Meeresspiegelanstieg I – Modellierung mit ganzrationalen Funktionen

Material zum beispielhaften SiLP GOSt Mathematik NRW 2023

Juni 2023

# Kurzbeschreibung

Diese Unterrichtssequenz bietet die Möglichkeit im Rahmen des Inhaltsfelds „Funktionen und Analysis“ im Sinne der Querschnittsaufgabe „Bildung für nachhaltige Entwicklung“ ausgewählte Folgen des Klimawandels zu thematisieren. Der bedeutsame sinnstiftende Kontext des Meeresspiegelanstiegs infolge des Klimawandels wird hier mit Mitteln der Mathematik näher untersucht. Ziel ist es, auf der Grundlage wissenschaftlich erhobener, authentischer Daten den Verlauf des Anstiegs des Meeresspiegels mit ganzrationalen Funktionen zu modellieren, um Prognosen für die Höhe des Meeresspiegels im Jahr 2100 zu erstellen.

Es ist angedacht, diese Unterrichtssequenz mit der Unterrichtssequenz „Meeresspiegelanstieg II – Modellierung mit Exponentialfunktionen“ zu verbinden oder sie zu einem späteren Zeitpunkt damit fortzusetzen. Der fachliche Schwerpunkt dieser ersten Unterrichtssequenz liegt in der Bestimmung von ganzrationalen Funktionen mithilfe von Bedingungen, die sich aus dem Kontext ergeben. Dabei wird auch ein MMS eingesetzt.

Das Material kann sowohl im Grundkurs als auch im Leistungskurs verwendet werden.

Zeitbedarf: ca. 4 Unterrichtsstunden

# Lehrplanbezug

Diese Unterrichtssequenz konkretisiert eine mögliche Umsetzung des beispielhaften schulinternen Lehrplans Mathematik, der auf dem Kernlehrplan der gymnasialen Oberstufe Mathematik (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2023) basiert.

Im Kapitel 1 des Kernlehrplans „Aufgaben und Ziele des Faches“ ist festgelegt, dass der Unterricht im Fach Mathematik im Rahmen des allgemeinen Bildungs- und Erziehungsauftrags der Schule die Entwicklung einer mündigen und sozial verantwortlichen Persönlichkeit unterstützt und Beiträge zu fachübergreifenden Querschnittsaufgaben in Schule und Unterricht leistet, insbesondere zur Bildung für nachhaltige Entwicklung. Ein solcher Beitrag wird in der folgenden Unterrichtssequenz dargestellt. In der „Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung“ heißt es dazu wörtlich: „BNE-Lernprozesse sind dadurch charakterisiert, dass sie exemplarisch relevante Fragestellungen/Themen aus gesellschaftspolitischen und fachwissenschaftlichen Diskursen aufgreifen und in ihrer Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung reflektieren.“ (Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen, 2019, S. 15)

Die vorliegende Unterrichtssequenz lässt sich im beispielhaften schulinternen Lehrplan in das Unterrichtsvorhaben „Modellieren von Sachsituationen mit Funktionen“ (Q-GK-A2 bzw. Q-LK-A2) einordnen.

Die folgenden Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans sind Schwerpunkte der Kompetenzentwicklung in dieser Unterrichtssequenz.

|  |
| --- |
| **Kompetenzerwartungen**Die Schülerinnen und Schüler …**Inhaltsbezogene Kompetenzen**GK-A(3) bestimmen Parameter einer Funktion mithilfe von Bedingungen, die sich aus dem Kontext ergeben, GK-A(20) lösen innermathematische und anwendungsbezogene Problemstellungen mithilfe von ganzrationalen Funktionen, der natürlichen Exponentialfunktion und daraus zusammengesetzten Funktionen,LK-A(4) bestimmen Parameter einer Funktion mithilfe von Bedingungen, die sich aus dem Kontext ergeben,LK-A(23) lösen innermathematische und anwendungsbezogene Problemstellungen mithilfe von ganzrationalen Funktionen, Exponentialfunktionen und daraus zusammengesetzten Funktionen sowie mithilfe von Sinus- und Kosinusfunktionen,**Prozessbezogene Kompetenzen**Ope-(4) verwenden Basiswissen, mathematische Regeln und Gesetze sowie Algorithmen bei der Arbeit mit mathematischen Objekten,Ope-(10) recherchieren Informationen und Daten aus Medienangeboten (Printmedien, Internet und Formelsammlungen) und reflektieren diese kritisch,Ope-(12) verwenden im Unterricht ein modulares Mathematiksystem (MMS) zum …– Lösen von Gleichungen und Gleichungssystemen auch abhängig von Parametern,– Erstellen von Graphen und Wertetabellen von Funktionen,Mod-(1) erfassen und strukturieren zunehmend komplexe reale Situationen mit Blick auf eine konkrete Fragestellung,Mod (2) treffen begründet Annahmen und nehmen Vereinfachungen realer Situationen vor,Mod-(3) übersetzen zunehmend komplexe reale Situationen in mathematische Modelle,Mod-(5) erarbeiten mithilfe mathematischer Kenntnisse und Fertigkeiten Lösungen innerhalb des mathematischen Modells,Mod-(6) beziehen erarbeitete Lösungen wieder auf die reale Situation und interpretieren diese als Antwort auf die Fragestellung,Mod-(7) reflektieren die Abhängigkeit der Lösungen von den getroffenen Annahmen,Mod-(8) benennen Grenzen aufgestellter mathematischer Modelle und vergleichen Modelle bzgl. der Angemessenheit,Mod-(9) verbessern aufgestellte Modelle mit Blick auf die Fragestellung,Kom-(1) erfassen, strukturieren und formalisieren Informationen aus zunehmend komplexen mathematikhaltigen analogen und digitalen Quellen sowie aus mathematischen Fachtexten und Unterrichtsbeiträgen,Kom-(2) beschreiben Beobachtungen, bekannte Lösungswege und Verfahren. |

# Material mit Erläuterungen/Didaktischen Hinweisen

Basierend auf aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnissen wird in vielen Prognosen erwartet, dass der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 um bis zu einem Meter oder mehr ansteigen wird. Die genaue Höhe des Anstiegs hängt jedoch von einer Vielzahl von Faktoren ab, einschließlich der zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen, der Schmelzrate von Eisdecken und Gletschern sowie der thermischen Ausdehnung der Ozeane.

Es gibt mehrere Schätzungen und Modelle, die versuchen, den Anstieg des Meeresspiegels im Laufe des Jahrhunderts zu prognostizieren. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), eine internationale Organisation von Klimawissenschaftlerinnen und Klimawissenschaftlern, hat in seinem Sonderbericht 2019 prognostiziert, dass der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 im günstigsten Fall um 61 cm und im ungünstigsten Fall um 110 cm ansteigen wird.

Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass dies nur Schätzungen sind und dass der Anstieg des Meeresspiegels von vielen Faktoren beeinflusst wird, die schwierig vorherzusagen sind. Es gibt auch Unsicherheiten bei der Modellierung von komplexen Klimasystemen, so dass die tatsächliche Höhe des Anstiegs wahrscheinlich von den Prognosen abweichen wird. Es ist jedoch klar, dass ein weiterer Anstieg des Meeresspiegels weitreichende Auswirkungen auf Küstengemeinden, Infrastruktur und Ökosysteme haben wird.

Eine Prognose ist von den gewählten Annahmen und Daten abhängig. Dies zeigt sich auch in unterschiedlichen Prognosen in wissenschaftlichen Veröffentlichungen. Beispielsweise publizierte eine Gruppe um den Klimatologen James E. Hansen im Jahr 2015 eine Arbeit, in der auf exponentiell verlaufende Dynamiken verwiesen wird, die bereits für das Jahr 2050 einen Meeresspiegelanstieg um mehr als 1 m erwarten lassen. Forscher um Steve Nerem haben anhand von Satellitenmessungen errechnet, dass der Meeresspiegel jedes Jahr etwas schneller steigt. Daher könnte der Durchschnittspegel an den Küsten im Jahr 2100 um 65 cm höher liegen als im Jahr 2005.

Eine 2019 veröffentlichte Studie hat den wahrscheinlichen Meeresspiegelanstieg bis 2100 unter Berücksichtigung der Entwicklung der Eisschilde, der thermischen Expansion der Meere, der Gletscherschmelzen und der Landwasserspeicher betrachtet. Laut dieser Studie besteht eine kleine, aber dennoch relevante Wahrscheinlichkeit dafür, dass der Meeresspiegelanstieg bis 2100 mehr als 2 m betragen wird. Im Einzelnen ist in einem Szenario einer Erwärmung um 2°C mit neunzigprozentiger Sicherheit ein Meeresspiegelanstieg zwischen 36 und 126 cm zu erwarten.

Ziel dieser Unterrichtssequenz ist eine einfache Modellierung des Meeresspiegelanstiegs bis zum Jahr 2100, so wie es den Lernenden mit den zur Verfügung stehenden mathematischen Verfahren möglich ist. Dadurch soll einerseits ein Bewusstsein für die Zukunftsfrage „Welche Auswirkungen hat der Meeresspiegelanstieg auf unsere Umwelt?“ geschaffen und andererseits die Abhängigkeit von getroffenen Modellannahmen für Prognosen erfahrbar gemacht werden.

**Material 1:**

Zum Einstieg in die Unterrichtssequenz sollten die Lernenden mit Beiträgen (Schlagzeilen, Fotos etc.) aus aktuellen Medien in das Thema eingeführt werden. Dabei können die Lernenden ihr Vorwissen zum Klimawandel allgemein sowie zum Meeresspiegelanstieg speziell darlegen und Fragestellungen formulieren. Die Lehrkraft sollte die Beiträge bündeln und nutzen, um für die Schwierigkeit, verlässliche Prognosen zu erstellen, zu sensibilisieren.

Material 1 bietet ein Einstiegsbeispiel in Form einer Schlagzeile mit Untertitel. Es werden sich im Internet leicht aktuellere Medienbeiträge finden lassen.

Der Meeresspiegelanstieg entwickelt sich auch in Europa zunehmend zur Bedrohung für Bewohnerinnen und Bewohner sowie die touristische Infrastruktur, wie das Hochwasser in der italienischen Lagunenstadt Venedig im Jahr 2019 zeigte.

Im Einstieg sollte auch thematisiert werden, welche große Bedeutung verlässliche Prognosen für politisches Handeln haben. Derartige Prognosen beruhen stets auf erhobenen Daten und mathematischen Modellierungen. Damit kann den Lernenden die große Bedeutung der Mathematik für die Bewältigung von Zukunftsfragen bewusstgemacht werden.

**Material 2:**

Der Informationstext bündelt für alle Lernenden die wichtigsten Informationen und enthält erste Daten, die mathematisch ausgewertet werden können. Hier kann bereits thematisiert werden, dass die Auswahl der für die angestrebte Modellierung zugrunde gelegten Daten eine erste wichtige, mathematisch bedeutsame Entscheidung darstellt, da Durchschnittswerte für unterschiedlich große Zeiträume gebildet werden.

**Material 3:**

Aus authentischen Daten werden konkrete Werte für eine Modellierung extrahiert und vorgegeben. Grundsätzlich besteht hier die Möglichkeit, auch die ersten Modellierungsschritte, wie die Wahl des Nullpunktes und die Bestimmung von zwei Punkten, mit den Lernenden zu thematisieren oder diese Abweichend vom Material den Lernenden zu überlassen.

Nach relativ einfachen Modellierungen mit linearen und quadratischen Funktionen führt die Modellierung mit einer ganzrationalen Funktion dritten Grades auf ein lineares Gleichungssystem, das in diesem Unterrichtsvorhaben mithilfe des MMS gelöst werden sollte. Alternativ besteht auch die Möglichkeit, hier ein algorithmisches Lösungsverfahren für lineare Gleichungssysteme einzuführen.

Die optionale Teilaufgabe e) eignet sich besonders für einen Einsatz im Leistungskurs. Ein ausführlicher Kommentar und Erwartungshorizont für Material 3 befindet sich hinter den Materialien.

**M1: Einstiegsbeispiel**

17.03.2021

**Meeresspiegelanstieg für weltweite Küstenregionen höher als bisher angenommen**

Internationale Studie mit Kieler Beteiligung analysiert erstmals Zusammenhang zwischen globalem Meeresspiegelanstieg und Landabsenkung in Küstenregionen.

(Quelle: [https://www.uni-kiel.de/de/universitaet/detailansicht/news/061-nature-climate-change#](https://www.uni-kiel.de/de/universitaet/detailansicht/news/061-nature-climate-change))
(Zugriff: 16.06.2023)

**M 2: Informationstext „Meeresspiegelanstieg“**

Der Anstieg des Meeresspiegels weltweit hat seine Ursache in der zunehmenden Erderwärmung infolge des im Wesentlichen vom Menschen verursachten Klimawandels. Durch die höheren Durchschnittstemperaturen auf der Erde dehnt sich das wärmere Meerwasser aus und das Eis an den Polen sowie die Gletscher in den Hochgebirgen schmelzen, wodurch mehr Wasser vom Festland in die Ozeane gelangt. Durch den Meeresspiegelanstieg, der etwa seit 1850 zu beobachten ist und in den letzten Jahrzehnten deutlich zugenommen hat, sind zahlreiche Menschen und Tiere auf Inseln oder in Küstennähe bedroht. Dies gilt in unserer Nähe beispielsweise auch für die Niederlande, deren Hinterland teilweise unter dem Meeresspiegelniveau liegt. Prognosen für den weiteren Anstieg des Meeresspiegels sind stark abhängig von aktuellen Messergebnissen und Annahmen über das Ausmaß der Erderwärmung in den kommenden Jahrzehnten.

**Daten**

Zwischen 1870 und 2004 ist der Meeresspiegel im globalen Mittel um etwa 19,5 cm angestiegen, die durchschnittliche gemessene Erhöhung betrug im 20. Jahrhundert 1,7 ± 0,5 mm pro Jahr und zwischen 1961 und 2003 jährlich 1,8 ± 0,5 mm.

Satellitendaten der Jahre 1993 bis 2016 zeigen eine Anstiegsrate von 3,1 ± 0,4 mm pro Jahr. 2018 wurde ein Anstieg von 3,7 mm pro Jahr beobachtet.

*(Quelle: Wikipedia: Meeresspiegelanstieg seit 1850 (Zugriff 10.02.23))*

**Material 3: Modellierung mit ganzrationalen Funktionen**

Auf der Grundlage der folgenden Daten soll der Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100 prognostiziert werden:

Satellitendaten der Jahre 1993 bis 2016 zeigen eine Anstiegsrate von 3,1 ± 0,4 mm pro Jahr. 2018 wurde sogar ein Anstieg von 3,7 mm pro Jahr beobachtet.

*(Quelle: Wikipedia: Meeresspiegelanstieg seit 1850; Zugriff 10.02.23)*

Wir wählen als Ausgangspunkt das Ende des Jahres 2010. Dann ergibt sich für das Ende des Jahres 2015 ein Anstieg von 5 ∙ 3,1 mm = 15,5 mm. Es ergibt sich der Punkt A (5|15,5), wenn die x-Werte die Anzahl der Jahre ab Ende 2010 angeben und die
y-Werte den Anstieg des Meeresspiegels im Vergleich zum Jahr 2010 in mm.

Für 2018 ergibt sich 7 ∙ 3,1 mm + 3,7 mm = 25,4 mm, also B (8|25,4).

1. (1) Erstellen Sie eine Prognose für den Meeresspiegelanstieg am Ende des Jahres 2050 und des Jahres 2100, indem Sie mithilfe der beiden Punkte A und B eine lineare Funktion *f* modellieren, die den Meeresspiegelanstieg beschreibt.

(2) Interpretieren Sie die beiden Summanden des Funktionsterms im Sachkontext und formulieren Sie eine Modellkritik.

1. Erstellen Sie eine Prognose für das Jahr 2050 und das Jahr 2100, indem Sie mithilfe der beiden Punkte A und B und dem Nullpunkt eine quadratische Funktion *g* modellieren, die den Meeresspiegelanstieg beschreibt.
2. Erstellen Sie eine Prognose für den Meeresspiegelanstieg am Ende des Jahres 2050 und des Jahres 2100, indem Sie auf der Grundlage der angegebenen Daten eine ganzrationale Funktion dritten Grades modellieren, die den Meeresspiegelanstieg beschreibt. Gehen Sie dazu von einem jährlichen Meeresspiegelanstieg nach 2018 bis 2025 von 3,5 mm aus.
3. (1) Vergleichen Sie bei allen drei modellierten Funktionen die Wachstumsgeschwin-
 digkeiten am Ende der Jahre 2050 und 2100.

(2) Recherchieren Sie, wie sich die Wachstumsgeschwindigkeit des Meeresspiegels nach wissenschaftlichen Prognosen voraussichtlich verändern wird und vergleichen Sie dies mit Ihren Ergebnissen aus d)(1). Formulieren Sie auf dieser Grundlage eine Modellkritik sowie Vorschläge zur Verbesserung der Modellierung.

***Optional:***

1. Wählen Sie zwei andere Ausgangspunkte C und D, die sich aus den Daten ergeben, und untersuchen Sie welche Auswirkungen die veränderten Ausgangsdaten auf die jeweilige Modellierung und die Prognose haben.

***Erwartungshorizont und Kommentar zu Material 3:***

1. (1) Die Koeffizienten der linearen Funktion *f* mit *f(x) = mx + b* erhält man durch Einsetzen der Koordinaten der Punkte:

m = $\frac{25,4-15,5}{8-5}=3,3$ und mit *f*(5) = 15,5 folgt b = -1.

Also gilt *f(x) = 3,3 x – 1* und *f*(40) = 131 und *f*(90) = 296.

Nach diesem Modell wird der Meeresspiegelanstieg 13,1 cm am Ende des Jahres 2050 und 29,6 cm am Ende des Jahres 2100 jeweils bezogen auf das Jahr 2010 betragen.

(2) Der berechnete Funktionsterm sagt aus, dass der Meeresspiegel jährlich um 3,3 mm ansteigt.

Mit f(0) = -1, wird in der Modellierung der Ausgangspunkt im Jahr 2010 unterschritten, allerdings nur um einen Millimeter.

Wählt man (0|0) und (8|25,4) als Ausgangspunkte für die Modellierung so erhält man f0(x) = 3,175 x, was einen geringeren Meeresspiegelanstieg modellieren würde. Für das Jahr 2100 ergäbe sich ein Anstieg von ungefähr 28,6 cm bezogen auf das Jahr 2010.

Der in Material 2 angegebene Wert für 2018 legt allerdings nahe, dass der Meeresspiegelanstieg nicht linear erfolgt, sondern stärker wächst.

1. Der Ansatz *g(x) = a*∙*x2 + b*∙*x + c* und die Werte A(5|15,5), B(8|25,4) sowie C(0|0) führen auf ein lineares Gleichungssystem, das sich mit Mitteln aus der Sekundarstufe I oder auch mit einem MMS lösen lässt:

I c = 0

II 25a + 5b = 15,5

III 64a + 8b = 25,4 <=> a = 0,025 ; b = 2,975 ; c = 0

g(x) = 0,025x2 + 2,975x => g(40) = 159 und g(90) = 470,25

Der Meeresspiegel würde nach diesem Modell bis zum Ende des Jahres 2050 bereits um 15,9 cm und bis zum Ende des Jahres 2100 sogar um etwa 47,0 cm ansteigen, jeweils bezogen auf die Meeresspiegelhöhe am Ende des Jahres 2010.

1. Der Ansatz *h(x) = ax3 + bx2 + cx + d* kann mit den Koordinaten von vier geeigneten Punkten eindeutig gelöst werden. Unter Verwendung eines jährlichen Anstiegs von
3,5 mm im Zeitraum 2018-2025, ergibt sich D(15|49,9) als möglicher vierter Punkt.

Die Werte A(5|15,5), B(8|25,4), C(0|0) sowie D(15|49,9) führen dann auf ein lineares Gleichungssystem, das sich mit einem MMS lösen lässt. Alternativ könnte an dieser Stelle auch ein algorithmisches Lösungsverfahren für lineare Gleichungssysteme mit mehr als zwei Unbekannten eingeführt werden.

I 125a + 25b + 5c + d = 15,5

II 512a + 64b + 8c + d = 25,4

III d = 0

IV 3375a + 225b + 15c + d = 49,9

<=> a = $\frac{-1}{3000} $≈ -0,0003 ; b =$ \frac{11}{375}$ ≈ 0,0293 ; c = $\frac{1777}{600}$ ≈ 2,9617 ; d = 0

Für die Funktion *h* wird im Weiteren genutzt:

*h*(x) = -0,0003x3 + 0,0293x2 + 2,9617x => *h*(40) ≈ 146,1 und *h*(90) ≈ 285,2

Der Meeresspiegel würde nach diesem Modell bis zum Ende des Jahres 2050 um etwa 14,6 cm ansteigen und bis zum Ende des Jahres 2100 um etwa 28,5 cm, jeweils bezogen auf die Meeresspiegelhöhe am Ende des Jahres 2010. Der Anstieg würde also nach diesem Modell für das Jahr 2100 etwas geringer ausfallen als bei der Modellierung mit einer linearen Funktion (vgl. a)) sowie einer quadratischen Funktion (vgl. b)).

Betrachtet man den Graphen von *h, so* fällt zudem auf, dass in diesem Modell das Maximum des Meeresspiegels im Jahr 2109 erreicht sein würde. Danach würde der Meeresspiegel wieder sinken. Das liegt daran, dass bei der Grundlage der Modellierung der besonders hohe Anstieg für das Jahr 2018 mit 3,6 mm nicht fortgeschrieben wurde, sondern für den folgenden Datenpunkt wieder ein jährlicher Anstieg von 3,5 mm der Modellierung zugrunde gelegt wurde. Dies kann im Rahmen einer Modellkritik hier oder bei d) produktiv diskutiert werden.

Der Vergleich der Modellierungen sollte mithilfe des MMS auch anhand der Graphen erfolgen, die sich wie folgt darstellen:



1. (1) Es ergeben sich folgende Wachstumsgeschwindigkeiten:

*f‘*(x) = 3,3 => *f*‘(40) = 3,3 und *f*‘(90)= 3,3 [mm pro Jahr]

*g*‘(x) = 0,05x => *g*‘(40) = 2 und *g*‘(90) = 4,5 [mm pro Jahr]

*h*‘(x) = -0,0009x2 + 0,0586x + 2,9617 => *h*‘(40) ≈ 3,9 und *h*‘(90) ≈ 0,95 [mm pro Jahr]

(2) Die recherchierten Daten [individuelle Lösungen] gehen von einer steigenden Wachstumsgeschwindigkeit aus.

Die Modellierung mit der linearen Funktion geht von einem konstanten Meeresspiegelanstieg von 3,3 mm pro Jahr aus, was bei der voraussichtlichen weiteren Erderwärmung nicht unbedingt zu erwarten ist. Vermutlich fällt die Prognose bis zum Jahr 2100 auf Grundlage der linearen Modellierung also eher zu gering aus.

Die Modellierung mit der quadratischen Funktion entspricht dagegen einer erwarteten Zunahme der Wachstumsgeschwindigkeit. Die Prognose für das Jahr 2100 liegt auch in einem Bereich, der in wissenschaftlichen Studien genannt wird. Einige der recherchierten Daten geben aber auch höhere Werte für das Jahr 2100 an.

Bei der hier gewählten Modellierung mit einer ganzrationalen Funktion dritten Grades fällt auf, dass die Wachstumsgeschwindigkeit im Jahr 2100 mit 0,95 mm pro Jahr deutlich geringer ausfällt als im Jahr 2050 mit etwa 3,9 mm pro Jahr. Das passt nicht zur Aussage einer steigenden Wachstumsgeschwindigkeit. Die Modellierung erscheint somit wenig realistisch. Die Entwicklung der Wachstumsgeschwindigkeit bei dieser Modellierung liegt – wie oben erwähnt – in der Annahme begründet, dass der bei den Datenpunkten für den Anstieg zugrunde gelegte Wert für das Jahr 2018 über den angenommenen Anstiegswerten der Folgejahre lag. Hier würde sich eine Revidierung der Modellierung anbieten, bei der der Wert für 2018 als Sonderfall gar nicht berücksichtigt wird oder andere Werte für den Punkt B oder den Punkt D gewählt werden.

1. Individuelle Lösungen

# Vertiefung

Es wird empfohlen, nach Einführung der Exponentialfunktionen eine zweite Unterrichtssequenz zur Modellierung des Meeresspiegelanstiegs durchzuführen. Hierzu kann beispielsweise das Material „Meeresspiegelanstieg II – Modellierung mit Exponentialfunktionen“ genutzt werden.

# Literatur

Bildungsserver: Meeresspiegel der Zukunft. (Zugriff 16.06.2023) <https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Meeresspiegel_der_Zukunft>

Deutsches Klima-Konsortium: Zukunft der Meeresspiegel. Berlin 2019. (<https://www.deutsches-klima-konsortium.de/fileadmin/user_upload/pdfs/Publikationen_DKK/dkk-kdm-meeresspiegelbroschuere-web.pdf>)

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.): Leitlinie Bildung für nachhaltige Entwicklung. Düsseldorf 2019. (<https://www.schulministerium.nrw/sites/default/files/documents/Leitlinie_BNE.pdf>)

Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hg.): Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium / Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen Mathematik. Düsseldorf 2023. (Zugriff: 16.06.2023) (https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/331/gost\_klp\_m\_2023\_06\_07.pdf)

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung: Meeresspiegel. (Zugriff 27.03.2023) <https://www.pik-potsdam.de/sealevel/de/>

Wikipedia: Meeresspiegelanstieg seit 1850 (Zugriff 22.03.2023).
<https://de.wikipedia.org/wiki/Meeresspiegelanstieg_seit_1850>