



AGROTECHNOLOGY &
FOOD SCIENCES GROUP
WAGENINGEN UR

Energiezuinige Productie van Plantaardige Ingrediënten middels Elektrostatisch Scheiden

Projectnummer: NEOT01009
Periode: 1-4-2007 tot 1-10-2008

Publiek Rapport

J.R. Hamoen
T. Voordouw
J.H.A. Willemsen
K.A. Togtema

Rapport 1003



Colofon

Titel	Elektrostatisch Scheiden – Publiek Rapport
Auteur(s)	J.R. Hamoen, T. Voordouw, J.H.A. Willemsen, K.A. Togtema
AFSG nummer	1003
ISBN-nummer	978-90-8585-344-2
Publicatiedatum	18-02-2009
Vertrouwelijk	Nee
OPD-code	06/349
Goedgekeurd door	J.H.A. Willemsen

Agrotechnology and Food Sciences Group
P.O. Box 17
NL-6700 AA Wageningen
Tel: +31 (0)317 475 024
E-mail: info.afsg@wur.nl
Internet: www.afsg.wur.nl

© Agrotechnology and Food Innovations b.v.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, hetzij mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever. De uitgever aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele fouten of onvolkomenheden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system of any nature, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publisher. The publisher does not accept any liability for inaccuracies in this report.



Het kwaliteitsmanagementsysteem van Agrotechnology and Food Innovations b.v. is gecertificeerd door SGS International Certification Services EESV op basis van ISO 9001:2000.

Samenvatting

Dit rapport beschrijft het onderzoek naar de haalbaarheid van het scheiden van droge poeders op basis van de elektrostatische oplaadbaarheid. Te denken valt aan het fractioneren van melen die niet met behulp van malen en windziften kunnen worden opgewerkt. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van kennis van aanverwante technologieën, zoals het opladen van agro-poeders voor coatingdoeleinden en meetapparatuur voor het karakteriseren van verfpoeders.

Uit de literatuur en uit eigen onderzoek blijkt dat verschillende agro-poeders verschillend op te laden zijn. Dit is een basisvoorwaarde om elektrostatisch scheiden toe te kunnen passen.

Tevens is aangetoond dat het mogelijk is om de oplading van agro-poeders te beïnvloeden door het materiaal waarmee de poeders worden opgeladen te variëren. Worden poeders opgeladen in een PTFE buis, dan worden alle deeltjes positief geladen, waarbij de specifieke lading voor de verschillende poeders varieert. Wordt een aluminium buis gebruikt, dan laden sommige poeders positief en andere poeders negatief op. Op deze wijze kan de oplading van poeders gebruikt worden om de scheiding te beïnvloeden.

Oriënterende scheidingsexperimenten binnen dit onderzoek hebben uitgewezen dat agro-poeders in twee fracties kunnen worden gescheiden. Hiermee is een proof-of-principle geleverd. De prestaties van het proces zijn nog niet optimaal. Dit komt onder andere door de hoge gasstroom waarmee het poeder wordt getransporteerd. Deze heeft een hoge snelheid om een optimale oplading te krijgen. Deze hoge snelheid is er echter ook de oorzaak van dat de poeder opbrengst nog niet maximaal is.

Bovendien is een numeriek model opgesteld van het scheidingsproces. Hiermee kunnen effecten van wijzigingen van de instellingen worden gesimuleerd, zonder dat daar voor een reeks experimenten nodig is.

Tevens zijn de veiligheidsaspecten van het proces onderzocht. De hoge veldsterkte kan leiden tot een spanningsdoorslag. Vermoed wordt dat de aanwezigheid van poederdeeltjes tussen de elektrodes de doorslagspanning verlaagd. Een tweede risico is de kans op een stofexplosie. Deze kan plaatsvinden als de deeltjes concentratie zich tussen de LEL en de UEL bevindt. Dit is voor het scheidingsproces in zijn huidige vorm het geval. Voor een stofexplosie moeten echter ook voldoende zuurstof en een ontstekingsbron aanwezig zijn, omstandigheden die kunnen worden beïnvloed.

De oriënterende haalbaarheidsstudie geeft aanleiding voor een fundamenteel vervolproject. Hierbij dient te worden gefocussed op de modelmatige beschrijving, met speciale aandacht voor

de interactie tussen ingrediënten en proces. Ook dient een experimentele unit te worden gerealiseerd waarmee het model kan worden gevalideerd en verbeterd.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, regeling EOS: Nieuw Energieonderzoek, uitgevoerd door SenterNovem.

Voor meer informatie neemt u contact op met:

Agrotechnologie & Food Innovations B.V.

Remco Hamoen

telefoon: 0317 – 480181

e-mail: remco.hamoen@wur.nl

Inhoudsopgave

Samenvatting	3
1 Inleiding	7
2 Principe	8
2.1 Corona oplading	8
2.2 Tribo oplading	9
3 Oplaadbaarheid	10
3.1 Poedermateriaal vs. buismateriaal	10
3.1.1 Literatuur	11
3.1.2 Experimentele Resultaten	12
3.2 Invloed van het luchtdebiet	13
3.2.1 Experimentele Resultaten	13
3.3 Opschaling	14
4 Scheiding	16
4.1 Bipolaire scheiding	16
4.2 Uni-polaire scheiding	16
4.3 Experimentele setup	17
4.4 Scheidingsexperimenten	17
4.4.1 Experimental setup	17
4.4.2 Experimentele resultaten	18
4.5 Fractie analyse	18
5 Numerieke beschrijving	21
5.1 Scheidingsproces	21
5.2 Berekening 'zuiverheid' van de gescheiden fractie	23
6 Veiligheid	25
6.1 Doorslagspanning	25
6.2 Stofexplosie	25
7 Conclusies	27
Literatuur	28
Bijlage	29

1 Inleiding

Het scheiden van agro-grondstoffen is een proces dat veelvuldig wordt toegepast. Diverse fysische eigenschappen vormen de drijvende kracht binnen de verschillende technologieën. Droge agro-poeders worden momenteel o.a. gescheiden op basis van deeltjesgrootte en oplosbaarheid. Toch zijn er grondstoffen die niet met een van de huidige technologieën gescheiden kunnen worden, of waarbij de functionaliteit van de componenten door deze technologieën achteruit gaat.

Deze grondstoffen kunnen mogelijk door middel van elektrostatisch scheiden in twee of meer fracties worden verdeeld. De drijvende kracht van deze technologie is het verschil in oplaadbaarheid.

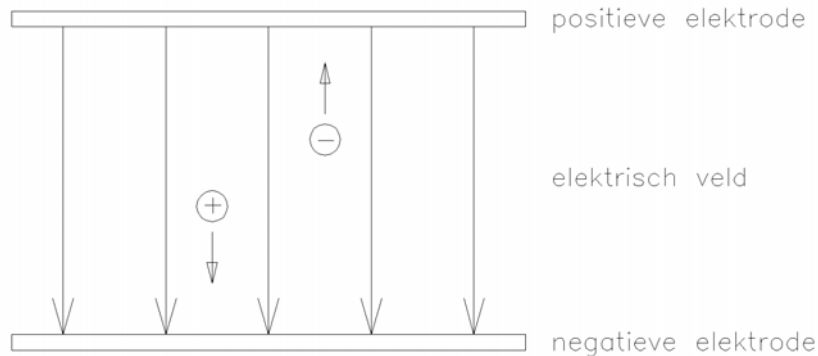
Tijdens het uitgevoerde onderzoek is bekeken met welke methoden deeltjes kunnen worden opgeladen en hoe deze oplading kan worden beïnvloed. Tevens is nagegaan hoe het proces kan worden geoptimaliseerd, waardoor zuiverdere fracties kunnen worden verkregen.

Een numeriek model van het proces moet het mogelijk maken effecten van variatie van verschillende procesinstellingen inzichtelijk te maken.

Tenslotte zijn de risico's die aan het proces verbonden zijn benoemd en uitgewerkt.

2 Principe

Het principe van elektrostatich scheiden is gebaseerd op het verschil in oplaadbaarheid van droge poeder componenten. Wanneer deeltjes een bepaalde lading hebben, dan zullen zij, wanneer zij zich in een elektrisch veld bevinden, door de positieve of negatieve elektrode worden aangetrokken.



Figuur 1 Elektrostatiche scheiding.

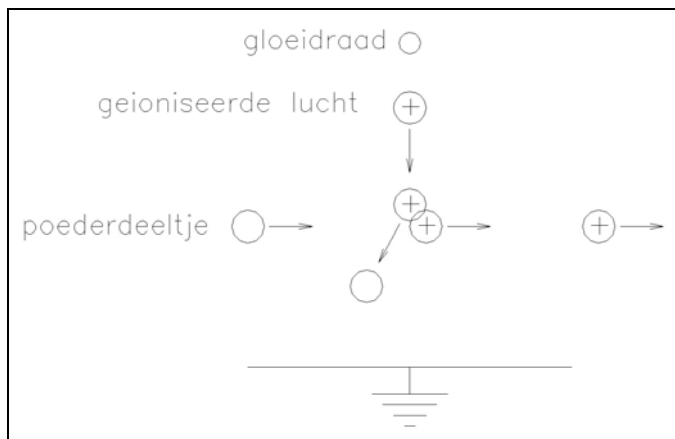
De grootte van de aantrekkingskracht, die ook wel met scheidingskracht wordt aangeduid, is afhankelijk van de lading van het deeltje. De snelheid waarmee het deeltje wordt aangetrokken hangt af van de massa van het deeltje en de scheidingskracht.

Alvorens twee verschillende soorten deeltjes gescheiden kunnen worden door middel van elektrostatich scheiden, dienen zij van een lading te worden voorzien. Hiervoor zijn verschillende methoden inzetbaar. Te weten:

1. Corona oplading
2. Tribo oplading

2.1 Corona oplading

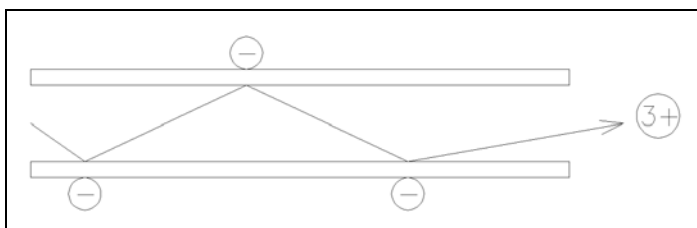
Bij corona oplading wordt op een gloeidraad een hoge spanning gezet (ordegrootte 50kV). De lucht tussen de gloeidraad en een aardpunt wordt hierdoor geïoniseerd. Deze 'luchtionen' dragen hun lading over aan passerende poederdeeltjes. Deze lading kan zowel positief als negatief zijn, afhankelijk van de polariteit van de spanning op de gloeidraad. De polariteit is voor alle deeltjes gelijk.



Figuur 2 Corona oplading.

2.2 Tribo oplading

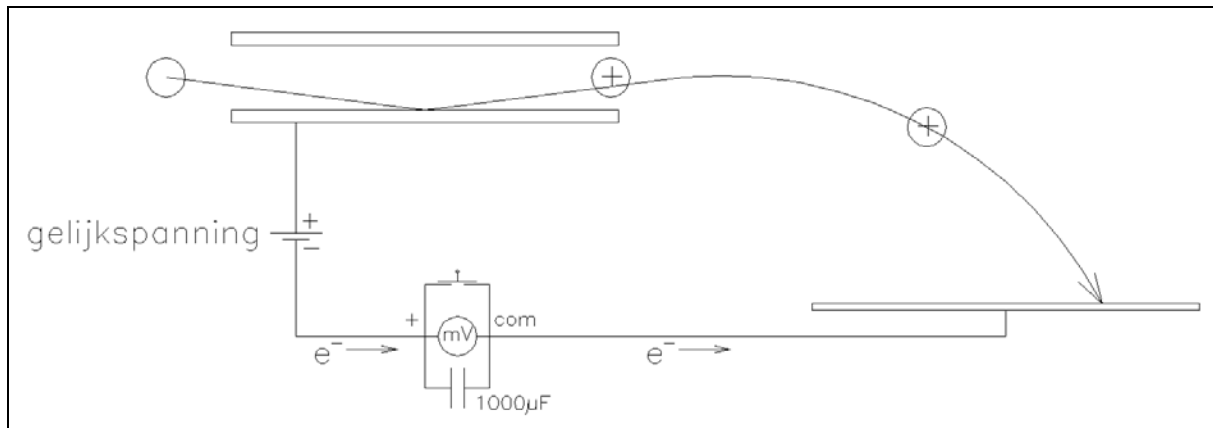
Bij tribo oplading wordt lading overgedragen wanneer een poederdeeltje botst tegen een wand van een ander materiaal. Wanneer poeders door een spleet of buis worden geblazen, dan leidt dit tot meerdere botsingen en een grotere ladingsoverdracht. Of de elektronen van of naar het poeder worden overgedragen hangt af van de zogenaamde 'workfunction' van de verschillende componenten van het poeder en van de 'work function' van de oplaadbuis. Wat het begrip 'work function' exact inhoudt en hoe daaruit de oplading kan worden berekend, is nog één van de opstaande onderzoeksvragen.



Figuur 3 Tribo oplading.

3 Oplaadbaarheid

Om de oplaadbaarheid van poeders te meten wordt gebruik gemaakt van een z.g. ladingsmeter. De werking van dit apparaat is te zien in de onderstaande afbeelding. De totale lading die op het poeder wordt aangebracht is gelijk aan de hoeveelheid elektronen die nodig is om de opgeladen poederdeeltjes weer te neutraliseren. Door deze hoeveelheid elektronen te meten, wordt de oplading van het poeder bepaald.



Figuur 4 Opstelling oplaadbaarheidsmeting.

Deze methode werkt ook wanneer het poeder negatief wordt opgeladen.

3.1 Poedermateriaal vs. buismateriaal

De oplaadbaarheid van poeders hangt af van het gemak waarmee poeder en oplaadbuis elektronen opnemen en/of afstaan. Dit gemak wordt weergegeven in de z.g. “tribo electric series”. Bovenaan deze series staan materialen die gemakkelijk een elektron afstaan. Onderaan, die gemakkelijk een elektron opnemen. De ‘afstand’ tussen twee materialen bepaald de mate van ladingsoverdracht, waarbij het bovenste materiaal positief en het onderste negatief oplaad.

Dit houdt in dat gegeven een bepaald poeder de oplading daarvan beïnvloed kan worden door het materiaal van de oplaadbuis te wijzigen.

Tabel 1 Tribo-electric series. bron: http://www.siliconfareast.com/tribo_series.htm.

Air	(Continued)	(Continued)
Human Hands, Skin	Wood	Acetate, Rayon
Asbestos	Lucite	Polyester
Rabbit Fur	Sealing Wax	Celluloid
Glass	Amber	Polystyrene
Human Hair	Rubber Balloon	Orlon, Acrylic
Mica	Hard Rubber	Cellophane Tape
Nylon	Mylar	Polyvinylidene chloride (Saran)
Wool	Nickel	Polyurethane
Lead	Copper	Polyethylene
Cat Fur	Silver	Polypropylene
Silk	uv Resist	Polyvinylchloride (Vinyl)
Aluminum	Brass	Kel-F (PCTFE)
Paper	Synthetic Rubber	Silicon
Cotton	Gold, Platinum	Teflon
Steel	Sulfur	Silicone Rubber

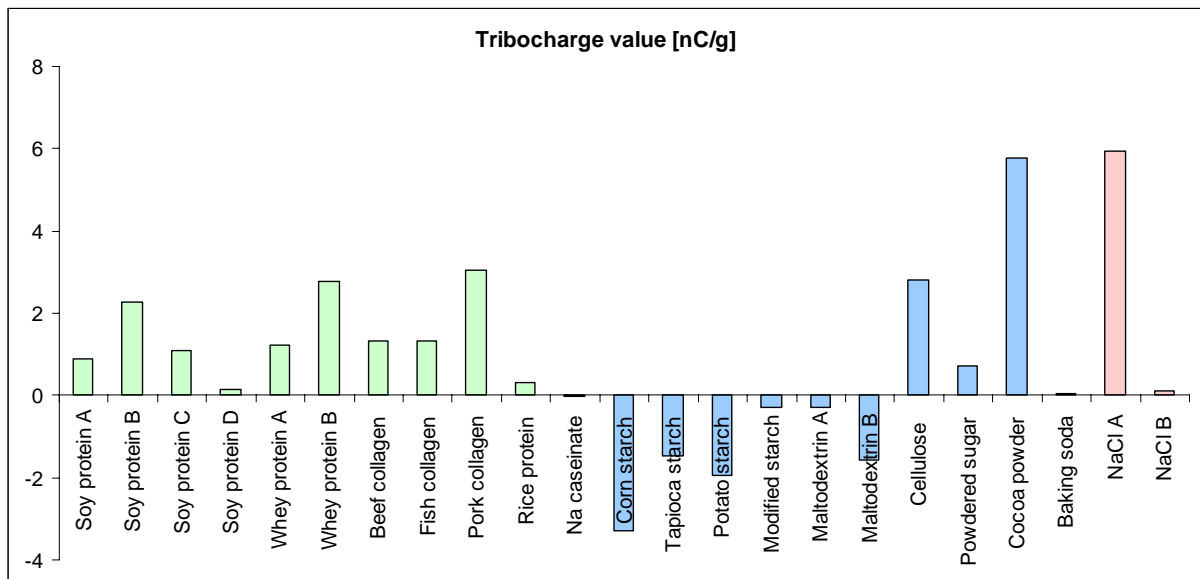
http://en.wikipedia.org/wiki/Work_function

http://en.wikipedia.org/wiki/Electron_affinity

http://en.wikipedia.org/wiki/Ionization_potential

3.1.1 Literatuur

Er is geen literatuur bekend waarin het scheiden van levensmiddelen poeders middels electrostatisch scheiden wordt beschreven. Wel wordt er in de literatuur het proces van het opladen van levensmiddelen poeders voor coating toepassingen beschreven [1]. Hierin wordt voornamelijk corona oplading besproken. Tribo oplading wordt gesimuleerd door geen hoogspanning op de gloeidraad aan te brengen. (Opm.: Het is maar de vraag of hierdoor een goede/optimale tribo oplading wordt verkregen.)



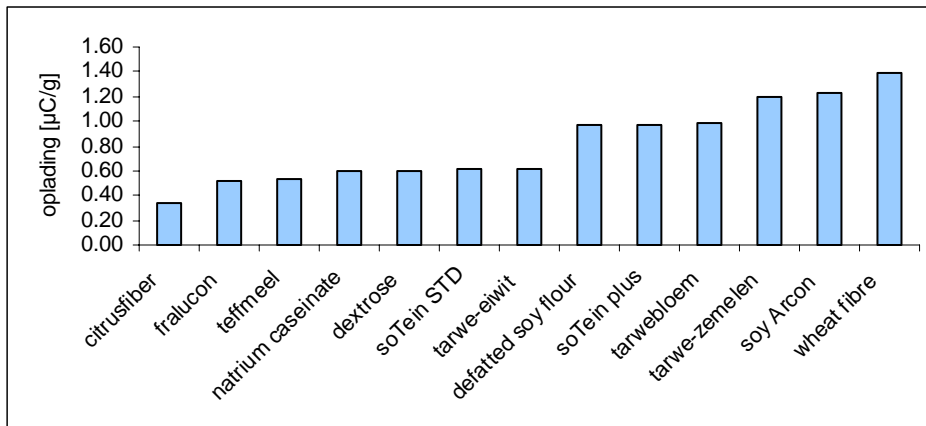
Figuur 5 Tribo oplading. Groen: eiwitten, Blauw: koolhydraten, Rood: zouten.

3.1.2 Experimentele Resultaten

FTC heeft zelf ook opladingexperimenten uitgevoerd bij een externe universitaire vakgroep. Deze verricht onderzoek naar poederlakken. Één van de aspecten daarvan is de oplading van verfloeders. De apparatuur waarmee ze dit onderzoek uitvoeren is uitermate geschikt om de oplading van (onze) food-poeders te meten. We hebben de gemiddelde oplading van verschillende poeders van verschillende samenstelling gemeten. Tijdens de eerste serie metingen (d.d. 19-7-2007) is gebruik gemaakt van onderstaande opstelling. Deze bestaat uit een fluide bed trechter, een PTFE oplaadbuis en een ladingsmeter.



Figuur 6 Opstelling normaliter gebruikt voor poederopladingsmetingen.

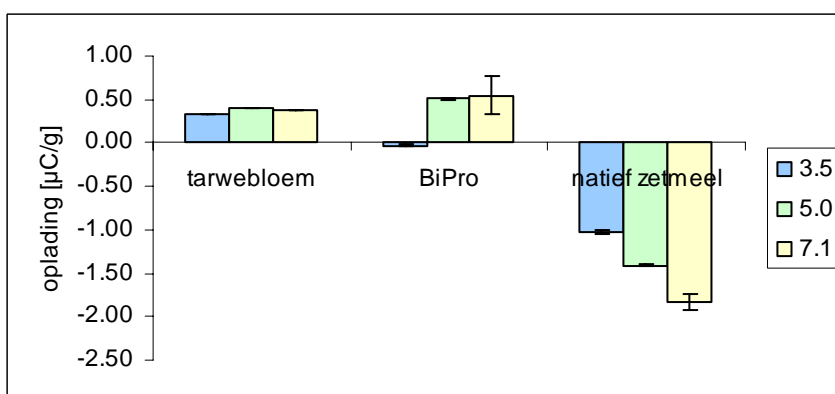


Figuur 7 Tribo oplading met PTFE buis (Experiment: 1 – 32).

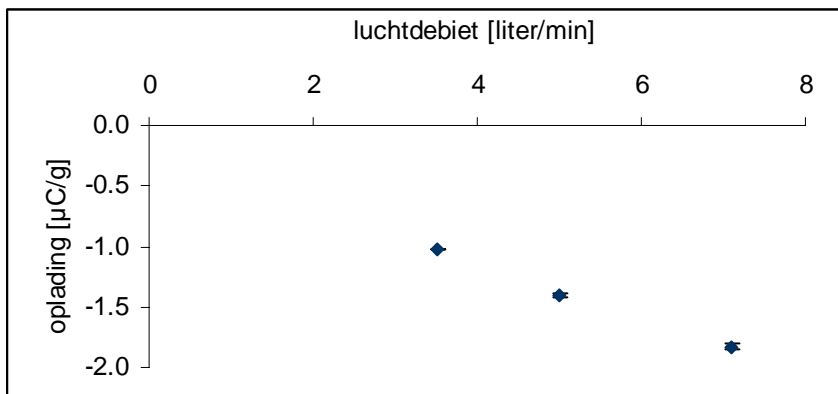
3.2 Invloed van het luchtdebiet

Door het variëren van het luchtdebiet wordt de oplading beïnvloed. Een wijziging ervan heeft echter 2 effecten, die elk hun effect op de oplading kunnen hebben, maar die qua oplading (nog) niet onderscheiden kunnen worden. Zo leidt een toename van het luchtdebiet tot een hogere lichtsnelheid. Hierdoor botsen de deeltjes harder tegen de wand (en tegen elkaar). Maar een hoger luchtdebiet leidt ook tot een verdunning van de poederstroom. Hierdoor zijn er minder onderlinge botsingen en relatief meer botsingen met de wand.

3.2.1 Experimentele Resultaten



Figuur 8 Het effect van het gasdebiet op de oplading van verschillende poeders (Experiment: 170 – 199).

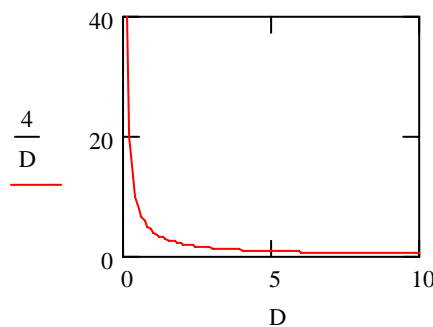


Figuur 9 Het effect van het gas debiet op de oplading van natief zetmeel. (Experiment: 191 – 199).

3.3 Opschaling

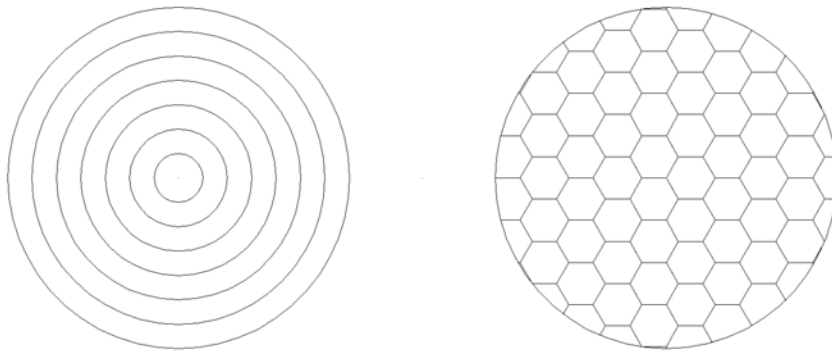
Het grootste deel van het onderzoek is uitgevoerd met relatief kleine oplaadbuizen. Deze hebben een relatief grote omtrek in relatie tot het doorstroomd oppervlak. Dit vergroot de kans op botsingen van poederdeeltjes met de oplaadbuis. Voor een cirkelvormige buis geldt dat de verhouding tussen de omtrek en het dwarsoppervlak gelijk is aan:

$$\frac{\pi \cdot D}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} = \frac{4}{D}$$



M.a.w. hoe kleiner de diameter, hoe groter de kans op botsingen. Echter de product doorzet neemt daardoor af.

Het botsoppervlak van een grotere buis kan worden vergroot door concentrische buizen te gebruiken. Hierdoor ontstaat een ringvormig doorstroomd oppervlak. Een andere oplossing is het gebruik van schotjes in de buis. Dit levert bij een gelijk doorstroomd oppervlak meer botsingsmogelijkheden. Een praktische, commercieel verkrijgbare uitvoering hiervan is een honingraatstructuur.



Figuur 10 Concentrische oplaadbuis (links) en een oplaadbuis met honingraatstructuur (rechts)

Van bovenstaande uitvoeringen hebben we de honingraat-variant uitgewerkt. Uit de daarmee verrichtte experimenten bleek dat de oplading per gram product gelijk bleef.

4 Scheiding

Wanneer geladen deeltjes in een elektrisch veld komen, buigen deze naar een van de elektroden. Positief geladen deeltjes bewegen richting de negatieve elektrode en andersom.

4.1 Bipolaire scheiding

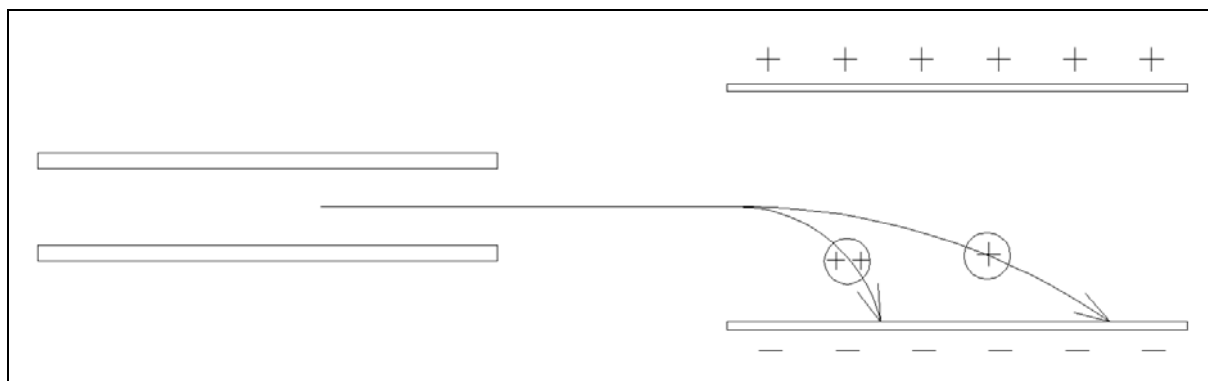
Door de oplading van het poedermengsel op de juiste manier te beïnvloeden, kan één fractie van het mengsel positief en één fractie negatief opgeladen worden. Dit verschil in polariteit wordt gebruikt om elektrostatich te scheiden.



Figuur 11 Scheiding van een positief en negatief geladen deeltje.

4.2 Uni-polaire scheiding

Het kan ook voorkomen dat twee deeltjes beide positief of negatief geladen zijn, maar waarvan de hoeveelheid lading (per massa) verschilt. Het deeltje met de meeste lading zal het sterkst afbuigen. Dit verschil in hoeveelheid lading kan ook gebruikt worden om elektrostatich te scheiden.

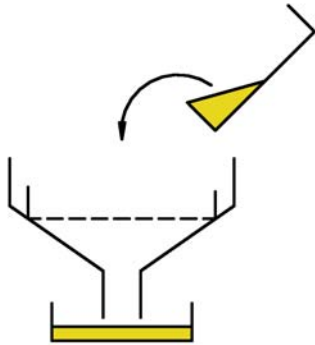


Figuur 12 Scheiding van twee positief geladen deeltjes.

4.3 Experimentele setup

Poedervoorbereiding

- De benodigde hoeveelheid poeder afwegen (eventueel mengsel).
- Indien mengsel dan schudden/mengen in 'bamibak'.
- Zeven in met een zeef met maaswijdte van 0.63mm

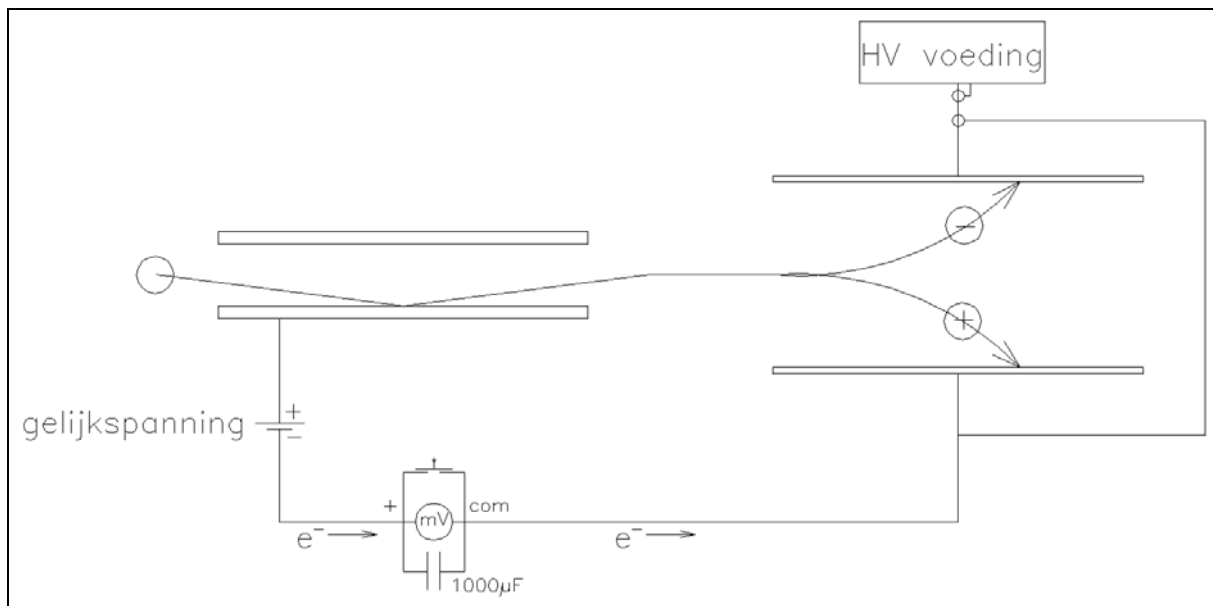


- Poeder dezelfde dag gebruiken
- Poederstroom (rechts) op 146mm
- Hoofdstroom (links) op 139 l H₂O/uur
- Af en toe trechter en oplaadbuis met perslucht schoonblazen

4.4 Scheidingsexperimenten

4.4.1 *Experimental setup*

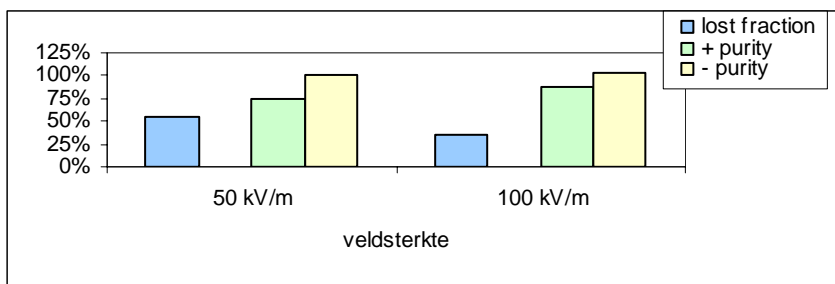
Een enkel scheidingsexperiment bestaat in wezen uit 3 deelexperimenten. In eerste instantie wordt het originele poeder in 3 fracties gescheiden. De fracties van beide elektrodes worden opnieuw gescheiden om na te gaan hoeveel van de gescheiden fractie weer op dezelfde elektrode terecht komt. Op deze manier kan de reproduceerbaarheid van het scheidingsproces bepaald worden.



Opm. e^- pijltjes gelden bij positieve deeltjes oplading.

Figuur 13 Schematisch weergaven van de scheidingsopstelling.

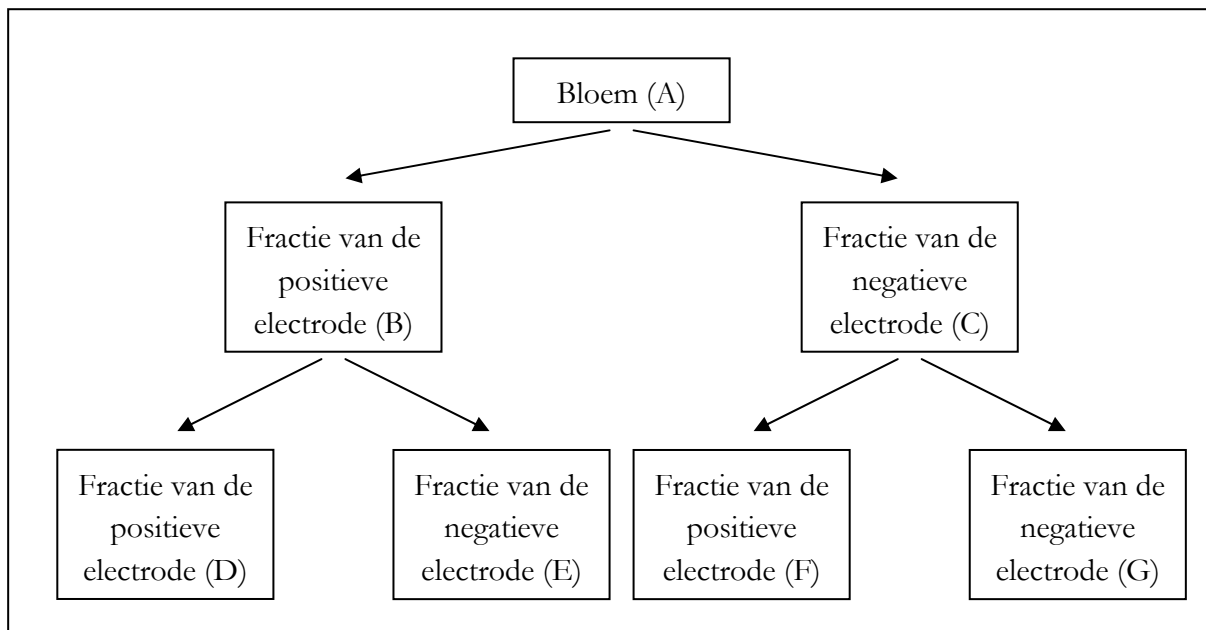
4.4.2 Experimentele resultaten



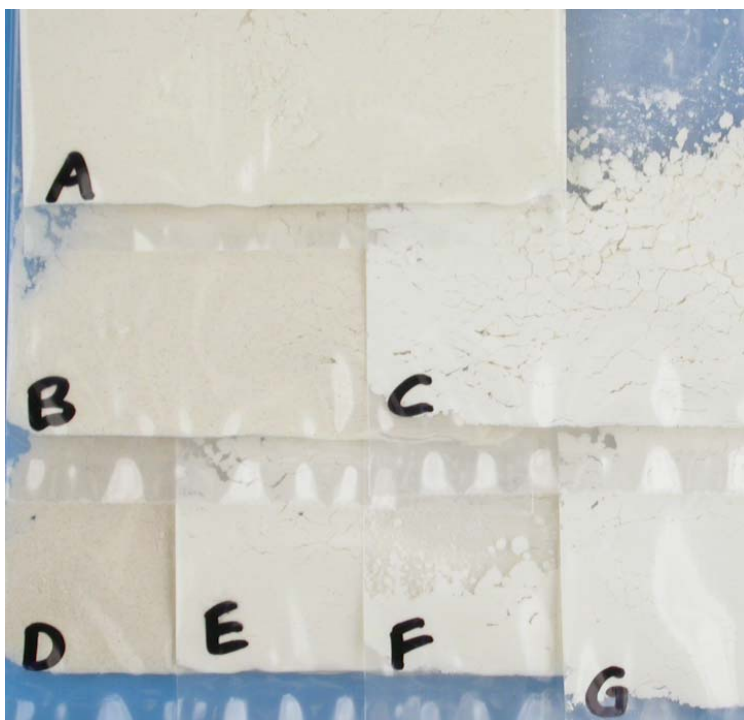
Figuur 14 Scheiding met een poederstroom van 37.3m/s en een omstroming van 13.3m/s

4.5 Fractie analyse

Uit experimenten is naar voren gekomen dat tarwe bloem scheidt in twee fracties. D.w.z. dat tenminste één component positief en één component negatief oplaadt. Deze grondstof is geselecteerd om een uitgebreide opladings- en samenstellingsanalyse op uit te voeren. Dit is gedaan door het bloem met onze opstelling te scheiden, de fracties op te vangen en deze apart van elkaar nog een keer te scheiden.



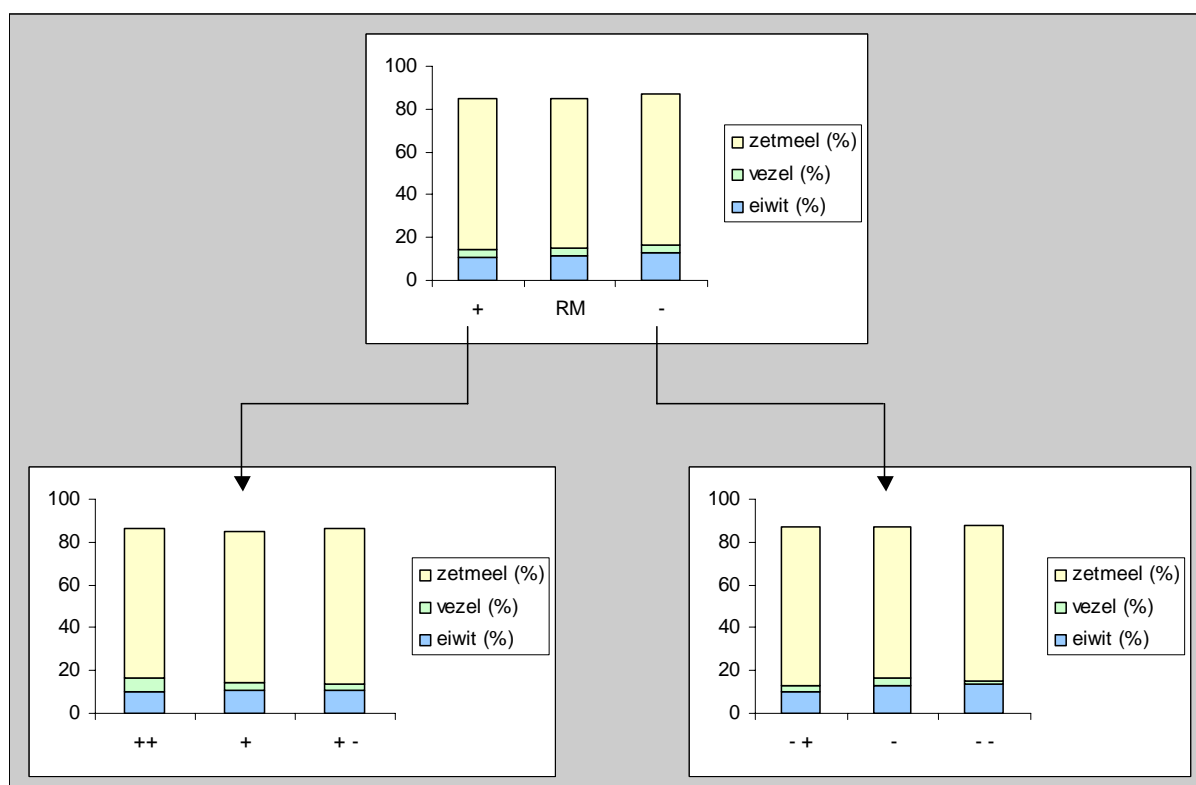
Figuur 15 Schematisch overzicht van de verschillende fracties.



Figuur 16 Foto van de verschillende fracties.

Tabel 2 Samenstelling van de verschillende fracties.

Fractie:	Oplading:	Hoeveelheid:	Zetmeel:	Eiwit:	Vezels:	Rest (vocht?)
	[$\mu\text{C}/\text{g}$]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
A	+ 0.45	100	69.6	11.80	3.5	15.1
B (+)	+ 0.01	13	70.5	10.70	4	14.8
C (-)	+ 1.15	8	70.6	13.20	3.5	12.7
D (++)		2.3 (18 · 13)	69.7	9.90	7	13.4
E (+ -)		0.7 (5 · 13)	72.9	10.50	3	13.6
F (- +)		0.05 (6 · 8)	74.3	10.00	3	12.7
G (- -)		1.7 (21 · 8)	72.2	13.40	2	12.4



5 Numerieke beschrijving

5.1 Scheidingsproces

Door het proces van Elektrostatisch Scheiden modelmatig te beschrijven, kan het effect van de producteigenschappen en procesinstellingen worden bestudeerd, zonder daar veel experimenten voor te hoeven uit te voeren. Aan dit model liggen de volgende vergelijkingen ten grondslag.

$$\text{Elektrische veldsterkte} \quad E = \frac{V}{w} \quad (1)$$

$$\text{Scheidingskracht} \quad F_s = q \cdot E = \pi \cdot d^2 \cdot \sigma \cdot E \quad (2)$$

$$\text{Coulombkracht} \quad F_C = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{(r_1 + r_2 + z)^2} = \frac{4 \cdot \pi}{\epsilon_0} \cdot \frac{r_1^2 \cdot \sigma_1 \cdot r_2^2 \cdot \sigma_2}{(r_1 + r_2 + z)^2} \quad (3)$$

$$\text{Van der Waalskracht} \quad F_{\text{vdW}} = \frac{A_H \cdot r_1 \cdot r_2}{6 \cdot (r_1 + r_2) \cdot z^2} \quad (4)$$

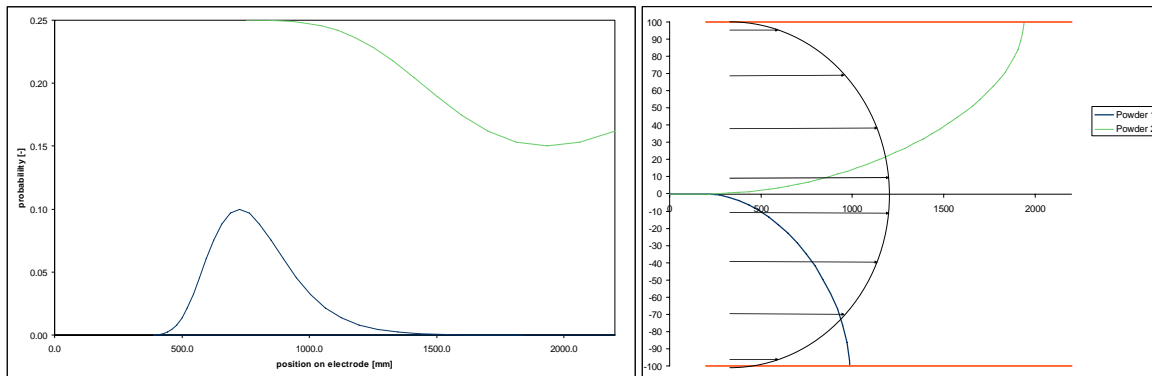
Nomenclatuur:

A_H	getal van Hamaker ($\sim 10^{-19}$ J)
E	elektrische veldsterkte (V/m)
F_C	Coulomb kracht (N)
F_s	scheidingskracht (N)
F_{vdW}	Van der Waalskracht (N)
q_p	lading per deeltje
r	straal van het deeltje (m)
w	afstand tussen de elektroden
z	afstand tussen twee deeltjes (m)
σ	ladingsdichtheid (C/m ²)
ϵ_0	permetiviteit van het vacuüm ($8.85419 \cdot 10^{-12}$ F/m)

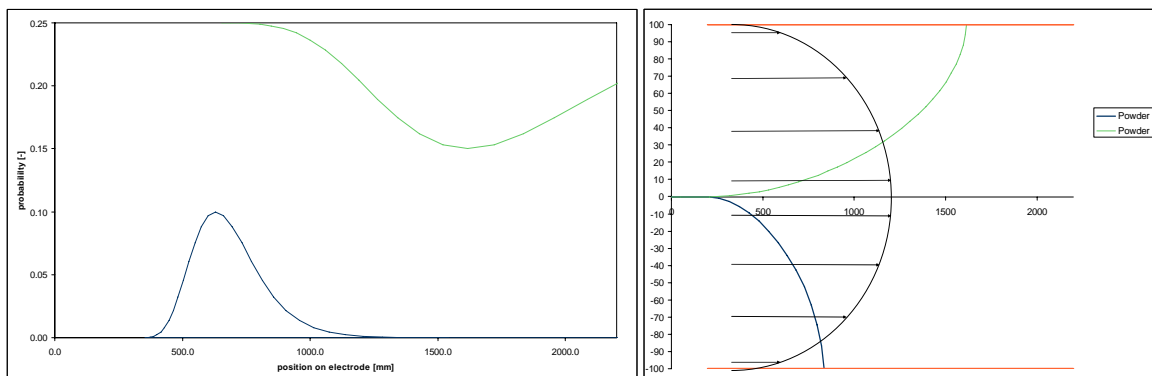
Indices:

1, 2 deeltjes nummer

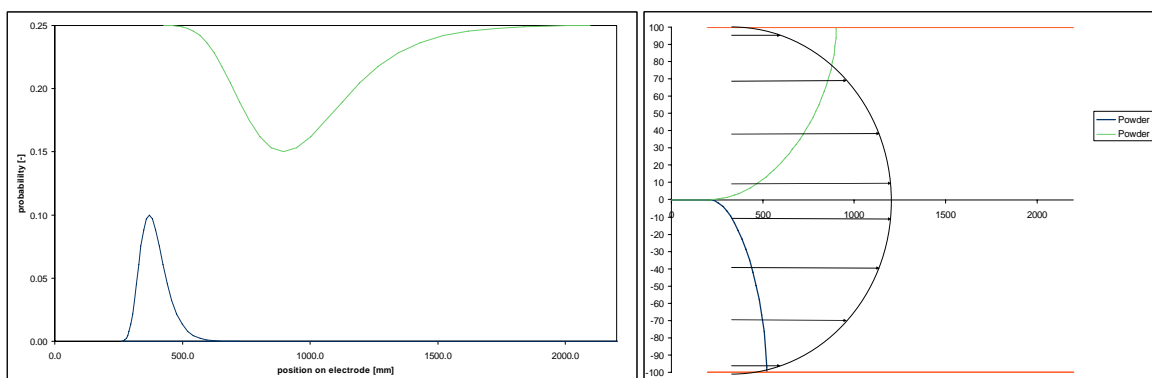
Gebruik makend van de bovenstaande vergelijkingen zijn verschillende kan het scheidingsproces worden gesimuleerd. Het model berekent op basis van de deeltjes eigenschappen en de procesinstellingen de baan van het deeltje. Met de uitkomst daarvan kunnen vervolgens afgeleide analyses, worden bepaald. De invoergegevens behorende bij de onderstaande berekeningen staan in de bijlage.



Figuur 17 Berekening 1, volgens experiment 218. Links: verdeling van het poeder over de elektrodes, rechts: baan van het deeltje van de gemiddelde grootte. (blauw: fractie 1, groen: fractie 2).

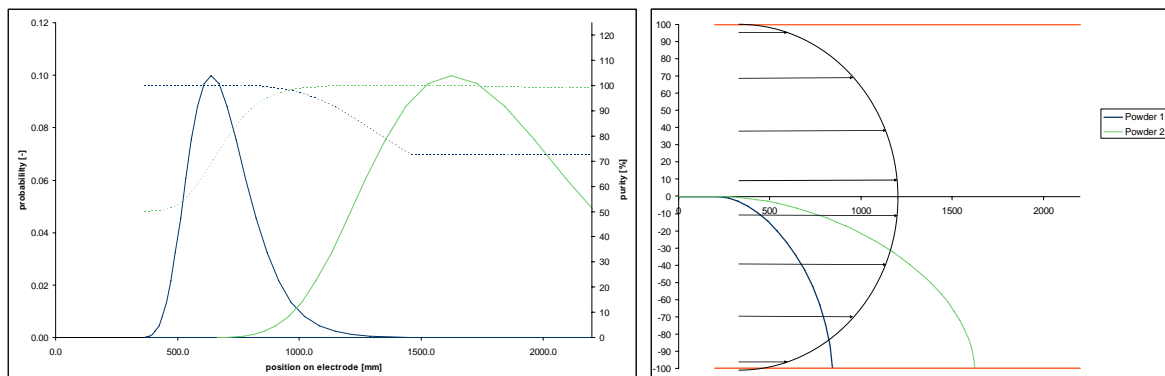


Figuur 18 Berekening 2, volgens experiment 218, maar met een elektrode spanning van 30kV i.p.v. 20kV. Links: verdeling van het poeder over de elektrodes, rechts: baan van het deeltje van de gemiddelde grootte. (blauw: fractie 1, groen: fractie 2).



Figuur 19 Berekening 3, volgens experiment 218, maar met een luchtdebiet van 3.9 liter/min i.p.v. 7.0 liter/min. Links: verdeling van het poeder over de elektrodes, rechts: baan van het deeltje van de gemiddelde grootte. (blauw: fractie 1, groen: fractie 2).

In bovenstaande berekeningen hebben beide fracties een tegengestelde lading. Zoals eerder is beschreven is het ook mogelijk om poeders te scheiden met gelijke polariteit. Het model geeft van zo'n proces het volgende resultaat.



Figuur 20 Berekening 4, waarbij de polariteit van de fracties gelijk is. Links: verdeling van het poeder over de elektrodes, rechts: baan van het deeltje van de gemiddelde grootte. (blauw: fractie 1, groen: fractie 2, lijn: deeltjes verdeling, stippel: zuiverheid).

In bovenstaande situatie overlap de grote deeltjes van component 1 met de kleine deeltjes van component 2. Afhankelijk van waar de scheidslijn tussen fractie 1 en 2 ligt, variëren zowel de zuiverheid van beide fracties als de hoeveelheid ervan.

5.2 Berekening 'zuiverheid' van de gescheiden fractie

In theorie komen alle deeltjes van één soort op dezelfde elektrode terecht. De praktijk is echter niet zo scherp. Er komen ook deeltjes op de elektrodes terecht, die eigenlijk op de andere hadden moeten komen. Door middel van de her-oplading van de fracties kan een maat voor de zuiverheid worden bepaald.

De oplading van een mengsel wordt verondersteld te kunnen worden berekend als het gewogen gemiddelde van de oplading van de verschillende componenten:

$$\sigma_{\text{gemiddeld}} = \sum_i x_i \cdot \sigma_i$$

Voor twee fracties geldt:

$$\sigma_{\text{gemiddeld}} = x_1 \cdot \sigma_1 + (1 - x_1) \sigma_2$$

Indien wordt verondersteld dat na het scheiden de fractie zuiver is, dan zou moeten gelden:

$$\sigma_{\text{gemiddeld}} = \sigma_1$$

Omdat een fractie echter nooit 100% zuiver zal zijn kan de zuiverheid als volgt worden bepaald:

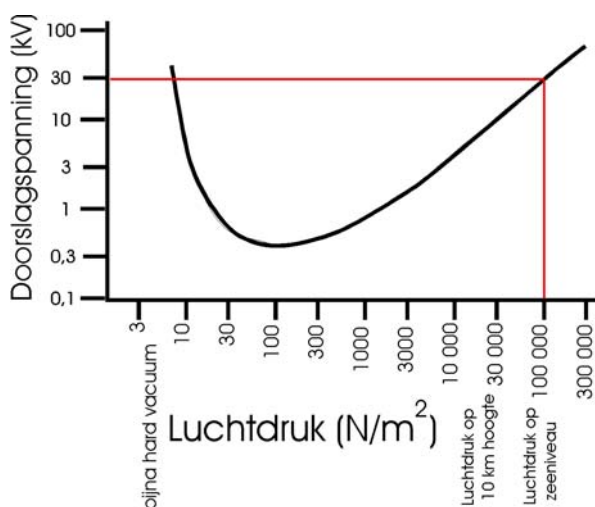
$$x_1 = \frac{\sigma_{\text{gemiddeld}} - \sigma_2}{\sigma_1 - \sigma_2}$$

6 Veiligheid

6.1 Doorslagspanning

Indien de veldsterkte te hoog wordt kan er lading door de lucht worden getransporteerd. Lucht wordt geïoniseerd en vervolgens worden de ladingen door de andere elektrode aangetrokken. Dit verschijnsel kennen we o.a. als bliksem.

In onderstaande figuur is te zien hoe de spanning waarbij doorslag plaatsvindt, indien de elektroden zich op 1cm afstand bevinden, afhankelijk van de luchtdruk.



Figuur 21 Paschen curve: Doorslagspanning in lucht tussen bolvormige elektroden op 1 cm afstand. Bron: <http://nl.wikipedia.org/wiki/Gasontlading#Paschen-curve>

De veldsterkte waarbij in lucht doorslag plaatsvindt is 30kV/cm (=3MV/m). Het is onduidelijk of deze waarde daalt door de aanwezigheid van poederdeeltjes in de gasstroom.

6.2 Stofexplosie

Poederdeeltjes kunnen explosief zijn wanneer zij zich in een gasvormig medium bevinden en er voldoende zuurstof aanwezig is. Het grote specifieke oppervlak (m^2/m^3) is hiervan de oorzaak. De poederconcentratie moet zich echter wel binnen het LEL (lower explosion level) en het UEL (upper explosion level) bevinden. Onder het LEL is de concentratie te laag om een ketting reactie op gang te brengen, boven het UEL is de concentratie te hoog en is de zuurstof hoeveelheid ontoereikend om de ketting reactie op gang te krijgen cq. te houden. Volgens de definitie van de EU-richtlijn [5] liggen de waarden voor het LEL en het UEL resp. tussen 20-60 g/m^3 en 2-6 kg/m^3 .

Tijdens de experimenten wordt 50 gram in ca. 130 seconden. Dat is ca. 40 mg/sec. De gas flow rate in de oplaadbuis is 7 liter/min. Daar is de 'feed density' gelijk aan 3.3 kg/m³. Wanneer het poeder vermengt met de omstroomde lucht is de gas flow rate 77 liter/min. Dan is de 'feed density' 300 gram/m³. Beide waarden liggen in het risico gebied. Dit verdient dus extra aandacht.

7 Conclusies

Elektrostatisch Scheiden is een scheidingstechnologie waarvan verschillende facetten onderzocht zijn. Hieruit volgt dat de technologie in potentie een meerwaarde biedt voor het scheiden van droge agro-poeders (vezel – eiwit – zetmeel). Een proof-of-principle is aangetoond voor verschillende commercieel beschikbare poeders. Ook vanuit de industrie is belangstelling getoond voor het proces. Tijdens het onderzoek is een aantal bevindingen gedaan die om nader onderzoek vragen. De belangrijkste daarvan zijn: de lage poederopbrengst, wervelvorming (luchtstroom), het implementeren van de dragforce in het numerieke model.

De aanvullende resultaten moeten er toe leiden dat een inschatting kan worden gemaakt of opschaling van Elektrostatisch Scheiden mogelijk is.

Literatuur

1. Sumawi, H. and S.A. Barringer, *Positive vs. negative electrostatic coating using food powders*. Journal of Electrostatics, 2005. **63**(6-10): p. 815-821.
2. Gupta, R., D. Gidaspow, and D.T. Wasan, *Electrostatic separation of powder mixtures based on the work functions of its constituents*. Powder Technology, 1993. **75**(1): p. 79-87.
3. Cheng, L. and S.L. Soo, *Charging of dust particles by impact*. Journal of Applied Physics, 1970. **41**(2): p. 585-591.
4. Davies, D.K., *Charge generation on dielectric surfaces*. Journal of Physics D: Applied Physics, 1969. **2**(11): p. 1533-1537.
5. Directive 94/9/EC of the European Parliament and the Council of 23 March 1994 on the approximation of the laws of the Member States concerning equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres (OJ L 100, 19.4.1994)

Bijlage

Berekening 1

Powders	
Total Mass Feed	23 g/min
Feed density	3.304 kg/m ³
Feed density	494735 1/ml
Avg distance	126.4 μm

Powder 1	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	17 μm
particle Size (stdev) log	0.25 -
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	54,325,643 1/s
Particle Volume	2352 μm ³
Particle Surface	855 μm ²
Particle Mass	0.00353 μg
Charge density	6.55 μC/m ²
Charge per particle	6E-15 μC
Separation force	5.60E-10 N
Transverse acceleration	159 m/s ²
Gravitation force	3.46E-11 N
Charge density	1.59 μC/g

Powder 2	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	43 μm
particle Size (stdev)	0.25 -
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	3,069,385 1/s
Particle Volume	41630 μm ³
Particle Surface	5809 μm ²
Particle Mass	0.06244 μg
Charge density	3.4 μC/m ²
Charge per particle	1.97E-14 μC
Separation force	1.97E-09 N
Transverse acceleration	32 m/s ²
Gravitation force	6.13E-10 N
Charge density	0.32 μC/g

Air flow	
Diam nozzle	2 mm
Diam mainstream	6.35 mm
Diam charge tube	4 mm
Corr. Diam Mainstream	7.51 mm
Debiet jetstream	0.42 m ³ /hr
Debiet mainstream	1.55 m ³ /hr
Debiet jetstream	7.0 l/min
Debiet mainstream	25.8 l/min
Debiet fluidizer	30 l/min
Avg air velocity nozzle	36.93 m/s
Delta v	9.82 m/s
v mainstream avg	13.55 m/s
v mainstream peak	27.11 m/s
Density	1.205 kg/m ³
Kinematic Viscosity	15.11 mm ² /s
Dynamic Viscosity	18.21 μPa.s
Re jetstream	4888 -
Re mainstream	5700 -
Re delta v	1300 -
distance factor	4.25 -

Separator	
Length	2000 mm
Height	100 mm
Distance	200 mm
Voltage	20 kV
E-Field	100 kV/m

Intermediate section	
Length intermediate	200 mm
Volume intermediate	0.6 cc
Tau intermediate	5 ms
Particles intermediate	2.94E+05 -
F_coul	4.078E-11 N
acceleration particle velocity	11.6 m/s ²
displacement	63 mm/s
displacement relative	170 μm
	134.1 %

Separation	
F_coul relative 1	7.28 %
F_coul relative 2	2.06 %
sep_distance 1_grens	29.75 μm
sep_distance 2_grens	29.75 μm

Berekening 2

Powders	
Total Mass Feed	23 g/min
Feed density	3.304 kg/m ³
Feed density	494735 l/ml
Avg distance	126.4 μm

Powder 1	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	17 μm
particle Size (stdev) log	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	54,325,643 l/s
Particle Volume	2352 μm ³
Particle Surface	855 μm ²
Particle Mass	0.00353 μg
Charge density	6.55 μC/m ²
Charge per particle	6E-15 μC
Separation force	8.40E-10 N
Transverse acceleration	238 m/s ²
Gravitation force	3.46E-11 N
Charge density	1.59 μC/g

Powder 2	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	43 μm
particle Size (stdev)	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	3,069,385 l/s
Particle Volume	41630 μm ³
Particle Surface	5809 μm ²
Particle Mass	0.06244 μg
Charge density	3.4 μC/m ²
Charge per particle	1.97E-14 μC
Separation force	2.96E-09 N
Transverse acceleration	47 m/s ²
Gravitation force	6.13E-10 N
Charge density	0.32 μC/g

Air flow	
Diam nozzle	2 mm
Diam mainstream	6.35 mm
Diam charge tube	4 mm
Corr. Diam Mainstream	7.51 mm
Debiet jetstream	0.42 m ³ /hr
Debiet mainstream	1.55 m ³ /hr
Debiet jetstream	7.0 l/min
Debiet mainstream	25.8 l/min
Debiet fluidizer	30 l/min
Avg air velocity nozzle	36.93 m/s
Delta v	9.82 m/s
v mainstream avg	13.55 m/s
v mainstream peak	27.11 m/s
Density	1.205 kg/m ³
Kinematic Viscosity	15.11 mm ² /s
Dynamic Viscosity	18.21 μPa.s
Re jetstream	4888
Re mainstream	5700
Re delta v	1300
distance factor	4.25

Separator	
Length	2000 mm
Height	100 mm
Distance	200 mm
Voltage	30 kV
E-Field	150 kV/m

Intermediate section	
Length intermediate	200 mm
Volume intermediate	0.6 cc
Tau intermediate	5 ms
Particles intermediate	2.94E+05
F_coul	4.078E-11 N
acceleration particle	11.6 m/s ²
velocity	63 mm/s
displacement	170 μm
displacement relative	134.1 %

Separation	
F_coul relative 1	4.85 %
F_coul relative 2	1.38 %
sep_distance 1_grens	29.75 μm
sep_distance 2_grens	29.75 μm

Berekening 3

Powders	
Total Mass Feed	23 g/min
Feed density	5.916 kg/m ³
Feed density	885799 l/ml
Avg distance	104.1 μm

Powder 1	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	17 μm
particle Size (stdev) log	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	54,325,643 1/s
Particle Volume	2352 μm ³
Particle Surface	855 μm ²
Particle Mass	0.00353 μg
Charge density	6.55 μC/m ²
Charge per particle	6E-15 μC
Separation force	5.60E-10 N
Transverse acceleration	159 m/s ²
Gravitation force	3.46E-11 N
Charge density	1.59 μC/g

Powder 2	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	43 μm
particle Size (stdev)	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	3,069,385 1/s
Particle Volume	41630 μm ³
Particle Surface	5809 μm ²
Particle Mass	0.06244 μg
Charge density	3.4 μC/m ²
Charge per particle	1.97E-14 μC
Separation force	1.97E-09 N
Transverse acceleration	32 m/s ²
Gravitation force	6.13E-10 N
Charge density	0.32 μC/g

Air flow	
Diam nozzle	2 mm
Diam mainstream	15.94 mm
Diam charge tube	4 mm
Corr. Diam Mainstream	16.44 mm
Debiet jetstream	0.23 m ³ /hr
Debiet mainstream	3.88 m ³ /hr
Debiet jetstream	3.9 l/min
Debiet mainstream	64.7 l/min
Debiet fluidizer	30 l/min
Avg air velocity nozzle	20.62 m/s
Delta v	9.82 m/s
v mainstream avg	5.40 m/s
v mainstream peak	10.80 m/s
Density	1.205 kg/m ³
Kinematic Viscosity	15.11 mm ² /s
Dynamic Viscosity	18.21 μPa.s
Re jetstream	2730
Re mainstream	5700
Re delta v	1300
distance factor	3.5

Separator	
Length	2000 mm
Height	100 mm
Distance	200 mm
Voltage	20 kV
E-Field	100 kV/m

Intermediate section	
Length intermediate	200 mm
Volume intermediate	0.6 cc
Tau intermediate	10 ms
Particles intermediate	5.27E+05
F_coul	5.551E-11 N
acceleration particle	15.7 m/s ²
velocity displacement	153 mm/s
displacement	740 μm
displacement relative	710.4 %

Separation	
F_coul relative 1	9.91 %
F_coul relative 2	2.81 %
sep_distance 1_grens	29.75 μm
sep_distance 2_grens	29.75 μm

Berekening 4

Powders	
Total Mass Feed	23 g/min
Feed density	3.304 kg/m ³
Feed density	494735 l/ml
Avg distance	126.4 μm

Powder 1	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	17 μm
particle Size (stdev) log	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	54,325,643 1/s
Particle Volume	2352 μm ³
Particle Surface	855 μm ²
Particle Mass	0.00353 μg
Charge density	-6.55 μC/m ²
Charge per particle	-6E-15 μC
Separation force	-8.40E-10 N
Transverse acceleration	-238 m/s ²
Gravitation force	3.46E-11 N
Charge density	-1.59 μC/g

Powder 2	
Mass fraction	50 %
Density	1500 kg/m ³
particle Size (mean)	43 μm
particle Size (stdev)	0.25
Mass feed	11.50 g/min
Particle Feed	3,069,385 1/s
Particle Volume	41630 μm ³
Particle Surface	5809 μm ²
Particle Mass	0.06244 μg
Charge density	-3.4 μC/m ²
Charge per particle	-1.97E-14 μC
Separation force	-2.96E-09 N
Transverse acceleration	-47 m/s ²
Gravitation force	6.13E-10 N
Charge density	-0.32 μC/g

Air flow	
Diam nozzle	2 mm
Diam mainstream	6.35 mm
Diam charge tube	4 mm
Corr. Diam Mainstream	7.51 mm
Debiet jetstream	0.42 m ³ /hr
Debiet mainstream	1.55 m ³ /hr
Debiet jetstream	7.0 l/min
Debiet mainstream	25.8 l/min
Debiet fluidizer	30 l/min
Avg air velocity nozzle	36.93 m/s
Delta v	9.82 m/s
v mainstream avg	13.55 m/s
v mainstream peak	27.11 m/s
Density	1.205 kg/m ³
Kinematic Viscosity	15.11 mm ² /s
Dynamic Viscosity	18.21 μPa.s
Re jetstream	4888
Re mainstream	5700
Re delta v	1300
distance factor	4.25

Separator	
Length	2000 mm
Height	100 mm
Distance	200 mm
Voltage	30 kV
E-Field	150 kV/m

Intermediate section	
Length intermediate	200 mm
Volume intermediate	0.6 cc
Tau intermediate	5 ms
Particles intermediate	2.94E+05
F_coul	4.078E-11 N
acceleration particle	11.6 m/s ²
velocity displacement	63 mm/s
displacement	170 μm
displacement relative	134.1 %

Separation	
F_coul relative 1	-4.85 %
F_coul relative 2	-1.38 %
sep_distance 1_grens	29.75 μm
sep_distance 2_grens	29.75 μm