

## Über die Rolle von Vulkanen zur Validation des Verifikationsregimes zur Einhaltung des Atomteststopabkommens am Beispiel des Eyjafjallajökull Ausbruches vom Frühjahr 2010

A. Becker (1), G. Wotawa (2), P. Mialle (1), M. Krysta (1), N. Brachet (1), and J. Coyne (1)

(1) CTBTO, International Data Centre, Vienna, Austria (andreas.becker@ctbto.org, +43 1 2630 5874), (2) ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie and Geodynamik, Hohe Warte 38, A-1190 Wien (gerhard.wotawa@zamg.ac.at)

Das Provisorische Technische Sekretariat (PTS) der vorbereitenden Kommission (PrepCom) für die Organisation über das umfassende Atomteststopabkommen (CTBTO: Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization) baut seit seiner Gründung im Jahre 1997 ein globales Beobachtungsnetz auf. Dieses besteht aus 321 global verteilten Messstationen welche befähigt sind, sowohl die seismo-akustischen Signale als auch die radioaktiven atmosphärischen Spurenbeimengungen einer nuklearen Explosion in jedweder Umgebung (atmosphärisch, unterirdisch, Unterwasser) zu detektieren. Für letztere Detektionen bedarf es eines operationellen Verfahrens zur Rückverfolgung auf dessen Quellregion. Dies geschieht zunächst spezifisch für eine Messung durch die Bestimmung der korrespondierenden zeitabhängigen Quell-Rezeptor Sensitivitätsfelder (QRS). Diese Felder enthalten darüber hinaus alle Informationen um mittels eines softwaregestützten interaktiven Inversionsverfahrens jene Detektionen, welche auf dieselbe mögliche Quellregion hinweisen, zusammenzustellen. Das entwickelte Messszenario lässt sich dann invertieren und auf seine wahrscheinlichste Quellregion zurückverfolgen.

Zur operationellen Bestimmung der QRS wird das diagnostische Lagrangesche Partikel-Trajektorienmodell FLEXPART (Stohl et al., 2005) im Rückwärtsmodus basierend auf den Analysewindfeldern des EZMWF betrieben. Aufgrund des diagnostischen Ansatzes, kann das Modell problemlos sowohl im Rückwärts- als auch im Vorwärtsmodus betrieben werden, wobei der Rückwärtsmodus vorzuziehen ist, wenn lediglich Messinformationen an einer der 80 Radionuklidmessstationen ohne jeden weiteren Anhaltspunkt zur Quelle vorliegen. Im umgekehrten Falle, z.B. bei einem angekündigtem und/oder einer bereits seismisch lokalisiertem Explosion (Becker et al., 2010), ist der Vorwärtsmodus das Mittel der Wahl. In jedem Falle kann die Quellortsbestimmung nur das Raumzeitfenster zur Auswahl des richtigen seismo-akustischen Ereignisses einschränken, die genaue Quellortsbestimmung erfolgt immer mit der seismo-akustischen Technologie. Dennoch werden an die Genauigkeit der vom PTS und ZAMG verwendeten Methode zur Quellortsbestimmung (Wotawa et al., 2003) je nach seismischer Aktivität des betrachteten Gebietes hohe Anforderungen an Genauigkeit und Güte gestellt um eine seismisch genau vermessene Explosion letztendlich als nukleare Explosion zu charakterisieren.

Dieser Schritt der Charakterisierung des umfassenden Messszenarios als das Resultat einer nuklearen Explosion obliegt nicht dem PTS, sondern den Mitgliedstaaten der Vertragsorganisation (CTBTO). Um dieser Aufgabe besser gerecht zu werden, hat eine Anzahl von Staaten sog. Nationale Datenzentren (NDZs) aufgebaut, welche direkt mit dem Internationalen Datenzentrum der CTBTO verbunden sind, und die dort verwendeten Verfahren mittels eigener oder vom PTS übernommener Methoden nachvollziehen. Für das Land Österreich übernimmt die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik diese Rolle.

Eine akzeptierte Methode die die Güte von atmosphärischen Ausbreitungsrechnungen zu bestimmen, ist die Multi-Modell Ensemble Methode von Galmarini (2004), welche am PTS verallgemeinert wurde, um sie sowohl im Vorwärts- als auch im Rückwärtsmodus betreiben zu können (Becker et al., 2007). Das Hauptproblem besteht dabei immer in der Verfügbarkeit von Referenzfällen. In diesem Zusammenhang bieten Vulkane, insbesondere jene mit sichtbarer und messbarer Aschenwolkenentwicklung und Ausbreitung, geeignete Referenzfälle in den für das Rückverfolgungssystem relevanten Skalen. Vulkane haben dabei sogar eine ‚dual use‘ Funktion, denn sie liefern dem PTS und den angeschlossenen NDZs gleichzeitig sog. ‚ground truth‘ Ereignisse für die seismischen und Infraschall Stationen des Internationalen Monitoring Systems.

Wir wollen dies mit dieser Arbeit am Beispiel des Ausbruches des Eyjafjallajökull in Island ab dem 24. April 2010 zeigen. In einer Zusammenschau von satellitengestützten und in-situ Beobachtungen der Aschewolke und Ausbreitungsrechnungen des PTS, der ZAMG und des 'WMO Volcanic Ash Advisory Centre' London soll die exzellente Kongruenz der Ausbreitungsrechnungen untereinander, und auch die ausgesprochen genaue Vorhersage zum Eintreffen der modellierten Aschewolke an Messstationen, aufgezeigt werden. Die am PTS auch betriebene Infraschalltechnologie lieferte darüber hinaus gute Anhaltspunkte über den Verlauf der Eruptionen. Diese Messungen sind besonders interessant, weil sie immer und unmittelbar, das Einsetzen von vulkanischer Aktivität detektieren können währenddessen satellitengestützte Aufklärung vergleichsweise langsam und potentiell durch Bewölkung limitiert ist. Darüber hinaus ermöglichen diese Infraschallmessungen einen Vergleich der gemessenen Aktivität des Vulkans mit dem vermittels Inversion gemessener Konzentrationen rekonstruierten Quellszenario. Dieser Vergleich bietet eine weitere Möglichkeit, die am PTS und der ZAMG verwendeten Ausbreitungsmethoden zu verifizieren. Der Eyjafjallajökull hat somit nicht nur eine eher dramatische Rolle für die zivile Luftfahrt, sondern auch eine hilfreiche Rolle im Bereich der Verifikation von Ausbreitungsmodellen und des CTBTO Infraschallsystems, gespielt.

## Literatur

- Becker, A., G. Wotawa, Ringbom, A. and P.R.J. Saey, 2010: Backtracking of Noble Gas Measurements Taken in the Aftermath of the Announced October 2006 Event in North Korea by Means of PTS Methods in Nuclear Source Estimation and Reconstruction. *Pure Appl. Geophys.* **167**, 581-599.
- Becker, A., G. Wotawa, L.-E. De Geer, P. Seibert, R.R. Draxler, C. Sloan, R. D'Amours, M. Hort, H. Glaab, P. Heinrich, Y. Grillon, V. Shershakov, K. Katayama, Y. Zhang, P. Stewart, M. Hirtl, M. Jean and P. Chen (2007), Global backtracking of anthropogenic radionuclides by means of a receptor oriented ensemble dispersion modelling system in support of Nuclear-Test-Ban Treaty verification. *Atmospheric Environment* **41**, 4520-4534.
- Galmarini S., R. Bianconi, W. Klug, T. Mikkelsen, R. Addis, S. Andronopoulos, P. Astrup, A. Baklanov, J. Bartniki, J.C. Bartzis, R. Bellasio, F. Bompay, R. Buckley, G.T. Geertsema, H. Glaab, M. Kollax, M. Ilvonen, A. Manning, U. Pechinger, C. Persson, E. Polreich, S. Potemski, M. Prodanova, J. Saltbones, H. Slaper, M.A. Sofiev, D. Syrakov, J.H. Sørensen, L. Van der Auwera, I. Valkama, Zelazny, R., 2004a: Ensemble dispersion forecasting – Part I: concept, approach and indicators. *Atmospheric Environment* **38**, 4607-4617.
- Stohl, A., C. Forster, A. Frank, P. Seibert, and G. Wotawa (2005), Technical note: The Lagrangian particle dispersion model FLEXPART version 6.2, *Atmos. Chem. Phys. bf 5*, 2461– 2474.
- Wotawa, G., L.-E. De Geer, P. Denier, M. Kalinowski, H. Toivonen, R. D'Amours, F. Desiato, J.-P. Issartel, M. Langer, P. Seibert, A. Frank, C. Sloan, and H. Yamazawa (2003), Atmospheric transport modelling in support of CTBT verification—overview and basic concepts. *Atmospheric Environment* **37**, 2529-2537.