

Die Bedeutsamkeit der Myelinscheide am Beispiel der degenerativen Erkrankung Multiple Sklerose

Ein Beitrag für einen Biologie-Leistungskurs

Luca Brettschneider, Daniela Sellmann-Risse, Norbert Grotjohann

Universität Bielefeld, Universitätsstraße 25, 33615 Bielefeld, luca.brettschneider@uni-bielefeld.de

Multiple Sklerose gehört zu den häufigsten chronischen Autoimmunerkrankungen des zentralen Nervensystems in der westlichen Welt. Am Beispiel der degenerativen Krankheit können Schülerinnen und Schüler den funktionellen Zusammenhang zwischen myelinisierter und nicht myelinisierter Axone für die Leitungsgeschwindigkeit und die Bedeutsamkeit der Myelinscheide besonders gut erkennen. Eine Unterrichtseinheit zum Thema Multiple Sklerose ermöglicht zusätzlich eine Verknüpfung von einzelnen Teilkonzepten und fördert das Verständnis von einem zusammenhängenden System des menschlichen Körpers. Voraussetzung sollte die Kenntnis neuronaler Signalerzeugung und Weiterleitung sein.

Stichwörter: Neurobiologie, degenerative Erkrankung, Multiple Sklerose, Autoimmunerkrankung, Zentralnervensystem, neuronale Signalweiterleitung

1 Einleitung

Mehr als 2,5 Millionen Menschen weltweit sind von der neurodegenerativen Autoimmunerkrankung Multiple Sklerose¹ betroffen (Yaldizli & Kappos 2011, S. 2). Im Rahmen dieser Erkrankung richtet sich das Immunsystem gegen einzelne Komponenten des körpereigenen Isoliermechanismus der Axone im Zentralnervensystem. Dies führt zu disseminierten Entzündungen (-itis) in Gehirn (Enzephalon) und Rückenmark (Myelon), welche die neuronale Signalweiterleitung beeinträchtigen. Synonym wird die MS deshalb auch als Enzephalomyelitis disseminata bezeichnet (Depner 2012, S. 64). Oft bleiben durch die Entzündungen sogenannte Läsionen, welche zu den charakteristischen Symptomen der MS führen. Folglich treten beispielsweise symptomatische Okulomotorik-, Sensibilitäts- oder auch Gangstörungen auf (Wildemann & Diem 2016, S. 565 f.). Aufgrund der unterschiedlichen und individuellen Ausprägung

¹ Aus platzökonomischen Gründen wird stellvertretend für die Bezeichnung „Multiple Sklerose“ die Abkürzung „MS“ verwendet.

wird auch von der „Krankheit mit den tausend Gesichtern“ gesprochen (Stoya 2017, S. 86 f.). Die genauen Ursachen für eine Erkrankung an MS sind aus wissenschaftlicher Sicht noch nicht ganzheitlich geklärt. Es gibt jedoch einige Theorien dafür, dass verschiedene Umwelteinflüsse und genetische Prädispositionen für eine Manifestation der Erkrankung entscheidend sind. MS ist weder ansteckend noch zwangsweise tödlich (Hardt 2018, S. 30-33). Aus heutiger Sicht ist die Erkrankung zwar nicht vollständig heilbar, jedoch lässt sich der pathogenetische Mechanismus und die damit verbundenen Symptome durch richtige Medikamenteneinnahmen und begleitende Therapie minimieren (Deutsche Multiple Sklerose Gesellschaft (DMSG) Bundesverband e.V., 2020a).

2 Neurobiologischer Hintergrund

Das zum Verständnis der Krankheit MS benötigte Hintergrundwissen soll im Folgenden skizziert werden.

2.1 Organisation des menschlichen Nervensystems

Fundamentale Voraussetzung für das menschliche Leben ist das Nervensystem. Mithilfe dieses hochkomplexen Systems wird dem Menschen ermöglicht, Reize aus seiner Umwelt wahrzunehmen und diese zu verarbeiten. So lassen sich verschiedene Reize im Gedächtnis speichern, auf die adäquate Impulse abgegeben werden können (Isermann 1995, S. 23). Das menschliche Nervensystem lässt sich in zwei Bereiche gliedern: das zentrale Nervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS), (siehe Abbildung 1).

Das ZNS umfasst das vom Schädel umgebene Gehirn (Cerebrum) und das mit dem Hirnstamm verbundene Rückenmark, welches von der Wirbelsäule geschützt ist (Bear, Connors & Paradiso 2018, S. 195-197). Innerhalb des ZNS unterscheidet man zwischen zwei primären Gewebekomponenten. Die graue Substanz (Substantia grisea) entspricht dem informationsverarbeitenden Anteil des ZNS und wird aus neuronalen Zellkörpern

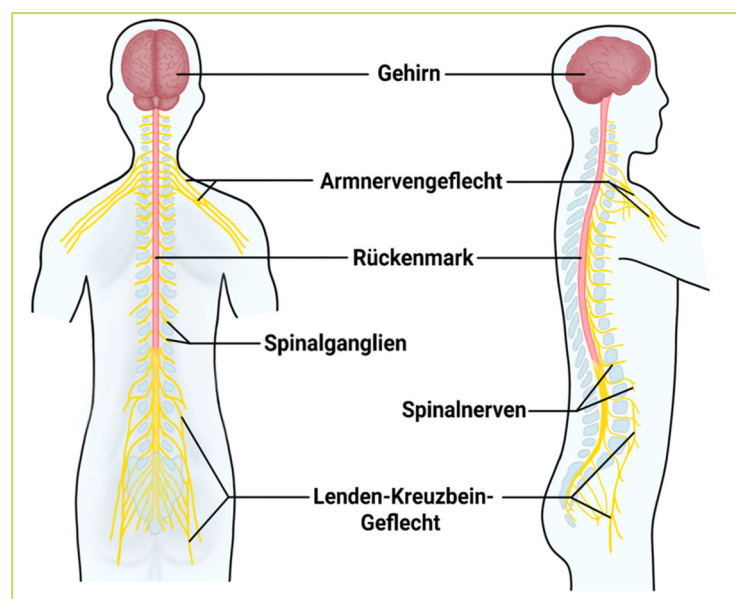


Abbildung 1: Gliederung des menschlichen Nervensystems in ZNS & PNS (Quelle: Biologiedidaktik Universität Bielefeld)

und den Synapsen gebildet. Sie liegt innerhalb des Gehirns als Hirnrinde (Kortex) sowie in Form von Kernen (Nuclei) vor (siehe Abbildung 2).

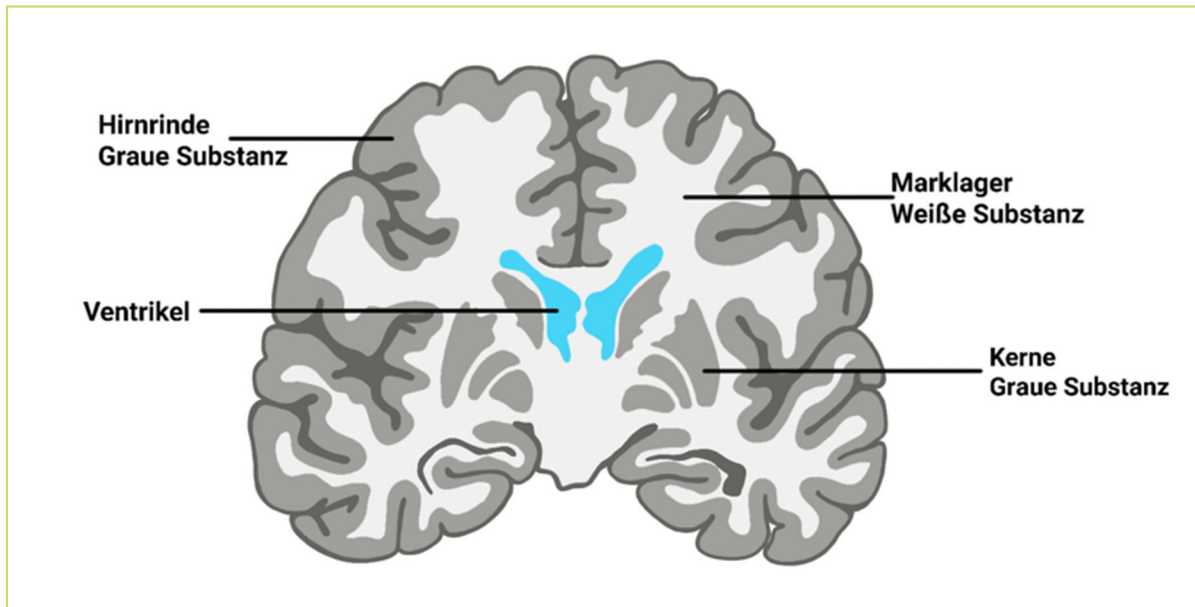


Abbildung 2: Schematische Darstellung der grauen und weißen Substanz des Gehirns
(Quelle: Biologiedidaktik Universität Bielefeld)

Im Rückenmark bildet die graue Substanz stattdessen eine Schmetterlingsform aus Vorder-, Hinter-, und Seitensäule, welche für die Umschaltung von sensorischen Informationen zuständig ist (siehe Abbildung 3). Die weiße Substanz (Substantia alba) charakterisiert sich hingegen durch ihren hohen Anteil von markhaltigen Nervenfasern, die für die Leitung von elektrischen Signalen innerhalb der Nervenzellen verantwortlich sind. Bestehend aus gebündelten Nervenfasern liegt sie als Marklager im Inneren des Groß- und Kleinhirns vor (siehe Abbildung 2). Im Rückenmark befindet sie sich außen und umgibt die graue Substanz (siehe Abbildung 3) (Mense 2017a, S. 202; Mense 2017b, S. 1099). Das Rückenmark spielt für die zentrale Datenleitung unseres Körpers eine wichtige Rolle. Es stellt eine Verbindung zwischen Gehirn und den peripheren Nerven her, welche bis in die unterschiedlichen Organe verlaufen (Beck, Anastasiadou & Meyer zu Reckendorf 2018, S. 20). Alle anderen außerhalb des ZNS liegenden Bereiche des Nervensystems bilden das periphere Nervensystem. Die Grundlage des PNS sind Spinal- und Hirnnerven (Mense 2017a, S. 202; Mense 2017b, S. 1099).

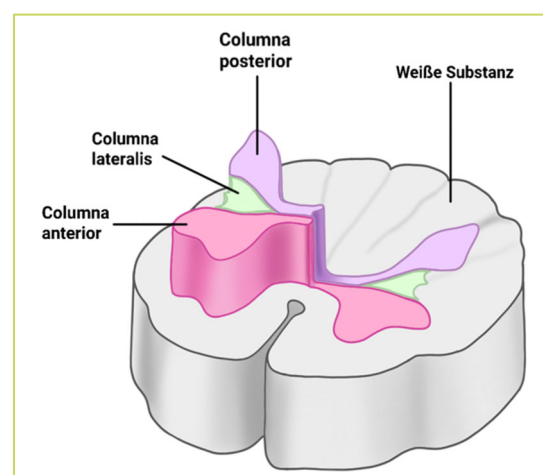


Abbildung 3: Querschnitt eines Rückenmarks
(Quelle: Biologiedidaktik Universität Bielefeld)

2.2 Aufbau einer Nervenzelle

Das gesamte menschliche Nervensystem besteht aus Gewebe, das sich aus den Nervenzellen (Neuronen) und einem Stützgewebe aus Gliazellen zusammensetzt. Die funktionelle Grundeinheit bilden dabei die hochspezialisierten Neuronen. Rund 100 Milliarden von diesen Nervenzellen enthält der menschliche Körper. Sie ermöglichen die Aufnahme, Weiterleitung und Übertragung von Reizen und sind essenziell für eine Interaktion mit der Umwelt (Trepel 2017, S. 2). Alle Neuronen des peripheren sowie des zentralen Nervensystems weisen einen ähnlichen Bauplan auf. Sie unterscheiden sich gegenüber anderen Zellen in ihrer Anatomie und der Funktion, chemische und elektrische Signale zu empfangen und weiterleiten zu können. Jede Nervenzelle besteht aus einem Soma, dem Zellkörper und seinen Fortsätzen. Neben mehreren baumartig verzweigten Dendriten, mündet auch ein einzelner Zellfortansatz, das sogenannte Axon, im Soma (siehe Abbildung 4). Das Soma bildet mit seinen zahlreichen für die Proteinbiosynthese notwendigen Organellen, wie den Mitochondrien, Lysosomen und dem rauen endoplasmatischen Retikulum, das Stoffwechselzentrum der Nervenzelle. Mit einer durchschnittlichen Größe von 20 μm steuert es die Aktivität und das Wachstum eines Neurons (Becker et al. 2016, S. 20). Die Dendriten stehen in Kontakt zu benachbarten Nervenzellen und empfangen über ihre große Oberfläche eingehende exzitatorische² Signale.

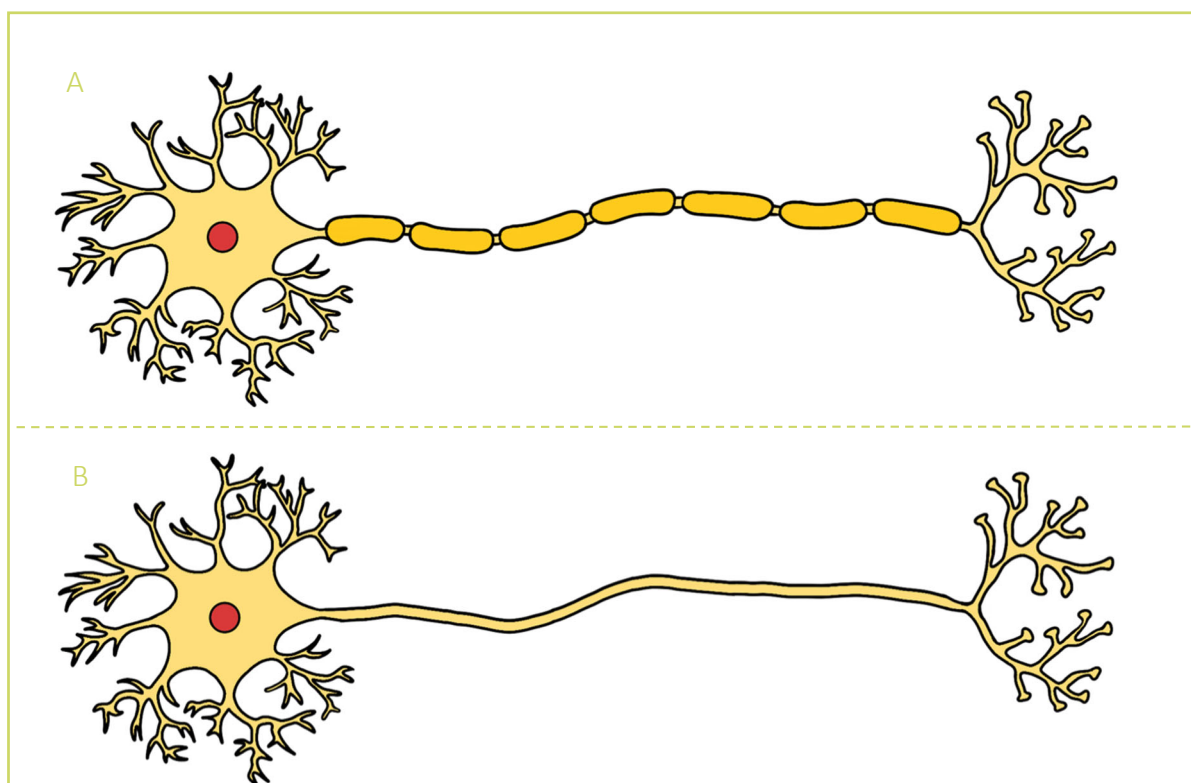


Abbildung 4: Schematische Darstellung eines Neurons mit A) myelinisierten Axonen und B) nicht myelinisierten Axonen (Quelle: Biologiedidaktik Universität Bielefeld)

² In der Sinnesphysiologie ist „exzitatorisch“ gleichbedeutend mit dem Wort „erregend“ (Spektrum Akademischer Verlag 2001).

Aufgenommene elektrische Signale werden zum Soma geleitet und dort verarbeitet. Am Übergang zum Axon (Axonhügel) wird ein neuer Reiz ausgelöst, welcher entlang des Axons weitergeleitet wird (Spaniel-Borowski & Mayerhofer 2017, S. 91). Durch Myelinisierungen am Axon entsteht eine elektrische Isolierung, die die Nervenleitgeschwindigkeit erheblich erhöht. Diese Isolierung durch Gliazellen unterscheidet das zentrale Nervensystem vom peripheren Nervensystem. Im ZNS können Oligodendrozyten mit ihren Fortsätzen mehrere Segmente des Axons gleichzeitig umhüllen (siehe Abbildung 5). Im PNS werden die Segmente hingegen von sogenannten Schwann-Zellen spiralförmig ummantelt (siehe Abbildung 5). Diese myelinisierten Bereiche des Axons werden als Internodien bezeichnet und besitzen keine Ionenkanäle. Zwischen zwei myelinisierten Axon-Segmenten befinden sich Ranvier-Schnürringe mit vielen spannungsgesteuerten Natriumkanälen. Diese ermöglichen die schnelle saltatorische Erregungsleitung, bei der das Signal von Schnürring zu Schnürring springt (Reichert 2000, S. 50f.). Am Ende des Axons befinden sich die synaptischen Endknöpfchen (siehe Abbildung 4). Sie bilden die Kontaktstelle eines präsynaptischen Neurons mit anderen, postsynaptischen Zellen (Moyes & Schulte 2008, S. 184).

3 Die Krankheit Multiple Sklerose

Im folgenden Abschnitt werden die Epidemiologie und die neurobiologische Pathophysiologie der MS beschrieben.

3.1 Epidemiologie der Multiplen Sklerose

Weltweit sind rund 2,5 Millionen Menschen von der Krankheit MS betroffen. Die Erkrankungshäufigkeit tritt global ungleichmäßig auf und nimmt mit wachsender Entfernung vom Äquator zu. Regionen mit erhöhtem Erkrankungsrisiko sind neben Europa, Skandinavien, Nordamerika auch bedingt Australien (Yaldizli & Kappos 2011, S. 2). MS zählt zu den häufigsten Autoimmunerkrankungen des zentralen Nervensystems der westlichen Welt. Aufgrund mangelnder epidemiologischer Forschung fällt es schwer, eine klare Aussage über die aktuelle MS-Prävalenz, also der Erkrankungshäufigkeit in der Bundesrepublik Deutschland, zu treffen. Festzuhalten ist jedoch eine stetige Zunahme des prozentualen Anteils der betroffenen MS-Patienten vom Jahr 2009 bis zum Jahr 2015 um 29 %. Mehr als 220.000 gesetzlich krankenversicherte Männer und Frauen wurden offiziell im Jahr 2015 in Deutschland behandelt. Im Jahr 2009 waren es hingegen nur etwa 170.000 MS-Patienten (Bätzing et al. 2017, S. 5). Bei der Mehrzahl der Patienten manifestieren sich die typischen MS-Symptome erstmals zwischen dem 20. bis 40. Lebensjahr. Des Weiteren treten geschlechtsspezifische Unterschiede auf, bei denen Frauen zwei- bis dreimal so häufig von der Krankheit betroffen sind wie Männer (Flachenecker & Zettl 2018, S. 11 f.).

3.2 Neurobiologische Pathophysiologie

MS ist die häufigste chronische Autoimmunerkrankung des zentralen Nervensystems der westlichen Welt (Campbell et al. 2016b, S. 1294). Für die Abwehr von eindringenden Krankheitserregern, wie beispielsweise einem Virusinfekt, ist unser Immunsystem verantwortlich. Einen essenziellen Bestandteil nehmen dabei vor allem die T- und B-Lymphozyten ein. T-Zellen sind zelluläre Komponenten der weißen Blutkörperchen, die durch das Eindringen von verschiedenen Krankheitserregern in den Körper normalerweise aktiviert werden. Dies löst eine Immunantwort aus, welche zu einer Zerstörung der schädlichen Zellen führt. Im Thymus des Menschen durchlaufen diese T-Lymphozyten während ihrer Reifung mehrere Tests der Antigenrezeptoren, bei denen sichergestellt werden soll, dass die Zellen zwischen körpereigenen und körperfremden Stoffen unterscheiden können. T-Lymphozyten, die während dieser „Reifepfung“ körpereigene Substanzen angreifen, werden durch Apoptose vernichtet. Durch Auslesefehler können jedoch auch einige autoimmune T-Zellen überleben (Campbell et al. 2016b, S. 1281f.; DMSG Bundesverband e.V. 2020b). In diesem Fall spricht man von einer Autoimmunerkrankung, bei der sich das Immunsystem nicht nur gegen mögliche Gefahren, sondern auch gegen körpereigene Zellen richtet (Campbell et al. 2016b, S. 1294).

Bei der MS ist vorwiegend die weiße Substanz des Gehirns und Rückenmarks von dieser autoimmunen Schädigung betroffen. In den achtziger Jahren fanden Forscher heraus, dass T-Zellen, welche in das ZNS gelangten, sich an die Gefäßwände festsetzten und aktiv gegen den Blutstrom wanderten (Wekerle & Merker 2009). Neben dem Immunsystem existiert zwischen dem ZNS und dem Blutkreislauf eine zusätzliche Schutzfunktion gegen mögliche Krankheitserreger, die Blut-Hirn-Schranke. Sie wird aus unzähligen Gefäßendothelzellen von Kapillargefäßen gebildet, die durch sogenannte „Tight Junctions“ miteinander verknüpft sind. Diese Barriere soll das Gehirn vor unkontrolliertem Eindringen von Giften oder anderen Fremdstoffen schützen (Fricker 2018, S. 24f.). Durch das Andocken der Endothelzellen an spezifischen Rezeptoren in den Blutgefäßen, überwinden die T-Zellen jedoch die Blut-Hirn-Schranke und gelangen in das Hirngewebe. Hier kommt es zu einer Zellproliferation. Die vermehrten T-Zellen sehen irrtümlicherweise erneut verschiedene Proteine als Antigene an und attackieren diese. Besonders das basische Myelinprotein (MBP), welches eine Komponente des Axons im ZNS darstellt, ist von dieser Zerstörung betroffen. Aber auch andere Strukturen des Myelins im ZNS wie das Myelin-Oligodrozyten-Glykoprotein (MOG), das Myelin-assoziierte Glykoprotein (MAG) und das Proteolipoprotein (PLP)³ sind involviert (siehe Abbildung 5), (Wildemann & Diem 2016, S. 561). Durch die Freisetzung von entzündungsfördernden Polypeptiden werden die B-Lymphozyten aktiviert. Erst durch die Interaktion der T-Zellen mit den B-Zellen kommt es zu einer entzündlichen Schädigung der Myelinscheiden des Axons. Folglich entstandene fokale Entzündungsherde, welche unsystematisch im Gehirn und Rückenmark verteilt sein können, führen zu verschiedenen neurologischen Symptomen und Beschwerden der MS (Wekerle & Merker 2009). Diese

³ Bestandteile, die vorwiegend im Myelin des ZNS vorkommen (Spektrum Akademischer Verlag 2000).

charakteristisch verstreuten Entzündungen lassen sich durch eine Magnetresonanztomographie verdeutlichen. Durch die angegriffenen Myelinscheiden wird ein Teil der Isolierung der Nervenfasern zerstört und die Reizweiterleitung verlangsamt, beziehungsweise unterbunden (DMSG Bundesverband e.V., 2020c). Die ursprünglich myelinisierten Bereiche des Axons werden nach der Zerstörung durch Gliazellen ersetzt und es entsteht ein verhärtetes, vernarbtes Gewebe, die Sklerose (Isermann, 1995, S. 182). Folglich können sowohl Gefühls- und Kraftstörungen in Extremitäten als auch Gehstörungen auftreten. Des Weiteren zählen Blasen- und Darmentleerungsstörungen, Probleme mit dem Sehen und extreme Müdigkeit zu den typischen Symptomen eines MS-Erkrankten (Depner 2012, S. 65).

4 Didaktisch-methodische Konzeption der Unterrichtssequenz

4.1 Begründung des Themas für den schulischen Kontext

Die Auseinandersetzung mit der Krankheit MS eignet sich exemplarisch dafür, ein Verständnis für Aufbau und Funktion eines Neurons sowie die neuronale Informationsverarbeitung zu vermitteln. Die Auseinandersetzung mit den pathophysiologischen Vorgängen verdeutlicht den Schülerinnen und Schülern die Relevanz des in ZNS und PNS gegliederten Nervensystems und verknüpft dies mit der Vermittlung von Kenntnissen zur Struktur einer Nervenzelle inklusive des Fokus auf der Myelinisierung des Axons. Zum Verständnis der neurologischen Vorgänge sind gewisse konzeptbezogene Kompetenzen erforderlich, welche sich die Schülerinnen und Schüler in den vorherigen Stunden angeeignet haben sollten. Am Beispiel der degenerativen Krankheit kann der „funktionelle Zusammenhang zwischen myelinisierter und nicht myelinisierter Axone für die Leitungsgeschwindigkeit“ und die Bedeutsamkeit der Myelinscheide besonders gut erkannt werden (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2013, S. 38 ff). Eine Unterrichtseinheit zum Thema MS ermöglicht zusätzlich eine Verknüpfung von einzelnen Teilkonzepten und fördert das Verständnis von einem zusammenhängenden System des menschlichen Körpers.

4.2 Mögliche Einbettung des Themas in eine Unterrichtsreihe und Lernvoraussetzungen

Die vorliegende Unterrichtsstunde zum Thema „Die Bedeutsamkeit der Myelinscheide am Beispiel der degenerativen Erkrankung MS“ wurde für einen Leistungskurs, in der Qualifikationsphase, konzipiert. Für die Erstellung dieser Einheit wurde sich an den verbindlichen und inhaltlichen Vorgaben des Ministeriums für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen orientiert. Diese finden sich in ähnlicher Weise auch in den Lehrplänen anderer Bundesländer, z.B. im Lehrplan Biologie Hessen (Hessisches Kultusministerium 2010, S. 43 f.).

Die thematischen Voraussetzungen für den Einsatz des vorliegenden Unterrichtskonzepts, zum Thema „Die Bedeutsamkeit der Myelinscheide am Beispiel der degenerativen Erkrankung MS“, sind neben der Organisation des menschlichen Nervensystems, auch der Aufbau und die Funktionsweise von Nervenzellen, inklusive der Entstehung eines Ruhe- und Aktionspotentials. Ebenso sollten die Schülerinnen und Schüler über ein gewisses Grundlagenwissen im Bereich des Immunsystems verfügen und die Bedeutung der Blut-Hirn-Schranke kennen. Je nach Vertiefung der Unterrichtsstunde kann zudem das Verständnis über den Aufbau des menschlichen Gehirns von Vorteil sein. Als weitere Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz der Unterrichtsmaterialien sollte die Schule über einen ausgestatteten Computerraum mit einer Tafel oder einem Smartboard verfügen. Alternativ bietet sich der Einsatz von Laptops im Klassenraum an. Zudem sollte sichergestellt werden, dass ein Adobe Flash Player vorinstalliert ist, um bestimmte Multimedia-Inhalte anzuzeigen und die Ausführungen der Simulation durchführen zu können (adobe.com).

Die Unterrichtseinheit dient dem exemplarischen Einblick in eine neurodegenerative Krankheit und der Sicherung von neu erworbenen Kenntnissen einer Unterrichtsreihe zu den molekularen und zellbiologischen Grundlagen der neuronalen Informationsverarbeitung. Ziel der Unterrichtssequenz ist, neben dem Kennenlernen und Nachempfinden der charakteristischen Symptome von MS die neuropathophysiologischen Hintergründe in Verknüpfung mit konzeptbezogenen Kompetenzen zu verstehen und mögliche Ursachen für die Manifestation der Krankheit nennen zu können. Schülerinnen und Schüler sollen durch die Gegenüberstellung mit der MS einen Einblick über den Zusammenhang des menschlichen Nervensystems mit anderen Systemen des Körpers bekommen. Unter dem Aspekt der Organisation des Nervensystems soll beschrieben werden, wie die Streuung der typischen Entzündungsherde im zentralen Nervensystem zu unterschiedlichen Symptomen führt. Die Auseinandersetzung mit der Krankheit hat zum Ziel, dass das Verständnis über den Aufbau eines Neurons und die Aufgabe der Komponente des Axons vertieft wird. Die Schülerinnen und Schüler sollen nachvollziehen können, wie sich die Myelinisierung auf die saltatorische Erregungsleitung auswirkt und welche Konsequenzen die Zerstörung der Myelinscheide des Axons am Beispiel der Krankheit hat. Der Einsatz der Arbeitsmaterialien ist vor allem aufgrund der nötigen konzeptbezogenen und prozessbezogenen Kompetenzen im Leistungskurs einer gymnasialen Oberstufe sinnvoll.

4.3 Verlauf der Unterrichtsstunde

Im Folgenden wird ein grober Überblick über den Verlauf der konzipierten Doppelstunde gegeben. Basis ist die nachfolgend abgebildete Tabelle (Tabelle 1).

Verlaufsplan der konzipierten Unterrichtsstunde „Die Bedeutsamkeit der Myelinscheide am Beispiel der degenerativen Erkrankung MS“

Phase	Lehrinhalte und Lehrer-Schüler-Interaktion
Einstieg	Begrüßung + Vorstellung der Fragestellung für das Unterrichtsvorhaben: Welche Rolle spielt die Myelinisierung der Axone bei der Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotentialen am Beispiel der MS?
Wiederholung	Bearbeitung des Arbeitsblatts (1) zum Thema Geschwindigkeiten der Erregungsleitung an myelinisierten und nicht myelinisierten Axonen
Teilsicherung	Besprechung: SuS sollen verstehen, dass eine Myelinisierung und ein dickerer Durchmesser des Axons sich positiv auf die Leitungsgeschwindigkeit auswirken
Einleitung	Fragestellung an die SuS: Was wissen Sie bereits über die Krankheit MS? → SuS äußern Kenntnisse/Vermutungen, welche an der Tafel festgehalten werden
Teilsicherung	
Hinführung	SuS führen eine Online-Simulation von typischen Symptomen von MS durch
Hypothesenbildung	Anschließend bearbeiten sie die erste Aufgabe des Arbeitsblatts (2): SuS beschreiben ihr Empfinden und bilden anschließend Hypothesen zur neurologischen Entstehung von MS
Teilsicherung	→ Vorstellen der Empfindungen → Diskutieren über Hypothesen
Erarbeitung	Bearbeitung der zweiten Aufgabe des Arbeitsblatts (2): SuS lesen den Informationstext und bearbeiten anschließend Aufgaben zum pathophysiologischen Hintergrund von MS
Sicherung	Besprechung
Transfer	Bearbeitung der dritten Aufgabe des Arbeitsblatts (2): Die SuS sollen nach möglichen Ursachen für die Begünstigung einer Erstmanifestation von MS im Internet recherchieren
Sicherung	Mit SuS gemeinsam festhalten und zusammenfassend auf die Vorkenntnisse der SuS aus der Wiederholungsphase eingehen
Sicherung	Abschließend wird ein Video abgespielt, welches die thematischen Inhalte der Sitzung zusammenfassend wiedergibt: https://www.dasgehirn.info/krankheiten/multiple-sklerose/multiple-sklerose

Tabelle 1

Zu Beginn der Doppelstunde werden die Schülerinnen und Schüler im Plenum begrüßt und das Thema der anstehenden Sitzung wird bekannt gegeben. Die leitende Fragestellung „Welche Rolle spielt die Myelinisierung der Axone bei der Leitungsgeschwindigkeit von Aktionspotentialen am Beispiel der Multiplen Sklerose?“ wird zudem an der Tafel festgehalten, um eine klare Zielsetzung mit den Schülern*innen zu kommunizieren. Zum thematischen Einstieg in die Unterrichtsstunde wiederholen die Lernenden mithilfe der Bearbeitung des ersten Arbeitsblatts die Relevanz des Myelins für die Leitungsgeschwindigkeiten an Axonen. Im Fokus der ersten Teilaufgabe befindet sich eine tabellarische Darstellung, die die Geschwindigkeiten der Erregungsleitung, in Abhängigkeit verschiedener Fasertypen und des Durchmessers der Axone, beschreibt. Durch den visualisierten Vergleich der differentiellen Nervenfasern von unterschiedlichen Tieren sollen die Schüler und Schülerinnen in Einzelarbeit verstehen, dass die Myelinisierung der Nervenfasern positive Auswirkungen auf die Leitungsgeschwindigkeit hat. Zudem werden Aktionspotentiale schneller weitergeleitet, wenn der Durchmesser des Axons größer ist. Die zweite Teilaufgabe intendiert die Hypothesenbildung und die naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise der Schülerinnen und Schüler. Sie sollen die zuvor gewonnenen Kenntnisse verarbeiten und diese mit den Folgen der Zerstörung von Myelinscheiden in einen sinnvollen Zusammenhang bringen. Nachdem die Ergebnisse des ersten Arbeitsblatts im Plenum mündlich zusammengefasst, gesichert und gelegentlich schriftlich ergänzt wurden, beginnt die Einleitung in das Thema MS.

Zunächst einmal bekommen die Schülerinnen und Schüler etwa zwei Minuten, um sich Gedanken über ihren aktuellen Wissensstand und ihre Erfahrungen mit der Krankheit im eigenen Umfeld zu machen. Dabei können Impulsfragen zur Entstehung, zur Symptomatik, zur Verbreitung von MS etc. gestellt werden. Anschließend werden freiwillige Schülerinnen und Schüler dazu aufgefordert von ihren Kenntnissen zu berichten. Parallel dazu hält die Lehrkraft die erwähnten Begriffe in einer Art Mindmap an der Tafel fest. Eine Möglichkeit der Darstellung wird in der folgenden Abbildung 5 gegeben.



Abbildung 5: Beispielhafte Mindmap über den Kenntnisstand der Schülerinnen und Schüler

(Quelle: Biologiedidaktik Universität Bielefeld)

Im nächsten Schritt widmen sich die Schülerinnen und Schüler dem zweiten Arbeitsblatt. Anhand einer Online-Simulation (verfügbar unter: <https://www.dmsg.de/ms-verstehen/flash/>) sollen zunächst einige typische Symptome der MS nachempfunden werden. Die Symptome des Simulationsprogramms werden dabei im Bereich der Sehstörungen, des Tremors und der Gangunsicherheit differenziert. Anschließend soll das hervorgerufene Gefühl beschrieben und schriftlich festgehalten werden. Alternativ können anstelle der Online-Simulation, Fallbeispiele die Schülerinnen und Schüler für die Krankheit sensibilisieren. Die Lernenden sollen in Partnerarbeit begründete Vermutungen aufstellen, welche neurologischen Aspekte die charakteristischen Beschwerden der MS hervorrufen können. Abschließend werden die Aufgaben im Plenum ausgetauscht und die verschiedenen Hypothesen vorgestellt und diskutiert.

Nach der ersten Auseinandersetzung mit der MS folgt nun eine längere Erarbeitungsphase, in der sich die Schülerinnen und Schüler in Einzelarbeit mit einem Artikel über MS auseinandersetzen (verfügbar unter: <https://www.diepta.de/news/themen/repetitorium-multiple-sklerose-teil-1-555668/>). Er bildet die Grundlage der sich anknüpfenden Aufgaben, in denen der pathophysiologische Vorgang der MS im Vordergrund steht. Auf Basis dieser Informationen sollen die Schülerinnen und Schüler die Zerstörung der Myelinscheide bei der MS erläutern und die betroffenen Bereiche des Nervensystems hervorheben. Der Arbeitsprozess kann je nach Leistungsniveau auch in Partnerarbeit erfolgen. Anschließend erfolgen eine ausführliche Besprechung und Sicherung der Arbeitsergebnisse im Plenum.

Bei der zweiten Erarbeitungsphase liegt das Hauptaugenmerk auf der Recherche möglicher Ursachen für die Begünstigung einer Erstmanifestation von MS. In Partnerarbeit sollen die Schülerinnen und Schüler mithilfe der verwiesenen Internetquellen unterschiedliche Annahmen über die Ätiologie der Krankheit treffen und diese begründen. Anstelle der Internetrecherche bieten verschiedene Sachtexte eine breitgefächerte Informationsquelle. Die letzte Unterrichtsphase stellt die Sicherung des Erlernten im Plenum dar. Die Inhalte werden wiederholt und in einen Sachzusammenhang gebracht. Zudem soll auf die in der Mindmap festgehaltenen Vorkenntnisse Bezug genommen werden. Anschließend spielt die Lehrkraft ein Video ab, welches die thematischen Inhalte der Sitzung abschließend zusammenfassend wiedergibt (verfügbar unter: <https://www.dasgehirn.info/krankheiten/multiple-sklerose/multiple-sklerose>). Für die Lernerfolgs-kontrolle können beispielsweise Hausaufgaben aufgegeben werden, die den Lernstand der Schülerinnen und Schüler widerspiegeln. Aufgrund der hohen Komplexität der neurologischen Hintergründe der MS eignet sich die Konzeption eventuell nicht für den Einsatz in einer Klasse einer Sekundarstufe I beziehungsweise für andere Schulformen. Durch eine didaktische Reduktion können die Inhalte und das Niveau der sprachlichen Darstellung jedoch so reduziert werden, dass die Thematik der MS für verschiedene Jahrgänge und Schulformen ebenfalls einen Mehrwert hat. So lässt sich beispielsweise im Rahmen des Inhaltfeldes „Biologische Forschung und Medizin“ die Krankheit MS in Verbindung mit dem inhaltlichen Schwerpunkt „das Immunsystem des Menschen“ in einer Realschulklasse thematisieren (Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen 2011, S. 31).

5 Literaturverzeichnis

- Bätzing J. et al. (2017). Epidemiologie der Multiplen Sklerose – eine populationsbasierte deutschlandweite Studie. Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in Deutschland (Zi). Versorgungsatlas-Bericht Nr.17/09. Berlin 2017. DOI:10.20364/VA-17.09. Verfügbar unter: <https://www.versorgungsatlas.de/themen/alle-analysen-nach-datum-sortiert/?tab=6&uid=86> [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2018). Die Struktur des Nervensystems. In: A. K. Engel (Hrsg.), Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie. Lehrbuch (4. Auflage.). Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Beck, H., Anastasiadou, S., Meyer zu Reckendorf, C. (2018). Das Nervensystem. In: S. Anastasiadou & C. Meyer zu Reckendorf (Hrsg.), Faszinierendes Gehirn: Eine bebilderte Reise in die Welt der Nervenzellen (2. Auflage). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Becker, J. et al. (2016). Nervensystem und Nervenzellen. In: J. Becker (Hrsg.), Biosphäre. Sekundarstufe II, Neurobiologie (1. Auflage). Berlin: Cornelsen.
- Campbell et al. (2016b). Das Immunsystem. In: J. J. Heinisch & A. Paululat (Hrsg.), Campbell Biologie. Always learning. (10., aktualisierte Auflage). Hallbergmoos: Pearson.
- Depner, R. (2012). Alles Nervensache. Wie unser Nervensystem funktioniert – oder auch nicht. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Oliver Schöffski. Stuttgart: Schattauer.
- Deutsche Multiple Sklerose Gesellschaft Bundesverband e.V. (2020a). FAQ – Was ist MS? Verfügbar unter: <https://www.dmsg.de/multiple-skleroseinfos/was-ist-ms/> [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Deutsche Multiple Sklerose Gesellschaft Bundesverband e.V. (2020b). MS verstehen - Das Immunsystem. Verfügbar unter: <https://www.dmsg.de/multiplesklerose-infos/was-ist-ms/das-immunsystem/>. [Letzter Zugriff am: 08.02.2021].
- Deutsche Multiple Sklerose Gesellschaft Bundesverband e.V. (2020c). MS verstehen - Das zentrale Nervensystem. Verfügbar unter: <https://www.dmsg.de/multiple-sklerose-infos/ms-verstehen/zusammenhaenge-erkennen/das-zentrale-nervensystem/> [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Flachenecker, P. & Zettl, U. K. (2018). Epidemiologie. In R. M. Schmidt, F. A. Hoffmann, J. H. Faiss, W. Köhler, U. K. Zettl (Hrsg.), Multiple Sklerose (7. Auflage). Urban & Fischer/Elsevier.
- Fricke, G. (2018). Blut-Hirn-Schranke. Wie Arzneistoffe die Barriere überwinden. In: ABDA-Bundesvereinigung Deutscher Apothekerverbände e.V. (Hrsg.), Pharmazeutische Zeitung. Die Zeitschrift der deutschen Apotheker. 163(28). Verfügbar unter: <https://www.pharmazeutische-zeitung.de/ausgabe-282018/wie-arzneistoffe-die-barriere-ueberwinden/> [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Hardt, C. (2018). Genetik und Umweltfaktoren. In R. M. Schmidt, F. A. Hoffmann, J. H. Faiss, W. Köhler, U. K. Zettl (Hrsg.), Multiple Sklerose (7. Auflage). München: Elsevier.

- Hessisches Kultusministerium (2010). Lehrplan Biologie. Gymnasialer Bildungsgang. Gymnasiale Oberstufe. Verfügbar unter: <https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/go-biologie.pdf> [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Isermann, H. (1995). Neurologie und Neurologische Krankenpflege: Studienbuch für Krankenschwestern, Krankenpflegern und medizinische-technische Assistenzberufe. Kohlhammer-Studienbücher: Krankenpflege (5. überarbeitete und ergänzte Auflage). Stuttgart [u.a.]: Kohlhammer.
- Killermann, W., Hering, P. & Starosta, B. (2016). Biologieunterricht heute. Eine moderne Fachdidaktik (16. Auflage). Augsburg: Auer.
- Mense, S. (2017a). Nervensystem - Grundlagen. In: G. Aumüller et al., Anatomie. Duale Reihe (4. aktualisierte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Mense, S. (2017b). ZNS- Aufbau und Organisation. In: G. Aumüller et al., Anatomie. Duale Reihe (4. aktualisierte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2016). Unterrichtsvorhaben im IF Neurobiologie LK. Hinweise und Beispiele zur standardorientierten Unterrichtsentwicklung im Fach Biologie. QUA-LIS NRW Schulentwicklung. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/Konkretisierte_UV_Neurobiologie_LK_2016.docx [Letzter Zugriff am: 08.02.2021].
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2013). Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Biologie. Heftnummer 4722. (1 Auflage). Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SII/bi/GOSt_Biologie_Endfassung.pdf [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (2011). Kernlehrplan für die Realschule in Nordrhein-Westfalen. Biologie. Heftnummer 3309. 1 Auflage. Verfügbar unter: https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/upload/klp_SI/RS/Biologie/RS_Biologie_Endfassung.pdf [Letzter Zugriff am: 11.02.2021].
- Moyes, C. D., Schulte, P. M. (2008). Tierphysiologie. Bio, Biologie. München [u.a.]: Pearson Studium.
- Reichert, H. (2000). Neurobiologie. (2. Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Spanel-Borowski, K. & Mayerhofer, A. (2017). Zytologie und Histologie. In: G. Aumüller et al., Anatomie. Duale Reihe (4. aktualisierte Auflage). Stuttgart: Thieme.
- Spektrum Akademischer Verlag (2001). Exzitatorisch. Kompaktlexikon der Biologie. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/exzitatorisch/4016> [Letzter Zugriff am: 08.02.2021].
- Stoya, E.-M. (2017). Multiple Sklerose - Teil 1. In: Die PTA in der Apotheke. 46. Jahrgang. Heft 7. Wiesbaden: UMSCHAU ZEITSCHRIFTENVERLAG. Verfügbar unter: <https://www.diepta.de/.news/themen/repetitorium-multiple-sklerose-teil-1-555668/> [Letzter Zugriff am: 08.02.2021].
- Trepel, M. (2017). Neuroanatomie. Struktur und Funktion (7. Auflage). München: Elsevier.

- Wekerle, H. & Merker, S. (2009). Multiple Sklerose: eine vielschichtige Krankheit. Forschungsbericht (importiert) 2009 - Max-Planck-Institut für Neurobiologie. Verfügbar unter: https://www.neuro.mpg.de/373812/research_report410083?c_=373596373596 [Letzter Zugriff am: 08.02.2021].
- Wildemann B. & Diem, R. (2016). Multiple Sklerose und andere immunvermittelte Enzephalopathien. In: W. Hacke (Hrsg.), Neurologie (14. überarbeitete Auflage). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Yaldizli, Ö & Kappos, L. (2011): Klinische Grundlagen der Multiple Sklerose. In R. Steinlein Egli, Multiple Sklerose verstehen und behandeln. Hintergründe und Studienergebnisse – Untersuchung und Behandlung – Clinical Reasoning in Fallbeispielen. Berlin, Heidelberg: Springer.

Aufgaben: Geschwindigkeiten der Erregungsleitung an verschiedenen Nervenfasern

Aufgabe 1

- a) Tabelle 1 verdeutlicht die Geschwindigkeit der Erregungsleitung an Nervenfasern von verschiedenen lebenden Tieren. Beschreiben und erläutern Sie die Unterschiede der Leitungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit des Nervenfasertyps und des Durchmessers der Nervenfasern zwischen:
- einem Neuron einer Qualle und einer Küchenschabe,
 - einem Neuron eines Froschs und einer Katze,
 - einem Neuron eines Tintenfischs und einer Katze.
- b) Stellen Sie Hypothesen auf, welche Auswirkungen die Zerstörung der Myelinscheide im menschlichen Körper haben kann.

Geschwindigkeit der Erregungsleitung in Abhängigkeit des Nervenfasertyps und des Durchmessers der Nervenfasern

	Nervenfasertyp	Durchmesser der Nervenfasern (μm)	Geschwindigkeit (m/s) bei 10°C Umgebungstemperatur
Qualle	nicht myelinisiert	9	0,5
Küchenschabe	nicht myelinisiert	50	7
Tintenfisch	nicht myelinisiert	650	25
Frosch		19	42
	myelinisiert		
Katze		21	120
	myelinisiert		

Tabelle 1 (verändert nach: Dr. M. Henn-Sax. Abituraufgabe: Multiple Sklerose – Zytologie, Neurobiologie & Immunologie. <https://www.abiweb.de/original-abituraufgabe-biologie-zytologie-neurobiologie-immunologie/abituraufgabe-multiple-sklerose-zytologie-neurobiologie-immunologie.html>)

Aufgaben: Die neurodegenerative Erkrankung Multiple Sklerose

Aufgabe 2

Empfinden Sie anhand eines Online-Simulationsprogramms unterschiedliche Symptome der Krankheit Multiple Sklerose (MS) nach. Rufen Sie dazu die Internetseite <https://www.dmsg.de/ms-verstehen/flash/> auf und beginnen Sie unter der Rubrik „Symptome nachempfinden“ mit der Simulation. Beschreiben Sie anschließend ihre Empfindungen und stellen Sie Hypothesen auf, wie es zu den typischen Symptomen kommen kann.

Aufgabe 3

Lesen Sie den Informationstext zum Thema Multiple Sklerose und bearbeiten Sie anschließend die folgenden Aufgaben.

- a) Erläutern Sie was mit den Myelinscheiden bei einer Multiple Sklerose-Erkrankung passiert. Nennen Sie die Bereiche im Körper, die hierbei vorwiegend betroffen sind.
- b) Benennen Sie die dadurch entstehenden typischen Symptome der Multiplen Sklerose und begründen Sie unter Berücksichtigung der neurophysiologischen Veränderungen, warum es zu vielfältigen Beschwerden kommen kann.

Aufgabe 4

Recherchieren Sie in Partnerarbeit zum Thema Multiple Sklerose und erörtern Sie mögliche Ursachen, die die Wahrscheinlichkeit an Multipler Sklerose zu erkranken erhöhen.