

2024

Abitur

Original-Prüfung
mit Lösungen

**MEHR
ERFAHREN**

Gymnasium · Gesamtschule

Biologie LK

+ Übungsaufgaben



STARK

Inhalt

Vorwort
Stichwortverzeichnis

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

| | | |
|-----|--|------|
| 1 | Die Anforderungen des Zentralabiturs im Fach Biologie | I |
| 1.1 | Die Rahmenbedingungen des Zentralabiturs | I |
| 1.2 | Die verbindlichen Unterrichtsinhalte im Fach Biologie für das Abitur 2024 | I |
| 1.3 | Die Prüfungsaufgaben – Struktur und Anforderungen | III |
| 1.4 | Bewertung | VII |
| 2 | Tipps zum Umgang mit Prüfungsaufgaben | VIII |
| 2.1 | Ökonomisches Bearbeiten der Aufgaben | VIII |
| 2.2 | Arbeiten mit Grafiken und Tabellen | IX |
| 2.3 | Darstellen der Ergebnisse | X |
| 3 | Hinweise zur Benutzung dieses Buches | XI |

Übungsaufgaben zur schriftlichen Abiturprüfung für den Leistungskurs

| | | |
|------------|---|---|
| Aufgabe 1: | Ablauf und Leistung der Fotosynthese (Ökologie) | 1 |
| Aufgabe 2: | Stammbaumanalyse (Genetik) | 8 |

Original-Abituraufgaben

Leistungskurs 2017

| | | |
|------------|---|---------|
| Aufgabe 1: | Wirkung von Benzodiazepinen am GABA _A -Rezeptor (Neurobiologie/Genetik) | 2017-1 |
| Aufgabe 2: | Wie die Fliege zum Kaktus kam – die Evolution einer Nahrungsbeziehung (Ökologie/Genetik/Evolution) | 2017-14 |
| Aufgabe 3: | Abwehrmechanismen der Waldkiefer gegen Forstschädlinge (Genetik/Ökologie) | 2017-23 |

Leistungskurs 2018

| | | |
|------------|--|---------|
| Aufgabe 1: | Grundeln im Rhein auf dem Vormarsch (Ökologie) | 2018-1 |
| Aufgabe 2: | Regulation der Entwicklung und Funktion von pflanzlichen Schließzellen (Ökologie/Genetik) | 2018-11 |

Aufgabe 3: Der Giftapparat der Hundertfüßer
(Evolution/Neurobiologie) 2018-20

Leistungskurs 2019

Aufgabe 1: Ausbreitung, Artstatus und Entstehung des Marmorkrebses
(Ökologie/Evolution/Genetik) 2019-1

Aufgabe 2: Kältesensitivität bei Nagetieren
(Neurobiologie/Ökologie/Evolution) 2019-10

Aufgabe 3: Die Ägyptische Tigermücke – Überträgerin tropischer
Krankheitserreger (Genetik/Ökologie) 2019-18

Leistungskurs 2020

Aufgabe 1: Borkenkäfer und ihre Pilze (Ökologie/Evolution) 2020-1

Aufgabe 2: Generalisierte progressive Retina-Atrophie (gPRA) bei
Hunden (Genetik/Neurobiologie) 2020-10

Aufgabe 3: Natriumionenkanäle bei elektrischen Fischen Südamerikas
(Neurobiologie/Ökologie/Evolution) 2020-21

Leistungskurs 2021

Aufgabe 1: Duftwahrnehmung bei *Drosophila*
(Neurobiologie/Evolution/Ökologie) 2021-1

Aufgabe 2: Das Schweigen der Grillen (Evolution/Genetik) 2021-11

Aufgabe 3: Erbliche Netzhauterkrankung (Genetik/Neurobiologie) 2021-21

Leistungskurs 2022

Aufgabe 1: Chemotaktile Wahrnehmung bei *Octopus*
(Neurobiologie/Evolution) 2022-1

Aufgabe 2: Genetik der Blütenfarben des Gewöhnlichen
Kohlröschens (Genetik/Evolution) 2022-12

Aufgabe 3: Die Rispen-Flockenblume in Nordamerika
(Ökologie/Evolution) 2022-23

Leistungskurs 2023

Aufgaben www.stark-verlag.de/mystark

Sobald die Original-Prüfungsaufgaben 2023 freigegeben sind, können sie als PDF auf der Plattform MyStark heruntergeladen werden (Zugangscodes siehe vordere Umschlaginnenseite).

Autor der Übungsaufgaben und der Lösungen der Original-Abituraufgaben:

Rolf Brixius

Vorwort

Liebe Schülerinnen und Schüler,

das vorliegende Buch bietet Ihnen die Möglichkeit, sich optimal auf die **zentral gestellte, schriftliche Abiturprüfung 2024 in Nordrhein-Westfalen im Leistungskurs Biologie** vorzubereiten.

Im Abschnitt „**Hinweise und Tipps zum Zentralabitur**“ bieten wir Ihnen dazu zunächst einen Überblick über:

- den **Ablauf** und die **Anforderungen** des Zentralabiturs in NRW. Dies wird Ihnen helfen, die formalen Rahmenbedingungen für das Zentralabitur kennenzulernen. Erläuterungen zu den Prüfungsanforderungen, zum Umgang mit den sogenannten Operatoren und zu den festgesetzten thematischen Schwerpunkten lassen Sie die Prüfungssituation besser einschätzen.
- die erfolgreiche Bearbeitung der Arbeitsaufträge und Materialien in den Prüfungsaufgaben. Die „**Tipps zum Umgang mit Prüfungsaufgaben**“ zeigen Ihnen konkret, wie Sie erfolgreich an die Aufgaben der schriftlichen Abiturprüfung herangehen können.

Dieses Buch enthält neben **zwei Übungsaufgaben**, die im Stil der Leistungskurs-Abiturklausuren angelegt sind, alle **Original-Leistungskurs-Prüfungsaufgaben** des Zentralabiturs ab 2017. Die Aufgaben der **Abiturprüfung 2023** stehen Ihnen auf der Plattform MyStark zum Download zur Verfügung, sobald sie freigegeben sind. Zu allen Aufgaben bieten wir Ihnen **ausführliche, kommentierte Lösungsvorschläge** mit **Tipps und Hinweisen** zur Lösungsstrategie.

Lernen Sie gerne am **PC** oder **Tablet**? Nutzen Sie die Plattform **MyStark**, um mithilfe von interaktiven Aufgaben Ihr biologisches Fachwissen effektiv zu trainieren. Zentrale biologische Themen finden Sie zudem in **Lernvideos** anschaulich erklärt (Zugangscode siehe vordere Umschlaginnenseite).



Sollten nach Erscheinen dieses Bandes noch wichtige Änderungen in der Abiturprüfung 2024 vom Schulministerium Nordrhein-Westfalen bekannt gegeben werden, sind aktuelle Informationen dazu online auf der Plattform MyStark abrufbar.

Der Autor und der Verlag wünschen Ihnen für die Prüfungsvorbereitung und Ihre schriftliche Abiturprüfung viel Erfolg!

Hinweise und Tipps zum Zentralabitur

1 Die Anforderungen des Zentralabiturs im Fach Biologie

1.1 Die Rahmenbedingungen des Zentralabiturs

In Nordrhein-Westfalen findet die Abiturprüfung in Form des Zentralabiturs statt. Alle Schülerinnen und Schüler mit Leistungskurs Biologie schreiben ihre Abiturklausur jeweils an demselben Tag. Landesweit erhalten die Schülerinnen und Schüler dieselben Prüfungsaufgaben. Als Prüfling werden Ihnen zwei Aufgaben vorgelegt, die Sie beide bearbeiten müssen. Davon ist eine Aufgabe verpflichtend vom Schulministerium vorgegeben. Die zweite Aufgabe hat Ihre Lehrkraft aus zwei ministeriellen Aufgabenalternativen ausgewählt. Die Bearbeitungszeit für die Leistungskursklausur beträgt 270 Minuten (bis zur Prüfung 2020: 255 Minuten Bearbeitungszeit).

Hilfsmittel, die Sie während der Abiturprüfung verwenden können, sind – wenn erforderlich – ein wissenschaftlicher Taschenrechner (grafikfähiger Taschenrechner/CAS-Taschenrechner) und stets ein deutsches Wörterbuch (z. B. „Duden“).

1.2 Die verbindlichen Unterrichtsinhalte im Fach Biologie für das Abitur 2024

Als Grundlage für die Aufgaben der Abiturprüfung dient der „Kernlehrplan für die Sekundarstufe II – Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen – Biologie“ von 2014. Eine Konkretisierung erfolgt durch die schulministeriellen Vorgaben „Zentralabitur 2024 – Biologie“.

Im Kernlehrplan sind die **inhaltlichen Schwerpunkte** und die damit verknüpften **konkretisierten Kompetenzerwartungen** für den Oberstufenunterricht und die Abiturprüfung verbindlich festgelegt. Die ministeriellen Vorgaben für die Abiturprüfung 2024 präzisieren die verbindlichen Unterrichtsinhalte in Form von **Fokussierungen**, damit einheitliche Voraussetzungen für die Prüfung gewährleistet sind.

Die folgende Auflistung der **unterrichtlichen Voraussetzungen für das Abitur 2024** enthält die inhaltlichen Schwerpunkte für die Unterrichtshalbjahre aus der Qualifikationsphase (Jahrgangsstufen 11 und 12), ergänzt durch die Spezifizierungen für die Abiturprüfung 2024. Die Tabelle ist mehrfach gegliedert: Unter der Überschrift der Themenhalbjahre (Inhaltsfelder) stehen die inhaltlichen Schwerpunkte, die im Kernlehrplan Biologie als obligatorisch (verbindlich) vorgesehen sind. Zu diesen sind in der dritten Gliederungsebene nur die Fokussierungen für die Abiturprüfung 2024 aufgeführt. Die hier gewählte Reihenfolge der verbindlichen Unterrichtsinhalte stellt lediglich eine Auflistung der vier Themenhalbjahre dar. Die unterrichtliche Abfolge kann von Schule zu Schule unterschiedlich sein, je nachdem, für welche Sequenz sich die jeweilige Biologie-Fachkonferenz entschieden hat.

| Verbindliche Unterrichtsinhalte | Beispiele* |
|---|--|
| Genetik <ul style="list-style-type: none"> – Meiose und Rekombination – Analyse von Familienstammbäumen – Proteinbiosynthese – Genregulation <ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Modells zur Wechselwirkung von Proto-Onkogenen und Tumor-Suppressorgen: p53 und Ras • epigenetische Modelle: DNA-Methylierung und RNA-Interferenz – Gentechnologie – Bioethik | Ü 2; 19/1 Ü 2; 20/2 18/2; 23/2 22/2; 23/2 18/1, 2; 23/2 |
| Neurobiologie <ul style="list-style-type: none"> – Aufbau und Funktion von Neuronen – Neuronale Informationsverarbeitung und Grundlagen der Wahrnehmung – Leistungen der Netzhaut – Plastizität und Lernen – Methoden der Neurobiologie | 18/3; 23/3 18/3; 19/2; 22/1; 23/3 20/2; 21/3 17/1 18/3 |
| Ökologie <ul style="list-style-type: none"> – Umweltfaktoren und ökologische Potenz – Dynamik von Populationen – Stoffkreislauf und Energiefluss <ul style="list-style-type: none"> • Kohlenstoffkreislauf – Fotosynthese – Mensch und Ökosysteme <ul style="list-style-type: none"> • Neobiota | 17/2, 3; 18/1 20/1; 23/1 22/3 Ü 1; 18/2 18/1; 22/3 19/1 |
| Evolution <ul style="list-style-type: none"> – Entwicklung der Evolutionstheorie – Grundlagen evolutiver Veränderung – Art und Artbildung – Evolution und Verhalten – Evolution des Menschen – Stammbäume | 18/3 21/2; 23/1 19/1 19/1; 21/1, 2 20/1, 3; 22/1 |

*Ü = Übungsaufgabe; 17/18/19/20/21/22/23 = Jahrgang 2017/2018/2019/2020/2021/2022/2023; angegeben ist jeweils die Nummer der Aufgabe.

Die in der Tabelle genannten **Fachbegriffe** sollten Sie **als Oberbegriffe** zu bestimmten Themenkomplexen verstehen. So sind z. B. bei der genannten „Analyse von Familienstammbäumen“ die Mendel’schen Regeln, autosomale oder gonosomale, dominante oder rezessive Vererbung sowie deren zytologische Grundlagen, d. h. der Vorgang der Meiose (einschl. Kopplung und Entkopplung von Genen) von Belang.

Leistungskurs Biologie (NRW) – Abiturprüfung 2020
Aufgabe 3: Neurobiologie/Ökologie/Evolution

Aufgabenstellung:

Punkte

Thema: Natriumionenkanäle bei elektrischen Fischen Südamerikas

- III.1 Erklären Sie die Anpasstheiten der Messerfische an ihren Lebensraum unter ökologischen und evolutiven Gesichtspunkten (Material A). Stellen Sie ein molekulares Verfahren zur Analyse von phylogenetischen Verwandtschaften in Grundzügen dar und analysieren Sie den Stammbaum hinsichtlich der phylogenetischen Entwicklung elektrischer Organe bei Messerfischen (Material B). 20
- III.2 Fassen Sie die in Abbildung 2 dargestellten Ergebnisse zusammen und deuten Sie diese im Hinblick auf den Aufbau des elektrischen Organs bei Geist-Messerfischen (Materialien B und C). 10
- III.3 Erklären Sie kurz den Verlauf eines Aktionspotenzials. Werten Sie Tabelle 1 aus und erklären Sie die möglichen Auswirkungen der Mutationen auf den Phänotyp auch anhand von Abbildung 3 (Materialien D und E). Beschreiben Sie die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse und erläutern Sie ihre neurobiologische Bedeutung auch für die Geist-Messerfische (Materialien C und D). 26
- III.4 Entwickeln Sie eine Hypothese zur Bedeutung von Genduplikationen der für Nav-Kanäle codierenden Gene im Hinblick auf die Evolution neurobiologischer Anpasstheiten (Materialien A bis D). 10

Material A: Messerfische in südamerikanischen Flüssen

In den Gewässern des Amazonas-Beckens leben viele Fischarten, deren sensorisches System an das trübe Wasser angepasst ist. Durch zahlreiche Schwebstoffe in den Gewässern wird Licht gestreut und absorbiert, sodass das Wasser lichtundurchlässig erscheint. Die etwa 250 Arten der Messerfische haben einen langgestreckten, rundlichen oder seitlich abgeflachten Körper und können je nach Art eine Größe bis zu 2,5 Meter erreichen. Die dämmerungsaktiven Fische besitzen spezialisierte elektrische Organe, mit denen sie schwache elektrische Entladungen erzeugen können. Diese elektrischen Felder werden durch die Umgebung der Fische beeinflusst. Die Wahrnehmung der veränderten elektrischen Felder nutzen die Messerfische, um Beute, Verstecke, Fressfeinde oder auch Artgenossen zu lokalisieren. Artsspezifische Entladungsmuster ermöglichen daher eine innerartliche Kommunikation. Aufgrund der Unterschiede der Signale von Männchen und Weibchen spielen sie auch bei der Partnersuche eine Rolle.

Material B: Elektrische Organe und die Verwandtschaft der Messerfische

Viele elektrische Fische Südamerikas wie zum Beispiel der Zitteraal (*Electrophorus electricus*) besitzen ein elektrisches Organ, das aus umgewandelten Muskelzellen (MEO) hervorgeht (Abb. 1 B oben).

Die Anlage des MEO wird bei den Geist-Messerfischen allerdings während der Embryonalentwicklung reduziert. Bei ihnen stammt das elektrische Organ aus umgewandelten Axonen von Neuronen, den Elektromotoneuronen (EMN), deren Soma direkt beim Rückenmark liegt (Abb. 1 B unten).

Die phylogenetische Verwandtschaft ausgewählter Messerfische wurde anhand von DNA-Sequenzen verschiedener homologer Gene ermittelt (Abb. 1 A). Der Getüpfelte Gabelwels (*Ictalurus punctatus*) diente hier als Außengruppe, er besitzt kein elektrisches Organ.

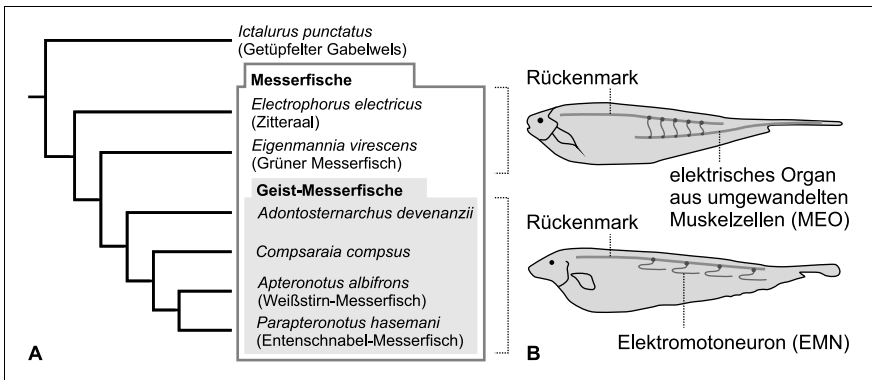


Abb. 1: Elektrische Fische Südamerikas

A: Stammbaum basierend auf DNA-Sequenzen verschiedener homologer Gene; B: schematische Darstellung der elektrischen Organe

verändert nach: Thompson et al. (2018), Abb. 2, S. 5

Material C: Natriumionenkanäle bei Geist-Messerfischen

Die spannungsgesteuerten Natriumionenkanäle (Nav-Kanäle) in den elektrischen Organen bei Messerfischen sind homolog zu den spannungsgesteuerten Natriumionenkanälen am Axon von Neuronen. Durch mehrere Duplikationen der Gene für Nav-Kanäle sind bei allen Organismen mehrere Genkopien entstanden, die zum Teil gewebespezifisch aktiviert werden. Zum Beispiel werden einige *Nav*-Gene im Rückenmark abgelesen, andere in den Muskelzellen oder im Herzmuskel. Die gewebespezifische Expression von *Nav*-Genen wurde bei einigen Vertretern der Geist-Messerfische im Vergleich zu anderen Fischen untersucht. Dazu wurde aus Gewebeproben von Muskeln und Rückenmark die relative Transkription des *Nav-4ab*-Gens bei Gabelwels und Zit-

teraaal bestimmt. Die Geist-Messerfische besitzen aufgrund einer Genduplikation zwei Kopien dieses Gens, die als *Nav-4ab1* und *Nav-4ab2* bezeichnet werden und deren relative Transkription ebenfalls analysiert wurde (Abb. 2).

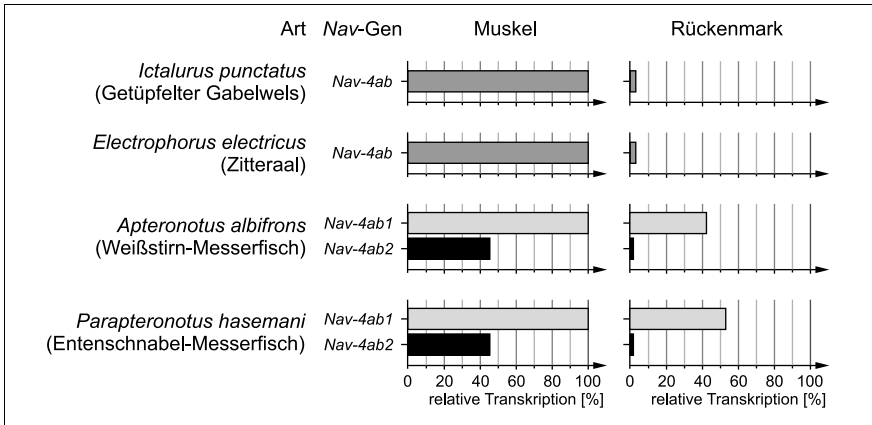


Abb. 2: Relative Transkription ausgewählter *Nav*-Gene bei verschiedenen Fischen in Muskeln und Rückenmark

verändert nach: Thompson et al. (2018), Abb. 1, S. 4

Material D: Vergleichende Analyse von Nav-Kanälen

In den elektrischen Organen der Messerfische sind Nav-Kanäle verantwortlich für die Erzeugung von Aktionspotenzialen, die essenziell für die Ausbildung der Entladungen sind. Die Elektromotoneuronen der Geist-Messerfische zeigen Entladungsraten von 650 bis 1 800 Aktionspotenzialen pro Sekunde. Dies ist sehr ungewöhnlich, da Aktionspotenzialfrequenzen von 1 000 Aktionspotenzialen pro Sekunde in Neuronen dauerhaft kaum zu erreichen sind. Bei Geist-Messerfischen werden diese hohen Frequenzen allerdings über die gesamte Lebensspanne erzeugt und verbessern wohl Orientierung und Kommunikation dieser Fische in den trüben Gewässern.

Nav-Kanäle bestehen aus Transmembranbereichen, zwischen denen eine verschließbare Kanalpore vorhanden ist. Der Nav-Kanal wird durch chemische Wechselwirkungen zwischen dem D4-Linker-Bereich und dem Inaktivierungsbereich in der Refraktärzeit verschlossen (Abb. 3). Dies begrenzt den Natriumioneneinstrom und inaktiviert den Nav-Kanal kurzzeitig. Die Aminosäuren von D4-Linker-Bereich und Inaktivierungsbereich sind für die korrekte Funktion bei der Inaktivierung besonders wichtig. Sequenzvergleiche der Aminosäuresequenzen im D4-Linker-Bereich von Nav-Kanälen verschiedener Organismen mit den entsprechenden Nav-Kanälen der Geist-Messerfische zeigt Tabelle 1.

Lösungsvorschlag

In der Aufgabe thematisierte Unterrichtsinhalte sind:

Angepasstheit, abiotische Faktoren, elektrische Organe, räumliche Wahrnehmung, innerartliche Kommunikation, Selektionsvorteil, sexuelle Selektion, Fressfeind, PCR, Aminosäuresequenzanalyse, monophyletische Gruppe, Individualentwicklung, Stammesgeschichte, Aktionspotenzial, Mutation, Rekombination, Genduplikation

- III.1 *Achten Sie beim Lesen des Textes auf die verschiedenen Verhaltensbereiche, die erwähnt werden, und stellen Sie in Bezug dazu die entsprechenden Vorteile der besonderen Anpasstheiten der Messerfische heraus.*

Messerfische in südamerikanischen Flüssen sind in besonderer Weise an ihren Lebensraum angepasst. Für die dämmerungsaktiven Tiere ist im trüben und lichtundurchlässigen Wasser des Amazonas-Beckens eine visuelle Orientierung nur sehr eingeschränkt möglich. Als spezifische Anpasstheit an die abiotischen Umweltfaktoren besitzen die Messerfische elektrische Organe. Diese erlauben es den Tieren, sich in den trüben Gewässern des Amazonas-Beckens räumlich zu orientieren, indem sie Veränderungen in selbst erzeugten elektrischen Feldern wahrnehmen können, die auf Einflüsse der Umgebung zurückgehen. Die elektrischen Organe verschaffen den Fischen interspezifisch auch einen Konkurrenz- bzw. Selektionsvorteil, da sie mit ihrer Hilfe Beuteorganismen erkennen, Fressfeinden ausweichen und Schutz ausfindig machen können. Darüber hinaus dienen die elektrischen Organe der innerartlichen Kommunikation. Da sie geschlechtsspezifisch eingesetzt werden, sind sie auch für die Partnersuche relevant und können eine sexuelle Selektion ermöglichen.

- Bei dem geforderten molekularbiologischen Verfahren können Sie sowohl die DNA-Sequenzanalyse als auch die Aminosäuresequenzanalyse darstellen. Es ist lediglich die Darstellung einer Methode verlangt.*

Um phylogenetische Verwandtschaften zu analysieren, können verschiedene molekularbiologische Verfahren angewandt werden. Bei der DNA-Sequenzanalyse wird DNA aus den zu vergleichenden Arten isoliert und mithilfe der PCR vervielfältigt. Anschließend werden aus den Proben Bereiche sequenziert, in denen sich homologe Gene befinden. Die DNA-Sequenzen dieser Gene werden dann analysiert und verglichen. Auf dieser Basis können aus dem genetischen Material unterschiedlicher Arten phylogenetische Stammbäume erstellt und die Verwandtschaft der Arten untereinander aufgezeigt werden. Dabei gilt: Je mehr Unterschiede in den verglichenen DNA-Sequenzen vorliegen, desto weiter sind die betrachteten Arten stammesgeschichtlich voneinander entfernt. Dies kann mit der Anhäufung von Mutationsereignissen im Laufe der getrennten stammesgeschichtlichen Entwicklung begründet werden. Dabei geht man davon aus, dass Mutationen in homologen Bereichen mit ähnlicher konstanter Rate auftreten.

Bei der vergleichenden Analyse von Aminosäuresequenzen wird die Primärstruktur bestimmter universell vorkommender Proteine (z. B. von Cytochrom c aus der Atmungskette der Mitochondrien) untersucht. Dazu werden die Proteine der zu vergleichenden Arten isoliert und anschließend durch Abspaltung der Aminosäuren sequenziert. Die so ermittelten Aminosäureabfolgen können dann miteinander verglichen werden und das Ergebnis kann als Basis für die Aufstellung eines Stammbaums dienen. Wenn man eine konstante Mutationsrate auf DNA-Ebene annimmt, bedeutet eine größere Anzahl an – mutationsbedingten – Unterschieden in den verglichenen Aminosäuresequenzen auch eine größere stammesgeschichtliche Distanz der betrachteten Arten.

/// *Prüfen Sie den Stammbaum zunächst hinsichtlich der Monophylie der Gruppen und stellen Sie heraus, ob bei den betrachteten Merkmalen Homologie vorliegen kann. Wenn Sie den Aspekt der Konvergenz erarbeiten, ist dies eine Möglichkeit, Zusatzpunkte zu erhalten.*

Die Analyse des Stammbaums hinsichtlich der phylogenetischen Entwicklung elektrischer Organe bei Messerfischen kann mit der Feststellung beginnen, dass die im Stammbaum dargestellten Messerfische eine monophyletische Gruppe sind. Vermutlich entwickelte sich beim letzten gemeinsamen Vorfahren der rezenten Arten ein elektrisches Organ, das aus umgewandelten Muskelzellen hervorging (MEO). Die Geist-Messerfische bilden innerhalb der Gruppe der Messerfische ebenfalls ein monophyletisches Taxon. Bei diesen elektrischen Fischen wird die Anlage des MEO aber im Laufe der Individualentwicklung reduziert. Ihre elektrischen Organe entwickeln sich aus umgewandelten Axonen von Elektromotoneuronen (EMN), deren Somata beim Rückenmark liegen. Da dies bei allen Geist-Messerfischen vorkommt, handelt es sich dabei um ein gemeinsames abgeleitetes, synapomorphes Merkmal. Damit sind im Laufe der Evolution in der monophyletischen Gruppe der Messerfische zwei unterschiedliche elektrische Organe entstanden, die jeweils von unterschiedlichen Zelltypen abstammen. Die elektrischen Organe beider Gruppen sind daher nicht homolog. Die Entstehung von MEO und EMN ist also in der Evolution dieser Fische als konvergente Entwicklung zu betrachten, die auf ähnliche Umwelt- und damit Selektionsbedingungen zurückzuführen ist.

/// III.2 *Bei der Wiedergabe der Ergebnisse ist es nicht notwendig, konkrete Zahlenwerte anzugeben; es reicht aus, wenn Sie die erkennbare Tendenz darstellen. Für die anschließende Deutung ist es entscheidend, sich zunächst genau klarzumachen, welche Gene in welchem Gewebe und bei welchen Arten exprimiert werden.*

Die in Abbildung 2 dargestellten Versuchsergebnisse zeigen, dass die *Nav*-Gene bei Geist-Messerfischen sowohl im Muskel als auch im Rückenmark exprimiert werden. Während sowohl beim Getüpfelten Gabelwels als auch beim Zitteraal das Gen *Nav-4ab* fast ausschließlich im Muskel transkribiert wird (und nur mit sehr geringer Rate im Rückenmark), wird die Genkopie *Nav-4ab1* beim Weiß-

stirn-Messerfisch und beim Entenschnabel-Messerfisch sowohl im Muskelgewebe als auch im Rückenmark abgelesen, dort allerdings mit nur ca. halb so hoher Rate. Die Genkopie *Nav-4ab2*, die nur die Geist-Messerfische besitzen, wird fast ausschließlich im Muskelgewebe exprimiert, allerdings in nur etwa halb so hohem Umfang wie die Genkopie *Nav-4ab1*.

Um die Ergebnisse hinsichtlich des Aufbaus des elektrischen Organs bei Geist-Messerfischen deuten zu können, ist die Tatsache relevant, dass das elektrische Organ der Geist-Messerfische von Elektromotoneuronen (EMN) gebildet wird, deren Zellkörper direkt beim Rückenmark liegen. Die zusätzlich vorhandene Genkopie *Nav-4ab1* wird nur bei den Geist-Messerfischen auch im Rückenmark transkribiert. Dies lässt darauf schließen, dass es im Laufe der Evolution der Geist-Messerfische zu einem Wandel in der Genregulation der *Nav*-Gene gekommen sein muss, wofür die Genduplikation eine Voraussetzung war. Diese gewebespezifische Expression des *Nav-4ab1*-Gens, die bei keiner der anderen betrachteten Fischarten auftritt, könnte darüber hinaus darauf hinweisen, dass beim Genprodukt von *Nav-4ab1* eine Funktionsänderung stattgefunden hat, die u. U. mit der Funktion der EMN in Verbindung steht.

III.3 *Das Adverb „kurz“ zeigt Ihnen an, dass keine detaillierte Erklärung erforderlich ist. Bei der Auswertung von Tabelle 1 brauchen Sie die unterschiedlichen Aminosäuren nicht zu nennen. Bei der Auswertung von Abbildung 4 ist die Nennung konkreter Zahlen aber hilfreich. Eine Möglichkeit, Zusatzpunkte zu erhalten, besteht, wenn Sie einen Zusammenhang zwischen der Expression des Nav-4ab1-Gens im Rückenmark und der Frequenz der Aktionspotenziale herstellen.*

Zur Ausbildung eines Aktionspotenzials kommt es, wenn eine Nerven- oder Muskelzelle vom Ruhepotenzial bis über das Schwellenpotenzial hinaus depolarisiert wird. Dann öffnen sich schlagartig spannungsgesteuerte Natriumionenkanäle (Nav-Kanäle) und Na^+ -Ionen strömen entlang des elektrochemischen Gradienten in das Zellinnere. Es kommt zu einer starken Depolarisation des Membranabschnitts, wobei sich die Nav-Kanäle schnell wieder schließen. Etwas zeitverzögert öffnen sich spannungsgesteuerte Kaliumionenkanäle und K^+ -Ionen strömen in den Extrazellularraum aus. Dies führt zu einer Repolarisation der Zelle und aufgrund des langsamen Schließens der K^+ -Ionenkanäle zu einer Hyperpolarisation. Sobald sich die spannungsgesteuerten K^+ -Ionenkanäle geschlossen haben, werden das Ruhepotenzial und die ursprünglichen Ionenverhältnisse (durch die Aktivität der Na^+ - K^+ -ATPase) wiederhergestellt.

Tabelle 1 gibt Ausschnitte der Aminosäuresequenzen des D4-Linker-Bereichs von Nav-Kanälen des Menschen und verschiedener Messerfische wieder. Sie zeigt, dass die Aminosäuresequenz der Nav-Kanäle in diesem Bereich bei *Homo sapiens* und zwei Messerfischen mit elektrischen Organen identisch ist. Nur die Nav-Variante *Nav-4ab1* beim Weißstirn- und beim Entenschnabel-Messerfisch unterscheidet sich (mutationsbedingt) in sechs bzw. fünf Aminosäuren von der Sequenz der anderen Arten. Die Aminosäuresequenz der Variante *Nav-4ab2* des Weißstirn-Messerfischs weicht hingegen nicht von derjenigen des Zitteraals



© **STARK Verlag**

www.stark-verlag.de
info@stark-verlag.de

Der Datenbestand der STARK Verlag GmbH ist urheberrechtlich international geschützt. Kein Teil dieser Daten darf ohne Zustimmung des Rechteinhabers in irgendeiner Form verwertet werden.

STARK