



## Geographie

Unterrichtsmaterialien zum Thema

# Algenblüte im Trinkwasser

**JAHRGANGSSTUFE 11-13**

**Material für SchülerInnen**

## Aufgaben

### 0. Vorbereitende Hausaufgabe:

- a) Sehen Sie sich auf der Seite [esero.de/materialien/lernfilme](https://esero.de/materialien/lernfilme) die Lernvideos „Die spektrale Auflösung“ und „Die räumliche Auflösung“ aufmerksam an. Erklären Sie kurz die Begriffe „Mischpixel“ und „spektraler Fingerabdruck“.

**Tipp:** Die Lernvideos „Bilder aus dem All“ und „Elektromagnetisches Spektrum Einführung“ auf der gleichen Seite enthalten das notwendige Vorwissen, um „Die spektrale Auflösung“ zu verstehen.

- b) Laden Sie sich die App „Columbus Eye“ im Google Play Store oder im Apple App Store herunter. Die App benötigt den Kamera- und Dateizugriff, um zu funktionieren. Es werden keine persönlichen Daten gesammelt. Öffnen Sie die App und laden Sie zusätzlich den Part „Algenblüte“ herunter.



1. Lesen Sie die Einleitung und richten Sie die „Algenblüte“-App auf Marker 1, um sich das Video anzusehen. Lokalisieren Sie die Algenblüten und beschreiben Sie die Form und Farbe, die diese annehmen [M1, S. 4].


2. Blenden Sie in der App das 2D-UI ein. Es enthält das HICO-Hyperspektralbild des West-Endes vom Eriesee vom 03.09.2011 und eine Ansicht für die spektralen Signaturen, die im Video „Die spektrale Auflösung“ als Fingerabdrücke bezeichnet werden. Machen Sie sich mit dem Nutzerinterface vertraut. Im oberen Drittel befindet sich ein Graph, der die Reflexionsstärke über die Wellenlänge des Lichts in Nanometern angibt. In der Mitte befindet sich das eigentliche Hyperspektralbild, das mit den Reglern im unteren Drittel zusammengestellt wird.

- a) Finden Sie mit den Reglern eine Band-Kombination, die ungefähr ein Echtfarbenbild ergibt. Betrachten Sie hierzu auch das Sentinel-3-Bild auf Seite 4 (Marker 1).
- b) Im Bild sind 8 beispielhafte Signaturen enthalten. Finden und beschreiben Sie alle Signaturen und ordnen Sie sie ihren Oberflächen zu (Stadt, Felder, verschiedene Wasserflächen...). Die bergartige Form, die alle Signaturen gemeinsam haben, lässt sich auf die Atmosphärische Streuung zurückführen.
- c) Nutzen Sie die Signaturen, um mit den Reglern nacheinander (1) die nördliche und die südliche Wasserfläche besonders voneinander abzugrenzen, (2) beide Flächen gleich erscheinen zu lassen. Diskutieren Sie die Gründe dafür, dass dies möglich ist.

3. Einer der Hauptgründe der Algenblüte ist im Echtfarbenbild aus Aufgabe 2a) entlang des Westufers durch ausgewischte, helle Strukturen zu erkennen. Lesen Sie den Zeitungsartikel auf Seite 5 und vergleichen Sie die hierzu getätigten Aussagen im Text mit dem, was Sie in Marker 1 auf Seite 4 und ihrem selbst zusammengestellten Bild in der App erkennen können.

- a) Erstellen Sie eine Liste mit den Ursachen der Algenblüte und unterscheiden Sie diese nach natürlichen und anthropogenen. Beziehen Sie sich dabei auf den Zeitungsartikel und ergänzen Sie die Liste mit Ihren eigenen Überlegungen. Diskutieren Sie sie im Anschluss mit ihren MitschülerInnen.
- b) Erstellen Sie eine Liste der Folgen und unterscheiden Sie diese für Menschen und Umwelt.
- c) Diskutieren Sie auf dieser Basis, welche kurzfristigen Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung und langfristige Maßnahmen zur Vermeidung der Algenblüten ergriffen werden können. Betrachten Sie dabei auch die Rolle von Satellitenbildern.

## 4. Lesen Sie das Infomaterial „Algenarten und Indikatoren“ [M2, S. 6].

- Diskutieren Sie anhand Ihrer Untersuchung in Aufgabe 2, wieso die Multispektraldaten der Untersuchung von 2011 und die HICO-Hyperspektraldaten zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können.
- Tippen Sie in der App zurück zur AR und halten Sie die Kamera auf das Deckblatt dieses Arbeitsblattes. Damit finden Sie zwei Karten, in denen aus den HICO-Daten der Chlorophyll- und der Phycocyaningehalt berechnet und dieser mit dem vor Ort gemessenen Microcystingehalt korreliert wurden. Im Landsat-Bild, das Sie über den  - Knopf erreichen, können Sie die Schlieren gut erkennen.  
Sprechen sie nach Notwendigkeit Warnungen für die eingezeichneten Punkte aus, die die Trinkwasserentnahme, Freizeitaktivitäten und Fischerei regulieren. Richten Sie sich nach Tabelle 2 auf Seite 5 und beachten Sie auch die Schlieren in den Karten. Füllen Sie dazu Tabelle 1 aus.

**Tabelle 1: Daten zu Aufgabe 4b**

Nr.	Ort	Verwendungs-zweck	Microcystin (Chlorophyll)	← Empfehlung	Microcystin (Phycocyanin)	← Empfehlung
1	Toledo Water Pump	Trinkwasser-entnahme				
2	Sandusky Bay	Naherholungs-gebiet				
3	Point Pelee	Naherholungs-gebiet				
4	Lake St. Clair	Naherholungs-gebiet				
5	West of Pelee Island	Kommerzielle Fischerei				

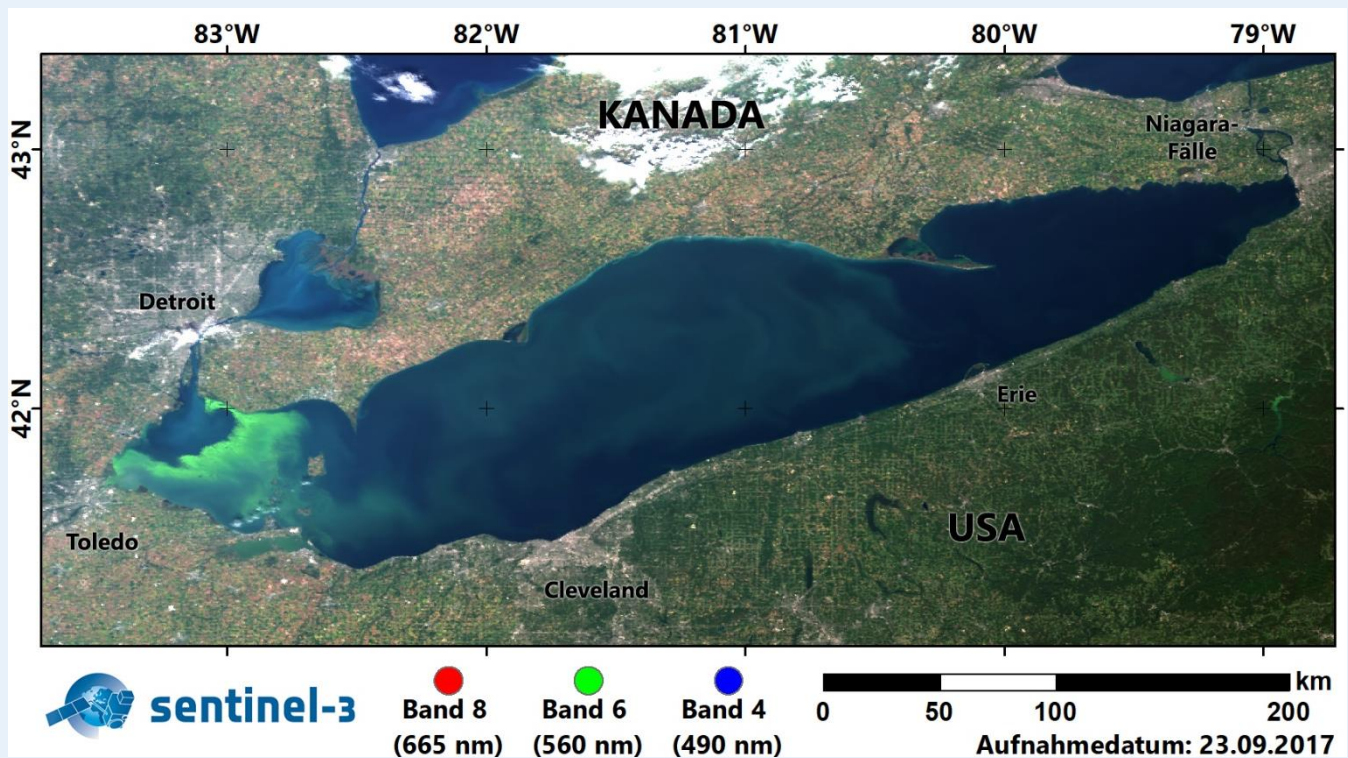


## M1: Einleitung

An der Internationalen Raumstation ISS sind mehrere Kamera-ähnliche Sensoren angebracht, die die Erde im sichtbaren, aber auch in für uns Menschen unsichtbaren Wellenlängen beobachten. Derartige Systeme umkreisen die Erde normalerweise an Bord ihrer eigenen Satelliten, doch die ISS ist für manche Beobachtungszwecke und zur Erprobung neuer Systeme besser geeignet. Das macht sie zum größten Erdbeobachtungssatelliten der Welt.

Das zwischen 2009 und 2014 auf der ISS stationierte Aufnahmesystem HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean) nahm die Erde mit 128 Kanälen auf und deckte dabei einen Wellenlängenbereich von etwa 400 – 900 nm ab. Zum Vergleich: Der multispektrale Erdbeobachtungssatellit Landsat-8 deckt denselben Bereich nur mit vier von seinen neun verfügbaren Kanälen ab. HICO hat über 10.000 Bilder von Meeres- und Seeküsten aufgenommen, darunter viele zur Überprüfung der Wasserqualität, bspw. im Eriesee.

Der Eriesee ist der südlichste der fünf Großen Seen in Nordamerika. Er dient fast elf Millionen Menschen als Trinkwasserreservoir. 2011 kam es auf dem See zu einer gewaltigen Algenblüte – die schwerste jemals aufgezeichnete. Sie war so groß, dass man sie problemlos auf den HICO-Bildern von der ISS erkennen kann. Forscher warnten damals, dass es in Zukunft immer häufiger zu solchen Ereignissen kommen wird. Die Wissenschaftler sollten Recht behalten, denn auch in den folgenden Jahren kam es erneut zu großflächigen Algenblüten, 2015 sogar zu einer noch größeren als 2011 und auch 2013, 2017 und 2019 trat das Phänomen wieder verstärkt auf.



**Marker 1: Der Eriesee im September 2017 als Echtfarbenbild.** Bei Betrachten durch die App „Columbus Eye“, Part „Algenblüte“, werden verschiedene Algenblüten weltweit aus Sicht der ISS gezeigt (Bildquellen: Sentinel Hub EO Browser, Videodatenquelle: NASA/Columbus Eye)

Zeitungsartikel aus SPIEGEL ONLINE, 02.04.2013, abzurufen unter:

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/ueberduengung-und-unwetter-verursachten-extreme-algenbluete-im-eriee-a-891963.html>

Umwelt-Desaster im Eriesee

## Überdüngung und Unwetter ließen Algen sprießen

**Zu viel Dünger, zu viel Regen: Forscher haben herausgefunden, wieso sich 2011 ein extrem großer Algenteppich auf dem nordamerikanischen Eriesee ausbreitete. Sie warnen, dass so heftige Algenblüten in Zukunft häufiger vorkommen werden.**

Eine gewaltige Algenblüte hat 2011 den nord-amerikanischen Eriesee heimgesucht. Nun haben Forscher die Ursachen entschlüsselt: Intensive Landwirtschaft mit viel Düngung sowie extreme Wetterbedingungen hätten dazu geführt, dass knapp ein Fünftel des Eriesees mit Algen bedeckt waren, schreibt das Team um Anna Michalak von der Carnegie Institution for Science in Stanford (US-Bundesstaat Kalifornien).

Solche Extremszenarien könnten laut dem Bericht im Fachmagazin "Proceedings of the National Academy of Sciences" in Zukunft häufiger vorkommen.

Die Algenblüte auf dem südlichsten der fünf Großen Seen Nordamerikas erstreckte sich über mehr als 5000 Quadratkilometer und war damit dreimal größer als je zuvor seit Beginn der Aufzeichnungen.

### Richtwert um den Faktor 224 überschritten

Die Algen zählten vor allem zur Gattung *Microcystis*, die zu den Cyanobakterien gehört. Die auch in Deutschland vorkommende Gattung bildet Giftstoffe, sogenannte Microcystine, die Menschen und Tieren gefährlich werden können: Sie können bei Menschen die Haut reizen, Allergien und Entzündungen hervorrufen oder die Leber schädigen.

Die Konzentration dieser Gifte überstieg den Badegewässer-Richtwert der Weltgesundheitsorganisation WHO stellenweise um den Faktor 224. Zudem kann das Wuchern der Algen ganze Gewässer umkippen lassen.

Um die Ursache der enormen Algenblüte zu ermitteln, kombinierten die Forscher Wasserproben und Satellitenbilder mit Computersimulationen. Eine Schlüsselrolle spielte demnach die intensive Landwirtschaft mit massivem Einsatz von Düngemitteln, die Stickstoff- und Phosphor-Verbindungen enthalten.

Hinzu kamen in jenem Jahr extreme Wetterbedingungen: Heftige Unwetter und viel Regen spülten im Frühjahr besonders viel Dünger von den Äckern in den See. Das regte das Algenwachstum an. Danach sorgten warmes Wetter und eine schwache Wasserzirkulation dafür, dass sich die Algenblüte weiter ausbreitete.

Solche Szenarien könnten künftig zum Normalfall werden, fürchten die Forscher - nicht zuletzt wegen des intensiven Anbaus von Biokraftstoffen wie Mais, der besonders stark gedüngt werde. Auch Starkregen im Frühling und Hitzewellen im Sommer würden künftig häufiger, so das Resultat von Klimaprognosen: "Solche Unwetter sind Teil eines langfristigen Trends in dieser Region, der voraussichtlich in Zukunft aufgrund des Klimawandels schlimmer werden könnte", sagte der an der Studie beteiligte Donald Scavia von der University of Michigan in Ann Arbor.

### Microcystin

Die Environmental Protection Agency der USA und die World Health Organisation haben Grenzwerte für den Microcystingehalt im Wasser festgelegt. (Einheit  $\mu\text{g/L}$  = Mikrogramm pro Liter)

**Tabelle 2: Microcystin-Grenzwerte der EPA und WHO**

Grenzwert	Empfehlung
< 0,3 $\mu\text{g/L}$	Unterhalb des Messwertes
0,3 – 1,6 $\mu\text{g/L}$	Nicht trinken für Kinder <6 und Risikogruppen
> 1,6 $\mu\text{g/L}$	Nicht trinken für alle Menschen und Tiere
> 6,0 $\mu\text{g/L}$	Schwimmen etc. nicht empfohlen
> 20 $\mu\text{g/L}$	Fernhalten

## M2: Algenarten und Indikatoren

### Abbildung 1: Unterschied zwischen Grün- und Blaualgen:

a) Koloniebildende Grünalge (Pediastrum Duplex). Grünalgen sind Einzeller oder Zellkolonien unterschiedlicher Größe. Sie besitzen u.a. Zellkerne und Chloroplasten. Darin ist das grüne Chlorophyll enthalten, mit dem sie Photosynthese betreiben.

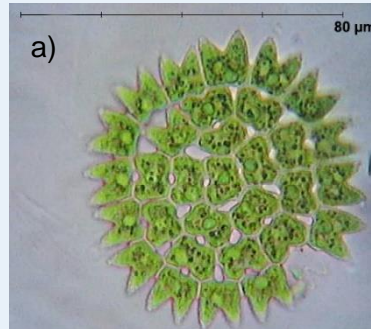


Abb. 1 a): Pediastrum Duplex (verändert nach Wagner, R. 2004)

b) Zellfäden von Nostoc sp., einer Blaualgengattung. Blaualgen besitzen als

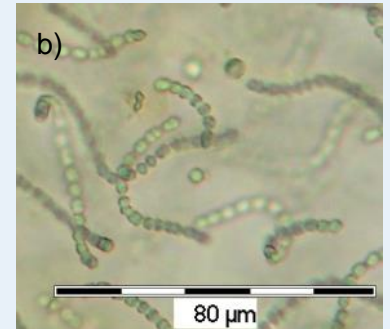


Abb. 1 b): Zellfäden von Nostoc sp. (verändert nach Gibon 2006)

Bakterien keine Zellkerne, können aber Chlorophyll enthalten sowie das blaugrüne Pigment Phycocyanin, das ebenfalls zur Photosynthese genutzt wird. Einige Blaualgenarten produzieren Gifte wie Microcystin.

Chlorophyll und Phycocyanin dienen also als Indikatoren für unterschiedliche Algenarten. Die Unterschiede in den spektralen Eigenschaften der Algen sind jedoch geringfügig, da auch Blaualgen Chlorophyll enthalten. Je genauer das Messsystem, desto besser können sie unterschieden werden.

Der Chlorophyllgehalt wurde lange allein als Indikator für diese Blaualgen verwendet. Auch 2011 wurden Multispektraldaten mit einer Auflösung von 300m verwendet und nur auf deren Basis Warnungen für die Wasserverwendung ausgesprochen. Im Jahr 2016 wurde zum ersten Mal Phycocyanin als Indikator für die giftigen Blaualgen verwendet, das aus den bisher verwendeten Multispektraldaten jedoch nur schwer zu berechnen ist.

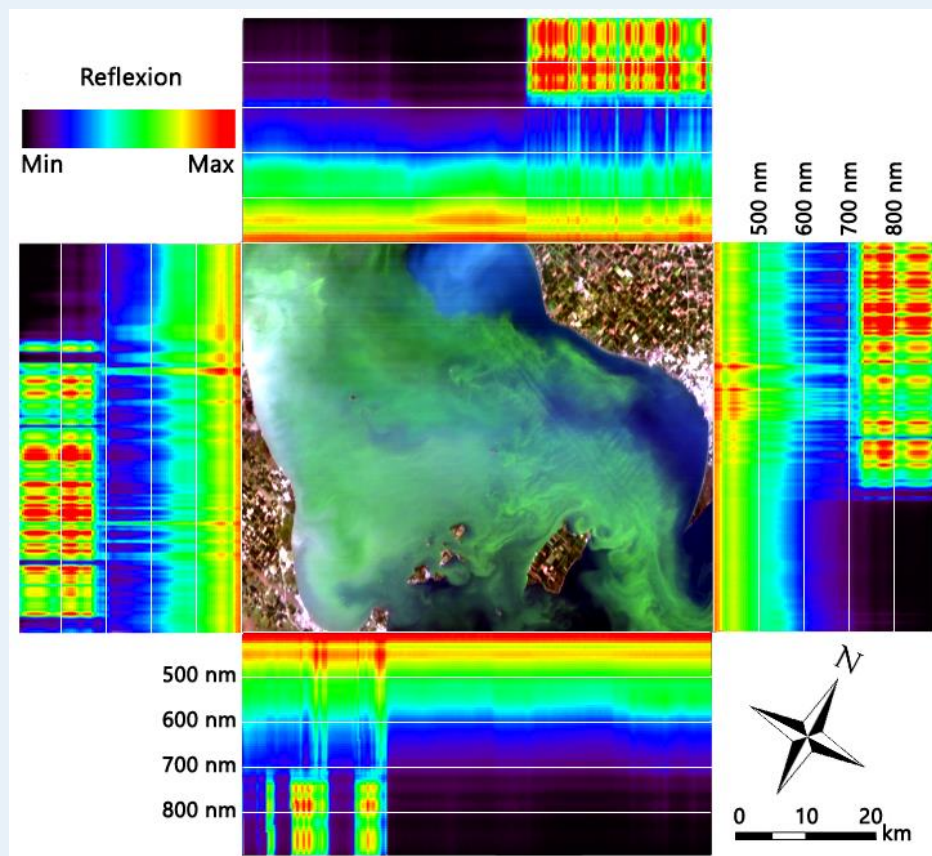
Erschwerend kommt hinzu, dass die Satellitenbilder nur Mischwerte über große Flächen abbilden können, abhängig von ihrer räumlichen Auflösung. Die Algenblüten bilden jedoch Schlieren von wenigen Metern Breite, in denen die Konzentration der Algen gegenüber dem sonstigen Wasser 1000-mal höher sein kann.



## Bonusaufgabe

**Marker 2 zeigt einen sogenannten Image Cube. Hier werden die Bilder aus allen Kanälen einer hyperspektralen Aufnahme übereinandergelegt und die spektralen Signaturen aller Randpixel dargestellt. Die bunten Streifen an den Rändern sind eine andere Darstellungsart für die Signaturen, bei denen hohe Reflexionswerte mit bunten Farben statt einer wechselnden Linie angezeigt werden.**

- Vergleichen Sie die spektralen Signaturen aus dem RGB-View mit denen in Marker 2. Finden Sie heraus, wie sich Wasser mit Grün- oder Blaualgen sowie Land mit Feldern oder Stadt in dieser Darstellungsart unterscheiden lassen.
- Halten Sie Ihre Smartphone-Kamera auf den Image Cube und verschieben Sie zunächst den Regler unten mit dem grauen Knopf. Beschreiben Sie kurz, was Sie sehen.
- Mit den Reglern mit den bunten Knöpfen lassen sich die Grenzen des Image Cubes verschieben. Sie können nun alle spektralen Signaturen im Bild miteinander vergleichen. Diskutieren Sie damit weitere Anwendungsgebiete für Hyperspektraldaten!



**Marker 2: Ausschnitt des Hyperspektralbildes vom Eriesee als aufgefalteter Image Cube.**

Sensor: Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean. Aufnahmedatum: 03.09.2011.