

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Verslag van het vijfde Internationale Symposium  
over Condensatiekernen en Vrieskernen

door

Dr. F.H. Schmidt en Ir. H.R.A. Wessels

De Bilt, augustus 1963

Verslag van het vijfde Internationale Symposium  
over Condensatiekernen en Vrieskernen

door

Dr. F.H. Schmidt en Ir. H.R.A. Wessels

1. Inleiding

Dit symposium werd gehouden van 13 tot en met 17 mei 1963. De voordrachten over vrieskernen werden op 13 mei gegeven in de Universiteit van Clermont-Ferrand. De volgende dag werden de deelnemers naar Toulouse vervoerd, waar op 15 en 16 mei de lezingen over condensatiekernen plaatsvonden. Op 17 mei ten slotte konden de deelnemers in Lannemezan, aan de voet van de centrale Pyreneeën, nog getuige zijn van enige experimenten.

De organisatie van het symposium was in handen van Prof. H. Dessens, directeur van het Observatoire du Puy de Dôme.

De ongeveer 50 deelnemers kwamen uit vele landen, met name Frankrijk, Amerika, Engeland, Ierland, Italië, Zwitserland, Oostenrijk, Tsjechoslowakije, Zweden, Israël en Nederland. Opvallend was, dat er weinig synoptisch geschoolde meteorologen onder waren. hetgeen dan ook zijn stempel op de voordrachten drukte.

2. Indeling der voordrachten

Zoals gezegd was het symposium gesplitst in één dag voor de vrieskernen en twee dagen voor de condensatiekernen. Bij beide delen van het symposium kon men voordrachten onderscheiden over tellingen, eigenschappen en herkomst der kernen. Vooral op de eerste dag kregen de kunstmatige kernen speciale aandacht. In tegenstelling met het vorige symposium werden er nu weinig voordrachten gehouden over de wisselwerking van radioactieve deeltjes met condensatiekernen.

De voordrachten, die niet elders gepubliceerd worden, zullen binnenkort volledig verschijnen in het nieuwe "Journal des Recherches Atmosphériques", hetgeen de voortzetting is van het "Bulletin de l'Observatoire du Puy de Dôme".

Een kort overzicht van de belangrijkste voordrachten vormt de rest van dit verslag.

### 3. Aard en werkingswijze der vrieskernen

Het symposium werd geopend door V.J. Schaefer, die een beschrijving gaf van indrukwekkende proeven, zoals die nu al gedurende enige winters in het Yellowstone Park worden gedaan. Dit gebied ligt vrij hoog en afgelegen en de lucht is er zeer zuiver. Geysers brengen er grote hoeveelheden vocht in de lucht (bijv. 50.000 liter per uur) bij temperaturen van  $-44^{\circ}\text{C}$  tot  $+12^{\circ}\text{C}$ . Dat vormt dus een ideaal openlucht-laboratorium om op grote schaal de efficiency van kernen te onderzoeken. Een en ander werd in een mooie film duidelijk getoond.

Beneden  $-36^{\circ}\text{C}$  kon men de vochtige lucht boven de geysers zelfs met gewone condensatiekernen, zoals verbrandingsprodukten, zaaien. In de gevormde kunstmatige ijswolken, mits die niet gevormd waren door homogene bevriezing (dus zonder kernen) beneden  $-40^{\circ}\text{C}$ , nam men haloverschijnselen waar van grotere intensiteit en verscheidenheid dan in de natuur normaal is. Dit kwam door de eenvormige afmetingen der kristallen en de grote dichtheid der wolken. Alle proeven bevestigden de bestaande, op theorie en laboratoriumexperimenten gebaseerde, opvattingen.

H.W. Georgii mat in en nabij Frankfurt/Main een verlaging van de werkzaamheid der natuurlijke vrieskernen bij aanwezigheid van sporengassen. Industriële kernen zullen om deze reden dus vaak ongeschikt zijn als vrieskernen. Onbekend bleef nog, welke gassen in dit opzicht actief zijn.

Overtuigender waren zijn laboratoriumproeven in Londen.  $\text{NH}_3$  bleek daar zeer effectief wat betreft het inactiveren van allerlei organische en anorganische kernen. Dit echter uitsluitend bij hogere gasconcentraties dan in de natuur voorkomen. Het in de atmosfeer belangrijke  $\text{SO}_2$  deed vrijwel niets.

De invloed van opgeloste stoffen op het onderkoelen van waterdruppels werd besproken door H.R. Pruppacher. Hij filterde te onderzoeken druppels eerst met een filter  $< 0,01 \mu$ . Waar de tot nu toe bekende resultaten tegenstrijdig waren, vond de spreker bij alle onderzochte oplosbare stoffen (vooral alkalihalogeniden) een versterkte onderkoeling t.o.v. zuiver water, dus een vriespuntsverlaging van de druppels. Hij verklaarde dit effect met het verbreken van verbindingen tussen de watermoleculen, dus het verwarren van de structuur. Grote ionen doen dat natuurlijk het beste.

R. Serpolay beschreef een groeiproces van ijsdeeltjes, die zich vormen op geprepareerde deeltjes in een t.o.v. ijs oververzadigde atmosfeer. De dampmoleculen zetten zich dan niet op de kristalvlakken van het geprepareerde deeltje af, maar vormen draden, die elk aan een punt van het oorspronkelijk kristal ontstaan en snel groeien. Door temperatuurverhoging

kan men het proces omkeren; dit werd op een film getoond. Overigens zal dit proces in de natuur nauwelijks optreden.

Mlle M.-J. Toye vergeleek ten slotte de eigenschappen van druppels onderkoelde zwavel en onderkoeld water. Evenals bij ijs stolt zwavel op vreemde kernen en groeit volgens een proces analoog aan Bergeron-Findeisen. AgJ bleek merkwaardigerwijs ook het beste de kristallisatie van zwaveldamp te bevorderen, hoewel ijs en zwavel toch verschillende kristalstructuren hebben. Een tweedimensionale gelijkvormigheid is waarschijnlijk voldoende om dit gedrag te verklaren. Daar alle faseovergangen langzaam geschieden is zwavel dus geschikt studiemateriaal.

#### 4. Kunstmatige vrieskernen

Als eerste in dit gedeelte sprak H.R. Byers over een belangrijk aspect bij het zaaien met AgJ. Om AgJ op te lossen in aceton, dat als brandmiddel dient, is steeds toevoeging van KJ nodig. Adsorptiemetingen van water op AgJ en KJ kristallen toonden, dat bij bepaalde relatieve vochtigheid snel en onomkeerbaar een dubbelzout gevormd wordt. Bij het zaaien werkt men dus misschien vaak met dat dubbelzout in plaats van met AgJ.

J. Day las daarna een mededeling van N. Fukuta en B.J. Mason (beiden afwezig) voor. Zij bestudeerden het groeien van ijs volgens de kristalvlakken van bepaalde organische stoffen. Vooral sommige steroïden zijn al werkzaam bij  $-1^{\circ}\text{C}$ . Deze eigenschap hangt vooral samen met de aanwezigheid van regelmatig gerangschikte OH-groepen aan het kristaloppervlak. Is de onderlinge afstand van die groepen ongeveer  $6/\mu$ , dan lijkt die structuur veel op ijs. Zo ontstaan aan het kristal dus voorkeurszijden voor de ijsvorming, en wel vaak bij onregelmatigheden aan het oppervlak.

Vervolgens behandelde J. Podzimek theoretisch de Stefan-stroming van AgJ deeltjes in de waterdampgradiënt naar een groeiend wolkendeeltje toe. De efficiency van dit proces werd berekend voor waterwolken, gemengde wolken en ijswolken, en wel met ijskristallen van allerlei vorm. Naar bepaalde punten van het kristal blijkt natuurlijk de stroom het krachtigst. Misschien zijn de numerieke resultaten van dit werk van belang voor "overseeding"-problemen.

J. Dessens beschreef een mogelijke vereenvoudiging van de tot nu toe in Frankrijk gebruikte AgJ-generatoren. Een AgJ oplossing in aceton wordt verbrand in een spiraalvormige vlam, verkregen door tangentieel opgestelde openingen voor de luchttoevoer. Zo wordt een blaasbalg overbodig en vermijdt men aanslag op de wanden. Er worden ook hiermee voldoende kleine kernen

in de lucht gebracht. Tijdens het bezoek aan Lannemezan werd ons nog een werkend model van dit apparaat getoond.

De bepaling van het rendement van de genoemde vortex-generator werd besproken door Mme D. Cruette. Ze vergeleek het nieuwe type met een oudere uitvoering AgJ-generator. Geteld werden de ontstane kristallen in een onderkoelde wolk bij verbruik van evenveel AgJ in beide typen generatoren. De uitkomsten leken weinig nauwkeurig, maar de spreekster concludeerde toch tot een ongeveer gelijk rendement.

##### 5. Concentraties van natuurlijke en kunstmatige vrieskernen

H.R. Byers bracht in zijn tweede voordracht verslag uit van metingen in Zuid-Missouri. Daar werden aan de grond vrieskernen geteld en wel afhankelijk van de temperatuur, waarbij ze werkzaam worden. Deze metingen geschieden elk half uur en betreffen monsters van 10 liter. De achtereenvolgende tellingen konden wel een factor 5 met elkaar verschillen. 's Middags was het kernental meestal maximaal.

De resultaten werden onderscheiden volgens gunstige en ongunstige dagen wat betreft het ontstaan van convectieve bewolking. Op toevallig gekozen gunstige dagen werd dan met vliegtuigen AgJ gezaaid. Dat bleek nauwelijks effect te hebben op de aantallen getelde kernen. Wel bleek op gunstige dagen het kernental in het algemeen groter te zijn dan op ongunstige dagen. Dit wijst dus op een verband van het kernental met de massa-eigenschappen van de lucht in die streek.

Daarna vertelde J.P. Lodge Jr. over verscheidene resultaten, verkregen met de nieuwe, door hem en H. Bravo ontwikkelde, membraan-filter technieken. Een luchtmonster wordt door zo'n filter gezogen en de te onderzoeken kernen blijven erop zitten. Het filter is zo dun, dat het onder een microscoop onderzocht kan worden. Door de geringe warmtecapaciteit van dit filter kan men de temperatuur van de kernen nauwkeurig en snel regelen. Bij afkoelen in waterdamp telt men de dan werkzame "sublimatie"-kernen. Deeltjes, die met een druppeltje moeten botsen, om dat te doen bevriezen, worden met zo'n filter niet geteld. Men kan met zo'n filter ook het effect van afwisselend afkoelen en verwarmen bestuderen.

Belangwekkend zijn misschien de resultaten, verkregen in het Yellowstone Park. Daar onderzocht men de kernen, gevonden in vallende sneeuw. Slechts ongeveer 15% van de sneeuw bevatte kernen, actief bij  $-20^{\circ}\text{C}$ . Er waren géén kernen, werkzaam bij  $-15^{\circ}\text{C}$ . In West-Amerika ontstaat dus sneeuw niet op gewone vrieskernen.

Bij het zaaien van geyserswolken vond men de AgJ in elk sneeuwkristal terug. De AgJ blijkt na dit proces nog actief bij  $-15^{\circ}\text{C}$ . Zo kan men dus

met vrij grote zekerheid natuurlijke van kunstmatige sneeuw onderscheiden. Zo iets opent goede perspectieven voor het moeilijke probleem van het achterhalen van succes bij zaaien.

P. Admirat beschreef een continu registrerend apparaat voor het opvangen van vrieskernen. Blaast men een onderkoelde wolk tegen een bewegende hand, gedrenkt in een onderkoelde suikeroplossing, dan doen de opgevangen vrieskernen op die band kristallen ontstaan. Die kristallen worden onmiddellijk gefotografeerd. De ijking maakte een betrouwbare indruk. Het is later misschien mogelijk dit instrument aan een vliegtuig te bevestigen om de kernen in echte wolken te tellen. Overigens is er wel een groot nadeel: bij elke temperatuur is eigenlijk een andere concentratie van de suikeroplossing vereist.

G. Soulage besloot de lezingen over vrieskernen met een vreemd aandoend verhaal over onverklaarbare plotselinge sterke toenames van de tellingen kleine vrieskernen boven Zuid-Frankrijk. Deze anomalieën treden 's zomers op, voor of tijdens onweerssituaties bij zuidelijke grondwind en zijn tot op enkele kilometers hoogte merkbaar. Vreemd genoeg treedt dit gelijk op met het aanzetten van de Franse AgJ-generatoren, echter zo kort erna, dat directe diffusie uitgesloten is. In verband met de hoogte van de pieken kunnen de Spaanse generatoren ook geen invloed hebben. Een goede verklaring kon dus niet worden gegeven. Mogelijk is de statistische uitwerking aanvechtbaar.

## 6. Metingen van condensatiekernen

De eerste spreker bij de voortzetting van het symposium in Toulouse was L.W. Pollak. Samen met A.L. Metnieks had hij een nieuwe en nu veel kleinere fotoelectrische kernenteller geconstrueerd. Het nieuwe model is slechts 27 cm hoog; er is een moderne CdS cel in toegepast. Het principe is verder hetzelfde als bij oudere Ierse tellers.

Daarna volgden twee voordrachten van S. Twomey. Eerst besprak hij de meting van kernspectra. Hij gebruikte kerntellingen bij herhaalde stroming van eenzelfde luchtmonster door een kanaal, waarbij zich dan vooral kleine deeltjes op de wanden afzetten. Uit een nauwkeurige continue vervalkromme zou met een Laplace-transformatie het kernspectrum volgen. Door de meetfouten in de eerste kromme wordt echter de tweede kromme volstrekt onbepaald. Met zekere verantwoorde aannamen betreffende het verloop van de vervalkromme verkreeg de spreker kernspectra, die met eerdere metingen van C. Junge klopten. Twomey mat echter wel een groter aantal zeer kleine deeltjes. Door de gevolgde methode is de fijnstructuur in het spectrum natuurlijk verdwenen.

Bij laten staan van het luchtmonster bleek de verdelingskromme naar kleinere afmetingen te verschuiven. Verder vond de spreker een gaping in het spectrum bij ongeveer  $10^{-6} \mu$ , die al eerder door anderen gevonden was.

Twomey's tweede voordracht handelde over het meten van druppeltjes, ontstaan in een diffusie-nevelkamer bij oververzadigingen  $< 1\%$ . Zo telde hij juist die kernen, die van belang zijn bij wolkenvorming. Bij  $1\%$  oververzadiging vond hij 20 tot 3000, bij  $0,1\%$  minder dan 500 kernen per  $\text{cm}^3$ . Continentale lucht gaf steeds de hoogste uitkomsten.

Belangrijk is, dat tellingen nabij Washington steeds beneden de resultaten van identieke Australische metingen bleven. Dit zou suggereren, dat industriële kernen geen invloed op de wolkenvorming hebben.

## 7. Meetresultaten

C. Junge sprak ook nu over de aerosolverdeling op grote schaal. Hij deelde de resultaten mee van kerntellingen tot op grote hoogte (25 km) in de U.S.A. en India. Vanaf de tropopause tot 25 km hoogte daalt het kernental ongeveer van 200 tot 2. In de troposfeer, althans op enige hoogte, is dan het kernental tamelijk constant. Ook boven zee schijnt die waarde 200 normaal te zijn.

Mlle M. Deloncle beschreef een onderzoek van stadsmist, waarbij foto-electrisch het druppelspectrum werd gemeten. Ook bij vochtigheden van  $70\%$  bleef de mist bestaan. Dit was te verklaren door aanwezigheid van bepaalde hoeveelheden  $\text{SO}_2$  en  $\text{SO}_3$  in de druppeltjes. De hoeveelheden van die stoffen, die zo berekend werden, klopten met de chemische analyse.

Onze gastheer, H. Dessens, gaf daarna een inleiding op een experiment met het "Météotron", dat de deelnemers later in Lannemezan zouden zien. Door 1000 liter olie per minuut te verbranden in een honderdtal branders (totaal 70.000 kW) wordt convectie veroorzaakt. Zo worden grote hoeveelheden kernen van ongeveer  $1 \mu$  de lucht in gebracht. Men neemt dan vaak waar, dat de rook zich rangschikt op het niveau van maximale windsnelheid. Dit werd ook vaak waargenomen bij de resten van een cumulonimbus. Bij gunstige omstandigheden kan het ontsteken van het Météotron een congestuswolk doen ontstaan. Het experiment bij Lannemezan toonde ons op indrukwekkende wijze het opstijgen van die geweldige rookkolom. Van deze experimenten valt nog veel te verwachten in verband met de consequenties voor de theorieën omtrent het ontstaan van neerslag, hagel en hozen.

## 8. Eigenschappen van condensatiekernen

W.J. Megaw besprak een nieuwe formule voor de diffusie van een aerosol door een kanaal. Bekend was al, dat bij een heterogeen aerosol de

diffusiecoëfficiënt van de stroomsnelheid afhangt. De spreker toonde aan, dat bij een kunstmatig vervaardigd homogeen aerosol de diffusiecoëfficiënt juist constant was.

De fysica van het zaaien van wolken werd kort behandeld door H. Weickmann aan de hand van enige bekende kwantitatieve modellen. Nieuwe ideeën kwamen hier niet naar voren.

T.A. Rich van General Electric besprak aan de hand van een film het ontstaan van draden, gevormd door kernen, bij vonkontladingen. Dit is van praktisch belang bij o.a. telefoonrelais.

## 9. Herkomst van condensatiekernen

J.A. Day begon de laatste dag van het symposium met een interessante voordracht over de kleine druppeltjes, die ontstaan als bellen in water opstijgen en aan het oppervlak barsten. Dit is immers een mogelijke oorzaak van het in de atmosfeer brengen van zeezoutkernen.

De spreker liet de bellen opstijgen in rivier- en in zeewater. Zij barstten in de oververzadigde lucht van een diffusie-nevelkamer. De verschijnselen zijn dan te vergelijken met die, welke optreden bij het vallen van een druppel op een wateroppervlak. Op een film was zichtbaar, dat een z.g. Rayleigh-jet van onderaf omhoogschoot op het moment van barsten. Die jet splitste zich door afsnoering in enkele betrekkelijk grote druppeltjes. Tegelijk verstoot het brekende watervliesje tot vele zeer kleine druppeltjes. Gedeeltelijk (10%) weken die opzij uit en vielen onmiddellijk in het water terug. De rest bestond uit een soort rookkring van zeer kleine druppeltjes, die omhoogschoot.

Bij dit onderzoek werden aantal en spectrum van deze laatste groep druppeltjes nader bekeken. Bij bepaalde doorsnede van de luchtbel bleek het spectrum een Gauss-verdeling. Zeewater bleek veel meer van die kleine druppeltjes te leveren dan rivierwater. Bij groter worden van de bel nam het aantal van die kleine druppeltjes sterk toe: voor bellen van 2 mm in zeewater met een schoon oppervlak ongeveer 100. Bellen van 0,3 mm geven zulke kernen niet. Deze resultaten bevestigen vroeger werk van Mason en de dissertatie van Blanchard.

D.C. Blanchard zelf hield vervolgens kwantitatieve beschouwingen over deze vorming van condensatiekernen aan het zeeoppervlak. Kristallisatie van zeewaterdruppels bleek, althans in het laboratorium, niet voor te komen. Het in de vorige voordracht behandelde mechanisme werd opnieuw besproken. Experimenten op Hawaï en gebruik van de beste, tot nu toe bekende, gegevens schijnen aan te geven, dat dit proces toch een enkele malen te klein aantal kernen levert. Vanzelfsprekend gaat het hier over zaken, die heel moeilijk



te meten zijn, zodat de discussie over dit belangrijke probleem nog niet gesloten lijkt.

T.C. O'Connor sprak over een aantal laboratoriumprocessen voor het doen ontstaan van kernen: verhitte draden en verder sommige organische stoffen in zonlicht. Rottend zeewier in gesloten flessen bleek in zonlicht veel kernen te leveren. De spreker mat soms ook een hoog kernental bij moerassen aan de Ierse kust.

10. Electrische en radioactieve eigenschappen en technieken

R. Siksna hield een volkomen mathematisch betoog over de combinatie-coëfficiënten tussen kleine ionen en condensatiekernen. Het resultaat was slechts een verbeterde algemene formule. Met enige verwaarlozingen was een en ander al in de literatuur bekend.

Een uitgebreid onderzoek op dit gebied werd verslagen door G. Schumann. Allereerst vermeldde hij een experimentele verificatie van bekende combinatieformules van radioactieve deeltjes met condensatiekernen. Bovendien achterhaalde hij kernenspectra met behulp van radioactieve tracers. Er werd in de lucht te Heidelberg overeenstemming met het bekende spectrum van C. Junge gevonden.

In navolging van andere onderzoekers werd ook de radioactiviteit in de regen gemeten voor verschillende soorten radioactieve deeltjes. Bij zware neerslag blijkt geen verband te bestaan tussen radioactiviteit en regenintensiteit. Bij normale neerslag wel, zoals bekend.

Als resultaat konden voor verschillende radioactieve stoffen de z.g. fictieve depositiesnelheden worden gevonden, hoeveel radioactieve deeltjes dus relatief de grond bereiken ten gevolge van turbulente processen en neerslag. Ook in Heidelberg bleek de neerslag de sterkste bijdrage te leveren. Belangwekkend was, dat neerslag met hoge radarecho's ook hoge radioactiviteit had. Al met al weinig nieuws, maar deze uitgebreide metingen zullen toch te zijner tijd wel wat opleveren.

A. Renoux sprak ten slotte over recente metingen van de verdeling van de radioactiviteit over condensatiekernen van verschillende typen (afmeting en lading). De kernen van 5 bepaalde grootteklassen werden in verschillende apparaten opgevangen, geteld en op radioactiviteit onderzocht. Het apparaat is nog slechts voor thoron geschikt. De radioactiviteit bleek ongeveer gelijk over alle groepen verdeeld, maar de metingen maakten nog geen zeer betrouwbare indruk.