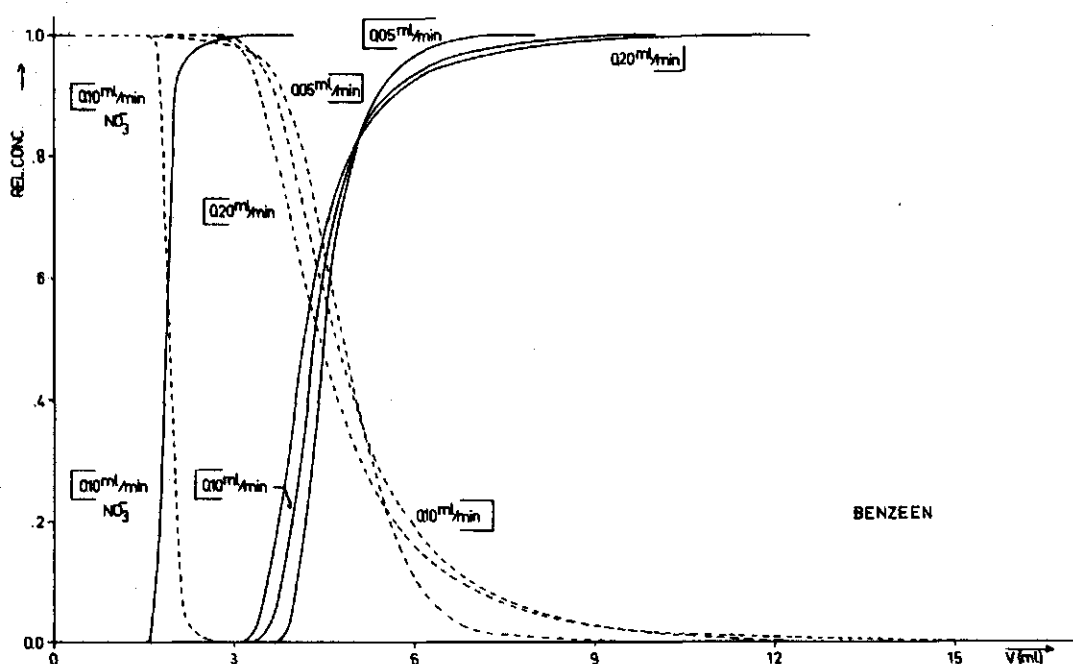
4.1.2. Doorbraak van benzeen, toluen en xyleen

Na de nitraatbepalingen volgen de doorbraakbepalingen van een benzeenoplossing (10 μ l/l water), een toluenoplossing (10 μ l/l water) en een xyleenoplossing (10 μ l/l water), bij de genoemde flowrates, met de daarbij behorende uitspoelingen. Tijdens deze experimenten ondervindt de kolom constant een doorstroming van vloeistof, met wisselende flowrates tussen 0,05 en 0,20 ml/min. In alle gevallen is het eluens leidingwater.



Figuur 3.1. Adsorptie- en desorptiecurven van benzeen in de zandgrond nr. 1 kolom

Bij beschouwing van de doorbraakcurven (fig. 3.1. en fig. 3.2.), lijkt de doorbraak van benzeen in beide kolommen een flowafhankelijkheid te vertonen. De hoogste flowrate breekt in eerste instantie het snelst door, wat echter aan het eind bijtrekt. In de zandgrond nr. 1 kolom bereikt de flow van 0,10 ml/min het snelst de relatieve concentratie van 1,0 terwijl bij de veldpodzol de laagste flow het meest lineaire beeld vertoont. Het blijkt dat een hogere flowrate meer tailing vertoont. Uit de nitraatdoorbraken blijkt dat de oorzaak niet ligt bij een wandeffect of porie-effect. Waarschijnlijk ligt de oorzaak bij een kinetisch effect.



Figuur 3.2. Adsorptie- en desorptiecurven van benzeen in de veldpodzol-kolom

De doorbraakvolumina voor benzeen (tabel 2) vertonen voor beide kolommen een beeld, waarbij deze binnen de spreiding gelijk zijn. Er kan ook worden gesteld dat de flowafhankelijkheid voor benzeen alleen tot uiting komt in de vorm van de doorbraakcurve en niet in het doorbraakvolume.

Tabel 2. Doorbraakvolumina voor nitraat en de aromaten in de zandgrond nr. 1 en veldpodzolkolom

Kolommateriaal	Component	Doorbraakvolume (ml)		
		0,05ml/min	0,10ml/min	0,20ml/min
zandgrond nr. 1	nitraat	1,58	1,61	1,61
	benzeen	1,89	1,85	1,90
	tolueen	1,97	2,08	2,22
	xyleen	3,21	2,72	3,20
veldpodzol	nitraat	1,86	1,85	1,87
	benzeen	4,58	4,51	4,42
	tolueen	9,60	8,93	9,18
	xyleen	21,39	18,78	17,60

De desorptie vertoont vrijwel eenzelfde beeld als de adsorptie, wat betreft de curven (fig. 3.1. en fig. 3.2.). Het grootste gedeelte van de curven vertoont een beeld, waarbij de gemakkelijk bereikbare plaatsen het eerste desorptie vertonen, terwijl de tailing laat zien dat een gedeelte van het benzeen door diffusie vrijkomt.

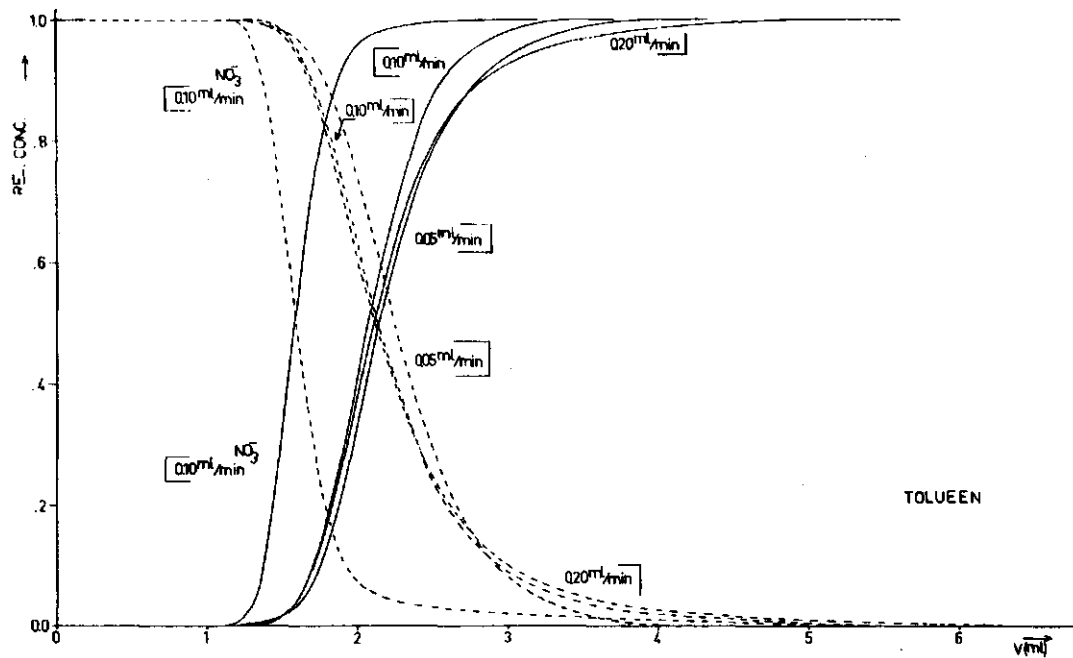
De desorptievolumina (tabel 3) geven bij de zandgrond nr. 1 een flowonafhankelijkheid en bij veldpodzol voor de hoogste flowrate het laagste doorbraakvolume. Uit de curven lijkt voor veldpodzol de laagste flow het kleinste doorbraakvolume te vertonen, doordat deze het meest lineaire beeld vertoont.

De adsorptie van benzeen vertoont in de veldpodzolkolom een sterkere binding dan in de zandgrond nr. 1 kolom, door een hoger gehalte aan organische stof in de veldpodzol.

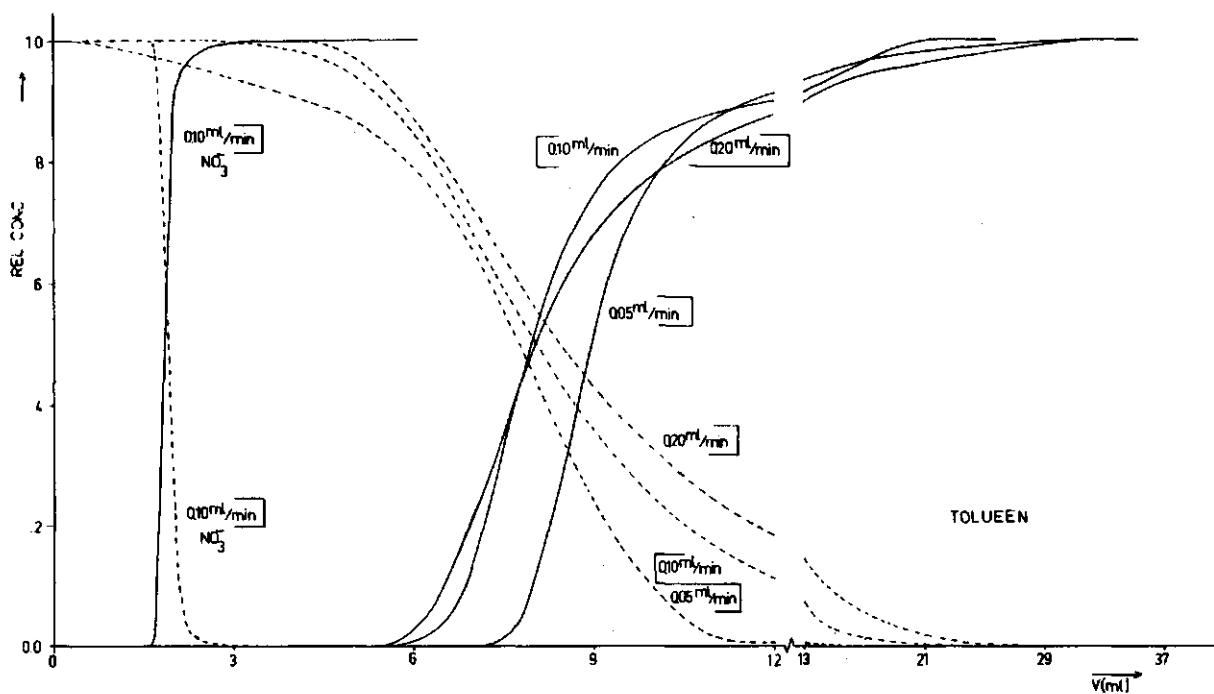
Tabel 3. Desorptiedoorbraakvolumina voor nitraat en de aromaten in de zandgrond nr. 1 en veldpodzolkolom

Kolommateriaal	Component	Doorbraakvolume (ml)		
		0,05ml/min	0,10ml/min	0,20ml/min
zandgrond nr. 1	nitraat	1,60	1,59	1,63
	benzeen	1,98	1,99	1,97
	tolueen	2,05	2,23	2,27
	xyleen	3,14	3,33	3,07
veldpodzol	nitraat	1,92	1,96	1,92
	benzeen	4,91	5,05	4,80
	tolueen	7,56	8,34	9,32
	xyleen	19,68	19,19	18,94

Tolueen vertoont in de zandgrond nr. 1 kolom, uitgaande van de doorbraakvolumina (tabel 2) een flowafhankelijkheid waarbij de laagste flowrate het kleinste doorbraakvolume heeft. In de veldpodzolkolom vertoont het een ander beeld, wat ook in de curven (fig. 3.4) goed waarneembaar is, waarbij de flowrate van 0,10ml/min het kleinste doorbraakvolume heeft. Dit beeld vertoonde zich ook bij herhaling. Dit lijkt er op alsof de flowafhankelijkheid zich manifesteerd in een optimum. De desorptie vertoont in beide kolommen een flowafhankelijkheid (fig. 3.3. en fig. 3.4.), waarbij de laagste flow het kleinste doorbraakvolume heeft.



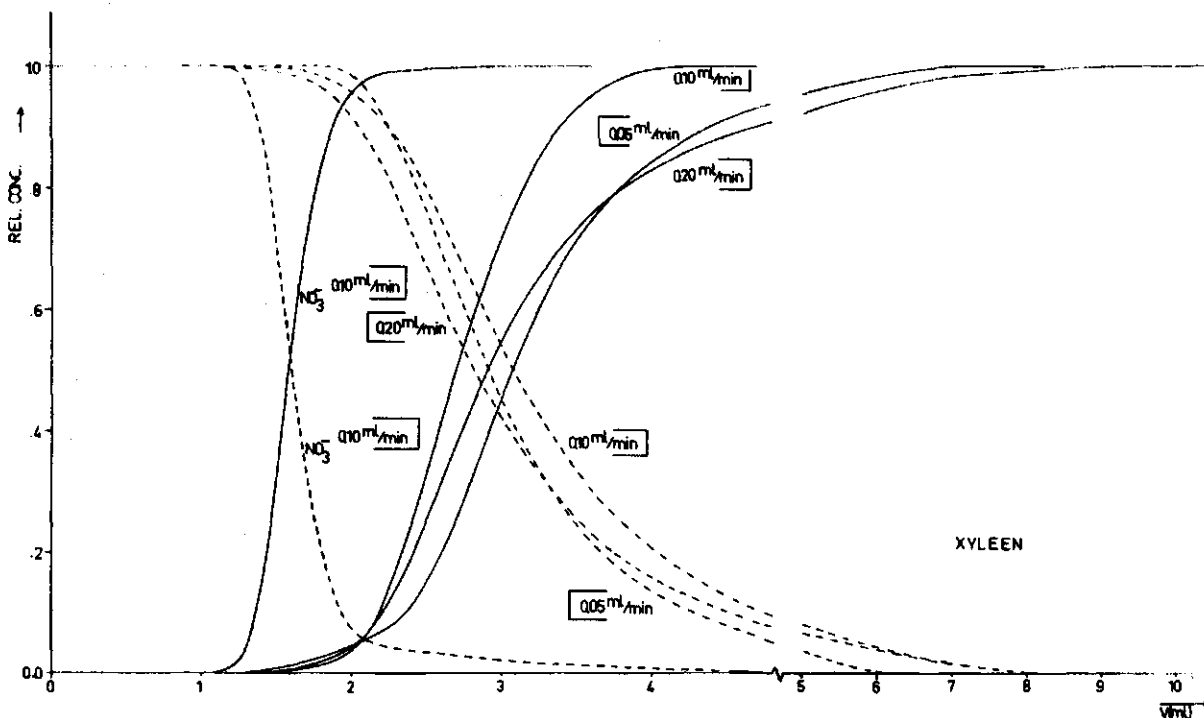
Figuur 3.3. Adsorptie- en desorptiecurven van toluen in de zandgrond nr. 1 kolom



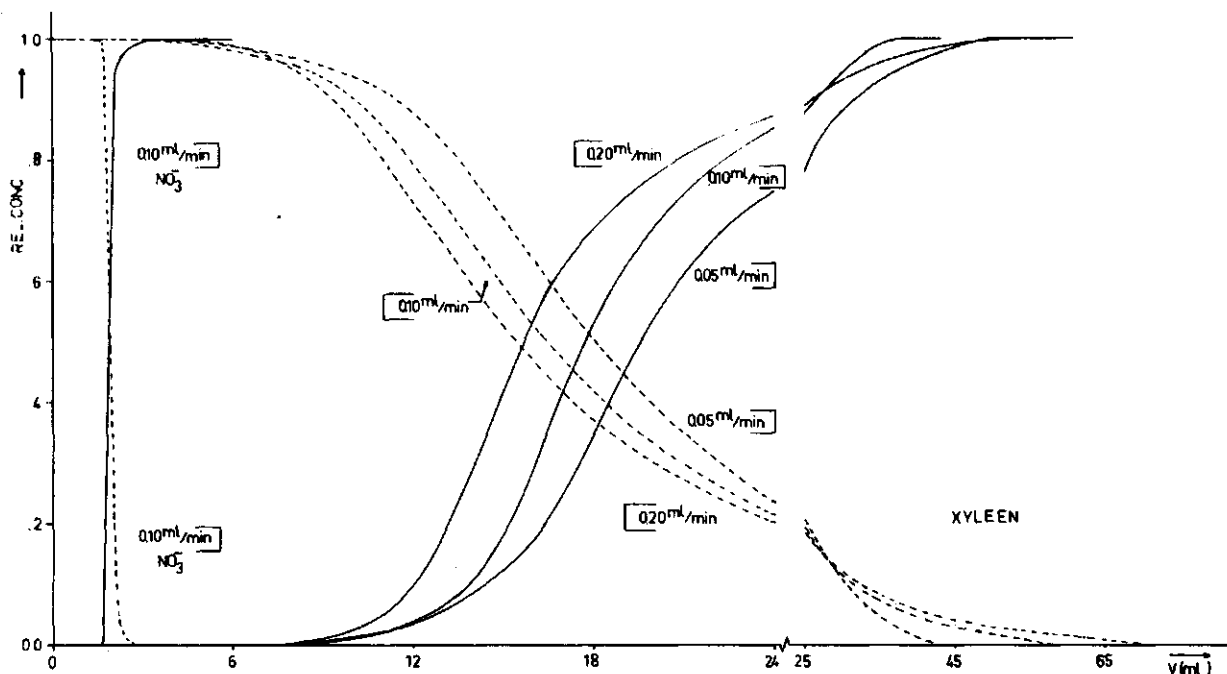
Figuur 3.4. Adsorptie- en desorptiecurven van toluen in de veldpodzolkolom.

Voor xyleen vertoont de adsorptie in de zandgrond nr. 1 kolom een flowafhankelijkheid in de vorm van een optimum (tabel 2), waarbij de flow van 0,10 ml/min het kleinste doorbraakvolume heeft. Dit beeld is ook in de doorbraakcurven (fig. 3.5.) duidelijk waarneembaar. In tegenstelling tot de zandgrond nr. 1, vertoont de adsorptie in de veldpodzolkolom een flowafhankelijkheid (van hoog naar laag), waarbij de hoogste flowrate het kleinste doorbraakvolume geeft (fig. 3.6.).

De desorptie van xyleen in de veldpodzolkolom vertoont een vergelijkbaar beeld als de adsorptie. Dit is begrijpelijk bij het beschouwen van de adsorptie en desorptie als een evenwichtsproces. In de zandgrond nr. 1 kolom vertoont de desorptie een afwijkend beeld, waarbij de volgorde van kleinste tot grootste doorbraakvolume is: 0,20 ml/min, 0,05 ml/min, 0,10 ml/min (tabel 3). Uit de doorbraakvolumina voor de adsorptie en desorptie van xyleen is duidelijk dat het xyleen sterk adsorbeert aan bodemmateriaal, wat vooral duidelijk wordt bij een hoger gehalte aan organische stof in de grond. De sterke tailing in de veldpodzolkolom laat dit goed zien.



Figuur 3.5. Adsorptie en desorptiecurven van xyleen in de zandgrond nr. 1 kolom



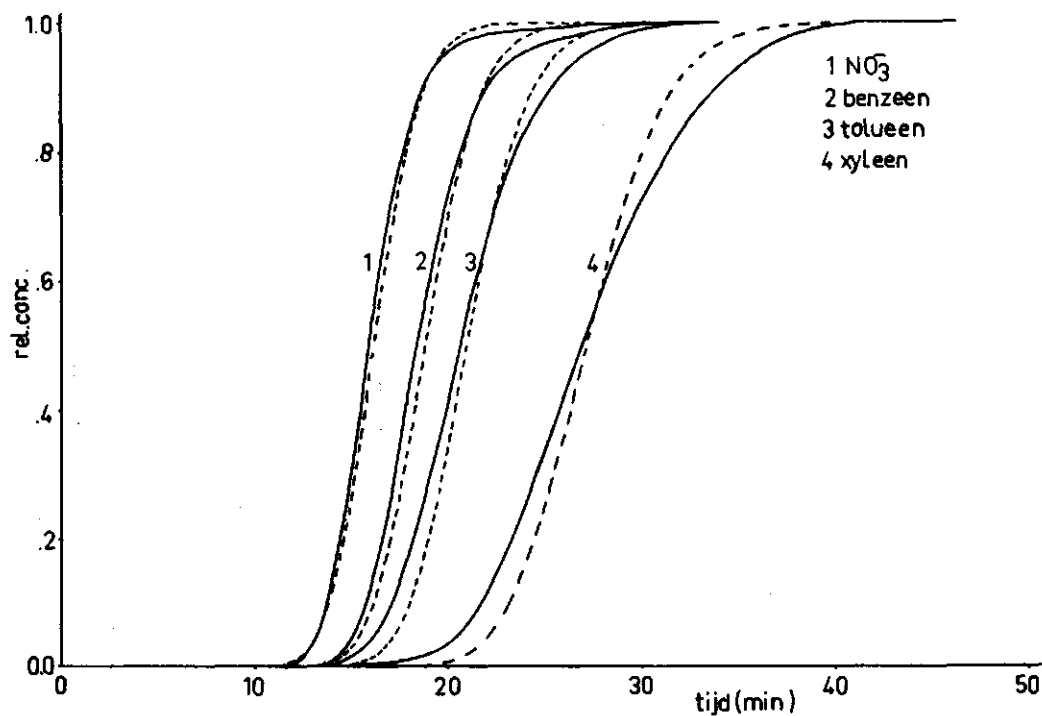
Figuur 3.6. Adsorptie- en desorptiecurven van xyleen in de veldpodzolkolom

De doorbraak van de drie aromaten is ook vergeleken met de analytisch berekende curven (BLÖMER 1985-4; fig. 3.7. t/m 3.10). Hierbij zijn de doorbraken voor de verschillende componenten bij een flowrate van 0,10 ml/min genomen, welke over het geheel genomen het meest geschikt is.

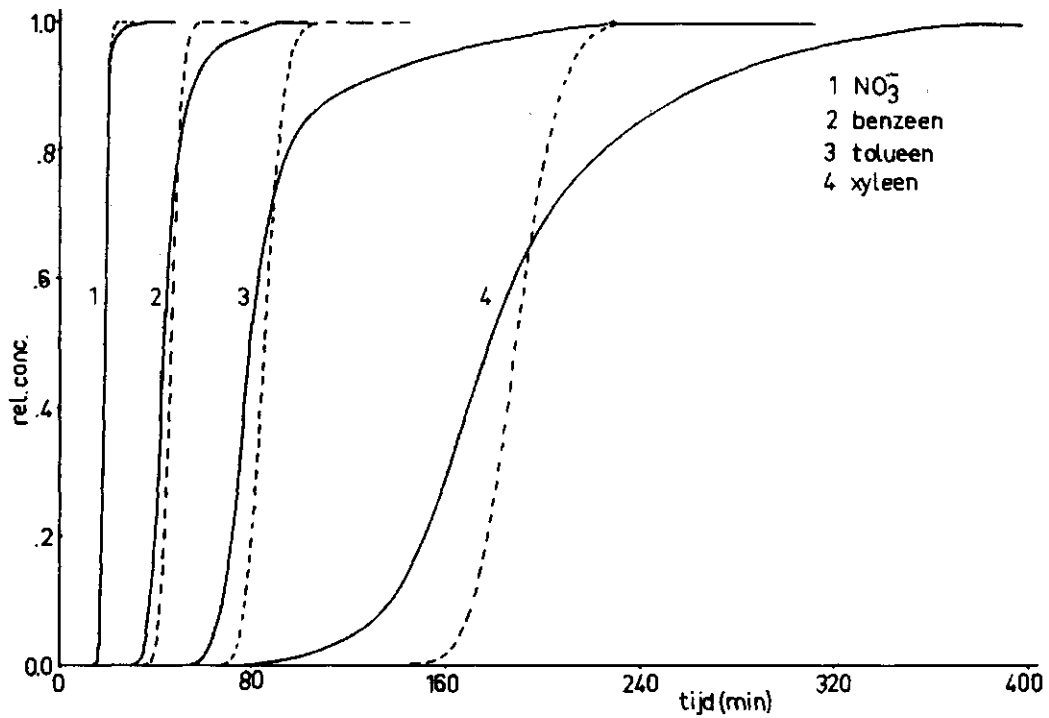
Door de experimentele en analytische curven per kolom naast elkaar te zetten is uit de grafieken af te lezen, dat de lineariteit in de adsorptie van de aromaten aan het bodemmateriaal in het begin nog enigszins aanwezig is, maar naar het eind toe geheel verloopt. Dit beeld versterkt zich tevens wanneer de reeks van benzeen tot xyleen wordt vergeleken; de tailing wordt sterker. Het xyleen adsorbeert het meest (grootste doorbraakvolume) en benzeen het minst (kleinste doorbraakvolume). Hieruit komt de regel van Traube naar voren. Deze zegt, dat de adsorptie van organische stoffen vanuit water sterk toeneemt als men in de homologe reeks opklimt en dat daarbij de oplosbaarheid in water terugloopt.

Bij de desorptie van de componenten is de lineariteit van de curven minder dan bij de adsorptie. Uit het verloop van de lineariteit in de doorbraakcurven is af te lezen dat in het eerste gedeelte de

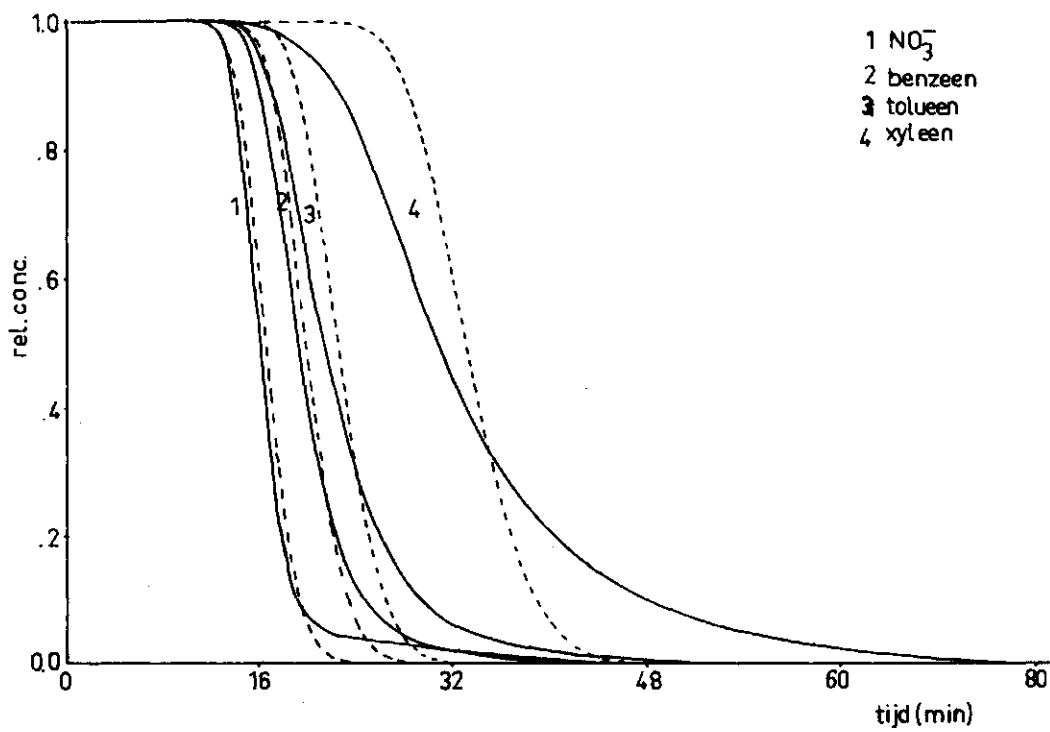
makkelijk bereikbare plaatsen in het bodemmateriaal de aromaten adsorberen c.q. desorberen. De tailing, en de mate daarvan, geeft de diffusie in de poriën van het bodemmateriaal aan.



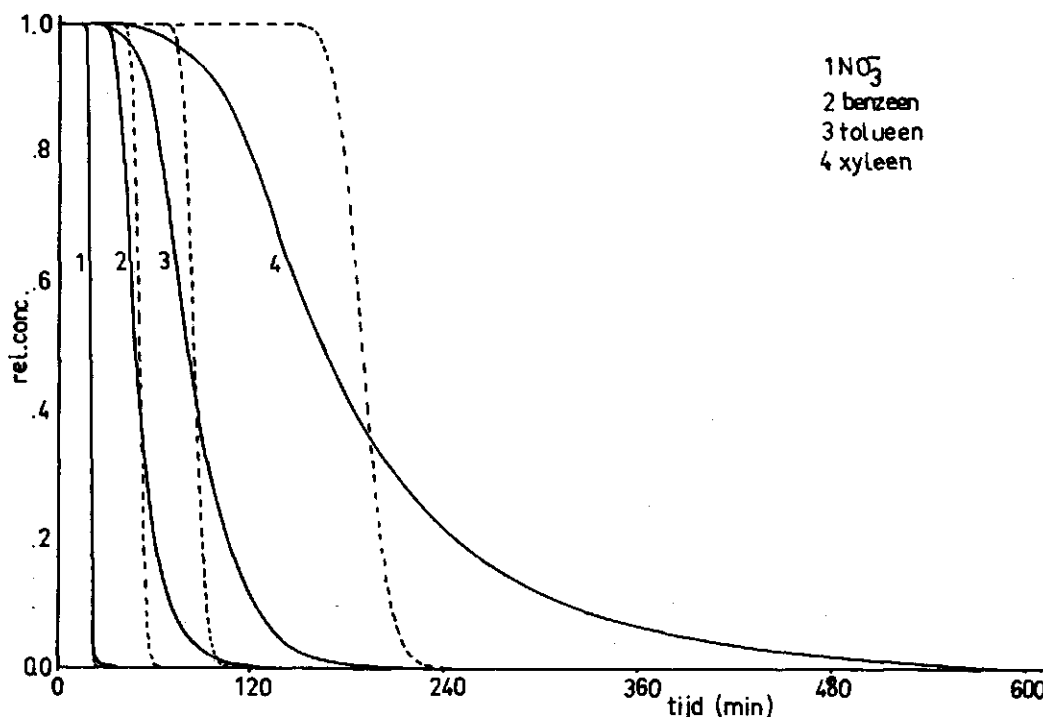
Figuur 3.7. Doorbraakcurven van de aromaten en nitraat; experimenteel (—) en analytisch berekent (---) (adsorptie in de zandgrond nr. 1 kolom)



Figuur 3.8. Doorbraakcurven van de aromaten en nitraat; experimenteel (—) en analytisch berekent (--) (adsorptie in de veldpodzolkolom)



Figuur 3.9. Doorbraakcurven van de aromaten en nitraat; experimenteel (—) en analytisch berekent (--) (desorptie in de zandgrond nr. 1 kolom)



Figuur 3.10. Doorbraakcurven van de aromaten en nitraat; experimenteel (—) en analytisch berekent (---) (desorptie in de veldpodzolkolom)

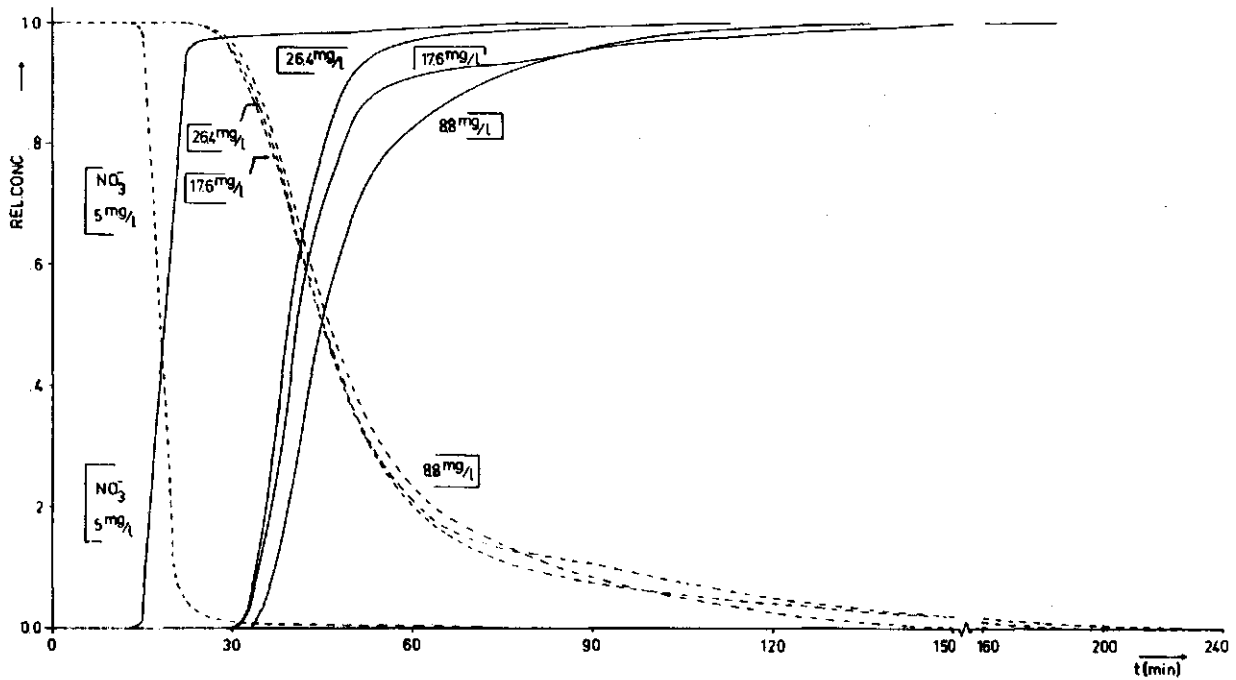
4.1.3. Invloed van de concentratie op de doorbraak

Bij een derde kolom, ook gepakt met veldpodzol, is de flowrate constant gehouden op 0,10 ml/min en is er een variatie in concentratie toegepast. Met deze kolom is naast de V_0 -bepaling met behulp van nitraat, alleen de doorbraak van benzeen vastgesteld. De gebruikte benzeenoplossingen zijn respectievelijk 10, 20 en 30 $\mu\text{l/l}$ water. Met dit experimentje is gekeken naar de invloed van de concentraties op de doorbraak.

Bij de adsorptie (fig. 3.11.) valt hier op dat de concentraties van 20 en 30 $\mu\text{l/l}$ gelijktijdig doorbreken en dat de adsorptie bij 10 $\mu\text{l/l}$ later doorbreekt. Bij herhaling van het experiment vertoonde zich hetzelfde beeld. Later is nog een adsorptie-doorbraak bepaald met een benzeenoplossing van 5 $\mu\text{l/l}$, welke weer later begon door te breken dan bij 10 $\mu\text{l/l}$ (niet meer in de grafiek opgenomen).

Dit lijkt erop dat er een concentratie-afhankelijkheid bestaat. Het verdient aanbeveling deze experimenten bij lagere concentraties, en ook voor andere componenten uit te voeren. Uit de concentratie experimenten

bleek dat een hogere concentratie niet altijd leidde tot een snellere evenwichtsinstelling.

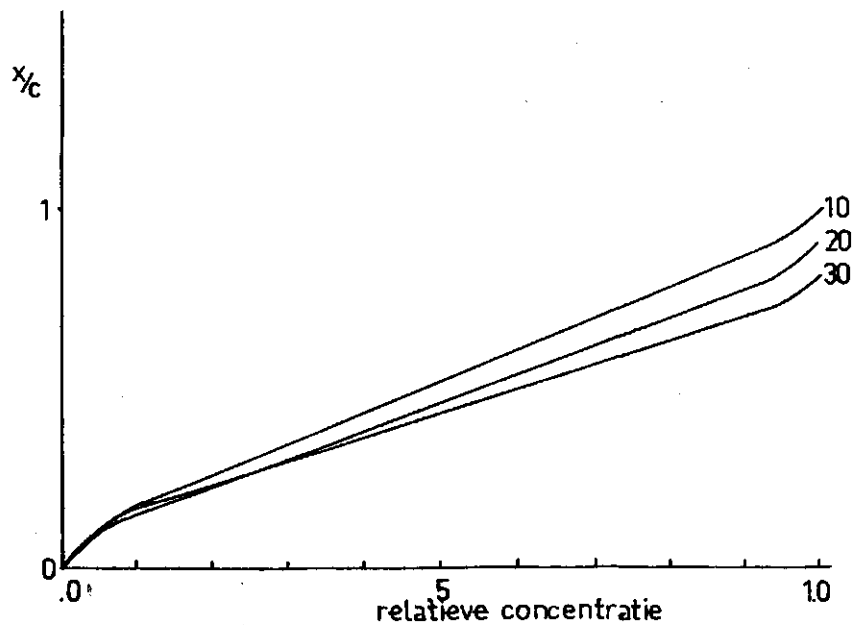


Figuur 3.11. Adsorptie- en desorptiecurven van de benzeenconcentraties in de veldpodzolkolom

De desorptie behorende bij de verschillende concentraties zijn vrijwel gelijk. In de grafiek (fig. 3.11.) is te zien dat de desorptiecurven gedeeltelijk langs-, over- en doorelkaar lopen en dat ze gelijktijdig beginnen door te breken. Dit betekent dat het evenwichtsniveau voor de verschillende concentraties gelijk ligt en dat de concentratieverschillen van invloed zijn op de snelheid van het bereiken van het evenwicht.

Uit de bepaling van de adsorptie isothermen (fig. 3.12.) bij de drie concentraties met behulp van PARDET 3, BLÖMER (1985) blijkt dat de adsorptie niet geheel lineair verloopt. De isothermen buigen aan het begin en eind iets af. Hieruit is af te leiden, dat de Langmuir-isotherm tekort schiet, om toe te kunnen passen.

Uit de isothermen is ook het gelijke evenwichtsniveau van de concentraties te halen. Dit is af te lezen door naar de verhoudingen tussen de concentraties te kijken, en deze te relativeren naar de relatieve concentraties (fig. 3.12.).



Figuur 3.12. Adsorptie-isothermen van de verschillende benzeenconcentraties ($\mu\text{l/l}$) in de veldpodzolkolom (x/c is bij $10 \mu\text{l/l}$ op 1 gesteld)

Andere door de drie Pardet programma's berekende gegevens zijn gegeven in bijlage 1 en 2.

4.2. B e p a l i n g v a n e n k e l e e i g e n s c h a p p e n v a n d e z a n d g r o n d e n

Van de beide zandgronden is het totaal organische stofgehalte en het gehalte aan lipidmateriaal bepaald. Het organische stofgehalte is met behulp van de gloeivliesmethode bepaald, de bepaling van het lipidgehalte van de bodemmaterialen door middel van een Soxhlet-extractie.

Het lutumgehalte van de veldpodzol is bepaald door de afdeling Bodemchemie en Kleimineralogie van Stiboka.

Tabel 4. Enkele gegevens van het kolommateriaal

Bepaling	Kolommateriaal	
	zandgrond nr. 1	veldpodzol
organische stofgehalte (%)	0,09	2,28
lipidgehalte (%)	0,01	0,06
lutumgehalte (%)	verwaarloosbaar	2
hoeveelheid droge stof		1e: 6,2030
in kolom (g)	6,9899	2e: 6,1410

4.3. Ontwikkeling van F.I.D. detectie van vluchtige organische componenten voor HPLC

Voor het bepalen van organische componenten die niet meetbaar zijn met behulp van UV-detectie, kan o.a. een vlamionisatiedetector (FID) toegepast worden. De FID meet veranderingen van de elektrische geleidbaarheid van een waterstofvlam, wanneer door de vlam een component geleid wordt. Het te bepalen vluchtige component wordt met behulp van het draaggas (N_2) naar de detector geleid en met waterstof gemengd.

Omdat het vluchtige component bij het kolomexperiment met behulp van HPLC in water is opgelost, moet het van het water gescheiden worden en met het draaggas (N_2) weggevoerd. Het principe van de scheiding berust op het doorborrelen van de oplossing met N_2 in een kolom. De oplossing en het N_2 zijn van onder de verticaal geplaatste kolom ingevoerd, waarna bovenin de kolom het water van opzij weggevoerd is en het N_2 met het vluchtige component naar de FID stroomt.

Omdat een ca. 30 cm lange roesvrijstalen buis met een binnendiameter van circa 2 mm geen gewenste scheiding opleverde, was het noodzakelijk een speciale scheidingskolom te ontwikkelen. Uit het resultaat van de roestvrijstalen kolom is het duidelijk dat er een bredere kolom nodig is voor een intensief contact tussen gas en oplossing. Ook de toepassing van een oude vijf ml volpipet gaf geen gewenst resultaat.

De derde kolom leidde tot de ontwikkeling en het ontwerpen van het prototype van de scheidingskolom. Het ontwerp is gebaseerd op een glazen kolom met een binnendiameter van ca. 10 mm en een lengte van ca. 45 cm. In deze kolom bevindt zich op ca. 8 cm hoogte een glasfilter, waarop kleine gasbellen ontstaan, die zich door de bovenstaande vloeistof in

de kolom verplaatsen. Door dit geborrel ontstaat een intensief contact tussen het N_2 en de oplossing.

De afvoer van het water bovenin de kolom is in eerste instantie gerealiseerd door een naar opzij weglappende leiding met waterslot. Dit systeem bleek echter niet te voldoen. De ene keer hevelde het water uit de kolom, waarbij dan ook luchtbellen werden ingesloten, een andere keer sloot het waterslot de leiding af, waardoor het water boven uit de kolom kwam. Ook een leiding met vrije uitloop, onder een hoek van ca. 45° geplaatst, leidde tot een weghevelen met aan het eind insluiting van een luchtbel.

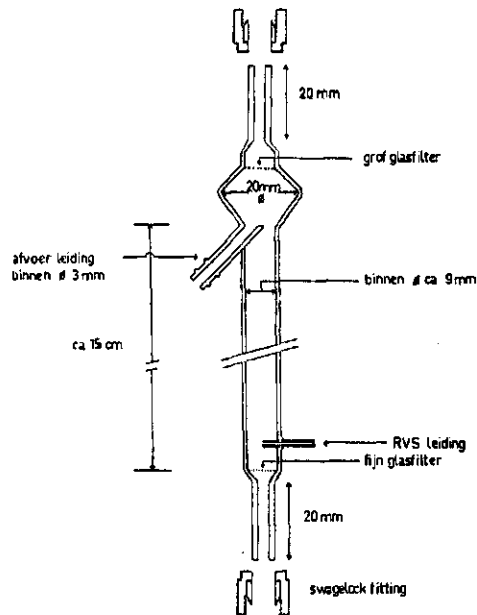
Door het koppelen van een slangepomp aan deze afvoer en het pompe ongeveer synchronoon af te stellen met de flowrate van de HPLC-pomp is wel het gewenste resultaat bereikt.

Ondanks de afvoer van het water bereikt toch noch een kleine hoeveelheid de detector. De oorzaak hiervan is, dat er aan het oppervlak van het water in de kolom door het borrelen bellen ontstaan, die door de aanwezige druk langs de wand omhoog kruipen. Om dit in sterke mate tegen te gaan is de kolom verwijd en daarna weer versmald, waarbij in de versmalling een grof glasfilter is aangebracht om een zeer enkele noch ontstane bel te breken.

Het uiteindelijke ontwerp (fig. 3.13.) van de scheidingskolom toont hier en daar nog enkele veranderingen.

De glazen kolom heeft een totale lengte van ca. 22 cm, met een binnendiameter van ca. 9 mm. Het onderste glasfilter is een zeer fijn glasfilter voor het ontstaan van vele zeer kleine stikstofbelletjes. De inlaat van de waterige oplossing bestaat uit een op ca. 5 cm boven het filter ingesmolten roestvrijstalen HPLC-leiding die midden boven het filter uitkomt. De uiteinden van de kolom bestaan uit een dikwandig gedeelte met een diameter van 6 mm uitwendig, bestemd voor het koppelen van de kolom met Swagelockkoppelingen aan de detector en aan de N_2 -leiding.

Het uittesten en eventueel verder ontwikkelen van deze scheidingskolom moet nog gebeuren.



Figuur 3.13. Ontwerp scheidingskolom

5. SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Door toepassing van twee HPLC-pompen op de grondkolomexperimenten is het mogelijk om relatief snel te werken. In een kort tijdsbestek is de mate van adsorptie van aromaten aan verschillende grondsoorten te bepalen, zodat een beeld gevormd kan worden over de verplaatsing van deze verontreinigingen onder invloed van een bepaalde stroomsnelheid.

Door toepassing van twee pompen op een kolom is het mogelijk een constante doorstroming te realiseren. Met behulp van de ontwikkelde computerprogramma's kan uit de verkregen resultaten de hoedanigheid van de adsorptie bepaald worden, alsmede enkele waarden van de kolom-pakking.

Uit de meetresultaten van de toegepaste zandgronden blijkt dat de mate van adsorptie toeneemt wanneer men opklimt in de homologe reeks van benzeen en de daaraan gekoppelde CH_3 -groepen, en dat deze ook afhankelijk is van de hoeveelheid organische stof die in de bodem aanwezig is. Naarmate de adsorptie groter wordt, gaat de invloed van de flowrate zich manifesteren in een flowafhankelijkheid, waarbij over het algemeen een hoge flowrate voor een kleiner doorbraakvolume zorgt.

De invloed van de benzeenconcentratie op de adsorptie is, dat een hoger concentratie tot een snellere evenwichtsinstelling leidt.

Ook lijkt deze van invloed te zijn op de snelheid waarmee de doorbraak begint. Uit de bepaling van de adsorptie isotherm uit deze resultaten, volgt dat de langmuir isotherm te kort schiet.

LITERATUUR

BLÖMER, F., 1985. Parameter determination and calculation of exchange isotherms from breakthrough curves.

ICW-Nota, ICW, Wageningen.

BLÖMER, F. 1985-4. Persoonlijke mededeling.

EL GUINDY, S. en J. HARMSSEN, 1985. Fast column experiments on a microscale to study exchange processes in soil.

Concept publicatie voor Geoderma.

HARMSSEN, J. and J. HOEKS, 1983. Behaviour of oil components in soil and groundwater (poster guide). Conf. 'Contamination of groundwater by organic micropollutans', Wolfheze, The Netherlands.

KOOPAL, L.K. en J. LYKLEMA, 1973. Inleiding tot de grensvlakchemie. p. 102-105, LH, Wageningen.

KRUYT, H.R. en J.Th.G. Overbeek, 1969. Inleiding tot de Fysische chemie. p. 134-143, 19e druk, H.J. Paris, Amsterdam.

ROEST, C.W.J. and P.E. RIJTEMA, 1983. Analysis of a model for transport, adsorption and decomposition of solutes in the soil. Nota 1404, ICW, Wageningen.

VAN 'T HOFF LABORATORIUM, 1980. Grensvlakchemie (College-aanteekeningen 2e jaars chemie), R.U., Utrecht.

Sample code : NIT10GVP1
Nitrate breakthrough parameter determination

Average breakthrough time:	18.6896	min
Variance:	1.9983	min ²
Number of layers:	174	
Thickness of one layer:	1.4368	mm
Dispersionlength (1):	0.6156	mm
Dispersionlength (2):	0.7151	mm
Velocity:	13.3764	mm/min
Porosity:	0.4498	

Sample code : N0310GZG1
Nitrate breakthrough parameter determination

Average breakthrough time:	16.0745	min
Variance:	4.2332	min ²
Number of layers:	61	
Thickness of one layer:	4.0984	mm
Dispersionlength (1):	1.8481	mm
Dispersionlength (2):	2.0479	mm
Velocity:	15.5526	mm/min
Porosity:	0.3869	

Sample code : N0310IVG1
Nitrate breakthrough parameter determination

Average breakthrough time:	16.4652	min
Variance:	9.8442	min ²
Number of layers:	27	
Thickness of one layer:	9.2593	mm
Dispersionlength (1):	1.9582	mm
Dispersionlength (2):	4.5389	mm
Velocity:	15.1835	mm/min
Porosity:	0.3963	

Sample code : NIT10IVP1
Nitrate breakthrough parameter determination

Average breakthrough time:	19.4099	min
Variance:	1.9987	min ²
Number of layers:	188	
Thickness of one layer:	1.3298	mm
Dispersionlength (1):	0.6395	mm
Dispersionlength (2):	0.6632	mm
Velocity:	12.8800	mm/min
Porosity:	0.4672	

Sample code : NIT10GVP3
Nitrate breakthrough parameter determination

Average breakthrough time:	17.7654	min
Variance:	4.1307	min ²
Number of layers:	76	
Thickness of one layer:	3.2895	mm
Dispersionlength (1):	1.8359	mm
Dispersionlength (2):	1.6360	mm
Velocity:	14.0723	mm/min
Porosity:	0.4276	

Enkele kolomwaarden berekend m.b.v. nitraatdoorbraken en de computerprogramma's.

adsorptie zandgrond nr1 (GZG) en veldpodzol (GVP)

desorptie zandgrond nr1 (IZG) en veldpodzol (IVP)

curvecode : BEN10GZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 18.7648 min
Distribution ratio : 0.1673
Retardation : 0.8566

curvecode : TDL10GZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 20.9513 min
Distribution ratio : 0.3034
Retardation : 0.7672

curvecode : XYL10GZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 27.1269 min
Distribution ratio : 0.6875
Retardation : 0.5926

curvecode : BEN10GVP1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 46.1498 min
Distribution ratio : 1.4744
Retardation : 0.4041

curvecode : TDL10GVP1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 84.9510 min
Distribution ratio : 3.5548
Retardation : 0.2195

curvecode : XYL10GVP1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 187.9220 min
Distribution ratio : 9.0759
Retardation : 0.0992

curvecode : BEN10GVP3
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 50.7774 min
Distribution ratio : 1.8582
Retardation : 0.3499

curvecode : BEN20GVP3
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 49.5266 min
Distribution ratio : 1.7878
Retardation : 0.3587

curvecode : BEN30GVP3
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 45.7691 min
Distribution ratio : 1.5763
Retardation : 0.3882

curvecode : BEN10IZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 19.8525 min
Distribution ratio : 0.2057
Retardation : 0.8294

curvecode : TQL10IZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 22.4800 min
Distribution ratio : 0.3653
Retardation : 0.7324

curvecode : XYL10IZG1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 33.0254 min
Distribution ratio : 1.0058
Retardation : 0.4986

curvecode : BEN10IVP1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 49.5090 min
Distribution ratio : 1.5506
Retardation : 0.3921

curvecode : TQL10IVP1
Breakthrough parameter determination

Average breakthrough time : 83.6993 min
Distribution ratio : 3.3119
Retardation : 0.2319

curvecode : XYL10IVP1
Breakthrough parameter determination



Average breakthrough time : 189.3589 min
Distribution ratio : 8.7552
Retardation : 0.1025

berekeningen m.b.v. PARDET 2
aan de adsorptie en desorptie
resultaten van de aromaten bij
een flowrate van 10 ml/min.

BENZEEN*

benzol



C₆H₆

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		OVERIGE KENMERKEN
Kookpunt °C	80	KLEURLOZE VLOEISTOF, AAN DE GEUR TE HERKENNEN. De damp is zwaarder dan lucht en verspreidt zich over de grond; ontsteking op afstand mogelijk. Ten gevolge van gering geleidingsvermogen is de stof in staat elektrostatische ladingen op te wekken bij stroming, agitatie, etc. Bij vullen, aftappen of verwerken geen perslucht toepassen. Reageert heftig met sterke oxidatiemiddelen onder warmteontwikkeling. De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing, inslikken en via de huid. De stof werkt prikkelend op de ogen en de ademhalingsorganen. De stof werkt op het zenuwstelsel. De stof werkt op de bloedvormende organen. Lever- en nierbeschadigingen kunnen optreden. Bloedafwijkingen kunnen optreden. In ernstige gevallen kans op bewusteloosheid en dodelijke afloop. De vloeistof ontvet de huid.
Smeltpunt °C	5,5	
Vlampunt °C	-11	
Zelfontbrandingstemperatuur °C	550	
Relatieve dichtheid (water=1)	0,9	
Relatieve dampdichtheid (lucht=1)	2,7	
Dampspanning in mbar bij 20 °C	100	
Oplosbaarheid in water, g/100 ml bij 20 °C	0,1	
Explosiegrenzen, vol.% in lucht	1 - 8	
Relatieve molecuulmassa	78,1	
MAC-waarde in ppm ₃	10	
MAC-waarde in mg/m ³	30	
GEVAREN / VERSCHIJSSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN / EERSTE HULP
Brand: zeer brandgevaarlijk Explosie: damp met lucht explosief, Inademen: hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, sufheid, bewusteloosheid, Huid: wordt opgenomen, roodheid, pijn, Ogen: roodheid, pijn, Inslikken: keelpijn, hoofdpijn, buikpijn, duizeligheid, misselijkheid, sufheid, bewusteloosheid.	geen open vuur, geen vonken en niet roken gesloten apparatuur, ventilatie, explosieveilige elektrische apparatuur en verlichting, aarden, vonk-arm gereedschap, STRENGE HYGIËNE ventilatie, plaatselijke afzuiging of adembescherming handschoenen, beschermende kleding gelaatsscherm of oogbescherming in combinatie met adembescherming	poeder, AFFF, schuim, halonen, koolzuur, bij brand: vaten koel houden door sproeien met water frisse lucht, rust, zonodig beademing, en arts waarschuwen of naar ziekenhuis vervoeren verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of afdouchen en naar arts verwijzen eerst spoelen met veel water, dan naar arts vervoeren mond laten spoelen, en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren
OPRUIMING	OPSLAG	VERPAKKING
vloeistof opvangen in afsluitbare vaten, morsvloeistof opnemen in zand of inert absorptiemiddel en naar veilige plaats afvoeren, (extra persoonlijke bescherming: pers luchtmasker)	brandveilig, gescheiden van oxidatiemiddelen.	ontbreekbare verpakking, breekbare verpakking geplaatst in gesloten ontbreekbaar vat   VN: 1114 R: 11-23/24 39 S: 9-16 29
OPMERKINGEN De reukgrens ligt boven de MAC-waarde. Gebruik van alcoholische dranken versterkt de giftige werking. Afhankelijk van de mate van blootstelling is periodiek geneeskundig onderzoek gewenst. Het is gebleken dat de stof onder bepaalde omstandigheden een soort leukemie kan veroorzaken bij de mens. Het gebruik van benzene is volgens Staatsblad 52, art. 160a (1977) verboden. Het gebruik als reagens in gesloten apparatuur is onder bepaalde omstandigheden toeestaan.		
Transportgevaarskaart nummer 7. Transport Emergency Card TEC(R)-7		

TOLUEEN

methylbenzeen*; toluol


C₆H₅CH₃

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		OVERIGE KENMERKEN	
Kookpunt °C	111	KLEURLOZE VLOEISTOF, AAN DE GEUR TE HERKENNEN. De damp is zwaarder dan lucht en verspreidt zich over de grond; ontsteking op afstand mogelijk. Ten gevolge van gering geleidingsvermogen is de stof in staat elektrostatische ladingen op te wekken bij stroming, agitatie, etc. Bij vullen, aftappen of verwerken geen perslucht toepassen. Reacteert met zwavelzuur onder warmteontwikkeling. De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing, inslikken en via de huid. De stof werkt prikkelend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. De stof werkt op het zenuwstelsel. In ernstige gevallen kans op bewusteloosheid. De vloeistof ontvet de huid. Na inslikken van de vloeistof kunnen druppeltjes in de longen terecht komen (aspiratie), waardoor een longontsteking kan optreden.	
Smeltpunt °C	-95		
Vlampunt °C	4		
Zelfontbrandingstemperatuur °C	510		
Relatieve dichtheid (water=1)	0,9		
Relatieve dampdichtheid (lucht=1)	3,2		
Dampspanning in mbar bij 20 °C	29		
Oplosbaarheid in water	niet		
Explosiegrenzen, vol.% in lucht	1,2 - 7		
Relatieve molekulmassa	92,1		
MAC-waarde in ppm ₃	100		
MAC-waarde in mg/m ³	375		
GEVAREN / VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN / EERSTE HULP	
Brand: zeer brandgevaarlijk Explosie: damp met lucht explosief, Medemen: hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, sufheid, Huid: wordt opgenomen, roodheid, Ogen: roodheid, pijn, Inslikken: buikkrampen, hoofdpijn, duizeligheid, sufheid,	geen open vuur, geen vonken en niet roken gesloten apparatuur, ventilatie, explosieveilige elektrische apparatuur en verlichting, aarden, ventilatie, plaatselijke afzuiging of adembescherming handschoenen, veiligheidsbril	poeder, AFFF, schuim, helomen, koolzuur, frisse lucht, rust, en arts waarschuwen verontreinigde kleding uitbreken, huid spoelen met veel water of af-douchen eerst spoelen met veel water, dan zodig naar arts vervoeren mond laten spoelen, veel water laten drinken, GEEN braken opwekken, en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren	
OPRUIMING	OPSLAG	VERPAKKING	
lekvlloeistof opvangen in afsluitbare vaten, morsvlloeistof opnemen in zand of inert absorptiemiddel en naar veilige plaats afvoeren, (extra persoonlijke bescherming: pers-luchtmasker)	brandveilig, gescheiden van zwavelzuur,	VN: 1284   R: 11-20 S: 16-29-33	
OPMERKINGEN			
Gebruik van alcoholische dranken versterkt de giftige werking. Technische kwaliteiten bevatten veelal <i>benzeen</i> .			
Transportgevaarkaart nummer 31. Transport Emergency Card (TECIR)-31			

m-XYLEEN

1,3-dimethylbenzeen*; xylol; meta-xyleen

C₈H₁₀(CH₃)₂

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		OVERIGE KENMERKEN
Kookpunt °C	139	KLEURLOZE VLOEISTOF. AAN DE GEUR TE HERKENNEN. Ten gevolge van gering geleidingsvermogen is de stof in staat elektrostatische ladingen op te wekken bij stroming, agitatie, etc. Reageert met zwavelzuur, salpetersuuren sterke oxidatiemiddelen onder warmteontwikkeling. De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing, inslikken en via de huid. De stof werkt prikkelend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. De stof werkt op het zenuwstelsel. In ernstige gevallen kans op bewusteloosheid. Bij intensief huidcontact kans op huidaanroeningen. De vloeistof onttrekt de huid. Na inslikken van de vloeistof kunnen druppeltjes in de longen terecht komen (aspiratie), waardoor een longontsteking kan optreden. De kans op vergiftiging door opname via de huid is praktisch nihil.
Smeltpunt °C	-48	
Vlampunt °C	25	
Zelfontbrandingstemperatuur °C	525	
Relatieve dichtheid (water=1)	0,9	
Relatieve dampdichtheid (lucht=1)	3,7	
Dampspanning in mbar bij 30 °C	13,3	
Oplosbaarheid in water	niet	
Explosiegrenzen, vol.% in lucht	1,1 - 7	
Relatieve molekulmassa	106,2	
MAC-waarde in ppm ₃	100	
MAC-waarde in mg/m ³	435	
GEVAREN / VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN / EERSTE HULP
Brand: brandgevaarlijk Explosie: boven 25 °C: damp met lucht explosief. Inademen: hoesten, hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, bewusteloosheid. Huid: roodheid, pijn. Ogen: roodheid, pijn, slecht zien Inslikken: hoesten, hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, braken, bewusteloosheid.	geen open vuur, geen vonken en niet roken boven 25 °C: gesloten apparatuur, ventilatie, explosie veilige elektrische apparatuur, aarden. ventilatie, plaatselijke afzuiging of adembescherming handschoenen, veiligheidsbril	poeder, AFFF, schuim, halonen, koolzuur, bij brand: vaten koel houden door spuiten met water frisse lucht, rust, en arts waarschuwen verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of afdouchen eerst spoelen met veel water, dan zodanig naar arts vervoeren mond laten spoelen, veel water laten drinken, GEEN braken opwekken, en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren
OPRUIMING	OPSLAG	VERPAKKING
letvloeistof opvangen in afsluitbare vaten, morsvloeistof opnemen in zand of inert absorptiemiddel en naar veilige plaats afvoeren,	brandveilig,	VN: 1307  R: 10-20 S: 24/25
OPMERKINGEN		
Gebruik van alcoholische dranken versterkt de giftige werking. De maatregelen op deze kaart gelden ook voor ortho- en para-xyleen. Kookpunt o-xyleen: 144; p-xyleen: 138. Smeltpunt o-xyleen: -25; p-xyleen: 13. Explosiegrenzen o-xyleen: 1,0-8; p-xyleen: 1,1-7. Vlampunt o-xyleen: 30 °C; p-xyleen: 25 °C. Het handelsproduct bevat voornamelijk meta-xyleen. Zelfontbrandingstemperatuur o-xyleen: 485 °C; p-xyleen 525.		
Transportgevaarskaart nummer 33 (xyleen) en 36 (mengsels van xylenen). Transport Emergency Card TEC(R)- 33		

PARA-XYLEEN

dimethylbenzeen*; xylol

C₈H₁₀(CH₃)₂

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		OVERIGE KENMERKEN
Kookpunt °C Smeltpunt °C Vlampunt °C Zelfontbrandingstemperatuur °C Relatieve dichtheid (water = 1) Relatieve dampdichtheid (lucht = 1) Dampspanning in mbar bij °C Oplosbaarheid in water Explosiegrenzen, vol.% in lucht Relatieve molecuulmassa	138 13 26 525 0,9 3,7 n.b. niet 1,1 - 7 106,2	KLEURLOZE VLOEISTOF, AAN DE GEUR TE HERKENNEN. Ten gevolge van gering geleidingsvermogen is de stof in staat elektrostatische ladingen op te wekken bij stroming, agitatie, etc. Reageert met zwavelzuur, salpeterzuur en sterke oxidatiemiddelen onder warmteontwikkeling. De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing, inslikken en via de huid. De stof werkt prikkelend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. De stof werkt op het zenuwstelsel. In ernstige gevallen kans op bewusteloosheid. Bij intensief huidcontact kans op huidaanroeningen. De vloeistof ontvet de huid. Na inslikken van de vloeistof kunnen druppeltjes in de longen terecht komen (aspiratie), waardoor een longontsteking kan optreden.
MAC-waarde in ppm ₃ MAC-waarde in mg/m ³	100 435	
GEVAREN / VERSCHIJNSELEN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN / EERSTE HULP
Brand: brandgevaarlijk Explosie: boven 25 °C: damp met lucht explosief. Inademen: hoesten, hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, bewusteloosheid. Huid: roodheid, pijn. Ogen: roodheid, pijn, slecht zien Inslikken: hoesten, hoofdpijn, duizeligheid, misselijkheid, braken, bewusteloosheid.	geen open vuur, geen vonken en niet roken boven 25 °C: gesloten apparatuur, ventilatie, explosievlrije elektrische apparatuur, aarden. ventilatie, plaatselijke afzuiging of adembescherming handschoenen, veiligheidsbril	poeder, sproeistraal water, schuim, halonen, koolzuur, bij brand: vaten koel houden door spuiten met water frisse lucht, rust, en arts waarschuwen verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of af-douchen eerst spoelen met veel water, dan zo nodig naar arts vervoeren mond laten spoelen, veel water laten drinken, GEEN braken opwekken, en arts waarschuwen of naar ziekenhuis vervoeren
OPRUIMING	OPSLAG	VERPAKKING
let vloeistof opvangen in afsluitbare vaten, morsvloeistof opnemen in zand of inert absorptiemiddel en naar veilige plaats afvoeren.	brandveilig.	VN: 1307 X R: 10-20 S: 24-25
OPMERKINGEN Gebruik van alcoholische dranken versterkt de giftige werking. Het handelsproduct bevat voornamelijk <i>meta-xyleen</i>		
Transportgevaarkaart nummer 33 en 89 (mengsels van xylenen) Transport Emergency Card TERC(R)-33		