

22 APR. 1960

VERSLAG OVER EEN BEZOEK AAN DE LUCHTHAVEN ORLY
IN VERBAND MET MISTVERDRUVINGSPROEVEN

23 - 25 FEBRUARI 1960

door Dr. F.H. Schmidt

551.575 ;
629.13

1. Inleiding

Op het verzoek van de Directeur van de N.V. Luchthaven Schiphol om een meteorologisch deskundige beschikbaar te willen stellen voor het bijwonen van een internationale bijeenkomst, gewijd aan het verdrijven van mist, werd verslaggever door de Hoofddirecteur van het K.N.M.I. als zodanig aangewezen.

Bedoelde bijeenkomst vond op 23 februari 1960 plaats op de luchthaven Orly en werd in hoofdzaak in beslag genomen door een tweetal voordrachten over de te Orly in onderzoek zijnde mistverdrivingsmethoden en een daarop volgende algemene discussie. De desbetreffende apparatuur werd gedemonstreerd.

Het internationale karakter, dat de bijeenkomst verwacht werd te zullen vertonen, bleek zeer beperkt te zijn. Verslaggever was nl. de enige aanwezige buitenlander. De oorzaak van deze afwijking t.o.v. de oorspronkelijke opzet is dezerzijds niet bekend.

De dag volgende op de algemene bijeenkomst werd besteed om in kleine kring verschillende problemen, die zich bij het verdrijven van mist volgens de te Orly in onderzoek zijnde methoden kunnen voordoen, nader in beschouwing te nemen. 's Middags werd nog een kort bezoek gebracht aan de meteorologische dienst op Orly.

Op 25 februari werd teruggereisd, nadat 's morgens nog op de nationale meteorologische dienst te Parijs van gedachten was gewisseld over het probleem van het "scheve zicht" (slant visibility).

De hartelijke ontvangst door de verschillende betrokken Franse autoriteiten moge speciaal worden vermeld.

In het volgende zal een overzicht worden gegeven van de achtergrond van de mistverdrivingsproeven, die in Frankrijk worden genomen, de resultaten van deze proeven en de moeilijkheden, die nog zullen

moeten worden overwonnen, alvorens de methoden operationeel zullen kunnen worden toegepast. De daarbij gegeven kwantitatieve beschouwingen zijn in het algemeen niet in detail in Orly ter sprake gekomen. Ze berusten dan ook voor het grootste deel op overwegingen, die geheel voor verantwoordelijkheid van verslaggever komen.

2. Algemene beschouwingen over het verdrijven van mist

2.0 Bij het beschouwen van de methoden, welke kunnen worden toegepast om mist te verdrijven kan in het algemeen onderscheid worden gemaakt tussen mistsituaties bij temperaturen boven 0°C en mistsituaties bij negatieve temperaturen.

De reden voor het maken van dit onderscheid ligt voor de hand. Immers, bij negatieve temperaturen heeft men - naast andere - altijd in principe de mogelijkheid om mist die uit waterdruppels bestaat - hetgeen in het algemeen bij de in West-Europa voorkomende negatieve temperaturen het geval zal zijn - te verdrijven door op een of andere wijze ijskristallen in de onderkoelde mist te brengen. Het is bekend, hoe deze kristallen dan door de lage dampspanning die boven ijs heerst, vergeleken met die boven water, zullen groeien ten koste van de waterdruppels, die daardoor in grootte zullen afnemen. Naarmate de gegroeide ijskristallen uitvallen zal dan het zicht geleidelijk verbeteren.

Bij temperaturen boven het vriespunt faalt begrijpelijkerwijs deze methode. Er staan dan in principe twee wegen open om het zicht bij mistsituaties te verbeteren.

In de eerste plaats kan men in de mist druppeltjes van verschillende afmeting doen ontstaan, zodat de grootste vallen t.o.v. de kleinste. Deze laatste zullen dan onder bepaalde omstandigheden door de eerste tijdens hun val worden ingevangen en het totaal aantal druppels zal dus verminderen. Het principe van zichtverbetering, dat de achtergrond van deze methode vormt, het verminderen van het aantal deeltjes door uitvallen, komt dus overeen met dat wat bij negatieve temperaturen een rol speelt.

In de tweede plaats kan men de relatieve vochtigheid van de lucht verminderen door menging met droge en/of warme lucht. Bij een afname van de relatieve vochtigheid tot beneden 100% zullen de waterdruppeltjes in de lucht beginnen te verdampen. Ze zullen dus kleiner worden, c.q. geheel verdwijnen, hetgeen gepaard gaat met een zichtverbetering.

De methoden, die toegepast kunnen worden boven 0°C zijn in principe ook bruikbaar bij negatieve temperaturen. Indien men toch onder deze omstandigheden tracht andere wegen in te slaan kan dit samenhangen met, hetzij een gemakkelijker uit te voeren techniek, hetzij met geringere kosten aan de voor negatieve temperaturen karakteristieke methode verbonden.

2.1 Het is bekend, dat waterdruppeltjes, die in de atmosfeer zweven, tot zeer lage temperaturen in de vloeibare fase kunnen blijven. Dit verschijnsel van de z.g. onderkoeling hangt samen met de noodzaak van het ontstaan van "levensvatbare" ijskiemen in het desbetreffende druppeltje. Onder levensvatbaar wordt in dit verband verstaan, dat het in het druppeltje gevormde ijskiempje zich niet alleen weet te handhaven maar ook zodanig groeit, dat binnen korte tijd het gehele druppeltje is bevroren.

In principe kunnen de voor dit proces noodzakelijke voorwaarden op twee manieren worden vervuld.

In de eerste plaats kan men vreemde deeltjes met de waterdruppeltjes in contact brengen waardoor bij gunstige kristalstructuur van deze deeltjes ijsvorming wordt bevorderd. De meest bekende stof is daarbij AgJ, dat echter eerst bij temperaturen beneden -5°C voldoende werkzaam is.

In de tweede plaats kan men de druppeltjes zodanig sterk afkoelen, dat ze spontaan bevriezen, vrijwel onafhankelijk van de aanwezigheid in de druppeltjes van vreemde kiemen. Dit procédé zal in het algemeen succes hebben indien temperaturen in de buurt van -40°C worden bereikt.

2.2 Bij positieve temperaturen kan de methode van zichtverbetering, die berust op het groeien en uitvallen van de mistdruppeltjes, op verschillende manieren worden verwezenlijkt.

In de eerste plaats kan men fijne waterdruppeltjes, die echter groter moeten zijn dan de normale mistdruppeltjes waarvan de afmetingen van de orde van 10μ zijn, in de mist brengen. Ze zullen vallen t.o.v. de mistdruppeltjes en deze gedeeltelijk invangen waardoor het totaal aantal druppels per volume-eenheid vermindert en het zicht dus toeneemt.

In de tweede plaats zou men een sterk hygroscopische stof in zeer fijn verdeelde toestand, bijv. in de vorm van zeer kleine druppels, in de mist kunnen brengen. Om deze aldus toegevoerde condensatie-

kernen zouden zich dan grote druppels vormen, die op de boven aangegeven wijze onder invangen van kleinere druppels zouden uitvallen.

Een derde methode zou bestaan uit het geven van een elektrische lading aan een deel der mistdruppels of aan in de mist gebrachte deeltjes dan wel in het aanbrengen van een krachtig elektrisch veld. De geladen deeltjes (druppeltjes) zouden dan groeien (het condensatieproces wordt door de aanwezigheid van een lading bevorderd) en ze zouden uitvallen. In het geval van een sterk veld zou men een proces krijgen, dat overeenkomt met de electrostatische precipitatie in de techniek.

Een vierde, in principe mogelijke, methode maakt gebruik van geluidstrillingen in de lucht (~ 1000 Hz). Deeltjes van verschillende grootte worden dan in verschillende mate meegenomen door de trillende lucht, hetgeen coalescentie bevordert.

2.3 Het verminderen van de afmeting en het aantal der aanwezige druppels door menging van de desbetreffende lucht met droge en/of warme lucht is in principe een gemakkelijk te doorschouwen procedure. Op details van een dergelijke methode zal nog uitvoerig worden teruggekomen.

2.4 De nevenstaande tabel geeft de boven aangeduide methoden van mistverdrrijving nog eens schematisch weer. De tijdens het bezoek aan Orly gedemonstreerde methoden zullen daarna uitvoerig worden besproken.

Tabel 1.

Schema van mistverdrivingsmethoden

Methodes	Temp.	Opmerkingen
A. Toevoering van bevriezingskiemen, bijv. AgJ.	< -5°C	Hoewel de methode goedkoop is, belooft ze voor onze geografische breedte weinig, aangezien mist bij -5°C betrekkelijk weinig frekwent is.
B. Scheppen van ijskristallen door het plaatselijk doen ontstaan van zeer lage temperaturen (~-40°C)	< -0°C	Uitvoerig in Frankrijk onderzocht. Betrekkelijk goedkoop. Bruikbaarheid hangt af van frekwentie van mist bij negatieve temperatuur. Vermoedelijk niet bruikbaar bij windstilte! Zie 3.
C. Fijn verdeeld water in de mist spuiten.	> 0°C?	In principe eenvoudig lijkende methode maar technisch moeilijk uitvoerbaar in verband met betrekkelijk kritische afmetingen van druppeltjes. Bij negatieve temperaturen wellicht ongewenst. Geen gegevens van experimenten bekend.
D. Verstuiven van een sterk hygroscopische stof, bijv. NaCl of CaCl ₂ .	alle	Technisch uiterst moeilijk uitvoerbaar, o.a. omdat de hygroscopische stof moeilijk droog te houden is hetgeen nodig is bij verpulveren. Omstreeks 1936 werden proeven in de Verenigde Staten gedaan met geconcentreerde Ca Cl ₂ -oplossingen. Hoewel de proeven redelijk succes hadden werden ze niet voortgezet. Corrosie? Ze waren bij de Fransen niet bekend!
E. Het aanbrengen van elektrische ladingen of velden.	alle	Theoretisch wel iets belovend maar voor zover bekend nog nimmer uitgevoerd.
F. Geluidstrillingen.	alle	Vereist vermoedelijk aanzienlijke energie. Onvoldoende van bekend.
G. Toevoeren van warme, droge lucht.	alle	Methodes, die wellicht het uitvoerigst is onderzocht en uitgevoerd, o.a. tijdens de tweede wereldoorlog in Engeland. De methode is in het algemeen duur. Er zijn verschillende varianten mogelijk, die in het volgende nader zullen worden besproken. Zie 4.

3. De proeven met betrekking tot het verdrijven van mist bij negatieve temperaturen (Verslag van en beschouwingen over de voordracht van M. Serpolay)

3.0 Op een enkele uitzondering na waarbij bij een temperatuur van ca. -5°C AgJ werd gebruikt, heeft men te Orly proeven ondernomen volgens het onder B. aangegeven procédé.

Daartoe zijn, na voorlopige experimenten op meer bescheiden schaal, thans rond de luchthaven Orly 43 propaan-cylinders geplaatst, onderling verbonden tot batterijen van 3 tot 6 stuks. Aan iedere cylinder bevindt zich een verticale buis van ca. 2 meter lengte, die aan het eind is voorzien van een sproeier met doorsnede van ca. 1 mm.

De batterijen kunnen uit een centrale commandopost worden bediend, dat is dus geopend en gesloten.

Iedere cylinder bevat ca. 1000 kg propaan terwijl bij opening van een cylinder 10-15 kg propaan per uur ontsnapt. Dit betekent, dat de cylinders gedurende lange tijd zonder bijvulling kunnen worden gebruikt.

Bij normale omstandigheden (uiteraard bij negatieve temperatuur!) is het voldoende wanneer 15-20 cylinders in bedrijf zijn. Dit betekent, dat een hoeveelheid van 200 kg propaan per uur ontsnapt. Volgens de opgegeven prijs van 1 kg propaan (50 frs) komt dit dus overeen met een bedrag van ca. f. 80.- Ned. Crt. per uur.

De kosten van de installatie van de ruim 40 propaan-cylinders met sproeiers beliepen ca. 150.000 NF of ca. f. 100.000 Ned. Crt. Het telecommandosysteem kwam op een derde van dit laatste bedrag, waarbij echter van aanwezige kabels gebruik kon worden gemaakt.

3.1 Propaan, C_3H_8 , is een alkaal dat uit aardolie wordt gewonnen. Het heeft bij normale druk een kookpunt van $-42,2^{\circ}\text{C}$ en op dit lage kookpunt berust het gebruik bij de mistverdrijving. (Kritische temperatuur $+96,8^{\circ}\text{C}$). Het ontsnappende propaan verdampt nl., c.q. zet adiabatisch uit waarbij het een zeer lage temperatuur krijgt.

Door deze lage temperatuur zullen mistdruppels ter plaatse bevriezen en de zo ontstane ijskristallen zullen met de heersende wind over het veld en de startbanen worden gevoerd. Aangenomen mag daarbij worden, dat bij niet al te geringe windsnelheid deze ijskristallen betrekkelijk homogeen over het in aanmerking komende terrein zullen worden verspreid.

Door het naast deze ijskristallen voorkomen van de oorspronkelijke mistdruppels zullen de ijskristallen verder groeien en uitvallen.

Volgens Serpolay zouden de afmetingen van de mistdruppels in het algemeen tussen 7 en 10 μ liggen, die van de uitvallende ijskristallen omstreeks 100 μ bedragen.

De opgetreden zichtverbetering werd gemeten met behulp van transmissometers. Deze meten in feite de optische dichtheid van de lucht, die op eenvoudige wijze samenhangt met het zicht.

Volgens de zichttheorie van Koschmieder geldt nl.

$$\xi = e^{-\sigma V} \quad \sigma = \frac{1}{eV} \quad (1)$$

waarbij de symbolen de volgende betekenis hebben:

ξ = drempelwaarde van het contrast tussen een (zwart) object en zijn achtergrond, dat is het contrast dat nog juist kan worden waargenomen.

e = grondtal natuurlijk logaritmestelsel.

σ = optische dichtheid, bijv. gemeten per km.

V = zicht, uitgedrukt in km.

Uit (1) volgt onmiddellijk:

$$\sigma V = \ln \frac{1}{\xi} \quad (2)$$

De waarde van ξ hangt af van de waarnemer en van de achtergrondhelderheid. Onder normale omstandigheden neemt men voor deze grootte gewoonlijk een waarde 0,02. Uit de gegevens van Serpolay (transmissometerwaarnemingen en gewone zichtwaarnemingen) blijkt, dat per experiment de waarde van ξ redelijk constant was en over de verschillende proefnemingen varieerde van ongeveer 0,03 tot ongeveer 0,40. Dat deze waarden hoger liggen dan de "mooi-weer-waarde", 0,02, is begrijpelijk. Immers, de achtergrondhelderheid die ξ voor een belangrijk deel bepaalt, zal bij mistsituaties aan de lage kant zijn. Bovendien zijn de beschreven experimenten in de vroege ochtend, gedeeltelijk tijdens de schemering, uitgevoerd. Terloops moge hier worden opgemerkt, dat de op Schiphol aanwezige transmissometer is geijkt op $\xi = 0,05$.

Uit de gegeven voorbeelden bleek, dat inderdaad wezenlijke zichtverbeteringen optraden na het openen van de propaanflessen. De tijd, die verloopt tussen dit openen en het optreden van de zichtverbetering is behalve een functie van de windsterkte en de afstand van de flessen tot de meetplaats ook afhankelijk van het aantal ijskristallen, dat per tijds-eenheid wordt geproduceerd. In het algemeen lag de vertraging in de orde van 15-30 minuten.

Naast normale meteorologische zichtwaarnemingen werd ook de zichtbaarheid van baanlichten gemeten. Ook hierbij viel een verbetering waar

te nemen na het openen van de flessen en wel procentueel van dezelfde orde als de verbetering in het gewone zicht. De baanlichten waren in het algemeen ongeveer tweemaal zo ver zichtbaar als overeenkwam met het gewone zicht.

3.2 Uit het voorgaande moge blijken, dat de propaan-methode in principe mogelijkheden biedt voor het verdrijven van mist. Voorwaarden voor succes zijn daarbij o.a.:

- a) De temperatuur ligt beneden 0°C .
- b) De wind is zodanig, dat de gevormde ijskristallen redelijk homogeen over het gebied waar de mist van moet worden verdreven, worden verspreid.
- c) De werking van het propaan strekt zich tot voldoende grote hoogte uit (voor Schiphol ca. 60 m).

In het volgende zullen deze drie voorwaarden op hun vervuld zijn worden onderzocht, waarbij zo mogelijk rekening zal worden gehouden met de omstandigheden te Schiphol.

3.3 Nevenstaande tabel geeft het voorkomen van mist (zicht < 1000 m) te Schiphol aan in afhankelijkheid van de temperatuur. De tabel is gebaseerd op urregevens uit de jaren 1949-1958. Deling door tien van de absolute aantallen geeft dus het gemiddeld aantal uren per jaar. Zo komen per januarimaand gemiddeld 51,5 uurwaarnemingen met mist voor.

In deze tabel betekent -3 een temperatuurinterval van $-3,0$ tot en met $-3,9^{\circ}\text{C}$, -0 een temperatuurinterval van $-0,1$ tot en met $-0,9^{\circ}\text{C}$, 0 van $0,0$ tot en met $0,9$, enz.

Uit de tabel blijkt, dat 19% van het totaal aantal mistwaarnemingen voorkomt bij negatieve temperaturen. Het voor Orly opgegeven percentage (27) lijkt hierbij vergeleken te hoog. De oorzaak ligt vermoedelijk hierin, dat voor deze luchthaven het percentage dagen met ten minste één mistwaarneming werd opgegeven, hetgeen niet geheel representatief moet worden geacht. Maandsgewijs beschouwd kan worden vastgesteld, dat op Schiphol in de periode november-maart het toepassen van propaan gerechtvaardigd lijkt, dat is dus in alle belangrijke mistmaanden (gemiddeld meer dan 30 uur per maand) behalve oktober. (Het grote aantal mistgevallen bij temperaturen beneden -10°C in februari vindt zijn oorzaak in de koude februarimaand van 1956).

In 3.4 en 3.5 zal nog nader op het percentage mistgevallen, dat vermoedelijk met de propaan-methode kan worden bestreden, worden teruggekomen.

Tabel 2. Het voorkomen van mist in afhankelijkheid van de temperatuur te Schiphol, 1949-1958.

°C	jan.	feb.	mrt	apr.	mei	juni	juli	aug.	sep.	okt.	nov.	dec.	jaar
<-10	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	30
-10	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
-9	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	5
-8	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	3	5
-7	-	2	4	-	-	-	-	-	-	-	2	6	14
-6	4	4	3	-	-	-	-	-	-	-	2	3	16
-5	7	9	10	-	-	-	-	-	-	-	3	12	41
-4	5	10	3	1	-	-	-	-	-	-	4	13	36
-3	12	16	3	-	-	-	-	-	-	-	2	21	54
-2	40	18	3	-	-	-	-	-	-	-	10	44	115
-1	50	30	16	-	-	-	-	-	-	3	21	42	162
-0	48	29	35	-	-	-	-	-	-	6	31	36	185
0	88	48	67	8	-	-	-	-	-	4	21	60	296
1	64	59	58	4	-	-	-	-	-	3	49	57	294
2	56	49	63	23	-	-	-	-	-	5	49	74	319
3	46	43	39	17	4	-	-	-	-	3	32	109	293
4	37	40	46	18	6	2	-	-	-	18	22	72	261
5	33	21	37	12	7	2	-	-	2	38	24	63	239
6	23	8	13	14	9	4	-	-	7	46	26	43	193
7	1	4	9	12	17	4	-	1	8	45	22	67	190
8	-	1	4	5	12	2	-	6	15	56	15	31	147
9	1	3	-	2	12	1	2	12	16	59	1	16	125
-10	-	-	-	-	3	5	8	13	23	30	1	6	89
>10	-	-	-	-	10	32	56	86	93	71	1	6	355
Totaal	515	418	414	116	80	52	66	118	164	387	339	799	3468
Aantal voor T < 0°C	166	142	78	1	-	-	-	-	-	9	76	195	667
%	32	34	19	1	-	-	-	-	-	2	22	24	19
% van jaartotaal	5	4	2	-	-	-	-	-	-	0	2	6	19

3.4 Het toepassen van propaan, dat geloosd wordt uit een aantal, in het algemeen buiten het startbaancomplex geplaatste generatoren, zal eerst zin hebben wanneer de gevormde ijskristallen door de wind over de desbetreffende startbaan worden verspreid. Daarbij mag de windsnelheid niet te klein zijn. Immers, in dat geval zouden de ijskristallen reeds voor ze de startbaan bereiken zodanig kunnen zijn aangegroeid, dat ze uitvallen en dus niet aan het gestelde doel, het verbeteren van het zicht op de startbaan zelf, beantwoorden. Een enigszins homogene zichtverbetering ware in dat geval nauwelijks te verwachten.

Zou anderzijds de windsnelheid te groot zijn, dan zouden de kristallen op het moment, dat ze de baan bereiken wellicht geen voldoende tijd hebben gehad om tot de voor uitvallen noodzakelijke afmetingen aan te groeien, waardoor niet het maximale resultaat zou worden verkregen.

Onderstellen we een druppeldiameter van 10μ en een uiteindelijke kristaldiameter van 100μ (valsnelheid van enige tientallen cm per sec.), dan is volgens Houghton de noodzakelijke groeitijd van de orde van 100 tot 200 sec.

Bedraagt de gemiddelde afstand van de generatoren tot de desbetreffende baan A meter en de snelheidscomponent van de wind loodrecht op de baan V m sec⁻¹, dan moet dus bij voorkeur gelden:

$$V \approx \frac{A}{100} \text{ tot } \frac{A}{200}$$

In Parijs bedroeg A ongeveer 500 m (sterk wisselend). Dit zou betekenen, dat een windsnelheid van 2,5 tot 5 m sec⁻¹ het meest geschikt zou zijn voor de propaanexperimenten te Orly. In werkelijkheid behaalde men successen bij windsnelheden van 1-4 m sec⁻¹ hetgeen dus van de te verwachten grootteorde is.

Het lijkt redelijk ook bij een eventueel toepassen van de methode op Schiphol te denken aan een orde van A van 500 m.

Nemen wij verder aan, dat bij een zicht van 800 m of meer de aan te brengen verbetering niet meer van groot belang is en dat de overblijvende gevallen slechts met de propaanmethode te behandelen zijn indien de windsnelheid ten minste 1 m sec⁻¹ en hoogstend 5 m sec⁻¹ bedraagt, dan blijven in de verschillende in aanmerking komende maanden de volgende gevallen over:

jan.	feb.	mrt.	apr.	okt.	nov.	dec.
103	61	31	1	1	43	77
tegen oorspronkelijk						
166	142	78	1	9	76	195

Zou bovendien de verbetering in het zicht ongeveer een factor 3 bedragen, hetgeen op Orly in het algemeen werd gevonden, dan zouden bruikbare zichtverbeteringen slechts kunnen worden bereikt bij een oorspronkelijk zicht boven 200 m, dit is in

jan.	feb.	mrt.	apr.	okt.	nov.	dec.
70	44	11	0	1	20	57

gevallen.

Uit deze beschouwingen moge blijken, dat, hoewel dezerzijds niet wordt getwijfeld aan de principiële mogelijkheid het zicht te verbeteren door toepassing der propaanmethode, het niet waarschijnlijk is te achten dat een afdoende verbetering in meer dan ca. 30% der gevallen met mist bij een temperatuur beneden 0°C zal kunnen worden bereikt.

3.5 Belangrijk is ten slotte de hoogte boven de grond tot waar het propaan werkzaam is.

Op Orly werd deze hoogte globaal gemeten met behulp van vertikaal schijnende zoeklichten (wolkenlichten) waarbij de door de ijskristallen bereikte hoogte werd bepaald uit de waargenomen scintillatie.

In alle gevallen (17 experimenten) werd gevonden, dat de kristallen tot ca. 100 m hoogte kwamen, mits althans de windsnelheid 1 m sec^{-1} of meer bedroeg.

Het wordt mogelijk geacht, dat bij stralingsmist waarbij de stabiliteit van de benedenste luchtlagen zeer groot is, een hoogte van niet meer dan 20 m door de kristallen zal worden bereikt. In het algemeen reikt de mist in dergelijke situaties echter evenmin hoog. Zou de mist bij zwakke wind en grote stabiliteit wel hoog reiken, dan zou de mogelijkheid bestaan om ijsvormende stoffen door helicopters te laten sproeien boven de betrokken baan. Daarbij zou dan geen gebruik kunnen worden gemaakt van propaan in verband met brandgevaar maar een freon (vermoedelijk freon 22 met een kookpunt van $-40,8^{\circ}\text{C}$ en een kritische temperatuur van $+96^{\circ}\text{C}$) zou wellicht mogelijkheden bieden.

Voor zover de mogelijkheid een helicopter in te zetten niet zou bestaan lijkt het derhalve voorzichtig het aantal gevallen, dat met de hier beschreven methode kan worden behandeld, verder te reduceren tot bijv. 25% van het totaal aantal mistgevallen bij negatieve temperaturen.

3.6 Resumerend moge worden gesteld, dat de Franse propaanmethode in principe goede mogelijkheden biedt om onder gunstige omstandigheden mist die samengaat met negatieve temperatuur te verdrijven of althans dunner te maken.

De methode is niet duur en levert voor zover dezerzijds kan worden beoordeeld geen enkel gevaar op voor de luchtvaart. De toepassingsmogelijkheid van de methode is echter beperkt, omdat ze niet slechts gebonden is aan temperaturen beneden 0°C maar ook omdat de zichtverbetering bij zeer lage beginwaarden vermoedelijk niet voldoende zal zijn. Ook de windsnelheid werkt beperkend.

Dit betekent, dat naar schatting ongeveer 25 tot 30% van het totaal aantal mistgevallen met negatieve temperaturen met succes door middel van de propaanmethode zou kunnen worden behandeld, dat is voor Schiphol iets van de orde van 5% van het totaal aantal mistgevallen.

4. Mistverdriving door middel van het toevoeren van warme, droge lucht.
(Verslag van en beschouwingen over de voordracht van M. Dubois van de Société Bertin)

4.0 Van de diverse methoden die zijn ontwikkeld om mist bij temperaturen boven 0°C te verdrijven (methoden die dan in het algemeen ook in situaties met negatieve temperaturen kunnen worden toegepast) zijn die, welke gebaseerd zijn op vermindering van de vochtigheid door menging met warme lucht de belangrijkste.

Bekend is de toepassing van branders aan weerszijden van de landingsbaan, zoals in de oorlogsjaren in Engeland plaatsvond (FIDO).

Een soortgelijk systeem is ook in Frankrijk in onderzoek waarbij nu echter niet open branders aan weerszijden van de baan staan opgesteld maar waarbij warme lucht door loodrecht op de baan geplaatste buizen wordt aangevoerd. Transmissometerwaarnemingen hebben aangetoond, dat inderdaad door middel van dit systeem een zichtverbetering wordt bewerkstelligd.

Het systeem heeft echter het nadeel, dat ook aan het Engelse systeem dat gedurende de oorlog werd toegepast, kleefde: Door de betrekkelijk geringe horizontale snelheid waarmee de warme lucht over de baan wordt gevoerd, zal hij snel opstijgen ten gevolge van zijn geringere dichtheid. Dit betekent, dat de warme lucht in grote hoeveelheid moet worden toegevoerd hetgeen in de praktijk wordt bereikt door de branders bij het FIDO-systeem of de toevoerbuizen bij het gemodificeerde Franse systeem op zeer korte onderlinge afstand - men zou kunnen zeggen kwasi-continu - langs de baan te plaatsen. Het zal duidelijk zijn, dat het rendement van de gebruikte energie door het snel opstijgen van de warme lucht betrekkelijk gering zal zijn, m.a.w. de hier geschetste methoden zijn duur. Geschat wordt, dat de Engelse methode ongeveer 500.000 l

brandstof per uur vereist om een voldoende baanlengte "mistvrij" te maken.

De Société Bertin heeft nu een onderzoek ingesteld naar de mogelijkheid om de hete-lucht-methode economischer te maken. De grondgedachte is hierbij geweest, de hete lucht een zodanig grote horizontale snelheid te geven, dat, ondanks de neiging van deze lucht ten gevolge van zijn geringe dichtheid op te stijgen, een groter gedeelte van de baan per massa-eenheid hete lucht wordt bestreken dan bij de oorspronkelijke systemen het geval was.

Het lag voor de hand hierbij te denken aan de hete lucht die door straalmotoren wordt uitgeblazen.

- 4.1 Het systeem Bertin, waarbij hete lucht over de baan wordt geblazen met behulp van straalmotoren, is en wordt op uitgebreide schaal beproefd op een in aanleg zijnd 105 m breed parkeerplatform op Orly.

De gebruikte straalmotoren (momenteel vier) zijn twee aan twee aan weerszijden van het platform opgesteld en wel op een onderlinge afstand van ca. 200 m. Zij zijn geplaatst op "affuiten", zodat ze kunnen worden verplaatst en gedraaid. Hierdoor kan zo veel mogelijk profijt worden getrokken van de heersende wind met dien verstande, dat door het gunstig richten van de straalmotoren een zo groot mogelijk baanoppervlak met hete lucht wordt bestreken. Schattingen geven aan, dat onder deze omstandigheden voor het "mistvrij" maken van een adequaat baanoppervlak slechts ca. 40.000 l brandstof per uur nodig zou zijn; dit betekent het gebruik van 10   15 straalmotoren of, anders gesteld, dat er op gerekend wordt, dat per straalmotor een baanlengte van ca. 100 m mistvrij wordt gemaakt. Een dergelijke redenering heeft natuurlijk slechts dan zin, wanneer het touch down-punt binnen enge grenzen vastligt. Anders zou men zonder twijfel een grotere afstand met behulp van de straalmotoren moeten bewerken hetgeen uiteraard de kosten evenredig zou doen stijgen. Ze blijven dan echter toch lager dan die welke zijn verbonden met de FIDO-methode. Onder alle omstandigheden is de straalmotormethode echter aanmerkelijk duurder dan de propaanmethode!

Oude straalmotoren, die niet meer geschikt zijn voor gebruik in vliegtuigen, zouden voor de mistverdriving zeker nog dienst kunnen doen, zodat de totale investeringskosten wellicht niet onoverkomelijk hoog zouden zijn.

- 4.2 Het succes van de methode hangt af van de temperatuurverhoging, die door de uitlaatstraal van de motor wordt teweeggebracht in afhankelijkheid van de afstand.

In de eerste plaats kan worden gesteld, dat de temperatuurstijging, die noodzakelijk is om de aanwezige mistdruppels te doen verdampen, afhangt van de hoeveelheid vloeibaar water per kg lucht en van de heersende temperatuur.

In het algemeen onderstelt men op grond van verrichte metingen, dat het watergehalte van mist hoogstens 1 gram per m³ bedraagt. Een waterhoeveelheid van 1 gram per m³ komt theoretisch ongeveer overeen met een meteorologisch zicht van 200 m. Onderstaande tabel geeft de temperatuurstijging, ΔT , die nodig is om deze hoeveelheid water te doen verdampen, zulks in afhankelijkheid van de heersende temperatuur, T.

Tabel 3. Temperatuurstijging nodig voor het doen verdampen van 1 gr. water per m³ lucht

T	-20	-10	0	10	20	30 °C
ΔT	9	5	3	2	1	0,5 °C

Uit deze tabel volgt, dat bij een bepaald watergehalte het moeilijker is de mist door verwarming te verdrijven naarmate de temperatuur lager is. Hierbij dient echter in acht te worden genomen, dat juist bij lage temperaturen het watergehalte moeilijk 1 gr./m³ zal kunnen bedragen. Bij -20°C zou dit immers betekenen, dat de lucht eerst 9° beneden zijn dauwpunt zou moeten zijn afgekoeld, hetgeen niet wel mogelijk lijkt. Daarom kan worden gesteld, dat een temperatuurverhoging van ca. 2°C onder alle omstandigheden ruimschoots voldoende moet worden geacht. Deze waarde werd ook door de vertegenwoordiger van de Société Bertin opgegeven.

De vraag is nu, hoe snel de lucht na het verlaten van de straalmotor afkoelt. Aangezien de beweging van de hete lucht in eerste instantie horizontaal plaatsvindt, behoeft geen rekening te worden gehouden met de opwaartse kracht en kan de door een verticale doorsnede gaande impuls evenals het warmtetransport constant worden verondersteld. Dat betekent, dat zowel de maximale snelheid als het maximale temperatuuroverschot omgekeerd evenredig met de lineaire afmetingen van de straaldorsnede afnemen.

Deze lineaire afmeting, waarvoor men bij de in het algemeen aanwezig geachte Gauss-verdeling van ΔT en de luchtsnelheid meestal twee maal de afstand R neemt waarop deze beide grootheden tot 1/e van hun maximale waarde zijn afgenomen, neemt nu volgens de theorie recht evenredig toe met de afstand tot de denkbeeldige puntbron waarin de straal gedacht kan worden te ontspringen en wel ongeveer in een verhouding

van 1 op 4. Dit wil zeggen, dat de op bovenstaande wijze gedefinieerde diameter, $2R$, van de straal ongeveer 10 m zal bedragen op een afstand van 40 m tot de denkbeeldige puntbron.

Nemen we een doorsnede van ca. 75 cm aan nabij de uitstroomopening van de straalmotor, dan zullen dus op een afstand van 150 m de temperatuur en de windsnelheid tot ongeveer $1/50$ van de waarde in de uitstroomopening zijn gereduceerd.

In werkelijkheid zal de afname iets sneller gaan en wel omdat:

- 1e er natuurlijk toch enige neiging tot opwaarts gerichte beweging is waardoor een deel van de warme lucht ontsnapt;
- 2e omdat het aardoppervlak het gehele proces stoort, zowel door de wrijving waardoor de snelheid in de straal wordt verkleind als door de grote warmtecapaciteit die ΔT reduceert.

Als uitstroomtemperatuur en uitstroomsnelheid van de op Orly gebruikte straalmotoren werden opgegeven 400°C en 500 m sec^{-1} . Op een afstand van 150 m zou de excessetemperatuur theoretisch dus nog ca. 8°C moeten bedragen.

In werkelijkheid werd tijdens proeven, die door verslaggever werden bijgewoond, een temperatuurstijging waargenomen van ca. 6°C op 130 m afstand bij een windsnelheid van ca. 10 m sec^{-1} . Gezien het zeer globale karakter van de bovenstaande beschouwingen komen deze waarnemingsresultaten dus voldoende overeen met hetgeen kon worden verwacht.

Uitgaande van de boven ingevoerde Gaussische verdeling van ΔT kan dus op grond van het vermelde waarnemingsresultaat worden aangenomen, dat op 130 m afstand van de straalmotor een temperatuurstijging van 2°C of meer zal plaatsvinden over een totale breedte van ca. 40 m. Dit betekent dus, dat althans op deze afstand een voldoende temperatuurstijging plaatsvindt over een voldoende breedte van de startbaan.

Het is mogelijk het temperatuurverschil tussen straal en omgeving nog iets meer in detail na te gaan, althans theoretisch.

Uitgaande van de boven aangenomen verdeling (ΔT neemt omgekeerd evenredig met de afstand af, de verdeling loodrecht op de lengterichting in de straal is Gaussisch) vinden we een afstand, d , van de essentiële 2°C -isotherm tot de as van de straal in afhankelijkheid van de afstand, x , tot de straalmotor (strikt genomen tot de schijnbare puntbron, die 3 m achter de uitstroomopening van de motor ligt) als gegeven in tabel 4.

Tabel 4. Verloop van de 2°C-isotherm

x	=	10	20	50	100	150	200	300	400	500	600 m
ΔT	=	120	60	24	12	8	6	4	3	2,4	2°C
R	=	1,25	2,5	6,25	12,5	18,75	25	37,5	50	62,5	75 m
e^{d^2/R^2}	=	60	30	12	6	4	3	2	1,5	1,2	1,0
d	=	2,5	4,7	16	22,5	26	28	26	20	11	0 m

De opgegeven waarden voor d komen globaal met de uit de waarnemingen gevonden waarden overeen behoudens een snellere afname van d met x bij afstanden boven 150 m. Tussen 50 en 450 m afstand van de straalmotor wordt theoretisch dus een strook van ten minste 30 m breedte (2 d) mistvrij gemaakt. In werkelijkheid neemt het nuttig effect sneller met de afstand af om de redenen die hiervoor reeds zijn genoemd, maar het blijft onder alle omstandigheden ruimschoots de moeite waard.

Er zal steeds rekening moeten worden gehouden met de heersende wind en men zal de straalmotor daarbij zodanig moeten richten, dat de hete lucht zoveel mogelijk de desbetreffende baan bestrijkt. Zo zal men bijv. bij een windrichting, die samenvalt met de baanrichting, de hete lucht onder een hoek van ongeveer 45° op de baan moeten blazen. Het gevolg hiervan zal zijn, dat de straal t.o.v. de aarde niet door rechte lijnen wordt begrensd, maar dat de hete lucht zich geleidelijk meer in de baanrichting zal uitbreiden. De begrenzing wordt daardoor kromlijinig. Het is een zaak van ervaring de meest voordelige aanpassing aan de heersende wind te vinden. (fig. 1).

4.3 Het systeem Bertin is nog niet in een operationeel stadium van zijn ontwikkeling gekomen zoals dat met de propaanmethode (43 generatoren rond de luchthaven Orly) in feite wel min of meer het geval is. Wel beschikt men zo langzamerhand over vrij veel ervaring met betrekking tot het nuttig effect van het systeem bij mistsituaties. Deze ervaring is echter beperkt tot experimenten op het boven genoemde platform. Bij deze experimenten is een vrij uitvoerig meetprogramma uitgevoerd, waarvan hier een kort overzicht zal worden gegeven.

a) Met behulp van transmissometers werd de zichtverbetering gemeten. De waarde van σ (zie vergel. (2) in par. 3.1) verminderde in een bepaald geval met een factor 10, van ongeveer 5 km⁻¹ tot 0,5 km⁻¹, overeenkomend met een tienvoudige zichtverbetering! In andere gevallen werd slechts een verbetering van 300 tot 500 m geconstateerd.

- b) Temperatuur en wind werden gemeten langs 10 m hoge en verplaatsbare masten en geregistreerd. De temperatuur in een 6-tal niveaus, de wind in 3 niveaus.
- De windmeting, die met behulp van in kokers geplaatste hittedraad-anemometers werd uitgevoerd, gaf een combinatie van verticale en horizontale windsnelheid. Men meent uit de registraties conclusies omtrent verticale bewegingen (remous en convectie) te kunnen afleiden. Hierop zal nog nader worden teruggekomen.
- c) Het stromingsbeeld werd onderzocht door stof met de straalstroom mee te blazen. Uit deze proeven blijkt, dat de stijgende beweging eerst belangrijk wordt op een afstand van ongeveer 100 m van de straalmotor.
- d) Onder mistomstandigheden werd de hoogte tot welke de zichtverbetering optrad, gecontroleerd met behulp van kleine kabelballonnetjes en wolkenlichten. Uit deze controle bleek, dat de ruimte waarin het zicht verbeterde in hoogte geleidelijk met toenemende afstand tot de motor toenam om na ca. 100 m sterk vertikaal te groeien ten gevolge van de daar overwegende convectie. Ter plaatse werd de bovenlucht dan ook veelal zichtbaar. Een en ander is nader uitgebeeld in fig. 1, overgenomen uit het rapport van de Société Bertin. De verticale uitgebreidheid van de mistvrij gemaakte ruimte vormt bij de methode Bertin dus geen probleem.
- e) De afstand waarop baanlichten konden worden waargenomen werd tijdens de proeven gecontroleerd.

4.4 Hoewel zowel uit theoretische overwegingen als uit de uitgevoerde experimenten blijkt, dat de methode Bertin zeker goede mogelijkheden biedt om mist te verdrijven, kleven er toch bezwaren aan, die een nader onderzoek noodzakelijk doen schijnen.

Hoewel niet het belangrijkste moge toch in de eerste plaats worden gesteld, dat het om voor de hand liggende redenen minder gewenst is een aantal straalmotoren dicht (afstand tot baanrand hoogstens 10 m ?) langs een landingsbaan te plaatsen. Gedeeltelijk ingraven zou misschien mogelijk zijn, maar in verband met de variabiliteit van de windrichting zal toch in ieder geval een draaibare uitstroomopening bovengronds moeten blijven.

Het aardoppervlak speelt een rol bij het verhinderen van het opstijgen der hete lucht. Afgezien van het veiligheidsprobleem, dat in de voorgaande alinea werd aangeduid, is ook dit een reden om de straal zo

dicht mogelijk langs het baanoppervlak te laten spuiten. Hoewel de maximum temperatuur in de straal snel met toenemende afstand afneemt, bedraagt ze op 20 m van de motor toch altijd nog iets van de orde van 60°C. Het is de vraag in hoeverre op de duur het baandek door min of meer regelmatig contact met lucht van deze temperatuur nadelig wordt beïnvloed. Belangrijk is het daarbij te bedenken, dat de hete luchtstroom steeds op ongeveer dezelfde plaatsen met het baandek in contact komt. Volgens het JOR.-Panel van ICAO ligt voor asfalt de temperatuur waarbij beschadiging begint op te treden bij 99°C, voor beton bij 132°C. Deze gegevens hebben echter betrekking op een blootstelling van hoogstens twee minuten!

Verreweg het belangrijkste probleem wordt echter veroorzaakt door de krachtige luchtbeweging nabij de straalmotor. Speciaal verticale luchtbewegingen zullen aanleiding tot moeilijkheden kunnen geven voor toestellen die in de landing zijn en een snelheid bezitten die betrekkelijk dicht bij de overtreksnelheid ligt.

Het is in principe mogelijk om tussen twee klassen verticale bewegingen te onderscheiden:

- a) de convectieve stroming ten gevolge van de geringere dichtheid van de hete lucht;
- b) de verticale turbulentie-component.

Van de sterkte van de convectieve stroming kan een - zij het ook uiterst ruwe - schatting worden gemaakt.

Volgens de theorie van de verticale vloeistofstraal met van de omgeving afwijkende dichtheid geldt voor de snelheid w in de as van zo'n straal

$$w = \left[\frac{A}{z} + \frac{B}{z^3} \right]^{1/3}$$

waarbij A en B constanten voorstellen en z de hoogte boven de puntbron.

Nu hangt A samen met Q , waarbij $Q = \pi R^2 w \Delta T$ en wel geldt ongeveer $A = a \frac{g}{T} Q$ waarbij a een constante van de orde 1 is, g de versnelling van de zwaartekracht en T de in de atmosfeer heersende temperatuur.

Voor een straalmotor geldt volgens het voorgaande ongeveer

$$Q = \pi 0,375^2 \times 500 \times 400 = 88600 \text{ } ^\circ\text{C m}^3 \text{ sec}^{-1} \text{ en } \frac{g}{T} Q \approx 3000 \text{ m}^4 \text{ sec}^{-3}.$$

We nemen nu aan, dat de uit de motor afkomstige lucht ongeveer 100 m in vrijwel horizontale richting over de baan wordt geblazen alvorens met opstijgen te beginnen. De waarde van R is daarvolgens tabel 4 12,5 m. Nemen we verder aan, dat de straal abrupt van horizontaal afbuigt naar vertikaal, dan kan dus ook voor de opstijgende warme lucht $R = 12,5$ m

worden gesteld en moet voor z op het niveau van het aardoppervlak 100 m worden genomen.

Aangezien aan het aardoppervlak de verticale snelheid nul is geldt

$$0 = \left[\frac{3000}{100} + \frac{B}{10^6} \right]^{1/3}$$

of $B = -3 \cdot 10^7$.

Voor de verticale snelheid in afhankelijkheid van de hoogte h boven het aardoppervlak geldt ten slotte

$$W_h = \left[\frac{3000}{100+h} - \frac{3 \cdot 10^7}{(100+h)^3} \right]^{1/3}$$

Tabel 5 geeft de verticale snelheid op verschillende hoogte in afhankelijkheid van h:

Tabel 5. Vertikale snelheid van verhitte lucht op 100 m van motor.

h	0	10	20	30	40	50 m
W_h	0,0	1,7	2,0	2,1	2,2	2,2 m sec ⁻¹

Hoewel, zoals reeds werd opgemerkt, de bovenstaande berekening uiteraard slechts als zeer globaal mag worden beschouwd en theoretisch zeker niet juist kan worden geacht, mag toch wel de conclusie worden getrokken, dat indien een landingsbaan met behulp van straalmotoren mistvrij wordt gemaakt, zich op enige tientallen meters hoogte boven deze baan verticale luchtstromingen van enige tientallen meters doorsnede zullen bevinden met opwaartse snelheden van enige meters per seconde en op onderling regelmatige afstanden, afhankelijk van de onderlinge afstand van de gebruikte straalmotoren. Het is daarbij niet uitgesloten, dat zich tussen de opwaartse stromingen zwakke neerwaartse stromingen zullen bevinden, zodat een vliegtuig tijdens de landing een soort golfbeweging zal ontmoeten met een golflengte van ca. 100 m. In hoeverre dit als een ernstig beletsel moet worden beschouwd om de methode in te voeren zal vermoedelijk slechts op empirische gronden kunnen worden uitgemaakt. Opgemerkt moge nog worden, dat van Franse zijde de optredende verticale snelheden op maximaal ongeveer 3 m sec⁻¹ werden geschat, zulks op grond van de waarnemingen. De overeenkomst met bovengegeven schattingen is bevredigend.

Het lijkt waarschijnlijk, dat de turbulente bewegingen nabij de baan, die behalve met de temperatuur van de uitgespoten lucht ook samenhangen

met de grote snelheid waarmee dit uitspuiten plaatsvindt, ongeveer dezelfde snelheden zullen vertonen als boven voor de convectieve stromingen werd gevonden, dat is dus enkele meters per seconde.

Het turbulente stromingsveld zal echter uiteraard veel onregelmatiger zijn dan het convectieve en vermoedelijk veel overeenkomst vertonen met het turbulente stromingsveld boven een sterk verhitte baan.

De horizontale afmetingen van de turbulente lichamen zullen van dezelfde orde zijn als de afstand waarover in een richting loodrecht op de straal de snelheid sterk verandert, dat is dus van dezelfde orde als de boven ingevoerde grootte R . Tot op een afstand van 150 m van de motor moet derhalve rekening worden gehouden met afmetingen der turbulente lichamen van enige meters tot enige tientallen meters. Ook deze waarde is in overeenstemming met de Franse schattingen.

- 4.5 Het moge uit het voorgaande duidelijk zijn, dat de "methode Bertin" om mist te verdrijven met behulp van hete lucht die door straalmotoren over de baan wordt geblazen, zeker mogelijkheden biedt.

Slechts bij zeer lage temperaturen ($\sim -40^{\circ}\text{C}$ en lager) zal de methode falen omdat dan de door de verbranding geproduceerde waterdamp juist aanleiding tot condensatie zal geven (vergelijk vliegtuigwolken!). Dergelijke uitzonderlijke omstandigheden komen echter slechts tijdens continentale winters en in arctische en antarctische gebieden voor en zijn voor een beoordeling van de waarde van de methode voor West-Europa niet van belang.

Het lijkt verslaggever toe, dat de bruikbaarheid van de methode vrijwel uitsluitend zal worden bepaald door de invloed op landende vliegtuigen van de turbulentie en de convectieve stromingen, die ten gevolge van de werkwijze ontstaan. Ten einde hier tot een uitspraak te kunnen komen zal echter nog nader moeten worden geëxperimenteerd. Daarbij zal enerzijds dienen te worden nagegaan welke convectieve en turbulente bewegingen tijdens de landing van moderne vliegtuigen onder toch altijd nog matige zichtcondities toelaatbaar zijn. Anderzijds is nog niet voldoende bekend in hoeverre men vlak voor de landing de straalmotoren zal kunnen stoppen zonder dat onmiddellijk het zicht weer tot beneden de limieten terugloopt. De opgegeven schattingen van enige minuten leken verslaggever niet voldoende gefundeerd te zijn.

5. Samenvatting

De pogingen welke in Frankrijk worden ondernomen om te komen tot een praktisch bruikbare mistverdrivingstechniek dienen met aandacht te worden gevolgd.

Hoewel aan beide in onderzoek zijnde methoden bezwaren kleven of schijnen te kleven, zijn beide in principe in staat zichtverbeteringen met een factor 3 of meer teweeg te brengen. Speciaal de methode Bertin, die werkt met straalmotoren, lijkt goede mogelijkheden te bieden; anderzijds stelt deze methode de luchtvaart voor bepaalde vliegtechnische problemen.

Indien een volkomen betrouwbaar blindlandingssysteem zou kunnen worden ontwikkeld, zouden de in onderzoek zijnde mistverdrivingssystemen uiteraard veel van hun belangrijkheid verliezen.

Geheel waardeloos zouden ze echter vermoedelijk ook dan nog niet zijn.

maart 1960.

Dr. F.H. Schmidt.

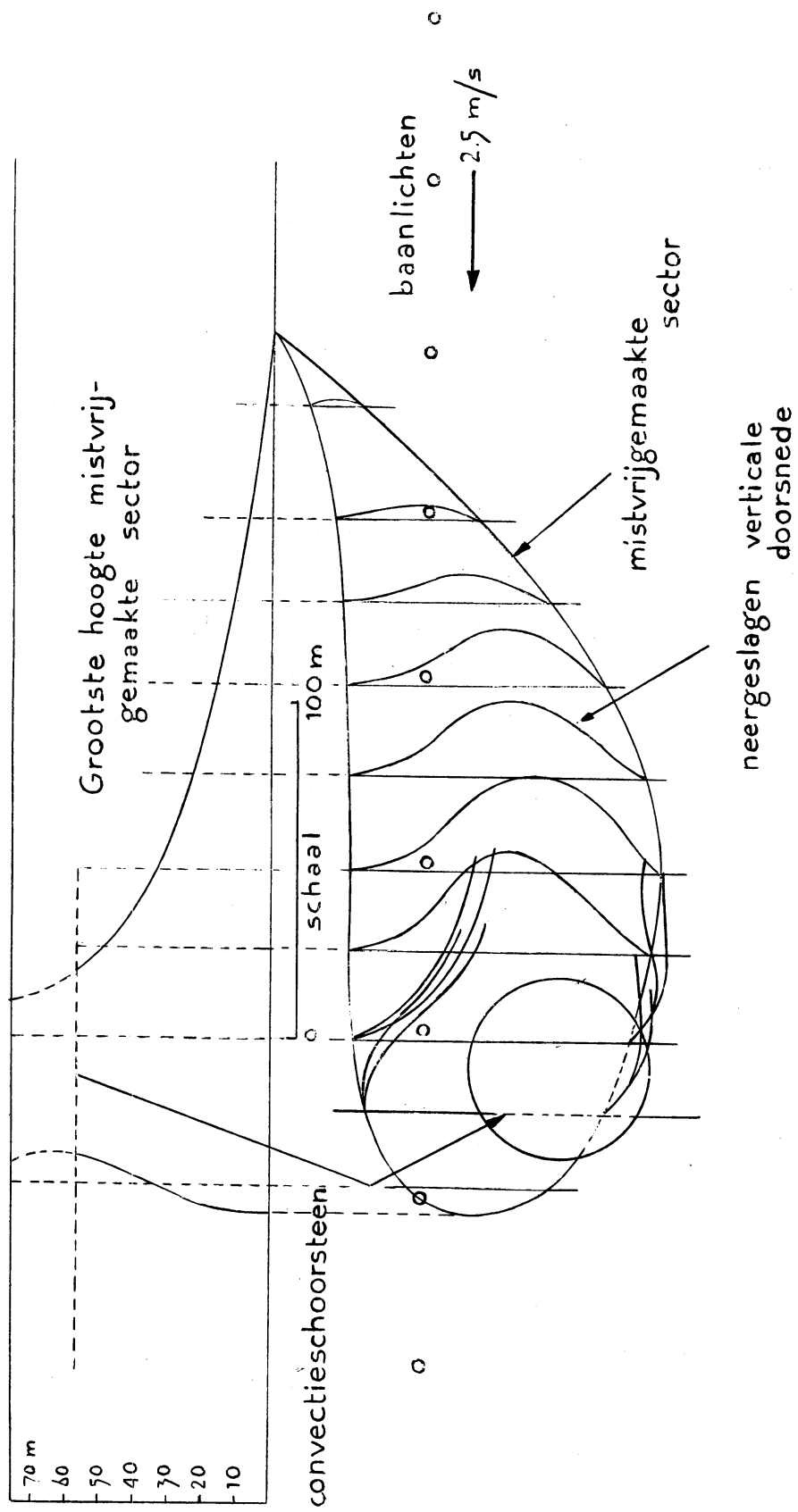


fig. 1