



Co-funded by
the European Union

Photobiomodulation – Wie schwaches Licht den Körper bei der Heilung unterstützt



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: 2023-1-DE03-KA220-SCH-000126516

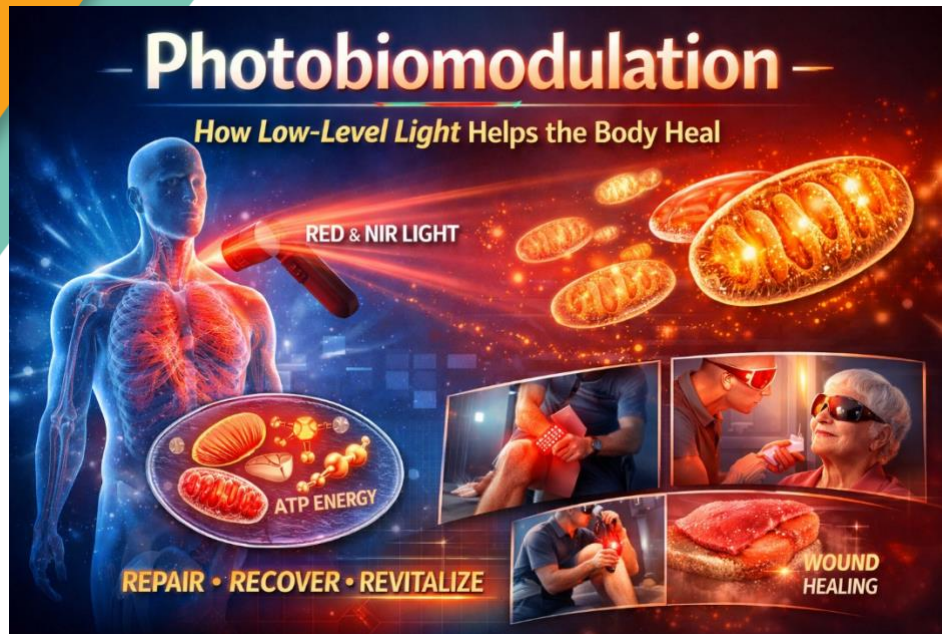
"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





Einleitung:	6
Abschnitt 1: Entdecken	9
Abschnitt 2: Anwenden	12
Abschnitt 3: Verbessern	15
Fazit:	15
Literatur	20





Allgemeines Thema des Lernpfads	Biophotonik
Konkrete Bezeichnung der Lerneinheit	Photobiomodulation – Wie schwaches Licht dem Körper bei der Heilung hilft
Altersgruppe der Zielgruppe	16–18 Jahre
Voraussetzungen für die Lernenden	Um den vollen Nutzen aus dieser Lerneinheit zur Photobiomodulation (PBM) ziehen zu können, sollten die Lernenden über Grundkenntnisse der Humanbiologie verfügen, einschließlich Zellen, Mitochondrien und Energiestoffwechsel. Kenntnisse über die Eigenschaften von Licht, wie Wellenlänge und Intensität, helfen dabei zu verstehen, wie rotes und nahinfrarotes (NIR) Licht mit Gewebe interagiert. Die Lernenden sollten zudem mit digitalen Lernumgebungen und der Nutzung interaktiver Tools vertraut sein, da die Lerneinheit Augmented-Reality-Simulationen (AR), Quizfragen und praktische Übungen umfasst. Kritisches Denken und Neugierde werden gefördert, um Beobachtungen zu analysieren und über reale Anwendungen von PBM in den Bereichen Gesundheit, Sport und Alltag nachzudenken. Vorkenntnisse in der Phototherapie sind nicht erforderlich, aber ein Interesse daran, zu erforschen, wie schwaches Licht zelluläre Prozesse stimulieren und die Gewebeheilung unterstützen kann, wird das Lernerlebnis bereichern.
Beschreibung der Lerneinheit	Diese Lerneinheit zur Photobiomodulation (PBM) führt die Studierenden in die wissenschaftlichen Grundlagen und praktischen Anwendungen von schwach dosiertem rotem und nahinfrarotem (NIR) Licht zur Unterstützung der Zellenergie und Gewebeheilung ein. Durch eine Kombination aus theoretischen Erläuterungen, interaktiven Übungen und Augmented-Reality-Simulationen





	(AR) erforschen die Lernenden, wie Licht Haut-, Fett- und Muskelschichten durchdringt, um die Mitochondrien zu erreichen, dort die ATP-Produktion anzuregen und Reparatur sowie Regeneration zu fördern. Die Einheit umfasst praktische Aktivitäten, die es den Studierenden ermöglichen, zelluläre Prozesse zu beobachten, die Auswirkungen verschiedener Lichtparameter zu analysieren und über reale Anwendungen wie Wundheilung, Muskelregeneration und allgemeines Wohlbefinden nachzudenken. Durch die Integration von Wissenschaft, Technologie und Erfahrungslernen hilft die Einheit den Studierenden, abstrakte biologische Konzepte mit praktischen Ergebnissen zu verknüpfen, und fördert so sowohl das Verständnis als auch das kritische Denken über das therapeutische Potenzial von PBM.
Thema: Beteiligte	Biologie, Physik/Optik, Medizin/Gesundheitswissenschaften, Technologie/Informatik, Naturwissenschaften
Schlüsselwörter	Photobiomodulation Mitochondrien ATP-Produktion Rot-/NIR-Licht Gewebeheilung
Wichtige Qualifikationen, Fähigkeiten und Kenntnisse, die erworben werden können	Durch den Abschluss dieser Lerneinheit erwerben die Studierenden ein solides Verständnis der wissenschaftlichen Prinzipien hinter der Photobiomodulation (PBM), einschließlich der Wechselwirkung von rotem und nahinfrarotem (NIR) Licht mit biologischem Gewebe und der Stimulierung der mitochondrialen Aktivität. Die Lernenden erwerben Kenntnisse über die zelluläre Energieproduktion, die ATP-Synthese und die Rolle des Lichts bei der Unterstützung der Gewebereparatur und -regeneration. Sie entwickeln praktische Fähigkeiten zur Beobachtung und Analyse biologischer Prozesse durch interaktive Übungen und Augmented-Reality-Simulationen (AR) und verbessern so ihre Fähigkeit, komplexe Phänomene visuell und konzeptionell zu interpretieren. Kritisches Denken und Problemlösungskompetenz werden gestärkt, wenn die Studierenden über Versuchsergebnisse reflektieren und die Auswirkungen von PBM in verschiedenen Kontexten vorhersagen. Darüber hinaus verbessern die Lernenden ihre digitale Kompetenz und ihre Fähigkeiten im Umgang mit interaktiven Tools, wodurch sie darauf vorbereitet werden, theoretisches Wissen auf reale Szenarien





	in den Bereichen Gesundheit, Sport oder klinische Anwendungen anzuwenden.
Verwendete Ressourcen und didaktische Hilfsmittel	Diese Lerneinheit nutzt eine Vielzahl von Ressourcen und didaktischen Hilfsmitteln, um sowohl das theoretische Verständnis als auch die praktische Erfahrung zu fördern. Zu den wichtigsten Ressourcen zählen wissenschaftliche Texte, Diagramme und Animationen, die Zellstrukturen, die Funktion der Mitochondrien und die ATP-Produktion veranschaulichen. Kurze Videos und visuelle Vergleiche helfen den Studierenden zu verstehen, wie rotes und nahinfrarotes (NIR) Licht mit Gewebe interagiert und Heilungsprozesse anregt. Augmented-Reality-Simulationen (AR) ermöglichen es den Lernenden, Lichtdurchdringung, mitochondriale Aktivierung und Gewebereparatur in einer immersiven, interaktiven Umgebung zu erkunden und so unsichtbare biologische Mechanismen sichtbar zu machen. Arbeitsblätter, angeleitete Übungen und Quizfragen vertiefen das Gelernte, während Fallstudien die realen Anwendungen in klinischen, sportlichen und Wellness-Kontexten hervorheben. Ergänzt werden diese Tools durch digitale Plattformen und Räume für den gemeinsamen Austausch, die es den Studierenden ermöglichen, Beobachtungen zu teilen, über Ergebnisse zu reflektieren und theoretische Konzepte mit praktischen Anwendungen zu verknüpfen, wodurch eine ansprechende und umfassende Lernerfahrung gewährleistet wird.
Bewertungskriterien und Bewertung	Die Lernenden werden anhand ihres Verständnisses der Prinzipien der Photobiomodulation, ihrer Fähigkeit, theoretisches Wissen auf praktische Szenarien anzuwenden, sowie ihrer Beteiligung an interaktiven Übungen bewertet. Zu den Bewertungskriterien gehören die genaue Identifizierung von Lichtwellenlängen, Gewebeschichten und mitochondrialen Reaktionen, die korrekte Interpretation von ATP-Produktionsmechanismen sowie die Fähigkeit zu erklären, wie PBM die Gewebeheilung und -regeneration unterstützt. Die Teilnahme der Studierenden an Augmented-Reality-Simulationen (AR) und die Bearbeitung angeleiteter Übungen werden bewertet, einschließlich ihrer Fähigkeit, Variablen zu manipulieren, Beobachtungen anzustellen und evidenzbasierte Schlussfolgerungen zu ziehen. Reflexionsaufgaben und Quizfragen dienen der Beurteilung des kritischen Denkens und der





	Fähigkeit, zelluläre Prozesse mit realen Anwendungen zu verknüpfen. Zusammenarbeit, Klarheit der Erklärungen und Tiefe des Verständnisses werden ebenfalls berücksichtigt. Die Bewertung kombiniert formative Beurteilung durch interaktive Aufgaben und Quizfragen mit summativer Beurteilung auf der Grundlage von Berichten, Präsentationen und Reflexionsergebnissen, wodurch eine umfassende Messung sowohl des Wissens als auch der angewandten Fähigkeiten gewährleistet wird.
--	--





Einleitung:

Haben Sie sich jemals gefragt, ob Licht Ihren Körper heilen könnte? Es mag wie Science-Fiction klingen, ist aber sehr real, und aktuelle Forschungsergebnisse haben gezeigt, dass Licht tiefgreifende Auswirkungen auf unsere Biologie haben kann. Wissenschaftler haben entdeckt, dass **schwaches rotes oder nahinfrarotes (NIR) Licht** die natürlichen Reparaturprozesse Ihres Körpers anregen und Zellen auf eine Weise aktivieren kann, die einst für unmöglich gehalten wurde. Dieser faszinierende Prozess ist als **Photobiomodulation (PBM)** bekannt.

Im Gegensatz zu Hochleistungslasern, die bei chirurgischen Eingriffen zum Einsatz kommen, invasiv sind und eine spezielle medizinische Ausbildung erfordern, ist PBM sicher, sanft und nicht-invasiv, wodurch es für den täglichen Gebrauch zugänglich ist. Von der Physiotherapie und der Regeneration nach dem Sport bis hin zur Versorgung kleinerer Wunden und der Hautpflege ermöglicht PBM Ihrem Körper, seine eigene Energie und Ressourcen effizienter zu nutzen. Im Wesentlichen hilft es Ihren Zellen, intelligenter statt härter zu arbeiten, und beschleunigt so die Heilung, ohne dass Medikamente oder Operationen erforderlich sind.

PBM wirkt, indem es auf die **Mitochondrien** abzielt, die oft als Kraftwerke der Zelle bezeichnet werden. Diese winzigen Strukturen wandeln Nährstoffe in ATP (Adenosintriphosphat) um, die Energieform, die fast jede Zellfunktion antreibt. Wenn Mitochondrien durch rotes oder NIR-Licht stimuliert werden, produzieren sie mehr ATP und versorgen die Zellen so mit zusätzlicher Energie, um Gewebe zu reparieren, Entzündungen zu reduzieren und Funktionen schneller wiederherzustellen, als dies auf eigene Faust möglich wäre. *Es ist, als würde man den Zellen einen Turbo-Boost für die Heilung geben.*

Über seine wissenschaftlichen Wirkungen hinaus ist PBM auch aufgrund seiner Verbindung zum Alltag inspirierend. Das Licht, dem wir täglich begegnen – Sonnenlicht, Lampen oder Bildschirme – kann biologische Prozesse beeinflussen. PBM nutzt einen ganz bestimmten Teil des Lichtspektrums, der tief in das Gewebe eindringt und genau die Teile Ihres Körpers erreicht, die es am meisten benötigen. Dies macht es zu einem faszinierenden Beispiel dafür, wie das Verständnis der Natur zu Technologien führen kann, die Gesundheit und Leistungsfähigkeit auf einfache, nicht-invasive Weise unterstützen.





Kernidee: Rot-/NIR-Licht → stimuliert die Mitochondrien → produziert mehr ATP → Gewebe heilt schneller.

In dieser Lerneinheit werden Sie verschiedene Aspekte der Photobiomodulation erkunden, darunter:

- Wie Licht auf zellulärer Ebene mit Ihrem Körper interagiert und Ihnen hilft, das normalerweise Unsichtbare im Inneren jeder Zelle sichtbar zu machen
- Wie PBM die Wundheilung, die Verringerung von Entzündungen und die Muskelregeneration unterstützt und dabei wissenschaftliche Prinzipien mit greifbaren Ergebnissen verknüpft
- Sichere und praktische Methoden, um die Auswirkungen von Licht durch praktische Experimente zu erforschen, wodurch Sie sich direkt mit der Wissenschaft auseinandersetzen können
- Interaktive AR-Simulationen, die Mitochondrien in Aktion und die ATP-Produktion in Echtzeit zeigen, unsichtbare Prozesse sichtbar machen und Theorie mit immersiven Lernerfahrungen verbinden

Durch diese Erkundung erlangen Sie ein umfassendes Verständnis von PBM, von den physikalischen Grundlagen des Lichts bis hin zu den praktischen Anwendungen, die es zu einem leistungsstarken Werkzeug für Gesundheit und Leistungsfähigkeit machen.

Einführungsvideos: „*Licht, das heilt: Einführung in die Photobiomodulation*“

<https://www.youtube.com/watch?v=WAsbDyRZhW4>

<https://www.youtube.com/watch?v=CQ3tClDC9vQ>

https://www.youtube.com/watch?v=f_Uk4kV5As8





Abschnitt 1: Entdecken

Licht und seine Kräfte verstehen

Licht ist nicht nur etwas, das wir sehen; es ist eine Energieform, die sich in Wellen ausbreitet, wobei jede Welle eine bestimmte Energiemenge trägt, die durch ihre Wellenlänge bestimmt wird. Die Wellenlänge des Lichts bestimmt seine Farbe und, was entscheidend ist, wie tief es in Materie eindringen kann. Kürzere Wellenlängen, wie Blau und Violett, sind energiereich, neigen jedoch dazu, nahe der Oberfläche gestreut oder absorbiert zu werden. Längere Wellenlängen, wie Rot (600–700 nm) und Nahinfrarot (NIR, 780–1100 nm), können tiefer vordringen und die verborgenen Gewebeschichten erreichen, wo sie ihre therapeutische Wirkung entfalten.

Licht als Wald der Farben

Stellen Sie sich vor, Sie spazieren mittags durch einen dichten Wald. Sonnenlicht strömt von oben herab, doch nicht alle Lichtfarben erreichen den Waldboden. Blaues und grünes Licht werden größtenteils von den Blättern absorbiert oder gestreut und berühren die Pflanzen darunter kaum. Rotes und orangefarbenes Licht hingegen dringt durch das Blätterdach, erreicht das Unterholz und versorgt die dortigen Pflanzen mit Energie.

In deinem Körper ist die Situation ähnlich. Das „Blätterdach“ besteht aus Haut, Fett und anderem Gewebe. Rotes und Nahinfrarotlicht wirken wie gefiltertes Sonnenlicht, das dieses Blätterdach durchdringen und das „Unterholz“ – die Mitochondrien in deinen Zellen – erreichen kann, ohne Schaden anzurichten.

Visuelle Metapher / schematische Darstellung:

Sonnenlicht (volles Spektrum)



Blätterdach (Haut & Gewebe)

Blau/Grün	→ wird größtenteils absorbiert
Rot/NIR	→ dringt tiefer ein





Waldboden → Mitochondrien in den Zellen

Photonen: Winzige Boten

Licht besteht aus Photonen – den kleinsten Energiepaketen. Man kann sich Photonen als winzige Boten vorstellen, von denen jeder eine „Anweisung“ an die Zellen überbringt. Wenn rote oder NIR-Photonen die Mitochondrien erreichen, übermitteln sie folgende Botschaft: „*Produziert mehr Energie!*“

Die Rolle des Lichts bei der Heilung

Durch die Steigerung der ATP-Produktion beschleunigen rotes und NIR-Licht die natürlichen Reparaturmechanismen des Körpers:

- Zellen reparieren Schäden schneller.
- Oxidativer Stress wird reduziert.
- Die allgemeine Zellfunktion verbessert sich.

Im Grunde genommen ist Licht mehr als nur Beleuchtung – es ist ein biologischer Botenstoff, der das Leben auf molekularer Ebene beeinflussen kann. So wie Sonnenlicht den verborgenen Waldboden nährt, versorgt es die tiefsten Schichten des Körpers mit Energie und fördert Heilung und Vitalität von innen heraus.

Ein Blick in die Zellen und Mitochondrien

Zellen sind die Bausteine aller Lebewesen, und Mitochondrien sind ihre Kraftwerke. Stellen Sie sich ein Mitochondrium als winzige Fabrik im Inneren der Zelle vor, in der Brennstoff in Energie in Form von ATP (Adenosintriphosphat) umgewandelt wird. Jede Bewegung, jeder Herzschlag, jeder Reparaturprozess in Ihrem Körper benötigt ATP.

PBM sorgt für einen zusätzlichen Energieschub, indem es die Mitochondrien mit Licht stimuliert. Diese zusätzliche Energie ist entscheidend für die Reparatur von geschädigtem Gewebe, die Verringerung von Entzündungen und die Beschleunigung der Genesung. Es ist, als würde man einer Fabrik zusätzliche Arbeitskräfte und Maschinen zur Verfügung stellen, um ein wichtiges Projekt schneller fertigzustellen.

Warum rotes und NIR-Licht am besten wirken

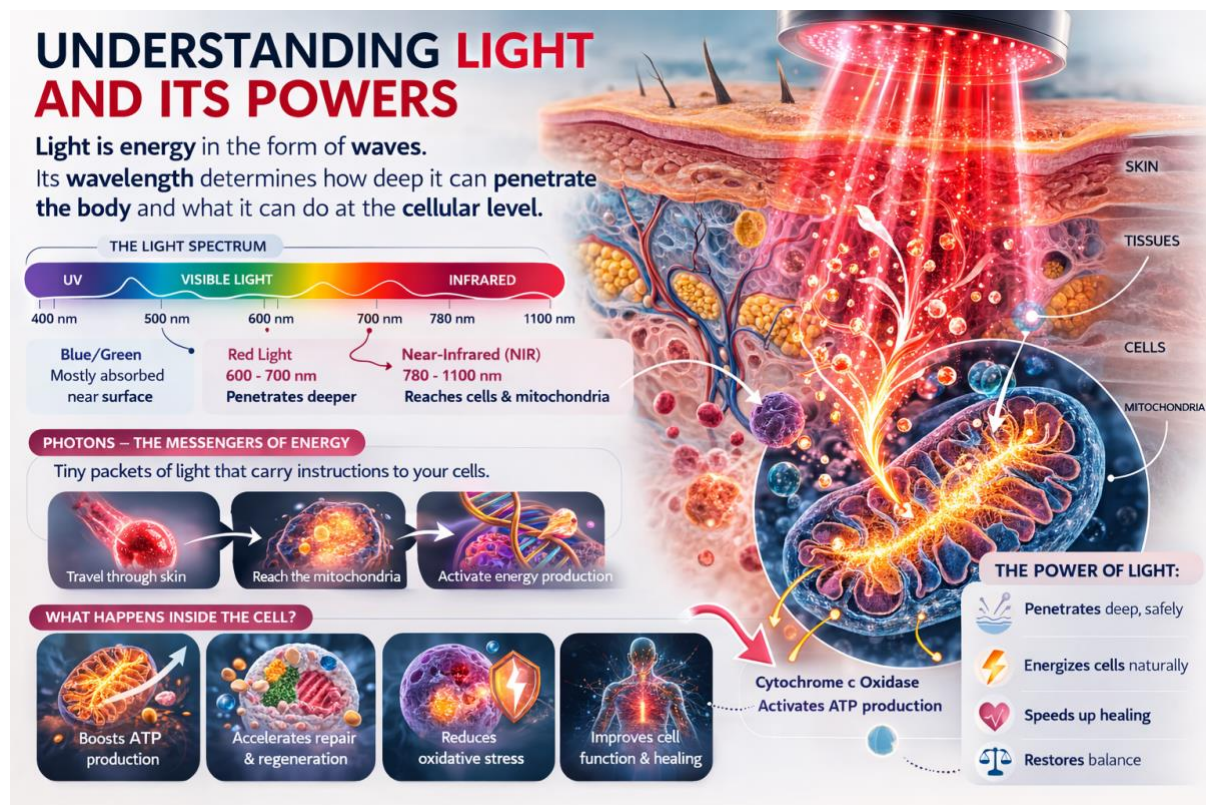
Innerhalb der Mitochondrien absorbiert ein Molekül namens **Cytochrom-C-Oxidase** – ein Molekül, das wie ein Torwächter für die zelluläre Energieproduktion





fungiert – Photonen aus rotem und NIR-Licht. Dies löst eine Reihe chemischer Reaktionen aus, die zu einer erhöhten Produktion von ATP – dem Molekül, das fast alle Zellfunktionen antreibt – und zu weniger oxidativem Stress führen. Das Ergebnis sind gesündere, aktivere Zellen, die effizienter auf Verletzungen oder Belastungen reagieren können.

Durch die gezielte Anwendung der richtigen Wellenlänge und Dosis stimuliert PBM die Heilung auf sichere Weise, ohne das Gewebe zu überhitzen, im Gegensatz zu hochleistungsfähigen chirurgischen Lasern. Dies macht PBM zu einer sicheren, wiederholbaren Behandlung für verschiedene Erkrankungen.



PBM im Alltag

PBM ist nicht nur ein Laborphänomen; es wird in der Praxis in Medizin und Sport eingesetzt. Kliniken nutzen es, um Wunden schneller zu heilen, Entzündungen zu lindern und die Genesung nach Muskelverletzungen zu beschleunigen. Sportler nutzen PBM zur Erholung nach dem Training, um Müdigkeit und Muskelkater zu reduzieren. Sogar Zahnkliniken setzen PBM ein, um Schwellungen und Beschwerden nach Eingriffen zu lindern.

Stellen Sie sich einen Fußballspieler mit einem verstauchten Knöchel vor. Normalerweise könnte es zwei Wochen dauern, bis die volle Funktionsfähigkeit





wiederhergestellt ist. Mit PBM heilt der Knöchel schneller, da die Zellen mehr Energie zur Gewebereparatur haben. Selbst kleinere Verletzungen oder Muskelkater nach dem Training können schneller gelindert werden.

Denkanstoß:

Diskutiert in kleinen Gruppen: Wenn ihr PBM bei einer Verletzung oder nach einem harten Training anwenden könntet, wie würde es eure Erholung unterstützen? Welche Vorsichtsmaßnahmen würdet ihr treffen?

Aktivität

Versucht, weitere Videos zum Thema „PBM in Aktion: Heilungsbeispiele aus der Praxis“ zu finden, die Szenarien wie Muskelregeneration, Wundheilung und Entzündungshemmung zeigen.

Die Wissenschaft hinter der Heilung

Es ist faszinierend zu sehen, wie Licht – etwas, das wir als selbstverständlich ansehen – auf mikroskopischer Ebene so tiefgreifende Auswirkungen haben kann. PBM erinnert uns daran, dass unser Körper ein fein abgestimmtes System ist, das auf Energie auf sehr präzise Weise reagiert. Durch das Verständnis der Wissenschaft hinter PBM gewinnen wir Einblicke in zelluläre Prozesse, die Energieproduktion und das Potenzial nicht-invasiver Therapien zur Verbesserung der Gesundheit.

Dieser Abschnitt regt die Schüler dazu an, kritisch zu denken und sich Anwendungen im Alltag, im Sport und im medizinischen Bereich vorzustellen. Die Schüler können fragen: Wie könnte PBM einem Sportler im Vergleich zu einem Patienten mit einer chronischen Wunde helfen? Warum ist die Wellenlänge wichtig? Was könnte passieren, wenn die Lichtintensität zu hoch oder zu niedrig ist?





Abschnitt 2: Umsetzung

Der Abschnitt „Durchführung“ dieser Lerneinheit zur Photobiomodulation (PBM) soll die Schüler in aktives, praxisorientiertes Lernen eintauchen lassen und so die Lücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Erfahrung schließen. Während der vorherige Abschnitt die grundlegenden Prinzipien der PBM vorstellt, einschließlich der Wechselwirkung von rotem und nahinfrarotem Licht mit biologischem Gewebe, ermöglicht der Abschnitt „Durchführung“ den Schülern, diese Konzepte in Aktion zu beobachten, und vermittelt ein greifbares Verständnis dafür, wie PBM Zellen, Gewebe und biologische Systeme beeinflusst.

Durch sorgfältig strukturierte Aktivitäten haben die Studierenden die Möglichkeit, Experimente durchzuführen, detaillierte Beobachtungen anzustellen und Ergebnisse zu analysieren. So können sie beispielsweise untersuchen, wie verschiedene Lichtwellenlängen Gewebemodelle durchdringen oder wie PBM die Zellaktivität in kontrollierten Umgebungen beeinflusst. Dieser erfahrungsorientierte Ansatz regt die Lernenden dazu an, sich aktiv mit dem Stoff auseinanderzusetzen, und fördert kritisches Denken, Neugier und wissenschaftliches Denken.

Darüber hinaus legt der Abschnitt Wert auf Diskussion und Reflexion und regt die Studierenden dazu an, ihre Versuchsergebnisse mit theoretischen Vorhersagen zu vergleichen und praktische Anwendungen der PBM zu betrachten, von klinischen Therapien bis hin zu Wellness-Anwendungen. Durch die Kombination von Beobachtung, Experimentieren und angeleitetem Dialog verwandelt der Abschnitt „Execute“ abstrakte Konzepte in sinnvolle, einprägsame Lernerfahrungen.

Letztendlich werden die Studierenden diesen Abschnitt mit einem tieferen Verständnis sowohl für die wissenschaftlichen Prinzipien als auch für die praktische Relevanz der Photobiomodulation abschließen, was sie darauf vorbereitet, dieses Wissen in der Forschung, im Gesundheitswesen oder in weiterführenden Studien anzuwenden.

Aktivität 1: Beobachtung von Licht

Verwende ein Prisma oder Farbfilter, um zu untersuchen, wie sich Licht verhält. Beobachte, welche Farben durch Materialien hindurchdringen und welche abgehalten werden. Halte deine Beobachtungen in einer Tabelle fest und notiere dabei die Farbe, die Durchdringungsfähigkeit sowie weitere Anmerkungen.





Diese einfache Aktivität hilft den Schülern zu verstehen, warum rotes und NIR-Licht tiefes Gewebe erreichen kann.

Diskutiert in Gruppen: Inwiefern hängt dies mit der PBM zusammen? Warum könnten bestimmte Wellenlängen für die Heilung wirksamer sein als andere?

Aktivität 2: Mitochondrien-Analogie

Baue ein einfaches Modell einer „Zellfabrik“ aus Pappbechern, Bällen oder anderen kleinen Gegenständen, die ATP-Moleküle darstellen. Verwende eine rote Taschenlampe, um PBM-Licht zu simulieren. Beobachte, wie die „Fabrik“ unter dem Licht mehr ATP produziert. Denke darüber nach, wie zusätzliche Energie Reparaturprozesse im Körper unterstützt.

Schreiben Sie einen kurzen Text, in dem Sie das Modell beschreiben: Wie hilft Ihnen diese Analogie, die Aktivierung der Mitochondrien zu verstehen? Was passiert, wenn der Energiepegel niedrig ist?

Aktivität 3: Fallstudien

Untersuche PBM-Anwendungen in Kliniken oder im Sport:

- Muskelregeneration nach Verletzungen
- Reduzierung von Zahnschwellungen
- Wundheilung

Verfassen Sie für jeden Fall einen kurzen Bericht: Was war das Problem? Wie wurde die PBM angewendet? Was war das Ergebnis? Erläutern Sie, warum die PBM in diesen Szenarien wirksam war, und setzen Sie dies in Zusammenhang mit der zellulären Energieproduktion.

Aktivität 4: Entwurf eines PBM-Geräts

Die Studierenden entwerfen gemeinsam ein hypothetisches PBM-Gerät:

- Wählen Sie die Wellenlänge (rot oder NIR)
- Legen Sie Intensität und Dauer fest
- Prognostizieren Sie, welche Gewebe am meisten profitieren würden

Präsentieren Sie Ihre Entwürfe vor der Klasse und begründen Sie Ihre Entscheidungen anhand dessen, was Sie über Lichtdurchdringung, Mitochondrien und ATP-Produktion gelernt haben.

Aktivität 5: Vertiefende Reflexion





Stellen Sie sich ein Szenario vor, in dem PBM das tägliche Leben verbessern könnte: Erholung nach dem Sport, leichte Verletzungen oder sogar studienbedingter Stress (durch Linderung von Muskelverspannungen). Verfassen Sie einen Text, der Theorie und Anwendung miteinander verbindet und so ein tieferes Verständnis sowie persönliches Engagement fördert.





Abschnitt 3: Verbessern

Augmented Reality für ein tieferes Verständnis

In diesem Teil der Lerneinheit tauchen die Schüler in die immersive Welt der Augmented Reality ein, wo sie biologische Prozesse erkunden und manipulieren können, die normalerweise für das bloße Auge unsichtbar sind. Im Gegensatz zu herkömmlichem Unterricht lädt dieser Abschnitt die Lernenden dazu ein, zelluläre Mechanismen zu sehen, mit ihnen zu interagieren und an ihnen zu experimentieren, wodurch abstrakte Konzepte greifbar und einprägsam werden. Anhand von sechs sorgfältig gestalteten Szenen können die Schüler den Weg des Lichts von der Hautoberfläche bis hin zu den Mitochondrien verfolgen und in Echtzeit beobachten, wie die Photobiomodulation die Zellaktivität und die Gewebereparatur beeinflusst.

Die AR-Reise beginnt mit **Szene 1: Einführung**. Die Schüler sehen den Titel „Photobiomodulation: Wie schwaches Licht die Heilung stimuliert“ als dreidimensionalen Text vor dem Hintergrund der AR-Umgebung. Ein START-Button lädt sie ein, die Erkundung zu beginnen, und weckt Vorfreude und Konzentration, bevor sie in die Wissenschaft eintauchen.

Szene 2: Lichtspektrum & Gewebedurchdringung verbindet zwei grundlegende Konzepte in einem einzigen immersiven Erlebnis. Die Studierenden visualisieren zunächst rote und nahinfrarote (NIR) Lichtwellen (600–700 nm und 700–1100 nm) innerhalb des elektromagnetischen Spektrums und vergleichen diese therapeutischen Wellenlängen mit anderen Lichtfarben. Anschließend beobachten sie, wie diese Wellenlängen mit der Schichtstruktur von Haut, Fett und Muskel interagieren, und sehen, wie das Licht biologische Barrieren durchdringt, um tiefes Gewebe zu erreichen. Die AR-Umgebung zeigt zwei nebeneinander angeordnete Diagramme: das Spektrum mit hervorgehobenen therapeutischen Wellenlängen und einen Gewebeschnitt, der verdeutlicht, dass UV- und blaues Licht an der Oberfläche gestoppt werden, während rote und NIR-Photonen tief in das Muskelgewebe vordringen.





Durch die Beobachtung des Verhaltens verschiedener Wellenlängen gewinnen die Lernenden ein intuitives Verständnis für die physikalischen Eigenschaften, die PBM wirksam machen, und überbrücken so die Kluft zwischen Physik und Biologie auf eine Weise, die herkömmliche Diagramme nicht vermitteln können.

Diese interaktive Erkundung hebt den Weg hervor, den Photonen nehmen, und zeigt, dass die Körperoberfläche keine statische Barriere ist, sondern ein dynamisches Medium, das die therapeutischen Ergebnisse beeinflusst.

Szene 3: Zellen und Mitochondrien bringt die Studierenden noch näher an das Geschehen heran. Sie können virtuell in eine einzelne Zelle hineinzoomen und deren Mitochondrien in atemberaubender Detailgenauigkeit beobachten. Die AR-Simulation zeigt, wie Mitochondrien Photonen absorbieren und die biochemischen Prozesse in Gang setzen, die zur Energieproduktion führen. Ein Quiz fordert die Studierenden auf, das Molekül in den Mitochondrien zu identifizieren, das rotes und nahinfrarotes Licht absorbiert, und vertieft so ihr Verständnis von Cytochrom-C-Oxidase als dem wichtigsten Photoakzeptor.

Diese Nahaufnahme ermöglicht es den Lernenden, den Zusammenhang zwischen Lichteinwirkung und zellulärer Aktivierung herzustellen und aus erster Hand zu sehen, wie PBM das Leben auf mikroskopischer Ebene stimuliert.

In **Szene 4: Mechanismus der ATP-Produktion** verwandelt das AR-Erlebnis die Molekularbiologie in ein sichtbares Spektakel. Die Schüler beobachten, wie Photonen chemische Reaktionen im Inneren der Mitochondrien auslösen, die zur Produktion von ATP-Molekülen führen. Sie können diese Moleküle verfolgen, während sie sich in der Zelle verteilen, um Reparatur-, Wachstums- und energieintensive Prozesse zu unterstützen. In einem Quiz werden die Schüler gebeten, zu erklären, wie die Photobiomodulation die Heilung stimuliert, wodurch sichergestellt wird, dass sie den Zusammenhang zwischen erhöhter ATP-Produktion und beschleunigter Gewebereparatur verstehen.

Durch die Visualisierung dieser Reaktionen gewinnen die Lernenden ein konkretes Verständnis dafür, wie Licht in Zellenergie umgewandelt wird – ein Konzept, das abstrakt und schwer verständlich ist, wenn es nur anhand von Lehrbüchern oder statischen Bildern vermittelt wird.





Szene 5: Klinische Anwendungen verlagert den Fokus von den Zellen auf das Gewebe und die praktische Relevanz. Die Studierenden interagieren mit virtuellen Darstellungen von Gewebe und simulieren Szenarien wie Wundheilung, Muskelregeneration und Narbenreduktion. Durch den Vergleich von behandeltem und unbehandeltem Gewebe können die Lernenden die greifbaren Auswirkungen der PBM erkennen und verstehen, warum sie therapeutischen Wert hat. Ein Quiz fordert die Studierenden auf, zu erklären, wie sich die Photobiomodulation von chirurgischen Lasern unterscheidet, wobei betont wird, dass PBM schwaches Licht nutzt, um Gewebe zu stimulieren, anstatt es abzutragen.

Diese Szene regt zum Nachdenken darüber an, wie mikroskopische Veränderungen zu beobachtbaren Verbesserungen der Gesundheit und Leistungsfähigkeit führen, und schlägt so eine Brücke zwischen Wissenschaft und praktischer Anwendung.

Abschließend festigt Szene 6: Medizinische Anwendungen & Abschlussbewertung das Gelernte anhand von drei umfassenden Quizfragen. Die Studierenden müssen ihre Kenntnisse unter Beweis stellen, indem sie Fragen zu folgenden Themen richtig beantworten: (1) welche Wellenlängen in der Photobiomodulationstherapie verwendet werden (Rot 600–700 nm und NIR 700–1100 nm), (2) warum rote und NIR-Wellenlängen tiefer eindringen als blaues Licht und (3) klinische Anwendungen, darunter Wundheilung, Muskelregeneration und Entzündungshemmung. Nach erfolgreichem Abschluss aller drei Quizze wird die abschließende Glückwunschkmeldung freigeschaltet: „Sie verstehen nun, wie schwaches rotes und nahinfrarotes Licht die Mitochondrien stimuliert, um die Heilung zu beschleunigen und Entzündungen zu reduzieren.“ Dieser leistungsorientierte Abschluss vermittelt den Lernenden ein Gefühl der Beherrschung und der Leistung.

Fazit: „ „

Nimm dir am Ende dieses Lernpfades einen Moment Zeit, um über die Reise nachzudenken, die du gerade erlebt hast. Du hast damit begonnen, die unsichtbare Welt des Lichts und der Zellen zu erkunden, in der rote und nahinfrarote Photonen still durch Haut-, Fett- und Muskelschichten wandern und die winzigen Kraftwerke in deinen Zellen erreichen – die Mitochondrien. Durch die AR-Übungen hast du nicht nur über diese Prozesse gelesen – du hast gesehen, wie sie sich entfalten. Sie haben beobachtet, wie Photonen absorbiert wurden, chemische Reaktionen in Gang kamen und ATP-Moleküle produziert und durch die Zelle transportiert wurden, um Reparatur und Regeneration anzutreiben. *Was einst unsichtbar war, ist nun in Ihrem Geist lebendig, fast greifbar, und Sie*





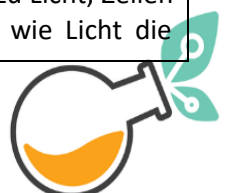
können die Verbindung zwischen Licht, Energie und dem Leben selbst spüren.

Du hast auch untersucht, wie sich diese mikroskopischen Prozesse in reale Auswirkungen umsetzen. Du hast virtuelles Gewebe manipuliert und beobachtet, wie Wunden schneller heilen, Muskeln sich erholen und Narben unter dem Einfluss von PBM weicher werden. Du hast dir vorgestellt, wie dieses Wissen angewendet werden könnte – nicht nur in Laboren, sondern auch in Kliniken, Sportarenen oder sogar im Alltag, um Menschen dabei zu helfen, sich zu erholen, gesund zu bleiben und ihr Wohlbefinden zu erhalten. Jede AR-Szene, jedes interaktive Experiment brachte dich dem Verständnis näher, dass Licht nicht nur leuchtet – es **stärkt den Körper von innen heraus**.

Am Ende dieser Lektion nehmen Sie mehr mit als nur Fakten und Zahlen. Sie nehmen eine Erfahrung mit, eine Geschichte vom Licht, das durch Zellen wandert, Energie entfacht und das Leben auf eine Weise unterstützt, die normalerweise verborgen bleibt. Sie haben miterlebt, wie das Unsichtbare sichtbar und das Abstrakte konkret wurde, und Sie haben aus erster Hand gesehen, wie Photobiomodulation sowohl Zellen als auch den menschlichen Körper verändern kann. Dies ist Wissen, das Sie nicht nur auswendig lernen – Sie **erleben, spüren und verstehen** es und sind bereit, es auf sinnvolle Weise anzuwenden.

Licht ist mehr als nur ein Konzept geworden; es ist nun eine greifbare Heilkraft, und Sie sind in der Lage, sein Potenzial in der Welt um Sie herum zu erkennen, zu erforschen und zu nutzen.

Phase	Beschreibung
Erkunden	- Forschung und Entdeckung: Die Schüler untersuchen Beispiele für Photobiomodulation im Alltag und in der Medizin, wie Wundheilung, Muskelregeneration, Narbenreduktion und kognitive Unterstützung. Durch angeleitete Recherche, Videos und Diskussionen im Unterricht erforschen sie, wie rotes und nahinfrarotes (NIR) Licht mit biologischem Gewebe, insbesondere mit Mitochondrien, interagiert und warum bestimmte Wellenlängen wirksam sind.
	- Inhaltsentwicklung: Die Lehrkräfte führen das Konzept der Licht-Gewebe-Wechselwirkung und der Mitochondrienaktivierung ein, indem sie visuelle Vergleiche (Lichtwellen, Gewebeschichten, Zellen, Mitochondrien) und kurze Animationen nutzen, die zeigen, wie Photonen die ATP-Produktion anregen. Diagramme und konzeptionelle Modelle helfen den Schülern, Prozesse zu visualisieren, die im realen Leben unsichtbar sind.
	- Bedarfsanalyse: Lehrkräfte ermitteln den Vorwissensstand der Schüler zu Licht, Zellen und Energieproduktion. Die Schüler tauschen ihre Ideen darüber aus, wie Licht die





	Zellfunktion beeinflussen könnte, und diskutieren Fehlvorstellungen, wie beispielsweise die Verwechslung von allgemeiner Lichtexposition mit therapeutischen Effekten.
Durchführung	- Umsetzung des Lehrplans: Die Schüler untersuchen, wie rotes und NIR-Licht die Mitochondrien stimuliert und die ATP-Produktion steigert. Anhand von angeleiteten Arbeitsblättern und strukturierten Übungen analysieren sie die durch die Photonenabsorption ausgelöste Kaskade biochemischer Reaktionen und erforschen, wie erhöhtes ATP die Gewebereparatur und -regeneration unterstützt. - Interaktive Übungen: Die Schüler arbeiten in Gruppen an Aufgaben wie der Einordnung von Gewebeschichten nach Lichtdurchdringungstiefe, der Zuordnung von Lichtwellenlängen zu zellulären Zielen und der Beschreibung der Schritte der Mitochondrienaktivierung. Fallstudien zu PBM-Anwendungen – Muskelregeneration, Wundheilung oder Narbenbehandlung – ermöglichen es den Schülern, Wirksamkeit und Ergebnisse zu diskutieren. - Feedback-Sammlung: Die Schüler präsentieren ihre Ergebnisse und reflektieren die Wirkmechanismen der PBM. Die Lehrkräfte leiten Diskussionen über praktische Vorteile wie die Nicht-Invasivität und potenzielle therapeutische Nutzen. Der Austausch unter Gleichaltrigen vertieft das Verständnis und klärt Missverständnisse bezüglich der Lichttherapie.
Erweiterung	- AR-Integration: Die Schüler nutzen eine Augmented-Reality-Anwendung (AR), um PBM-Prozesse in 3D zu visualisieren. Die AR-Erfahrung umfasst Szenen, die rote und NIR-Lichtwellen, die Lichtdurchdringung durch Haut, Fett und Muskeln sowie die mitochondriale Aktivierung im Zellinneren zeigen. - Interaktives Lernen: Mithilfe von AR können die Studierenden Variablen wie Lichtwellenlänge, Intensität oder Expositionsdauer manipulieren und beobachten, wie sich diese Veränderungen auf die mitochondriale ATP-Produktion und die Gewebereparatur auswirken. Sie sehen direkte Visualisierungen von Prozessen, die normalerweise für das bloße Auge unsichtbar sind. Gamifizierte Inhalte: - Punkte und Abzeichen: Die Studierenden sammeln Punkte, wenn sie AR-Quizfragen richtig beantworten, Gewebeschichten identifizieren oder mitochondriale Reaktionen erklären. - Aufgaben und Levels: Gruppen bewältigen aufeinander aufbauende AR-Herausforderungen, wie das Nachverfolgen von Lichtwegen zu den Mitochondrien, das Vorhersagen von ATP-Produktionsergebnissen und das Simulieren von PBM-Effekten auf verschiedene Gewebetypen. - Belohnungen für Erkundungen: Zusätzliche Punkte werden für die Entdeckung neuartiger PBM-Anwendungen oder den Vorschlag innovativer therapeutischer Szenarien vergeben. - Kollaborative spielerische Aufgaben: Teams entwerfen AR-basierte Experimente, die PBM-Behandlungspläne simulieren, und diskutieren die erwarteten Ergebnisse. AR-basierte Bewertungen: Die Studierenden demonstrieren ihr Verständnis, indem sie AR-gesteuerte Aufgaben absolvieren und kurze Berichte verfassen, in denen sie erklären, wie rotes/NIR-Licht mit Mitochondrien interagiert, die ATP-Produktion stimuliert und die Gewebeheilung unterstützt.





Referenzen

1. Hamblin, M. R. (2017). Die Wissenschaft des heilenden Lichts. Photochemistry and Photobiology, 93(2), 199–207.
2. Chung, H., et al. (2012). Low-Level-Lasertherapie: Wie sie funktioniert. Annals of Biomedical Engineering, 40, 516–533.
3. Karu, T. I. (2010). Mitochondrien und Licht: Wie Zellen Energie erzeugen. IUBMB Life, 62(8), 607–610.
4. Lima, D. P. et al. (2020). Photobiomodulation und Heilung. Lasers in Medical Science, 35, 881–893.

<https://www.delightex.com/>

<https://www.eu-ier.com/applying-augmented-reality-technology-in-stem-education-a-bibliometrics-analysis-in-scopus-database>

<https://www.mitrmedia.com/resources/blogs/exploring-the-role-of-ar-in-education-transforming-stem-learning-for-k12-students/>





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU

AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: 2023-1-DE03-KA220-SCH-000126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.