

2025

Lehrplan

DFG/LFA

Biologie

Gemeinsames Fach

Klassenstufen

10, 11 und 12

Inhaltsverzeichnis

1	Leitgedanken	2
1.1	Bildungsziele.....	2
1.2.	Zielsetzungen	2
1.3.	Methodische Herausforderungen.....	7
1.4.	Leistungsbewertung.....	7
2.	Lerninhalte – 10. Klasse	9
2.1	ZELLEN ALS STRUKTURELLE UND FUNKTIONELLE EINHEIT ALLER LEBEWESEN.....	9
2.2	MOLEKULARE GRUNDLAGE GENETISCHER INFORMATIONEN: DNA	11
2.3	ÜBERTRAGUNG GENETISCHER INFORMATIONEN	12
2.4	AMINOSÄUREN UND PROTEINE	12
3.	Lerninhalte – 11. und 12. Klassen.....	14
3.1	STOFFWECHSEL UND ENERGIEUMWANDLUNGEN	14
3.2	ARTENVIELFALT UND ÖKOSYSTEM	17
3.3	KOMMUNIKATION IM ORGANISMUS.....	19
3.4	HORMONE.....	21
3.5	ZELLULÄRE ZUSAMMENARBEIT: BEISPIEL IMMUNSYSTEM.....	22
3.6	EVOLUTION	24
4	Operatoren	29
5	Anhang	30

1 Leitgedanken

1.1 Bildungsziele

Der Biologieunterricht als gemeinsames Fach erstreckt sich über die drei Jahre gymnasialer Oberstufe. Er soll die Schülerinnen und Schüler auf die Anforderungen eines Hochschulstudiums vorbereiten, indem sie Kompetenzen, Kenntnisse und Methoden erwerben können. Hierzu sollen sie solides Grundwissen erwerben, in wissenschaftliches Arbeiten eingeführt werden und ihr kritisches Urteilsvermögen schärfen. Für Maßnahmen der pädagogischen Differenzierung ist ausreichend Raum einzuplanen.

Der Unterricht in Biologie, wie auch in anderen Wissenschaften, soll die Schülerinnen und Schüler befähigen, zwischen Überzeugungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen zu unterscheiden. Der Unterricht im gemeinsamen Fach soll sie in die Lage versetzen, eine hinreichende wissenschaftliche Beziehung zu Naturphänomenen, der belebten Umwelt und der Technik aufzubauen. Diese wissenschaftliche Haltung, bestehend aus Einstellungen (Neugier, Aufgeschlossenheit, Hinterfragen persönlicher Vorstellungen, positive Ausnutzung von Fehlern usw.) und Fähigkeiten (Beobachten, Experimentieren, Messen, Begründen, Modellieren usw.), ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, zu verstehen, dass das Wissen, das sie erwerben, sich einprägen und von ihnen genutzt wird, immerzu vertieft und überarbeitet werden muss und im weiteren Verlauf ihres Studiums als auch im Laufe ihres Lebens in Frage gestellt werden kann. Die Entwicklung des Lernens in der Biologie ist im experimentellen, realen und konkreten Ansatz verankert, der in Form von Projekten zu Themen integriert werden sollte, die mit Physik, Chemie und Technologie gemeinsam sind. Die Biologie zeigt als Wissenschaft des Komplexen einen systemischen Aufbau und bezieht sowohl räumliche als auch zeitliche Skalen ein.

1.2. Zielsetzungen

- Fachkompetenzen

Die mit den Inhalten des Faches verbundenen Kompetenzen werden für die einzelnen Klassenstufen als „Erwartete Kompetenzen“ aufgelistet: siehe unten.

- Sprachkenntnisse (sprachsensibler Unterricht)

Die Lehrinhalte müssen abwechslungsreich sein, um den Schülerinnen und Schülern möglichst oft die Möglichkeit zu geben, sich spontan in beiden Sprachen auszudrücken. Kommunikationssituationen im Unterricht, an der Schule oder auch außerhalb müssen es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen, verschiedene Register der mündlichen und der Schriftsprache zu verstehen und diskursive Fähigkeiten zu entwickeln: hierzu gehören beschreiben, erklären, begründen, argumentieren, diskutieren/debatteieren, wissenschaftliche Argumente vorzubringen und entsprechende Entscheidungen zu treffen und bewerten. Sprachliches Handeln in beiden Unterrichtssprachen ist das Ziel.

Die Vielfalt der im Rahmen des Biologieunterrichts eingesetzten Materialien in beiden Sprachen, die insbesondere im Vertiefungsfach authentischen oder kaum didaktisierten wissenschaftlichen Artikeln entnommen sind (Texte, Grafiken, Diagramme, Tabellen, ikonografische Dokumente, Versuchsergebnisse usw.) soll die Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, Strategien zur Texterschließung einzuüben. Die Schülerinnen und Schüler werden mit unterschiedlichen Darstellungsweisen biologischer Phänomene, Strukturen, experimenteller Ergebnisse, usw. konfrontiert. Auf diese Weise werden sie zu einer kritischen Reflexion über Sprache angeleitet. Wissenschaftliche Verfahren werden in ihren einzelnen Phasen rekonstruiert und von den Schülerinnen und Schülern zur Verbesserung ihrer Diskursfähigkeit verbalisiert. Gleichzeitig ermöglichen der fachspezifische Wortschatz und die Besonderheit des wissenschaftlichen Ausdrucks eine Vertiefung des Sprachenlernens unter besonderer Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Französisch hinsichtlich der Darstellung wissenschaftlicher Konzepte (Komposita im Deutschen / Periphrasen im Französischen).

Die Zusammenstellung von Dossiers mit Materialien in Englisch als internationaler Wissenschaftssprache oder auch in weiteren, den Unterrichtssprachen verwandten Sprachen, erlaubt es den Schülerinnen und Schülern, ihr mehrsprachiges Repertoire bei der Beschäftigung mit wissenschaftlichen Aufgaben zu mobilisieren.

– Fachübergreifende Kompetenzen

A- Kognitive und prozedurale Fähigkeiten

Im Biologieunterricht werden den Schülerinnen und Schülern eine Reihe grundlegender kognitiver Kompetenzen vermittelt. Dazu gehört die präzise Beobachtung und Identifizierung biologischer Strukturen und natürlicher Prozesse, sowie die Fähigkeit, gedanklich zwischen den verschiedenen und in sehr unterschiedlichen Maßstäben dargestellten Organisationsebenen des Lebens zu wechseln. Die Schülerinnen und Schüler sollen experimentelle Daten kritisch analysieren und interpretieren sowie logische Schlussfolgerungen ziehen können. Andererseits ist systemisches Denken in der Biologie von besonderer Bedeutung, da Schülerinnen und Schülern die komplexen Wechselwirkungen innerhalb Organismen bis hin zu Ökosystemen nur so hinreichend verstehen. Das Aufstellen von Hypothesen und das Planen von Experimenten fördert die wissenschaftliche Kreativität und methodische Genauigkeit. Schließlich hilft die Kompetenz, abstrakte Konzepte wie zelluläre oder evolutive Prozesse in Modellen darzustellen, den Schülerinnen und Schülern, nicht direkt beobachtbare Phänomene zu visualisieren und zu verstehen. Einmal erworben, sind diese Kompetenzen nicht auf das Fach Biologie beschränkt, sondern können auf andere wissenschaftliche Bereiche und Problemlösungen im täglichen Leben übertragen werden. Im Fach Biologie werden Schülerinnen und Schüler dabei unterstützt, nach und nach übergeordnete fachliche Kompetenzen zu erwerben, die ihnen sowohl bei der Studien- und Berufswahl von Nutzen sind.

Im Biologieunterricht werden zudem prozedurale Kompetenzen vermittelt, die für das wissenschaftliche Vorgehen unerlässlich sind. Zu diesen Kompetenzen gehören: Hypothesen formulieren, Experimente entwerfen und durchführen, sorgfältig beobachten, Daten sammeln und analysieren und mittels einer Beweisführung Schlussfolgerungen ziehen. Die Schülerinnen und Schüler müssen außerdem lernen,

wie man Laborgeräte richtig nutzt, Versuchsprotokolle befolgt und Sicherheitsstandards respektiert. Ebenso wichtig ist die Beherrschung zahlreicher Techniken wie z.B.: computergestütztes Experimentieren einschließlich des Einsatzes künstlicher Intelligenz, Nutzung von Datenbanken, biochemische Labortechniken, Mikroskopieren, Präparationen, Probenvorbereitung usw.. Darüber hinaus das Einüben wissenschaftlicher Dokumentation, wie das Führen eines Laborbuchs, das Anfertigen präziser Diagramme und das schriftliche und mündliche Verfassen wissenschaftlicher Texte unerlässlich. Schließlich ist es für eine solide Schulbildung unerlässlich, dass die Schülerinnen und Schüler Ergebnisse erfolgreich kommunizieren und an ergebnisorientierten wissenschaftlichen Diskussionen teilnehmen können.

B- Digitale und technische Kompetenzen

Durch den gezielten und durchdachten Einsatz digitaler Werkzeuge und Medien können Lehr- und Lernprozesse unterstützt, bereichert und sogar neu definiert werden. Bei der Gestaltung des Unterrichts ist die Medienerziehung daher konsequent zu berücksichtigen.

Digitale Werkzeuge werden insbesondere zur Dokumentationsrecherche, Datenerfassung und -analyse, zur Modellierung und zur Präsentation von Ergebnissen aus Schülerexperimenten eingesetzt. Darüber hinaus sollten eine kritische Quellenbewertung und die Überprüfung des Urheberrechts erfolgen.

Digitale Tools können zudem kollaborative Ansätze zwischen Schülerinnen und Schülern untereinander, aber auch mit externen Partnern fördern.

Der Einsatz von KI im Unterricht ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die damit verbundenen Technologien verantwortungsvoll, umsichtig und ethisch zu nutzen.

C- Selbstmanagement, Orientierung und Teamfähigkeit

Eine enge Verbindung zwischen Einzel- und Gruppenarbeit ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, ihr mehrsprachiges und interkulturelles Repertoire und ihr Wissen zur Erfüllung der gestellten Aufgaben zu mobilisieren und mit anderen einen Dialog über ein Arbeitsthema zu führen. Der kooperative Ansatz, der den einzelnen Schülerinnen und Schülern die Verantwortung für die Durchführung eines Teils der gemeinsamen Arbeit überträgt, trägt zur Stärkung des Selbstwertgefühls und des Zugehörigkeitsgefühls zu einer Gruppe bei.

Im Folgenden werden die drei Kompetenzbereiche „Organisation des wissenschaftlichen Arbeitens“, „Kritische Prüfung“ und die „Teamarbeit“ weiter aufgegliedert:

1. Die Schülerinnen und Schüler können

- Informationen empfängerabhängig analysieren, strukturieren und themenrelevant präsentieren (Mediation)
- Informationen aus Texten, experimentellen Daten, Diagrammen, Mindmaps, Tabellen und symbolischen Darstellungen (z.B. chemischen Gleichungen) in andere Darstellungsformen überführen, um sie sich vertieft und nachhaltiger anzueignen und an Dritte weiterzugeben

- Methoden und Ergebnisse biologischer Beobachtungen, Untersuchungen und Experimente in geeigneter Form darstellen und diesbezüglich Argumente zu formulieren und auszutauschen.
- zwischen Umgangssprache und Fachsprache unterscheiden und wissenschaftliche Begriffe angemessen verwenden.

2. Die Schülerinnen und Schüler können

- biologische Fakten in verschiedenen Kontexten erkennen
- Entscheidungen, Maßnahmen und Verhaltensweisen auf der Grundlage von Fachwissen und unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven diskutieren und bewerten.
- die Bedeutung, den Umfang und die Grenzen wissenschaftlicher Anwendungen beurteilen.

3. Die Schülerinnen und Schüler können:

- sich selbst und andere in ihrer Individualität erkennen
- die Verantwortung für Ihre Arbeit und die des Teams übernehmen, gemeinsam planen, strukturieren, die Ergebnisse reflektieren und bewerten.

Darüber hinaus müssen auch die allgemeine für das Zusammenleben in einer Gemeinschaft wichtigen Kompetenzen entwickelt werden: Motivation, Zuverlässigkeit, Autonomie, Verantwortungsbewusstsein, Toleranz und Teamfähigkeit.

Um den Selbstausdruck in der Sprache des Partners zu fördern, zielen die Lehrmethoden ausdrücklich auf demokratische Kulturkompetenzen ab, insbesondere auf:

- Werte: Stärkung der demokratischen Meinungsäußerung der Schülerinnen und Schüler (Diskussion auf der Grundlage wissenschaftlicher Argumente);
- Einstellungen: Förderung der Autonomie der Schülerinnen und Schüler, indem ihnen Verantwortung gegenüber anderen übertragen wird;
- Kritisches Denken: Entwicklung einer differenzierten Sicht auf die Welt (Konvergenzen und Divergenzen in den wissenschaftlichen Ansätzen in den beiden Ländern);
- Fähigkeiten: kollaborative Ansätze sowohl beim Üben und Lernen als auch bei der Leistungsbewertung bevorzugen.

D-Bürgerliche und demokratische Fähigkeiten

Ganz allgemein basiert der Fortschritt der Schülerinnen und Schüler in der Partnersprache Deutsch bzw. Französisch im Wesentlichen auf der expliziten Verschränkung von formellen (im Klassenzimmer), informellen (an der Schule, außerhalb Regelunterrichts) und nicht formalen (außerhalb der Schule) Bildungsräumen. Es geht darum, kollaborative Ansätze zwischen Schülerinnen und Schülern (Partnerarbeit und deutsch-französische Gruppenarbeit) zu fördern und Situationen zu planen, in denen die Schülerinnen und Schüler gemeinsam verhandeln und eine Entscheidung treffen. Wissenschaftliche Partnerschaftsprojekte mit Partnern aus der Wirtschaft, aus Forschungszentren und Museen, sowohl im sprachlichen als auch im kulturellen Bereich, sollten den Schülerinnen und Schülern viele Möglichkeiten bieten,

sich mit der Sprache und Kultur des Partners auseinanderzusetzen, seine Sprache und Kultur zu teilen und hier ein hohes Maß an Eigenverantwortung zu übernehmen.

Die Bereiche Gesundheit, Biotechnologie, Bioethik, Umwelt und nachhaltige Entwicklung sind von wachsender gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und individueller Bedeutung. Die Biologie ist eine hochgradig integrative Disziplin, die naturwissenschaftliche und technische Disziplinen mit den Sozial- und Geisteswissenschaften verbindet. Die Biologie trägt zum Selbstverständnis des Menschen als Teil der belebten Natur bei. Aktuelle Erkenntnisse aus den Bereichen Gesundheit und Ernährung, Biotechnologie und Gentechnik, Ökologie und Reproduktionsmedizin haben unmittelbare Auswirkungen auf die Art und Weise, wie wir unser persönliches Leben gestalten. Für viele Fragen von gesellschaftlichem Interesse sind Kenntnisse in der Biologie Voraussetzung für fundierte individuelle und kollektive Entscheidungen. Diese sind Teil politischer Diskussionen und helfen, Entscheidungen zu zentralen Themen des 21. Jahrhunderts zu treffen.

Fachwissen in der Biologie bildet die Grundlage für ein Nachdenken über die Stellung des Menschen in der Natur, über sich selbst und seine Beziehungen zur Umwelt. Die Biologie regt zum Nachdenken über den Einfluss wissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Weltanschauung der Menschen und über ihre Rolle in der Welt an.

E- Deutsch-französische, europäische und internationale Kompetenzen

Durch den Unterricht in den vollständig integrierten Fächern der 11. und 12. Klassen an Deutsch-Französischen Gymnasien werden die Schülerinnen und Schüler in ihrer Fähigkeit gestärkt, ihr mehrsprachiges Repertoire in Situationen zu mobilisieren, wenn sie im Laufe ihres Hochschulstudiums und darüber hinaus in ihrem persönlichen und beruflichen Lebens mit internationalen Kontexten konfrontiert werden. Kenntnisse über landespezifisch und sprachbedingt unterschiedlichen Bildungstradition und Herangehensweisen an technische und naturwissenschaftliche Fragestellungen fördern das Verständnis für die Kultur des Partners und die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, diese zu verinnerlichen und als Mehrwert zu nutzen.

Der integrierte Fachunterricht bereitet auf die kompetente Auseinandersetzung mit fächerübergreifenden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen vor, die die Biologie berühren und zugleich zu den großen Herausforderungen der heutigen und zukünftigen Welt gehören.

Durch die Anwendung unterschiedlicher wissenschaftlicher Ansätze und mit Einblicken in die Wissenschaftsgeschichte, werden die Schülerinnen und Schüler befähigt, Meinungen oder Glaube von wissenschaftlichen Tatsachen zu unterscheiden, und diesbezüglich wissenschaftsbezogen zu kommunizieren.

Die Lehrpläne der Deutsch-Französischen Gymnasien erlauben es den Schülerinnen und Schülern, in der Gesellschaft, in der sie leben, selbstbestimmt und konstruktiv zu handeln, wissenschaftliche Kultur und die Anwendung kritischen Denkens zu vermitteln. So können sie wirksam zur "Aufklärung" der Gesellschaft, in der sie leben, und zur Bekämpfung von Falschinformationen und Vorurteilen beitragen, die das Zusammenleben in demokratischen Gesellschaften gefährden.

Zu den Hauptthemen gehören:

- Bildung für nachhaltige Entwicklung
- Erziehung zu Toleranz und Akzeptanz von Vielfalt
- Prävention und Gesundheitsförderung
- Berufliche Orientierung
- Medienerziehung
- Verbrauchererziehung
- Vermeidung von Risiken
- Aufbau von Bürgerrechten

1.3. Methodische Herausforderungen

Der Lehrplan für Biologie ist das Ergebnis einer deutsch-französischen Zusammenarbeit. Es setzt sich aus Inhalten verschiedener Bildungsgänge zusammen und zielt darauf ab, den Schülerinnen und Schülern eine mit der jeweiligen Lehrpraxis verknüpfte Grundausbildung im Fach Biologie zu bieten.

Die vollständige Integration französisch- und deutschsprachiger Schülerinnen und Schüler erfordert, dass der sprachlichen Arbeit viel mehr Gewicht beigemessen wird als dem Unterricht mit muttersprachlichen Schülerinnen und Schülern. Dazu gehört das Kennenlernen fachspezifischer Ausdrücke zur Beschreibung biologischer Strukturen und Funktionen, aber auch das Einüben allgemeiner Ausdrücke aus den Bereichen wissenschaftlicher Argumentation und Versuchsplanung.

Der in einer Projektdynamik konzipierte Biologieunterricht als gemeinsames Fach basiert auf vielfältigen authentischen Ressourcen, die die Schülerinnen und Schüler zur Reflexion über unterschiedliche individuelle oder kollektive Arbeitsmethoden befähigen soll. Um die Schülerinnen und Schüler in die Lage zu versetzen, die Nuancen und Resonanzen der den Untersuchungen und Ansätzen zugrunde liegenden wissenschaftlichen Quellen zu erkennen und so ihr kritisches Denken zu schulen, ist es unerlässlich, die wechselseitigen Beziehungen zwischen den komplementären Arbeitsprozessen und -ergebnissen zu fördern. Die Schülerinnen und Schüler können ermutigt werden, Recherchen durchzuführen und diese ihren Klassenkameraden mitzuteilen. Die Fähigkeit, über Forschungsergebnisse oder allgemein wissenschaftliche Erfahrungen zu berichten und Sachverhalte zu erklären, die über das bloße Teilen wörtlicher Informationen hinausgehen, erfordert von den Schülerinnen und Schülern die Fähigkeit, eine distanzierte Analyse auf der Grundlage ihrer wissenschaftlichen Kenntnisse durchzuführen.

1.4. Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung soll während des Lernprozesses und zugleich regelmäßig die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler messen, die experimentelle Methode umzusetzen, Hypothesen aufzustellen und zu überprüfen, Ergebnisse zu auswerten und Modelle einzusetzen. Darüber hinaus werden Kommunikationsfähigkeiten bewertet, darunter die Fähigkeit, Informationen zu analysieren, zu strukturieren

und argumentativ darzustellen sowie wissenschaftliche Terminologie korrekt zu verwenden. Dabei wird die Qualität der verwendeten Sprachen Deutsch und Französisch in Wort und Schrift berücksichtigt. Schließlich soll durch die Beurteilung sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler biologische Fakten in verschiedenen Kontexten erkennen, auf der Grundlage ihres Wissens Entscheidungen ableiten und bewerten sowie die Bedeutung und Grenzen wissenschaftlicher Anwendungen erkennen können.

Die verschiedenen Formen der Beurteilung sollten zu einer transparenten und positiven Bewertung der Leistungen der Schülerinnen und Schüler beitragen. Die summative Evaluation muss es ermöglichen, alle, also auch mäßige Erfolge der Schülerinnen und Schüler hervorzuheben. Die Bewertungskriterien müssen bekannt sein und ihnen die Möglichkeit geben, ihre Fortschritte nachzuvollziehen. Die Förderung kollektiver Leistungen der Schülerinnen und Schüler ist ebenso wichtig wie die Berücksichtigung individueller Leistungen.

Eine regelmäßige Kontrolle der Lernfortschritte der Schülerinnen und Schüler erfolgt durch direkte Beobachtung der Schülerinnen und Schüler im Unterricht. Somit kombinieren die Bewertungsmethoden die speziell für die Bewertung vorgesehene Zeit mit der Bewertung durch Beobachtung der Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts. Im Fach-Biologie ist die Bewertung der im experimentellen Bereich eingesetzten Fähigkeiten in den gesamten Lernprozess integriert. Sie validiert die Kompetenzen, die während der praktischen Aktivitäten im Laufe der gesamten Schulzeit erworben werden. Ziel ist es zugleich, die Autonomie der Schülerinnen und Schüler, die erworbenen Fertigkeiten sowie die Verwendung mündlicher Sprache in der wissenschaftlichen Argumentation zu bewerten.

Um jeder Schülerin und jedem Schüler die Verantwortung für ihr oder sein eigenes Lernen und die Unterstützung anderer zu übertragen, ist es wichtig, sowohl der Selbsteinschätzung als auch der gegenseitigen Beurteilung besondere Bedeutung beizumessen. Die Herausforderung besteht darin, eine Logik der Anerkennung erworbenen Wissens mit einer Logik der Bindung an ein Kollektiv zu artikulieren. Diese Reflexion über ihre Fortschritte und die der anderen Schülerinnen und Schüler erreicht ihr Ziel, wenn die Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, dem Lehrer oder der Lehrerin eine Bewertung anzubieten, sobald sie sich dazu bereit fühlen.

2. Lerninhalte – 10. Klasse

Der Lehrplan ist zweiseitig aufgebaut. Da sich die verschiedenen Kompetenzbereiche nicht strikt voneinander trennen lassen, sondern lediglich fachwissenschaftliche Kompetenzen widerspiegeln, werden diese in der Spalte „Erwartete Kompetenzen“ dargestellt. Alle in der Spalte genannten Teilkompetenzen sind verpflichtend.

Didaktische und methodische Hinweise finden Sie in der Rubrik „Allgemeine Hinweise und Vorschläge“. Sie liefern ergänzende Erläuterungen zur Umsetzung von Kompetenzen, mögliche Experimente, Hinweise zur didaktischen Umsetzung sowie thematische Verknüpfungen zu anderen Kapiteln des Lehrplans und möglichen Grenzen der wissenschaftlichen Tiefe. Zur Erleichterung der Unterrichtsplanung finden Sie im Anhang Umsetzungsbeispiele.

Die Operatoren helfen bei der Umsetzung im Unterricht, die erwartete Kompetenzen zu erreichen.

Der Lehrplan enthält Hinweise für die praktische Arbeit. Bei allen praktischen Arbeiten sind die gesetzlichen Sicherheitsvorschriften strikt einzuhalten.

2.1 ZELLEN ALS STRUKTURELLE UND FUNKTIONELLE EINHEIT ALLER LEBEWESSEN

Ziel dieses Teils ist es, einige Aspekte der Einheit der Lebewesen durch ihre Organisation, ihre Molekülbestandteile und die für Lebewesen spezifischen Mechanismen des Austauschs von Stoffen und Energie aufzuzeigen. Im Unterricht verwenden und erklären die Schülerinnen und Schüler die Technologien, die zur Beobachtung und Beschreibung von Lebewesen verwendet werden (z. B. optische und elektronische Mikroskope).

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Alle Lebewesen bestehen aus Zellen.	
Die Schülerinnen und Schüler nennen die an der Vielfalt des Stoffwechsels beteiligten Zellen (Gärung, Atmung, Photosynthese),	
vergleichen eine Vielfalt von Zellen auf verschiedenen Ebenen, um ihre Eigenschaften zu beschreiben (Zellen von Eubakterien, pflanzlichen und tierischen Eukaryoten, Zellwand, Zellmembran, Vakuole, Chloroplasten, Mitochondrium, Zellkern, Ribosom, Lysosom, Golgi-Apparat, endoplasmatisches Retikulum,	
	- ein optisches Mikroskop verwenden - Überlegungen mit den SuS anstellen über die geeignetste Methode um die mikroskopischen Untersuchungsergebnisse festzuzahlen und zu kommunizieren, z.B. tierische und

	pflanzliche Zellen anhand mikroskopischer Proben: Mundschleimhaut, Elodea, Mooszellen optische Beobachtungen mit Elektronenmikroskopie erweitern
beschreiben das Strukturmodell von Biomembranen: Fluidmosaikmodell: Phospholipid, Doppellipidschicht, Transmembranprotein, periphere Proteine, integrale Proteine,	- Hinzuziehen von geeigneten Abbildungen (z. B. Modellzeichnungen, elektronenmikroskopische Bilder). - Das Phospholipidmolekül, der Grundbaustein der Doppellipidschicht, muss als Modell („Kopf-Schwanz-Modell“) gezeichnet werden, siehe Anhang (1).
erklären die Eigenschaften der Doppellipidschicht anhand lipophiler/hydrophober oder lipophober/hydrophiler Eigenschaften,	
nennen die Funktionen von Biomembranen (Kompartimentierung, Stofftransport, Kommunikation),	
erklären die Mechanismen des Stofftransports zwischen dem intrazellulären Kompartiment und der extrazellulären Umgebung,	
vergleichen Diffusion und Osmose (= Diffusion durch eine semipermeable Membran) als passive Transportmechanismen,	
erklären die osmotischen Prozesse des täglichen Lebens,	
führen ein Experiment zur Plasmolyse und Deplasmolyse durch und werten es aus,	
beschreiben die Prozesse der Endozytose und Exozytose als aktiven Transportmechanismus,	zu nennen sind die Organellen, die die Exo- und Endozytose durchführen (Vesikel, Lysosom).
geben die Summengleichung und die Wortgleichung für die Zellatmung an: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 H_2O + 6 CO_2 + \text{Energie (in Form von ATP)}$,	das erworbene Wissen der Mittelstufe wiederholen
beschreiben und skizzieren die Struktur eines Mitochondriums (innere und äußere Mitochondrienmembran, Matrix, Zwischenmembranraum, Cristae, DNA),	Prinzip der Oberflächenvergrößerung und Kompartimentierung
erklären die Universalität des ATP-Moleküls als Stoffwechselzwischenprodukt im Zusammenhang mit Energieübertragungen.	- Die Phosphatgruppe kann durch P_i oder ein eingekreistes P dargestellt werden - Eine schematische Darstellung der ATP-Struktur wird empfohlen, siehe Anhang (2) - Beispiele für die Gleichung für die Hydrolyse von ATP zu ADP und P_i sowie für die Phosphorylierung von AMP zu ATP, $ATP \rightleftharpoons ADP + P_i$ gekoppelt mit Stoffwechselreaktionen geben

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
-----------------------	------------------------------------

die Chloroplastenstruktur beschreiben und skizzieren (innere und äußere Membran, Stroma, Grana, Thylakoid, Stärkekorn, Intermembranraum, DNA),	Prinzip der Oberflächenvergrößerung und Kompartimentierung
die Summengleichung und die Wortgleichung für die Photosynthese angeben: $6 \text{H}_2\text{O} + 6 \text{CO}_2 + \text{Energie (in Form von Sonnenlicht)} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2$,	Die Bedeutung der Photosynthese als Grundlage der meisten terrestrischen Nahrungsnetze und damit der Biosphäre sowie die Bedeutung von Cyanobakterien als ersten photosynthetisch aktiven Organismen können diskutiert werden.
den beiden Stoffwechselvorgängen die Begriffe heterotroph und autotroph zuordnen,	
schematisch den Zusammenhang zwischen Photosynthese und Zellatmung darstellen,	Hier kann die Energieumwandlung von Sonnenlicht in ATP wieder aufgegriffen werden.
anhand historischer Experimente zeigen, dass der Zellkern wie andere Zellorganellen genetisches Material (DNA) enthält.	Hämmerlings <i>Acetabularia</i>-Experimente können als Beispiel dienen, um die Kernfunktion von Zellen zu erkennen.

2.2 MOLEKULARE GRUNDLAGE GENETISCHER INFORMATIONEN: DNA

Die Schülerinnen und Schüler wissen seit der 9. Klasse von der Existenz des DNA-Moleküls. Ziel ist es, ihr Wissen zu erweitern und zu zeigen, wie dieses Molekül Informationen transportieren kann. Dies führt zum Verständnis, wie Mutationen unterschiedliche Versionen der Informationen hervorrufen, die von einem Gen getragen werden können.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Genetische Informationen finden sich im Zytoplasma von Eubakterien und im Zellkern in Form von Chromosomen in eukaryotischen Zellen:	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben den Aufbau eines Chromosoms (Chromatin, (Schwester)Chromatid, Zentromer (Kinetochor), , Nukleosom, DNA-Strang),	Hier können die Begriffe Zentromer (Kinetochor) und (Schwester)Chromatid in einer Zeichnung des Chromosoms dargestellt werden.
beschreiben den Gesamtkaryotyp aller Chromosomen,	
- beschreiben die Struktur der DNA nach Watson-Crick: - im Skelett bestehend aus Phosphat und Zucker, - zwei komplementäre Stränge, - Basenpaarung A(denin) – T(hymin) über zwei Wasserstoffbrückenbindungen und C(ytosin) – G(uanin) über drei Wasserstoffbrückenbindungen,	- Zucker, Phosphat und Basen sollten schematisch dargestellt werden, z.B. wie ein Kreis, ein Fünfeck...; keine vertiefte Betrachtung der Molekülstruktur (Strukturformeln) - Die Wasserstoffbrückenbindung kann durch eine gepunktete Linie dargestellt werden. - Erstellen eines DNA-Modells (einfaches Schema)
beschreiben ein Gen als Teil eines DNA-Abschnittes, der verschlüsselt genetische Informationen liefert,	

• vergleichen die DNA-Basensequenzen mutierter und nicht mutierter Gene und schließen daraus, dass genetische Mutationen eine Veränderung der Basensequenz darstellen,	
• beschreiben Mutationen als zufällige, ungerichtete Veränderungen an Genen, die weitergegeben werden können,	• Software verwenden, um DNA-Sequenzen zu vergleichen und verschiedene Arten von Mutationen zu identifizieren.
• Stellen Mutationen als Voraussetzung für evolutionäre Prozesse und als Ursache für Krankheiten dar,	
• nennen Beispiele für physikalisch-chemische Mutagene, die allgemein die Wahrscheinlichkeit erhöhen, dass Mutationen auftreten.	

2.3 ÜBERTRAGUNG GENETISCHER INFORMATIONEN

Da die molekulare Struktur nun bekannt ist, soll in diesem Teil des Lehrplans auf zellulärer und molekularer Ebene erklärt werden, wie während der Mitose genetische Informationen an die beiden Tochterzellen weitergegeben werden können.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Jede Zelle führt einen Zellzyklus einschließlich Replikation und Zellteilung (Mitose) durch.	
Die Schülerinnen und Schüler • erklären den Prozess der semikonservativen Replikation über komplementäre Basenpaarung anhand von Abbildungen,	• Die Auswertung historischer Experimente zur DNA-Replikation kann betrachtet werden. • Es können die Begriffe Replikationsgabel, Leitstrang/Folgestrang genannt werden.
• erläutern die Entstehung von Tochterzellen mit identischem genetischem Material durch Mitose und die Bedeutung der Mitose,	• Schematische Darstellung der verschiedenen Phasen (Prophase, Metaphase, Anaphase, Telophase) • Die Mitose von Knoblauchwurzelzellen kann unter einem Mikroskop beobachtet werden, ergänzt durch kommerzielle Präparate.
• benennen die Phasen des Zellzyklus und die Bedeutung der Replikation für den Zellzyklus beurteilen: Interphase, Mitose, G-Phase, S-Phase.	• Der DNA-Gehalt während des Zellzyklus lässt sich grafisch darstellen und erklären. • Es können Animationen des Zellzyklus verwendet werden.

2.4 AMINOSÄUREN UND PROTEINE

Dieser Teil des Lehrplans ermöglicht es, durch die Untersuchung von Proteinen die verschiedenen Strukturebenen und die Zusammenhänge zwischen der Struktur dieser Moleküle und ihren Funktionen aufzuzeigen. Durch geeignete Beispiele können Verknüpfungen zu anderen Teilen des Lehrplans hergestellt werden.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Proteine sind Makromoleküle, die grundlegende	

und vielfältige Funktionen in Lebewesen erfüllen; sie geben die Hauptfunktionen von Proteinen im Körper an: Strukturprotein, Transportprotein, Enzym, Antikörper.	
Die Schülerinnen und Schüler zeichnen die allgemeine Struktur (Formel) einer Aminosäure,	Ein zentrales Kohlenstoffatom ist an eine Aminogruppe (— NH_2), eine Säuregruppe (— COOH), ein H-Atom und einen variablen Rest (R) gebunden, der die chemischen Eigenschaften bestimmt, siehe Anhang (3)
beschreiben die Peptidbindung in (allgemeinen) Strukturformeln,	Modelldarstellung der Peptidbindung (Alanin/Glycin) nach der „Lasso-Methode“, siehe Anhang (4)
beschreiben die Strukturebenen von Proteinen: Primärstruktur, Sekundärstruktur, Tertiärstruktur, Quartärstruktur,	- Einsatz von künstlicher Intelligenz zur Modellierung der dreidimensionalen Struktur von Proteinen. - Proteinnachweisreaktionen (Ninhydrin-Reaktion, Biuret-Reaktion, Xanthoprotein-Reaktion) können experimentell durchgeführt werden.
Führen ein Experiment zur Proteindenaturierung (Eiweißdenaturierung) durch Hitze durch und werten es aus.	weitere Möglichkeiten: Wirkung von Säuren/Laugen und Salzen

3. Lerninhalte – 11. und 12. Klassen

Première (3h)	Terminale (3h)
Die Verteilung erlaubt eine Vermittlung der unterschiedlichen Kompetenzen einschließlich der experimentellen Kompetenzen.	Die Verteilung erlaubt eine Vermittlung der unterschiedlichen Kompetenzen einschließlich der experimentellen Kompetenzen.
3.1.1.	
	3.1.2. à 3.1.3.
3.2.1.	3.2.2.
3.3.1 à 3.3.3	3.3.4 et 3.4.
3.5	
3.6.1 à 3.6.3	3.6.4. à 3.6.8

Der Lehrplan ist zweispaltig aufgebaut. Da sich die verschiedenen Kompetenzbereiche nicht strikt voneinander trennen lassen, sondern lediglich fachwissenschaftliche Kompetenzen widerspiegeln, werden diese in der Spalte „Erwartete Kompetenzen“ dargestellt. Alle in der Spalte genannten Teilkompetenzen sind verpflichtend.

Didaktische und methodische Hinweise finden Sie in der Rubrik „Allgemeine Hinweise und Vorschläge“. Sie liefern ergänzende Erläuterungen zur Umsetzung von Kompetenzen, mögliche Experimente, Hinweise zur didaktischen Umsetzung sowie thematische Verknüpfungen zu anderen Kapiteln des Lehrplans und möglichen Grenzen der wissenschaftlichen Tiefe. Zur Erleichterung der Unterrichtsplanung finden Sie im Anhang Umsetzungsbeispiele.

Die Operatoren helfen bei der Umsetzung im Unterricht, die erwartete Kompetenzen zu erreichen.

Der Lehrplan enthält Hinweise für die praktische Arbeit. Bei allen praktischen Arbeiten sind die gesetzlichen Sicherheitsvorschriften strikt einzuhalten.

3.1 STOFFWECHSEL UND ENERGIEUMWANDLUNGEN

Dieser Teil des Lehrplans zeigt die Rolle von Enzymen in biologischen Prozessen. Es werden anabole und katabole Prozesse und deren Kopplungen, die Energieumwandlungen innerhalb von Zellen ermöglichen, behandelt.

3.1.1 ENZYME

Durch im Unterricht durchgeführte Experimente können die Eigenschaften von Enzymen nachgewiesen werden. Besonderes Augenmerk wird auf den Zusammenhang gelegt, der zwischen den auf molekularer

Ebene ablaufenden Mechanismen und ihren Auswirkungen auf andere Organisationsebenen besteht. Dies ist eine Gelegenheit, den Schülerinnen und Schülern den Einsatz von Enzymen in der Biotechnologie, die damit verbundenen Berufe und die Ausbildungsgänge vorzustellen, die in Europa derzeit von Nachwuchsmangel betroffen sind.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Enzyme sind für das Funktionieren des Stoffwechsels unerlässlich.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Struktur eines Enzyms im Modell,	- Cofaktor, Coenzym, aktives Zentrum - Sobald der Lehrplan es zulässt, können die Begriffe, die mit Enzymen in Verbindung stehen, wieder aufgegriffen werden. Eine andere Bildungsstrategie kann darin bestehen, Enzyme entsprechend den Bedürfnissen der anderen Teile anzugehen und dann am Ende des Jahres ein Wiederholungskapitel zu verfassen.
erklären anhand von Experimenten die Rolle von Enzymen als Biokatalysatoren,	- Wiederholung 10./2nd Klassenstufe - Experimente mit Wasserstoffperoxid - Schlüssel-Schloss-Modell; induced-fit-Modell - Fehleranalyse und Fehlerdiskussion von Experimenten durchführen
setzen die katalytische Wirkung mit den Eigenschaften von Enzymen in Beziehung (Substratspezifität, Konsequenzen von variablen Faktoren: pH-Wert, Temperatur (RGT-Regel/Van t`Hoff-Regel)),	
beschreiben und interpretieren Diagramme zum Einfluss der enzymatischen Aktivität in Abhängigkeit von verschiedenen Bedingungen,	
führen eine enzymatische Reaktion mit kompetitivem und nichtkompetitivem Inhibitor (Hemmstoff) durch,	Digitale Tools ermöglichen: - Simulation enzymatischer Reaktionen, bei denen der Einfluss von Umweltfaktoren gezeigt wird - Animationen zur Visualisierung der Enzym-Substrat-Beziehungen - Digitale Tools können Experimente unterstützen, aber nicht ersetzen.
zeigen anhand von Experimenten die Rolle von Enzymen in den beiden Hauptarten des Stoffwechsels (Anabolismus und Katabolismus),	
stellen die Kopplung von Oxidationen und Reduktionen durch die Coenzyme $\text{NADP}^+/\text{NADPH} + \text{H}^+$ bzw. $\text{NAD}^+/\text{NADH} + \text{H}^+$ schematisch anhand eines Pfeildiagramms dar.	Die Konzepte Oxidation und Reduktion sollten als Abgabe bzw. Aufnahme von Elektronen betrachtet werden.

3.1.2 ENERGIEUMWANDLUNG UND ZELLATMUNG

In diesem Teil wird die Atmung als erstes Beispiel der Energieumwandlung in der Zelle besprochen. Dabei geht es darum, die Rolle der Kompartimentierung auf der Ebene von Zellen und einer Organelle zu zeigen: den Mitochondrien.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Bei der Atmung finden Energieumwandlungen durch Oxidation organischer Stoffe und Bildung von ATP statt.	
Die Schülerinnen und Schüler • verknüpfen Stoffwechselreaktionen und die Strukturen, in denen sie in den Mitochondrien stattfinden.	• Aus historischen Experimenten nachzuweisender Schritt: Glykolyse, oxidative Decarboxylierung (Acetyl-CoA-Bildung), Citratzyklus/Zitronensäurezyklus und Atmungskette (Endoxidation) • Wiederholung Mitochondrien 10./2nd Klassenstufe • Auswerten von Experimenten zur Hemmung der Atmungskette,

3.1.3 ENERGIEUMWANDLUNG UND PHOTOSYNTHESE

Die Photosynthese bildet die Grundlage für die meisten Nahrungsnetze. Ihre Bedeutung innerhalb der Strukturierung eines Ökosystems zeigt sich in den verschiedenen Maßstabsebenen: Indem die Schülerinnen und Schüler die Mechanismen innerhalb des Chloroplasten, eines Organells, verstehen, können sie die Rolle dieses Stoffwechsels auf unterschiedlichen Ebenen des Lebens nachvollziehen.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • demonstrieren experimentell: - die Freisetzung von Sauerstoff in Gegenwart von Licht und unter den erforderlichen Umgebungsbedingungen, - Trennung von Chlorophyllpigmenten (Chromatographie), - Vergleich des Wirkungsspektrums und Absorptionsspektrums von Chlorophyll, - Chlorophyllfluoreszenz und ihre Hemmung durch Zugabe eines Elektronenakzeptors, - die Rolle von Elektronenakzeptoren bei der Funktion der Photosynthesekette (Hill-Reaktion),	• Glimmspanprobe • Computergestützte Experimente können mit dem EXAO-Orphy-System durchgeführt werden: • Elodea in destilliertem Wasser, Leitungswasser und CO₂-angereichertem Wasser • Elodea in Leitungswasser mit und ohne Licht • Elodea in Leitungswasser mit und ohne Infrarotlampe (je nach Temperatur) • Sauerstoffsammlung und -nachweis in Elodea
• erklären anhand von Diagrammen den Zusammenhang zwischen dem Absorptions-	

spektrum von Chlorophyll und dem Wirkungsspektrum der Photosynthese,	
• zeigen Beispiele für die Anpassung von Chlorophyllpflanzen an verschiedene Lebensumgebungen,	Lichtpflanzen, Schattenpflanzen,
• beschreiben die Photolyse von Wasser,	• Photolyse von Wasser: Es entsteht Sauerstoff, der aus dem Wasser und nicht aus der Glucose kommt
• beschreiben die Produktion von reduzierten Molekülen während der Lichtphase, die im Calvin-Zyklus verwendet werden,	• Photoreaktion (Lichtreaktion) und Calvin-Zyklus (lichtunabhängige Synthesereaktion) • ohne genauen Redoxsysteme
• beschreiben den Vorgang als Kopplung,	
• stellen schematisch die wesentlichen Phasen des Calvin-Zyklus dar,	• C-Körper-Diagramm des Calvin-Zyklus mit Phasen der Fixierung, Reduktion und Regeneration
• Stellen schematisch die Kopplung der beiden Reaktionen innerhalb des Chloroplasten dar,	• z.B. „Black-Box-Diagramm“ siehe Anhang (5)
• erläutern die Abhängigkeit der Photosyntheserate von abiotischen Faktoren,	• Experimente mit <i>Elodea</i> (Bläschenzählmethode) durchführen • entsprechende Diagramme auswerten
• vervollständigen die Bilanzgleichung der Photosynthese, und geben dabei an, dass 2 % der empfangenen Lichtenergie von der Pflanze verbraucht werden,	
• zeigen den Zusammenhang zwischen der Produktion organischer Substanz während der Photosynthese und ihrer Oxidation zur Energieerzeugung während der Atmung auf.	

3.2 ARTENVIELFALT UND ÖKOSYSTEM

Ziel dieses Teils des Lehrplan ist es, die dynamische Funktionsweise eines Ökosystems in seinen räumlichen und zeitlichen Dimensionen zu verstehen. Dies ist eine Gelegenheit, die von Ökosystemen erbrachten Leistungen hervorzuheben. Ökosysteme reagieren auf Störungen, auch auf solche, die vom Menschen verursacht werden: das Konzept der Resilienz.

3.2.1 STRUKTUREN UND WECHSELWIRKUNGEN IM ÖKOSYSTEM

Die Schülerinnen und Schüler können in die Verantwortung genommen werden, indem man sie dazu verpflichtet, eine Exkursion zu organisieren.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Ein Ökosystem besteht aus einem Biotop und einer Biozönose.	
Die Schülerinnen und Schüler	• z.B. Ökosystem, Fluss, See, Meer, Hecke...

wählen ein Ökosysteme aus, um die Merkmale eines Ökosystems und ihre Besonderheiten (Biotop, Biozönose, abiotische Faktoren, biotische Faktoren) zu ermitteln,	die Schülerinnen und Schüler eine Exkursion in ein Ökosystem planen lassen.
erläutern, dass Biodiversität auf verschiedenen Ebenen definiert wird: von der genetischen Information bis zur Ebene der Ökosysteme	Genetische Variabilität, Artenvielfalt, Ökosystemvielfalt
beschreiben und vergleichen den Einfluss eines abiotischen Umweltfaktors auf die Verbreitung verschiedener Arten,	- Basierend auf den Daten sollen physiologische und ökologische Aktivitäten untersucht werden (ökologische Potenz, Toleranzkurven, Indikator(Zeiger)arten. - Ziel ist es, das Erstellen und Interpretieren von Diagrammen zu üben.
stellen Nahrungsnetze grafisch dar,	- Pfeildiagramme üben - An dieser Stelle kann eine Kritik an der Darstellung geübt werden.
erklären das Konzept der ökologischen Nische (Hutchinson-Nische), der realen und fundamentalen Nische und des Prinzips des Konkurrenzausschlusses,	
untersuchen die Interaktionen zwischen Lebewesen: Konkurrenz, Symbiose, Parasitismus, Räuber-Beute-Beziehungen,	ohne LOTKA-VOLTERRA-Regeln
beschreiben die Pyramiden in Bezug auf Biomasse und Energie in einem Ökosystem,	- Der Energieverlust von trophischer Ebene zu trophischer Ebene muss betrachtet werden. - Auf die unterschiedlichen Ernährungsformen (Allesfresser, Vegetarier, Veganer) aus energetischer Sicht kann eingegangen werden.
Stellen einen biogeochemischen Kreislauf dar: Kohlenstoffkreislauf.	

3.2.2 ÖKOSYSTEME UND MENSCHLICHER EINFLUSS

Dieser Teil des Lehrplans ermöglicht es, Projektansätze im formellen und informellen Kontext der Schule umzusetzen und außerhalb der Schule zu tragen:

- sich an Citizen-Science-Programmen beteiligen;
- sich in nachhaltigen Bildungsprojekten zum Beispiel im Bereich Biodiversität, Ernährung und Mobilität engagieren.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler - stellen den Eingriff des Menschen in Ökosysteme und deren Folgen dar: - ermitteln Folgen einer erhöhten	Einsatz von Düngemitteln, Ausbringen von Schadstoffen, Veränderung der

Stickstoffversorgung, - beschreiben Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts, - erklären Folgen endokriner Disruptoren (hormonartiger Substanzen),	Wassertemperatur usw. • Die von den Schülerinnen und Schülern vorgeschlagenen Beispiele sollen nach Möglichkeit verwendet werden. • z.B. Bisphenol A, Dioxin, Arzneimittel-, organische Chlorverbindungen, PFA
---	--

3.3 KOMMUNIKATION IM ORGANISMUS

In diesem Teil des Lehrplans werden die beiden Hauptkommunikationsarten im Körper untersucht: die nervöse und die hormonelle Kommunikation. Es handelt sich um einen Teil des Lehrplans, der sich für die Durchführung von Gesundheitserziehung und Risikoprävention eignet.

3.3.1 NERVENSYSTEM: STRUKTUR UND FUNKTION

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • vergleichen eine Reiz-Reaktionskette und einen Reflexbogen sowie die beteiligten Strukturen,	• Reiz-Reaktionsketten erstellen (z. B. einen Ball fangen), siehe Anhang (6) • Schematische Darstellung eines Reflexbogens, z.B. Muskeldehnungsreflex mit afferenten und efferenten Bahnen • Mikroskopische Untersuchung eines Abschnitts des Rückenmarks • Computergestützte experimentelle Untersuchung eines Muskeldehnungsreflexes (Sehnenreflex) • Reflex: unwillkürliche Reaktion auf einen Reiz, die nicht vom Gehirn kontrolliert wird, also die schnelle und stereotype Reaktion auf einen Reiz
• beschreiben am Beispiel eines Motoneurons den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion (Dendriten, Zellkörper, Axon mit und ohne Myelin, Synapse).	• eine beschriftete Skizze eines Motoneurons erstellen • Mikroskopische Untersuchung von Nerven, Rückenmark, Rückenwurzel und Muskeln • kommentierte Skizzen erstellen

3.3.2 ERZEUGUNG UND ÜBERTRAGUNG VON ERREGUNGEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Erregung wird durch die Häufigkeit der Aktionspotentiale kodiert.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Messung und das Zustandekommen des Ruhepotentials (Gleichgewichtspotentials) auf der Ebene von Ionen,	Simulationsexperiment (Kammern mit unterschiedlichen Salzlösungen, getrennt durch eine selektiv ionendurchlässige Membran)
erklären den Zusammenhang Elektrischer Gradient (Ionenladung) und Konzentrationsgradient (Konzentration des betreffenden Ions auf beiden Seiten der Membran),	Untersuchung des Ruhepotenzials mithilfe von Simulationssoftware
erklären ATP-abhängige Na^+/K^+-Pumpe,	
erklären den Zusammenhang zwischen selektiver Membranpermeabilität, Ionenkonzentration und Membranpotential,	
- verknüpfen die Phasen des Aktionspotentials und Ionenbewegung: - Phasen: Depolarisation, Repolarisation, Hyperpolarisation, Refraktärzeit (absolut und relativ), - von der Membranpotentialdifferenz abhängige Ionenkanäle am Axon, - Aufrechterhaltung einer ungleichmäßigen Ionenverteilung durch die ständig aktive und ATP-abhängige Na^+/K^+ - Pumpe, - Alles-oder-Nichts-Gesetz,	- Untersuchung der Kodierung einer elektrischen Nachricht auf der Ebene einer Nervenfasern - Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Ionenkonzentrationen, Membranpermeabilität oder ATP-Mangel auf die Bildung eines Aktionspotentials - Untersuchung eines Aktionspotentials mit einem Simulationsprogramm
vergleichen myelinisierte und nichtmyelinisierte Erregungsleitung.	Beobachtung myelinisierter oder nicht myelinisierter Nervenfasern unter einem optischen Mikroskop

3.3.3 SYNAPTISCHE ÜBERTRAGUNG UND KONSEQUENZEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Auf der Ebene der Synapsen sorgt eine chemische Substanz für die Übertragung der Erregung auf andere Zellen.	
Die Schülerinnen und Schüler	
beschreiben Synapsen und Prozesse auf zellulärer Ebene,	
beschreiben Synapsen und Prozesse auf zellulärer Ebene,	z.B. Gifte, Drogen, Medikamente, Alkohol und Reaktionszeiten (Gesundheitserziehung und Risikoprävention)
erklären die Erregungsübertragung auf der Ebene einer interneuronalen (erregenden) Synapse auf der Ebene von Ionen: AP, Ca^{2+}-Kanäle, präsynaptische Vesikel, synaptischer Spalt, prä- und postsynaptische Membran, Rezeptoren und Ionenkanäle auf der postsynaptischen Membran, Inaktivierung des Neurotransmitters Resynthese des Neurotransmitters.	- ausgewählter Neurotransmitter: Acetylcholin - Der Unterricht kann erweitert werden, indem die Auswirkungen exogener Substanzen auf die Funktionsweise der Synapse ermittelt werden (Gesundheitserziehung und Risikoprävention).

3.3.4 DIE FUNKTION DES NERVENSYSTEMS MODULIEREN

Die Plastizität des Gehirns ist eine allgemeine Eigenschaft des Nervensystems.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler	
nennen die Abschnitte des Gehirns und ihre Funktion,	
nennen die Funktionen der verschiedenen Gedächnistypen: Arbeitsgedächtnis (Kurzzeitgedächtnis), semantisches Gedächtnis und episodisches Gedächtnis, zwei Systeme der bewussten Langzeitrepräsentation und prozedurales Gedächtnis,	- Das Wahrnehmungsgedächtnis ist mit verschiedenen Sinnesmodalitäten verbunden. - die Gedächtnisleistung anhand verschiedener, aber auch gleichzeitiger Sinneskanäle (haptisch, optisch, akustisch) vergleichen (Lerntypentest)
erklären die Funktionsweise des Belohnungssystems erklären,	Transmitter Dopamin (Dopaminabhängige Synapsen)
erläutern die Wirkung von Suchtmitteln auf das Belohnungssystem anhand eines Beispiels.	- z.B. Nikotin, Alkohol, THC - Der Konsum von Suchtmitteln und die entsprechende Legalisierung können hier ebenso besprochen werden wie Präventionsmaßnahmen.

3.4 HORMONE

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
-----------------------	------------------------------------

Die hormonelle Kontrolle über Hormone erfolgt über Moleküle, die von endokrinen Drüsen produziert, im Blut transportiert werden und auf Zielzellen wirken.	
Die Schülerinnen und Schüler • vergleichen die Signalübertragung durch das endokrine System und das Nervensystem und erklären anschließend die Wechselwirkung zwischen hormoneller und neuronaler Steuerung am Beispiel der Neurotransmitter Adrenalin und Noradrenalin,	• Übertragungsgeschwindigkeit, Art der Signale, Ort der Übertragung, beteiligte Zellen/Substanzen, Wirkung • Hormone können als Neurotransmitter wirken und umgekehrt. Die Aktivität der endokrinen Drüsen wird in vielen Fällen vom ZNS (Hypothalamus) gesteuert.
- lokalisieren am Beispiel der Regulation von Sexualhormonen die Sekretionsorte von Hormonen und erklären auf molekularer Ebene die unterschiedlichen Wirkweisen und die Regulierung des Hormonhaushalts. - männlicher Hormonzyklus mit Sperma, konstanter Testosteronspiegel, Hoden, Hypothalamus, Hypophyse, Regelkreisprinzip, negative Rückkopplung - Eierstöcke, Eier, Eierstockzyklus, Eisprung, Befruchtung, Einnistung, Hypothalamus, Hypophyse, Regelkreisprinzip, positives oder negatives Feedback,	• Aufbau eines hormonellen Regelkreises. • Interpretation von Hormonspiegeldiagrammen • Mikroskopische Untersuchung von Abschnitten funktionsfähiger und nicht funktionsfähiger Hoden • Mikroskopische Untersuchungen der Eierstöcke und der Gebärmutter zu verschiedenen Zeitpunkten des Zyklus
• erklären Methoden der Empfängnisverhütung und der medizinisch unterstützten Fortpflanzung,	• Antibabypille, Hormonspirale, Hormonpflaster • Die Temperaturmethode kritisch untersuchen...
• betrachten Verhütungsmethoden und medizinisch unterstützte Fortpflanzung unter rechtlichen und ethischen Aspekten.	

3.5 ZELLULÄRE ZUSAMMENARBEIT: BEISPIEL IMMUNSYSTEM

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben die Merkmale und den Bau der bakteriellen und viralen Organismen,	• gegebenenfalls Vergleich Lehrpläne Sek I
• beschreiben die Arten der viralen und bakteriellen Reproduktion: - Bakterienteilung - Virusreplikation: schematische Darstellung des lysogenen und lytischen	• zum Beispiel Corona-Virus, Grippevirus, HI-Virus • z. B. Salmonellen; basierend auf der Bakterienwachstumskurve, z.B. Salmonellen, exponentielle Wachstumsphasen erklären: log-Phase, lag-Phase, Absterbephase

Zyklus	
beschreiben Infektionsbarrieren,	- Darm: beherbergt Immunzellen - Haut: physische Barriere - Darmepithel und Mikrobiota: sorgt für Resistenz gegen fremde Bakterien - z.B. Vorteil des sorgfältigen Händewaschens mit Reinigungsmitteln - Nutzung von eBug-Site-Ressourcen
erläutern Maßnahmen zur Vorbeugung von Infektionskrankheiten,	
beschreiben die Schritte, in denen ein Mikroorganismus Barrieren überschreitet: Entzündung nach einer Hautläsion: Infektion, Inkubationszeit, Phagozytose, Makrophage (Phagozyten), Krankheit, Entzündung, Heilung,	
beschreiben Synthese und Reifung der B-Lymphozyten und T-Lymphozyten (Immunzellen),	- Betrachtung von Blutzellen: Erythrozyten, Blutplättchen, Leukozyten, Lymphozyten, Helfer-T-Zellen, Suppressor-T-Zellen, Killer-T-Zellen, B-Zellen, Plasmazellen, Gedächtniszellen - Ein tabellarischer Vergleich der verschiedenen Immunzellen wird empfohlen. - Erstellen von Pfeildiagrammen
beschreiben die Bedeutung der Lymphknoten als Organ der Interaktionen zwischen Infektionserregern und Immunzellen,	
beschreiben anhand eines Beispiels die erworbene Immunantwort als Interaktion auf zellulärer Ebene (Makrophagen, T- und B-Lymphozyten (Erkennungsphase, Differenzierungsphase, Wirkphase, Abschaltphase),	- einen Präzipitintest durchführen - das Schlüssel-Schloss-Prinzip auf die Antigen-Antikörper-Reaktion anwenden
- erklären das Immungedächtnis und seine Bedeutung, - Erste Infektion, zweite Infektion, erste und zweite Immunantwort, - Rolle von Gedächtniszellen,	Diagrammanalyse
erklären und vergleichen die Vorgänge bei der passiven und aktiven Impfung (Zeitpunkt der Impfung, Impfschutz und Serumzusammensetzung),	z.B. Corona-Impfung während der Covid-Pandemie
diskutieren und bewerten Impfungen hinsichtlich ihrer individuellen und gesellschaftlichen Bedeutung.	

3.6 EVOLUTION

3.6.1 DIE STRUKTUR DES GENETISCHEN MATERIALS

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Funktion der DNA hängt mit ihrer Struktur zusammen.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Strukturmerkmale der DNA,	- Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd Klassenstufe - die Arbeit von Watson und Crick sowie die Beiträge der Arbeit von Rosalind Franklin wiederholen - Film: „Der Wettlauf zum Ruhm“
erklären Replikationsprozesse auf molekularer Ebene (Basenkomplementarität und Rolle von Enzymen),	Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd Klassenstufe, ergänzt durch die Fragmente von Okazaki.

3.6.2 EXPRESSION GENETISCHER INFORMATIONEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Expression genetischer Informationen ist ein komplexer, mehrstufiger Prozess.	
Die Schülerinnen und Schüler - beschreiben und vergleichen die Transkription bei Eubakterien und Eukaryonten - beschreiben die Besonderheiten der mRNA: Exon, Intron, Splicing, Prä-RNA, Poly-A-Schwanz,	- kodierender Strang (transkribiert), Polymerase - Verwendung eines datenbankgesteuerten Programms zur Demonstration des Spleißens.
- die Mechanismen zur Herstellung von Proteinen aus mRNA: - erklären den Ort der Transkription in der Zelle und beschreiben den beteiligten Organellen angeben und die Besonderheiten der rRNA, - nennen Eigenschaften des genetischen Codes (Universalität, Redundanz (degeneriert), kommafrei) und bringen Basen-Triplets mit Aminosäuren in Beziehung, - beschreiben die Struktur der tRNA (Codon-Anticodon, Kleeblattstruktur), - beschreiben die Translation in Eubakterien, - Initiation, Elongation, Termination, - Proteinreifung,	- Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd - Molekulare Modelle nutzen, - Datenbanken nutzen.

• erklären die Genotyp-Phänotyp-Beziehung.	• Die Begriffe Allel und Gene müssen voneinander abgegrenzt werden. • Gen-Enzym-Merkmal, Genwirkkette, z.B. Phenylketonurie, Hautfarbe
--	---

3.6.3 MUTATIONEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Fehler oder Punktmutationen können spontan bei der DNA-Replikation oder im Zusammenhang mit mutagenen Faktoren in der Umwelt auftreten. Mutationen sind die Grundlage der genetischen Vielfalt innerhalb von Arten.	
Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben und analysieren die verschiedenen Arten von Mutationen (genetische Mutation, genomische Mutation, chromosomale Mutation) und ihre Folgen,	• das Wissen der 10./2nd Klassenstufe (Mutagene) mobilisieren wiederholen • Substitution, Insertion, Deletion, Insertion als Beispiele
• untersuchen Nukleinsäurestränge, um mögliche Mutationen (Punktmutation, Leseras-termutation) zu identifizieren und Konsequenzen auf Proteinebene abzuleiten (stille Mutation, Missense-Mutation, Nonsense-Mutation),	
• unterscheiden die Folgen einer Mutation in einer somatischen Zelle und in einer Keimzelle.	

3.6.4 BEITRÄGE DER BIOTECHNOLOGIEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • erläutern das Prinzip der Polymerase-Kettenreaktion (PCR): Taq-Polymerase, PCR-Zyklus.	• eine PCR durchführen und die Ergebnisse interpretieren, z.B. Corona-Test, HIV-Test, Vaterschaftstest, forensische Untersuchungen • Besuch eines Labors durch die Schülerinnen und Schüler

3.6.5 REKOMBINATION

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben die Phasen der Meiose und erklären ihre Folgen: diploid, haploid, Gamete (Keimzelle), Zygote,	• mikroskopische Bilder von Zellen während der Meiose ordnen, benennen und interpretieren
• stellen die Variabilität von Gameten und der daraus resultierenden Zygoten dar (3.	• Die zufällige Verteilung der väterlichen und mütterlichen Chromosomen unter den

Mendelsche Regel),	Tochterzellen führt zur Allel-Rekombination (Diversität).
• erklären die interchromosomale und intrachromosomale Vermischung anhand einfacher Diagramme und erläutern deren Bedeutung und Konsequenzen,	
• erklären die Vererbung des Geschlechts beim Menschen	
• erklären Meiosefehler und ihre Folgen,	• Turner-Syndrom, Klinefelter-Syndrom, Down-Syndrom • Beobachtung von Karyogrammen mit Anomalien
• verstehen den Genotyp und den Phänotyp verknüpfen und die Ergebnisse eines Kreuztests: - Dominanz/Rezessivität, autosomale oder gonosomale Übertragung, Kodominanz, - monohybride und dihybride Vererbung, - homozygot, heterozygot, - verwandte oder unabhängige Merkmale	• Elterngeneration, Tochtergeneration • z. B. erblich bedingt: Zungenrollen, Albinismus, kurze Finger, Hämophilie, Farbenblindheit, Blutgruppen, Mendelsche Studien an Erbsen usw. • Man muss beachten, dass herangezogene Beispiele den Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten bei der eigenen Genealogie bereiten könnten. • erstellen und interpretieren Stammbäume und leiten mögliche Vererbungsmuster nach dem Ausschlussprinzip ab.

3.6.6 EVOLUTIONSFAKTOREN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Biodiversität ist das Ergebnis evolutiver Prozesse.	
Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben die Biodiversität auf der Ebene der genetischen Vielfalt, der Artenvielfalt und der Ökosystemvielfalt,	• Aufgreifen von Wissen über Biodiversität und Organisation des Lebens anhand neuer Beispiele • einfache Methoden zur Bestimmung der Artenvielfalt in einem Biotop implementieren
• diskutieren das Artenkonzept (morphologisch, genetisch und reproduktiv), Stellen die Variation des genetischen Pools (Gesamtheit der Allele) von einer Population zur anderen der Art dar.	• Morphologisch: Eine Art besteht aus Individuen, die wesentliche physische Merkmale miteinander und mit ihren Nachkommen teilen • Populationsgenetik: Arten sind Gruppen von Populationen, deren genetisches Erbe sich von dem anderer unterscheidet. • Fortpflanzung: fruchtbare Nachkommen über mehrere Generationen hinweg.

• Erklären Veränderungen der Allelfrequenzen im Genpool einer Population mit unterschiedlichen Fortpflanzungsfähigkeiten • Erläutern, dass dieser Genpool das Substrat evolutiver Prozesse darstellt • die Rolle der genetischen Drift bei der Entwicklung des Genpools erklären	
• erläutern natürliche Selektion als Evolutionsfaktor,	• ein einfaches (Computer-)Modell verwenden, um die natürliche Selektion zu veranschaulichen • fakultativ: genetische Drift, sexuelle Selektion..
• die verschiedenen Formen der Isolation und ihre Bedeutung für Evolution und Artbildung erklären. • die verschiedenen Selektionsmodalitäten und ihre Bedeutung für die Evolution erklären.	• Geografische, reproduktive und ökologische Isolation • Allopatrische und sympatrische Artbildung • Verwendung eines einfachen (Computer-)Modells zur Veranschaulichung der geografischen Isolation • ein numerisches Modell verwenden, um die natürliche Selektion zu veranschaulichen
• erläutern die Bedeutung der synthetischen Evolutionstheorie zur Erklärung der Artenvielfalt,	• ein numerisches Modell verwenden, um die Gendrift zu veranschaulichen • Variation, Selektion, Rekombination, Mutation, Isolation, Gendrift
• Die Koevolution als Prozess gegenseitiger Anpassung zwischen zwei Arten an einem Beispiel erläutern	• z.B. Nachtfalter-Orchidee
• erklären die Bedeutung von Parasitismus, Symbiose und Räuber-Beute-Beziehungen im evolutionären Sinne.	• siehe Kapitel „Strukturen und Wechselwirkungen im Ökosystem“

3.6.7 BEZIEHUNGEN IM ZUSAMMENHANG MIT EVOLUTIONSMECHANISMEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • unterscheiden Homologe und Nicht-Homologe (analoge) Organe und stellen ihre Grenzen bei ihrer Verwendung bei der Klassifizierung von Lebewesen dar,	• Verwendung eines datenbankgesteuerten Programms zur Bestimmung des Verwandtschaftsgrads zwischen Lebewesen
• verwenden homologe und abgeleitete Merkmale, um phylogenetische Stammbaumhypothesen zu testen.	• eine hierarchische Klassifizierung mit zunehmender Verzweigung unter Rückgriff auf Merkmale aus Tier- und Pflanzensammlungen.

3.6.8 EVOLUTION DES MENSCHEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Zugehörigkeit der Hominiden zu Säugetieren und Primaten beruht auf ihren abgeleiteten Merkmalen.	
Die Schülerinnen und Schüler • vergleichen Schimpansen und verschiedene Menschenarten anhand morphologischer Merkmale und begründen die Stellung der Gattung Homo (Homo rudolfensis, Homo erectus, Homo neanderthalensis, Homo sapiens) in der Ordnung der Primaten.	• Mögliche Merkmale: Gehirnvolumen, Fortbewegung, Kiefer, Zahnbogen, Zähne, Hinterhauptloch (Foramen occipitalis), Beckengröße, Augenwülste, Fuß, Hand, Wirbelsäule.

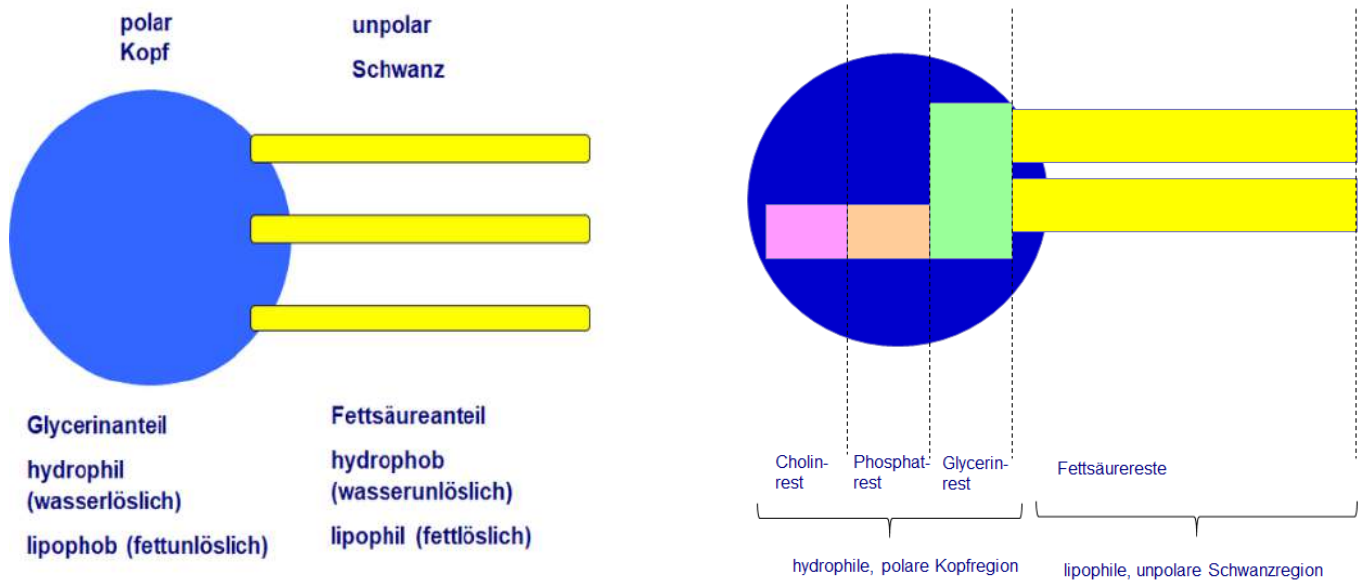
4 Operatoren

Operator	Definition
ableiten, schließen auf	auf der Grundlage von Erkenntnissen sachgerechte Schlüsse ziehen
analysieren	systemische Untersuchungen eines Sachverhaltes, bei dem Bestandteile, dessen Merkmale und ihre Beziehungen zueinander erfasst und dargestellt werden
anwenden	einen bekannten Zusammenhang oder eine bekannte Methode auf einen anderen Sachverhalt beziehen
aufstellen von Hypothesen	eine begründete Vermutung formulieren
auswerten	Daten, Einzelergebnisse oder andere Aspekte in einen Zusammenhang stellen, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen
begründen	Sachverhalte auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten beziehungsweise kausale Zusammenhänge zurückführen
beschreiben	Strukturen, Sachverhalte, Prozesse und Eigenschaften von Objekten in der Regel unter Verwendung der Fachsprache wiedergeben
bestimmen	Ergebnisse aus gegebenen Daten generieren
bewerten, beurteilen	einen Sachverhalt nach fachwissenschaftlichen oder fachmethodischen Kriterien oder einem persönlichen und gesellschaftlichen Wertebezug begründet einschätzen
darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden, Ergebnisse etc. strukturiert wiedergegeben
diskutieren	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
erklären	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen
erläutern	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen und durch zusätzliche Informationen oder Beispiele verständlich machen
interpretieren, deuten	Sachverhalte oder Zusammenhänge im Hinblick auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und abwägend herausstellen
nennen, angeben	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten, Fakten ohne Erläuterung wiedergeben
ordnen, klassifizieren. zuordnen	Begriffe, Gegenstände, etc. auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
planen	zu einem vorgegebenen Problem Lösungswege entwickeln
skizzieren	Sachverhalte, Objekte, Strukturen oder Ergebnisse auf das Wesentliche reduzieren und in übersichtlicher Weise wiedergeben
untersuchen, durchführen	Sachverhalte oder Objekte zielorientiert erkunden, Merkmale und Zusammenhänge herausarbeiten, auch experimentell
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten
zeichnen	eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung anfertigen

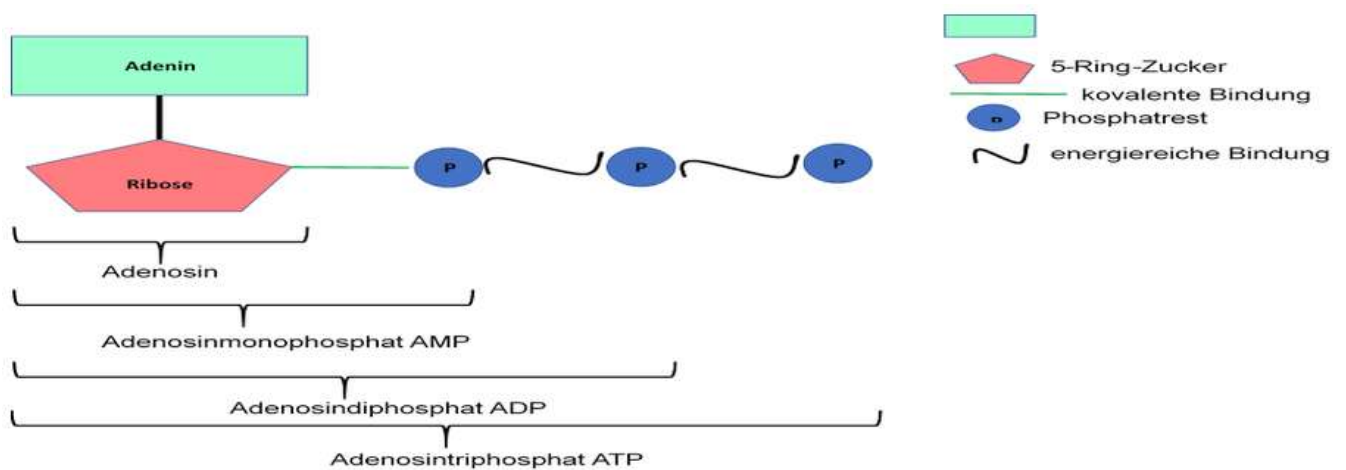
5 Anhang

(1) Lipid und

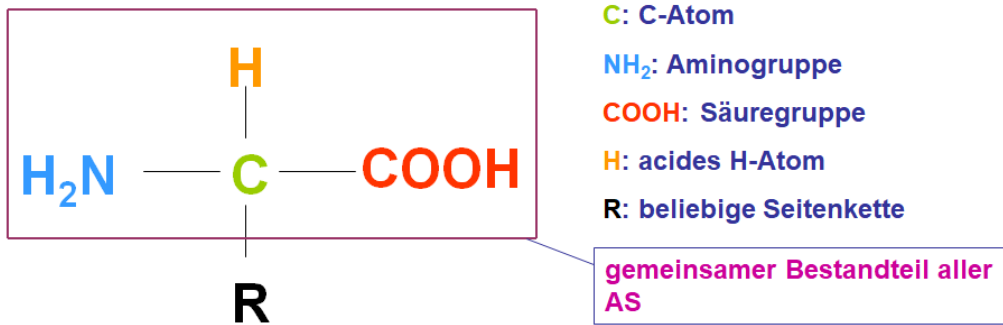
Phospholipid (Bestandteil der Membran)



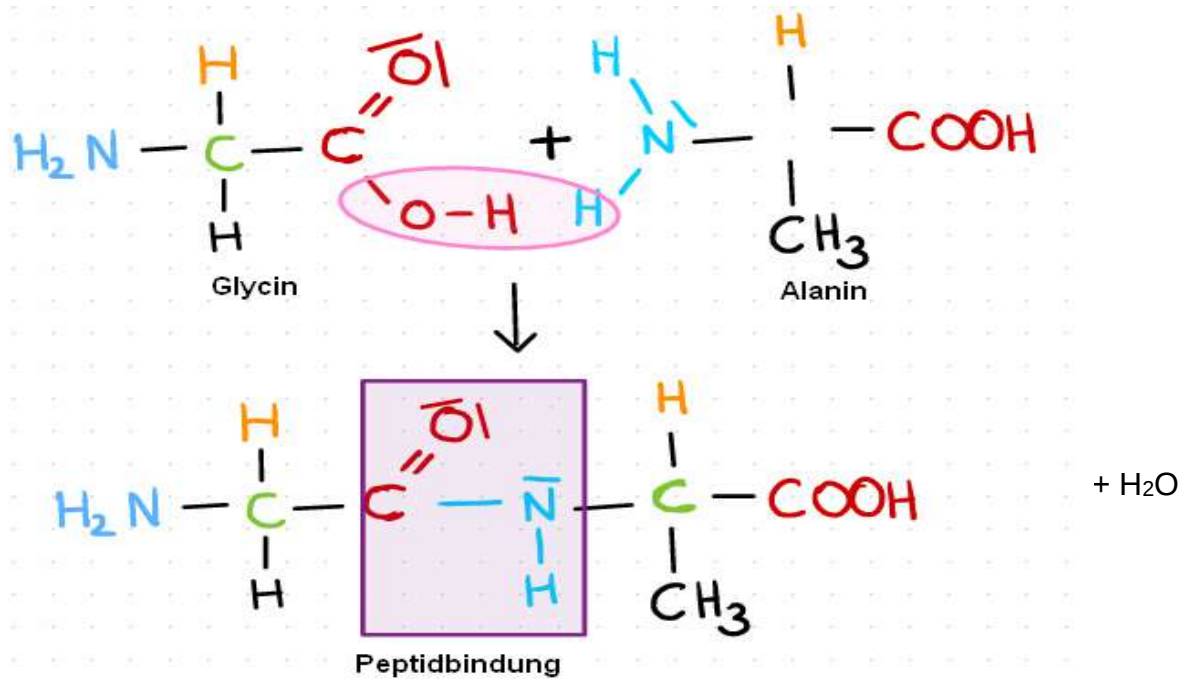
(2) Schematischer Aufbau



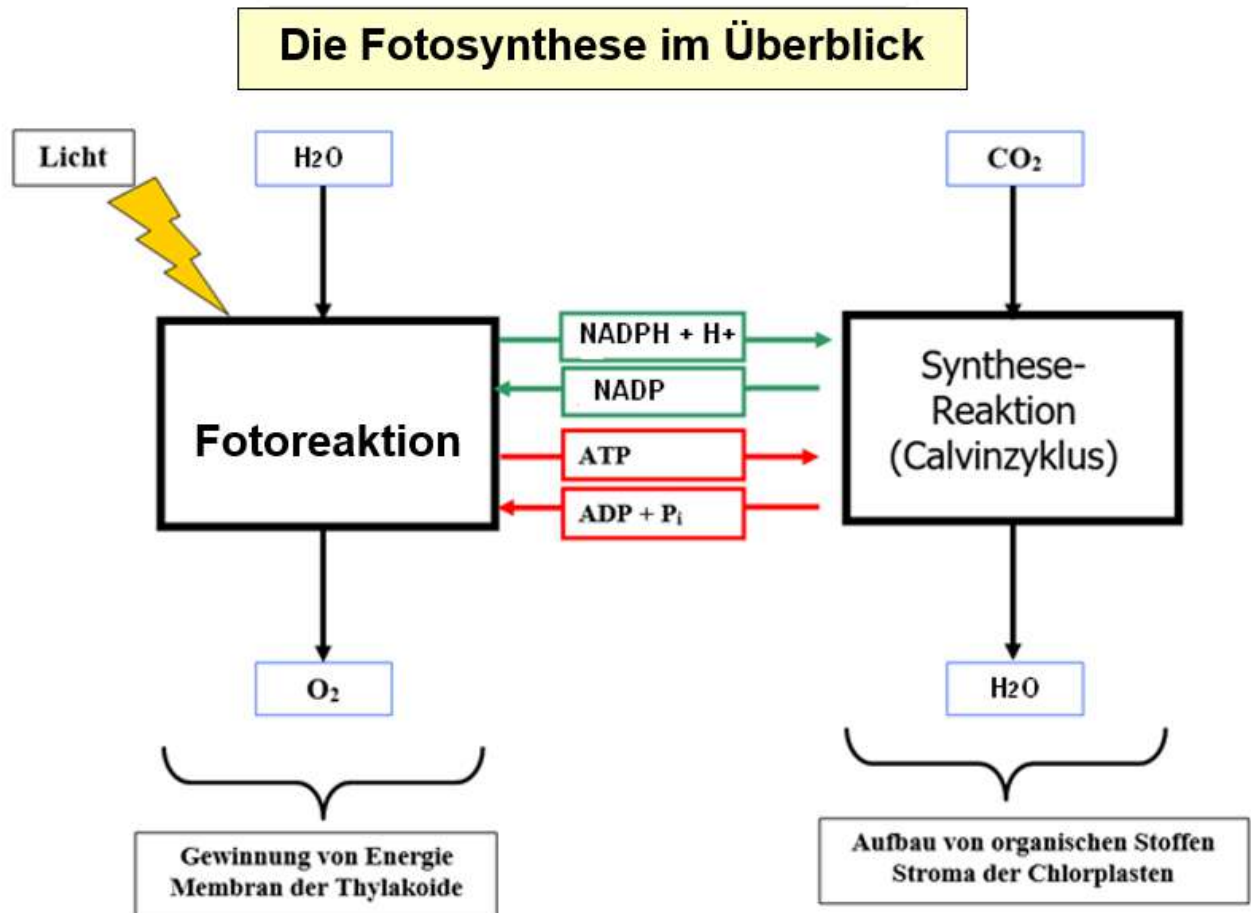
(3) Allgemeine Struktur einer Aminosäure



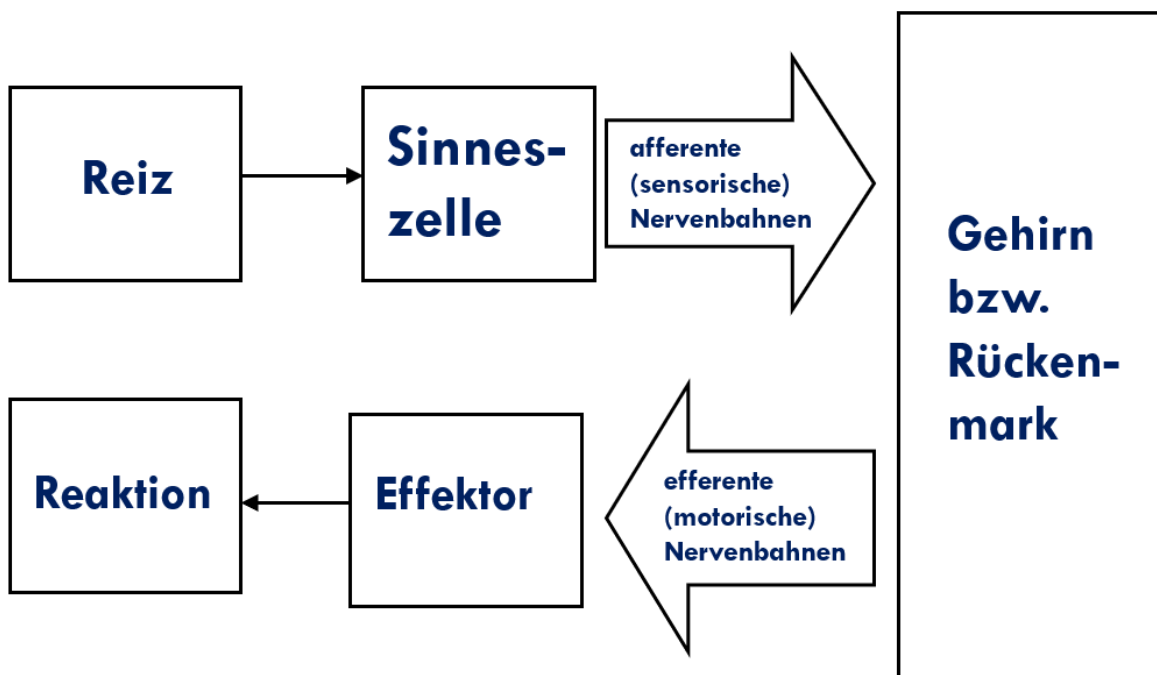
(4) „Lasso-Methode“ am Beispiel der Bildung von Dipeptiden aus Glycin und Alanin



(5) „Black-Box-Diagramm“ der Photosynthese



(6) Reiz-Reaktionskette



2025

**Proposition de programme
LFA**

Biologie

Enseignement de spécialité

Classes de Première et Terminale

Table des matières

1	Idées directrices	1
1.1	Finalités éducatives	1
1.2	Objectifs	2
1.3	Enjeux méthodologiques	5
1.4	Évaluation	6
2.	Contenu d'apprentissage	7
2.1.	MÉTABOLISME ET CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES	7
2.2.	BIODIVERSITÉ ET ORGANISATION DES ÊTRES VIVANTS	12
2.3.	COMMUNICATION DANS L'ORGANISME.....	13
2.4.	HORMONES.....	17
2.5.	COOPÉRATION CELLULAIRE : EXEMPLE DE SYSTÈME IMMUNITAIRE.....	19
2.6.	ÉVOLUTION	20
3	Verbes d'action : opérateurs	26
4	Annexes	27

1 Idées directrices

1.1 Finalités éducatives

L'enseignement de spécialité de biologie s'inscrit en complémentarité de celui de tronc commun pour les classes de première et de terminale et dans la continuité de l'enseignement en classe de Seconde. Il doit plus particulièrement préparer les élèves aux attendus de l'enseignement supérieur en approfondissant les compétences, savoirs et méthodes, en construisant des repères solides, en développant le travail de recherche et le sens critique. Pour autant, il ne doit pas être considéré d'emblée comme un enseignement pour spécialistes, mais se concevoir comme un enseignement de spécialisation graduelle, ouvert à tous les élèves intéressés par une réflexion fine et approfondie sur la biologie et ses implications dans les enjeux du XXI^{ème} siècle. Il convient donc de prévoir dans sa mise en œuvre l'espace nécessaire à la différenciation pédagogique.

L'étude de la biologie, comme des autres sciences, permet aux élèves de distinguer ce qui relève des croyances et des savoirs scientifiques. L'enseignement de spécialité doit leur permettre d'entrer plus profondément dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels, le monde vivant, et les techniques. Cette posture scientifique, faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, remise en question de ses représentations personnelles, exploitation positive des erreurs...) et de capacités (observer, expérimenter, mesurer, raisonner, modéliser...) permet à l'élève de comprendre que les connaissances qu'il acquiert, mémorise et qui lui sont déjà utiles devront

nécessairement être approfondies, révisées et peut-être remises en cause tant dans la suite de ses études que tout au long de sa vie. Le développement des apprentissages en biologie est ancré dans l'approche expérimentale, le réel et le concret, qu'il convient d'intégrer sous formes de projets sur des thématiques partagées avec la physique, la chimie et la technologie. La biologie, science du complexe, se construit également de façon systémique en engageant des échelles à la fois spatiales et temporelles

1.2 Objectifs

- Compétences disciplinaires :

Les compétences liées au contenu de la discipline sont présentées au chapitre 2 en fonction du niveau

- Compétences linguistiques (*Enseignement sensible à la langue*)

Les contenus de cours doivent être diversifiés au maximum de manière à placer les élèves le plus souvent possible en situation d'expression spontanée dans les deux langues. Les situations de communication en classe, dans l'établissement ou hors l'établissement doivent permettre aux élèves d'appréhender divers registres de la langue orale et écrite et de développer des compétences discursives pour décrire, expliquer, justifier, argumenter, dialoguer, débattre, porter des arguments scientifiques et des décisions, évaluer et agir de manière appropriée dans les deux langues de scolarisation.

La diversité des documents mis en œuvre dans le cadre du cours de biologie dans les deux langues, documents provenant, en particulier pour ce qui concerne l'enseignement de spécialité, d'articles scientifiques authentiques ou très peu didactisés - textes, graphiques, schémas tableaux, documents iconographiques, résultats expérimentaux...- doit permettre aux élèves d'exercer leurs stratégies d'accès au sens. Les différents modes de représentations des phénomènes biologiques, des structures, des résultats expérimentaux etc. auxquels ils confrontent les élèves développent leur réflexion critique sur la langue. Les démarches scientifiques, au travers des différentes étapes qu'elles amènent les élèves à conduire et à verbaliser, doivent quant à elles leur permettre de renforcer leurs compétences discursives. En parallèle, le vocabulaire spécifique et la particularité de l'expression scientifique approfondis avec une attention particulière portée à la différence entre le français et l'allemand dans la manière dont ces deux langues précisent les concepts scientifiques (mots composés allemands et périphrases françaises).

La composition de corpus intégrant des documents en langue anglaise, langue scientifique internationale, voire en d'autres langues proches de l'une ou de l'autre des deux langues de scolarisation, doit amener les élèves à mobiliser leur répertoire plurilingue dans l'accomplissement des activités scientifiques.

- Compétences transversales

A- Compétences cognitives et procédurales

L'enseignement de la biologie a vocation à développer chez les élèves un ensemble de compétences cognitives essentielles. Parmi celles-ci, on peut citer l'observation minutieuse, permettant aux élèves d'identifier des éléments dans les structures biologiques et les processus naturels. La capacité à passer mentalement entre les différents niveaux d'organisation du vivant à différentes échelles. L'analyse critique est également fondamentale, encourageant les élèves à interpréter des données expérimentales et à en tirer des conclusions logiques. La pensée systémique est particulièrement importante en biologie, car elle permet aux élèves de comprendre les interactions complexes au sein des écosystèmes et des organismes. De plus, la formulation d'hypothèses et la conception d'expériences stimulent la créativité scientifique et la rigueur méthodologique. Enfin, la capacité à modéliser des concepts abstraits, comme les processus cellulaires ou l'évolution, aide les élèves à visualiser et à comprendre des

phénomènes qui ne sont pas directement observables. Ces compétences, une fois maîtrisées, ne se limitent pas à la biologie mais sont transférables à d'autres domaines scientifiques et à la résolution de problèmes dans la vie quotidienne. En biologie, les élèves sont accompagnés pour acquérir progressivement des compétences disciplinaires d'un haut niveau, qui leur seront utiles à la fois pour déterminer leurs choix d'orientation et dans leur poursuite d'études dans le supérieur.

Dans l'enseignement de la biologie, il est crucial de développer chez les élèves des compétences procédurales essentielles à la démarche scientifique. Ces compétences incluent la capacité à formuler des hypothèses, à concevoir et à réaliser des expériences, à observer minutieusement, à collecter et à analyser des données, ainsi qu'à tirer des conclusions basées sur des preuves. Les élèves doivent également apprendre à utiliser correctement le matériel de laboratoire, à suivre des protocoles expérimentaux, et à respecter les normes de sécurité. La maîtrise de nombreuses techniques (expérimentation assistée par ordinateur, exploitation de bases de données, techniques biochimiques de laboratoire, utilisation de microscopes, réalisation de dissection, préparation d'échantillons...) est tout aussi importante. En outre, les compétences en matière de documentation scientifique, telles que la tenue d'un cahier de laboratoire, la réalisation de schémas précis, et la rédaction de productions scientifiques à l'écrit comme à l'oral, sont essentielles. Enfin, l'aptitude à communiquer efficacement les résultats et à participer à des discussions scientifiques constructives complète cet ensemble de compétences procédurales indispensables pour une formation solide en biologie.

B- Compétences numériques et techniques

Grâce à une utilisation ciblée et réfléchie des outils et médias numériques, les processus d'enseignement et d'apprentissage peuvent être soutenus, enrichis et redéfinis. L'éducation aux médias doit être prise en compte lors de la conception des cours.

Les outils numériques peuvent être utilisés en particulier pour la recherche documentaire, l'acquisition et l'analyse des données, pour la modélisation, pour la recherche et pour la présentation des résultats issus des expériences menées par les élèves. Une évaluation critique des sources et un examen du droit d'auteur devraient également être effectués.

Les outils numériques peuvent également favoriser les approches collaboratives entre élèves et leur communication avec des partenaires extérieurs.

L'utilisation de l'IA dans l'enseignement permettra aux élèves d'utiliser les technologies de l'IA de manière responsable, réfléchie et éthique.

C- Autogestion, orientation et compétences en équipe

Une articulation solide entre le travail individuel et collectif doit permettre à chacun de mobiliser son répertoire plurilingue et interculturel et ses connaissances dans l'accomplissement des tâches demandées, autant que d'établir un dialogue avec les pairs autour d'un objet de travail. L'approche coopérative, qui responsabilise l'élève dans l'accomplissement d'une partie du travail collectif, participe du renforcement de l'estime de soi et du sentiment d'appartenance à un groupe.

Ces compétences doivent permettre aux élèves de 1. organiser leur propre travail scientifique, 2. le suivre de manière critique et 3. le réaliser en équipe :

1. Les élèves peuvent :

- Analyser, structurer et présenter les informations de manière pertinente en fonction de leur destinataire (médiation)

- Transposer les informations des textes, des données expérimentales, des diagrammes, des cartes mentales, des tableaux et des représentations symboliques (équations chimiques) en d'autres formes de représentation pour mieux se les approprier et les transmettre à un tiers
- Présenter les méthodes et les résultats des observations, enquêtes et expériences biologiques sous une forme appropriée et les argumenter.
- Faire la distinction entre le langage courant et le langage technique et utiliser les termes scientifiques de manière appropriée.

2. Les élèves peuvent :

- Reconnaître des faits biologiques dans différents contextes.
- Discuter et évaluer des décisions, des mesures et des comportements sur la base de connaissances spécialisées et en tenant compte de différentes perspectives.
- Évaluer l'importance, la portée et les limites des applications scientifiques.

3. Les élèves peuvent :

- Se connaître et reconnaître les autres dans leur individualité.
- Assumer la responsabilité de leur travail et de celui de l'équipe, planifier ensemble, structurer, réfléchir et évaluer les résultats.

En outre, les objectifs généraux de la vie en société doivent également être développés : motivation, fiabilité, autonomie, responsabilité, tolérance et capacité à travailler en équipe.

Pour favoriser l'expression de soi dans la langue du partenaire, les méthodes d'enseignement cibleront de manière explicite les compétences de culture démocratique, et notamment :

- Les valeurs : renforcer l'expression démocratique des élèves (débat basé sur des arguments scientifiques) ;
- Les attitudes : favoriser l'autonomie des élèves en les responsabilisant à l'égard des autres ;
- L'esprit critique : développer une vision nuancée du monde (convergences et divergences dans les approches scientifiques dans les deux pays) ;
- Les aptitudes : privilégier les approches collaboratives tant pour entraîner que pour évaluer.

D- Compétences civiques et démocratiques

Très généralement, la progression des élèves dans la langue du partenaire avec lequel ils sont scolarisés repose fondamentalement sur l'articulation explicite entre les espaces d'éducation formels (en classe), informels (dans l'Ecole) et non-formels (hors l'Ecole). Cela implique de privilégier les approches collaboratives entre élèves (travaux en binômes et en groupes franco-allemands) et de programmer des situations amenant les élèves à négocier et à porter une décision collective. Les projets scientifiques partenariaux avec les partenaires associatifs, le monde économique, les centres de recherche et les musées, dans les deux aires linguistiques et culturelles doivent également donner aux élèves un maximum d'opportunités pour s'exposer à la langue et la culture du partenaire et partager avec lui sa langue et culture dans une logique de forte responsabilisation.

Les domaines de la santé, des biotechnologies, de la bioéthique, de l'environnement et du développement durable revêtent une importance sociale, économique et individuelle croissante. La biologie est une discipline hautement intégratrice, combinant les disciplines scientifiques et techniques avec les sciences sociales et humaines. La biologie contribue à l'image de soi, de l'être humain en tant que partie de la nature vivante. Les résultats récents dans les domaines de la santé et de la nutrition, des biotechnologies et du génie génétique, de l'écologie et de la médecine reproductive, ont un effet direct sur la manière dont nous façonnons nos vies personnelles. Pour de nombreuses questions d'intérêt sociétal, les compétences acquises en biologie sont une condition préalable à une

prise de décision, individuelle et collective, bien fondée. Elle s'insère dans les discussions politiques et aide à prendre des décisions au cœur des enjeux du XXIème siècle.

Les connaissances spécialisées en biologie constituent la base d'une réflexion sur la place de l'être humain dans le vivant, sur lui-même et sur ses relations avec l'environnement. La biologie est une source d'inspiration pour réfléchir aux influences des connaissances scientifiques sur la vision du monde des individus et sur le rôle qu'ils y jouent.

E- Compétences franco-allemandes, européennes et internationales

Grâce aux enseignements des disciplines entièrement intégrés de la Première et de la Terminale dans les lycées franco-allemands, les élèves renforcent leur capacité à mobiliser leur répertoire plurilingue, particulièrement précieuse dans les situations auxquelles ils seront confrontés dans divers contextes, en particuliers internationaux, au cours de leurs études supérieures et de leur vie personnelle et professionnelle.

La connaissance des processus linguistiques et, selon la tradition pédagogique, les différentes approches des questions techniques et scientifiques favorisent la compréhension de la culture du partenaire et la capacité des élèves à s'en faire les médiateurs.

Au fil des apprentissages disciplinaires, du travail autour des problématiques scientifiques, sociétales et transversales sur les grands enjeux du monde contemporain et de demain que touche la biologie, par la mise en œuvre de démarches scientifiques variées et la découverte de l'histoire des sciences qui leur permet de distinguer ce qui relève de la science et ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance et grâce aux compétences communicatives que le cursus en LFA permet aux élèves d'acquérir à un niveau indépendant, ceux-ci acquièrent une puissante capacité à agir efficacement dans la société dans laquelle ils vivent, à se faire médiateurs de la culture scientifique et de l'application de l'esprit critique. Ils peuvent ainsi contribuer efficacement à éclairer la société dans laquelle ils vivent et à combattre les préjugés et fausses informations qui nuisent au vivre ensemble dans des sociétés démocratiques.

Les grands enjeux sont notamment :

- L'éducation au développement durable
- L'éducation à la tolérance et à l'acceptation de la diversité
- La prévention et la promotion de la santé
- L'orientation professionnelle
- L'éducation aux médias
- L'éducation des consommateurs
- La prévention des risques
- La construction citoyenne

1.3 Enjeux méthodologiques

Le programme de biologie est le résultat d'une collaboration franco-allemande. Il est composé de contenus issus des différents cursus et vise à offrir aux élèves français et allemands une formation de base en biologie en lien avec les pratiques pédagogiques respectives.

La pleine intégration des élèves français et allemands nécessite de mettre beaucoup plus l'accent sur le travail linguistique que sur l'enseignement avec des élèves de langue maternelle. Cela comprend la familiarisation avec des expressions spécifiques à une matière pour décrire les structures et les fonctions biologiques, mais également la pratique d'expressions générales issues des domaines de l'argumentation scientifique et de la conception expérimentale.

L'enseignement de spécialité, pensé dans une dynamique de projet, s'appuie sur des corpus des ressources authentiques et variées, approchées de manière à placer les élèves en situation réflexive, selon des modalités de travail diversifiées, individuelles ou collectives. Afin de permettre aux élèves d'identifier les nuances et les résonances inhérentes aux ressources scientifiques sur lesquels s'appuient les investigations et démarches, et d'ainsi entraîner leur esprit critique, il est primordial d'encourager les allers-retours entre les productions au fur et à mesure qu'ils se complètent. Les élèves pourront être encouragés à procéder à des recherches et à en rendre compte à leurs camarades. La capacité à rendre compte d'une recherche, d'expériences, d'en expliciter les enjeux au-delà du simple partage d'informations littérales, nécessite des élèves qu'ils soient en mesure d'en faire une analyse distanciée à la lumière de leurs connaissances scientifiques.

1.4 Évaluation

En cours d'apprentissage, l'évaluation doit permettre de mesurer régulièrement la capacité des élèves à mettre en œuvre la méthode expérimentale, à construire et vérifier des hypothèses, à exploiter des résultats et à utiliser des modèles. Les compétences de communication sont également évaluées, notamment la capacité à analyser, structurer et présenter des informations de manière argumentée, ainsi qu'à utiliser correctement la terminologie scientifique. La qualité de la langue mobilisée, allemande comme française, est prise en compte, à l'écrit comme à l'oral. Enfin, l'évaluation vise à s'assurer que les élèves peuvent reconnaître des faits biologiques dans différents contextes, déduire et évaluer des décisions sur la base de leurs connaissances, et apprécier l'importance et les limites des applications scientifiques.

Les différentes formes d'évaluation doivent concourir à une approche transparente et positive des acquis des élèves. L'évaluation sommative doit permettre de valoriser toutes les réussites, même intermédiaires, des élèves. Les critères d'évaluation doivent leur être connus et permettre la mise en valeur de leur progression. La valorisation des réussites collectives des élèves est aussi importante que la prise en compte des succès individuels.

Le suivi régulier de la progression des élèves est à mener par une observation directe des élèves en activité durant les séances. Ainsi, les modalités d'évaluation combineront les temps spécifiquement dédiés à l'évaluation et l'évaluation par observation des élèves en cours d'entraînement. Dans la discipline biologie, l'évaluation des capacités mises en œuvre dans le champ expérimental est intégrée au fil des apprentissages. Elle valide les compétences mises en œuvre pendant les temps d'activités pratiques tout au long de la scolarité. Elle vise aussi à évaluer l'autonomie des élèves, les capacités techniques acquises ainsi que l'utilisation de l'oral dans l'argumentation scientifique.

Pour responsabiliser chaque élève dans ses propres apprentissages et l'accompagnement des autres, il est indispensable de donner une valeur particulière tant à l'auto-évaluation qu'à l'inter-évaluation. L'enjeu est d'articuler une logique de reconnaissance d'acquis avec une logique d'engagement dans un collectif. Cette réflexion sur leur progression et celle des autres trouve son aboutissement lorsque les élèves sont à même de proposer à l'enseignant une évaluation dès lors qu'ils se sentent prêts.

11e et 12e années : Première et Terminale**2. Contenu d'apprentissage**

Le programme est structuré en deux colonnes. Étant donné que les différents domaines de compétence ne peuvent pas être strictement séparés les uns des autres, mais représentent une expertise scientifique d'ensemble, ils sont présentés dans la colonne « Compétences attendues ». Toutes les compétences partielles formulées dans la colonne sont obligatoires.

Des informations didactiques et méthodologiques sont fournies dans la colonne « Informations générales et suggestions ». Ils fournissent éventuellement des précisions sur les compétences, des inspirations supplémentaires pour des expériences possibles, des conseils pour la mise en œuvre pédagogique ainsi que des liens thématiques avec d'autres chapitres du programme. L'annexe contient des options de mise en œuvre pour faciliter la planification des cours.

Le programme contient des spécifications pour des travaux pratiques. Les règles de sécurité légales doivent être strictement respectées dans tous les travaux pratiques.

Répartition des enseignements en première et terminale

Première (5h)	Terminale (5h)
Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales	Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales
2.1.1.	
	2.1.2. à 2.1.4.
2.2.1.	2.2.2.
2.3.1 à 2.3.3	2.3.4 et 2.4.
2.5	
2.6.1 à 2.6.3	2.6.4. à 2.6.8

2.1.MÉTABOLISME ET CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES

Cette partie du programme permet de montrer le rôle des enzymes dans les processus biologiques. On focalise les études sur l'anabolisme, le catabolisme et les couplages permettant les conversions énergétiques au sein des cellules.

2.1.1 ENZYMES

Les expérimentations menées en classe permettent de montrer les propriétés des enzymes. Une attention sera portée au lien à faire entre les mécanismes qui se réalisent à l'échelle moléculaire et leurs implications aux autres échelles du vivant. C'est l'occasion de présenter aux élèves l'utilisation des enzymes en biotechnologies, les métiers qui s'y rapportent et les parcours de formations qui conduisent à ces métiers en tension en Europe.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les enzymes sont essentielles au fonctionnement du métabolisme. • Montrer le rôle des enzymes dans les deux grands types de métabolismes (anabolisme et catabolisme) grâce à la réalisation d'expériences. • Mettre en relation la cinétique enzymatique avec les propriétés des enzymes (spécificité de substrat, conséquences des modifications des facteurs expérimentaux : pH, température). • Mettre en œuvre une réaction enzymatique avec inhibiteur compétitif et non compétitif • Expliquer le rôle des enzymes comme un biocatalyseur. • Décrire et interpréter des diagrammes sur l'influence de l'activité enzymatique en fonction de différentes conditions,	Dès que le programme s'y prête on pourra remobiliser les notions qui sont en lien avec les enzymes. Une autre stratégie pédagogique peut être d'aborder les enzymes au fil des besoins des autres parties puis de faire un chapitre bilan plutôt en fin d'année. Les outils numériques permettent : - de simuler des réactions enzymatiques où l'influence des facteurs du milieu est montrée - des animations pour visualiser les relations enzymes substrat Les outils numériques peuvent être introduits, mais ne doivent pas se substituer au réel réalisable en classe. Mener un travail sur la critique des expérimentations et sur la place de l'erreur.
• Décrire la structure d'une enzyme comme Modèle. • Critiquer le modèle « clé-serrure » des enzymes.	• On remobilisera les acquis sur les acides aminés et des protéines de la classe de seconde. • Structure générale : cofacteur, coenzyme, site actif. • Modèle de serrure à clé ; modèle d'ajustement induit.
• Expliquer la dénomination des enzymes-et l'appliquer à des exemples.	• Exemples possibles : oxydoréductases, transférases, hydrolases, lyases, isomérases, ligases.
• Représenter schématiquement le couplage des oxydations et des réductions par les coenzymes NADP⁺/NADPH+H⁺ ou NAD⁺/NADH+H⁺ à l'aide d'un diagramme en flèche.	• Les concepts d'oxydation et de réduction doivent être considérés respectivement comme une perte et une acceptation d'électrons.

2.1.2 Conversion énergétique et respiration cellulaire

Cette partie aborde la respiration comme premier exemple de conversion énergétique dans la cellule. Il s'agit de montrer le rôle de la compartimentation à l'échelle des cellules et d'un organe : la mitochondrie.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des conversions énergétiques sont réalisées au cours de la respiration : oxydation de la matière organique et production de molécules réduites et d'ATP.	
Mettre en lien les réactions métaboliques et les structures où elles ont lieu dans la mitochondrie,	- Étape à démontrer à partir d'expériences historiques : glycolyse, décarboxylation oxydative (formation d'acetyl-CoA), cycle citrate/cycle acide citrique et chaîne respiratoire (oxydation finale) - Remobilisation des acquis sur la mitochondrie de la classe de 2nd - Réalisation d'expériences permettant d'inhiber la chaîne respiratoire pour montrer son rôle
Représenter schématiquement les étapes de la respiration cellulaire au sein d'une mitochondrie : chaîne respiratoire — cycle du citrate — couplage énergétique pour la synthèse d'ATP	- Schéma possible voir annexe (2) en plaçant les réactions au sein de l'hyaloplasme (glycolyse) et de la mitochondrie. - Bilan de l'hydrolyse/phosphorylation de l'ATP de la classe 10.
Déterminer le bilan énergétique des sous-processus et de l'ensemble de la respiration cellulaire.	Voir annexe (3)

2.1.3 Conversion énergétique et fermentation

La fermentation est l'occasion de présenter un deuxième processus de conversion énergétique dans les cellules. C'est ici la deuxième occasion d'aborder les biotechnologies, leurs implications économiques, les métiers et les parcours de formation associés.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La fermentation peut produire de l'énergie en absence de dioxygène.	
- Montrer les caractéristiques des fermentations lactiques et alcoolique grâce à la réalisation d'expériences. - Donner les équations bilans des réactions sous la forme d'un schéma de réaction impliquant les coenzymes de la fermentation lactique et de la	- Il n'est exigé que les formules brutes et pas les formules développées - Voir annexe (4) à simplifier

fermentation alcoolique,	
• Comparer le bilan énergétique des fermentations avec celui de la respiration cellulaire.	• Voir annexe (5) • Il n'est exigé que la comparaison globale des deux processus.

2.1.4 Conversion énergétique et photosynthèse

La photosynthèse est à la base de la très grande majorité des réseaux alimentaires. Sa place dans la structuration d'un écosystème trouve son paradoxe dans les changements d'échelle : c'est en comprenant les mécanismes qui se réalisent dans un organe : le chloroplaste, que les élèves appréhendent le rôle de ce métabolisme aux différentes échelles du vivant.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Réaliser et démontrer expérimentalement : - La libération de dioxygène en présence de lumière et dans les conditions du milieu nécessaires, - Séparation des pigments chlorophylliens, - La comparaison du spectre d'action et du spectre d'absorption de la chlorophylle, - La fluorescence de la chlorophylle et son inhibition par ajout d'un accepteur d'électron, - Le rôle des accepteurs d'électron dans le fonctionnement de la chaîne photosynthétique (Réaction de Hill). • Expliquer à l'aide de schémas le lien entre le spectre d'absorption de la chlorophylle et le spectre d'action de la photosynthèse,	Les expériences assistées par ordinateur avec des chaînes EXAO sont à prioriser - Élodée dans eau distillée, eau du robinet et eau enrichie en CO₂, - Élodée dans l'eau du robinet avec et sans lumière, - Élodée dans l'eau du robinet avec et sans lampe infrarouge (selon la température).
• Montrer des exemples d'adaptation des végétaux chlorophylliens à différents milieux de vie.	• Plantes de lumière, plantes d'ombre, xérophytes, mésophytes, hydrophytes, hygrophytes • Une comparaison de l'épiderme supérieur et inférieur et du fonctionnement de l'appareil stomatique est recommandée.
• Montrer qu'il existe une photolyse de l'eau en complétant l'expérimentation par des marqueurs radioactifs. • Montrer qu'au cours de la phase lumineuse des molécules réduites sont produites qui vont être utilisées lors du cycle de Calvin. • Montrer qu'il s'agit d'un couplage	• Photoréaction (réaction lumineuse) et cycle de Calvin (réaction de synthèse indépendante de la lumière), • Photolyse de l'eau : Les atomes d'oxygène présents dans l'eau sont marqués radioactivement. On peut observer que l'oxygène résultant (et non le glucose) est radioactif,

	La connaissance des systèmes redox n'est pas au programme.
Représenter schématiquement les phases essentielles du cycle de Calvin,	Schéma du corps C du cycle de Calvin avec phases de fixation, réduction et régénération
Représenter schématiquement le couplage au sein du chloroplaste des différentes réactions	Par ex. « Schéma boîte noire » voir annexe (6)
Compléter l'équation bilan de la photosynthèse en indiquant que 2 % de l'énergie lumineuse reçue est utilisée par le végétal	
Comparer les mécanismes d'absorption du CO₂ et de synthèse de matière organique dans les plantes en C4 par rapport aux plantes en C3.	
Montrer la complémentarité entre la production de matière organique lors de la photosynthèse et son oxydation pour produire de l'énergie lors de la respiration ou de la fermentation.	

2.2.BIODIVERSITÉ ET ORGANISATION DES ÊTRES VIVANTS

L'objectif de cette partie du programme est de comprendre le fonctionnement dynamique d'un écosystème dans ses dimensions spatiales et temporelles. C'est l'occasion de souligner les services rendus par les écosystèmes. C'est aussi le moment de montrer comment des écosystèmes réagissent aux perturbations, dont celles générées par l'être humain : notion de résilience.

2.2.1 STRUCTURES ET INTERACTIONS DANS L'ÉCOSYSTÈME

Cette partie est particulièrement indiquée pour des classes de terrain. Les élèves peuvent être responsabilisés en les engageant à organiser la sortie de terrain.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Un écosystème est constitué d'un biotope et d'une biocénose. Comparer à minima deux écosystèmes pour identifier les caractéristiques communes à tout écosystème et leurs spécificités (biotope, biocébiocénose, facteurs abiotiques, facteurs biotiques).	- Par ex. Écosystème rivière, lac, mer, haie... - Demander aux élèves de planifier et d'organiser une excursion pour la classe dans un écosystème.
Montrer que la biodiversité se définit à différentes échelles : de celle de l'information génétique à celle des écosystèmes.	Variabilité génétique, diversité des espèces, diversité des écosystèmes
Décrire et comparer l'influence d'un facteur environnemental abiotique sur la répartition de différentes espèces.	- Sur la base des données, l'activité physiologique et écologique doit être examinée (activité écologique, courbes de tolérance, espèces indicatrices). - L'objectif est de s'entraîner à créer et à interpréter des diagrammes.
Représenter graphiquement les réseaux trophiques.	- Pratiquer des diagrammes fléchés - Une critique de la représentation peut être effectuée à ce stade.
Expliquer le concept de niche écologique (niche de Hutchinson); niche réelle et fondamentale, principe d'exclusion concurrentielle.	
Étudier les interactions entre les êtres vivants : compétition, mutualisme, parasitisme, relation prédateur-proie.	
Expliquer les règles LOTKA-VOLTERRA et leurs limites.	Un logiciel de simulation peut être utilisé ici.
Comparer la dynamique des populations en conditions idéalisées et réelles.	Termes techniques : croissance exponentielle et logistique, taux de croissance r, taux de mortalité, capacité K, densité de population, facteurs environnementaux dépendants et indépendants de la densité.

Expliquer les différentes stratégies de reproduction des espèces et évaluer les conséquences sur les populations de ces espèces.	- Stratégies r et k - Capacité à travailler avec des graphiques
Décrire les pyramides en termes de biomasse et d'énergie dans un écosystème.	- La perte d'énergie de niveau trophique en niveau trophique doit être abordée. - Les différentes formes de nutrition (omnivore, végétarienne, végétalienne) d'un point de vue énergétique peuvent être abordées.
Construire deux cycles biogéochimiques : le cycle du carbone et le cycle de l'azote.	Nitrification, dénitrification, fixation de N₂ via des bactéries nodulaires

2.2.2 ÉCOSYSTÈMES et INFLUENCE HUMAINE

Cette partie du programme permet de mettre en œuvre des démarches de projets dans les contextes formels et informels de l'école et de les porter hors de l'école :

- S'engager dans des programmes de sciences participatives ;
- S'engager dans des projets d'éducation durable dans le domaine de la biodiversité, de l'alimentation et de la mobilité par exemple.

- Compétences attendues	Informations générales et suggestions
- L'être humain peut perturber les écosystèmes de différentes façons : ○ identifier les conséquences écologiques d'un apport accru d'azote, ○ décrire les conséquences écologiques de l'effet de serre anthropique, ○ expliquer les conséquences écologiques des perturbateurs endocriniens.	- Utilisation d'engrais, épandage, polluants, modification de la température des eaux - On s'appuiera sur des exemples si possibles proposés par les élèves - Par ex. bisphénol A, dioxine, médicaments, distilbène, organochlorés, PFA.

Enquêter sur différentes ressources et s'engager dans leur utilisation responsable et durable.	Par ex. Par exemple origine, culture/démontage, transport, « sac à dos écologique » selon Friedrich Schmidt-Bleek, consommation d'eau, impact environnemental, conditions de travail...
Décrire l'empreinte écologique comme mesure et prendre conscience des moyens de la réduire.	Calculer votre propre empreinte écologique

2.3.COMMUNICATION DANS L'ORGANISME

Cette partie du programme permet d'étudier les deux modes principaux de communication dans l'organisme : la communication nerveuse et hormonale. C'est une partie du programme qui se prête à mener une éducation à la santé et la prévention aux risques.

2.3.1. SYSTÈME NERVEUX : ORGANISATION ET FONCTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Comparer une chaîne stimulus-réaction et un arc réflexe ainsi que les structures impliquées.	• Créer des chaînes stimulus-réponse (ex : attraper une balle), voir annexe (7) • Représentation schématique d'un arc réflexe, par ex. réflexe d'étirement musculaire avec voies afférentes et efférentes • Observation microscopique d'une coupe de la moelle épinière. • Étude en expérimentation assistée par ordinateur d'un réflexe d'étirement musculaire (réflexe tendineux) • Réflexe : réponse involontaire à un stimulus qui n'est pas contrôlée par le cerveau, c'est-à-dire la réponse rapide et stéréotypée à un stimulus :
• Mettre en relation un type de cellules sensorielles et montrer leur spécificité au stimulus.	• Observation de récepteurs sensoriels.
• Utilisez l'exemple du motoneurone pour décrire le lien entre la structure et la fonction (dendrite, corps cellulaire, axone avec et sans myéline, synapse).	• Faire un croquis légendé d'un motoneurone. • Examen microscopique des nerfs, de la moelle épinière, de la racine dorsale et des muscles. • Réaliser des croquis annotés.

2.3.2. GÉNÉRATION ET TRANSMISSION DU MESSAGE NERVEUX

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'actions.	
• Décrire la mesure et l'établissement du potentiel de repos (potentiel d'équilibre) en termes ioniques. • Gradient électrique (charge ionique) et gradient de concentration (concentration de l'ion concerné des deux côtés de la membrane). • Pompe Na⁺/K⁺ ATP dépendante.	• Expérience de simulation (chambres avec différentes solutions salines, séparées par une membrane sélectivement perméable aux ions).
• Expliquer le lien entre la perméabilité sélective de la membrane, la concentration en ions et le potentiel membranaire.	• Étudier le potentiel de repos à l'aide d'un logiciel de simulation.
Mettre en lien les phases du potentiel d'action et les mouvements d'ions : • Phases : dépolarisation, repolarisation, hyperpolarisation, période réfractaire (absolue et relative),	• Étude du codage d'un message électrique au niveau d'une fibre nerveuse. • Étude de l'effet de différentes concentrations d'ions, de la perméabilité membranaire ou d'un déficit en ATP sur la formation d'un potentiel d'action.

• Canaux ioniques dépendants de la différence de potentiel de la membrane, • Maintien d'une répartition inégale des ions grâce à la pompe Na⁺/K⁺ ATP dépendante et active en permanence, • Loi du tout ou rien, • Étudier un potentiel d'action à l'aide d'un programme de simulation.	
• Comparer la conduction myélinique et amyélinique.	Observation de fibres nerveuses myélinisées ou non au microscope optique ou électronique.
• Expliquer la réception de stimuli et la transduction d'une cellule sensorielle, • Mettre en relation l'intensité du stimulus et la modification du potentiel de récepteur, notion de seuil . • Expliquer la transduction du signal à partir d'un exemple concret.	

2.3.3. Transmission synaptique neuromusculaire et conséquences sur la cellule musculaire ; généralisation à la transmission neuro-neuronique

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Au niveau des synapses, un relais chimique assure la transmission du message nerveux aux autres cellules.	
• Montrer à partir d'un exemple l'effet de substances chimiques sur la conduction du message nerveux. • Les synapses et les processus au niveau cellulaire.	• Par ex. poisons, drogues, médicaments, alcool et temps de réaction (éducation à la santé et prévention des risques). • Cette introduction permet de construire des hypothèses sur les relais entre neurones et de supposer qu'il existe un relai chimique.
• Décrire la structure d'un muscle squelettique et d'une jonction neuromusculaire (plaque motrice), également à l'aide d'un croquis.	• Observation microscopique • Observations microscopiques de la structure d'un muscle strié
• Expliquer la transmission du message nerveux au niveau d'une jonction neuromusculaire.	
• Décrire le fonctionnement du complexe actine-myosine.	• Utiliser une simulation du fonctionnement musculaire
• Décrire le fonctionnement d'une synapse neuro-neuronique : PA, entrant, canaux Ca²⁺, vésicules présynaptiques, fente synaptique, membrane pré- et postsynaptique, récepteurs et canaux ioniques sur la membrane postsynaptique, inactivation du neurotransmetteur (resynthèse de neurotransmetteur).	• L'étude peut être conduite en identifiant les effets de substances exogènes (éducation à la santé et prévention des risques)

Expliquer la transmission de l'excitation au niveau d'une synapse interneuronale (excitatrice) au niveau ionique.	Neurotransmetteur choisi : acétylcholine
- Mettre en relation synapses excitatrices et inhibitrices avec la formation des PPSE et des PPSI sur le neurone postsynaptique. - Mettre en relation les sommations spatiales et temporelles et leur conséquence sur la naissance ou pas d'un PA post synaptique, notion de seuil. - Mettre en relation le recrutement des fibres nerveuses avec l'intensité du stimulus.	Simulation informatique.
Comparer les différents types de codage lors de la transmission du message nerveux à différentes échelles.	Intensité du stimulus, amplitude et fréquence du message nerveux, codage chimique au niveau des synapses, recrutement des fibres et potentiel complexe du nerf.

2.3.4. MODULER LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME NERVEUX

La plasticité cérébrale est une propriété générale du système nerveux.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Nommer les composants du cerveau.	On mobilisera les structures nécessaires en fonction des exemples étudiés à l'échelle du système nerveux central dont la structure du cortex cérébral et sa fonction,
Montrer que l'apprentissage est la modification des transmissions synaptiques entre les cellules nerveuses : formation de nouvelles synapses ou optimisation de la transmission synaptique.	- Création de schémas de boucle de contrôle - Le conditionnement sur le réflexe de fermeture des paupières peut être démontré à un étudiant en utilisant un projet en combinaison avec un signal acoustique. - Les termes suivants peuvent être utilisés : stimulus clé, stimulus conditionné, réflexe inconditionné, conditionnement opérant, phase sensible, empreinte de localisation, empreinte alimentaire, empreinte sexuelle, habituation, sensibilisation.
- Montrer que la plasticité cérébrale et la potentialisation à long terme sont la base neuronale de l'apprentissage, - Mettre en relations l'apprentissage ou la perte de cellules nerveuses et la modification des connexions neuronales.	L'efficacité des synapses peut être influencée, par exemple, par la quantité de transmetteurs, les modifications de la conductivité de la membrane via des modifications des récepteurs, le nombre de récepteurs et le taux de resynthèse du neurotransmetteur
Identifier les fonctions des différents types de mémoire : mémoire de travail (à court terme),	On peut éventuellement comparer les performances de mémoire en utilisant des canaux

mémoire sémantique et la mémoire épisodique, deux systèmes de représentation consciente à long terme et mémoire procédurale permettant des automatismes inconscients. La mémoire perceptive est liée aux différentes modalités sensorielles. • Comparer les performances d'apprentissage quand on utilise de façon simultanée des informations auditives, visuelles, tactiles,...	sensoriels différents, mais également simultanés (haptique, optique, acoustique). Réaliser des tests d'apprentissage
• Expliquer le fonctionnement du système de récompense.	• Circuit de la dopamine.
• Expliquer l'effet des substances addictives sur le système de récompense à l'aide d'un exemple.	• Par ex. nicotine, alcool, THC. • La consommation de substances addictives et la légalisation correspondante peuvent être discutées à ce stade, ainsi que les mesures de prévention.
• Décrire l'organisation du système nerveux végétatif et expliquer la complémentarité entre les systèmes sympathique et parasympathique	•
• Comparer les maladies du système nerveux humain en termes de causes, de tableaux cliniques.	• Démence d'Alzheimer, sclérose en plaques, maladie de Parkinson.
• Décrire des techniques de diagnostics de maladies neuronales.	• Par ex. Électroencéphalogramme (EEG), tomodensitométrie (TDM), imagerie par résonance magnétique (IRM).

2.4. HORMONES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le contrôle hormonal se réalise par l'intermédiaire de molécules produites par les glandes endocrines, transportées dans le sang et agissant sur les cellules cibles.	
• Comparer la transmission hormonale et nerveuse, • Montrer l'interaction entre le contrôle hormonal et neuronal en utilisant l'exemple des neurotransmetteurs adrénaline et noradrénaline,	• Vitesse de transmission, type de signaux, lieu de transmission, cellules/substances impliquées, effet • Les hormones peuvent agir comme neurotransmetteurs et les neurotransmetteurs comme des hormones. L'activité des glandes endocrines est souvent contrôlée par le SNC (hypothalamus).

- À partir de l'exemple de la régulation des hormones sexuelles, identifier les cellules sécrétrices, les cellules cibles et la modalité du contrôle des taux hormonaux : - Spermatozoïdes, taux constant de testostérone, testicules, hypothalamus, hypophyse, principe de la boucle de contrôle, rétroaction négative - Ovaires, ovules, cycle ovarien, ovulation, fécondation, implantation, hypothalamus, hypophyse, principe de boucle de récontrôle, rétroaction positive ou négative,	- Mise en place d'un circuit de contrôle hormonal. - Interprétation des graphiques des taux d'hormones - Observations microscopiques de sections de testicules fonctionnels et non fonctionnels - Observations microscopiques des ovaires et de l'utérus à différents moments du cycle
Expliquer les méthodes de contraception et de procréation médicalement assistée,	- Pilule contraceptive, stérilet hormonal, patch hormonal - Analyser avec une approche critique la méthode contraceptive fondée sur la mesure de la température corporelle d'une femme.
Méthodes contraceptives et procréation médicalement assistée en incluant les aspects juridiques et éthiques,	
Décrire le stress comme une réponse adaptative physique à certains facteurs de stress (facteurs de stress),	
Faire la différence entre le syndrome général d'adaptation (SGA) et le syndrome de combat ou de fuite (SCF) à l'aide d'un exemple,	Syndrome de combat ou de fuite (SCF) : cascade de réactions physiologiques qui permettent une réaction rapide pour échapper à une situation dangereuse.
Décrire des réactions aux facteurs de stress en cas de stress aigu,	Réponse rapide avec stimulation du système limbique (zones impliquées dans les émotions comme l'amygdale) ; Libération d'adrénaline par les médullosurrénales et augmentation de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire et libération de glucose dans le sang
- Comparer le système médullaire sympathique-surrénalien (système de stress à court terme) avec le système hypophyso-corticosurrénalien (système de stress à long terme) et les hormones impliquées, - Décrire l'interaction entre les systèmes de stress à court et à long terme,	- Au niveau cérébral, sécrétion de CRH par l'hypothalamus et mobilisation de l'axe hypothalamus-hypophyso-corticosurrénalien, conduisant à la libération de cortisol qui favorise la mobilisation du glucose et inhibe certaines fonctions (notamment du système immunitaire) - Rétroaction négative du cortisol, retour à des conditions physiologiques Standards (résilience) - Coordination de diverses voies physiologiques qui permettent l'adaptabilité de l'organisme - Si les facteurs de stress sont trop intenses ou trop durables, les mécanismes physiologiques

	sont déséquilibrés ; Induction du stress chronique : Modifications de certaines structures du cerveau, notamment du système limbique et du cortex pré frontal.
Mentionner les troubles de l'attention, de la mémoire et des performances cognitives comme conséquences possibles du stress.	- Différents niveaux d'hormones (adrénaline et cortisol) en fonction de la situation de stress - Données cliniques et expérimentales (données d'imagerie médicale et/ou électrophysiologiques) en réponse aux facteurs de stress à interpréter Discutez de vos propres expériences, par exemple la situation d'examen (école, permis de conduire, etc.)
Évaluer les mesures pour gérer et réduire le stress et développer sa propre résilience.	

2.5. COOPÉRATION CELLULAIRE : EXEMPLE DE SYSTÈME IMMUNITAIRE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Identifier les caractéristiques de l'organisation bactérienne et virale.	Cf. classe 9
- Décrire les modes de reproduction virales et bactériennes. - Division bactérienne. - Réplication virale : représentation schématique du cycle lysogénique et lytique.	- Par exemple, virus Corona, virus de la grippe, virus VIH. Sur la base de la courbe de prolifération des bactéries, par ex. B. Salmonella, les phases de croissance exponentielle doivent être expliquées. - Les phases de croissance exponentielle dans une croissance bactérienne peuvent être explicitées.
- Décrire les barrières contre l'infection. - Expliquer les mesures à prendre pour prévenir les maladies infectieuses.	- Intestin : héberge des cellules immunitaires - Peau : barrière physique - Épithélium intestinal et microbiote : assure une résistance vis à vis des bactéries étrangères - Par ex. intérêt d'un lavage réfléchi des mains par des agents nettoyants - Utilisation des ressources du site eBug
- Décrire les étapes lors qu'un microorganisme a franchi les barrières : inflammation à la suite d'une lésion cutanée : infection, période d'incubation, phagocytose, macrophage (phagocyte), maladie, inflammation, guérison. - Mobilisation des cellules immunitaires : synthèse et maturation des lymphocytes B, et syn-	- Observation des cellules sanguines : érythrocytes, plaquettes, leucocytes, lymphocytes, cellules T auxiliaires, cellules T suppressives, cellules T tueuses, cellules B, plasmocytes, cellules mémoires. - Une comparaison en tableau est recommandée.

thèse des pro lymphocytes T dans la moelle osseuse ; Ganglions lymphatiques : mieux des interactions entre agents infectieux et cellules immunitaires. Acquisition de l'immunocompétences des lymphocytes T dans le thymus.	
- Utiliser un exemple pour décrire la réponse immunitaire acquise comme une interaction au niveau cellulaire (macrophages, lymphocytes T et B [Phase de détection, phase de différenciation, phase active, phase de coupure]. - Identifier les caractéristiques du CMH I et du CMH II sans aller jusqu'à la structure moléculaire. - Décrire l'organisation d'un anticorps [IgG] et les parties interagissant avec l'antigène ; partie variable, site de liaison spécifique à l'antigène identique, partie constante, forme en Y).	Réaliser un test de précipitation Ag/Ac
- Expliquer la mémoire immunitaire et expliquer son importance. - Première infection, deuxième infection, première et deuxième réponse immunitaire. - Rôle des cellules mémoires.	Analyse de graphiques.
Décrire une application biotechnologique des anticorps.	Par ex. Test de grossesse, tests immunobiologiques (ELISA)
- Expliquer et comparer les processus impliqués dans la vaccination. - Protection vaccinale et composition du sérum. - Discuter et évaluer la vaccination en termes de sa signification individuelle et sociale.	Par ex. Vaccination Corona pendant la pandémie CoVid

2.6. ÉVOLUTION

2.6.1. LA STRUCTURE DU MATÉRIEL GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les fonctions de l'ADN sont en lien avec sa structure.	
Montrer les caractéristiques structurelles de l'ADN.	- Mobilisation des acquis de la classe de seconde. - Mobiliser les travaux de Watson et Crick ainsi que les apports de Rosalind Franklin. - Film : « La course à la gloire »
Expliquer les processus de réplication à l'échelle moléculaire (complémentarité des bases et rôle des enzymes).	Mobilisation des acquis de la classe de seconde complétés par les fragments d'Okazaki.

2.6.2. L'EXPRESSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'expression de l'information génétique est un processus complexe en plusieurs étapes.	
• Décrire et comparer la transcription chez les eubactéries et les eucaryotes. • Montrer les spécificités de l'ARN_m : exon, intron, épissage, pré-ARN, queue poly A	• Brin codant (transcrit), polymérase. • Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour démontrer l'épissage.
• Expliquer les mécanismes permettant de produire des protéines à partir d'ARN_m ○ Localiser le lieu de la transcription dans la cellule et les organites impliqués, montrer les spécificités des ARNr, ○ Mettre en relation triplet et correspondance avec les acides aminés : code génétique, universalité du code de l'information nucléaire chez les eucaryotes, redondance. ○ Montrer la structure des ARN_t, codon — anticodon, structure en trèfle. ○ Décrire la traduction chez les eubactéries et les eucaryotes ▪ Initiation, prolongation, terminaison ▪ Maturation des protéines	• Mobilisation des acquis de la classe de seconde • Exploitation de marquages radioactifs • Exploiter des modèles moléculaires, • Exploiter des bases de données.
• Expliquer la relation génotype-phénotype.	• Les termes allèle et gène doivent être différenciés les uns des autres. • Relation gène/protéine-enzyme. Par ex. phénylcétonurie, couleur de la peau
• Décrire l'activité et la régulation différentielles des gènes chez les eubactéries et les eucaryotes.	• Facteurs de transcription, méthylation de l'ADN, acétylation de l'ADN, modification des histones. • Boîte TATA, silencieux, amplificateur. • Modèle de l'opéron lactose chez les eubactéries : répression du produit final, induction du substrat. Interaction de l'environnement sur l'expression génétique.

2.6.3. MUTATIONS

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des erreurs ou mutations ponctuelles peuvent survenir spontanément lors de la réplication de l'ADN	• Mobiliser les acquis de la classe de Seconde (mutagènes).

ou en lien avec des facteurs mutagènes de l'environnement. Les mutations sont à la base de la diversité génétique au sein des espèces. • Identifier les différents types de mutations (mutation génétique, mutation génomique, mutation chromosomique) et leur conséquence. • Substitution, ajout, insertion, suppression. • Étudier les brins d'acide nucléique pour identifier d'éventuelles mutations (mutation ponctuelle, mutation du cadre de lecture) et en déduire des conséquences au niveau protéique (mutation silencieuse, mutation faux-sens, mutation non-sens). • Différencier la conséquence d'une mutation dans une cellule somatique et dans une cellule germinale. • Montrer qu'un cancer peut être lié à une mutation de gènes contrôlant le cycle cellulaire.	• Proto-oncogène, antioncogène, gène suppresseur de tumeur, cellule cancéreuse.
---	---

2.6.4. APPORTS DES BIOTECHNOLOGIES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Donner le principe la réaction en chaîne par polymérase (PCR) : Taq polymérase, cycle d'une PCR.	Mettre en œuvre une PCR ; interprétez ces résultats. Par ex. Test Corona, test VIH, test de paternité, examens médico-légaux • Visite d'un laboratoire par les élèves.
• Montrer diverses techniques de biotechnologie moléculaires.	• Électrophorèse sur gel, enzymes de restriction, séquençage de l'ADN de Sanger, empreintes génétiques, analyse du polymorphisme, transformation.
• Le génie génétique décrit les techniques de modifications du génome d'un organisme. • Identifier les étapes de la transgénèse expérimentale.	• Identification et isolement du gène souhaité, excision du gène à l'aide d'enzymes de restriction, amplification du gène par PCR, insertion du gène, vérification du transfert du gène.
• Présenter différentes techniques de production d'organismes génétiquement modifiés.	Un exemple d'application tirée de la pratique examiné en détail (par exemple, production par génie génétique d'hormone de croissance/insuline, thérapie génique, maïs Bt, utilisation d'<i>Agrobacterium tumefaciens</i> comme vecteur ...). Le détail des différentes techniques n'est pas exigible.
• Présenter Crispr Cas9 comme méthode de modification ciblée de l'ADN.	• Par ex. applications en modification des caractéristiques des animaux de ferme, en lutte antiparasitaire ou en thérapie génique

2.6.5. LE BRASSAGE GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Décrire les phases de la méiose et expliquer ses conséquences, diploïde, haploïde, gamète (cellule germinale), zygote. • Illustration de la variabilité des gamètes et des zygotes qui en résultent : ségrégation indépendante. • Expliquer les brassages interchromosomiques et intrachromosomiques par des schémas simples et en expliquer la signification et les conséquences. • Mobiliser ces connaissances pour expliquer comment le sexe biologique dans l'espèce humaine est déterminé par les chromosomes sexuels.	• La répartition aléatoire des chromosomes paternels et maternels parmi les cellules filles conduit à la recombinaison des allèles (diversité). • Organiser, nommer et interpréter des images microscopiques de cellules pendant la méiose.
• Expliquer les erreurs de méiose et leurs conséquences.	• Syndrome de Turner, syndrome de Klinefelter, trisomie 21. • Observation de caryotypes avec des anomalies.
• Relier le génotype et le phénotype et comprendre les résultats d'un test cross, • Dominance/récessivité, transmission autosomique ou gonosomique, codominance. • Héritage monohybride et dihybride • Homozygote, hétérozygote • Caractères liés ou indépendants	• Génération parentale, génération de branche. • ex. de caractère héréditaire : roulement de langue, albinisme, doigts courts, hémophilie, daltonisme, groupes sanguins, études mendéliennes sur le pois ... • On évitera de prendre des exemples pouvant mettre les élèves en difficulté pour leur propre généalogie. • Construire et interpréter des arbres généalogiques et en déduire des modèles d'héritage possibles.

2.6.6. FACTEURS DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La biodiversité est le résultat de processus évolutifs.	
• Décrire la biodiversité au niveau de la diversité génétique, de la diversité des espèces et de la diversité des écosystèmes.	• On mobilisera les connaissances de la partie (biodiversité et organisation des êtres vivants) en, s'appuyant sur de nouveaux exemples. • Mettre en œuvre des méthodes simples pour déterminer la biodiversité dans un biotope.
• Discuter du concept d'espèces (morphologique, génétique et reproductifs) . • Montrer que le pool génétique (totalité des allèles) peut être variable d'une population à	• Morphologique : Une espèce est constituée d'individus qui partagent des caractéristiques physiques essentielles entre eux et avec leur progéniture.

l'autre de l'espèce.	- Génétique des populations : les espèces sont des groupes de populations dont le patrimoine génétique est distinct de celui des autres. - Reproductif : descendance féconde sur plusieurs générations.
- Expliquer les changements dans les fréquences alléliques dans le pool génétique d'une population ayant des aptitudes reproductives différentes. - Montrer que ce pool génétique est le substrat de l'évolution. - Identifier le rôle la dérive génétique dans l'évolution du pool génétique.	
Sélection naturelle, sélection sexuelle ;	Utiliser un modèle (informatique) simple pour illustrer la sélection naturelle
- Expliquer les différentes formes d'isolement et leur importance pour l'évolution et la spéciation. - Expliquer les différentes modalités de sélection et leur importance pour l'évolution.	- Isolement géographique, reproductif et écologique - Spéciation allopatrique et sympatrique - Utilisation d'un modèle (informatique) simple pour illustrer l'isolement géographique - Utiliser un modèle numérique pour illustrer la sélection naturelle.
Montrer la puissance du modèle darwinien pour expliquer la biodiversité.	- Utilisation d'un modèle numérique pour illustrer la dérive génétique. - Variation, sélection, recombinaison, mutation, isolement, dérive génétique.
Présenter la coévolution comme un processus d'adaptation mutuelle entre deux espèces à l'aide d'un exemple.	Par ex. Papillon de nuit — Orchidée
Expliquer le sens évolutif du parasitisme, la symbiose et les relations prédateur-proie au sens de l'évolution.	Voir 2.2.1 Structures et interactions dans l'écosystème.

2.6.7. MISES EN RELATION DES LIENS DE PARENTÉ DES ÊTRES VIVANTS AVEC LES MÉCANISMES DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Utilisez des caractères primitifs et dérivés pour tester les hypothèses d'arbre phylogénétique	- Distinguer homologies et analogies et montrer leurs limites dans leur utilisation dans la classification du vivant - Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour déterminer le degré de relation entre les êtres vivants

	• Construire une classification descendante hiérarchique de groupes (de plus en plus) ramifiés en utilisant les caractéristiques des collections d'animaux et de plantes
--	--

2.6.8. ÉVOLUTION HUMAINE

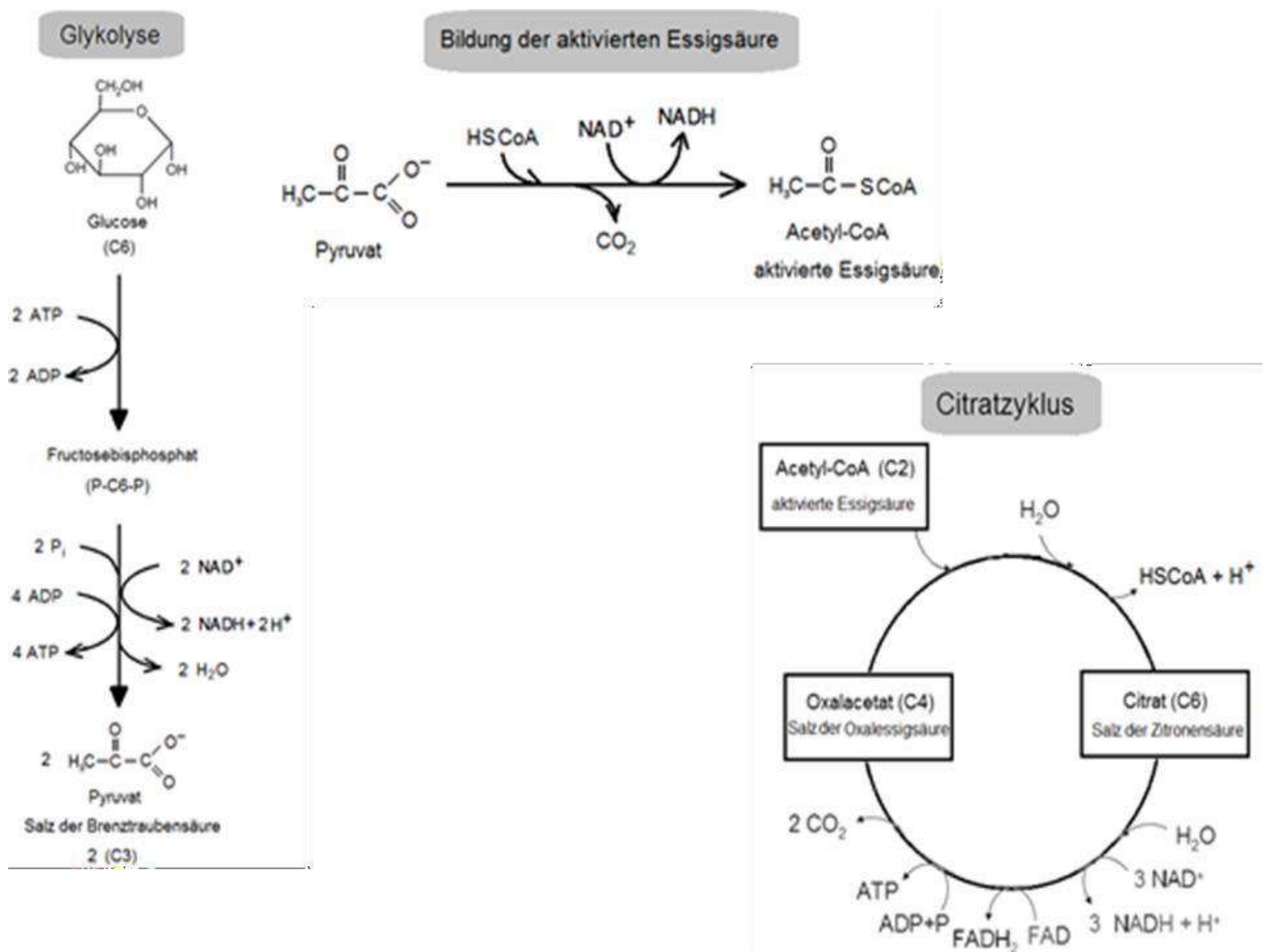
Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'appartenance des Hominidés aux mammifères et aux primates est basée sur leurs caractères dérivés.	
• Comparer les chimpanzés et diverses espèces humaines sur la base de caractéristiques morphologiques et justifier la place du genre <i>Homo</i> (<i>Homo rudolfensis</i>, <i>Homo erectus</i>, <i>Homo neanderthalensis</i>, <i>Homo sapiens</i>) dans l'ordre des primates.	• On veillera à distinguer les caractères qui permettent de rapprocher un fossile de la famille des Hominidés à ceux mobilisables pour une classification phylogénétique. • Caractéristiques mobilisables possibles : volume cérébral, locomotion, mâchoire, arcade dentaire, dents, foramen occipital, taille du bassin, crêtes super-oculaires, pied, main, colonne vertébrale.
• Montrer que les mouvements migratoires au long de l'histoire de l'humanité peuvent être reconstitués grâce à l'ADN mitochondrial.	Utilisation des résultats d'analyse génomique (hybridation d'ADN, séquençage du génome, méthodes immunobiologiques, etc.). Utilisation des résultats d'analyse génomique (hybridation d'ADN, séquençage du génome, méthodes immunobiologiques, etc.)
• Représenter les relations phylogénétiques et l'expansion humaine (Hominidés) sur la base de découvertes fossiles.	• Comparaison des arbres créés à partir de l'ADN mitochondrial avec ceux créés à partir de découvertes de fossiles • Étudier un arbre simplifié avec les genres <i>Australopithecus</i> (<i>A. afarensis</i> et <i>A. africanus</i>), <i>Paranthropus</i>, <i>Homo</i> (<i>H. ergaster</i>, <i>H. erectus</i>, <i>H. neanderthalensis</i>, <i>H. rudolfensis</i>, <i>H. habilis</i> et <i>H. sapiens</i>, <i>H. floresis</i>) montrant l'aspect buissonnant de l'évolution humaine
• Présenter l'importance des développements culturels.	• Utilisation d'outils, développement du langage, éducation

3 Verbes d'action : opérateurs

Opérateur	Définition
Déduire, conclure	Tirer des conclusions appropriées basées sur les résultats ou des raisonnements
Appliquer	Mettre en œuvre une série de consignes un contexte connu ou une méthode connue à un autre problème
Construire des hypo- thèses	Supposer une situation de corrélation entre deux éléments
Interpréter	Mettre les données, les résultats individuels ou d'autres aspects en contexte afin de tirer des conclusions
Justifier	Trouver des arguments étayant une réponse
Décrire	Représenter des structures, des faits, des processus et des propriétés d'objets, généralement en utilisant un langage technique
Critiquer	Évaluer une situation sur la base de critères scientifiques ou méthodologiques
Représenter	Présenter de manière structurée faits, liens, méthodes, résultats, etc.
Identifier, Déterminer	Reconnaître la nature d'un élément utile à la résolution d'une question...
Discuter	Comparer et peser les arguments scientifiques d'une déclaration ou d'une thèse
Expliquer	Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour les rendre compréhensibles avec l'aide éventuelle d'autres informations. Des exemples peuvent appuyer l'explication.
Interpréter,	Examiner des faits et faire des liens pour construire une ou des explications possibles
Planifier	Développer des solutions à mettre en œuvre sur des temporalités données
Esquisser	Fixer le plan, les grands traits à l'essentiel
Enquêter	Explorer des faits ou des objets de manière ciblée, déterminer des caractéristiques et des connexions, également expérimentalement
Comparer	Identifier les similitudes et les différences
Dessiner	Créer une représentation graphique, claire et suffisamment précise

4 Annexes

(1) Représentation schématique des sous-processus de la respiration



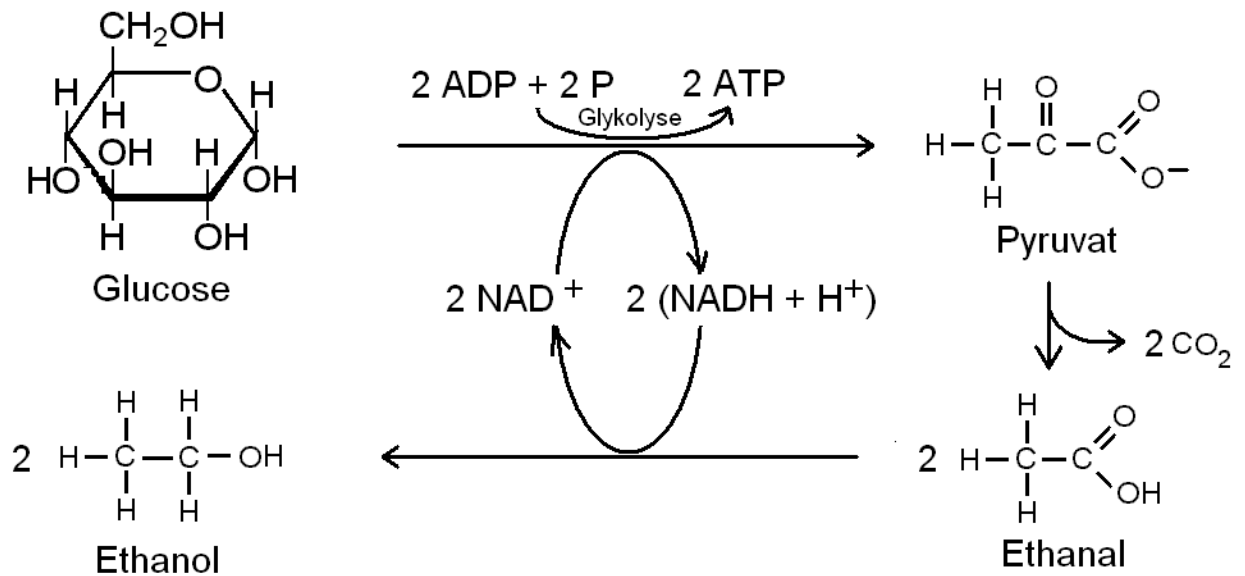
Source : Phase principale du programme de biologie LK 2023, Sarre

(2) Bilan énergétique théorique de la respiration cellulaire

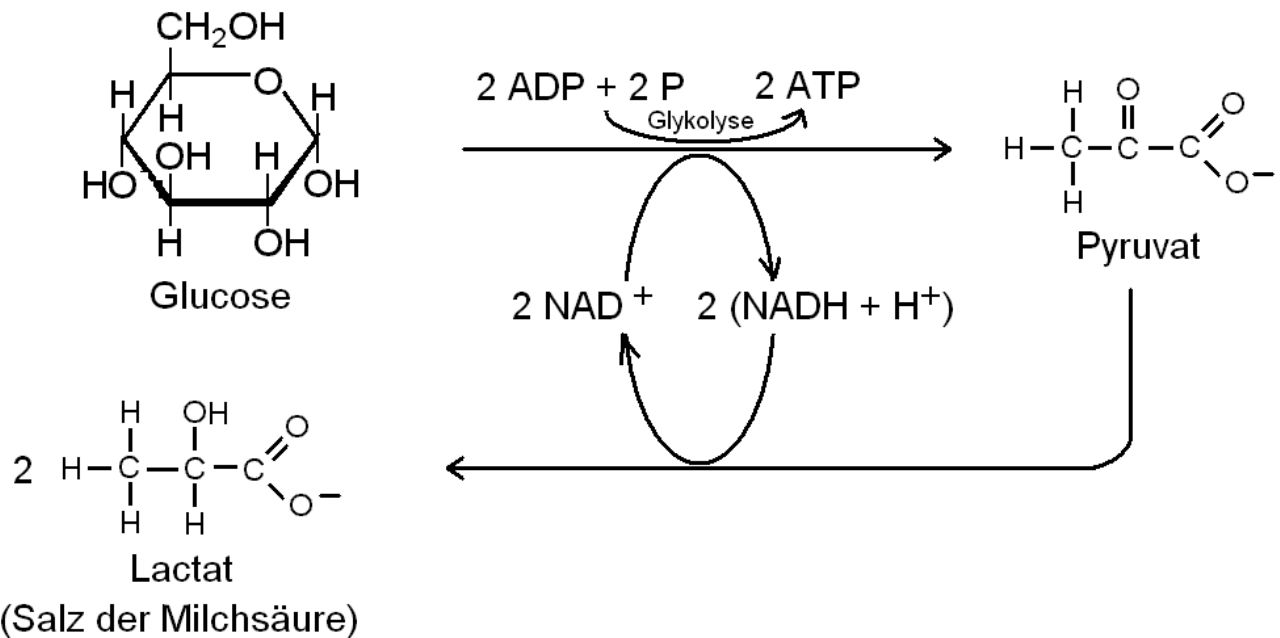
	Glycolyse	Décarboxylation oxydative	Cycle des citrates	Chaîne respiratoire	Somme
ATP	2	-	2	34	38
NADH	2	2	6	- 10	0
FADH ₂	-	-	2	- 2	0

(3) Fermentation alcoolique et fermentation lactique

Fermentation alcoolique



Fermentation lactique

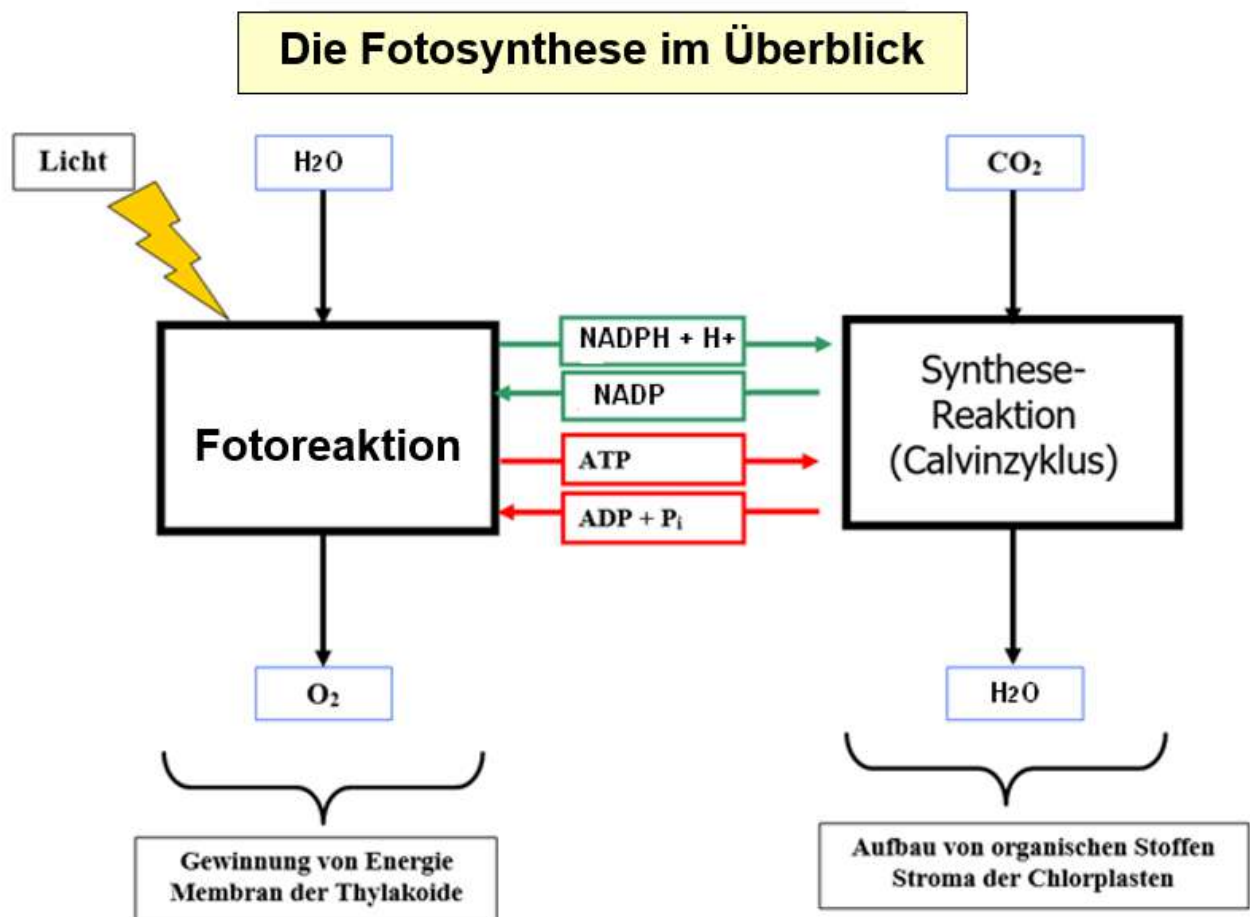


Source : Phase principale du programme de biologie LK 2023, Sarre

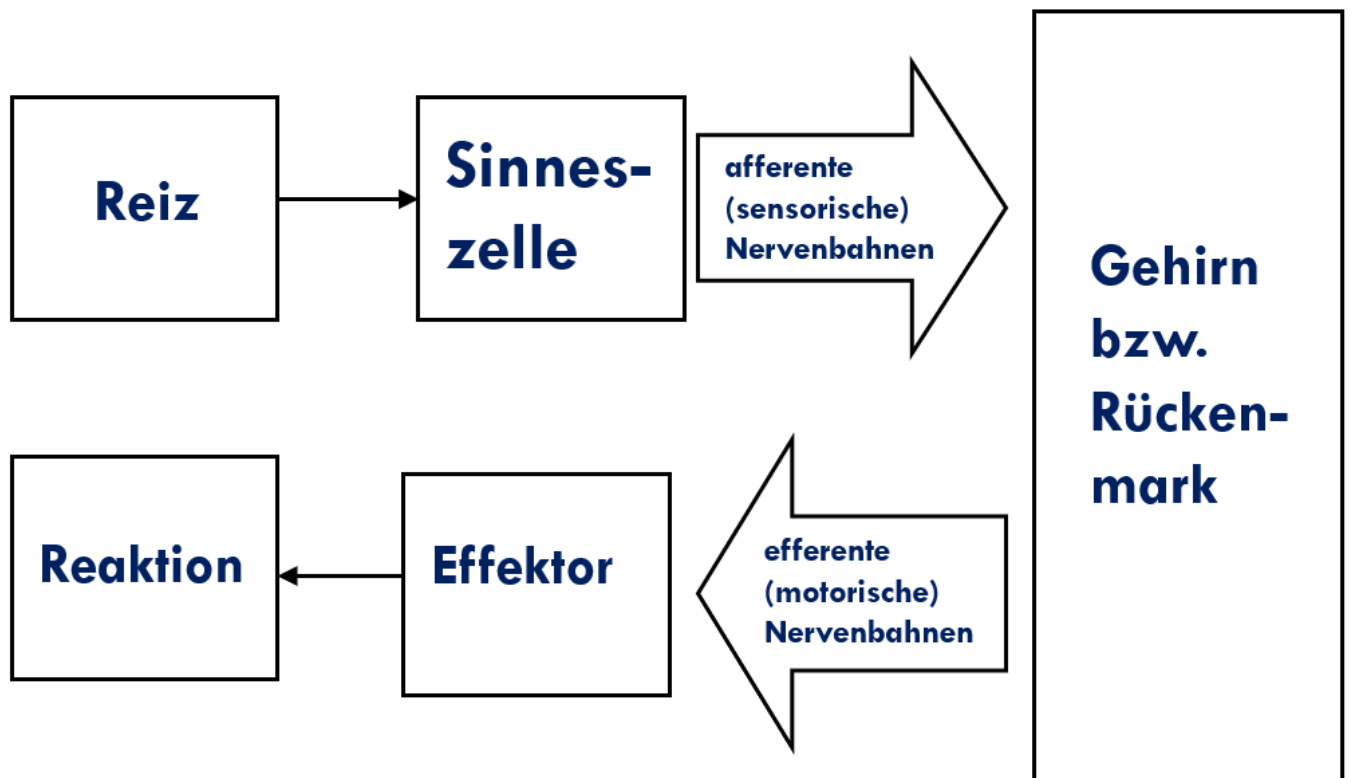
(4) Comparaison de la respiration cellulaire et de la fermentation

	Respiration cellulaire	Fermentation alcoolique	Fermentation lactique
Accepteur d'électrons	Oxygène	Pyruvate	Pyruvate
Gain d'énergie	38ATP	2ATP	2ATP
Matière première	Glucose	Glucose	Glucose
Produit	CO ₂ et H ₂ O	Éthanol et CO ₂	Lactate

(5) « Schéma de boîte noire » de la photosynthèse



(6) Chaîne stimulus-réponse



2025

Lehrplan

DFG/LFA

Biologie

Vertiefungsfach

**Klassenstufen
11 und 12**

Inhaltsverzeichnis

1	Leitgedanken	2
1.1	Bildungsziele.....	2
1.2	Zielsetzungen	2
1.3	Methodische Herausforderungen	7
1.4	Leistungsbewertung	8
2	Lerninhalte	9
2.1	STOFFWECHSEL UND ENERGIEUMWANDLUNGEN	9
2.1	2.2 ARTENVIELFALT UND ÖKOSYSTEM.....	14
2.3	KOMMUNIKATION IM ORGANISMUS	16
2.4	HORMONE	20
2.5	ZELLULÄRE ZUSAMMENARBEIT: BEISPIEL IMMUNSYSTEM	22
2.6	EVOLUTION.....	23
3	Operatoren	30
4	Anhang	31

1 Leitgedanken

1.1 Bildungsziele

Der Unterricht im Fach Biologie in den Klassenstufen 11 und 12 setzt den Unterricht in der 10. Klasse fort. Er soll die Schülerinnen und Schüler auf die Anforderungen der Hochschulausbildung vorbereiten, indem entsprechende Kompetenzen, Grundlagenkenntnisse und Methoden wissenschaftlichen Arbeitens aufgebaut sowie kritisches Denken entwickelt werden. Es sollte jedoch nicht von Anfang an als Unterricht für "Spezialisten" betrachtet werden, sondern als ein Unterricht hin zur schrittweisen Spezialisierung, der allen Schülerinnen und Schülern offen steht, die sich für eine erweiterte und vertiefte Auseinandersetzung mit biologischen Themen und ihren Zusammenhang mit den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts interessieren. Daher soll für seine Umsetzung der notwendige Raum für pädagogische Differenzierung eingeräumt werden.

Der Unterricht in Biologie, wie auch in anderen Wissenschaften, soll die Schülerinnen und Schülern befähigen, zwischen Überzeugungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen zu unterscheiden. Der Unterricht im Vertiefungsfach soll sie in die Lage versetzen, eine tiefere wissenschaftliche Beziehung zu Naturphänomenen, der belebten Umwelt und der Technik aufzubauen. Diese wissenschaftliche Haltung, bestehend aus Einstellungen (Neugier, Aufgeschlossenheit, Hinterfragen persönlicher Vorstellungen, positive Ausnutzung von Fehlern usw.) und Fähigkeiten (Beobachten, Experimentieren, Messen, Begründen, Modellieren usw.), ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, zu verstehen, dass das Wissen, das sie erwerben, sich einprägen und von ihnen genutzt wird, immerzu vertieft und überarbeitet werden muss und im weiteren Verlauf ihres Studiums als auch im Laufe ihres Lebens in Frage gestellt werden kann. Die Entwicklung des Lernens in der Biologie ist im experimentellen, realen und konkreten Ansatz verankert, der in Form von Projekten zu Themen integriert werden sollte, die mit Physik, Chemie und Technologie gemeinsam sind. Die Biologie zeigt als Wissenschaft des Komplexen einen systemischen Aufbau und bezieht sowohl räumliche als auch zeitliche Skalen ein.

1.2. Zielsetzungen

- Fachkompetenzen

Die mit den Inhalten des Faches verbundenen Kompetenzen werden für die einzelnen Klassenstufen als „Erwartete Kompetenzen“ aufgelistet: siehe unten.

- Sprachkenntnisse (sprachsensibler Unterricht)

Die Lehrinhalte müssen abwechslungsreich sein, um den Schülerinnen und Schülern möglichst oft die Möglichkeit zu geben, sich spontan in beiden Sprachen auszudrücken. Kommunikationssituationen im Unterricht, an der Schule oder auch außerhalb müssen es den Schülerinnen und Schülern ermöglichen,

verschiedene Register der mündlichen und der Schriftsprache zu verstehen und diskursive Fähigkeiten zu entwickeln: hierzu gehören beschreiben, erklären, begründen, argumentieren, diskutieren/debatte- ren, wissenschaftliche Argumente vorzubringen und entsprechende Entscheidungen zu treffen und be- werten. Sprachliches Handeln in beiden Unterrichtssprachen ist das Ziel.

Die Vielfalt der im Rahmen des Biologieunterrichts eingesetzten Materialien in beiden Sprachen, die insbesondere im Vertiefungsfach authentischen oder kaum didaktisierten wissenschaftlichen Artikeln entnommen sind (Texte, Grafiken, Diagramme, Tabellen, ikonografische Dokumente, Versuchsergeb- nisse usw.) soll die Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, Strategien zur Texterschließung einzuüben. Die Schülerinnen und Schüler werden mit unterschiedlichen Darstellungsweisen biologischer Phänomene, Strukturen, experimenteller Ergebnisse, usw. konfrontiert. Auf diese Weise werden sie zu einer kritischen Reflexion über Sprache angeleitet. Wissenschaftliche Verfahren werden in ihren einzel- nen Phasen rekonstruiert und von den Schülerinnen und Schülern zur Verbesserung ihrer Diskursfähig- keit verbalisiert. Gleichzeitig ermöglichen der fachspezifische Wortschatz und die Besonderheit des wis- senschaftlichen Ausdrucks eine Vertiefung des Sprachenlernens unter besonderer Berücksichtigung der Unterschiede zwischen Französisch hinsichtlich der Darstellung wissenschaftlicher Konzepte (Kompo- sita im Deutschen / Periphrasen im Französischen).

Die Zusammenstellung von Dossiers mit Materialien in Englisch als internationaler Wissenschaftsspra- che oder auch in weiteren, den Unterrichtssprachen verwandten Sprachen, erlaubt es den Schülerinnen und Schülern, ihr mehrsprachiges Repertoire bei der Beschäftigung mit wissenschaftlichen Aufgaben zu mobilisieren.

– Fachübergreifende Kompetenzen

A- Kognitive und prozedurale Fähigkeiten

Im Biologieunterricht werden den Schülerinnen und Schülern eine Reihe grundlegender kognitiver Kom- petenzen vermittelt. Dazu gehört die präzise Beobachtung und Identifizierung biologischer Strukturen und natürlicher Prozesse, sowie die Fähigkeit, gedanklich zwischen den verschiedenen und in sehr un- terschiedlichen Maßstäben dargestellten Organisationsebenen des Lebens zu wechseln. Die Schülerin- nen und Schüler sollen experimentelle Daten kritisch analysieren und interpretieren sowie logische Schlussfolgerungen ziehen können. Andererseits ist systemisches Denken in der Biologie von besonde- rer Bedeutung, da Schülerinnen und Schülern die komplexen Wechselwirkungen innerhalb Organismen bis hin zu Ökosystemen nur so hinreichend verstehen. Das Aufstellen von Hypothesen und das Planen von Experimenten fördert die wissenschaftliche Kreativität und methodische Genauigkeit. Schließlich hilft die Kompetenz, abstrakte Konzepte wie zelluläre oder evolutive Prozesse in Modellen darzustellen, den Schülerinnen und Schülern, nicht direkt beobachtbare Phänomene zu visualisieren und zu verstehen. Einmal erworben, sind diese Kompetenzen nicht auf das Fach Biologie beschränkt, sondern können auf andere wissenschaftliche Bereiche und Problemlösungen im täglichen Leben übertragen werden. Im

Fach Biologie werden Schülerinnen und Schüler dabei unterstützt, nach und nach übergeordnete fachliche Kompetenzen zu erwerben, die ihnen sowohl bei der Studien- und Berufswahl von Nutzen sind. Im Biologieunterricht werden zudem prozedurale Kompetenzen vermittelt, die für das wissenschaftliche Vorgehen unerlässlich sind. Zu diesen Kompetenzen gehören: Hypothesen formulieren, Experimente entwerfen und durchführen, sorgfältig beobachten, Daten sammeln und analysieren und mittels einer Beweisführung Schlussfolgerungen ziehen. Die Schülerinnen und Schüler müssen außerdem lernen, wie man Laborgeräte richtig nutzt, Versuchsprotokolle befolgt und Sicherheitsstandards respektiert. Ebenso wichtig ist die Beherrschung zahlreicher Techniken wie z.B.: computergestütztes Experimentieren einschließlich des Einsatzes künstlicher Intelligenz, Nutzung von Datenbanken, biochemische Labortechniken, Mikroskopieren, Präparationen, Probenvorbereitung usw.. Darüber hinaus das Einüben wissenschaftlicher Dokumentation, wie das Führen eines Laborbuchs, das Anfertigen präziser Diagramme und das schriftliche und mündliche Verfassen wissenschaftlicher Texte unerlässlich. Schließlich ist es für eine solide Schulbildung unerlässlich, dass die Schülerinnen und Schüler Ergebnisse erfolgreich kommunizieren und an ergebnisorientierten wissenschaftlichen Diskussionen teilnehmen können.

B- Digitale und technische Kompetenzen

Durch den gezielten und durchdachten Einsatz digitaler Werkzeuge und Medien können Lehr- und Lernprozesse unterstützt, bereichert und sogar neu definiert werden. Bei der Gestaltung des Unterrichts ist die Medienerziehung daher konsequent zu berücksichtigen.

Digitale Werkzeuge werden insbesondere zur Dokumentationsrecherche, Datenerfassung und -analyse, zur Modellierung und zur Präsentation von Ergebnissen aus Schülerexperimenten eingesetzt. Darüber hinaus sollten eine kritische Quellenbewertung und die Überprüfung des Urheberrechts erfolgen.

Digitale Tools können zudem kollaborative Ansätze zwischen Schülerinnen und Schülern untereinander, aber auch mit externen Partnern fördern.

Der Einsatz von KI im Unterricht ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, die damit verbundenen Technologien verantwortungsvoll, umsichtig und ethisch zu nutzen.

C- Selbstmanagement, Orientierung und Teamfähigkeit

Eine enge Verbindung zwischen Einzel- und Gruppenarbeit ermöglicht es Schülerinnen und Schülern, ihr mehrsprachiges und interkulturelles Repertoire und ihr Wissen zur Erfüllung der gestellten Aufgaben zu mobilisieren und mit anderen einen Dialog über ein Arbeitsthema zu führen. Der kooperative Ansatz, der den einzelnen Schülerinnen und Schülern die Verantwortung für die Durchführung eines Teils der gemeinsamen Arbeit überträgt, trägt zur Stärkung des Selbstwertgefühls und des Zugehörigkeitsgefühls zu einer Gruppe bei.

Im Folgenden werden die drei Kompetenzbereiche „Organisation des wissenschaftlichen Arbeitens“, „Kritische Püfung“ und die „Teamarbeit“ weiter aufgegliedert:

1. Die Schülerinnen und Schüler können

- Informationen empfängerabhängig analysieren, strukturieren und themenrelevant präsentieren (Mediation)
- Informationen aus Texten, experimentellen Daten, Diagrammen, Mindmaps, Tabellen und symbolischen Darstellungen (z.B. chemischen Gleichungen) in andere Darstellungsformen überführen, um sie sich vertieft und nachhaltiger anzueignen und an Dritte weiterzugeben
- Methoden und Ergebnisse biologischer Beobachtungen, Untersuchungen und Experimente in geeigneter Form darstellen und diesbezüglich Argumente zu formulieren und auszutauschen.
- zwischen Umgangssprache und Fachsprache unterscheiden und wissenschaftliche Begriffe angemessen verwenden.

2. Die Schülerinnen und Schüler können

- biologische Fakten in verschiedenen Kontexten erkennen
- Entscheidungen, Maßnahmen und Verhaltensweisen auf der Grundlage von Fachwissen und unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven diskutieren und bewerten.
- die Bedeutung, den Umfang und die Grenzen wissenschaftlicher Anwendungen beurteilen.

3. Die Schülerinnen und Schüler können:

- sich selbst und andere in ihrer Individualität erkennen
- die Verantwortung für Ihre Arbeit und die des Teams übernehmen, gemeinsam planen, strukturieren, die Ergebnisse reflektieren und bewerten.

Darüber hinaus müssen auch die allgemeine für das Zusammenleben in einer Gemeinschaft wichtigen Kompetenzen entwickelt werden: Motivation, Zuverlässigkeit, Autonomie, Verantwortungsbewusstsein, Toleranz und Teamfähigkeit.

Um den Selbstausdruck in der Sprache des Partners zu fördern, zielen die Lehrmethoden ausdrücklich auf demokratische Kulturkompetenzen ab, insbesondere auf:

- Werte: Stärkung der demokratischen Meinungsäußerung der Schülerinnen und Schüler (Diskussion auf der Grundlage wissenschaftlicher Argumente);
- Einstellungen: Förderung der Autonomie der Schülerinnen und Schüler, indem ihnen Verantwortung gegenüber anderen übertragen wird;
- Kritisches Denken: Entwicklung einer differenzierten Sicht auf die Welt (Konvergenzen und Divergenzen in den wissenschaftlichen Ansätzen in den beiden Ländern);
- Fähigkeiten: kollaborative Ansätze sowohl beim Üben und Lernen als auch bei der Leistungsbeurteilung bevorzugen.

D-Bürgerliche und demokratische Fähigkeiten

Ganz allgemein basiert der Fortschritt der Schulerinnen und Schüler in der Partnersprache Deutsch bzw. Französisch im Wesentlichen auf der expliziten Verschränkung von formellen (im Klassenzimmer), informellen (an der Schule, außerhalb Regelunterrichts) und nicht formalen (außerhalb der Schule) Bildungsräumen. Es geht darum, kollaborative Ansätze zwischen Schülerinnen und Schülern (Partnerarbeit und deutsch-französische Gruppenarbeit) zu fördern und Situationen zu planen, in denen die Schülerinnen und Schüler gemeinsam verhandeln und eine Entscheidung treffen. Wissenschaftliche Partnerschaftsprojekte mit Partnern aus der Wirtschaft, aus Forschungszentren und Museen, sowohl im sprachlichen als auch im kulturellen Bereich, sollten den Schülerinnen und Schülern viele Möglichkeiten bieten, sich mit der Sprache und Kultur des Partners auseinanderzusetzen, seine Sprache und Kultur zu teilen und hier ein hohes Maß an Eigenverantwortung zu übernehmen.

Die Bereiche Gesundheit, Biotechnologie, Bioethik, Umwelt und nachhaltige Entwicklung sind von wachsender gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und individueller Bedeutung. Die Biologie ist eine hochgradig integrative Disziplin, die naturwissenschaftliche und technische Disziplinen mit den Sozial- und Geisteswissenschaften verbindet. Die Biologie trägt zum Selbstverständnis des Menschen als Teil der belebten Natur bei. Aktuelle Erkenntnisse aus den Bereichen Gesundheit und Ernährung, Biotechnologie und Gentechnik, Ökologie und Reproduktionsmedizin haben unmittelbare Auswirkungen auf die Art und Weise, wie wir unser persönliches Leben gestalten. Für viele Fragen von gesellschaftlichem Interesse sind Kenntnisse in der Biologie Voraussetzung für fundierte individuelle und kollektive Entscheidungen. Diese sind Teil politischer Diskussionen und helfen, Entscheidungen zu zentralen Themen des 21. Jahrhunderts zu treffen.

Fachwissen in der Biologie bildet die Grundlage für ein Nachdenken über die Stellung des Menschen in der Natur, über sich selbst und seine Beziehungen zur Umwelt. Die Biologie regt zum Nachdenken über den Einfluss wissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Weltanschauung der Menschen und über ihre Rolle in der Welt an.

E- Deutsch-französische, europäische und internationale Kompetenzen

Durch den Unterricht in den vollständig integrierten Fächern der 11. und 12. Klassen an Deutsch-Französischen Gymnasien werden die Schülerinnen und Schüler in ihrer Fähigkeit gestärkt, ihr mehrsprachiges Repertoire in Situationen zu mobilisieren, wenn sie im Laufe ihres Hochschulstudiums und darüber hinaus in ihrem persönlichen und beruflichen Lebens mit internationalen Kontexten konfrontiert werden. Kenntnisse über landespezifisch und sprachbedingt unterschiedlichen Bildungstradition und Herangehensweisen an technische und naturwissenschaftliche Fragestellungen fördern das Verständnis für die Kultur des Partners und die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler, diese zu verinnerlichen und als Mehrwert zu nutzen.

Der integrierte Fachunterricht bereitet auf die kompetente Auseinandersetzung mit fächerübergreifenden wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen vor, die die Biologie berühren und zugleich zu den großen Herausforderungen der heutigen und zukünftigen Welt gehören.

Durch die Anwendung unterschiedlicher wissenschaftlicher Ansätze und mit Einblicken in die Wissenschaftsgeschichte, werden die Schülerinnen und Schüler befähigt, Meinungen oder Glaube von wissenschaftlichen Tatsachen zu unterscheiden, und diesbezüglich wissenschaftsbezogen zu kommunizieren.

Die Lehrpläne der Deutsch-Französischen Gymnasien erlauben es den Schülerinnen und Schülern, in der Gesellschaft, in der sie leben, selbstbestimmt und konstruktiv zu handeln, wissenschaftliche Kultur und die Anwendung kritischen Denkens zu vermitteln. So können sie wirksam zur "Aufklärung" der Gesellschaft, in der sie leben, und zur Bekämpfung von Falschinformationen und Vorurteilen beitragen, die das Zusammenleben in demokratischen Gesellschaften gefährden.

Zu den Hauptthemen gehören:

- Bildung für nachhaltige Entwicklung
- Erziehung zu Toleranz und Akzeptanz von Vielfalt
- Prävention und Gesundheitsförderung
- Berufliche Orientierung
- Medienerziehung
- Verbrauchererziehung
- Vermeidung von Risiken
- Aufbau von Bürgerrechten

1.3 Methodische Herausforderungen

Der Lehrplan für Biologie ist das Ergebnis einer deutsch-französischen Zusammenarbeit. Es setzt sich aus Inhalten verschiedener Bildungsgänge zusammen und zielt darauf ab, den Schülerinnen und Schülern eine mit der jeweiligen Lehrpraxis verknüpfte Grundausbildung im Fach Biologie zu bieten.

Die vollständige Integration französisch- und deutschsprachiger Schülerinnen und Schüler erfordert, dass der sprachlichen Arbeit viel mehr Gewicht beigemessen wird als dem Unterricht mit muttersprachlichen Schülerinnen und Schülern. Dazu gehört das Kennenlernen fachspezifischer Ausdrücke zur Beschreibung biologischer Strukturen und Funktionen, aber auch das Einüben allgemeiner Ausdrücke aus den Bereichen wissenschaftlicher Argumentation und Versuchsplanung.

Der in einer Projektdynamik konzipierte Biologieunterricht als Vertiefungsfach basiert auf vielfältigen authentischen Ressourcen, die die Schülerinnen und Schüler zur Reflexion über unterschiedliche individuelle oder kollektive Arbeitsmethoden befähigen soll. Um die Schülerinnen und Schüler in die Lage zu versetzen, die Nuancen und Resonanzen der den Untersuchungen und Ansätzen zugrunde liegenden wissenschaftlichen Quellen zu erkennen und so ihr kritisches Denken zu schulen, ist es unerlässlich, die wechselseitigen Beziehungen zwischen den komplementären Arbeitsprozessen und -ergebnissen zu fördern. Die Schülerinnen und Schüler können ermutigt werden, Recherchen durchzuführen und diese

ihren Klassenkameraden mitzuteilen. Die Fähigkeit, über Forschungsergebnisse oder allgemein wissenschaftliche Erfahrungen zu berichten und Sachverhalte zu erklären, die über das bloße Teilen wörtlicher Informationen hinausgehen, erfordert von den Schülerinnen und Schülern die Fähigkeit, eine distanzierte Analyse auf der Grundlage ihrer wissenschaftlichen Kenntnisse durchzuführen.

1.4 Leistungsbewertung

Die Leistungsbewertung soll während des Lernprozesses und zugleich regelmäßig die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler messen, die experimentelle Methode umzusetzen, Hypothesen aufzustellen und zu überprüfen, Ergebnisse zu auswerten und Modelle einzusetzen. Darüber hinaus werden Kommunikationsfähigkeiten bewertet, darunter die Fähigkeit, Informationen zu analysieren, zu strukturieren und argumentativ darzustellen sowie wissenschaftliche Terminologie korrekt zu verwenden. Dabei wird die Qualität der verwendeten Sprachen Deutsch und Französisch in Wort und Schrift berücksichtigt. Schließlich soll durch die Beurteilung sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler biologische Fakten in verschiedenen Kontexten erkennen, auf der Grundlage ihres Wissens Entscheidungen ableiten und bewerten sowie die Bedeutung und Grenzen wissenschaftlicher Anwendungen erkennen können.

Die verschiedenen Formen der Beurteilung sollten zu einer transparenten und positiven Bewertung der Leistungen der Schülerinnen und Schüler beitragen. Die summative Evaluation muss es ermöglichen, alle, also auch mäßige Erfolge der Schülerinnen und Schüler hervorzuheben. Die Bewertungskriterien müssen bekannt sein und ihnen die Möglichkeit geben, ihre Fortschritte nachzuvollziehen. Die Förderung kollektiver Leistungen der Schülerinnen und Schüler ist ebenso wichtig wie die Berücksichtigung individueller Leistungen.

Eine regelmäßige Kontrolle der Lernfortschritte der Schülerinnen und Schüler erfolgt durch direkte Beobachtung der Schülerinnen und Schüler im Unterricht. Somit kombinieren die Bewertungsmethoden die speziell für die Bewertung vorgesehene Zeit mit der Bewertung durch Beobachtung der Schülerinnen und Schüler während des Unterrichts. Im Fach-Biologie ist die Bewertung der im experimentellen Bereich eingesetzten Fähigkeiten in den gesamten Lernprozess integriert. Sie validiert die Kompetenzen, die während der praktischen Aktivitäten im Laufe der gesamten Schulzeit erworben werden. Ziel ist es zugleich, die Autonomie der Schülerinnen und Schüler, die erworbenen Fertigkeiten sowie die Verwendung mündlicher Sprache in der wissenschaftlichen Argumentation zu bewerten.

Um jeder Schülerin und jedem Schüler die Verantwortung für ihr oder sein eigenes Lernen und die Unterstützung anderer zu übertragen, ist es wichtig, sowohl der Selbsteinschätzung als auch der gegenseitigen Beurteilung besondere Bedeutung beizumessen. Die Herausforderung besteht darin, eine Logik der Anerkennung erworbenen Wissens mit einer Logik der Bindung an ein Kollektiv zu artikulieren. Diese Reflexion über ihre Fortschritte und die der anderen Schülerinnen und Schüler erreicht ihr Ziel, wenn die Schülerinnen und Schüler in der Lage sind, dem Lehrer oder der Lehrerin eine Bewertung anzubieten, sobald sie sich dazu bereit fühlen.

11. und 12. Klasse

2 Lerninhalte

Der Lehrplan ist zweiseitig aufgebaut. Da sich die verschiedenen Kompetenzbereiche nicht strikt voneinander trennen lassen, sondern lediglich fachwissenschaftliche Kompetenzen widerspiegeln, werden diese in der Spalte „Erwartete Kompetenzen“ dargestellt. Alle in der Spalte genannten Teilkompetenzen sind verpflichtend.

Didaktische und methodische Hinweise befinden sich in der Rubrik „Allgemeine Hinweise und Vorschläge“. Sie liefern ergänzende Erläuterungen zur Umsetzung von Kompetenzen, mögliche Experimente, Hinweise zur didaktischen Umsetzung sowie thematische Verknüpfungen zu anderen Kapiteln des Lehrplans und möglichen Grenzen der wissenschaftlichen Tiefe. Zur Erleichterung der Unterrichtsplanung finden Sie im Anhang Umsetzungsbeispiele.

Die Operatoren sollen den Kompetenzerwerb unterstützen.

Der Lehrplan enthält Hinweise für die praktische Arbeit. Bei allen praktischen Arbeiten sind die gesetzlichen Sicherheitsvorschriften strikt einzuhalten.

Répartition des enseignements en première et terminale

Première (5h)	Terminale (5h)
Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales	Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales
2.1.1.	
	2.1.2. à 2.1.4.
2.2.1.	2.2.2.
2.3.1 à 2.3.3	2.3.4 et 2.4.
2.5	
2.6.1 à 2.6.3	2.6.4. à 2.6.8

2.1 STOFFWECHSEL UND ENERGIEUMWANDLUNGEN

Dieser Teil des Lehrplans zeigt die Rolle von Enzymen in biologischen Prozessen. Es werden anabole und katabole Prozesse und deren Kopplungen, die Energieumwandlungen innerhalb von Zellen ermöglichen, behandelt.

2.1.1 ENZYME

Durch im Unterricht durchgeführte Experimente können die Eigenschaften von Enzymen nachgewiesen werden. Besonderes Augenmerk wird auf den Zusammenhang gelegt, der zwischen den auf molekularer Ebene ablaufenden Mechanismen und ihren Auswirkungen auf andere Organisationsebenen besteht. Dies ist eine Gelegenheit, den Schülerinnen und Schülern den Einsatz von Enzymen in der Biotechnologie, die damit verbundenen Berufe und die Ausbildungsgänge vorzustellen, die in Europa derzeit von Nachwuchsmangel betroffen sind.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Enzyme sind für das Funktionieren des Stoffwechsels unerlässlich.	
erklären anhand von Experimenten die Rolle von Enzymen als Biokatalysatoren,	• Wiederholung 10./2nd Klassenstufe • Experimente mit Wasserstoffperoxid • Schlüssel-Schloss-Modell; induced-fit-Modell Fehleranalyse und Fehlerdiskussion von Experimenten durchführen
Die Schülerinnen und Schüler • beschreiben die Struktur eines Enzyms im Modell,	• Cofaktor, Coenzym, aktives Zentrum • Sobald der Lehrplan es zulässt, können die Begriffe, die mit Enzymen in Verbindung stehen, wieder aufgegriffen werden. Eine andere Bildungsstrategie kann darin bestehen, Enzyme entsprechend den Bedürfnissen der anderen Teile anzugehen und dann am Ende des Jahres ein Wiederholungskapitel zu verfassen
• führen eine Modellkritik am „Schlüssel-Schloss“-Modell von Enzymen durch,	
• setzen die katalytische Wirkung mit den Eigenschaften von Enzymen in Beziehung (Substratspezifität, Konsequenzen von variablen Faktoren: pH-Wert, Temperatur (RGT-Regel/Van t`Hoff-Regel),	
• führen eine enzymatische Reaktion mit kompetitivem und nichtkompetitivem Inhibitor (Hemmstoff) durch,	Digitale Tools ermöglichen: - Simulation enzymatischer Reaktionen, bei denen der Einfluss von Umweltfaktoren gezeigt wird - Animationen zur Visualisierung der Enzym-Substrat-Beziehungen • Digitale Tools können Experimente unterstützen, aber nicht ersetzen.
• zeigen anhand von Experimenten die Rolle	

von Enzymen in den beiden Hauptarten des Stoffwechsels (Anabolismus und Katabolismus),	
• erläutern die Bezeichnung der Enzyme und Enzymklassen und wenden sie auf Beispiele an,	• Mögliche Beispiele: Oxidoreduktasen, Transferasen, Hydrolasen, Lyasen, Isomerasen, Ligasen.
• Stellen die Kopplung von Oxidationen und Reduktionen durch die Coenzyme $\text{NADP}^+/\text{NADPH} + \text{H}^+$ bzw. $\text{NAD}^+/\text{NADH} + \text{H}^+$ schematisch anhand eines Pfeildiagramms dar.	• Die Konzepte Oxidation und Reduktion sollten als Abgabe bzw. Aufnahme von Elektronen betrachtet werden.

2.1.2 ENERGIEUMWANDLUNG UND ZELLATMUNG

In diesem Teil wird die Atmung als erstes Beispiel der Energieumwandlung in der Zelle besprochen. Dabei geht es darum, die Rolle der Kompartimentierung auf der Ebene von Zellen und einer Organelle zu zeigen: den Mitochondrien.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Bei der Atmung finden Energieumwandlungen durch Oxidation organischer Stoffe und Bildung von ATP statt.	
Die Schülerinnen und Schüler • verknüpfen Stoffwechselreaktionen und die Strukturen, in denen sie in den Mitochondrien stattfinden,	• Aus historischen Experimenten nachzuweisender Schritt: Glykolyse, oxidative Decarboxylierung (Acetyl-CoA-Bildung), Citratzyklus/Zitronensäurezyklus und Atmungskette (Endoxidation) • Wiederholung Mitochondrien 10./2nd Klassenstufe • Auswerten von Experimenten zur Hemmung der Atmungskette
• Stellen schematisch die Phasen der Zellatmung innerhalb eines Mitochondriums dar: Atmungskette – Citratzyklus – Energiekoppelung für die ATP-Synthese,	
• beschreiben die chemieosmotische ATP-Bildung,	
• erklären die Blockierung und Entkopplung der Atmungskette,	• Mögliches Diagramm siehe Anhang (1), indem die Reaktionen im Hyaloplasma (Glykolyse) und in den Mitochondrien stattfinden. • Wiederholung der ATP-Hydrolyse/Phosphorylierung der 10./2nd Klassenstufe
• bestimmen die Energiebilanz von Teilprozessen und der gesamten Zellatmung.	• siehe Anhang (2)

2.1.3 ENERGIEUMWANDLUNG UND GÄRUNG

Die Gärung bietet die Möglichkeit, einen zweiten Energieumwandlungsprozess in Zellen darzustellen. Dies ist die zweite Gelegenheit, über Biotechnologien, ihre wirtschaftlichen Auswirkungen, Berufe und damit verbundenen Ausbildungsgänge zu diskutieren.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Durch Gärung kann Energie in Abwesenheit von Sauerstoff gewonnen werden.	
Die Schülerinnen und Schüler • geben die Bilanzgleichungen der Reaktionen in Form eines Reaktionsdiagramms mit Strukturformeln an, an dem die Coenzyme der Milchsäuregärung und der alkoholischen Gärung beteiligt sind,	• die Reaktionen von Milchsäure- und Alkoholgärungen kann anhand von Experimenten aufgezeigt werden. • zur Vereinfachung siehe Anhang (3)

• vergleichen die Energiebilanz von Milchsäuregärung und alkoholischer Gärung mit der der Zellatmung,	• siehe Anhang (4) • Es ist lediglich der Gesamtvergleich der beiden Prozesse erforderlich.
• erläutern ein biotechnologisches Verfahren, das auf Gärungsprozessen beruht.	

2.1.4 ENERGIEUMWANDLUNG UND PHOTOSYNTHESE

Die Photosynthese bildet die Grundlage für die meisten Nahrungsnetze. Ihre Bedeutung innerhalb der Strukturierung eines Ökosystems zeigt sich in den verschiedenen Maßstabsebenen: Indem die Schülerinnen und Schüler die Mechanismen innerhalb des Chloroplasten, eines Organells, verstehen, können sie die Rolle dieses Stoffwechsels auf unterschiedlichen Ebenen des Lebens nachvollziehen.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • demonstrieren experimentell: - Freisetzung von Sauerstoff in Gegenwart von Licht und unter den erforderlichen Umgebungsbedingungen, - Trennung von Chlorophyllpigmenten (Chromatographie), - Vergleich des Wirkungsspektrums und Absorptionsspektrums von Chlorophyll, - Chlorophyllfluoreszenz und ihre Hemmung durch Zugabe eines Elektronenakzeptors, - Die Rolle von Elektronenakzeptoren bei der Funktion der Photosynthesekette (Hill-Reaktion).	• Glimmspanprobe • Computergestützte Experimente können mit dem EXAO-Orphy-System durchgeführt werden. - Elodea in destilliertem Wasser, Leitungswasser und CO₂-angereichertem Wasser - Elodea in Leitungswasser mit und ohne Licht - Elodea in Leitungswasser mit und ohne Infrarotlampe (je nach Temperatur) - Sauerstoffsammlung und -nachweis in Elodea
• erklären anhand von Diagrammen den Zusammenhang zwischen dem Absorptionsspektrum von Chlorophyll und dem Wirkungsspektrum der Photosynthese,	
• erläutern Beispiele für die Anpassung von Chlorophyllpflanzen an verschiedene Lebensumgebungen.	• Lichtpflanzen, Schattenpflanzen, Xerophyten, Mesophyten, Hydrophyten, Hygrophyten • Ein Vergleich der oberen und unteren Epidermis sowie der Funktion des Stomataapparates wird empfohlen.
• beschreiben die Photolyse von Wasser,	
• zeigen die Herkunft des Sauerstoffs mit Hilfe von radioaktiven Markern (Tracer-Methode),	• Photolyse von Wasser: Die im Wasser vorhandenen Sauerstoffatome werden radioaktiv markiert. Es ist zu beobachten, dass der entstehende Sauerstoff (und nicht Glukose) radioaktiv ist.
• beschreiben die Produktion von reduzierten Molekülen während der Lichtphase, die im Calvin-Zyklus verwendet werden,	• Photoreaktion (Lichtreaktion) und Calvin-Zyklus (lichtunabhängige Synthesereaktion)

	• ohne genauen Redoxsysteme
• beschreiben den Vorgang als Kopplung,	
• stellen schematisch die wesentlichen Phasen des Calvin-Zyklus dar,	• Körper-C-Diagramm des Calvin-Zyklus mit Phasen der Fixierung, Reduktion und Regeneration
• stellen schematisch die Kopplung der beiden Reaktionen innerhalb des Chloroplasten dar,	• z.B. „Black-Box-Diagramm“ siehe Anhang (5)
• erläutern die Abhängigkeit der Photosyntheserate von abiotischen Faktoren,	• Experimente mit <i>Elodea</i> (Bläschenzählmethode) durchführen • entsprechende Diagramme auswerten
• vervollständigen die Bilanzgleichung der Photosynthese, und geben dabei an, dass 2 % der empfangenen Lichtenergie von der Pflanze verbraucht werden,	
• geben Stoff- und Energiebilanz der Photosynthese an,	
• vergleichen die Mechanismen der CO₂-Absorption und der Synthese organischer Stoffe in C₄-Pflanzen und C₃-Pflanzen,	
• stellen den Zusammenhang zwischen der Produktion organischer Substanz während der Photosynthese und ihrer Oxidation zur Energieerzeugung während der Atmung oder Gärung dar.	

2.1 2.2 ARTENVIELFALT UND ÖKOSYSTEM

Ziel dieses Teils des Lehrplan ist es, die dynamische Funktionsweise eines Ökosystems in seinen räumlichen und zeitlichen Dimensionen zu verstehen. Dies ist eine Gelegenheit, die von Ökosystemen erbrachten Leistungen hervorzuheben. Ökosysteme reagieren auf Störungen, auch auf solche, die vom Menschen verursacht werden: das Konzept der Resilienz.

2.2.1 STRUKTUREN UND WECHSELWIRKUNGEN IM ÖKOSYSTEM

Die Schülerinnen und Schüler können in die Verantwortung genommen werden, indem man sie dazu verpflichtet, eine Exkursion zu organisieren.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Ein Ökosystem besteht aus Biotop und Biozönose.	
Die Schülerinnen und Schüler • wählen mindestens zwei Ökosysteme aus, um die gemeinsamen Merkmale aller Ökosysteme und ihre Besonderheiten (Biotop, Biozönose, abiotische Faktoren, biotische Faktoren) zu ermitteln,	• z.B. Ökosystem, Fluss, See, Meer, Hecke... • die Schülerinnen und Schüler eine Exkursion zu einem Ökosystem planen und organisieren lassen.

• erläutern, dass Biodiversität auf verschiedenen Ebenen definiert wird: von der genetischen Information bis zur Ebene der Ökosysteme	• Genetische Variabilität, Artenvielfalt, Ökosystemvielfalt
• beschreiben und vergleichen den Einfluss eines abiotischen Umweltfaktors auf die Verbreitung verschiedener Arten,	• Basierend auf den Daten sollen physiologische und ökologische Aktivitäten untersucht werden (ökologische Potenz, Toleranzkurven, Indikator(Zeiger)arten. • Ziel ist es, das Erstellen und Interpretieren von Diagrammen zu üben.
• stellen Nahrungsnetze grafisch dar,	• Pfeildiagramme üben • An dieser Stelle kann eine Kritik an der Darstellung geübt werden.
• erklären das Konzept der ökologischen Nische (Hutchinson-Nische), der realen und fundamentalen Nische und des Prinzips des Konkurrenzausschlusses,	
• untersuchen die Interaktionen zwischen Lebewesen: Konkurrenz, Symbiose, Parasitismus, Räuber-Beute-Beziehungen.	
• erläutern die LOTKA-VOLTERRA-Regeln und ihre Grenzen,	• Hier kann Simulationssoftware zum Einsatz kommen.
• vergleichen die Populationsdynamik unter idealisierten und realen Bedingungen,	
• erklären die unterschiedlichen Fortpflanzungsstrategien von Arten und beurteilen die Auswirkungen auf die Populationen dieser Arten,	• Fachbegriffe: exponentielles und logistisches Wachstum, Wachstumsrate r, Sterblichkeitsrate, Kapazität K, Bevölkerungsdichte, dichteabhängige und dichteunabhängige Umweltfaktoren. • Strategien r und k • Arbeit mit Diagrammen
• beschreiben die Pyramiden in Bezug auf Biomasse und Energie in einem Ökosystem,	• Der Energieverlust von trophischer Ebene zu trophischer Ebene muss betrachtet werden. • Auf die unterschiedlichen Ernährungsformen (Allesfresser, Vegetarier, Veganer) aus energetischer Sicht kann eingegangen werden.
• Stellen zwei biogeochemische Kreisläufe dar: den Kohlenstoffkreislauf und den Stickstoffkreislauf.	• Nitrifikation, Denitrifikation, N_2-Fixierung über Knöllchenbakterien

2.2.2 ÖKOSYSTEME UND MENSCHLICHER EINFLUSS

Dieser Teil des Lehrplans ermöglicht es, Projektansätze im formellen und informellen Kontext der Schule umzusetzen und außerhalb der Schule zu tragen:

- sich an Citizen-Science-Programmen beteiligen;
- sich in nachhaltigen Bildungsprojekten zum Beispiel im Bereich Biodiversität, Ernährung und Mobilität engagieren.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler - stellen den Eingriff des Menschen in Ökosysteme und deren Folgen dar: - ermitteln Folgen einer erhöhten Stickstoffversorgung, - beschreiben Folgen des anthropogenen Treibhauseffekts, - erklären Folgen endokriner Disruptoren (hormonartiger Substanzen),	- Einsatz von Düngemitteln, Ausbringen von Schadstoffen, Veränderung der Wassertemperatur usw. - Die von den Schülerinnen und Schülern vorgeschlagenen Beispiele sollen nach Möglichkeit verwendet werden. - z.B. Bisphenol A, Dioxin, Arzneimittel, organische Chlorverbindungen, PFA
untersuchen verschiedene Ressourcen und engagieren sich für deren verantwortungsvolle und nachhaltige Nutzung,	z.B. zum Beispiel Herkunft, Anbau/Abbau, Transport, ökologischer Rucksack Wasserverbrauch, Umweltbelastung, Arbeitsbedingungen usw.
beschreiben den ökologischen Fußabdruck als Maß für nachhaltiges Handeln und machen sich Möglichkeiten zur Reduzierung bewusst.	seinen eigenen ökologischen Fußabdruck berechnen

2.3 KOMMUNIKATION IM ORGANISMUS

In diesem Teil des Lehrplans werden die beiden Hauptkommunikationsarten im Körper untersucht: die nervöse und die hormonelle Kommunikation. Es handelt sich um einen Teil des Lehrplans, der sich für die Durchführung von Gesundheitserziehung und Risikoprävention eignet.

2.3.1 NERVENSYSTEM: STRUKTUR UND FUNKTION

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler vergleichen eine Reiz-Reaktionskette und einen Reflexbogen sowie die beteiligten Strukturen,	- Reiz-Reaktionsketten erstellen (z. B. einen Ball fangen), siehe Anhang (6) - Schematische Darstellung eines Reflexbogens, z.B. Muskeldehnungsreflex mit afferenten und efferenten Bahnen - Mikroskopische Untersuchung eines Abschnitts des Rückenmarks - Computergestützte experimentelle Untersuchung eines Muskeldehnungsreflexes (Sehnenreflex) - Reflex: unwillkürliche Reaktion auf einen

	Reiz, die nicht vom Gehirn kontrolliert wird, also die schnelle und stereotype Reaktion auf einen Reiz
ordnen spezifische Reize den entsprechenden Sinneszellen zu,	Untersuchung sensorischer Rezeptoren
beschreiben am Beispiel eines Motoneurons den Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion (Dendriten, Zellkörper, Axon mit und ohne Myelin, Synapse).	- eine beschriftete Skizze eines Motoneurons erstellen - Mikroskopische Untersuchung von Nerven, Rückenmark, Rückenwurzel und Muskeln - kommentierte Skizzen erstellen

2.3.2 ERZEUGUNG UND ÜBERTRAGUNG VON ERREGUNGEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Erregung wird durch die Häufigkeit der Aktionspotentiale kodiert.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Messung und das Zustandekommen des Ruhepotentials (Gleichgewichtspotentials) auf der Ebene von Ionen,	Simulationsexperiment (Kammern mit unterschiedlichen Salzlösungen, getrennt durch eine selektiv ionendurchlässige Membran)
erklären den Zusammenhang Elektrischer Gradient (Ionenladung) und Konzentrationsgradient (Konzentration des betreffenden Ions auf beiden Seiten der Membran),	Untersuchung des Ruhepotenzials mithilfe von Simulationssoftware
erklären ATP-abhängige Na^+/K^+-Pumpe,	
erklären den Zusammenhang zwischen selektiver Membranpermeabilität, Ionenkonzentration und Membranpotential,	
- verknüpfen die Phasen des Aktionspotentials und die Bewegungen von Ionen: - Phasen: Depolarisation, Repolarisation, Hyperpolarisation, Refraktärzeit (absolut und relativ), - von der Membranpotentialdifferenz abhängige Ionenkanäle am Axon, Aufrechterhaltung einer ungleichmäßigen Ionenverteilung durch die ständig aktive und ATP-abhängige Na^+/K^+-Pumpe, - Alles-oder-Nichts-Gesetz - Untersuchung eines Aktionspotentials mit einem Simulationsprogramm	- Untersuchung der Kodierung einer elektrischen Nachricht auf der Ebene einer Nervenfasern - Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Ionenkonzentrationen, Membranpermeabilität oder ATP-Mangel auf die Bildung eines Aktionspotentials
vergleichen myelinisierte und nichtmyelinisierte Erregungsleitung,	Beobachtung myelinisierter oder nicht myelinisierter Nervenfasern unter einem optischen Mikroskop
erklären die Aufnahme von Reizen und die Weiterleitung an einer Sinneszelle,	

• vergleichen primäre und sekundäre Sinneszellen in Struktur und Funktion,	
• entwickeln das Prinzip der Signaltransduktion anhand eines konkreten Beispiels,	
• setzen die Intensität des Reizes und die Veränderung des Rezeptorpotentials in Beziehung (Konzept der Schwelle).	

2.3.3 SYNAPTISCHE ÜBERTRAGUNG UND KONSEQUENZEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Auf der Ebene der Synapsen sorgt ein chemisches Substanz für die Übertragung der Erregung auf andere Zellen.	
Die Schülerinnen und Schüler • zeigen anhand eines Beispiels die Wirkung chemischer Substanzen auf die Weiterleitung der Erregung,	• z.B. Gifte, Drogen, Medikamente, Alkohol und Reaktionszeiten (Gesundheitserziehung und Risikoprävention) • Diese Einführung ermöglicht es, Hypothesen über die Verbindung zwischen Neuronen aufzustellen und anzunehmen, dass es eine chemische Verbindung gibt.
• beschreiben Synapsen und Prozesse auf zellulärer und Ionen- Ebene,	
• beschreiben den Aufbau eines Skelettmuskels und einer neuromuskulären Verbindung (motorische Endplatte), anhand einer Skizze,	• Mikroskopische Präparate zur Struktur eines quergestreiften Muskels
• erläutern die Übertragung von Erregungen an einer neuromuskulären Verbindung,	
• beschreiben die Funktionsweise des Aktin-Myosin-Komplexes,	• ein Modell verwenden
• erklären die Erregungsübertragung einer interneuronalen (erregenden) Synapse auf der Ebene von Ionen: AP, Ca^{2+}-Kanäle, präsynaptische Vesikel, synaptischer Spalt, prä- und postsynaptische Membran, Rezeptoren und Ionenkanäle auf der postsynaptischen Membran, Inaktivierung des Neurotransmitters Resynthese des Neurotransmitters,	• ausgewählter Neurotransmitter: Acetylcholin • Der Unterricht kann erweitert werden, indem die Auswirkungen exogener Substanzen auf die Funktionsweise der Synapse ermittelt werden (Gesundheitserziehung und Risikoprävention).
• Leiten erregende und hemmende Synapsen mit der Bildung von EPSPs und IPSPs auf dem postsynaptischen Neuron ab,	• Computersimulation
• stellen einen Zusammenhang zwischen den räumlichen und zeitlichen Summationen und ihre Folgen für die Entstehung oder Nichtentstehung eines postsynaptischen Potenzials dar	• Begriff der Schwelle

stellen die Abhängigkeit der Reizstärke und der Zahl der überschwellig erregter Axone dar	
vergleichen die verschiedenen Arten der Codierung während der Übertragung der elektrischen Erregung auf verschiedenen Ebenen.	Reizintensität, Amplitude und Frequenz, chemische Kodierung an den Synapsen, Abhängigkeit der Reizstärke von der Zahl der überschwellig erregten Axone

2.3.4 DIE FUNKTION DES NERVENSYSTEMS MODULIEREN

Die Plastizität des Gehirns ist eine allgemeine Eigenschaft des Nervensystems.

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler	
nennen die Abschnitte des Gehirns und ihre Funktion,	
beschreiben Lernen als Veränderung synaptischer Übertragungen zwischen Nervenzellen: Bildung neuer Synapsen oder Modulation der synaptischen Übertragung,	
erklären die klassische Konditionierung und die Prägung als einfachen Lernprozess,	- Regelkreisdiagramme erstellen - Die Konditionierung des Augenlidschließreflexes kann an einem Schüler anhand eines Projekts in Kombination mit einem akustischen Hinweis demonstriert werden. - Folgende Begriffe sollen verwendet werden: Schlüsselreiz, bedingter Reiz, unbedingter Reflex, operante Konditionierung, sensible Phase, Ortsprägung, Nahrungsprägung, sexuelle Prägung, Habituation, Sensibilisierung.
stellen zerebrale Plastizität und langfristige Potenzierung als neuronale Grundlage des Lernens dar,	
beziehen das Lernen oder den Verlust von Nervenzellen auf die Veränderung neuronaler Verbindungen,	Die Wirksamkeit von Synapsen kann beispielsweise durch die Menge der Botenstoffe, Veränderungen der Membranleitfähigkeit über Veränderungen der Rezeptoren, die Anzahl der Rezeptoren und die Resyntheserate des Neurotransmitters beeinflusst werden.
nennen die Funktionen der verschiedenen Gedächnistypen: Arbeitsgedächtnis (Kurzzeitgedächtnis), semantisches Gedächtnis und episodisches Gedächtnis, zwei Systeme der bewussten Langzeitrepräsentation und prozedurales Gedächtnis,	Das Wahrnehmungsgedächtnis ist mit verschiedenen Sinnesmodalitäten verbunden
vergleichen die Gedächtnisleistung anhand verschiedener, aber auch gleichzeitiger Sinneskanäle (haptisch, optisch, akustisch) (Lerntypentest),	

• erklären die Funktionsweise des Belohnungssystems,	• Transmitter Dopamin (Dopaminabhängige Synapsen)
• erläutern die Wirkung von Suchtmitteln auf das Belohnungssystem anhand eines Beispiels,	• z.B. Nikotin, Alkohol, THC • Der Konsum von Suchtmitteln und die entsprechende Legalisierung können hier ebenso besprochen werden wie Präventionsmaßnahmen.
• beschreiben den Bau und die Funktion des vegetativen Nervensystems und erläutern die antagonistische und Wirkung von Sympathikus und Parasympathikus,	
• vergleichen Erkrankungen des menschlichen Nervensystems hinsichtlich Ursachen Krankheitsbildern und Behandlungsmöglichkeiten,	• Alzheimer-Demenz, Multiple Sklerose, Parkinson-Krankheit.
• beschreiben Diagnosetechniken für neuronale Erkrankungen.	• z.B. Elektroenzephalogramm (EEG), Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MRT)

2.4 HORMONE

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die hormonelle Kontrolle über Hormone erfolgt über Moleküle, die von endokrinen Drüsen produziert, im Blut transportiert werden und auf Zielzellen wirken.	
Die Schülerinnen und Schüler • erklären die Signalübertragung durch das endokrine System und das Nervensystem vergleichen und anschließend die Wechselwirkung zwischen hormoneller und neuronaler Steuerung am Beispiel der Neurotransmitter Adrenalin und Noradrenalin,	• Übertragungsgeschwindigkeit, Art der Signale, Ort der Übertragung, beteiligte Zellen/Substanzen, Wirkung • Hormone können als Neurotransmitter wirken und umgekehrt. Die Aktivität der endokrinen Drüsen wird in vielen Fällen vom ZNS (Hypothalamus) gesteuert.
• erklären am Beispiel der Regulation von Sexualhormonen die Sekretionsorte von Hormonen lokalisieren und auf molekularer Ebene die unterschiedlichen Wirkweisen und die Regulierung des Hormonhaushalts: - Sperma, konstanter Testosteronspiegel, Hoden, Hypothalamus, Hypophyse, Regelkreisprinzip, negative Rückkopplung - Eierstöcke, Eier, Eierstockzyklus, Eisprung, Befruchtung, Einnistung, Hypothalamus, Hypophyse, Regelkreisprinzip, positives oder negatives Feedback,	• Aufbau eines hormonellen Regelkreises. • Interpretation von Hormonspiegeldiagrammen • Mikroskopische Untersuchung von Abschnitten funktionsfähiger und nicht funktionsfähiger Hoden • Mikroskopische Untersuchungen der Eierstöcke und der Gebärmutter zu verschiedenen Zeitpunkten des Zyklus

• erklären Methoden der Empfängnisverhütung und der medizinisch unterstützten Fortpflanzung,	• Antibabypille, Hormonspirale, Hormonpflaster • Die Temperaturmethode kritisch untersuchen...
• betrachten Verhütungsmethoden und medizinisch unterstützte Fortpflanzung unter rechtlichen und ethischen Aspekten,	
• beschreiben Stress als körperliche Anpassungsreaktion auf bestimmte Stressfaktoren (Stressoren),	
• unterscheiden das General Adaptation Syndrome (GAS) und das Fight or Flight Syndrome (FFS) an einem Beispiel,	• Kampf-oder-Flucht-Syndrom (FFS): eine Reihe physiologischer Reaktionen, die es dem Körper ermöglichen, blitzschnell zu reagieren, um sich aus einer gefährlichen Situation zu befreien.
• beschreiben die Reaktionen auf Stressfaktoren bei akutem Stress,	• schnelle Reaktion mit Stimulation des limbischen Systems (an Emotionen beteiligte Bereiche wie die Amygdala); Freisetzung von Adrenalin aus dem Nebennierenmark und Anstieg der Herzfrequenz, Atemfrequenz und Freisetzung von Glukose ins Blut
• vergleichen das Sympathicus-Nebennierenmark-System (Kurzzeit-Stresssystem) mit dem Hypophysen-Nebennierenrinden-System (Langzeit-Stresssystem) und die daran beteiligten Hormone, • beschreiben die Interaktion zwischen Kurzzeit- und Langzeitstresssystem,	• auf zerebraler Ebene Sekretion von CRH durch den Hypothalamus und Mobilisierung von Hypothalamus-Hypophysen-Kortikoadrenal-Achse, was zur Freisetzung von Cortisol führt. Cortisol fördert die Glukosemobilisierung und hemmt bestimmte Funktionen (einschließlich des Immunsystems) • Negatives Feedback von Cortisol, das eine negative Rückmeldung auf die Freisetzung von CRH ausübt; Wiederherstellung nachhaltiger Betriebsbedingungen (Resilienz) • Koordination verschiedener physiologischer Wege, die die Anpassungsfähigkeit des Organismus ermöglichen • Wenn Stressoren zu intensiv oder zu langanhaltend sind, werden die physiologischen Mechanismen überfordert und das System kommt aus dem Gleichgewicht; Induktion von chronischem Stress: Veränderungen in bestimmten Strukturen des Gehirns, insbesondere im limbischen System und im präfrontalen Kortex.
• nennen Störungen der Aufmerksamkeit, des Gedächtnisses und der kognitiven Leistungsfähigkeit als mögliche Folgen von Stress,	• unterschiedliche Hormonspiegel (Adrenalin und Cortisol) in Abhängigkeit der Stresssituation interpretieren • klinische und experimentelle Daten (medizinische Bildgebungs- und/oder elektrophysiologische Daten) als Antwort auf Stressoren interpretieren

	eigenen Erfahrungen, z.B. die Prüfungssituation (Schule, Führerschein etc.), besprechen
beurteilen Maßnahmen, um Stress zu bewältigen, zu reduzieren und die eigene Resilienz zu entwickeln.	

2.5 ZELLULÄRE ZUSAMMENARBEIT: BEISPIEL IMMUNSYSTEM

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Merkmale und den Bau der bakteriellen und viralen Organismen,	gegebenenfalls Vergleich Lehrpläne Sek I
- beschreiben virale und bakterielle Fortpflanzungsarten: - Bakterienteilung, - Virusreplikation: schematische Darstellung des lysogenen und lytischen Zyklus,	- zum Beispiel Corona-Virus, Grippevirus, HIV-Virus - z.B. Salmonellen - basierend auf der Bakterienwachstums-kurve exponentielle Wachstumsphasen erklären: log-Phase, lag-Phase, Absterbe-phase
beschreiben Infektionsbarrieren,	- Darm: beherbergt Immunzellen - Haut: physische Barriere - Darmepithel und Mikrobiota: sorgt für Resistenz gegen fremde Bakterien - z.B. Vorteil des sorgfältigen Händewaschens mit Reinigungsmitteln - Nutzung von eBug-Site-Ressourcen
erläutern Maßnahmen zur Vorbeugung von Infektionskrankheiten,	
beschreiben die Stadien, in denen ein Mikroorganismus die Barrieren überschritten hat: Entzündung nach einer Hautläsion: Infektion, Inkubationszeit, Phagozytose, Makrophage (Phagozyten), Krankheit, Entzündung, Heilung,	
beschreiben Synthese und Reifung der B-Lymphozyten und T-Lymphozyten,	- Betrachtung von Blutzellen: Erythrozyten, Blutplättchen, Leukozyten, Lymphozyten, Helfer-T-Zellen, Suppressor-T-Zellen, Killer-T-Zellen, B-Zellen, Plasmazellen, Gedächtniszellen - Ein tabellarischer Vergleich der verschiedenen Immunzellen wird empfohlen. - Erstellen von Pfeildiagrammen
beschreiben die Bedeutung der Lymphknoten als Organ der Interaktionen zwischen Infektionserregern und Immunzellen,	
erklären Erwerb der Immunkompetenz von	

T-Lymphozyten im Thymus,	
beschreiben anhand eines Beispiels die erworbene Immunantwort als Interaktion auf zellulärer Ebene (Makrophagen, T- und B-Lymphozyten [Erkennungsphase, Differenzierungsphase, Wirkphase, Abschaltphase]),	- einen Präzipitintest durchführen - das Schlüssel-Schloss-Prinzip auf die Antigen-Antikörper-Reaktion anwenden
beschreiben die Eigenschaften von MHC I und MHC II, ohne auf den molekularen Aufbau einzugehen,	
beschreiben den Aufbau eines Antikörpers [IgG] und die Strukturen, die mit dem Antigen interagieren (variabler Teil, identische antigenspezifische Bindungsstelle, konstanter Teil, Y-Form),	
- erklären das Immungedächtnis und seine Bedeutung: - Erste Infektion, zweite Infektion, erste und zweite Immunantwort, - Rolle von Gedächtniszellen,	Diagrammanalyse
beschreiben eine biotechnologische Anwendung von Antikörpern,	z.B. Schwangerschaftstest, immunbiologische Tests (ELISA)
erklären die Vorgänge bei der passiven und aktiven Impfung und vergleichen (Zeitpunkt der Impfung, Impfschutz und Serumzusammensetzung),	z.B. Corona-Impfung während der Covid-Pandemie
diskutieren und bewerten Impfungen hinsichtlich ihrer individuellen und gesellschaftlichen Bedeutung.	

2.6 EVOLUTION

2.6.1 DIE STRUKTUR DES GENETISCHEN MATERIALS

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Funktion der DNA hängt mit ihrer Struktur zusammen.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben Strukturmerkmale der DNA.	- Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd Klassenstufe - die Arbeit von Watson und Crick sowie die Beiträge von Rosalin Franklin mobilisieren. - Film: „Der Wettlauf zum Ruhm“
erklären Replikationsprozesse auf molekularer Ebene (Basenkomplementarität und Rolle von Enzymen).	Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd Klassenstufe, ergänzt durch die Fragmente von Okazaki.

2.6.2 EXPRESSION GENETISCHER INFORMATIONEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Expression genetischer Informationen ist ein komplexer, mehrstufiger Prozess.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben und vergleichen die Transkription in Eubakterien und Eukaryoten und nennen die Besonderheiten der mRNA: Exon, Intron, Spleißen Prä-RNA, Poly-A-Schwanz.	- kodierender Strang (transkribiert), Polymerase - Verwendung eines datenbankgesteuerten Programms zur Demonstration des Spleißens.
- erklären die Mechanismen zur Herstellung von Proteinen aus mRNA: - den Ort der Transkription in der Zelle und den beteiligten Organellen lokalisieren und die Besonderheiten der rRNA beschreiben, - Basen-Triplets und Korrespondenzen mit Aminosäuren in Beziehung bringen: genetischer Code, Universalität des nuklearen Informationscodes in Eukaryoten, Redundanz, - die Struktur von tRNAs, Codon-Anticodon, Kleeblattstruktur beschreiben, - die Translation in Eubakterien und Eukaryoten beschreiben, - Initiation, Elongation, Termination - Proteinreifung	- Wiederholung des erworbenen Wissens der 10./2nd Klassenstufe Klasse - Nutzung radioaktiver Markierungen - Molekulare Modelle nutzen. - Datenbanken nutzen.
erklären die Genotyp-Phänotyp-Beziehung,	- Die Begriffe Allel und Gen müssen voneinander unterschieden werden. - Gen- -Enzym-Merkmal, Genwirkkette, z.B. Phenylketonurie, Hautfarbe
erläutern die unterschiedliche Genaktivität und Genregulation in Eubakterien und Eukaryoten.	- Transkriptionsfaktoren, DNA-Methylierung, DNA-Acetylierung, Histonmodifikation, RNA-Interferenz. - TATA-Box, Silencer, Enhancer - Modell des Lactose-Operons in Eubakterien: Substratinduktion, Endproduktrepression

2.6.3 MUTATIONEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Fehler oder Punktmutationen können spontan bei der DNA-Replikation oder im Zusammenhang mit mutagenen Faktoren in der Umwelt auftreten. Mutationen sind die Grundlage der genetischen Vielfalt innerhalb von Arten.	
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben und analysieren die verschiedenen Arten von Mutationen (genetische Mutation, genomische Mutation, chromosomale Mutation) und ihre Folgen,	- das Wissen der 10./2nd Klassenstufe (Mutagene) wiederholen - Substitution, Insertion, Deletion, Insertion
untersuchen Nukleinsäurestränge, um mögliche Mutationen (Punktmutation, Leserastermutation) zu identifizieren und Konsequenzen auf Proteinebene abzuleiten (stille Mutation, Missense-Mutation, Nonsense-Mutation),	
unterscheiden die Folgen einer Mutation in einer somatischen Zelle und in einer Keimzelle,	
beschreiben Krebs als mögliche Mutation in Genen, die den Zellzyklus steuern.	Protoonkogen, Antionkogen, Tumorsuppressoren, Krebszelle.

2.6.4 BEITRÄGE DER BIOTECHNOLOGIEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler erläutern das Prinzip der Polymerase-Kettenreaktion (PCR): Taq-Polymerase, Zyklus einer PCR,	- eine PCR durchführen und die Ergebnisse interpretieren, z.B. Corona-Test, HIV-Test, Vaterschaftstest, forensische Untersuchungen - Besuch eines Labors durch die Schülerinnen und Schüler
beschreiben verschiedene Techniken der molekularen Biotechnologie,	Gelelektrophorese, Restriktionsenzyme, Sanger-DNA-Sequenzierung, DNA-Fingerprinting, Polymorphismusanalyse, Transformation
beschreiben Verfahren der Gentechnik zur Veränderung des Genoms eines Organismus und erklären die Schritte der experimentellen Transgenese,	Identifizierung und Isolierung des gewünschten Gens, Exzision des Gens mittels Restriktionsenzymen, Amplifikation des Gens durch PCR, Insertion des Gens, Überprüfung des Gentransfers
beschreiben und bewerten verschiedene Techniken zur Herstellung gentechnisch veränderter Organismen,	Ein ausführlich untersuchtes Anwendungsbeispiel aus der Praxis (z.B. Produktion von Wachstumshormon/Insulin durch Gentechnik, Gentherapie, Bt-Mais, Einsatz von <i>Agrobacterium tumefaciens</i> als Vektor, etc.)

	Einzelheiten zu den verschiedenen Techniken sind nicht erforderlich.
beschreiben und bewerten CrisprCas9 als Methode zur gezielten DNA-Modifikation.	z.B. Anwendungen bei der Veränderung der Eigenschaften von Nutztieren, bei der Schädlingsbekämpfung oder in der Gentherapie

2.6.5 REKOMBINATION

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler beschreiben die Phasen der Meiose und erklären ihre Folgen: diploid, haploid, Gamete (Keimzelle), Zygote,	mikroskopische Bilder von Zellen während der Meiose ordnen, benennen und interpretieren
stellen die Variabilität von Gameten und der daraus resultierenden Zygoten dar (3. Mendelsche Regel),	Die zufällige Verteilung der väterlichen und mütterlichen Chromosomen unter den Tochterzellen führt zur Allel-Rekombination (Diversität).
erklären die interchromosomale und intrachromosomale Vermischung anhand einfacher Diagramme und erläutern deren Bedeutung und Konsequenzen,	
erklären die Vererbung des menschlichen Geschlechts,	
erklären Meiosefehler und ihre Folgen,	- Turner-Syndrom, Klinefelter-Syndrom, Down-Syndrom - Beobachtung von Karyogrammen mit Anomalien
- verknüpfen den Genotyp und den Phänotyp und verstehen die Ergebnisse eines Kreuztests: - Dominanz/Rezessivität, autosomale oder gonosomale Übertragung, Kodominanz, - monohybride und dihybride Vererbung, - homozygot, heterozygot, - verwandte oder unabhängige Merkmale	- Elterngeneration, Tochtergeneration z. B. erblich bedingt: Zungenrollen, Albinismus, kurze Finger, Hämophilie, Farbenblindheit, Blutgruppen, Mendelsche Studien an Erbsen usw. - Man muss beachten, dass herangezogene Beispiele den Schülerinnen und Schülern Schwierigkeiten bei der eigenen Genealogie bereiten könnten. - leiten Stammbäume erstellen und interpretieren und leiten mögliche Vererbungsmuster nach dem Ausschlussprinzip ab.

2.6.6 EVOLUTIONSFAKTOREN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Biodiversität ist das Ergebnis evolutiver Prozesse.	
Die Schülerinnen und Schüler - beschreiben die Biodiversität auf der Ebene der genetischen Vielfalt, der Artenvielfalt und der Ökosystemvielfalt, - diskutieren das Artenkonzept (morphologisch, genetisch und reproduktiv),	- beschreiben einfache Methoden zur Bestimmung der Artenvielfalt in einem Biotop, - Morphologisch: Eine Art besteht aus Individuen, die wesentliche physische Merkmale miteinander und mit ihren Nachkommen teilen. - Populationsgenetik: Arten sind Gruppen von Populationen, deren genetisches Erbe sich von dem anderer unterscheidet. - Fortpflanzung: fruchtbare Nachkommen über mehrere Generationen hinweg.
Stellen die Variation des genetischen Pools (Gesamtallele) von einer Population zur anderen der Art dar,	
- erläutern den genetischen Pool als Ausgang für Evolutionsprozesse: - erklären Veränderungen der Allelfrequenzen im Genpool einer Population mit unterschiedlichen Fortpflanzungsfähigkeiten, - erklären die Rolle der genetischen Drift bei der Entwicklung des Genpools,	Verwendung eines (Computer)-Modells zur Veranschaulichung der genetischen Drift
begründen Änderungen der Allelhäufigkeiten im Genpool einer Population mit unterschiedlicher reproduktiver Fitness,	Eine bessere Anpasstheit führt zu einer besseren Fitness.
vergleichen die Evolutionstheorien von Lamarck und Darwin an einem einfachen Beispiel,	
erläutern verschiedene Formen der Selektion (natürliche, stabilisierende, transformierende, gerichtete Selektion) als Evolutionsfaktoren,	- weitere Formen der Selektion: sexuelle Selektion; direktionale, disruptive, aufspaltende Selektion - ein einfaches (Computer-)Modell verwenden, um die natürliche Selektion zu veranschaulichen.
erläutern die verschiedenen Formen der Isolation und ihre Bedeutung für Evolution und Artbildung,	- geografische, reproduktive und ökologische Isolation Allopatrische und sympatrische Artbildung - Verwendung eines einfachen (Computer-) Modells zur Veranschaulichung der geografischen Isolation

• erläutern die Bedeutung der synthetischen Evolutionstheorie zur Erklärung der Artenvielfalt,	• Variation, Mutation, Selektion, Rekombination, Isolation, genetische Drift.
• stellen Koevolution als einen Prozess der gegenseitigen Anpassung zweier Arten anhand eines Beispiels dar,	• z.B. Nachtfalter – Orchidee
• erklären die Bedeutung von Parasitismus, Symbiose und Räuber-Beute-Beziehungen im evolutionären Sinne.	• siehe Kapitel „Strukturen und Wechselwirkungen im Ökosystem“

2.6.7 BEZIEHUNGEN IM ZUSAMMENHANG MIT EVOLUTIONSMECHANISMEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Schülerinnen und Schüler • stellen Homologe und Nicht-Homologe (analoge) Organe unterscheiden und ihre Grenzen bei ihrer Verwendung bei der Klassifizierung von Lebewesen dar,	• Verwendung eines datenbankgesteuerten Programms zur Bestimmung des Verwandtschaftsgrads zwischen Lebewesen
• verwenden homologe und abgeleitete Merkmale, um phylogenetische Stammbaumhypothesen zu testen.	• eine hierarchische Klassifizierung mit zunehmender Verzweigung unter Rückgriff auf Merkmale aus Tier- und Pflanzensammlungen

2.6.8 EVOLUTION DES MENSCHEN

Erwartete Kompetenzen	Allgemeine Hinweise und Vorschläge
Die Zugehörigkeit der Hominiden zu Säugetieren und Primaten basiert auf ihren abgeleiteten Merkmalen.	
Die Schülerinnen und Schüler • vergleichen Schimpansen und verschiedene Menschenarten anhand morphologischer Merkmale und begründen die Stellung der Gattung Homo (Homo rudolfensis, Homo erectus, Homo neanderthalensis, Homo sapiens) in der Ordnung der Primaten,	• Mögliche Merkmale: Gehirnvolumen, Fortbewegung, Kiefer, Zahnbogen, Zähne, Hinterhauptloch (Foramen occipitalis), Beckengröße, Augenwülste, Fuß, Hand, Wirbelsäule
• erläutern Migrationsbewegungen im Laufe der Menschheitsgeschichte mithilfe der Analyse mitochondrialer DNA,	• Nutzung genomischer Analyseergebnisse (DNA-Hybridisierung, Genomsequenzierung, immunbiologische Methoden etc.)
• Stellen phylogenetische Beziehungen und die Ausbreitung der Hominiden basierend auf Fossilienfunden dar,	• Out-of-Afrika-Theorie • Vergleich von Stammbäumen, die aus mitochondrialer DNA entstanden sind, mit solchen, die aus Fossilfunden entstanden sind,
• stellen einen vereinfachten Stammbaum mit Vertretern der Gattungen Paranthropus /Australopithecus und Homo auf, der den	• mögliche Vertreter: A. afarensis, A. africanus, H. ergaster, H. erectus, H. neanderthalensis, H. rudolfensis, H. habilis, H. sapiens, H. florensis

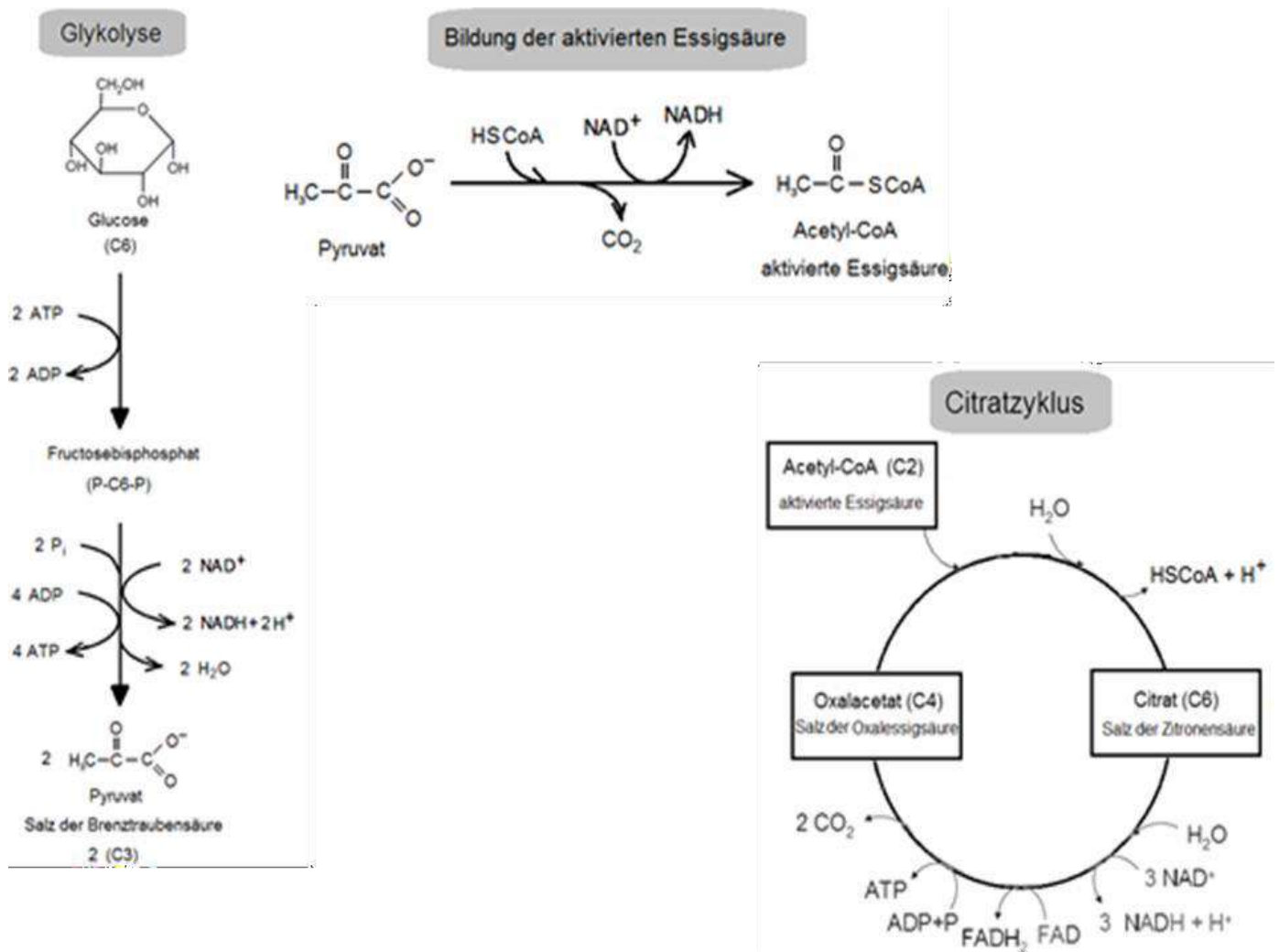
baumartig verzweigten Aspekt der menschlichen Evolution zeigt,	
stellen die Bedeutung besonderer Entwicklungen in der Evolution des Menschen dar.	aufrechter Gang, Präzisionsgriff, Werkzeuggebrauch, Sprachentwicklung, Bildung, Kultur

3 Operatoren

Operator	Definition
ableiten, schließen auf	auf der Grundlage von Erkenntnissen sachgerechte Schlüsse ziehen
analysieren	systemische Untersuchungen eines Sachverhaltes, bei dem Bestandteile, dessen Merkmale und ihre Beziehungen zueinander erfasst und dargestellt werden
anwenden	einen bekannten Zusammenhang oder eine bekannte Methode auf einen anderen Sachverhalt beziehen
aufstellen von Hypothesen	eine begründete Vermutung formulieren
auswerten	Daten, Einzelergebnisse oder andere Aspekte in einen Zusammenhang stellen, um daraus Schlussfolgerungen zu ziehen
begründen	Sachverhalte auf Regeln, Gesetzmäßigkeiten beziehungsweise kausale Zusammenhänge zurückführen
beschreiben	Strukturen, Sachverhalte, Prozesse und Eigenschaften von Objekten in der Regel unter Verwendung der Fachsprache wiedergeben
bestimmen	Ergebnisse aus gegebenen Daten generieren
bewerten, beurteilen	einen Sachverhalt nach fachwissenschaftlichen oder fachmethodischen Kriterien oder einem persönlichen und gesellschaftlichen Wertebezug begründet einschätzen
darstellen	Sachverhalte, Zusammenhänge, Methoden, Ergebnisse etc. strukturiert wiedergeben
diskutieren	Argumente zu einer Aussage oder These einander gegenüberstellen und abwägen
erklären	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen
erläutern	Strukturen, Prozesse oder Zusammenhänge des Sachverhalts erfassen und auf allgemeine Aussagen oder Gesetze zurückführen und durch zusätzliche Informationen oder Beispiele verständlich machen
interpretieren, deuten	Sachverhalte oder Zusammenhänge im Hinblick auf Erklärungsmöglichkeiten untersuchen und abwägend herausstellen
nennen, angeben	Elemente, Sachverhalte, Begriffe, Daten, Fakten ohne Erläuterung wiedergeben
ordnen, klassifizieren. zuordnen	Begriffe, Gegenstände, etc. auf der Grundlage bestimmter Merkmale systematisch einteilen
planen	zu einem vorgegebenen Problem Lösungswege entwickeln
skizzieren	Sachverhalte, Objekte, Strukturen oder Ergebnisse auf das Wesentliche reduzieren und in übersichtlicher Weise wiedergeben
untersuchen, durchführen	Sachverhalte oder Objekte zielorientiert erkunden, Merkmale und Zusammenhänge herausarbeiten, auch experimentell
vergleichen	Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausarbeiten
zeichnen	eine anschauliche und hinreichend exakte grafische Darstellung anfertigen

4 Anhang

(1) Schematische Darstellung der Teilprozesse der Atmung



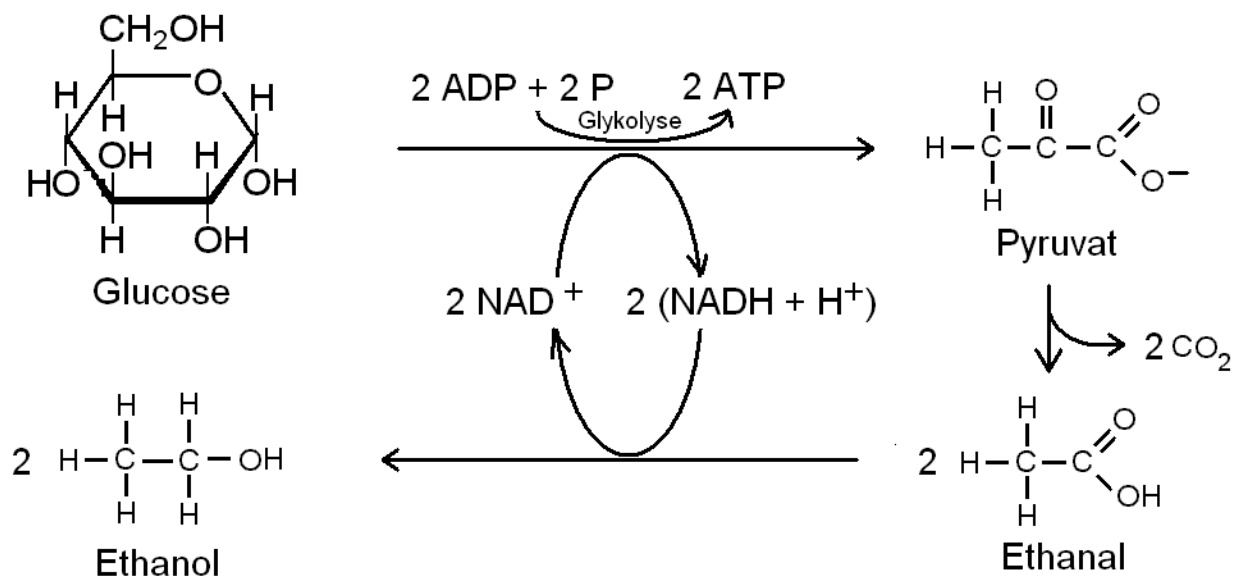
Quelle: Lehrplan Biologie für das erhöhte Anforderungsniveau 2023, Saarland

(2) Energiebilanz der Zellatmung

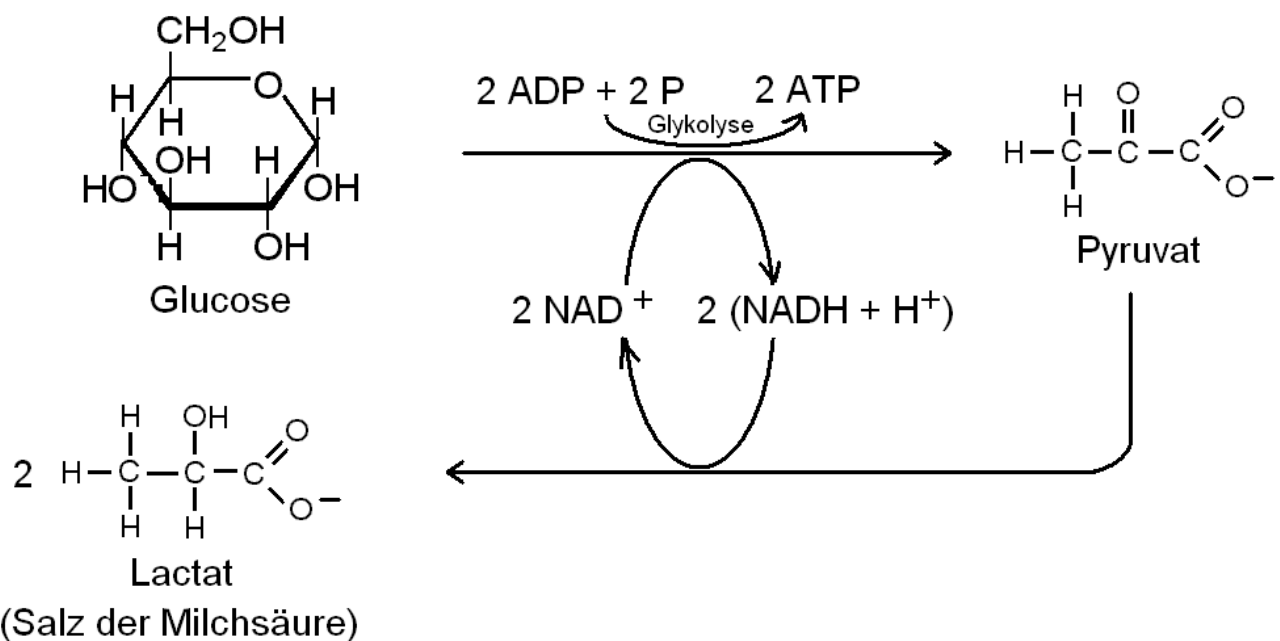
	Glykolyse	Oxidative Decarboxylierung	Citratzyklus	Atmungskette	Summe
ATP	2	-	2	34	38
NADH	2	2	6	- 10	0
FADH ₂	-	-	2	- 2	0

(3) Alkoholische Gärung und Milchsäuregärung

Alkoholische Gärung



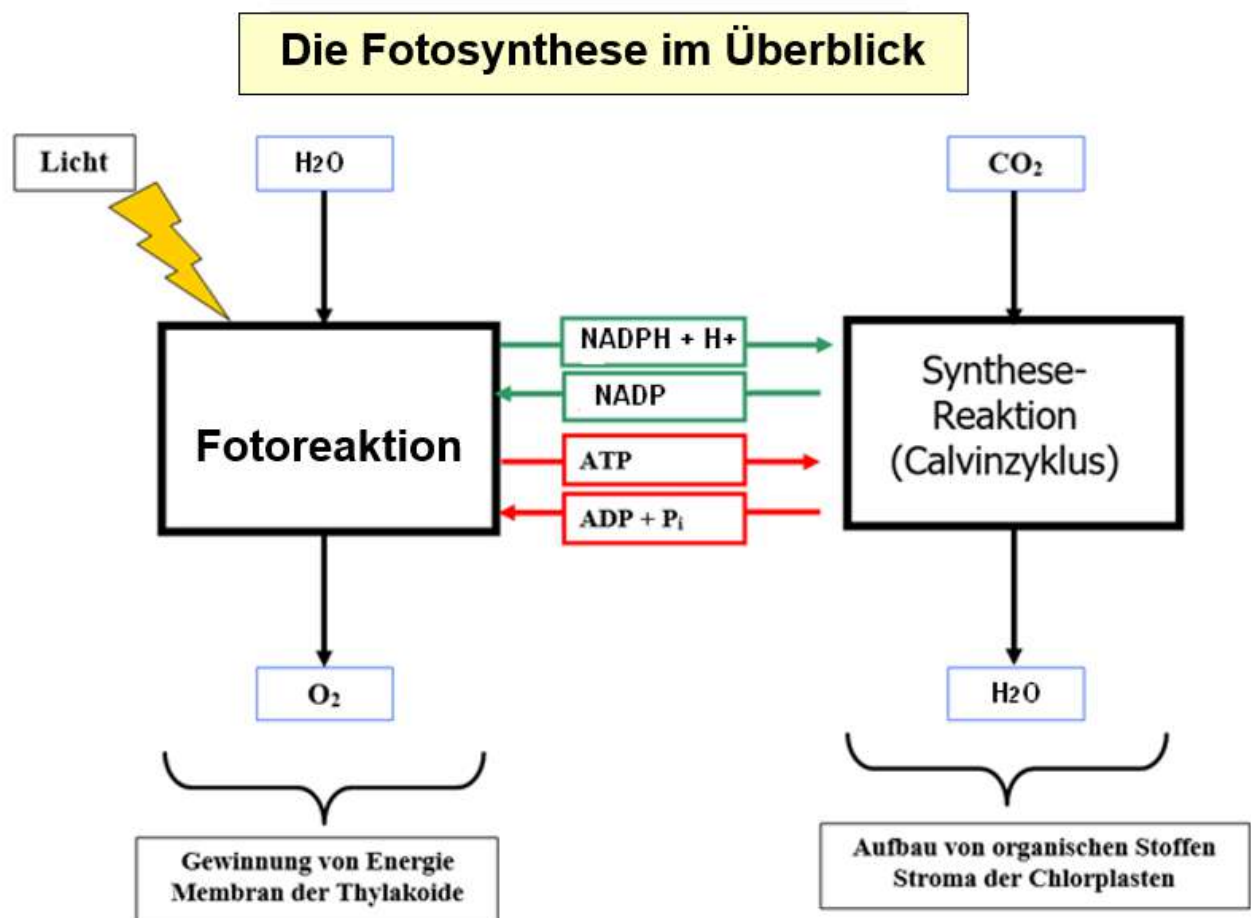
Milchsäuregärung

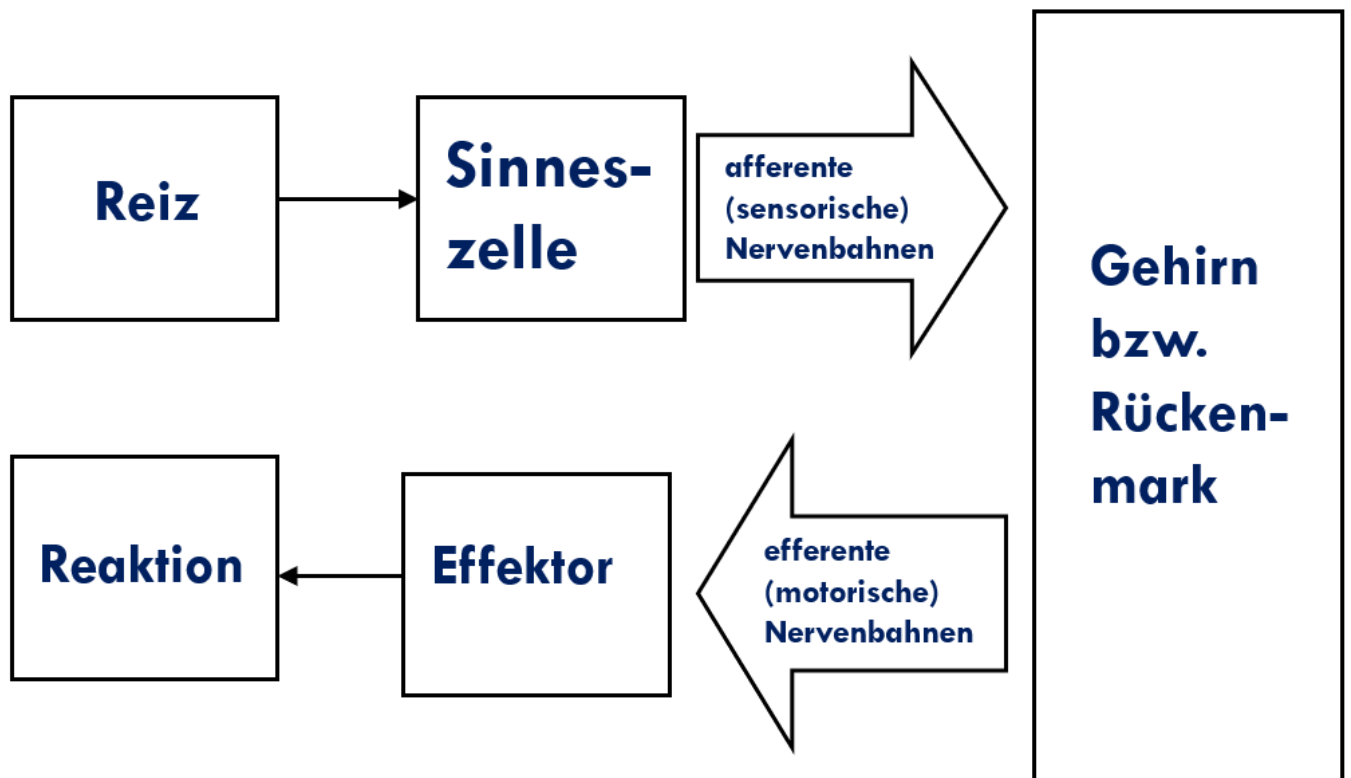


Quelle: [Lehrplan Biologie für das erhöhte Anforderungsniveau 2023](#), Saarland

(4) Vergleich von Zellatmung und Gärung

	Zellatmung	Alkoholische Gärung	Milchsäuregärung
Elektronenakzeptor	Sauerstoff	Pyruvate	Pyruvate
Energiegewinn	38ATP	2ATP	2ATP
Rohstoff	Glucose	Glucose	Glucose
Produkt	CO ₂ und H ₂ O	Ethanol und CO ₂	Laktat

(5) „Black-Box-Diagramm“ der Photosynthese**(6) Reiz-Reaktionskette**



2025

Programme d'études

DFG/LFA

Biologie

Enseignement commun

2nde-1ère-Terminale

Table des matières

1	Idées directrices	2
1.1	Finalités éducatives	2
1.2	Objectifs	2
1.3	Enjeux méthodologiques	7
1.4	Évaluation	7
2.	Contenus d'apprentissage – classe de seconde	8
2.1.	LES CELLULES COMME UNITÉ STRUCTURELLE ET FONCTIONNELLE DE TOUS LES ÊTRES VIVANTS	9
2.2.	BASE MOLÉCULAIRE DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE : ADN	10
2.3.	LA TRANSMISSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE	11
2.4.	ACIDES AMINÉS ET PROTÉINES	12
3.	Contenus d'apprentissage – Première et Terminale	14
3.1.	MÉTABOLISME ET CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES	14
3.2.	BIODIVERSITÉ ET ORGANISATION DES ÊTRES VIVANTS	18
3.3.	COMMUNICATION DANS L'ORGANISME	19
3.4.	HORMONES	22
3.5.	COOPÉRATION CELLULAIRE : EXEMPLE DE SYSTÈME IMMUNITAIRE	23
3.6.	ÉVOLUTION	24
4.	Verbes d'action : opérateurs	29
5.	Annexes	30

1 Idées directrices

1.1 Finalités éducatives

L'enseignement commun de biologie est proposé sur les trois années du lycée. Il doit préparer les élèves aux attendus de l'enseignement supérieur en leur permettant de construire des compétences, savoirs et méthodes, en construisant des repères solides, en développant le travail de recherche et le sens critique. Il convient de prévoir dans sa mise en œuvre l'espace nécessaire à la différenciation pédagogique.

L'étude de la biologie, comme des autres sciences, permet aux élèves de distinguer ce qui relève des croyances et des savoirs scientifiques. L'enseignement commun doit leur permettre d'entrer dans une relation scientifique avec les phénomènes naturels, le monde vivant, et les techniques. Cette posture scientifique, faite d'attitudes (curiosité, ouverture d'esprit, remise en question de ses représentations personnelles, exploitation positive des erreurs...) et de capacités (observer, expérimenter, mesurer, raisonner, modéliser...) permet à l'élève de comprendre que les connaissances qu'il acquiert, mémorise et qui lui sont déjà utiles devront nécessairement être approfondies, révisées et peut être remises en cause tant dans la suite de ses études que tout au long de sa vie. Le développement des apprentissages en biologie est ancré dans l'approche expérimentale, le réel et le concret, qu'il convient d'intégrer sous forme de projets sur des thématiques partagées avec la physique, la chimie et la technologie. La biologie, science du complexe, se construit également de façon systémique en engageant des échelles à la fois spatiales et temporelles.

1.2 Objectifs

– Compétences disciplinaires :

Les compétences liées au contenu de la discipline sont présentées en fonction du niveau (cf. différents programmes de niveau ci-dessous).

– Compétences linguistiques (*Enseignement sensible à la langue*)

Les contenus de cours doivent être diversifiés au maximum de manière à placer les élèves le plus souvent possible en situation d'expression spontanée dans les deux langues. Les situations de communication en classe, dans l'établissement ou hors l'établissement doivent permettre aux élèves d'appréhender divers registres de la langue orale et écrite et de développer des compétences discursives pour décrire, expliquer, justifier, argumenter, dialoguer, débattre, porter des arguments scientifiques et des décisions, évaluer et agir de manière appropriée dans les deux langues de scolarisation.

La diversité des documents mis en œuvre dans le cadre du cours de biologie dans les deux langues, documents provenant, d'articles scientifiques authentiques ou très peu didactisés — textes, graphiques, schémas, tableaux, documents iconographiques, résultats expérimentaux... — doit permettre aux élèves d'exercer leurs stratégies

d'accès au sens. Les différents modes de représentations des phénomènes biologiques, des structures, des résultats expérimentaux, etc., auxquels ils confrontent les élèves développent leur réflexion critique sur la langue. Les démarches scientifiques, au travers des différentes étapes qu'elles amènent les élèves à conduire et à verbaliser, doivent quant à elles leur permettre de renforcer leurs compétences discursives. En parallèle, le vocabulaire spécifique et la particularité de l'expression scientifique permettent d'approfondir l'étude des langues avec une attention particulière portée à la différence entre le français et l'allemand dans la manière dont ces deux langues précisent les concepts scientifiques (mots composés allemands et périphrases françaises).

La composition de corpus intégrant des documents en langue anglaise, langue scientifique internationale, voire en d'autres langues proches de l'une ou de l'autre des deux langues de scolarisation, doit amener les élèves à mobiliser leur répertoire plurilingue dans l'accomplissement des activités scientifiques.

– Compétences transversales

A- Compétences cognitives et procédurales

L'enseignement de la biologie a vocation à développer chez les élèves un ensemble de compétences cognitives essentielles. Parmi celles-ci, on peut citer l'observation minutieuse, permettant aux élèves d'identifier des éléments dans les structures biologiques et les processus naturels et la capacité à passer mentalement entre les différents niveaux d'organisation du vivant à différentes échelles. L'analyse critique est également fondamentale, encourageant les élèves à interpréter des données expérimentales et à en tirer des conclusions logiques. La pensée systémique est particulièrement importante en biologie, car elle permet aux élèves de comprendre les interactions complexes au sein des écosystèmes et des organismes. De plus, la formulation d'hypothèses et la conception d'expériences stimulent la créativité scientifique et la rigueur méthodologique. Enfin, la capacité à modéliser des concepts abstraits, comme les processus cellulaires ou l'évolution, aide les élèves à visualiser et à comprendre des phénomènes qui ne sont pas directement observables. Ces compétences, une fois maîtrisées, ne se limitent pas à la biologie mais sont transférables à d'autres domaines scientifiques et à la résolution de problèmes dans la vie quotidienne. En biologie, les élèves sont accompagnés pour acquérir progressivement des compétences disciplinaires d'un haut niveau, qui leur seront utiles à la fois pour déterminer leurs choix d'orientation et dans leur poursuite d'études dans le supérieur.

Dans l'enseignement de la biologie, il est crucial de développer chez les élèves des compétences procédurales essentielles à la démarche scientifique. Ces compétences incluent la capacité à formuler des hypothèses, à concevoir et à réaliser des expériences, à observer minutieusement, à collecter et à analyser des données, ainsi qu'à tirer des conclusions basées sur des preuves. Les élèves doivent également apprendre à utiliser correctement le matériel de laboratoire, à suivre des protocoles expérimentaux, et à respecter les normes de sécurité. La maîtrise de nombreuses techniques (expérimentation assistée par ordinateur, exploitation de bases de données, techniques biochimiques de laboratoire, utilisation de microscopes, réalisation de dissection, préparation d'échantillons...) est tout aussi importante. En outre, les compétences en matière de documentation scientifique, telles que la tenue d'un cahier de laboratoire, la réalisation de schémas précis, et la rédaction de productions scientifiques

à l'écrit comme à l'oral, sont essentielles. Enfin, l'aptitude à communiquer efficacement les résultats et à participer à des discussions scientifiques constructives complète cet ensemble de compétences procédurales indispensables pour une formation solide en biologie.

B- Compétences numériques et techniques

Grâce à une utilisation ciblée et réfléchie des outils et médias numériques, les processus d'enseignement et d'apprentissage peuvent être soutenus, enrichis et redéfinis. L'éducation aux médias doit être prise en compte lors de la conception des cours.

Les outils numériques peuvent être utilisés en particulier pour la recherche documentaire, l'acquisition et l'analyse de données, pour la modélisation, pour la recherche et pour la présentation des résultats issus des expériences menées par les élèves. Une évaluation critique des sources et un examen du droit d'auteur devraient également être effectués.

Les outils numériques peuvent également favoriser les approches collaboratives entre élèves et leur communication avec des partenaires extérieurs.

L'utilisation de l'IA dans l'enseignement permettra aux élèves d'utiliser les technologies de l'IA de manière responsable, réfléchie et éthique.

C— Autogestion, orientation et compétences en équipe

Une articulation solide entre le travail individuel et collectif doit permettre à chacun de mobiliser son répertoire plurilingue et interculturel et ses connaissances dans l'accomplissement des tâches demandées, autant que d'établir un dialogue avec les pairs autour d'un objet de travail. L'approche coopérative, qui responsabilise l'élève dans l'accomplissement d'une partie du travail collectif, participe du renforcement de l'estime de soi et du sentiment d'appartenance à un groupe.

Ces compétences doivent permettre aux élèves de 1. organiser leur propre travail scientifique, 2. le suivre de manière critique et 3. le réaliser en équipe :

1. Les élèves peuvent

- Analyser, structurer et présenter les informations de manière pertinente en fonction de leur destinataire (médiation)
- Transposer les informations des textes, des données expérimentales, des diagrammes, des cartes mentales, des tableaux et des représentations symboliques (équations chimiques) en d'autres formes de représentation pour mieux se les approprier et les transmettre à un tiers
- Présenter les méthodes et les résultats des observations, enquêtes et expériences biologiques sous une forme appropriée et les argumenter.

- Faire la distinction entre le langage courant et le langage technique et utiliser les termes scientifiques de manière appropriée.

2. Les élèves peuvent

- Reconnaître des faits biologiques dans différents contextes.
- Discuter et évaluer des décisions, des mesures et des comportements sur la base de connaissances spécialisées et en tenant compte de différentes perspectives.
- Évaluer l'importance, la portée et les limites des applications scientifiques.

3. Les élèves peuvent :

- Se connaître et reconnaître les autres dans leur individualité.
- Assumer la responsabilité de leur travail et de celui de l'équipe, planifier ensemble, structurer, réfléchir et évaluer les résultats.

En outre, les objectifs généraux de la vie en société doivent également être développés : motivation, fiabilité, autonomie, responsabilité, tolérance et capacité à travailler en équipe.

Pour favoriser l'expression de soi dans la langue du partenaire, les méthodes d'enseignement cibleront de manière explicite les compétences de culture démocratique, et notamment :

- Les valeurs : renforcer l'expression démocratique des élèves (débat basé sur des arguments scientifiques) ;
- Les attitudes : favoriser l'autonomie des élèves en les responsabilisant à l'égard des autres ;
- L'esprit critique : développer une vision nuancée du monde (convergences et divergences dans les approches scientifiques dans les deux pays) ;

Les aptitudes : privilégier les approches collaboratives tant pour entraîner que pour évaluer

D— Compétences civiques et démocratiques

Très généralement, la progression des élèves dans la langue du partenaire avec lequel ils sont scolarisés repose fondamentalement sur l'articulation explicite entre les espaces d'éducation formels (en classe), informels (dans l'École) et non formels (hors l'École). Cela implique de privilégier les approches collaboratives entre élèves (travaux en binômes et en groupes franco-allemands) et de programmer des situations amenant les élèves à négocier et à porter une décision collective. Les projets scientifiques partenariaux avec les partenaires associatifs, le monde économique, les centres de recherche et les musées, dans les deux aires linguistiques et culturelles, doivent également donner aux élèves un maximum d'opportunités pour s'exposer à la langue et la culture du partenaire et partager avec lui sa langue et sa culture dans une logique de forte responsabilisation.

Les domaines de la santé, des biotechnologies, de la bioéthique, de l'environnement et du développement durable revêtent une importance sociale, économique et individuelle croissante. La biologie est une discipline hautement intégratrice, combinant les disciplines scientifiques et techniques avec les sciences sociales et humaines.

La biologie contribue à l'image de soi, de l'être humain en tant que partie de la nature vivante. Les résultats récents dans les domaines de la santé et de la nutrition, des biotechnologies et du génie génétique, de l'écologie et de la médecine reproductive, ont un effet direct sur la manière dont nous façonnons nos vies personnelles. Pour de nombreuses questions d'intérêt sociétal, les compétences acquises en biologie sont une condition préalable à une prise de décision, individuelle et collective, bien fondée. Elle s'insère dans les discussions politiques et aide à prendre des décisions au cœur des enjeux du XXIe siècle.

Les connaissances spécialisées en biologie constituent la base d'une réflexion sur la place de l'être humain dans le vivant, sur lui-même et sur ses relations avec l'environnement. La biologie est une source d'inspiration pour réfléchir aux influences des connaissances scientifiques sur la vision du monde des individus et sur le rôle qu'ils y jouent.

E- Compétences franco-allemandes, européennes et internationales

Grâce aux enseignements des disciplines entièrement intégrés de la Première et de la Terminale dans les lycées franco-allemands, les élèves renforcent leur capacité à mobiliser leur répertoire plurilingue, particulièrement précieuse dans les situations auxquelles ils seront confrontés dans divers contextes, en particulier internationaux, au cours de leurs études supérieures et de leur vie personnelle et professionnelle.

La connaissance des processus linguistiques et, selon la tradition pédagogique, les différentes approches des questions techniques et scientifiques favorisent la compréhension de la culture du partenaire et la capacité des élèves à s'en faire les médiateurs.

Au fil des apprentissages disciplinaires, du travail autour des problématiques scientifiques, sociétales et transversales sur les grands enjeux du monde contemporain et de demain que touche la biologie, par la mise en œuvre de démarches scientifiques variées et la découverte de l'histoire des sciences qui leur permet de distinguer ce qui relève de la science et ce qui relève d'une opinion ou d'une croyance et grâce aux compétences communicatives que le cursus en LFA permet aux élèves d'acquérir à un niveau indépendant, ceux-ci acquièrent une puissante capacité à agir efficacement dans la société dans laquelle ils vivent, à se faire médiateurs de la culture scientifique et de l'application de l'esprit critique. Ils peuvent ainsi contribuer efficacement à éclairer la société dans laquelle ils vivent et à combattre les préjugés et fausses informations qui nuisent au vivre ensemble dans des sociétés démocratiques.

Les grands enjeux sont notamment :

- L'éducation au développement durable
- L'éducation à la tolérance et à l'acceptation de la diversité
- La prévention et la promotion de la santé
- L'orientation professionnelle
- L'éducation aux médias
- L'éducation des consommateurs
- La prévention des risques

- La construction citoyenne

1.3 Enjeux méthodologiques

Le programme de biologie est le résultat d'une collaboration franco-allemande. Il est composé de contenus issus des différents cursus et vise à offrir aux élèves français et allemands une formation de base en biologie en lien avec les pratiques pédagogiques respectives.

La pleine intégration des élèves français et allemands nécessite de mettre beaucoup plus l'accent sur le travail linguistique que sur l'enseignement avec des élèves de langue maternelle. Cela comprend la familiarisation avec des expressions spécifiques à une matière pour décrire les structures et les fonctions biologiques, mais également la pratique d'expressions générales issues des domaines de l'argumentation scientifique et de la conception expérimentale.

L'enseignement commun, pensé dans une dynamique de projet, s'appuie sur des corpus des ressources authentiques et variées, approchées de manière à placer les élèves en situation réflexive, selon des modalités de travail diversifiées, individuelles ou collectives. Afin de permettre aux élèves d'identifier les nuances et les résonances inhérentes aux ressources scientifiques sur lesquels s'appuient les investigations et démarches, et d'ainsi entraîner leur esprit critique, il est primordial d'encourager les allers-retours entre les productions au fur et à mesure qu'ils se complètent. Les élèves pourront être encouragés à procéder à des recherches et à en rendre compte à leurs camarades. La capacité à rendre compte d'une recherche, d'expériences, d'en expliciter les enjeux au-delà du simple partage d'informations littérales, nécessite des élèves qu'ils soient en mesure d'en faire une analyse distanciée à la lumière de leurs connaissances scientifiques.

1.4 Évaluation

En cours d'apprentissage, l'évaluation doit permettre de mesurer régulièrement la capacité des élèves à mettre en œuvre la méthode expérimentale, à construire et vérifier des hypothèses, à exploiter des résultats et à utiliser des modèles. Les compétences de communication sont également évaluées, notamment la capacité à analyser, structurer et présenter des informations de manière argumentée, ainsi qu'à utiliser correctement la terminologie scientifique. La qualité de la langue mobilisée, allemande comme française, est prise en compte, à l'écrit comme à l'oral. Enfin, l'évaluation vise à s'assurer que les élèves peuvent reconnaître des faits biologiques dans différents contextes, déduire et évaluer des décisions sur la base de leurs connaissances, et apprécier l'importance et les limites des applications scientifiques.

Les différentes formes d'évaluation doivent concourir à une approche transparente et positive des acquis des élèves. L'évaluation sommative doit permettre de valoriser toutes les réussites, même intermédiaires, des élèves.

Les critères d'évaluation doivent leur être connus et permettre la mise en valeur de leur progression. La valorisation des réussites collectives des élèves est aussi importante que la prise en compte des succès individuels.

Le suivi régulier de la progression des élèves est à mener par une observation directe des élèves en activité durant les séances. Ainsi, les modalités d'évaluation combineront les temps spécifiquement dédiés à l'évaluation et l'évaluation par observation des élèves en cours d'entraînement. Dans la discipline biologie, l'évaluation des capacités mises en œuvre dans le champ expérimental est intégrée au fil des apprentissages. Elle valide les compétences mises en œuvre pendant les temps d'activités pratiques tout au long de la scolarité. Elle vise aussi à évaluer l'autonomie des élèves, les capacités techniques acquises ainsi que l'utilisation de l'oral dans l'argumentation scientifique.

Pour responsabiliser chaque élève dans ses propres apprentissages et l'accompagnement des autres, il est indispensable de donner une valeur particulière tant à l'auto-évaluation qu'à l'interévaluation. L'enjeu est d'articuler une logique de reconnaissance d'acquis avec une logique d'engagement dans un collectif. Cette réflexion, sur leur progression et celle des autres, trouve son aboutissement lorsque les élèves sont à même de proposer à l'enseignant une évaluation dès lors qu'ils se sentent prêts.

2. Contenus d'apprentissage – classe de seconde

Le programme est structuré en deux colonnes. Étant donné que les différents domaines de compétence ne peuvent pas être strictement séparés les uns des autres, mais reflètent uniquement les compétences scientifiques spécialisées, ils sont présentés dans la colonne « Compétences attendues ». Toutes les compétences partielles formulées dans la colonne sont obligatoires.

Des informations didactiques et méthodologiques sont fournies dans la colonne « Informations générales et suggestions ». Elles fournissent des explications complémentaires sur la mise en œuvre des compétences, des pistes pour des expériences possibles, des conseils pour la mise en œuvre pédagogique ainsi que des liens thématiques avec d'autres chapitres du programme et les limites éventuelles. L'annexe contient des exemples de mise en œuvre pour faciliter la planification des cours.

Les opérateurs fournissent une aide à la mise en œuvre des capacités.

Le programme contient des instructions pour des travaux pratiques. Les règles de sécurité légales doivent être strictement respectées dans tous les travaux pratiques.

2.1. LES CELLULES COMME UNITÉ STRUCTURELLE ET FONCTIONNELLE DE TOUS LES ÊTRES VIVANTS

Cette partie a pour objectif de montrer quelques aspects de l'unité du vivant au travers de son organisation, de ses molécules constitutives et des mécanismes d'échange de matière et d'énergie, propre au vivant. Au travers de cette étude, les élèves identifient les technologies mobilisées pour observer et décrire le vivant (microscopes optiques et électroniques par exemple).

Attentes en matière de compétences	Informations générales et suggestions
Tous les êtres vivants sont constitués de cellules. - Comparer une diversité de cellules à différentes échelles pour en dégager les caractéristiques (cellules d'eubactéries, d'eucaryotes végétales et animales). Paroi cellulaire, membrane cellulaire, vacuole, chloroplaste, mitochondrie, noyau cellulaire, ribosome, lysosome, appareil de Golgi, réticulum endoplasmique. - Comparer la diversité des métabolismes (fermentation, respiration, photosynthèse). - Identifier les mécanismes de transfert de matière entre le compartiment intracellulaire et le milieu extracellulaire.	- Utiliser un microscope optique, - Réfléchir avec les élèves à la meilleure modalité de communication scientifique pour garder la trace des observations microscopiques faites par les élèves par exemple de cellules animales et végétales : muqueuse buccale, Elodea, cellules de mousse... - Enrichir avec la microscopie électronique les observations en optique.
Décrire le modèle de structure des biomembranes : modèle de mosaïque fluide : phospholipide, couche bilipidique, protéine transmembranaire, protéines supra et inframembranaire.	Étudier des images de microscopie électronique.
- Expliquer les caractéristiques de la double couche lipidique en utilisant les propriétés lipophile/hydrophobe ou lipophobe/hydrophile - Identifier les fonctions des biomembranes : compartimentation, transport de matériel, communication.	La molécule de phospholipide, élément constitutif de base de la double couche lipidique, doit être dessinée comme modèle (« modèle tête-queue »), voir annexe (1).

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
- Comparer la diffusion et l'osmose en tant que mécanismes de transport passif. - Osmose = diffusion à travers une membrane semi-perméable. - Expliquer les processus osmotiques de la vie	- Par exemple évaluer une expérience simple sur la diffusion.

quotidienne.	
Réaliser et interpréter une expérience sur la plasmolyse et la déplasmolyse.	
Décrire les processus d'endocytose et d'exocytose en tant que mécanisme de transport actif.	On peut citer les organites qui réalisent l'exo- et l'endocytose (vésicules, lysosome).
- Donner l'équation globale de la respiration cellulaire, et la commenter $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 H_2O + 6 H_2O + ATP$ [conversion énergétique] . - Décrire la structure d'une mitochondrie : membrane mitochondriale interne et externe, matrice, espace intermembranaire, crêtes, ADN.	- Remobiliser ici les acquis du collège. - Principe d'agrandissement de surface et de compartimentage.
Identifier l'ATP comme intermédiaire énergétique.	- Le groupe phosphate peut être représenté par P_i ou un P encerclé). - Une représentation schématique de la structure de l'ATP est recommandée, voir annexe (2). - Donner des exemples d'équation d'hydrolyse de l'ATP en ADP et P_i ainsi que la phosphorylation de l'AMP en ATP, $ATP \rightleftharpoons ADP + P_i$ couplée à des réactions métaboliques.
Expliquer l'universalité de la molécule d'ATP comme un intermédiaire métabolique lié à des transferts d'énergie.	

Attentes en matière de compétences	Informations générales et suggestions
- Décrire la structure chloroplastique : membrane interne et externe, stroma, grana, thylakoïde, grain d'amidon, espace intermembranaire, ADN. - Associer l'équation globale de la photosynthèse, $6 H_2O + 6 CO_2 + \text{énergie (sous forme de lumière solaire)} \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6 O_2$.	- Esquisser la structure d'un chloroplaste et nommer les structures. - Principe d'agrandissement de surface et de compartimentation L'importance de la photosynthèse à la base de la majorité des réseaux trophiques terrestres et donc de la biosphère ainsi que l'importance des cyanobactéries en tant que premiers organismes photosynthétiquement actifs peuvent être discutées.
Attribuer les termes hétérotrophe et autotrophe aux deux processus métaboliques.	Représenter schématiquement le lien entre la photosynthèse et la respiration cellulaire,
Montrer que le noyau cellulaire contient du matériel génétique (ADN) comme d'autres organites cellulaires.	Les expériences <i>Acetabularia</i> de Hämmerling peuvent être utilisées comme exemple pour reconnaître la fonction nucléaire des cellules.

2.2. BASE MOLÉCULAIRE DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE : ADN

Les élèves connaissent l'existence de la molécule d'ADN depuis la classe de troisième, il s'agit ici à la fois de remobiliser leurs acquis et de montrer comment une molécule peut porter une information. Cela amène à comprendre comment des mutations sont à l'origine de versions différentes des informations pouvant être portées par un gène.

Attentes en matière de compétences	Informations générales et suggestions
L'information génétique se trouve dans le cytoplasme des eubactéries et dans le noyau cellulaire sous forme de chromosomes dans les cellules eucaryotes : chromosome, chromatide (sœur), centromère (kinétochore), chromatine, nucléosome, brin d'ADN. • Caryotype total de tous les chromosomes.	• Ici, les termes centromère (kinétochore) et chromatides (sœur) peuvent être représentés dans un dessin du chromosome.
• Décrire la structure de l'ADN : squelette composé de phosphate et de sucre ; deux brins complémentaires, appariement de bases A (dénine) — T (hymine) via deux liaisons hydrogène et C (ytosine) — G (uanine) via trois liaisons hydrogène.	• Le sucre, le phosphate et les bases doivent être représentés schématiquement, par ex. B. comme un cercle, un pentagone... ; pas de considération approfondie de la structure moléculaire (formules développées). • La liaison hydrogène peut être représentée par une ligne pointillée. • Construire un modèle ADN (schéma simple).
• Décrire un gène comme une portion de séquence d'ADN. • La séquence nucléotidique d'un gène fournit des informations génétiques codées. • Comparer les séquences de bases de l'ADN de gènes mutés et non mutés et en déduire que les mutations génétiques sont un changement dans la séquence des bases. • Les mutations sont des modifications aléatoires et non dirigées des gènes qui peuvent être transmises. • L'objectif est de fournir une indication selon laquelle les mutations peuvent être une condition préalable aux processus évolutifs et aux déclencheurs de maladies. • Donner des exemples de mutagènes physico-chimiques. Les mutagènes augmentent la probabilité que des mutations se produisent.	• Utiliser un logiciel permettant de comparer des séquences d'ADN et d'identifier différents types de mutations.

2.3. LA TRANSMISSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

La structure moléculaire étant désormais connue, il s'agit dans cette partie du programme d'expliquer au niveau cellulaire et moléculaire comment, au cours de la mitose, l'information génétique peut être transmise aux deux cellules filles.

Attentes en matière de compétences	Informations générales et suggestions
Chaque cellule effectue un cycle cellulaire comprenant notamment la réplication et la division cellulaire (mitose). - Expliquer le processus de réplication semi-conservative via un appariement de bases complémentaires à l'aide d'illustrations. - Expliquer comment la mitose crée des cellules filles avec un matériel génétique identique et expliquer leur signification. - Nommer les phases du cycle cellulaire et évaluer l'importance de la réplication pour le cycle cellulaire : interphase, mitose, phase G, phase S.	- L'évaluation des expériences historiques sur la réplication de l'ADN peut être consultée. - Les termes fourche de réplication, brin principal/brin néoformée peuvent être mentionnés. - Représentation schématique des différentes phases (prophase, métaphase, anaphase, télophase). - La mitose des cellules de la racine d'ail peut être observée au microscope, complétée par des préparations du commerce. - La dépendance du contenu de l'ADN en fonction du temps peut être représentée et expliquée graphiquement. - Des animations du cycle cellulaire peuvent être visualisées.

2.4. ACIDES AMINÉS ET PROTÉINES

Cette partie du programme permet, au travers de l'étude des protéines, de montrer les différents niveaux structuraux et les liens entre la structure de ces molécules et les fonctions qu'elles peuvent avoir. Des liens peuvent être faits avec les autres parties du programme au travers des exemples qui seront choisis.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
- Les protéines sont des macromolécules assurant des fonctions fondamentales et diversifiées dans le vivant ; indiquer les fonctions principales des protéines dans l'organisme : protéine structurelle, protéine de transport, enzyme, anticorps. - Dessiner la structure générale (formule) d'un acide aminé. - Décrire la liaison peptidique dans des formules développées (générales). - Décrire les niveaux structuraux des protéines : Structure primaire, structure secondaire, structure tertiaire, structure quaternaire.	- Un atome de carbone central est lié à un groupe amino (— NH_2), un groupe acide (— COOH), un atome H et un résidu variable (— R), qui détermine les propriétés chimiques, voir annexe (3). - Représentation modèle de la liaison peptidique (alanine/glycine) par la « méthode du lasso », voir annexe (4). - Les réactions de détection de protéines (réaction à la ninhydrine, réaction au biuret, réaction à la xanthoprotéine) peuvent être réalisées à titre expérimental. - Réaliser et interpréter des expériences sur la dénaturation des protéines (blanc d'œuf) et l'effet des acides/base, du sel et de la chaleur doit être pris en compte.

	• Utiliser des solutions d'intelligences artificielles pour modéliser la structure tridimensionnelle de protéine.
--	---

3. Contenus d'apprentissage – Première et Terminale

Première (3h)	Terminale (3h)
Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales	Les répartitions horaires permettent de développer les différentes compétences dont les compétences expérimentales
3.1.1.	
	3.1.2. à 3.1.3.
3.2.1.	3.2.2.
3.3.1 à 3.3.3	3.3.4 et 3.4.
3.5	
3.6.1 à 3.6.3	3.6.4. à 3.6.8

Le programme est structuré en deux colonnes. Étant donné que les différents domaines de compétence ne peuvent pas être strictement séparés les uns des autres, mais représentent une expertise scientifique d'ensemble, ils sont présentés dans la colonne « Compétences attendues ». Toutes les compétences partielles formulées dans la colonne sont obligatoires.

Des informations didactiques et méthodologiques sont fournies dans la colonne « Informations générales et suggestions ». Ils fournissent éventuellement des précisions sur les compétences, des inspirations supplémentaires pour des expériences possibles, des conseils pour la mise en œuvre pédagogique ainsi que des liens thématiques avec d'autres chapitres du programme. L'annexe contient des options de mise en œuvre pour faciliter la planification des cours.

Le programme contient des spécifications pour des travaux pratiques. Les règles de sécurité légales doivent être strictement respectées dans tous les travaux pratiques.

3.1. MÉTABOLISME ET CONVERSIONS ÉNERGÉTIQUES

Cette partie du programme permet de montrer le rôle des enzymes dans les processus biologiques. On focalise les études sur l'anabolisme, le catabolisme et les couplages permettant les conversions énergétiques au sein des cellules.

3.1.1. ENZYMES

Les expérimentations menées en classe permettent de montrer les propriétés des enzymes. Une attention sera portée au lien à faire entre les mécanismes qui se réalisent à l'échelle moléculaire et leurs implications aux autres échelles du vivant. C'est l'occasion de présenter aux élèves l'utilisation des enzymes en biotechnologies, les métiers qui s'y rapportent et les parcours de formations qui conduisent à ces métiers en tension en Europe.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les enzymes sont essentielles au fonctionnement du métabolisme. • Montrer le rôle des enzymes dans les deux grands types de métabolismes (anabolisme et catabolisme) grâce à la réalisation d'expériences. • Mettre en relation la cinétique enzymatique avec les propriétés des enzymes (spécificité de substrat, conséquences des modifications des facteurs expérimentaux : pH, température). • Mettre en œuvre une réaction enzymatique avec inhibiteur compétitif et non compétitif • Expliquer le rôle des enzymes comme un biocatalyseur. • Décrire et interpréter des diagrammes sur l'influence de l'activité enzymatique en fonction de différentes conditions,	Dès que le programme s'y prête on pourra remobiliser les notions qui sont en lien avec les enzymes. Une autre stratégie pédagogique peut être d'aborder les enzymes au fil des besoins des autres parties puis de faire un chapitre bilan plutôt en fin d'année. Les outils numériques permettent : - de simuler des réactions enzymatiques où l'influence des facteurs du milieu est montrée - des animations pour visualiser les relations enzymes substrat Les outils numériques peuvent être introduits, mais ne doivent pas se substituer au réel réalisable en classe. Mener un travail sur la critique des expérimentations et sur la place de l'erreur.
• Critiquer le modèle « clé-serrure » des enzymes.	• On remobilisera les acquis sur les acides aminés et des protéines de la classe de seconde. • Structure générale : cofacteur, coenzyme, site actif. • Modèle de serrure à clé ; modèle d'ajustement induit.
• Représenter schématiquement le couplage des oxydations et des réductions par les coenzymes $\text{NADP}^+/\text{NADPH}+\text{H}^+$ ou $\text{NAD}^+/\text{NADH}+\text{H}^+$ à l'aide d'un diagramme en flèche.	• Les concepts d'oxydation et de réduction doivent être considérés respectivement comme une perte et une acceptation d'électrons.

3.1.2. Conversion énergétique et respiration cellulaire

Cette partie aborde la respiration comme premier exemple de conversion énergétique dans la cellule. Il s'agit de montrer le rôle de la compartimentation à l'échelle des cellules et d'un organe : la mitochondrie.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des conversions énergétiques sont réalisées au cours de la respiration : oxydation de la matière organique et production de molécules réduites et d'ATP.	

• Mettre en lien les réactions métaboliques et les structures où elles ont lieu dans la mitochondrie,	• Étape à démontrer à partir d'expériences historiques : glycolyse, décarboxylation oxydative (formation d'acetyl-CoA), cycle citrate/cycle acide citrique et chaîne respiratoire (oxydation finale) • Remobilisation des acquis sur la mitochondrie de la classe de 2nd • Réalisation d'expériences permettant d'inhiber la chaîne respiratoire pour montrer son rôle
---	--

3.1.3. Conversion énergétique et photosynthèse

La photosynthèse est à la base de la très grande majorité des réseaux alimentaires. Sa place dans la structuration d'un écosystème trouve son paradoxe dans les changements d'échelle : c'est en comprenant les mécanismes qui se réalisent dans un organite : le chloroplaste, que les élèves appréhendent le rôle de ce métabolisme aux différentes échelles du vivant.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Réaliser et démontrer expérimentalement : - La libération de dioxygène en présence de lumière et dans les conditions du milieu nécessaires, - Séparation des pigments chlorophylliens, - La comparaison du spectre d'action et du spectre d'absorption de la chlorophylle, - La fluorescence de la chlorophylle et son inhibition par ajout d'un accepteur d'électron, - Le rôle des accepteurs d'électron dans le fonctionnement de la chaîne photosynthétique (Réaction de Hill). • Expliquer à l'aide de schémas le lien entre le spectre d'absorption de la chlorophylle et le spectre d'action de la photosynthèse,	Les expériences assistées par ordinateur avec des chaînes EXAO sont à prioriser - Élodée dans eau distillée, eau du robinet et eau enrichie en CO₂, - Élodée dans l'eau du robinet avec et sans lumière, - Élodée dans l'eau du robinet avec et sans lampe infrarouge (selon la température).
• Montrer des exemples d'adaptation des végétaux chlorophylliens à différents milieux de vie.	• Plantes de lumière, plantes d'ombre.
• Montrer qu'au cours de la phase lumineuse	• Photoréaction (réaction lumineuse) et cycle

des molécules réduites sont produites qui vont être utilisées lors du cycle de Calvin. • Montrer qu'il s'agit d'un couplage	de Calvin (réaction de synthèse indépendante de la lumière), La connaissance des systèmes redox n'est pas au programme.
• Représenter schématiquement les phases essentielles du cycle de Calvin,	• Schéma du corps C du cycle de Calvin avec phases de fixation, réduction et régénération
• Représenter schématiquement le couplage au sein du chloroplaste des différentes réactions	• Par ex. « Schéma boîte noire » voir annexe (5)
• Compléter l'équation bilan de la photosynthèse en indiquant que 2 % de l'énergie lumineuse reçue est utilisée par le végétal	
• Montrer la complémentarité entre la production de matière organique lors de la photosynthèse et son oxydation pour produire de l'énergie lors de la respiration ou de la fermentation.	

3.2. BIODIVERSITÉ ET ORGANISATION DES ÊTRES VIVANTS

L'objectif de cette partie du programme est de comprendre le fonctionnement dynamique d'un écosystème dans ses dimensions spatiales et temporelles. C'est l'occasion de souligner les services rendus par les écosystèmes. C'est aussi le moment de montrer comment des écosystèmes réagissent aux perturbations, dont celles générées par l'être humain : notion de résilience.

3.2.1 STRUCTURES ET INTERACTIONS DANS L'ÉCOSYSTÈME

Cette partie est particulièrement indiquée pour des classes de terrain. Les élèves peuvent être responsabilisés en les engageant à organiser la sortie de terrain.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Un écosystème est constitué d'un biotope et d'une biocénose. Etudier un écosystème pour identifier les caractéristiques communes à tout écosystème et leurs spécificités (biotope, biocébiocénose, facteurs abiotiques, facteurs biotiques).	- Par ex. Écosystème rivière, lac, mer, haie... - Demander aux élèves de planifier et d'organiser une excursion pour la classe dans un écosystème.
Montrer que la biodiversité se définit à différentes échelles : de celle de l'information génétique à celle des écosystèmes.	Variabilité génétique, diversité des espèces, diversité des écosystèmes
Décrire et comparer l'influence d'un facteur environnemental abiotique sur la répartition de différentes espèces.	- Sur la base des données, l'activité physiologique et écologique doit être examinée (activité écologique, courbes de tolérance, espèces indicatrices). - L'objectif est de s'entraîner à créer et à interpréter des diagrammes.
Représenter graphiquement les réseaux trophiques.	- Pratiquer des diagrammes fléchés - Une critique de la représentation peut être effectuée à ce stade.
Expliquer le concept de niche écologique (niche de Hutchinson); niche réelle et fondamentale, principe d'exclusion concurrentielle.	
Étudier les interactions entre les êtres vivants : compétition, mutualisme, parasitisme, relation prédateur-proie.	
Décrire les pyramides en termes de biomasse et d'énergie dans un écosystème.	- La perte d'énergie de niveau trophique en niveau trophique doit être abordée. - Les différentes formes de nutrition (omnivore, végétarienne, végétalienne) d'un point de vue énergétique peuvent être abordées.
Construire le cycle biogéochimique du carbone	

3.2.2 ÉCOSYSTÈMES et INFLUENCE HUMAINE

Cette partie du programme permet de mettre en œuvre des démarches de projets dans les contextes formels et informels de l'école et de les porter hors de l'école :

- S'engager dans des programmes de sciences participatives ;
- S'engager dans des projets d'éducation durable dans le domaine de la biodiversité, de l'alimentation et de la mobilité par exemple.

- Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• L'être humain peut perturber les écosystèmes de différentes façons : ○ identifier les conséquences écologiques d'un apport accru d'azote, ○ décrire les conséquences écologiques de l'effet de serre anthropique, ○ expliquer les conséquences écologiques des perturbateurs endocriniens.	• Utilisation d'engrais, épandage, polluants, modification de la température des eaux • On s'appuiera sur des exemples si possibles proposés par les élèves • Par ex. bisphénol A, dioxine, médicaments, distilbène, organochlorés, PFA.

3.3. COMMUNICATION DANS L'ORGANISME

Cette partie du programme permet d'étudier les deux modes principaux de communication dans l'organisme : la communication nerveuse et hormonale. C'est une partie du programme qui se prête à mener une éducation à la santé et la prévention aux risques.

3.3.1. SYSTÈME NERVEUX : ORGANISATION ET FONCTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Comparer une chaîne stimulus-réaction et un arc réflexe ainsi que les structures impliquées.	• Créer des chaînes stimulus-réponse (ex : attraper une balle), voir annexe (6) • Représentation schématique d'un arc réflexe, par ex. réflexe d'étirement musculaire avec voies afférentes et efférentes • Observation microscopique d'une coupe de la moelle épinière. • Étude en expérimentation assistée par ordinateur d'un réflexe d'étirement musculaire (réflexe tendineux) • Réflexe : réponse involontaire à un stimulus qui n'est pas contrôlée par le cerveau, c'est-à-dire la réponse rapide et stéréotypée à un stimulus :
• Mettre en relation un type de cellules sensorielles et montrer leur spécificité au stimulus.	• Observation de récepteurs sensoriels.
• Utilisez l'exemple du motoneurone pour décrire le lien entre la structure et la fonction (dendrite, corps cellulaire, axone avec et sans myéline, synapse).	• Faire un croquis légendé d'un motoneurone. • Examen microscopique des nerfs, de la moelle épinière, de la racine dorsale et des muscles.

- Réaliser des croquis annotés.

3.3.2. GÉNÉRATION ET TRANSMISSION DU MESSAGE NERVEUX

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le message nerveux est codé en fréquence de potentiels d'actions.	
• Décrire la mesure et l'établissement du potentiel de repos (potentiel d'équilibre) en termes ioniques. • Gradient électrique (charge ionique) et gradient de concentration (concentration de l'ion concerné des deux côtés de la membrane). • Pompe Na⁺/K⁺ ATP dépendante.	• Expérience de simulation (chambres avec différentes solutions salines, séparées par une membrane sélectivement perméable aux ions).
• Expliquer le lien entre la perméabilité sélective de la membrane, la concentration en ions et le potentiel membranaire.	• Étudier le potentiel de repos à l'aide d'un logiciel de simulation.
Mettre en lien les phases du potentiel d'action et les mouvements d'ions : • Phases : dépolarisation, repolarisation, hyperpolarisation, période réfractaire (absolue et relative), • Canaux ioniques dépendants de la différence de potentiel de la membrane, • Maintien d'une répartition inégale des ions grâce à la pompe Na⁺/K⁺ ATP dépendante et active en permanence, • Loi du tout ou rien, • Étudier un potentiel d'action à l'aide d'un programme de simulation.	• Étude du codage d'un message électrique au niveau d'une fibre nerveuse. • Étude de l'effet de différentes concentrations d'ions, de la perméabilité membranaire ou d'un déficit en ATP sur la formation d'un potentiel d'action.
• Comparer la conduction myélinique et amyélinique.	Observation de fibres nerveuses myélinisées ou non au microscope optique ou électronique.

3.3.3. Transmission synaptique neuromusculaire et conséquences sur la cellule musculaire ; généralisation à la transmission neuro-neuronique

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Au niveau des synapses, un relais chimique assure la transmission du message nerveux aux autres cellules.	

• Montrer à partir d'un exemple l'effet de substances chimiques sur la conduction du message nerveux. • Les synapses et les processus au niveau cellulaire.	• Par ex. poisons, drogues, médicaments, alcool et temps de réaction (éducation à la santé et prévention des risques). • Cette introduction permet de construire des hypothèses sur les relais entre neurones et de supposer qu'il existe un relai chimique.
• Décrire le fonctionnement d'une synapse neuroneuronique : PA, entrant, canaux Ca^{2+}, vésicules présynaptiques, fente synaptique, membrane pré- et postsynaptique, récepteurs et canaux ioniques sur la membrane postsynaptique, inactivation du neurotransmetteur (resynthèse de neurotransmetteur).	• L'étude peut être conduite en identifiant les effets de substances exogènes (éducation à la santé et prévention des risques)
• Expliquer la transmission de l'excitation au niveau d'une synapse interneuronale (excitatrice) au niveau ionique.	• Neurotransmetteur choisi : acétylcholine

3.3.4. MODULER LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME NERVEUX

La plasticité cérébrale est une propriété générale du système nerveux.

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Nommer les composants du cerveau.	• On mobilisera les structures nécessaires en fonction des exemples étudiés à l'échelle du système nerveux central dont la structure du cortex cérébral et sa fonction,
• Montrer que l'apprentissage est la modification des transmissions synaptiques entre les cellules nerveuses : formation de nouvelles synapses ou optimisation de la transmission synaptique.	• Création de schémas de boucle de contrôle • Le conditionnement sur le réflexe de fermeture des paupières peut être démontré à un étudiant en utilisant un projet en combinaison avec un signal acoustique. • Les termes suivants peuvent être utilisés : stimulus clé, stimulus conditionné, réflexe inconditionné, conditionnement opérant, phase sensible, empreinte de localisation, empreinte alimentaire, empreinte sexuelle, habituation, sensibilisation.
• Montrer que la plasticité cérébrale et la potentialisation à long terme sont la base neuronale de l'apprentissage, • Mettre en relations l'apprentissage ou la perte de cellules nerveuses et la modification des connexions neuronales.	• L'efficacité des synapses peut être influencée, par exemple, par la quantité de transmetteurs, les modifications de la conductivité de la membrane via des modifications des récepteurs, le nombre de récepteurs et le taux de resynthèse du neurotransmetteur
• Identifier les fonctions des différents types de mémoire : mémoire de travail (à court	• On peut éventuellement comparer les per-

terme), mémoire sémantique et la mémoire épisodique, deux systèmes de représentation consciente à long terme et mémoire procédurale permettant des automatismes inconscients. La mémoire perceptive est liée aux différentes modalités sensorielles. • Comparer les performances d'apprentissage quand on utilise de façon simultanée des information auditive, visuelle, tactile,...	formances de mémoire en utilisant des canaux sensoriels différents, mais également simultanés (haptique, optique, acoustique). Réaliser des tests d'apprentissage
• Expliquer le fonctionnement du système de récompense.	• Circuit de la dopamine.
• Expliquer l'effet des substances addictives sur le système de récompense à l'aide d'un exemple.	• Par ex. nicotine, alcool, THC. • La consommation de substances addictives et la légalisation correspondante peuvent être discutées à ce stade, ainsi que les mesures de prévention.

3.4. HORMONES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Le contrôle hormonal se réalise par l'intermédiaire de molécules produites par les glandes endocrines, transportées dans le sang et agissant sur les cellules cibles.	
• Comparer la transmission hormonale et nerveuse, • Montrer l'interaction entre le contrôle hormonal et neuronal en utilisant l'exemple des neurotransmetteurs adrénaline et noradrénaline,	• Vitesse de transmission, type de signaux, lieu de transmission, cellules/substances impliquées, effet • Les hormones peuvent agir comme neurotransmetteurs et les neurotransmetteurs comme des hormones. L'activité des glandes endocrines est souvent contrôlée par le SNC (hypothalamus).
• À partir de l'exemple de la régulation des hormones sexuelles, identifier les cellules sécrétrices, les cellules cibles et le modalité du contrôle des taux hormonaux. : - Spermatozoïdes, taux constant de testostérone, testicules, hypothalamus, hypophyse, principe de la boucle de contrôle, rétroaction négative - Ovaires, ovules, cycle ovarien, ovulation, fécondation, implantation, hypothalamus, hypophyse, principe de boucle de récontrôle, rétroaction positive ou négative,	• Mise en place d'un circuit de contrôle hormonal. • Interprétation des graphiques des taux d'hormones • Observations microscopique de sections de testicules fonctionnels et non fonctionnels • Observation microscopiques des ovaires et de l'utérus à différents moments du cycle
• expliquer les méthodes de contraception et de procréation médicalement assistée,	• Pilule contraceptive, stérilet hormonal, patch hormonal

	Analyser avec une approche critique la méthode contraceptive fondée sur la mesure de la température corporelle d'une femme.
Méthodes contraceptives et procréation médicalement assistée en incluant les aspects juridiques et éthiques,	

3.5. COOPÉRATION CELLULAIRE : EXEMPLE DE SYSTÈME IMMUNITAIRE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Identifier les caractéristiques de l'organisation bactérienne et virale.	Cf. classe 9
- Décrire les modes de reproduction virales et bactériennes. - Division bactérienne. - Réplication virale : représentation schématique du cycle lysogénique et lytique.	- Par exemple, virus Corona, virus de la grippe, virus VIH. - Sur la base de la courbe de prolifération des bactéries, par ex. B. Salmonella, les phases de croissance exponentielle doivent être expliquées.
- Décrire les barrières contre l'infection. - Expliquer les mesures à prendre pour prévenir les maladies infectieuses.	- Intestin : héberge des cellules immunitaires - Peau : barrière physique - Épithélium intestinal et microbiote : assure une résistance vis à vis des bactéries étrangères - Par ex. intérêt d'un lavage réfléchi des mains par des agents nettoyants - Utilisation des ressources du site eBug
- Décrire les étapes lors qu'un microorganisme a franchi les barrières : inflammation à la suite d'une lésion cutanée : infection, période d'incubation, phagocytose, macrophage (phagocyte), maladie, inflammation, guérison. - Mobilisation des cellules immunitaires : synthèse et maturation des lymphocytes B, et synthèse des pro lymphocytes T dans la moelle osseuse ; Ganglions lymphatiques : mieux des interactions entre agents infectieux et cellules immunitaires. - Acquisition de l'immunocompétences des lymphocytes T dans le thymus.	- Observation des cellules sanguines : érythrocytes, plaquettes, leucocytes, lymphocytes, cellules T auxiliaires, cellules T suppressives, cellules T tueuses, cellules B, plasmocytes, cellules mémoires. - Une comparaison en tableau est recommandée.
Utiliser un exemple pour décrire la réponse immunitaire acquise comme une interaction au niveau cellulaire (macrophages, lymphocytes T et B [Phase de détection, phase de différenciation, phase active, phase de coupe]).	Réaliser un test de précipitation Ag/Ac

• Expliquer la mémoire immunitaire et expliquer son importance. • Première infection, deuxième infection, première et deuxième réponse immunitaire. • Rôle des cellules mémoires.	• Analyse de graphiques.
• Décrire une application biotechnologique des anticorps.	• Par ex. Test de grossesse, tests immunobiologiques (ELISA)
• Expliquer et comparer les processus impliqués dans la vaccination. • Protection vaccinale et composition du sérum. • Discuter et évaluer la vaccination en termes de sa signification individuelle et sociale.	• Par ex. Vaccination Corona pendant la pandémie CoVid

3.6. ÉVOLUTION

3.6.1. LA STRUCTURE DU MATÉRIEL GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Les fonctions de l'ADN sont en lien avec sa structure.	
• Montrer les caractéristiques structurelles de l'ADN.	• Mobilisation des acquis de la classe de seconde. • Mobiliser les travaux de Watson et Crick ainsi que les apports de Rosalin Franklin. • Film : « La course à la gloire »
• Expliquer les processus de réplication à l'échelle moléculaire (complémentarité des bases et rôle des enzymes).	• Mobilisation des acquis de la classe de seconde complétés par les fragments d'Okazaki.

3.6.2. L'EXPRESSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'expression de l'information génétique est un processus complexe en plusieurs étapes.	
• Décrire et comparer la transcription chez les eubactéries et les eucaryotes. • Montrer les spécificités de l'ARN_m : exon, intron, épissage, pré-ARN, queue poly A	• Brin codant (transcrit), polymérase. • Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour démontrer l'épissage.
• Expliquer les mécanismes permettant de produire des protéines à partir d'ARN_m ○ Localiser le lieu de la transcription dans la cellule et les organites impliqués,	• Mobilisation des acquis de la classe de seconde • Exploitation de marquages radioactifs • Exploiter des modèles moléculaires,

montrer les spécificités des ARNr, ○ Mettre en relation triplet et correspondance avec les acides aminés : code génétique, universalité du code de l'information nucléaire chez les eucaryotes, redondance. ○ Montrer la structure des ARN_t, codon — anticodon, structure en trèfle. ○ Décrire la traduction chez les eubactéries et les eucaryotes ▪ Initiation, prolongation, terminaison ▪ Maturation des protéines	• Exploiter des bases de données.
• Expliquer la relation génotype-phénotype.	• Les termes allèle et gène doivent être différenciés les uns des autres. • Relation gène/protéine-enzyme. Par ex. phénylcétonurie, couleur de la peau

3.6.3. MUTATIONS

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Des erreurs ou mutations ponctuelles peuvent survenir spontanément lors de la réplication de l'ADN ou en lien avec des facteurs mutagènes de l'environnement. Les mutations sont à la base de la diversité génétique au sein des espèces. • Identifier les différents types de mutations (mutation génétique, mutation génomique, mutation chromosomique) et leur conséquence. • Substitution, ajout, insertion, suppression. • Étudier les brins d'acide nucléique pour identifier d'éventuelles mutations (mutation ponctuelle, mutation du cadre de lecture) et en déduire des conséquences au niveau protéique (mutation silencieuse, mutation faux-sens, mutation non-sens). • Différencier la conséquence d'une mutation dans une cellule somatique et dans une cellule germinale.	• Mobiliser les acquis de la classe de Seconde (mutagènes).

3.6.4. APPORTS DES BIOTECHNOLOGIES

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Donner le principe la réaction en chaîne par polymérase (PCR) : Taq polymérase, cycle d'une PCR.	Mettre en œuvre une PCR ; interprétez ces résultats. Par ex. Test Corona, test VIH, test de paternité, examens médico-légaux • Visite d'un laboratoire par les élèves.

3.6.5. LE BRASSAGE GÉNÉTIQUE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
• Décrire les phases de la méiose et expliquer ses conséquences, diploïde, haploïde, gamète (cellule germinale), zygote. • Illustration de la variabilité des gamètes et des zygotes qui en résultent : ségrégation indépendante. • Expliquer les brassages interchromosomiques et intrachromosomiques par des schémas simples et en expliquer la signification et les conséquences. • Mobiliser ces connaissances pour expliquer comment le sexe biologique dans l'espèce humaine est déterminé par les chromosomes sexuels.	• La répartition aléatoire des chromosomes paternels et maternels parmi les cellules filles conduit à la recombinaison des allèles (diversité). • Organiser, nommer et interpréter des images microscopiques de cellules pendant la méiose.
• Expliquer les erreurs de méiose et leurs conséquences.	• Syndrome de Turner, syndrome de Klinefelter, trisomie 21. • Observation de caryotypes avec des anomalies.
• Relier le génotype et le phénotype et comprendre les résultats d'un test cross, • Dominance/récessivité, transmission autosomique ou gonosomique, codominance. • Héritage monohybride et dihybride • Homozygote, hétérozygote • Caractères liés ou indépendants	• Génération parentale, génération de branche. • ex. de caractère héréditaire : roulement de langue, albinisme, doigts courts, hémophilie, daltonisme, groupes sanguins, études mendéliennes sur le pois ... • On évitera de prendre des exemples pouvant mettre les élèves en difficulté pour leur propre généalogie. • Construite et interprétez des arbres généalogiques et en déduire des modèles d'héritage possibles.

3.6.6. FACTEURS DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
La biodiversité est le résultat de processus évolutifs.	
• Décrire la biodiversité au niveau de la diversité génétique, de la diversité des espèces et de la diversité des écosystèmes.	• On mobilisera les connaissances de la partie (biodiversité et organisation des êtres vivants) en, s'appuyant sur de nouveaux exemples. • Mettre en œuvre des méthodes simples pour déterminer la biodiversité dans un biotope.
• Discuter du concept d'espèces (morphologique, génétique et reproductifs). • Montrer que le pool génétique (totalité des allèles) peut être variable d'une population à	• Morphologique : Une espèce est constituée d'individus qui partagent des caractéristiques physiques essentielles entre eux et avec leur progéniture.

l'autre de l'espèce.	- Génétique des populations : les espèces sont des groupes de populations dont le patrimoine génétique est distinct de celui des autres. - Reproductif : descendance féconde sur plusieurs générations.
- Expliquer les changements dans les fréquences alléliques dans le pool génétique d'une population ayant des aptitudes reproductives différentes. - Montrer que ce pool génétique est le substrat de l'évolution. - Identifier le rôle la dérive génétique dans l'évolution du pool génétique.	
Sélection naturelle, sélection sexuelle ;	Utiliser un modèle (informatique) simple pour illustrer la sélection naturelle
- Expliquer les différentes formes d'isolement et leur importance pour l'évolution et la spéciation. - Expliquer les différentes modalités de sélection et leur importance pour l'évolution.	- Isolement géographique, reproductif et écologique - Spéciation allopatrique et sympatrique - Utilisation d'un modèle (informatique) simple pour illustrer l'isolement géographique - Utiliser un modèle numérique pour illustrer la sélection naturelle.
Montrer la puissance du modèle darwinien pour expliquer la biodiversité.	- Utilisation d'un modèle numérique pour illustrer la dérive génétique. - Variation, sélection, recombinaison, mutation, isolement, dérive génétique.
Présenter la coévolution comme un processus d'adaptation mutuelle entre deux espèces à l'aide d'un exemple.	Par ex. Papillon de nuit — Orchidée
Expliquer le sens évolutif du parasitisme, la symbiose et les relations prédateur-proie au sens de l'évolution.	Voir 2.2.1 Structures et interactions dans l'écosystème.

3.6.7. MISES EN RELATION DES LIENS DE PARENTÉ DES ÊTRES VIVANTS AVEC LES MÉCANISMES DE L'ÉVOLUTION

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
Utilisez des caractères primitifs et dérivées pour tester les hypothèses d'arbre phylogénétique	- Distinguer homologies et analogies et montrer leurs limites dans leur utilisation dans la classification du vivant - Utilisation d'un programme basé sur une base de données pour déterminer le degré de relation entre les êtres vivants

	• Construire une classification descendante hiérarchique de groupes (de plus en plus) ramifiés en utilisant les caractéristiques des collections d'animaux et de plantes
--	--

3.6.8. ÉVOLUTION HUMAINE

Compétences attendues	Informations générales et suggestions
L'appartenance des Hominidés aux mammifères et aux primates est basée sur leurs caractères dérivés.	
• Comparer les chimpanzés et diverses espèces humaines sur la base de caractéristiques morphologiques et justifier la place du genre <i>Homo</i> (<i>Homo rudolfensis</i>, <i>Homo erectus</i>, <i>Homo neanderthalensis</i>, <i>Homo sapiens</i>) dans l'ordre des primates.	• On veillera à distinguer les caractères qui permettent de rapprocher un fossile de la famille des Hominidés à ceux mobilisables pour une classification phylogénétique. • Caractéristiques mobilisables possibles : volume cérébral, locomotion, mâchoire, arcade dentaire, dents, foramen occipital, taille du bassin, crêtes super-oculaires, pied, main, colonne vertébrale.
• Montrer que les mouvements migratoires au long de l'histoire de l'humanité peuvent être reconstitués grâce à l'ADN mitochondrial.	Utilisation des résultats d'analyse génomique (hybridation d'ADN, séquençage du génome, méthodes immunobiologiques, etc.). Utilisation des résultats d'analyse génomique (hybridation d'ADN, séquençage du génome, méthodes immunobiologiques, etc.)
• Représenter les relations phylogénétiques et l'expansion humaine (Hominidés) sur la base de découvertes fossiles.	• Comparaison des arbres créés à partir de l'ADN mitochondrial avec ceux créés à partir de découvertes de fossiles • Étudier un arbre simplifié avec les genres <i>Australopithecus</i> (<i>A. afarensis</i> et <i>A. africanus</i>), <i>Paranthropus</i>, <i>Homo</i> (<i>H. ergaster</i>, <i>H. erectus</i>, <i>H. neanderthalensis</i>, <i>H. rudolfensis</i>, <i>H. habilis</i> et <i>H. sapiens</i>, <i>H. floresiensis</i>) montrant l'aspect buissonnant de l'évolution humaine
• Présenter l'importance des développements culturels.	• Utilisation d'outils, développement du langage, éducation

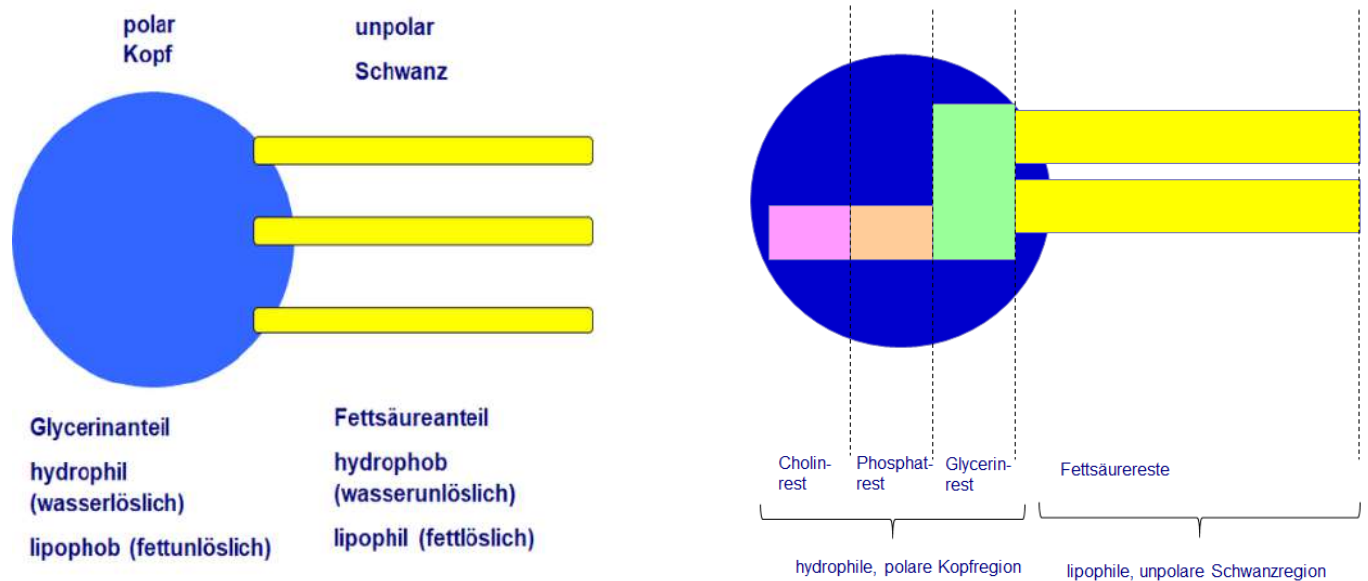
4. Verbes d'action : opérateurs

Opérateur	Définition
Déduire, conclure	Tirer des conclusions appropriées basées sur les résultats ou des raisonnements
Appliquer	Mettre en œuvre une série de consignes un contexte connu ou une méthode connue à un autre problème
Construire des hypothèses	Supposer une situation de corrélation entre deux éléments
Interpréter	Mettre les données, les résultats individuels ou d'autres aspects en contexte afin de tirer des conclusions
Justifier	Trouver des arguments étayant une réponse
Décrire	Représenter des structures, des faits, des processus et des propriétés d'objets, généralement en utilisant un langage technique
Critiquer	Évaluer une situation sur la base de critères scientifiques ou méthodologiques ou d'un lien de valeurs personnelles et sociales
Représenter	Présenter de manière structurée, faits, liens, méthodes, résultats, etc.
Identifier, Déterminer	Reconnaître la nature d'un élément utile à la résolution d'une question...
Discuter	Comparer et peser les arguments scientifiques d'une déclaration ou d'une thèse
Expliquer	Mobiliser des concepts en lien avec le problème et les relier pour les rendre compréhensibles avec l'aide éventuelle d'autres informations. Des exemples peuvent appuyer l'explication.
Interpréter,	Examiner des faits et faire des liens pour construire une ou des explications possibles
Planifier	Développer des solutions à mettre en œuvre sur des temporalités données
Esquisser	Fixer le plan, les grands traits à l'essentiel
Enquêter	Explorer des faits ou des objets de manière ciblée, déterminer des caractéristiques et des connexions, également expérimentalement
Comparer	Identifier les similitudes et les différences
Dessiner	Créer une représentation graphique, claire et suffisamment précise

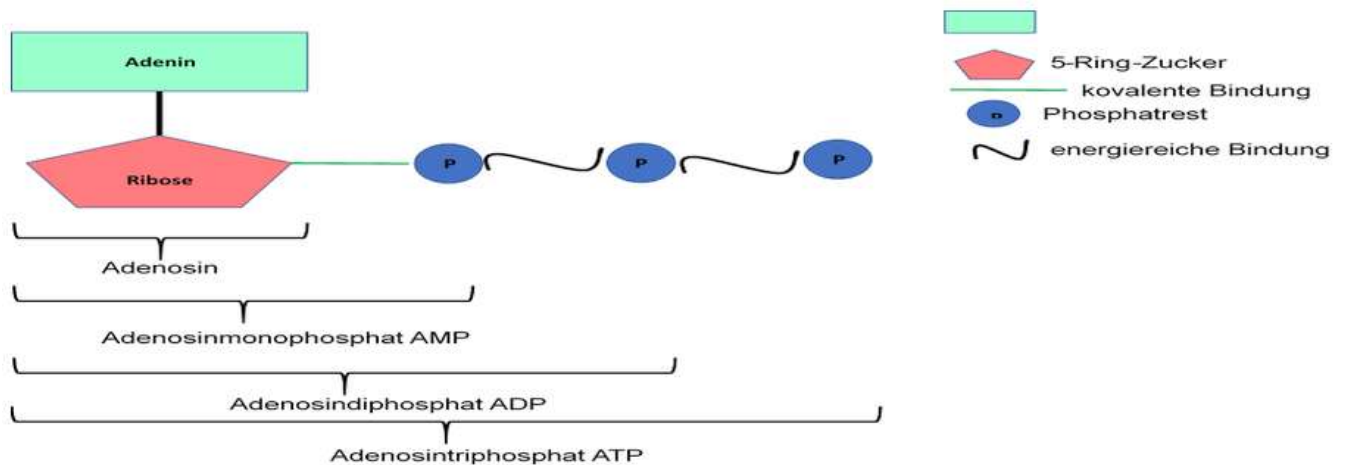
5. Annexes

(1) Lipide et

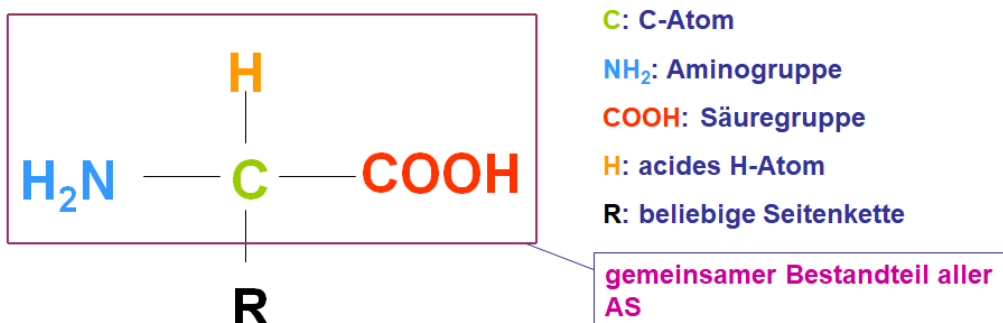
Phospholipide (élément constitutif de la membrane)



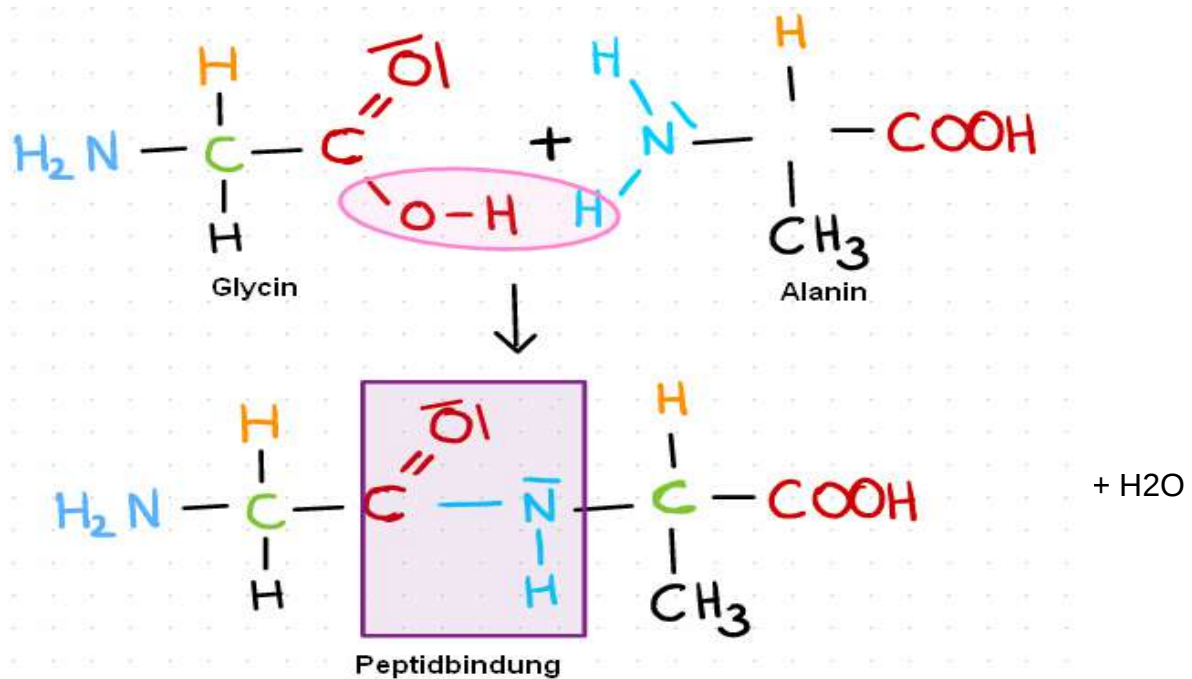
(2) Structure schématique



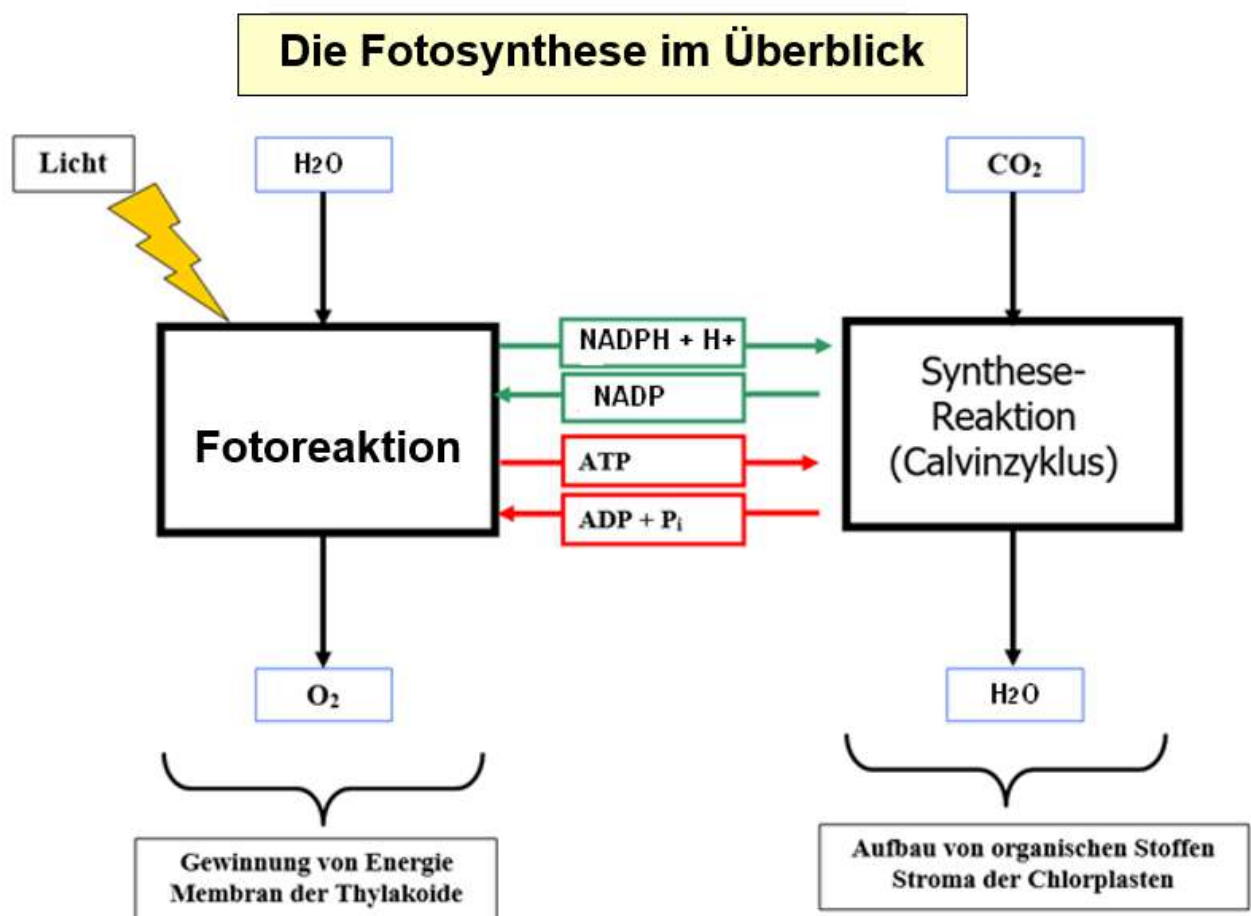
(3) Structure générale d'un acide aminé



(4) « Méthode Lasso » utilisant l'exemple de formation de dipeptides à partir de glycine et d'alanine



(5) « Schéma de boîte noire » de la photosynthèse



(6) Chaîne stimulus-réponse