



Wie der Klimawandel die Welt verändert

Eine Ausstellung der
Stiftung Umwelt und Entwicklung
Nordrhein-Westfalen

Mit Fotos von Ragnar Axelsson
und anderen

Konzeption:
Michael Funcke-Bartz

IPCC: Die Erwärmung des Klimasystems durch den Menschen ist eindeutig

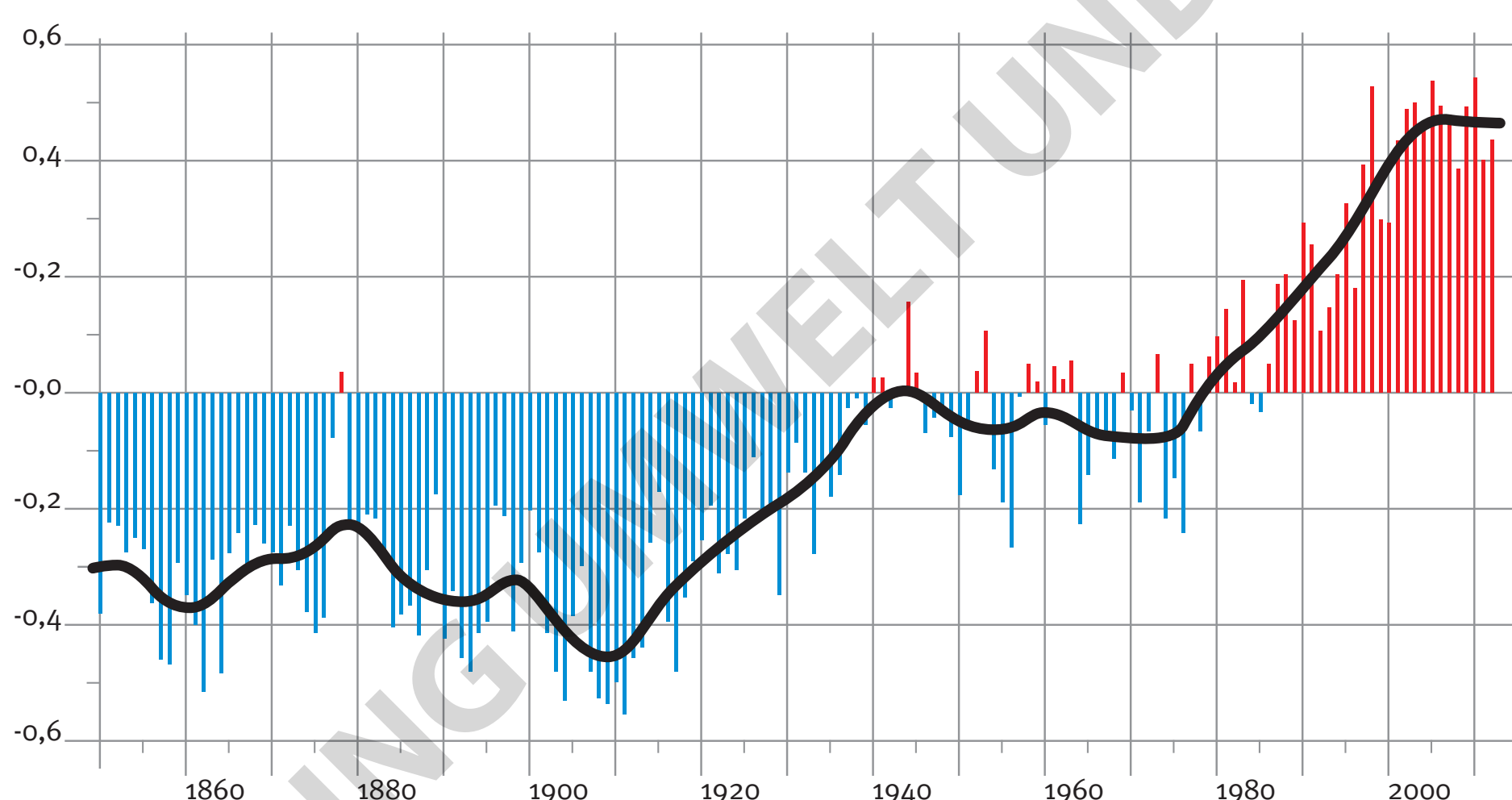
Der Weltklimarat (IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change) legte 2013/2014 seinen 5. Sachstandsbericht vor. Er kommt darin zu dem Ergebnis, dass der Einfluss des Menschen im Verlauf des 20. Jahrhunderts zum dominierenden Faktor der Klimaveränderungen geworden ist.

Bliebe der Ausstoß von Treibhausgasen unverändert, würde bereits bis zur Mitte dieses Jahrhunderts die globale Mitteltemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau um 2° C steigen. Ein Überschreiten dieser Marke würde massive Störungen im globalen Klimasystem verursachen. Von 2010 bis 2012 hat die Emission von Treibhausgasen allerdings schon um 3,1 Prozent zugenommen. Setzt sich dieser Trend fort, droht ein Temperaturanstieg zwischen 3° und 5° C.



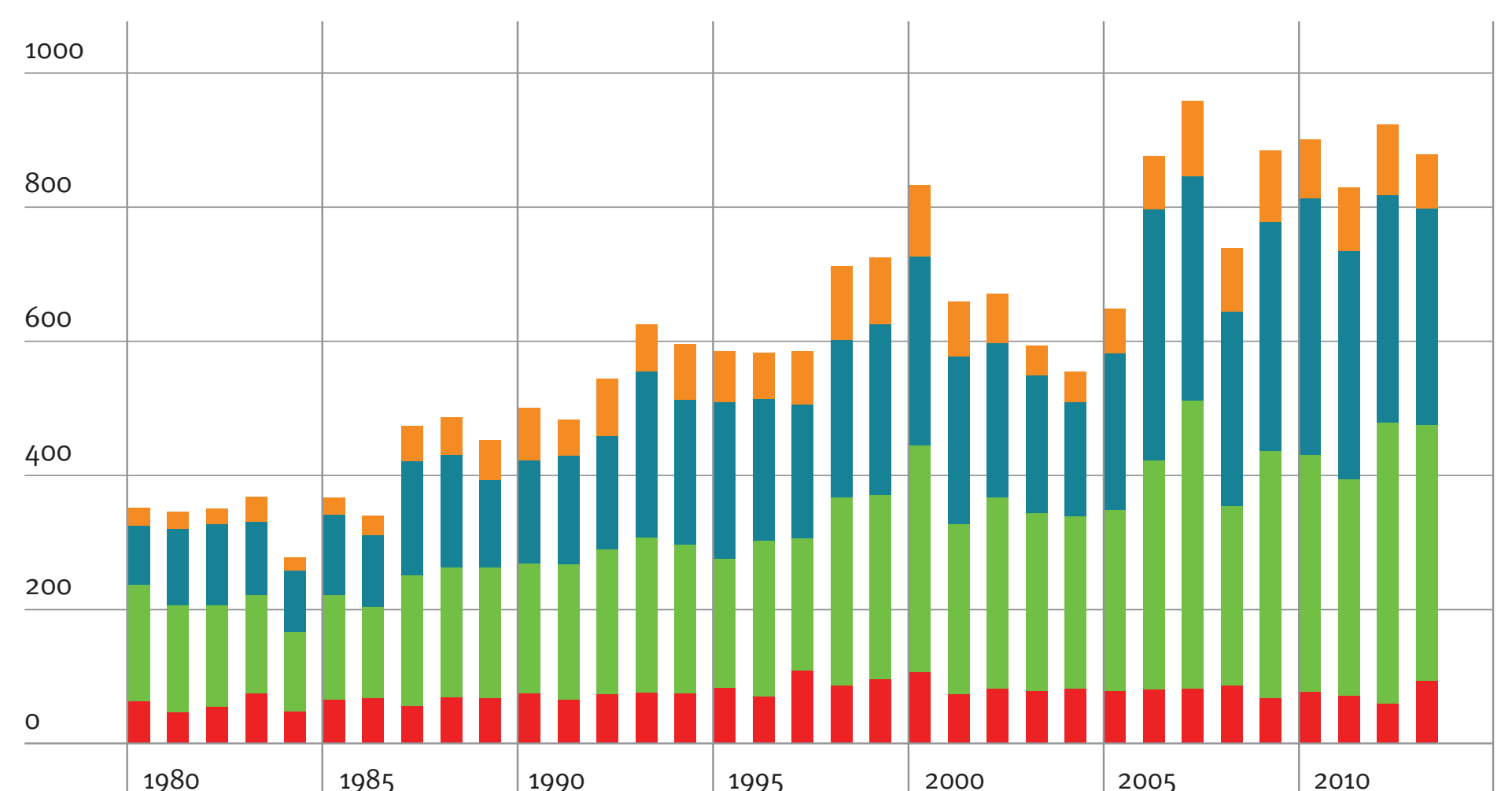
Foto: Ingus Evertovskis

Steigende Temperaturen



Veränderung der globalen Mitteltemperatur im Zeitraum 1850–2005
© Climate Research Unit, Universität von East Anglia, Norwich
(Temperaturanomalie im Vergleich zum Referenzzeitraum 1961–1990)

Häufung von Naturkatastrophen



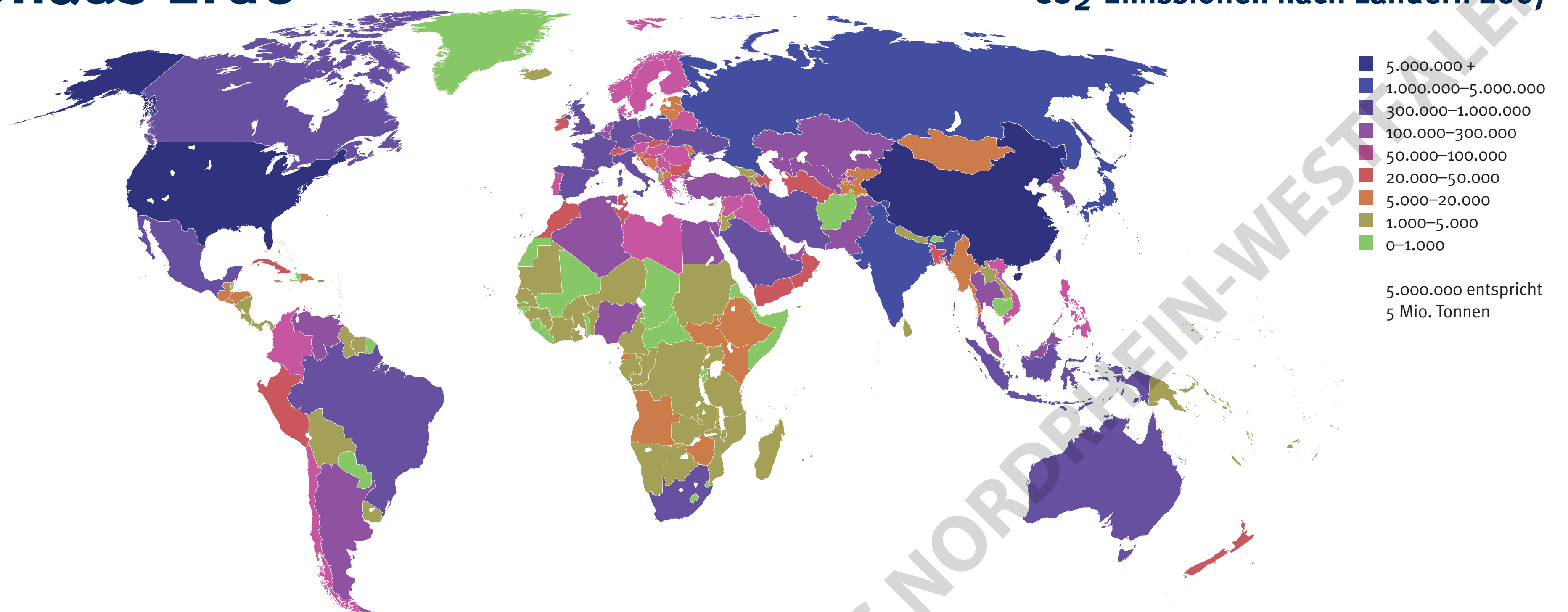
Schadenereignisse weltweit 1980–2013

© 2014 Munich RE, Geo Risks Research, NatCatSERVICE – Stand Februar 2014

- Erdbeben, Tsunami, Vulkanausbruch
- Tropischer Sturm, außertropischer Sturm, konvektiver Sturm, lokaler Sturm
- Überschwemmung, Massenbewegung (z. B. Erdrutsch)
- Extremtemperaturen, Dürre, Waldbrand

Treibhaus Erde

CO₂-Emissionen nach Ländern 2007

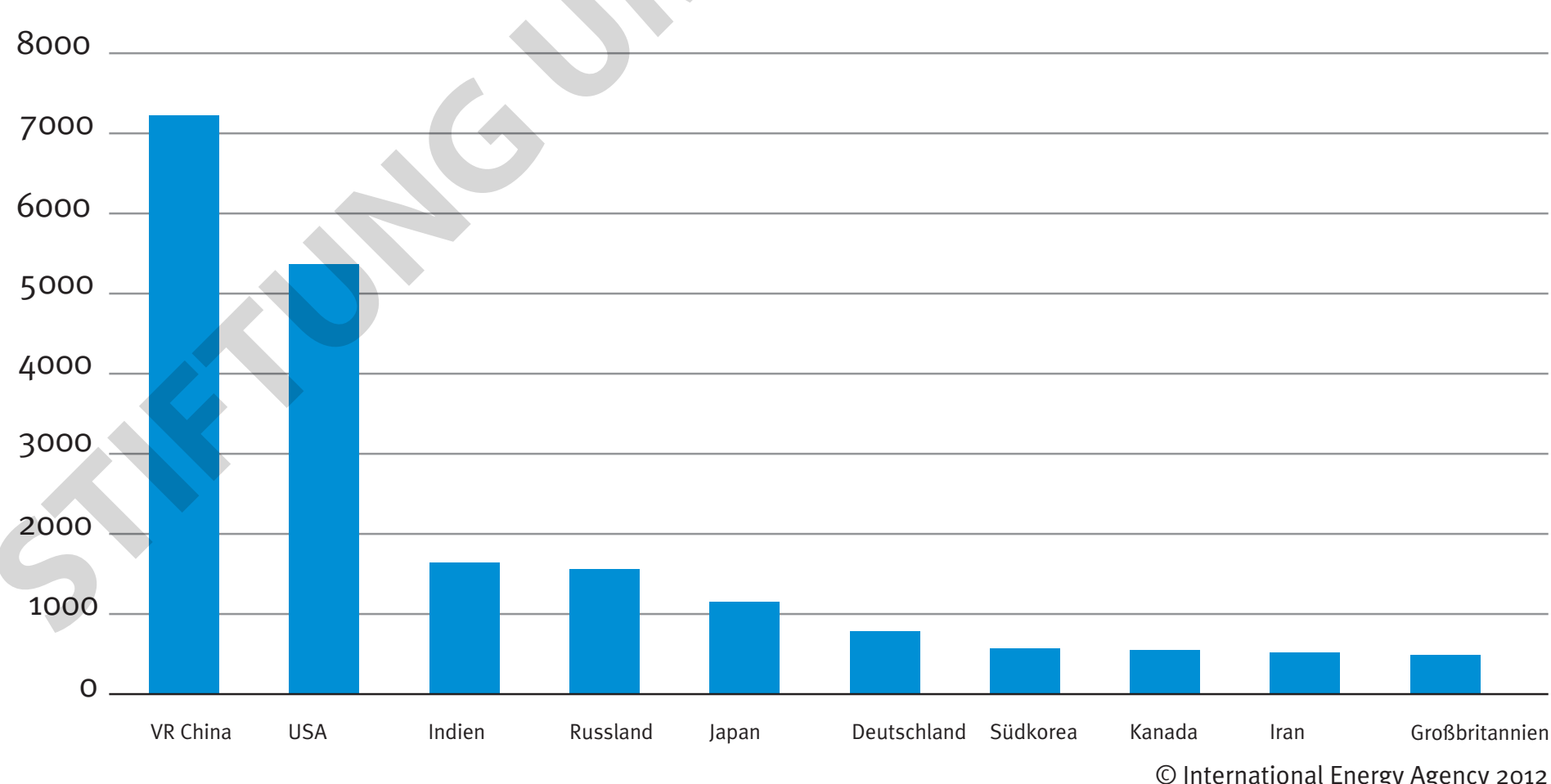


Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid, Methan und andere Gase bewirken in der Atmosphäre, dass nur ein Teil der auf die Erde treffenden Wärmestrahlung in den Welt-raum entweicht. Der Rest wird zur Erde zurückgestrahlt und sorgt, wie in einem Glashaus, für eine Erhöhung der Temperatur. Ohne diesen natürlichen Treibhauseffekt läge die globale Durchschnittstemperatur bei -18° C.

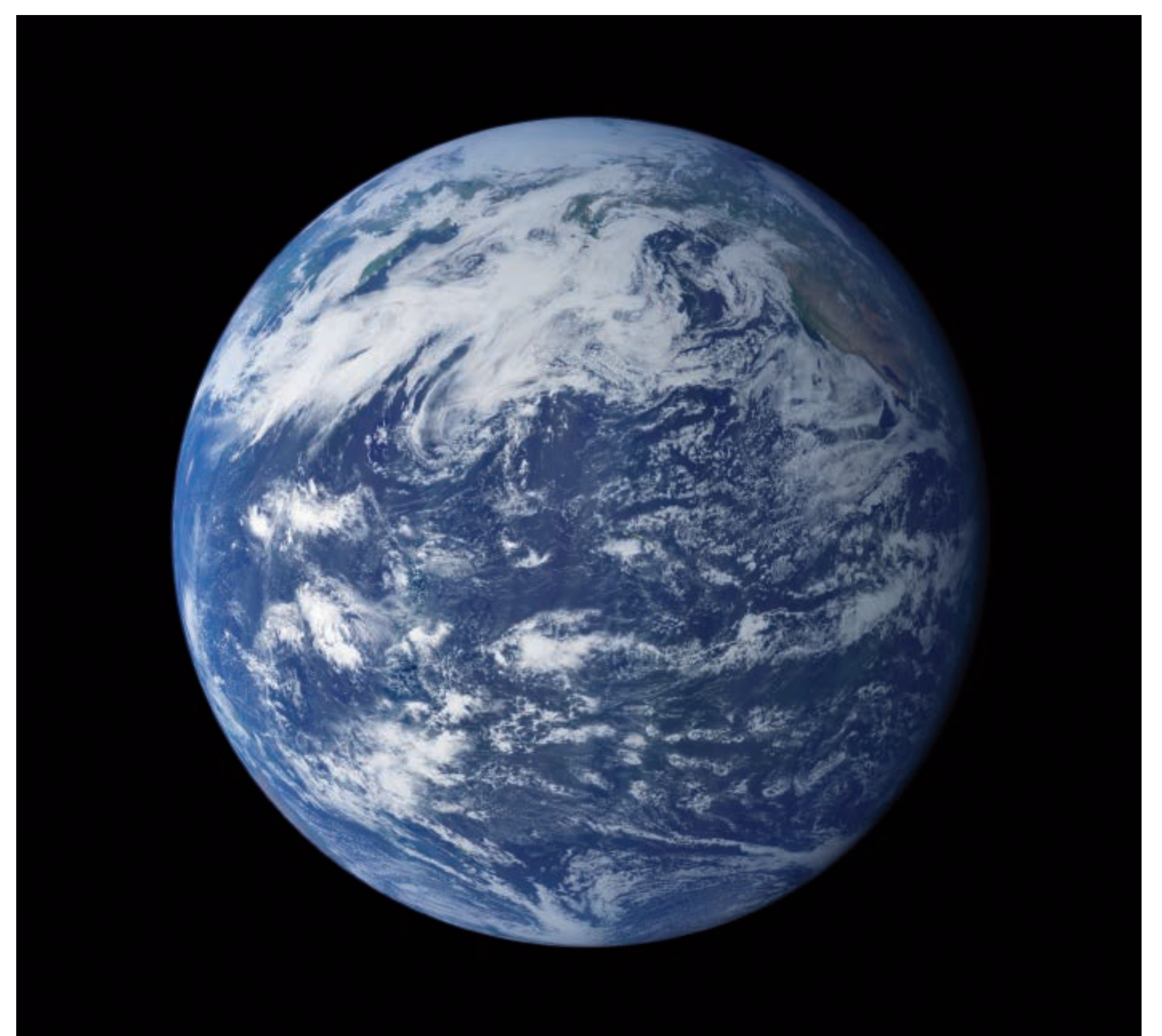
Die Konzentration der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Lachgas ist in der Atmosphäre heute höher als in den vergangenen 800.000 Jahren. Die mittleren Zuwachsraten waren dabei in den letzten 22.000 Jahren noch nie so hoch wie heute.

Hauptverursacher bei CO₂-Emissionen 2010

(aus der Verbrennung von Kraftstoffen, z. B. Kraftwerke, Industrie, Verkehr)



Vom Menschen verursachte Emissionen verstärken den natürlichen Treibhauseffekt. Den größten Zuwachs bei den Treibhausgasen haben inzwischen Schwellenländer. Doch auch weniger industrialisierte Länder tragen zum Beispiel durch Abholzen von Regenwäldern zum globalen Klimawandel bei, weil diese Wälder als Kohlenstoff-senken entfallen.



© NASA - Earth Observatory

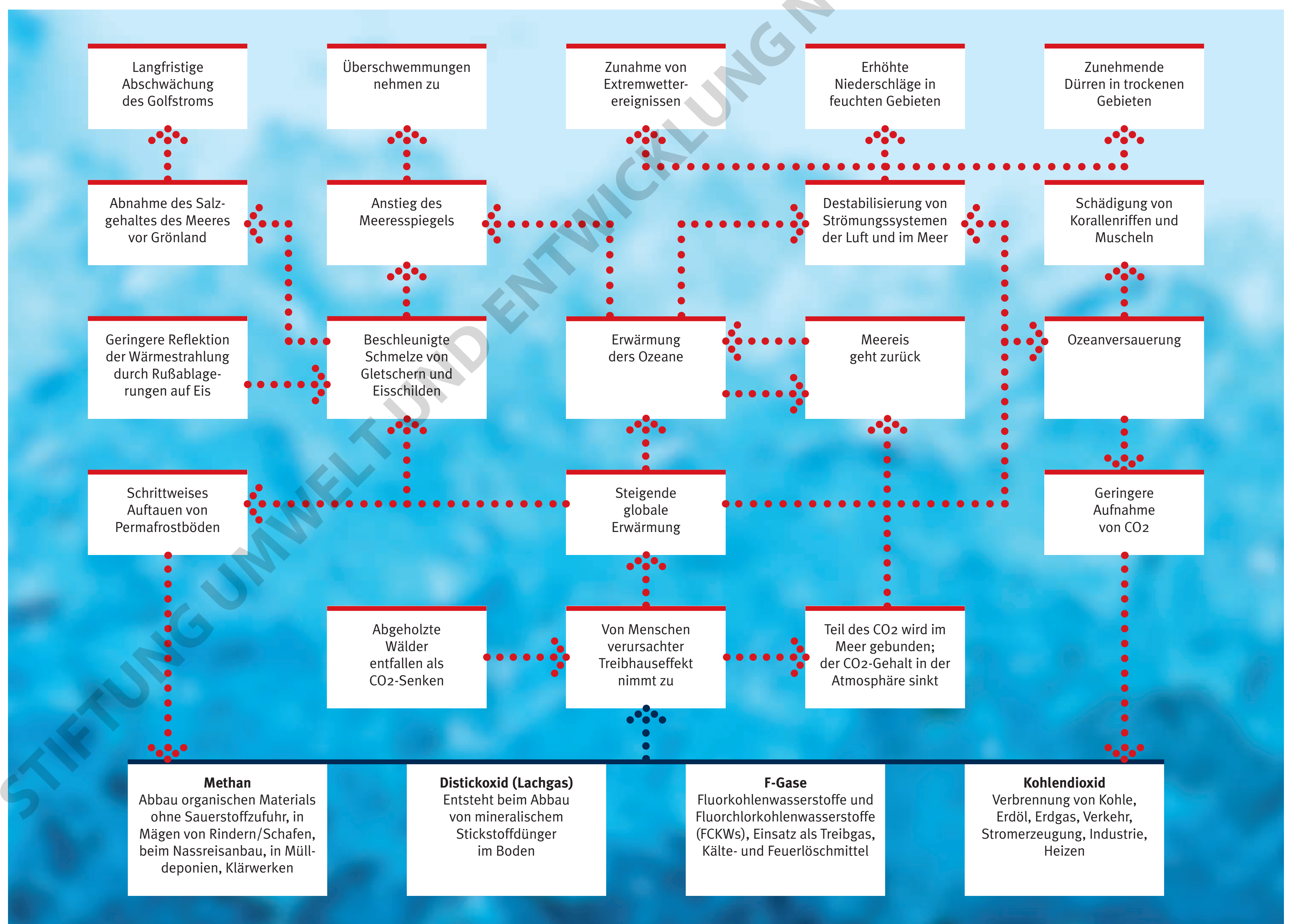
Der Klimawandel findet bereits statt

Im Zeitraum von 1880 bis 2012 ist die globale Durchschnittstemperatur um $0,85^{\circ}\text{C}$ gestiegen. Dabei haben die Temperaturen in der Arktis überdurchschnittlich zugenommen. Besonders ausgeprägt war der Anstieg auf der Nordhalbkugel in den Jahren von 1983 bis 2012, den wärmsten Jahrzehnten seit 1400.

Von 1950 bis 2008 stiegen die Niederschläge in feuchten Regionen der Tropen und in mittleren Breiten der Nordhemisphäre. In trockenen Regionen der Subtropen nahmen sie eher ab.

In Nordamerika und Europa sind Starkregenereignisse häufiger und intensiver geworden, Hitzewellen traten verstärkt in Europa, Asien und Australien auf. Eine Zunahme der Intensität tropischer Wirbelstürme ist zu erwarten.

Auch die Ozeane haben sich deutlich erwärmt: Die Wassertemperatur in den oberen 75 Metern stieg seit 1971 pro Jahrzehnt um jeweils $0,11^{\circ}\text{C}$ und auch das Wasser im tiefen Ozean unter 3000 Meter ist wärmer geworden.



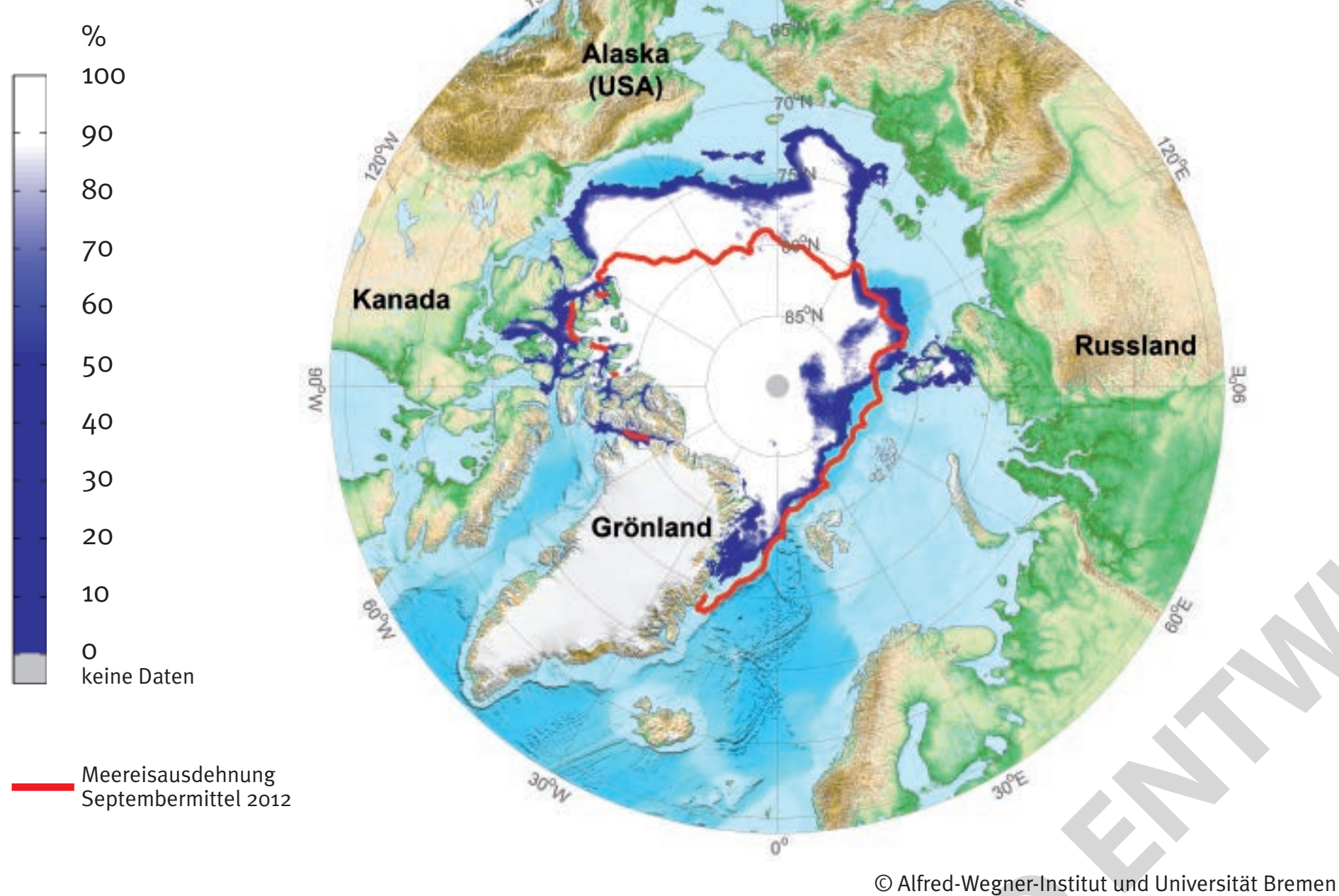
Vereinfachte Darstellung der Wechselbeziehungen im arktischen Klimasystem

Ewiges Eis?

Inzwischen bricht selbst am Nordpol das Eis immer öfter auf. Von 1979 bis 2012 verringerte sich die mittlere Ausdehnung des arktischen Meereises um 3,5 bis 4,1 % pro Jahrzehnt und erreichte im September 2012 den niedrigsten je dokumentierten Wert. Auch die Dicke des Eises geht zurück: In den 1960er-Jahren war das Eis meist ca. 3 Meter dick, 2011 und 2012 nur noch 0,9 Meter.

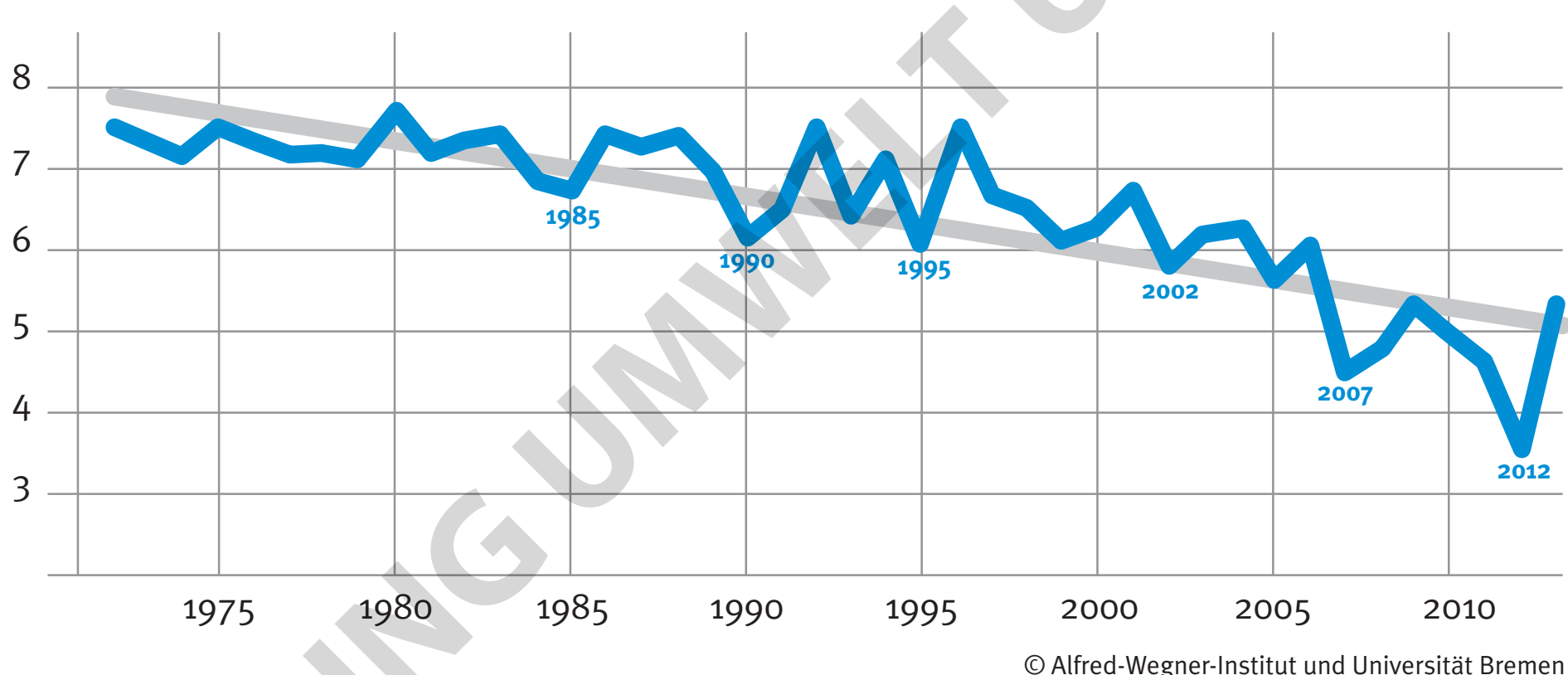
Meereiskonzentration

Mittel 1.–17.9.2013



Meereisausdehnung in der Arktis

Septemberrmittel 1972–2013



Das offene Meer und der inzwischen hohe Anteil von dünnem einjährigem Eis reflektieren deutlich weniger Sonnenstrahlung und geben die Wärme an den Ozean ab. Der eintretende Rückkopplungsprozess verstärkt den Rückgang des Meereises. Überdurchschnittlich steigende Temperaturen in den nördlichen Breiten sind die Folge.



Foto: Ragnar Axelsson

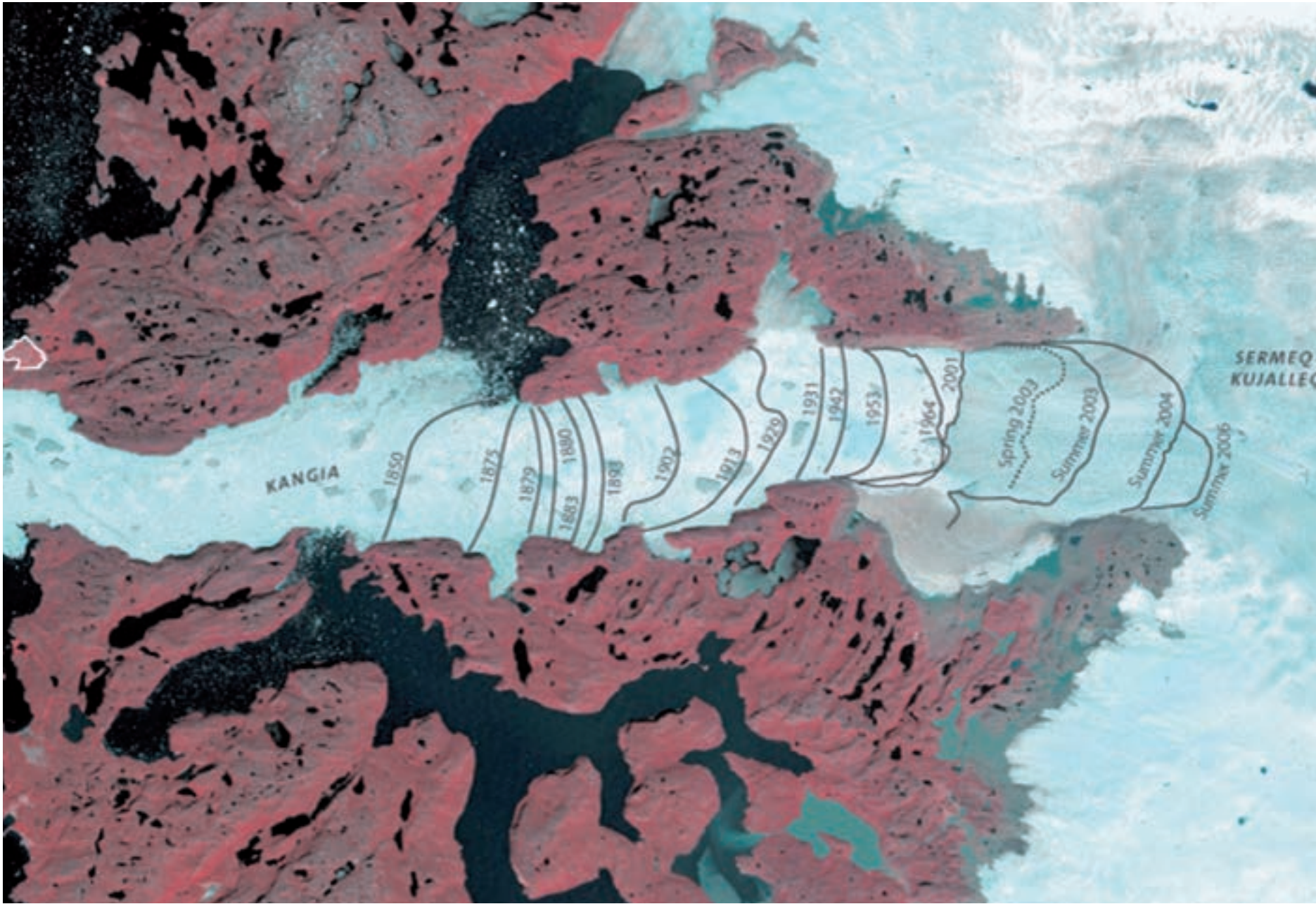


Foto: Ragnar Axelsson



Foto: Michael Funcke-Bartz

Gletscher auf dem Rückzug



© Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS)

Grönland ist zu 81 % mit Eis bedeckt und bindet damit etwa 7 % der Süßwasservorräte der Erde. Der Eisschild erreicht eine Stärke von mehr als 3000 Metern und ist mit einer Fläche von 1,8 Mio. km² fast fünfmal so groß wie Deutschland.

An der Westküste Grönlands gibt es mehr als 20 große Gletscherzungen, über die Eis in den Ozean gelangt. Die Fließgeschwindigkeit hat sich deutlich erhöht: Erreichte der Gletscher des Kangerlussuaq-Eisfjords in den 1990er-Jahren eine Fließgeschwindigkeit von 5 bis 6 Kilometer pro Jahr, so verdreifachte sich diese 2012 auf fast 16 km.



Foto: Michael Funcke-Bartz

Wie in anderen arktischen Regionen, ist es auch in Grönland überdurchschnittlich warm geworden: Während die globale Durchschnittstemperatur von 1880 bis 2012 um 0,85° C stieg, betrug die Zunahme in Grönland allein in den letzten 50 Jahren zwischen 3 und 4 Grad.



Foto: Michael Funcke-Bartz



Foto: Michael Funcke-Bartz

Schneeweiß?

Hartes Eis reflektiert mehr als 80 % der einfallenden Sonneneinstrahlung. Matschiges Eis, das dunkler ist, reflektiert bereits 20 bis 30 % weniger. Durch Rußablagerungen wird dieser Effekt noch verstärkt: Der aus Erdölförderung, Dieselmotoren, Industrieanlagen und Heizungen stammende Ruß saugt die Wärme förmlich auf.

Mit den polaren Winden wird der Ruß auch nach Grönland geweht. Das Abfackeln von Gas aus der immer weiter nach Norden vordringenden Erdölförderung wird für über 40 % der Rußteilchen verantwortlich gemacht. Die Fotos wurden im Juli 2012 aufgenommen, als das im Verlauf der Jahre immer geringere Rückstrahlungsvermögen, die sog. Albedo, massiv sank.



Foto: Ragnar Axelsson

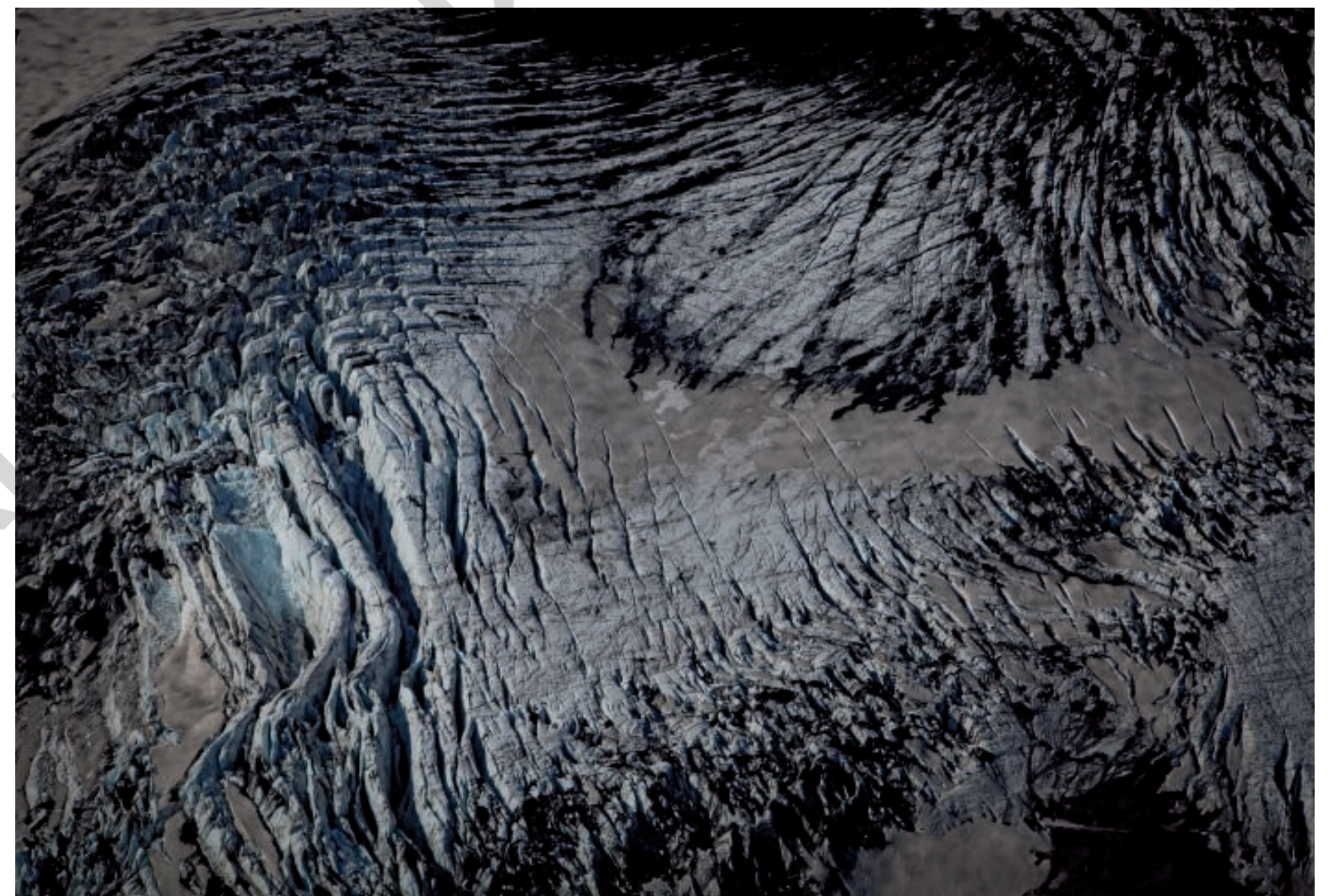


Foto: Ragnar Axelsson



Foto: Ragnar Axelsson

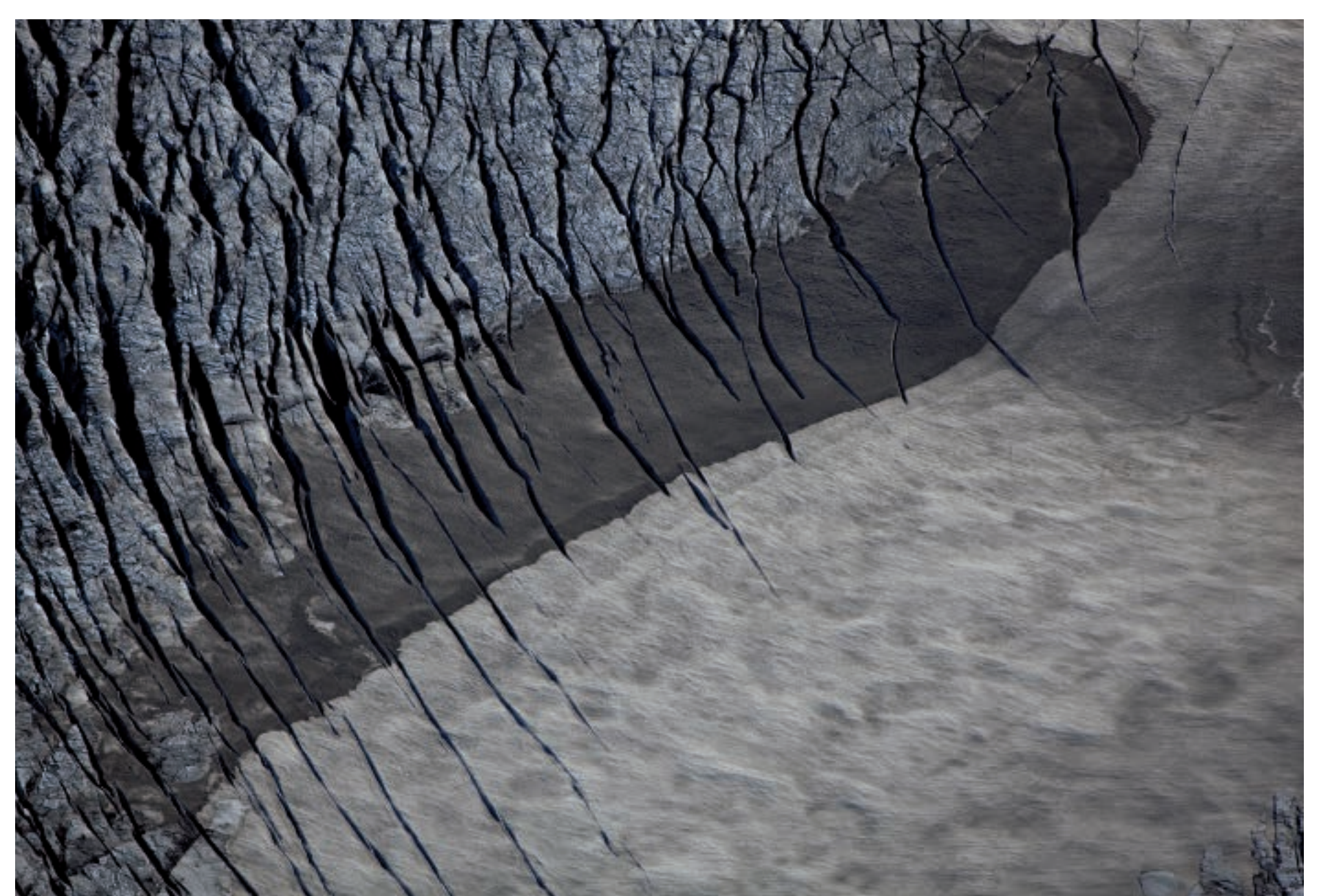
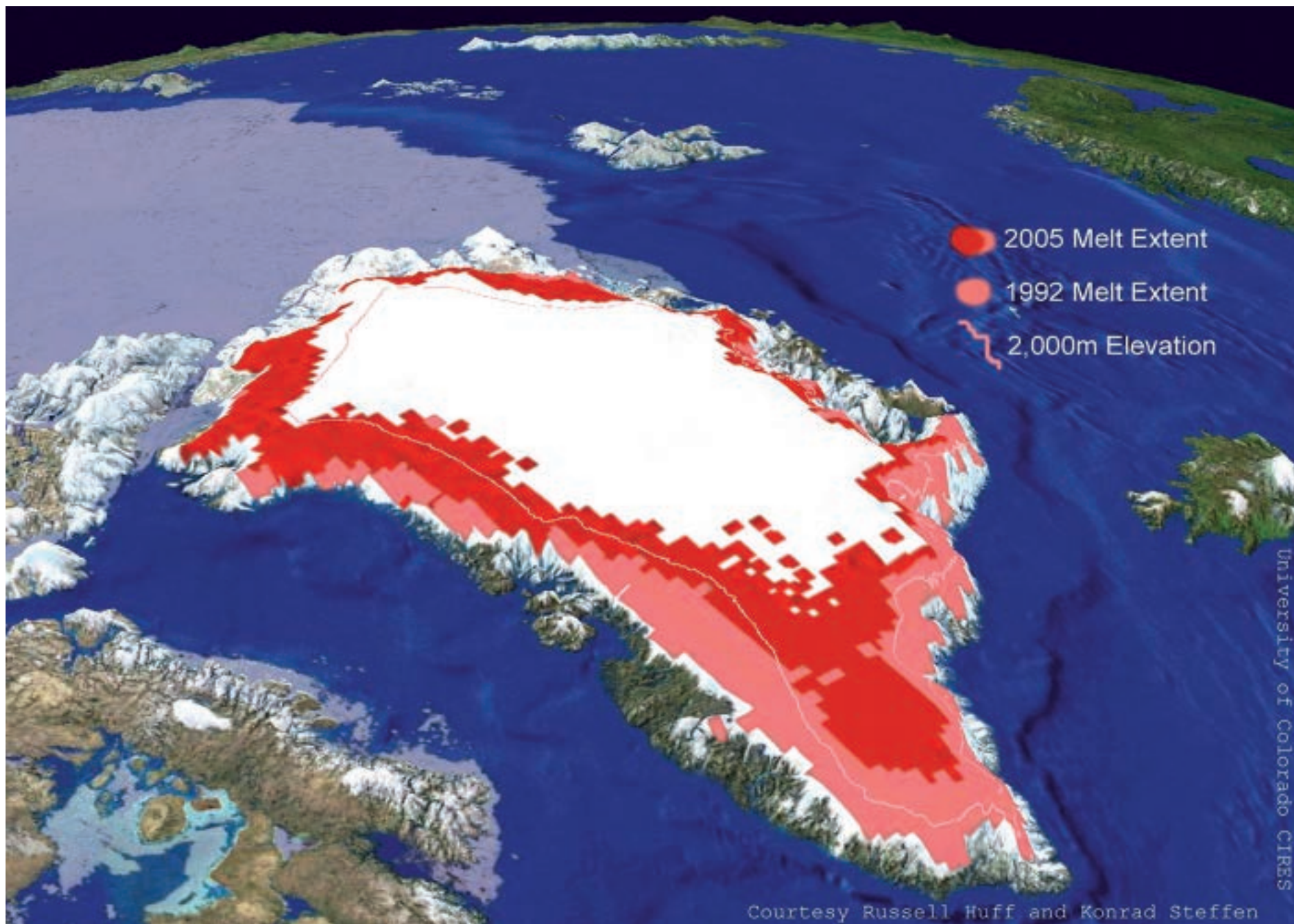


Foto: Ragnar Axelsson

Seen statt Eis



Ein deutliches Merkmal der Erwärmung sind zahlreiche Schmelzwasserseen auf der Westseite des Eisschildes. Der Vergleich zwischen 1992 und 2005 macht deutlich, dass inzwischen auch die Region über 2000 Meter Höhe von der Gletscherschmelze betroffen ist.

Aus den Seen gelangt Wasser durch Spalten oder Gletschermühlen an die Unterseite und von dort an die Aufsetzlinie des Gletschers. Dort wirkt das Schmelzwasser wie ein Gleitmittel und beschleunigt die Fließgeschwindigkeit der Gletscher. Diese hat daher in den Randregionen Grönlands seit den 1990er-Jahren stark zugenommen.



Foto: Ragnar Axelsson

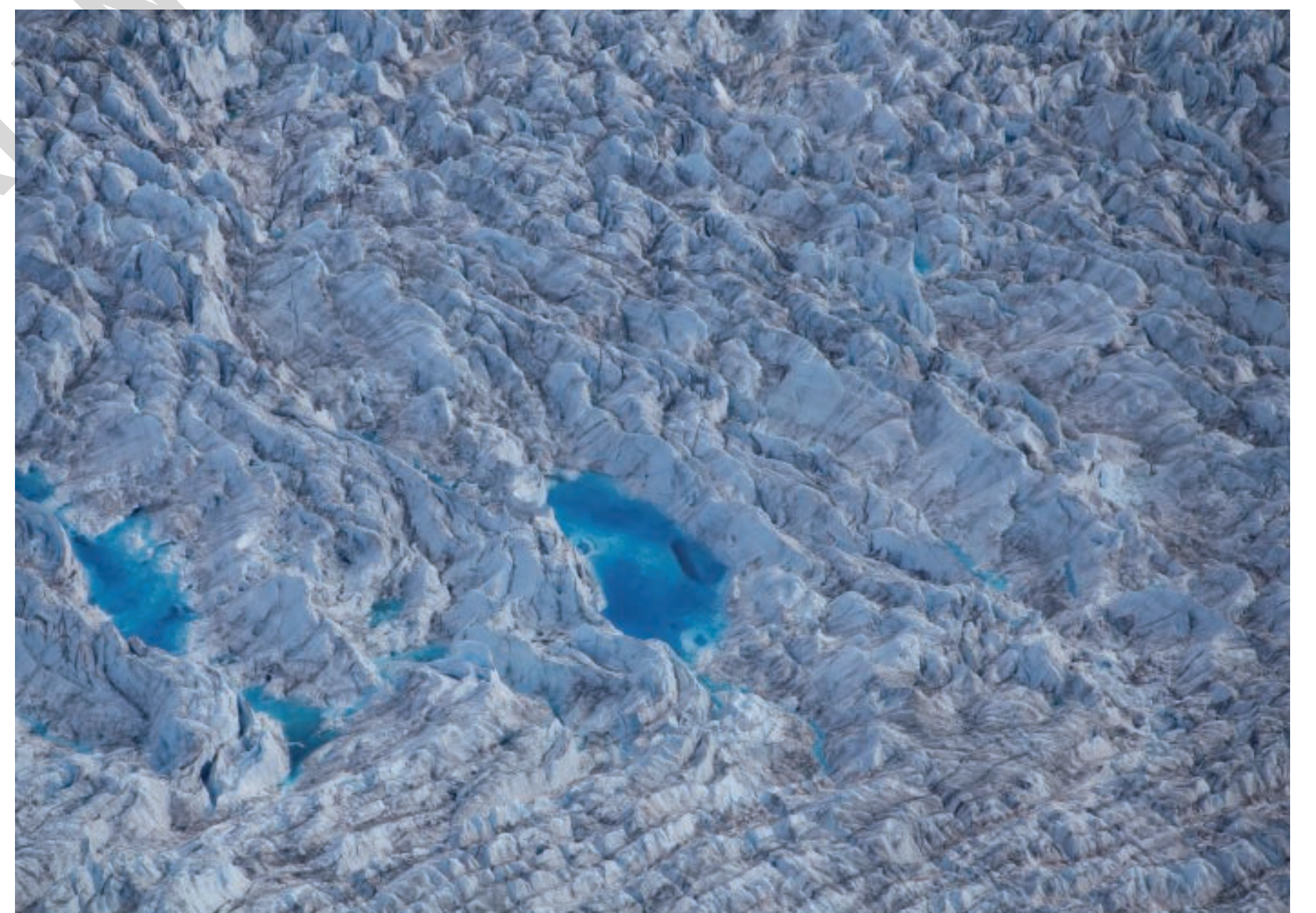


Foto: Ragnar Axelsson



Foto: Ragnar Axelsson



Foto: Ragnar Axelsson

Steigender Meeresspiegel



Foto: Ragnar Axelsson

Meereis ist gefrorenes Ozeanwasser. Seine Schmelze hat daher keinen Einfluss auf den Anstieg des Meeresspiegels. Das Schmelzwasser des grönländischen Inlandeises und abbrechende Eisberge hingegen erhöhen den globalen Meeresspiegel unmittelbar – gegenwärtig um knapp einen Millimeter pro Jahr.

Betrug der Masseverlust des grönländischen Eisschildes von 1992 bis 2001 zwischen 34 und 40 Gigatonnen pro Jahr, so erreichte er zwischen 2002 und 2011 fast den siebenfachen Wert. Das völlige Abschmelzen des grönländischen Eisschildes würde, auch wenn es sich über Jahrhunderte hinzieht, den Meeresspiegel weltweit um etwa sieben Meter ansteigen lassen.



Foto: Michael Funcke-Bartz

Tauende Gletscher und Eisschilde sowie das größere Volumen des erwärmten Wassers haben zwischen 1901 und 2010 zu einem globalen Anstieg des mittleren Meeresspiegels um etwa 19 cm geführt. In den letzten 20 Jahren hat sich der jährliche Anstieg fast verdoppelt.

Folgen des Klimawandels

Die globale Erwärmung bewirkt weltweit tief greifende Veränderungen.

- Ansteigende Meeresspiegel und stärkere Sturmfluten führen zu Überschwemmungen und bedrohen Mensch und Natur.
- Extremwetterereignisse wie Stürme und Starkregen treten verstärkt auf.
- Extreme Hitzeperioden und Dürren zerstören Ernten und verknappen das Wasser.
- Höhere Wassertemperaturen und die Versauerung der Meere führen zum Absterben von Korallenriffen, die besondere Bedeutung für die Artenvielfalt haben und auch als Brandungsschutz wichtig sind.

Diese Veränderungen werden regional unterschiedlich ausgeprägt sein, jedoch ärmere Länder besonders treffen.

Wie stark sich der Klimawandel tatsächlich auswirkt, ist nicht zuletzt davon abhängig, in welchem Maß es der steigenden Weltbevölkerung gelingt, ihren Verbrauch an Energie, Rohstoffen, Wasser und Flächen in klimaverträgliche Bahnen zu lenken.



Überschwemmungen östlich von Manila im August 2012

Foto: Rolex Dela Pena



Gestrandetes Fischerboot im ausgetrockneten Aralsee, Usbekistan

Foto: Daniel Prudek



Sturmschäden in deutschem Mittelgebirge

Foto: Michl

Grüne Lungen unter Druck

Wälder, insbesondere tropische Regenwälder, spielen als Kohlenstoffspeicher und CO₂-Senken eine zentrale Rolle. Durch Abholzen, Abbrennen oder andere Schädigungen gelangt der gespeicherte Kohlenstoff als CO₂ wieder in die Atmosphäre und trägt rund 20 Prozent zum globalen Klimawandel bei.

Von besonderer Bedeutung ist das Amazonasgebiet. Allein von 2000 bis 2010 wurden dort 240.000 km² Regenwald gerodet, das ist mehr als die Fläche Großbritanniens. Hauptursache dafür ist, neben dem Bau von Straßen und Wasserkraftwerken, die weltweit rapide steigende Nachfrage nach Fleisch, Sojabohnen für Tierfutter sowie nach Zuckerrohr und Palmöl für pflanzliche Treibstoffe. Die extensive Rinderzucht potenziert den Treibhauseffekt: Wiederkäuer produzieren bei der Verdauung Methan, das 21-mal klimaschädlicher ist als CO₂.

Auch wenn die brasilianische Regierung das Tempo der Regenwaldvernichtung verlangsamt hat, geht die oft illegale Rodung weiter. Darüber hinaus führen zunehmende Dürren im südlichen Amazonasgebiet dazu, dass Bäume absterben und Waldbrände zunehmen.

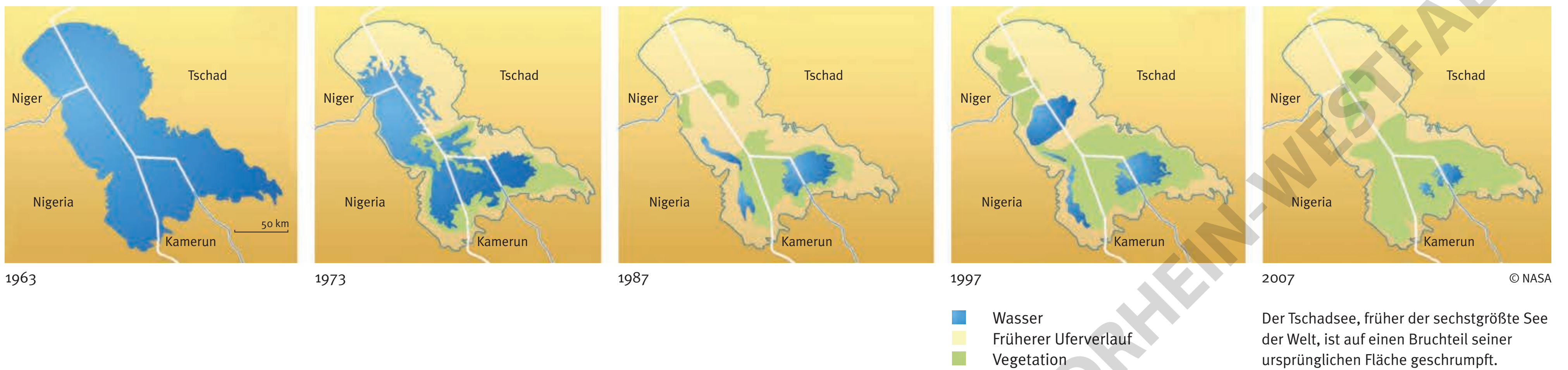


Die Satellitenfotos der brasilianischen Provinz Rondonia zeigen die Ausmaße von Besiedlung und Regenwaldvernichtung.



Foto: Sunshine Pics

Mehr Hitze und Dürren



In Westafrika ist im letzten Jahrhundert die Temperatur mit bis zu 2,5° C überdurchschnittlich stark angestiegen. Dies trifft die mehr als 300 Millionen Menschen in der Sahelzone besonders hart. Ernteaussfälle als Folge von Dürren führen immer wieder zu Hungersnöten.

Durch die Erwärmung des Meeres vor Westafrika wird der Monsun schwächer und verlagert sich nach Süden. Im Sahel geht mit zunehmender Trockenheit die Vegetation zurück. Das reduziert die Wolkenbildung, sodass noch weniger Regen fällt. Hinzu kommt: Auf immer mehr Flächen werden Baumwolle und Erdnüsse für den Export angebaut – statt an die Trockenheit angepasste Getreidesorten für die Selbstversorgung.



Waldbrand in Serbien

Foto: photo4luck



In der Sahelzone Westafrikas sind 19 Millionen Menschen von Hunger bedroht und von Hilfslieferungen abhängig.

Foto: Helmut Fohringer

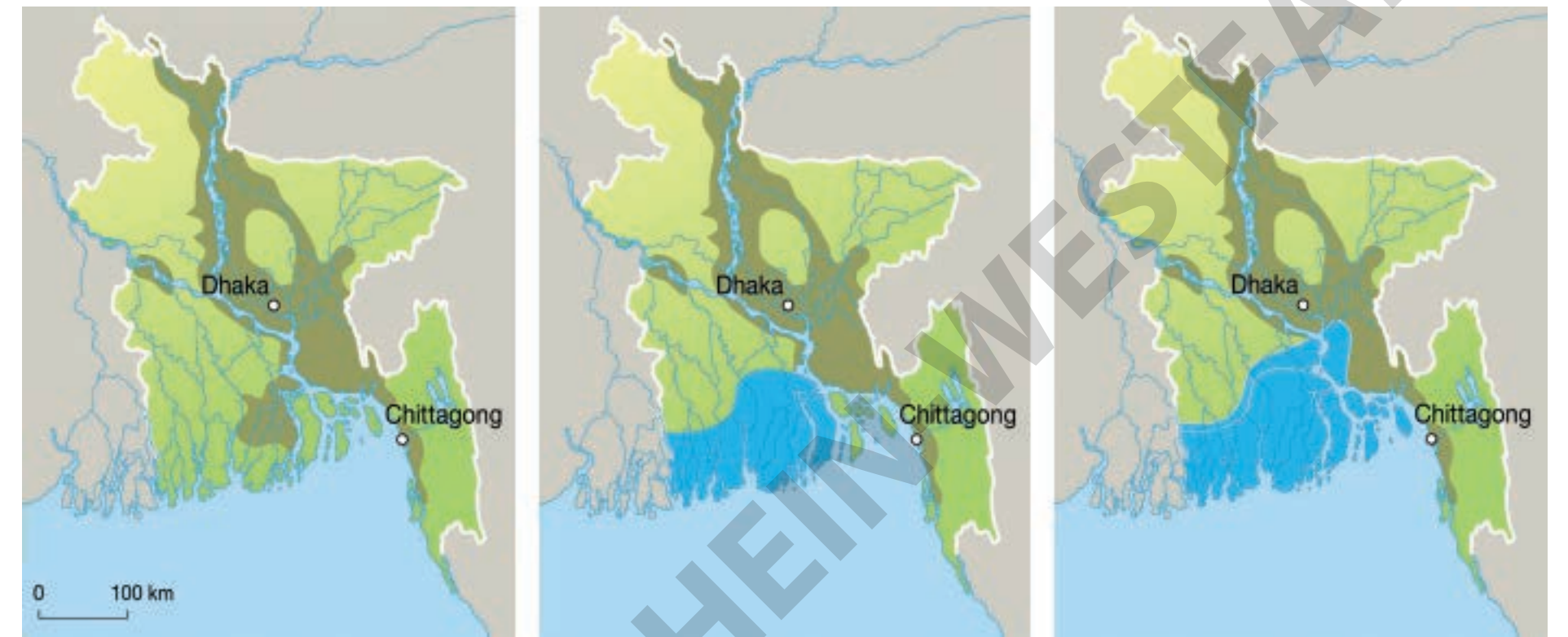
Auch in Europa nehmen Dürren und Hitze zu. Mehrere zehntausend Menschen starben durch extreme Hitzeperioden 2003 in Westeuropa und 2010 in Russland. Trockenheit und hitzebedingte Feuer verursachten in Russland hohe Ernteeinbußen und wirtschaftliche Verluste in Milliardenhöhe.

Insbesondere in Südeuropa wird die Trockenheit weiter zunehmen. Dies führt zu Wasserknappheit, Ertragseinbußen in der Landwirtschaft und steigender Arbeitslosigkeit.

Land unter!

Der Weltklimarat IPCC warnte 2013, dass der Meeresspiegel bis zum Ende des Jahrhunderts bis zu 82 Zentimeter steigen könnte. Selbst wenn der Klimaschutz erheblich verstärkt wird, sind es noch mindestens 26 Zentimeter. Besonders bedroht sind dadurch die Inselstaaten Ozeaniens, Indonesien und die Philippinen.

Stark gefährdet ist auch Bangladesch, eines der ärmsten Länder Asiens. Wegen der flachen Küstengewässer und einem niedrig liegenden Festland können Sturmfluten hoch auflaufen und weite Gebiete überschwemmen. Von katastrophalen Überschwemmungen waren 1998 15 Millionen Menschen, 2004 sogar 36 Millionen betroffen, fast ein Drittel der Bevölkerung des Landes.



Bangladesch
Aktueller Meeresspiegel

+ 1 Meter
15 Millionen Menschen betroffen
17.000 km² Land überschwemmt

+ 1,5 Meter
18 Millionen Menschen betroffen
22.000 km² Land überschwemmt



Gangesdelta in Bangladesch: Durch Aufschüttungen und Wellenbrecher sollen Überflutungen verhindert werden.

Foto: Boethling/Welthungerhilfe



Das Oosterschelde-Sturmflutwehr ist Teil der Deltawerke, die hauptsächlich in der niederländischen Provinz Zeeland vor Sturmfluten und Hochwasser schützen sollen. Die gesamte Sperranlage ist neun Kilometer lang.

Foto: Ralph Goldmann

Der Anstieg des Meeresspiegels stellt auch die Niederlande vor große Herausforderungen. Das Land reagiert mit einem umfassenden Wassermanagement. Schleusen, Pumpsysteme und schwimmende Häuser gehören ebenso dazu wie Flusserweiterungen, Deicherhöhungen und Renaturierungen.

Wärmeres Wasser, stärkere Stürme

Am 7. November 2013 erreichte der Taifun Haiyan mit der noch nie gemessenen Geschwindigkeit von 314 km/h die Philippinen. Eine gewaltige Sturmflut überschwemmte die Küstengebiete der Inseln Samar und Leyte.

Etwa 8.000 Todesopfer, 27.000 Verletzte und mehr als eine Million beschädigte oder zerstörte Häuser waren die Folge. Die direkten ökonomischen Schäden beliefen sich auf etwa 9,7 Milliarden US-Dollar.

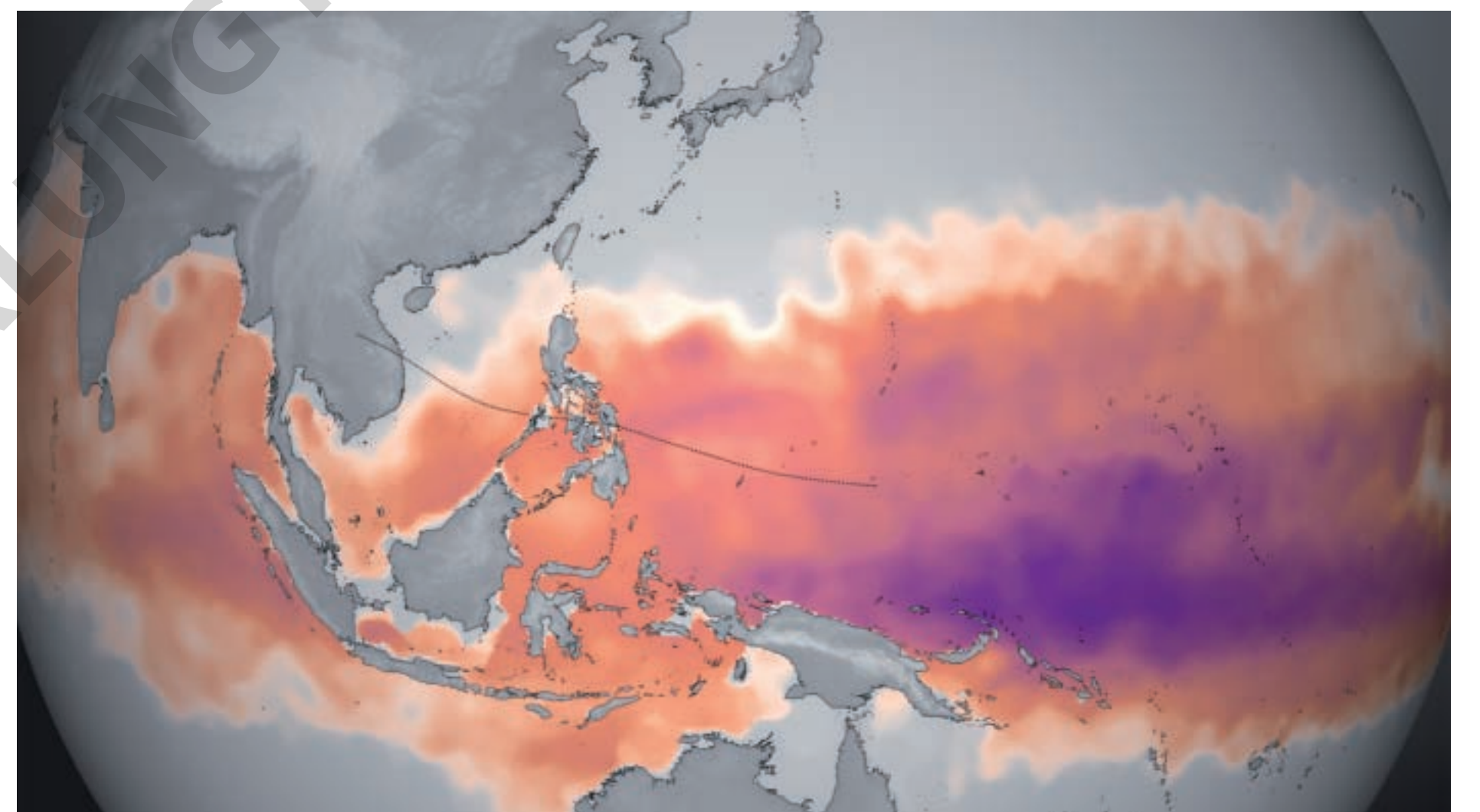
Eine ungewöhnlich mächtige und warme Wasserschicht unterhalb der Meeresoberfläche mit Temperaturen von mehr als 26° C sowie starke Windströmungen von der Meeresoberfläche bis in große Höhen führten zu der enormen Kraft von Haiyan.

Mit der Erwärmung der Ozeane wird mehr Wasserdampf in kreisende Tiefdrucksysteme gepumpt. Zahl und Intensität der tropischen Wirbelstürme in Asien liegen inzwischen deutlich über dem Langzeitdurchschnitt. Auch Australien, Mittelamerika und die Südstaaten der USA müssen in Zukunft mit erhöhten Risiken durch Wirbelstürme rechnen.



7. November 2013: Der Super-Taifun Haiyan erreicht die Philippinen

© NOAA



© NOAA

Energie (kJoule pro cm²) 0 50 100 150 200 225



New Orleans, 2005: Überflutung durch Hurrikan Katrina

Foto: Nadeem Khawer



Die philippinische Stadt Tacloban nach dem Taifun Haiyan

Foto: Dennis M. Sabangan

Klimaschutz und Klimawandel in NRW



Am 19. September 2003 erreichte der Rheinpegel in Düsseldorf mit 65 cm einen historischen Tiefstand.

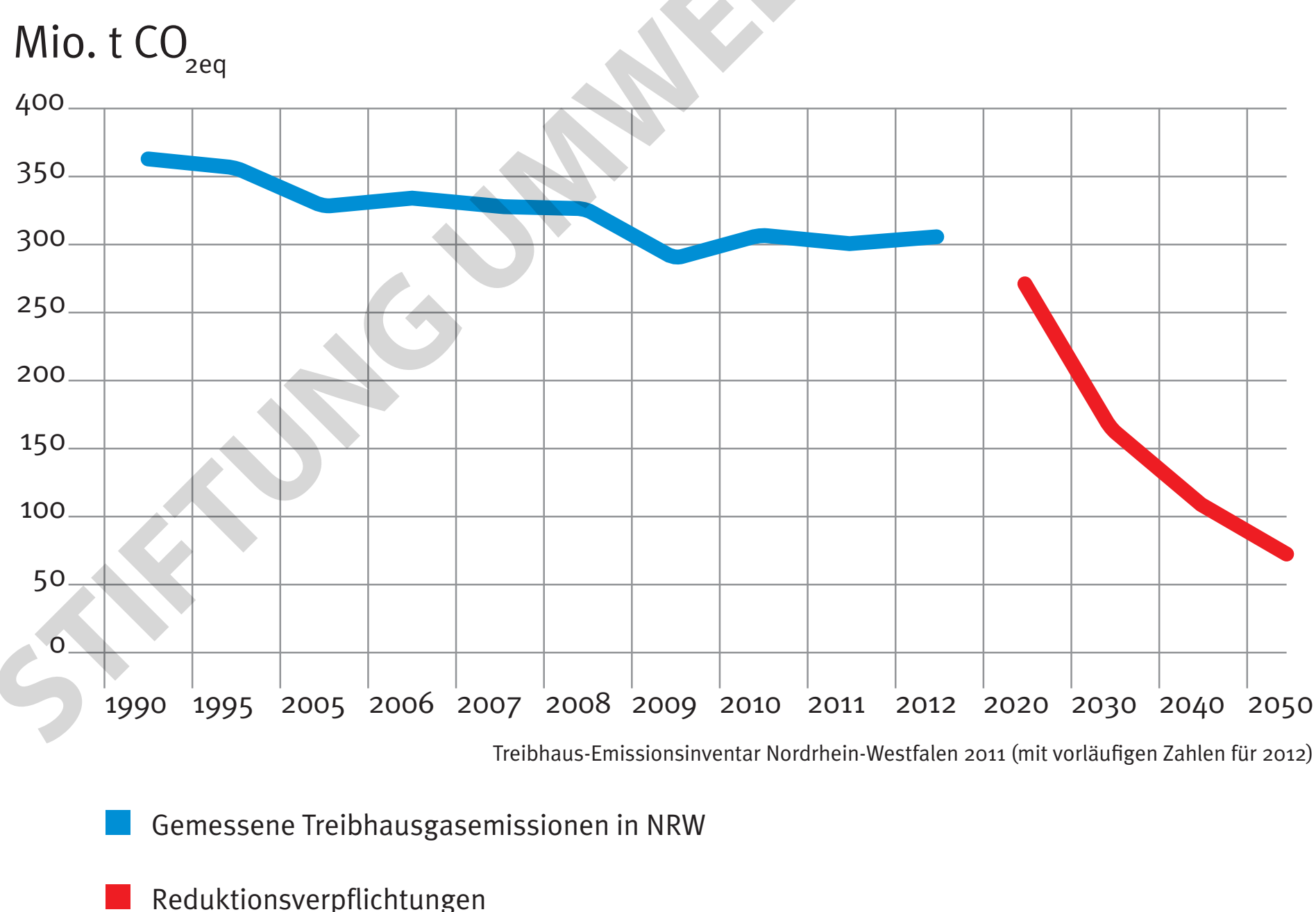
Foto: Gero Breloer



Hochwasserabsperzung am Rhein bei Köln im Januar 2012. Der Höchststand lag damals bei 7,78 Metern.

Foto: Oliver Berg

Nordrhein-Westfalen hat 2013 als erstes Bundesland ein Klimaschutzgesetz verabschiedet. Der Ausstoß schädlicher Treibhausgase soll bis zum Jahr 2020 verglichen mit 1990 um mindestens 25 Prozent und bis 2050 um mindestens 80 Prozent verringert werden. Ein ehrgeiziges Ziel, denn zurzeit werden in NRW rund ein Drittel der in Deutschland entstehenden Treibhausgase ausgestoßen und knapp ein Viertel des Stroms für Privathaushalte sowie 40 Prozent des Industriestroms verbraucht.



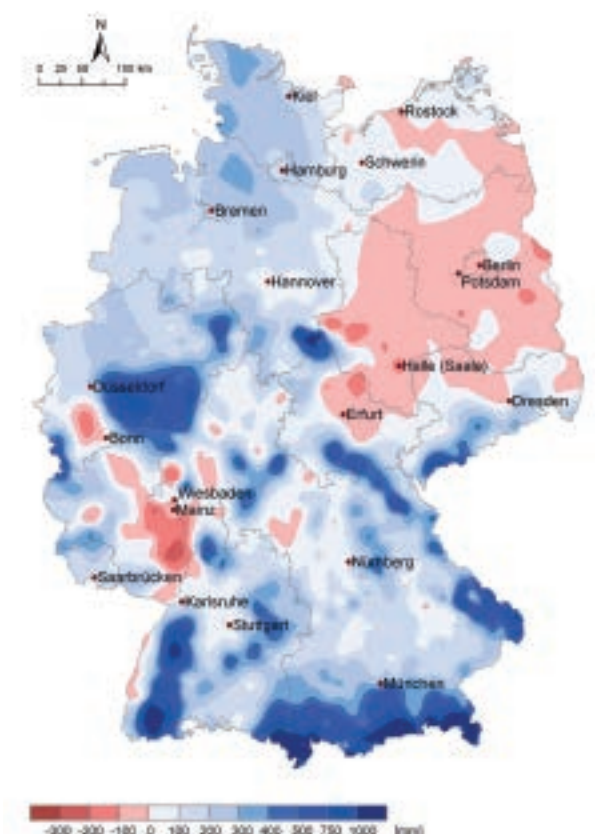
Klimawandel in NRW

- Die Durchschnittstemperatur erhöhte sich seit 1901 um 1,4° C, mit steigender Tendenz.
- Hitzewellen und Tage mit Temperaturen über 30° C nehmen zu.
- Die jährlichen Niederschlagsmengen stiegen um etwa 13 Prozent.
- Die Zahl der Schneetage hat sich von 1955 bis 2008 um 21 Tage pro Jahr reduziert.

Regionale Unterschiede werden vermutlich verstärkt. Dort, wo es bereits heute trockener und wärmer ist, wird ein weiterer Temperaturanstieg erwartet; niederschlagsreiche Gebiete wie die Mittelgebirge haben mit mehr Regen zu rechnen, der sich stärker in den Winter verlagert.



Differenzen der Jahresmittel der Lufttemperatur in Deutschland zwischen den Perioden 2001–2010 und 1901–1910



Mittlere Jahressumme der klimatischen Wasserbilanz (Niederschlag minus potenzielle Verdunstung) 2001–2010

© Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung

Die Folgen des Klimawandels in NRW

- ➔ Zugvögel wie Bachstelze und Kiebitz überwintern in NRW. Viele Amphibien und Fische sind durch die steigenden Wassertemperaturen gefährdet.
- ➔ Exotische Tier- und Pflanzenarten breiten sich aus: Hübsche Halsbandsittiche, aber auch der Ochsenfrosch, der einheimische Amphibien verdrängt, oder die Beifuß-Ambrosie, die Heuschnupfen und Asthmaanfälle auslösen kann.

Giftige Dornfinger-Spinne



Foto: Robert Boczki

Ochsenfrosch



Foto: Michael Ireland

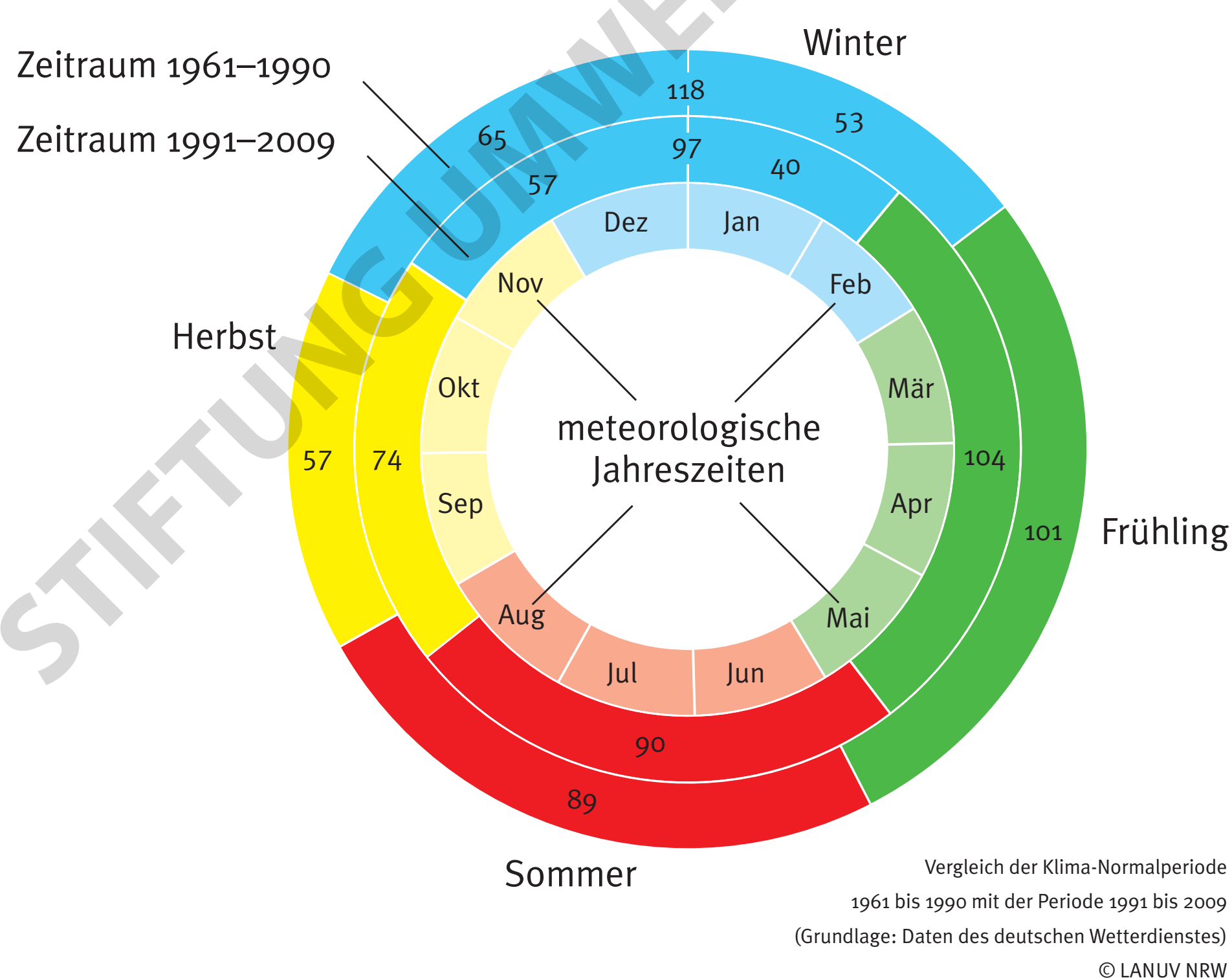


11. Juni 2014 – Sturmtief Christian hat große Schäden im Ruhrgebiet hinterlassen.

Foto: picture alliance

- ➔ Frosttage haben abgenommen, Sommertage zugenommen. Seit 1951 hat sich die Vegetationszeit um etwa 16 Tage verlängert.
- ➔ Trockenheit, Hitze und fehlende Frosttage beeinträchtigen das Wachstum von Getreide und führen zu Ernteverlusten.

Phänologische Jahreszeiten in NRW



- ➔ Flach wurzelnde Bäume wie Fichten sind durch Trockenheit und stärker werdende Stürme besonders bedroht.
- ➔ Häufigere Starkregen verursachen Schäden an Gebäuden und Verkehrseinrichtungen und verstärken die Bodenerosion.
- ➔ Hitzewellen bewirken vor allem in dicht bebauten Städten gesundheitliche Beeinträchtigungen bei Kranken, älteren Menschen und kleinen Kindern.
- ➔ Kraftwerke, die auf Kühlwasser aus Flüssen angewiesen sind, können bei Wasserknappheit zur Drosselung der Energieerzeugung gezwungen sein.
- ➔ Extremwetterereignisse haben hohe Kosten zur Folge. So verursachte ein Hagelunwetter mit Eisklumpen von bis zu 6 cm Durchmesser im Juli 2013 nordöstlich des Ruhrgebiets immense Schäden. Und der Orkan Kyrill richtete im Januar 2007 allein in den Wäldern Nordrhein-Westfalens Schäden von über 1,5 Milliarden Euro an.