

PHOTOKATALYTISCHES AEROSOLBeschreibung**5** Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein selbstaktivierendes photoaktives Aerosol, insbesondere zum Methanabbau in der Atmosphäre und/oder zur Abgasaufbereitung oder -reinigung, ein Verfahren zur Herstellung eines Aerosols, eine Vorrichtung, mit der ein solches Aerosol bereitgestellt werden kann sowie eine Abgasaufbereitungsanlage, welche auf Basis des Aerosols arbeitet.

10 Hintergrund und allgemeine Beschreibung der Erfindung

Es sind grundsätzlich Verfahren bekannt, klimaschädliche Substanzen wie Treibhausgase aus der Atmosphäre zu entnehmen, vgl. hierzu insbesondere die frühere Patentanmeldung WO 2010/075856 A1. Eines der Ziele ist es, durch eine Reduzierung von Treibhausgasen im Ergebnis einen direkten Einfluss auf das Klima und vorrangig den Klimawandel auszuüben und die generelle Erwärmung der Atmosphäre zu reduzieren, so dass die in der vorliegenden Beschreibung erläuterten Weiterentwicklungen für die

15 Menschheit als Ganzes einen bedeutenden Stellenwert einnehmen könnten.

Angesichts der Auswirkungen des Klimawandels wird weltweit des Weiteren auch nach Methoden gesucht, um ein verstärktes Wachstum des Phytoplanktons im Meer anzuregen und so CO₂ ggf. im Gigatonnenmaßstab aus der Atmosphäre zu absorbieren. Eisen(III)-chlorid-Aerosol-Fahnen in der Atmosphäre, die beispielsweise von Schornsteinen ausgestoßen werden könnten, könnten eine Abkühlung des Klimas und andere Umweltvorteile durch photochemischen Abbau von Methan und anderen organischen Verbindungen

20 in der Atmosphäre, physikalische Wolkenbildung, Aufhellung bestehender Wolken und Verstärkung der biologisch induzierten CO₂-Absorption im Ozean herbeiführen.

Beispielsweise kann eine Wolke aus Eisen(III)-chlorid-Aerosolpartikeln durch Sublimation von festem, wasserfreiem Eisen(III)-chlorid bei Temperaturen zwischen 200 und 300 °C erzeugt werden. Ein solches Verfahren wird auch in der Anmeldung "Method for Cooling the Troposphere" (WO 2010/075856 A1) aus dem Jahr 2010 beschrieben.

25 Ein Problem bei der Sublimation von Eisen(III)-chlorid ist jedoch die Zersetzung des entstehenden Eisen(III)-chlorid-Dampfes zu festem Eisen(II)-chlorid und elementarem Chlor, die im Temperaturbereich über 200 °C beginnt. Dies kann zu einer Verstopfung des Sublimationsgeräts mit ausgefallenem festem Eisen(II)-chlorid führen. Außerdem neigen Sauerstoff und/oder Wasserdampf enthaltende Verunreinigungen in der Sublimationskammer dazu, gasförmiges Eisen(III)-chlorid bei der Sublimationstemperatur zu festen sauerstoffhaltigen Eisenverbindungen zu oxidieren, was ebenfalls zu einer Verstopfung der Sublimationskammer führt. Außerdem**30** werden in diesem Temperaturbereich die Oberflächen der Eisen(III)-chlorid-Ausgangsmaterialien im Eisen(III)-chlorid-Bett und die Wände der Sublimationskammer mit den festen Reaktionsprodukten beschichtet. Dies verringert die Ausbeute an Eisen(III)-chlorid-Dampf. Eine weitere Schwierigkeit der vorgenannten Anmeldung aus dem Jahr 2010 ist die potentiell nur unzureichende Vermischung zwischen dem Eisen(III)-chlorid-Dampf und dem Gasstrahl. Dies liegt daran, dass der Eisen(III)-chlorid-Dampf einfach in den Gasstrahl eingespritzt wird, ohne weitere Mischeffekte zu nutzen. Durch eine unzureichende Durchmischung verringert sich der Anteil der**35** Eisen(III)-chlorid-Aerosolpartikel und/oder -tröpfchen (nachstehend "Aerosolpartikel" genannt bzw. im Begriff "Aerosol" implizit umfasst) mit einem Durchmesser <0,1 µm in der entstehenden Aerosolfahne. Dies verringert die Reaktionsfläche auf den emittierten Partikeln für die photolytische Erzeugung von Chloratomen für den Methanabbau in der Troposphäre (wie in Oeste et al., 2017 beschrieben). Außerdem weisen größere Aerosolpartikel eine geringere Lebensdauer in der Luft auf.**40** Noch ist die gezielte Beeinflussung des Erdklimas überwiegend eine Forschungsangelegenheit, da wie zuvor beispielhaft erläutert diese und zahlreiche weitere Hürden auszuräumen sind und auch die Bereitstellung einer ausreichend großen klimatischen Wirkung bislang noch problematisch waren. Gerade die Bereitstellung einerseits hinsichtlich der Vorrichtung andererseits hinsichtlich der Zusammensetzung einer klimawirksamen Substanz wird mit der vorliegenden Anmeldung erheblich weiterentwickelt.

In diesem Bereich gibt es von vielen Seiten aus Bemühungen, Weiterentwicklungen bereitzustellen. So wird beispielhaft in der WO 2022/053603 A1 ein potenzieller Weg für einen oxidativen Abbau von Methan durch Chloratome beschrieben. Ein Nachteil des dort

45 beschriebenen Verfahrens ist der nötige hohe Einsatz von Energie, insbesondere für die Bereitstellung der ultravioletten Bestrahlung, und somit jedenfalls einer fraglichen Energiebilanz beziehungsweise wirtschaftlichen Ausnutzbarkeit.

Die vorliegende Anmeldung fasst den aktuellen Stand von Weiterentwicklungen zusammen und ergänzt diesen um weitere Aspekte. Zu einem jeweiligen Teil sind die Aspekte bereits in den folgenden prioritätsbegründenden Anmeldungen beschrieben, welche hiermit durch Referenz inkorporiert werden: DE 10 2021 004 929.2, DE 10 2022 001 364.9, DE 10 2022 001 393.2, DE 10 2022 001

50 608.7, DE 10 2022 001 961.2, DE 10 2022 002 100.5 und GB 2 117 512.0.

Mit dem neuen Aerosol und seiner Herstellung nach dem beanspruchten neuen Verfahren kann der Abbau von atmosphärischem Methan durch das beanspruchte Chlorid-Gemisch-Aerosol beschleunigt werden. Beispielsweise kann als Chlorid-Gemisch-Aerosol ein säurehaltiges Ferrisalz-Gemisch-Aerosol eingesetzt sein, welches jedoch bei Anwendung eines vergleichbaren Eisengehaltes im Ferrisalz-Gemisch-Aerosol deutlich wirksamer ist. Damit einher geht der Vorteil, dass weniger Eisen in die Umwelt

emittiert werden muss, um die gleiche Masse Methan innerhalb einer gegebenen Zeitspanne zu oxidieren. Andererseits kann das beanspruchte Verfahren auch mit einem sehr geringen Eisengehalt im Aerosol oder ganz ohne Eisengehalt im Aerosol eingesetzt sein, beispielsweise für den Methanabbau in der Atmosphäre.

- 5 Dabei wird in dieser Beschreibung Chlorid oberbegrifflich eingesetzt im Falle eines "Chlor-enthaltenden Aerosols". Besonders umfasst dies die hydrolysisierbaren Chloride (TiCl_4 , SiCl_4 , AlCl_3 , FeCl_3 , Cl_2 , NOCl , NO_2Cl , NO_3Cl , HCl , Chlorid, Meerwasser) und die Chloridanionen. „Chlorid“ wird im Weiteren anstelle von Chlor für sämtliche hier verwendeten Chlor-enthaltenden Stoffe oder Verbindungen), verwendet, da sie überwiegend den hydrolysisierbaren Chloriden zuzurechnen sind.

- 10 Im sauren Milieu gehören Mischungen aus Salzsäure und Salpetersäure, insbesondere die als Aqua Regia bekannte Mischung, auf Grund ihrer Säure- und Oxidationswirkung zu den aggressivsten und korrosivsten Flüssigkeiten, weil sie elementares Chlor freisetzen. In dieser Beschreibung werden Aerosol-Zusammensetzungen, die Salpetersäure und Salzsäure enthalten, unter dem Begriff "Aqua-Regia" zusammengefasst. Die Zusammensetzung kann Aqua Regia entsprechen, sie kann aber auch lediglich hinsichtlich der Chlor- und/oder Chloratom-Freisetzung eine vergleichbare Wirkung, nicht aber das exakte Mischungsverhältnis von Aqua Regia aufweisen, beispielsweise eine geringere Konzentration, ein abweichendes Mischungsverhältnis, aktivierende Beimischungen oder einen höheren pH-Wert als das klassische Aqua Regia. Mit anderen Worten wird als "Aqua-Regia" in diesem Zusammenhang ein Aqua-Regia-
15 Analogon beschrieben. In der vorliegenden Beschreibung sind zahlreiche Aerosolzusammensetzungen aufgeführt, die, wenn sie hinreichend ausreagiert sind, in diesem Zusammenhang als "Aqua-Regia" bezeichnet werden. Das "Aqua-Regia" weist bevorzugt einen pH-Wert von 3 oder kleiner auf, beispielsweise im Bereich von 3 bis -1, bevorzugt von 2 oder kleiner.

- 20 Die Oxidationswirkung von "Aqua-Regia" kann im Lichte der im Weiteren im Detail beschriebenen Verfahren beziehungsweise im Lichte der im Weiteren im Detail beschriebenen Vorrichtungen insbesondere zum Abbau des Treibhausgases Methan, dem Abbau von Verbrennungsabgas-Schadstoffen beziehungsweise troposphärischen Ozons genutzt werden, wie ebenfalls im Weiteren erläutert werden wird.

- Durch die Sonnenlichtphotolyse des beanspruchten sauren "Aqua-Regia"-Aerosols, beispielsweise enthaltend HNO_3 -, Nitrat-, Chlorid- und HCl -haltiges Ferrichlorid und/oder Titanhydrolysat, erfährt die Wirksamkeit der „Aqua Regia“ Oxidationswirkung eine Wirkungssteigerung, weil sowohl das freigesetzte elementare Chlor aus der nicht-photolytischen klassischen Aqua-Regia
25 Oxidationsreaktion photolytisch zu Chloratomen gespalten wird, als auch die durch die Photolyse der Aqua Regia-Inhaltsstoffe zusätzlich gebildeten Chloratome durch photolytische Umsetzung von Nitrat und Salpetersäure in der Gegenwart von Chlorid zu NO_2 -Radikalen, Wasser und Chloratomen umgesetzt werden können. Hinzu tritt ggf., je nach Aerosolzusammensetzung, die Sonnenlicht-Photolyse von Ferrisalzen zu Ferrosalzen, die mit Nitraten zu Stickstofftrioxid-Radikalen führt, die mit Chloriden Chloratome bilden und wobei die Ferrichlorid-Photolyse zur direkten Chloratom-Bildung führt. Auch die Titanhydrolysate können aus chemischer Sicht zu
30 Titan(III)hydrolysat photolysiert werden, wobei die entsprechenden Reaktionsketten im „Aqua-Regia“-Milieu ebenfalls typischerweise in der Bildung von Chloratomen enden. Die Chloratome haben im Gegensatz zu Hydroxylradikalen keine ausgeprägte Polarität und gehen daher unmittelbar in die Gasphase über, wo sie mit ihren Reaktionspartnern, wie Methan, Rauchaerosolen und Ozon zusammentreffen und unter Umbildung zu HCl deren Oxidation bzw. Abbau einleiten.

- Trotz der chemischen Reaktivität gehört das beanspruchte Aerosol und die durch das Aerosol erreichte Oxidation
35 insbesondere von Methan zu den umweltfreundlichen Verfahren. So sind natürliche Prozesse zu beobachten, bei welchen in der Atmosphäre mit $\text{pH} < 1$ -sauren Ferrisalzaerosolen aus Mineralstaubabwehungen, eruptierten Vulkanaschen oder auch urbanen Emissionen operiert wird, ohne dass sich daraus Nachteile für die Ökosysteme ergeben. Sobald diese natürlichen oder künstlichen Aerosole von Niederschlägen aus der Atmosphäre ausgewaschen werden, werden deren saure Konditionen durch das Regenwasser abgestumpft und im Kontakt mit Erde, Gestein und Ozean neutralisiert. Dadurch kann der pH-Wert rasch auf schwach alkalische pH-
40 Werte an der Ozeanoberfläche und je nach Boden oder Gesteinstyp auf schwach alkalische bis schwach saure pH-Werte an der Landoberfläche ansteigen. Hinsichtlich der hier beanspruchten künstlichen Aerosole ist deren Emission voraussichtlich so zu regeln, dass sie nur in großer Verdünnung niedergehen können, beispielsweise überwiegend auf der Ozeanoberfläche. Auf Grund der Aggressivität des beanspruchten sauren Chlorid-Misch-Aerosols ist seine Herstellung allerdings nicht trivial. Je nach Ausführung der Vorrichtung kann eine hohe Säureresistenz der Vorrichtungskomponenten nötig sein.

- 45 Die Erfinder der vorliegenden Anmeldung haben vor diesem Hintergrund mit der vorliegenden Beschreibung zahlreiche Ansätze ausführbar beschrieben, wie in pragmatischer und durchführbarer Art und Weise die vorgestellten Verfahren und Vorrichtungen aufgebaut werden und/oder zum Einsatz kommen können. Dabei liegt in einem Aspekt der Beschreibung ein Augenmerk darauf, dass ausreichende Volumina bereitgestellt werden können und dabei der Energiebedarf möglichst gering gehalten wird.

- 50 Ferner hat sich die Erfindung in einem Aspekt die Aufgabe gestellt, Potentiale zu erfassen, menschengemachte oder natürliche Schadstoffemissionen für die vorliegende Erfindung so auszunutzen, dass die Schadstoffemission gesenkt werden kann und/oder die Wirkung oder Menge des hier vorgestellten Aerosols erhöht werden kann.

Ein weiteres Augenmerk der vorliegenden Erfindung liegt darauf, das Verfahren gegenüber früheren Ideen weiter zu vereinfachen, insbesondere die bereitzustellenden Präkursoren bzw. deren Herstellung zu vereinfachen, so dass ggf. sogar weniger oder gar keine Stoffmengen von Zusatz- bzw. Zuschlagstoffen in das Aerosol bzw. deren Herstellung einzubringen sind.

Das Problem wird gelöst durch die in den unabhängigen Ansprüchen definierte Erfindung. Abhängige Ansprüche geben Weiterbildungen und bevorzugte Ausgestaltungen der Erfindung wieder.

- Ein selbstaktivierendes photoaktives Aerosol gemäß der vorliegenden Beschreibung umfasst eine Anionen enthaltende Massenzusammensetzung. Die Massenzusammensetzung beschreibt dabei die Stoffmassen beziehungsweise die Verhältnisse der
- 5 Stoffmassen der in der Massenzusammensetzung enthaltenen Atome, Radikale oder Verbindungen zueinander. Beispielsweise weisen Nitrate eine Stoffmasse von 62,0049 g/mol auf, Chlorid weist eine Stoffmasse von 35,453 g/mol auf. Wenn ein Verhältnis von Stoffmassen in der Massenzusammensetzung angegeben ist, kann beispielsweise die Menge A zur Menge B angegeben sein. Dies schließt nicht aus, dass im Übrigen auch ein Stoff C oder ein Stoff D enthalten ist oder in welcher Menge weitere Stoffe enthalten sind.
- Die Massenzusammensetzung weist ein Massenverhältnis von Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu
- 10 Chloriden von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden.
- Ferner weist die Massenzusammensetzung einen pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1, also im Bereich von 3 bis -1 (jeweils inklusive), auf.
- Die Massenzusammensetzung kann ferner bevorzugt je einem im Aerosol enthaltenen Anion zwischen 0,2 und 2,5
- 15 Schwefelverbindungen umfassen, bevorzugt zwischen 0,5 und 1,5 Schwefelverbindungen, wobei die Schwefelverbindungen beispielsweise Schwefeldioxid-Moleküle und/oder Hydrogensulfat umfassen können.
- In bevorzugter Weise kann die Massenzusammensetzung ferner Metallverbindungen umfassen. Die Metallverbindungen der Massenzusammensetzung umfassen bevorzugt Metalle aus den Nebengruppenelementen des Periodensystems, beziehungsweise Verbindungen umfassend Nebengruppenelemente des Periodensystems, und/oder Alkalimetalle und/oder Erdalkalimetalle. Die
- 20 Metallverbindungen, insbesondere die Nebengruppen-Metallverbindungen, können dabei in einem Massenverhältnis von 1 Anteil Metallverbindungen zu 1000 Anteilen der Anionen bis 1 Anteil Metallverbindungen zu 3 Anteilen Anionen vorliegen. Mit anderen Worten können beispielsweise Metallverbindungen in den emittierten Aerosolen enthalten sein, und zwar in einer der Formen Chloride, Nitrate, Ionen, Hydroxide, Oxidhydrate oder Oxide. Bevorzugte Metallverbindungen sind die des Eisens, des Titans, des Mangans, des Kupfers und des Zinks. Die Nebengruppen-Metallverbindungen können beispielsweise Ferriionen bzw. -kationen, Ferroionen bzw. -kationen,
- 25 Ferrioxide, Ferrihydroxide, Eisen(III)oxidhydrat, Mangankationen, Mangan(IV)oxide, Manganationen, Permanganationen, Titanverbindungen wie Titandioxid, Titantrichlorid und/oder ein Hydrolyseprodukt von Titantrichlorid umfassen. Typischerweise sind – aufgrund der derzeitiger Verfügbarkeit und genügend guten Eignung für den Zweck – in der Weiteren Beschreibung bei Nennung von Metallen und Metallverbindungen diejenigen der Nebengruppen-Metalle und Nebengruppen-Metallverbindungen gedanklich im Sinn, wenngleich dies nicht ausschließen soll, dass die genannten Verfahren und Produktionszyklen auch mit anderen
- 30 Metallen und Metallverbindungen durchgeführt werden können.
- Des Weiteren können die Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen der Massenzusammensetzung in weiter bevorzugter Weise einen Stoff aus den Nebengruppen-Metallverbindungen wie als Nitrat oder Nitrit, Eisennitrat, Eisennitrit, Titandioxid, Hydrolyseprodukt von Titantrichlorid, Salpetersäure, NO, NO₂, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ umfassen. Mit anderen Worten können die Anionen als Metall-Stickstoff-Sauerstoff-Verbindung vorliegen.
- 35 Das in der Massenzusammensetzung eingestellte Massenverhältnis zwischen Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu den Chloriden kann in bevorzugter Weise zwischen 0,5 Anteilen zu 100 Anteilen und 10 Anteilen zu 1 Anteil liegen. Dieses Massenverhältnis kann insbesondere jedenfalls zum Teil oder ganz in der kondensierten Aerosolphase vorliegen, also in Aerosol-Tröpfchen.
- Je ein Massenanteil Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen kann mit einem Massenanteil Nitrat, insbesondere in der kondensierten Phase des Aerosols, zu einem Massenanteil Salpetersäure-Vorläufer kumulieren. Je ein Anteil Stickstoff-Sauerstoff-
- 40 Verbindungen, insbesondere in der kondensierten Phase des Aerosols, kann dabei zu mindestens einem Anteil Nitrat und/oder mindestens einem Anteil Salpetersäure oxidieren und/oder hydrolysieren. Die Massenzusammensetzung kann ferner Salpetersäure in einem solchen Anteil umfassen, dass der pH-Wert des Aerosols zwischen kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 eingestellt ist.
- Das Massenverhältnis von Nitratanionen zu Chloriden kann größer oder gleich 1:100 eingestellt sein, bevorzugt größer oder gleich 1:60, weiter bevorzugt größer oder gleich 1:30, weiter bevorzugt 1:10 oder auch 1:1. Des Weiteren kann das Massenverhältnis
- 45 von Nitratanionen zu Chloriden eingestellt sein zu kleiner oder gleich 10:1, bevorzugt kleiner oder gleich 5:1, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 1:1.
- Das Massenverhältnis von Metallverbindungen zu Anionen kann eingestellt sein zu größer oder gleich 1:1000, bevorzugt größer oder gleich 1:300, weiter bevorzugt größer oder gleich 1:100, weiter bevorzugt größer oder gleich 1:50 oder auch größer oder gleich 1:10. Kumulativ oder alternativ kann das Massenverhältnis von Metallverbindungen zu Anionen eingestellt sein zu kleiner oder
- 50 gleich 1:3, bevorzugt kleiner oder gleich 1:8, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 1:25, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 1:75 oder auch kleiner oder gleich 1:200
- Im Übrigen kann das Massenverhältnis von Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu den Chloriden eingestellt sein zu größer oder gleich 1:200, bevorzugt größer oder gleich 1:100, weiter bevorzugt größer oder gleich 1:50, weiter bevorzugt größer oder gleich 1:20. Auch kann das Massenverhältnis von Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu den Chloriden eingestellt sein zu kleiner oder gleich
- 55 10:1, bevorzugt kleiner oder gleich 5:1, weiter bevorzugt kleiner oder gleich 1:1, und noch weiter bevorzugt kleiner oder gleich 1:5.

Der pH-Wert der Massenzusammensetzung kann eingestellt sein zu kleiner oder gleich 3, bevorzugt kleiner oder gleich 2,5 und weiter bevorzugt kleiner oder gleich 2. Des Weiteren kann der pH-Wert der Massenzusammensetzung eingestellt sein zu größer oder gleich -1, bevorzugt größer oder gleich -0,5, weiter bevorzugt größer oder gleich 0.

- Das Aerosol kann Tröpfchen oder Partikel aufweisen. Mit anderen Worten ist das Aerosol eine Dispersion aus festen und/oder flüssigen Schwebeteilchen in einem Aerosol-Trärgas, beispielsweise Luft oder Abgas. Die Massenzusammensetzung kann beispielsweise in der kondensierten Phase vorliegen, so dass insbesondere die Tröpfchen oder Partikel die Massenzusammensetzung aufweisen.

- In weiterer Ausbildung der Beschreibung können die Chloride in Form von Chloridanionen und/oder in gelösten oder gasförmigen Chloridverbindungen vorliegen. Die Chloride können dabei das Element Chlor in Form von Chloridanionen und/oder in mindestens einem der gelösten oder gasförmigen Zustände aus der Gruppe atomares Chlor, elementares Chlor, Chlorwasserstoff, Nitrosylchlorid, Nitrylchlorid oder Chlornitrat umfassen.

- Das selbstaktivierende photoaktive Aerosol gemäß der vorliegenden Beschreibung kann Verwendung finden unter Einwirkung künstlicher oder natürlicher Strahlung, insbesondere Lichts und weiter insbesondere Sonnenlichts, zum Abbau von Methan und/oder gasförmigen, dampfförmigen oder aerosolförmigen organischen treibhauswirksamen organischen Stoffen. Dies wird zu den Ausführungsbeispielen im Detail erläutert. Die zugrundeliegende Idee ist das Bereitstellen von Andockstellen für freies Methan bzw. treibhauswirksamen Gasen bzw. organischen Stoffen, so dass sich diese Stoffe im Aerosol absetzen bzw. einfangen lassen und typischerweise zersetzen.

- Zur Herstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols, beispielsweise gemäß der vorstehenden Beschreibung, und insbesondere zum Abbau von Methan und/oder gasförmigen, dampfförmigen oder aerosolförmigen organischen treibhauswirksamen organischen Stoffen, wird ein Verfahren mit den folgenden Schritten beschrieben: Bereitstellen eines ersten Präkursors mit Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen, Bereitstellen eines zweiten Präkursors mit Chloriden, Mischen des ersten und zweiten Präkursors und Einstellen eines Massenverhältnisses im Bereich von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden zur Erzeugung eines Chlorid-Gemisch-Aerosols, sowie Moderieren des pH-Werts in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 ($-1 \leq \text{pH} \leq 3$).

- Das Chlorid-Gemisch-Aerosol kann ferner Metallverbindungen umfassen in Form von Kationen, Molekülen, Oxiden, Hydroxiden, Partikel und/oder chemisch gebundenen Elementen, insbesondere des Eisens und/oder des Titans, wobei die Metallverbindungen als Eisenchlorid, Eisennitrat, Eisenpentacarbonyl, Titantetrachlorid und/oder titanhaltiges Hydrolysat von Titantetrachlorid vorliegen können. Des Weiteren kann das Chlorid-Gemisch-Aerosol einen Anteil in auskondensierter Phase umfassen, beispielsweise Tröpfchen oder Partikel.

Der zweite Präkursor kann die Chloride in Form von Chlorverbindungen umfassen, insbesondere aus zumindest einer aus Chloride, Chlorwasserstoff, Chlor, Siliciumtetrachlorid, Titantetrachlorid, Eisen(III)chlorid, Eisen(II)chlorid.

- Sowohl erster Präkursor als auch der zweite Präkursor kann demnach Metallverbindungen umfassen. Neben den bereits berichteten Metallverbindungen in Form von Eisen bietet sich auch Titan an. Denn zu den zehn am häufigsten in der Erdkruste vorkommenden Metallen der Nebengruppen-Elemente im Periodensystem gehört neben dem Eisen das Titan. Ebenso wie Eisen(III) ist auch das Titan(IV) photosensitiv. Titan ist überdies nicht toxisch für Ökosysteme. Titan ändert bei Absorption von Sonnenlicht seine Elektronenkonfiguration dahingehend, dass es beispielsweise seine Bindung mit einer Hydroxylgruppe unter Aufnahme eines Bindungselektrons löst und dabei wie das Eisen die Hydroxylgruppe als $\cdot\text{OH}$ oder $\text{OH}\cdot$ -Radikal hinterlässt. Hydroxylradikale reagieren mit Chloridionen unter Bildung von Chloratomen und Hydroxylionen; deshalb ist auch Titan für das methanabbauende neue Aerosol interessant.

- Titantetrachlorid weist eine eisenähnliche photokatalytische Aktivität auf, und ein damit versetztes Aerosol starke albedoerzeugende Eigenschaften der Titanhydrolysate. Ferner weist es minder-toxische Eigenschaften im Vergleich zu löslichen Eisenhaltigen Aerosolen auf. Darüber hinaus ist Titantetrachlorid eine Flüssigkeit mit hohem Dampfdruck, die sich verdampfen oder mittels Düsen vernebeln lässt. Die Hydrolyse mit der Luftfeuchtigkeit lässt dabei quantitativ hydroxylhaltiges Titandioxid und Salzsäurenebel entstehen. Die $\text{TiO}_2\text{-HCl-H}_2\text{O}$ -Aerosole, die dabei entstehen, wirken als Kondensationskeime für kondensierende Salpetersäure und/oder Ferrichlorid und koagulieren mit dem Salzaerosol aus der Meerwasservernebelung.

- Als HCl- und Kondensationskeimbildner bietet sich daher auch Siliziumtetrachlorid an. Zwar erfährt das SiO_2 im Sonnenlichtspektrum keine Photolyse. Jedoch zeichnet sich auch das SiCl_4 durch ähnlich hohe Hydrolyseempfindlichkeit wie TiCl_4 aus und neigt daher zur Bildung nanometergroßer Hydrolysepartikel als Kondensationskeimbildner und HCl-Lieferant zur pH-Wert-Einstellung oder als Chloratom-Präkursor. Auch das aus der Siliziumtetrachlorid-Hydrolyse gebildete Hydrolysat-Aerosol weist beispielsweise eine albedoerzeugende Eigenschaft auf.

- Weiters bietet sich Aluminiumchlorid an, und zwar wegen seiner Eigenschaft, die Ferrichlorid-Sublimationstemperatur herunterzusetzen. AlCl_3 bildet mit FeCl_3 einen AlFeCl_6 -Komplex, der einen höheren Dampfdruck aufweist als reines FeCl_3 . Das bei der Hydrolyse aus Aluminiumchlorid im Aerosol gebildete $\text{Al}(\text{OH})_3$ gilt wegen seiner Toxizität für Lebewesen als schädlich für das Ökosystem. Das wird aber vollkommen kompensiert durch die Bildung von Kieselsäure, die aus der Hydrolyse von SiCl_4 frei wird. Kieselsäure bzw. Silikat bildet nämlich mit Aluminiumhydroxid die Aluminium und Silicium enthaltenden Ton-Schichtsilikate. Die

Schichtsilikatbildung setzt somit unmittelbar nach dem Freisetzen der Aerosolwolke ein, ausgelöst durch die Luftfeuchte. Spätestens nach dem Kontakt der Aerosole mit dem Ozean ist die Tonbildung vollzogen. Auch Aluminiumnitrat kann, insbesondere unter Verwendung der Vernebelungsanlagen, zur Bildung des Aerosols Verwendung finden.

- Das zuvor beschriebene Verfahren kann ergänzt werden mit dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols mit
- 5 Schwefelverbindungen, insbesondere Schwefeldioxid-Moleküle und weiter insbesondere gasförmigen Schwefeldioxids und/oder Hydrogensulfat, insbesondere zum Moderieren des pH-Werts. Vor dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols mit Schwefelverbindungen kann der ergänzende Schritt Herstellen der Schwefelverbindungen, insbesondere des Schwefeldioxidgases, durch Verbrennen elementaren Schwefels und/oder durch Verbrennen von vernebeltem flüssigen Elementarschwefels mit Luft erfolgen. Dabei kann prinzipiell das Verfahren vollkommen ohne die Vernebelung einer flüssigen Komponente durchgeführt werden.
- 10 Unter alleiniger Anwendung der Stickstoff-, Chlorid- und Metall-haltigen Gas- und Dampfphasen wie beispielsweise von HCl, FeCl₃, SiCl₄, AlCl₃, TiCl₄, NOCl, NO₂Cl, HNO₃, und insbesondere AlCl₃, FeCl₃, SiCl₄, AlCl₃ und/oder TiCl₄ kann im Kontakt mit dem Trägergas, das aus dem Gaseintritt für die Vakuumpumpe herkommt, die flüssigen und festen kondensierten Hydrolysate FeCl₃ x nH₂O, AlCl₃ x nH₂O, SiO_n(OH)_m, TiO_n(OH)_m, in der Form von Nanopartikeln, die dann als Kondensationskerne für die Kondensation zu flüssiger Salzsäure der durch chemische Reaktion und Hydrolyse gebildeten HCl, und der durch Hydrolyse, Oxidation und Kondensation aus den
- 15 Stickstoffkomponenten gebildeten Salpetersäure gebildet werden. Damit ist die Bildung des "AquaRegia" Aerosols gewährleistet. Zwar ist der pH-Wert dieser primären hoch-sauren Aerosolphase noch außerhalb des Optimums für die photolytische Chloratombildung; das ändert sich jedoch in der Atmosphäre durch die weitere Absorption von Luftfeuchte und Koagulation mit natürlichen Stäuben, insbesondere Meersalzaerosolen.
- Unmittelbar vor dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols mit den gas- oder dampfförmigen ersten Präkursoren
- 20 kann deren Erzeugung durch plasmachemische Umsetzung von Luft oder Verdampfung von Salpetersäure erfolgen. Vor dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols mit den gas- oder dampfförmigen zweiten Präkursoren zur Bereitstellung der Chlorverbindungen wie Chlorwasserstoff, Chlor, Ferrichlorid, Siliciumtetrachlorid, Titanetetrachlorid, kann deren Erzeugung durch Verdampfung, Elektrolyse und/oder Chlorierung erfolgen. Beispielsweise kann dies in mobiler Umgebung durchgeführt werden wie auf einem Schiff.
- In dem Verfahren kann bevorzugt bei dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols ein Chlorid-Aerosol und/oder ein
- 25 Hilfgas eingesetzt sein. Ferner bevorzugt kann der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols durch Verdüsung und/oder mittels Ultraschall-Vibration durchgeführt sein, insbesondere unter erhöhtem Atmosphärendruck. Alternativ oder kumulativ kann der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols unter Anwendung eines nicht-thermischen Vernebelungsverfahrens oder eines Vernebelungsverfahrens durch Kondensation und/oder Hydrolyse durchgeführt sein.
- Der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols kann bevorzugt unter Anwendung wenigstens einer Mischvorrichtung wie
- 30 einer Gasstrahlvakuumpumpe oder eines statischen Mischers vollzogen werden. Des Weiteren kann für das Bereitstellen des Chlorid-Gemisch-Aerosols das Vernebeln einer wässrigen Chlorid-Salzlösung erfolgen, insbesondere zusätzlich umfassend Nitratanionen, die Chlorid-Salzlösung insbesondere aufweisend einen Salzgehalt von 2 % oder mehr, oder auch von 5 % oder mehr.
- Die Ausbeute an mit dem Verfahren hergestellten Aerosol kann auch dadurch gesteigert werden, indem ein chloridhaltiges Aerosol und/oder Dämpfe wie z. B. ein Meerwasseraerosol, ein Chlorwasserstoffdampf, ein Titanetetrachlorid-Dampf, ein
- 35 Siliciumtetrachlorid-Dampf oder ein Ferrichlorid-Aerosol als solches oder ein chloridhaltiges Aerosol und/oder Dämpfe, die als Gemische von oxidischen Aerosolen der Elemente Eisen und/oder Titan vorliegen, mit einem oder mehreren wasserlöslichen anorganischen dampf- und/oder gasförmigen Edukten angereichert (vermischt) wird, beispielsweise Stickstoff-Sauerstoffverbindungen, deren atomares Verhältnis Sauerstoff zu Stickstoff (y) gleich oder größer 1,5 beträgt.
- Bei einem Präkursor aufweisend ein atomares Stickstoff-Sauerstoff-Verhältnis im Wertebereich $y < 1,5$, wie beispielsweise
- 40 Stickstoffmonoxid (NO) mit $y = 1$, beansprucht die Reaktion in der Atmosphäre durch Oxidation, Hydrolyse und Umsetzung mit Chloridsalzen zu Nitrat bzw. Salpetersäure einen nicht unerheblichen Zeitraum, während dem der Methanabbau durch das beanspruchte Aerosol nicht oder nur eingeschränkt stattfindet. Deshalb sind Werte für $y \geq 1,5$ bevorzugt. Atomverhältnisse von Sauerstoff zu Stickstoff im Bereich von mindestens 1,5 ($y \geq 1,5$) werden in dieser Beschreibung auch als NO_{1,5+x} bezeichnet, wobei dann gilt $x \geq 0$. Beispielsweise nimmt das Radikal [•]NO₃, das Nitrat-Ion und das HNO₃-Molekül hierin den Wert $x = 1,5$ an. Das Molekül N₂O₅ nimmt beispielsweise den
- 45 Wert $x = 1$ an. Das Molekül NO nimmt beispielsweise den Wert $x = -0,5$ an. Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen mit $x \leq 0,5$, so wie beispielsweise Lachgas (N₂O) sind als Prekursoren weniger bevorzugt, weil ihre Oxidation in der Atmosphäre recht langsam verläuft. Je näher hingegen das atomare Verhältnis Sauerstoff zu Stickstoff y in der dem Chlorid-Misch-Aerosol zugesetzten Stickstoff-Sauerstoffverbindung dem von Nitrat oder Salpetersäure angenähert ist oder diesem entspricht, desto weiter steigt die Wirksamkeit des Chlorid-Misch-Aerosols auf den Abbau troposphärischen Methans bzw. Ozons. Mit anderen Worten konnte im Rahmen der vorliegenden
- 50 Erfindungslegung gezeigt werden, dass Nitrate, Salpetersäure, Chlorwasserstoff und Chlorid die Oxidations-Effektivität von „Aqua Regia“ bewirken; Eisensalze und Titanoxide können dessen Aktivität nochmals steigern.
- Alternativ oder kumulativ zu den genannten Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen kann eines der Edukte aus der Gruppe Salpetersäure, Chlorwasserstoff, wässrige Chlorwasserstofflösungen, Chlorwasserstoff-abspaltende Verbindungen, wässrige Ferrichloridlösungen und wässrige Ferrinitratlösungen zu dem beanspruchten Chlorid-Misch-Aerosol bzw. Ferrinitrat-Ferrichlorid-Aerosol
- 55 umgesetzt werden. Die durch Hydrolyse chlorwasserstoff-abspaltender Verbindungen umgesetzter Stoffe können Siliciumtetrachlorid,

Titantetrachlorid, Aluminiumchlorid umfassen; Die durch Hydrolyse von Chlorwasserstoff und/oder mittels Photolyse Chlor-absplittende Verbindungen können Chlornitrat, Nitrylchlorid oder Nitrosylchlorid umfassen.

Unter den Stickstoff-Sauerstoffverbindungen wird Ferrinitrat als wirksamer Zusatz für die Beschleunigung dieser Abbaureaktionen betrachtet. Ein Ferrinitrataerosol wird bevorzugt mit dem Edukt Chlorwasserstoff oder Chlorwasserstoff absplittenden Dämpfen angereichert.

Die Wirksamkeit eines Ferrinitrataerosols lässt sich daher mit verschiedenen weiteren Verfahrensvarianten steigern, von denen drei im Weiteren beispielhaft weiter ausgeführt sind:

- a) dass den Ferrichlorid-Aerosolpartikeln oder -Aerosoltröpfchen eine Gas-, Dampf- oder Aerosol-Phase vor, während oder nach ihrer Emission zugemischt wird, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie vorzugsweise eine Stickstoff-Sauerstoffverbindung enthält, deren Atomverhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff y mindestens 1, bevorzugt mindestens 1,5 oder mehr beträgt. Dazu gehören beispielsweise die Stoffe Ferrinitrat, Natriumnitrit, Salpetersäure, Salpetrige Säure, Distickstoffpentoxid, Distickstofftetraoxid, Stickstofftrioxid, Stickstoffdioxid, Distickstofftrioxid, Stickstoffmonoxid;
 - b) dass der Lösung, aus der die Ferrichlorid-Aerosolteilchen oder Ferrichlorid-Aerosoltröpfchen in einem nicht-thermischen Vernebelungsverfahren erzeugt werden, vorzugsweise eine der unter a) beispielhaft genannten Stickstoff-Sauerstoffverbindungen zugesetzt wird, deren Atomverhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff mindestens 1, vorzugsweise mindestens 1,5 beträgt;
 - c) dass Ferrinitrat-Aerosolpartikeln oder -Aerosoltröpfchen eine Gasphase vor, während oder nach ihrer Emission zugemischt wird, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie verdampftes Titantetrachlorid enthält.
- Ein nicht-thermisches Vernebelungsverfahren kann das Versprühen von Ferrichloridlösungen mittels Düsen, durch rotierende Bürsten oder durch Ultraschall-Vibratoren umfassen. Thermische Vernebelungsverfahren nutzen die Kondensatortropfenbildung zur Aerosolbildung, die durch die Abkühlung des Präkursors, also beispielsweise von Ferrichloriddämpfen, entsteht.
- Eine optimale Wirkung des Methanabbaus durch Ferrichlorid-Aerosol, oder chloridhaltiges Titandioxid-Aerosol, dem die beanspruchten wirksamen Stickstoff-Sauerstoffverbindungen zugesetzt wurden, liegt im Bereich zwischen pH 2 und pH 0,5. Überdies ist die optimale katalytische Wirksamkeit der Katalyse bei jenen Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen gegeben, deren Sauerstoff-zu-Stickstoff-Atomverhältnis 3 oder mehr beträgt. Dazu gehört beispielsweise die Salpetersäure und ihre Salze. Besonders herausragend ist die katalytische Wirkung von Ferrinitrat und seinen Lösungen. Das gilt auch für Distickstoffpentoxid, das in der Gegenwart von Wasser, Wasserdampf und Ferrichlorid unter Hydrolyse zu Salpetersäure bzw. Ferrinitrat hydrolysiert.
- Durch Disproportionierung und/oder Hydrolyse können sowohl salzartige als auch oxidische Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen in einen sauren pH-Wertbereich von +3 bis -1 überführt werden, und liegen zumindest anteilig als Salpetersäure vor und auch Metallchlorid kann im sauren pH-Milieu im Hydrolysegleichgewicht mit Salzsäure vorliegen.
- Bei den Stickstoff-Sauerstoffverbindungen (N-O-Verbindung) handelt es sich typischerweise um Flüssigkeiten, Feststoffe oder Gase mit ausreichender Wasserlöslichkeit in den Aerosol-Tröpfchen und -Partikeln, die auch unter den vorzugsweise genutzten sauren pH-Bedingungen gegeben ist. Aufgrund der Wirksamkeit des Zusatzes der N-O-Verbindungen zu den Ferrichlorid enthaltenden Aerosolen auf den Abbau der genannten Treibhausgase ist hier von einer katalytischen Beschleunigung durch alle N-O-Verbindungen auszugehen. Folglich sind die N-O-Verbindungen als Katalysatoren zu bezeichnen. Diese Bezeichnung ist auch deshalb berechtigt, weil der Anteil der im Aerosol vorhandenen N-O-Verbindungen ebenso wie der Anteil Chlorid in gelöster Form in den "Aqua-Regia"-Aerosolen durch ein kontinuierliches NO_2 - und HCl-Recycling wirksam verbleiben ohne sich abzubauen, bis diese ggf. schwerkraftbedingt auf Meer oder Landflächen niedersinken. Dort kann es wegen der notwendigen geringeren Ferrichlorid-Immission zu noch geringeren Versauerungsreaktionen kommen. Sowohl die alkalischen pH-Werte der Meerwasseroberfläche, als auch die alkalischen Bestandteile der Landoberflächen, wie z. B. Silikate und Carbonate sorgen im Berührungsmoment zwischen Ferrichlorid-Aerosoltröpfchen und Oberfläche für momentane Neutralisation. Auch Blattoberflächen von Pflanzen oder das Lungengewebe von Lebewesen wird keinen Schaden erleiden, weil die täglich eingetragene Ferrichloridaerosolmasse weit unter einem Milligramm pro m^2 liegen wird. Überdies werden die Aerosole in der Regel durch den Niederschlag ausgewaschen und gelangen daher in der Aerosolphase nur selten in direkten Kontakt mit Land- und Wasseroberflächen. Dies gilt auch für die übrigen in dieser Erfindung beanspruchten Chlorid- und Nitrat-enthaltenden Aerosole enthaltend mindestens einen Stoff aus der Gruppe Chlorwasserstoff, Salpetersäure, oxidische Titan- und Eisenverbindungen, Titanhydrolysate und Eisensalze.
- Von den genannten Möglichkeiten des Zusatzes der N-O-Verbindungen wie insbesondere $\text{NO}_{1,5+x}$ zu Ferrichloridaerosolen zwecks Katalyse der Ferrichloridphotolyse zu Chloratomen kann nach der Verfahrensvariante a) dem Zusatz von Luft der Vorzug gegeben, aus deren Stickstoff- und Sauerstoffgehalt mittels Elektronen-Stoßreaktionen die genannten Stickstoff und Sauerstoff enthaltenden Aktivierungsmittel in Plasmen erzeugt worden sind. Die bevorzugten Aktivierungsmittel Salpetersäure, Distickstoffpentoxid und Stickstofftrioxid können durch solche plasmachemischen Umsetzungen aus Luft mit ggf. Wasserzusatz ggf. ohne zusätzlichen Einsatz von schädlichen Chemikalien erzeugt werden.
- Durch die Aktivierung der Luft mittels Plasmaverfahren bzw. eines Plasmareaktors werden Luftmoleküle gespalten und es bilden sich daraus hochwirksame Oxidationsmittel wie z. B. atomarer Sauerstoff, Hydroxylradikale, Ozon, Stickoxid, Stickstoffdioxid, Stickstofftrioxid, Distickstoffpentoxid in der Gegenwart von Feuchtigkeit. Feuchtigkeit ist insbesondere durch das hygroscopische

Ferrichlorid in den Aerosolteilchen angereichert. Deshalb bilden sich dort die besonders bevorzugten Nitrate bzw. Salpetersäure. Die Neubildung von Ozon in den gebildeten Plasmen ist unbedenklich, weil dieses Treibhausgas im Kontakt mit Tageslicht durch Ferrichlorid unmittelbar zerstört wird.

Zusätze von 5 Mol% Ferrinitrat bezogen auf Ferrichlorid können die Methanausbeute um mehr als den Faktor 10 steigern.

- 5 Zusätze von 0,01 Molanteilen Distickstoffpentoxid zu 1 Molanteil Ferrichlorid können ebenfalls eine Steigerung des Methanabbaus um mehr als 100% bewirken. Wenn die molekularen Anteile von Nitrat und Chlorid in der wässrigen Lösung im Verhältnis 1 zu 1 betragen, wird optimaler Methanabbau erhalten, der ein Vielfaches von Nitrat-freiem Aerosol beträgt.

- Ein Nachteil der aus der Plasmareaktion hervorgegangenen Gase kann ggf. ein zu hoher Gehalt an Stickstoff-Sauerstoffverbindungen sein, deren molekulares Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff bei kleiner 1,5 zu 1 liegt, wie es beispielsweise für NO und N₂O zutrifft. Stickstoffhaltige Gase, deren Sauerstoff zu Stickstoff-Verhältnis bei <1,5 liegt, können im Vergleich zu anderen Edukten nachteilig sein, weil sie retardierend auf die Photolyse von Ferrichlorid zu Chloratomen wirken können, wenn sie im Überschuss vorliegen. Deshalb sind Gase, Dämpfe und Aerosole aus Plasmareaktionen mit einem niedrigen Anteil Stickstoffmonoxid bevorzugt.

- Das wie vorstehend beschriebene Verfahren (zum Abbau von Methan sowie weiteren gasförmigen, dampfförmigen und aerosolförmigen organischen Treibhaus-wirksamen organischen Stoffen und/oder troposphärischem Ozon in der freien Troposphäre und/oder in durch eine weitgehende Einhausung von der freien Troposphäre abgetrennten Volumenanteilen durch Tageslicht und/oder künstliche Bestrahlung ausgelöste Photolyse von Ferrichlorid enthaltendem Aerosol) kann also dadurch weiter verbessert werden, dass Ferrichlorid enthaltenden Aerosolpartikeln oder Aerosoltröpfchen ein weiteres gasförmiges Medium zugemischt wird, das eine oder mehrere der gasförmigen, dampfförmigen und aerosolförmigen Phasen enthält, die dadurch gekennzeichnet sind, dass sie mindestens eine Sauerstoff-Stickstoff-Verbindung enthalten, in der das Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff (y) vorzugsweise $y \geq 1,5$ zu 1 ist.

- 20 Alternativ oder kumulativ kann eine Verbesserung erzielt werden, wenn der Lösung, mittels der die Ferrichlorid-Aerosolteilchen oder die Ferrichlorid-Aerosoltröpfchen in einem nicht-thermischen Vernebelungs-verfahren erzeugt werden, mindestens eine Komponente zugemischt wird, die dadurch gekennzeichnet ist, dass sie N-O-Verbindungen enthält, in denen das Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff y größer oder gleich 1, bevorzugt größer oder gleich 1,5 zu 1 ist.

- Bei den Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen mit dem Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff größer oder gleich 1,5 zu 1 kann es sich beispielsweise um Ferrinitrat, Ferrinitrit, Salpetersäure, Distickstoffpentoxid, Stickstofftrioxid, Distickstofftetroxid, Stickstoffdioxid, Distickstofftrioxid handeln. Zur Herstellung der Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen, in denen das Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff größer oder gleich 1,5 zu 1 beträgt und die in einer Gas- und/oder Aerosol- und/oder Flüssigphase enthalten sind, kann in vorteilhafter Weise ein plasmachemischer Prozess angewendet werden, bei dem die Sauerstoff- und Stickstoffmoleküle der Luft in die N-O-Verbindungen mit dem Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff y größer oder gleich 1, bevorzugt größer oder gleich 1,5 zu 1 umgewandelt werden. Die Gas-, Aerosol oder Flüssigphasen, die mit den Umwandlungsprodukten angereichert sind, können mit der zu vernebelnden Ferrichloridlösung und/oder mit Ferrichlorid-haltigem Aerosol vermischt werden.

Der Volumenanteil der zugemischten plasmachemisch zu N-O-Verbindungen mit dem Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff y größer oder gleich 1, bevorzugt größer oder gleich 1,5 zu 1, umgewandelten Atmosphärenluft beträgt vorteilhaft mindestens 1 Volumen-% des mit Ferrichlorid-Aerosol versetzten und emittierten Luftvolumens.

- 35 Die Emission der Ferrichlorid und N-O-Verbindungen mit dem Atomverhältnis Sauerstoff zu Stickstoff y größer oder gleich 1, bevorzugt größer oder gleich 1,5 zu 1, enthaltenden Aerosolwolke kann vor ihrer Emission in die freie Atmosphäre unter künstlicher Bestrahlung mit sichtbarem Licht und/oder Ultraviolettstrahlung innerhalb einer Einhausung zum Abbau des Methangehaltes aus einer Methanemissionsquelle benutzt werden, beispielsweise eine Steinkohlemine oder ein anderweitiger Methanemittent.

- Das Verfahren kann weiter ausgebildet sein durch das Beifügen zumindest eines Stoffes aus der Gruppe Meerwasser, 40 schwefelorganische Verbindungen, Schwefeldioxid, Dieselaßgas, plasmachemisch umgesetzte Luft, Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zur Erzeugung einer "Aqua-Regia"-Vorläufersubstanz.

- Beispielhaft wird am "Aqua-Regia" eine Kreislaufwirkung beschrieben. Dabei wird in der Atmosphäre bei der Reaktion von Chloratomen mit Methan Chlorwasserstoffdampf gebildet, der mit dem Sauerstoff der Luft und den Stickstoffoxiden, die bei der Photolyse des "Aqua-Regia"-Aerosols entstehen, wieder zum "Aqua-Regia"-Aerosol rezykliert. Damit kommt es so lange nicht zu einem Verlust von chloratomaren Methanoxidationsmitteln, solange sein Vorläufer, das "Aqua-Regia"-Aerosol in der Atmosphäre verbleibt und nicht durch Niederschlag aus der Atmosphäre ausgewaschen wird.

- Das "Aqua-Regia" kann beispielsweise unter Einsatz von emittierten Stickstoffoxidgasen als Trägergas entstehen. Das in das Trägergas eingelassene Aerosol kann mittels Vernebelung einer wässrigen Alkali und/oder Erdalkali-Chlorid-Lösung, die gegebenenfalls Nitrat enthält, bereitgestellt werden. Durch atmosphärische Oxidation und Hydrolyse des Schwefeldioxids zu Schwefelsäure und der 50 Stickstoffoxide zu Salpetersäure, wandelt sich das Chloridaerosol um in ein Hydrogensulfat und "Aqua-Regia" enthaltendes Aerosol.

- Der Einsatz eisenfreien "Aqua-Regias" zur Methanoxidation hat gegenüber Eisen-Chlorid-Aerosolen den Vorteil, dass es dabei keiner Emission löslichen oder gelösten Metalls wie beispielsweise Eisensalzen bedarf. Dies bewirkt den weiteren Vorteil, dass keine Niederschläge ockerfarbiger Eisenverbindungen verursacht werden. Je nach Einsatzgebiet – z.B. über Eisgebieten wie an den Polkappen – kann dies nachteilig sein, oder aber vorteilig, wenn dadurch positiv auf natürliche Kreisläufe eingewirkt werden kann. Dies 55 kann je nach Einsatzgebiet abgewogen werden. Sowohl Chlorwasserstoff, als auch Salpetersäure sind als natürliche Bestandteile der

- Atmosphäre bekannt, die beispielsweise in Vulkanasche- und Meersalz-Aerosolen vorkommen können. Die Beimischung einer oder mehrerer Metallverbindungen, insbesondere Übergangsmetall-Verbindungen, beispielsweise Eisen und/oder Titan, zu dem vernebelten sauren Nitrat- und/oder Chlorid-Aerosol kann allerdings die Wirksamkeit des daraus gebildeten "Aqua-Regias" für den Methanabbau steigern und im Ergebnis einen guten Kompromiss darstellen zwischen metallhaltigen Aerosolen ohne "Aqua-Regia" Bestandteilen und metallfreien Aerosolen, da die Wirksamkeit gegenüber beiden vorgenannten Aerosolen gesteigert ist und insgesamt aber nur einer geringeren Emission von Metallbestandteilen bezogen auf jedes abgebaute Methanmolekül bedarf.
- 5 Anstelle oder zusätzlich zu dem Nitratanteil im vernebelten wässrigen Alkali und/oder Erdalkali-Nitrat- und -Chlorid-Lösungsgemisch kann überdies durch plasmachemische Umsetzung von Luft zu gas- und/oder dampfförmigen N-O-Verbindungen, die zusätzlich oder anstelle von Schwefeldioxid dem Aerosolträgergas zugesetzt werden, ein Anteil des Nitrats oder sogar der gesamte
- 10 Nitratanteil ersetzt werden. Nach der atmosphärischen Oxidation und Hydrolyse mit dem wasserhaltigen Aerosol bildet sich daraus Salpetersäure und Nitrat auf den gebildeten Aerosol-Tröpfchen oder -Partikeln. Dementsprechend kann der entsprechende Anteil Schwefeldioxid zurückgenommen werden, um das pH-Milieu des resultierenden Aerosols idealerweise zwischen 0 und +2 zu justieren.
- Als SO₂-Quelle wird bevorzugt die Schwefelverbrennung genutzt. Die Verbrennungswärme der Schwefelverbrennung ermöglicht ggf. die Durchführung des Verfahrens bei erhöhter Temperatur. Als Chloridquelle wird bevorzugt das Meerwasser genutzt. Als
- 15 Nitratquelle wird bevorzugt die plasmachemisch umgesetzte Luft genutzt.
- In dem Fall, dass die Komponenten des "Aqua-Regia"-Aerosols in hinreichend geringer Konzentration aus der Atmosphäre immittiert werden, können sie daher keinen Schaden anrichten, da ihre Säurekonzentration durch das Niederschlagswasser auf pH-Werte >4 verdünnt wird und unmittelbar nach dem Auftreffen auf Erdoberfläche oder Ozeanoberfläche Neutralisationsprozesse wirksam werden.
- Zudem heben die geringen Spuren des gebildeten Nitratdüngers zwar die Produktion von organischem Kohlenstoff durch das
- 20 Phytoplankton. Sie reichen aber voraussichtlich nicht aus, um schädliche Algenblüten auszulösen. Außerdem löst die vermehrte Umsetzung von Bicarbonat zu organischem Kohlenstoff durch das Phytoplankton die Bildung basischen Karbonats aus, mit dem die Säure des ausgewaschenen "Aqua-Regia"-Aerosols neutralisiert wird. Im Übrigen können damit die spezifischen aus der Atmosphäre täglich immittierten Mengen auf durchschnittlich kleiner 1 mg/m² Ozeanoberfläche begrenzt werden und sind daher in der Regel niedriger als ggf. natürlich auftretende Aqua-regia-Immissionen, die beispielsweise von vulkanischen Ascheeruptionen ausgelöst werden.
- 25 Sulfat und begleitende Kationen aus der Gruppe der Alkalien und der Erdalkalien gehören zu den wesentlichen Bestandteilen des Meersalzes. Sie sind somit ebenfalls keine toxischen oder Ökosystem-schädlichen Immissionsbestandteile.
- Die Untersuchung hat gezeigt, dass der Methanabbau bei Tag auch durch verdünnte wässrige "Aqua-Regia"-Lösung schon bei pH-Werten von 2 und darunter auftritt. Die Zumischung von SO₂ und/oder NO_x kann derart bemessen sein, dass die daraus gebildete Säurebildung ausreicht, um die Aerosolpartikel und/oder Aerosoltröpfchen in einen pH-Bereich beispielsweise zwischen +2 und -1 zu
- 30 überführen, da sie hier bereits ausreichende Kapazität für die Methanoxidation haben.
- Bei der Umsetzung eines neutral eingestellten Nitrat-Chlorid-Aerosols reicht es aus, dass die SO₂- und/oder NO_x-Gas-Konzentration in der Aerosolwolke derart bemessen ist, dass auf jedes Anion im Nitrat-Chlorid-Aerosol ein SO₂- und/oder NO_x-Molekül entfällt. Durch Oxidation und Hydrolyse der derart zusammengesetzten Aerosol-SO₂- und/oder NO_x-Wolke wird im weiteren Verlauf das Chlorid-Nitrat-Aerosol in ein saures Chlorid-Nitrat-Aerosol mit einem pH-Wert von ~1 umgesetzt, das im Übrigen die Eigenschaft eines verdünnten "AquaRegia" hat. Es hat sich gezeigt, dass die Sensitivität der Photolyse des verdünnten "AquaRegia", soweit der pH-Wert im "Aqua-Regia"-Aerosol nicht auf Werte über 3, bevorzugt nicht über 2, ansteigt, nicht sonderlich durch den pH-Wert beeinflusst wird. Somit sind SO₂-Zusätze akzeptabel, bei denen das Molverhältnis SO₂ zu Anionen zwischen 0,8 und 1,5 eingestellt ist. Im Übrigen wird der Begriff "AquaRegia" auch für das schwach konzentrierte HCl-HNO₃-Gemisch (feste oder flüssige Aerosolteilchen) beibehalten, weil hier offensichtlich der gleiche Oxidations-Mechanismus bei der Methanoxidation wirkt, unabhängig von der pH Wert-Differenz zwischen
- 40 der konzentrierten "Aqua-Regia"-Säure, die einen pH-Wert von unter -1 aufweist, und der verdünnten "Aqua-Regia"-Säure, die einen pH-Wert von beispielsweise um +2 aufweist.
- Die durch Sonnenlicht ausgelöste methanabbauende Wirkung des "Aqua-Regia" beruht auf der Salpetersäure-Photolyse zu Stickstoffdioxid und Hydroxylradikalen. Die Hydroxylradikale oxidieren Chlorid zu Chloratomen.
- Soweit der pH-Wert des "Aqua-Regias", beispielsweise durch eine Abweichung des Verhältnisses zwischen Salpetersäure zu
- 45 Salzsäure vom klassischen Verhältnis 1 zu 3, nicht über pH +3, bevorzugt +2, angehoben wird, können die säurebildenden Hydronium-Ionen zum Teil durch sonstige Kationen, wie z. B. Alkali- und/oder Erdalkalitionen ersetzt werden. Durch Oxidation und Hydrolyse des durch die Photolyse gebildeten Stickstoffdioxids in der Atmosphäre wird auch die Salpetersäure wieder zurückgebildet, so dass die emittierte "AquaRegia"-Aerosol-Wolke, solange sie in der Atmosphäre existiert, sich selbst kontinuierlich regeneriert, insbesondere weitgehend unabhängig von der herrschenden Methankonzentration.
- 50 Die Herstellung des "Aqua-Regia"-Aerosols gelingt beispielsweise durch Kondensation von dampfförmigen Gemischen aus Chlorwasserstoff, Salpetersäure und Wasser, ggf durch Anregung mit in situ erzeugten Kondensationskeimen, aus z. B. hydrolysiertem aerosolförmigem Siliciumtetrachlorid oder Titan-tetrachlorid oder durch Vermischen dampfförmiger Salzsäure mit aerosolförmiger Salpetersäure, oder umgekehrt von dampfförmiger Salpetersäure mit Salzsäureaerosol. Sie kann auch geschehen durch Vernebeln flüssigen "Aqua-Regia"-Aerosols. Mit anderen Worten kann ein HCl-HNO₃-H₂O-Gemisch-Aerosol bereitgestellt sein.

- Die "Aqua-Regia"-Komponenten HCl, HNO₃ und H₂O als solche oder in der Form ihrer in elektromagnetischer Strahlung (Licht wie Sonnenlicht) gebildeten oxidierenden Radikale und Atome [•]OH, [•]Cl, [•]NO₂, [•]NO₃ oder der im Sonnenlicht selbst photolysierenden Reaktionsprodukte Cl₂, HOCl, NOCl, NO₂Cl und NO₃Cl können in der homogenen Gasphase agieren, in der sich auch die Methanmoleküle aufhalten. Dort können sie also mit dem Methan in Reaktion treten und über besprochene Kreisprozesse beständig weiter Methanabbau betreiben.
- Ein Ferrichlorid-Aerosol als Präkursor ist vergleichsweise reaktionsträger als die Kaskade von Oxidationsmitteln, die von dem "Aqua-Regia" durch die Photolyse ausgelöst wird, die zusätzlich durch die photosensitiven Komponenten Ferrichlorid und/oder oxische Titanverbindungen noch weiter aktiviert werden kann, und die letztlich sämtlich in der Bildung von [•]Cl enden, bevor dieses in der Methanreaktion zu HCl hydriert wird.
- Schwefeldioxid lässt sich durch Verbrennung Schwefel-organischer Verbindungen erzeugen. Daher ergibt sich die Möglichkeit, die Verbrennungsabgase schwefelreicher Öle aus Schiffsdieselmotoren für das beanspruchte Verfahren zu nutzen. Diese Abgase enthalten zudem die gasförmigen Stickstoffoxide NO und NO₂, die ebenfalls genutzt werden können, weil sie durch Hydrolyse und Oxidation in der Atmosphäre zu Salpetersäure umgesetzt werden, indem sie beispielsweise mit Meerwasseraerosol und der aus dem SO₂ hervorgegangenen Schwefelsäure in das "Aqua-Regia"-Aerosol überführt werden können.
- Als Nitratvorläufer kann zusätzlich Luft eingesetzt werden, die durch plasmachemische Umsetzung in Entladungsplasma- oder Mikrowellenplasma-chemischen Prozessen zu Stickstoffoxiden umgesetzt wird, wie z. B. in die gas- und dampfförmigen NO_x-Verbindungen NO, NO₂, NO₃, N₂O₄ und N₂O₅. In dieser Beschreibung wird "NO_x" insbesondere für die Sauerstoff-haltigen Stickstoffverbindungen gebraucht, die in der Atmosphäre durch Hydrolyse und/oder Oxidation in Nitrat und/oder Salpetersäure übergehen können. Durch atmosphärische Oxidation und /oder Hydrolyse in der Aerosolwolke werden diese Sauerstoffverbindungen des Stickstoffs in der Atmosphäre letztlich zu Salpetersäure und Nitrat mit den Aerosol-Tröpfchen oder Partikeln umgesetzt unter Bildung des "Aqua-Regia"-Aerosols.
- Auch jene neuen Verfahren zur direkten Herstellung von Salpetersäure bzw. Nitraten durch elektrochemische N₂-Oxidation in der Elektrolysezelle oder durch primäre N₂-Reduktion in der Elektrolysezelle zu Ammoniak bzw. NH₃ und deren anschließende katalytische Oxidation zu Salpetersäure eignen sich als umweltfreundliche Basis für die Herstellung der beanspruchten „Aqua Regia“-Aerosole.
- Anstelle von Salpetersäure lassen sich auch gas- und/oder dampfförmige Stickstoffoxide verwenden, die durch Oxidation in der Atmosphäre und Hydrolyse Salpetersäure bilden. Es ist auch möglich anstelle von Salzsäure elementares Chlor anzuwenden. Daraus bilden sich mit Stickoxiden chlorhaltige Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen die durch Photolyse und Hydrolyse ebenfalls "Aqua-Regia"-Aerosole bilden können.
- Die Verwendung von gas- und dampfförmigen "Aqua-Regia"-Prekursoren wie z. B. von Stickstoff-Sauerstoffverbindungen, Chlorwasserstoff, Chlor sowie dampfförmigen Silicium- und Titan-haltigen Chloriden hat den Vorteil des weniger aufwendigen Korrosionsschutzes. Deshalb wird auch die Vermischung und/oder Umsetzung eines "Aqua-Regia"-Präkursors zu "Aqua-Regia"-Aerosol nahe an den Austrittsort des "Aqua-Regia"-Aerosols gelegt. Bevorzugt werden die gas- und dampfförmigen "Aqua-Regia"-Präkursoren N-O-Verbindungen durch Behandlung von Luft mittels bekannter Verfahren mittels elektromagnetischer Wellen oder elektrischen Entladungen durch plasmachemische Reaktionen (Plasmareaktor) hergestellt.
- Prinzipiell lässt sich daher das hier vorgestellte methanabbauende "AquaRegia" Aerosol und seine gas-, dampf- und aerosolförmigen Vorläufer somit auf Dieselmotor-getriebenen Schiffen prinzipiell durch ausschließliche Nutzung des leicht basischen Chlorsalz-haltigen Meerwassers als Aerosolvorläufer sowie NO_x-Gasen oder Dämpfen aus der Luft durch Plasmasynthese und dem SO₂ und NO_x aus dem Schiffsmotorabgas vollkommen ohne zugekaufte Chemikalien generieren.
- Erst nach hinreichender atmosphärenchemischer Umsetzung des Schwefeldioxids zu Schwefelsäure und von NO_x in der Atmosphäre zu Salpetersäure und der Umsetzung dieser Stoffe mit dem Chloridaerosol aus Meerwasser erfolgt schließlich der Umsatz zu "Aqua-Regia"-Aerosol und der Methanabbau durch Sonnenlicht-Photolyse kann einsetzen. Zweckmäßig wird dem vernebelten Salzwasser oder Meerwasser eine Metallverbindung wie Ferrichlorid, Ferrinitrat, Ferrinitrit und/oder Titantetrachlorid zugesetzt, um den Methanabbau und/oder den Abbau unvollständig verbrannter Kohlenwasserstoffe sowie Ruß- und Rauchpartikel durch "Aqua-Regia"-Aerosole zu optimieren. Dazu können auch Ferrosalze aus der Gruppe der Chloride, Nitrate und Nitrite verwendet werden. Vorzugsweise wird der zu vernebelnden Chlorldlösung, die vorzugsweise aus filtriertem Meerwasser besteht oder dieses umfasst, ein Ferronitrat oder Ferrochlorid zugesetzt, weil Ferrosalze geringer zur Hydrolyse neigen.
- Durch die Sonnenlichtphotolyse eines sauren Nitrat- und Chlorid-haltigen Metallsalzaerosols erfährt die Wirksamkeit der „Aqua-Regia“ Oxidationswirkung eine Wirkungssteigerung, weil zunächst beide, das freigesetzte elementare Chlor aus der "Aqua-Regia"-Reaktion und das Metallchlorid unter Einwirkung des Sonnenlichts durch Photolyse Chloratome freisetzen. Auch eine Sonnenlicht-Photolyse von Ferrinitrat zu Ferronitrat, bei der Stickstofftrioxid-Radikale gebildet werden, die bei der Hydrolyse in Salpetersäure und Hydroxylradikale übergehen, kann die Effektivität steigern. Letztere oxidieren Chlorwasserstoff und Chloridionen zu Chloratomen.
- Der erste Präkursor kann zumindest einen Stoff aus der Gruppe Metallnitrat, Metallnitrit, Eisennitrat, Eisennitrit, Titandioxid, Hydrolyseprodukt von Titantetrachlorid, Salpetersäure, NO, NO₂, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ umfassen. Alternativ oder kumulativ kann in dem ersten Präkursor das Atomverhältnis zwischen Sauerstoff und Stickstoff größer oder gleich 1 eingestellt sein, bevorzugt größer oder

gleich 1,5 zu 1. Weiter alternativ oder kumulativ kann der zweite Präkursor Chlorverbindungen umfassen, insbesondere zumindest eines aus Chlorwasserstoff, Chlor, Metallchlorid, Ferrichlorid, Siliciumtetrachlorid, Titan-tetrachlorid.

Der zweite Präkursor kann in Form eines Chlorwasserstoff-Dampfes bereitgestellt sein und/oder Metallchlorid umfassen, beispielsweise ein oder mehrere Metalle aus der Gruppe Silicium, Titan, Aluminium, insbesondere als Chloride in Form von SiCl_4 , TiCl_4 , AlCl_3 , oder der Aerosole aus wässrigen Chlorid-Lösungen wie beispielsweise Meerwasser und darin gelöstes Ferrochlorid.

Bei dem Schritt Bereitstellen des ersten Präkursors kann die Verwendung eines plasmachemischen Prozesses und/oder eines Plasmareaktors angezeigt sein, zur Erzeugung eines Plasmas aus atmosphärischer Luft. Die Verwendung eines plasmachemischen Prozesses und/oder eines Plasmareaktors kann insbesondere herangezogen werden zur Erzeugung der Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen aus dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff und/oder Stickstoff.

In dem plasmachemischen Prozess kann beispielsweise ein nicht-thermisches Plasma erzeugt oder aufrechterhalten sein, wie zum Beispiel Plasma-Glimmentladung, Korona-Entladung, stille elektrische Entladung mit oder ohne Wasserkontakt, kapazitive oder induktive Hochfrequenzentladung, Mikrowellenentladung, dielektrisch behinderte Entladung, Luft-Plasma-Jet mit Wasserkontakt, oder gleitende Lichtbogenentladung mit Wasserkontakt, wobei der Prozess insbesondere unter Vakuum oder unter atmosphärischem Druck durchführbar ist. In dem plasmachemischen Prozess kann auch ein Hochtemperatur-Plasma erzeugt oder aufrechterhalten sein.

Ein Volumenanteil des mittels plasmachemischen Prozesses und/oder des Plasmareaktors erzeugten ersten Präkursors kann bevorzugt 1 Vol% oder mehr, beispielsweise 2,5 Vol% oder mehr oder 5 Vol% oder mehr, des herzustellenden selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols betragen.

Mit dem Einsatz eines Plasmareaktors kann die Ausbeute von Chloratomen durch Photolyse von Eisen(III)chlorid-Aerosolen gesteigert werden, indem dem Aerosol durch eine durch Plasma aktivierte Luft zugemischt wird. Unter "Plasma" kann insbesondere die in dem neutralen Medium Luft durch Energiezufuhr erzeugte Aufspaltung der neutralen Moleküle in negative und positive Ionen verstanden. Das geschieht beispielsweise durch Elektronenstoß-Reaktion. Aus Wirtschaftlichkeitserwägungen werden dazu vorzugsweise "kalte" Prozesse eingesetzt. Insgesamt besteht ein wirtschaftlicher Vorteil darin, dass die Chloratom-Ausbeute durch den Zusatz der aktivierten Luft gesteigert werden kann. Das ist deshalb bedeutungsvoll, weil der organische Stoffe und elementaren Kohlenstoff enthaltende Treibhaus-wirksame Gas- und Aerosolgehalt der Troposphäre, insbesondere Methan dadurch effizienter abgebaut werden kann.

Als Gas- und/oder Dampfphase können $\text{NO}_{1,5+x}$ -Edukte eingesetzt sein, bei denen gilt $x \geq -0,5$. Dabei sind jene $\text{NO}_{1,5+x}$ -Edukte bevorzugt, bei denen gilt $x \geq 0,5$, weiter bevorzugt $x \geq 1,0$, oder $x = 1,5$. Das sind Stoffe wie Distickstoffpentoxid (insbesondere dampfförmig), oder Salpetersäure, die bei der Hydrolyse mit wasserhaltigen Aerosolpartikeln insbesondere unmittelbar Salpetersäure und Ferrinitrat bilden, anders als beispielsweise NO_2 . Solche NO_x -Edukte lassen sich aus Atmosphärenluft durch Elektronenstoß-induzierte Reaktionen erzeugen, bei denen sich ionisierte und/oder energiereiche Atome oder Moleküle enthaltende Gasplasmen bilden, die für das beanspruchte Verfahren geeignet sind. Die für das beanspruchte Verfahren nutzbaren Plasmen lassen sich in Hoch- und Niedertemperatur-Plasmen einteilen. Hochtemperaturplasmen entstehen bei elektrischen Funkenentladungen.

Die Glimmentladung wird bevorzugt im Vakuum bei <10 mbar durchgeführt und eignet sich daher besonders für Eisen(III)chlorid-Aerosol-Herstellungsverfahren, bei denen die Aerosolherstellung unter Anwendung von Vakuum durchgeführt wird. Die Koronaentladung und auch die stille Entladung kann bei Atmosphärendruck ausgeführt werden. Kapazitive und induktive Hochfrequenzentladung sowie auch Mikrowellenentladung kann sowohl bei Unterdruck als auch Atmosphärendruck ausgeführt werden.

Durch die Aktivierung der Luft mit den genannten Verfahren werden Luftmoleküle gespalten und es bilden sich daraus hochwirksame Oxidationsmittel wie z. B. atomarer Sauerstoff, Hydroxylradikale, Ozon, Stickoxid, Stickstoffdioxid, Stickstofftrioxid, Distickstoffpentoxid. Die Bildung von Chloratomen pro emittiertem Metall-Äquivalent kann dadurch gegenüber bekannten Verfahren gesteigert werden; im Umkehrschluss bedeutet das, es müssen weniger Eisensaizaerosole emittiert werden, um die gleiche Chloratomwirkung bzw. den gleichen Methanabbau zu erzielen.

Die Photolyse der Eisen(III)chlorid-Aerosole zu Chloratomen kann also durch den Zusatz von durch Plasmabildung aktivierter Luft derart aktiviert werden, dass die Chloratomausbeute gesteigert wird. Bereits Zusätze von 1 bis 5 Volumenanteilen Plasma-aktivierter Luft bezogen auf 100 Volumenanteile des mit Eisen(III)chlorid-Aerosol versetzten und emittierten Luftvolumens bewirken eine Steigerung der Chloratomausbeute um mehr als 100%.

Das wie vorstehend beschriebene Verfahren (zur Herstellung von Chloratomen in der Troposphäre) kann also dadurch verbessert werden, dass ein Eisen(III)chlorid enthaltendes Aerosol im Gemisch mit plasma-aktivierter Luft (in die Troposphäre) emittiert wird. Der Volumenanteil der zugesetzten mit Plasma-aktivierten Luft beträgt dabei vorteilhaft mindestens 1 Volumen-% des mit Eisen(III)chlorid-Aerosol versetzten und emittierten Luftvolumens.

Bei dem Schritt Bereitstellen des zweiten Präkursors kann es bevorzugt sein, eine Sublimationsvorrichtung für ein Haufwerk-Bett einzusetzen. Hierbei kann ein Verfahren eingesetzt sein, das die Dampfausbeute bei reduzierter Temperatur verbessert, nämlich die Sublimation von Ausgangsmaterial aus einem Bewegtbett und/oder einem Wirbelbett mit Hilfe eines heißen Trägergases. Dabei kann die Bewegung der zu sublimierenden Feststoffschüttung im Bewegtbett beispielsweise mechanisch durch Vibration, und/oder Rühren ausgelöst sein. Im Falle der Sublimation von Eisen(III)-chlorid ist es vorteilhaft, wenn das Trägergas inert ist. Gase wie CO_2 oder N_2 als Wirbelmedium sind geeignet. Das Trägergas entfernt kontinuierlich den Eisen(III)-chlorid-Dampf von den Oberflächen der festen

- Eisen(III)-chlorid-Ausgangsstoffe und verringert so den Eisen(III)-chlorid-Dampfdruck über den sublimierenden Ausgangsstoffen. Dieser Effekt erhöht die Sublimationsrate von Eisen(III)-chlorid oder ermöglicht die gleiche Sublimationsrate bei einer niedrigeren Temperatur. Die Erzeugung der Dampfphase als Solches im Wirbelbett durch Sublimation von Feststoffteilchen wurde beispielsweise von der Firma Kemstream, Montpellier, Frankreich, vorgeschlagen. Der Nachteil dieser Sublimationsmethode ist jedoch ein hoher Trägergasverbrauch.
- 5 Das hier vorgeschlagene Haufwerk-Bett besteht oder umfasst insbesondere wasserfreies Eisenchlorid. Das Haufwerk-Bett kann in bevorzugter Weise gekennzeichnet sein durch zumindest eines der folgenden Merkmale:
- eine Durchmischungsvorrichtung bereitstellend zumindest eine der Bewegungen Rühren, Vibrieren, Schütteln, Umwälzen, Fluidisierung mittels Inertgasdurchströmung,
 - die Durchmischungsvorrichtung bereitstellend Mahlhilfen, wie zum Beispiel Keramikugeln,
 - 10 - eine Evakuierungseinrichtung,
 - eine Gasströmanlage zur Bereitstellung eines Inertgases zur Durchströmung des Haufwerk-Betts, [B: wobei das Inertgas erwärmt oder nicht erwärmt sein kann],
 - eine Heizeinrichtung zur Beheizung des Haufwerk-Betts, (B: dass es ein direkt beheiztes Ferrichlorid-Haufwerk-Bett ist, das mittels einer oder mehrerer Heizungen aus der Gruppe Wärmeträger-durchströmer thermostatisierter Rohrheizung, Infrarot-Strahlung,
 - 15 Mikrowellenheizung direkt beheizt wird),
 - eine Temperatur-Regeleinrichtung zur Regelung der Temperatur in dem Ferrichlorid-Haufwerk-Bett zwischen 100 und 220°C, bevorzugt 140 bis 200°C.
- Bevorzugt wird der Vakuumbetrieb der Sublimationsvorrichtung, um einen Betrieb bei niedrigeren Temperaturen zu gewährleisten. So kann die Temperatur unter 200°C gehalten werden, denn oberhalb von 200°C können unerwünschte
- 20 Nebenreaktionen einsetzen.
- Die Verdampfungsrate der Sublimation kann gesteigert werden, wenn das sublimierende Metallchlorid in einem beheizten Festbett aus kleinteilig bis pulvrigem Schüttgut vorgelegt wird, das mittels einer oder mehrerer Maßnahmen, wie zum Beispiel Rühren, Vibrieren, Schütteln bewegt wird und dabei von einem Gasstrom, beispielsweise aus Inertgas wie CO₂ und/oder N₂, durchzogen wird. Vorteilhaft ist die Verwendung von Mahlhilfsmitteln wie z. B. Keramikugeln, die in dem Festbett bei seiner Durchbewegung beständig für
- 25 neue Bruchflächen im kristallinen Ferrichlorid sorgen und somit die verdampfenden Oberflächen vergrößern. Durch die Verwendung von Ferrichlorid im Gemisch mit Aluminiumchlorid zur Herstellung des zu sublimierenden Bewegtbettes kann die Sublimationstemperatur von Ferrichlorid herabgesetzt werden, da sich anstelle der Fe₂Cl₆-Moleküle in der Dampfphase die bei niedrigerer Temperatur sublimierenden FeAlCl₆-Moleküle bilden.
- Das Mischen des ersten und zweiten Präkursors miteinander kann im Übrigen in einer teilgeschlossenen Umgebung
- 30 durchgeführt sein, beispielsweise einer Einhausung wie einem Schornstein oder Auspuff. Alternativ oder kumulativ kann nach dem Schritt Mischen des ersten und zweiten Präkursors ein Ausstoßen des gemischten selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols erfolgen, insbesondere unter Einsatz eines Druckgases.
- Das Ausstoßen des gemischten selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols kann in bevorzugter Weise von zumindest einer der folgenden Bereitstellungsorte aus erfolgen: Schiff, schwimmende Plattform, Bohrinselflugzeug, Ballon, Zeppelin, Kühlturm,
- 35 Schornstein, Auspuff, Gittermast, Berggipfel.
- In einem Aspekt wird ein Verfahren zur Erzeugung von Eisen(III)-chlorid-Aerosolfahnen in der Troposphäre beschrieben, bestehend aus Aerosolpartikeln und/oder Tröpfchen, die Eisen(III)-chlorid aus sublimiertem dampfförmigem Eisen(III)-chlorid enthalten, wobei die Aerosolpartikel durch physikalische und chemische Kondensation durch Mischung mit einem Gasstrahl erzeugt werden. Dieses Verfahren kann gekennzeichnet sein durch eine oder mehrere der folgenden Maßnahmen:
- 40 I) Beaufschlagung der Sublimationskammer mit einem Unterdruck aus mindestens einer Gasstrahl-Vakuumpumpe,
- II) Bewegung des Sublimationsbettes aus wasserfreiem Eisen(III)-chlorid-Stücken in der Sublimationskammer ohne Anwendung der üblichen Wirbelschichtbewegungsmethode,
- III) Zerkleinern des Ausgangsmaterials aus wasserfreiem Eisen(III)-chlorid-Stücken in der Sublimationskammer durch Bewegung von Mahlkörpern,
- 45 IV) Verwendung einer oder mehrerer Gasstrahl-Vakuumpumpen als Vorrichtungen, in denen das Strahlgas mit dem Eisen(III)-chlorid-Dampf vermischt wird,
- V) Verwendung von Ferrichlorid im Gemisch mit Aluminiumchlorid bei der Bereitstellung des zu sublimierenden Bewegtbettes zur Herabsetzung der Sublimationstemperatur.
- Ein Verfahren zur Erzeugung von Aerosolfahnen in der Troposphäre, umfassend Aerosolpartikel und/oder -tröpfchen, die
- 50 Eisen(III)-chlorid aus sublimiertem dampfförmigem Eisen(III)-chlorid enthalten, und wobei die Aerosolpartikel durch physikalische und chemische Kondensation durch Vermischung mit einem Gasstrahl erzeugt werden, kann durch eine oder mehrere der folgenden zusätzlichen Maßnahmen verbessert werden:
- I) Beaufschlagung der Sublimationskammer mit einem Unterdruck aus mindestens einer Gasstrahl-Vakuumpumpe,
- II) Bewegung des Sublimationsbettes aus wasserfreiem Eisen(III)-chlorid-Einsatzmaterial in der Sublimationskammer ohne
- 55 Anwendung der üblichen Wirbelschichtbewegungsmethode,

- III) Zerkleinern des Ausgangsmaterials aus wasserfreiem Eisen(III)-chlorid in der Sublimationskammer durch Bewegung von Mahlkörpern,
- IV) Verwendung einer oder mehrerer Gasstrahl-Vakuumpumpen als Vorrichtungen, in denen das Strahlgas mit dem Eisen(III)-chlorid-Dampf vermischt wird
- 5 V) Verwendung von Ferrichlorid im Gemisch mit Aluminiumchlorid bei der Bereitstellung des zu sublimierenden Bewegungsbettes zur Herabsetzung der Sublimationstemperatur.
- Bei großen stationären Off-shore oder On-shore Emissionsanlagen zur Bereitstellung von „Aqua-Regia“-Aerosolen kann die Gasstrahl-Vakuumpumpe durch ein Turbinenstrahltriebwerk angetrieben sein. Es kann auch vorsehen, dass die Bewegung des Eisen(III)-chlorid-Bettes durch eine oder mehrere der folgenden Bewegungen realisiert wird: Schütteln, Vibrieren, Mahlen oder Rühren.
- 10 Bei einem solchen Verfahren können die Mahlkörper Glas- und/oder Keramikugeln sein. Diese Mahlkörper oder Mahlperlen können bevorzugt einen Durchmesser zwischen 1 mm und 30 mm aufweisen.
- Der oberhalb und innerhalb des Sublimationsbettes erzeugte Druckabfall kann dort zu einem Druck von weniger als 200 mbar führen, bevorzugt zu einem Druck von weniger als 20 mbar. Der Temperaturbereich innerhalb der Sublimationskammer und innerhalb des bewegten Bettes kann beispielsweise 100 bis 250 °C betragen, bevorzugt 150 bis 210 °C.
- 15 Der Trägergasstrahl kann dabei bevorzugt durch ein Turbinentriebwerk, welches beispielsweise so angeordnet werden kann, dass es senkrecht nach oben ausstößt, bereitgestellt werden.
- Zusätzlich zu seiner Nutzung als Ferrichlorid-Dampferzeuger kann der Ferrichlorid-Dampferzeuger auch zur Verdampfung der niedrigsiedenden Tetrachloride von Silicium und Titan genutzt werden. Diese Flüssigkeiten können als solche einzeln oder im Gemisch in die Ferrichlorid-Sublimationskammer geleitet werden und gelangen dort vorzugsweise unterhalb des Ferrichloridbettes zur Verdampfung. Bei seinem Durchgang durch die Sublimationskammer gelangt der dabei erzeugte Dampf durch das Ferrichloridbett und wirkt darin als Ferrichloriddampf-abführendes Trägergas.
- 20 Mit einem wie auf den vorstehenden Seiten beschriebenen Verfahren kann es gelingen, die Ausbeute an Chloratomen wesentlich zu steigern, indem ein vorzugsweise aus gleichen Molekülbestandteilen Chlorid und Nitrat enthaltendes Lösungsgemisch, aus dem die Aerosole hergestellt werden, mit einem Eisen(III)salz, vorzugsweise als Chlorid und/oder Nitrat, oder einer oxischen Titanverbindung, in einer gewichtsbezogenen Konzentration bezogen auf die in der Lösung vorhandenen Feststoffe zwischen vorzugsweise 1% und 90% Eisensalz- und/oder Titanoxid-Gehalt versetzt wird. Beispielsweise kann der Salz- und Säuregehalt, welchen die Aerosole aufweisen, bezogen auf 6 Chlorid-Gewichtsanteile mindestens 1 Nitrat-Gewichtsanteil umfassen und mindestens jeweils 0,1 Gewichtsanteile Eisen und/oder Titan enthalten.
- 25 Ein wirtschaftlicher Vorteil der hier vorgestellten Verfahren besteht darin, dass die Chloratom-Ausbeute um mehr als 100% gesteigert werden kann. Das ist deshalb bedeutungsvoll, weil der organische Stoffe und elementaren Kohlenstoff enthaltende Treibhaus-wirksame Gas- und Aerosolgehalt der Troposphäre - insbesondere Methan - durch Verfahren abgebaut werden kann, die eine Chloratom-Freisetzung in der Atmosphäre auslösen. Gegenüber früher beschriebenen Verfahren kann die Bildung von Chloratomen pro emittiertem Eisen-Äquivalent gesteigert werden. Das heißt, es müssen weniger Eisensalzaerosole emittiert werden, um eine ähnliche Wirkung der Chloratome in der Atmosphäre, bzw. den gleichen Methanabbau, zu erzielen. Ggf. können Eisenzusätze im Aerosol vermieden werden, insbesondere vollständig darauf verzichtet werden. Damit stehen dem hier vorgestellten Chlorid-Misch-Aerosol neue und weitere Anwendungsräume offen. Früher beschriebene Ferrichlorid-Aerosole können beispielsweise nicht oder nur schlecht in der Nähe von albedowirksamen Schnee- und Eisfeldern eingesetzt werden, weil die farbigen Ferriverbindungen die Rückstrahlung direkt vermindern und wegen ihrer Spurenelement-Wirksamkeit im Nachgang zusätzlich die albedomindernde Ausbreitung von Algen und Moosen auf den Schnee- und Eisflächen fördern. Die deutliche Verringerung des Eiseneinsatzes, bzw. auch der vollständige Ersatz des Eisens durch photosensitive Salpetersäure, Nitrat und Titanoxide ermöglicht nun auch die Anwendung des atmosphärischen Methanabbaus in unmittelbarer Nachbarschaft oder sogar auf diesen albedowirksamen und damit klima-kühlenden Eisflächen. Eine Düngewirkung von Nitrat und Salpetersäure tritt hier nicht ein, weil diese photosensitiven Stoffe dem Abbau durch die Sonneneinstrahlung unterliegen. Hingegen wird die Rückstrahlung durch die weißen oxidischen Titanverbindungen sogar direkt und auch nachhaltig angehoben, weil dunkle Niederschläge von Ruß und Rauchaerosolen einschließlich dort aufgewachsener Algen, Biofilmen und Moosen durch die Hydroxylradikal-bildung durch die Titanoxide „weggebrannt“ werden können.
- 35 So ist es eine Möglichkeit im Rahmen des hier vorgestellten Verfahrens, wässrige Lösungen, die sauer eingestellte Eisen(III)-haltige Nitrat- und Chloridsalz-Gemische enthalten, zu Aerosolen zu vernebeln und in die Umgebungsluft zu emittieren. Dabei kommt es durch Photolyse im Tageslicht zu einer gesteigerten Bildung von Chloratomen im Vergleich zu Nitrat-freiem Eisen(III)Chloridaerosol. Selbst unter dem vollkommenen Ausschluss von Eisen in der vernebelten Chlorid- und Nitratlösung kommt es zur Bildung von Chloratomen wenn die Lösung sauer eingestellt ist, wie es auch beansprucht ist. Bevorzugt ist mindestens ein geringer Metallanteil wie beispielsweise Titan und/oder Eisen im Aerosol, weil dadurch die Bildung der Chloratome wesentlich gefördert wird gegenüber der metallfreien Lösung. Die optimale Chloratombildung wurde bei pH Werten zwischen 2,5 und 0,5 beobachtet.
- 40 Wenn die zur Vernebelung eingesetzte Chlorid-Nitrat-Salzlösung durch den Eisen(III)salz-Zusatz eine erkennbare Färbung erhalten hat, sind deutliche Verbesserungen der Chloratombildung aus den Aerosolen zu erwarten. Farbgebung ist visuell bereits bei

Eisen(III)-Konzentrationen in der Chlorid-Nitrat-Lösung zwischen 1 bis 5% deutlich erkennbar. Eindeutig sichtbar ist das bei einem Gewichtsanteil der wässrigen Lösung von 5% und steigert sich bis zum Maximum wenn der Kationenanteil des Eisen(III) 100 % beträgt.

Auch die Anwendung von Eisen(II)salzen kann förderlich auf die Bildung von Chloratomen wirken, wahrscheinlich weil die Oxidationswirkung der Atmosphäre auf das Aerosol zur Umwandlung von Eisen(II) zu Eisen(III) hinwirkt.

- 5 Vorzugsweise sind die molekularen Anteile von Nitrat und Chlorid in der wässrigen Lösung im Verhältnis von etwa 1:10 bis etwa 1:1 enthalten, um eine ausreichende Chloratomausbeute zu erhalten. Bevorzugt ist dabei ein Nitrat-zu-Chlorid-Gewichtsverhältnis von etwa 1:2 bis 1:4. Photolytisch erzeugte Chloratome wirken in bekannter Weise auf das atmosphärische Methan als Oxidationsmittel und lösen dessen Abbau zu Methylradikalen durch Wasserstoffentzug unter Methylradikalbildung aus. Chlorwasserstoff wird von den Aerosolen unter Salzurückbildung absorbiert und gelangt somit zu einem "Recycling". Entsprechendes geschieht mit dem im
- 10 Reaktionsverlauf zu NO₂ reduzierten Nitrat, das nach Absorption durch die Aerosolteilchen und Oxidation wieder zu Nitrat und somit zur Salzbildung recycelt wird.

Es ist vorteilhaft, Aerosole für die Chloratomerzeugung durch Vernebelung herzustellen, deren Aerosolteilchen einen Durchmesser von unter 1 µm haben, um ihre Produktivität zu optimieren. Wird die Vernebelung eingesetzt, kann die Ausbeute an Aerosolteilchen mit einem Durchmesser von unter 1 µm erhöht werden durch die Wasserverdampfung aus den Aerosoltröpfchen in der

15 Atmosphäre, wenn ausreichend verdünnte Lösungen für die Vernebelung eingesetzt werden, z.B. filtriertes Meerwasser. Mit anderen Worten kann dem ersten und/oder zweiten Präkursor Wasser zugesetzt werden zur Verringerung der Durchmesser der Aerosolteilchen.

Anstelle der Freisetzung als Aerosol der beanspruchten Salzlösungsgemische in der freien Atmosphäre können diese Salzlösungen auch innerhalb von eingehausten und künstlich bestrahlten Räumen eingesetzt werden, zum Beispiel, um die Methanemissionen aus definierten Quellen – wie einer Steinkohlemine, einem Pumpenkopf einer Erdgasquelle, oder künstlichen Methanquellen - abzubauen. Als geeignete Orte der Freisetzung der beanspruchten Aerosole in die Troposphäre eignen sich auch die mehr oder weniger

20 vollkommen eingehausten Räume von Aufwindanlagen, wie sie durch die sogenannten Aufwindkraftwerke bekannt geworden sind.

Bei dem zuvor beschriebenen Verfahren, beispielsweise also zur Bereitstellung von Chloratomen in der Troposphäre, kann also ein wässriges Lösungsgemisch in einem Reaktionsraum wie der Troposphäre vernebelt werden. Es enthält bevorzugt die Ionen Chlorid, Nitrat und ggf. darüber hinaus Eisen(III)- Kationen und/oder als Suspension enthaltene Hydroxyl-haltige Titan-Sauerstoff-

25 Verbindungen.

In einer weiteren Fortbildung kann das Eisen(III) und/oder die Hydroxyl-haltigen Titan-Sauerstoff-Verbindungen in der wässrigen Lösung einen Gewichtsanteil an den darin enthaltenen Kationen von mindestens 1% und maximal 100 % aufweisen. Die molekularen Anteile von Nitrat zu Chlorid können in der wässrigen Lösung im Verhältnis 1:10 bis 1:1 enthalten sein. Das Lösungsgemisch kann im Übrigen auch Eisen(II) enthalten.

- 30 Schließlich wird auch eine als Variante 4 bezeichnete Möglichkeit zur Erzeugung des beanspruchten Aerosols vorgeschlagen, nach der sowohl das Edukt Metallchlorid als auch das Edukt Metallnitrat getrennt voneinander in die Aerosolphase überführt werden und danach die beiden Aerosolphasen miteinander durch Vermischung in das beanspruchte Aerosol überführt werden. Nachteil dieser Variante ist, dass die Aerosol- Partikel und Tröpfchen nur sehr zögerlich miteinander koagulieren. Da ihre Chlorwasserstoff- und Salpetersäure-Komponenten aber in dem für die optimale Methanumsetzung notwendigen pH-Bereich von 2 und kleiner 2 über einen erheblichen Dampfdruck verfügen, kann es auch ohne Partikel- oder Tröpfchen-Koagulation, allerdings unter Verzögerung, zur Bildung des beanspruchten Ferrichlorid-Ferrinitrat-Gemischs kommen.
- 35

Die vorliegende Beschreibung würdigt auch eine Vorrichtung zur Bereitstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols, beispielsweise so, wie es vorstehend beschrieben ist. Vorzugsweise dient die Vorrichtung zur Durchführung des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Die Vorrichtung umfasst einen Reaktionsraum, eine mit dem Reaktionsraum verbundene erste Einrichtung, insbesondere eine NO_x-Einrichtung, zur Bereitstellung eines ersten Präkursors umfassend Nitrat anionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-

40 Verbindungen in dem Reaktionsraum. Die Vorrichtung umfasst ferner eine mit dem Reaktionsraum verbundene zweite Einrichtung, insbesondere eine Chlorid-Einrichtung, zur Bereitstellung eines zweiten Präkursors mit Chlor bzw. Chloriden in dem Reaktionsraum.

Eine Trägergas-Bereitstellungseinrichtung ist eingesetzt zur Bereitstellung eines Trägergases in dem Reaktionsraum.

- 45 Beispielsweise kann als Trägergas ein komprimiertes Gas eingesetzt sein, wie es mit einem Kompressor bereitstellbar ist. Es kann als Trägergas auch Abgas eingesetzt sein.

Die Vorrichtung ist hergerichtet, in dem Reaktionsraum eine Mischung des ersten und zweiten Präkursors herbeizuführen und dabei ein Massenverhältnis im Bereich von 1 Anteil Nitrat anionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitrat anionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden einzustellen. Im Übrigen ist die Vorrichtung hergerichtet, den pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 ($-1 \leq \text{pH} \leq 3$) zu moderieren.

- 50 Die Vorrichtung kann weiter ausgebildet sein darin, dass die erste Einrichtung einen Plasmareaktor umfasst zur Erzeugung eines Plasmas aus atmosphärischer Luft, insbesondere zur Erzeugung der Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen aus dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff und/oder Stickstoff.

Der Plasmareaktor der Vorrichtung kann ein nicht-thermisches Plasma erzeugen oder aufrechterhalten. Beispielsweise umfasst bzw. vollzieht der Plasmareaktor eines der folgenden Verfahren: Plasma-Glimmentladung, Korona-Entladung, stille elektrische

Entladung mit oder ohne Wasserkontakt, kapazitive oder induktive Hochfrequenzentladung, Mikrowellenentladung, dielektrisch behinderte Entladung, Luft-Plasma-Jet mit Wasserkontakt, oder gleitende Lichtbogenentladung mit Wasserkontakt.

Der Plasmareaktor kann unter Vakuum oder unter atmosphärischem Druck betrieben sein. Gegebenenfalls kann der Plasmareaktor ein Hochtemperatur-Plasma bereitstellen oder aufrechterhalten.

- 5 Die Trägergas-Bereitstellungseinrichtung kann bevorzugt zumindest eines der folgenden Merkmale umfassen: einen Gasstrahl, eine Druckgasanlage, oder eine Absaugeinrichtung. Alternativ oder kumulativ kann die Vorrichtung hergerichtet sein, dass die erste Einrichtung über einen NO_x-Auslass mit dem Reaktionsraum verbunden ist. Die zweite Einrichtung kann über einen Chlorid-Auslass mit dem Reaktionsraum verbunden sein. Die Vorrichtung kann auch hergerichtet sein, dass der NO_x-Auslass und der Chlorid-Auslass als gemeinsamer NO_x/Chlorid-Auslass in den Reaktionsraum münden, also die erste Einrichtung und die zweite Einrichtung
10 über den gemeinsamen NO_x/Chlorid-Auslass mit dem Reaktionsraum verbunden sind.

Die Vorrichtung kann eine Verdünnungsanlage umfassen, und/oder eine Ultraschall-Vibrationseinrichtung, eine Vernebelungsanlage, insbesondere zur Durchführung eines nicht-thermischen Vernebelungsverfahrens und/oder eines Vernebelungsverfahrens durch Kondensation und/oder Hydrolyse, eine Metallchlorierungsanlage, beispielsweise zur Eisenchlorierung, eine Mischvorrichtung wie eine Gasstrahlvakuumpumpe und/oder einen statischen Mischer, welche beispielsweise im oder am

- 15 Reaktionsraum angeordnet ist.

Die zweite Einrichtung kann in bevorzugter Ausgestaltung eine Sublimationsvorrichtung für ein Haufwerk-Bett umfassen. Dabei kann das Haufwerk-Bett beispielsweise aus wasserfreiem Eisenchlorid bestehen oder dieses umfassen. Das Haufwerk-Bett kann des Weiteren gekennzeichnet sein durch zumindest eines der folgenden Merkmale: eine Durchmischungsvorrichtung bereitstellend
20 zumindest eine der Bewegungen Rühren, Vibrieren, Schütteln, Umwälzen, Fluidisierung mittels Inertgasdurchströmung; die Durchmischungsvorrichtung bereitstellend Mahlhilfen, wie zum Beispiel Keramikugeln; eine Evakuierungseinrichtung; eine Gasströmanlage zur Bereitstellung eines Inertgases zur Durchströmung des Haufwerk-Betts; eine Heizeinrichtung zur Beheizung des Haufwerk-Betts; eine Temperatur-Regleinrichtung zur Regelung der Temperatur in dem Ferrichlorid-Haufwerk-Bett zwischen 100 und 220 °C.

Die Vorrichtung kann ferner einen Dampferzeuger zur Erzeugung eines Nitrat-Dampfes unter Zuführung von Luft und HNO₃ in den Dampferzeuger unter erhöhter Temperatur und/oder Druck umfassen. In weiterer Ausgestaltung kann die Vorrichtung alternativ oder
25 kumulativ einen Dampferzeuger zur Erzeugung eines Chlorid-Dampfes unter Zuführung von Luft und HCl in den Dampferzeuger unter erhöhter Temperatur und/oder Druck umfassen. Mit anderen Worten kann mit einem Dampferzeuger ein Nitrat-Dampf oder Chlorid-Dampf oder auch ein Nitrat-Chlorid-Mischdampf erzeugt werden. Allerdings weisen Salpetersäure und Salzsäure bereits für sich genommen ein gewisses Korrosionspotential auf. Um Korrosionsauswirkungen zu begrenzen, sind daher auch weitere Alternativen für diese Vorrichtungskomponente diskutiert, so wie der Plasmareaktor, mit dem sich NO_x-Edukte direkt im Gas- oder Dampfzustand
30 herstellen lassen.

Die Vernebelungsanlage kann Düsen, rotierende Bürsten, oder einen Ultraschall-Vibrations-Erzeuger umfassen zur Erzeugung eines Nitrat-Nebels unter Zuführung flüssigen Metallnitrats in die Vernebelungsanlage, und/oder zur Erzeugung eines Chlorid-Nebels unter Zuführung flüssigen Metallchlorids in die Vernebelungsanlage, und/oder zur Erzeugung eines Nitrat-Chlorid-Nebels unter gleichzeitiger Zuführung flüssigen Metallnitrats und flüssigen Metallchlorids in die Vernebelungsanlage.

- 35 Die zweite Einrichtung kann in bevorzugter Form eine Umsetzungseinrichtung umfassen zur exothermen Umsetzung von Metallverbindungen, also Metallen oder Metallegierungen, mit Chlorgas. Als Metallverbindungen können beispielsweise metallisches Eisen, Silizium, Titan oder Aluminium eingesetzt sein. Zur Regelung der Temperatur in der Umsetzungseinrichtung kann eine Temperatur-Regleinrichtung vorgesehen sein zur Regelung im bevorzugten Bereich zwischen 450 °C bis 600 °C. Beispielsweise kann hierbei ein vorzugsweise zu groben Partikeln oder Pellets zerkleinertes oder vorgeformtes Metall mit geringem Chlorgasüberschuss exotherm
40 umgesetzt werden. Ggf. anfallende Zerfallsreaktionen von Ferrichlorid zu Ferrochlorid werden durch leichten Chlorüberschuss unterdrückt. Ein ggf. folgender geringer Chorgehalt in der emittierten Ferrichlorid Aerosolwolke wird photolytisch zu Chloratomen aufgespalten und durch Reaktion mit Methan alsbald in den HCl-Ferrichlorid-Recyclingkreislauf der Ferrichlorid Aerosolwolke einbezogen.

Die wie zuvor beschriebene Vorrichtung kann ausgestaltet sein zur Bereitstellung der Vorrichtung auf einem der folgenden Bereitstellungsorte: Schiff, schwimmende Plattform, Bohrinself, Flugzeug, Ballon, Zeppelin, Kühlturm, Schornstein, Auspuff, Gittermast, Berggipfel, Aufwindkraftwerk, Turbine.

- 45 Der Reaktionsraum kann in einer Einhausung angeordnet sein mit einem Auslass zur Freilassung des selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols. Der Reaktionsraum kann insbesondere in einem Kühlturm, Schornstein, Auspuff, Gittermast, Aufwindkraftwerk oder Turbine angeordnet sein. Edukt-Dämpfe und/oder -Gase, also erster und/oder zweiter Präkursor, wie beispielsweise aus dem NO_x-Plasmareaktor und aus dem Verdampfer, Dampf und daraus kondensierendes Aerosol aus dem Ferrichlorid-Sublimator oder aus der
50 Eisen-Chlorgasreaktion sowie Edukt-Aerosole aus der nicht-thermischen Vernebelung (je nachdem, welche Komponenten der Vorrichtung eingesetzt werden) werden überwiegend in der im Reaktionsraum angeordneten Turbulenzzone durch Reaktion in das beanspruchte saure Misch-aerosol überführt. Anschließend wird das Aerosol typischerweise in die Atmosphäre emittiert.

Die vorliegende Beschreibung definiert auch eine Abgasaufbereitungsanlage zur zumindest teilweisen Umwandlung von Abgasen und zur gleichzeitigen Bereitstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols beispielsweise wie vorstehend

- 55 beschrieben, und/oder beispielsweise für den Einsatz unter einem wie vorstehend beschriebenen Verfahren. Die

Abgasaufbereitungsanlage umfasst einen in einem zur Abgasabführung hergerichteten Rohrabchnitt angeordneten Reaktionsraum, beispielsweise in einem Auspuff oder Schornstein; eine erste Einrichtung zur Bereitstellung eines ersten Präkursors umfassend Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen in dem Reaktionsraum; eine zweite Einrichtung zur Bereitstellung eines zweiten Präkursors mit Chloriden in dem Reaktionsraum; einen Abgasemittenten, wie einen Dieselmotor, als Trägergas-

- 5 Bereitstellungseinrichtung zur Bereitstellung eines Trägergases in dem Reaktionsraum; wobei die Vorrichtung hergerichtet ist, in dem Reaktionsraum eine Mischung des ersten und zweiten Präkursors herbeizuführen und dabei ein Massenverhältnis im Bereich von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden einzustellen; und wobei die Vorrichtung ferner hergerichtet ist, den pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 ($-1 \leq \text{pH} \leq 3$) zu moderieren.
- 10 Im Folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert, wobei gleiche und ähnliche Elemente teilweise mit gleichen Bezugszeichen versehen sind und die Merkmale der verschiedenen Ausführungsbeispiele miteinander kombiniert werden können.

Kurzbeschreibung der Figuren

15

Es zeigen:

- Fig.1 ein Fließbild einer ersten Ausführungsform der Erfindung,
 Fig.2 einen Plasmareaktor,
 Fig.3 einen Dampferzeuger,
 20 Fig.4 eine Vernebelungsanlage,
 Fig.5 eine Sublimationseinrichtung,
 Fig.6 eine weitere Ausführungsform einer Sublimationseinrichtung,
 Fig.7 eine Trägergasbereitstellungseinrichtung,
 Fig.8 eine Ausführungsform eines Reaktionsraums mit Gasvakuumpumpe,
 25 Fig.9 Ausführungsform eines Reaktionsraums mit Statikmischer,
 Fig.10 Fließbild einer ggf. überkompletten Ausführungsform der Erfindung,
 Fig.10a weiteres Fließbild einer Ausführungsform der Erfindung,
 Fig.11 Fließbild einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,
 Fig.12 Fließbild einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,
 30 Fig.13 Fließbild noch einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung,
 Fig.14 Vorrichtung zur Bereitstellung des Aerosols bzw. zur Durchführung des Verfahrens zur Herstellung des Aerosols,
 Fig.15 weitere Vorrichtung zur Bereitstellung des Aerosols,
 Fig.16 weitere Ausführungsform einer Vorrichtung zur Bereitstellung des Aerosols als Drehverteiler,
 Fig.17 Ausführungsform einer Kombination eines Drehverteilers mit einer vertikalen Windkraftanlage.

35

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

- Wie sich mit der vorliegenden Anmeldung zeigt, ist es bei einem klimawirksamen Aerosol 20 vorteilhaft, wenn der pH-Wert recht sauer moderiert wird, und zwar in einen Bereich von -1 bis 3, bevorzugt von 0 bis 2,5, und noch weiter bevorzugt von 0 bis 2. Für die Einstellung des pH-Wertes gibt es verschiedene Möglichkeiten, wobei in dieser Beschreibung diejenigen beschrieben werden, die technisch und wirtschaftlich sinnvoll eingesetzt werden können.

- Eine Möglichkeit ist dabei die Bereitstellung eines Metallsalz-Gemisch-Aerosols oder eines Metall-Ionen und/oder Metall-Oxide enthaltenden Chlorid-Misch-Aerosols, wie des zuvor skizzierten "Aqua-Regia"-Aerosols, für den Abbau beispielsweise der Treibhausgase Methan und Ozon in der Troposphäre. Hierbei kann eine photolytisch aktivierte Oxidationswirkung von "Aqua-Regia" durch Chlor (Chloratome und Chloride) technisch umgesetzt werden. Beispielsweise kann das vorgestellte Chlorid-Gemisch-Aerosol, insbesondere das aktivierte "Aqua-Regia"-Aerosol, so eingestellt sein, dass dessen Partikel und/oder Tröpfchen dadurch gekennzeichnet sind, dass sie ein sauer eingestelltes Gemisch aus Natriumionen, Nitrationen, Chloridionen Ferriionen und durch Hydrolyse gebildetem Titandioxid enthalten. Das Chlorid-Misch-Aerosol enthält also in diesem Beispiel Partikel und/oder Tröpfchen, deren feste und/oder flüssige Bestandteile aus einem Oxid- Salz- und Salzlösungsgemisch bestehen, und das einen pH-Wert von kleiner gleich 3 hat,
- 50 bevorzugt kleiner gleich 2, und in dem die "Aqua-Regia"-Oxidation von Chlorid zu Chloratomen besonders wirksam ist.

- Die im Weiteren vorgestellten technischen Einrichtungen sind besonders geeignet für die Herstellung jeglicher „Aqua regia“-Aerosol-Varianten einschließlich der durch die genannten Eisen- und/oder Titan-Verbindungen aktivierten „Aqua regia“-Aerosole. Ein aktiviertes „Aqua regia“-Aerosol ist ein Eisensalz- und/oder Titandioxid enthaltendes „Aqua regia“-Aerosol, dem bei der Herstellung eine Eisen- und/oder Titan Komponente zugefügt wurde. Bei den aktivierenden Metallkomponenten, die dem „Aqua regia“-Aerosol im Herstellungsgang beigegeben werden, kann es sich insbesondere um Salze der Übergangsmetalle Eisen und Titan und deren Hydrolyseprodukte
- 55

handeln. Ein solches Metallsalz zur Herstellung eines Metallsalz-Gemisch-Aerosols ist dabei ein Chlorid-Gemisch-Aerosol, welches bei der Herstellung oder im Edukt-Aerosol (also dem auszustoßenden Chlorid-Gemisch-Aerosol) Metallsalz umfasst. Ein solches Metallsalz kann beispielsweise als Ferrichlorid, Ferrochlorid, Ferrinitrat, Ferronitrat, Ferrisulfat oder Titantrichlorid eingesetzt sein.

Die in dieser Anmeldung vorgestellten technischen Einrichtungen können modifiziert bzw. betrieben werden zur Bereitstellung eines Chlorid-Gemisch-Aerosols mit und ohne Metallsalze bei der Erzeugung des Aerosols und/oder enthalten im Edukt-Aerosol. Der in der vorliegenden Beschreibung verwendete Begriff "Chlorid-Gemisch-Aerosol" beschreibt das Gemisch-Aerosol, welches das Element Chlor enthält, beispielsweise in gelöstem oder gasförmigem Zustand und insbesondere aus der Gruppe atomares Chlor, elementares Chlor, Chlorwasserstoff, Nitrosylchlorid, Nitrylchlorid oder Chlornitrat. Denn wesentlich für das emittierte Aerosol ist das Vorhandensein von Chlor (als elementares Chlor und Chlorid).

Die Partikel und/oder Tröpfchen der „Aqua-Regia“-Aerosol-Varianten weisen nach ihrer Emission eine gasförmige Aura auf aus dampfförmigen Produkten ihrer Photolyse und ihrer Reaktion mit Sauerstoff und anderen Oxidantien sowie Methan und anderen organischen Komponenten der Troposphäre, darunter zum Beispiel $^{\circ}\text{Cl}$, Cl_2 , HCl , $^{\circ}\text{NO}_2$, HNO_3 , ClNO , ClNO_2 . Diese Komponenten gehören zum natürlichen photochemischen Kreislauf in der „Aqua-Regia“-Aerosolwolke. Sämtliche Komponenten, aus denen die „Aqua-Regia“-Aerosolwolke hergestellt wird, und die diese Komponenten als solche enthalten oder in der Form ihrer Präkursoren enthalten oder in die „Aqua-Regia“-Aerosolwolke freisetzen, können auch Bestandteile ihrer Herstellung sein. Die kondensierten Partikel der „Aqua-Regia“-Aerosol Varianten kann im Übrigen eine kondensierte Aura aufweisen, die Nitrat, Chlorid, Hydronium- und Metallionen aufweisen kann sowie ggf. aktivierende Komponenten von ionischen und/oder oxidischen Eisen- und oder Titan-Komponenten. Beispielfhaft sei der Titantrichlorid-Dampf erwähnt, der bei seiner Hydrolyse mit der Luftfeuchtigkeit die Aerosolwolke mit HCl -Dampf und Titandioxid anreichert.

Ggf. vorhandene Metallelemente bzw. Metallverbindungen können einerseits als Katalysatoren oder auch zur Herabsetzung des pH-Wertes Verwendung finden, z.B. wenn das Eisen in reduzierter Form, beispielsweise als Eisenpentacarbonyl-Dampf zugesetzt wird. Schließlich ist einerseits die Reaktivität des Aerosols und andererseits die Kosten beispielsweise für den Material- bzw. Energieaufwand zur Herstellung des Aerosols ein empfindliches Maß dafür, ob das Aerosol in großen Mengen bereitstellbar ist.

Fig. 1 zeigt nun eine erste Ausführungsform für eine Vorrichtung 100 zur Bereitstellung eines klimawirksamen Aerosols 20, beziehungsweise auch für die Durchführung des Verfahrens zur Bereitstellung des klimawirksamen, selbstaktivierenden, photoaktiven Aerosols 20. Ein Reaktor 5 dient der Bereitstellung des ersten Präkursors 52 mit Nitrat anionen (z.B. Salpetersäure) und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen in einen Reaktionsraum 40. Er weist eine Luftzuleitung 7 sowie eine Zuleitung 6, beispielsweise für elektrischen Strom bzw. zur Zuführung von Energie, auf. Ein Sublimator 8 dient der Bereitstellung des zweiten Präkursors 54 mit Chloriden. Er umfasst in diesem Beispiel eine Heizeinrichtung 9 zur Zuführung thermischer Energie in den Sublimator 8. Ferner weist er die Zuführung 10 für wasserfreies festes Ferrichlorid und/oder wasserfreie Ferrichlorid-Aluminiumchlorid-Gemisch und eine Trärgaseinleitung 11 auf.

Erster und zweiter Präkursor 52, 54 werden im Reaktionsraum 40 bereitgestellt, so dass eine Mischung stattfindet. Die Mischung kann weiter beschleunigt oder gefördert werden, wenn ein Trärgas 56 zur turbulenten Durchmischung und/oder Abfuhr der Präkursoren Mischung 52, 54 dem Reaktionsraum 40 zugeführt wird. Das Trärgas 56 kann mit einem Trärgaserzeuger 16 erzeugt werden. Bei dem Trärgas 56 kann es sich beispielsweise um Druckluft oder Abgas handeln, so dass der Trärgaserzeuger 16 also insbesondere ein Kompressor, ein (elektro)motorgetriebenes Gebläse, ein Propeller-antreibender Motor oder ein Motor wie beispielsweise ein Schiffsdieselmotor sein kann. Eine Energiezuführung 17 versorgt den Trärgaserzeuger 16 mit Energie; also beispielsweise mit elektrischer Leistung im Falle des Kompressors bzw. des elektrisch getriebenen Gebläses, mit Flugbenzin im Falle des Propellerantriebs, mit Schweröl im Falle des Schiffsdieselmotors oder mit Kerosin im Falle des Jet-Turbinen-Gebläses.

Der Reaktionsraum 40 umfasst in dem in Fig. 1 gezeigten Beispiel eine Gasstrahl-Vakuumpumpe 15. Das solchermaßen bereitgestellte Aerosol 20 wird dem Auslass 19, beispielsweise ein Schornstein, zugeführt und in die Atmosphäre entlassen.

Mit einer wie in Figur 1 als Flussdiagramm gezeigten Anlage 100 lassen sich verschiedene Verfahrensvarianten durchführen, von denen im Folgenden eine beispielhaft erläutert wird. Gemäß einer Variante 1 wird zunächst ein Ferrichlorid-enhaltendes Aerosol als Edukt bzw. zweiten Präkursor 54 erzeugt, das danach durch Behandlung mit einem oder mehreren Edukten aus der Gruppe $\text{NO}_{1,5+x}$, darunter bevorzugt Salpetersäuredampf, als ersten Präkursor 52 in ein Ferrinitrat-Ferrichlorid-Misch-aerosol 20 umgewandelt wird. Basis der Herstellungsmethode gemäß Variante 1 ist die primäre Herstellung von Ferrichloridaerosol als zweiten Präkursor 54, in Figur 1 beispielhaft im Sublimator 8. Das thermische Vernebelungsverfahren von Ferrichlorid nutzt die Kondensattröpfchenbildung zur Bildung von Ferrichlorid-Aerosol 54, die bei der Abkühlung von dampfförmigem Eisen(III)chlorid auftritt. Hierbei handelt es sich um ein thermisches Vernebelungsverfahren, welches in Figur 1 mit den Bezugszeichen 8, 9, 10 und 11 verdeutlicht ist. Es handelt sich bei dem Sublimator 8 beispielsweise um ein bewegtes Ferrichlorid-Festbett, aus welchem unter Erwärmung auf 100 bis 220°C mittels einer Heizeinrichtung 9 unter Durchströmung mit Inertgas 11 durch Sublimation in Ferrichloriddampf 54 oder dessen Gemisch mit Aluminiumchloriddampf überführt wird.

Die mit dem Sublimator 8 erzielbare Größe der gebildeten Kondensattröpfchen- und/oder Kondensatpartikel kann in bevorzugter Weise vergleichsweise klein ausfallen, was im Rahmen dieser Beschreibung bevorzugt ist.

Durch dampf- und/oder gasförmige Mischung von anorganischen gas- oder dampfförmigen Stickstoff-Sauerstoff-Edukten $\text{NO}_{1,5+x}$ als erstem Präkursor 52 zu dem erzeugten Ferrichloridaerosol 54 kann somit ein saures Ferrinitrat-Ferrichlorid-Misch-aerosol 20

nach Variante 1 erzeugt werden. Zu den $\text{NO}_{1,5+x}$ Edukten gehören beispielsweise die Stoffe Salpetersäure, Distickstoffpentoxid, Stickstofftrioxid, Stickstoffdioxid, Distickstofftrioxid, Distickstofftetroxid, Distickstofftrioxid, Nitrylchlorid oder Chlornitrat. Das sind allesamt Stoffe, die durch Hydrolyse, Oxidation und/oder Kondensation in der Gegenwart von feuchtem Ferrichloridaerosol saure

5 Mischaerosolpartikel oder Tröpfchenaerosole enthaltend Ferrichlorid und Ferrinitrat bilden können und daher gut geeignet sind für die Herstellung des ersten Präkursors 52.

Eine Möglichkeit der Herstellung der beanspruchten Stickstoff-Sauerstoffverbindungen $\text{NO}_{1,5+x}$ ist eine Herstellung im Plasmareaktor 5, wie er in Figur 1 oder 2 schematisch dargestellt ist, mittels Entladungsplasmen oder Plasmen, die durch die Wirkung elektromagnetischer Wellen gebildet werden. Die Gas- und Dampf-förmigen Produkte werden dann mit dem Aerosol vermischt. Diese

10 Ausführungsoption ist in Figuren 1 und 2 unter den Bezugszeichen 5, 6 und 7 schematisch abgebildet. Der Vorteil dieser Herstellungsoption ist die Nutzung des N_2 - und/oder O_2 -Gehalts der Luft für die Eduktherstellung des ersten Präkursors 52.

Mit den Figuren 2 bis 10 werden zueinander austauschbare oder kumulativ einsetzbare Vorrichtungskomponenten aufgezeigt, wie sie in einer Vorrichtung 100 zur Herstellung des Aerosols 20 einsetzbar sind. Bezug nehmend auf Fig. 2 ist der bereits beschriebene Plasmareaktor 5 dargestellt. Mit Bezug auf Fig. 3 ist schematisch ein Dampferzeuger 1 gezeigt, der hergerichtet sein kann für die

15 Zuführung von Luft, und beispielsweise auch mit über 70-prozentiger Salpetersäure, in den Dampferzeuger. Der Dampferzeuger 1 kann dabei zum Betrieb unter veränderten Temperatur- und/oder Druckbedingungen hergerichtet sein. Alternativ oder kumulativ kann der Dampferzeuger 1 zur Erzeugung eines Chlorid-Dampfes als zweitem Präkursor 54 unter Zuführung von Luft, und ggf. ergänzt um vorzugsweise mehr als 25-prozentiger Salzsäure, in den Dampferzeuger 1 hergerichtet sein. Auch dieser Verfahrensschritt kann unter veränderten Temperatur- und/oder Druckbedingungen durchgeführt werden. In einem Beispiel kann der Dampferzeuger 1 zur

20 Verdampfung von Salpetersäure eingesetzt sein. Bevorzugt ist der Dampferzeuger hergerichtet zur Verdampfung wässriger Salzsäurelösung; er kann auch eingesetzt sein zur Verdampfung hydrolyseempfindlicher flüssiger und/oder flüchtiger Chloride, beispielsweise von einem oder mehreren Stoffen aus Siliciumtetrachlorid und Titanetetrachlorid. Letztgenanntes ist allerdings komplizierter aufgrund der dazu notwendigen Trocknung der hindurchgeleiteten Hilfsgase. Dabei weist der mit Figur 3 gezeigte Verdampfer 1 eine Heizeinrichtung 2, einen Zulauf 3 für die Zuführung des Ausgangsstoffes zur Herstellung eines Dampfes aus

25 Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen (z.B. Salpetersäuredampf) oder eines Chlorid-Dampfes und eine Luftzuführung 4 auf. Der Verdampfer 1 wird auf ein Füllmaß gefüllt und die eingefüllte Menge mittels der Heizeinrichtung 2 erhitzt. Das Edukt 52 oder 54 wird über den Auslass 36 dem Reaktionsraum 40 zugeleitet. Als bevorzugtes $\text{NO}_{1,5+x}$ -Edukt (erster Präkursor 52) für die Umsetzung mit Ferrichlorid-Aerosol oder Ferrichloriddampf (zweiter Präkursor 54) wird insbesondere Salpetersäure, ihre wässrigen Lösungen und ihr Dampf eingesetzt. Salpetersäuredampf lässt sich durch Verdampfung von Salpetersäure herstellen. Das geschieht vorzugsweise durch

30 Verdampfung flüssiger Salpetersäure bei Temperaturen unter 100 °C durch kontrolliertes Hindurchleiten von Luft 4 durch eine beheizte Vorlage 2 mit flüssiger Salpetersäure 1 kann der erste Präkursor 52 hergestellt werden.

Mit Bezug auf Fig. 4 wird schematisch eine Vernebelungsanlage 13 beschrieben. Die Herstellung des zweiten Präkursors 54 wie eines Ferrichloridaerosols kann durch eine einfache nicht-thermische Flüssigkeitsvernebelungs-Vorrichtung 13 geschehen. Mit einem nicht-thermischen Vernebelungsverfahren können hier bekannte mechanische und hydraulische Flüssigkeitsvernebelungsverfahren wie z. B. das Vernebeln von Ferrichlorid-Lösungen mittels Düsen, mit rotierende Bürsten oder mittels Ultraschall-Vibration durchgeführt werden. Das Düsenprinzip ist schematisch in den Figuren 1 und 2 unter den Bezugszeichen 12, 13 und 14 dargestellt mit dem Vorlagebehälter 12 und dem Zulauf 14. Eine Vernebelungsanlage 13, beispielsweise mit Düsenprinzip, kann ebenso auch zur Herstellung des Ferrinitrataerosols 52 eingesetzt sein. Die Variante 2 zur Herstellung des sauren Ferrinitrat-Ferrichlorid-Mischaerosols 20 hat beispielsweise als Basis die Herstellung von Ferrinitrataerosol 52.

40 Gemäß Variante 3 kann die Herstellung von Ferrinitrataerosol 52 ebenfalls durch das nicht-thermische Flüssigkeitsvernebelungsverfahren mit Vernebelungsanlage 13 geschehen. Da der saure pH-Wert des Aerosols hier nicht durch Gas- oder Dampf-förmige Säure- oder Säure-bildende Stoffe einstellbar ist, muss bereits die zu vernebelnde Lösung hinreichend sauer eingestellt werden. Um unökonomischem Aufwand für den Korrosionsschutz aus dem Weg zu gehen, und um möglichst kleine Aerosol-Partikel oder -Tröpfchen zu erhalten, kann in dieser Variante ein verdünntes Ferrinitrat-Ferrichlorid-Gemisch eingesetzt sein. Das

45 überschüssige Wasser verdampft aus den Aerosoltröpfchen nach ihrer Emission in die Atmosphäre.

Mit Bezug auf Fig. 5 ist der Sublimator 8 als eigenständiges Bauteil dargestellt, der ansonsten bereits mit Bezug zu Fig. 1 beschrieben wurde. Gleiche Bezugszeichen bezeichnen – wie überall in der Beschreibung – gleiche Bauteile. Mit Bezug zu Fig. 6 ist ein Haufwerk-Bett 23 aus Eisenpellets gezeigt. Die Herstellung von Ferrichloriddampf 54 kann auch durch die exotherme Chlorierung von Eisenpellets 23 geschehen, wie schematisch in Fig. 5 unter den Bezugszeichen 22, 23 und 24 dargestellt ist mit der Metallpellet-

50 Zuführung 22 und einer Chlorgaszuführung 24.

Bezugnehmend auf Fig. 7 ist als Komponente der Vorrichtung 100 eine Trärgaserzeugervorrichtung 16 visualisiert mit einer Energiezuführung 17 und einer Gas- oder Luftzuführung 18. Das Trärgas 56 ist hergerichtet für den Aerosolauftrieb. Also mit anderen Worten ist das Trärgas so beschaffen, dass es das Aerosol, insbesondere die Partikel und/oder Tröpfchen des Aerosols, zumindest eine Initialzeit trägt und sich mit dem Aerosol vermischt bzw. ein Teil des emittierten Aerosols wird und/oder in Wechselwirkung zu den

55 Tröpfchen und/oder Partikel des Aerosols tritt, beispielsweise indem mittels des Trärgases 56 der pH-Wert moderiert wird. Die

- Trärgaserzeugervorrichtung 16 stellt also, z.B. für den Betrieb der Gasstrahlvakuumpumpe 15, geeignetes Trägergas bereit. Beispiele einer Trärgaserzeugervorrichtung 16 sind Kompressor, Ventilator oder auch ein vertikal ausblasendes Propeller- oder Strahl(Jet)-Triebwerk, aber auch eine Verbrennungskraftmaschine wie ein Schiffs(diesel)motor kann ein geeignetes Trägergas bereitstellen, oder der Luftstrom durch ein Aufwindkraftwerk. Beispielsweise wird eine Reaktion zwischen $\text{NO}_{1,5+x}$ -Verbindungen bzw. Salpetersäure und
- 5 Ferrichlorid nicht durch das Abgas beeinträchtigt, solange das Abgas einen Anteil von mehr als 5% Sauerstoff enthält. Sollte das zu verwendende Abgas tatsächlich weniger als 5% Restsauerstoff aufweisen, was bei einem modernen Motor durchaus üblich ist, so kann beispielsweise Umgebungsluft in das noch heiße Abgas bzw. das Abgasrohr nach dem Verlassen der Brennkammer bzw. des Zylinders gemischt werden, ggf. sogar in variabler Menge mittels Klappentechniken.
- Mit Figuren 8 und 9 sind zwei Ausführungen eines Reaktionsraums 40 gezeigt. Der Reaktionsraum 40 zeichnet sich dadurch
- 10 aus, dass dort erster Präkursor 52 und zweiter Präkursor 54 bevorzugt in einem Strom aus Trägergas 56 miteinander vermischt werden zur Emission in eine Umgebung wie die Atmosphäre. Der eigentliche Vermischungsvorgang der beiden Präkursoren 52, 54 findet also im Reaktionsraum 40 statt oder beginnt dort. Beispielsweise kann dort also die Vermischung von Chlorwasserstoffdampf oder der flüchtigen hydrolyseempfindlichen Chloride mit dem Ferrinitrataerosol gemäß Variante 2 oder die Vermischung des Salpetersäuredampfes oder der übrigen gas- und dampfförmigen $\text{NO}_{1,5+x}$ -Verbindungen mit dem Ferrichloridaerosol gemäß Variante 1 vorzugsweise unterstützt durch
- 15 eine Gasstrahl-Vakuumpumpe 15 stattfinden, die beispielhaft in Fig. 8 dargestellt ist. Die Vermischung der gas- und dampfförmigen Reaktanten 52, 54 mit den Ferrinitrat- und Ferrichlorid-Aerosolen kann auch mittels einer statischen Mischvorrichtung 21 gefördert werden, die beispielhaft in Fig. 9 dargestellt ist.
- Mit Fig. 10 bildet ein ggf. als überkomplett dargestelltes Flussdiagramm zahlreiche der vorgenannten Komponenten der Vorrichtung 100 gemeinsam ab. Es wird deshalb als überkomplett bezeichnet, da es zwar möglich ist, alle Komponenten der Vorrichtung
- 20 100 gleichzeitig zu betreiben, diese Anordnung aber nicht notwendig ist zur Durchführung der Erfindung. Vielmehr sind mit Fig. 10 mehrere Möglichkeiten zur Herstellung des ersten Präkursors 52 und des zweiten Präkursors 54 gleichzeitig dargestellt.
- Da alle Bezugszeichen zu den vorherigen Figuren 1 bis 9 identisch verwendet werden, kann die vorherige Beschreibung auch im Hinblick auf Fig. 10 (und die weiteren Figuren) übernommen werden. Der erste Präkursor 52 kann mittels des Dampferzeugers 1 erzeugt werden, beispielsweise unter Zuführung von Luft und HNO_3 zur Erzeugung von Nitrat-erzeugendem Dampf. Der erste Präkursor
- 25 52 kann alternativ oder kumulativ auch mittels des Reaktors 5 wie eines Plasmareaktors erzeugt werden. Des Weiteren kann der erste Präkursor auch mittels der Vernebelungsanlage 13 bereitgestellt sein, beispielsweise über die Herstellung eines Ferrinitrataerosols als erstem Präkursor 52.
- Der zweite Präkursor 54 kann im Dampferzeuger bereitgestellt werden, beispielsweise unter Zuführung von Salpetersäure und Luft wie zuvor bereits beschrieben. Alternativ oder kumulativ kann der zweite Präkursor 54 im Sublimator 8 bereitgestellt werden,
- 30 mittels einer Eisenchlorierung 23, oder auch mittels der Vernebelungsanlage 13. Anstelle oder ergänzend zu der in Fig. 10 gezeigten Gasstrahlvakuumpumpe 15 kann auch ein Statikmischer 21 (vgl. Fig. 9) eingesetzt sein.
- Bezug nehmend auf Fig. 10a ist eine weitere ggf. als überkomplett zu bezeichnende fließbildliche Darstellung einer Ausführungsform der Erfindung gezeigt. Ein zweiter Vorlagebehälter 12a kann mit einem zweiten Zulauf 14a befüllt werden und dient beispielsweise als Zufuhr zu einer Vernebelungsanlage 13a. Hierbei können verschiedene niedrigsiedende Ausgangsstoffe,
- 35 beispielsweise TiCl_4 , SiCl_4 , $\text{Fe}(\text{CO})_5$ einzeln oder als Chloride im Gemisch, eingesetzt sein, um im weiteren Verlauf entweder den ersten Präkursor 52 oder den zweiten Präkursor 54 bereitzustellen, oder als Trägergas 11 zur Veränderung von bzw. Bereitstellung in anderen Prozessen wie im Sublimator 8. So kann der mit der Vernebelungsanlage 13a bereitgestellte Nebel 52, 54 direkt dem Reaktionsraum 40 zugeführt werden. Beispielsweise unter Ausnutzung einer Heizeinrichtung 62 in der Speiseleitung 64 zur Verdampfung können die genannten niedrigsiedenden Ausgangsstoffe einzeln oder im Gemisch als Dampf in den Reaktionsraum eingeleitet werden.
- 40 Beispielsweise kann aus der Vernebelungsanlage 13a der Ausgangsstoff 11, insbesondere TiCl_4 -Dampf oder SiCl_4 -Dampf oder, SiCl_4 - TiCl_4 -Gemischdampf, als Flüssigkeit am Sublimator 8 bereitgestellt sein. Hierbei können die Chloride von Titan und Silizium auch wegen ihrer vergleichsweise niedrigen Siedepunkte (53°C SiCl_4 ; 136°C TiCl_4) als Flüssigkeitsgemisch oder Trägergasgemisch anstelle des Inertgases 11 in den Sublimator 8 geleitet werden. Im Sublimator 8 kommt es zur Verdampfung der Chloride, bereits unterhalb des Ferrichloridbettes 85, die dort im Sublimator 8 anstelle des Trägergases 11 wirken können.
- 45 Flüssiges Gemisch aus Titantetrachlorid, Siliciumtetrachlorid, Ferrichlorid und Aluminiumtrichlorid fällt als relativ preiswertes Zwischenprodukt bei der Carbochlorierung von Ilmenit- und Rutil-Erzen im Kroll-Prozess zur Herstellung von Titan an. Preiswert, weil die zur Herstellung des reinen Titans notwendigen komplexen Reinigungsprozesse, wie z.B. Destillation und Umsetzung mit Magnesium- oder Natriummetall in dieser frühen Herstellungsstufe noch nicht zum Einsatz kommen.
- Weitere optionale eisenhaltige Verbindungen können mit Eisenpentacarbonyl ($\text{Fe}(\text{CO})_5$) gebildet sein. Dabei handelt es sich
- 50 um eine leicht verdampfbare Verbindung (K_b 105°C), die die vorteilhafte Eigenschaft hat, sich in der Dampfphase bzw. in der atmosphärischen Aerosolwolke in nano-partikuläre Eisenoxide zu zersetzen. Diese oxidischen Eisenpartikel wären dann als Kondensationskeime und Aktivatoren für Chloride, Nitrate und Titanoxide wirksam und damit geeignetes Ingredienz für das hierin vorgestellte Verfahren zur Herstellung der vor- und nachgenannten Aerosole 20. Allerdings sind die Herstellungsbedingungen für $\text{Fe}(\text{CO})_5$ zum derzeitigen Zeitpunkt nicht trivial.

Neben der bereits in Fig. 1 gezeigten "Teildarstellung" der Fig. 10 – also unter Nutzung nur einzelner Komponenten für die Vorrichtung 11 – ist auch ein Betrieb wie mit Fig. 11 gezeigt möglich. Dort wird ein Dampferzeuger 1 sowie eine Vernebelungsanlage 13 eingesetzt. Auch diese Variante kann anstelle oder ergänzend zu der gezeigten Gasstrahlvakuumpumpe 15 einen Statikmischer 21 aufweisen (vgl. Fig. 9).

- 5 Fig. 12 zeigt eine Variante der Vorrichtung 100, bei welcher in der Vernebelungsanlage 13 sowohl der erste Präkursor 52 als auch zugleich der zweite Präkursor 54 bereitstellbar ist. Dort wird im Zulauf 14 beispielsweise sowohl flüssige Ferrinitratlösung als auch flüssige Ferrichloridlösung zugeführt und gemeinsam vernebelt.

- Fig. 13 zeigt eine relativ kompakte Ausführungsform der Erfindung zur Herstellung eines klimaaktiven Aerosols 20 mit einer Vernebelungsanlage 13 zur Bereitstellung eines Misch-Präkursors 52, 54, der bereits vor Einlass in den Reaktionsraum 40 vorgemischt wird. Die Vormischung des Misch-Präkursors 52, 54 kann dadurch realisiert werden, dass am Zulauf eine Mischung aus erstem Nitrat-
10 enthaltenden flüssigen Ausgangsstoff vorzugsweise als wässrige Lösung und zweitem Chlorid-enthaltenden flüssigen Ausgangsstoff, vorzugsweise ebenfalls als wässrige Lösung, bereitgestellt ist, welche gemeinsam in den Vorlagebehälter 32 eingelassen wird. Die Mischung 52, 54 wird sodann gemeinsam einer Pumpe zugeführt und mittels des Verdampfers 13 direkt in den Reaktionsraum 40 über
15 Präkursor 54 in den Reaktionsraum 40 eingeleitet.

- In einem weiteren Anlagenteil kann eine zusätzliche Schwefelverbrennung 26 in einem Schwefelverbrennungssofen 25 stattfinden zur Bereitstellung eines Schwefelgases, welches gemeinsam mit dem aus dem Trärgaserzeuger 16 bereitgestellten Gas, wie Luft, ein reaktives Trägergas 56 bildet. In den Schwefelverbrennungssofen 25 kann flüssiges Schwefel 27 zugeführt sein sowie Verbrennungsluft 28. Beispielsweise kann die Funktion des Schwefelverbrennungssofen 25 sowie des Trärgaserzeugers 16 komplett
20 durch einen Schiffsdieselantrieb realisiert sein.

- Bezug nehmend auf Fig. 14 ist stellvertretend für verschiedene Einbausituationen ein Schiff als Aerosolemittent dargestellt. Ein Schiffsmotor 16a wird als Trärgaserzeuger eingesetzt, welcher durch Brennstoff 16b wie schwefelhaltiges Schweröl betrieben wird. Abgas 57 wird als Trägergas einem im Schornstein 41 eingerichteten Reaktionsraum 40 zugeführt. In dem Geräteraum 102 der Vorrichtung 100 können Teile der Komponenten der Anlage 100 angeordnet sein, wie insbesondere mit Figuren 1 bis 13 vorgestellt. Je
25 nach Ausführungsform kann eine Luftzuführung 106 zur Aufnahme von Sauerstoff und/oder Stickstoff, insbesondere zur Vorbereitung des ersten Präkursors vorgesehen sein. Eine Wasserzuführung 107 kann vorgesehen sein zur Aufnahme von Chlor bzw. Chlorid beispielsweise aus Meersalz zur Vorbereitung des zweiten Präkursors 54. Ein Lager- oder Vorhalteraum 108 kann vorgesehen und über eine Zuleitung 109 mit dem Geräteraum 102 verbunden sein, beispielsweise zur Zuführung von Metallmaterial 110 in den Geräteraum 102, beispielsweise granuliertes Eisen oder Titan oder Aluminium, für die Erzeugung des ersten und/oder zweiten Präkursors 52, 54.
30 Mittels der Zuleitung 104 kann der erste Präkursor 52 und mittels der Zuleitung 105 der zweite Präkursor 54 zu dem Reaktionsraum 40 zugeführt werden.

- Bei der in Fig. 14 gezeigten Vorrichtung 100 handelt es sich im Übrigen um eine Abgasaufbereitungsanlage 101, da insbesondere in dem Reaktionsraum 40 eine Abgasaufbereitung stattfindet, indem dem Abgas Schadstoffe wie Schwefel und/oder NO_x für die Bildung des hier vorgestellten Aerosols 20 entzogen werden können bzw. das Schwefel und/oder NO_x als pH-Moderator und/oder
35 als Präkursor bei der Erzeugung des klimawirksamen Aerosols 20 teilnimmt. Dabei kann die Umbildung der Präkursoren 52, 54 zu dem beanspruchten Aerosol 20 je nach Ausgestaltung der Vorrichtung nach Verlassen des Reaktionsraums weiter in der emittierten Aerosolwolke 20 andauern.

- Mit Fig. 15 wird eine Vorrichtung und ein Verfahren beschrieben, um einerseits die Sublimationstemperatur von Eisen(III)-chlorid auf höchstens 150°C zu senken und andererseits die Vermischung des Eisen(III)-chlorid-Dampfstroms mit dem Gasstrahl zu verbessern, um den Anteil der Aerosolpartikel mit Durchmessern $<0,1$ zu steigern. Die Vorrichtungskomponenten sind dabei mit zuvor beschriebenen Komponenten der Vorrichtung 100 ggf. austauschbar, wie der Fachmann erkennt.

- Aus dem geschlossenen Vorratsbehälter 82 wird festes, wasserfreies Ferrichlorid-Kristallgut 83 oder Aluminiumchlorid-Gemisch-Kristallgut 83 in die Sublimationskammer 81 des Sublimators 8 befördert und auf einer Trägerplatte 84 – bevorzugt eine flache oder zylindrisch geformte gasdurchlässige Trägerplatte 84 – abgelegt. In der Sublimationskammer 81 wird aus dem mechanisch
45 bewegten Bett aus festen, wasserfreien Ferrichloridstücken 83 ein Gemisch aus Eisenchloriddampf 54 und Trägergas 11, hier bevorzugt inertes Trägergas 11, erzeugt und in die Gasstrahl-Vakuumpumpe 15 eingeleitet. Zusätzlich wird in die Gasstrahlvakuumpumpe 15 das in dem Plasmareaktor 5 hergestellte gasförmige NO_x 52 eingeleitet. Dieses Gemisch wird dann im weiteren Verlauf in einem Reaktionsraum 40 mit dem von einem Gasstrahl erzeugten Gas aus Trägergas 56 vermischt, wodurch eine NO_x -Eisen(III)-chlorid-Aerosol-Fahne 20 entsteht. Durch chemische Reaktion mit den atmosphärischen Oxidationsmitteln entsteht daraus die für den
50 Methanabbau besonders wirksame "aktivierte Aqua-Regia"-Aerosol Fahne.

- Eine verbesserte Mischung von Eisen(III)-chlorid-Dampf 54 mit NO_x -Dampf 52, sowie Luft oder Rauchgas 56 erzeugt eine Aerosolfahne 20, die kleinere Partikel enthält. Die Vermischung der Präkursoren 52, 54 mit dem Trägergas 56 kann dadurch verbessert werden, dass der Durchmesser des Eisen(III)-chlorid-Emissionsrohrs bzw. des Schornsteins oder Auspuffs 41 kurz hinter der Stelle, an der sich der Eisen(III)-chlorid-Dampf 54, der NO_x -Dampf 52 und der Gasstrahl 56 zunächst treffen, zu einer Engstelle 42 verringert wird.
55 Das Emissionsrohr 41 verengt sich zur Engstelle 42 hin allmählich auf etwa ein Drittel des Durchmessers des Emissionsausgangsrohrs

bzw. höchstens auf das 3- bis 20-fache des Durchmessers des Auslasses 38 des Trärgaserzeugers 16, nachdem der Gasstrahl die Gasstrahlerzeugung 16 in das Emissionsrohr 41 verlassen hat. Die Bewegung des Gasstrahls durch das Aerosol-Emissionsrohr 41 wirkt somit als Strahlvakuumpumpe 15. Die durch diese Anordnung erzielte gesteigerte Durchmischungsturbulenz führt auch zu einer Erhöhung des Anteils von Eisen(III)-chlorid-Aerosolpartikeln $<1\text{ }\mu\text{m}$ in der erzeugten Aerosolfahne 20.

- 5 Durch die Strahlgasbewegung durch das Emissionsrohr 41 wird auch der Druck in der Sublimationskammer 81 über den Eintritt des Eisen(III)-chlorid-Dampfes 38 in das Emissionsrohr 41 reduziert. Der verringerte Druck erhöht die Sublimationsrate im Eisen(III)-chlorid-Bett 8. Dies ermöglicht eine Senkung der Sublimationstemperatur im Sublimationsbett 8 um bis zu $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, je nach Ausgestaltung und konkrete geometrische Auslegung ggf. sogar eine noch weitere Senkung.

- 10 Anstelle der durch die Geschwindigkeit des Trärgases in der Sublimationskammer 81 induzierten Bewegung des Eisen(III)-chlorid-Bettes 85, die die Sublimation fördert, kann die Sublimationsrate der wasserfreien Eisen(III)-chlorid-Stücke 83 stattdessen durch eine mechanisch induzierte Bewegung des Eisen(III)-chlorid-Bettes 8 durch Rühren, Schütteln oder Vibration oder Kombinationen davon verbessert werden. Sie kann auch noch weiter verbessert werden durch Mahlen unter Verwendung harter Mahlpartikel wie Glas- oder Keramikugeln im Sublimationsbett 85 – welches daher auch als "bewegtes Sublimationsbett" bezeichnet werden kann.

- 15 Eine niedrigere Sublimationstemperatur und ein niedrigerer Sublimationsdruck verringern die Menge der Nebenprodukte und den erforderlichen Trärgasdurchsatz. Die durch die Gasstrahl-Vakuumpumpe 15 ermöglichte niedrigere Sublimationstemperatur verringert auch unerwünschte Nebenreaktionen, bei denen die thermische Spaltung von Eisen(III)-chlorid zu Eisen(II)-chlorid und Chlor oder die Bildung von oxischen Eisenverbindungen aus einem eventuellen Wasser- oder Sauerstoffgehalt zu unerwünschten Ausfällungen im Sublimationsbett 8 während des Sublimationsprozesses führen kann. Eine niedrigere Temperatur und die Verwendung der Strahlvakuumpumpe 15 als "Behälter" für die Vermischung des Eisen(III)-chlorid-Dampfes mit dem Gasstrahl 56 ermöglichen auch
- 20 eine geringere Menge an Trärgas für die Entnahme des Eisen(III)-chlorid-Dampfes aus dem Sublimationsbett 8.

In besonders vorteilhafter Weise können die folgenden vier Merkmale in Kombination eingesetzt sein, um sowohl eine reduzierte Sublimationstemperatur, einen reduzierten Trärgasdurchsatz als auch einen erhöhten Anteil an Submikron-Aerosolpartikeln/Tropfchengröße zu ermöglichen:

- 25 I) Reduzierter Druck in der Sublimationskammer 81. Druckniveaus unter 200 mbar können erreicht werden und werden bevorzugt.
- II) Während des Sublimationsprozesses in der Sublimationskammer 81 wird das Eisen(III)-chlorid-Bett 85 bewegt, z. B. durch Schütteln, Vibrieren, Mahlen oder Rühren oder eine Kombination davon.
- III) Zerkleinern der wasserfreien Eisen(III)-chlorid-Partikel innerhalb des Bettes 85 während des Sublimationsprozesses in der
- 30 Kammer 81. Die genannten Bewegungsmethoden wie Schütteln, Vibrieren oder Rühren des sublimierenden Eisen(III)-chlorid-Bettes 85 reichen aus, um diese Zerkleinerung zu bewirken.

IV) Bildung von Eisen(III)-chlorid als Aerosolfahne (1) durch Vermischung von Eisen(III)-chloriddampf 54 mit einem Luftstrahl 56 und/oder dem Rauchgasstrahl einer Turbinenstrahlmaschine 16 im Emissionsrohr 41, das als Gasstrahlvakuumpumpe 15 wirkt.

- Diese vier Innovationen können zur Erzeugung von Eisen(III)-chlorid-Fahnen wie folgt weiter verbessert sein. Ein vorzugsweise vorgewärmtes Trärgas 11 bzw. inertes Trärgas 11 wird in die Sublimationskammer 81 unterhalb der
- 35 gasdurchlässigen Trägerplatte 84 eingespeist, die das bewegte Sublimationsbett 85 trägt. Die Platte befindet sich innerhalb der Sublimationskammer 81, die mittels einer Heizeinrichtung 9 separat beheizt wird. Als Trärgase 11 werden solche gewählt, die bei der gewählten Sublimationstemperatur im Wesentlichen inert sind. Die bevorzugten Trärgase 11 für diesen Zweck sind inerte Gase, die bei Temperaturen zwischen 150 und 220°C nicht mit gasförmigem Eisenchlorid chemisch reagieren. Dies sind z. B. CO_2 , N_2 und bei niedrigsten Sublimationstemperaturen auch trockene Luft. Beim Durchströmen des sublimierenden Eisen(III)-chlorid-Bettes 85 vermischt
- 40 sich das Trärgas auf natürliche Weise mit dem sublimierten Eisen(III)-chlorid-Dampf und befördert ihn bis zur Einstromstelle der Strahlvakuumpumpe 15.

Die Bildung von Submikron-Kondensationskernen und die erhöhte Mischerturbulenz der Strahlpumpe 15 können Submikron-Eisen(III)-chlorid-Aerosolpartikel erzeugen. Das Gemisch aus heißem Trärgas 11 und Eisen(III)-chlorid-Dampf 54 wird aus dem Eisen(III)-chlorid-Bett 85 in der Sublimationskammer 81 durch den vom Gasstrahl 56 induzierten Unterdruck innerhalb des

45 Emissionskamins 41 herausgesaugt und bei 36 in den Emissionskamin 41 gesaugt. Während der intensiven turbulenten Vermischung des Eisen(III)-chlorid-Dampfes mit dem feuchten Gasstrahl innerhalb des Emissionskamins 41 entstehen durch eine Hydrolysereaktion reichlich Tropfchen und/oder feste Partikel (im Folgenden einfach "Partikel" genannt) aus hydrolysiertem Eisen(III)-chlorid mit Partikeldurchmessern von hauptsächlich $<0,1\text{ }\mu\text{m}$. Diese Partikel dienen dann als Kondensationskeime für die weitere chemische und/oder physikalische Kondensation des verbleibenden Eisen(III)-chlorid-Dampfes.

- 50 Während die Ausfällung von Eisen(III)-oxid oder Eisen(III)-hydroxid oder sogar Eisen(II)-chlorid in Nebenreaktionen und/oder die Kondensation von festem Eisen(III)-chlorid für die Oberflächenverzunderung und -beschichtung problematisch ist, sind diese Phänomene während und nach der Vermischung von Eisen(III)-chloriddampf mit dem Strahlgas wichtig. Denn diese Stoffe reagieren alle schnell chemisch mit dem Wasserdampf im Strahlgas und erzeugen die oben erwähnten Nanopartikel. Diese Nanopartikel dienen als Kondensationskeime für die physikalische Kondensation des restlichen Eisen(III)-chlorid-Dampfes. Damit bei diesem abschließenden

Kondensationsprozess ein möglichst großer Anteil kleinster nanopartikulärer Aerosolpartikel in der Abgasfahne 20 entsteht, ist eine schnelle und turbulente Vermischung des Eisenchloriddampfes mit dem Strahlgas im Kamin 41 entscheidend.

- Der Effekt der allmählichen Durchmesser verringering des Emissionskamins 41 hin zur Engstelle 42, der dadurch den Betriebsmodus einer Vakuumpumpe 15 annimmt, stellt ein Gasstrahl-Vakuum-Mischprinzip bereit. Bei Verwendung eines Gasstrahls mit weniger als 50 % Feuchtigkeit sorgt es dafür, dass die meisten der erzeugten Eisen(III)-chlorid-Aerosolpartikel in der emittierten Eisen(III)-chlorid-Aerosol-Fahne 20 Durchmesser von $<0,1\mu\text{m}$ aufweisen können. Die Zerkleinerung des Ausgangsmaterials ermöglicht dabei einen höheren Anteil des zu Dampf sublimierten festen Eisenchlorids.

- Im Rahmen der vorliegenden Erfindungslegung konnte festgestellt werden, dass selbst bei Sublimationstemperaturen von $<200^\circ\text{C}$ eine gewisse Beschichtung der Oberfläche des Einsatzmaterials mit Eisen(III)-chlorid und/oder Eisen(III)-Oxiden auftreten kann. Dieser unerwünschte Effekt verringert auch den Anteil des wasserfreien Eisenchlorid-Einsatzmaterials, das zu reinem Eisenchloriddampf 54 sublimiert. Dieses Problem kann durch die oben beschriebene Maßnahme III) verbessert werden, nämlich die Zugabe von Mahlkörpern 86 in das bewegte Eisen(III)-chlorid-Bett 85. Bevorzugte Mahlkörper 86 sind Glasperlen. Es können auch Keramikugeln verwendet werden. Bevorzugte Perlen Durchmesser liegen zwischen 1 und 10 mm. In Fig. 14 sind Mahlkörper 86 als Kreise im Sublimationsbett 85 dargestellt.

- Gemäß früherer Ideen wird ein Gasstrahl nur zur Erzeugung der Eisen(III)-chlorid-Aerosol-Fahne 20 verwendet. Wie im Rahmen der vorliegenden Erfindung erkannt wurde, kann ein Druckabfall, der durch die Bewegung des Gasstrahls durch den sich verjüngenden Durchmesser des Schornsteins 41 hin zur Engstelle 42 entsteht, und somit mittels Einführung einer Gasstrahl-Vakuumpumpe 15, die Ausbeute verbessert werden. Außerdem führt die durch die Engstelle 42 bzw. der Vakuumpumpe 15 hervorgerufene bessere Durchmischung zu kleineren Aerosolpartikeln. Der Druckabfall in der Sublimationskammer 81 ermöglicht die Erzeugung von Eisen(III)-chlorid-Dampf mit weniger der oben erwähnten festen Nebenprodukte, und die verbesserte Mischung von Eisen(III)-chlorid-Dampf mit dem Strahlgas 56 im Emissionskamin 41 führt zu einer Eisen(III)-chlorid-Fahne 20 mit einem erhöhten Anteil an Eisen(III)-chlorid-haltigen Aerosolpartikeln von $<0,1\mu\text{m}$.

- Potenziell geeignete Gasstrahlerzeugungsanlagen 16 können solche sein, die für die Belüftung, die Luftkompression und für Propeller- und Strahltriebwerke verwendet werden. Auch verwendet werden können Dampfkessel zur Erzeugung von komprimiertem Heißwasserdampf. Bevorzugte Gasstrahlerzeuger 16 für Produktionskapazitäten bis zu einem Gehalt von 0,5 bis 1 t Eisenchlorid pro Stunde in der erzeugten Aerosolfahne 20 sind Ventilatoren und Luftkompressoren. Zur Erzeugung größerer Treibgasmengen für den Antrieb größerer Emissionsfahnen 20 mit >1 Tonne Eisenchlorid pro Stunde wird der Gasstrahl 56 beispielsweise durch ein Turbinenstrahltriebwerk erzeugt, das vorzugsweise vertikal angeordnet ist (wie in Fig. 14 schematisch dargestellt), wobei der Abgasstrahl 56 in den Emissionskamin 41 bläst und damit ebenfalls zur Erzeugung eines Druckabfalls nach dem Prinzip der Strahlvakuumpumpe 15 beiträgt. Große Kapazitäten für die Herstellung von Eisen(III)-chlorid-Aerosolen 20 können durch die Verwendung von mehr als einer Strahl-Vakuumpumpe 15 erreicht werden.

- Um eine unerwünschte Beschichtung durch Ausfällung (Kondensation) von Eisen(III)-chlorid-Feststoffen auf kalten Oberflächen innerhalb des Systems zu verhindern, können diese Oberflächen 87 beheizt und/oder mit wärmeisolierendem Material abgedeckt sein, damit sie durch die durch das System strömenden Gase 54 aufgeheizt werden können. Oberflächen, die heißer sind als die Temperatur der Sublimationskammer, werden gekühlt und/oder thermisch isoliert, um zu verhindern, dass sie von chemischen Umwandlungsprodukten des Eisen(III)-chloriddampfes, wie z. B. festem Eisen(II)-chlorid und/oder Eisen(III)-oxiden, bedeckt werden. Letzteres ist beispielsweise möglich, wenn der Gasstrahl von einem Turbinenstrahltriebwerk erzeugt wird. Beide Arten von Oberflächen sind in Abbildung 1 durch die beiden parallelen Linien dargestellt, die die Oberflächen 87 darstellen.

- Es ist also mit anderen Worten vorteilhaft, den Sublimationsprozess unter Strahlpumpenvakuum einer Gasstrahlvakuumpumpe 15 zu führen, und damit die Sublimationstemperaturen in den Bereich von 100 bis 230°C , vorzugsweise 150 bis 210°C zu legen. Das hat überdies den wirtschaftlichen Vorteil, dass der Verbrauch von Inertgas 11 als Sublimationshilfsmittel durch die Anwendung des Strahlpumpenvakuums vermindert werden kann. Für die Herstellung der geeigneten mit Eisen "aktivierter Aqua-Regia"-Aerosolwolken 20 in der Atmosphäre in einer Anlage 100 können beispielhaft bis zu mehr als eine Tonne pro Stunde Ferrichloridaerosoldampf hergestellt und emittiert werden. In dieser Beschreibung sind bereits verschiedene Ausführungsformen von hierfür geeigneten Gasstrahlvakuumpumpen 15 beschrieben worden.

- Nach dem Verlassen des Emissionsschornsteins 41 verbleibt die "aktivierte Aqua-Regia"-Aerosolfahne je nach den vorherrschenden Wind- und Niederschlagsmustern in der gewählten Region für Tage bis Wochen in der Troposphäre, z.B. über dem Ozean. Bei Sonnenschein führen die Partikel der Eisenchlorid-Aerosolfahne 20 photochemische Reaktionen durch, die die Treibhausgase Methan und Ozon in der Troposphäre verringern können. Die Partikel sorgen auch für eine direkte Abkühlung durch die Erhöhung der Albedo sowohl durch die Bildung neuer Wolken als auch durch die Aufhellung bestehender Wolken, vgl. Oesté et al., (2017).

- Nachdem die Eisenchlorid-Aerosolpartikel entweder aus der Atmosphäre abregnen oder sich anderweitig auf der Meeresoberfläche absetzen, werden sie zu kolloidalem Eisenhydroxid hydrolysiert. Da Eisen ein notwendiger, aber stark dezimierter Mikronährstoff im abysalen Ozean ist, wird dieses eisenhaltige Kolloid fast vollständig und schnell vom Phytoplankton der photischen Zone (PZ) gebunden und verbraucht, das sehr gut an das Überleben in diesen eisenarmen Meeren angepasst ist.

Daher steigt die Phytoplanktonproduktion in der PZ unmittelbar nach der Nahrungsaufnahme durch ISA-Pumpen an. Dies schafft an der Meeresoberfläche Bedingungen für eine erhöhte CO₂-Absorptionsrate aus der Atmosphäre pro Flächeneinheit des Ozeans.

- Insgesamt erreicht das Aerosol in seinen verschiedenen Ausgestaltungen nicht nur einen Methanabbau, denn dieses
- 5 Stoffgemisch aerosol ist von größtem Nutzen für die Umwelt dort, wo das Phytoplankton in der photischen Zone der Meeresoberflächen im Abyssal unter Eisen- und Stickstoffmangel leidet. Unmittelbar nach Eintrag des beanspruchten Aerosols durch den Niederschlag in den Ozean blüht das Phytoplankton auf, entzieht der Atmosphäre CO₂ und sorgt durch seine gesteigerte DMS-Produktion ("Meeresgeruch"; DMS = Dimethylsulfid) für Wolkenbildung durch Kondensationskeim-Bildung aus Sulfat- und Sulfonsäure-Aerosol als Oxidationsprodukt von DMS. Somit bewirkt der beanspruchte Stoff nicht nur einen klimawirksamen Treibhausgasabbau (CH₄, VOC, Ruß- und Rauchpartikel, CO₂ und troposphärisches O₃) sondern durch Wolkenbildung sowie Hellfärbung der Meeresoberfläche durch
- 10 Phytoplanktonvermehrung auch eine Kühlung der Troposphäre durch Albedozunahme von Ozeanoberfläche und unterer Troposphäre über dem Ozean.

- Ein bevorzugtes Anwendungsfeld des erfindungsgemäßen Verfahrens ist neben dem anvisierten Methanabbau in der Atmosphäre auch die Erhöhung der Reflektion der Erdoberfläche, insbesondere der glazialen Eisflächen von Grönland und Patagonien, gegebenenfalls auch Antarktika und zwar beispielsweise überall dort, wo im Sommerhalbjahr die Temperaturen auf den Eisflächen über den Gefrierpunkt ansteigen, um mittels des Aerosols den Tauprozess zu stoppen oder zumindest zurückzuführen. Diese Eisflächen neigen besonders in der Auftauphase zur Dunkelfärbung durch Algen und Moosbildung. Geeignet für die Albedozunahme durch das beanspruchte Aerosol sind auch die permanenten Meereisflächen in der Arktis. Dem kann mit der erfindungsgemäßen Verfahrensvariante durch zusätzliche Anwendung von Windturbinen abgeholfen werden, die sowohl als Energielieferanten zur Verdampfung oder
- 20 Sublimation oder auch zur Energiebereitstellung für den Betrieb von Plasmareaktoren und/oder Elektrolyseuren zur Luftumwandlung in Präkursoren eingesetzt sein können. Dabei liefert die jeweilige für diesen Zweck eingesetzte Windturbine auch die Energie zur Vernebelung von flüssigen oder dampfförmigen Chloriden zu Aerosolen, beispielsweise um mit den beanspruchten besonders weißfärbenden titanhaltige Hydrolysate enthaltenden „Aqua Regia“-Aerosolen die Anhebung der Albedo durch Weißfärbung des Gletschereises oder die Bildung von weißem Bodennebel und ggf. weißen Wolken auszulösen und dabei gleichzeitig den Abbau des Methans auszulösen.

- 25 Dabei ist der auf ausgedehnten Eisflächen herrschende Niederschlagsarmut in der hellen Jahreshälfte und der vorherrschende katabatische Wind, der vom Zentrum der Eisfläche jeweils zu ihren Rändern hin weht, besonders hilfreich. Dieser kann die beanspruchten Aerosole aufnehmen und sie wie z. B. in Grönland bis zur Landesküste mitnehmen und ggf. absetzen. Dort wo der katabatische Wind auf den wärmeren Ozean trifft erwärmt er sich, nimmt verdunstendes Wasser auf und steigt unter Wolkenbildung auf. Diese Wolken zeichnen sich durch ihren Gehalt an Titanhydrolysat-Kondensationskernen durch besonders intensive Weißfärbung aus.

- 30 Um Eisflächen wirkungsvoll weiß zu färben, ist es sinnvoll, das Aerosol mit einem höheren Gehalt an rasch absinkenden Aerosolpartikeln auszustatten. Bezug nehmend auf die Figuren 16 und 17 gelingt das beispielsweise durch Vernebelung flüssiger Präkursoren 52, 54, beispielsweise Titantrichlorid oder Meerwasser oder Nitrat- und chloridhaltige wässrige Lösungen. Um einen komplizierten Filterprozess zur Abscheidung feinsten Partikel zu umgehen ist es vorteilhaft, für diesen Effekt Düsen 166, 176 mit relativ grobem lichten Düsen-Innendurchmesser einzusetzen, beispielsweise mit Düsen-Innendurchmesser von 0,1 mm, beispielsweise ± 30 μm , einzusetzen. Dazu kann die Vernebelung nach dem Tröpfchenaufprall-Prinzip auf Prallplatten 175 geschehen, nachdem mit
- 35 ausreichender Tropfenaufprallgeschwindigkeit auf feste Oberflächen als Prallorgane Tröpfchengrößen von kleiner 5 μm Durchmesser erreichbar sind. Um den aus den Vernebelungs-Düsen austretenden Flüssigkeitsstrahl in einen Tröpfchen-Strahl aufzuteilen, werden vorzugsweise zwei Möglichkeiten eingesetzt.

- a) Die Kammer 179, aus der die zu vernebelnde Flüssigkeit in die Düsen eintritt, wird mittels einer in
- 40 Ultraschallfrequenz schwingenden Membran beschallt. Die dadurch ausgelösten Druckschwankungen in der Flüssigkeits-erfüllten Kammer lösen den austretenden zu vernebelnden Flüssigkeitsstrahl in kleine Tröpfchen auf.

- b) Die aus den Düsen 166, 176 austretenden zu vernebelnden Flüssigkeitsstrahlen werden durch ein mit ausreichend hoher Geschwindigkeit durch ein zwischen Düsen 166, 176 und Aufprallfläche 175 vorbeigeführtes Lochblech 174 in Tröpfchen zerteilt. Ein solcher Aerosolerzeuger mit Aufprallflächen 175 und Lochblech 174 ist schematisch und beispielhaft in Fig. 17 dargestellt.

- 45 Bezug nehmend auf Fig. 16 ist eine Ausführungsform eines Drehverteilers 160 gezeigt, welcher einen statischen Zuleitungsteil 161, einen über ein Kupplungselement 162 damit verbundenen rotierenden Teil 164 und einen auf dem rotierenden Teil 164 aufgesetzten Sternverteiler 165 aufweist. Der um die Rotationsachse 168 rotierende Teil 164 ist im Bereich des Kupplungselements 162 mittels eines Dichtungselements 163 gegenüber dem Kupplungselement 162 und/oder dem statischen Teil 161 abgedichtet ausgeführt. Das Dichtungselement 163 ist beispielsweise als Flüssigparafindichtung ausführbar. Der Sternverteiler 165 weist bevorzugt 3
- 50 bis 7 Sternarme 167 mit jeweils einem Auslass 166 auf und kann beispielsweise von einem Elektromotor oder einer Windturbine angetrieben sein. Beispielsweise kann der Drehverteiler 160 auch als integraler Bestandteil einer modifizierten Windkraftanlage ausgeführt sein, insbesondere mit vertikaler Rotationsachse (VAWT, vertical axis wind turbine), wie eines Darrieus-Rotors, eines Savonius-Rotors oder Flettner-Rotors, wobei der Sternverteiler 165 entsprechend aerodynamisch ausgeformt ist und Rotorblätter ausbildet oder als Ergänzungsteil zur Windkraftanlage mitrotiert. Dies kann so ausgestaltet werden, dass zur Aerosol-Herstellung mit
- 55 einem solchen als Windkraftanlage ausgeführten Drehverteiler 160 kein Strom bzw. Energie mehr von außen zugeführt werden muss,

- sondern dann, wenn Wind einsetzt, eine windgetriebene Rotation einsetzt, welche Strom erzeugt und hierdurch das Aerosol 20 produziert, bereitgestellt und verteilt werden kann. Dass dies in diesem Beispiel nur dann erfolgt, wenn Wind anliegt, ist unter Umständen gar kein Nachteil, sondern vorteilhaft, da dann eine windgetragene Verteilung des Aerosols 20 stattfindet. Durch die Rotation des rotierenden Drehverteilers 160 wird das in den Sternarmen 167 befindliche Fluid aus den Auslässen 166 ausgetrieben. Im Anschluss stellt sich eine
- 5 Druckabsenkung im oberen Teil des Drehverteilers 160 in Art einer Zentrifugalpumpe ein, wodurch weiteres Fluid aus dem Zuleitungsrohr 161, 164 in den Sternverteiler 165 nachgefördert werden kann, wodurch sich die Verteilung des Aerosols 20 mittels des Drehverteilers 160 je nach Auslegung sogar ohne Zuführung von bereitzustellender Energie (Strom) im Betrieb selbst aufrecht erhält.
- Bezug nehmend auf Fig. 17 ist der senkrechte Teil 177 im Unterschied zur Ausführungsform der Fig. 16 durchgängig ausgebildet und beispielsweise in einem Fuß (nicht dargestellt) drehbar gelagert ausgeführt. Das auszuschleudernde Fluid wird nach
- 10 dem Auslass 176 auf einen Zerstäuber 174 geschickt und anschließend mittels eines Pallelements 175 sehr fein zerstäubt, wie im Weiteren noch weiter detailliert beschrieben werden wird. Im Übrigen ist mit Fig. 17 eine modifizierte Windkraftanlage 185 dargestellt, in diesem Fall ausgeführt als Darrieus-Rotor mit Rotorblättern 181, welche mit dem Drehverteiler 170 kombiniert ausgeführt ist. Der Drehverteiler 170 dreht sich, angetrieben von der modifizierten Windkraftanlage 185, mit dem Umlauf derselben mit. Die simple Bauart einer vertikalen Windkraftanlage 185 ermöglicht es, deren eingesetzte Bauteile besser vor dem anfangs noch während der
- 15 Mischungszeit ggf. hochkorrosiven Aerosol 20 bzw. deren ausgeschleuderte Präkursoren 52, 54 zu schützen bzw. diese unempfindlich ggü. Korrosion auszugestalten.
- Im Beispiel der Figuren 16 und 17 wird als Flüssigkeitskammer 169, 179 der Raum zwischen den als kreisförmige Scheiben ausgebildeten Auslässe 166, 176 verwendet, wobei die Öffnung 166, 176 an der kreisförmigen Peripherie zwischen den beiden Scheiben durch ein zylindrisches Rohrsegment verschlossen ist; ausgenommen die, vorzugsweise zwei oder mehr, Düsenöffnungen
- 20 166, 176. Die derart gestaltete zylindrische Kammer 169, 179 wird über ein axial angefügtes Rohr mit dem zu vernebelnden Fluid, insbesondere in Form einer Flüssigkeit, versorgt. Der notwendige Druck in der Kammerperipherie, um das zu vernebelnde Fluid durch die Düsen 166, 176 zu pressen, wird durch Zentrifugalkraft erzielt, indem die Kammer 169, 179 in Rotation versetzt wird, beispielsweise mittels elektromotorischen Antriebs. Mittels der Zentrifugalkraftwirkung wird auch das aus den Düsen 166, 176 ausgeschleuderte Fluid durch das angesetzte ebenfalls rotierende Rohr aus dem Vorratsbehälter 159 bzw. den im gezeigten Fall senkrechten Zuleitungsteilen
- 25 161, 164, 171 angesaugt und ersetzt.
- Um die notwendige Relativgeschwindigkeit zwischen dem aus den Düsen ausgeschleuderten Fluid und der in Fig. 17 gezeigten Aufpralloberfläche 174 zu erzielen, wird ebenfalls das Rotationsprinzip eingesetzt, indem die Aufprallflächen 174 durch einen motorisch angetriebenen Rotor mit identischer Rotorachsenlage wie die rotierende Düsenkammer, jedoch entgegengesetzter Drehrichtung betrieben werden. Dabei sind die Aufprallflächen derart angeordnet, dass ein möglichst hoher oder sogar der gesamte
- 30 Anteil der zu Tröpfchenstrahlen zerteilten Flüssigkeitsstrahlen auf den Flächen der Aufprallorgane 174 eintreffen und dort zu feinsten Tröpfchen vernebelt werden. Entsprechend ist dazu auch das Lochblech 173 zur Flüssigkeitsstrahl-Zerteilung in Tröpfchen zwischen Aufprallflächen 174 und dem Düsenstrahl-Austritt 176 am Rotor fixiert.
- In den meisten Anwendungsfällen zum Einsatz von „Aqua Regia“ Aerosol liegt ein Augenmerk darin, ein möglichst feinteiliges Aerosol 20 zu erzeugen, um die heterogenen Reaktionen zur Chloratombildung und den Stoffaustausch zwischen Gasphasen und
- 35 kondensierten Phasen zu optimieren. Dazu sind möglichst feinteilige Partikel von Vorteil, weil sie die größte Stoffaustauschoberfläche bieten. Diese Partikel werden vorzugsweise durch chemische und physikalische Kondensationsprozesse erzeugt. Insbesondere durch Hydrolyse- und Oxidationsprozesse. Deshalb ist es dazu bevorzugt, als Präkursoren 52, 54 der „Aqua Regia“-Aerosole 20 Gase und Dämpfe anzuwenden, vorzugsweise HCl, SiCl₄, TiCl₄, FeCl₃, AlCl₃, HNO₃, NO₂, N₂O₅.
- Dazu lassen sich bevorzugt Aerosolerzeuger 160 gemäß der Darstellung in Figur 16 einsetzen. Sie bestechen durch einfache
- 40 und robuste Bauart. Sie lassen sich ebenfalls zur Herstellung rascher sedimentierender „Aqua Regia“-Aerosole 20 einsetzen. Als Förder- und Emissions-Vorrichtung der gas- und dampfförmigen Präkursoren 52, 54 wird ebenfalls das Zentrifugalprinzip sowie auch der Venturieffekt durch Herstellung eines Unterdrucks genutzt. Beide Prinzipien werden erfüllt durch zwei oder vorzugsweise mehrere sternförmig angeordnete Rohre 167, die mit einem axial am Rohrstern angeordneten Zentralrohr 161, 164 hydraulisch kommunizieren, durch das die abgeschleuderten bzw. abgesaugten Gase und/oder Dämpfe ersetzt werden. Indem beide Präkursortypen 52, 54 gas- und/oder dampfförmige NO_x und Chlorid enthaltende Komponenten gleichzeitig aus den jeweiligen Vorratsbehältern 159 oder
- 45 Produktionseinrichtungen in dem Zentralrohr 161, 164 dem rotierenden Rohrstern 165 zugeführt und emittiert werden, wird die Bildung des „Aqua Regia“-Aerosols 20 komplett in die emittierte Präkursorwolke verlegt.
- Die Größe der in der „Aqua Regia“-Aerosolwolke 20 aus den emittierten Gas- und/oder dampfförmigen gebildeten Aerosolteilchen ist auch abhängig von der ursprünglichen Konzentration der Präkursorgase und -Dämpfe: Aus hohen Konzentrationen
- 50 bilden sich größere Aerosolteilchen durch verstärkte Koagulation der primär gebildeten Teilchen, kleine Konzentrationen bilden kleinere Aerosolteilchen durch geringe Koagulationsprozesse. Die Präkursorgaskonzentration lässt sich in diesem Fall einfach durch die Umfangsgeschwindigkeit bzw. die Umdrehungszahl pro Zeiteinheit des rotierenden Rohrsterns 165 beeinflussen: Je höher die Umfangsgeschwindigkeit, umso höher ist die ausgeschleuderte Gasmasse und damit auch die Aerosolteilchengröße. Entsprechend lässt sich somit auch hier die Aerosolteilchengröße beeinflussen.

- In noch einer weiteren Ausgestaltung kann zur Gas- und Dampfförderung anstelle des rotierenden Rohrsterns 165, 175 die gleiche Funktion ein rotierender flacher Raum zwischen zwei kreisförmigen Scheiben erfüllen, dessen Öffnung an der kreisförmigen Peripherie zwischen den beiden Scheiben durch ein zylindrisches Rohrsegment verschlossen ist, das vorzugsweise zwei oder mehr Öffnungen zur Emission des Fluidgemischs enthält. Die derart gestaltete zylindrische Kammer wird in gleicher Weise über ein axial angefügtes Rohr mit der zu vernebelnde Flüssigkeit versorgt.

- Zur Herstellung eines „Aqua-Regia“ Aerosols 20 aus Präkursor-Aerosolen 52, 54, die ausschließlich aus Chlorid-haltigem Edukt erzeugt werden, gelingt auch dadurch, dass der beschriebenen Flüssig-Chlorid-Rotations-Vernebelungsvorrichtung 160, 170 von beispielsweise Titan-tetrachlorid die beschriebenen Gas- und/oder Dampf-Rotations-Emissionsvorrichtung von Nitrat- oder Salpetersäure-bildenden Gasen derart beigestellt wird, dass beide Emissionsquellen eine gut gemischte Emissionswolke bilden in der sich das „Aqua-Regia“ Aerosol 20 selbständig bildet. Vorzugsweise geschieht das in der Weise, dass die Rotationsachsen der beiden rotierenden Emissionseinrichtungen für Aerosol aus der Flüssigphase und aus der Gasphase weitgehend derart zur Übereinstimmung gebracht werden, dass die rotierenden scheibenförmigen Kammern in einem geringen Abstand, beispielsweise von wenigen Zentimetern, parallel zueinander angeordnet sind.

- Windturbinen lassen sich auf Plattformen auch auf weitgehend ebenen Gletschereisregionen aufstellen und eignen sich besonders dort wegen des gleichförmigen zur Küste hinströmenden katabatischen Windes und hinsichtlich ihrer turmartigen Bauweise als Träger der beschriebenen Einrichtungen zur Herstellung von „Aqua Regia“-Aerosolwolken 20. Zusätzlich kann der damit erzeugte elektrische Strom für die verschiedenen Belange der „Aqua Regia“-Aerosol Herstellung genutzt werden.

- Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beispielhaft zu verstehen sind und die Erfindung nicht auf diese beschränkt ist, sondern in vielfältiger Weise variiert werden kann, ohne den Schutzbereich der Ansprüche zu verlassen. Ferner ist ersichtlich, dass die Merkmale unabhängig davon, ob sie in der Beschreibung, den Ansprüchen, den Figuren oder anderweitig offenbart sind, auch einzeln wesentliche Bestandteile der Erfindung definieren, selbst wenn sie zusammen mit anderen Merkmalen gemeinsam beschrieben sind. In allen Figuren stellen gleiche Bezugszeichen gleiche Gegenstände dar, so dass Beschreibungen von Gegenständen, die gegebenenfalls nur in einer oder jedenfalls nicht hinsichtlich aller Figuren erwähnt sind, auch auf diese Figuren übertragen werden können, hinsichtlich welchem der Gegenstand in der Beschreibung nicht explizit beschrieben ist.

Bezugszeichenliste:

	1	Dampferzeuger (z.B. Salpetersäuredampferzeuger oder Salzsäuredampferzeuger ggf. mit Luftzuleitungsfritte)
	2	Heizeinrichtung für den Dampferzeuger
5	3	Zulauf
	4	Luftzuführung
	5	(Plasma)Reaktor
	6	Zuleitung
	7	Luftzuleitung
10	8	Sublimator
	9	Heizeinrichtung des Sublimators
	10	Zuführung, insbesondere als Feststoff-Zuführung von wasserfreiem Ferrichlorid und/oder wasserfreiem Ferrichlorid-Aluminiumchlorid-Gemisch
	11	Trärgas
15	12	Vorlagebehälter
	12a	zweiter Vorlagebehälter
	13	Vernebelungsanlage
	13a	zweite Vernebelungsanlage
	14	Zulauf
20	14a	zweiter Zulauf
	15	Gasstrahl-Vakuumpumpe
	16	Trärgaserzeuger
	16a	Schiffsdieselantrieb
	16b	Kraftstofftank (insbesondere für schwefelhaltiges Schweröl)
25	17	Energiezuführung zum Trärgaserzeuger
	18	Luftzuführung
	19	Auslass
	20	Aerosol, Chlorid-Gemisch-Aerosol
	21	Statkmischer
30	22	Zuführung von Metallpellets (Feststoff-Zuführung)
	23	Metallchlorierung
	24	Chlorgaszuführung
	25	Schwefelverbrennungsofen
	26	Schwefelaerosolbrenner
35	27	Zulauf für flüssigen Schwefel zur Verbrennung
	28	Verbrennungsluftzuführung
	29	Druckgaserzeuger für die Gasstrahl-Vakuumpumpe
	30	Luftzuführung in den Druckgaserzeuger
	31	Gasstrahlvakuumpumpe
40	32	Vorlagebehälter
	33	Zulauf
	36	Auslass der ersten Einrichtung
	37	Auslass der zweiten Einrichtung
	38	Auslass des Trärgaserzeugers
45	40	Reaktionsraum
	41	Schornstein oder Auspuff
	42	Engstelle des Schornsteins oder Auspuffs
	52	Erster Präkursor
	54	Zweiter Präkursor
50	56	Trärgas
	62	Heizeinrichtung
	64	Speiseleitung
	66	Ventil
	81	Sublimationskammer
55	82	Vorratsbehälter

	83	Ferrichlorid- oder Ferrichlorid-Aluminiumchlorid-Kristallgut
	84	Trägerplatte
	85	Sublimator-Bett
	86	Mahlkörper
5	87	Oberfläche (beheizt bzw. isoliert)
	100	Vorrichtung
	101	Abgasaufbereitungsanlage
	102	Geräteraum
	104	Zuleitung
10	105	Zuleitung
	106	Luftzufuhr
	107	Wassereinlauf
	108	Vorhalteraum
	109	Zuleitung
15	110	Metallmaterial
	159	Reservoir
	160	Drehverteiler
	161	statisches Zuleitungsrohr
	162	Kupplungselement
20	163	Dichtungselement
	164	rotierendes Zuleitungsrohr
	165	Sternverteiler
	166	Auslass
	167	Sternarm
25	168	Rotationsachse
	169	Reservoir
	170	Drehverteiler
	171	rotierendes Zuleitungsrohr
	172	Nebelerzeuger, rotiert z.B. entgegengesetzt
30	173	Zerstäuber bzw. Lochblech
	174	Prallelement
	175	Sternverteiler
	176	Auslass
	177	Sternarm
35	178	Rotationsachse
	179	Reservoir
	181	Rotorblatt
	185	modifizierte Windkraftanlage

Patentansprüche:

1. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20), umfassend:
eine Anionen enthaltende Massenzusammensetzung aufweisend ein Massenverhältnis von Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu Chloriden von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden, und
einem pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1.
2. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche, die Massenzusammensetzung ferner umfassend Metallelemente in einem Massenverhältnis von 1 Anteil Metallelemente zu 1000 Anteilen der Anionen bis 1 Anteil Metallelemente zu 3 Anteilen Anionen,
wobei die Metallelemente insbesondere in Form von Metallverbindungen vorliegen, und/oder
wobei die Metallelemente insbesondere Ferriionen bzw. -kationen, Ferroionen bzw. -kationen, Ferrioxide, Ferrihydroxide, Eisen(III)oxidhydrat, Mangankationen, Mangan(IV)oxide, Manganationen, Permanganationen, Titanverbindungen wie Titandioxid, Titantrichlorid und/oder ein Hydrolyseprodukt von Titantrichlorid umfassen.
3. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Massenzusammensetzung die Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen als Metall-Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen umfasst, diese aufweisend zumindest einen Stoff aus der Gruppe Metallnitrat, Metallnitrit, Eisennitrat, Eisennitrit, Titandioxid, Hydrolyseprodukte von Titantrichlorid, Siliciumtetrachlorid, Aluminiumchlorid, Eisen(III)chlorid, Salpetersäure, Oxidationsprodukte und/oder Hydrolyseprodukte von NO, NO₂, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅, NOCl, NO₂Cl, NO₃Cl.
4. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20) nach dem vorstehenden Anspruch,
wobei das Massenverhältnis zwischen Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu den Chloriden zwischen 0,5 Anteilen zu 100 Anteilen und 10 Anteilen zu 1 Anteil in der kondensierten Aerosolphase liegt, und/oder
wobei je ein Anteil Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen, insbesondere in der kondensierten Phase des Aerosols, zu mindestens einem Anteil Nitrat und/oder mindestens einem Anteil Salpetersäure oxidiert und/oder hydrolysiert, und/oder
wobei die Massenzusammensetzung Salpetersäure in einem solchen Anteil umfasst, dass der pH-Wert des Aerosols zwischen kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 eingestellt ist.
5. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei das Aerosol Tröpfchen oder Partikel in einer Wolke oder Fahne aufweist, und/oder
wobei die Massenzusammensetzung nach der abgeschlossenen chemisch-physikalischen Umsetzung in der Atmosphäre zu einem überwiegenden Anteil in der kondensierten Phase vorliegt, also insbesondere die Tröpfchen oder Partikel in der Massenzusammensetzung dominieren, und/oder
wobei die Massenzusammensetzung während der chemisch-physikalischen Umsetzung nach der Emission des Aerosols zum Teil bis zu einem überwiegenden Anteil als flüchtige oder dampfförmige Komponenten in der Gasphase vorliegt.
6. Selbstaktivierendes photoaktives Aerosol (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Chloride in Form von Chloridanionen und/oder in gelösten oder gasförmigen Chloridverbindungen vorliegen, und/oder
wobei die Chloride das Element Chlor in Form von Chloridanionen und/oder in mindestens einer der gelösten oder gasförmigen Zustände aus der Gruppe atomares Chlor, elementares Chlor, Chlorwasserstoff, Nitrosylchlorid, Nitrylchlorid oder Chlornitrat umfassen.
7. Verwendung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20) nach einem der vorstehenden Ansprüche unter Einwirkung künstlicher oder natürlicher Strahlung, insbesondere Lichts und weiter insbesondere Sonnenlichts, zum Abbau von Methan und/oder gasförmigen, dampfförmigen oder aerosolförmigen organischen treibhauswirksamen organischen Stoffen.
8. Verfahren zur Herstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20), beispielsweise gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, und insbesondere zum Abbau von Methan und/oder gasförmigen, dampfförmigen oder

aerosolförmigen organischen treibhauswirksamen organischen Stoffen, das Verfahren gekennzeichnet durch die Schritte:

- 5
 - Bereitstellen eines ersten Präkursors (52) mit Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen,
 - Bereitstellen eines zweiten Präkursors (54) mit Chloriden,
 - Mischen des ersten und zweiten Präkursors und Einstellen eines Massenverhältnisses im Bereich von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden zur Erzeugung eines Chlorid-Gemisch-Aerosols (20),
 - Moderieren des pH-Werts in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1.
- 10
 9. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch,
 - wobei das Chlorid-Gemisch-Aerosol (20) ferner Metallverbindungen umfasst in Form von Kationen, Molekülen, Oxiden, Hydroxiden, Partikel und/oder chemisch gebundenen Elementen, insbesondere des Eisens und/oder des Titans, wobei die Metallverbindungen als, Ferrochlorid, Ferrichlorid, Ferronitrat, Ferrinitrat, ferrihaltiges Hydrolysat von Ferrichlorid oder Ferrinitrat, Eisenpentacarbonyl, Titantetrachlorid und/oder titanhaltiges Hydrolysat von Titantetrachlorid vorliegen können, und/oder
 - wobei das Chlorid-Gemisch-Aerosol (20) einen Anteil in auskondensierter Phase umfasst, beispielsweise Tröpfchen oder Partikel, und/oder
 - wobei der zweite Präkursor (54) die Chloride in Form einer Chlorverbindung umfasst, insbesondere aus zumindest einer aus Chloride, Chlorwasserstoff, Chlor, Siliciumtetrachlorid, Titantetrachlorid, Eisen(III)chlorid, Eisen(II)chlorid.
- 15
 10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
 - wobei bei dem Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols (20) ein Chlorid-Aerosol und/oder ein Hilfsgas (11, 56) eingesetzt wird, und/oder
 - wobei der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols (20) durch Verdüsung und/oder mittels Ultraschall-Vibration durchgeführt wird, insbesondere unter erhöhtem Atmosphärendruck, und/oder
 - wobei der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols (20) unter Anwendung eines nicht-thermischen Vernebelungsverfahrens durchgeführt wird, und/oder
 - wobei der Schritt Mischen des Chlorid-Gemisch-Aerosols (20) unter Anwendung wenigstens eines aus Gasstrahlvakuumpumpe (15, 31) oder statischer Mischer (21) als Misch- und Reaktionsorgan vollzogen wird, und/oder
- 20
 - 30
 - für das Bereitstellen des Chlorid-Gemisch-Aerosols (20) Vernebeln einer wässrigen Chlorid-Salzlösung (54), insbesondere zusätzlich umfassend Nitratanionen (52), die Chlorid-Salzlösung insbesondere aufweisend einen Salzgehalt von 2 % oder mehr oder auch 5% oder mehr.
- 25
 11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
 - Beifügen zumindest eines Stoffes aus der Gruppe Meerwasser, schwefelorganische Verbindungen, Elementarschwefel, Dieselabgas, plasmachemisch umgesetzte Luft, Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zur Erzeugung einer "Aqua-Regia"-Vorläufersubstanz.
- 30
 12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei ferner
 - der erste Präkursor (52) zumindest einen Stoff aus der Gruppe Metallnitrat, Metallnitrit, Eisennitrat, Eisennitrit, Titandioxid, Hydrolyseprodukt von Titantetrachlorid, Salpetersäure, NO, NO₂, NO₃, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅ umfasst, und/oder
 - in dem ersten Präkursor (52) das Atomverhältnis zwischen Sauerstoff und Stickstoff größer oder gleich 1 ist, insbesondere größer oder gleich 1,5 zu 1, und/oder
 - der zweite Präkursor (54) Chlorverbindungen umfasst, insbesondere zumindest eines aus Chlorwasserstoff, Chlor, Metallchlorid, Ferrichlorid, Siliciumtetrachlorid, Titantetrachlorid,.
- 35
 13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
 - bei dem Schritt Bereitstellen des ersten Präkursors (52) Verwendung eines plasmachemischen Prozesses und/oder eines Plasmareaktors (5), zur Erzeugung eines Plasmas aus atmosphärischer Luft,
 - insbesondere zur Erzeugung der Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen aus dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff und/oder Stickstoff.
- 40
 14. Verfahren nach dem vorstehenden Anspruch,
 - wobei in dem plasmachemischen Prozess ein nicht-thermisches Plasma erzeugt oder aufrechterhalten wird, wie zum Beispiel Plasma-Glimmentladung, Korona-Entladung, stille elektrische Entladung mit oder ohne Wasserkontakt,
- 45
 - 50
- 50
 - 55

- kapazitive oder induktive Hochfrequenzentladung, Mikrowellenentladung, dielektrisch behinderte Entladung, Luft-Plasma-Jet mit Wasserkontakt, oder gleitende Lichtbogenentladung mit Wasserkontakt, wobei der Prozess insbesondere unter Vakuum oder unter atmosphärischem Druck durchführbar ist, oder
- wobei in dem plasmachemischen Prozess ein Hochtemperatur-Plasma erzeugt oder aufrechterhalten wird,
- und/oder
- wobei ein Volumenanteil des mit dem plasmachemischen Prozesses und/oder des Plasmareaktors erzeugten ersten Präkursors 1 Vol% oder mehr, beispielsweise 2,5 Vol% oder mehr oder 5 Vol% oder mehr, des herzustellenden selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols, insbesondere gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, beträgt.
- 10 15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
- ferner bei dem Schritt Bereitstellen des zweiten Präkursors (54) Verwendung einer Sublimationsvorrichtung (8) für ein Haufwerk-Bett (85), insbesondere bestehend aus oder umfassend wasserfreies Eisenchlorid (83).
- 15 16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,
- wobei das Mischen des ersten und zweiten Präkursors (52, 54) miteinander in einer teilgeschlossenen Umgebung durchgeführt wird, beispielsweise einer Einhausung wie einem Schornstein oder Auspuff (41), und/oder
- wobei nach dem Schritt Mischen des ersten und zweiten Präkursors (52, 54) ein Ausstoßen des gemischten selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20) erfolgt, insbesondere unter Einsatz eines Druckgases (56), wobei das Druckgas ein vakuumerzeugendes Druckgas sein kann, und/oder
- 20 wobei das Ausstoßen des gemischten selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20) von zumindest einer der folgenden Bereitstellungsorte aus erfolgt: Schiff, schwimmende Plattform, Bohrinnsel, Flugzeug, Ballon, Zeppelin, Kühlturm, Schornstein, Auspuff, Gittermast, Berggipfel, Aufwindkraftwerk, Windturbine, die vorgenannten Onshore, Offshore oder Gletscher-getragen möglich.
- 25 17. Vorrichtung (100) zur Bereitstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20), beispielsweise nach einem der vorstehenden Ansprüche, und/oder insbesondere unter einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, die Vorrichtung umfassend:
- einen Reaktionsraum (40),
- eine mit dem Reaktionsraum verbundene erste Einrichtung (1, 5, 13, 13a, 25) zur Bereitstellung eines ersten Präkursors (52) Stickstoff-enthaltender Verbindungen, beispielsweise umfassend Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen, in dem Reaktionsraum,
- eine mit dem Reaktionsraum verbundene zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) zur Bereitstellung eines zweiten Präkursors (54) mit Chlor oder Chloriden in dem Reaktionsraum,
- eine Trägergas-Bereitstellungseinrichtung (16) zur Bereitstellung eines Trägergases (56) in dem Reaktionsraum,
- 35 wobei die Vorrichtung hergerichtet ist, in dem Reaktionsraum eine Mischung des ersten und zweiten Präkursors herbeizuführen und dabei ein Massenverhältnis im Bereich von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden einzustellen,
- wobei die Vorrichtung ferner hergerichtet ist, den pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 zu moderieren.
- 40 18. Vorrichtung (100) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei die erste Einrichtung (1, 5, 13, 13a, 25) einen Plasmareaktor (5) umfasst zur Erzeugung eines Plasmas aus atmosphärischer Luft, insbesondere zur Erzeugung der Sauerstoff-Stickstoff-Verbindungen aus dem in der atmosphärischen Luft enthaltenen Sauerstoff und/oder Stickstoff.
- 45 19. Vorrichtung (100) nach dem vorstehenden Anspruch,
- wobei der Plasmareaktor (5) ein nicht-thermisches Plasma erzeugt oder aufrechterhält, und/oder
- wobei der Plasmareaktor (5) insbesondere eines der folgenden Verfahren umfasst: Plasma-Glimmentladung, Korona-Entladung, stille elektrische Entladung mit oder ohne Wasserkontakt, kapazitive oder induktive Hochfrequenzentladung, Mikrowellenentladung, dielektrisch behinderte Entladung, Luft-Plasma-Jet mit Wasserkontakt, oder gleitende Lichtbogenentladung mit Wasserkontakt, und/oder
- 50 wobei der Plasmareaktor (5) unter Vakuum oder unter atmosphärischem Druck betrieben wird, und/oder
- wobei der Plasmareaktor (5) ein Hochtemperatur-Plasma bereitstellt oder aufrechterhält.

20. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Trägergas-Bereitstellungseinrichtung (16) zumindest eines der folgenden Merkmale umfasst: einen Gasstrahl, eine Druckgasanlage, eine Absaugeinrichtung, und/oder
wobei die Vorrichtung hergerichtet ist, dass die erste Einrichtung (1, 5, 13, 13a, 25) über einen NO_x-Auslass (36) mit dem Reaktionsraum (40) verbunden ist und/oder
die zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) über einen Chlorid-Auslass (37) mit dem Reaktionsraum (40) verbunden ist, und/oder
die erste Einrichtung (1, 5, 13, 13a, 25) und die zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) über einen gemeinsamen NO_x/Chlorid-Auslass (36, 37) mit dem Reaktionsraum verbunden sind.
21. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Vorrichtung zumindest eines der folgenden Merkmale oder Einrichtungen umfasst:
- eine Verdünnungsanlage (13),
- eine Ultraschall-Vibrationseinrichtung,
- eine Zentrifugalpumpe (160, 170) zur Förderung und Emission von gas- oder dampfförmigen Medien,
- eine Zentrifugalpumpe (160, 170) zur Förderung von flüssigen Medien und ihrer Vernebelung,
- eine Vernebelungsanlage (1), insbesondere zur Durchführung eines Vernebelungsverfahrens durch Kondensation und/oder Hydrolyse,
- eine Chlorierungsanlage (8), insbesondere zur Eisenchlorierung,
- eine Gasstrahlvakuumpumpe (15, 31), und/oder
- einen statischen Mischer (21) als Misch- und Reaktionsorgan,
welche beispielsweise im oder am Reaktionsraum (40) angeordnet ist.
22. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche
wobei die zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) ferner eine Sublimationsvorrichtung (8) für ein Haufwerk-Bett (83) umfasst, das Haufwerk-Bett insbesondere bestehend aus oder umfassend wasserfreies Eisenchlorid, insbesondere Ferrichlorid und/oder Ferrichlorid-Aluminiumchlorid-Gemisch.
23. Vorrichtung (100) nach dem vorstehenden Anspruch, wobei das Haufwerk-Bett (83) gekennzeichnet ist durch zumindest eines der folgenden Merkmale:
- eine Durchmischungsvorrichtung bereitstellend zumindest eine der Bewegungen Rühren, Vibrieren, Schütteln, Umwälzen, Fluidisierung mittels Inertgasdurchströmung,
- die Durchmischungsvorrichtung bereitstellend Mahlhilfen (86), wie zum Beispiel Keramikkuugeln,
- eine Evakuierungseinrichtung,
- eine Gasströmanlage und/oder Verdampferanlage zur Bereitstellung eines Inertgases oder Inertdampfes zur Durchströmung des Haufwerk-Betts, wobei der Inertdampf durch Verdampfung von mindestens einer der flüssigen Chlorverbindungen Siliciumtetrachlorid oder Titan-tetrachlorid bereitgestellt wird,
- eine Heizeinrichtung (9) zur Beheizung des Haufwerk-Betts,
- eine Temperatur-Regeleinrichtung zur Regelung der Temperatur in dem Ferrichlorid-Haufwerk-Bett und/oder in der Verdampferanlage zwischen 100 und 220°C.
24. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
ferner umfassend einen Dampferzeuger (1) zur Erzeugung eines Salpetersäure-Dampfes unter Zuführung von Luft und Salpetersäure in den Dampferzeuger unter erhöhter Temperatur und/oder Druck, und/oder
wobei die Vernebelungsanlage (13) zumindest eines aus Düsenvernebelung, Vernebelung durch rotierende Prallelemente (174), oder einen Ultraschall-Vibrations-Vernebelung von flüssigen oder wässrigen Chlorid- und/oder Nitrat-Lösungen bereitstellt zur Erzeugung eines Nitrat- und/oder Chlorid-Nebels.
25. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) eine Umsetzungseinrichtung umfasst zur exothermen Umsetzung von Metallen oder Legierungen wie metallischem Eisen, Eisansilicid oder elementarem Silizium mit Chlorgas, insbesondere ferner umfassend eine Temperatur-Regeleinrichtung zur Regelung der Temperatur in der Umsetzungseinrichtung zwischen 450 °C bis 600 °C.

26. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei die Vorrichtung auf einem der folgenden Bereitstellungsorte hergerichtet und eingerichtet ist: Schiff, schwimmende Plattform, off-shore-Plattform mit Fundament, Bohrinnsel, Flugzeug, Ballon, Zeppelin, Kühlturm, Schornstein (41), Auspuff, Gittermast, Berggipfel, Aufwindkraftwerk, Turbine, Windkraftwerk (185), Gletscher-getragene Plattform.
- 5
27. Vorrichtung (100) nach einem der vorstehenden Ansprüche,
wobei der Reaktionsraum (40) in einer Einhausung angeordnet ist mit einem Auslass zur Freilassung des selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols (20),
wobei der Reaktionsraum insbesondere in einem Kühlturm, Schornstein (41), Auspuff, Gittermast, Aufwindkraftwerk, Windkraftwerk (185) oder Turbine angeordnet ist.
- 10
28. Abgasaufbereitungsanlage (101) zur zumindest teilweisen Umwandlung von Abgasen und zur gleichzeitigen Bereitstellung eines selbstaktivierenden photoaktiven Aerosols beispielsweise nach einem der vorstehenden Ansprüche, und/oder insbesondere unter einem Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, die Abgasaufbereitungsanlage umfassend:
- 15
- einen in einem zur Abgasabführung hergerichteten Rohrabschnitt angeordneten Reaktionsraum (40),
beispielsweise in einem Auspuff oder Schornstein (41),
eine erste Einrichtung (1, 5, 13, 13a, 25) zur Bereitstellung eines ersten Präkursors (52) umfassend Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen in dem Reaktionsraum,
- 20
- eine zweite Einrichtung (1, 8, 13, 13a, 23) zur Bereitstellung eines zweiten Präkursors (54) mit Chloriden in dem Reaktionsraum,
einen Abgasemittenten, wie einen Dieselmotor (16a), als Trägergas-Bereitstellungseinrichtung zur Bereitstellung eines Trägergases (56) in dem Reaktionsraum,
- 25
- wobei die Vorrichtung hergerichtet ist, in dem Reaktionsraum eine Mischung des ersten und zweiten Präkursors herbeizuführen und dabei ein Massenverhältnis im Bereich von 1 Anteil Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 200 Anteilen Chloriden bis 10 Anteilen Nitratanionen und/oder Stickstoff-Sauerstoff-Verbindungen zu 1 Anteil Chloriden einzustellen,
- 30
- wobei die Vorrichtung ferner hergerichtet ist, den pH-Wert in einem Bereich von kleiner oder gleich 3 bis größer oder gleich -1 zu moderieren.
- 35