

pSAT

Sondierungsstudie zur Nutzbarkeit von Satellitendaten für die Quellzuordnung von Luftschadstoffen

Programm / Ausschreibung	Weltraum, Weltraum, ASAP Ausschreibung 2022	Status	abgeschlossen
Projektstart	01.10.2023	Projektende	31.03.2025
Zeitraum	2023 - 2025	Projektaufzeit	18 Monate
Keywords	Luftqualität, Feinstaub, NASA, Sentinel-4, IRS		

Projektbeschreibung

Fast alle Großstadtbewohner in Europa sind gesundheitsgefährdendem Feinstaub ausgesetzt. Laut Europäischer Umweltbehörde starben im Jahr 2020 rund 240.000 Menschen vorzeitig an der erhöhten Feinstaubbelastung in europäischen Ballungsräumen. Diese wird ab Mitte dieses Jahrzehnts durch das Sentinel-4 Instrument an Bord des MTG-S1 Satelliten in nie dagewesener zeitlicher und räumlicher Auflösung gemessen werden. Satellitengestützte Messungen liefern ein gutes Bild der geografischen Verteilung von Feinstaub, lassen aber derzeit keine Aussagen über die Art und Quellen urbanen Feinstaub zu. Umweltbehörden haben den Bedarf angemeldet, Satellitendaten auch für die Bestimmung von Feinstaubquellen zu verwenden, um damit die Auswirkungen von Verkehrs- und Energiemaßnahmen auf die Luftqualität zu dokumentieren.

Feinstaub wird entweder primär emittiert oder in der Atmosphäre sekundär aus emittierten Gasen gebildet. Die Emissionen in europäischen Großstädten stammen hauptsächlich aus dem Verkehr sowie häuslichen und kleingewerblichen Quellen. Satelliteninstrumente messen die optischen Eigenschaften von Partikeln, welche jedoch nur beschränkte Rückschlüsse auf deren chemische Natur und Ursprung zulassen. Spurengase, die zusammen mit den Partikeln emittiert oder produziert werden, können hingegen oft spezifischen Quellen (Verkehr, Hausbrand, Photochemie) zugeordnet werden. Sentinel-4 wird eine Reihe von Spurengasen (z.B. NO₂, O₃, HCHO) routinemäßig messen, während der ebenfalls vom MTG-S1 Satelliten aus operierende InfraRed Sounder (IRS) experimentelle Daten zu weiteren Spurengasen (z.B. NH₃, CH₃OH, HCOOH) liefern wird. Die Arbeitshypothese dieses Forschungsvorhabens ist es, dass die chemische Information in diesen Spurengasdaten verbunden mit der hohen räumlichen Auflösung es erlauben werden, den Feinstaub über europäischen Ballungsräumen auf seinen Ursprung hin (primär vs. sekundär, Verkehr vs. andere Quellen) zu charakterisieren.

MTG-S1 wird nach derzeitigem Planungsstand in der zweiten Jahreshälfte 2024 ins Orbit geschossen. Dies bietet die Möglichkeit von den Erfahrungen zu profitieren, welche mit dem bereits im Orbit befindlichen koreanischen Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS) gemacht werden. Die US-Raumfahrtbehörde NASA und das koreanischen National Institute of Environmental Research (NIER) werden zur Unterstützung von GEMS im Jahr 2024 die Messkampagne Airborne and Satellite Investigation of Asian Air Quality (ASIA-AQ) durchführen. Der Antragsteller wurde eingeladen, ein Partikelmassenspektrometer an Bord des NASA DC-8 Forschungsflugzeuges zu betreiben, um damit die chemische Zusammensetzung und die Quellen von Feinstaub über asiatischen Großstädten direkt zu messen. Da gleichzeitig auch eine Vielzahl von Spurengasen gemessen werden, bietet sich die Möglichkeit anhand von in situ Daten zu sondieren, welche

Spurengase in Zukunft für die indirekte Bestimmung der Feinstaubquellanteile aus dem Weltraum verwendet werden können.

Abstract

Almost all of Europe's urban population is exposed to harmful levels of particulate matter (PM). According to the European Environment Agency, around 240,000 people died prematurely in 2020 due to exposure to harmful levels of PM. Starting from the middle of this decade, PM will be measured by the Copernicus Sentinel-4 instrument onboard the Meteosat Third Generation - Sounding 1 (MTG-S1) satellite at unprecedented temporal and spatial resolution. Satellite-based measurements provide a good picture of the geographic distribution of PM, but currently do not allow to speciate urban PM based on its sources. Environmental authorities have expressed a demand for using satellite data for urban PM source identification and quantification, with the ultimate goal of documenting and monitoring the impact of mobility and energy policies on air quality.

Atmospheric PM is either directly emitted (primary PM) or formed in the atmosphere from emitted gases (secondary PM). In European cities, major emission sources include traffic, domestic burning and small-scale commercial activities. Satellite instruments measure the optical properties of atmospheric particles, which only provide limited insights into the chemical nature and origin of PM. Trace gases, which are co-emitted and co-produced with PM, can often be assigned to specific sources such as traffic, domestic combustion or photochemistry. Sentinel-4 will routinely measure a range of trace gases such as nitrogen dioxide (NO₂), ozone (O₃) and formaldehyde (HCHO), while the EUMETSAT InfraRed Sounder (IRS), which is also onboard MTG-S1, will produce experimental data for trace gases such as ammonia (NH₃), methanol (CH₃OH) and formic acid (HCOOH). The working hypothesis of this research project is that the chemical information in trace gas data combined with the high spatial resolution will make it possible to characterize the sources of PM over European metropolitan areas (primary vs. secondary, traffic vs. other combustion sources).

MTG-S1 is currently scheduled to launch in the second half of 2024. This provides the opportunity to learn from experiences made with the Korean Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer (GEMS), which is already in orbit. In early 2024, the U.S. National Aeronautics and Space Administration (NASA) and the Korean National Institute of Environmental Research (NIER) will conduct the Airborne and Satellite Investigation of Asian Air Quality (ASIA-AQ) campaign in support of GEMS. The applicant has been invited to operate a particle mass spectrometer onboard the NASA DC-8 Airborne Science Laboratory for measuring the particle chemical composition and determining the sources of PM over major Asian cities. Since a large number of trace gases will also be measured on board the NASA research aircraft, this offers the opportunity to investigate which trace gases can be used in the future for indirectly determining the sources of urban PM from space.

Endberichtkurzfassung

Luftverschmutzung zählt weltweit zu den größten Umwelt- und Gesundheitsrisiken. Sie verursacht jährlich Millionen vorzeitiger Todesfälle und trägt wesentlich zur Entstehung chronischer Erkrankungen bei. Die Folgen belasten Gesundheitssysteme, Volkswirtschaften und Gesellschaften gleichermaßen. Die Ursachen von Luftverschmutzung sind vielfältig – sie reichen von Straßenverkehr und industriellen Emissionen bis hin zu offenen Bränden und landwirtschaftlicher Biomasseverbrennung.

Um wirksame Maßnahmen zur Luftreinhaltung setzen zu können, ist es entscheidend, die Quellen dieser Emissionen räumlich und zeitlich präzise zu identifizieren. Ziel dieser Sondierungsstudie war es, neue Methoden zu entwickeln, mit denen sich solche Quellzuordnungen indirekt über Satellitendaten vornehmen lassen – insbesondere in Regionen ohne

eigene Messnetze.

Die Studie war eingebettet in die internationale NASA ASIA-AQ Messkampagne in Südostasien (Februar–März 2024), zu der ein Team der Universität Innsbruck unter der Leitung von Prof. Armin Wisthaler eingeladen wurde. Im Zentrum standen flugzeuggestützte Messungen mit einem technisch aufgerüsteten Partikelmassenspektrometer, das vom österreichischen High-Tech-Unternehmen IONICON Analytik GmbH entwickelt und speziell für den Einsatz an Bord des NASA-Forschungsflugzeugs DC-8 angepasst wurde. Das Instrument ermöglichte die Echtzeit-Analyse der chemischen Zusammensetzung von Feinstaub über urbanen Ballungsräumen in Thailand, den Philippinen, Taiwan und Südkorea. Parallel dazu wurden mit weiteren Bordinstrumenten und Satelliten – insbesondere dem geostationären GEMS-Sensor – Spurengase (NO₂, CH₂O, O₃) und optische Eigenschaften von Aerosolen gemessen.

Über die in-situ-Messungen konnten mittels spezifischer chemischer Markersubstanzen die Quellen der Luftschadstoffe identifiziert werden. Da diese Marker jedoch nicht vom Satelliten erfasst werden, wurde in der Datenanalyse gezielt nach funktionalen Zusammenhängen zwischen satellitenmessbaren Parametern und den verschiedenen Quelltypen (Verbrennung fossiler Brennstoffe vs. Biomasseverbrennung) gesucht. Die entwickelten Regressionsmodelle erlaubten es schließlich, die beobachteten Muster auf regionale Maßstäbe zu übertragen – beispielsweise für ganz Thailand. So konnten Gebiete mit dominanter Biomasseverbrennung im Norden eindeutig von urban geprägten Luftmassen im Süden, wo primär fossile Brennstoffe verbrannt werden, unterschieden werden.

Die Projektergebnisse zeigen: Satellitendaten ohne direkte Quellinformation lassen sich – kombiniert mit in-situ-Messungen und modernen Auswerteverfahren – effizient zur Quellzuordnung nutzen. Damit wurde eine fundierte Grundlage geschaffen, um künftige Satellitenmissionen wie Sentinel-4 (gestartet am 1. Juli 2025) gezielter zur Luftqualitätsüberwachung einzusetzen, politische Maßnahmen zur Luftreinhaltung zu unterstützen und auch in Ländern ohne eigene Messnetze verlässliche Informationen zur Luftqualität bereitzustellen.

Projektkoordinator

- Universität Innsbruck

Projektpartner

- Ionicon Analytik Gesellschaft m.b.H.