

Antarktisches marines Ökosystem - Warum Wale hören können müssen

Handreichungen für Lehrkräfte (Mittelstufe)

Wale sind faszinierende Meeressäuger, die perfekt an das Leben im Ozean angepasst sind. Die unterschiedlichen Gruppen der Wale, ihre Nahrung und Position im Nahrungsnetz, ihre Kommunikation und ihre Bedeutung im Ökosystem Südpolarmeer sowie Auswirkung menschlicher Aktivitäten werden mit einer Einleitung ins Thema und zu unseren kooperierenden Wissenschaftlerinnen und ihren Forschungsarbeiten und fünf Arbeitsblättern thematisiert und bearbeitet.

Die Schülerinnen und Schüler vertiefen Fähigkeiten des Textverständnisses sowie das Lesen und Auseinandersetzen von bzw. mit unterschiedlichen Graphiken und deren Verknüpfung. Teilweise sollen sie eigenständig Informationen sammeln und haben die Aufgabe, selbst im Internet zu recherchieren. Das Besondere ist eine Powerpoint-Präsentation zu den Themen Kommunikation, Hören und Beutefang sowie der Einfluss durch Schiffsgeräusche und Klimawandel. Diese steht online zum Download zur Verfügung und kann kostenfrei für die Unterrichtseinheit genutzt werden.

Musterlösungen

Arbeitsblatt „Übersicht antarktisches Nahrungsnetz“

Das Arbeitsblatt ist als Einstieg mit den Schwerpunkten Nahrungsnetz sowie Phytoplankton und Krill gedacht.

- 1) (Afb: I)
- 2) Die Verflechtung soll erkannt und beschrieben werden, auch dass es sich dadurch um ein „Netz“ und keine „Kette“ handelt. (Afb: I)
- 3) Einzelne Nahrungsbeziehungen können erkannt werden, z.B. 43 zu 18 (Weddellrobbe, Krill), 46 zu 28 (Seeleopard, Seevogel). (Afb: I)
- 4) Die Informationen in Bild- und Textform sollen mit eigenen Worten nach einer kurzen Diskussion zu zweit wiedergegeben werden. (Afb: II)

Arbeitsblatt „Ausschnitt des antarktischen Nahrungsnetzes“

Das Nahrungsnetz im Südpolarmeer steht bei diesem Arbeitsblatt im Fokus. Die Kenntnis und das Verständnis eines Ausschnitts ist eine Grundlage für die weiteren Arbeitsblätter. Zu klären ist die Bedeutung eines Pfeiles: Pfeilbeginn wird gefressen von Pfeilspitze, also Krill wird gefressen von Bartenwalen.

- 1) Beschreibung, wer Beute/Fressfeind vom wem ist. Pfeile zwischen 8 und 4 sowie zwischen 4 und 1: abgestorbene Tier- und Pflanzenreste bzw. Zersetzer, also keine Lebewesen, die gefressen würden. (Afb: I/II)
- 2) Das Phytoplankton ist die Grundlage des Nahrungsnetzes. (Afb: II)

- 3) Primärproduzenten: 2, 3 (kleines/großes Phytoplankton). Konsumenten erster Ordnung: 5, 6. Konsumenten zweiter Ordnung: 7, 9. (Afb. II)

4)

	Bartenwale	Zahnwale
Trophieebene	Sekundärkonsumenten	Endkonsumenten
Nahrung	Krill	Primär- / Sekundärkonsumenten
Fressfeinde	Zahnwale	Keine

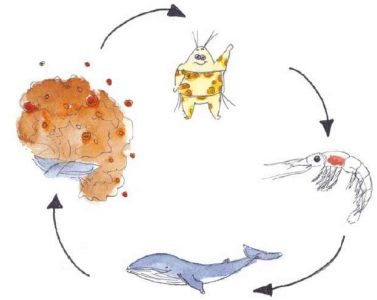
(Afb. II)

- 5) Bartenwale filtern mit den Barten den Krill aus dem Wasser. Der Aufbau und die Anordnung der Barten und der Vorgang des Filterns kann anhand des Links genauer beschrieben werden: „Die Barten sind in ihren Mäulern und funktionieren wie eine Art Sieb. Wenn ein Bartenwal seinen Mund öffnet, strömen ganz viel Wasser und auch kleine Beutetiere in den Mund. Anschließend schließt der Wal sein Maul und drückt das Wasser durch die Barten ins Meer zurück. Die kleinen Krebstiere und viele kleine Fische bleiben jedoch, wie in einem Sieb, in den Barten hängen. Der Wal muss sie nur noch schlucken. Damit das Filtersystem gut funktioniert, haben sie bis zu 600 Barten-Platten, die dicht aus dem Oberkiefer wachsen. Die Barten bestehen aus Keratin, so wie unsere Haare und Fingernägel“ (WDC, Whale and Dolphin Conservation gGmbH). Gleiche Faktoren zu Zahnwalen sind ebenfalls dem Link zu entnehmen: „Zahnwale haben Zähne, mit denen sie ihre Beute fangen und zerkleinern können. Je nach Zahnwal-Art fressen sie Fische, Kalmare, Rochen oder sogar andere Meeressäuger (Robben und auch andere Wale). Zahnwale haben ein besonderes Organ im Kopf, die „Melone“. Damit erzeugen sie Klick-Laute, kurze Schall-Impulse, die sie ins Meer abgeben. Wie ein Echo werden die Schallwellen von anderen Walen, Beutetieren oder Felsen in der Umgebung der Wale reflektiert. So können sich Zahnwale ein Bild davon machen, was um sie herum ist. Man nennt das Echolokation. Die Klick-Laute werden von den Zahnwalen vor allem beim Aufspüren von Beutetieren genutzt“ (WDC, Whale and Dolphin Conservation gGmbH). Interessant ist hier die Echolokation für die folgenden Aufgaben. (Afb: II)

Arbeitsblatt „Die Rolle der Wale im antarktischen Nahrungsnetz“

Infolge des Mangels an verfügbarem Eisen im freien Wasser des Südpolarmeers sind Wale und ihre Exkremente für das Phytoplankton wichtig. Dieser Aspekt, der zeigt, dass die Wale im Südpolarmeer eine große Bedeutung haben, soll mit dem ersten Teil des Arbeitsblatts herausgearbeitet werden. Darüber hinaus geht es bei diesem Arbeitsblatt um die Nahrungssuche der Wale.

- 1) SuS sollen die Abbildungen verknüpfen. Eine Herausforderung ist der Krill in Abb. 6, da er nicht beschriftet ist und die SuS selbstständig auf die Abb. 3 zurückgreifen müssen. (Afb: II)
- 2) Die Informationen zum Element Eisen und seiner Verfügbarkeit werden hinzugezogen und erweitern das Verständnis der Zusammenhänge. Der Stoffkreislauf insbesondere für Eisen soll erkannt und erläutert werden. Die Lernenden sollen erkennen, dass es sich ähnlich wie bei der Mineralisation organischer Stoffe z.B. im Boden um eine Art Recycling handelt. (Afb: II/III) *s.a. Hinweise unten*
- 3) Es geht um eine Bewertung und die Erkenntnis der großen Bedeutung der Wale für das Phytoplankton. (Afb. III)



Hinweise zum Eisen und der Eisenverfügbarkeit: Eisen ist im freien Wasser des Südpolarmees an organische Stoffe (Liganden) gebunden. Dies soll mit den Lernenden nicht vertieft werden, da es für sie ein zu komplexer Sachverhalt ist. Hier eine kurze Erläuterung und ein weiterführender Link zu Hintergrundinformationen für Lehrkräfte:

Literatur:

Monreal, P.J., Savoca, M.S., Babcock-Adams, L. *et al.* Organic ligands in whale excrement support iron availability and reduce copper toxicity to the surface ocean. *Commun Earth Environ* 6, 20 (2025). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01965-9>

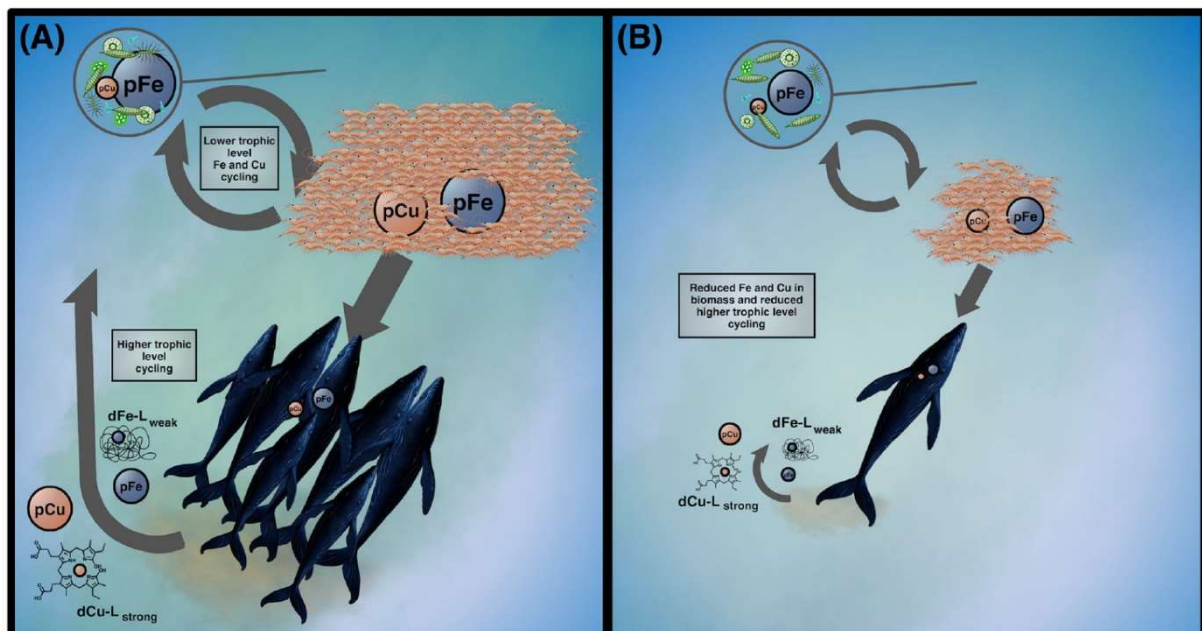


Abb. 5: Störung des Eisen- und Kupferrecyclings durch industriellen Walfang. Eine Darstellung der Wechselwirkungen zwischen Phytoplankton, Krill und Wale im Südpolarmeer (A) vor und (B) nach dem Walfang. Die Dezimierung der Wale in diesem Ökosystem und der starke Rückgang der Krillbiomasse in einigen ehemaligen Walfanggebieten deuten auf eine starke Verschiebung des biogenen pFe hin, die allein auf Biomasseveränderungen zurückzuführen ist (Monreal et al. 2025).

Die Abbildung zeigt zwei Szenarien (A und B), die die Auswirkungen von Walfang auf den Nährstoffkreislauf, insbesondere Eisen (Fe) und Kupfer (Cu), im Südlichen Ozean darstellen:

(A) Vor dem industriellen Walfang

- **Viele Wale und viele Krill:** Wale ernähren sich von Krill, der sich wiederum von Phytoplankton ernährt.
- **Starker Kreislauf von Fe und Cu:**
 - Durch die Nahrungsnetze wird Eisen (Fe) und Kupfer (Cu) effizient recycelt.
 - Wale scheiden viel $dFe-L_{weak}$ aus, das für das Phytoplankton wieder verfügbar ist. Das Eisen ist somit in einer Verbindung mit hoher Bioverfügbarkeit (Kopplung zwischen höheren trophischen Ebenen und unteren Ebenen).
- **Biogeochemie $dFe-L_{weak}$:**
 - **dFe** = „dissolved iron“ → das im Wasser gelöste Eisen, meist in sehr niedrigen Konzentrationen (pico- bis nanomolar), spielt eine entscheidende Rolle als Spurenstoff für Phytoplankton.
 - **L** = Liganden → organische Moleküle, die Eisen binden und so dessen Löslichkeit und Bioverfügbarkeit regulieren.
 - **weak** = schwache Ligandenbindung → das Eisen ist nur locker gebunden, was bedeutet, dass es leichter bioverfügbar ist.
- **Bedeutung im Südpolarmeer:**
 - Das Südpolarmeer ist eine **High-Nutrient Low-Chlorophyll (HNLC)-Region** → es gibt viele Makronährstoffe (Nitrat, Phosphat), aber das Phytoplanktonwachstum ist durch Eisenmangel limitiert.
 - Organische Liganden stabilisieren Eisen im Meerwasser, verhindern Ausfällung und steuern, wie viel davon für Organismen zugänglich ist.
 - „ $dFe-L_{weak}$ “ würde also bedeuten, dass der Anteil des gelösten Eisens vorwiegend an **schwache Liganden** gebunden ist – dies weist darauf hin, dass Eisen leichter durch Phytoplankton genutzt werden kann.
 - Das System ist **nährstoffreich und stabil**, weil die Wale das Eisen recyceln und den Kreislauf schließen.

(B) Nach dem industriellen Walfang

- **Starker Rückgang der Walbestände** → weniger Krill, da die Wale als „Recycler“ fehlen.
- **Schwächerer Kreislauf von Fe und Cu:**
 - Weniger Biomasse bedeutet weniger Recycling von Eisen und Kupfer.
 - Reduzierte Rückführung der Metalle von höheren zu niedrigeren trophischen Ebenen.
- **Folge:**
 - Weniger Eisen im Kreislauf → weniger Phytoplanktonwachstum.
 - Weniger Kupfer und Eisen in Biomasse gebunden.
 - System verliert an Produktivität und Nährstoffrückführung.

Arbeitsblatt „Nahrungssuche der Wale“

In Zusammenhang mit dem Nahrungsnetz steht auch die Frage, wie Wale ihre Nahrung in den Weiten des Ozeans finden. Die Informationen für die Lernenden werden mithilfe einer Präsentation von Jasmin Groß und Elena Schall durch die Lehrkraft vermittelt. Die

Präsentation enthält neben Fotos und Abbildungen auch Audios und je Folie auch Erläuterungen zu deren Inhalten.

- 1) *Einzusetzende Folien: 8-12. (Afb: I)*
- 2) *Einzusetzende Folien: 52-59. (Afb: I)*
- 3) *Einzusetzende Folien: 13-24, 61-70. (Afb: II)*
- 4) Hypothese: Hindernisse erkennen, und vor allem Nahrung finden. (Afb: III)
Im Anschluss an die Diskussion um die Hypothesen können folgende Folien gezeigt werden: *Einzusetzende Folien: 25-32.*

Zu den Online-Materialien von Jasmin Groß und Elena Schall:

<https://hifmb.de/de/einblicke-in-die-marine-biodiversitaetsforschung-vortraege-fuer-schuelerinnen-und-schueler/>

hier zum Download: Datei „Warum Wale hören können müssen“

Arbeitsblatt „Eingriffe in den Beutefang von Walen durch den Menschen und ihre Folgen I/II“

Dieses Thema beinhaltet zwei Arbeitsblätter, die die zweite Forschungsfrage in der Einleitung beantworten sollen. Das erste Arbeitsblatt dazu beschäftigt sich mit dem Einfluss von Geräuschen durch die Schifffahrt und schließt damit direkt an das vorangegangene Arbeitsblatt an. Auch bei dieser Aufgabe wird mit der Präsentation von Jasmin Groß und Elena Schall gearbeitet. Zudem thematisiert es den Krill- und Fischfang im Südpolarmeer. Das zweite Arbeitsblatt gibt Auskunft über den Klimawandel und seine Bedeutung für das marine Ökosystem des Südpolarmeers.

- 1) *Einzusetzende Folien: 33-50. Schiffsgeräusche stören Wale bei der Nahrungssuche. (Afb: I)*
- 2) Es soll mit zwei Online-Quellen gearbeitet werden. Diese zeigen in kartographischer Form das aktuelle Schiffsaufkommen und die Meereisverteilung im Südpolarmeer. Beide Informationen müssen verknüpft und beurteilt bzw. bewertet werden. Die Meereisverteilung ist wichtig, da im Meereis i.d.R. keine Schiffe fahren. Die Ergebnisse sind daher von der Jahreszeit abhängig. (Afb: III)
- 3) Abbildung 10 zeigt die Eingriffe durch Krill- und Fischfang im marinen Nahrungsnetz des Südpolarmeeres (s.a. Abb. 3). Die Eingriffe dezimieren die Krill- und Fischbestände. Der Krillfang hat Auswirkungen auf Konsumenten wie Bartenwale, Pinguine, kleine Fische sowie Tintenfische und darüber hinaus auf Robben, große Fische und Zahnwale. Werden diese durch Fischfang dezimiert, wirkt sich das auf die Population der Zahnwale aus.
Sinkt die Population der Wale aufgrund dezimierter Krillbestände, steht dem Phytoplankton weniger Eisen zur Verfügung, diese Population wird ebenfalls kleiner, genauso die Krillpopulation. **Siehe auch Hinweise oben** (Afb: II/III)
- 4) Der Umgang mit einer interaktiven Karte soll geübt werden. Dazu wird eine Bewertung des Aufkommens abgefragt, wobei die geringen Schiffszahlen zu einer eher positiven Fehleinschätzung führen können. (Afb: II)

- 5) Wichtig ist die Erkenntnis, dass durch den illegalen Krill- und Fischfang die Daten zur Höhe der Entnahmen nicht korrekt sind und höher liegen, was zu entsprechend größeren Veränderungen (Abnahmen) der Populationsgrößen führt. Fangmengen können entnommen werden bei: <https://fisheryreports.ccamlr.org/> (Afb: III)

- 6) „Übersetzung“ bzw. Bedeutung der Pfeile:

- Das Phytoplankton lebt in und unter dem Eis. Wenn das Meereis im Frühjahr und Sommer schmilzt, fließen die im Eis gespeicherten Mineralstoffe aus dem Meereis in das Wasser und stehen dem Phytoplankton für Aufbauprozesse organischer Substanz zur Verfügung.
- Viel Phytoplankton bildet die Nahrungsgrundlage für viel Krill. Der Krill ist daher indirekt auch vom Meereisvorkommen abhängig.
- Der Krill wird von Walen (und anderen Tieren im Südpolarmeer) gefressen.
- Das Eisen in den Exkrementen der Wale steht dann wieder dem Phytoplankton zur Verfügung.

Richtig ist: Weniger Eis bedeutet weniger Algen. (Afb: II)

- 7) Bei dieser Aufgabe werden Informationen durch eine weitere Präsentation von Jasmin Groß und Elena Schall vermittelt:

1. Die Bedeutung des Meereises für die Menge an Phytoplankton und damit für das Nahrungsangebot für die Krill- und damit für die Walpopulation. Viel Meereis bedeutet viel Phytoplankton, das bedeutet viel Krill und eine große Walpopulation infolge eines großen Nahrungsangebotes an Krill
2. Auswirkungen des Klimawandels auf das Meereis: Weniger Meereis bedeutet weniger Phytoplankton, das wiederum bedeutet weniger Krill und damit weniger Nahrung für Wale, deren Population dann auch kleiner wird

Einzusetzende Folien: 56-64. Neben der Interpretation der Folien soll als ergänzendes Material die Abb. 13 hinzugezogen werden. Werden beide Informationen aus den Folien und der Kurvengraphik kombiniert, zeigt sich ein Rückgang der Meereisbedeckung und damit der Phytoplanktonpopulation bzw. der Nahrung für Krill und letztlich für Wale im Vergleich zu den Jahren zwischen 1981 und 2010. (Afb: II/III)

Zu den Online-Materialien von Jasmin Groß und Elena Schall:

<https://hifmb.de/de/einblicke-in-die-marine-biodiversitaetsforschung-vortraege-fuer-schuelerinnen-und-schueler/>

hier zum Download: Datei „Antarktische Ökosysteme“

3. Es wird die Erkenntnis erwartet, dass alle drei Eingriffe des Menschen wie Schiffsgeräusche, Krill- und Fischfang sowie der Klimawandel deutliche Auswirkungen auf das marine Ökosystem der Antarktis haben. Die Störungen führen letztlich zum Rückgang sämtlicher Populationen genannter Arten.