

Erderwärmung, ohne uns?

Gesamtschule Walddörfer
Jugend forscht 2007
Geo- und Raumwissenschaften

Judith Gidion & Rudolf Kling

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
Globale Erwärmung, ohne uns?	3
2. Der Nordatlantikstrom	3
2.1 Verlauf und Effekte	4
2.2 Antriebsfaktoren	4
2.3 Mögliche Veränderungen und ihre Folgen	5
2.3.1 Veränderungen in der Salinität	5
2.3.1.1 Das Grönländische Eisschild	5
2.3.1.2 Süßwasserzufluss und Niederschlag	6
2.3.2 Veränderung der Luft- und Wassertemperatur	7
3. Unsere Untersuchung: Der Weg von den Daten zu den Karten	7
3.1 Verwendetes Klimamodell ECHAM 5-A1B	7
3.2 Arbeit mit dem Klimarechner	7
3.3 Erstellte Grafiken	7
3.3.1 Veränderung der Temperatur	8
3.3.2 Veränderung des Niederschlags	9
3.3.3 Veränderung der Meeresoberflächentemperatur	11
3.3.4 Eisschmelze	11
3.3.5 Ergebnisse	12
3.4 Kritische Anmerkungen	12
4. Zusammenfassung	13
4.1 Danksagung	13
5. Quellen	14

1. Einleitung

Globale Erwärmung, ohne uns?

Wird es in Europa auf Grund der Klimaerwärmung wärmer oder kommt es durch eine Abschwächung des Nordatlantikstroms zu einer Abkühlung?

Wir sind zwei Schüler des Geographie Leistungskurses im Jahrgang 12 der Gesamtschule Walddörfer. Durch das Boschprojekt „Klimawandel und Klimafolgen“ sind wir auf die Idee gekommen, uns am Wettbewerb „Jugend forscht“ mit einer Arbeit im Fachbereich Geo- und Raumwissenschaften zur Klimaerwärmung zu beteiligen.

Wir haben uns mit dem Thema der globalen Erwärmung beschäftigt, da dieses zurzeit sehr aktuell ist und die Zukunft der Welt ernsthaft beeinflussen könnte. Wir wollten uns nun aber spezieller mit den Bedingungen unserer unmittelbaren Umgebung beschäftigen, also mit Europa.

Der globalen Erwärmung könnte in Europa die Veränderung des Nordatlantikstrom, Ausläufer des Golfstroms, entgegen wirken. Der Nordatlantikstrom ist ohnehin für das außergewöhnliche europäische Klima verantwortlich. Er sorgt dafür, dass es bei uns wärmer ist als in vergleichbaren Breiten.

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Nordatlantikstrom genauer zu untersuchen, werden wir mit Hilfe der CERA – Datenbank Veränderungen in der Niederschlagsmenge, der Luft- und Wassertemperatur und der daraus resultierenden Eisschmelze in der Arktis analysieren. Dies sind die wichtigsten Faktoren, die den Nordatlantikstrom beeinflussen, denn durch eine Erwärmung und eine Herabsetzung der Salinität könnte es zu einer Abschwächung des Nordatlantikstroms kommen. Dies würde einen Abkühlungseffekt für Europa bedeuten.

Die von uns prognostizierte Entwicklung des Nordatlantikstroms werden wir der aus Klimamodellen abgeleiteten globalen Erwärmung gegenüberstellen. Unter Berücksichtigung aktueller Forschungsarbeiten wollen wir im nächsten Schritt versuchen, zu einer Einschätzung zu gelangen, welcher der beiden Faktoren, Erwärmung oder Abkühlung, sich durchsetzen wird.

2. Der Nordatlantikstrom

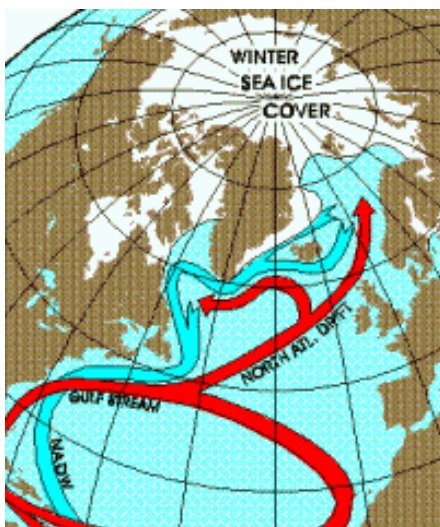


Abb. 1

Der warme Nordatlantikstrom trennt sich vom Golfstrom und bringt warmes Wasser nach Europa.

Quelle: Rahmstorf, 2003

http://www.pik-potsdam.de/~stefan/thc_fact_sheet.html

2.1 Verlauf und Effekte

Der wichtigste Gegenstand unserer Arbeit ist der Nordatlantikstrom, ein Ausläufer des Golfstroms.

Wenn der Golfstrom südlich der Neufundlandbank auf den kalten Labradorstrom trifft, wird er nach Osten in Richtung Europa abgelenkt. Dabei verliert er seine Form als gebündelter Strom und beginnt sich zu verzweigen. Ein Teil fließt als warmer Oberflächenstrom zurück zum Ursprung des Golfstroms. Doch der größte Ast, der Nordatlantikstrom, reicht bis vor die norwegische Küste und lässt sich sogar bis nach Spitzbergen verfolgen. Dieser Teil macht etwa zwei Drittel¹ des gesamten Stromes aus.

Der Nordatlantikstrom hat für das Klima in Nordeuropa eine große Bedeutung. Er verteilt tropische Wärme vorbei an Irland und Großbritannien bis ins Europäische Nordmeer.

Durch diese „Warmwasserheizung“ weisen große Teile West- und Nordeuropas wie Irland, Großbritannien und Skandinavien ein wärmeres Klima auf, als aufgrund ihrer geographischen Breiten zu vermuten wäre. Im Jahresmittel ist es hier bis zu zehn Grad Celsius wärmer als auf den gleichen Breitengraden anderswo auf der Welt, z.B. auf Neufundland oder im südlichen Alaska. Ohne diese Wärmezufuhr wäre nicht nur die Flora und Fauna Nord- und Westeuropas in ihrer Artenvielfalt sehr viel begrenzter, sondern weite Gebiete wären aufgrund von Vergletscherungen bzw. Versteppungen gar nicht besiedelbar.

2.2 Antriebsfaktoren

Angetrieben wird der Nordatlantikstrom durch:

- Die Wirkung der Erdrotation auf die Bewegung des Wassers, die gegen Norden hin zunimmt.
- Die durch die atmosphärische Zirkulation bewirkte Drehbewegung (Passate aus östlichen Richtungen in den Tropen und Westwinde in mittleren Breiten).
- Die thermohaline Zirkulation.

Die thermohaline Zirkulation wird von Dichteunterschieden durch Temperatur und Salzgehalt angetrieben. Das von reinem Wasser bekannte Dichtemaximum liegt bei 3,98°C, es verschiebt sich allerdings mit zunehmendem Salzgehalt zu tieferen Temperaturen.

Die Dichte von Wasser bestimmt, wann das Wasser in tiefere Schichten absinkt. Dafür sind zwei Faktoren verantwortlich:

1. Die Temperatur: je kälter das Wasser, desto höher die Dichte und desto schwerer das Wasser.
2. Der Salzgehalt: je höher der Salzgehalt, desto höher die Dichte und desto schwerer das Wasser.

Auf dem Weg nach Norden kühlt sich das Wasser durch Wärmeabgabe an die Atmosphäre ab. Gleichzeitig verdunsten Teile des transportierten warmen Wassers (Evaporation). Dadurch wird nicht nur Nordwesteuropa erwärmt, sondern auch die Salinität des Wassers im Nordatlantikstrom erhöht (was z.T. noch durch das Ausfrieren von Eis verstärkt wird), wodurch das Wasser im Nordatlantik schwerer und dichter wird als das umgebende Wasser.

¹vgl, Kerz, 2006

Dieses dichtere, kalte und salzreiche Wasser sinkt ab und zieht das wärmere Wasser wie in einem Sog nach Norden.

Es gibt allerdings noch andere Faktoren, die den Nordatlantikstrom antreiben, ohne dass sie durch die globale Erwärmung (nennenswert) beeinflusst werden.

Diese Faktoren sind:

- die Erdrotation
- die Passatwinde

Die nördlichen Passatwinde wehen von Nordosten nach Südwesten und treiben so den Strom an. Sie könnten auch durch eine fortgeschrittene Erderwärmung beeinflusst werden. Bis zu dem Zeitpunkt hätten die anderen Faktoren allerdings schon das ihre getan. Daher befassen wir uns nicht weiter mit ihnen.

2.3 Mögliche Veränderungen und ihre Folgen

Plötzliche Süßwassereinflüsse oder eine starke Erwärmung des Meerwassers im Nordatlantik könnten diesen komplexen und deshalb sehr störanfälligen Mechanismus abschwächen oder sogar zum Erliegen bringen.

Um solche Gefahrenquellen erforschen und interpretieren zu können, haben wir Parameter ausgewählt, die den Nordatlantikstrom beeinflussen:

Salinität

- Eisschmelze
- Süßwasserzuflussmenge
- Niederschlagsmenge

Temperatur

- Lufttemperatur
- Wasseroberflächentemperatur

Eine erhöhte Niederschlags- bzw. Süßwasserzuflussmenge würde den Salzgehalt im Nordatlantikstrom herabsetzen. Eine erhöhte Wassertemperatur könnte die Dichte verringern und damit ebenfalls ein Absinken der Wassermassen verhindern.

Der wichtigste potentielle Spender von großen Süßwassermassen ist der grönländische Eisschild.

2.3.1 Veränderungen in der Salinität

2.3.1.1 Der grönländische Eisschild

Der Eisschild hat eine Fläche von 1,71 Mio. km², ein Volumen von 2,95 Mio. km³ und ist 3500 m dick. Durch das Abschmelzen des grönländischen Eisschildes würde der Meeresspiegel um 6,5 bis 7m ansteigen.

Das Klima des grönländischen Eisschildes ist ca. 10-15°C wärmer als das der Antarktis. Dieser Temperaturunterschied ist für die unterschiedliche Empfindlichkeit der beiden Eisschilde gegenüber Klimaänderungen verantwortlich.

Auf der Suche nach genauen Zahlen und Prognosen stößt man auf verschiedene Szenarien:

Am meisten verbreitet ist die Annahme, dass bei einem Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur um 4°C^2 zwischen 2003 und 2080 der Eisschild teilweise abschmelzen würde. Dieser Süßwasserzufluss würde ausreichen, um den Golfstrom so stark zu schwächen, dass er bis 2080 1/3 weniger Wasser² nach Norden transportieren würde. Dies könnte einen Temperaturabfall von 3°C in Europa, 5°C in Kanada und bis zu 10°C in Grönland bewirken². Dadurch könnte der Eisbestand in Grönland fürs erste wieder stabilisiert werden.

Die Modellrechnungen, die für den IPCC-Statusreport, der vor wenigen Tagen veröffentlicht wurde, mit dem Szenario A1B berechnet wurden, gehen von einer Abschwächung des Nordatlantikstroms von 35% bis 42% aus.³

Einig sind sich die Prognosen darüber, dass das Abschmelzen von erhöhtem CO_2 Ausstoß in Gang gesetzt wurde und nun von verschiedenen Rückkopplungsprozessen abhängig ist:

- Das Verhältnis von Eisdicke und Lufttemperatur:

Je höher ein Eisschild ist, desto kälter ist die Lufttemperatur an seiner Oberfläche. Durch das Abschmelzen wird das Eis dünner, die Eisoberfläche sinkt ab und ist wärmerer Oberflächentemperatur ausgesetzt; dadurch kann das Eis wieder schneller abschmelzen und der Eisschild verdünnt sich weiter.

Der Temperaturunterschied zwischen Arktis und Antarktis ist ein Grund, weshalb der grönländische Eisschild vom Klimawandel stärker betroffen ist als der antarktische Eisschild.

- Wärmerückstrahlung durch Eis und Wasser:

Je mehr Eisfläche vorhanden ist, desto mehr Wärmeenergie wird reflektiert und desto kälter bleibt die Region.

Durch das Abschmelzen der Eisflächen verringert sich die stark reflektierende Fläche und das Wasser absorbiert mehr Wärme. Dadurch wärmt sich die Umgebung auf und mehr Eis schmilzt.

Freigelegte dunkle Landflächen absorbieren noch mehr Wärme und treiben diesen Rückkopplungseffekt noch schneller an.

Sicher weiß man, dass in der Arktis zwischen 1972 und 2002 pro Dekade etwa 300.000 km^2 Meereis⁴ verloren gegangen sind. In den letzten vier Jahren (2002 – 2006) gingen pro Jahr ca. 248 km^3 verloren⁵, während zwischen 1997 und 2002 pro Jahr nur 80 km^3 verloren gingen⁶.

2.3.1.2 Süßwasserzufluss und Niederschlagsmenge

Auch durch einen stark erhöhten Niederschlag kann die Salinität deutlich herabgesetzt werden. Dies würde auch die Flüsse des Festlandes beeinflussen, die dadurch wiederum mehr Süßwasser ins Meer führen. Der Faktor des Süßwasserzuflusses durch Flüsse ist allerdings im Vergleich zur Eisschmelze eher unbedeutend, daher haben wir uns mehr auf die Eisschmelze konzentriert.

² vgl. Huyberts et al.

³ vgl. Jungclaus et al., 2006

⁴ vgl. Netzeitung, Nov. 2003

⁵ vgl. Netzeitung, Sep. 2006

⁶ vgl. Netzeitung, Aug 2006

2.3.2 Veränderungen der Luft- und Wassertemperatur

Eine Erhöhung der Lufttemperatur im Bereich des Nordatlantikstroms hätte indirekte Folgen auf die thermohaline Zirkulation. Durch lokale Erhöhung der Lufttemperatur würde sich auch die Wasseroberflächentemperatur erhöhen.

Eine Erhöhung der Wassertemperatur im Bereich des Nordatlantikstroms hätte direkte Folgen auf die thermohaline Zirkulation.

Je wärmer das oberflächennahe Wasser, umso geringer die Dichte. Und je geringer die Dichte ist, desto leichter ist auch das Wasser. Dieses würde ein Absinken nord-östlich von Island erschweren und den Nordatlantikstrom, der gleichzeitig eine Art „Warmwasserheizung“ für Nordeuropa ist, abschwächen.

3. Unsere Untersuchung: Der Weg von den Daten zu den Karten

3.1 Verwendetes Klimamodell ECHAM 5, Szenario A1B

Mit Hilfe der so genannten CERA Datenbank erhält man Zugriff auf das Datenarchiv des Deutschen Klimarechenzentrums, des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung und des Alfred-Wegener-Instituts. Hier befinden sich Atmosphären- und Ozeandaten von unterschiedlichen Modellläufen.

Für unser Projekt haben wir Monatsmittelwerte der Atmosphäre des ECHAM 5 Modells verwendet, die für den IPCC-Bericht 2007 in Hamburg gerechnet wurden. Hierbei haben wir das A1B Szenario und den 1. Lauf gewählt. (Es gibt mehrere Läufe, die zur Kontrolle der Daten gemacht werden). Das Szenario A1B prognostiziert den Klimawandel bis 2100 unter der Voraussetzung, dass der große Ausstoß an Treibhausgasen etwas reduziert wird. Dabei wird u.a. auch die Wirtschaftsentwicklung berücksichtigt. Das Szenario A1 prognostiziert den Klimawandel, ohne eine Einschränkung der Wirtschaft im Sinne des Umweltschutzes zu berücksichtigen. Das Szenario B1 geht davon aus, dass in dem Zeitraum alles dafür unternommen wird, den Klimawandel aufzuhalten. Wir gehen deshalb vom Szenario A1B aus, da wir der Meinung sind, dass die Wirtschaft ihre Ansprüche nicht soweit zurückstellen wird, um den Anforderungen des Szenarios B1 gerecht zu werden.

3.2 Auswertung der Klimadaten

Wir haben folgende Parameter untersucht:

- Temperatur
- Niederschlag
- Wassertemperatur

Mit Hilfe von CDOs (Climate Data Operators), für die man ein Skript schreiben muss, haben wir uns Intervalle von 30 Jahren aus den Daten ausgewählt. Ein Intervall aus der Vergangenheit (1951 bis 1980), um den Zustand vor dem Klimawandel zu beschreiben und ein Intervalle aus der Zukunft (2051 bis 2080), um die Veränderung zu untersuchen. Für die Intervalle wurde jeweils ein zeitliches Mittel berechnet. Um die Veränderungen besser ablesen zu können, wurden die Differenzen der Intervalle aus der Zukunft zum Intervall aus der Vergangenheit gebildet. Anschließend wurden die Daten noch in ein für GrADS (Grid Analysis and Display System) geeignetes Format umgewandelt.

CDOs gibt es nur für Linux oder Mac-Betriebssysteme. Wir haben daher Linux als geeignetes Betriebssystem verwendet.

Um die mit den CDOs bearbeiteten Daten graphisch darzustellen, haben wir GrADS verwendet. GrADS ist ein Programm, das extra für die Visualisierung von Erdsystem-Daten entwickelt wurde.

Wir haben den Ausschnitt zwischen dem 70. Längengrad West, dem 50. Längengrad Ost, dem 30. Breitengrad Nord und dem 90. Breitengrad Nord ausgewählt, denn dies ist der Ausschnitt, in dem man Aussagen über den Nordatlantikstrom treffen kann. Für die Darstellung haben wir farbige Flächen statt Isolinien verwendet, um Veränderungen deutlich erkennen zu können. Außerdem haben wir einen Titel und eine Farbgebung mit entsprechender Legende ausgewählt.

Anschließend konnten wir die Bilder speichern und anfangen, unsere Schlüsse daraus zu ziehen.

3.3 Erstellte Grafiken

3.3.1 Veränderung der Temperatur

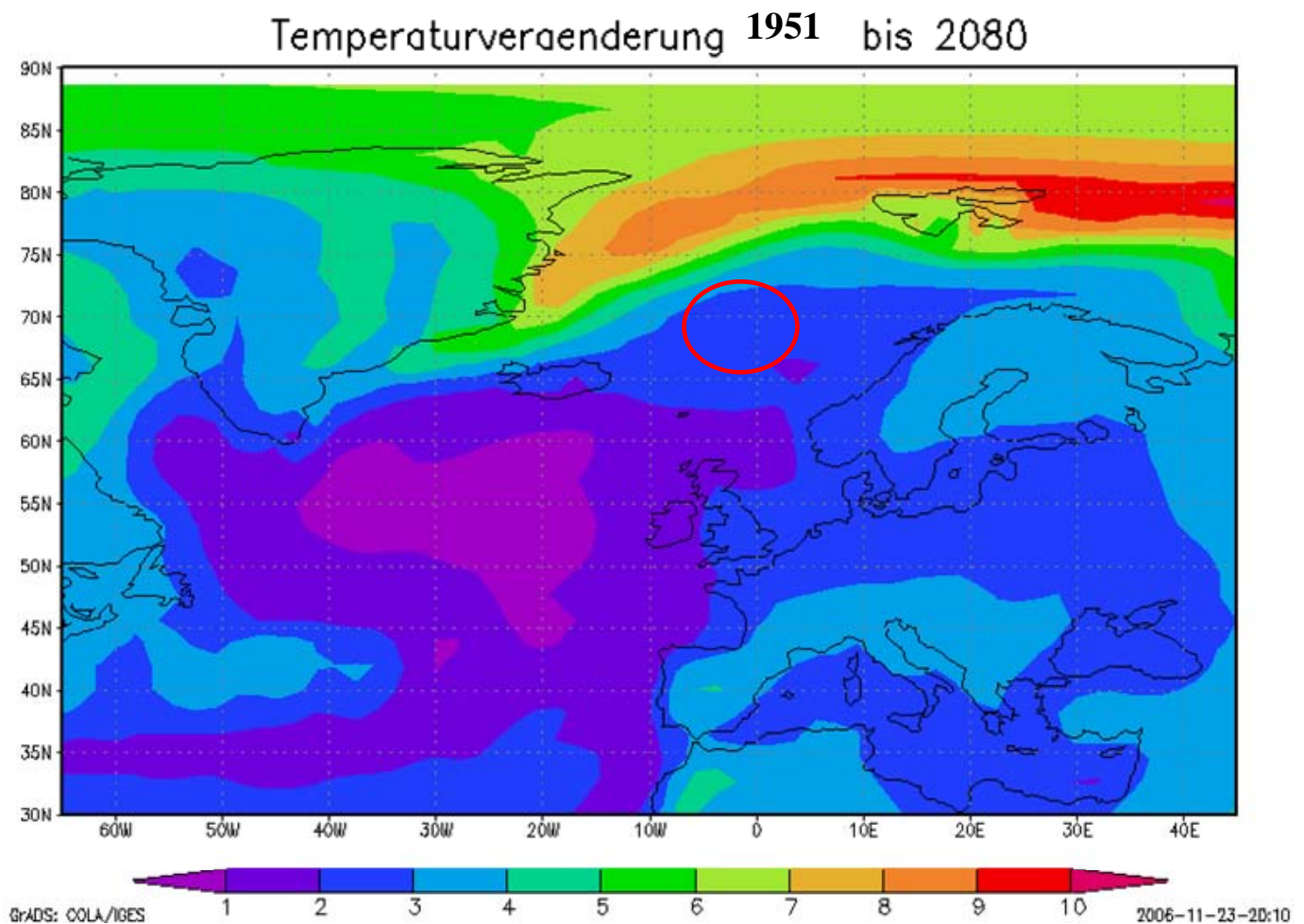


Abb. 2 Veränderungen der Temperatur in Bodenhöhe (1951 - 2080) in °C

Erstellt mit dem Klimamodell-Daten ECHAM5 / Szenario A1B

Der rot markierte Bereich kennzeichnet die für Europa wichtige Absinkzone des Nordatlantikstromes

In dem von uns gewählten Bereich des Nordatlantikstroms ist deutlich eine Veränderung der Temperatur für die Zeit 1951-2080 abzulesen.

Besonders in der Polarregion im Bereich des 75N – 85N, östlich von Grönland, ist eine starke Temperaturerhöhung von bis zu 10 C° zu erkennen. Im Bereich des Nordatlantikstroms sind niedrige bzw. keine Temperaturerhöhungen und sogar Temperaturabschwächungen zu erkennen. Dies ist auf die Aktualität der verwendeten ECHAM5 Daten zurückzuführen, die eine Abschwächung des Nordatlantikstroms schon mit berücksichtigt haben. In dem Bereich des ersten Absinkgebiets (markiert mit Kreis), nord-östlich von Island, wird es voraussichtlich zu Temperaturerhöhungen von 2-3C° kommen. Dies könnte das Absinken der Wassermassen deutlich verringern und somit der thermohalinen Zirkulation ihren „Motor“ nehmen. Die insgesamt eher geringe Temperaturerhöhung im Bereich Europas von 2-3C° ist auf die Wirkung kühlender Westwinde zurückzuführen.

3.3.2 Veränderung des Niederschlags

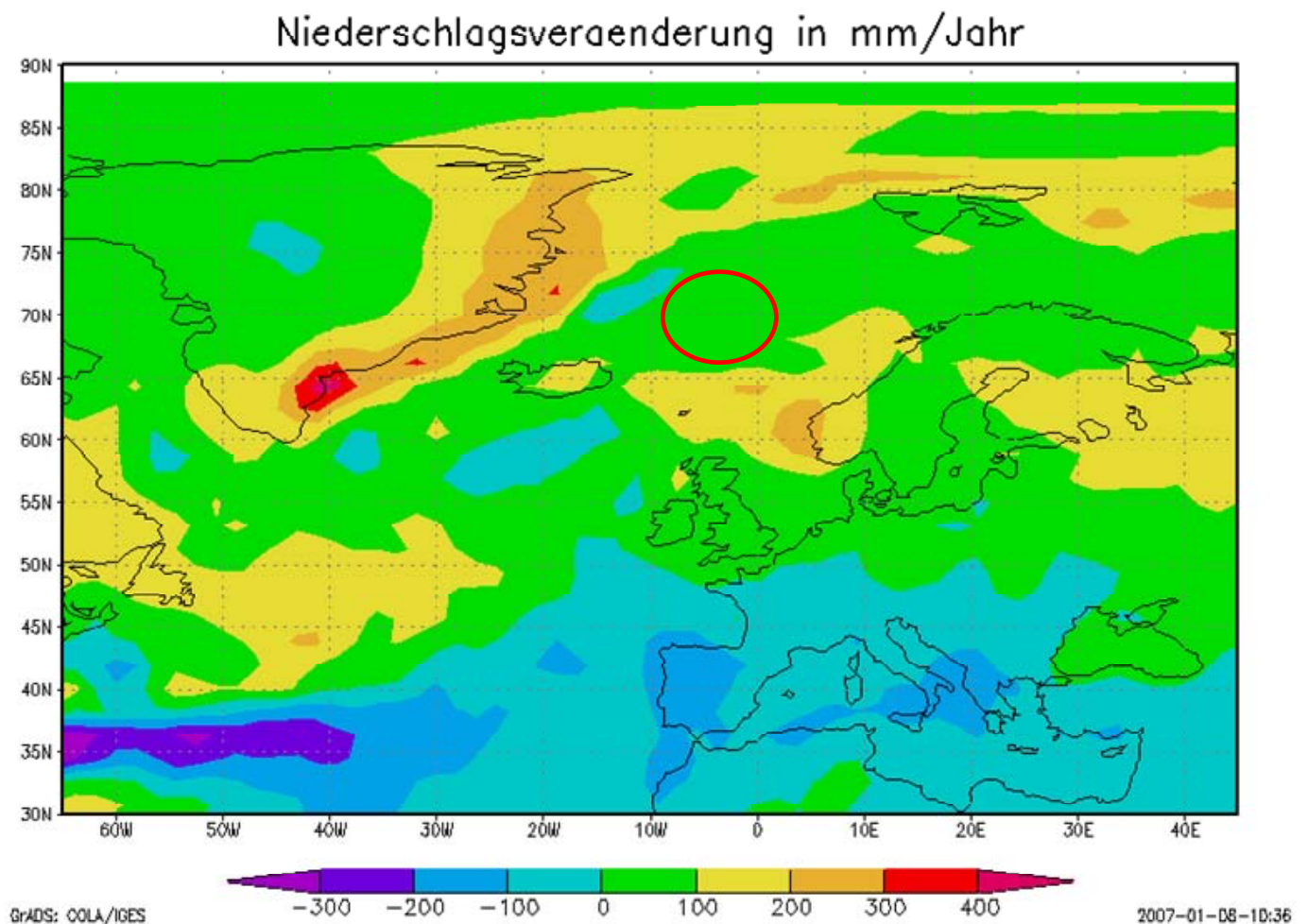


Abb. 3 Veränderungen des Niederschlags (1951 - 2080) in mm/Jahr

Erstellt mit dem Klimamodell-Daten ECHAM5 / Szenario A1B

Der rot markierte Bereich kennzeichnet die für Europa wichtige Absinkzone des Nordatlantikstromes

In dem von uns gewählten Bereich ist außerdem eine Veränderung der Niederschlagsmenge zu erkennen. Zwischen 90° N und ca. 45-50° N ist mit einer durchschnittlichen Niederschlagserrhöhung von 100-300 mm/Jahr zu rechnen. In den südlicheren Teilen unseres

Ausschnittes wird es zu einer Verringerung der Niederschläge von bis zu 300 mm/Jahr kommen. Besonders in den Bereichen zwischen 32°N und 37° N sowie 37° W und 65°W wird die Region stark betroffen sein.

Mit stark erhöhten bzw. vermehrten Niederschlägen muss an der Südostküste Grönlands gerechnet werden. Gekoppelt mit einer Erwärmung der Lufttemperatur würden Niederschläge in diesem Bereich voraussichtlich auch ein Abschmelzen der Eismassen begünstigen.

Im Bereich der Wasserfläche, die von den Ostküsten Amerikas und Grönlands sowie der Westküste Europas umschlossen wird, könnten vermehrte bzw. verstärkte Niederschläge (Süßwassereinfluss) zu einer Abnahme der Salinität führen. Da dies der Bereich des Nordatlantikstroms ist, würde eine Abnahme der Salinität auch eine Bedrohung für die thermohaline Zirkulation darstellen.

An unserer Grafik kann man erkennen, dass sich die Niederschlagsmenge in dem Bereich des Nordatlantikstroms durchschnittlich um 100-300 mm/Jahr erhöhen wird. Besonders kritisch ist die Region südlich des ersten Absinkgebietes (mit rotem Kreis markiert) der thermohalinen Zirkulation zu betrachten.

Die gerade hier erhöhte Süßwasserzuflussmenge würde die Dichte verringern und ein Absinken der Wassermassen ebenfalls erschweren

3.3.3 Veränderung der Meeresoberflächentemperatur

Veraenderung der SST

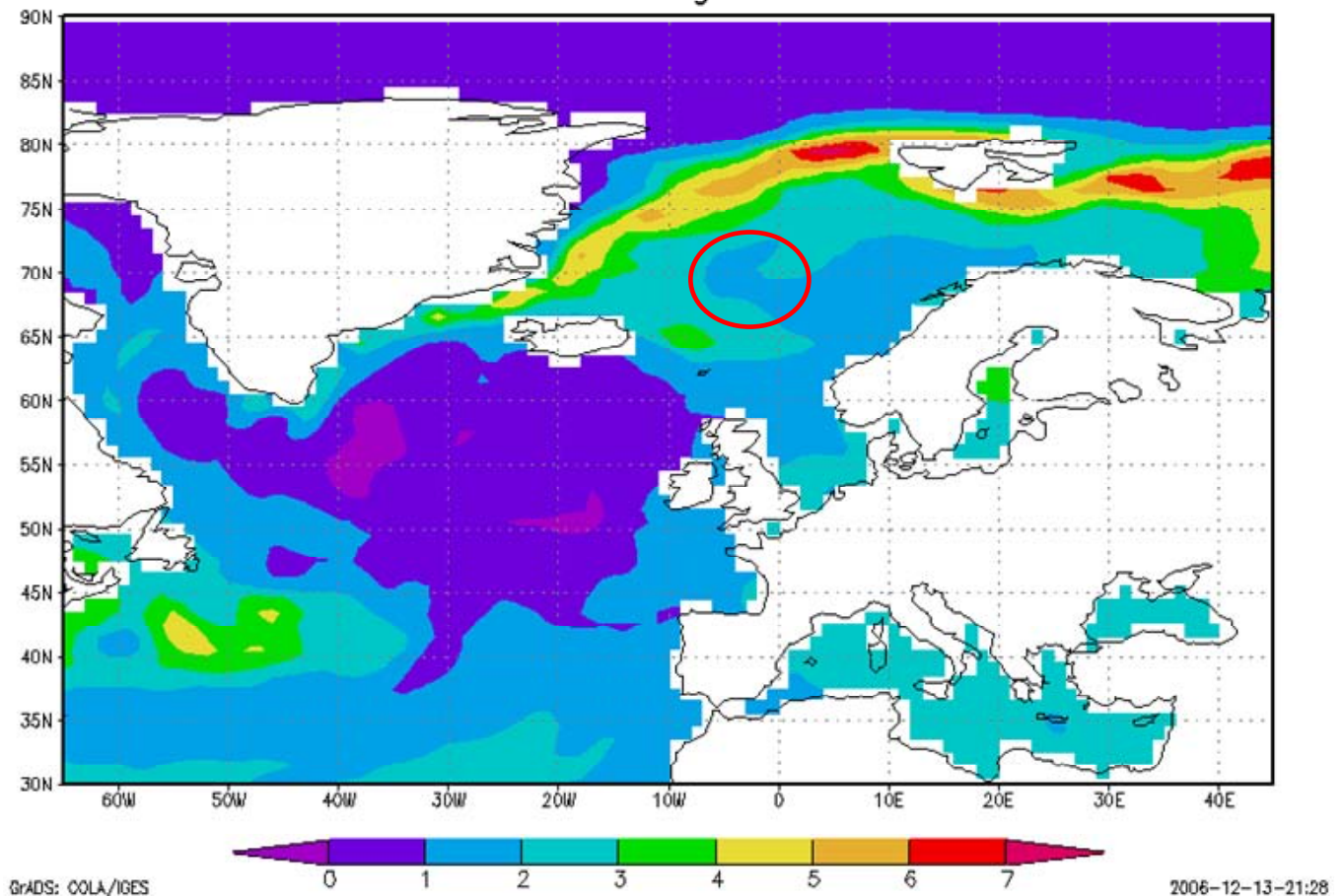


Abb. 4 Veränderung der Meeresoberflächentemperatur an der Oberfläche (1951 - 2080) in °C

Erstellt mit dem Klimamodell-Daten ECHAM5 / Szenario A1B

Der rot markierte Bereich kennzeichnet die für Europa wichtige Absinkzone des Nordatlantikstromes

In dem von uns betrachteten Bereich wird es bis auf kleine Ausnahmegebiete zu einer Erwärmung der Meeresoberflächentemperatur kommen. Besonders in der Nähe Spitzbergens zwischen 74° N und 81° N wird es zu einer Erwärmung von bis zu 7°C kommen. Gerade an der Küste Neufundlands, an der Stelle, an der sich der Nordatlantikstrom vom Golfstrom teilt, ist eine Erwärmung von bis zu 5°C festzustellen.

Rund um Europa und im Mittelmeer wird die Meeresoberflächentemperatur 2080 um 2-3°C gestiegen sein.

Im Bereich des Nordatlantikstroms ist mit einer Erwärmung der Meeresoberflächentemperatur von cirka einem Grad zu rechnen, in einigen Bereichen wird sie sich auch nicht verändern.

Dies ist auf die abkühlende Wirkung - ausgelöst durch eine Abschwächung der thermohalinen Zirkulation - zurückzuführen, die in dem ECHAM5 Modell schon erfasst wurde.

3.3.4 Eisschmelze

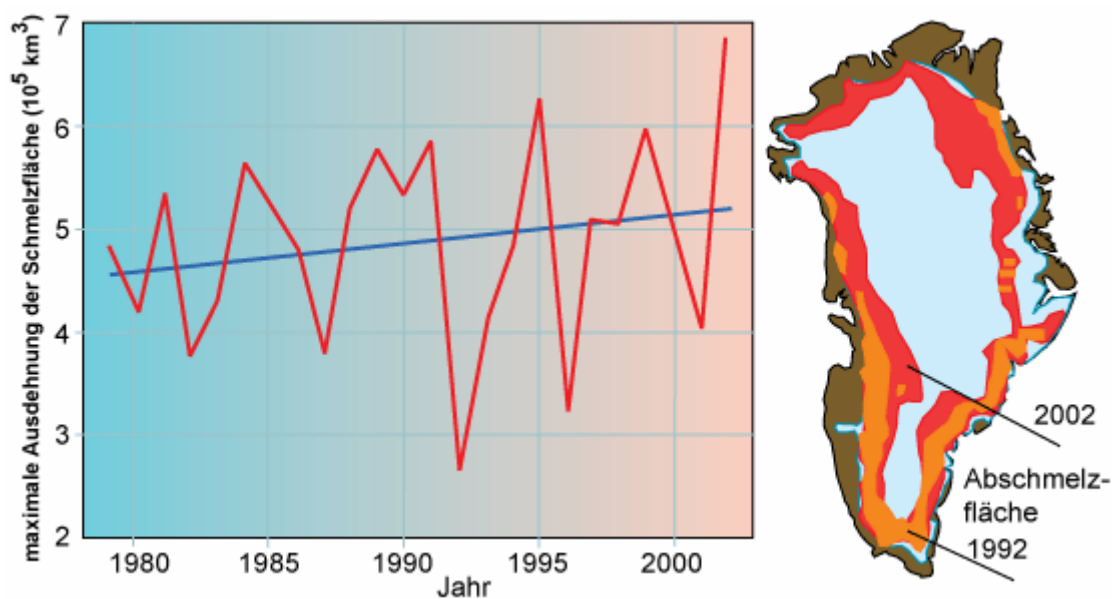


Abbildung 5 - 6

Ausdehnung der Abschmelzflächen auf Grönland nach Satellitendaten. Gezeigt sind die zeitliche Entwicklung (links) sowie die Jahre 1992 (nach dem Ausbruch des Pinatubo) und 2005 (rechts).

Quelle: verändert nach „Die Zukunft der Meere – zu warm, zu hoch, zu sauer“, Steffen und Huff, 2005

Um eine Aussage über die Eisschmelze treffen zu können, verwenden wir hier Abbildungen aus einer fremden Quelle.

In dem Vergleich der beiden extremen Jahre 1992 und 2005 wird deutlich, dass in der Vergangenheit bereits eine große Menge an Eis verloren gegangen ist. Da es sich um extreme Jahre (z.B. Ausbruch des Pinatubo 1991) handelt, muss man sich natürlich etwas von der Abbildung distanzieren, doch in der Zukunft werden uns heiße Jahre wie das von 2005 voraussichtlich häufiger treffen.

In dem Verlauf von 1979 bis 2004 kann man allerdings sehr deutlich feststellen, dass die Eisschmelze ansteigt und dass in den Monaten zwischen April und September immer mehr Eis verloren gehen wird.

3.3.5. Ergebnisse

In allen drei von uns erstellten Grafiken konnten wir Trends und Veränderungen feststellen, die auf ein Abschwächen der thermohalinen Zirkulation in ungenauer Zukunft hinweisen. Auch die Abbildungen der Eisschmelze bestätigen diese Überlegungen. Eine erhöhte Niederschlagsmenge, eine großflächigere Eisschmelze und damit eine Abnahme der Salinität sowie eine Erhöhung der Wasseroberflächentemperatur würden zu einer geringeren Dichte führen. Dies wiederum würde das Absinken der Wassermassen erschweren und damit zu einer Abnahme des Warmwassersogs nach Norden führen. Paradoxerweise wird auf diese Art die globale Klimaerwärmung regional in Nordeuropa zeitweise für eine Abkühlung bzw. langsamere Erwärmung sorgen.

3.4 Kritische Anmerkungen

Fehlerquellen:

Wir haben mit den Daten des IPCC Modells ECHAM 5 gearbeitet und unsere Diagramme erstellt.

Dieses Rechenmodell erstellt Gitterboxen mit einer Größe von 180 km x 180 km. Dies ist ein relativ grobes Raster. Da die von uns untersuchte Region jedoch nur großräumig betrachtet werden kann, ist das ECHAM 5 – Modell durchaus für unsere Untersuchungen geeignet gewesen.

Eine andere, eigentlich sehr fortschrittliche, Eigenschaft von ECHAM 5 ist, dass es ein gekoppeltes Modell ist. Das bedeutet, es berücksichtigt sowohl atmosphärische als auch ozeanische Parameter. Dies verhindert allerdings die Durchführung unseres ursprünglichen Planes. Wir hatten vor, unsere Ergebnisse um den Nordatlantikstrom mit denen der Klimaerwärmung zu vergleichen und daraus Schlüsse zu ziehen. Nun sind die Daten über die Veränderung durch den Ozean bereits in den Temperaturrechnungen enthalten und machen so einen Vergleich nicht möglich.

Bei der Auswertung der Parameter haben wir für die Eisschmelze keine passenden Daten in ECHAM 5 gefunden, die die Menge des Schmelzwassers ausdrücken würde. Lediglich Daten über die Abschmelzgebiete und die Temperaturen des Schmelzwassers wurden bestimmt.

Also haben wir, um Aussagen über das Abschmelzen treffen zu können, Grafiken aus dem Sondergutachten „Die Zukunft der Meere, zu warm, zu hoch, zu sauer“ verwendet.

Die Abbildung 3.1-2a vergleicht die Abschmelzflächen von 1992 und 2005.

Das Jahr 1992 ist etwas ungünstig gewählt, da 1992 ein sehr kaltes Jahr war. Im Juni 1991 ist auf den Philippinen der Pinatubo ausgebrochen und produzierte 7 km² Asche, und eine große Wolke gelangte in die Atmosphäre und umrundete die Erde innerhalb von drei Wochen. Dies führte dazu, dass das folgende Jahr sehr kalt wurde.

Die Abbildung macht zwar einen Unterschied der Abschmelzflächen sehr deutlich, ist aber etwas übertrieben.

Unberücksichtigt blieb außerdem die Rolle der Eisdynamik: Durch Abschmelzen oder Zerschneiden von Schelfeis, kann das Landeis ins Rutschen Richtung Meer kommen. Modelle können diese Prozesse z.Zt. nicht abbilden. Durch sie wird dem Ozean in Zukunft aber wahrscheinlich wesentlich mehr Eis zugeführt als durch Schmelzprozesse auf dem Landeis.

Eigentlich wäre es auch wichtig gewesen, die Salinität des Nordatlantiks in der Vergangenheit und Zukunft zu vergleichen und graphisch darzustellen, so wie wir es mit der Wasseroberflächentemperatur und dem Niederschlag gemacht haben.

Allerdings hätte dies eine komplizierte und zeitaufwändige Zusammenstellung erfordert, denn der Salzgehalt wird in 40 Schichten berechnet und eine oder zwei würden es nicht erlauben, eine Aussage treffen zu können.

Die Visualisierung der Klimamodell-Daten konnte nur im Klimarechenzentrum durchgeführt werden. Dieses hatte jedoch den Vorteil, dass uns die Studentin Anja Ludwig bei der Programmierung und Visualisierung hilfreich zur Seite stand.

In unserer Arbeit können wir auch keine quantifizierbaren Daten benennen. Wir können nicht genau sagen, wie viel Eis abschmelzen wird, wie sehr sich der Nordatlantik aufwärmen wird, um wie viel Prozent sich der Nordatlantikstrom abschwächen wird und deswegen auch nicht, wie viel kälter oder wärmer es also in Europa wird. Wir haben ausschließlich mit dem Szenario A1B gearbeitet, dieses zeigt einen Mittelweg zwischen weiterführender Industrialisierung und Umweltschutz. Hätten wir zusätzlich andere Szenarien verwendet, hätten wir noch andere mögliche Veränderungen angeben können. Unsere Daten sind also nur Trends, die eine Richtung andeuten können.

4. Zusammenfassung

Anhand der Parameter, die wir erstellt haben, und unserer Literaturarbeit konnten wir viele alarmierende Trends und Veränderungen im Klima erkennen.

Ein Abbrechen oder Abschwächen des Nordatlantikstroms ist zeitgeschichtlich gesehen theoretisch möglich. Anhand von Kernbohrungen konnten Forscher feststellen, dass ein Abbruch des Nordatlantikstroms vor rund 13000 bis 11500 Jahren schon einmal stattgefunden hat. Die darauf folgende Kälteperiode, jüngerer Dryas-Ereignis genannt, führte in Nordwesteuropa zu einem Rückfall in eiszeitliche Verhältnissen. Durch das Abschmelzen des Laurentischen Eisschildes gelangte damals eine riesige Menge Süßwasser in das Absinkgebiet des Nordatlantikstroms und verdünnte den Salzgehalt so, dass die thermohaline Zirkulation zum Erliegen kam.

Heutzutage herrschen allerdings ganz andere Umstände. Selbst wenn der grönländische Eisschild abschmelzen würde, würde sich die thermohaline Zirkulation „nur“ um ein Drittel abschwächen. Außerdem wird die zu erwartende Klimaerwärmung stärker sein und in einem Verhältnis von drei zu eins⁷ überwiegen.

4. 1. Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht an die studentische Mitarbeiterin Frau Anja Ludwig, die uns die Arbeit mit den Daten der Klimarechner erklärt hat und uns mit fachkundigen Tipps jederzeit zur Seite stand.

Ebenso danken wir Herrn Dieter Kasang, der uns mit Material und der Gelegenheit versorgte, im Max-Planck Institut für Meteorologie zu arbeiten.

Viel Dank sind wir auch unserem Lehrer Herrn Reiner Sievers schuldig, er hat uns nicht nur angeregt, diese Arbeit zu machen, sondern war auch in vielen außerschulischen Treffen immer wieder bereit, Fragen zu beantworten und Tipps zu geben.

Vielen Dank auch an unsere Mütter.

⁷ PIK: Wolfgang W. Merkel (Die Welt)

5. Quellen

Broecker, W.: A Sea Change, News feature, Nature, Vol. 439, 19.01.2006.

DKRZ: Visualisierungen von Simulationsdaten Ozean,
<http://www.dkrz.de/dkrz/gallery/vis/ocean.html> .

Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, Ausgabe Nr.48 vom 04.12.2005, Seite 74.

Huyberts, H. et al., <http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/25440.html> .

Jacob et al 2005, 2006: Slowdown of the thermohaline circulation causes enhanced maritime climate influence and snow cover over Europe, Geophysical research letters, Vol. 32 (21).

Jungclauss, J.H. et al., 2006: Will Greenland melting halt the thermohaline circulation?“, Geophysical research Letters, Vol. 33.

Kasang, D.: Ozean und Klimawandel, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimawandel/ozean/> .

Kasang, D.: Eis und Schnee: die Kyrosphäre, <http://www.hamburger-bildungsserver.de/klima/klimafolgen/eis/index.htm> .

Kerz, H., 2006: Neue Eiszeit in Sicht?, Explore, 03-2006, <http://www.tuev-nord.de/downloads/explore200603.pdf> .

Lozán, J.L., Graßl, H. et al, 2006: Warnsignale aus der Polarregion, Verlag: Wissenschaftliche Auswertungen.

Netzeitung, 11. Nov. 2003: Dreißigjährige Eisentwicklung der Pole untersucht,
<http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/261311.html> .

Netzeitung, 21. Sept. 2006: Grönländische Eisschmelze schwächt Golfstrom
<http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/442095.html> .

Netzeitung, 11. Aug. 2006: Eisschmelze auf Grönland beschleunigt
<http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/431457.html> .

Netzeitung, 12. Nov. 2004: Eisschwund in der Arktis
<http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/312866.html> .

Netzeitung, 15. Apr. 2003: Grönlands Schmelzwasser könnte Golfstrom blockieren
<http://www.netzeitung.de/spezial/klimawandel/235440.html> .

Rahmstorf, S., 1997: Risk of sea-change in the Atlantic, Nature, 388, 1997.

Rahmstorf, S., 2003: The Thermohaline Ocean Circulation,
http://www.pik-potsdam.de/~stefan/thc_fact_sheet.html

Schiermeier, Q., 2006: A Sea Change, Nature, Vol. 439, 19 January 2006.

Turandot-Verlag: berühmte Vulkanausbrüche, <http://www.vulkanausbruch.de/ausbruch.htm> .

Wikipedia: Golfstrom, <http://de.wikipedia.org/wiki/Golfstrom> .

Wikipedia: Globales Förderband, http://de.wikipedia.org/wiki/Globales_F%C3%B6rderband .