

Unterrichtsmaterial 3 (LuL)

Übersicht

Themen:	Erde-Mond Beziehung, Astronomie, Fernerkundung – zwingend nach Unterrichtsmaterial 1 durchzuführen
Fächer:	Geographie, Physik (Astronomie)
Jahrgangsstufe:	9-13
Medien & Material:	Karten aus Lunaserv-Fernerkundungsdaten, Augmented Reality App „ColumbusEye“, Arbeitsblatt
Umfang:	90 – 135 Minuten
Leitfrage:	Wie wirken Gezeitenkräfte auf Erde und Mond? Damals, heute und in Zukunft. Warum ist der Mond so wichtig für das (menschliche) Leben auf der Erde?

Kompetenzen

Sachkompetenz

Die SuS...

... beschreiben und erklären die Gezeitenkräfte zwischen Erde und Mond und zeigen auf, wie sie in der aktuellen Erde-Mond Beziehung auf die beiden Himmelskörper wirken.

... beschreiben und erklären wie sich die Gezeitenkräfte und die Erde-Mond Beziehung über die letzten 4,5 Milliarden Jahre seit der Entstehung des Mondes verändert haben und stellen Theorien zur „Mondrückseite“ auf (*gestützt durch Lunaserv*).

... analysieren, wie sich die Gezeitenkräfte der beiden Himmelskörper in Zukunft verändern werden.

... analysieren, was ein Verschwinden des Mondes für Auswirkungen auf die Erde und auf den Menschen haben würde.

Methodenkompetenz

Die SuS...

... nutzen satellitengestützte sowie bodengestützte Daten des Mondes zur Analyse des Sachverhalts.

... finden aus einer Kombination von Arbeitsblättern und Lunaserv-Material einen Weg komplexere Darstellungs- und Arbeitsmaterialien (graphisch) und sprachlich darzustellen.

... erleben den Prozess der Erkenntnisgewinnung, indem sie ihre Vorgehensweisen und Ergebnisse diskutieren.

Urteilskompetenz

Die SuS...

... bewerten ihr methodisches Vorgehen zur Benennung der Gezeitenkräfte und deren Auswirkungen bezogen auf beide Himmelskörper in der Vergangenheit, heute und in der Zukunft.

... beurteilen, wie geeignet die zur Verfügung gestellten Materialien für die Arbeitsaufträge sind und inwieweit bei den Materialien Verbesserungspotential vorliegt.

Handlungskompetenz

Die SuS...

... präsentieren Arbeitsergebnisse sachbezogen sowie fachsprachlich angemessen.

Lehrplanbezug

Diese Unterrichtseinheit fokussiert den Prozess der Erkenntnisgewinnung, eine prozessbezogene Kompetenz. Inhaltliche Anknüpfungen lassen sich insbesondere nicht direkt in Bezug auf die lunaren Analysen zu allen Kernlehrplänen der Bundesländer herstellen. Allerdings finden sich mindestens Möglichkeiten des Anbindens an vorhandene Inhaltsfelder. Dies bezieht sich in der Physik auf die astronomische Komponente sowie Gravitationslehre und in der Geographie auf die Erde-Mond Beziehung und die Fernerkundung.

Durch die vorliegende Einheit werden viele Teilkompetenzen der Erkenntnisgewinnungskompetenz abgedeckt, die sich in naturwissenschaftlichen Denk- und Arbeitsweisen zeigen. Spezielle Beispiele für den Lehrplanbezug finden Sie in der nachfolgenden Tabelle.

Fächer	Geographie	Physik
Themen	Erde-Mond Beziehung, Fernerkundung	Astronomie, Erde-Mond Beziehung
Baden-Württemberg	9/10: Digitale Orientierung (GIS, Fernerkundung), Endogene und exogene Prozesse 11/12: Das System Erde-(Mond), Sphären im System Erde-(Mond)	9/10: Mechanik-Dynamik 11/12: Gravitationsfelder, Vertiefendes Themengebiet Astrophysik, Kosmologie
Bayern	10: Geographische Arbeitstechniken und Arbeitsweisen 11/12: Geographische Arbeitstechniken und Arbeitsweisen, Geologische Prozesse (bei Lehrplanalternative Geologie)	10: Astronomische Weltbilder, Profilbereich am NTG (Kräfte in beschleunigten Bezugssystemen), Kosmologie
Bremen	Qualifikationsphase: Naturgeographische Grundlagen und Prozesse	Qualifikationsphase
Berlin / Brandenburg	Einführungs- und Qualifikationsphase: Geosphäre, endogene Prozesse	Einführungsphase: Rotation Erde (Mond), Bewegung künstlicher Satelliten, Gravitation Qualifikationsphase: Gravitation, Gezeiten, Raumfahrt
Niedersachsen	Oberstufe: physisch-geographische Faktoren, Räumliche Orientierung	(Oberstufe)
Nordrhein-Westfalen	Einführungs- und Qualifikationsphase: Bedeutungswandel von Standortfaktoren	Einführungsphase: Kreisbewegung, Gravitation und physikalische Weltbilder
Thüringen	-	11: Gravitation (Gewichtskraft, Gezeiten, Planetenbewegung), Kreisbewegung 12: Gravitation

Didaktischer Kommentar

Die Lehrkraft eröffnet das Thema mit der Leitfrage an der Tafel: **„Wie wirken Gezeitenkräfte auf Erde und Mond? Damals, heute und in Zukunft. Warum ist der Mond so wichtig für das (menschliche) Leben auf der Erde?“** und geht danach zur Definition von Zentrifugalkraft und Zentripetalkraft über. Die SuS sollen erst selbst Input zu den beiden Definitionen geben, bevor sie das Arbeitsblatt erhalten.

Als nächstes erhalten die SuS das Arbeitsblatt, lesen sich die beiden kurzen Definitionen durch und daraufhin den Brief, der als Aufhänger für die Thematik dienen soll. Hier schreibt Johanna ihrer Freundin Marie über

ihren Urlaub an der Nordsee und fragt sie, wie das Phänomen der Gezeiten auf der Erde genau zustande kommt. Der Brief soll zum Abschluss der Thematik von den SuS beantwortet werden.

Daraufhin starten die SuS mit den Aufgaben auf dem Arbeitsblatt. Hierbei bezieht sich die erste Aufgabe auf die Relevanz der Gezeiten und die SuS sollen mit Hilfe einer Mind-Map bereits gegebenes Vorwissen aktivieren. Anschließend beschäftigen sich die SuS mit dem Homogenen und Inhomogenen Gravitationsfeld und der künstlichen Gravitation. Da es sich um eine recht komplexe Thematik handelt, findet die Zwischensicherung bereits nach Aufgabe 2.1. im Plenum statt, um etwaigen für den Stundenverlauf hinderlichen Unverständlichkeiten entgegenzuwirken.

Hiernach befassen sich die SuS wieder eigenständig mit der Berechnung von Aufgabe 2.2., bei der die Ergebnisse danach kurz im Plenum besprochen werden.

Nachfolgend wird in den Teilaufgaben von Aufgabe 3 auf die Thematik der gebundenen Rotation am Beispiel der Weltraumseile eingegangen. Hierbei soll das Verständnis der Gravitationskräfte im Erde-Mond-System über Einzel- und Partnerarbeit gestärkt werden. Nach Aufgabe 3.2. erfolgt die Zwischensicherung im Plenum, damit die Berechnung von Aufgabe 3.3. für die SuS möglichst gut umsetzbar ist. Die Ergebnisse aus der Berechnung der Gravitationsbeschleunigung werden daraufhin ebenfalls im Plenum besprochen.

Bei den nun folgenden Aufgaben wird vermehrt die Augmented Reality App „Columbus Eye“ als interaktives Unterrichtstool hinzugezogen. Die SuS erarbeiten 3.4. zum Relief und zur globalen Krustendicke sowie 3.5. zu den Gezeiten auf der Erde mit Hilfe der gegebenen Informationen des Arbeitsblatts und in der App. Danach werden die Ergebnisse wieder im Plenum zusammengetragen. Durch die App werden die Inhalte den SuS auf interaktive Art und Weise vermittelt.

Daraufhin folgen weitere App-gestützte Aufgaben zu den Gezeiten der Erde, des Mondes und im Erde-Mond-System. Schlussendlich sollen sich die SuS in Partnerarbeit die Entstehung der Gezeiten erklären. Anschließend soll eine Briefantwort an Johanna mit der Erklärung der Gezeiten folgen. Als letzte Zwischensicherung sollen die Ergebnisse der Aufgaben 3.6. bis 3.9. im Plenum zusammengetragen werden und einzelne Briefantworten aus Aufgabe 4. vorgestellt werden.

Bei Bedarf stehen auch zwei Zusatzaufgaben zur Verfügung. Diese beschäftigen sich einerseits mit den geographischen Auswirkungen auf die Stärke der Gezeiten und andererseits mit den potentiellen Folgen für die Erde durch ein Verschwinden des Mondes.

Stundenverlaufsplan

Zeit	Phase	Unterrichtsgeschehen	Methodisch- didaktischer Kommentar	Sozialform	Medien
15 min	Einstieg	Leitfrage und Einstieg mit Brief zu den Gezeiten.	Einstieg im Plenum und folgender Einzelarbeit.	UG + EA	Tafel und AB
10 min	Erarbeitung 1	Die SuS erarbeiten eine Mind-Map zur Relevanz von Gezeiten im Erde-Mond-System.	Das Vorwissen der einzelnen SuS wird aktiviert. Die SuS brainstormen ihre Gedanken zu einem neuen Thema und notieren ihre Überlegungen.	EA	AB, interaktives Tool
5 min	Zwischensicherung	Die SuS präsentieren ihre Ergebnisse und Ideen im Plenum.	Die Lehrkraft notiert die Ergebnisse stichpunktartig an der Tafel. Durch die Zwischensicherung erhält die Lehrkraft einen Überblick über das Vorwissen der SuS und kann am Ende der Lerneinheit den Lernfortschritt besser nachvollziehen.	UG	Tafel/ Beamer
10 min	Erarbeitung 2	Die SuS beschäftigen sich mit dem Homogenen und Inhomogenen Gravitationsfeld und erarbeiten die Aufgabe.		EA	AB

5 min	Zwischensicherung	Die SuS tragen die Ergebnisse im Plenum zusammen.	Die Zwischensicherung im Plenum ist nach der theoretischen Einführung von höchster Relevanz.	UG	Tafel/Beamer
5 min	Erarbeitung 3	Die SuS berechnen den gemeinsamen Schwerpunkt von Erde und Mond.		EA	AB
5 min	Zwischensicherung	Kurzes Zusammentragen der Ergebnisse aus der Berechnung.	Abklären von Fehlern bei der Berechnung.	UG	Tafel/Beamer
15 min	Erarbeitung 4	Einführung in die gebundene Rotation anhand von Weltraumseilen. Die SuS erarbeiten daraufhin die Aufgaben.		EA + PA	AB
10 min	Zwischensicherung	Die Ergebnisse werden im Plenum besprochen.		UG	Tafel/Beamer
5 min	Erarbeitung 6	Die SuS berechnen die Gravitationsbeschleunigung in der Kapsel und vergleichen sie mit der Erdbeschleunigung.		EA	AB
5 min	Zwischensicherung	Kurzes Zusammentragen der Ergebnisse aus der Berechnung.	Abklären von Fehlern bei der Berechnung.	UG	Tafel/Beamer
10 min	Erarbeitung 5	Die SuS erarbeiten die nächsten beiden Aufgaben (3.4. und 3.5.).	Einsatz von AB in Kombination mit interaktiver AR-App.	EA	AB, interaktives Tool
10 min	Zwischensicherung	Die SuS besprechen die Ergebnisse im Plenum.		UG	Tafel/Beamer

15 min	Erarbeitung 6	Die Aufgaben 3.6. bis 4. werden in Einzel- sowie teils in Partnerarbeit erarbeitet.	Einsatz von AB in Kombination mit interaktiver AR-App. Mit der abschließenden Erläuterung der Gezeiten und der Briefantwort wird der Kreis zur einleitenden Leitfrage geschlossen.	EA + PA	AB, interaktives Tool
10 min	Sicherung	Als letzte Zwischensicherung sollen die Ergebnisse der Aufgaben 3.6. bis 3.9. im Plenum zusammengetragen werden und einzelne Briefantworten aus Aufgabe 4. vorgestellt werden.		UG	Tafel/ Beamer

Mögliche Lösungen zu den Arbeitsaufgaben der SuS

1. Wofür sind Gezeiten wichtig und warum sollten sie beobachtet werden:

- Erneuerbare Energien; Gezeitenkraftwerk (Energiegewinnung), z.B. in St. Malo in der Mündung des Flusses Rance, wo eine der größten Tidenhübe der Welt erreicht wird
- Vögel, die nur bei Ebbe im Watt fressen können
- Fische schwärmen bei Vollmond
- Tierarten, die im Gezeitenrhythmus laichen
- Hochwassergefahr
- Einfluss im Erde-Mond-System auf die beiden Himmelskörper

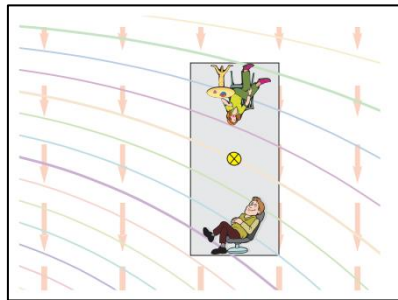
2. Homogenes vs. Inhomogenes Gravitationsfeld

Die beiden Abbildungen zeigen Wurfparabeln von zwei Kästen in zwei verschiedenen Gravitationsfeldern. In den Kästen befinden sich jeweils ein Hammer und ein Volleyball. Zudem ist der Schwerpunkt mit einem X angegeben. In beiden Abbildungen wirkt im freien Fall Schwerelosigkeit auf den Schwerpunkt des Kastens. Die linke Abbildung zeigt das homogene

Gravitationsfeld. Hier verbleiben alle Objekte an der gleichen Position im Kasten und es wirkt durch den freien Fall Schwerelosigkeit. Die rechte Abbildung zeigt die Wurfparabel des Kastens im inhomogenen Gravitationsfeld. Hier verbleibt der Schwerpunkt des Kastens ebenfalls in der Schwerelosigkeit. Hammer und Volleyball erfahren allerdings Gezeitenbeschleunigung in Richtung oberen Rand (Hammer) und in Richtung unteren Rand des Kastens (Volleyball).

2.1. Künstliche Gravitation

In der Mitte des Kastens herrscht weiterhin Schwerelosigkeit. Oberhalb und unterhalb des Schwerpunkts herrscht künstliche Gravitation, und zwar in unterschiedliche Richtungen. Im unteren Teil des Kastens kann man auf dem Boden stehen; im „oberen“ Teil wird man dagegen an die „Decke“ gedrückt. Man wird dort seine Füße hinstellen und die „Decke“ als „unten“ definieren:



2.2. Gemeinsamer Schwerpunkt zwischen Erde und Mond

Ergebnis ca. 4700 km, Schwerpunkt liegt also innerhalb der Erde, ca. 1700 km unter der Erdoberfläche. Der Schwerpunkt der Erde wird stärker beschleunigt als diejenigen Massenelemente, die sich auf der dem Mond abgewandten Seite der Erde befinden. Dies führt wiederum zu einer elastischen Deformation des festen Erdkörpers und zu dem zweiten Flutberg auf der dem Mond abgewandten Seite.

Mond und Erde ziehen sich gegenseitig an. Zwischen ihnen herrscht eine Anziehungskraft bzw. Gravitationskraft.

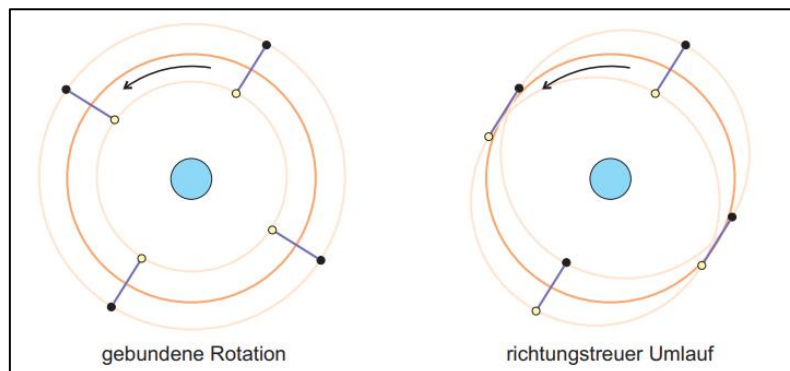
3. Weltraumseile und gebundene Rotation

3.1. Experiment: Gegenstand in Kapsel

Solange du den Ball festhältst, bringt dein Arm die „Seilkraft“ auf, die den Ball in Bezug auf die Kapsel ruhen lässt. Lässt du den Ball los, wird dieser nach außen beschleunigt, bis er von der seilgewandten Wand der Kapsel gestoppt wird. Dort bleibt der Ball liegen, weil nun die Wand die stärkste Kraft auf ihn ausübt.

3.2. Zentripetalkraft und Umlaufbahn des Mondes

- Das angesprochene Weltraumseil läuft in gebundener Rotation um die Erde, genauso wie der Mond
- Die äußere Kapsel (schwarz) läuft in einem größeren Abstand um die Erde als der Schwerpunkt
 - daher muss auf sie eine größere Zentripetalkraft wirken und diese trägt zur Seilspannung bei. Die Gebundene Rotation ist eine stabile Bewegungsform für das Weltraumseil



3.3. Aufgabe: Gravitationsbeschleunigung

Die Gravitationsbeschleunigung ergibt sich aus der angegebenen Gleichung zur Seilkraft, indem wir durch m dividieren. Beim Einsetzen der Werte muss darauf geachtet werden, dass r_s nicht der Abstand des Seils von der Erdoberfläche, sondern vom Erdmittelpunkt ist. Es gilt also $r_s = r_E + 400 \text{ km} = 6370 \text{ km} + 400 \text{ km} = 6770 \text{ km}$.

Zudem ist Δr die halbe Seillänge, hier also 25 km. Als weitere Angabe wird die Erdmasse $m_E = 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$. Damit ergibt sich:

$$\alpha_{Gez} = \frac{F_{Seil}}{m} = 3 * 6,67 * 10^{-11} \frac{m^3}{kg * s^2} * 5,97 * 10^{24} kg * \frac{25 * 10^3 m}{(6770 * 10^3 m)^3}$$

$$\alpha_{Gez} = \frac{F_{Seil}}{m} = 0,096 m/s^2$$

Die künstliche Gravitation in den Kapseln entspricht etwa einem Prozent der Erdbeschleunigung (0,01g).

3.4. Unterschiede zwischen erd zugewandter und erd abgewandter Mondseite

Durch die bereits gebundene Rotation besteht die Annahme, dass die Zentrifugalkraft dafür gesorgt hat, dass der Mond auf der erdabgewandten Seite nach dem Abkühlen eine sehr viel dickere Kruste und ein höheres Relief aufweist, da die Lava sich dort gebündelt hat.

Dies ist aber nur ein möglicher Grund. Frühere vulkanische Aktivität und langzeitige geologische Prozesse sowie Meteoriteneinschläge auf dem Mond können dieses Phänomen ebenfalls verursacht haben. Die Begründung ist höchstwahrscheinlich eine Kombination aus all diesen Erklärungen.

3.5. Hoch- und Niedrigwasser

Da die Erde sich zugleich um ihre eigene Achse dreht, dreht sie sich unter den beiden Flutbergen und Ebbezonen hindurch. Die Gezeiten des Mondes haben eine Periode von im Mittel 12 Stunden und 25 Minuten. Während sich die Erde um ihre eigene Achse dreht, wandert der Mond in seinem monatlichen Umlauf ebenfalls in dieselbe Richtung ein Stück weiter. Daher verschieben sich die vom Mond aus verursachten Gezeiten Tag für Tag um circa 53 Minuten nach hinten. Für die Gezeitenwirkung der Sonne beträgt die entsprechende Verschiebung nur etwa 4 Minuten.

3.6. Gezeitenkräfte auf dem Mond

Gebundene Rotation des Mondes.

Die Gezeitenkräfte wirken auf der Erde durch die unterschiedliche Position des Mondes verschieden im Vergleich zum Mond, wo sich die Position nur leicht verändert, da die Erde sich vom Mond aus immer an einer ähnlichen Stelle auf der gebundenen synchronisierten Bahn befindet. Es bestehen allerdings leichte Veränderungen in der Rotation, wodurch auch die leichte Taumelbewegung des Mondes (Libration) zustande kommt und wodurch starke Mondbeben entstehen.

Die Größe der Gezeitenkraft hängt vom Abstand der betroffenen Körper oder Objekte ab.

3.7. Berechnung der Roche-Grenze

Für starre Körper: $d = 6.371 * \sqrt[3]{\frac{2*5,514}{3,344}} = 9.483$

Für flüssige Körper: $d = 2,423 * 6.371 * \sqrt[3]{\frac{5,514}{3,344}} = 18.237$

- Die wahre Roche-Grenze liegt meist zwischen diesen Werten, ist allerdings schwierig zu bestimmen, da weitere Faktoren wie die Verformbarkeit und die genaue Dichteverteilung mit einbezogen werden müssen.

3.8. Entstehung der Gezeiten anhand von Mond und Sonne

Die Gezeiten auf der Erde sind die wohl bekannteste Folge aus dem gravitativen System Erde-Mond(-Sonne). Trotz der kleineren Größe und der sehr viel kleineren Masse des Mondes hat dieser Auswirkungen auf die Gezeiten der Erde. Auch die Sonne hat gravitative Auswirkungen auf die Erde, diese sind allerdings aufgrund der großen Entfernung zur Erde dreimal schwächer als die des Mondes.

Ein fester Punkt auf der Erdoberfläche ändert aufgrund der Erdrotation dauernd seine Position. Es ergibt sich ein 12-Stunden-Rhythmus von Ebbe und Flut. Wir nehmen nur den zeitabhängigen Teil im 6-stündigen Wechsel von Ebbe und Flut wahr. Es besteht eine langsame, aber stetige Abbremsung der Erddrehung und somit eine Zunahme der Tageslänge (knapp 2 ms pro Jahrhundert), d.h. die Erde verliert Drehimpuls durch die Reibungswirkungen und Erwärmungen, wenn sich die Erdkruste unter den Flutbergen hinwegdreht.

3.9. Spring- und Nipptide

Auf der Erde treten durch den Einfluss der Sonne in Kombination mit dem Mond besonders starke (Springtide) und besonders schwache Fluten (Nipptide) auf. Je nach Stellung von Erde, Mond und Sonne variiert die Stärke der Gezeiten. So sind die Himmelskörper z.B. entweder so positioniert, dass sich die Gravitationskräfte aufaddieren (Springtide), wenn Sonne, Mond und Erde auf einer Geraden liegen, wie bei Vollmond und Neumond oder die Kräfte wirken entgegengesetzt zueinander

(Nipptide). Dort sind bei den ersten und letzten Viertelmonden, wenn Sonne und Mond einen rechten Winkel zueinander haben, die Gezeitenkräfte am schwächsten.

Zusatz 5. Geographische Beeinflussung der Gezeiten auf der Erde

Die geographische Lage eines Ortes auf der Erde beeinflusst die Stärke der Gezeiten. Die Form der Küstenlinie und die geologische Beschaffenheit des Meeresbodens können die Gezeiten verstärken oder abschwächen. In einigen Gebieten, wie zum Beispiel in engen Buchten oder Flussmündungen, kann das Wasser stärker gestaut werden, was zu höheren Gezeiten führt. In anderen Gebieten, wie großen offenen Ozeanen, können die Gezeiten weniger ausgeprägt sein. Auch Meeresströmungen und Unterwasserstrukturen wie Riffe und Inseln können die Bewegung des Wassers beeinflussen und die Gezeitenmuster komplexer gestalten.

Zusatz 6. Das Leben ohne Mond

Ohne den Mond würde sich die Erde deutlich schneller drehen. Ca. 9-10 Stunden würde ein Erdtag dann dauern. Die Windgeschwindigkeiten würden steigen. Nur noch sehr flache und angepasste Lebewesen würden die veränderte Situation überleben. Zudem wäre die Erdrotationsachse sehr viel instabiler und würde stark schwanken. Potenziell könnte dann beispielsweise der Nordpol im Zenit der Sonne stehen, was klimatisch sowie in Bezug auf Flora und Fauna drastische Veränderungen auf der Erde nach sich ziehen würde und das Leben auf der Erde praktisch unmöglich machen würde. Außerdem hätte nur noch die Sonne Einfluss auf die Gezeitenwirkung. Demnach wären die Gezeiten zwar schwächer, allerdings würden durch die schnellere Erdrotation Sturmfluten und Tsunamis entstehen. Zudem gäbe es nachts weniger bis kein Licht, was ebenfalls entscheidenden Einfluss auf die Fauna hätte und zum Aussterben vieler Arten führen würde. Einige Tiere laichen z.B. im Mond- und Gezeitenrhythmus.