

Magnetisch gestabiliseerd wervelbed als continu gasfilter

Citation for published version (APA):

Geuzens, P. L., & Thoenes, D. (1986). Magnetisch gestabiliseerd wervelbed als continu gasfilter. *I2-Procestechnologie*, 2(2), 21-23.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1986

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.

Magnetisch gestabiliseerd werfelbed als continu gasfilter

In een vorig artikel lichtte de auteur het principe toe van het magnetisch gestabiliseerd werfelbed. Dit keer gaat hij in op de mogelijkheden van een magnetisch gestabiliseerd werfelbed voor gebruik als continu gasfilter. Vanwege zijn eigenschappen blijkt het apparaat vooral geschikt voor toepassing onder hoge druk en temperatuur.

Afscheiding van fijne vaste stofdeeltjes uit een processtroom is een belangrijk probleem in de procestechnologie.

Gaszuivering kan nodig zijn voor de verdere behandeling van gasen in het proces of om tegemoet te komen aan bepaalde milieunormen van stofuitworp.

Vooral met het oog op de toenemende toepassingen van kool (poederkoolverbranding, werfelbedverbranding en vergassing) wordt de laatste tijd veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van nieuwe gasfiltratiesystemen. In dit domein kan in principe vruchtbaar onderzoek gepleegd worden vanuit twee invalshoeken: ofwel de ontwikkeling van gasfiltratiesystemen met een aanzienlijke reductie van de restemissie of van de kostprijs, ofwel de ontwikkeling van gasfiltratiesystemen die bruikbaar zijn bij hogere temperatuur en druk. Typische condities zijn 850 °C en 9 bar (wervelbedcentrale onder druk).

De meeste bestaande filtersystemen kunnen onderverdeeld worden in de volgende categorieën:

- doekenfilters
- electrostatische filters
- cyclonen of multicyclonen
- natte wassers.

Meest gebruikt zijn doekenfilters en E-filters. Gewone doekenfilters hebben een beperkt temperatuurbereik. Hieraan wordt voor een deel tegemoet gekomen door het toepassen van nieuwe materialen zoals teflon en metaalvezels.

Ook electrostatische filters vertonen een verminderde efficiëntie bij hogere temperatuur.

Naast deze systemen kan gasfiltratie ook uitgevoerd worden in een korrelbed. Tot nu toe heeft deze techniek echter slechts een beperkte toepassing gekend.

Korrelbedfilters zijn in principe toepasbaar tot hoge temperaturen. Omwille van het hoge filteroppervlak per volume-eenheid zijn korrelbedfilters bovendien bijzonder geschikt voor gebruik bij verhoogde druk.

Gasfiltratie in een korrelbed

In zijn algemeenheid berust afscheiding van vaste deeltjes uit een gasstroom in een korrelbed op een combinatie van twee effecten, namelijk botsing van de

P.L. Geuzens en D. Thoenes



Dr. ir. P.L. Geuzens is als projectingenieur vaste afvalstoffen verbonden aan het Studiecentrum voor Kernenergie (SCK/CEN), Boeretang 200, 2400 MOL (België).

Dit artikel is gebaseerd op zijn promotieonderzoek aan de T.H. Eindhoven, onder leiding van prof. dr. ir. D. Thoenes.

stofdeeltjes met het oppervlak van het beddeeltje en adhesie.

In de klassieke theorie voor deeltjesaf-scheiding in een korrelbed is het meeste werk gedaan in de voorspelling van de botsingskans van het stofdeeltje met een afzonderlijk beddeeltje.

De klassieke filtratietheorie gaat er na-

melijk van uit dat aan ieder beddeeltje gelijksoortige filtratiefenomenen voorkomen en dat een totaal bedrendement de som is van de opeenvolgende individuele botsingskansen. Botsing van een stofdeeltje met het oppervlak van een beddeeltje kan te wijten zijn aan één van de volgende mechanismen: inertie, diffusie of interceptie. Uitgaande van deze klassieke filtratietheorie kan een minimum in het vangstrendement voorspeld worden voor stofdeeltjes met een diameter tussen 0.5 en 1 micron [1].

Figuur 1 geeft de zogenaamde "single sphere efficiency", dit is de berekende botsingskans met een individueel deeltje in een bed met een bepaalde porositeit. Het minimum in de curve heeft te maken met de overgang van inertie naar diffusie als voornaamste botsingsmechanisme. Een korrelbedfilter kan uitgevoerd worden als een vast of een bewegend bed.

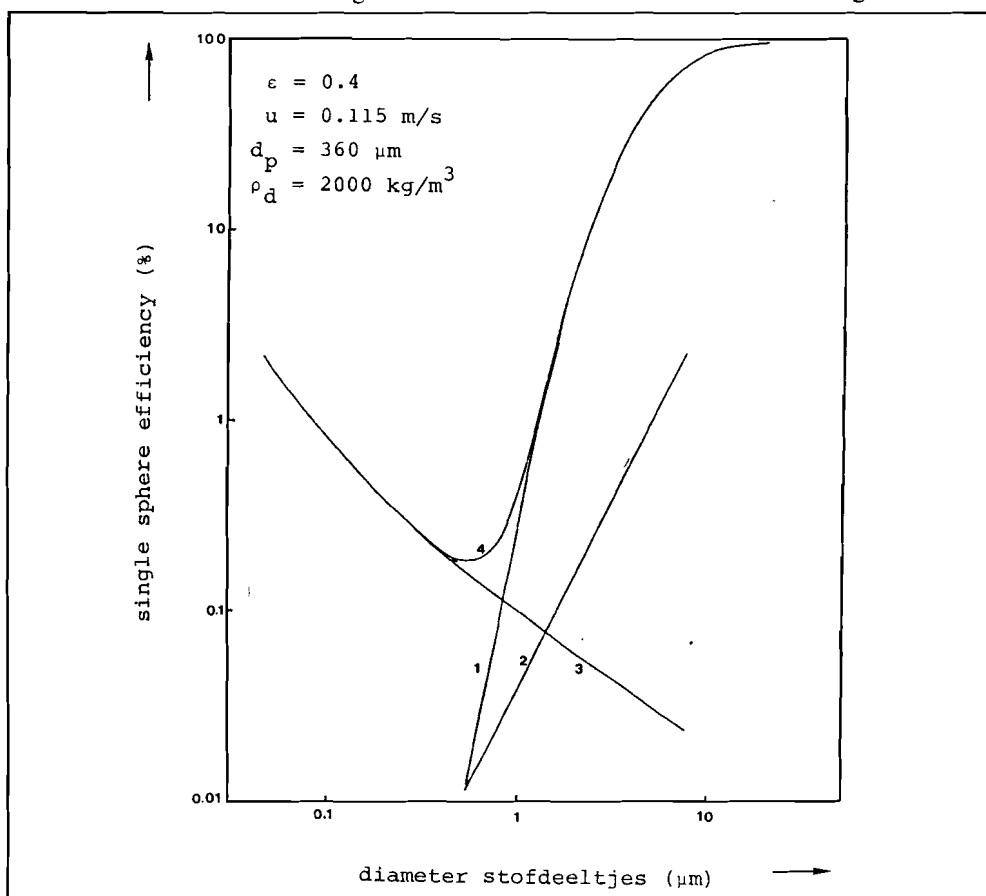


Fig. 1. Berekende "single sphere efficiency" als functie van de diameter van de stofdeeltjes. 1. botsingskans door inertie; 2. botsingskans door interceptie; 3. botsingskans door diffusie; 4. som 1 + 2 + 3

Met vaste korrelbedfilters is over het algemeen een hoger rendement te bereiken dan met een bewegend bed.

Vaste korrelbedfilters werken echter discontinu en de reinigingsfase van het bed geeft problemen. Een bewegend of geïnduceerd korrelbed kan wel continu bedreven worden maar vertoont dus een lager filtratierendement.

Door menging van het bedmateriaal kunnen reeds gevangen stofdeeltjes bovendien gemakkelijker terug worden uitgeblazen.

Vanwege de homogene bedstructuur en vanwege het afwezig zijn van vaste stofmenging kan een magnetisch gestabiliseerd wervelbed een goede tussenoplossing zijn.

De korrelverdeling van het bedmateriaal is van groot belang voor het filtratierendement en voor de toepasbare luchtsnelheid.

Fijnere beddeeltjes resulteren in een hoger filtratierendement maar laten anderszids een minder hoge gassnelheid toe.

Door gebruik te maken van het principe van de magnetische stabilisatie zijn vrij hoge gassnelheden te combineren met relatief fijne beddeeltjes. Met behulp van de in het vorige artikel [3] beschreven magnetische gasverdeelplaat is een continue werking bovendien perfect mogelijk.

Experimenten

Uitgebreide gasfiltratie-experimenten werden uitgevoerd zowel in batch als in continu.

De meeste experimenten vonden plaats onder ambiante omstandigheden in een kolom van 7.5 cm diameter. Als bedmateriaal werd magnetiet gebruikt in een granulometrie van 210-420 micron.

Met dit bedmateriaal zijn bij voldoende magnetisatie superficiële gassnelheden mogelijk tot 50 cm/s. Voor de batch experimenten was het magnetisch gestabiliseerd wervelbed uitgerust met een zeefgaas als gasverdeelplaat. Het open oppervlak van de gasverdeelplaat moet maximaal zijn om verstopping te vermijden.

Stofdeeltjes met een diameter van rond 1 micron werden in de fluidisatielucht gedispergeerd door middel van een "spinning disk aerosol generator".

Daardoor wordt een kleurstofoplossing zeer fijn verneveld in een evaporatievat. De vloeistof wordt verdampt en de vaste kleurstofdeeltjes worden in de fluidisatielucht gedispergeerd.

In het magnetisch gestabiliseerd wervelbed kunnen de stofdeeltjes uit de lucht-

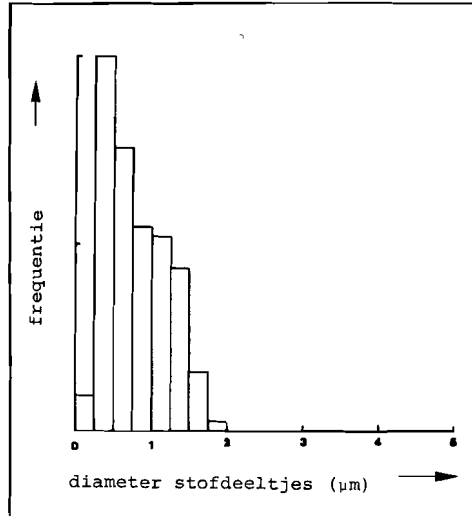


Fig. 2. Deeltjesgrootteverdeling van het stof uit de "spinning disk aerosol generator"

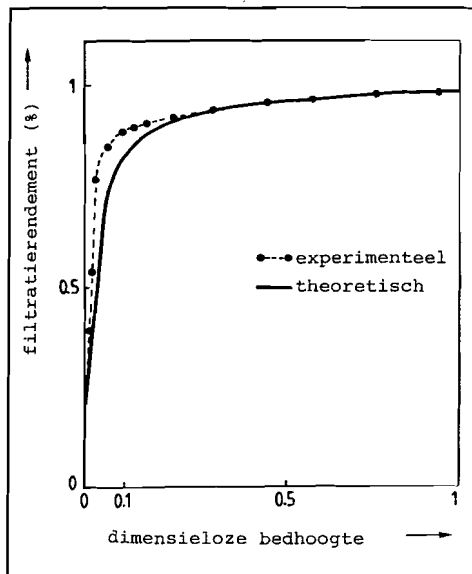


Fig. 3. Filtratierendement versus dimensieloze bedhoogte

Tabel 1

bedmateriaal	magnetiet 210-420 µm
sup. luchtsnelheid	0.3 m/s
bedporositeit	0.57
drukval	2 kPa
magn. veldsterkte	4000 A/m
bedhoogte	0.1 m
beddiameter	0.075 m
stofdeeltjes	zie verdeling fig. 2
filtratierendement	95% voor deeltjes van 0,5-1 µm > 99.9% voor deeltjes van af 2 µm

stroom worden afgevangen. Figuur 2 geeft een typische verdeling van dit stof. Deze verdeling werd opgemeten met behulp van elektronenmicroscopie.

Voor de bepaling van het totaal bedrendement werd het gas na het filterbed isokinetisch bemonsterd over een absoluut filter.

Door kleurstof te gebruiken was een eenvoudige colorimetrische analysemethode mogelijk. Typische experimentele condities en de bekomen rendementen zijn kort weergegeven in tabel 1. Naast een experimentele bepaling van het totale bedrendement werden ook experimenten uitgevoerd waarbij het axiale concentratieprofiel van het gevangen stof in het bed werd gemeten.

Na het beëindigen van een filtratie-experiment werd daartoe het bed in dunne laagjes afgezogen waarna de stofconcentratie als functie van de hoogte kon worden bepaald.

Uitgaande van dit soort experimenten kon de geldigheid worden aangetoond van het gebruikte, licht gemodificeerde klassieke filtratiemodel voor stofvangst in een homogeen geëxpandeerd magnetisch gestabiliseerd wervelbed [2] (figuur 3).

Uit de figuur blijkt dat de meeste stofdeeltjes in het onderste deel van het bed worden afgezet. Het aangelegde magnetieveld zorgt ervoor dat geen opmenging plaats vindt met de rest van het bedmateriaal. Het onderste laagje met stof beladen bedmateriaal kan periodiek worden afgetapt door gebruik te maken van een magnetische verdeelplaat [3].

Op die manier verkrijgt men een nette propstrooming van de vaste stof en kan men het korrelbedfilter eenvoudig continu bedrijven.

Praktische toepasbaarheid

Alle experimentele tests zijn uitgevoerd met magnetietkorrels in de range van 210-420 µm.

Voor een magnetisch gestabiliseerd wervelbed geldt dat de gassnelheid waarbij overgang plaats vindt van de homogeen geëxpandeerde toestand naar de heterogene fluidisatie met gasbellen bij ongeveer 3 µmf ligt, voor een magnetische veldsterkte van 4000 A/m.

Dit werd vastgesteld in afzonderlijke fluidisatie-experimenten.

De maximaal toe te passen superficiële gassnelheid in het magnetisch gestabiliseerd wervelbed als functie van de deeltjesgrootte ligt dus vast in de vergelijking

van Ergun. Het filtratierendement als functie van de korrelverdeling kon worden berekend aan de hand van het geteste filtratiemodel. Op die manier werd de diameter van de beddeeltjes geoptimaliseerd. Een parameter die men gebruikt om de prestatie/kostprijsverhouding van een filterapparaat uit te drukken is de ruimtelijke snelheid (Engels: space velocity). Dit is de verhouding van het volumedebiet gas door het filterapparaat en het volume van de filter (s^{-1}).

In figuur 4 is de berekende ruimtelijke snelheid uitgezet tegen de korreldiameter van het bedmateriaal. De diameter (μm) van de stofdeeltjes is uitgezet als parameter. Er blijkt een optimum te bestaan voor beddeeltjes met een diameter van 1000-1200 μm . Dit maximum is onafhankelijk van de diameter van het stof.

Zoals verwacht is de ruimtelijke snelheid lager voor fijnere stofdeeltjes (moeilijker af te vangen in een korrelbed).

Het energieverbruik van een magnetisch gestabiliseerde gefluideerde korrelbedfilter is als volgt samengesteld:

- ventilatorvermogen voor luchtcompressie
- elektrisch vermogen magneetspoel voor de stabilisatie van het werfelbed
- elektrisch vermogen van de magnetische verdeelplaat

Voor een specifiek filtratieprobleem werd de energiekost per m^3 gezuiverde lucht berekend als functie van de korreldiameter van het bedmateriaal.

Het vooropgestelde filtratierendement bedroeg 99.9% voor stofdeeltjes van 2 μm . Het resultaat is uitgezet in figuur 5. De preciese condities zijn gegeven in tabel 2. Er blijkt ook voor het energieverbruik een minimum te bestaan bij een korreldiameter van ongeveer 1 à 1.5 mm.

Invloed van temperatuur en druk

Vanwege het hoge filtratieoppervlak per volume-eenheid kunnen korrelbedfilters met voordeel gebruikt worden bij verhoogde druk. Verder is ook de constructie voor gebruik bij hogere temperatuur vrij eenvoudig. Het gebruik van ferromagnetisch bedmateriaal wordt wel begrensd door de Curie-temperatuur. Voor magnetiet (Fe_3O_4) bedraagt de Curie-temperatuur 575 °C. Andere materialen zijn echter bruikbaar tot boven 1000 °C. De ruimtelijke snelheid als maat voor de prestatie/kostprijs verhouding, wordt op

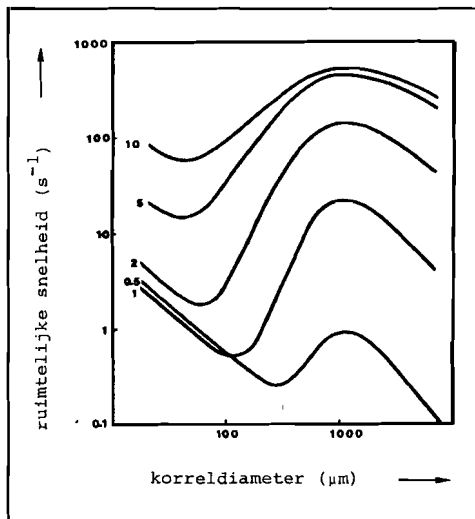


Fig. 4. Ruimtelijke snelheid (s^{-1}) van een magnetisch gestabiliseerde gefluideerde korrelbedfilter versus korreldiameter van het bedmateriaal. De diameter van de stofdeeltjes is uitgezet als parameter

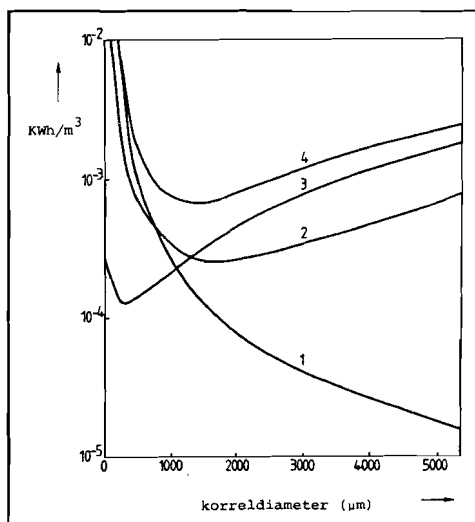


Fig. 5. Energiekost per m^3 gereinigd gas van de verschillende onderdelen van een magnetisch gestabiliseerde gefluideerde korrelbedfilter. 1. magnetische verdeelplaat; 2. elektromagnetische spoel; 3. ventilator voor luchtcompressie; 4. totale energiconsumptie

Tabel 2

filtratierendement	0.999
volumetrisch gasdebiet	100 m^3/h
temperatuur	300 K
druk	100 kPa
diameter stofdeeltjes	2 μm
bedmateriaal	magnetiet
bedporositeit	0.57
magnetische veldsterkte	4000 A/m
superficiële gassnelheid	3 umf

twee manieren beïnvloed door veranderingen in de condities van druk en temperatuur.

Allereerst wordt de minimale fluidisatiesnelheid en dus ook de toepasbare superficiële gassnelheid bepaald door druk en temperatuur.

Beide effecten kunnen goed worden beschreven met de vergelijking van Ergun, zoals experimenteel werd aangetoond door onder andere Piepers [4].

De tweede factor die bijdraagt tot een verandering van de ruimtelijke snelheid onder invloed van veranderende condities van temperatuur en druk is de "single sphere efficiency". De viscositeit van het gas is de belangrijkste parameter, in verband met de botsingskans door inertie.

De verschillende effecten van druk en temperatuur werden gequantificeerd in een modelstudie.

Daaruit blijkt bij condities van verhoogde druk en temperatuur een verminderde prestatie op basis van het volumedebiet lucht.

Op basis van het massadebiet gezuiverd gas is het overall rendement echter beter. Ook wegens gebrek aan goede alternatieven voor gasfiltratie bij verhoogde druk en temperatuur blijkt een magnetisch gestabiliseerd werfelbed precies bij die condities perspectieven te bieden voor praktische toepassing als continu gasfilter.

Conclusies

Een magnetisch gestabiliseerd werfelbed blijkt gebruikt te kunnen worden als een efficiënt stoffilter. Een magnetische verdeelplaat laat een continu tegenstroomproces toe.

Ondermeer wegens gebrek aan goede alternatieven blijkt gebruik van het werfelbed bij verhoogde druk en temperatuur perspectieven te bieden.

Voor de opschaling naar grotere beddiameters is echter bijkomend experimenteel werk vereist.

Literatuur

1. Tardos, G., Gutfinger, C., Abuaf N. Isr. J. Techn., 12, pp. 184-190, (1974).
2. Geuzens, P.L., "Some aspects of magnetically stabilized fluidization", proefschrift T.H. Eindhoven, (1985).
3. Geuzens P.L., Thoenes, D., Verbeterde stofoverdracht tussen gas en vaste stof in een magnetisch gestabiliseerd werfelbed, I²-Procestechologie, 2, (3), pp. 15-17, (1986).
4. Piepers, H.W., Cottaar, E.J.E., Verkooijen, A.H.M., Rietema, K., Powder Technology, 37, pp. 55-70, (1984).