Klimawandel – Grundlagen und Auswirkungen

Autor: Prof. Dr. Klaus Zehner

1 Fachwissenschaftliche Aspekte 1

2 Methodisch-didaktische Hinweise 20

3 Materialien und Arbeitsaufträge 21

3.1 Das Klimasystem: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen 21

3.2 Natürliche Faktoren der Klimaänderung 25

3.3 Anthropogene Faktoren des Klimawandels 27

3.4 Fallstudien 38

4 Lösungsvorschläge 52

Kompetenzprofil:

- Niveaustufe: Oberstufe
- Kompetenzfelder: *Sachkompetenz:* Fachwissen zur Klimageografie, Klimatologie, Agrargeografie (Verschiebung von Anbaugrenzen), Verkehrsgeografie (Nordostpassage); *Methodenkompetenz:* Tabellen-, Diagramm-, Bild-, Karten- und Filmanalyse (Terra X); *Handlungskompetenz:* Entwicklung eines Bewusstseins für die mit den aktuellen Klimaänderungen einhergehenden Bedrohungen für Mensch-Umwelt-Systeme, Entwicklung eines Bewusstseins für ein gesellschaftlich verantwortungsvolles und am Nachhaltigkeitsprinzip orientiertes Handeln und Verhalten
- Methoden: Text-, Tabellen-, Diagramm-, Bild-, Daten-, Karten- und Filmanalyse
- Medien: Texte, Karten, Tabellen, Diagramme, Bilder, Film
- Fachübergreifende Aspekte: *Naturwissenschaften und Politik*: Klima und Mensch-Umwelt-Systeme

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Inhaltlich-methodischer Überblick

Thematische Schwerpunkte	Grafik	Tabelle	Text	Karte	Atlas	Methode	Unterrichtsform	Material
Das Klimasystem: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen	•	•	•			DA TA BA	EA PA	M 1 bis M 5
Natürliche Faktoren der Klimaänderung	•		•			DA TA BA	EA UG DS	M 6 bis M 8
Anthropogene Faktoren des Klimawandels	•	•	•		•	DA TA BA KA	EA UG DS	M 9 bis M 18
Fallstudien	•	•	•	•	•	DA TA BA KA FA	EA UG DS	M 19 bis M 33

Methoden:
KA Kartenarbeit
DA Datenauswertung
TA Textarbeit
BA Bildanalyse
FA Filmanalyse

Unterrichtsformen:
UG Unterrichtsgespräch
EA Einzelarbeit
PA Partnerarbeit
GA Gruppenarbeit
DS Diskussion

VORSCHAU

netzwerk lernen
RAABE
zur Vollversion

1 Fachwissenschaftliche Hinweise

1.1 Das Klimasystem: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen

Der globale **Klimawandel** und seine mannigfachen Folgen für Öko- und Wirtschaftssysteme, für Regionen und für Zivilgesellschaften zählen zweifellos zu den wichtigsten politischen und gesellschaftlichen Themen der Gegenwart. Die langanhaltende Dürreperiode in Mitteleuropa im Sommerhalbjahr 2018 und die nur wenige Monate später folgenden, z. T. erschreckenden Starkregenereignisse mit Überschwemmungen in Südeuropa sowie verheerende Brände in Kalifornien und im Mittelmeerraum sind Wetter- und Witterungsbesonderheiten, die wir in jüngster Zeit selbst erleben konnten und über die in den Medien ausführlich berichtet wird. Sie stehen, da sind sich Experten einig, in einem direkten Zusammenhang zum anthropogen beeinflussten Klimawandel der jüngeren Vergangenheit und der Gegenwart.

Neben diesen Ereignissen in relativ überschaubaren Zeitabschnitten, in denen Klimaänderungen für jeden sichtbar und verstehbar wurden, gibt es auch schleichende Prozesse, die sich so langsam vollziehen, dass sie auf den ersten Blick nur wenig bedrohlich erscheinen. Dringend erforderliches Handeln politischer Akteure verzögert sich u. a. dadurch, was fatale Folgen haben wird. Hierzu zählen die kaum noch begrenzbar erscheinende **globale Erwärmung der Atmosphäre** und der unaufhaltsame **Anstieg des Meeresspiegels**. Bei näherer Betrachtung sind es aber genau diese beiden Phänomene, die aus geografischer Perspektive am **wirkungsmächtigsten** sind, weil sie ganze Regionen (z. B. im Falle des Meeresspiegelanstiegs tiefer gelegene Küstenstriche und flache Inseln) oder die ganze Welt (im Falle des Temperaturanstiegs und damit auch des Wassergehalts in der Atmosphäre) betreffen.

Bei den kontrovers, oft hitzig und emotional, gelegentlich auch unsachlich geführten Debatten innerhalb wie auch außerhalb der Wissenschaft wird häufig die Tatsache ausgeblendet, dass Klima keine konstante Größe ist. Vielmehr handelt es sich um ein **dynamisches**, **hochkomplexes System**, das von einer Vielzahl sowohl natürlicher als auch vom Menschen beeinflusster Faktoren gesteuert wird. Die variablen Randbedingungen haben einen permanenten Klimawandel zur Folge, der sich auf unterschiedlichen zeitlichen und räumlichen Skalen zeigt. Die Wirkungszusammenhänge sind oft indirekter Natur,

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

sungen von Schutzmaßnahmen zwingt. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts, als in Mitteleuropa die Industrialisierung einsetzte, nimmt die Anstiegsrate des Meeresspiegels signifikant zu. Alleine im 20. Jahrhundert ist der globale Meeresspiegel um 17 bis 21 cm angestiegen.

Relevant sind aber auch Veränderungen der Ökosysteme in den **Permafrostregionen** der Erde, etwa in Alaska, Kanada und Sibirien. In den dortigen Böden sind große Mengen an Kohlenstoff in Form fossiler Tier- und Pflanzenreste gespeichert. Wenn solche Überreste auftauen, beginnen Mikroorganismen den organischen Kohlenstoff in Treibhausgase wie Kohlendioxid und Methan umzuwandeln. Dadurch wird die Klimaerwärmung weiter angetrieben. Des Weiteren trägt auch die Massentierhaltung zum globalen Temperaturanstieg bei. So entsteht Methan bei der Verdauung von Wiederkäuern (Fermentation) sowie bei der Lagerung von Festmist und Gülle und wird spätestens bei deren Ausbringung in die Atmosphäre freigesetzt.

Die Änderung des Klimas ist in allen Sphären nachweisbar. Unmittelbar betroffen ist die **Atmosphäre**, die Gas- oder Lufthülle unserer Erde. Der klimawirksame Bereich der Atmosphäre endet bereits in 50 km Höhe. Zu ihm zählen der erdnahe Bereich, die sogenannte Troposphäre, sowie die darauf folgende Stratosphäre und die Tropopause, die beide Stockwerke trennt.

In der Troposphäre spielt sich das eigentliche Wettergeschehen ab. Hier sammelt sich überdies das gefährliche Ozon bei Smogwetterlagen. In der Troposphäre findet zudem Wolkenbildung statt. Außerdem werden in die Troposphäre Erdwärme, Reibungswärme von Wind, Wolken oder Gezeiten, aber auch durch von anthropogenen Quellen verursachte Aerosole durch Industrie, Kraftfahrzeuge oder Brandrodung emittiert.

Die Erderwärmung beeinflusst auch die **Kryosphäre**, das heißt diejenige Sphäre, in der festes Eis gespeichert ist. Bedingt durch den globalen Temperaturanstieg schrumpft die Kryosphäre gegenwärtig, sowohl in der Fläche als auch im Hinblick auf die Mächtigkeit.

Auch die **Biosphäre** verändert sich. Der Anstieg der Durchschnitts- und Extremtemperaturen ermöglicht zum Beispiel die Invasion neuer Pflanzen und definiert neue Territorien für Tiere, während andere Lebensräume für bestimmte Pflanzen- und Tierarten zunehmend ungeeigneter werden oder sogar ausscheiden können. Der **Weltklimarat**, das sog. **International Panel of Climate Change** (IPCC), nimmt an, dass bei einer globalen Erwärmung um

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

1.5 Fazit

Die drei Fallbeispiele Meeresspiegelanstieg, Nordostpassage und Weinbau verdeutlichen, dass die anthropogen verursachte Klimaänderung in ganz unterschiedlicher Weise raumwirksam wird. Zweifellos sind die meisten Auswirkungen als problematisch einzustufen und erfordern strategische Anpassungshandlungen durch Regierungen und andere politischen Akteure. In Abhängigkeit von politischer Macht und finanziellen Möglichkeiten der betroffenen Länder können diese sehr unterschiedlich ausfallen und wirksam werden.

Am Beispiel der Nordostpassage und des Weinbaus in Großbritannien wird aber auch deutlich, dass es einige wenige Wirtschaftszweige und Akteure gibt, die auch vom Klimawandel kurzfristig profitieren. Dennoch muss die Menschheit alle erdenklichen Anstrengungen unternehmen, um die Klimaziele zu erreichen und der anthropogenen Klimaänderung einen Riegel vorschieben.

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

3 Materialien und Arbeitsaufträge

3.1 Das Klimasystem: Einflussfaktoren und Wechselwirkungen

M 1 Infobox: Klima, Wetter und Witterung

Klima, **Wetter** und **Witterung** sind Begriffe, die in der Alltagssprache gelegentlich fälschlicherweise synonym verwendet oder sogar verwechselt werden. In der Wissenschaft sind die drei Begriffe jedoch klar definiert.

Der Begriff „Klima“ fasst die Gesamtheit der meteorologischen Erscheinungen zusammen, die, gemittelt über einen Beobachtungszeitraum von 30 Jahren, den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort charakterisieren.

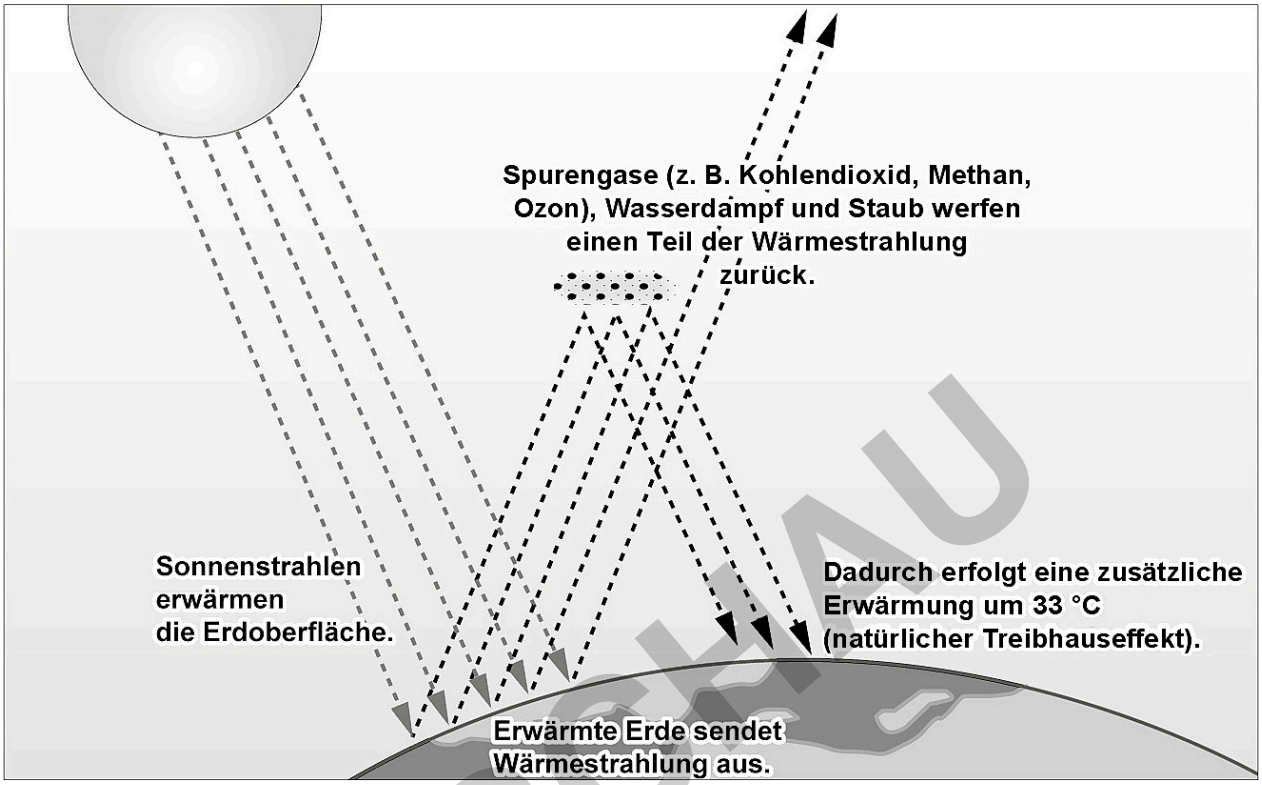
Unter „Wetter“ werden dagegen kurzfristige Erscheinungen in der Atmosphäre verstanden, z. B. ein Gewitter, Nebel oder ein Regentag.

Der Begriff „Witterung“ nimmt eine vermittelnde Stellung ein. Er beschreibt das Wetter in einem bestimmten Zeitabschnitt, der von mehreren Tagen bis zu einer Jahreszeit reichen kann. Berücksichtigt werden in der Regel die fühlbaren Klimaelemente, wie Niederschlag, Temperatur, Wind etc. Beispiele für typische Witterungen bzw. Wetterlagen sind Schönwetterlagen, wie der sog. Altweibersommer, oder Frostperioden.

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

M 2 Natürlicher Treibhauseffekt



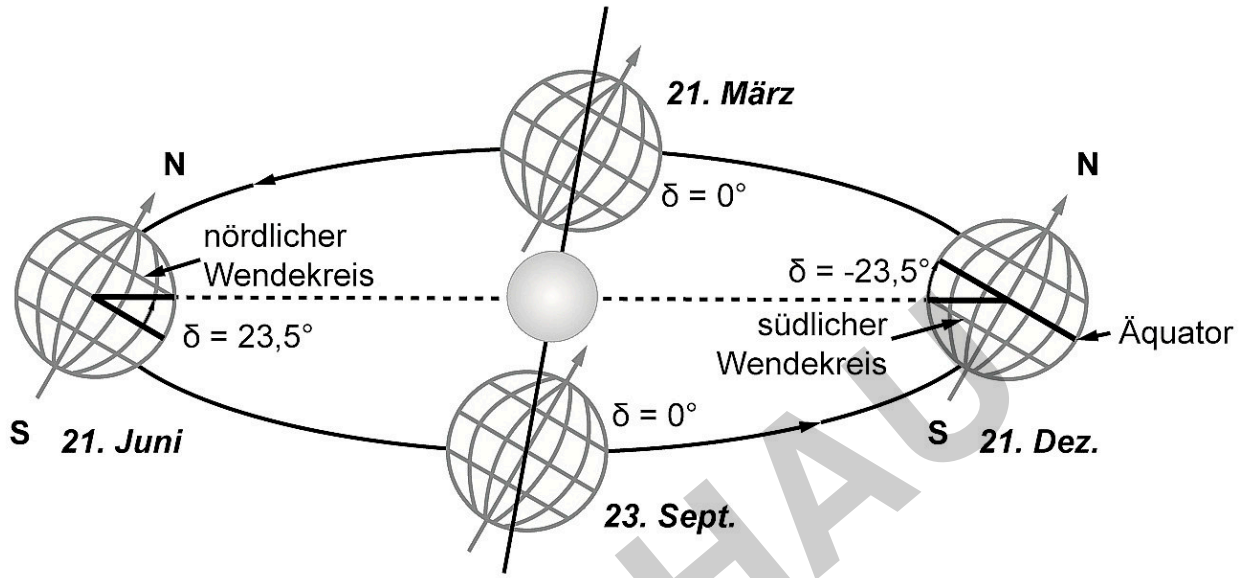
Quelle: eigener Entwurf K. Zehner & U. Schwedler, verändert nach Harmeling 2018, S. 7

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

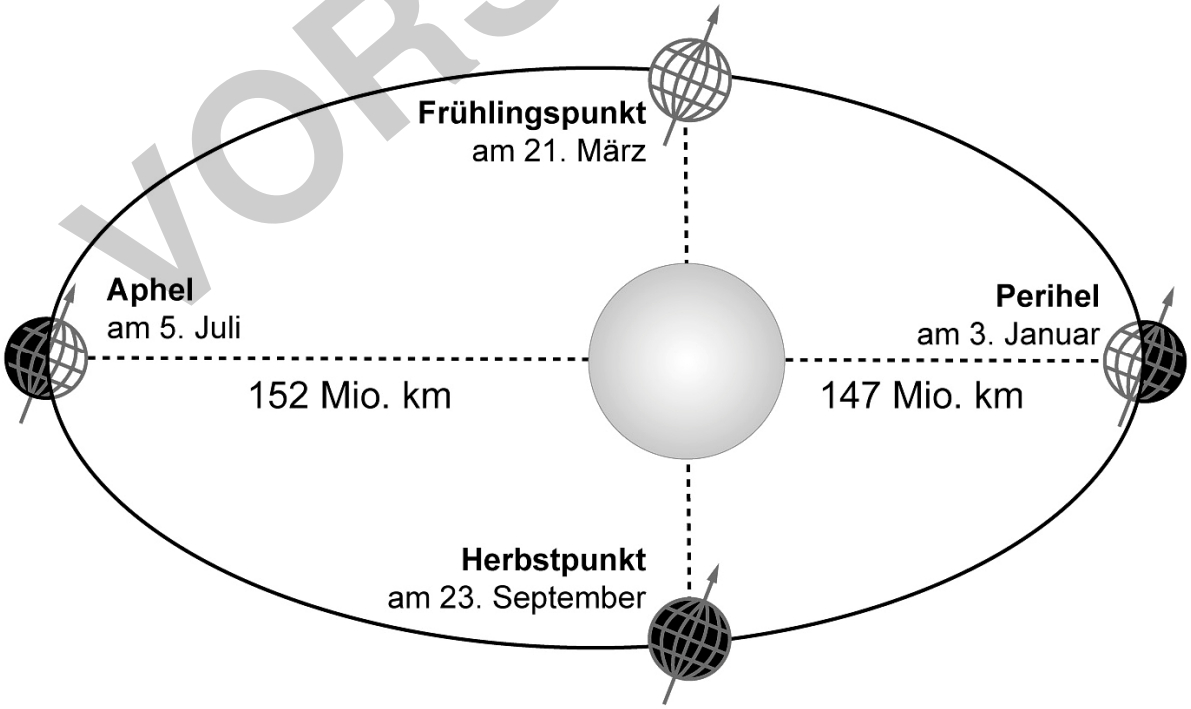
3.2 Natürliche Faktoren der Klimaänderung

M 6 Schiefe der Ekliptik



Quelle: eigener Entwurf K. Zehner & U. Schwedler, verändert nach Jensch 1975, S. 32

M 7 Erdrevolution



Quelle: eigener Entwurf K. Zehner & U. Schwedler, verändert nach Jensch 1975, S. 32

VORSCHAU

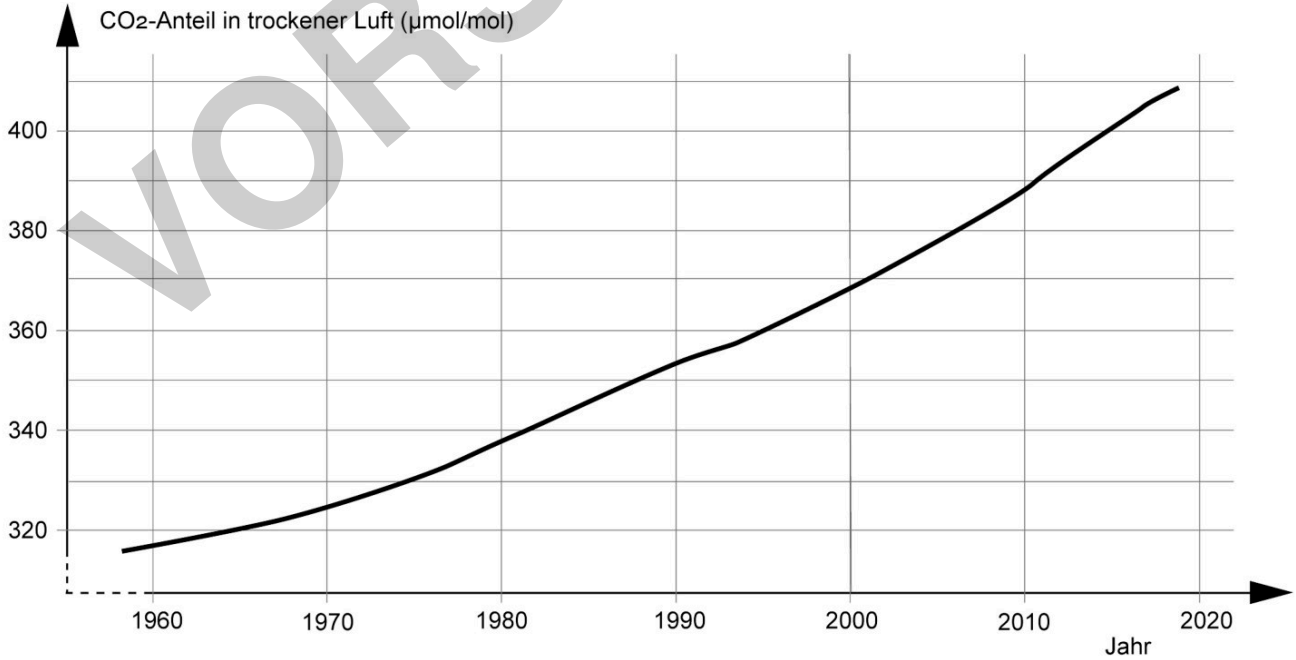
netzwerk lernen
zur Vollversion

e) Jahresmitteltemperaturen (°C) in ausgewählten deutschen Großstädten von 2000–2009

Jahr	Hamburg	Frankfurt	Köln/Bonn	Berlin	Nürnberg
2000	10,29	11,57	11,15	11,05	10,13
2001	9,21	10,78	10,46	9,71	9,26
2002	9,84	11,21	11,02	10,23	9,82
2003	9,53	11,41	10,94	10,12	9,84
2004	9,49	10,65	10,24	9,86	9,20
2005	9,58	10,97	10,69	9,96	9,05
2006	10,27	11,20	11,13	10,64	9,65
2007	10,36	11,38	11,23	10,89	10,03
2008	10,22	10,99	10,61	10,73	9,77
2009	9,78	10,94	10,67	10,27	9,40

Quelle: Bildungsserver Hamburg (https://bildungsserver.hamburg.de/deutschland-dwd/)

M 10 Keeling-Kurve: Zunahme von Kohlendioxid in der Atmosphäre seit Beginn der Industrialisierung

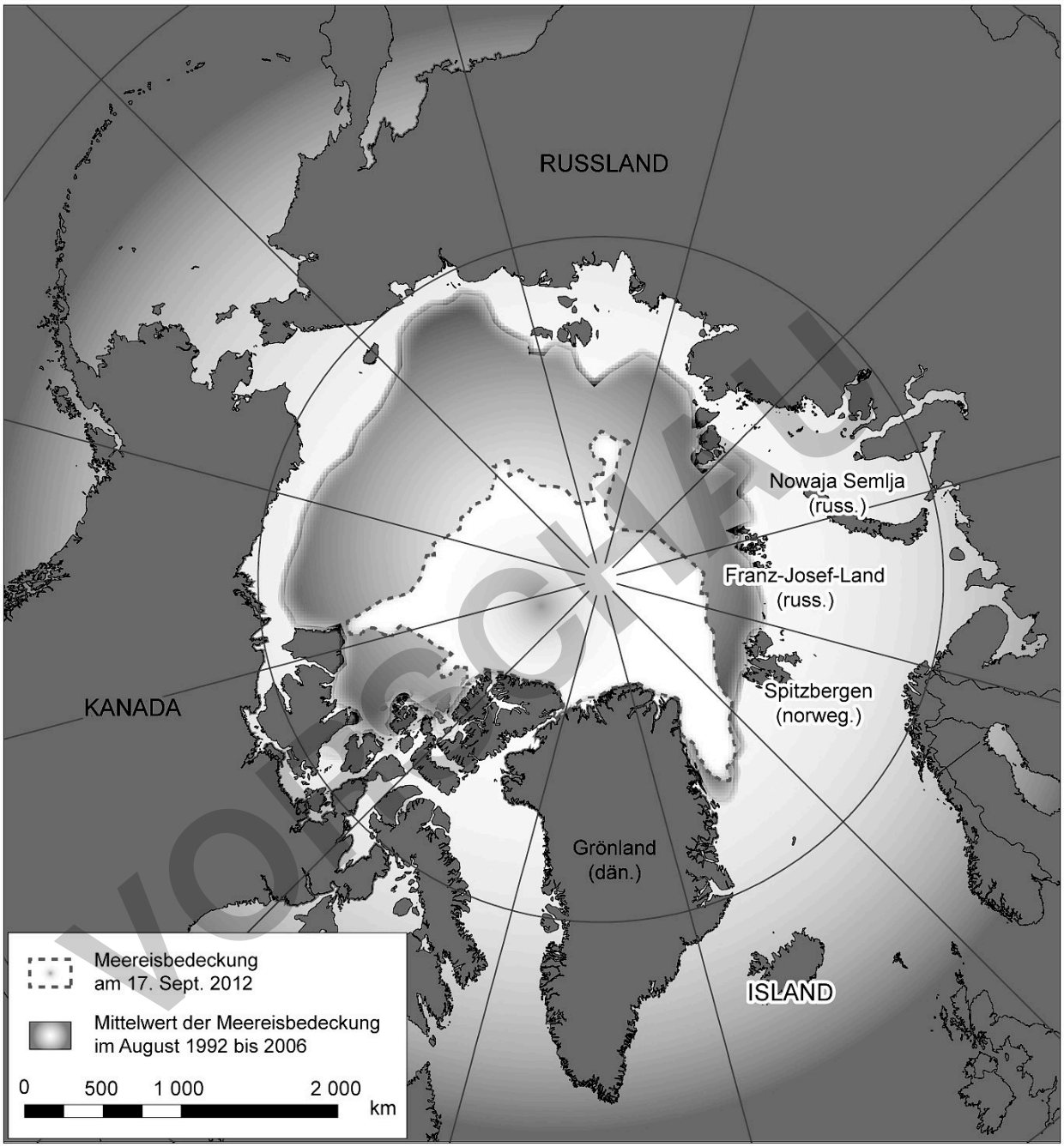


Quelle: eigener Entwurf K. Zehner & U. Schwedler, verändert nach Website von Scripps, Institution of Oceanography, UC San Diego

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

M 24 Meereisbedeckung Arktis



Quelle: eigener Entwurf K. Zehner & U. Schwedler, verändert nach AFP Klimacampus 2019

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

M 29 Infobox „Arctic Corridor“

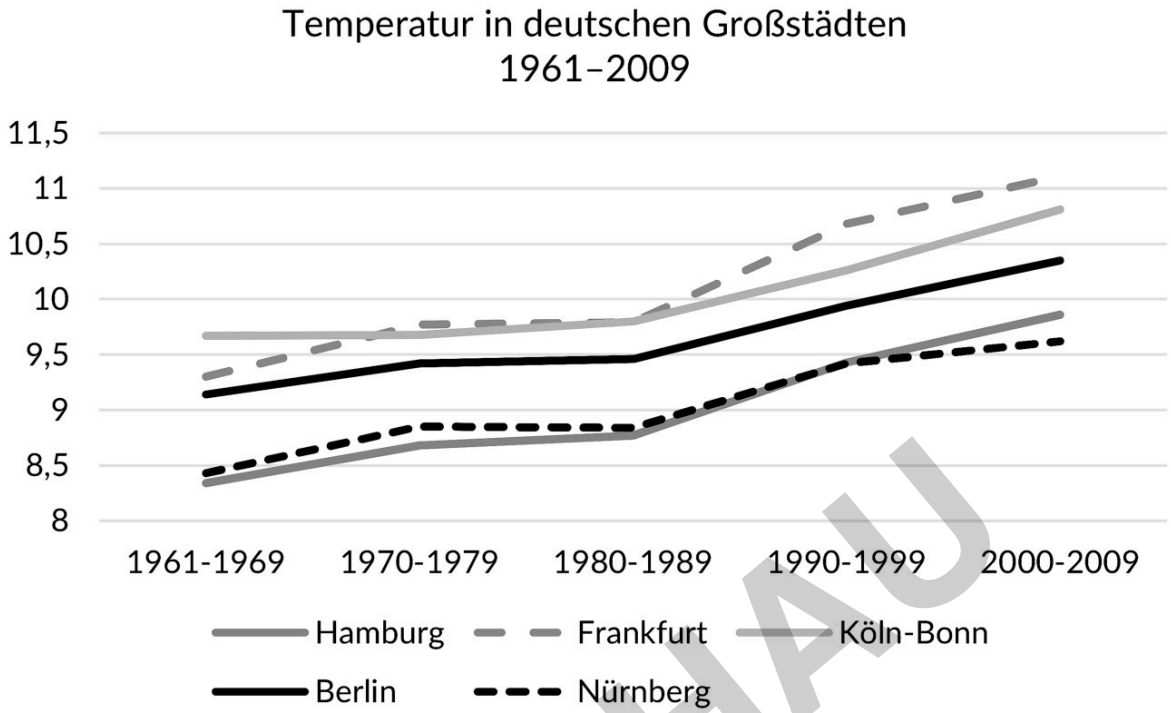
Die globale Erwärmung und das mit ihr einhergehende Abschmelzen der Polkappen werden in Zukunft eine gefahrlosere Befahrbarkeit der Nordostpassage ermöglichen. Aktuell kann der „Nördliche Seeweg“ nur im Spätsommer bzw. Frühherbst durchgängig ohne die Durchquerung von Packeisfeldern befahren werden.

Spätestens ab den 2050er-Jahren dürfte jedoch eine ganzjährige Passage möglich sein. Dann wird der Seeweg von China nach Europa durch die Nordostpassage ca. 40 % kürzer als die bisherige Route durch die Malakkastraße und den Suezkanal werden. Um die künftigen Güterströme zu optimieren, ist ein neues Verkehrs-Megaprojekt geplant, das seit einigen Jahren unter der Bezeichnung „Arctic Corridor“ firmiert. Gemeint ist damit der Ausbau einer Bahnstrecke, die den am Nordpoolmeer gelegenen norwegischen Hafen Kirkenes über eine Bahnstrecke mit Helsinki und Tallinn verbinden wird. Über diese Strecke werden Güter, insbesondere Container, schnell von Kirkenes zu den mittel- und osteuropäischen Güterverkehrszentren transportiert werden können.

Dazu sind jedoch zwei Teilabschnitte neu zu bauen. Die erste soll den zurzeit noch vom europäischen Bahnnetz abgeschnittenen Hafen Kirkenes mit dem finnischen Rovaniemi verbinden. Allerdings wurden die Pläne für den Bau der 465 km langen Bahnstrecke im Februar 2019 vorerst auf Eis gelegt. Entscheidend hierfür war zum einen das aktuell für einen rentablen Betrieb der Strecke noch nicht ausreichend erscheinende Frachtaufkommen. Zum anderen würde durch die neue Bahnstrecke der Lebensraum der Samen, die Rentiernomadismus betreiben, zerschnitten werden. Dennoch ist mit Zunahme des Frachtverkehrs durch die Nordostpassage eine erneute Verfolgung der Ausbaupläne zu erwarten. Das zweite Teilstück, das noch gebaut werden soll, ist ein Eisenbahntunnel unter dem Finnischen Meerbusen, der die beiden Metropolen Helsinki und Tallinn verbinden soll. Das ca. 15 Mrd. € teure Verkehrsprojekt wird vermutlich mit chinesischem Kapital finanziert werden.

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion



Alle Städte verzeichnen pro Jahrzehnt eine Erhöhung der Jahresmitteltemperatur. Ab den 1980er-Jahren ist der Anstieg deutlicher als in den 1960er- und 1970er-Jahren.

2. Der Verlauf der Keeling-Kurve steigt seit der Industrialisierung, trotz aller Bemühungen, den CO_2-Ausstoß zu verringern, jährlich an. Der CO_2-Anteil in der trockenen Luft wächst stetig an.

3.

Kohlendioxid	**Methan**	**Stickoxide**
Energieproduktion	landwirtschaftliche Nebenprodukte	landwirtschaftliche Nebenprodukte
industrielle Prozesse	Gewinnung fossiler Brennstoffe, Verarbeitung und Verteilung	Landnutzung und Biomassenverbrennung
Verkehr und Transport	Abfalldeponierung und Behandlung	(industrielle Prozesse)

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

1.6 Literatur und Internetadressen

Ehlers, J. (2011): Das Eiszeitalter. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Endlicher, W. und Gerstengarbe, F.-W. (Hrsg.) (2007): Der Klimawandel – Einblicke, Rückblicke und Ausblicke. Berlin und Potsdam.

Grosse, G., Lenz, J. und Strauss, J. (2018): Permafrostverbreitung und -degradation in den Polarregionen. In: Geographische Rundschau 70, 11, S. 10–15.

Harmeling, S. (Hrsg.) (2018): Globaler Klimawandel (Diercke Spezial), Braunschweig.

Hölzle, M. und Hauck, C. (2018): Permafrost als eine Komponente der Kryosphäre im Klimasystem. In: Geographische Rundschau 70, 11, S. 4–9.

IPCC (Hrsg.) (2018): 1,5 °C globale Erwärmung. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Genf.

Jensch, G. (1975): Die Erde und ihre Darstellung im Kartenbild (Das Geographische Seminar), Braunschweig.

Knudsen, A. (2010): Die Nordostpassage – Möglichkeiten und Herausforderungen. In: Schiff & Hafen. Heft 11, S. 12–14, Hamburg.

Knudsen, A. (2013): Nördlicher Seeweg – Potentiale für die künftige Nutzung. In: Schiff & Hafen. Heft 04, S. 16–18, Hamburg.

Liedtke, H. (2007): Deutschland zur letzten Eiszeit. In: Liedtke, H. (Hrsg.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. 2: Relief, Boden und Wasser, Leipzig, S. 66–67.

Magomedow, A. (2013): Analyse: Russlands Pläne für die Nordostpassage: Aussichten und Hindernisse. In: Bundeszentrale für politische Bildung (Hrsg.): Nordrussland und die Arktis, Bonn, abgerufen am 30. Dezember 2018.

Moll, U. (2016): Klimawandel oder heiße Luft, Hamburg.

Steiner, E. (2017): Russlands erster Schritt zu Flüssiggas-Riesen. In: Die Welt, 10. Dezember 2017, abgerufen am 23. Februar 2018.

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion