

Studie dispersie met PEP : bestudering van dispersie in een gepakt katalysatorbed met Positron Emissie Profiling

Citation for published version (APA):

van de Ven, P. A. G., Mangnus, A. V. G., IJzendoorn, van, L. J., Anderson, B. G., & Voigt, de, M. J. A. (1996). Studie dispersie met PEP : bestudering van dispersie in een gepakt katalysatorbed met Positron Emissie Profiling. *Novac Blad*, 34(3), 77-84.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1996

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

STUDIE DISPERSIE MET PEP

BESTUDERING VAN DISPERSIE IN EEN GEPAKT KATALYSATORBED MET POSITRON EMISSIE PROFILERING

door P. A. G. van de Ven, A. V. G. Mangnus,
L. J. van IJzendoorn, B. G. Anderson en
M. J. A. de Voigt

P.A.G. van de Ven, A.V.G. Mangnus, L.J. van IJzendoorn en M.J.A. de Voigt zijn werkzaam bij de Technische Universiteit Eindhoven, Faculteit Technische Natuurkunde, Cyclotrongebouw, Postbus 513, 5600 MB Eindhoven. B.G. Anderson is werkzaam bij de Faculteit Scheikundige Technologie van de Technische Universiteit Eindhoven.

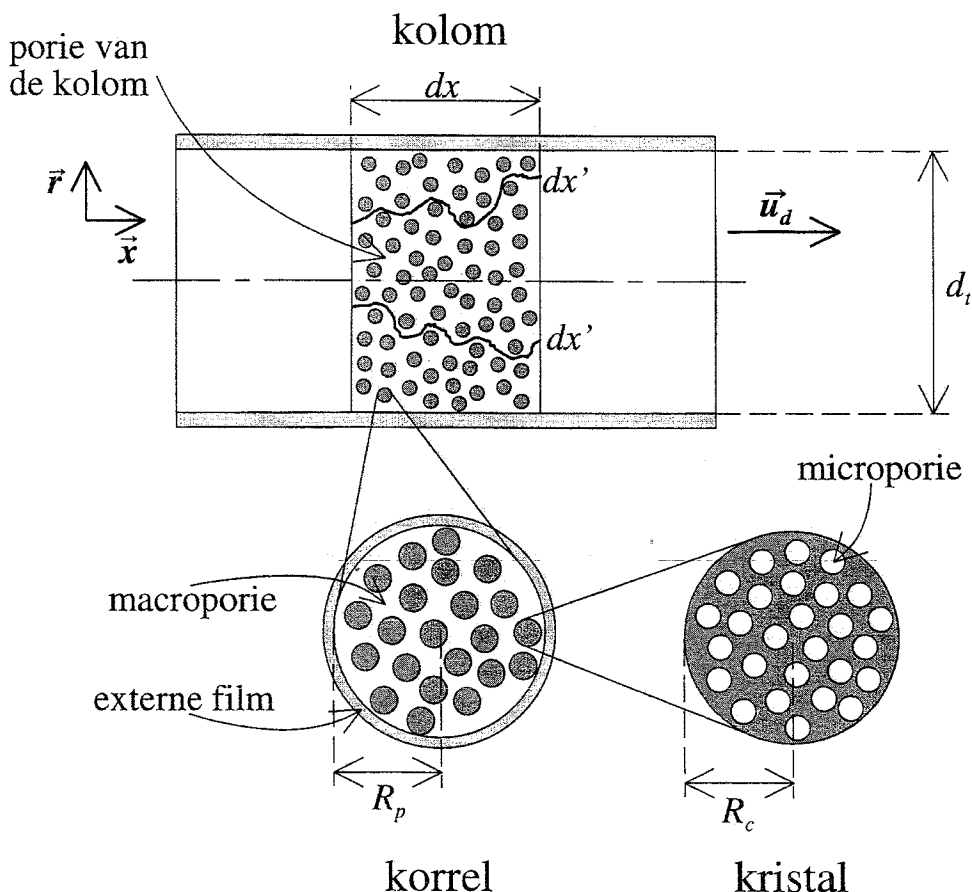
1. Inleiding

Katalytische reacties worden gewoonlijk bestudeerd door de samenstelling van de reactieproducten te bekijken als functie van de reactieparameters. Er kan dan echter geen informatie verkregen worden over de verdeling van de moleculen binnen in de reactor. In 1991 is aan de Technische Universiteit Eindhoven een project gestart om deze verdeling als functie van tijd en plaats in de reactor te kunnen meten. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de Positron Emissie Profilering (PEP) techniek. Bij deze techniek wordt een zeer kleine hoeveelheid reactanten gelabeld met een positron emitter en deze tracer moleculen worden in de reactor onder operationele condities gevolgd met de speciaal ontwikkelde PEP-detector. Mo-

menteel wordt er onderzoek verricht aan de isomerisatie van n-hexaan en aan de oxydatie/reductie van CO/NO_x. Bij de experimenten worden de gelabelde moleculen in de reactor geïnjecteerd in de vorm van een smalle puls, waarna het verloop van deze puls in de reactor wordt gemeten met de PEP-detector. De distributie van de puls in de reactor wordt bepaald door processen als diffusie, convectorie, adsorptie/desorptie en reactie. Tijdens het transport van de tracerpuls door het bed wordt deze puls verbreed in axiale richting, wat dispersie wordt genoemd. Een eenvoudig model is opgesteld dat dispersie in een gepakt katalysatorbed zonder reactie beschrijft.

2. Positron Emissie Profilering

Chemisch interessante positron emitters zijn ¹¹C, ¹³N en ¹⁵O, met halfwaardetijden van respectievelijk 20, 10 en 2 minuten. Deze instabiele isotopen vervallen met uitzending van een positron. Het uitgezonden positron annihileert met een elektron, waarbij twee fotonen worden geproduceerd. Deze fotonen hebben beide een energie van 511 keV en worden uitgezonden onder een onderlinge hoek van 180°. Wanneer beide fotonen in coïncidentie gemeten worden is de positie van de annihilatie bepaald. De PEP-detector is ontworpen om het concentratieprofiel van de tracerpuls in de reactor te meten door coïncidente



Figuur 1.
Structuur van een gepakt bed
van zeolietkorrels.

meting van de annihilatiefotonen. De detector bestaat uit twee banken van elk 9 individuele detectie-elementen. Al deze elementen bestaan uit een BGO-kristal, gekoppeld aan een photomultiplier. De kristallen hebben een grootte van 5,1 mm x 20 mm x 100 mm. Elk element van een bank vormt een coïncidentiepaar met alle elementen van de andere bank. Zo kunnen 81 paren gevormd worden die verdeeld zijn over 17 verschillende meetsecties. De plaatsresolutie van de detector is circa 3 mm, ongeveer gelijk aan de gemiddelde dracht van de positronen in een katalysator materiaal. De minimale samplingtijd van de detector is gelijk aan 0,5 s. De opzet van de detector is erg flexibel. De afstand tussen de afzonderlijke elementen in een bank kan gevarieerd worden. Hierdoor kunnen reactoren gebruikt worden met een lengte tussen 5 en 50 cm. Ook kan de afstand tussen de twee banken veranderd worden, zodat het mogelijk is de gevoeligheid van de detector te beïnvloeden.

3. Gepakt katalysatorbed

In de isomerisatie-experimenten bestaat het gepakte katalysatorbed uit poreuze, adsorberende zeolietkorrels. Deze korrels worden gevormd door sintering van vele zeolietkristallen. In elk van deze kristallen bevinden zich vele intra-kristallijne microporiën. Tussen de kristallen vormt de inter-kristallijne ruimte grotere macroporiën. Op het buitenoppervlak van de zeolietkorrels bevindt zich een dunne gasvormige grenslaag, de externe film. Figuur 1 geeft een schematische weergave van zo'n gepakt katalysatorbed. In deze figuur is \bar{x} de axiale positie, \bar{r} de radiële positie, d_i de diameter van de glasbuis (<1 cm), R_p de straal van de zeolietkorrels (~100 μm) en R_c de straal van de zeolietkristallen (~1 μm). De grootte van de microporiën is in de orde van moleculaire dimensies (~1 nm) en de grootte van de macroporiën is in de orde van 0.1 μm. In dit model zijn nog enkele andere parameters van belang. De porositeit ϵ van de kolom is het fractionele volume van de poriën rond de zeolietkorrels in het bed ($0 < \epsilon < 1$) en de porositeit ϵ_p van de zeolietkorrels is het fractionele volume van de macroporiën in de korrels. De tortuositeit is een criterium voor de kronkeligheid van de poriën in de kolom. In een gepakt bed beweegt een inert gasmolecule zich niet langs de kortste weg met lengte dx , maar volgt het een kronkelige en dus langere weg, met lengte dx' (zie figuur 1). De tortuositeit τ is een maat voor de gemiddelde verlenging van de weg in het gepakte bed ($\tau > 1$). De parameter \bar{u}_d is de driftsnelheid, de snelheid in axiale richting waarmee een inert dragergas zich door het bed beweegt. Deze snelheid hangt o.a. af van de stroomsnelheid van het gas en de porositeit van het bed.

4. Model voor dispersie

In de experimenten wordt een smalle, gelabelde tracerpuls geïnjecteerd in een constante inerte gasstroom. De puls wordt vervolgens door een reactorbed van zeolietdeeltjes geleid. Om het transport van de tracerpuls door het bed te kunnen beschrijven wordt een aantal aannames gedaan. Ten eerste dat in het bed de radiële concentratiegradiënten klein zijn t.o.v. die in axiale richting, dat de drukval over het gepakte bed verwaarloosbaar is en dat alleen in de poriën van de kolom stroming plaatsvindt. In de

macroporiën bevinden zich alleen moleculen in de gasfase, terwijl in de microporiën zich alleen geadsorbeerde moleculen bevinden. Bovendien is de geadsorbeerde tracerconcentratie aan het kristaloppervlak evenredig met de concentratie van het tracergas in de macroporiën. De diffusieconstanten zijn onafhankelijk van plaats, tijd en concentratie. Drie diffusieconstanten zijn van belang: D_M is de moleculaire diffusieconstante van de gasmoleculen in de poriën van de kolom (~10⁻¹ cm²/s), D_p is de diffusieconstante van de gasmoleculen in de macroporiën van de korrels (~10⁻¹ cm²/s) en D_c is de diffusieconstante van de geadsorbeerde moleculen in de microporiën van de kristallen (~10⁻⁸ cm²/s). Tenslotte zijn de gemiddelde korrel- en kristaldiameters voldoende om de grootteverdelingen in het zeoliet te beschrijven. Onder deze aannames kan een set van vier gekoppelde differentiaalvergelijkingen opgesteld worden die het transport van de tracer door een zeolietbed beschrijft [1]. Dit ingewikkeld model kan sterk vereenvoudigd worden door het doen van twee extra aannames:

1. De gemiddelde tracerconcentratie binnen in de zeolietkorrels (geadsorbeerde fase plus gasfase) is evenredig met de tracerconcentratie in de poriën van de kolom.
2. De dispersie van de tracerpuls kan beschreven worden met één enkele totale dispersiecoëfficiënt, D_{tot} .

Het resultaat hiervan is de reductie tot één enkele eenvoudige differentiaalvergelijking

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \beta D_{tot} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - \beta u_d \frac{\partial c}{\partial x} \quad (1)$$

Hierin is c de tracerconcentratie in de poriën van de kolom, t de tijd en x de positie in axiale richting. De snelheid van de tracerpuls door het bed is gelijk aan βu_d , dus β geeft de kans dat een tracermolecule aanwezig is in de gasstroom en $(1-\beta)$ de kans dat een tracermolecule aanwezig is in een zeolietkorrel. Voor de beginvoorwaarde van een artificiële deltapuls op $x = x_0$ en $t = 0$ kan de oplossing van formule 1 gevonden worden, namelijk

$$c(x,t) = \frac{n}{\frac{1}{4}\pi d_i^2} \frac{1}{\sqrt{4\pi(\beta D_{tot})t}} \exp\left(-\frac{[(x-x_0) - (\beta u_d)t]^2}{4(\beta D_{tot})t}\right) \quad (2)$$

hierin is n het aantal geïntroduceerde tracermoleculen en $\frac{1}{4}\pi d_i^2$ het oppervlak van de reactorbuis. In de experimenten wordt de tracerpuls als een smalle puls in het reactorbed geïntroduceerd. Hierdoor is het mogelijk om het transport van de puls door het bed te beschrijven met deze analytische oplossing voor de introductie van een deltapuls. Door de metingen te modelleren met deze analytische oplossing is het mogelijk om de parameters βu_d en βD_{tot} te bepalen. Omdat de waarde van u_d bekend is, kunnen β en D_{tot} berekend worden.

De parameter β is een functie van de temperatuur T (in K) [2]

$$\ln \beta = \frac{\Delta H_a}{RT} + A \quad (3)$$

waarin ΔH_a (in J/mol) de adsorptiewarmte van de tracer op het zeolietbed is, R (in J/mol.K) de gasconstante en A een dimensieloze constante onafhankelijk van de temperatuur en de driftsnelheid. Deze formule wordt de Van 't Hoff isochoor genoemd. Wanneer β bepaald wordt als functie van de temperatuur, kan met een Arrhenius-plot van $\ln\beta$ versus $1/T$ de adsorptiewarmte bepaald worden.

De coëfficiënt D_{tot} beschrijft de totale dispersie in een zeolietbed. Deze dispersie vindt plaats t.g.v. van 5 processen:

1. Moleculaire diffusie in de poriën van de kolom.
2. Wervelvorming rond de zeolietkorrel t.g.v. splitsende en recombinerende gastromen.
3. Weerstand van de externe film.
4. Diffusie van de gasfase moleculen in de macroporiën.
5. Diffusie van de geadsorbeerde moleculen in de microporiën.

De totale dispersieconstante, D_{tot} , wordt beschreven op basis van deze processen als een kwadratische functie van de driftsnelheid, u_d :

$$D_{tot} = c_0 + c_1 u_d + c_2 u_d^2 \quad (4)$$

$$c_0 = \frac{1}{\tau} D_M \quad (5)$$

$$c_1 = R_p \quad (6)$$

$$c_2 = \left(\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} \right) \left(\frac{R_p}{3k_f} + \frac{R_p^2}{15\varepsilon_p D_p} + \frac{R_c^2}{15K_p D_c} \right) \quad (7)$$

De eerste term van formule 4 beschrijft proces 1, de tweede term proces 2 en de derde term respectievelijk proces 3, 4 en 5 (zie de drie termen in formule 7). In formule 7 is k_f de coëfficiënt voor externe film weerstand en K_p een dimensieloze evenwichtsconstante voor adsorptie. Wanneer D_{tot} bepaald wordt als functie van u_d , kunnen de constanten c_0 , c_1 en c_2 berekend worden.

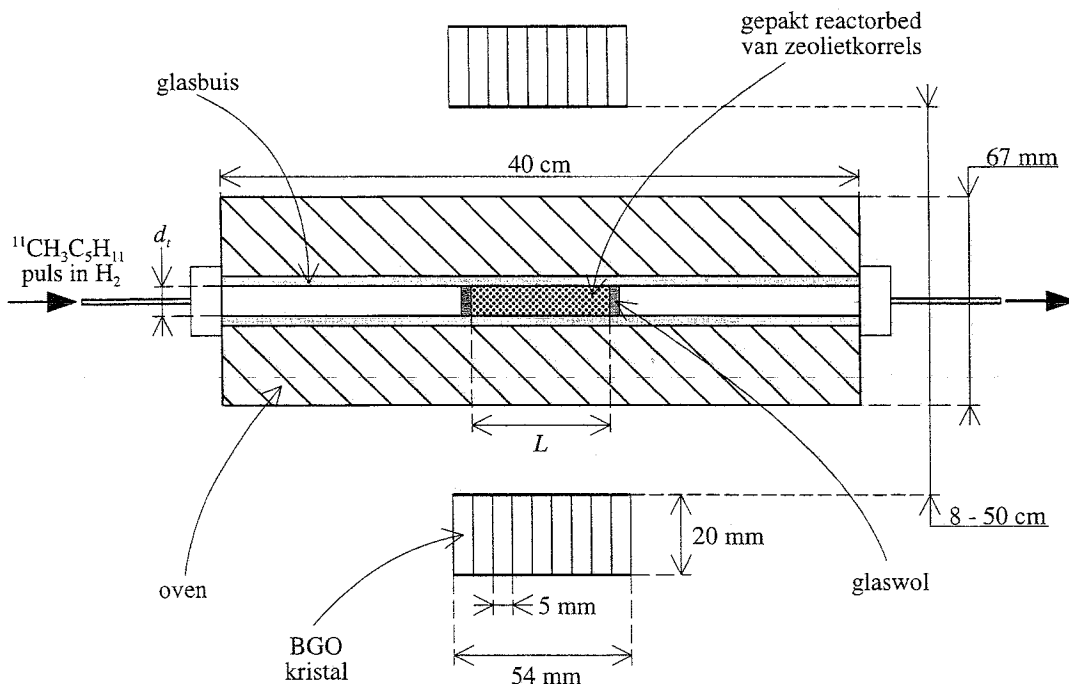
5. Experimenten

Een smalle tracerpuls van ^{11}C -n-hexaan wordt door een gepakt katalysatorbed geleid in een dragergas van inert waterstof. Het bed bestaat uit korrels van zeoliet H-Mordeniet zonder katalytische metalen, met een korrel-diameter tussen 250 en 500 μm en een geschatte kristal-diameter van 5 μm . De lengte van het bed, L , bedraagt 42 mm, de rest van de reactorbuis is niet gevuld. De diameter van de reactorbuis, d_p , is 4 mm. De porositeiten van het bed en de korrels, ε en ε_p , worden beide geschat op 0,4. De detector wordt gebruikt in zijn smalste configuratie, met een afstand van 6,1 mm tussen twee naburige detectie-elementen in een bank. Met 9 elementen per bank resulteert dit in een detectorlengte van 54 mm. Het reactorbed is in het midden van deze detector gepositioneerd, zie figuur 2. Met deze configuratie zijn twee groepen experimenten uitgevoerd:

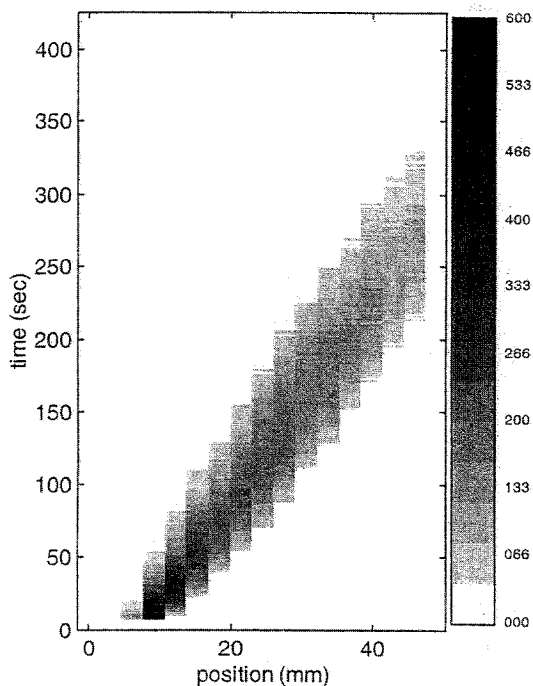
1. Variatie van de stroomsnelheid van het waterstof (en dus ook van de driftsnelheid). Hieruit kunnen de constanten c_0 , c_1 en c_2 voor n-hexaan in H-Mordeniet berekend worden.
 2. Variatie van de temperatuur van het katalysatorbed. Hieruit kan de adsorptiewarmte van n-hexaan op H-Mordeniet bepaald worden.
- In al deze experimenten is de temperatuur van het bed voldoende laag, zodat er door de afwezigheid van katalytische metalen geen chemische reacties kunnen optreden.

5.1. Variatie van de stroomsnelheid

Bij een reactorbedtemperatuur van 210 $^\circ\text{C}$ is de waterstof stroomsnelheid gevarieerd van 25 tot 100 cm^3/min , in stapjes van 25 cm^3/min en bij 230 $^\circ\text{C}$ van 25 tot 125 cm^3/min . Figuur 3 toont het stromingspatroon van het experiment bij 210 $^\circ\text{C}$ en 25 cm^3/min . In dit figuur geven de horizontale en verticale assen respectievelijk de positie van de 17 meetsecties en de tijd. De grijswaarden geven de telsnelheid van de PEP-detector aan. Op de eerste en de laatste posities is geen katalysatorbed aanwezig. De



Figuur 2. Reactorbed en PEP-detector bij een dispersie-experiment.



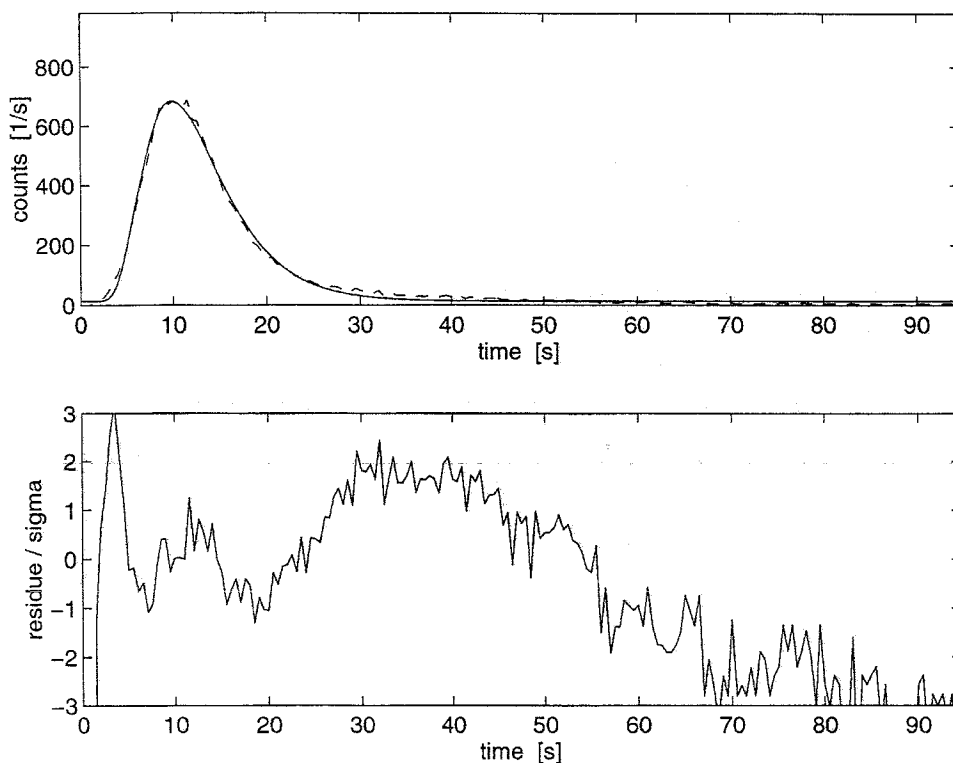
Figuur 3.
Gemeten stromingspatroon van ^{11}C -n-hexaan in H-Mordeniet, bij een temperatuur van 210°C en een stroomsnelheid van $25\text{ cm}^3/\text{min}$ waterstof.

experimenten zijn gemodelleerd met het in de vorige paragraaf beschreven analytische model. In figuur 4 en 5 worden enkele gemeten en gemodelleerde concentratieprofielen met elkaar vergeleken. De bovenste plots in deze figuren tonen de gemeten en gemodelleerde profielen als functie van de tijd, respectievelijk van meetsectie 6 en 15. Hierin is een asymmetrische piek te zien, die t.g.v.

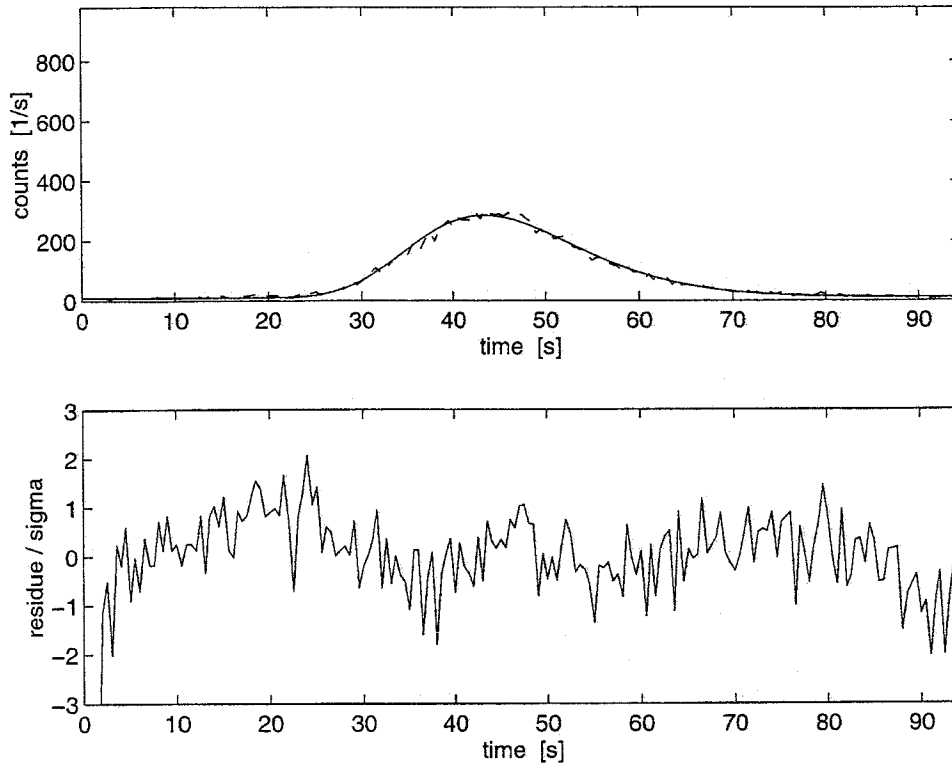
dispersie verbreed wordt. De andere plots in deze figuren tonen het verschil tussen de gemeten en de gemodelleerde curves, gedeeld door de wortel van de gemeten telsnelheden. In figuur 6 is de berekende waarde van de totale dispersiecoëfficiënt, D_{tot} , gegeven als functie van de driftsnelheid, u_d . Formule 4 geeft een kwadratisch verband tussen deze twee parameters, dus uit een fit met een tweedegraads polynoom volgen de waarden van de drie constanten, c_0 , c_1 en c_2 . De resultaten van deze fits zijn ook weergegeven in figuur 6. Van de drie constanten kunnen m.b.v. formule 5, 6 en 7 ook theoretische schattingen berekend worden. De onnauwkeurigheid van deze theoretische constanten is echter groot, omdat voor de berekening hiervan parameters (bijvoorbeeld ε , ε_p , D_p en D_c) worden gebruikt waarvan de waarde niet precies bekend is. In tabel 1 worden de gefitte constanten uit figuur 6 vergeleken met de geschatte theoretische waarden. Uit deze tabel blijkt dat de gefitte en theoretische waarden van de drie constanten dezelfde orde-grootte hebben. Het vereenvoudigde model van paragraaf 4 geeft dus de juiste beschrijving van de dispersieprocessen in een gepakt bed van zeolietkorrels.

5.2. Variatie van de temperatuur

Bij een stroomsnelheid van $150\text{ cm}^3/\text{min}$ waterstof is de temperatuur gevarieerd van 150 tot 250°C . Met een Arrhenius-plot van $\ln\beta$ versus $1/T$ kan de waarde van de adsorptiewarmte bepaald worden (zie formule 3). Het resultaat hiervan wordt weergegeven in figuur 7. Uit deze plot volgt een adsorptiewarmte van -62 kJ/mol voor n-hexaan op H-Mordeniet. Dit getal kan vergeleken worden met een waarde van -69 kJ/mol uit calorimetrische experimenten. Dit verschil wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de kleine microporiediameter van H-Mordeniet vergeleken met de moleculegrootte van n-hexaan. Hierdoor



Figuur 4.
Gemeten (---) en gemodelleerde (—) concentratieprofielen als functie van de tijd. Residu / sigma (—) als functie van de tijd.
Temperatuur: 210°C ;
stroomsnelheid: $25\text{ cm}^3/\text{min}$;
meetsectie: 6.



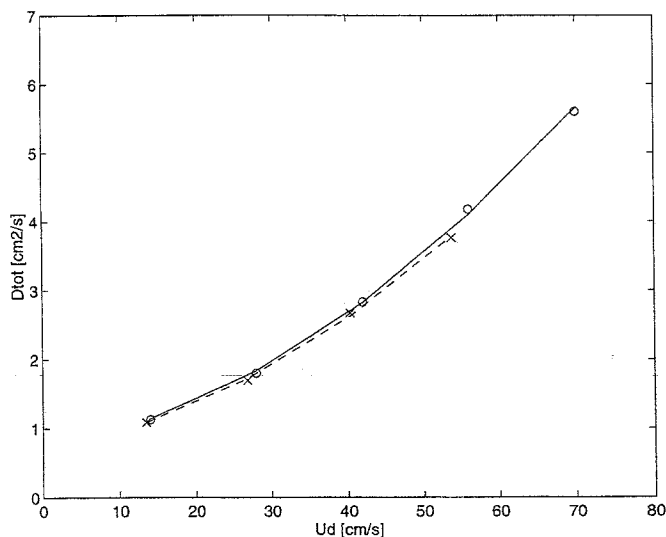
Figuur 5.
Gemeten (---) en gemodelleerde (—) concentratieprofielen als functie van de tijd.
Residu / sigma (—) als functie van de tijd.
Temperatuur: 210 °C; stroomsnelheid: 25 cm³/min; meetsectie: 15.

kunnen de hexaan-moleculen moeilijk de microporiën bereiken en daarin adsorberen. Een gedeelte van de tracer moleculen adsorbeert dus niet binnen in de microporiën, maar adsorbeert op het buitenoppervlak van de kristallen. Van dit laatste adsorptieproces is de adsorptiewarmte veel lager dan van het adsorptieproces in de microporiën. In calorimetrische metingen wordt de adsorptiewarmte in thermodynamisch evenwicht bepaald, waarbij alle hexaan-moleculen de tijd hebben om in de microporiën geadsorbeerd te worden. Het resultaat van dit alles is dat bij PEP-experimenten een gemiddelde adsorptie-

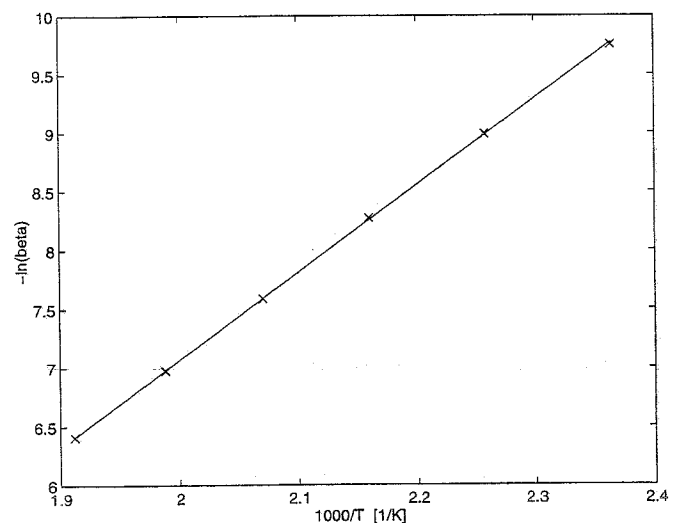
warmte gemeten wordt die lager is dan de adsorptiewarmte uit calorimetrische metingen.

6. Conclusie

Uit de resultaten van de experimenten die beschreven zijn in paragraaf 5 kunnen een aantal conclusies getrokken worden. Het analytische model op basis van een deltapuls kan gebruikt worden om de gemeten dispersieprofielen te modelleren. Het vereenvoudigde model voor dispersie, dat geïntroduceerd is in paragraaf 4, geeft een goede beschrijving van de processen die dispersie veroorzaken.



Figuur 6.
Totale dispersiecoëfficiënt als functie van de driftsnelheid voor *n*-hexaan in H-Mordeniet. Berekende coëfficiënten bij 210 °C (x) en 230 °C (o). Fit met tweedegraads polynoom bij 210 °C (---) en bij 230 °C (—).



Figuur 7.
Arrhenius-plot van $\ln\beta$ als functie van $1000/T$ voor *n*-hexaan in H-Mordeniet. Stroomsnelheid: 150 cm³/min waterstof.

Het model biedt de mogelijkheid om in verband met dispersie een juiste keuze te maken voor reactieparameters in de toekomstige experimenten. Het is het mogelijk de adsorptiewarmte van de tracer op het zeoliet onder reactorcondities te bepalen.

Tabel 1

Constanten van het kwadratische model $D_{tot} = c_0 + c_1 u_d + c_2 u_d^2$ voor *n*-hexaan in H-Moreniet.

T (°C)	c_0 (cm ² /s)		c_1 (cm)		c_2 (s)	
	fit	theorie	fit	theorie	fit	theorie
210	0,65	0,50	2,2 · 10 ⁻²	1,9 · 10 ⁻²	6,6 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻³
230	0,63	0,53	2,4 · 10 ⁻²	1,9 · 10 ⁻²	6,7 · 10 ⁻⁴	9,4 · 10 ⁻⁴

Referenties

- [1] Kärger, J. Ruthven, D.M., Diffusion in zeolites and other microporous solids, Wiley Interscience, Chichester (1992).
- [2] Greene, S.A. and Pust, H., J. Phys. Chem., **62**, 55 (1959).

NEVAC ERELIDMAATSCHAP

NEVAC ERELIDMAATSCHAP VOOR PROF. DR. J.F. VAN DER VEEN

De NEVAC is een bloeiende vereniging, vooral door de vele activiteiten van vele leden. Soms is er dan een moment dat een of meerdere leden op een punt in hun carrière binnen de NEVAC zijn aangeland dat zij hun activiteiten op een wat lager pitje zetten. Als de verdiensten van dit NEVAClid voor de vereniging zeer groot kunnen worden genoemd dan kan deze persoon tot erelid van de NEVAC worden benoemd. Dit was al een tijd niet meer gebeurd. Volgens artikel 4, lid 4 en artikel 5, lid 2 van onze statuten, worden ereleden benoemd door de Algemene Ledenvergadering op voorstel van het Algemeen Bestuur. Geheel in lijn met deze procedure heeft het Algemeen Bestuur op de Algemene Ledenvergadering van 8 mei j.l. op Rijnhuizen voorgesteld om Prof. J.F. van der Veen te benoemen tot erelid van de Nederlandse Vacuümvereniging. De ledenvergadering heeft dit voorstel met acclamatie aangenomen.

Friso, zoals de meesten van ons hem kennen, is jarenlang een drijvende kracht binnen de NEVAC geweest. Hij maakte gedurende een periode van 7 jaar deel uit van het bestuur, van 1984 tot 1991. Hij was eerst vice-voorzitter, daarna diende hij zijn termijn als voorzitter. Tijdens zijn daaropvolgend vice-voorzitterschap trad de toenmalige voorzitter af, waarop Friso weer het voorzitterschap bekleedde. Daarna was hij vice-voorzitter. Hij heeft dus gedurende een ongewoon lange tijd belangrijke bestuursfuncties bekleed.

Een van de hoogtepunten uit die tijd was het 25-jarig bestaan van de NEVAC in 1987. Hij heeft zich er flink voor ingezet dat dit lustrum op gepaste wijze werd gevierd. Mede ter gelegenheid van dit 25-jarig jubileum werd in 1987 in Amsterdam de ICSOS gehouden, d.w.z. the International Conference on the Structure of Surfaces,

waarvan Friso vice-voorzitter was. Dit congres bleek slechts een oefening te zijn, een opmaat voor wat later zou plaatsvinden: het grote internationale vacuümcongres IVC, gehouden samen met de International Congress on Solid Surfaces ICSS, gehouden in Den Haag in het najaar van 1992. Hiervan was Friso de voorzitter en de grootste animator. Dit congres was in alle opzichten een groot succes.

Mede door de organisatie van deze congressen heeft de NEVAC zich een sterke positie binnen onze internationale koepel, de IUVSTA, verworven.

De genoemde congressen waren wetenschappelijke congressen. Toch moeten we hieruit niet concluderen dat de interesse van Friso in de NEVAC slechts een wetenschappelijke is: hij was en is zeer geïnteresseerd in technische ontwikkelingen in het algemeen en vacuümtechnische ontwikkelingen in het bijzonder. Als zodanig heeft hij zich ingezet voor de eenheid van de NEVAC en heeft het belang van de technici en de bedrijfsleden altijd zeer onderkend. Ter illustratie: de laatste bijdrage die ik me van Friso herinner was een voordracht op de bijeenkomst ter gelegenheid van het 25-jarig bestaan van de werkgroep Constructies.

Op grond van bovengenoemde overwegingen en als erkenning van zijn grote verdiensten voor de NEVAC heeft de Algemene Ledenvergadering prof dr. J.F. van der Veen benoemd tot erelid van de Nederlandse Vacuümvereniging. Friso heeft de benoeming aanvaard.

Juli 1996
Frans Habraken
Voorzitter NEVAC.