



# **Ergebnisse der DLR-Falcon-Messungen in Vulkanasche-Wolken vom 18. April bis 3. Mai 2010 und Empfehlungen**

**Prof. Ulrich Schumann**

Die Falcon hat vom 19. April bis zum 3. Mai neun Messflüge zur Vulkanasche-Belastung über Europa durchgeführt. Die umfangreichen Ergebnisse der sehr erfolgreichen Messungen und ergänzenden Beobachtungen des DLR und seiner Partner lassen sich wie folgt zusammenfassen.

Am 19. April wurde eine Massenkonzentration von maximal ca. 60 Mikrogramm pro Kubikmeter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) über Leipzig gemessen. Die Messdaten der DLR-Falcon erlauben direkte Vergleiche mit den andauernden Lidar-Beobachtungen vom Boden aus in München (Ludwig-Maximilians-Universität, LMU), Leipzig (Institut für Troposphärenforschung, IfT) und Stuttgart (Universität Hohenheim) und helfen somit bei der Umrechnung der optischen Signale der Boden-Lidars in Asche-Massenkonzentrationen. Die Luft über Hamburg und Bilthoven in Holland war zu dem Zeitpunkt weitgehend aschefrei. Die Situation über Mitteleuropa war geprägt durch Vulkanasche von 4-5 Tagen Alter. Die Messungen bestätigten die vorhergesagte Verteilung der Vulkanasche. Die Konzentration war nach heutiger Kenntnis geringer als der inzwischen vorgeschlagene Grenzwert für sicheres Fliegen. Im Wesentlichen war die Belastung geringer als im Mittel über Saudi-Arabien infolge Wüsten-Staub-Bedingungen. Wegen der Schmelzfähigkeit der Vulkanasche war jedoch besondere Vorsicht angezeigt.

Messflüge am 22. und 23. April über Dänemark bis zur Südküste Norwegens und über die Ostsee bis nach Polen zeigten vor Oslo frische Vulkanasche mit mäßig hoher Schwefeldioxidkonzentration (4 nmol/mol) und mäßig hoher Vulkanaschekonzentration unter  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Diese Vulkanwolke wurde auch über der Ostsee sowie an den Lidar-Stationen in Leipzig und München beobachtet.

Am 29. April flog die Falcon, auf Bitten der Isländischen Flugsicherungsbehörde und der Universität Island und im Auftrag des Bundesverkehrsministeriums (BMVBS), des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und dem Bundesverband der Deutschen Fluggesellschaften von Oberpfaffenhofen mit Zwischenlandung in Edinburg nach Keflavik, dem Flughafen bei Reykjavik in Island. Auf dem Hinflug ragte die Vulkanwolke als weiße Wolkenfahne aus einer niedrigen Wolkenschicht heraus. Beim Anflug auf Keflavik wurde bestätigt, dass der Flughafen frei von Vulkanasche ist und gut angefliegen werden konnte – wieder in guter Übereinstimmung mit den Vorhersagen des Vulkanasche Zentrums in England.

Nach einem Regentag, an dem die optischen Messsysteme nichts hätten messen können, startete die Falcon am 1. Mai zu einem Messflug über die Vulkanaschewolke des Eyjafjöll-Vulkans. Die Vulkanaschewolke ragte klar aus einer durchbrochenen niedrigen Wolkenschicht in ca. 1 km Höhe heraus und war vom Flugzeug aus weit sichtbar. Sie reichte bis fast 6 km Höhe und war klar als schwarze breite Wolke erkennbar. Offenbar war der Vulkan wieder stärker als an den Vortagen. Die Falcon überflog den Vulkan und vermaß die Temperatur und Feuchte sowie das Windprofil und die Zusammensetzung der Atmosphäre schon auf der Luv-Seite des Vulkans. Mit dem Lidar an Bord querte die Falcon die Abgasfahne acht Mal in Entfernungen von 50 bis 200 km vom Vulkan und vermaß die Querschnittsfläche und die Windgeschwindigkeit (ca. 15 m/s) in der Aschefahne. Die Aschewolke war hier etwa 40 km breit und im Mittel 3 km dick. Damit wurde erstmals der Volumenstrom der Aschewolke gemessen. Es war deutlich erkennbar, dass für die Ausbreitung der Aschewolke am Anfang auch die Erwärmung durch den Vulkan und Kondensationswärme von kondensierendem Wasserdampf wichtig waren. Die Aschepartikel wanderten mit dem Wind in verschiedenen Höhen mit einer von der Höhe abhängigen Geschwindigkeit in leicht unterschiedliche Richtungen. Die großen Partikel mit mehr als 50 Mikrometern Durchmesser fielen rasch aus der Wolke heraus. In die Vulkanwolke konnte man keinesfalls hinein fliegen. Das wäre viel zu gefährlich gewesen. Die Falcon hat daher an diesem Tag nicht in-situ in der Aschefahne gemessen.

Am 2. Mai startete die Falcon zunächst zu einer erneuten Überprüfung der nachweislich geringen Aschebelastung im Flughafenbereich von Keflavik. Dann überquerte sie erneut die Aschefahne in ca. 100 km Entfernung vom Vulkan. Anschließend flog die Falcon von etwa 63.6 Grad Nord, 19.6 Grad West, in südwestlicher Richtung auf den Atlantik hinaus bis etwa 60 Grad Nord und 20 Grad West. Dort drehte sie Richtung Osten und flog dann mehrfach bis 60 N, 9.5 Grad Ost mit dem Lidar messend über die inzwischen 7 Std. alte Vulkanwolke. Die Asche war nicht mehr ganz so schwarz wie an der Quelle, aber doch deutlich schwärzer als am 19.4. über Leipzig. Offenbar hatte sich die Asche am Vulkan verändert, der jetzt weniger mit Gletscher-Wasser in Berührung kam als vor dem 20. April.

Die Falcon stieg auf dieser Flugstrecke allmählich von 9 km Flughöhe auf 3.4 km Höhe ab. Die Crew entschied sich, in die oberste Schicht der Vulkanwolke hinein zu fliegen. An den seitlichen Rändern erschien dies als zu gefährlich, da das Lidar zeigte, dass der Übergang von aschefreier Luft zu einer stark belasteten Aschewolke schlagartig erfolgte. Die Falcon hat dann für knapp drei Minuten in der Vulkanasche gemessen. Die Messungen zeigten hohe Konzentrationen von Partikeln kleiner als ca. 30 Mikrometer. Noch größere Partikel wurden nicht angezeigt, obwohl das von französischen Partnern (Laboratoire de Météorologie Physique, CNRS, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand) beigestelltes Instrument bis zu 800 Mikrometer messen kann. Wahrscheinlich waren die großen Partikel aus der obersten Schicht bereits nach unten herausgefallen. Sie waren aber vermutlich noch im unteren Teil der Aschewolke vorhanden. Die Spurengas-Instrumente zeigten die für frische Vulkanwolken typische sehr hohe Schwefeldioxidkonzentrationen (mehr als 150 nmol/mol) und hohe Kohlemonoxidanteile (bis zu 180 nmol/mol). Zudem wurden verringerte relative Feuchten und verringerte Ozonkonzentrationen (10-60 nmol/mol) gemessen. Dies deutet auf komplexe luftchemische und physikalische Prozesse hin: heterogene Chemie und Absinken der Luftmasse im Einflussbereich eines Hochdruckgebietes. Die Crew hat die erhöhte Schwefeldioxidkonzentration gerochen. Beim Durchflug der Aschewolke wurde es in der Kabine der Falcon merklich dunkler. Die im Flug gemessene Licht-Absorption durch Asche und die hohen Konzentrationen an Feinstaub und an großen Partikeln von bis zu 30 Mikrometern Größe veranlasste die Crew, diese Schicht schnellstmöglich nach oben

wieder zu verlassen. Nach etwa einer weiteren Stunde landete die Crew am späten Abend des 2. Mai sicher in Stornoway auf den Äußeren Hebriden vor Schottland.

Insgesamt wurden damit wertvolle Messungen über die Eigenschaften der Vulkanasche gemessen, die am Vortag, 7 h früher schon einmal mit Lidar vermessen worden war. Dieses „Lagrangesche Experiment“ war so geplant und wurde am Folgetag, nach Alarmierung durch das DLR, mit Messungen anderer Institute vom Boden aus in Irland und von einem andern Flugzeug aus über Schottland bei insgesamt abnehmenden Konzentrationen fortgeführt. Damit liegt jetzt ein einmaliger Datensatz zur Überprüfung von Modellrechnungen und Vulkan-Asche-Vorhersagen vor.

Die Triebwerke der Falcon wurden am nächsten Morgen, als sie wieder abgekühlt waren, mittels Boroskopie inspiziert. Weder an den beiden Treibwerken noch am Flugzeug wurden Anzeichen für Vulkanasche gefunden. Die Falcon flog daraufhin am 3. Mai zurück nach Oberpfaffenhofen bei München.

Am 6. Mai wurden die wissenschaftlichen Ergebnisse auf der internationalen Tagung der Europäischen Geophysikalischen Vereinigung von den Wissenschaftlern des DLR Instituts für Physik der Atmosphäre in Wien der Fachwelt vorgetragen. Zu den Schlussfolgerungen gehörten neben den Erkenntnissen über den europäischen Flugbetrieb während der Vulkan-Phase auch viele der oben skizzierten, neuen wissenschaftlichen Erkenntnisse. Insbesondere wurde der Massenstrom von Asche-Feinstaub, der bis Mitteleuropa transportiert werden kann, auf 3000 kg/s abgeschätzt. Dieser Wert muss aber noch weiter überprüft werden. Dazu gehört auch eine genauere Analyse der optischen Eigenschaften von Vulkanasche, die in Island und an Bord der Falcon auf Probenträgern gesammelt wurden. Der wahre Wert des Massenstroms kann noch größer sein.

Die Falcon steht derzeit wieder einsatzbereit in Oberpfaffenhofen. Der Vulkan war am 5. Mai vorübergehend wieder stärker geworden zu sein. Die Aschewolke reichte wieder in größere Höhen (bis zu 8 km). Die Aschewolke könnte den Flugverkehr über Irland und England beeinträchtigen aber zieht dann vorerst auf den Atlantik hinaus. Zudem gibt es weitere wissenschaftliche Fragen, weswegen die Falcon erneut zum Messeinsatz kommen könnte.

Aus den Messungen lassen sich auch Maßnahmen für die bessere Organisation bei Vulkanausbrüchen ableiten. In Zukunft wird es Grenzwerte für die sichere Luftfahrt geben. Die Vorhersagen müssen dann nicht nur die Anwesenheit einer Aschewolke vorhersagen, sondern auch die Masse-Konzentration, was, wie auch Modellierer in anderen Instituten betonen, viel schwieriger ist. Die Notwendigkeit für den Betrieb eines Notfall-Flugzeuges, nicht nur für Vulkanasche sondern auch für andere Gefahren, ist klar belegt. Zudem hat sich die enge Verbindung zwischen dem DLR und den operationellen Diensten (wie dem Deutschen Wetterdienst) und der internationalen Forschung an Großforschungs- und Universitätsinstituten sehr bewährt. Diese gehört systematisch ausgebaut und mit besseren Kommunikationswegen verstärkt. Zudem wird man in Zukunft Flugzeuge, Satelliten und Lidar-Systeme verstärkt auf solche Extremsituationen vorbereiten und dann kurzfristig einsetzen können. Damit kann, wie der Fall zeigt, Milliarden Schäden von der europäischen Volkswirtschaft abgewendet werden. Im Mittel bricht jede Woche irgendwo auf der Welt ein Vulkan aus.