
Tannenweg 2
D-35274 Kirchhain
Germany

Tel. +49 (0) 6422 - 85168
Fax +49 (0) 6422 - 922724
Mobil +49 (0) 171 - 9526068
oeste@gm-ingenieurbuero.com
www.gm-ingenieurbuero.com

Schutz der Ozeane durch patentierte Klimakühlung

Ausgehend von der Erkenntnis, dass mit wachsender Weltbevölkerung auch zunehmende Verbrennungsprozesse verbunden sind, haben wir das naturidentisch wirkende ISA-Verfahren entwickelt, das Verbrennungsprozesse instrumentalisiert, um klimawirksame Gase abzubauen.

Nach dem IPCC Report 5, der im November 2014 veröffentlicht wurde, schreitet die Klimaerwärmung fort. Die Klimaerwärmung verändert kontinentale und ozeanische Ökosysteme. Erst kürzlich wurde die Gefahr erkannt, dass sich als Folge der Klimaerwärmung die vertikale Vermischung in den Ozeanen einschränkt und in der Folge sogar ganz zum Erliegen kommen kann (de Lavergne et al. 2014, Bernardello et al. 2014a and 2014b). Dadurch wird die Sauerstoffzufuhr in die Tiefe des Ozeans reduziert oder unterbrochen. Bereits heute nimmt die Bildung sauerstoffarmer Bereiche in den Ozeanen zu (Capone & Hutchins 2013, Kalvelage et al. 2013). Insbesondere die Klimaerwärmungsbedingte Aufheizung der oberen Wasserschicht schwächt die thermohaline Zirkulation indem sie die Dichteschichtung fördert. Das löst die Bildung sauerstoffarmer Zonen aus (Voss et al. 2013). Hinzu kommt die durch direkte Erwärmung oder nachlassende Ergänzung kalten Tiefenwassers ausgelöste Erwärmung der Meere, durch die Methan aus den Sedimenten freigesetzt wird (Phrampus et al. 2014), dessen Oxidation zusätzliche Sauerstoffmengen im Meerwasser verbraucht (Yamamoto et al. 2014). All dies trägt dazu bei, dass sich in den Ozeanen der Sauerstoffmangel immer weiter ausbreitet. In den sauerstoffarmen Bereichen ist nur noch bakterielles Leben möglich, höhere Lebensformen kommen dort nicht mehr vor. Ein Ergebnis dieser Klimaerwärmungs-Folge wird die dramatische Einschränkung der Nahrungsquelle Ozean sein.

Nur ein Stopp der Klimaerwärmung und Rückkehr zum normalen Klima wird diese bedrohliche Entwicklung aufhalten. Die einzig realistische Chance, diese Entwicklung abzuwenden, sehen wir in der kontrollierten Anwendung jenes Klimakühlungsprozesses, den die Natur in der letzten Eiszeit mehrfach mit hoher Effektivität angewendet hat.

Mittlerweile steht nun zweifelsfrei fest, dass der natürliche Prozess, der die Kaltzeiten verursacht hat, von dem Eisengehalt im Lössstaub ausgelöst wird. Das Eisen des auf den Ozean gewehten Staubaerosols düngte dort das Phytoplankton und löste damit unter Einbindung von CO₂-Kohlenstoff seine enorme Vermehrung aus (Martin 1990, Martinez-Garcia et al. 2011 und 2014). Die wirksamen Kühleffekte löst aber nur der kleine Anteil wasserlöslichen Eisens im Aerosol aus, der diesen Düngereffekt auslösen kann (Duggen et al. 2007).

Nur bei langem Aufenthalt des Aerosols über dem Ozean können sich unter Einwirkung von Sonnenstrahlen und natürlichen Säuren die unlöslichen Eisenminerale in den feinsten Staubteilchen in das lösliche, kühlwirksame Eisensalz umwandeln (Johnson & Meskhidze 2013).

Die kühlende Staubkonzentration in der Troposphäre stieg während der Kaltzeiten in der Eiszeit auf ein Mehrfaches der heutigen (Martinez-Garcia et al. 2011, Lamy et al. 2014) und ließ dabei die mittlere Temperatur jeweils bis zu mehreren °C absinken. Die Lösssedimente auf Kontinenten, Meeresböden und auch hierzulande entstammen den Staubepochen in diesen Kaltzeiten.

Der natürliche Eisensalzaerosol-Prozess wirkt der Klimaerwärmung entgegen. Wir haben diesen Prozess mit dem „ISA-Verfahren“ instrumentalisiert und eine effektive, naturidentische, aber auch steuerbare und insbesondere wirtschaftliche Anwendung beschrieben.

Angepasst an Einsatzort und verfügbare Technik haben wir drei Emissionsmethoden zur Durchführung des ISA-Kühlverfahrens aus bewegten oder stationären Anlagen entwickelt:

- Verfahren 1: Mittels eisenorganischer Additive zum Schiffs- und/oder Flugzeugtreibstoff oder Heizöl in stationären Anlagen wird Eisenoxidaerosol z. B. über dem Ozean emittiert. Diese Additive wurden bisher nur als Mittel zur Optimierung des Treibstoffwirkungsgrades und zur Rußminimierung genutzt. Die atmosphärische Umwandlung des ausgestoßenen Eisenoxidaerosols in das als „ISA“ bezeichnete lösliche Eisensalz-Kühlmittel geschieht vollständig und um ein Mehrfaches rascher, als die der natürlichen Eisenminerale im natürlichen Lössstaub.
- Verfahren 2: Gasförmiges Eisen(III)salz wird emittiert. Es verwandelt sich beim Eintritt in die Atmosphäre unmittelbar in das ISA-Kühlmittel.
- Verfahren 3: Direkte Emission des ISA-Kühlmittels. ISA wird dabei durch die Vernebelung wässriger Eisen(III)salz-Lösung hergestellt.

In der Atmosphäre beginnt die Klimakühlung durch ISA mit ersten Wirkungen einer vielstufigen Kühlprozesskaskade. Hier werden die neun wichtigsten Stufen dieser Prozesskaskade beschrieben. Jede einzelne der Prozessstufen entfaltet dabei für sich klimakühlendes Potential: Die Prozesse entstehen in der Troposphäre (1,2,3,5), im Ozean (4,6) und im ozeanischen Sediment (7,8,9):

1. **Troposphäre:** Hygroskopische Salzaerosole wirken als Wolkenkondensationskeime (CCN) (Karydis et al. 2013, Levine et al. 2005). ISA Partikel haben diese Eigenschaft. Gemäß Rosenfeld & Freud (2011) führen hohe CCN-Partikelkonzentrationen zu drei Effekten, von denen jeder einzelne einen Kühleffekt durch höhere Rückstrahlung (Albedo) bewirkt:
 - Wolkenbildung schon bei geringerer Übersättigung
 - Bildung wesentlich kleinerer Wolkentröpfchen bei erhöhter Tröpfchenzahl pro Volumenteil. Das bewirkt einen höheren Weißgrad der Wolken
 - Verlängerung der Lebensdauer der Wolken, weil die kleinen Wolkentröpfchen nicht miteinander koagulieren können. Die Niederschlagsbildung aus diesen Wolken kann ausschließlich durch Schneekristallbildung geschehen.

2. **Troposphäre:** Durch Sonnenlicht-Photoreduktion von Fe(III) zu Fe(II) in der salzhaltigen maritimen Atmosphäre setzt ISA Chlorradikale frei (Wittmer et al. 2014a and 2014b). Dieses Oxidationsmittel reagiert mit dem Treibhausgas Methan 16 mal schneller, als die Hydroxylradikale der ISA-freien Atmosphäre. Dabei entsteht HCl, aus dem sich mit dem Eisen wieder ISA bildet. Eisen katalysiert überdies die Chlorbildung aus Chlorid mit troposphärischem Ozon (Sadanaga et al. 2012). Der Methanabbau kühlt die Troposphäre. Auch während der Eiszeit hat dieser Prozess gewirkt, wie das in den antarktischen Eisbohrkernen von Levine et al. (2011) gefundene $^{13}\text{CH}_4/^{12}\text{CH}_4$ -Isotopenverhältnis und die jeweils in der Troposphäre während der Hochstaubphasen tief abgesenkten Methankonzentrationen und Temperaturen belegen (Skinner 2008).
3. **Troposphäre:** Die in der Troposphäre ausgelöste Oxidation der Rußteilchen aus Brandrodung und übrigen Bränden bewirkt den Abbau ihrer Wasserabstoßung. Ruß wird dadurch vom Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen (Zuberi B et al. 2005). Durch ISA wird dieser Prozess beschleunigt, weil die vom Eisensalz induzierten Fenton- und Photo-Fenton-Reaktionszyklen Hydroxyl- und Chlorradikale generieren, die die Rußoxidation beschleunigen. Rußabbau in der Troposphäre wirkt kühlend.
4. **Ozean:** Das Phytoplanktonwachstum in den Ozeanen ist durch den dort herrschenden Eisenmangel gehemmt. Das mit den Niederschlägen dort niedergehende ISA steigert deshalb die Phytoplanktonvermehrung und damit die Bildung organischen Kohlenstoffs aus dem Treibhausgas CO_2 (Martinez-Garcia et al. 2014). Der überwiegende Anteil des dabei gebildeten nur gering in Wasser löslichen Sauerstoffs (11 mg O_2/l) entweicht in die Atmosphäre. Hingegen verbleibt der gebildete organische Kohlenstoff komplett im Ozean zurück als Grundlage der ozeanischen Nahrungskette. Die Entfernung des Treibhausgases CO_2 kühlt die Troposphäre. Auch während der Eiszeit hat dieser Prozess gewirkt, wie die Untersuchungen der antarktischen Eisbohrkerne belegen: Jeweils während der Hochstaubphasen haben sich auch CO_2 -Konzentrationen und Temperaturen in der Troposphäre tief abgesenkt (Skinner 2008).
5. **Troposphäre:** Eine Konsequenz des ISA-bedingten Phytoplanktonwachstums ist die entsprechende Zunahme der Emission von Dimethylsulfid (DMS) in die Troposphäre. DMS ist ein ätherisches Öl, das aus dem Phytoplankton freigesetzt wird. Es wird in der Troposphäre zu Sulfat-Aerosol umgesetzt, einem hochaktiven CCN (Kondensationskeim)-Precursor. Dieser Prozess verstärkt die direkte ISA-Kühlwirkung gemäß Prozessschritt 1 (Charlson et al. 1987).
6. **Ozean:** Das Ökosystem des Ozeans basiert auf der Balance zwischen oxidierenden und reduzierenden Stoffen. Als Folge des durch ISA ausgelösten zusätzlichen Eintrags von organischem Kohlenstoff in der ISA-lmissionsregion gemäß Prozessstufe 4 kann in der Wassersäule darunter lokal der Sauerstoffverbrauch ansteigen. Aber bereits heute, also auch ohne ISA-Einfluss, hat sich Sauerstoffmangel schon in vielen Teilen des Ozeans gebildet. Seine Entstehung ist in der Regel weniger die Folge erhöhter Phytoplanktonproduktion, sondern geringen vertikalen Wasseraustauschs durch erhöhten vertikalen Dichtegradienten. Sauerstoffmangel findet sich vielfach zwischen oxischer Oberflächenschicht und oxischer Tiefwasserschicht (Bruland 2006, Capone & Hutchins 2013). Durch die Klimaerwärmung intensivieren und expandieren die Sauerstoffmangelzonen bereits

heute (Capone & Hutchins 2013, Kalvelage et al. 2013). Mit Einsetzen der ISA-Behandlung ggf. lokal ansteigender Sauerstoffbedarf wird unmittelbar mit Einsetzen der Kühlung durch die dadurch zunehmende polnahe Einspeisung von absinkendem kaltem und salzreichen sauerstoffreichem Oberflächenwasser in die tiefen Ozeanbecken gedeckt. Auslöser des Einstroms der schweren sauerstoffreichen Oberflächenwässer in die Tiefe der Meeresbecken ist die sog. „*thermohaline Ozean-Zirkulation*“. Sie bildet sich durch polnahe Abkühlung salzreicher, warmer Oberflächenwasserströme und durch das Meerwasser-Gefrieren bei der jährlichen Neubildung polaren salzarmen Meereises. Allein die Meereisbildung sorgt für den Nachschub der besonders kalten, salzreiche Lake am Boden der Ozeanbecken (Rahmstorf 2006, Ohshima et al. 2013).

7. **Sediment:** Unter dem Einfluss zunehmenden organischen Inhalts im Sediment unter der ISA-Immissionsregion bildet sich darin anoxisches Milieu aus. Ergebnis dessen ist, dass an der oxischen Sedimentoberfläche neben Nitrat, Phosphat, Mangan und Eisen auch komplexierte Kieselsäure (Wallmann et al. 2008, Öhman et al. 1991, Swanson 1988) in die Bodenwasserphase übertreten. Im suboxischen Milieu ist Eisen besonders mobil, hat aber auch im anoxischen Milieu noch erhebliche Löslichkeit (Rickard, 2006). Mit diesen allesamt essentiellen Elementen reichert sich das dem Sediment aufliegende ozeanische Bodenwasser an. Mit dem ozeanischen Strömungssystem gelangen diese düngerwirksamen Tiefenwässer schließlich in den oberen Wasserkreislauf. Dort aktivieren sie wiederum die Phytoplanktonvermehrung. Damit treiben sie erneut die CO₂-Umsetzung zu organischem Kohlenstoff an und damit Kühlung der Troposphäre. Die Phytoplanktonvermehrung treibt wiederum die DMS-Bildung an, die dann gemäß Prozessschritt 5 Kühlung auslöst. Im Sediment gehen die organischen Überreste dann über in festes Methanhydrat, Huminsäuren, Kerogen und lebende Biomasse.
8. **Sediment:** Der biologische Reduktionsprozess im Ozeanbodensediment wandelt Nitrat, Sulfat, Fe(III), Mn(III/IV) und Hydrogencarbonat um in sauerstofffreie bzw. sauerstoffärmere Stoffe, wie z. B. Methan und Ammonium. Dabei löst die Reduktion alkalisches Milieu aus. Zusätzlich angeregt durch mikrobiellen Metabolismus löst das im Sediment die Kalk- und Dolomit-Ausfällung aus Hydrogencarbonat aus (Krause et al. 2012, Raiswell & Fisher 2004, Luff & Wallmann 2003, Berner et al. 1970). Auch dieser Prozess wirkt sich kühlend auf die Troposphäre aus, weil das entkarbonatisierte Tiefenwasser kann nach seinem Auftrieb zur Oberfläche erneut CO₂ aus der Atmosphäre als Hydrogencarbonat binden kann. Das wirkt der Versauerung der Ozeane entgegen.
9. **Sediment:** Anoxische Sedimente, deren Druck und/oder Temperatur aus dem Stabilitätsfeld des Methanhydrats herausgerät oder von vornherein außerhalb davon liegt, setzen Methan frei. Diese Methanabgasungen entziehen dem Meerwasser den Sauerstoff (Yamamoto et al. 2014, Römer et al. 2014). Auslöser solcher Methanfreisetzungen sind z. B. aufsteigende Thermalwässer (Suess 1999), durch die Methanfreisetzung ausgelöste Sedimentrutschungen (Krastel et al. 2014, Paull et al. 2007), klimabedingte Meerwassererwärmung (Shakova et al. 2005, Fulton-Bennet 2007/2012), verändernde Ozeanzirkulation (Berndt et al. 2014), und Subduktion des Ozeansediments (Fischer et al. 2013, Elvert et al. 2000). Küstennah und in flachen Randmeeren können Methanblasen oder methanhaltiges Wasser die Wasseroberfläche erreichen. Der Arktische Ozean und seine Troposphäre sind von der klimabedingten Erwärmung besonders betroffen

(Phrampus et al. 2014). Sie sorgt dort in Meerwasser und Atmosphäre für einen wesentlich angehobenen Methanspiegel über dem globalen Durchschnitt (Shakova et al. 2008) und trägt damit zur überdurchschnittlich hohen Erwärmung der arktischen Troposphäre bei. Der Abbau des freigesetzten Methans geschieht im anoxischen Sediment durch mikrobiologische Sulfatreduktion. Sivan et al. (2014) haben nachgewiesen, dass auch diese Fermentation umso effektiver abläuft, je höher der Eisengehalt im Sediment ist. Damit wirkt auch hier der nach dem ISA-Verfahren angehobene Eisengehalt auf vielfältige Weise kühlend: Zunächst reduziert er den aus dem Sediment in den freien Ozean bzw. in die Troposphäre austretenden Methananteil. Das minimiert die die Gefahr der Sedimentdestabilisierung durch Methanblasenbildung und wirkt der Gefahr katastrophaler Sedimentrutschungen mit Tsunamibildung und plötzlichen Methanausbrüchen entgegen. Der ISA-bedingte Eisengehalt sorgt aber auch für die Minderung des Methanaustritts in den Ozean und kann die Ausbildung der dadurch bedingten Sauerstoffmangelzonen im Ozean minimieren oder verhindern. Zusätzliche Kühlung ergibt sich durch die ISA-bedingte Minimierung des Methanübertritts in das freie Meerwasser, durch die die Neubildung eines besonders wirkungsvollen Treibhausgases minimiert werden kann: In der durch Methan ausgelösten Sauerstoffmangelzone im Meerwasser bildet sich Ammonium. Bei der Nitrifizierung des Ammoniums entsteht Lachgas (N_2O) als Nebenprodukt, eines der langlebigsten Treibhausgase überhaupt (Naqvi 2010).

Derzeit liegt der komplette Eintrag löslichen Eisens aus natürlichen Staubquellen in die Ozeane bei etwa 100.000 bis 260.000 t pro Jahr (Myriokefalitakis et al. 2014, Johnson & Meskhidze 2013). Selbst eine zusätzliche, künstlich emittierte ISA-Kühlmasse in dieser Größenordnung wäre auch aus ökonomischer Sicht eine realisierbare Größe, die die Menschheit über Dekaden hinaus leicht bewältigen könnte.

Unter Berufung auf die hochwirksame eiszeitliche Klimakühlung, die analog zu unserem ISA-Verfahren die weltweiten Durchschnittstemperaturen bis zu 10 °C fallen ließ, empfehlen wir, dass unser Vorschlag mit den einschlägigen wissenschaftlichen Gremien diskutiert wird und mit uns die Möglichkeiten zur Durchführung von Feldversuchen erörtert werden. Wir geben zu bedenken, dass die derzeit notwendige Weltdurchschnittstemperatur-Absenkung von 0,5 bis 1 °C, mit der das Klima wieder in den Normalzustand zurückgeführt werden kann, nur ein Zehntel bis Zwanzigstel der eiszeitlichen Absenkung beträgt.

Oben genannte ISA-Einzelprozesse, deren Wichtigste wir hier nur aufzeigen konnten, stehen in Analogie zu den bekannten eiszeitlichen Abläufen und sind überwiegend in den vergangenen 20 Jahren aufgeklärt worden. Zuletzt ist nun auch der Mechanismus der ISA-induzierten Zersetzung des Klimagases Methan durch das Wissenschaftlerteam der Forschungsstelle Atmosphärische Chemie an der Universität Bayreuth entziffert worden.

Damit ist die Wirksamkeit unserer ISA-Methode zur Klimakühlung bis ins letzte Detail belegt, die der in ihrer Effektivität optimierten Variante dieses Naturprozesses entspricht.

Alle übrigen Vorschläge, die zur Klimakühlung bisher bekannt wurden, haben gegenüber der ISA-Methode den Nachteil, dass ihr Kühleffekt nur auf einer einzigen Wirkung beruht. Im Gegensatz zur ISA-Methode hat auch bisher kein einziger dieser Vorschläge den Beweis erbringen können, dass er funktioniert und dass er keine Schäden an den Ökosystemen hinterlässt.

Allein die ISA-Klimakühlung eröffnet somit die nahezu kostenlose Möglichkeit, auch manifeste Klimaschäden rückgängig zu machen und die Ressourcen der fossilen Energieträger weiterhin zu nutzen.

Die globale Anpassung der Preise für Treibhausgas-Emissions-Zertifikate und der Gutscheine für ISA-Emissions-Zertifikate wäre die simpelste und effektivste Maßnahme für die schnelle weltweite Einführung der ISA-Methode.

Zitierte Literatur

- Bernardello R, Marinov I, Palter JB, Sarmiento JL, Galbraith ED, Slater, RD:** a) Response of the ocean natural carbon storage to projected twenty –first-century- climate change; *Journal of climate*, 27(5), pp. 2033-2053 (2014); b) Impact of Weddell Sea deep convection on natural and anthropogenic carbon in a climate model; *Geophysical Research Letters*, 10/2014; DOI: 10.1002/2014GL061313, (2014)
- Berner RA, Scott MA, Thomlinson C:** Carbonate Alkalinity in the pore waters of anoxic marine sediments; *Limnology and Oceanography*, 15(4), pp. 544-549, (1970)
- Berndt C, Feseker T, Treude T, Krastel S, Liebetrau V, Niemann H, Bertics VJ, Dumke I, Dünnsbier K, Ferré B, Graves C, Gross F, Hissmann K, Hühnerbach V, Krause S, Liesner K, Schauer J, Steinle L:** Methane hydrates and global warming: Dissolution of hydrates off Svalbard caused by natural processes; *Pressemittteilung 02/2014 des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel* vom 02.01.2014
- Bruland KW:** A review of chemistries of redox sensitive elements within suboxic zones of oxygen minimum regions; *Supplemento Gayana*, 70(1), pp. 6-13, (2006)
- Capone DG & Hutchins DA:** Microbial biogeochemistry of coastal upwelling regimes in a changing ocean; *Nature Geoscience*, 6, pp. 711-717 (2013)
- Charlson RJ, Lovelock JE, Andreae MO, Warren SG:** Oceanic phytoplankton, atmospheric sulfur, cloud albedo and climate: A geophysical feedback; *Nature*, 326, pp. 655-661, (1987)
- de Lavergne C, Palter JB, Galbraith ED, Bernardello R, Marinov I:** Cessation of deep convection in the open Southern Ocean under anthropogenic climate change; *Nature Climate Change*, DOI:10.1038/nclimate2132, (2014)
- Duggen S, Croot P, Schacht U, Hoffmann L:** Subduction volcanic ash can fertilize the surface ocean and stimulate phytoplankton growth: Evidence from biogeochemical experiments and satellite data; *Geophys. Res. Lett.*, 34(1), doi:10.1029/2006GL027522, (2007)
- Elvert M, Suess E, Greinert J, Whiticar MJ:** Archaea mediating anaerobic methane oxidation in deep-sea sediments at cold seeps of eastern Aleutian subduction zone; *Organic Geochemistry*, 31, pp. 1175-1187, (2000)
- Fischer D, Mogollón JM, Strasser M, Pape T, Bohrmann G, Fekete N, Spiess V, Kasten S:** Subduction zone earthquake as potential trigger of submarine hydrocarbon seepage; *Nature Geoscience*, 6, pp. 647-651 (2013)
- Fulton-Bennet K:** Methane bubbling through seafloor creates undersea hills; *Press Release of the Monterey Bay Aquarium Research Institute* of 5th February 2007 and Expedition to study methane gas bubbling out of the Arctic seafloor; *Press Release of the Monterey Bay Aquarium Research Institute* of 21st September 2012
- Intergovernmental Panel on Climate Change 2014 (IPCC 2014)**
- Johnson MS & Meskhidze N:** Atmospheric dissolved iron deposition to the global oceans: effects of oxalate-promoted Fe dissolution, photochemical redox cycling, and dust mineralogy; *Geosci. Model Dev.*, 6, pp. 1137-1155, (2013)
- Kalvelage T, Lavik G, Lam P, Contreras S, Arteaga L, Löscher CR, Oschlies A, Paulmier A, Stramma L, Kuypers MMM:** Nitrogen cycling driven by organic matter export in the South Pacific oxygen minimum zone; *Nature Geoscience*, 6, pp. 228-234, (2013)
- Karydis VA, Kumar P, Barahona D, Sokolik IN, Nenes A:** Assessing the impact of mineral dust and adsorption activation on cloud droplet formation; *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics – Springer Atmospheric Sciences*, pp. 515-520, (2013)
- Krastel S, Bialas J, Villwock A:** Im fragilen Gleichgewicht: Deutsch-neuseeländisches Forscherteam entdeckt bisher unbekanntes Methanvorkommen bei der Untersuchung von instabilen untermeerischen Hängen; *Pressemittteilung 26/2014 des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel und Institut für Geowissenschaften der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel* vom 12.05.2014
- Krause S, Liebetrau V, Gorb S, Sánchez-Román M, McKenzie JA, Treude T:** Microbial nucleation of Mg-rich dolomite in exopolymeric substances under anoxic modern seawater salinity: New insight into an old enigma; *Geology*, <http://dx.doi.org/10.1130/G32923.1>, (2012)
- Lamy F, Gersonde R, Winckler G, Esper O, Jaeschke A, Kuhn G, Ullermann J, Martinez-García A, Lambert F, Kilian R:** Increased dust deposition in the Pacific Southern Ocean during glacial periods; *Science*, 343 (6169), pp. 403-407 (2014)
- Levin Z, Teller A, Ganor E:** On the interaction of mineral dust, sea-salt particles, and clouds: A measurement and modeling study from the Mediterranean Israeli Dust Experiment campaign; *Journal of Geophysical Research*, 110, D20202, doi:10.2929/2005JD005810, (2005)
- Levine JG, Wolff EW, Jones AE, Sime LC:** The role of atomic chlorine in glacial-interglacial changes in the carbon 13 content of atmospheric methane; *Geophys. Res. Lett.*, 38(4), doi:10.1029/2010GL046122, (2011)
- Luff R, Wallmann K:** Fluid flow, methane fluxes, carbonate precipitation and biogeochemical turnover in gas hydrate-bearing sediments at Hydrate Ridge, Cascadia Margin: Numerical modelling and mass balances; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(18), pp. 3403-3421, (2003)
- Martin JH:** Glacial-Interglacial CO₂ Change: The iron hypothesis *Paleoceanography*, 5(1), pp. 1-13 (1990)
- Martinez-García A, Rosell-Melé A, Jaccard SL, Geibert W, Sigman DM, Haug GH:** Southern Ocean dust-climate coupling during the past 4.000.000 years; *Nature*, doi: 10.1038/nature10310, (2011)
- Martinez-García A & Winckler G:** Iron fertilization in the glacial ocean; *Pages Magazine*, 22, pp. 82-83, (2014)
- Martinez-García A, Sigman DM, Haojia R, Anderson RF, Straub M, Hodell DA, Jaccard SL, Eglinton T, Haug GH:** Iron fertilization of the Subantarctic Ocean during the last ice age; *Science*, 343(6177), pp. 1347-1350 (2014)
- Myriokefalitakis S, Mihalopoulos N, Baker A, Kanakidou M:** The anthropogenic influence on iron deposition over the oceans: A 3-D global modeling study; paper presented at the *EGU General Assembly 2014 Vienna, April 27 to May 02 2014*
- Naqvi SWA, Bange HW, Farias L, Monteiro PMS, Scranton MI, Zhang J:** Marine hypoxia/anoxia as a source of CH₄ and N₂O; *Biogeosciences*, 7, pp. 2159-2190, (2010)
- Öhman L-O, Nordin A, Sedeh IF, Sjöberg S:** Equilibrium and structural studies of silicon(IV) and Aluminium(III) in aqueous solution. 28. Formation of soluble silicic acid-ligand complexes as studied by potentiometric and solubility measurements; *Acta Chimica Scandinavia*, 45, pp. 335-341, (1991)

- Ohshima KI, Fucamacchi Y, Williams GD, Nihashi S, Roquet F, Kitade Y, Tamura T, Hirano D, Herraiz-Borreguero L, Field I, Hindell M, Aoki S, Wakatsucchi M:** Antarctic bottom water production by intense sea-ice formation in Cape Darnley polynya; *Nature Geoscience*, 6, pp. 235-240 (2013)
- Pauli CK, Ussler W, Dallimore SR, Blasco SM, Lorenson D, Melling H, Medioli BE, Nixon FM, McLaughlin FA:** Origin of pingo-like features on the Beaufort Sea shelf and their possible relationship to decomposing methane gas hydrates; *Geophysical Research Letters*, 34(1), (2007)
- Phrampus BJ, Hornsback MJ, Ruppel CD, Hart PE:** Widespread gas hydrate instability on the upper U.S. Beaufort margin; *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 119, doi:10.1002/2014JB011290 (<http://dx.doi.org/10.1002/2014JB011290>), (2014)
- Rahmstorf S:** Thermohaline ocean circulation; in: *Encyclopedia of Quaternary Sciences*, edited by S.A.Elias. Elsevier, Amsterdam (2006)
- Raiswell R, Fisher QJ:** Rates of carbonate cementation associated with sulfate reduction in DSDP/ODP sediments: Implications for the formation of concretions; *Chemical Geology*, 211, pp. 71-85, (2004)
- Rickard D:** The solubility of FeS; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 70, pp. 5779-5789, (2006)
- Römer M, Torres M, Kasten S, Kuhn G, Graham AGC, Mau S, Little CT, Linse K, Pape T, Geprägs P, Fischer D, Wintersteller P, Marcon Y, Rethemeyer J, Bohrmann G:** First evidence of widespread active methane seepage in the Southern Ocean, off the sub-Antarctic island of South Georgia; *Earth and Planetary Science Letters*, 403, pp.166-177, (2014)
- Rosenfeld D & Freud E:** Number of activated CCN as a key property in cloud aerosol interactions or, more on simplicity in complex systems... *WCRP First Open Science Conference*, Denver, 24-28 October 2011
- Sadanaga Y, Hirokawa J, Akimoto H:** Formation of molecular chlorine in dark condition: Heterogenous reaction with sea salt in the presence of ferric iron; *Geophys. Res. Lett.*, 28(23), pp. 4433-4436, (2012)
- Shakova N, Semiletov I, Panteleev, G:** The distribution of methane on the siberian shelves: Implications for the marine methane cycle; *Geophysical Research Letters*, 32(9), /doi/10.1002/gri.v32.9/issuetoc, (2005)
- Shakova N, Semiletov I, Salyuk A, Kosmach D:** Anomalities of methane in the atmosphere over the East Siberian shelf: Is there any sign of methane leakage from shallow shelf hydrates? *Geophysical Research Abstracts*, 10, EGU2008-A-01526, (2008)
- Sivan O, Antler G, Turchyn AV, Marlow JJ, Orphan VJ:** Iron oxides stimulate sulfate-driven anaerobic methane oxidation in seeps; *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A.*, 111(40), doi: 10.1073/pnas.1412269111, (2014)
- Skinner L:** Facing future climate change: is the past relevant? *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 366, pp. 4627-4645, (2008)
- Suess E, Torres ME, Bohrmann G, Collier RW, Greinert J, Linke P, Rehder G, Trehu A, Wallmann K, Winckler G, Zuleger E:** Gas hydrate destabilization: Enhanced dewatering, benthic material turnover and large methane plumes at the cascadia Convergent margin; *Earth and Planetary Science Letters*, 170, pp. 1-15, (1999)
- Swanson KA:** The effect of dissolved catechol on the dissolution of amorphous silica; Dissertation, Pennsylvania State University, (1988)
- Voss M, Bange HW, Dippner JW, Middelburg JJ, Montoya JP, Ward B:** The marine nitrogen cycle: recent discoveries, uncertainties, and the potential relevance of climate change; *Phil. Trans. R. Soc. B*, 368, 20130121, (2013)
- Wallmann K, Aloisi G, Haeckel G, Tishchenko P, Pavlova G, Greinert J, Kutterolf S, Eisenhauer A:** Silicate weathering in anoxic marine sediments; *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72, pp. 3067-3090, (2008)
- Wittmer J, Bleicher S, Zetzsch C:** Iron(III)-induced activation of chloride and bromide from modeled salt pans; *J. Phys. Chem. A, Article ASAP*, DOI: 10.1021/jp508006s, (2014a)
- Wittmer J, Bleicher S, Zetzsch C, Oeste FD:** Exploring the activation of chloride by iron(III) salt for a reduction of methane as part of the ISA method for CE; *Climate Engineering Conference 18.-21 August 2014 Berlin* (2014b)
- Yamamoto A, Yamanaka Y, Oka A, Abe-Outchi A:** Ocean oxygen depletion due to decomposition of submarine methane hydrate; *Geophysical Research Letters*, 41, pp. 5075-5083, (2014)
- Zuberi B, Johnson KS, Aleks GK, Molina LT, Molina MJ:** Hydrophilic properties of aged soot; *Geophysical Research Letters*, 32, L01807, doi: 10.1029/2004GL021496, (2005)

Kirchhain, im Februar 2015,

Franz Dietrich Oeste