



AFBEELDING 1. | *Uitbarsting van de Eyjafjallajökull in april 2010. Foto: Fridgeirsson. Het uitvergroete vliegtuigje is van het formaat "Cessna".*

As in de machine: de uitbarsting van de Eyjafjallajökull en de gevolgen voor het vliegverkeer

BRAM ELSENAAR,
VLIEGTUIGBOUWKUNDIGE;
VOORMALIG MEDEWERKER VAN HET
NATIONAAL LUCHT- EN RUIMTE-
VAARTLABORATORIUM NLR,
BRAM.ELSENAAR@XS4ALL.NL

PIM BEUKENKAMP,
FACULTEIT GEOWETENSCHAPPEN,
UNIVERSITEIT UTRECHT

ARUN KARWAL, TESTVLIEGIER NLR

In april 2010 mocht er een aantal dagen boven een groot deel van Europa niet worden gevlogen als gevolg van de uitbarsting van de Eyjafjallajökull op IJsland (Afb. 1 & 2). In mei 2011 gebeurde dat nog een keer na de uitbarsting van de Grimsvötn. Het zuidelijk halfrond had in juni 2011 te maken met een grote uitbarsting van de vulkaan Puheyue in Chili. Dit leidde in al deze gevallen tot een totale ontwrichting van het luchtverkeer en tot grote economische schade. Vooral door de uitbarsting van de Eyjafjallajökull is het begrip "aswolk" bij velen bekend geworden. De bevolking in Europa werd een nieuwe ervaring rijker: een vulkaan bedreigde ons dagelijks leven. De aswolk had buiten IJsland geen gevolgen voor de gezondheid, de landbouw of het weer, maar des te meer voor het vliegverkeer en hield Europa wekenlang stevig in zijn greep. In het onderstaande artikel gaan we nader in op de uitbarsting van de Eyjafjallajökull en de gevolgen daarvan voor de vliegveiligheid in Europa.



Voorkomen en verspreiding van aswolken

Vulkaanuitbarstingen kunnen gepaard gaan met het uitstoten van aswolken die tot zeer grote hoogte kunnen stijgen. Om een idee te geven hoe vaak dat optreedt geeft de Duitse vulkanoloog Schmincke enkele gegevens (Schmincke, 2004). In de periode 1975-1985 zijn er ongeveer 400 vulkaanuitbarstingen geweest die gepaard gingen met een aswolk. Zo'n 20 à 30 daarvan bereikten hoogtes van 10 km, de kruishoogte van het luchtverkeer. In de laatste twee decennia van de twintigste eeuw zijn er meer dan 80 moderne straalvliegtuigen beschadigd door vulkanische as. In ongeveer tien gevallen vielen één of meer motoren tijdens de vlucht uit, waarbij soms nauwelijks een crash vermeden kon worden. In afbeelding 3 is een uitbarsting te zien van de Mt. Redoubt in Alaska op 21 april 1990. De aspluim bleef daarbij als een paddestoelvormige wolk hangen rond de tropopauze. Deze aswolk zal zich onder invloed van de wind verspreiden, geheel vergelijkbaar met de verspreiding van een rookpluim uit een schoorsteen. Afhankelijk van de condities in de atmosfeer zal de aswolk snel worden verspreid of juist als een geconcentreerde pluim over grote afstand blijven voortbestaan. De grotere deeltjes in de aswolk zullen snel neerslaan, de kleinere deeltjes kunnen zich over grote afstand verspreiden. Op zo'n 10 km hoogte komen er ook *jetstreams* voor, thermische winden die een snelheid kunnen hebben tot wel 400 km/uur. De luchtvaart maakt daar dankbaar gebruik van: ze worden opgezocht om een duwtje in de rug te krijgen of, bij tegenwind, juist vermeden. Deze "straalstromen" dragen in belangrijke mate bij aan de verspreiding van de aswolk.

De uitbarsting van de Eyjafjallajökull in 2010

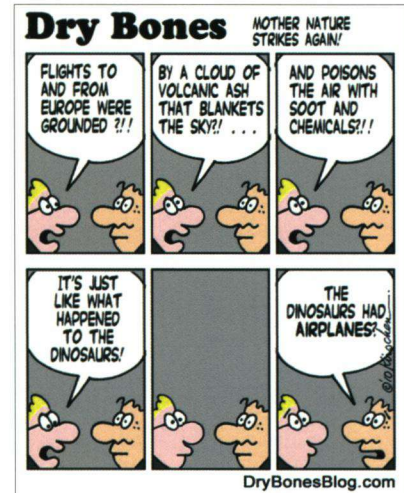
De Eyjafjallajökull (ook E-16 genoemd) is één van de 30 actieve vulkaansystemen op IJsland. De "eilandbergvulkaan" (*eyja* = eiland, *fjalla* = berg, *jökull* = ijskap) is een stratovulkaan van bijna 1667 meter hoog met een ijskap van 80 km². De gesteenten zijn meestal basaltisch van samenstelling, maar een intermediaire samenstelling komt ook voor. Van de vulkaan is weinig bekend. In historische tijden is er een uitbarsting bekend uit 920, en de laatste eruptie dateert uit 1821-1823. Ten oosten van de vulkaan ligt de veel grotere Katla-vulkaan, die met een uitbarsting van eens in 40-80 jaar, één van de meest actieve en productieve vulkaansystemen van IJsland is. Men vreesde dat ook de Katla zich zou gaan roeren, aangezien die immers al jaren "over tijd" is. Beide vulkaansystemen maken deel uit van de *South Iceland Volcanic Belt* (SIVB) (Guðmundsson, 2010).

De uitbarsting van de Eyjafjallajökull in 2010 vond plaats in twee fasen: eerst een spleeteruptie en daarna een centrale eruptie (Schäffer, 2010). Van 21 maart tot 12 april spotten lavafontijnen uit twee spleten bij Fimmvörðuháls, gelegen tussen de Eyjafjallajökull en de Katla. Veel mensen kwamen op deze spectaculaire (toeristische) uitbarsting af. Op 13 april veranderde de effusieve spleeteruptie in een centrale explosieve eruptie, meer naar het westen. Ook de samenstelling van de lava veranderde: van olivijn-basaltisch (met 48% SiO₂) naar trachy-andesitisch. Vanaf 14 april kwam er een witte aswolk uit de krater van de met ijs bedekte top van de vulkaan. Toen het ijs voldoende was weggesmolten kleurde de wolk in de loop van de dag op 15 april donker. Ijs en water hadden plaatsgemaakt voor as en puin. Deze uitbarsting (Afb. 1) was veel heftiger dan de eerste tussen de E-16 en de Katla, doordat hij onder het ijs plaatsvond, en ijs en water direct in contact kwamen met magma. Dit leidt vaak tot *freatomagmatische* uitbarstingen, waarbij de aswolk een hoogte bereikte van 8-9 km (Volcanic Explosivity 4). De meeste as was zeer fijn (minder dan 5µ). De samenstelling was nogal gevarieerd, in het begin meer rhyolitisch, later meer basaltisch. Vanaf 19 april werd de uitbarsting minder explosief en kwam de aswolk minder hoog in de atmosfeer terecht. De tweede explosieve eruptiefase duurde tot 22 mei. Daarna keerde de rust weer terug op het eiland.

Het probleem van aswolken voor de luchtvaart

Een aswolk bestaat uit tefra en is van verschillende samenstelling, afhankelijk van het type vulkaan en uitbarsting (*). De vulkanische as kan mechanische

(*). Onder tefra verstaat men alle door de lucht getransporteerde vulkanische producten. Hiertoe behoren behalve vulkanische as (< 2 mm) ook uit puimsteen bestaande lapilli (2-64 mm). Tefra ontstaat met name bij explosieve uitbarstingen. Vulkanische as is geen verbrandingsrest; de term dateert nog uit de Oudheid toen men het vulkanisme relateerde aan onderaardse branden.



AFBEELDING 2. | "Dry Bones" cartoon.

beschadigingen veroorzaken aan de instrumenten en het luchtverversingssysteem of de cockpitramen zandstralen. Maar het gevaarlijkst is wel het effect op de motoren. In twee gevallen, beide met een Boeing 747, vielen alle motoren uit toen door een aswolk werd gevlogen. Het eerste geval was in 1982 met een British Airways vlucht boven Mount Galunggung in Indonesië, in het tweede geval een KLM vlucht in 1989 in de buurt van Mount Redoubt in Alaska. Gelukkig lukte het in beide gevallen één of meerdere motoren weer op gang te krijgen, maar wel nadat het vliegtuig in vrije val was geraakt van 11 naar 4 km hoogte.

Om te begrijpen wat de oorzaak is van motoruitval moeten we weten hoe een

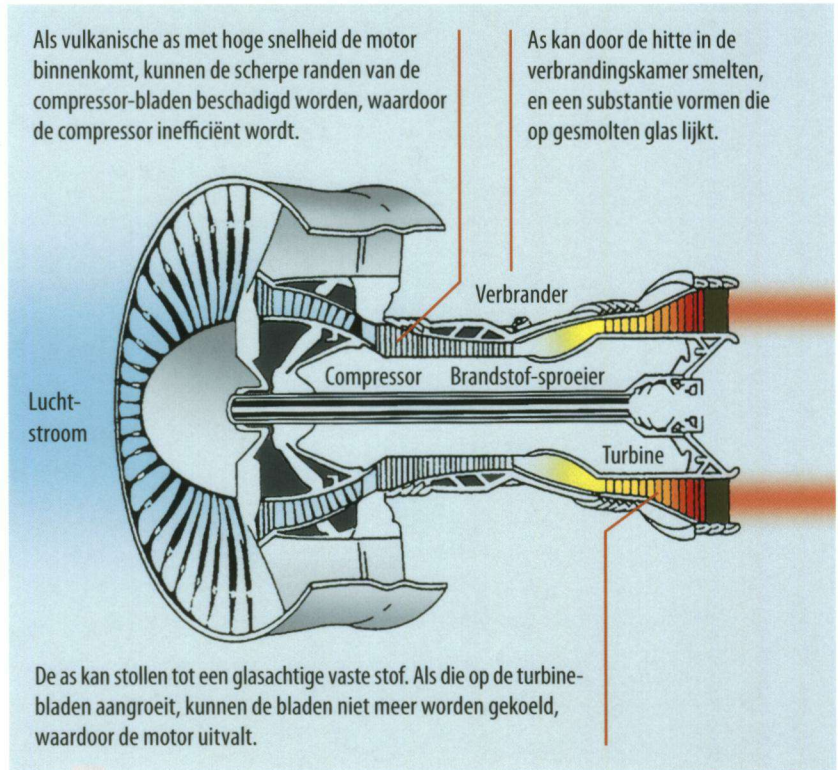


AFBEELDING 3. | Uitbarsting van de Mount Redoubt in Alaska op 21 april 1990. De enorme aswolk bereikte een hoogte van 14 km. De bovenste paddestoelwolk ligt op ongeveer 12 km hoogte op de grens van de troposfeer en de stratosfeer. (Bron: <http://www.avo.alaska.edu/volcanoes>). Op 15 december 1989 kwam een Boeing 747-400 van de KLM van Amsterdam naar Tokyo tijdens de tussenlanding op Anchorage in een dergelijke aswolk terecht.

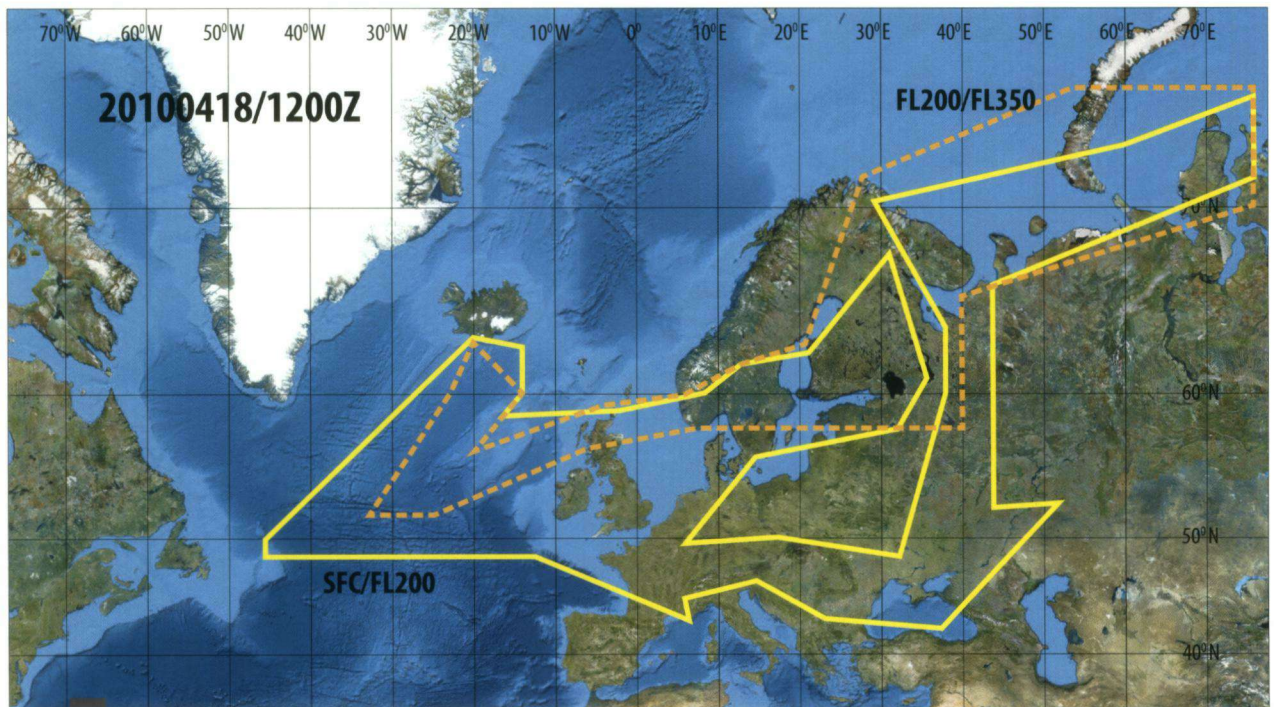


turbofanmotor in elkaar zit (Afb. 4). Aan de voorkant van de motor bevindt zich de luchtinlaat waarbinnen de fanbladen bewegen. Als het vliegtuig stil staat op de grond kan men in de motorinlaat de fanbladen vaak nog zien ronddraaien. De fan werkt op dezelfde manier als een ventilator. De lucht wordt aan de voorzijde aangezogen en aan de achterzijde van de motor met grotere snelheid uitgestoten, waardoor er stuwkracht ontstaat. De fan moet worden aangedreven en dat gebeurt door de eigenlijke straalmotor. Een klein deel van de lucht die de motor binnegaat wordt in het hart van de motor eerst door de compressor samengeperst en gaat dan de verbrandingskamer binnen, waar de brandstof wordt ingespoten en het mengsel vervolgens ontbrandt. De zeer warme verbrandingsgassen drijven daarna een turbine aan, vergelijkbaar met een windmolen, maar technisch veel geavanceerder. Deze turbine drijft dan weer de fan aan en daarmee is de cirkel gesloten. Het probleem met vulkanische as is nu dat de asdeeltjes met een hoge concentratie SiO_2 in de verbrandingskamer smelten tot vloeibaar glas en zich daarna afzetten op de turbinebladen. Die bladen worden gekoeld met lucht die uit de bladen stroomt. De luchtgaatjes raken verstopt, waardoor de temperatuur te hoog oploopt en zo

schade ontstaat aan de turbinebladen. Dit heeft weer tot gevolg dat de luchtstroming door de motor niet meer optimaal is en de motor kan uitvallen. Vliegtuigen vliegen vaker door stof en zand, etc., zonder dat er iets gebeurt; het is het siliciumdioxide (glasdeeltjes) in vulkanisch as dat deze reactie vertoont en daardoor zo gevaarlijk is voor de luchtvaart.



AFBEELDING 4. | Schematische werking van een turbofanmotor en de gevolgen van het invangen van as. Bron: Schmincke, 2004.



AFBEELDING 5. | Voorspelling van het Volcanic Ash Advisory Center (VAAC; MetOffice London) voor de Eyjafjallajökull op 18 april 2010 op twee niveaus (van 0-20.000 ft en van 20.000 tot 35.000 ft). Binnen de contouren is er mogelijk as aanwezig. Concentraties worden niet gegeven. Bijna heel Europa zit in de gevarenzone en daar mag niet worden gevlogen. Bron: VA Advisory VAAC, London.



De voorspelling van aswolken

Het probleem van de asdeeltjes is in de luchtvaart al veel eerder onderkend en heeft in 1991 geleid tot het opzetten van *Volcanic Ash Advisory Centers* (VAACs). Er zijn negen van dergelijke centra die met elkaar de hele aarde omvatten en elk een eigen gebied bedienen. In deze centra werken vulkanologen, weerkundigen en de luchtvaartindustrie samen. Ze zijn opgezet door de *International Civil Aviation Organisation* (ICAO; een agentschap van de Verenigde Naties) en zijn ondergebracht bij de meteorologische diensten, zoals de *MetOffice* in Exeter (Engeland) die verantwoordelijk is voor Engeland en het Noordelijk Transatlantisch gebied (waarbinnen IJsland ligt). Toulouse in Frankrijk zorgt voor de rest van Europa en Afrika. Op basis van een verspreidingsmodel wordt dan het gebied berekend waar as kan voorkomen (Afb. 5). Deze VAACs verstrekken de informatie aan alle belanghebbenden.

Wie bepaalt de veiligheid in de lucht?

Wie neemt nu de beslissing om al dan niet te gaan vliegen? Dat is in de luchtvaart wel goed, maar gezien de verschillende verantwoordelijkheden een beetje complex geregeld. In laatste instantie is altijd de piloot verantwoordelijk. Maar hij gaat af op adviezen en hij moet goede redenen hebben om van die adviezen af te wijken. Hoewel luchtvaart zeer internationaal is, zijn de nationale staten verantwoordelijk voor hun eigen luchtruim. In Nederland is dat de *Dienst Luchtvaart Inspectie* van het ministerie van Infrastructuur en Milieu, voorheen Verkeer en Waterstaat. Dat is dus de regelgever. In Engeland is dat de *Civil Aviation Authority* (CAA). Daarnaast is er, veelal ook per land, een instantie die het luchtverkeer regelt: de



AFBEELDING 6. | Geannuleerde vluchten van/naar Schiphol op 15/16 april 2010.

Air Navigation Service Provider (ANSP). In Nederland is dat de *Luchtverkeersleiding Nederland* (LVNL). Als elk land zo zijn eigen regels opstelt, schiet het niet op in Europa. Daarom is er op Europees niveau als regelgever de *European Aviation Safety Agency* (EASA) en als



AFBEELDING 7. | Verbeterde kwantitatieve voorspelling van het MetOffice van de asconcentraties voor 18 mei 2010 onder de 20.000 ft. Tijdelijke no-fly zone in het zwarte gebied, beperkt vliegen in het rode gebied. Bron: MetOffice Modelled Ash Concentration, uit NLR-CR-2010-252.

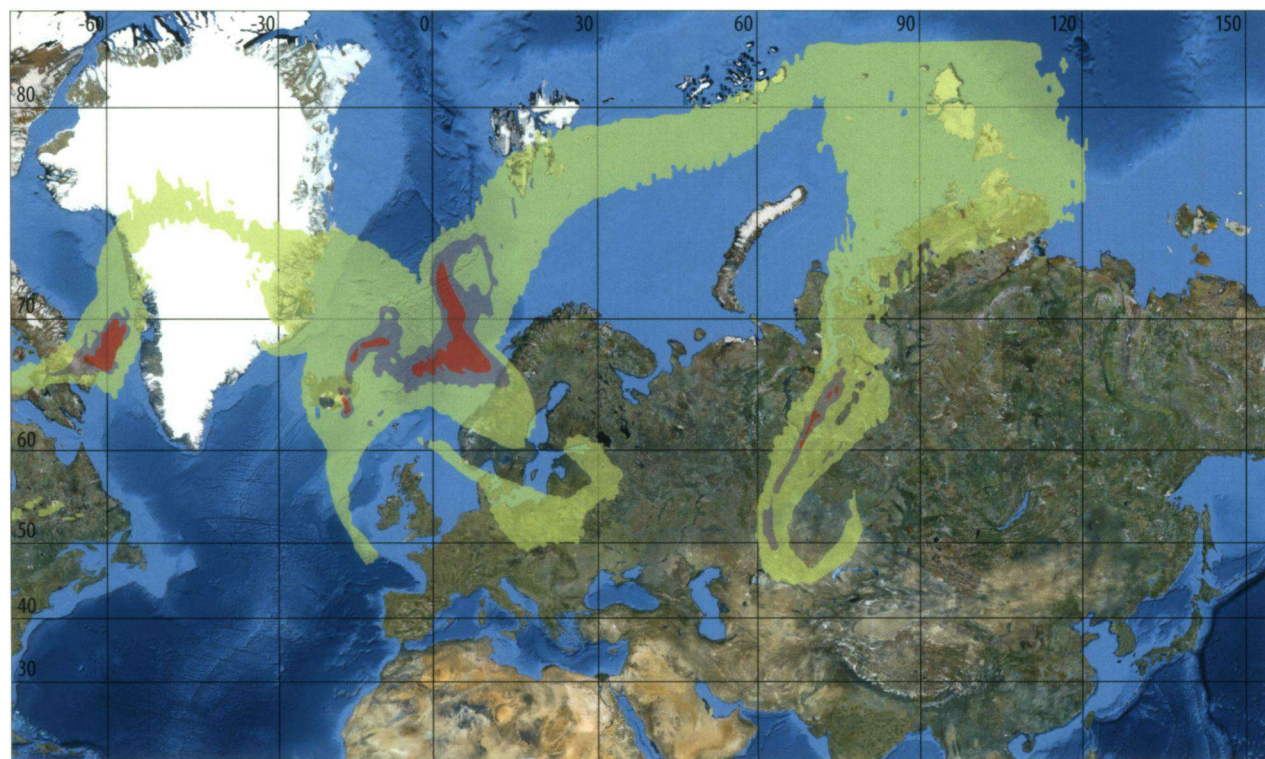
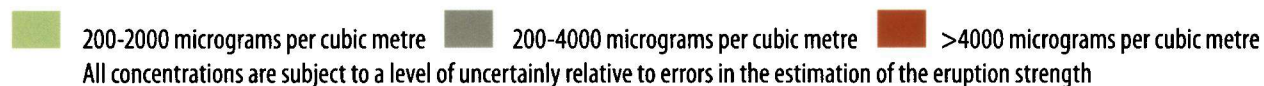


“uitvoerder” Eurocontrol in Brussel. De lokale uitvoerders (zoals de LVNL) hebben bepaalde taken overgedragen aan Eurocontrol. Eén van de belangrijkste organen van Eurocontrol is de *Central Flow Management Unit* (CFMU) in Brussel. Deze eenheid zorgt er voor dat het vliegverkeer in Europa met een minimum aan vertraging kan worden afgehandeld. Een vliegtuig mag pas opstijgen als er zekerheid is dat het ook op de verwachte aankomsttijd kan landen. De Europese commissie probeert al jaren dit hele proces van nationale en Europese instanties te integreren in één enkele “*Single European Sky*”-regelgeving, maar als gevolg van nationale belangen en gevoeligheden is dit een moeizaam proces.

De uitbarsting van de Eyjafjallajökull

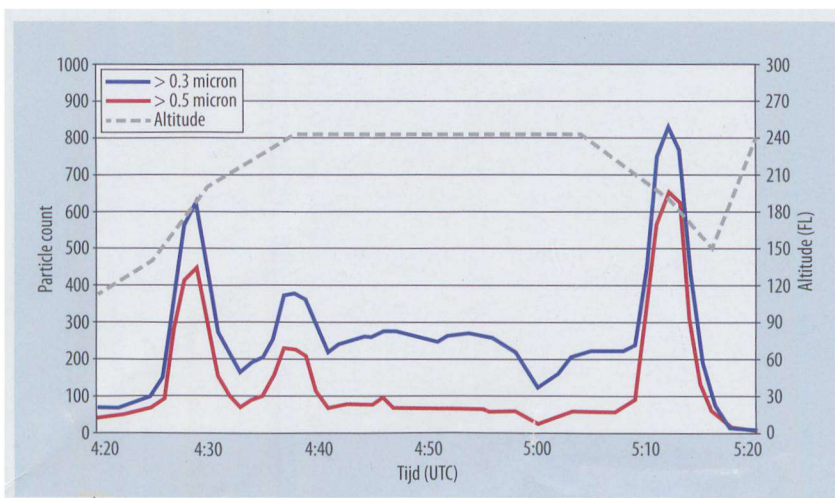
Bij de uitbarsting van de Eyjafjallajökull bleek de werkwijze van de *Volcanic Ash Advisory Centers* voor Europa toch niet tot een bevredigend resultaat te leiden. Op donderdag 15 april 2010 begon de centrale eruptie. Die produceerde een geweldige aswolk

die zich over bijna geheel Europa in een complex patroon verspreidde (Afb. 5 zie pagina 416). Op grond van de aanbevelingen van de VAAC werd vervolgens het luchtruim door de verschillende staten gesloten, gebaseerd op het principe “als er as in de lucht is mag er niet gevlogen worden” (Afb. 6). Iedereen kon dat begrijpen. Op zaterdag 17 april was er een strakblauwe lucht boven Nederland, maar toch mocht er geen vliegtuig de lucht in. De heer Hartman, directeur van de KLM, liet op de televisie duidelijk zijn ergenis blijken. De Nederlandse staat, en alle buurlanden, hadden echter het luchtruim gesloten op grond van Europese procedurele afspraken. De KLM had daar niet zo veel over te zeggen. Parallel daaraan liet de Europese Commissie ook nog eens weten dat de normale procedures om bij vertraging van de vlucht compensatie in geld te ontvangen van kracht bleven. Dit alles leidde in Nederland tot het opzetten van een crisisteam waarin alle betrokkenen zitting hadden. Het KNMI maakte berekeningen van de verspreiding van de aswolk met een beter model, het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium (NLR) maakte testvluchten om dit model te valideren. In eerste instantie visueel: waar zijn de aswolken zichtbaar. Ook andere landen hadden natuurlijk hetzelfde probleem en ook zij maakten berekeningen en testvluchten. Uiteindelijk werd op maandag 19 april op Europees nivo besloten om niet het hele Europese luchtruim te sluiten maar, afhankelijk van verbeterde voorspellingen (Afb. 7), in delen van het luchtruim boven Europa zogenaamde “*time limited zones*” in te stellen, waar verwacht werd dat de concentraties te hoog waren. Het principe “indien as, dan niet vliegen” werd vervangen door een criterium op basis van een maximale asconcentratie waaronder veilig vliegen mogelijk moet zijn. Die grenswaarde was in eerste instantie gesteld op 2 mg/m^3 , zoals berekend door VAAC-rekenmodellen. Nieuw in de besluitvorming was ook dat niet langer de nationale autoriteiten (in Nederland destijds het Ministerie van Verkeer en Waterstaat) het luchtruim zondermeer konden sluiten, maar dat de *Service Providers* (in Nederland de LVNL) de verantwoordelijkheid kregen voor een veilige vluchtuitvoering in gevallen dat er as in de atmosfeer is.



AFBEELDING 8. | Voorbeeld van de voorspelling van de asconcentraties zoals nu regelmatig uitgegeven door de VAAC (MetOffice London). Getoond wordt hier het geval van de uitbarsting van de Grimsvötn (IJsland) op 26 mei 2011 tussen FL 000 en 250. Blauw: concentratie kleiner dan 2 mg/m^3 , rood boven de 4 mg/m^3 (“no fly zone”) en grijs daartussenin (beperkt vliegen). Bron: MetOffice Air Ash Concentration Charts.





AFBEELDING 9. † Deeltjesconcentratie in de testvlucht van het NLR op 18 mei 2010 ter validatie van de asverspreidingsmodellen. Het dunne stippellijntje boven de gekleurde lijnen geeft aan op welke hoogte is gevlogen. Daaruit blijkt dat de as geconcentreerd zit in dunne lagen (Flight Level 120 = 12.000 ft = 4 km).
Bron: NLR-CR-2010-252.

De noodzaak voor een subtielere regelgeving

Het is begrijpelijk dat de regelgeving voor vliegveiligheid aan de conservatieve kant is. Het uitgangspunt van de aanbevelingen was oorspronkelijk dat het luchtruim dicht moet bij aanwezigheid van enige vulkanische as in de atmosfeer. Maar geschrokken van de enorme economische implicaties van deze algehele sluiting werd de regelgeving bijgesteld, in eerste instantie door de CAA, de Engelse regelgever. Niet alleen het voorkomen van as, maar ook de hoogte van de concentratie van de as werd daarbij bepalend. Als grens werd aangehouden dat boven 4 mg/m^3 niet mag worden gevlogen, maar onder 2 mg/m^3 wel. Daartussenin mag er alleen gevlogen worden onder bepaalde voorwaarden waaraan de luchtvaartmaatschappij moet voldoen (bijvoorbeeld na inspecties na elke vlucht). Deze concentraties worden met een verfijnd model berekend. De validatie van dit model is echter moeilijk. Ook daarbij is het Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium betrokken geweest. In een tweede serie testvluchten in mei 2010 werd apparatuur meegenomen om de deeltjes qua grootte te meten (Afb. 9). Het laatste woord over deze validatie is nog niet gezegd, omdat het meten van deeltjesgrootte iets anders is dan het meten van asconcentraties. Eén van de problemen bij de rekenmethode is dat de begincondities nauwkeurig bekend moeten zijn en ook op dat vlak zijn er maatregelen genomen om precieser de aard en omvang van de aswolk ter plaatse van de uitbarsting te kunnen beschrijven. Het lastige hier is dat de eventuele sluiting van het luchtruim gebaseerd is op een berekende asconcentratie (in milligram per kubieke meter), maar dat het niet mogelijk is om deze eenheid direct te meten met testvliegtuigen. Die meten vooral aantal en grootte van deeltjes per kubieke meter en dan ook nog eens met een gelimiteerde nauwkeurigheid. De modelpredicties kunnen daarom niet één-op-één gevalideerd worden: er moeten altijd aannames gedaan worden. Dit geldt zowel voor de berekening van de concentratie (VAAC-rekenmodel) als voor het omrekenen van meetgegevens naar asconcentraties (metingen testvliegtuigen).

Een verbeterde regelgeving

Na de uitbarsting van de Eyjafjallajökull heeft men inmiddels voldoende tijd gehad om de regelgeving bij te stellen. Op 13 en 14 april van 2011 (een maand vóór de eruptie van de Grimsvötn) is onder auspiciën van ICAO een grote "as-oefening" gehouden waaraan Europese luchtvaartmaatschappijen en Eurocontrol hebben meegedaan. Eén van de conclusies van deze oefening is dat in het geval van de uitbarsting van de Eyjafjallajökull onder de aangepaste regelgeving 70 % van de geplande vluchten veilig had kunnen worden uitgevoerd, dus driemaal zoveel als in 2010 het geval was. De VAAC's verspreiden nu regelmatig kaartjes waarin de asconcentraties voor twee verschillende vlieghoogten zijn aangegeven (Afb. 8). Op grond daarvan kunnen de lokale autoriteiten in nauwe samenwerking

met Eurocontrol aanbevelingen doen aan het vliegverkeer. De Grimsvötn-eruptie van mei 2011 heeft wederom geleid tot significante verstoringen van het luchtverkeer, maar door de nieuwe procedures en overlegstructuren was de impact een stuk minder groot dan een jaar eerder van de Eyjafjallajökull.

LITERATUUR

- Andeweg, B., 2010. Rustige uitbarsting op IJsland geeft grote problemen. *Geografie*, jrg.19, nr.6, pp.42-45.
- Fisher, R. et al., 1997. *Volcanoes. Crucibles of Change*. Princeton University Press, Princeton New Jersey.
- Guðmundsson, A.T., 2010. *Living Earth. Outline of the geology of Iceland*. Mál og menning, Reykjavik.
- Hooper, A., 2011. *Anatomie van een vulkaan*. Delft Integraal, 2011, nr.1, pp.6-9.
- Schäffer, D., 2010. *The eruptions of the Eyjafjallajökull 2010*. Verlag Dr. Andrea Rainer.
- Schmincke, H-U., 2004. *Volcanism*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg
- Schmincke, H-U., 2010. *Vulkanismus*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Thordarson, T. & Hoskuldsson, A., 2002. *Iceland*. Terra Publishing Harpenden.
- Thouret, J-C., 2010. *Volcanic hazards and risks: a geomorphological perspective*. In: I. Alcantara-Ayala & A.S.Goudie (eds): *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge University Press.
- Zimanowski, B., 2011. *Vulkanasche: Wie entsteht sie und was sind die Gefahren?* *Geographische Rundschau*, Jhrg. 63, Heft 6: pp.32-37

