Fachübergreifender Unterricht

Es wird höchste Zeit! – Klimaschutz im Mathematikunterricht

Antonius Warmeling, Hagen
Illustrationen von Willi van Lück / Antonius Warmeling, digitalisiert von Dr. Wolfgang Zettlmeier

© Willi van Lück, ehemaliger Mathematiklehrer und Künstler, 2011

Die Unterrichtsreihe beschäftigt sich mathematisch mit dem Klimawandel und seinen Folgen. Sie bietet damit immer wieder Gelegenheit für fachübergreifende Diskussionen. Einzelne Arbeitsblätter lassen sich bereits in der SEK I einsetzen.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe/Lernjahr:	9 –12 (G8), 9 –13 (G9)
Dauer:	8–9 Unterrichtsstunden
Kompetenzen:	1. Kommunizieren, 2. Mathematisch argumentieren und modellieren, 3. Nutzung von Werkzeugen
Thematische Bereiche:	Diagramme erstellen und interpretieren, Prognosen mithilfe von Trendfunktionen aufstellen, Situationen mithilfe der Analysis untersuchen und beurteilen
Medien:	Farbfolie / Vorlagen für digitale Präsentationen
Zusatzmaterialien:	Excel-Dateien (zu **M 2**, **M 3**, **M 4**, **M 7** und **M 8**)

© RAABE 2019

VORSCHAU
netzwerk lernen
zur Vollversion

Sachanalyse

Die Hinweise, dass der Klimawandel von Menschen gemacht ist, hätten inzwischen den „Goldstandard" der Sicherheit erreicht, schreibt eine Gruppe von elf renommierten internationalen Wissenschaftlern um den US-Klimatologen Benjamin Santer im Fachjournal „Nature Climate Change". Das heißt, dass Wissenschaftler mit der gleichen Gewissheit, mit der sie 2012 die Entdeckung des Elementarteilchens Higgs-Boson verkündeten, heute sagen: Der Klimawandel ist real – und er wurde von den Menschen verursacht, schreibt zum Beispiel die Wolfsburger Allgemeine (3.5.2019).

Klimawissenschaftler aus aller Welt warnen z. T. seit Jahrzehnten vor den Folgen des Klimawandels und beschwören die Weltgemeinschaft, endlich geeignete Maßnahmen zu ergreifen. Auf der Klimakonferenz in Paris wurde zwar ein wegweisender Beschluss gefasst, die dafür notwendigen Veränderungen z. B. in der Energiepolitik oder bei der Mobilität lassen aber immer noch auf sich warten. Erst durch **Greta Thunberg** und die **FridaysForFuture**-Bewegung hat die Diskussion eine neue Dynamik bekommen, weil die Jugendlichen die Argumente der Wissenschaftler ernst nehmen und vor den daraus folgenden radikalen Forderungen nicht zurückschrecken.

Umso wichtiger ist es, dass das Thema und die wissenschaftlichen Grundlagen dazu in der Schule behandelt werden, wann immer es sich anbietet. In die Diskussion können und müssen Schüler und Lehrer auch im Mathematikunterricht einsteigen, indem geeignete Aufgaben den nötigen Gesprächsanlass bieten. Wie das gehen kann, zeigt dieser Beitrag auf.

Klimawandel und die Folgen

Den Klimawandel merken wir als Erstes an den **steigenden Temperaturen**. Neun der zehn weltweit wärmsten Jahre liegen im 21. Jahrhundert. Dokumentiert wird das mithilfe einer Zahl, der **globalen Mitteltemperatur**, die als gewichtetes Mittel vieler verschiedener Messstationsergebnisse berechnet wird. Da immer wieder neue Stationen dazukommen und die Institute auch nicht immer dieselben Messstationen einbeziehen, weichen die Ergebnisse z. T. ein ganz klein wenig voneinander ab. Meistens werden nur die **Temperaturänderungen** angegeben, weil die sehr viel einfacher und damit mit einer größeren Genauigkeit zu messen sind als die absoluten Temperaturen. Als Referenzzeitraum wird häufig die Spanne von 1961–1990 verwendet. Andere Zeiträume sind aber auch kein Problem, weil dadurch nur eine Verschiebung des Nullpunktes stattfindet. Mehr dazu können Sie bei Prof. Rahmstorf nachlesen:
https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/verwirrspiel-um-die-absolute-globale-mitteltemperatur/.

Nicht unerwähnt bleiben soll, dass die globale Änderung gegenüber einem Referenzwert nur eine Kenngröße ist, die Temperaturabweichungen sind regional durchaus unterschiedlich. Die größten Abweichungen zeigen sich z. B. im Bereich der Arktis.

Aus den steigenden Temperaturen ergeben sich messbare Veränderungen – **Klimafolgen** – in anderen Bereichen. Einige davon werden hier kurz skizziert, zu den ersten drei davon gibt es Arbeitsblätter (**M6**–**M8**).

- **Abschmelzen des arktischen Meereises**
  Wenn schwimmendes Eis schmilzt, bewirkt es keine Erhöhung des Meeresspiegels. Da aber Schnee und Eis einen hohen Albedo-Effekt (Sonnenlicht wird zu 90 % reflektiert) haben und Wasser einen sehr niedrigen (nur 10 % werden reflektiert), wird nach der Eisschmelze das Wasser erwärmt. Wegen der thermischen Ausdehnung steigt dadurch der Meeresspiegel.

© RAABE 2019

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Didaktisch-methodisches Konzept

Zur Lerngruppe und den curricularen Vorgaben

Die Arbeitsblätter sind zum Teil schon ab Jahrgangsstufe 9 einsetzbar, nur für die Materialien ab **M 5b** sind Kenntnisse aus der Analysis unabdingbar. Näheres dazu finden Sie unter „**Auf einen Blick**".

Zur Unterrichtsreihe

Zum Einstieg in das Thema verwenden Sie das Bild von der Titelseite (Folie **M 1**). Was ist darauf zu erkennen, welche Zusammenhänge sind euch bekannt? Der ehemalige Mathematiklehrer Willi van Lück schreibt dazu:

„Drei Ursachen (Verkehr, Industrie, Überweidung) der Klimaänderung überlagern vier Folgewirkungen (Überschwemmungen, Abtauen der Eiskappen, Dürren, Brände). Schädliche Klimagase durchziehen in zwei senkrechten und zwei waagerechten Streifen das Bild.

Das Bild ist durch den mehrfach angewandten **Goldenen Schnitt** gerastert. Blaue und grüne Streifen durchziehen in Streifen das Bild entlang der Linien des Goldenen Schnittes. Die gewählten Farben entsprechen dem dargestellten Inhalt."

Die weitere Reihe gliedert sich in drei Blöcke. Zunächst geht es um Kohlendioxid – exemplarisch für alle Klimagase. Danach werden einige Folgen des Klimawandels behandelt. Im Wesentlichen geht es um die Eisschmelze und den damit teilweise verbundenen Anstieg des Meeresspiegels. Der letzte Block bearbeitet schließlich die Frage, was geschehen muss, um die Klimaziele von Paris wenigstens annähernd einhalten zu können.

Methodisch-didaktische Schwerpunkte der Unterrichtsreihe

Den Materialien sind keine festen Sozialformen zugeordnet. Entscheiden Sie selbst, ob Sie die Schüler in Partner- oder in Dreier-/Vierergruppen arbeiten lassen. Einzel- bzw. Stillarbeit sollte aber die Ausnahme sein, weil zum einen die Kompetenzen Kommunizieren und Kooperieren gefördert werden sollen. Zum anderen ist der Sachzusammenhang so komplex, dass ein Einzelner dabei überfordert sein kann. Zum Einstieg in die 2. Stunde können Sie gut ein **Schülerreferat** zu Prof. Keeling und der Messstation in Mauna Loa vergeben.

Mathematikdidaktisch geht es u. a. um die Verarbeitung und Beurteilung von Datensätzen mithilfe geeigneter Werkzeuge. Nutzen Sie die, die an Ihrer Schule vorhanden sind und von den Schülern beherrscht werden. Online-Recherchen sind an vielen Stellen notwendig. Wenn Sie keine ausreichenden Möglichkeiten an der Schule haben, verlagern Sie entsprechende Aufgabenteile in die häusliche Vor- oder Nacharbeit. Achten Sie bei den Punktdiagrammen mit Zeitachse darauf, dass Sie für ein Basisjahr t = 0 setzen, also die vergangene Zeit seit diesem Jahr auf der x-Achse auftragen lassen. Damit behalten die Schüler den Ursprung im Blick. Außerdem vermeiden Sie, dass Rundungsfehler große Auswirkungen haben.

Wenn Sie nicht genug Zeit haben …

Sie können auch einzelne Materialien an geeigneter Stelle einsetzen, etwa bei der Behandlung von Diagrammen oder in der Analysis, wenn es um Änderungsraten und Beschleunigung geht.

Versuchen Sie aber unbedingt bei der Behandlung auch den fächerübergreifenden Kontext – wenigstens kurz – zu diskutieren oder mit Kollegen anderer Fächer zu kooperieren. Beispielsweise kann der Physiklehrer die Überlegungen in **M 6** wirkungsvoll mit Experimenten unterstützen.

© RAABE 2019

VORSCHAU

netzwerk lernen

zur Vollversion

Auf einen Blick

1. Stunde

Thema:	Die Erde hat Fieber
M 2	**Daten zur Entwicklung der globalen Temperaturveränderungen**
Benötigt:	☐ OH-Projektor bzw. Beamer/Whiteboard
	☐ Folie bzw. digitale Fassung von **M 1**
	☐ Tabellenkalkulation (o. Ä.) auf PC oder Handheld

2.–3. Stunde

Thema:	CO_2-Emissionen und -Immissionen
M 3	**Monatliche CO_2-Konzentrationen am Mauna Loa**
Benötigt:	☐ OH-Projektor
M 4	**Die größten CO_2-Emittenten**
M 5	**Historische Dimensionen**
Benötigt:	☐ OH-Projektor bzw. Beamer/Whiteboard
	☐ Folie bzw. digitale Fassung von **M 3**
	☐ Online-Zugang (*www.gapminder.org*) oder gapminder-tools (offline)
	☐ Tabellenkalkulation (o. Ä.) auf PC oder Handheld

4.–7. Stunde

Thema:	Klimafolgen: Eisschmelze und Meeresspiegelanstieg
M 6	**Eisschilde und Gletscher**
M 7a / 7b	**Das arktische Meereis-Minimum**
M 8	**Meeresspiegel steigt schneller als gedacht**
Benötigt:	☐ OH-Projektor bzw. Beamer/Whiteboard (optional)
	☐ Folie bzw. digitale Fassung von **M 7a** + Rasterfolie (optional)
	☐ Tabellenkalkulation (o. Ä.) auf PC oder Handheld

8–9. Stunde

Thema:	Was ist zu tun?
M 9	**Das Deutlich-unter-zwei-Grad-Ziel**
Einsetzbar ab	Jahrgangsstufe 9 (nur Aufgaben 1 und 2), Jahrgangsstufe 12 (Aufgabe 3), für die letzte Aufgabe werden Kenntnisse aus der Analysis vorausgesetzt
Benötigt:	☐ OH-Projektor bzw. Beamer/Whiteboard (optional)
	☐ Folie bzw. digitale Fassung von **M 9** (optional
	☐ PC oder Handheld

VORSCHAU

© RAABE 2019

netzwerk lernen

zur Vollversion

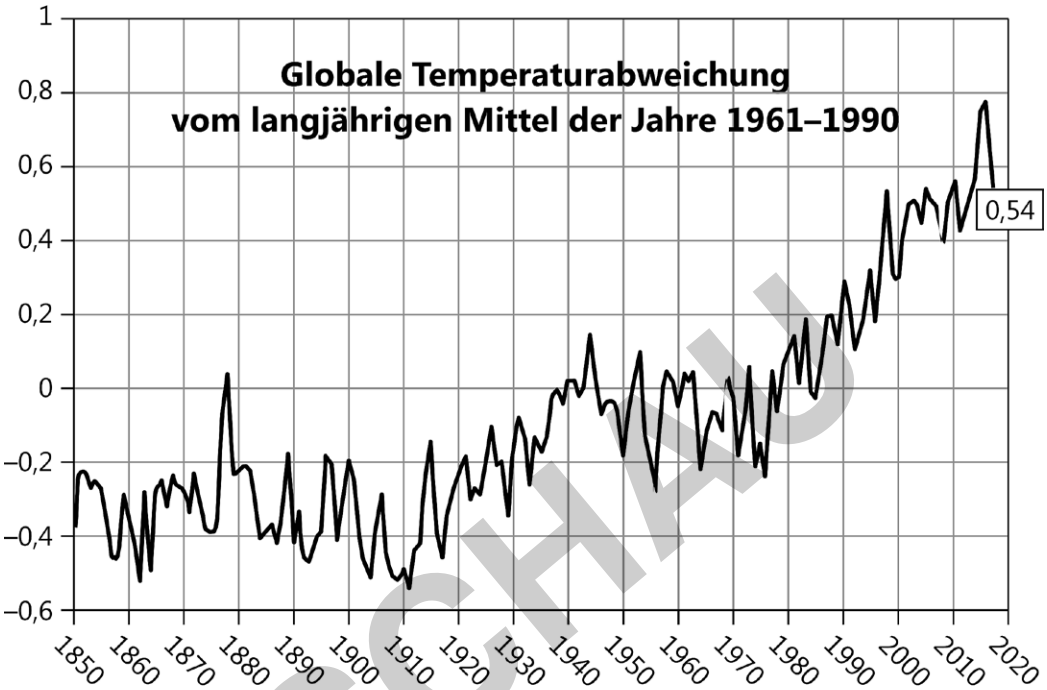
M 2

Die Erde hat Fieber – Veränderung der Temperatur

Jahr	Temp.-Abweichung (°C) *)
1987	0,191
1988	0,199
1989	0,118
1990	0,296
1991	0,254
1992	0,103
1993	0,145
1994	0,206
1995	0,321
1996	0,180
1997	0,389
1998	0,536
1999	0,306
2000	0,293
2001	0,439
2002	0,497
2003	0,508
2004	0,448
2005	0,544
2006	0,505
2007	0,492
2008	0,394
2009	0,506
2010	0,556
2011	0,421
2012	0,469
2013	0,512
2014	0,575
2015	0,760
2016	0,773
2017	0,542

*) vom langjährigen Mittel der Jahre 1961 bis 1990

Die Grafik zeigt die Veränderungen der globalen Durchschnittstemperatur im Vergleich zum Mittel der Referenzperiode (1961–1990). Die Tabelle links gibt die Einzelwerte der Temperaturabweichung der letzten 30 Jahre wieder. Wie man aus der Grafik ablesen kann, liegt die Durchschnittstemperatur für die letzten 50 Jahre des 19. Jahrhunderts schätzungsweise noch etwa 0,3 °C niedriger.



Quelle: Umweltbundesamt, Daten von Met Office Hadley Centre, Climate Research Unit

Aufgaben

a) Informieren Sie sich, wie die globale jährliche Temperaturabweichung bestimmt wird und warum man nicht die absoluten Werte misst. Recherchieren Sie ggf. aktuelle Zahlen. Geben Sie an, um wie viel Grad Celsius die Höchstwerte der letzten Jahre über den Durchschnittswerten der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts liegen.

b) Erstellen Sie selbst mit einem geeigneten Werkzeug ein Punkte-Diagramm für die letzten 30 Jahre. Berechnen Sie, um wie viel Grad Celsius sich die globale Temperatur für diesen Zeitabschnitt pro Jahr im Schnitt erhöht hat.

c) Zeichnen Sie eine Trendgerade für die 30-Jahre-Periode ein und schätzen Sie auf dieser Basis ab, wann die vom Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC) als möglichst einzuhaltende Veränderungsgrenze von 1,5 bis 2 °C bei einem „Weiter wie jetzt"-Szenario erreicht wird.

© RAABE 2019

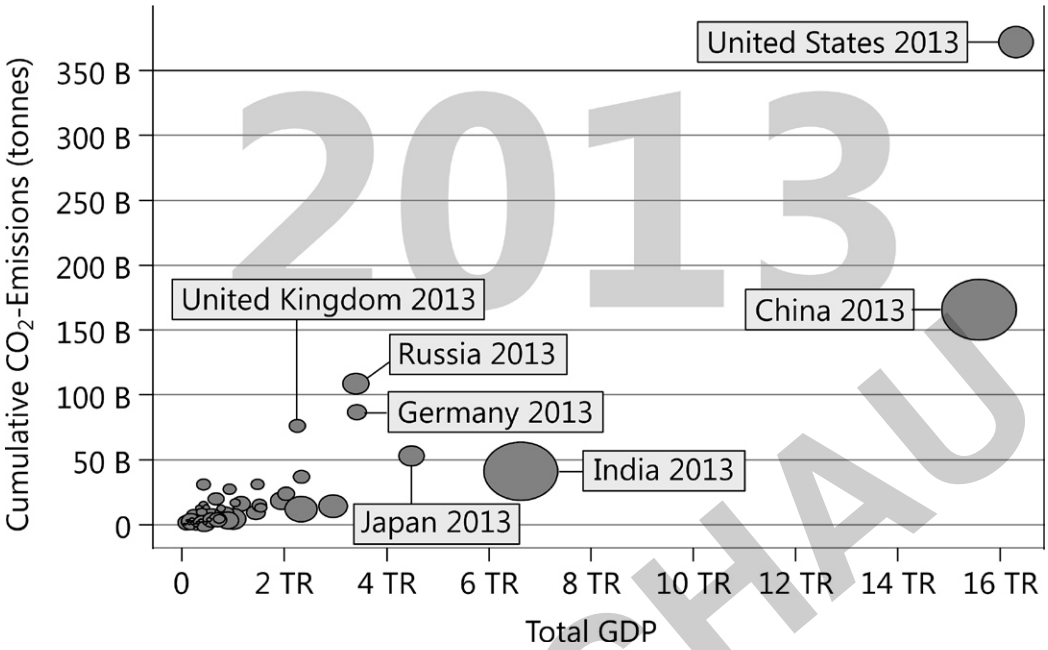
VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Historische Dimensionen

M 5

Die Grafik zeigt die historischen CO_2-Emissionen (1751–2013, B = billion tons) in Abhängigkeit vom GDP (gross domestic product, TR = trillion US-Dollar). Jeder Kreis steht für ein Land, die Flächenmaßzahl ist proportional zur Bevölkerungszahl.



Grafik: Export aus den Gapminder Tools offline v.4.00 (dataset v. 1.16.1), A. Warmeling, digitalisiert v. Dr. W. Zettlmeier

© RAABE 2019

2013 VORSCHAU

Aufgaben

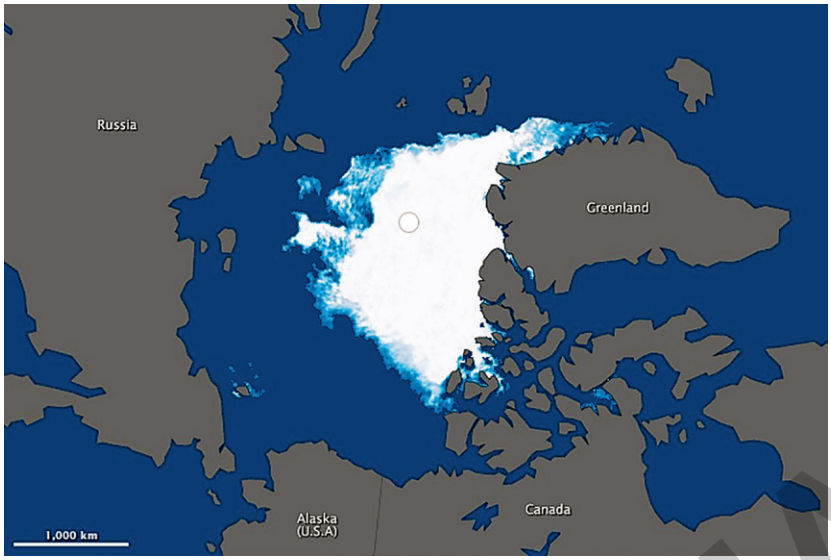
1. a) Übersetzen Sie die Achsenbeschriftungen ins Deutsche und erklären Sie die Größenordnungen. Beachten Sie die unterschiedliche Bedeutung billion (engl.) und Billion (deutsch) ebenso wie trillion und Trillion.
   b) Erläutern Sie mit Ihren Worten, welche Informationen die Grafik und insbesondere die namentlich gekennzeichneten Punkte liefern.
2. Die Grafik können Sie sich unter *https://www.gapminder.org/* selbst generieren.
   Klicken Sie dazu auf *Tools* und stellen sie für die beiden Achsen die richtigen Größen ein. Wählen Sie dort jeweils auch eine lineare Skala. Auf der rechten Seite sollte unter *size* Population ausgewählt sein. Mit der Zeitleiste unten können Sie nun die Entwicklungen der letzten 200 Jahre im Zeitraffer ablaufen lassen. Beschreiben Sie (mindesten) drei Entwicklungen, die Ihnen auffallen.

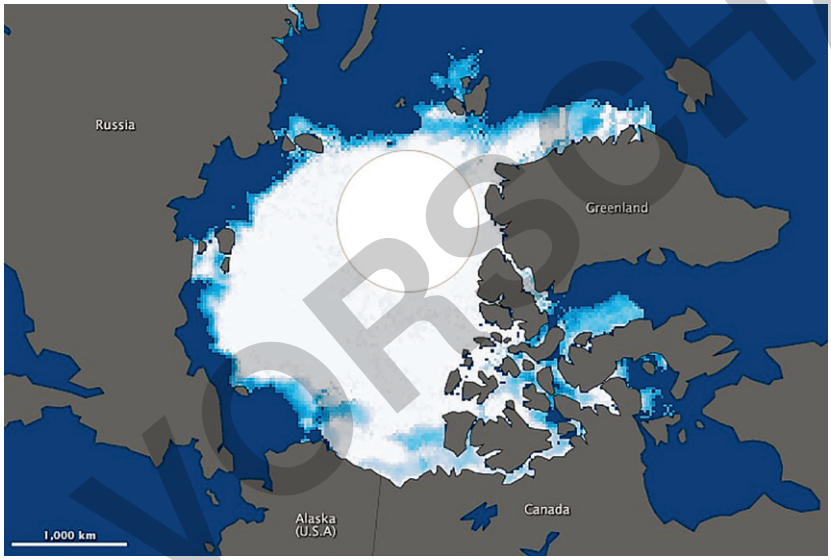
netzwerk lernen
zur Vollversion

Das arktische Meereis-Minimum

M 7a

Die beiden Bilder zeigen die minimale Ausbreitung des arktischen Meereises einmal am 16.9.1984, einmal am 13.9.2012. Das Minimum liegt immer am Ende des Sommers (Anfang September).





© NASA Earth Observatory image by Jesse Allen, using data from the Advanced Microwave Scanning Radiometer 2 AMSR-2 sensor on the Global Change Observation Mission 1st-Water (GCOM-W1) satellite. Caption by Michon Scott and Mike Carlowicz

© RAABE 2019

VORSCHAU

Aufgaben

1. Schätzen Sie mit einem geeigneten Verfahren aus den Bildern ab, um wie viel Prozent sich das arktische Meereisminimum zwischen 1984 und 2012 verringert hat.
2. Recherchieren Sie, welche Vor- und Nachteile diese Entwicklung hat (z. B. Stichwort: Albedo-Effekt).

netzwerk lernen
zur Vollversion

Meeresspiegel steigt schneller als gedacht

M 8

Der Meeresspiegel steigt jedes Jahr etwas schneller – und der Zuwachs könnte bis zum Jahr 2100 mehr als das Doppelte bisheriger Prognosen erreichen. Das haben Wissenschaftler anhand von Satellitenmessungen errechnet. Seit 1993 stieg der Meeresspiegel im weltweiten Durchschnitt jährlich um etwa 3 Millimeter.

Die nun gemessene Beschleunigung könnte dazu führen, dass der Anstieg im Jahr 2100 zehn Millimeter pro Jahr beträgt. Das berichtet die Forschergruppe um Steve Nerem von der University of Colorado in Boulder. Bis zum Ende des Jahrhunderts könnte demnach der Durchschnittspegel an den Küsten um 65 Zentimeter höher liegen als 2005.

Die Wissenschaftler berücksichtigten verschiedene Faktoren, die den globalen Meeresspiegel beeinflussen, wie z. B. das Klimaphänomen El Niño im Pazifik. Nach Berücksichtigung aller Daten errechnete das Team eine jährliche Beschleunigung des globalen Meeresspiegelanstiegs um 0,08 Millimeter. Es ergibt sich also eine exponentielle Kurve mit stets zunehmenden Anstiegsraten.

nach Frankfurter Rundschau vom 17.2.2018

letzte Messung im Jahr	Meeres-spiegel mm
1992	–33,1
1993	–23,5
1994	–21,6
1995	–17,6
1996	–24,3
1997	–15,6
1998	–19,2
1999	–10,1
2000	–8,2
2001	–2,6
2002	–1,5
2003	–1,6
2004	11,0
2005	11,4
2006	11,2
2007	8,7
2008	12,1
2009	22,1
2010	16,6
2011	22,4
2012	31,9
2013	31,7
2014	38,8
2015	45,9
2016	46,6
2017	50,9

Aufgaben

1. In dem obigen Text sind verschiedene Größen erwähnt: die Meeresspiegelhöhe (in Bezug auf einen festen Nullpunkt), die jährliche Steigerung, die Beschleunigung. Geben Sie zu allen drei Größen passende Einheiten an. Wenn Sie nicht sicher sind, schauen Sie in den Originalbeitrag (https://www.pnas.org/content/115/9/2022), dort werden – im Gegensatz zum obigen Beitrag – die richtigen Einheiten verwendet.
2. Die Tabelle rechts enthält nur einen kleinen Teil der Daten, die den Forschern zur Verfügung standen. Daher können unsere Untersuchungen nicht genau mit denen der Forscher übereinstimmen.
   a) Zeichnen Sie mit einem geeigneten Hilfsmittel ein Punktediagramm, setzen sie dazu am besten t = 0 für 1992.
   b) Lassen Sie sich eine quadratische Trendlinie einzeichnen (wie es auch die Forscher taten) und überprüfen Sie mithilfe dieser Funktion die im Zeitungsbericht angegebenen Prognosen.
   c) Untersuchen Sie zum Vergleich auch eine lineare Prognose.
3. Nehmen Sie Stellung zu folgenden Aussagen:
   a) Es ergibt sich also eine exponentielle Kurve mit stets zunehmenden Anstiegsraten. (Frankfurter Rundschau)
   b) Die Beschleunigung entspricht dem Doppelten des quadratischen Koeffizienten (Übersetzung aus dem Originalbeitrag).

© RAABE 2019

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion

Hinweise und Erwartungshorizonte

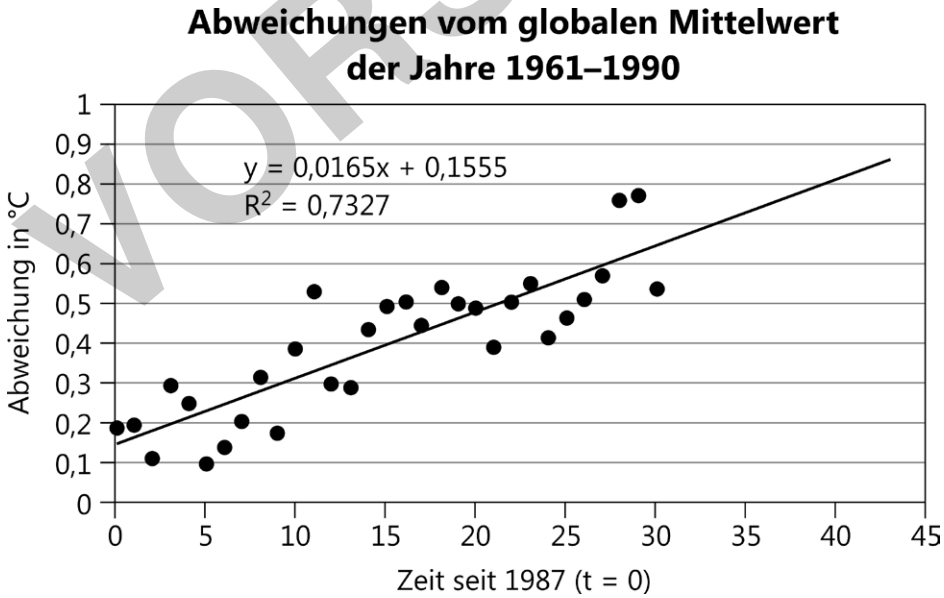
Hinweise (M 1, M 2; 1. Stunde)

Der Einstieg in diese Reihe und auch in diese Stunde geschieht über das Bild Willi van Lücks „**Klimawandel**“ (**M 1**). Fordern Sie die Schüler auf zu beschreiben, was sie dort sehen. Die sich daraus ergebende Diskussion können Sie nutzen, um das Vorwissen der Schüler zu aktivieren und auf der Tafel oder mithilfe einer Kartenabfrage Ursachen und Folgen zu notieren (maximal 20 Minuten).
Der anschließende Einsatz von **M 2** hängt von den Rahmenbedingungen ab. Für die Bearbeitung von Teilaufgabe a) brauchen Sie einen Online-Zugang, für Teil b) geeignetes Werkzeug (Excel, GeoGebra, Handheld o. Ä.). Wenn Ihre Schüler damit bisher noch wenig Erfahrungen haben, bietet es sich an dieser Stelle an, die Erstellung eines **Punktediagramms mit Trendgerade** anhand der hier gegebenen Daten exemplarisch zu besprechen.

Erwartungshorizont (M 2)

a) Wie die globale Durchschnittstemperatur ermittelt wird, kann man zum Beispiel beim Deutschen Wetterdienst nachlesen:
https://www.dwd.de/SharedDocs/faqs/DE/klima_faqkarussell/klimaaenderung_3.html
2016 wurde die höchste Temperaturveränderung mit 0,773 °C über dem langjährigen Mittel der Jahre 1961–1990 gemessen, d. h., in dem Jahr war es im globalen Durchschnitt also mehr als ein Grad (0,77 °C + 0,3 °C) heißer als in der vorindustriellen Zeit.

b)/c) Wenn man den Mittelwert der jährlichen Veränderungen der Abweichung berechnet, kommt man auf 0,0117 °C/Jahr. Das ist aber nur die mittlere Steigung zwischen dem ersten und dem letzten Wert, die den Verlauf der Datenwolke nicht gut beschreiben.



Grafik: Antonius Warmeling, Hagen

Die Trendgerade besitzt die Gleichung y = 0,0165 x + 0,1555. Danach liegt die jährliche Steigerung bei etwa 0,0165 °C/Jahr.
Setzt man y = 1,5 (bzw. y = 2), so erhält man x ≈ 81,5 (bzw. x ≈ 111,8). Wenn es so weitergeht wie bisher, ist also etwa 2068 eine Überschreitung des 1,5 °C-Ziels zu erwarten, am Ende des 21. Jahrhunderts 2099) wäre dann auch das 2 °C-Ziel verfehlt.

© RAABE 2019

VORSCHAU

netzwerk lernen
zur Vollversion