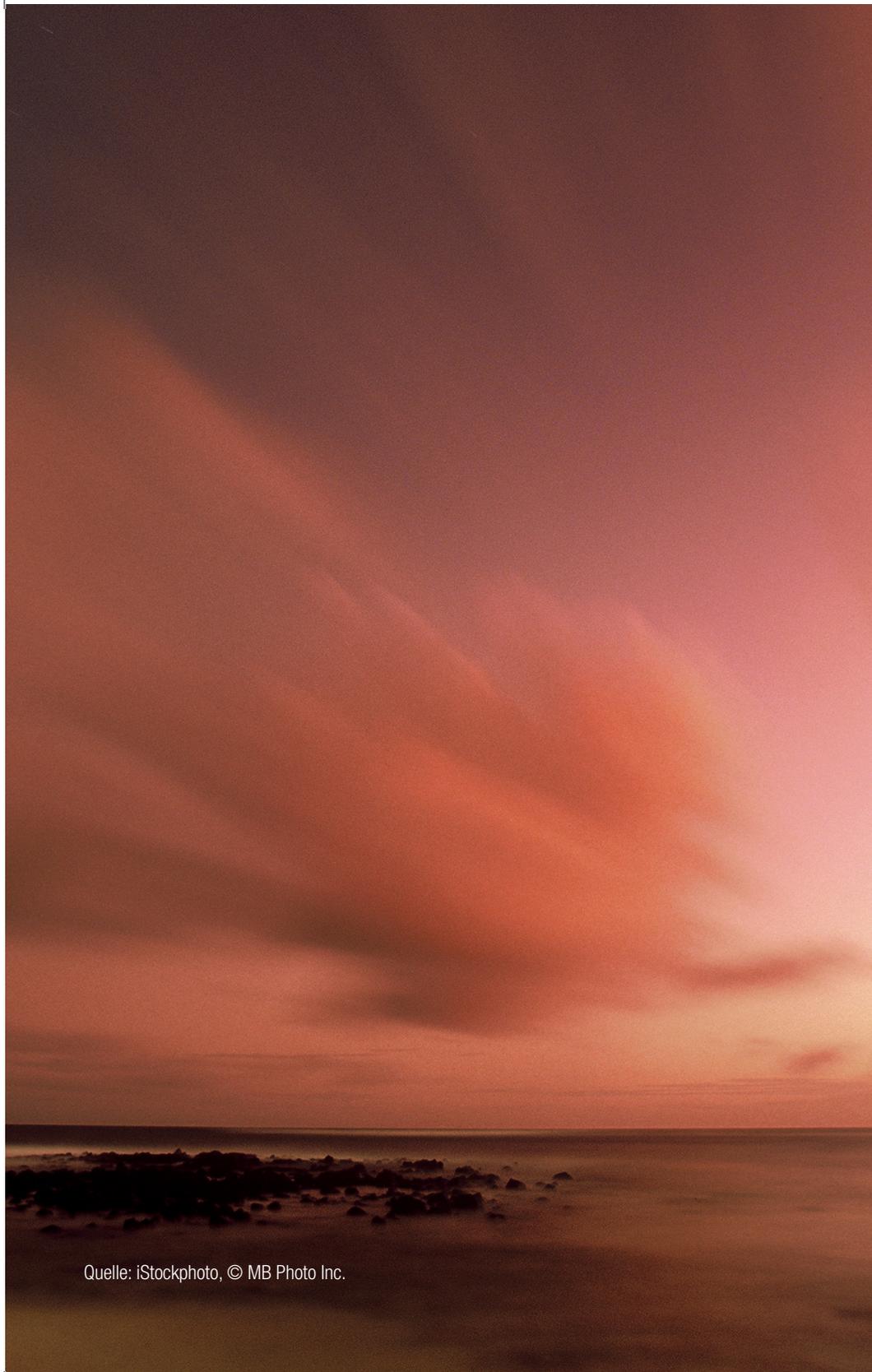




Das ISA-Verfahren zur Klimakühlung

Quelle: iStockphoto, © Duncan Walker





Quelle: iStockphoto, © MB Photo Inc.

Inhalt

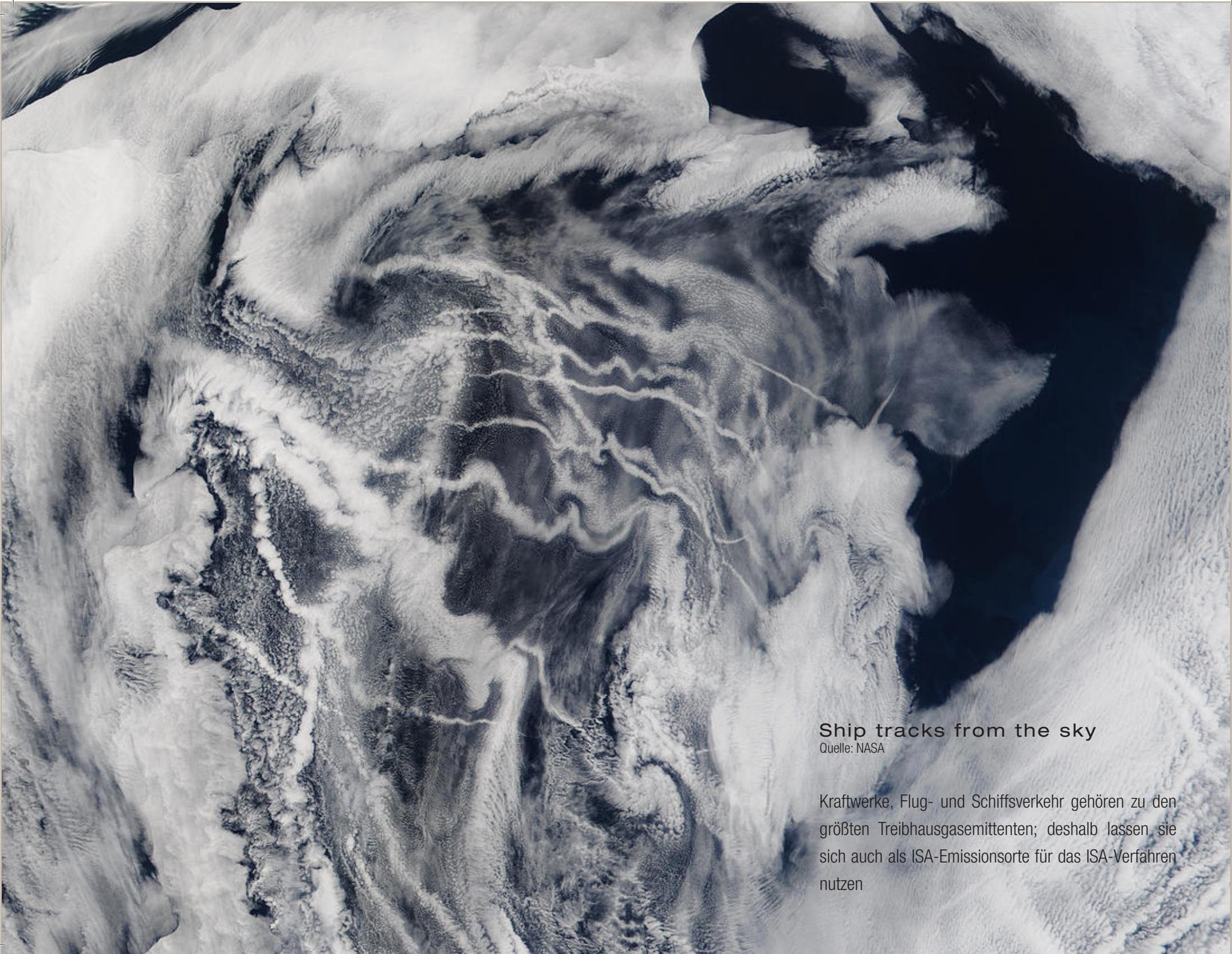
- Seite 03 Zusammenfassung
- Seite 04 Einleitung
- Seite 05 Wirkungsweise des Verfahrens
- Seite 07 Was waren die wesentlichen Ursachen für diese Veränderungen?
- Seite 08 Wie funktioniert das ISA-Verfahren?
- Seite 11 Funktionsmodell
- Seite 12 Die Prozessstufen des Eisensalz-Aerosol-Prozesses
- Seite 19 Fragen und Antworten zu den jeweiligen Prozessstufen

Impressum

- Kontakt Franz Dietrich Oeste
oeste@gm-ingenieurbuero.com
- Text Franz Dietrich Oeste
- Stand Mai 2012,
Download: www.gm-ingenieurbuero.com

Fotografen

- Titelbild "Cloud world" © Duncan Walker
- Seite 1 "Volcanic sunset" © MB Photo Inc.
- Seite 6 "Eruption of the Eyjafjallajökull volcano"
© Jochen Scheffl
- Seite 26 "Offshore Windanlage" © Sergiy Serdyuk
- Seite 30 "Kraftwerk" © Marko Doering photography



Ship tracks from the sky

Quelle: NASA

Kraftwerke, Flug- und Schiffsverkehr gehören zu den größten Treibhausgasemittenten; deshalb lassen sie sich auch als ISA-Emissionsorte für das ISA-Verfahren nutzen

Zusammenfassung

Nachfolgender Text ist ein Beitrag zum Klimaschutz. Es wird ein Verfahren dargestellt, das die Zunahme von Treibhausgasen stoppt.

Das Verfahren basiert auf speziellen chemischen und biologischen Prozessschritten, die CO₂ und Methan abbauen. Dies geschieht durch Zusatz fester oder gasförmiger Eisenverbindungen in die Atmosphäre mit Verbrennungsabgasen oder Trägergasen.

Den Treibstoffen von Luft- und Wasser-Verkehrsträgern werden eisenhaltige Additive, z.B. Ferrocen zugegeben. Solche Additive können auch in Kraftwerken zur Konditionierung von Rauchgasen und Kühlturmabluft verbrannt werden. Auch Trägergasen, z. B. Abgasen, kann gasförmiges Eisensalz zugesetzt werden.

Beide Verfahrensvarianten, die Treib- und Brennstoff-Eisenadditierung oder der gasförmige Eisensalzzusatz leiten die weiteren Prozessschritte des Verfahrens ein.

Die nächsten Prozessschritte erfolgen sehr effektiv in der Atmosphäre. Dabei spielen Sonnenlicht und Wolken eine entscheidende Rolle.

Im Verfahrensverlauf entstehen dabei durch komplexe physikalisch-chemische Reaktionen Eisensalzaerosole (ISA). Die ISA¹⁾ bewirken die Oxidation von Methan und anderen Kohlenstoff enthaltenden Klimagasen zu CO₂.

Diese Reaktionen des ISA werden durch das Sonnenlicht in der Troposphäre angetrieben. Darüber hinaus bildet das ISA besonders weiße Wolken mit hoher, klimakühlender Sonnenreflektion.

Die nächsten Prozessschritte geschehen im Ozean. Das ISA fällt als Niederschlag hinein, düngt das grüne Plankton und sorgt damit für die Zunahme der organischen Substanz in der Nahrungskette des Ozeans. Dabei wandelt es CO₂ in sedimentgebundenen Brennstoff und Kalkstein um.

1) ISA (I = Iron, S = Salt, A = Aerosol) = Eisensalz-Aerosole und die in der Troposphäre (daraus) gebildeten Folgeprodukt-Aerosole.

Einleitung

Nach großen Vulkanausbrüchen, wie z. B. dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo 1991, kommt es zu einer Klimaabkühlung. Ausgelöst wird das durch die Aschen und Gase der Eruptionswolken.

Heute wissen wir, die Ursache dafür ist nicht allein das Schwefelsäure-Aerosol, das das Sonnenlicht abschirmt, sondern vor allem der hohe Anteil von ISA in der Aschewolke, der photo-chemisch den Methanabbau durch Freisetzung von Chloratomen¹⁾ und von Hydroxylradikalen in der Atmosphäre und den CO₂-Abbau durch vermehrte Algenbildung im Meer²⁾ auslöst.

Die Eisbohrkerne aus Antarktis und Grönland haben gezeigt: Von genau dieser photochemisch-bionischen Prozessfolge wurden bereits die Eiszeiten ausgelöst. Auslöser waren hier die ISA-haltigen Lössstaubwolken, die durch die Atmosphäre zogen. Diese Naturprozesse lassen sich kontrolliert, effizient und vor allem preiswert mit dem ISA-Verfahren nachbilden. Nach dem direkten

Nachweis des Methanabbaus durch natürliche vulkanische Eruptionswolken¹⁾ gewinnt das ISA-Verfahren Aufmerksamkeit und wird nun Gegenstand intensiver Untersuchungen durch die Klima- und Atmosphärenwissenschaft³⁾.

1) A. Baker et al.: Investigation of chlorine radical chemistry in the Eyjafjallajökull volcanic plume using depletions in non-methane hydrocarbons; Geophysical Research Abstracts, 13, EGU2011-3376 (2011)

2) S. Duggen et al.: S. Duggen et al.: Subduction volcanic ash can fertilize the surface ocean and stimulate plankton growth: Evidence from biogeochemical experiments and satellite data; Geophysical Research Letters 34, L01612, doi10.1029/2006GL027522 (2007)

3) Zur Zeit werden Vorbereitungen getroffen, um zunächst die Wirkung des ISA-Verfahrens auf den Methanabbau in der Troposphäre von Fachwissenschaftlern an einem deutschen Universitätsinstitut mit den dort möglichen geowissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zu bestimmen.

Das sind die Stärken des weltweit patentierten ISA-Verfahrens zur Klimakühlung:

- CO₂-Abbau durch vermehrte Bildung von Meeresorganismen
- Methan-Abbau durch Erzeugung radikalischer Oxidationsmittel
- Abbau von Ruß und organischen Stoffen durch katalytische Oxidation
- Minimierung der Ruß-Emissionen aus Verbrennungsanlagen durch verbesserte Verbrennung
- Verbesserte Lichtreflexion an den Wolken durch erhöhte Kondensationskeim-Dichte

Eine wirksame Alternative im Emissionshandel!

Wirkungsweise des Verfahrens

Jährlich steigen die Konzentrationen der Treibhausgase CO₂ und Methan und verursachen Klimaveränderungen, die bis heute nicht kontrollierbar sind. Natur-

katastrophen und unabsehbare Auswirkungen auf die globale Entwicklung, sowie unabsehbare Kosten für die Weltwirtschaft sind die Folgen.

Energieeinsparungen alleine werden das Problem nicht lösen. Bisher gab es kein wirtschaftlich und ökologisch sinnvolles Verfahren gegen die Klimaveränderung. Mit dem ISA-Verfahren lassen sich die Treibhausgase CO₂ und Methan abbauen. Dazu nutzt das ISA-Verfahren einfache Verbrennungs-Prozesse oder die Meerwasser-Elektrolyse. Jegliche Arten von Verbrennungsprozessen, z.B. in Kraftwerken und Verkehrsträgern zu Luft, Wasser und Land, oder der Überschuss-Strom, z.B. aus den Offshore-Windkraftanlagen für die Elektrolyse lassen sich dazu nutzen.

Abgeleitet aus den natürlichen Effekten von

- a) der Klimakühlung durch ISA-haltige Aschewolken aus großen Vulkanausbrüchen und
- b) den weltweit wirkenden Verwehungen ISA-haltigen Lössstaubs, die die Eiszeiten auslösten, wurde dieses Verfahren entwickelt.

Vulkaneruption Eyjafjallajökull

Quelle: iStockphoto, © Jochen Scheffl

Erst wenn die Eruptionswolke für das Sonnenlicht transparent geworden ist, kann das Eisensalz auf den Ascheteilchen seine Wirkung auf den Methanabbau entfalten



Was genau waren die Veränderungen, die durch Vulkan-Aschewolken, wie z.B. nach dem Ausbruch des Pinatubo 1991, und des Laki 1783 oder durch die eiszeitlichen Lössstaubwolken ausgelöst wurden?

- Globaler Rückgang der CO₂-Konzentration
- Globaler Rückgang der Methan-Konzentration
- Globaler Rückgang der Temperatur
- Globale Zunahme der Wolkenbedeckung

Was waren die wesentlichen Ursachen für diese Veränderungen?

Die komplexe Reaktion des ISA-haltigen Staubs (=Aerosol) verursachte:

- die Neubildung von Chlor- und Hydroxylradikalen in der Troposphäre;
- den Abbau von Methan und ähnlichen Gasen durch

Chlor- und Hydroxylradikale;

- den CO₂-Abbau durch Algendüngung mit ISA-haltigem Staub im Ozean.

Das ISA-Verfahren lehnt sich eng an diese natürlichen durch ISA-haltige Stäube ausgelösten Klima-Bildungsprozesse an und leitet sich zugleich daraus ab.

Wesentliches Element darin ist die globale Verteilung eines ISA-haltigen Aerosols, das bei geeigneter Anwendung im Vergleich zu den natürlichen ISA-haltigen Stäuben wesentliche Vorteile hat:

- eine um ein Vielfaches höhere Klima-Wirksamkeit;
- eine um ein Vielfaches geringere Masse und Konzentration in der Luft;
- es ist gefahrlos für die menschliche Gesundheit;
- es ist ohne Nachteile für alle wasser- und landgebundenen Ökosysteme.

Wie funktioniert das ISA-Verfahren?

Dem Wind, dem Fahrtwind, der Abluft oder den Abgasen der Kraftwerke oder der Luft- und Wasser-Verkehrsträger wird ISA zugesetzt. Dafür gibt es die beiden Varianten A und B:

Nach Variante A geschieht das durch Verbrennung eines Heizöls oder Treibstoffs, dem eisenhaltige Additive, z.B. Ferrocen, zugegeben wurden. Bei der Verbrennung entsteht feinstes eisenhaltiges Aerosol. Dieses Aerosol wandelt sich bei seiner Ableitung in die Atmosphäre mit den Rauchgasbestandteilen, wie z. B. Schwefeldioxid, und mit Luftbestandteilen, wie z. B. Sauerstoff unter der Wirkung des Sonnenlichts in ISA um.

Nach Variante B geschieht das durch die Elektrolyse von Salzwasser, z. B. Meerwasser, das an den Offshore-Windkraftwerken in unbegrenzter Menge verfügbar ist. Vorteilhaft sind dazu auch die in Wüstenregionen häufigen Salzseen, an denen elektrische Energie aus

Sonnenlicht hergestellt werden kann. Die Salzwasserelektrolyse kann auch in Verkehrsträgern oder Kraftwerken durchgeführt werden.

Das elektrolytisch freigesetzte Chlor setzt sich durch Reaktion mit heißem Eisenschrott zu Eisen(III)chlorid-Gas um. In die Atmosphäre freigesetzt, verwandelt sich das Eisen(III)chlorid-Gas unter Kondensation und Hydrolyse in ISA. ISA in der Atmosphäre aktiviert in komplexen chemischen, photochemischen und biologischen Reaktionsmechanismen die Oxidation von Methan und ähnlichen Klimagasen. Darüber hinaus wandelt es nach seinem Absinken in den Ozean CO_2 in sedimentgebundenen Brennstoff und Kalkstein um.

Ein Beispiel zur Verdeutlichung der Wirkung des ISA-Verfahrens:

Ein Flugzeug vom Typ A 380 verbraucht auf dem Flug Frankfurt – Tokio 310 m^3 Kerosin ca. 30 kg Ferrocen-



Additiv oder ca. 30 kg Eisen(III)chlorid-Gas.
1 kg Ferrocen-Additiv oder 1 kg Eisen(III)chlorid-Gas entfernen ca. 25 t CO₂ (= 25 t CO₂-Treibhausgas-Äquivalente) und ca. 5 t Methan (entsprechend ca. 100 t CO₂-Treibhausgas-Äquivalente), zusammen also 125 t CO₂-Treibhausgas-Äquivalente.

Somit werden auf dem Flug ca. $30 \times 125 \text{ t} = 3800 \text{ t}$ CO₂-Äquivalente entfernt, jedoch durch die Kerosinverbrennung nur 856 t CO₂ erzeugt. Der Flug verursacht somit einen Netto-Abbau von ca. 3000 t CO₂-Äquivalenten.

Zusätzlich sorgt das Ferrocen-Additiv für eine rußarme und vollständige Verbrennung.

Zur Auslösung dieses Effektes ist es nicht notwendig, das Ferrocen-Additiv im Flugzeugmotor zu verbrennen oder das Eisen(III)chlorid-Gas aus dem Flugzeug während des Fluges in die Atmosphäre abzugeben.

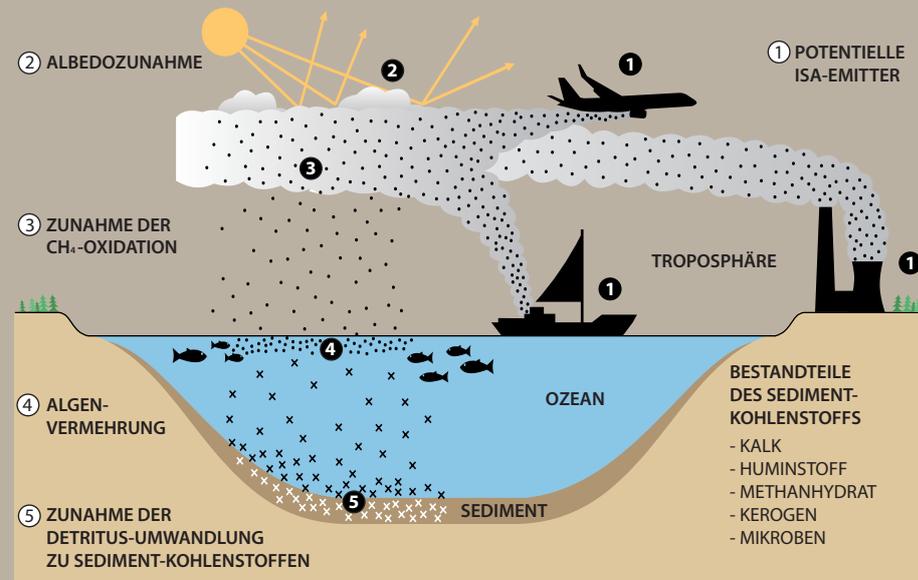
Da die Wirkung des ISA-Verfahrens räumlich unbegrenzt in der Atmosphäre selbst ausgelöst wird und sich in den Ozeanen darunter fortsetzt, können diese Effekte mit gleicher Wirkung auch mittels einer ISA-Anlage ausgelöst werden, die an vorteilhaften Örtlichkeiten auf dem Kontinent steht oder auf dem Ozean schwimmt.

Da das ISA aus effektiven Kondensationskeimen besteht, kann es besonders weiße Wolken mit hoher Reflektion bilden. Dieser Effekt bewirkt eine zusätzliche Klimakühlung.

Heute werden jährlich weltweit 25 Milliarden Tonnen CO₂-Äquivalente aus diversen durch den Menschen verursachten Verbrennungsvorgängen erzeugt. Mit einem Einsatz von rund 100.000 t Eisen als ISA ließe sich diese Treibhausgasbelastung weltweit eliminieren. Damit wäre das ISA-Verfahren wirtschaftlich sinnvoll und finanziell durchführbar.

CO₂- und CH₄-Einlagerung durch Eisensalz-Aerosol (ISA)

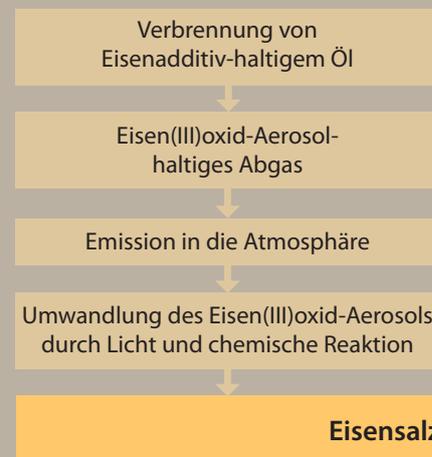
CO₂-Umwandlung in sedimentgebundenen Kohlenstoff unter permanenter Zunahme von CH₄-Oxidationsrate und Wolkenalbedo



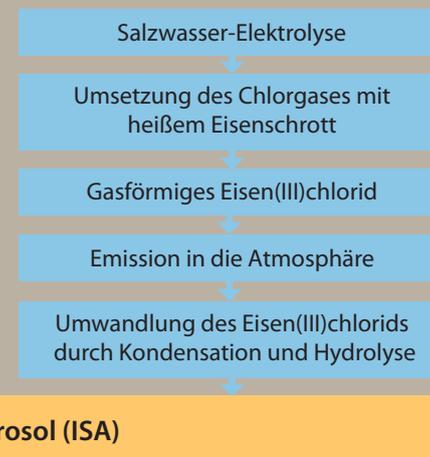
ISA-Verfahren

Technische Erzeugung atmosphärischen Eisensalz-Aerosols (ISA)

Variante A



Variante B



Eisensalz-Aerosol (ISA)

Funktionsmodell

Je nach Luftfeuchte ist das ISA ein Aerosol aus Tröpfchen oder Partikeln. Die Tröpfchen oder Partikel des ISA koagulieren mit dem Meersalz-Aerosol. Je nach Alter des Meersalz-Aerosols enthält dies mehr oder weniger Chlorid; ursprüngliche Chlorid-Aerosole wandeln sich zu Sulfat-Aerosolen. Die Meersalz-Aerosole verlieren ihr Chlorid durch Kontakt mit Schwefelsäure-Aerosolen oder Stickoxiden. In der Atmosphäre wandelt sich eins ins andere um, in Wolken wirken andere chemische Prozesse als außerhalb. Aerosole sind in festem, flüssigem oder halbflüssigem Zustand. Diese Zustände verwandeln sich chamäleonartig ineinander, können z. B. mal rasch und unvollständig zu Eis gefrieren und dann wieder ebenso rasch auftauen.

Das ISA-Verfahren lässt sich als Prozess sehr eng in Betriebsabläufe und Ökosysteme einbetten oder auch vollkommen davon trennen.

Dadurch werden weder in den wirtschaftlich-technischen Betriebsabläufen, noch in den miteinander vernetzten natürlichen Ökosystemen von Troposphäre, Erdoberfläche und Ozean Störungen ausgelöst.

Abgesehen von den geringen Kosten für die Prozessstufe 1 belastet der Prozessablauf nicht die vorhandenen wirtschaftlichen und natürlichen Systeme. Im Gegenteil, der Prozess stützt diese Systeme und macht ihren nachhaltigen Ablauf überhaupt erst möglich.

Nachfolgend sind die einzelnen Prozessstufen in ihrer Reihenfolge aufgeführt. Da die einzelnen Stufen zum Teil ineinandergreifen und parallel nebeneinander ablaufen, entspricht die Reihenfolge im Wesentlichen dem Prozessablauf. Zusätzlich werden die in der jeweiligen Stufe erreichten Beiträge zur Klimakühlung dargestellt.

Die Prozessstufen des ISA-Prozesses

Im nachfolgenden Text werden die beiden Varianten des ISA-Prozesses mit A und B bezeichnet.

Prozessstufe 1 A: Technischer Anteil

Herstellung von Ferrocen¹⁾ und seine Additierung zu Brenn- und Treibstoffen.

Verbrennung der additierten Treibstoffe in Verkehrsträger-Motoren, im Abgasstrom von Verkehrsträgern oder in eigens dafür gebauten stationären oder schwimmenden Verbrennungsanlagen. Hierbei bildet sich festes Eisenoxid-Aerosol, das in der Abgasphase zusammen mit CO₂, Wasserdampf und Schwefeldioxid verteilt ist. Emission des Eisenoxid-Aerosol-Abgasgemischs in die Troposphäre.

1) Der Prozessablauf wird beispielhaft an dem Additiv Ferrocen aufgezeigt. Eisenadditive mit ähnlichen Eigenschaften können analog eingesetzt werden.

Prozessstufe 1 A: Natürlicher Anteil - ohne technisches Zutun

Umwandlung des photokatalytisch reaktiven Eisenoxid-Aerosols mit dem Abgas-Schwefeldioxid, dem Luftsauerstoff und übrigen Atmosphärrillen im Sonnenlicht in ein eisenhaltiges Sulfat-, Nitrat- und Chlorid-Salz-Aerosol (ISA).

Klimakühlungsbeiträge, die bereits im Verbrennungsprozess der Prozessstufe 1A generiert werden:

Der Additivzusatz bewirkt eine um 1,5 bis 2 % verbesserte Verbrennung bei erheblich vermindertem Rußausstoß. Er bewirkt ebenfalls einen um 1,5 bis 2 % verminderten CO₂-Ausstoß bei gleicher Leistung. Verminderter Ausstoß des Treibhausgases CO₂ einerseits und verminderter Rußausstoß andererseits bewirken jeder für sich einen Beitrag zur Klimakühlung. Die Bildung von Ruß und unvollständig verbrannten Kohlenwasserstoffen bei der Verbrennung kann durch den Additivzusatz sogar vollständig unterbunden werden, indem die abrupte Abkühlung der heißen Verbrennungsabgase vermieden wird.

Prozessstufe 1 B: Technischer Anteil

Erzeugung von Chlorgas durch die Elektrolyse von Salzwasser. Hindurchleiten des Chlorgases durch erhitzten Eisenschrott. Dabei bildet sich gasförmiges Eisen(III)chlorid, das mittels eines Trägergasstroms in die Atmosphäre eingeleitet wird. Dieser Prozess wird vorteilhaft überall dort angewendet, wo natürliche Salzwasservorkommen und elektrischer Strom verfügbar sind, z. B. auf dem Meer, an Offshore-Windkraftanlagen, Salzseen in den Wüsten, an Solarkraftwerken. Auch auf Schiffen und in Flugzeugen, wo der Fahrtwind oder die Abgasfahne als Trägergas zum Einleiten des Eisen(III)chlorid-Gases genutzt werden kann, ist der Prozess anwendbar.

Prozessstufe 1 B: Natürlicher Anteil - ohne technisches Zutun

Umwandlung des Eisen(III)chlorid-Gases durch Abkühlung und Hydrolyse in der wasserdampfhaltigen Atmosphäre in ein hygroskopisches eisenhaltiges Chlorid-Salz-Aerosol (ISA).

Prozessstufe 2: Natürlich - ohne technisches Zutun

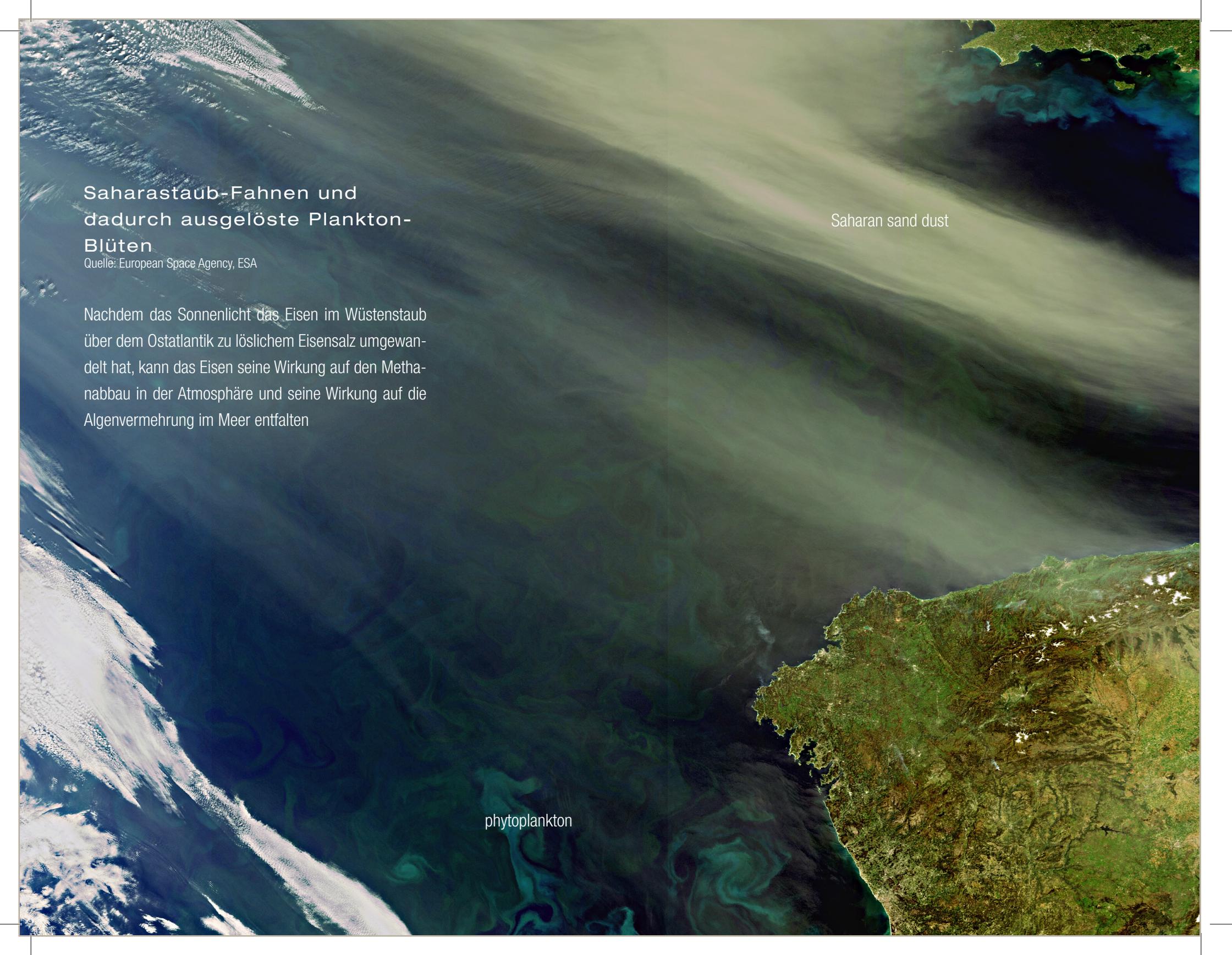
In den Wolken oxidieren sich am photolytisch aktiven ISA fortgesetzt die leichter oxidierbaren organischen Nicht-Methan-Luftinhaltsstoffe¹⁾. Diese Oxidation entlastet den Oxidationsprozess durch die freien Radikale in der Atmosphäre. Sie mindert damit den Verbrauch der atmosphärischen UV-strahlungs-stämmigen Hydroxyl- und Chlorradikale. Das führt zu einem zusätzlichen Anstieg der Radikal-Konzentration in der Atmosphäre.

1) Die Reaktion ist bekannt unter dem Synonym „Photo-Fenton-Reaktion“, einer vielseitig technisch genutzten Oxidation

Klimakühlungsbeiträge in Prozessstufe 2:

Durch den Anstieg der atmosphärischen Radikalkonzentration wird der Gehalt des Treibhausgases Methan in der Atmosphäre gesenkt.

Die organischen Nicht-Methan-Luftinhaltsstoffe wirken ebenfalls als Treibhausgas. Ihr effektiver Abbau am ISA bewirkt daher zusätzliche Abkühlung.

A satellite image of the Atlantic Ocean. A large, pale, hazy plume of Saharan sand dust extends from the top right towards the center. Below it, a dark, swirling area of phytoplankton is visible. The coastline of a landmass is visible on the right side.

Saharastaub-Fahnen und dadurch ausgelöste Plankton- Blüten

Quelle: European Space Agency, ESA

Nachdem das Sonnenlicht das Eisen im Wüstenstaub über dem Ostatlantik zu löslichem Eisensalz umgewandelt hat, kann das Eisen seine Wirkung auf den Methanabbau in der Atmosphäre und seine Wirkung auf die Algenvermehrung im Meer entfalten

Saharan sand dust

phytoplankton

Prozessstufe 3: Natürlich - ohne technisches Zutun

Durch Bildung von Chlor- und Hydroxylradikalen an dem sonnenbelichteten photolytisch aktiven ISA¹⁾ wird die Konzentration dieser Radikale in der Troposphäre angehoben. Das ISA verhindert das Ausregnen der wasserlöslichen atmosphärischen Chlorfracht als Chlorid und Chlorwasserstoff, indem es die Chloridfracht durch Oxidation zu den wenig hydrophilen Chlorradiakalen umwandelt. Dadurch kommt es zu einem Anstieg der Chlorradiakonzentration in der Troposphäre.

Neben den Chlorradiakalen bildet das ISA mit dem Meersalz-Aerosol Bromradikale. Ozon ist, abgesehen von seiner Gesundheitsgefährdung ebenfalls ein effektives Treibhausgas. Bromradikale zersetzen das troposphärische Ozon zu Sauerstoff. Meersalz-Aerosol und ISA bleiben auf die untere Schicht der Atmosphäre, die Troposphäre, begrenzt, daher bleibt der stratosphärische Ozongürtel davon unbeeinflusst.

1) Die Bildung von Chlor- und Hydroxylradikalen ist ein Kennzeichen der Photo-Fenton-Reaktion

Klimakühlungsbeitrag in Prozessstufe 3:

Die Chlorradiakalbildung ist für die Klimakühlung besonders bedeutend, weil die Chlorradiakale gegenüber der Methanoxidation um den Faktor 100 reaktiver sind, als die Hydroxylradikale. Methan wird dadurch in das Treibhausgas CO₂ umgewandelt, dem ein etwa um den Faktor 20 geringerer Treibhausgaseffekt innewohnt. Dieser Effekt bewirkt neben der Albedoverstärkung in Prozessstufe 4 wohl den erheblichsten Beitrag zur Abkühlung in dieser Prozessstufe.

Prozessstufe 4: Natürlich - ohne technisches Zutun

Der ISA-Gehalt der Troposphäre initiiert eine dichtere und ausgedehntere Wolkendecke aufgrund der Vielfältigung der verfügbaren Kondensationskeime¹⁾. Ein wesentlicher zusätzlicher Klimakühlungseffekt wird durch die dadurch ausgelöste Zunahme der Sonnenstrahlenreflektion verursacht.

1) D. Rosenfeld et al.: Flood or drought: How do aerosols affect precipitation? Science, 321, pp. 1309-1313 (2008)

Klimakühlungsbeiträge in Prozessstufe 4:

Das hygroskopische ISA bewirkt eine erhöhte Konzentration von Kondensationskeimen. Dies führt

- a) zu einer Wolkenbildung bereits bei geringerer relativer Feuchte und
- b) zu einer hohen Nebeltröpfchendichte.

Beide Effekte führen eine Zunahme der Sonnenreflektion (Albedo) und damit eine Abkühlung herbei.

Prozessstufe 5: Natürlich - ohne technisches Zutun

Auswaschen des je nach relativer Luftfeuchtigkeit und Temperatur flüssigen bis festen ISA aus der Troposphäre als Regen- oder Schnee-Niederschlag in den Ozean. Übergang des Eisengehaltes in den Stoffwechsel der assimilierenden Algen und Bakterien in der belichteten Schicht des Ozeans. Weil Eisen hier ein Mangel-element ist, kommt es dadurch zur Verbesserung der Lebensbedingungen für diese und die von der Nahrungskette

lebenden Lebewesen, die durch Vermehrung in ihrer Masse zunehmen. Das Treibhausgas CO_2 wird von den Lebewesen als Hydrogencarbonat aufgenommen. Unter Sauerstoffentwicklung wird der CO_2 -Kohlenstoff in die organische Substanz von Zellen bzw. Körpern eingebaut und als anorganischer Calcit und Aragonit in der Form von Schalen und Skelett ausgeschieden.

Klimakühlungsbeiträge in Prozessstufe 5:

Der Abbau des Treibhausgases CO_2 in der Atmosphäre bewirkt eine Klimaabkühlung. Die Anhebung des atmosphärischen Sauerstoffgehaltes bewirkt eine Anhebung des atmosphärischen Oxidationspotentials. Dadurch erhöht sich auch die photokatalytische Effektivität des Eisensalz-Aerosols hinsichtlich einer effektiveren Initiierung des Abbaus von atmosphärischen Reduktionsmitteln.

Die Aktivierung der assimilierenden Lebewesen löst eine Aktivierung der Emission ihrer flüchtigen Stoffwechselprodukte Dimethylsulfid und Dichlormethan aus.

Die Endprodukte der troposphärischen Oxidation dieser Stoffwechselprodukte, Schwefelsäure und Chlorid fördern die Albedovergrößerung durch Wolkenbildung, Chlorid fördert den Methanabbau. Beide Effekte haben abkühlenden Einfluss auf das Klima.

Prozessstufe 6: Natürlich - ohne technisches Zutun

Kot und übrige organische Substanzen samt anorganischen Schalen- und Skelettresten gemäß der ausgelösten Massenzunahme abgestorbener Lebewesen sedimentieren auf dem Meeresboden. Dieses resultiert ursprünglich aus den abgestorbenen Gliedern der aus dem Phytoplankton hervorgehenden Nahrungskette. Dort wandelt sich die organische Substanz im Faulprozess um in festes Methanhydrat, Wachs und Huminstoff und aus letzteren schließlich in den Erdölvorläufer Kerosin. Insbesondere die Sulfatreduktion und die übrigen

Reduktionsvorgänge im Faulprozess des Sediments führen zur zusätzlichen Kalkstein-Ausfällung des im Meerwasser gelösten CO_2 . Aus Kalkfossilien, ausgefälltem Kalkstein, organischen Massen und Methanhydrat bildet sich dabei ein stabiles Sediment.

Klimakühlungsbeiträge in Prozessstufe 6:

Die wesentlichen Kühlungsbeiträge aus Prozessstufe 6 basieren nicht allein auf der Bindung des Klimagases CO_2 im „ISA-Sediment“ sondern auch auf der Funktion dieses Sediments als nachwachsender Energieträger: Seine Anreicherung mit Methaneis und anderen organischen Energieträgern ist ein Beitrag zur nachhaltigen Erzeugung nachwachsender Energieträger. Diese nachwachsenden Energieträger, deren ökosystem-schonende Rückgewinnung aus dem Ozean sich bereits in der Entwicklung befindet, werden in der Ära nach Erschöpfung der fossilen Energieträger an Bedeutung gewinnen. Die ausschließliche Verwendung nachwachsender Energieträger bewirkt die Minimierung der Treibhausgasbildung und damit Maximierung der Klimakühlung.



Kasatochi

Kasatochi-Eruption

Quelle: NASA

Die hier gezeigte Eruption des Kasatochi 2008 löste durch die mit den Aschepartikeln ins Meer gelangten Eisensalze eine ausgedehnte Kieselalgenblüte im Nordpazifik aus, die danach zu einer enormen Zunahme der Rotlachspopulation führte.

diffuse ash

ash plume

Pacific Ocean

Fragen und Antworten zu den jeweiligen Prozessstufen

In diesem Kapitel sind die Beschreibungen der einzelnen Prozessstufen zu einer knappen Inhaltsangabe verdichtet. Die ausführlichen Beschreibungen sind im Kapitel „Die Prozessstufen des Eisensalz-Aerosol-Prozesses“ zu finden.

Prozessstufen 1A und 1B

1A: Ferrocen wird hergestellt und Treibstoffen beigelegt.

Das Treibstoffgemisch wird verbrannt, festes Eisenoxid-Aerosol entsteht. Das Eisen enthaltende Aerosol-Abgasgemisch wird in die Troposphäre abgegeben. Dort reagiert als Eisenoxid-Aerosol im Sonnenlicht mit anderen atmosphärischen Bestandteilen von Abgas und Luft, eisenhaltiges Sulfat-, Nitrat- und Chlorid-Salz-Aerosol (ISA) entsteht.

1B: Eisen(III)chlorid-Dampf wird hergestellt und wird in die Troposphäre abgegeben. Durch Abkühlung und chemische Reaktion entsteht daraus ein eisenhaltiges Chlorid-Salz-Aerosol (ISA).

Frage:

Wie teuer sind Ferrocen und Eisen(III)chlorid? Ist ihre Herstellung mit hohen Kosten verbunden?

Antwort:

Ferrocen ist ein einfach herstellbares Industrieprodukt, das bereits heute als Heizöl-Additiv oder Schiffs-Diesel-Treibstoff-Additiv genutzt wird. Es sorgt für eine rußarme, vollständige und damit umweltfreundliche Verbrennung. Der Ferrocenpreis liegt bei ca. 50 EUR/kg. Entsprechend wachsender Bedarf wird den Ferrocenpreis auf einen Bruchteil des heutigen Preises reduzieren. Der Preis für Eisen(III)chlorid liegt unter 5 EUR/kg.

Frage:

Wie viel Ferrocen oder Eisen(III)chlorid werden gebraucht, um die Erwärmung des Klimas aufzuhalten bzw. das Klima abzukühlen?

Antwort:

Aus den Folgen des Pinatubo-Ausbruchs konnte die spezifische Menge des durch die Wirkung von ISA in der Vulkanasche abgebauten CO₂ kalkuliert werden. Die Kalkulation berücksichtigt:

- die weltweite Zunahme des Sauerstoffgehalts in der Atmosphäre;
- den globalen Rückgang der CO₂-Konzentration
- den Gesamtgehalt des wasserlöslichen Eisens des in den Pazifik gefallenen Asche-Aerosols.

Unter Berücksichtigung der gegenüber den natürlichen Stäuben vorteilhaften physikalischen und chemischen Eigenschaften von ISA wurde auch die spezifische Menge des durch ISA abgebauten Methans abgeschätzt. Dabei wurde auch der globale Rückgang des Anstiegs

der Methan-Konzentration nach dem Pinatubo-Asche-fall berücksichtigt.

Die kalkulierten Mengen von CO₂ und Methan, deren Umwandlung in organischen Kohlenstoff bzw. in CO₂ von einem Gewichtsäquivalent Eisen ausgelöst werden kann, lassen sich auf das Additiv Ferrocen hochrechnen.

Der weltweite Ausstoß der 25 Milliarden Tonnen kohlenstoffhaltiger Treibhausgase, die durch menschliches Tun verursacht werden, ließe sich durch den Einsatz von rund 100.000 t Eisen pro Jahr in der Form von Eisensalzaerosol eliminieren. Das entspricht etwa dem Verbrauch der jeweils dreifachen Masse Ferrocen oder Eisen(III)chlorid, also jeweils etwa 300.000 t pro Jahr.

Frage:

Nachdem doch die Ferrocen-Verbrennung als Treib- und Brennstoff-Additiv bereits bekannt ist; wie kann denn da ein Verfahren unter Patentschutz gestellt werden, das eben diesen Verbrennungsprozess zum Inhalt hat?

Antwort:

Der troposphärische Luftraum in seiner herkömmlichen Ausbildung ist für den Zweck der Klimakühlung ungeeignet. Das liegt daran, dass seine Anreicherung mit ISA aus natürlichen sowie anthropogenen Quellen sporadisch bzw. ungleichförmig und unkontrolliert geschieht. Als natürliche Quellen gelten Vulkanausbrüche, Staubstürme, Meteoriteneinschläge und kosmischer Staub, als anthropogene Quellen gelten Stahlwerke, Gießereien, Heizöl- und Treibstoff-Additive.

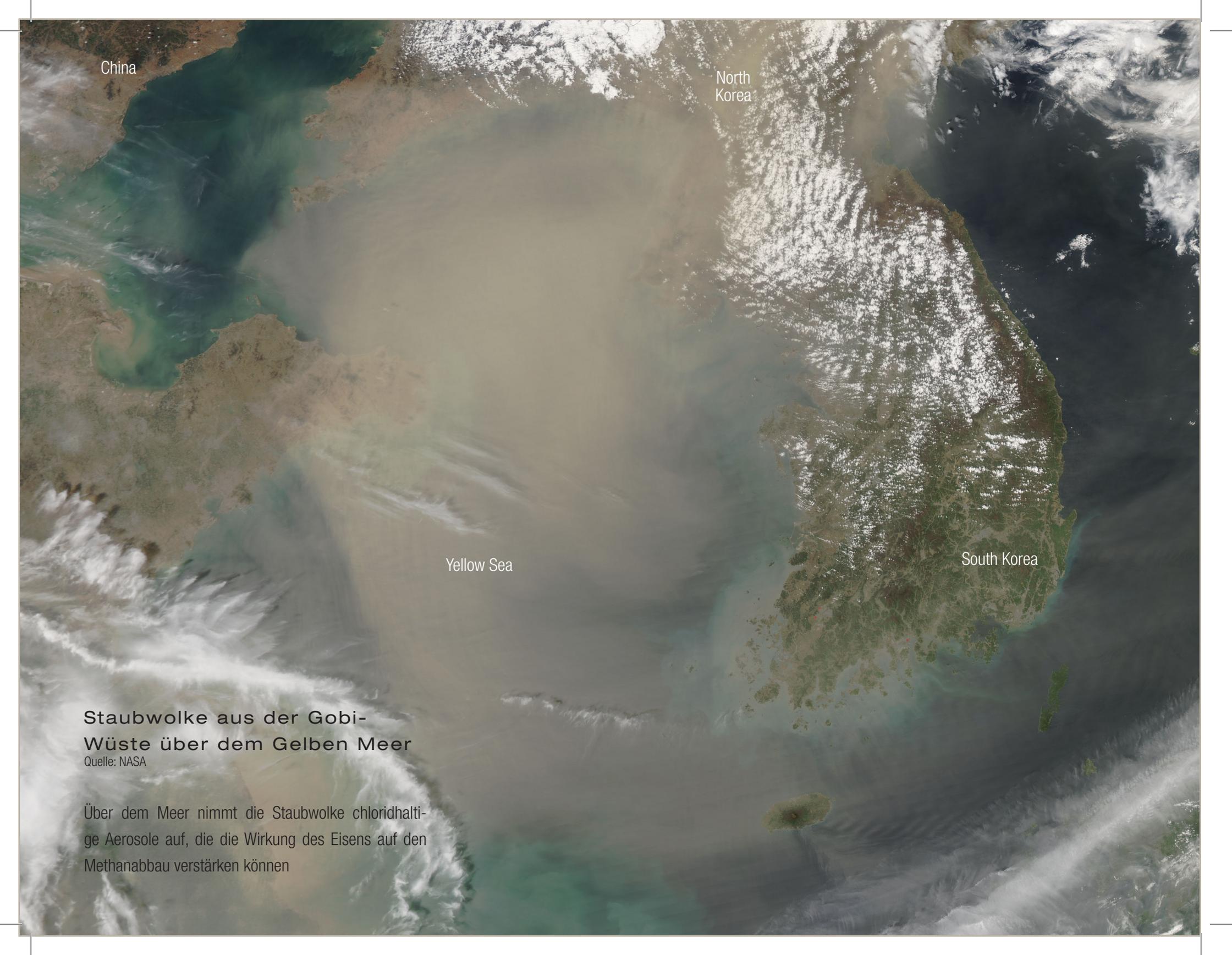
Deshalb muss der für den Zweck der Klimakühlung geeignete Luftraum mit einer, über Zeit und Raum gemittelt, nachhaltig geregelten Dosis ISA angereichert werden. Nur so gelingt es, eine im Mittel konstante Eisensalz-Aerosol-Konzentration einzustellen. Diese Dosis ist derart bemessen, dass die angestrebten Klimaziel-Parameter mit nachhaltiger Konstanz gehalten werden.

Frage:

Wie hoch ist bei Durchführung des ISA-Prozesses die ISA-Konzentration in der Atmosphäre? Kann es zur Beeinträchtigung unserer Gesundheit oder unserer Umwelt kommen?

Antwort:

Verkehr und Energieerzeugung sind auf die Nordhalbkugel unseres Globus konzentriert. Für den Fall, dass das ISA-Verfahren an Verkehrsträger (Flugzeuge und Schiffe) und Energieerzeugung (Kraftwerke und Off-Shore Windkraft) gekoppelt wird, ist die ISA-Konzentration hier am höchsten. Unter den ungünstigsten Immissions-Bedingungen beträgt die Eisenkonzentration 20 Nanogramm pro Kubikmeter Luft. Diese Immissions-Bedingungen herrschen allerdings nur, wenn die eisenhaltigen Aerosole aus der Gesamtmenge der 300.000 t jährlich zu verbrennenden Ferrocen-Masse quantitativ in der Troposphäre verbleiben, also nicht absinken. Dabei wird vorausgesetzt, dass die ISA-Emissionsquellen derart ausgelegt werden, dass die bodennahe Luftschicht über den Kontinenten durch die ISA-Emissionen nicht belastet wird.



China

North
Korea

Yellow Sea

South Korea

Staubwolke aus der Gobi- Wüste über dem Gelben Meer

Quelle: NASA

Über dem Meer nimmt die Staubwolke chloridhaltige Aerosole auf, die die Wirkung des Eisens auf den Methanabbau verstärken können

In Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts für Aerosol-Forschung in Hannover sind in unterschiedlichen Tierversuchen die Auswirkungen der Eisenkonzentration in der Atemluft untersucht worden. Selbst beim beständigen direkten Einatmen von Atemluft mit einer Eisenkonzentration von etwa 0,5 Milligramm pro Kubikmeter¹⁾, wurden keine negativen Auswirkungen auf die Atmungsorgane oder sonstige Gesundheitsnachteile gefunden.

Die Eisenkonzentration von etwa 0,5 Milligramm pro Kubikmeter in der Atemluft ist etwa um das 25.000-fache höher als 20 Millionstel Milligramm pro Kubikmeter, die unter den ungünstigsten Immissions-Bedingungen entstehen.

Diese Konzentration läge um viele Größenordnungen unter den Feinstaub-Konzentrationswerten, die in unseren Städten auftreten dürfen, ja sogar jenen Feinstaubwerten, die fernab der Städte auf dem Land vorkommen. Auch die Eisengehalte oder auch die gesundheitsgefährlichen Rußpartikel in diesen Stäuben liegen weit über der Aerosolkonzentration,

1) L. Peters et al.: Investigations of chronic toxic and carcinogenic effects of gasoline exhausts deriving from fuel without and with ferrocene additive; Inhalation Toxicology, 12, Supplement 2, pp. 63-82; ISSN: 0895-8378

in der unsere ISA-Partikel vorkommen können. Im Gegenteil: Durch den ISA-Prozess wird der überwiegende Anteil der Verbrennungsvorgänge dahingehend verbessert, dass sie weniger Ruß und unvollständig verbrannte organische Verbindungen ausstoßen. Das Eisen enthaltende Aerosol sorgt dafür, dass kanzerogene Stoffe, wie z. B. Ruß und Nitroaromaten aus den Verkehrsabgasen sowie Ozon und organische Peroxyacetylnitrate aus dem Photosmog rasch abgebaut werden bzw. an ihrer Bildung gehindert werden können.

Der Einsatz des ISA-Prozesses wird daher zum Rückgang dieser Krebsleiden führen.

Frage:

Bei der landnahen Durchführung des ISA-Prozesses, z.B. an Kühltürmen und Kraftwerken, in Häfen ein- und auslaufenden Schiffen, landenden und startenden Flugzeugen könnten höhere Immissionsbelastungen ausgelöst werden. Wie kann bei solchen Emissionsquellen eine Belastung der Bevölkerung durch ISA vermieden werden?

Antwort:

Die Emission von ISA geschieht am Kraftwerk durch Einleiten von Eisenoxid- oder Eisen(III)chlorid-haltigen Gasen mit den heißen Abgasen in die Atmosphäre. Ausgenommen in Phasen mit Inversionswetterlage können die Rauchgase durch thermischen Auftrieb auf Höhen bis weit über 1000 m aufsteigen. Während Inversionswetterlagen, in denen solche Auftriebswerte nicht erreicht werden können, wird die Einleitung des ISA-haltigen Abgases eingestellt.

Bei Schiffen kann die ISA-Emission unmittelbar vor der Hafeneinfahrt abgestellt werden.

Bei landenden oder startenden Flugzeugen kann ohne weiteres ähnlich verfahren werden, d. h., die ISA-Emission geschieht nur bei Flughöhen von mehr als 1000 m über Grund. Damit kann die erhöhte Belastung der Bevölkerung in unmittelbarer Nähe der ISA-Emissionsquellen komplett vermieden werden.

Der große Vorteil des ISA-Verfahrens ist, dass es nicht notwendig an den eigentlichen Treibhausgas-Emissionsquellen betrieben werden muss. Der Betrieb kann

an einem für seine Wirksamkeit besonders vorteilhaften Ort, der auch fernab jeglicher menschlicher Behausung liegt, z. B. im Südpazifik auf einer Plattform, auf einem Schiff oder in der oberen Troposphäre von einem Flugzeug aus stattfinden.

Das ISA-Verfahren, z. B. an einem Kraftwerk kann während geeigneter Wetterlagen betrieben werden. So hat der Betreiber es selbst in der Hand, Belästigungen durch herabsinkende ISA-verfahrensstämmige Rauchgase zu verhindern.

Nur für den Fall, dass sich entgegen aller Prognosen gravierende negative Effekte auf die Gesundheit von Menschen einstellen sollten, könnte der Betrieb des ISA-Verfahrens sofort abgestellt oder reduziert werden. Damit lassen sich negative Effekte unmittelbar abstellen.

Frage:

Werden die Verbrennungs-Abgase, die beim ISA-Prozess freigesetzt werden wegen ihres Eisengehaltes den Himmel rostfarbig oder gelb ähnlich der eisenstaubhaltigen Marsatmosphäre färben?

Antwort:

Nein, selbst direkt am Abgasschornstein der Schiffe, im Abgasstrahl der Flugzeuge oder im Rauchgasaustritt am Kraftwerkschornstein ist kein gelber Eisenschimmer auszumachen, weil die Eisenkonzentration in den Auspuffgasen etwa zwischen 10 und 100 Milligramm pro Kubikmeter liegen werden.

Gerade die modernen Kreuzfahrtschiffe addieren mit Ferrocen ihren Treibstoff, um die Passagiere nicht mit schwarzen Rußfahnen aus ihren Abgasschornsteinen zu belästigen. Ihre Abgasfahnen enthalten schon heute Eisenkonzentrationen zwischen 10 und 100 Milligramm je Kubikmeter, ohne dass diese durch gelbliche Farbe auffallen. Sie fallen nur dadurch auf, dass sie gegenüber dem herkömmlichen Schiffsdiesel-Auspuff, der durch Ruß grau gefärbt ist, unsichtbar sind.

Prozessstufe 2

Direkt am ISA oxidieren vor allem in den Wolken die organischen Stoffe. Durch den dadurch ausgelösten Minderverbrauch von Chlor- und Hydroxylradikalen kann deren Konzentration in der Troposphäre ansteigen.

Frage:

Kann die direkte Oxidation der organischen Stoffe am ISA nur innerhalb der Wolken geschehen?

Antwort:

Nein, natürlich kann die direkte Oxidation auch außerhalb der Wolken geschehen. Außerhalb von Wolken liegt das ISA überwiegend als feste Partikel vor. Innerhalb der Wolken liegt das ISA dagegen überwiegend als Tröpfchen-Aerosol oder als flüssiger gefrier-konzentrierter Film mit hoher Salzkonzentration auf Eiskristallen vor. Zudem ist die Wasserstoffperoxid-Konzentration innerhalb der Wolken eine höhere als außerhalb. Unter diesen Bedingungen kann die Photo-Fenton-Oxidation am ISA innerhalb der Wolken jedoch wesentlich effektiver geschehen, als außerhalb.

A photograph of an offshore wind farm at sunset. The sky is a vibrant orange and yellow, with the sun low on the horizon. The water is dark with a shimmering reflection of the sun. Several wind turbines are visible, their silhouettes standing against the bright background. The turbines are arranged in a line across the sea.

Offshore Windanlage

Quelle: iStockphoto, © Sergiy Serdyuk

Überschüssiger Strom aus Offshore Wind-, Wellen- und Gezeitenkraftwerken kann zur Herstellung der Eisen-salzaerosole genutzt werden

Prozessstufe 3

Am ISA oxidieren auch Hydroxylgruppen, Wasserstoffperoxid und Chlorid. Das steigert die Chlor- und Hydroxylradikalkonzentration in der Troposphäre zusätzlich.

Frage:

Sind die hier dargestellten photochemischen Reaktionen des ISA mit den Luftinhaltsstoffen, die zur Neubildung der den Methanabbau initiierenden Radikale führen bzw. zur Zunahme der den Methanabbau initiierenden Radikalkonzentration wissenschaftlich belegt? Ist wissenschaftlich belegt, dass Hydroxyl- und Chlorkradikale Methan abbauen?

Antwort:

Belegt ist, dass der Methanabbau in der Troposphäre ausschließlich durch Hydroxyl- und Chlorkradikale geschieht. Gleichfalls ist nachgewiesen, dass die Bildung von Hydroxyl- und Chlorkradikalen an Eisensalzen in natürlichen Wolken- und Nebeltröpfchen geschieht. Schließlich wurde durch Untersuchungen in den vulkanischen Ascheeruptionswolken nachgewiesen, dass die

Radikalbildung darin den massiven Abbau von Methan und sonstigen Kohlenwasserstoffen auslöst¹⁾.

Die entsprechenden photochemischen Reaktionen und sog. Photo-Fenton-Reaktionen von Eisensalzen werden erfolgreich schon seit Jahrzehnten zur Entfernung von Problemstoffen bei der Wasserreinigung eingesetzt.

Durch die vielen Nachweise der entsprechenden Korrelation des jeweiligen atmosphärischen Staub-, CO₂- und Methangehalts sowie Temperatur während Eis- und Warmzeiten über die vergangene Million Jahre ist dies belegt.

Diese Nachweise resultieren aus den Eisbohrkernen von Antarktis und Grönland, sowie Sedimentbohrkernen aus dem Pazifik.

Die chemisch-physikalischen Bedingungen in der Troposphäre nach Temperatur und Luftfeuchte sind einem beständigen Wechsel unterworfen und differieren stark gemäß vertikalem Abstand von der Meeres- bzw. Erdoberfläche und Örtlichkeit. Deshalb kann die genaue Feststellung der Wirksamkeit erst nach Anwendung des

1) A. Baker et al.: Investigation of chlorine radical chemistry in the Eyjafjallajökull volcanic plume using depletions in non-methane hydrocarbons; Geophysical Research Abstracts, 13, EGU2011-3376 (2011)

ISA-Prozesses durchgeführt werden. Wir gehen davon aus, dass die tatsächlich notwendige ISA-Dosierung gegenüber unserer heutigen Annahme, die sich nur an der Wirkung der ISA-haltigen Pinatubo-Vulkanasche auf den CO₂- und Methan-Abbau orientiert, sich noch wesentlich reduzieren wird.

Prozessstufe 4

Der ISA-Gehalt der Troposphäre verdichtet durch Kondensationskeime die Wolkendecke; ein zusätzlicher Klimakühlungseffekt entsteht aufgrund der zunehmenden Sonnenstrahlenreflexion.

Frage:

Wird es durch den Einsatz des ISA-Verfahrens zu einer wesentlichen Veränderung der Wolkenbedeckung kommen? Wird man nur noch selten blauen Himmel und Sonnenschein zu sehen bekommen?

Antwort:

Nein, das ist nicht zu erwarten. Der wesentliche Effekt auf die Wolken ist ihre höhere Reflektion. Das heißt, die

Wolken werden in ihrer Draufsicht durch ISA weißer. Wenn man die ISA-haltige Wolke von unten sieht, wirkt sie dunkler. Das globale Verhältnis zwischen wolkenbedeckten und wolkenfreien Gebieten wird wahrscheinlich um weniger als 10 % zunehmen.

Prozessstufe 5

Das ISA fällt als Niederschlag und geht in den Stoffwechsel des Ozeans über, vermehrtes Algenwachstum tritt auf.

Frage:

Viele wasserlösliche Stoffe, wie z. B. der bei der Methanoxidation freigesetzte Chlorwasserstoff, werden mit den Niederschlägen rasch aus der Atmosphäre ausgewaschen. Gilt das auch für die Salze des ISA? Dies könnte die Aufenthaltszeit von ISA doch stark einschränken.

Antwort:

Aerosole aus hygroskopischen Stoffen, dazu gehört auch ISA, wirken als Kondensationskeime höchst förderlich für die Wolkenbildung. Im Gegensatz zu geringer Kondensationskeimdichte bestehen die Wolken bei ausreichend hoher Kondensationskeimdichte aus sehr kleinen Nebeltröpfchen, die im Gegensatz zu größeren Nebeltröpfchen nicht miteinander koagulieren können. Eine Niederschlagsbildung aus Wolken, die aus solchen kleinen Nebeltröpfchen bestehen, ist nur möglich, wenn sich aus den kleinen Nebeltröpfchen in der Wolke Eiskristalle bilden können. Dadurch wird die Geschwindigkeit des Auswaschens der ISA aus der Troposphäre erheblich eingeschränkt.

Auch das Auswaschen von ISA-Tröpfchen durch fallende Niederschläge aus Regen oder Schnee ist gegenüber der Auswaschung von gasförmigen Stoffen, wie z. B. Chlorwasserstoff auf Grund der geringen Diffusionsgeschwindigkeit derartiger Tröpfchen wesentlich geringer.

Frage:

Was passiert mit dem Algenwachstum, erleben wir eine Algenkatastrophe? Wird die Eutrophierung der Ozeane durch Bildung ausgedehnter anaerober Zonen massive Veränderung der ozeanischen Ökosysteme auslösen?

Antwort:

Anders als bei den zur Klimakühlung vorgeschlagenen Verfahren der direkten Algendüngung mit Schiffsladungen voll Eisensalz, die nur auf einer winzig kleinen Ozeanfläche ausgebracht werden können, wird bei dem ISA-Prozess die gesamte vorhandene Ozeanoberfläche genutzt.

Dadurch gelangt nur eine sehr geringe Dosis auf die Fläche. Die zusätzliche Belastung eines Quadratmeters Meeresoberfläche mit Eisensalz innerhalb eines Jahres liegt dann nur bei 30 mg/m². Bezogen auf das Volumen der photischen Zone im Ozean, die dort bis 200 m unter der Oberfläche reicht, ergibt sich damit innerhalb eines Jahres ein zusätzlicher Eiseneintrag von 0,15 mg/m³. Das Algenwachstum wird damit weltweit angeregt.

Kraftwerke, Flug- und Schiffsverkehr gehören zu den größten Treibhausgasemittenten; deshalb lassen sie sich auch als ISA-Emissionsorte für das ISA-Verfahren nutzen

Quelle: iStockphoto, © Marko Doering photography



Diese zusätzlich ausgelöste Algenproduktion ist in landnahen und solchen Ozeanarealen gering, in denen aufwärtsgerichtete Strömungen herrschen, weil dort das Algenwachstum aus natürlicher Eutrophierung dominiert.

Erst in landfernen Ozeanarealen, die durch Eisenmangel bestimmt sind, dominiert die durch das ISA ausgelöste Algenproduktion.

Diese Algenproduktion ist als organisch gebundener Kohlenstoff eine zusätzlich gebildete organische Masse in der Nahrungskette. Sie kann, bezogen auf 30 mg/m² Eiseneintrag während des ganzen Jahres, im Maximum 643 Tonnen organischen Kohlenstoff pro km² Ozeanoberfläche erreichen¹⁾.

Dies entspricht einer durchschnittlichen zusätzlichen täglichen Neubildung organischer Masse von 9 mg C pro Tag und m³ in der photischen Zone¹⁾.

Bei derart geringer zusätzlicher Rate der organischen Kohlenstoff-Neubildung ist die Neubildung anaerober Phasen bzw. die Verschiebung von Grenzflächen zwischen aeroben und anaeroben Phasen ausschließlich in solchen ozeanischen Lokalitäten zu erwarten, in de-

nen von vornherein anaerobe bzw. sulfatreduzierende Phasen vorhanden waren.

1) Gemäß der Literatur kann 1 Eisenatom die Umwandlung von 100.000 CO₂-Kohlenstoffatomen zu organisch gebundenem Kohlenstoff auslösen.

Atommasse Eisen (Fe): 56 g
Atommasse Kohlenstoff (C): 12 g

Folglich können 56 g Fe Eisen 12 g x 100.000 g CO₂-C in organisches C umwandeln = 1.200.000 g C
30 mg Fe /m² pro Jahr entsprechen 30 mg Fe /m² / 56.000 mg = 0,00054 Fe Atommassen/m² pro Jahr

Daraus errechnet sich die pro m² und Jahr zu organischem C umsetzbare Masse CO₂-C zu: 0,00054 Fe-Atommassen/m² x 1.200.000 g = 643 g C/Jahr = 0,643 kg C/Jahr = 0,000643 t C/Jahr

Daraus errechnet sich die pro km² und Jahr zu organischem C umsetzbare Masse CO₂-C zu: 0,000643 t C/Jahr m² x 1.000.000 m²/km² = 643 t C/Jahr km²

Daraus errechnet sich die pro km² und Tag zu organischem C umsetzbare Masse CO₂-C zu: 643 t C/Jahr km² / 365 Tage/Jahr = 1,76 t C/Tag km²

Daraus errechnet sich die pro m² und Tag zu organischem C umsetzbare Masse CO₂-C zu: 1,76 t C/Tag km² / 1.000.000 m²/km² = 1,76 g C/Tag m²

Bei durchschnittlicher Dicke der photischen Zone im Ozean von 200 m errechnet sich die pro m³ und Tag zu organischem C umsetzbare Masse CO₂-C zu: 1760 mg C/Tag m² / 200 m = 9 mg C/Tag m³

Prozessstufe 6

Abgestorbene Lebewesen und gelöstes Kohlendioxid wandeln sich im Sediment um in Methanhydrat, Kerosin und Kalkstein.

Frage:

Was passiert mit dem Methanhydrat auf dem Meeresboden; Seit dem Roman „Der Schwarm“ könnten das viele Leute fragen?

Antwort:

Das Eisensalz wird auf der Meeresoberfläche sehr gleichförmig verteilt, so dass der ISA-Eisenzusatz weltweit nicht mehr als 30 Milligramm pro Quadratmeter Ozeanoberfläche im Jahr beträgt. Deshalb kann es nicht zu örtlich massierten permanenten Algenblüten kommen, die in dem darunter liegendem Sediment zu ggf. instabilen Methanhydrat-Anreicherungen führen könnten. Der kurzfristige Methanhydratzerfall unter Methanausgasung, ausgelöst durch den ISA-Prozess, ist daher nicht möglich. Im Gegensatz dazu, nimmt bei ungehinderter, durch fortgesetzten weltweiten

Temperaturanstieg ausgelöster Klimaerwärmung die Wahrscheinlichkeit für Sedimentrutschungen und temperaturbedingten Methanhydratzerfall zu. Dies hat gefährliche Blasenschwärme und Emission explosiver Methangaswolken zur Folge.

Das patentierte ISA*-Verfahren ist das einzig bekannte universal einsetzbare Verfahren, das mit geringen Kosten und geringem Aufwand in der Lage ist, große Mengen an Methan abzubauen. Zusätzlich hat es das Potential, weitere Treibhausgase (CO₂, Ozon) zu reduzieren.

- Hauptzielgruppe sind der Energiesektor (z.B. Kraftwerksbetreiber, Mineralölkonzerne), Flugzeugbauer und -zulieferer sowie die Schifffahrtsindustrie.
- Das weltweit angemeldete Patent wurde bereits in USA, China, Indien, Russland, Japan und Australien erteilt. Es ist für Europa noch im Erteilungsverfahren.
- Jedes Unternehmen, das in der Lage ist, das ISA-Verfahren anzuwenden und zum CO₂ Emissionshandel zuzulassen, kann damit nicht nur einen wertvollen Beitrag zum Klimaschutz leisten, sondern gleichzeitig die immensen Ertragspotenziale für sich ausschöpfen.

*ISA = Iron Salt Aerosol