

Die Aschewolken des Eyjafjallajökull – auch im Nationalen Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL) klar messbar

Von März bis Mai 2010 stiess der isländische Vulkan Eyjafjalla grosse Mengen Vulkanasche in die Atmosphäre aus und legte den Flugverkehr in weiten Teilen Europas zeitweise lahm. Dieses aussergewöhnliche Ereignis konnte auch in der Schweiz durch die Messungen des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL) nachgewiesen werden. Dabei wurden wichtige Informationen über die Konzentration und die chemische Zusammensetzung der Vulkanaschewolken gewonnen. Während die Auswirkungen der Vulkanaschewolke für den Flugverkehr erheblich waren, bestand in der Schweiz keine Gefahr für die Gesundheit der Menschen und der Umwelt.

Nachweis auf dem Jungfraujoch am Abend des 17. April 2010

Von der Empa durchgeführte Modellrechnungen sagten voraus, dass am 17.04.2010 die Vulkanaschewolke die Schweiz erreichen würde (Abbildung 1). Tatsächlich wurde an der NABEL-Station Jungfraujoch am frühen Abend dieses Tages ein starker Anstieg der Konzentrationen von Schwefeldioxid (SO_2) und Feinstaub (PM_{10}) gemessen (Abbildung 2).

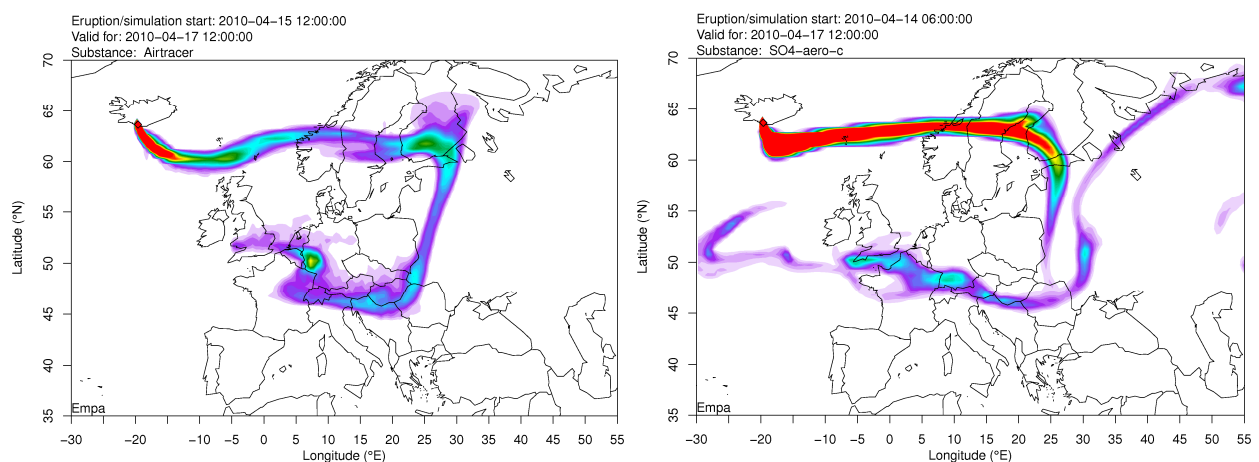


Abbildung 1: Simulierte Ausbreitung der Aschewolke des Vulkans Eja fjalla über Europa für den 17.04.2010 um 13 Uhr Lokalzeit, (links) wie sie am 16.04. vorhergesagt wurde und (rechts) wie sie im Nachhinein mit verbesserten Eruptionstärken simuliert wurde. Gezeigt sind links totale Asche-Säulenkonzentrationen auf einer relativen Skala für ein passives Aerosol, während rechts absolute Konzentrationen für ein realistisches vulkanisches Aerosol dargestellt sind.

Die Konzentration von Kohlenmonoxid (CO) stieg dabei nicht an, ein Hinweis dafür, dass die erhöhten SO_2 - und PM_{10} -Belastungen nicht aus regional verschmutzten Luftmassen europäischer Ballungsräume stammten. Die am 17.04.2010 und während der nächsten Tage auf dem Jungfraujoch gemessenen PM_{10} -Konzentrationen waren zwar recht hoch, vergleichbare Messwerte kommen jedoch auch hier immer wieder vor. Insbesondere während Episoden mit Transport von Saharastaub werden häufig noch höhere PM_{10} -Werte gemessen.

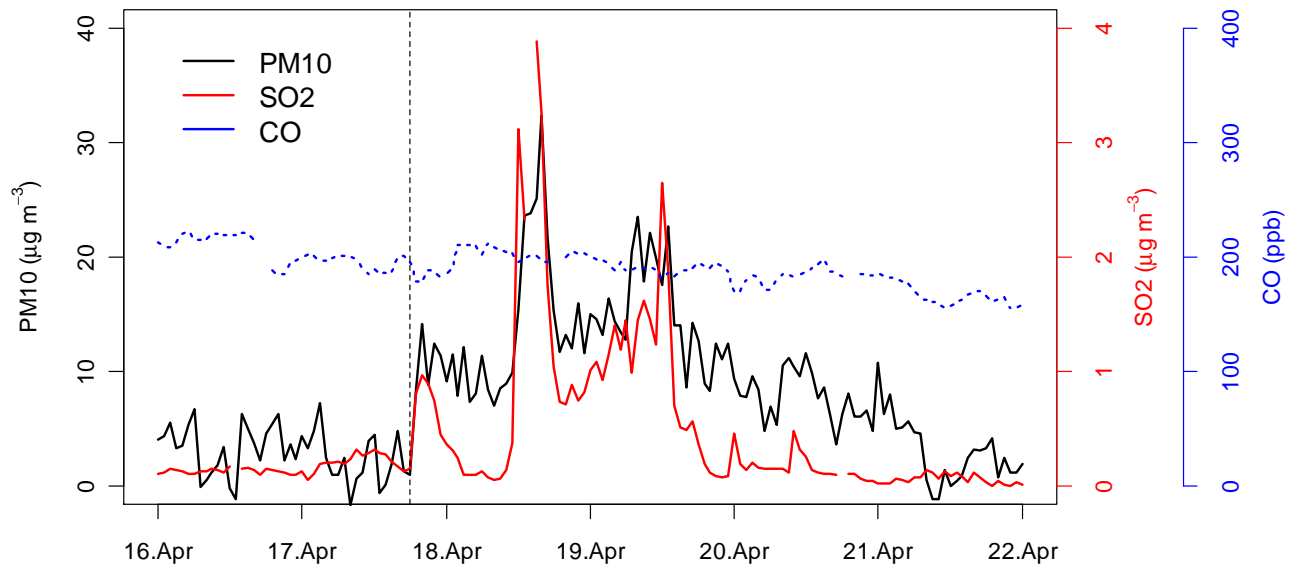


Abbildung 2: Verlauf der Konzentrationen von Feinstaub (PM10; y-Achse links in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft), Schwefeldioxid (SO₂, y-Achse rechts in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft) und Kohlenmonoxid (CO, unterbrochene Linie; y-Achse rechts in ppb) an der NABEL-Station Jungfrauoch während der Vulkanasche-Episode vom 17.04. bis 20.04.2010. Die vertikale unterbrochene Linie am 17.04.2010 um 18 Uhr kennzeichnet den Zeitpunkt, an dem die Vulkanaschewolke die Messstation Jungfrauoch erreichte.

Eindeutige chemische Signatur der Vulkanasche

Eine Analyse der chemischen Zusammensetzung von Feinstaubproben während dieser Episode zeigte klar die chemische Signatur der Vulkanasche. Vom 17.04.-20.04.2010 waren die Konzentrationen von einigen Metallen (z.B. Titan – siehe Abbildung 3) sowie Elementen der Seltenen Erden stark erhöht. Diese Elemente sind typisch für die isländische Vulkanasche. Der Beitrag der Vulkanasche zum gesamten PM10 kann am Jungfrauoch leicht aus der Differenz von PM10 während und vor (bzw. nach) der Vulkanasche-Episode abgeschätzt werden. Am 18.04.2010 und 19.04.2010 betrug die PM10-Tagesmittelwerte 14.1 µg/m³ und 14.8 µg/m³, die Vulkanasche trug an diesen beiden Tagen etwa 11 µg/m³ zur gesamten PM10-Belastung bei.

Nicht überall in der Schweiz gelangten die Aschepartikel bis in bodennahe Schichten der Atmosphäre. So war Mitte April von den tiefer gelegenen NABEL-Messstationen einzig die Station Basel-Binningen durch die Vulkanasche-Wolke stark beeinflusst. Dies zeigte sich in deutlich erhöhten Konzentrationen von PM10 und SO₂ während der Zeit vom 18.04.-20.04.2010, sowie in der chemischen Zusammensetzung des Feinstaubs.

Wie auf dem Jungfrauoch war die Konzentration von Titan am 18.04.2010 auch in Basel-Binningen sehr stark erhöht (240 ng/m³ gegenüber einem Jahresmittelwert von 2 ng/m³). Daraus kann der Beitrag der Vulkanasche zum gesamten PM10 an diesem Tag in Basel-Binningen bestimmt werden: Die Vulkanasche dominierte am 18. April mit einem Anteil von etwa 44 µg/m³ den Tagesmittelwert von PM10 (51.5 µg/m³). Die PM10-Konzentrationen waren an diesem Tag überdurchschnittlich hoch, sie stellten jedoch keine Gefährdung für die menschliche Gesundheit und die Umwelt dar.

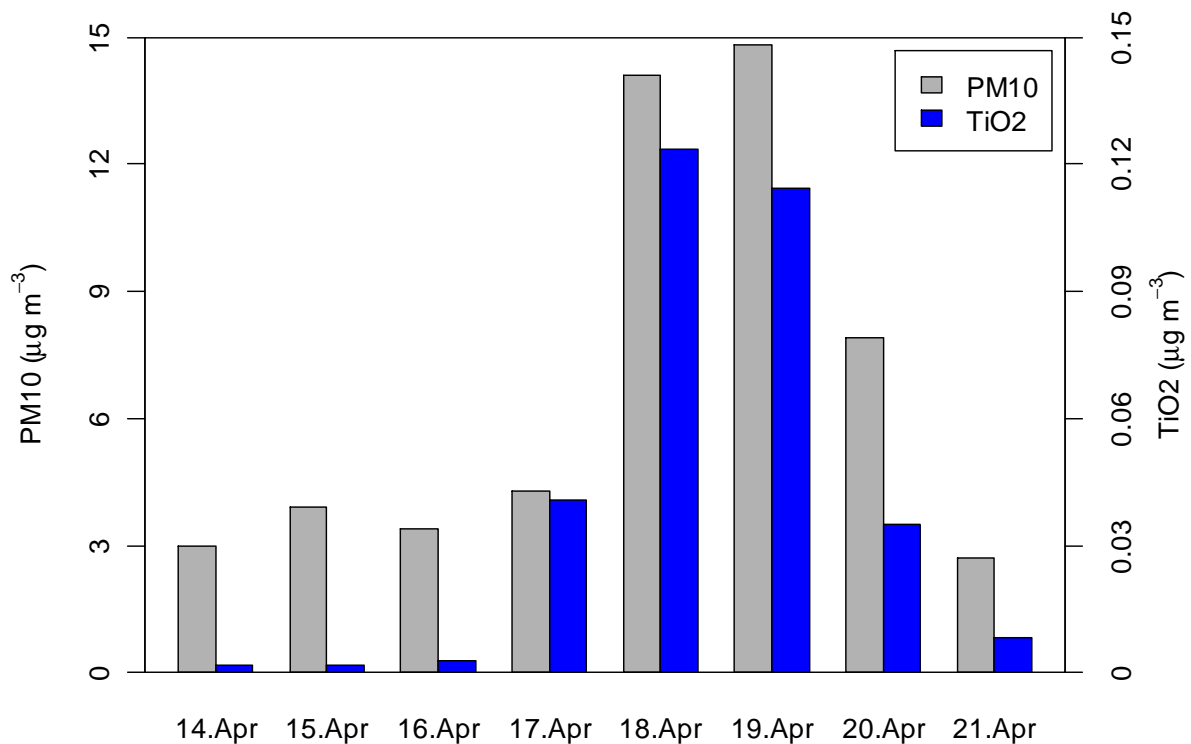


Abbildung 3: Verlauf der Tagesmittelwerte von PM10 (y-Achse links in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft) und Titandioxid (TiO₂, y-Achse rechts in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft) auf dem Jungfraujoch während der Zeit vom 14.04.-22.04.2010. Der Beitrag der Vulkanasche zum PM10-Tagesmittelwert betrug am 18. April 10.7 µg/m³ und am 19. April 11.4 µg/m³.

Ausbreitungssimulation

Nachdem eine erste erfolgreiche Vorhersage der Aschwolke am 16. April an der Empa durchgeführt wurde, konnte in den folgenden Tagen ein automatisiertes Vorhersagesystem implementiert werden, dessen Ergebnisse direkt an die MeteoSchweiz und das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) weitergeleitet wurden. Die Vorhersagen dienten als unabhängige Informationen bei der Lageabschätzung. Das System wurde auch während der zweiten Eruptionsphase im Mai weiter betrieben.

Die grosse Unbekannte in der Ausbreitungssimulation der Aschwolke war anfangs die tatsächliche Eruptionsstärke des Vulkans und die damit verbundene Menge ausgestossenes Magmas, die auch tatsächlich als luftgetragene Partikel in der Atmosphäre zurück blieben und nicht bereits in der Nähe des Vulkans wieder am Boden deponierten. Dabei ist es weiterhin entscheidend auf welche Höhe diese Partikel letztlich vom Vulkan geschleudert wurden. Im Nachhinein wurde an der Empa ein konvektives Vulkanwolken-Modell installiert, mit dessen Hilfe man aus den beobachteten anfänglichen Wolkenhöhen die ausgestossene Masse besser einschränken konnte. Weiterhin waren die Messungen der absoluten Massenkonzentration und die Charakterisierung der Partikelgrössenverteilung, wie sie vom Jungfraujoch und anderen Stationen zur Verfügung standen, wertvolle Informationen, die die Simulation verbesserten. Zur weiteren Validierung der Simulationen konnten Satelliten-Beobachtungen der totalen vertikalen Aschwolke hinzu gezogen werden. Der Vergleich

zeigte eine gute Übereinstimmung in der Position der Hauptaschewolke, die am 15. April ausgestossen wurde. Allerdings wurde eine zweite Eruptionsphase um den 17. April vom Modell deutlich überschätzt. Im Vergleich mit der ersten Vorhersage wurde eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den Satellitendaten erzielt.

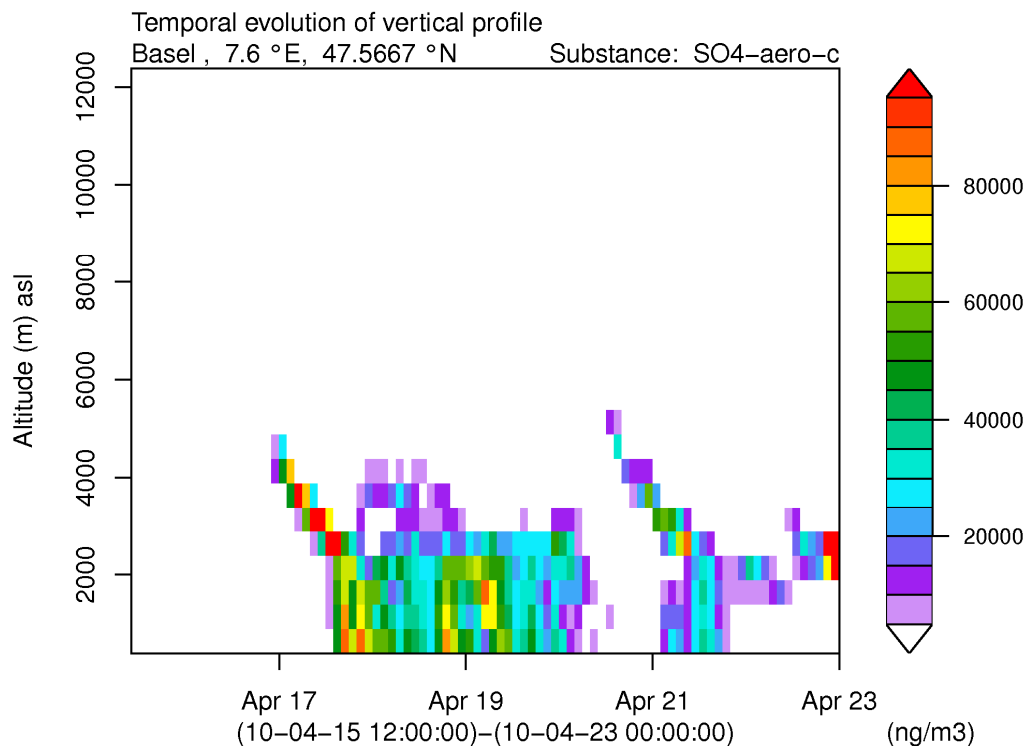


Abbildung 4: Zeit-Höhenschnitt der simulierten Aschekonzentration über Basel.

Die erste Aschewolke erreichte die Schweiz in der Nacht vom 16. April auf den 17. April, dabei waren zuerst nur Atmosphärenschichten oberhalb der bodennahen atmosphärischen Grenzschicht betroffen (Abbildung 4 für einen Zeit-Höhen-Schnitt über Basel). Im weiteren Verlauf sank die anfangs sehr konzentrierte Aschewolke rasch von 4 km auf unter 2 km ab und wurde dann durch Einmischung in die Grenzschicht verdünnt. In den folgenden Tagen verblieben Aschereste weiterhin in der bodennahen Schicht bis gegen Mittag des 20. April keine nennenswerten Aschekonzentrationen in der Region Basel simuliert wurden. Die Ankunft einer zweiten Wolke am 21. April entspricht nicht den Beobachtungen und geht vermutlich auf eine Überschätzung der Eruptionsmasse um den 17. April zurück.

Die erhöhten Feinstaub-Konzentrationen, wie sie in Basel-Binningen vom 18. bis 20. April gemessen wurden, wurden vom Modell gut simuliert (Abbildung 4 und Abbildung 5). In der bodennahen Atmosphärenschicht erstreckte sich am Abend des 18. April ein Keil mit erhöhten Aschekonzentrationen nördlich des Jura bis Basel, während in der restlichen Schweiz keine erhöhten Aschekonzentrationen simuliert wurden. Mit einem Tagesmittelwert von $51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lag das Modell nur leicht über den tatsächlich gemessenen Aschekonzentrationen von $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

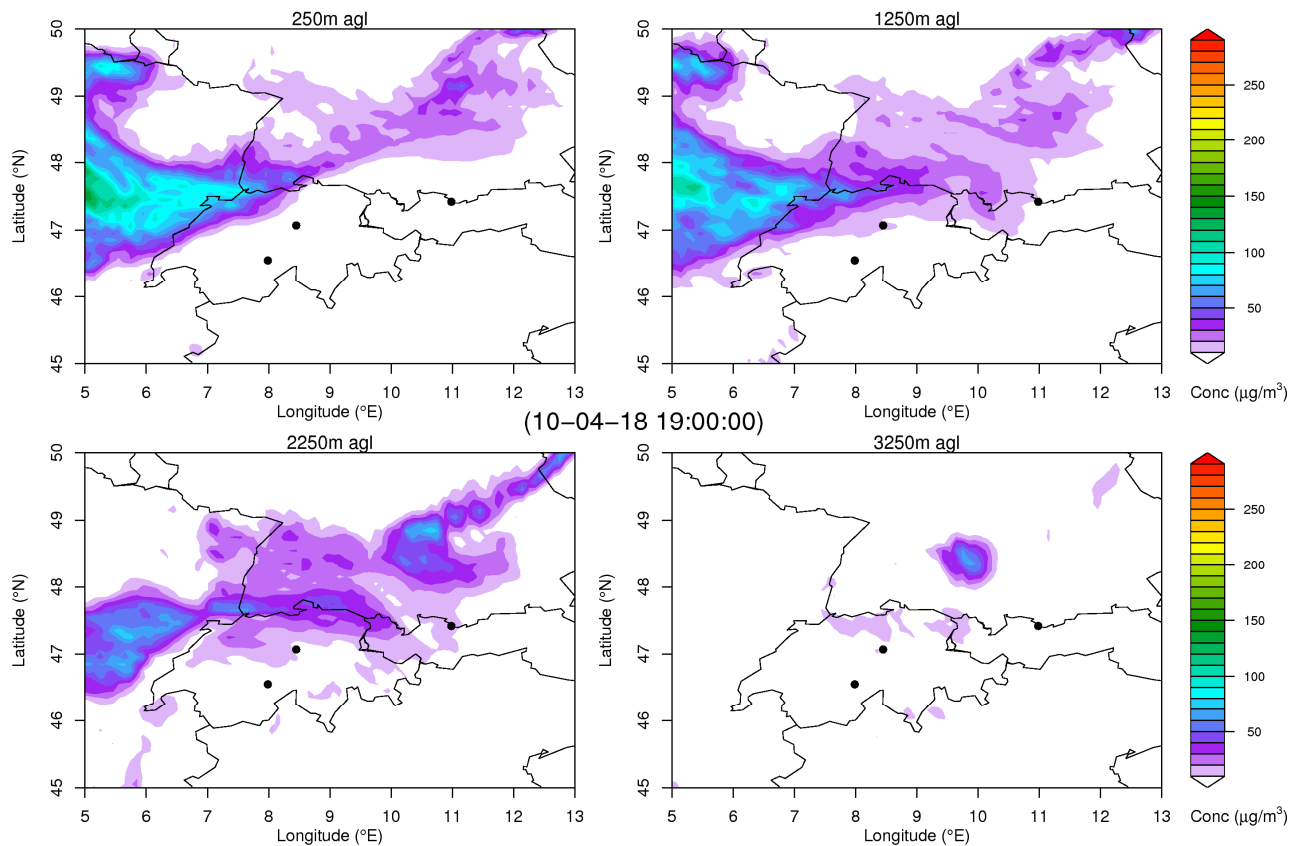


Abbildung 5: Verteilung der simulierten Aschekonzentrationen auf verschiedenen Höhen über Modellgrund für den 18.04.2010 19:00 UTC.

Die zweite Episode vom 18. bis 20. Mai 2010

Eine zweite Vulkanasche-Episode war in der Schweiz im Mai 2010 zu beobachten. Die vulkanaschehaltige Luft wurde während einer Nordföhnlage über die Alpen transportiert. Südlich der Alpen erreichte die Vulkanasche dann mit den trockenen Fallwinden die Tessiner Täler. An den NABEL-Messstationen Jungfrauoch, Lugano und Magadino-Cadenazzo wurden deshalb fast zeitgleich stark erhöhte Konzentrationen von PM₁₀ (Abbildung 4) und SO₂ gemessen. Analysen der PM₁₀-Filterproben von diesen drei Messstationen ergaben wiederum das eindeutige chemische Profil der isländischen Vulkanasche. Basierend auf den Konzentrationen von Titan in den Feinstaubproben konnte festgestellt werden, dass am 18. Mai der Beitrag der Vulkanasche an allen drei Stationen praktisch gleich war. Mit dem Nordföhn wurden die Luftmassen aus der freien Troposphäre in die Tessiner Täler transportiert, am 18. Mai lieferte die Vulkanasche an den Tessiner Messstationen Lugano und Magadino-Cadenazzo mit 18.8 µg/m³ und 18.3 µg/m³ massgebliche Beiträge zu den PM₁₀-Tagesmittelwerten (27.7 µg/m³ und 26.8 µg/m³).

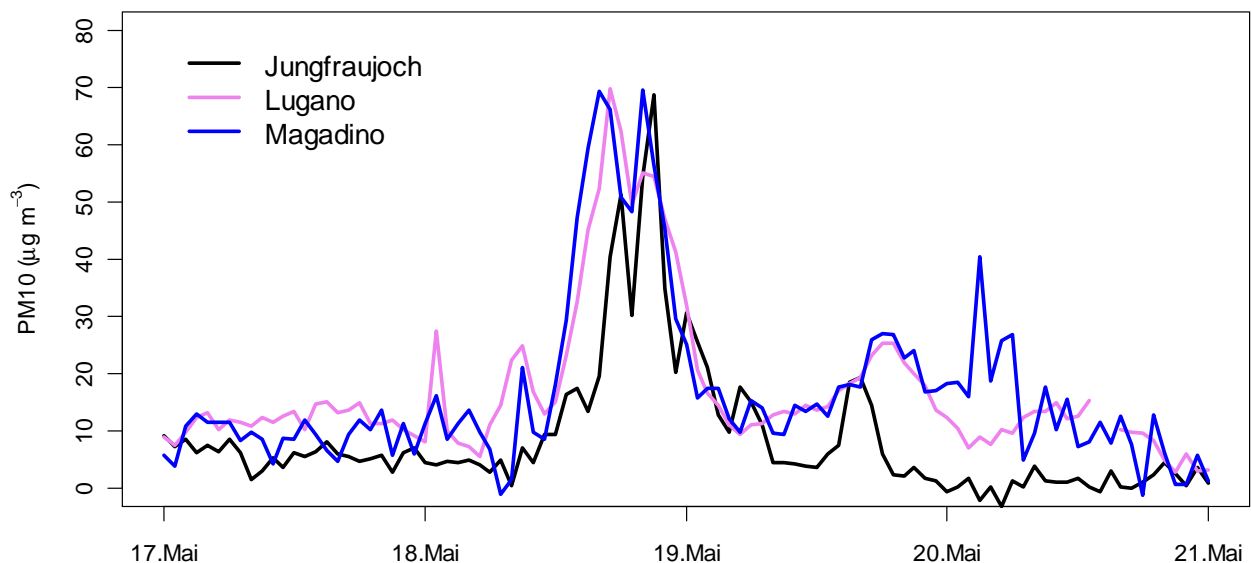


Abbildung 6: Zeitverlauf von Feinstaub (PM10) an den NABEL-Messstationen Jungfrauoch, Lugano und Magadino-Cadenazzo. Am 18.05.2010 und 19.05.2010 wurden während einer Nordföhnlage vulkanaschehaltige Luftmassen über die Alpen transportiert, die PM10- und SO₂-Konzentrationen (nicht dargestellt) waren dadurch auf dem Jungfrauoch und im Tessin stark erhöht.

Ein wichtiges Element für die Beurteilung der Risiken für den Luftverkehr

Für die Beurteilung der Gefährdung des Flugverkehrs ist die Massenkonzentration von Vulkanasche massgebend. Die räumliche Verteilung der Massenkonzentration der Asche ist aber derzeit nicht direkt messbar und kann auch nicht mit Ausbreitungsmodellen alleine zuverlässig bestimmt werden. Dafür benötigte quantitative Informationen über die Intensität der Vulkanemissionen sind normalerweise nicht bekannt. Die Ausbreitung einer Vulkanaschewolke sowie die Massenkonzentration der Vulkanasche kann nur durch Kombination von Ausbreitungsmodellen mit boden- und luftgestützten Messungen (insbesondere Lidar-, Flugzeug- und Satellitenmessungen) ermittelt werden. Die detaillierten Feinstaubmessungen (Konzentrationen und chemische Analysen) des NABEL liefern wichtige Informationen, um aus den optischen Messungen kombiniert mit Ausbreitungsrechnungen Vulkanaschekonzentration in Europa und über der Schweiz im April und Mai 2010 abzuschätzen.

Auskünfte:

- Dr. Christoph Hüglin, Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
- Dr. Stephan Henne, Empa, Abteilung Luftfremdstoffe/Umwelttechnik
- Dr. Richard Ballaman, BAFU, Abteilung Luftreinhalte und NIS