

IIIT® macht die Luft, die wir atmen, zu einer sichtbaren Entdeckung

Die Luft um uns herum enthält viele Partikel und Prozesse, die wir normalerweise nicht sehen. Das IIIT®-Projekt ermöglicht es, diese unsichtbaren Prozesse in einem Kondensat zu erfassen, das beobachtet werden kann. Dies ermöglicht es Schülern und der Öffentlichkeit, mit einer echten Luftprobe zu arbeiten und zu überlegen, was in der Umwelt um uns herum passiert.

Bc. Adriána Voroničová

Autorin des Konzepts, der technischen Lösung und des IIIT®-Projekts

Vorwort zum Kapitel „Black Rain“

Wir bemerken bestimmte Phänomene in der Atmosphäre nur, wenn sie in einer außergewöhnlich intensiven oder ungewöhnlichen Form auftreten. In solchen Momenten scheinen sie plötzlich etwas Außergewöhnliches oder Isoliertes zu sein.

In Wirklichkeit finden jedoch viele dieser Prozesse kontinuierlich in der Atmosphäre statt. Der einzige Unterschied ist ihre Intensität und ob wir sie bemerken können oder nicht.

Die Atmosphäre ist eine dynamische Umgebung voller Partikel, Aerosole, chemischer Substanzen und Reaktionen. Wind trägt Staub aus der Landschaft, industrielle Emissionen vermischen sich mit der Luft, Wassertröpfchen fangen mikroskopisch kleine Partikel ein, und Prozesse der Kondensation und Vermischung finden in der Atmosphäre statt. Die meisten dieser Phänomene treten auf einer Skala auf, die die Menschen normalerweise nicht wahrnehmen.

Wenn eine bestimmte Situation in der Atmosphäre auftritt - zum Beispiel intensive Emissionen, Brände, militärische Ereignisse oder eine hohe Konzentration von Aerosolen - können diese Prozesse ausgeprägter werden. Niederschlag kann dann eine sichtbare Menge an Material tragen, was zu Phänomenen führt, die beispielsweise als „Schwarzregen“ beschrieben werden. Solche Situationen erinnern uns an eine wichtige Tatsache: Was wir als außergewöhnliches Phänomen wahrnehmen, ist oft nur eine bestimmte Version von Prozessen, die kontinuierlich in der Atmosphäre ablaufen.

Genau deshalb ist es wissenschaftlich wertvoll, solche Ereignisse laufend zu studieren. Sie ermöglichen ein besseres Verständnis von Partikeltransport, Kondensation und Wechselwirkungen zwischen Aerosolen und Wassertröpfchen. Diese Mechanismen werden in der Fachliteratur sowie in der Atmosphärenphysik und Umweltwissenschaft thematisiert.

Das folgende Kapitel zeigt Beispiele dokumentierter Situationen, in denen sich diese Prozesse in einer ausgeprägteren Form manifestiert haben - zum Beispiel als dunkler oder verschmutzter Niederschlag, der als „Schwarzregen“ bezeichnet wird.

Black Rain - Formation und chemische Zusammensetzung

Einleitung

Der sogenannte „-Schwarzregen“ ist kein eindeutiger meteorologischer Niederschlagstyp. Es ist gewöhnlicher Niederschlag, der eine hohe Konzentration von Aerosolen, Ruß und anderen Partikeln aus der Atmosphäre auffängt, wenn er sich bildet oder fällt. In der Atmosphärenchemie wird dieses Phänomen als Nassablagerung bezeichnet: der Prozess, bei dem die Ausfällung die Gas- und Aerosolbelastung aus der Atmosphäre entfernt.

Mechanismus der Bildung

Die Bildung von schwarzem Regen ist mit einer hohen Konzentration von Partikeln in der Atmosphäre verbunden. Großbrände, Explosionen oder Industrieemissionen setzen große Mengen Ruß, Staub und andere chemische Bestandteile in die Luft frei.

Wassertröpfchen in Wolken bilden sich auf kleinen Partikeln, die als Kondensationskerne fungieren. Wenn diese Partikel aus Ruß oder Verbrennungsprodukten bestehen, fangen Regentropfen sie ein, während sie wachsen oder fallen und sie zu Boden tragen. Dieses Verfahren wird als Abfangen von Aerosolen durch Fällung bezeichnet.

Chemische Zusammensetzung

Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) können feine Partikel in der Luft beispielsweise Sulfate, Nitrate, Ammoniak, Natriumchlorid, Ruß, Mineralien, Metalle und Wasser enthalten.

Bei der Verbrennung von Öl, Kohle, Gas, Holz oder Abfall entstehen auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Nach Angaben der Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) werden PAK während der unvollständigen Verbrennung organischer Materialien gebildet und finden sich häufig in Ruß- und Verbrennungsprodukten.

Bei größeren Bränden oder industriellen Freisetzen kann Rauch auch Schwefeloxide, Stickoxide und verschiedene Kohlenwasserstoffe enthalten. Diese Substanzen können sich anschließend an Aerosole binden und durch Fällung aus der Atmosphäre entfernt werden.

Aktueller Fall - Iran

Laut dem slowakischen Portal iMeteo erschienen Berichte über dunkle Niederschläge, die Rauch und verschiedene Bestandteile enthielten, nach Angriffen auf Öldepots in Teheran. Internationale Medien berichteten auch von ausgedehnten Bränden in Öldepots, die große Mengen an giftigem Rauch in die Atmosphäre freisetzen.

Es ist jedoch wichtig zu betonen, dass es ohne Laboranalyse spezifischer Regenwasserproben nicht möglich ist, die genaue chemische Zusammensetzung jedes Niederschlags zu bestimmen. Sein Entstehungsmechanismus lässt sich dennoch anhand bekannter atmosphärischer Prozesse wissenschaftlich erklären.

Schlussfolgerung

Schwarzer Regen tritt in Situationen auf, in denen Niederschlag große Mengen an Aerosolen und Verbrennungsprodukten in der Atmosphäre auffängt. Es ist ein natürlicher Nassabscheidungsprozess, bei dem Partikel und chemische Substanzen aus der Atmosphäre entfernt werden. Die Hauptbestandteile dieser Fällung können Ruß (schwarzer Kohlenstoff), Mineralstaub, Sulfate, Nitrate und organische Rückstände sein, die bei der Verbrennung von Öl oder Holz entstehen.

Referenzen

ATSDR. 2015. Toxikologisches Profil für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Agentur für Toxische Stoffe und Seuchenregister. Verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>

iMeteo.sk. 2026. Der Regenfall ist schwarz. Nach den Angriffen fallen große Mengen an Niederschlägen um den Berg. Verfügbar unter: <https://www.imeteo.sk/spravy/dazd-ktory-pada-je-cierny-po-utokoch-padaju-v-okoli-velke-zrazky>

ZEIT. 2026. Teheran in giftigen Rauch gehüllt, nachdem Israel Brennstofflager angreift. Verfügbar unter: <https://time.com/7539799/tehran-toxic-smoke-israel/>

US-EPA. 2025. Luft -Surface Exchange Prozessübersicht. United States Environmental Protection Agency. Verfügbar unter: <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview>

WHO. 2024. Luftverschmutzung im Freien. Weltgesundheitsorganisation. Verfügbar unter: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

IIIT® Emissions Collector - Wissenschaftliche Erklärung seiner Funktionsmechanismen

Einleitung

Der IIIT®-Emissionssammler ist ein Gerät, das entwickelt wurde, um Bestandteile der Luft und gasförmigen Emissionen in einer flüssigen Phase abzufangen - ein Kondensat. Das so hergestellte Kondensat ermöglicht eine weitere visuelle Beobachtung und anschließende Analyse der eingefangenen Substanzen. Dieses Dokument erklärt seine Funktion auf der Grundlage allgemein anerkannter Prozesse in der Atmosphärenchemie und Aerosolphysik. Die Beschreibung stützt sich auf wissenschaftlich dokumentierte Phänomene wie Kondensation, Keimbildung und Aerosolablagerung.

Grundlegende physikalische Prozesse zur Erfassung von Substanzen

Luft enthält ein breites Spektrum von Gasen, Dämpfen und festen Partikeln verschiedener Größe. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation können Feinstaub (PM) Sulfate, Nitrate, Ammoniak, Mineralstaub, organischen Kohlenstoff, schwarzen Kohlenstoff und Spurenmetallelemente enthalten.

Wenn sich Temperatur oder Druck ändern, können einige Substanzen von der gasförmigen Phase in einen flüssigen oder festen Zustand übergehen. Dieses Verfahren wird als Kondensation bezeichnet. Kondensation ist einer der grundlegenden physikalischen Mechanismen, die an der Bildung von Wolken, Tau und Nebel beteiligt sind.

Sind in einem Gasstrom Partikel oder mikroskopische Oberflächenunregelmäßigkeiten vorhanden, so können diese als Kondensationskeime wirken. An diesen Keimen können anschließend Wasserdampf oder andere kondensierbare Stoffe kondensieren.

Aerosole als Kondensationskerne

Die Atmosphäre enthält kleine Partikel, die als Aerosole bekannt sind. Diese Partikel können fest oder flüssig sein und ihre Größe kann von wenigen Nanometern bis zu mehreren Mikrometern reichen. Aerosole dienen häufig als Kondensationskeime zur Tröpfchenbildung.

Laut NOAA werden solche Partikel als Wolkenkondensationskerne (CCN) bezeichnet, an denen Wasserdampf kondensieren und Wassertröpfchen bilden kann. Derselbe Mechanismus kann auch während der Kondensation verschiedener organischer oder anorganischer Substanzen aus Gasen funktionieren.

Abscheidung von Stoffen durch Kondensation und auf Oberflächen

Wenn Gase mit einer kalten Oberfläche in Berührung kommen, können Dämpfe kondensieren und bestimmte flüchtige Stoffe abgefangen werden. Dieses Verfahren ist beispielsweise in der Taubildung und in industriellen Kondensationswärmetauschern wohlbekannt.

Laut US EPA können verschiedene atmosphärische Verbindungen durch Abscheidung oder Kondensation auf Oberflächen aus der Atmosphäre entfernt werden.

Beim Abkühlen von Gasen kann beispielsweise kondensieren:

- Wasser
- organische Kohlenwasserstoffe

Bestimmte Säuren oder Oxide

Verschiedene polare organische Verbindungen

Auf der Grundlage allgemein anerkannter Prozesse in der Atmosphärenchemie ist zu erwarten, dass die kondensationsbedingte Abscheidung eines Anteils von Aerosolen auch folgende Stoffarten umfassen kann:

- Wasserdampf
- organische Kohlenwasserstoffe und ihre oxidierten Formen

Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Ruß (schwarzer Kohlenstoff)

- Mineralstaubpartikel
- Stickoxide und an sie gebundene Aerosole

Spuren metallischer Elemente, die an Partikel gebunden sind

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe entstehen vor allem bei der unvollständigen Verbrennung organischer Stoffe wie Öl, Kohle oder Holz. Diese Verbindungen sind oft an Ruß oder Aerosole gebunden und können durch die Luft transportiert werden.

Bildung eines flüssigen Extrakts (Kondensat)

Werden Gase abgekühlt oder in eine Umgebung überführt, in der Kondensation auftritt, können sich bestimmte Bestandteile der Atmosphäre oder Emissionen allmählich in die entstehende flüssige Phase einfügen. Das so hergestellte Kondensat kann gelöste Gase, organische Verbindungen und mikroskopische Partikel enthalten.

Ein solches Kondensat stellt dann einen konzentrierteren Extrakt von Substanzen dar, die ursprünglich in der Luft dispergiert wurden.

Schlussfolgerung

Die Funktion des IIIT®-Emissionssammlers lässt sich mit allgemein anerkannten Prozessen der Atmosphärenphysik und Chemie erklären. Zu den wichtigsten Mechanismen gehören die Dampfkondensation, die Abscheidung von Aerosolen auf Oberflächen und die Bildung von Kondensationskernen. Diese Verfahren ermöglichen es, dispergierte Substanzen aus der Gasphase in ein flüssiges Kondensat zu überführen, das anschließend analysiert oder beobachtet werden kann.

Referenzen

ATSDR. 2015. Toxikologisches Profil für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Agentur für Toxische Stoffe und Seuchenregister. Verfügbar unter: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp69.pdf>

WPA. 2025. Luft -Surface Exchange Prozessübersicht. United States Environmental Protection Agency. Verfügbar unter: <https://www.epa.gov/euga/air-surface-exchange-process-overview>

NOAA. 2023. Wie sich Wolken bilden - Kondensation und Wolkenkondensationskerne. National Oceanic and Atmospheric Administration. Verfügbar unter: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/weather-atmosphere/how-clouds-form>

WHO. 2024. Luftverschmutzung im Freien. Weltgesundheitsorganisation. Verfügbar unter: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-pollution](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-pollution)

