

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Schule und Berufsbildung

Schriftliche Abiturprüfung

Biologie

Hinweise und Beispiele zu den
zentralen schriftlichen Prüfungsaufgaben

Impressum

Herausgeber:

Freie und Hansestadt Hamburg Behörde für Schule und Berufsbildung
Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung
Felix-Dahn-Straße 3, 20357 Hamburg

Referatsleitung Unterrichtsentwicklung

mathematisch-naturwissenschaftlich-technischer Unterricht:

Monika Seiffert

Fachreferentin Biologie: Britta Nowak

Mitarbeit: Olaf Zeiske, Jörgfried Kirch

Diese Veröffentlichung beinhaltet Teile von Werken, die nach ihrer Beschaffenheit nur für den Unterrichtsgebrauch in Hamburger Schulen sowie für Aus- und Weiterbildung am Hamburger Landesinstitut für Lehrerbildung und Schulentwicklung bestimmt sind.

Eine öffentliche Zugänglichmachung dieses für den Unterricht an Hamburger Schulen bestimmten Werkes ist nur mit Einwilligung des Landesinstituts für Lehrerbildung und Schulentwicklung zulässig.

Veröffentlicht auf: www.li.hamburg.de/publikationen/abiturpruefung

Hamburg 2016

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	4
1 Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung	5
2 Liste der Operatoren	6
3 Aufgabenbeispiele	8
3.1 grundlegendes Anforderungsniveau	8
Schwerpunktthema: Evolution und Zukunftsfragen	8
3.2 erhöhtes Anforderungsniveau	15
Schwerpunktthema: Molekulargenetik und Gentechnik	15
Schwerpunktthema: Ökologie und Nachhaltigkeit	21
Schwerpunktthema: Neurobiologie und Selbstverständnis	33

Vorwort

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

seit dem Schuljahr 2013/2014 ist die Zahl der Fächer mit zentral gestellten Aufgaben in der Abiturprüfung u. a. um die MINT-Fächer Biologie, Chemie, Informatik und Physik erweitert worden.

Die schriftlichen Abituraufgaben für diese Fächer werden zentral von der Schulbehörde erstellt. Sie beziehen sich auf Themen, die etwa 50 % des Unterrichts in der Studienstufe ausmachen und in den Rahmenplänen bereits verbindlich geregelt sind. Damit bleibt in der Profileroberstufe eine vernünftige Balance zwischen schulisch geprägten Themen und zentralen Leistungsanforderungen erhalten. Die fachspezifischen Hinweise im sogenannten A-Heft, den „Regelungen für die zentralen schriftlichen Prüfungen“ für das Abitur (für das Abitur 2017 siehe <http://www.hamburg.de/contentblob/4428498/data/abitur-a-heft-2017.pdf>) informieren über die aktuellen Schwerpunkte und Anforderungen der Prüfungsaufgaben. Sie ermöglichen damit eine langfristige Unterrichtsplanung.

Neu seit dem Abitur 2014 ist zudem die Wahlmöglichkeit für die zu bearbeitenden Prüfungsaufgaben durch die Schülerinnen und Schüler. In den naturwissenschaftlichen Fächern und Informatik werden jeweils drei Aufgaben vorgelegt, von denen die Schülerinnen und Schüler zwei zur Bearbeitung auswählen.

Auf den nachfolgenden Seiten finden Sie zu Ihrer Orientierung Beispiele für zentrale Prüfungsaufgaben im Fach Biologie, in denen neben der Aufgabenstellung auch der Erwartungshorizont und die zugeordneten Bewertungseinheiten beschrieben sind.

In der Hoffnung, dass die vorliegende Handreichung hilfreich für Sie und Ihre Unterrichtsarbeit ist, wünsche ich Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern eine erfolgreiche Vorbereitung auf die schriftliche Abiturprüfung.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe, die diese Handreichung erstellte, danke ich herzlich für die geleistete Arbeit.

Monika Seiffert

1 Regelungen für die schriftliche Abiturprüfung

Der Fachlehrerin, dem Fachlehrer

- werden **drei** Aufgaben zu den aktuellen Schwerpunkten (siehe A-Heft) vorgelegt. Aufgaben können Schwerpunktthemen auch miteinander verbinden.

Die Abiturientin, der Abiturient

- erhält alle **drei** Aufgaben,
- wählt davon **zwei** Aufgaben aus und bearbeitet diese,
- vermerkt auf der Reinschrift, welche Aufgabe sie/er bearbeitet hat,
- ist verpflichtet, die Vollständigkeit der vorgelegten Aufgaben vor Bearbeitungsbeginn zu überprüfen (Anzahl der Blätter, Anlagen usw.).

Aufgabenart: Bearbeitung einer Aufgabe, die fachspezifisches Material enthält. Dieses Material kann sein: Abbildungen, Texte, z. B. wissenschaftliche Abhandlung oder Beschreibung eines wissenschaftlichen Experiments, Tabellen, Messreihen, Graphen.

Arbeitszeit: Grundlegendes Anforderungsniveau: **240** Minuten
Erhöhtes Anforderungsniveau: **300** Minuten

Eine Lese- und Auswahlzeit von **30** Minuten ist der Arbeitszeit vorgeschaltet. In dieser Zeit darf nicht mit der Bearbeitung der Aufgaben begonnen werden.

Hilfsmittel: Taschenrechner (nicht-programmierbar, nicht-grafikfähig), Zeichenhilfsmittel, zugelassene Formelsammlung, Rechtschreibwörterbuch

Die in den zentralen schriftlichen Abituraufgaben verwendeten **Operatoren** werden im Anhang genannt und erläutert.

Grundlage der schriftlichen Abiturprüfung ist der Rahmenplan Biologie, gymnasiale Oberstufe, in der Fassung von 2009 mit den folgenden curricularen Vorgaben, Konkretisierungen und Schwerpunktsetzungen. Für die Schwerpunktthemen ist jeweils eine Unterrichtszeit von der Hälfte, höchstens aber von zwei Dritteln eines Semesters vorgesehen.

Es besteht grundsätzlich Themengleichheit zwischen Kursen auf grundlegendem und erhöhtem Niveau. Für das erhöhte Niveau wird ein – auch qualitatives – Additum angegeben.

Die Themen beziehen sich auf die im Abschnitt 3.2.2 Tabelle 1 genannten verbindlichen Inhalte der Themenbereiche des Rahmenplans.

Es werden **drei** Schwerpunktthemen benannt, die verschiedene Bereiche der Biologie abdecken. Die Prüfungsaufgabe erstreckt sich auf alle vier im Rahmenplan Biologie beschriebenen Kompetenzbereiche. Insbesondere naturwissenschaftliche Methodenkompetenz wie die Kenntnis der Schritte des Experimentierens, das Wissen um die Bedeutung von Modellen und eine wissenschaftsbasierte differenzierte Bewertung werden als bekannt vorausgesetzt.

2 Liste der Operatoren

Die in den zentralen schriftlichen Abituraufgaben verwendeten Operatoren werden in der folgenden Tabelle definiert. Entsprechende Formulierungen in den Klausuren der Studienstufe sind ein wichtiger Teil der Vorbereitung der Schülerinnen und Schüler auf das Abitur.

Neben Definitionen enthält die Tabelle auch Zuordnungen zu den Anforderungsbereichen (AB) I, II und III, wobei die konkrete Zuordnung auch vom Kontext der Aufgabenstellung abhängen kann und eine scharfe Trennung der Anforderungsbereiche nicht immer möglich ist.

Operatoren	AB	Definitionen
analysieren, untersuchen	II-III	Unter gezielten Fragestellungen Elemente und Strukturmerkmale herausarbeiten und als Ergebnis darstellen
angeben, nennen	I	Ohne nähere Erläuterungen wiedergeben oder aufzählen
anwenden, übertragen	II	Einen bekannten Sachverhalt, eine bekannte Methode auf eine neue Problemstellung beziehen
aufstellen	II	Einen Vorgang als eine Folge von Symbolen und Wörtern formulieren
auswerten	II	Daten oder Einzelergebnisse zu einer abschließenden Gesamtaussage zusammenführen
begründen	II-III	Einen angegebenen Sachverhalt auf Gesetzmäßigkeiten bzw. kausale Zusammenhänge zurückführen
benennen	I	Elemente, Sachverhalte, Begriffe oder Daten (er)kennen und angeben
berechnen	I-II	Ergebnisse von einem Ansatz ausgehend durch Rechenoperationen gewinnen
beschreiben	I-II	Strukturen, Sachverhalte oder Zusammenhänge unter Verwendung der Fachsprache in eigenen Worten veranschaulichen
bestimmen	II	Einen Lösungsweg darstellen und das Ergebnis formulieren
beurteilen	III	Hypothesen bzw. Aussagen sowie Sachverhalte bzw. Methoden auf Richtigkeit, Wahrscheinlichkeit, Angemessenheit, Verträglichkeit, Eignung oder Anwendbarkeit überprüfen
bewerten	III	Eine eigene Position nach ausgewiesenen Normen oder Werten vertreten
darstellen	I-II	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden, Ergebnisse etc. strukturiert wiedergeben
diskutieren, erörtern	III	Im Zusammenhang mit Sachverhalten, Aussagen oder Thesen unterschiedliche Positionen und Pro- und Kontra- Argumente einander gegenüberstellen und abwägen
einordnen, zuordnen	II	Mit erläuternden Hinweisen in einen Zusammenhang einfügen
entwickeln	II-III	Eine Skizze, eine Hypothese, ein Experiment, ein Modell oder eine Theorie schrittweise weiterführen und ausbauen
erklären, erläutern	II-III	Ergebnisse, Sachverhalte oder Modelle nachvollziehbar und verständlich veranschaulichen
herausarbeiten	II-III	Die wesentlichen Merkmale darstellen und auf den Punkt bringen
interpretieren	II-III	Phänomene, Strukturen, Sachverhalte oder Versuchsergebnisse auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und diese gegeneinander abwägend darstellen
protokollieren	I-II	Beobachtungen oder die Durchführung von Experimenten detailgenau zeichnerisch einwandfrei bzw. fachsprachlich richtig wiedergeben
prüfen, überprüfen	II-III	Sachverhalte oder Aussagen an Fakten oder innerer Logik messen und eventuelle Widersprüche aufdecken

Beispielaufgaben für die schriftliche Abiturprüfung im Fach Biologie

Operatoren	AB	Definitionen
skizzieren	I-II	Sachverhalte, Strukturen oder Ergebnisse kurz und übersichtlich darstellen, mithilfe von z. B. Übersichten, Schemata, Diagrammen, Abbildungen, Tabellen
vergleichen, gegenüberstellen	II-III	Nach vorgegebenen oder selbst gewählten Gesichtspunkten Gemeinsamkeiten, Ähnlichkeiten und Unterschiede ermitteln und darstellen
zeichnen	I-II	Eine hinreichend exakte bildhafte Darstellung anfertigen

3 Aufgabenbeispiele

3.1 Grundlegendes Anforderungsniveau

Schwerpunktthema: Evolution und Zukunftsfragen

Bruthelfer beim Florida-Buschhähler (*Aphelocoma coerulescens*)

Buschhähler zählen zur Familie der Rabenvögel und besiedeln weite Teile Nordamerikas. Ihren Namen verdanken sie der Tatsache, dass sie lockeren Buschbestand als Lebensraum bevorzugen. Es gibt sechs verschiedene Arten von Buschhählern, die alle von einer gemeinsamen Stammart abstammen. Eine dieser Arten ist der Florida-Buschhähler.

- a) Stellen Sie die wesentlichen Gesichtspunkte der darwinschen Evolutionstheorie dar. (10 P)
- b) Beschreiben Sie – am Beispiel des Florida-Buschhählers – die Entstehung einer für ein bestimmtes Gebiet endemischen Art aus einer weitverbreiteten Stammart. Erklären Sie dabei auch die Evolutionsfaktoren. (20 P)
- c) Arbeiten Sie anhand der Materialien 1 und 2 heraus, wodurch und in welchem Maße die Helfer zum Bruterfolg beitragen. (10 P)
- d) Beurteilen Sie auf Grundlage des Materials und eigener Überlegungen, inwiefern die folgende Aussage zulässig ist:
„Die Entstehung von Helferverhalten ist aus evolutionsbiologischer Sicht ein Rätsel.“ (10 P)

Anlage zur Aufgabe Bruthelfer beim Florida-Buschhäher

Material 1: Biologie des Florida-Buschhähers

Der Florida-Buschhäher (*Aphelocoma coerulescens*, Abb.1) kommt ausschließlich auf der Halbinsel Florida vor, im äußersten Südosten der USA. Er ist also eine für dieses Gebiet endemische (nur dort vorkommende) Art. Als eigenständige Art existiert er dort seit mindestens zwei Millionen Jahren und hat sich neueren molekularbiologischen Erkenntnissen folgend vom Woodhouse-Buschhäher *Aphelocoma woodhouseii* abgespalten. Sein Vorkommen ist räumlich von anderen Buschhäherarten isoliert. Verschiedene Arten der Gattung *Aphelocoma* unterscheiden sich z. B. in der Schnabelform voneinander. Auch die Ernährung variiert. Einige Arten ernähren sich nicht nur von Eicheln, Nüssen, anderen Früchten und Samen, sondern auch von Kleintieren (z. B. Insekten). Sie sind omnivor.



Abb. 1: Florida-Buschhäher ¹

Der Florida-Buschhäher bevorzugt Gebiete mit unberührtem, lockerem Buschbestand. In lichten, unterholzreichen Laubwäldern finden die Vögel ausreichend Nahrung, z. B. Eicheln und andere Waldfrüchte, sowie geeignete Stellen zum Nestbau in den Astgabeln von niedrigen Bäumen oder Büschen. Diese Lebensräume sind jedoch in Florida recht selten, und die einzelnen Gebiete liegen weit verstreut.

Außerhalb der Paarungszeit leben Florida-Buschhäher paarweise, in kleinen Familiengruppen oder in kleinen Nichtbrütergemeinschaften. Als Einzelgänger treten sie nur selten auf, denn es handelt sich bei ihnen um ausgesprochen soziale Vögel. Während der Paarungszeit jedoch zeigen sie ein territoriales Verhalten. Brutpaare, die stets lebenslang zusammenbleiben, besetzen dann ein Revier und verteidigen dieses gegen konkurrierende Brutpaare.

Zu den Fressfeinden der Florida-Buschhäher zählen vor allem Greifvögel. Eier und Junge werden dagegen häufig von Schlangen gefressen. Die Eltern greifen Schlangen in Nestnähe mit Schnabelhieben und gegebenenfalls auch mit ihren Klauen heftig an.

Beobachtungen zeigten, dass in etwa der Hälfte der Reviere die Revierinhaber bis zu maximal sechs Artgenossen dulden, die nicht selber brüten, sondern anstelle dessen bei der Aufzucht der Jungen, der Revierverteidigung und der Abwehr von Schlangen helfen. Reviere mit Helfern sind größer als die von Brutpaaren ohne Helfer. Es kommt vor, dass Helfer (früher oder später) Teile des Reviers für sich zum Brüten beanspruchen und dann ihrerseits verteidigen.

Ergänzender Materialhinweis: Eine Verbreitungskarte der *University of Florida* ist abrufbar unter:

http://edis.ifas.ufl.edu/LyraEDISServlet?command=getImageDetail&image_soid=FIGURE%203&document_soid=UW306&document_version=73882

¹ Bildquelle: <http://www.public-domain-image.com/full-image/fauna-animals-public-domain-images-pictures/birds-public-domain-images-pictures/jay-birds-pictures/florida-scrub-jay-bird-aphelocoma-coerulescens.jpg-royalty-free-stock-photograph.html>

Material 2: Bruterfolg im Vergleich

Vergleichskriterien	Elternpaare ohne Bruterfahrung	Elternpaare mit Bruterfahrung
ohne Helfer	103 flügge Jungvögel	162 flügge Jungvögel
mit Helfer	206 flügge Jungvögel	220 flügge Jungvögel

Abb. 2. Jährlicher Bruterfolg bei unerfahrenen und erfahrenen Elternpaaren
(Angaben beziehen sich jeweils auf 100 Paare)

Quelle: Eckebrecht, D. (1997): NATURA Oberstufe, Lehrerband Evolution, Ernst Klett Verlag, Stuttgart. S 51.

Material 3: Verwandtschaft der Helfer zum Brutpaar (74 untersuchte Fälle)

Die Helfer wirkten mit bei:

- ihren Eltern : in 48 Fällen
- ihrem Vater und einem fremden Weibchen : in 16 Fällen
- ihrer Mutter und einem fremden Männchen : in 2 Fällen
- ihrem Bruder und einem fremden Weibchen : in 7 Fällen
- einem fremden Weibchen und Männchen : in 1 Fall

Quelle: Eckebrecht, D. (1997): NATURA Oberstufe, Lehrerband Evolution, Ernst Klett Verlag, Stuttgart. S 51.

Schwerpunktthema: Evolution und Zukunftsfragen

Bruthelfer beim Florida-Buschhäher

Erwartungshorizont

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
	<u>Der Prüfling</u>			
a)	<p><u>stellt die wesentlichen Gesichtspunkte der darwinschen Evolutionstheorie dar:</u></p> <p>Jede Population produziert mehr Nachkommen, als für die Erhaltung der Art notwendig sind (Überproduktion).</p> <p>Die Nachkommen unterscheiden sich in ihren Merkmalen (natürliche Variabilität).</p> <p>Da das Nahrungsangebot und der Lebensraum begrenzt sind, findet unter den Individuen ein „Kampf ums Dasein“ („struggle for life“) im Sinne eines Wettbewerbs um diese Ressourcen statt.</p> <p>Die Individuen, die durch ihre Eigenschaften an die herrschenden Umweltbedingungen am besten angepasst sind überleben („survival of the fittest“).</p> <p>Sie haben einen höheren Fortpflanzungserfolg, während die weniger gut angepassten Varianten im Laufe der Zeit aussterben (natürliche Selektion).</p> <p>Die Merkmale treten in den folgenden Generationen wieder auf.</p>	10		

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
b)	<p><u>beschreibt – am Beispiel des Florida-Buschhähers – die Entstehung einer für ein bestimmtes Gebiet endemischen Art aus einer weit verbreiteten Stammart und erklärt dabei die Evolutionsfaktoren:</u></p> <p>Die Entstehung einer neuen, für ein bestimmtes Gebiet endemischen Art, beginnt mit der Separation einzelner Individuen oder einer Teilpopulation der Stammart.</p> <p>Die Separation oder geografische Isolation erfolgt z. B. durch geologische Faktoren (Vulkanismus, Landhebungen, Senkungen), klimatische Faktoren (Eiszeiten) oder infolge von Migrationen.</p> <p>Der Genpool der separierten Teilpopulation umfasst nur einen zufällig bedingten Ausschnitt aller Allele des Stamm-Genpools (Gendrift). Die zwei neu entstandenen Genpools unterscheiden sich voneinander.</p> <p>Evtl. zuvor seltene Allele können aufgrund der eingeschränkten Rekombinationsmöglichkeiten (mehr oder weniger ausgeprägte Inzucht-Situation) in der zunächst kleinen Teilpopulation häufiger zur phänotypischen Ausprägung kommen.</p> <p>Die Populationen der Stammart und die separierte Teilpopulation entwickeln sich in Wechselwirkung mit den jeweils herrschenden Umweltbedingungen unterschiedlich, wodurch die Übereinstimmung ihrer Genpools sinkt.</p> <p>Es entstehen unterschiedliche Phänotypen in der Stamm- und der Teilpopulation aufgrund des unterschiedlichen Selektionsdruckes, resultierend aus den unterschiedlichen ökologischen Bedingungen in den beiden Gebieten.</p> <p>Schließlich sind die Fortpflanzungsvoraussetzungen so verschieden, dass sich Angehörige der Teilpopulation nicht mehr mit solchen der Stammpopulation fortpflanzen können.</p> <p>Beide Populationen sind durch wirksame Isolationsmechanismen genetisch isoliert, die Teilpopulation hat sich zu einer eigenen Art (Florida-Buschhäher) entwickelt.</p> <p>Neben den oben genannten Evolutionsfaktoren können auch weitere Faktoren, wie Rekombination und verschiedene Selektionsformen genannt werden.</p> <p><i>Die Überlegungen müssen explizit auf den Florida-Buschhäher angewendet werden (Material 1 liefert dazu Informationen: z. B. Teilpopulation erschließt andere Nahrung/Brutplätze).</i></p>	7	10	3

Lösungsskizze		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
<p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>				
c)	<p><u>arbeitet anhand der Materialien 1 und 2 heraus, wodurch und in welchem Maße die Helfer zum Bruterfolg beitragen:</u></p> <p>Aus Material 1 geht hervor, wodurch die Helfer den Bruterfolg erhöhen: Sie helfen bei der Abwehr von Schlangen, bei der Revierverteidigung sowie bei der Aufzucht der Jungen und entlasten somit das Elternbrutpaar. Die Reviere sind außerdem größer und bieten so wahrscheinlich mehr Nahrung. Paare mit Helfern haben einen Selektionsvorteil.</p> <p>Durch Material 2 wird gezeigt, in welchem Maße die Helfer den Bruterfolg erhöhen: Dabei profitieren unerfahrene Brutpaare mehr als bereits erfahrene Brutpaare. Während sich bei ihnen der Bruterfolg durch Helfer verdoppelt, beträgt der Zuwachs bei den erfahrenen Paaren nur ca. 36 %. Jedoch ist zu beachten, dass erfahrene Paare ohne Helfer bereits etwa 1 ½ -mal so erfolgreich sind wie unerfahrene Paare. Absolut gesehen ist ihr Bruterfolg mit Helfern höher (220 flügge Jungvögel bei 100 Paaren) als der von unerfahrenen Paaren mit Helfern (206 flügge Jungvögel bei 100 Paaren).</p>			10

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
d)	<p><u>beurteilt die Aussage auf Grundlage des Materials und eigener Überlegungen:</u></p> <p>Die Evolution von Helferverhalten ist zunächst erstaunlich, da die Helfer keine eigenen Nachkommen haben.</p> <p>Laut Darwin ist die Fortpflanzung von zentraler Bedeutung - und die natürliche Selektion sollte die Häufigkeit solcher Individuen fördern, die höhere Fortpflanzungschancen haben (individuelle Variabilität).</p> <p>Nach Material 1 erhöht Helferverhalten jedoch die Chancen des Zugangs zu einer begrenzten Ressource: Geeignete Lebensräume treten in Florida selten und weit verstreut auf. Die Anzahl der Brutreviere ist damit ebenfalls sehr begrenzt. Helfen verbessert so nicht nur den Bruterfolg anderer, sondern erhöht auch die Chance auf ein eigenes Brutrevier und somit auf die direkte Weitergabe der Gene der Helfer – wenn auch erst später.</p> <p>Material 3 ist außerdem zu entnehmen, dass es sich bei den Helfern in der weit überwiegenden Zahl der Fälle (48 von 74 bzw. nahezu 65 %) um den eigenen Nachwuchs des Brutpaares handelt. Die Helfer unterstützen also die Aufzucht ihrer jüngeren Geschwister oder ihrer Halbgeschwister (in 18 von 74 Fällen) oder ihrer Neffen bzw. Nichten (in 7 von 74) Fällen. Nur in einem Fall wurde ein Brutpaar von nicht verwandten Helfern unterstützt. Die Helfer verbessern die Überlebenschancen nahe Verwandter und damit von Artgenossen, die Kopien ihrer eigenen Allele tragen. Sie sorgen damit zunächst, d. h., solange sie sich nicht selbst fortpflanzen, indirekt für die Weitergabe ihrer Allele (indirekte Fitness).</p> <p>Der Rückgriff auf diese genetischen Grundlagen geht über Darwins Überlegungen hinaus (Synthetische Theorie der Evolution).</p> <p>Vor dem Hintergrund der Synthetischen Theorie ist Helferverhalten jedoch kein vollständiges evolutionsbiologisches Rätsel.</p>			
Insgesamt 50 BWE/Punkte		17	20	13

3.2 Erhöhtes Anforderungsniveau

Schwerpunktthema: Molekulargenetik und Gentechnik

Insulinsynthese bei Säugern

Insulin ist ein Hormon, das von den β -Zellen der Bauchspeicheldrüse produziert wird und die Zuckerregulation im Körper steuert. Bei *Diabetes mellitus*, einer der häufigsten Stoffwechselerkrankungen in Deutschland, sind die β -Zellen nicht in der Lage Insulin zu produzieren. Es muss von außen zugeführt werden, um schwere körperliche Schäden zu vermeiden.

- a) Beschreiben Sie die einzelnen Schritte der Proteinbiosynthese bei Eukaryoten am Beispiel der natürlichen Insulinsynthese in den β -Zellen des Menschen sowie den Aufbau des aktiven Humaninsulins (Material 1).
(14 P)
- b) Erklären Sie die Unterschiede in den Aminosäuresequenzen des Insulins verschiedener Säuger (Material 2) unter Rückgriff auf die Basensequenz ihrer codogenen DNA-Stränge.
(15 P)
- c) Beschreiben Sie die grundlegenden Schritte zur Herstellung eines gentechnisch veränderten Bakterienstammes, der Insulin produziert.
(8 P)
- d) Diskutieren Sie, ausgehend vom Beispiel der gentechnischen Herstellung von Humaninsulin, die Chancen und Risiken der Gentechnik am Beispiel (Material 4).
(13 P)

Anlage zur Aufgabe Insulinsynthese bei Säugern

Material 1: Natürliche Insulinsynthese im Überblick

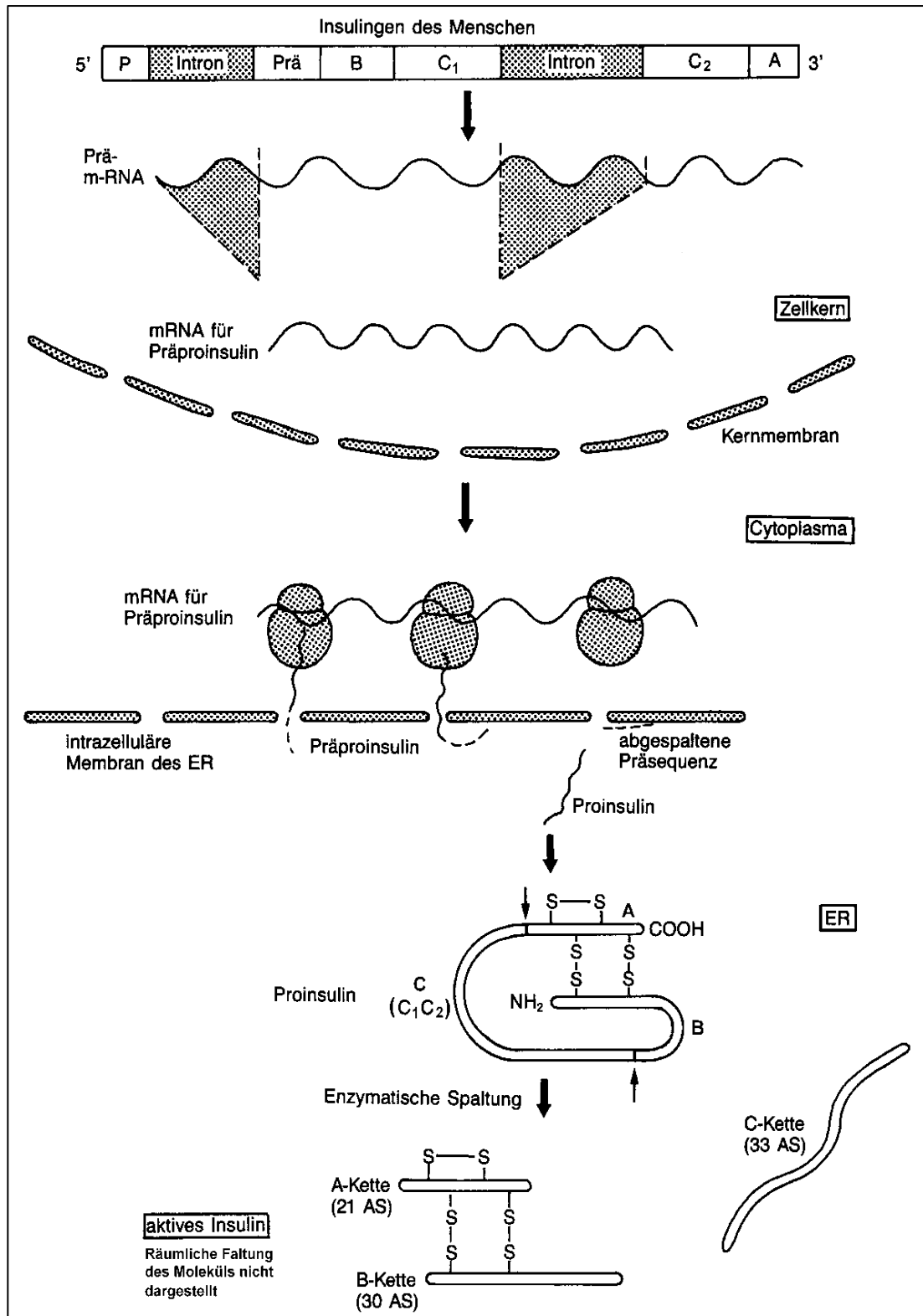


Abb. 1: Natürliche Insulinsynthese in den β -Zellen der Bauchspeicheldrüse²
Hinweis: ER = Endoplasmatisches Reticulum

² Quelle: Sorbe, D. (1987): Gentechnisch manipulierte Bakterien produzieren Humaninsulin. Pädagogik der Naturwissenschaften – Biologie 2/36. S. 20

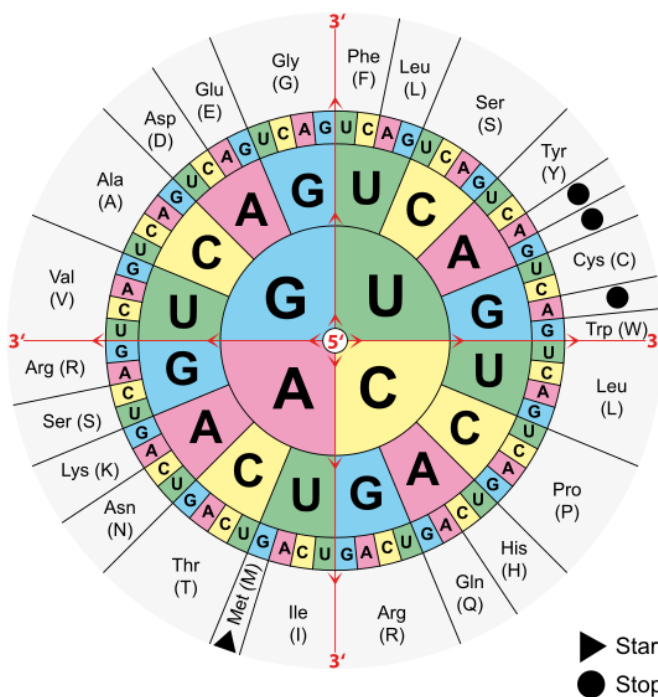
Material 2: Aminosäuresequenzen für Insulin im Vergleich

	A-Kette						B-Kette					
Positionsnummer	6	7	8	9	10	11	25	26	27	28	29	30
Mensch	- Cys	- Cys	- Thr	- Ser	- Ile	- Cys	- Phe	- Tyr	- Thr	- Pro	- Lys	- Thr
Schwein	- Cys	- Cys	- Thr	- Ser	- Ile	- Cys	- Phe	- Tyr	- Thr	- Pro	- Lys	- Ala
Rind	- Cys	- Cys	- Ala	- Ser	- Val	- Cys	- Phe	- Tyr	- Thr	- Pro	- Lys	- Ala

Abb. 2: Ausschnitte aus den Aminosäuresequenzen des Insulins verschiedener Säuger-Arten

Quelle: eigene Darstellung

Material 3: Code-Sonne



Hinweis: Die Buchstaben in Klammern können vernachlässigt werden.

- | | | | |
|-----|---------------|-----|----------------|
| Ala | Alanin | Arg | Arginin |
| Asn | Asparagin | Asp | Asparaginsäure |
| Cys | Cystein | Gln | Glutamin |
| Glu | Glutaminsäure | Gly | Glycin |
| His | Histidin | Ile | Isoleucin |
| Leu | Leucin | Lys | Lysin |
| Met | Methionin | Phe | Phenylalanin |
| Pro | Prolin | Ser | Serin |
| Thr | Threonin | Trp | Tryptophan |
| Tyr | Tyrosin | Val | Valin |

Quelle: nach Mouagip (2009): Genetische Code-Sonne, in: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/70/Aminoacids_table.svg

Material 4: Gewinnung von Insulin

Weltweit gab 2010 es laut Aussage des Deutschen Zentrums für Diabetesforschung schätzungsweise 285 Millionen Diabetiker. Insulin wurde lange Zeit aus den Bauchspeicheldrüsen von Schlachttieren (Schwein, Rind) gewonnen.

5 Bauchspeicheldrüsengewebe ist äußerst empfindlich. Die Proteine müssen in aufwendigen Verfahren isoliert und gereinigt werden. Diese traditionelle Gewinnung ist also nicht einfach. Außerdem kann aus einer großen Menge Bauchspeicheldrüsengewebe immer nur sehr wenig Insulin gewonnen werden. Darüber hinaus unterscheidet sich Tierinsulin in seiner Aminosäuresequenz vom Humaninsulin (Material 2).

10 Eine gentechnische Erzeugung von Humaninsulin mittels unprogrammierter Bakterien wurde daher sehr bald ins Auge gefasst. Grundlage hierfür war die Aufklärung der Aminosäuresequenz des Insulins. Dies gelang Frederick Sanger, der für seine Arbeit im Jahre 1958 den Nobelpreis erhielt. Insulin besteht aus 51 Aminosäuren.

Insulinsynthese bei Säugern

Erwartungshorizont

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
<u>Der Prüfling</u>				
a)	<p><u>beschreibt die einzelnen Schritte der Proteinbiosynthese bei Eukaryoten am Beispiel der Insulinsynthese in den β-Zellen:</u></p> <p>Ablauf der natürlichen Insulinsynthese beim Menschen:</p> <p>im Zellkern:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Transkription: Exons und Introns werden bei Eukaryoten zunächst vollständig in prä-mRNA transkribiert. - Mehrere Vorgänge sind Teil des Processings: <ul style="list-style-type: none"> o Capping: Anhängen der 5'-Cap-Struktur. o Polyadenylierung: Anhängen des Poly-A Schwanzes o Editing: Austauschen bestimmter Nukleinbasen o Splicing: Heraustrennen der Introns, Verknüpfen der Exons <p>im Cytoplasma</p> <ul style="list-style-type: none"> - Translation: Die mRNA wandert durch die Zellkernporen ins Cytoplasma, wo das sekundäre Genprodukt, das Protein Präproinsulin, an den Ribosomen synthetisiert wird. <p>im endoplasmatischen Reticulum:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Umwandlung in Proinsulin: Während der Durchquerung der ER-Membran wird die Präsequenz vom restlichen Polypeptid abgespalten. Es entsteht Proinsulin. - Umwandlung in aktives Insulin: Proinsulin wird in aktives Insulin umgewandelt. Dies geschieht durch enzymatische Abspaltung der 33 Aminosäuren langen C-Kette. <p><u>beschreibt den Aufbau des aktiven Humaninsulins:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Das aktive Insulin besteht zwei getrennten Ketten (A-Kette mit 21 AS und B-Kette mit 30 AS). - A und B-Kette werden über 2 Disulfidbrücken zusammengehalten. - Die A-Kette bildet eine Schlaufe durch eine Disulfidbrücke. - Das Molekül ist in typischer Weise räumlich gefaltet (Tertiärstruktur* eines Proteins). <p><i>* fachlicher Hinweis: Die Untereinheiten sind durch Disulfidbrücken kovalent verbunden und lassen sich nicht durch Wärmezufuhr aufschmelzen. Von Quartärstruktur spricht man normalerweise nur, wenn die Untereinheiten nicht kovalent verknüpft sind. Wenn Schüler eine Analogie zu dem aus dem Unterricht bekannten Hämoglobin als Beispiel einer Quartärstruktur bilden, sollte das nicht als Fehler gewertet werden.</i></p>			
		10	4	

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p style="text-align: center;">Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p>		Zuordnung Bewertung																																																										
		I	II	III																																																								
<p><u>Der Prüfling</u></p>																																																												
b)	<p><u>erklärt die Unterschiede in den Aminosäuresequenzen des Insulins verschiedener Säuger (Material 2) unter Rückgriff auf die Basensequenz ihrer codogenen DNA-Stränge:</u></p> <p>A-Kette</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="6">Mögliche mRNAs laut Code-Sonne</th> </tr> <tr> <th></th> <th>6</th> <th>7</th> <th>8</th> <th>9</th> <th>10</th> <th>11</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mensch/ Schwein (identisch)</td> <td>UGU C</td> <td>UGU C</td> <td>ACG C A U</td> <td>UCU C A G</td> <td>AUA C U</td> <td>UGU C</td> </tr> <tr> <td>Rind</td> <td></td> <td></td> <td>G</td> <td></td> <td>G (G)</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>B-Kette</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="6">Mögliche mRNAs laut Code-Sonne</th> </tr> <tr> <th></th> <th>25</th> <th>26</th> <th>27</th> <th>28</th> <th>29</th> <th>30</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mensch</td> <td>UUU C</td> <td>UAU C</td> <td>ACG C A U</td> <td>CCU C A G</td> <td>AAA G</td> <td>ACG C A U</td> </tr> <tr> <td>Schwein/ Rind</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>G</td> </tr> </tbody> </table> <p>Erklärung der Abweichungen der AS-Sequenzen mit Rückgriff auf den codogenen Strang:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Alle Abweichungen sind auf die gleiche Ursache zurückzuführen. - Eine Punktmutation ist an drei Stellen aufgetreten: Position 8 und 10 der A-Kette und Position 30 der B-Kette. - Bei der Punktmutation handelt es sich um einen Basentausch (Substitution). - Da im mRNA-Strang Guanin statt Adenin auftritt, muss diesem ein Basentausch im Insulingen von Thymin zu Cytosin zugrunde liegen T → C 		Mögliche mRNAs laut Code-Sonne							6	7	8	9	10	11	Mensch/ Schwein (identisch)	UGU C	UGU C	ACG C A U	UCU C A G	AUA C U	UGU C	Rind			G		G (G)			Mögliche mRNAs laut Code-Sonne							25	26	27	28	29	30	Mensch	UUU C	UAU C	ACG C A U	CCU C A G	AAA G	ACG C A U	Schwein/ Rind						G			
	Mögliche mRNAs laut Code-Sonne																																																											
	6	7	8	9	10	11																																																						
Mensch/ Schwein (identisch)	UGU C	UGU C	ACG C A U	UCU C A G	AUA C U	UGU C																																																						
Rind			G		G (G)																																																							
	Mögliche mRNAs laut Code-Sonne																																																											
	25	26	27	28	29	30																																																						
Mensch	UUU C	UAU C	ACG C A U	CCU C A G	AAA G	ACG C A U																																																						
Schwein/ Rind						G																																																						
				15																																																								

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p style="text-align: center;">Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
<p><u>Der Prüfling</u></p>				
c)	<p><u>beschreibt die grundlegenden Schritte zur Herstellung eines gentechnisch veränderten Bakterienstammes, der Insulin produziert:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolierung des funktionsfähigen Insulin-Gens aus der DNA des Menschen oder der mRNA, dann müssten Introns nicht herausgeschnitten werden. - (evtl. Herausschneiden der Introns) - Isolierung von Plasmiden aus Bakterien, z. B. <i>E. coli</i>. - Einsatz von gleichem Restriktionsenzym zur Herstellung von Kontaktstellen (sticky ends). - Einsatz von Ligasen zur Verbindung der Insulin-Gen-DNA mit dem Plasmid. - Eine Aufnahmetechnik von DNA, z. B. Transformation in das Bakterium. - (evtl. Test auf erfolgreiche Transformation mit Markern) - Proteinbiosynthese im Bakterium (Fermentation). - Isolierung des Proteins Insulin. 	6	2	
d)	<p><u>diskutiert, ausgehend vom Beispiel der gentechnischen Herstellung von Humaninsulin, die Chancen und Risiken der Gentechnik (Material 4).</u></p> <p>Am Beispiel der Insulinherstellung lassen sich sehr gut die Vorteile der Gentechnik darstellen. Pro:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Die Isolierung des Insulins aus dem Bauchspeicheldrüsengewebe ist sehr aufwendig und damit meist auch teuer. - Die Menge an isoliertem Insulin ist so gering, dass der weltweite Bedarf durch Diabetiker nicht gedeckt werden kann. - Das Schweineinsulin unterscheidet sich in einer Aminosäure bzw. das Rinderinsulin in drei Aminosäuren vom Humaninsulin. - Es kann so zu einer Wirkungsminderung im menschlichen Organismus und ggf. zu Immunreaktionen kommen. - Tieren wird kein Leid zugefügt. <p>Der Prüfling muss aber auch vom Beispiel abstrahieren und die Risiken diskutieren. Contra:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Gentechnik birgt Risiken und wirft ethische und moralische Fragen auf (Illustration an verschiedenen Beispielen aus dem Unterricht möglich). - Es kann überlegt werden, ob „perfekte“ gentechnisch hergestellte Medikamente (o. ä.) jedem zur Verfügung stehen werden, oder ob es „Zweiter Klasse-Patienten“ geben wird, die mit traditionell hergestellten Mitteln vorlieb nehmen müssen. - In diesem Zusammenhang kann die globale Perspektive Berücksichtigung finden (nicht nur in der westlichen Welt gibt es Patienten, die medizinische Hilfe benötigen). <p><i>Das Fazit hängt von der Gesamtargumentation ab.</i></p>			13
<p>Insgesamt 50 BWE/Punkte</p>		16	21	13

3.2 Erhöhtes Anforderungsniveau

Schwerpunktthema: Ökologie und Nachhaltigkeit

Die Expansion der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) im Wattenmeer

Riff in Sicht! Seit einigen Jahren breitet sich die Pazifische Auster im Wattenmeer aus und bildet flache, riffartige Austernbänke, wie einst die inzwischen bei uns fast verschollene Europäische Auster (*Ostrea edulis*). Dies hat für die Lebewesen des Ökosystems Wattenmeer unterschiedliche Auswirkungen, wie das Beispiel der Miesmuscheln zeigt.

- a) Stellen Sie alle in den Materialien aufgeführten Organismen bzw. Gruppen von Organismen in einem Nahrungsnetz dar. (10 P)
- b) Beschreiben Sie die Bestandsentwicklungen von Miesmuscheln und Pazifischen Austern im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer anhand ihrer Biomassedaten (Material 4, Abb. 4a). (10 P)
- c) Interpretieren Sie anhand der Biomassedaten die Schwankungen von Miesmuschelbeständen im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer vor 2003 (Material 4, Abb. 4a). (10 P)
- d) Erklären Sie mithilfe der Materialien die Bestandsentwicklungen von Miesmuscheln und Pazifischen Austern ab 2003 (Material 4, Abb. 4a). (12 P)
- e) Erörtern Sie, ob der Mensch der Ausbreitung der eingeschleppten Pazifischen Auster im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer gezielt entgegenwirken sollte. (8 P)



Abb. 1: Kein Riff in Sicht? Weite Bereiche des Watts werden von flachen Weichböden geprägt
Foto: Olaf Zeiske

Anlage zur Aufgabe Die Expansion der Pazifischen Auster im Wattenmeer

Material 1: Delikatessen

Muscheln gelten als Delikatessen. 100.000 Tonnen Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) werden jährlich entlang der Nordseeküste gewonnen und vermarktet.

- 5 Eine weitere Delikatesse, die Europäische Auster (*Ostrea edulis*), bildete früher große Schalenriffe im Wattenmeer. Sie wurde aber zu Beginn des 20. Jahrhundert durch Überfischung so stark dezimiert, dass sie seit 1930 in Deutschland als ausgestorben gilt. Inzwischen tauchen allerdings kleinere Bestände wieder auf, eine natürliche Wiederansiedlung erscheint möglich.

- 10 Um einen wirtschaftlichen Ersatz für die Europäische Auster zu finden, experimentierte man mit der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*), die 1965 erstmalig im Niederländischen Wattenmeer ausgesetzt wurde. Diese Art stammt aus wärmeren Breiten des Pazifiks, benötigt für das Abbläuen einen Schwellenwert von 20 °C, der bei uns nicht in jedem Sommer erreicht wird. Außerdem erleidet die Art in besonders kalten Wintern, im Watt zusätzlich dann auch durch Eisgang, starke Bestandsverluste. Man ging deshalb davon aus, dass sich die
- 15 Pazifische Auster nicht unkontrolliert und dauerhaft in der Nordsee auszubreiten vermag. Nach ersten Erfolgen der Kultivierung im niederländischen Wattenmeer begann man 1986 mit Zuchtanlagen für Pazifische Austern an der Küste der Insel Sylt im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer.

- 20 Zur Überraschung zeigte sich einige Jahre später, dass Pazifische Austern sehr wohl in der Lage sind, sich auch an der Nordseeküste auszubreiten. Entlang der gesamten Wattenmeerküste Deutschlands und den Niederlanden entwickelten sich stabile Wildpopulationen. Dazu trugen wiederholt milde Winter und warme Sommer bei, die über viele Jahre hinweg ein Populationswachstum erlaubten.

Material 2: Ökologie der Miesmuschel im Wattenmeer

- Miesmuscheln sind getrenntgeschlechtlich. Mit ansteigenden Wassertemperaturen geben Miesmuschelweibchen bis in den Spätsommer hinein mehrmals Millionen von Eiern in das freie Wasser ab, die dort von Spermienzellen der Männchen befruchtet werden. Nach zwei aufeinander
- 5 folgenden, als Plankton im Wasser treibenden Larvenstadien, die der Verbreitung im Meer dienen, setzen sich beschalte Jungmuscheln am Grund ab. Sie können dort durch Positionswechsel geeigneten Untergrund aufsuchen, oft in der unmittelbaren Nähe von Artgenossen. Mit sogenannten Byssusfäden heften sich Miesmuscheln aneinander und können große Miesmuschelbänke aufbauen.



Abb. 2: Miesmuschel (*Mytilus edulis*)
Foto: Olaf Zeiske

- 15 Miesmuscheln ernähren sich als Filtrierer feiner Partikel von Plankton aus dem freien Meerwasser. Dank der Byssusfäden können sie sich auch an den Schalen von Artgenossen entlang bewegen und z. B. aus schlammigem Untergrund befreien. So können sie im Vergleich zur Pazifischen Auster auch schlammigere Bereiche besiedeln.

- 20 Miesmuscheln können unter günstigen Bedingungen eine Schalenlänge von 10 cm erreichen und über 15 Jahre alt werden. In der Regel fallen sie aber innerhalb der ersten drei Lebensjahre einem ihrer zahlreichen Fressfeinde zum Opfer. Besonders durch milde Winter sinkt die Überlebenswahrscheinlichkeit von Miesmuscheln, da viele Fressfeinde im Bereich der Muschelbänke bleiben, anstatt in wärmere Küsten- und Meeresgebiete auszuweichen. Der Austernfischer (*Haematopus ostralegus*), eine Vogelart, ernährt sich von verschiedenen Wurm- und Muschelarten, für ihn sind Miesmuscheln jedoch die wichtigste Nahrungsquelle. Austern-
- 25

fischer bleiben in milden Wintern zu Tausenden im Wattenmeer. Auch Möwen verschiedener Arten und Eiderenten (*Somateria mollissima*) erbeuten viele Miesmuscheln. Unter Wasser werden Miesmuscheln von Seesternen, wie dem Gemeinen Seestern (*Asterias rubens*), und Strandkrabben (*Carcinus maenas*) verzehrt. Miesmuschelbänke dienen anderen Lebewesen auch als Lebensraum, auf und zwischen den Muschelschalen leben viele Arten. Seesterne und Strandkrabben z. B. werden ihrerseits zur Beute von Austernfischern, Eiderenten und Möwen.

Material 3: Ökologie der Pazifischen Auster im Wattenmeer

Junge Pazifische Austern sind zunächst zwittrig, legen sich dann aber auf ein Geschlecht fest. Millionenfach werden von den Weibchen Eier in das Wasser abgegeben, die dort von den Spermienzellen der Männchen befruchtet werden.

Nach einem planktisch lebenden Larvenstadium siedeln sich die Jungaustern auf festen Substraten an und bilden mit ihren Kalkdrüsen fest aufsitzende Schalen. Im Bereich des Wattenmeeres dienen vor allem Austernschalen oder die Schalen anderer Muschelarten wie Miesmuscheln als Untergrund. Pazifische Austern besiedeln Miesmuschelbänke, decken sie nach und nach mit ihren Schalen ab und verwandeln sie im Verlaufe der Zeit in Austernbänke.

Dank ihres schnellen Wachstums erreichen Pazifische Austern eine Schalenlänge von bis zu 30 cm Länge. Dabei werden sie bis zu über 30 Jahre alt. Die Pazifische Auster ernährt sich als Filtrierer von Plankton.

Pazifische Austern besitzen sehr dicke und scharfkantige Schalen. Größere Austern haben deshalb kaum Fressfeinde. Seesterne und Strandkrabben können höchstens junge Austern überwältigen, bevorzugen aber Miesmuscheln. Eiderenten, die gerne Miesmuscheln erbeuten und im Stück verschlucken, können Austern wegen der kantigen Schalenform nicht verzehren.

Austernfischer hingegen lernen inzwischen, ihrem Namen gerecht werdend, mit ihren kräftigen Schnäbeln sehr effektiv kleine bis mittelgroße Pazifische Austern über den Spalt zwischen den Schalenhälften zu öffnen. Dort, wo es Austernbänke gibt, werden sie von vielen Austernfischern zur Nahrungssuche aufgesucht. Kleinere Austern bilden dann die bevorzugte Beute der Austernfischer und ersetzen ihnen teilweise die seltener gewordenen Miesmuscheln.

Austernbänke bieten Lebensraum für viele verschiedene Tierarten. Auch Miesmuscheln finden auf den Austernschalen geeignete Anheftungsmöglichkeiten. Verschiedene Schneckenarten, z. B. Uferschnecken der Gattung *Littorina*, weiden z. B. den feinen Algenfilm auf den rauen Schalen der Austern ab.

Andere typische Bewohner des Wattenmeeres, die sandige oder schlickige Böden besiedeln, erleiden durch Austernbänke Lebensraumverluste.

Davon betroffen sind z. B. der Wattwurm (*Arenicola marina*) und andere Wurmart, die wiederum eine bevorzugte Beute vieler Vogelarten im Wattenmeer sind.



Abb. 3: Pazifische Auster (*Crassostrea gigas*)
Foto: Olaf Zeiske

Material 4:

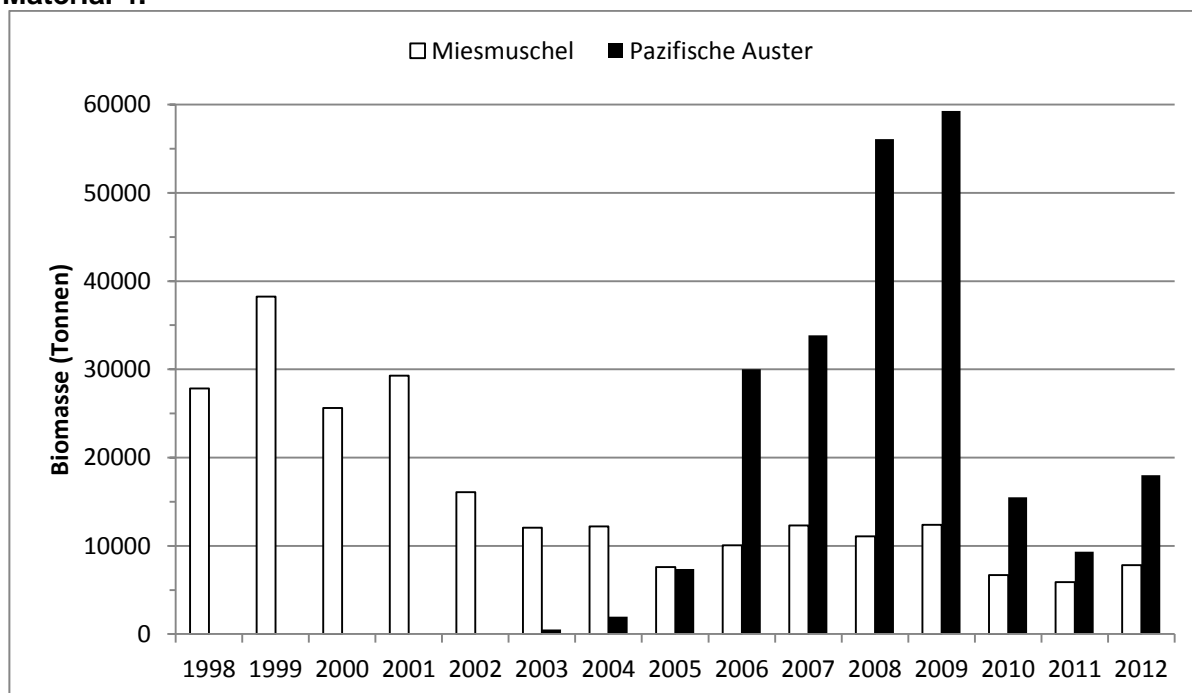


Abb. 4a: Entwicklung der Gesamtbiomasse der Pazifischen Auster und der Miesmuschel im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer. Der Winter 2009/10 war ein sogenannter Eiswinter, in dem das Wattenmeer über mehrere Monate durch starken Eisgang und Dauerfrost geprägt wurde. Auch im Winter 2010/11 kam es für einige Wochen zu verschärften Winterbedingungen.³



Abb. 4b: Pazifische Austern besiedeln Miesmuschelbänke und Miesmuscheln Austernbänke. Der Anteil an Miesmuscheln, die in Austernbänken anstatt Miesmuschelbänken leben, stieg in den vergangenen Jahren im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer deutlich an und pendelte zwischen 40 und 60 % der Gesamtbiomasse der Miesmuscheln. Nach dem Eiswinter 2009/2010 lebten sogar ca. 80 % des insgesamt reduzierten Miesmuschelbestandes in Austernbänken.³

Foto: Hendrik Brunckhorst/LKN

³ Quelle: Büttger, H., Witte, S. & G. Nehls (2014): Miesmuschelmonitoring 2012 im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Ein Projekt im Rahmen des Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP). Im Auftrag des Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN).

Schwerpunktthema: Ökologie und Nachhaltigkeit

Die Expansion der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) im Wattenmeer

Erwartungshorizont

Lösungsskizze		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
<p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>				
a)	<p><u>stellt alle in den Materialien aufgeführten Organismen bzw. Gruppen von Organismen in einem Nahrungsnetz dar:</u></p> <p><u>Beispiel:</u></p> <pre> graph LR Plankton --> Miesmuschel Plankton --> Pazifische_Auster[Pazifische Auster] Plankton --> Wuerm[Würmer-Wattwurm] Miesmuschel --> Eiderente Miesmuschel --> Moewen[Möwen] Miesmuschel --> Seestern Miesmuschel --> Strandkrabbe Miesmuschel --> Austernfischer Miesmuschel --> Andere_Voegel[andere Vögel] Pazifische_Auster -.-> Seestern Pazifische_Auster -.-> Strandkrabbe Wuerm --> Austernfischer Wuerm --> Andere_Voegel Seestern --> Eiderente Seestern --> Moewen Strandkrabbe --> Eiderente Strandkrabbe --> Moewen Strandkrabbe --> Austernfischer Austernfischer --> Eiderente Austernfischer --> Moewen Algenaufwuchs[Algenaufwuchs auf Paz. Auster] --> Uferschnecken </pre> <p> wird gefressen von → wird nur juvenil gefressen von - - - - -> </p> <p><i>Hinweis: Der Status der europäischen Auster ist unklar, sie kann vernachlässigt werden, so auch in der Lösungsskizze. Austernfischer erbeuten v. a. kleine bis mittelgroße Pazifische Austern. Dies kann im Sinne einer differenzierten Darstellung zusätzlich kenntlich gemacht werden.</i></p>			
		6	4	

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
b)	<p><u>beschreibt die Bestandsentwicklungen von Miesmuscheln und Pazifischen Austern im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer anhand ihrer Biomassedaten (Material 4, Abb. 4a):</u></p> <p>Dargestellt ist die Entwicklung der Biomasse der Bestände von Miesmuschel und Pazifischer Auster (in Tonnen) in der Zeit von 1998 bis 2012.</p> <p>Von 1998 bis 2002 kommt im Datenmaterial nur die Miesmuschel vor: Die Biomasse der Bestände schwankt von 1998 bis 2001 im Bereich von 26.000 – 30.000 t, erzielt 1999 sogar ca. 38.000 t.</p> <p>Im Jahr 2002 erfolgt ein Rückgang auf etwa 16.000 t.</p> <p>Ab 2003 Angaben für Miesmuschel und Pazifische Auster: Die Biomasse der Miesmuschelbestände schwankt bis 2009 durchgehend um ca. 10.000 t +/- 3000 t, von 2007 bis 2009 beträgt sie immer über 10.000 t, erreicht 2009 ca. 12.000 t.</p> <p>2010 beträgt die Biomasse der Miesmuschelbestände ca. 7000 t, geht 2011 erneut zurück, auf ca. 6.000 t, und steigt 2012 auf ca. 8.000 t an.</p> <p>Ab 2003 treten Bestände der Pazifischen Auster in geringer Biomasse in Erscheinung.</p> <p>Die Biomasse der Bestände der Pazifischen Auster nimmt zunächst beständig über ca. 37.000 t (2007) auf ca. 59.000 t (2009) zu.</p> <p>2010 geht die Biomasse der Bestände der Pazifischen Auster (um ca. 75 %) auf ca. 15.000 t zurück. Sie sinkt 2011 weiter auf ca. 9.000 t und steigt dann 2012 auf ca. 18.000 t an.</p>	10		

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
c)	<p><u>interpretiert anhand der Biomassedaten die Schwankungen von Miesmuschelbeständen im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer vor 2003 (Material 4, Abb. 4a):</u></p> <p><i>Die Interpretation des Materials erfordert die Einsicht, dass die Schwankungen der Biomasse von Miesmuschelbeständen unterschiedliche Ursachen besitzen können, ein sich gegenseitig verstärkendes oder aufhebendes Überlagern möglich ist. Für die Konstruktion der Lösung gibt es einige Lösungshinweise im Material, anderes ist vorwissensabhängig:</i></p> <p>Beispiele für möglicherweise veränderte abiotische, dichteunabhängige Faktoren:</p> <p>Temperatur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Milde Winter erhöhen den Prädationsdruck (Beispiel Austernfischer). - Strömungen (Larvendrift) - Veränderte Strömungen können den Larvenfall räumlich verlagern. <p>Beispiele für möglicherweise veränderte biotische, dichteabhängige Faktoren</p> <ul style="list-style-type: none"> - Schwankungen im Nahrungsangebot (Plankton) und/oder in Räuberpopulationen [z. B. Bezüge zu Lotka-Volterra-Regeln möglich]. - Nahrungskonkurrenz: Schwankungen im Nahrungsangebot durch Populationsschwankungen bei Nahrungskonkurrenten - Resilienzvermögen: Hinweise auf stärkeres Schwankungsvermögen da r-Strategen - Schwankende Miesmuschelernten durch Menschen <p><i>Das Abwägen möglicher Faktoren im Sinne des Operators „interpretieren“ ist bei der Bewertung zu berücksichtigen.</i></p>			
		7	3	

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
d)	<p><u>erklärt mithilfe der Materialien die Bestandsentwicklungen von Miesmuscheln und Pazifischen Austern ab 2003 (Material 4, Abb. 4a):</u></p> <p>Für das Einpendeln der Biomasse der Miesmuschelbestände auf ein relativ stabiles, aber niedrigeres Niveau (verglichen mit 1998-2002) kommen mehrere Ursachen in Betracht, beispielsweise:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nahrungskonkurrenz: Eine Bestandserholung auf ein Bestandsniveau wie z. B. 1999 wird möglicherweise durch das Besiedeln der Miesmuschelbänke durch Pazifische Austern und deren Nahrungskonkurrenz (Plankton) verhindert (Material 2, 3). - Prädationsdruck: Möglicher Weise haben sich bestimmte Fressfeinde der Miesmuscheln vermehrt. Dies kann auch eine Folge der Austernbänke sein, in denen bestimmte Fressfeinde vielleicht insgesamt größere Populationen aufbauen können, z. B. Seesterne und Schnecken, die Miesmuscheln erbeuten können. - Eine weitere Abnahme der Bestände wird eventuell dadurch verhindert, dass ein Teil der Miesmuscheln zwischen Austernschalen vor Prädatoren und Witterungseinflüssen besser geschützt lebt (Material 4b). <p>Für die Zunahme der Biomasse der Pazifischen Auster von 2003 bis 2009 gibt es folgende Ursachen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Günstige Lebensbedingungen: Unkontrollierte Ausbreitung war möglich, da der für das Abblachen notwendige Schwellenwert von 20°C durchaus erreicht wird, kalte Winter selten sind. <i>(Ggf. auch in Bezug zu Klimaerwärmung zu setzen).</i> - Künstliche Unterstützung der Abundanz: Aquakulturen im Freiland sorgen für beständigen „Nachschub“. - Geringer Prädationsdruck: Typische Fressfeinde aus dem Ursprungsgebiet fehlen. Dies ist typisch für Neozoen. - Pazifische Auster schützt sich durch außergewöhnlich dicke, harte und scharfkantige Schale (Material 3). <p>Der Eiswinter 2009/10 zeigt den drastischen Effekt kalter Winter auf die Population der Pazifischen Auster. Bestandserholung setzt aber ein:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hohe Reproduktionsraten: Von 2011 nach 2012 findet Bestandsverdoppelung statt (r-Strategen). 			
			10	2

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
e)	<p><u>erörtert, ob der Mensch der Ausbreitung der eingeschleppten Pazifischen Auster im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer gezielt entgegenwirken sollte:</u></p> <p><i>Hier wird eine differenzierte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen erwartet.</i></p> <p>Pro „gezieltes Eingreifen“: Allgemein: Invasive Arten können eine Biozönose und auch Lebensräume langfristig verändern. Dies wird aus Sicht des Naturschutzes i. d. R. negativ bewertet.</p> <p>Pazifische Aустern</p> <ul style="list-style-type: none"> - siedeln in Miesmuschelbänken, sodass diese als typischer, besonderer Lebensraum verloren gehen (Habitatverlust Miesmuschelbank). - verhindern möglicher Weise bisher erreichbare Bestandsgrößen von Miesmuschelbeständen - und wirken sich damit auf das Nahrungsangebot durch Miesmuscheln für verschiedene Prädatoren aus (z. B. Eiderente), die dadurch in ihren Beständen negativ beeinflusst werden können. - verdrängen lokal Bodenlebewesen - und verändern damit die Biozönose und somit Nahrungsangebote für andere Arten negativ. - könnten aufgrund starker Nischenkonkurrenz eine mögliche Wiederansiedlung der einheimischen Europäischen Auster erschweren oder verhindern. <p>Kontra „gezieltes Eingreifen“:</p> <p>Pazifische Aустern</p> <ul style="list-style-type: none"> - übernehmen Nischenfunktionen der fehlenden Europäischen Aустern. - bereichern das Habitatangebot im Watt strukturell. - und fördern damit Lebensraum im Bereich der Aустernbänke für zahlreiche Arten, fördern dort also Biodiversität. - sichern und stabilisieren den Miesmuschelbestand zumindest auf niedrigerem Niveau. <p><i>Das Fazit hängt von der Gesamtargumentation ab.</i></p>			8
<u>Insgesamt 50 BWE/Punkte</u>		16	21	13

Hinweise zum Klausurmaterial „Die Expansion der Pazifischen Auster (*Crassostrea gigas*) im Wattenmeer“:

Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Brunckhorst und Herrn Dr. Kossmagk-Stephan von der Nationalparkverwaltung im Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (LKN), die uns zur Entwicklung einer möglichst aktuellen Musteraufgabe neueste, im Auftrag des LKN gewonnene, Forschungsdaten und Fotomaterial zur Verfügung stellen. Diese Informationen erlauben vielschichtige Einschätzungen der ökologischen Situation von Miesmuscheln durch die Anwesenheit der Pazifischen Auster im Wattenmeer und geben Schülerinnen und Schülern viel Spielraum für kontroverse Überlegungen.

Nach dem Auftreten von Wildbeständen der Pazifischen Auster wurde zunächst, auch in verschiedenen Presseberichten online gut dokumentiert, die Verdrängung der Miesmuschel durch die invasiven Austern befürchtet, obwohl sich wesentliche Bestandseinbußen bei Miesmuscheln bereits vor dem Auftreten der Pazifischen Auster ereignet hatten.

Inzwischen kann anhand der Bestandsdaten beobachtet werden, dass sich seit dem Auftreten der Pazifischen Auster die Miesmuschelbestände auf einem, wenn auch geringerem Bestandsniveau, auffallend stabilisiert haben. Zufall?

Zusätzlich hat sich durch besondere Witterungsereignisse ein verändertes Bild auf die Ökologie der Pazifischen Auster im Schleswig-Holsteinischen Wattenmeer ergeben, wie in Material 4 anhand der starken Populationsrückgänge im Winter 2009/2010 deutlich wird. Ein derartiger Winter ist in der Lage, die Population der Pazifischen Auster im Eulitoral stark zu dezimieren.

Die Schalen der Austern bleiben jedoch für viele Jahre erhalten und bieten ihrerseits weiterhin eine Diversifizierung von Habitatstrukturen. Es zeigt sich ebenfalls, dass Miesmuscheln in Austernbänken eine nicht unerhebliche Biomasse aufbauen können. Eventuell wird für die Miesmuscheln die direkte Konkurrenz durch Austern um Nahrung und Lebensraum, z. B. durch das Leben im Schutz mächtiger Austernschalen und der deutlich erweiterten Fläche an Hartsubstraten zum Besiedeln, teilweise kompensiert, vgl. Datenanhang „Biomasse Miesmuscheln innerhalb und außerhalb von Austernbänken“ im angeführten Bericht Muschelmonitoring 2011.

Es hat den Anschein, als wären Miesmuschelbestände außerhalb von Austernbänken im Eulitoral des Schleswig-Holsteinischen Wattenmeeres stark rückläufig. Inwieweit dies eine Folge des Auftretens Pazifischer Austern in Miesmuschelbeständen ist und/oder andere Gründe hat, kann aus dem Klausurmaterial nicht eindeutig abgeleitet werden. Hier regt das Material nur Vermutungen an, z. B. klimatische Einflüsse, ein veränderter Prädationsdruck durch natürliche Feinde oder den fischereiwirtschaftenden Menschen.

Und nicht zuletzt kann auch die potenzielle Rückkehr der Europäischen Auster in die Gesamtbetrachtung möglicher Gewinne und Verluste mit einbezogen werden.

Aktuelle Beobachtungen versprechen eine äußerst spannende Situation, die Anlass für weitere Recherchen und interessante Auseinandersetzungen im Unterricht geben kann. An dieser Stelle seien folgende Informationen auf den Webseiten des LKN besonders empfohlen.

Hinweise zum Miesmuschelmonitoring mit Bezügen zur Pazifischen Auster:

G. Nehls, H. Büttger und M. Ruth (2011): Miesmuschelmonitoring und Miesmuschelmanagement im Nationalpark „Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer“. Berichtszeitraum 1997 – 2009.

Teil 1a:

http://www.nationalpark-wattenmeer.de/sites/default/files/media/pdf/miesmuschelmonitoring_und_-_management_teil_1a.pdf [21.03.2016]

Teil 1b:

http://www.nationalpark-wattenmeer.de/sites/default/files/media/pdf/miesmuschelmonitoring_und_-_management_teil_1b.pdf [25.01.2015]

Büttger, H., Witte, S. & G. Nehls (2012):

Miesmuschelmonitoring 2011 im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Ein Projekt im Rahmen des Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP). Im Auftrag des Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein.

<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/sites/default/files/media/pdf/muschelbericht-2011.pdf>

Büttger, H., Witte, S. & G. Nehls (2014):

Miesmuschelmonitoring 2012 im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer. Ein Projekt im Rahmen des Trilateral Monitoring and Assessment Program (TMAP). Im Auftrag des Landesbetrieb für Küstenschutz, Nationalpark und Meeresschutz Schleswig-Holstein (stand im Januar 2016 noch nicht online zur Verfügung).

Hinweise zum Thema „Muscheln und Naturschutz“:

<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/sh/nationalpark/nutzungen/fischerei/muschelfischerei>

<http://www.nationalpark-wattenmeer.de/node/1496>



Ganz neu im Rennen: Zwei Arten asiatischer Felsenkrabben fühlen sich in den Muschelbänken des Wattenmeeres äußerst wohl - und verzehren besonders gerne juvenile Miesmuscheln.

Foto: Olaf Zeiske

3.2 Erhöhtes Anforderungsniveau

Schwerpunktthema: Neurobiologie und Selbstverständnis

Die Wunderbeere

Der Strauch *Synsepalum dulcificum* trägt „wundersame“ rote Beeren. Der in ihnen enthaltene Stoff, Miraculin, hat die Fähigkeit den Geschmack von sauren Speisen zu verändern. Den Ureinwohnern im heutigen Ghana (West-Afrika) war dies schon lange bekannt. Sie versüßten sich den Genuss wenig wohlschmeckender Speisen mithilfe der Beere und versetzten damit Erkundungsreisende vergangener Jahrhunderte in Erstaunen. Heute ist noch immer manches an Miraculin „wundersam“. Forscher haben seine erstaunliche Wirkung noch nicht bis ins Detail ergründet.

- a) Skizzieren Sie eine chemische Synapse und benennen Sie alle für die Erregungsleitung relevanten Strukturen. Beschreiben Sie anhand Ihrer Skizze die Vorgänge bei der Erregungsübertragung.

(12 P)

- b) Stellen Sie die Vorgänge bei der Geschmackswahrnehmung für „süß“ in einem Flussdiagramm dar (Material 2).

(8 P)

- c) Beschreiben Sie das Diagramm in Material 3 und werten Sie es aus. Berücksichtigen Sie auch Material 2.

(8 P)

- d) Zeichnen Sie ein Diagramm, das die Beziehung zwischen Rezeptorantwort und pH-Wert darstellt (Material 4) und erläutern Sie den dargestellten Zusammenhang.

(9 P)

- e) Es ist ein echtes Erlebnis, wenn unter Einwirkung von Miraculin der Geschmack von Zitronen, Essiggurken oder sauren Äpfeln auf einmal als süß wahrgenommen wird.

Entwickeln Sie eine Hypothese dazu, wie die oben beschriebene Wahrnehmung zustande kommt (alle Materialien).

(13 P)

Anlage zur Aufgabe Die Wunderbeere

Material 1: Miraculin - Der „Wunderstoff“

Die Früchte der Wunderbeere (*Synsepalum dulcificum*) enthalten das Glycoprotein Miraculin. Die Primärstruktur ist eine Kette bestehend aus 191 Aminosäuren. Durch Auffaltungen entstehen zwei Dimere, die über Disulfidbrücken miteinander verbunden sind. Sie lagern sich zu einem Tetramer zusammen und bilden so die Quartärstruktur von Miraculin.

- 5 Miraculin selbst ist geschmacksneutral, bindet aber auf der Zunge an den Rezeptoren der Sinneszellen für die Geschmacksqualität „süß“. Gleichzeitig mit Miraculin konsumierte saure Speisen werden als „süß“ wahrgenommen. Diese „Geschmacksverwandlung“ wurde in der Vergangenheit als Wunder angesehen und ist für die Namensgebung „Wunderbeere“ verantwortlich.
- 10 Obwohl Miraculin als aktive Substanz der Wunderbeere bereits Ende der 70er Jahre identifiziert wurde, ist der Wirkmechanismus noch nicht bis ins Detail aufgeklärt. Entscheidende Untersuchungen dazu haben Koizumi et al. 2010 durchgeführt (Materialien 3 und 4)

Material 2: Vorgänge bei der Geschmackswahrnehmung

Die Zunge ist mit Geschmacksrezeptoren für unterschiedliche Geschmacksqualitäten ausgestattet, u. a. befinden sich dort Rezeptoren für die Geschmackswahrnehmungen „süß“ bzw. „sauer“. Die Rezeptorzellen (jeweils 50 bis 150) sind bei Säugetieren in sogenannten Geschmacksknospen angeordnet, die sich wiederum in den Geschmackspapillen der Zunge befinden.

- 5
- 10 Für die Wahrnehmung des süßen Geschmacks ist beim Menschen ein bestimmter Rezeptor (hT1R2-hT1R3) verantwortlich. Die Bindung eines Stoffes an diesem Rezeptor löst eine intrazelluläre Signalkaskade aus. Diese wird über ein G-Protein vermittelt (siehe Abb. 2) und führt über weitere Schritte schließlich zur Geschmackswahrnehmung „süß“. Trotz unterschiedlicher molekularer Strukturen sind alle für den Menschen süß schmeckenden Stoffe in der Lage, an diesen Rezeptor zu binden.

Während der Rezeptor für „süß“ gut beschrieben ist, steht die genaue Charakterisierung des Rezeptors für die Geschmacksqualität „sauer“ noch aus.

- 15 Man weiß jedoch, dass jede einzelne Geschmackssinneszelle nur Rezeptoren für eine bestimmte Geschmacksqualität enthält. Eine Geschmacksknospe vereint aber Sinneszellen mehrerer Qualitäten. Die einzelnen Nervenfasern der afferenten Nerven, die die Signale weitergeben, kodieren jeweils für mehr als eine Geschmacksqualität. Die Signale der Sinneszellen werden dabei (bei Säugetieren) über die Nervenfasern dreier Hirnnerven zu einem Teil des Gehirnstammes, der Medulla oblongata, im Zentralnervensystem weitergeleitet. Von dort führen weitere Verschaltungen zum Zwischenhirn (zu Thalamus und Hypothalamus) und ins Kerngebiet des Gehirns zur Amygdala. Als Ergebnis dieser Verschaltungen und der Verarbeitung mit anderen Sinneseindrücken (v. a. Temperatur- und Tastinformationen) entsteht im Gehirn ein Gesamteindruck des Geschmacks.
- 20

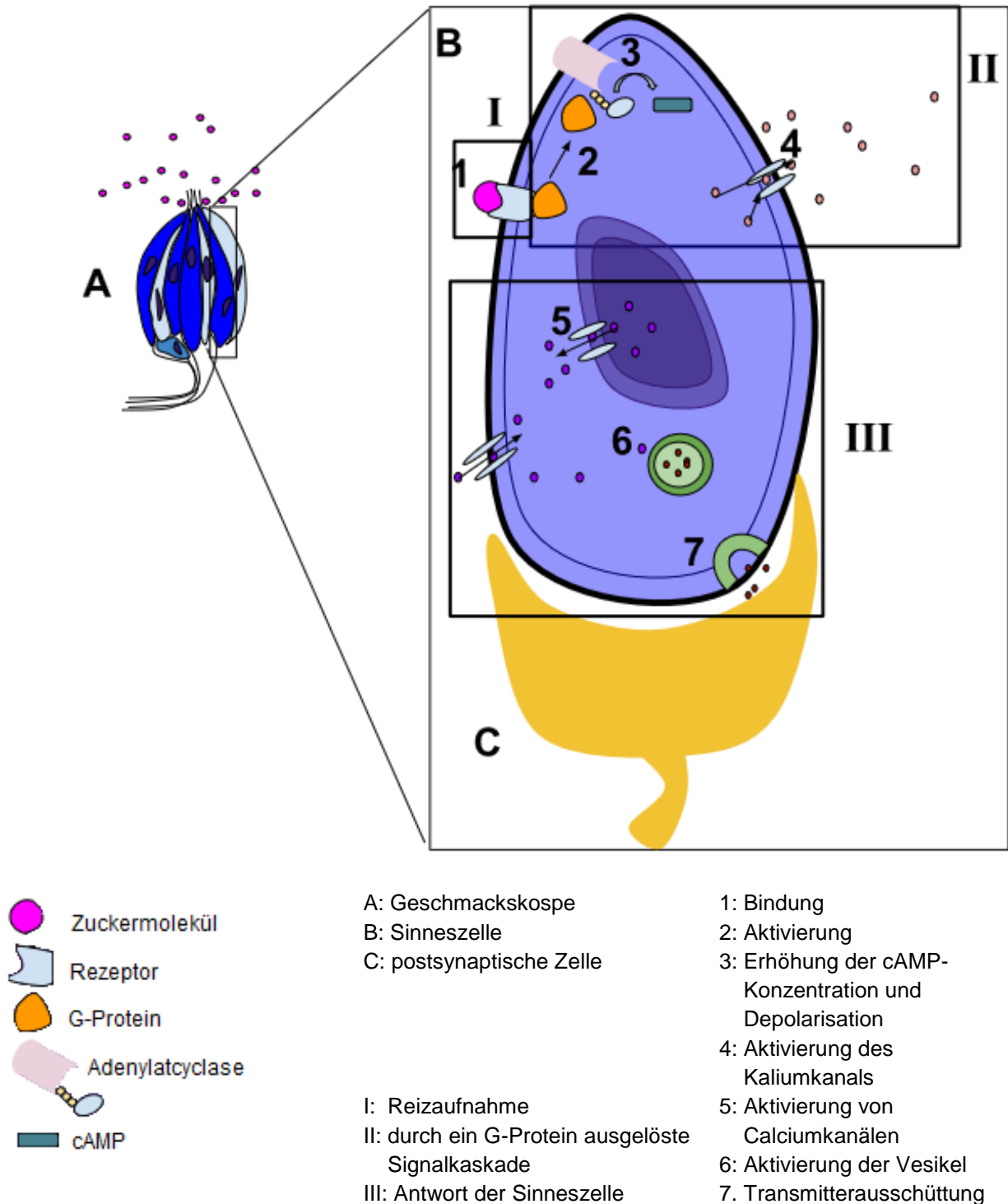


Abb. 2: Vorgänge an Geschmacksknospen der Zunge bei der Sinneswahrnehmung „süß“

"Signal Transduction of the Sweet Taste" by Hldavis4 - Own work & Template: Purves, Dale. Taste Receptors and the Transduction of Taste Signals. U.S. National Library of Medicine, n.d. Web. May-June 2015. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Commons https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Signal_Transaction_of_the_Sweet_Taste.svg#/media/File:Signal_Transaction_of_the_Sweet_Taste.svg [17.12.2015]

Material 3: Rezeptorwirkung und Miraculinkonzentration

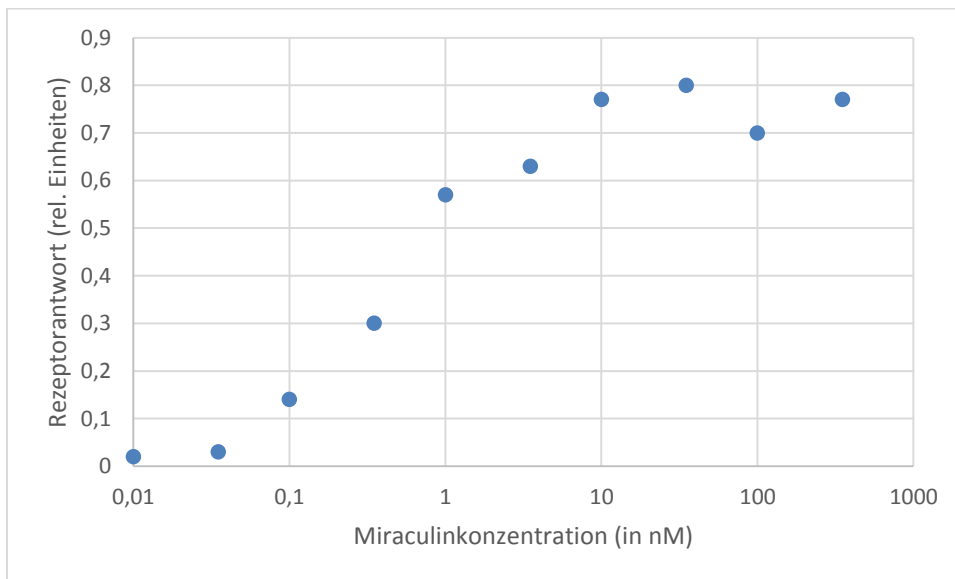


Abb. 3: Rezeptorantwort in Abhängigkeit von der Miraculinkonzentration (nM: nano Mol = 10^{-9} Mol/Liter)

eigene Darstellung nach: Koizumi et al. (2010)

Getestet wurde die Antwort des Geschmacksrezeptors für „süß“ (hT1R2-hT1R3-Rezeptor) bei einem pH-Wert von 5,5. Die Anzahl der reagierenden Zellen (Rezeptorantwort) wurde normiert. Als Norm angenommen wurde dabei die Wirkung von 10 mM des Süßstoffs Aspartam bei einem pH-Wert von 7,4.

Material 4:

In einem Experiment von Koizumi et al. (2010) wurde die Reaktion des Rezeptors für „süß“ (hT1R2-hT1R3-Rezeptor) bei unterschiedlichen pH-Werten untersucht. Dazu wurde eine Zellkultur mit diesem Rezeptortyp genutzt. Die Reaktion der Zellen konnte dann mittels Fluoreszenzmarkierung sichtbar gemacht werden und die Anzahl ermittelt.

Die Konzentration von Miraculin betrug 30 nM. Die Anzahl der reagierenden Zellen (Rezeptorantwort) wurde normiert. Als Norm angenommen wurde dabei die Wirkung von 10 mM Aspartam bei einem pH-Wert von 7,4.

Die folgenden Daten wurden gesammelt:

Rezeptorantwort	pH-Wert
0,72	4,8
0,74	5,0
0,73	5,2
0,55	5,4
0,44	5,6
0,29	5,8
0,19	6,0
0,02	6,5
0,01	7,0
0	7,4

Abb. 4: Rezeptorantwort und pH-Wert

Schwerpunkthema: Neurobiologie und Selbstverständnis

Die Wunderbeere

Erwartungshorizont

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
	<u>Der Prüfling</u>			
a)	<p><u>skizziert eine chemische Synapse und benennt alle für die Erregungsleitung relevanten Strukturen:</u></p> <p><i>Erwartet wird eine übersichtliche, beschriftete Skizze entsprechend den Darstellungen in gängigen Lehrbüchern z. B.:</i></p> <p>Erdmann, A. et al (Hrsg.) (2013): Grüne Reihe Materialien S II: Neurobiologie, Schrödel, S. 27.</p> <p>Weben, U. (Hrsg.) (2009): Biologie Oberstufe Gesamtband, Cornelsen, S. 414.</p> <p>Markl, J. (Hrsg.) (2010): Markl Biologie Oberstufe, Klett, S. 393.</p> <p><u>beschreibt anhand der Skizze die Vorgänge bei der Erregungsübertragung:</u></p> <p>Der synaptische Spalt wird überbrückt, indem elektrische Signale am Endknöpfchen in ein chemisches Signal und anschließend wieder in ein elektrisches Signal in der postsynaptischen Zelle umgewandelt werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erregung (Aktionspotenzial) am synaptischen Endknöpfchen - Depolarisation der präsynaptischen Membran - Öffnung spannungsabhängiger Calcium-Kanäle - Einstrom von Calcium-Ionen ins Cytoplasma - Aktivierung der Vesikel - Verschmelzen der Vesikel mit der präsynaptischen Membran - Ausschüttung der Transmitter in den synaptischen Spalt - Diffusion der Transmittermoleküle durch den Spalt - Binden am Rezeptor des Natrium-Kanals der postsynaptischen Membran - Öffnung der Natrium-Kanäle - Einstrom von Natrium-Ionen in die postsynaptische Zelle - Depolarisation (postsynaptisches Potenzial) - Aktionspotenzial am Axonhügel bei übertreten des Schwellenwertes - Lösen der Transmittermoleküle - enzymatische Spaltung - Schließen des Natrium-Kanals - Wiederaufnahme der Transmitterbausteine ins Endknöpfchen bzw. Vesikel 			
		12		

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
b)	<p><u>stellt die Vorgänge bei der Geschmackswahrnehmung für „süß“ in einem Flussdiagramm dar (Material 2):</u></p> <pre> graph TD A[süße Nahrung] --> B[Zunge] B --> C[Geschmackspapille] C --> D[Geschmacksknospe] D --> E[Süß-Rezeptor der Sinneszelle] E --> F[Zuckermolekül bindet] F --> G[G-Protein in der Sinneszelle aktiviert] G --> H[cAMP-Konzentration steigt] H --> I[Depolarisation erfolgt] I --> J[K⁺ strömt aus der Zelle] J --> K[Ca⁺ strömt ins Cytoplasma] K --> L[Ca⁺-Konzentration steigt] L --> M[Vesikel mit Neurotransmittern werden aktiviert] M --> N[Vesikel fusionieren mit Zellmembran] N --> O[Exozytose der Transmitter in den synaptischen Spalt] O --> P[Übertragung des Signals an die postsynaptische Zelle] P --> Q[Weiterleitung über afferente Nerven] Q --> R[Verrechnung und Verschaltung im ZNS] R --> S[Geschmackseindruck „süß“ wird generiert] </pre>			
				8

	Lösungsskizze Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten. <u>Der Prüfling</u>	Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
c)	<p><u>beschreibt das Diagramm in Material 3 und wertet es aus. Berücksichtigt auch Material 2:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Abbildung 3 stellt die Rezeptorantwort in Abhängigkeit von der Miraculinkonzentration dar. - Die Konzentration ist in nM angegeben; die Rezeptorantwort durch relative, normierte Werte. - Die Daten wurden bei einem pH-Wert von 5,5 erhoben. - Man sieht einen sigmoiden Kurvenverlauf: Mit steigender Miraculinkonzentration nimmt die Rezeptorantwort zunächst exponentiell (0,05 nM - 3 nM) dann weniger stark zu (bis ca. 10 nM). Ab ca. 10 nM erfolgt keine weitere Zunahme. Die Rezeptorantwort pendelt sich bei ca. 0,75 ein. - Miraculin löst bei einem sauren pH-Wert (pH 7: neutral) am Rezeptor für „süß“ eine Reaktion aus. - Dabei gilt: Je höher die Konzentration von Miraculin, desto stärker reagiert der Rezeptor für „süß“. - Eine Konzentrationserhöhung jenseits von 10 nM steigert die Rezeptorantwort nicht weiter. Es tritt ein Sättigungseffekt ein. Wahrscheinlich sind alle Rezeptoren besetzt. - Miraculin wirkt bereits in kleinsten Mengen (Vergleich zu Aspartam). 	2	6	

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung																								
		I	II	III																						
d)	<p><u>zeichnet ein Diagramm, das die Beziehung zwischen Rezeptorantwort und pH-Wert darstellt (Material 4) und erläutert den dargestellten Zusammenhang:</u></p> <div style="text-align: center;"> <table border="1" style="margin: 10px auto;"> <caption>Data points from the graph</caption> <thead> <tr> <th>pH-Wert</th> <th>Rezeptorantwort</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4,8</td><td>0,72</td></tr> <tr><td>5,0</td><td>0,74</td></tr> <tr><td>5,2</td><td>0,73</td></tr> <tr><td>5,4</td><td>0,55</td></tr> <tr><td>5,6</td><td>0,44</td></tr> <tr><td>5,8</td><td>0,29</td></tr> <tr><td>6,0</td><td>0,19</td></tr> <tr><td>6,5</td><td>0,02</td></tr> <tr><td>7,0</td><td>0,01</td></tr> <tr><td>7,5</td><td>0,00</td></tr> </tbody> </table> </div> <ul style="list-style-type: none"> - Die Messergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang von pH-Wert und Rezeptorantwort. - Je niedriger der pH-Wert, desto stärker ist die Antwort des Rezeptors. Das Maximum liegt bei 0,74 bei einem pH-Wert von 5. - Mit Annäherung an den neutralen pH-Bereich (7), sinkt die Rezeptorantwort exponentiell. - Bereits ab einem pH-Wert von 6,5 reagiert der Rezeptor kaum noch (0,02). 	pH-Wert	Rezeptorantwort	4,8	0,72	5,0	0,74	5,2	0,73	5,4	0,55	5,6	0,44	5,8	0,29	6,0	0,19	6,5	0,02	7,0	0,01	7,5	0,00	2	7	
pH-Wert	Rezeptorantwort																									
4,8	0,72																									
5,0	0,74																									
5,2	0,73																									
5,4	0,55																									
5,6	0,44																									
5,8	0,29																									
6,0	0,19																									
6,5	0,02																									
7,0	0,01																									
7,5	0,00																									

<p style="text-align: center;">Lösungsskizze</p> <p>Die Lösungsskizze versteht sich hinsichtlich des Inhalts als Anregung für eine Bewertung. Andere sinnvolle Lösungen sind adäquat zu bewerten.</p> <p><u>Der Prüfling</u></p>		Zuordnung Bewertung		
		I	II	III
e)	<p><u>entwickelt eine Hypothese dazu wie die oben beschriebene Wahrnehmung zustande kommt:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Miraculin kann die Rezeptoren für „süß“ aktivieren. - Dies geschieht erst, wenn der pH-Wert im Mund sinkt, d. h. beim Konsum saurer Speisen (Material 4). - Beispielsweise sind diese beiden Mechanismen denkbar: - a) Miraculin ist bereits gebunden. <i>Diese Hypothese scheint sich experimentell zu bestätigen (Koizumi et al. 2010).</i> Die pH-Wertänderung bewirkt die Aktivierung des Rezeptors. Möglicherweise spielen Konformationsänderungen eine Rolle (inaktives Miraculin → aktives Miraculin). - b) Möglich wäre aber auch die Überlegung, dass die pH-Werterniedrigung die Bindung von Miraculin erst möglich macht. - In jedem Fall löst Miraculin die unter b) beschriebene Signalkaskade aus. - Die Verrechnung im Gehirn führt zum Sinneseindruck „süß“. - Wie die wahrscheinlich gleichzeitig eingehenden Signale von den Rezeptoren für „sauer“ unterdrückt werden, ist dem Material nicht zu entnehmen (jedoch die Tatsache, dass es solche Rezeptoren auf der Zunge gibt: Material 2, Z. 15). 			13
<u>Insgesamt 50 BWE/Punkte</u>		16	21	13

Hinweise zum Klausurmaterial „Die Wunderbeere“

Koizumi et al (2011) haben Miraculin untersucht und einen Mechanismus für die Wirkungsweise vorgeschlagen. Der freie Volltext ihrer Studie und weitere Daten (auf Englisch) können unter <http://www.pnas.org/content/108/40/16819> als pdf-Dateien heruntergeladen werden.

Die Studie eignet sich gut als Ideenpool für weiterführende Aufgaben. Besonders zur Thematisierung von modernen wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden ist die Herangehensweise interessant. Die Aufklärung der Wirkung von Miraculin stützt sich nicht auf traditionelle sensorische Tests mit Probanden, sondern auf zellbasierte Tests *in vitro*. Zur Aufklärung der wirksamen Komponenten des heterodimeren Rezeptors wurden rekombinante Fusionsproteine (Hybridproteine) eingesetzt. Auch diese Ergebnisse eignen sich zur didaktischen Aufarbeitung als Anwendungsaufgabe mit einem aktuellen Forschungskontext.

Einige Hintergrundinformationen sind auf Deutsch unter dieser Adresse zusammengefasst und abrufbar: Maurer, Thomas (2012): https://www.uni-ulm.de/fileadmin/website_uni_ulm/nawi.inst.240/nutzpflanzen2012/thomas_maurer_2012.pdf

Durch eine geeignete Vernetzung bietet der Aufgabenkontext „Miraculin“ die Chance die Beziehunghaftigkeit der Biologie zum Ausdruck zu bringen. Unterschiedliche biologische Inhaltsbereiche (Schwerpunkthemen), Basiskonzepte und Kompetenzen können angesprochen und verknüpft werden.

Basiskonzept Struktur- und Funktionszusammenhänge:

- Wirkung von gekochten Wunderbeeren

Inhaltsbereich Stoffwechselfysiologie:

- Konkurrenz am Rezeptor mit anderen Süßstoffen

Inhaltsbereich Evolution:

- Evolutionärer Vorteil der Produktion von Miraculin gegenüber Glucose

Inhaltsbereich Genetik:

- Miraculinproduktion durch gentechnisch veränderte Nutzpflanzen

Kompetenzbereich Bewertung:

- Chancen und Risiken der Gentechnik am Beispiel von Miraculin produzierenden Nutzpflanzen (Verknüpfung zum Themenbereich Ökologie: Kultivierung in Gewächshäusern vs. Freiland)

- (potentielle) Einsatzbereiche der Wunderbeere: alternativer Süßstoff für Diabetiker, neuer Nahrungsmittelzusatz für Fertigprodukte/Getränke, Rolle bei der Bekämpfung von sogenannten „life style“-Problemen wie Übergewicht oder Fehlernährung, Einsatz als reiner Partyspaß

- Zulassungsfragen (Stand Januar 2016: in der EU nicht zugelassen, Bezug über das Internet möglich)

weitere Internetquellen: <http://www.miracle-fruit.eu> oder <http://kalorienarme-rezepte.com/miraculin-aus-der-wunderbeere-der-partyspas-aus-der-natur/>