



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Zucker, Krebs und Strahlung –
medizinische Radiochemie in der Schulbildung“

verfasst von / submitted by

Katharina Czeiner

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2016 / Vienna, 2016

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 423 313

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

UF Chemie,
UF Geschichte, Sozialkunde und Politische Bildung

Betreut von / Supervisor:

Assoc. -Prof. Dr. Wolfgang Wadsak

Eidesstaatliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder in gleicher, noch in ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

Mödling, April 2016

Unterschrift der Verfasserin
(Katharina Czeiner)

Inhaltsverzeichnis

Danksagung

Vorwort

1. Einleitung

2. Naturwissenschaftliche Hintergründe

2.1. Historische Entwicklung

2.2. Radioaktiver Zerfall

2.3. Herstellung von Positronenstrahler

2.4. Tumorbildung

2.4.1. Apoptose

2.4.2. Angiogenese

2.4.3. Zellteilung

2.4.4. Metastasierung

2.4.5. Wachstumssupressor

2.4.6. Zellwachstum

2.5. Positronen – Emissions- Tomographie und 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose

3. Didaktische Durchführung

3.1. Brainstorming

3.2. Diskussion

3.3. Frontalunterricht

3.4. Gruppenarbeit

3.5. Gruppenpuzzle

3.6. Partnerarbeit

3.7. Stationenbetrieb

4. Gebrauchtes Wissen der Schüler und Schülerinnen

4.1. Unterstufe

4.2. Oberstufe

5. Unterrichtsplanung

5.1. Informationen für die Lehrpersonen

5.2. Unterstufe

5.2.1. Didaktischer Aufbau

5.2.2. Stundenplanung – Planungsmatrix – Physik

5.2.3. Stundenplanung – Planungsmatrix – Chemie

5.2.4. Kompetenzmodell der Unterstufe

5.2.5. Benötigte Materialien und Fachausdrücke

5.2.6. Arbeitsblätter

5.2.7. Mögliche Verschränkungen mit anderen Fächern

5.3. Oberstufe

5.3.1. Didaktischer Aufbau

5.3.2. Stundenplanung – Planungsmatrix

5.3.3. Kompetenzmodell der Oberstufe

5.3.4. Benötigte Materialien und Fachausdrücke

5.3.5. Arbeitsblätter

5.3.6. Mögliche Verschränkungen mit anderen Fächern

5.4. Wissenskontrolle am Ende der Einheit

6. Durchführung der Schulstunden

6.1. 8.Schulstufe

6.1.1. Feedback der Schülerinnen und Schüler:

6.2. 11.Schulstufe

6.2.1. Feedback der Schülerinnen und Schüler

7. Reflexion der Einheiten

7.1. Eigene Reflexion

7.1.1. Was ist gut gelungen – was nicht?

7.1.2. Verbesserungsmöglichkeiten

7.2. Reflexion der anderen Lehrkräfte

7.2.1. Auswertung des Fragebogens

8. Mögliche Darstellung in einem Chemiebuch

8.1. Analyse von bestehenden Chemielehrbüchern

8.2. Selbstgestaltete Buchseiten

9. Conclusio

Abbildungsverzeichnis

Bibliographie

Anhang

A1. Power Point Präsentationen für 8.Schulstufe

A1.1. PET-Scan

A1.2. Herstellungsmöglichkeiten von Radioisotopen

A2. Power Point Präsentation die für 11.Schulstufe

A2.1. Geschichte der Nuklearmedizin

A3. Zusammenfassung

A4. Abstract

A5. Lebenslauf

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Laufe meines Studiums und während des Verfassens dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

An erster Stelle möchte ich mich bei Prof. Dr. Wolfgang Wadsak bedanken, der mir nicht nur die Nuklearmedizin in einer Vorlesung mit so viel Freude nähergebracht hat, dass ich selber sofort von dieser Thematik begeistert war, sondern mich auch mit Enthusiasmus in sein Team aufgenommen hat und mir die Möglichkeit gegeben hat, eine teils fachdidaktische – teils wissenschaftliche Arbeit zu verfassen:

„Wolfgang, vielen Dank für alle inspirierenden, aufschlussreichen und unterhaltsamen Gespräche, die mich und meine Forschung weitergebracht haben. Erst durch deine zahlreichen Ideen, Tipps und Anregungen, konnte diese Diplomarbeit entstehen. Ebenso möchte ich dir danken, dass du mich mit in die „Katakomben“ des AKHs mitgenommen hast und mir so die Möglichkeit gegeben hast, selber 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose herzustellen.“

Ein besonderes Dankeschön möchte ich meiner Kollegin Mag. Ingrid Zeitlhofer-Tüchy aussprechen. Sie hat meine Konzepte für einen Physikunterricht in die Tat umgesetzt und so einen großen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet. Ebenso hat mir ihr Feedback geholfen, die Unterrichtskonzepte zu verbessern: *„Vielen Dank für deine Hilfe, während dieser wichtigen Phase.“*

Am Schluss möchte ich mich ganz besonders bei meiner Schwester Stephanie bedanken, dass sie mir bei der Erstellung der Schulbuchseiten geholfen hat!

Auch meiner restlichen Familie gebürt ein großer Dank:

„Ich danke euch, dass ihr mich während meines Studiums und dem Verfasser dieser Diplomarbeit unterstützt habt. Ganz besonders möchte ich mich dafür bedanken, dass ihr mir immer wieder gezeigt habt, dass das Studium nicht das wichtigste auf der Welt ist. Vielen Dank dafür!“

Vorwort

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Einführung eines neuen Themenbereiches in den Schulunterricht von verschiedenen Schulstufen initiieren. Durch die Arbeit mit verschiedenen Lehrbüchern für das Fach Chemie, welche ich sowohl während meiner Schulzeit und auch im Laufe des Studiums studierte und analysierte, stelle ich fest, dass der medizinische Bereich und Gesundheitsaspekt oft zu kurz oder gar nicht erwähnt wird. Nachdem der Entschluss gefallen war, dass die Diplomarbeit im Bereich der Nuklearmedizin erfolgen sollte, bekam ich durch meinen Betreuer Prof. Dr. Wolfgang Wadsak den Anstoß, den schulischen Aspekt mit in die Arbeit hineinzunehmen. Im Laufe mehrerer Gespräche entstand die Idee einen Versuch zu starten, bei dem das Thema Nuklearmedizin so weit hinuntergebrochen wird, dass er für Schülerinnen und Schüler verschiedener Schulstufen zu erfassen ist. Durch die intensive Beschäftigung mit diesem Thema und der Erkenntnisse, dass die Schülerinnen und Schüler sehr positiv und interessiert auf die Einführung einer neuen und unbekannten Thematik reagierten, beschloss ich, dass zwei selbstgestaltete Schulbuchseiten der Abschluss meiner einjährigen Forschung sein sollen.

Ich hoffe, dass diese Seiten ihren Weg in ein Chemieschulbuch finden werden und dass mehrere Kolleginnen und Kollegen die Freude an der Nuklearmedizin teilen und diesen an folgende Generationen von Schülerinnen und Schülern weitergeben werden. Ebenso soll diese Arbeit ein Anstoß an Kolleginnen und Kollegen sein, der ihnen zeigt, dass die Chemie und vor allem der medizinische Bereiche ein sich stark veränderter Aspekt ist, der den Schülerinnen und Schüler immer wieder aufs Neue zeigen kann, wie spannend und wichtig die Chemie ist. Als Nebenaspekt soll diese Arbeit und vor allem die Schulbuchseiten den Schülerinnen und Schülern zeigen, dass Radioaktivität auch positive Aspekte haben kann und ebenso soll ihnen die Angst vor der unsichtbaren Strahlung genommen werden.

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit behandelt das Thema „Medizinische Radiochemie in der Schulbildung“. Hierbei wurde erforscht, ob diese Thematik, welche an sich sehr komplex ist und hauptsächlich an Universitäten oder Fachhochschulen gelehrt wird, so weit heruntergebrochen werden kann, dass sie für Schülerinnen und Schüler unterschiedlicher Schulstufen verständlich aufgearbeitet werden kann. Die Forschungsfrage *„Inwieweit lässt sich das Gebiet der medizinischen Radiochemie, insbesondere die Tracertechnik mittels 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose, in den Schulunterricht einer 8. und 11. Schulstufe einer Allgemein Höheren Schule einbringen?“* wird von folgenden Thesen bzw. Unterfragen untermauert:

- Die Thematik muss in der 8. Schulstufe durch einen zweigeteilten Unterricht - Physik und Chemie - für die Schülerinnen und Schüler aufgearbeitet werden.
- In der 11. Schulstufe haben die Schülerinnen und Schüler genügend Vorwissen um das Thema mit Hilfe von Arbeitsblättern selbstständig zu erarbeiten.
- Der Gebrauch von Fachsprache ist in beiden Schulstufen möglich, jedoch muss auf die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler eingegangen werden.
- Die Schülerinnen und Schüler der 8. Schulstufe können, auch ohne viel Vorwissen dem Unterricht folgen und die Thematik verstehen.
- Welches Vorwissen wird bei den Schülerinnen und Schülern vorausgesetzt?
- Wie weit muss die Thematik der Radiochemie vorgestellt werden, damit ein Lernerfolg bei den Schülerinnen und Schülern eintreten kann?
- Welche Kompetenzen werden während der Unterrichtseinheit geschult?
- Ist es möglich ein Konzept zu erstellen, welches als ein weiterführendes Kapitel in Schulbüchern untergebracht werden kann, damit die Radiochemie einen höheren Stellenwert im Chemieunterricht bekommt?

Die Fragestellung und Thesen wurden in Selbststudien geklärt. Diese Selbststudien fanden in einer 4. Klasse und einer 7. Klasse des BG/BRG Mödling, Franz-Keimgasse 3, 2340 Mödling, statt. Die Erkenntnisse dieser Unterrichtseinheiten werden in der folgenden Arbeit dargelegt.

Warum diese komplexe Thematik ausgewählt wurde, ist leicht erklärbar. In österreichischen Chemiebüchern haben Beispiele aus dem Alltag einen eher untergeordneten Schwerpunkt. Vor allem der medizinische Bereich wird oft weggelassen, dafür wird das Thema Waschmittel intensiv in den Lehrbüchern der Unterstufe behandelt. Meiner Meinung nach sollte aber vor allem der medizinische Bereich bzw. Gesundheitsbereich verstärkt gelehrt und verbreitet werden. Dieses Wissen kann den Schülerinnen und Schülern die Angst vor der Chemie und in diesem speziellen Fall die Angst vor der Radioaktivität nehmen. Diese Thematik kann den Schülerinnen und Schülern zeigen, dass die Forschung vor allem im Bereich der Nuklearmedizin sehr groß und wichtig für die Beschreibung und Therapien verschiedener Krankheiten ist. Ebenso können die Jugendlichen dadurch erkennen, dass das Thema Chemie im Alltag mehr Schwerpunkte hat, als in Schulbücher beschrieben wird.

Im Lehrplan der Unterstufe ist das Thema „Biochemie und Gesundheitserziehung“ aufgelistet, welches als Unterpunkt das Thema Medikamente beinhaltet. Für die Oberstufe wurde der Bereich „Chemie und Leben“ definiert. Hier sollten die Schülerinnen und Schüler molekulare Grundlagen der Genetik und der Pharmakologie kennen lernen.

Anhand dieser Eckpfeiler wurde die Unterrichtsplanung für zwei Klassen unterschiedlicher Schulstufen geplant. Die genaue Unterrichtsplanung wird in Kapitel fünf genauer dargestellt. Allgemein sind die Stunden nach dem sogenannten AVIVA-Schema aufgebaut. In der ersten Phase – dem Ankommen – wird den Schülerinnen und Schülern das Unterrichtsziel und der Weg zum Lernziel nähergebracht. In der zweiten Phase wird das Vorwissen aktiviert. Hierbei sollen die Schülerinnen und Schüler ihre eigenen Gedanken in Worte fassen und diese der gesamten Klasse unterbreiten. Die folgende Phase ist durch Informieren geprägt. Hier müssen die Schülerinnen und Schüler gemeinsam mit der Lehrperson überlegen, wie neue Information beschafft werden können und dies anschließend aufgearbeitet werden. Danach wird dieses Wissen verarbeitet und die Schülerinnen und Schüler beginnen die Fakten zu vertiefen, üben und anzuwenden. In der letzten Phase, der Phase der Auswertung wird von der gesamten Klasse überprüft, ob die Lernziele erreicht wurden und welcher Lernerfolg sich eingestellt hat.

Die Art der Wissensübertragung geschieht über verschiedene Lernmethoden. Mit dem Begriff Lernmethoden sind Verfahren gemeint, die den Unterrichtsverlauf strukturieren und das Erreichen des Lernzieles garantieren.[1-4] Welche Methoden angewendet wurden, ist in Kapitel drei ausgeführt.

Die restliche Arbeit ist so aufgebaut, dass zuerst naturwissenschaftliche und didaktische Grundlagen beschrieben werden. Diese naturwissenschaftliche Darstellung soll skizzieren,

welches Wissen an die Schülerinnen und Schüler vermittelt werden muss. Anhand der didaktischen Grundlagen wird gezeigt, welche Lernmethoden eingesetzt wurden. Anschließend wird dargelegt, wie die Unterrichtseinheiten aufgebaut sind und wie diese funktioniert haben. Durch ein Feedback von den Schülerinnen und Schülern und einer Kollegin war eine Reflexion möglich und Verbesserungen konnten durchgeführt werden. Das abschließende Kapitel gibt eine Zusammenfassung über die gewonnenen Erkenntnisse und einen Ausblick auf die Modulare Oberstufe und weiterführende Forschungsmöglichkeiten.

2. Naturwissenschaftliche Hintergründe

2.1. Historische Entwicklung

Der Radiopharmakologie liegt eine lange Geschichte von Entdeckungen und Forschung zugrunde, welche von unterschiedlichsten Forscherinnen und Forschern geprägt wurde. Die ersten Anfänge tätigte Henri Becquerel im Jahr 1896. Im Jahr zuvor entdeckte Wilhelm Conrad Röntgen eine neue Art der Strahlung – die Röntgenstrahlung. Diese Strahlung ermöglichte es, den menschlichen Skelettaufbau ohne äußeres Eingreifen zu erforschen. In den darauffolgenden Jahren wurden sowohl Röntgenstrahlen als auch radioaktive Strahlung für therapeutische Behandlungen eingesetzt. Hierbei wurde vor allem Radium und Thorium verwendet, welche in der damaligen Zeit in der als „Radiumtaumel“ bekannten Medizin verarbeitet wurden. Einsatzgebiete waren Behandlungen bei Akne, Tuberkulose, Elephantiasis, Syphilis und Epilepsie.

Doch bevor die ersten Tumore behandelt werden konnten, war die weitere Erforschung der Radioaktivität das Hauptforschungsgebiet von Chemikern und Chemikerinnen und Physikern und Physikerinnen weltweit notwendig. Henri Becquerels Entdeckung war, wie vieles ein reiner Zufallsfund. So untersuchte er im Jahr 1896 die Lumineszenzstrahlung von Mineralien. Unter anderem auch von Uranoxid UO_2 , welches eine lichtabgeschirmte Photoplatte schwärzen konnte. Becquerel erkannte, dass es sich hierbei um eine Eigenstrahlung des Materials handeln musste und nannte diese „Radioaktivität“.

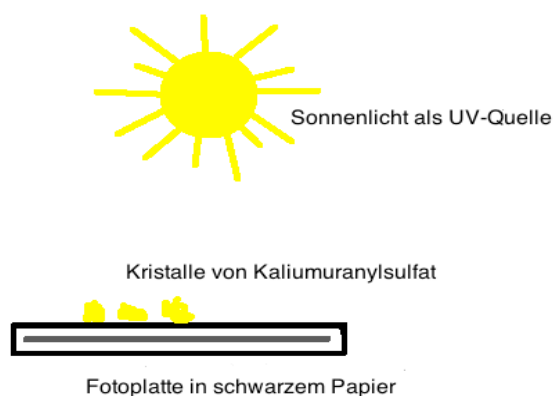


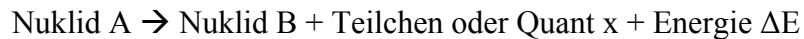
Abb. 1: Versuch von Henri Becquerel 1

2.2. Radioaktiver Zerfall

Die Grundlage der Radioaktivität ist der Kernzerfall eines Atoms. Atome sind aus Protonen, Neutronen und Elektronen aufgebaut, wobei Elektronen bei Kernprozessen keine Rolle spielen. Ein radioaktiver Zerfall findet dann statt, wenn ΔE positiv ist. Die Energiedifferenz kann durch die Nuklidmassen des Edukts und der Produkte berechnet werden:

$$\Delta E = (M_A - M_B - M_X)c^2$$

Als Reaktionsgleichung kann der Zerfall wie folgt aufgeschrieben werden:



Ein Nuklid wird durch die Protonenzahl Z , Neutronenzahl N und die Massenzahl A deklariert. Nuklide eines chemischen Elements haben dieselbe Protonenzahl, aber unterschiedliche Neutronenzahlen und werden auch Isotope genannt. Ein Pendant zum Periodensystem der Elemente ist die sogenannte Nuklidkarte, welche alle Nuklide in einem Koordinatensystem darstellt. Die unterschiedliche Färbung der Kästchen steht für die Zerfallsart der Nuklide. Die Farben haben folgende Bedeutung: schwarz = stabil, blau = β^- -Zerfall, rot = β^+ -Zerfall und gelb = α -Zerfall.

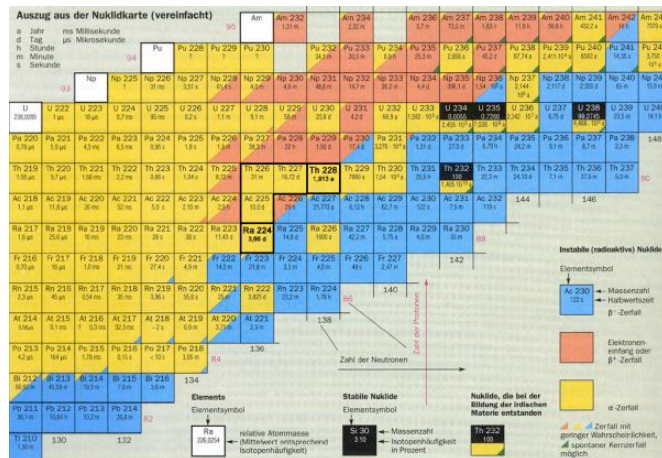


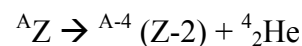
Abb. 3: Nuklidkarte

Radioaktive Atomkerne besitzen eine potentielle Energie, welche auf unterschiedliche Arten frei werden kann. Die β -Strahlung kann in β^+ -Zerfall und β^- -Zerfalls geteilt werden. Bei der β^- -Strahlung wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt und ein Elektron und ein Antineutrino wird ausgesendet. Fluor-18, eines der häufigsten Atome in der Radiopharmakologie, zerfällt mittels eines β^+ -Zerfalls und sendet dabei Positronen aus. Die Ladung des Atomkerns ändert sich, nicht jedoch die Masse des Kerns. Diese Positronen, sind

positiv geladene Elektronen. Im Kern kommt es zu einer Umwandlung eines Protons in ein Neutron, Positron und Neutrino: ${}^1_1\text{p} \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^0_{+1}\text{e}(\beta^+) + {}^0_0\nu$.

Dieses Positron wurde 1933 von Carl David Anderson entdeckt und hat dieselbe Ladung und Helizität wie das Elektron, nur mit einem positiven Vorzeichen. Die Emission eines Positrons setzt voraus, dass unter anderem die Massendifferenz zwischen Ausgangskern und Folgekern die Ruhemasse des Elektrons übertreffen muss. Die β^+ -Strahlung tritt nur bei künstlich hergestellten Radionukliden mit kleinem Z auf. Die Lebensdauer eines Positrons ist sehr kurz und es vereinigt sich bei der Abbremsung mit einem Elektron. Dabei entstehen zwei γ -Quanten mit einer jeweiligen Energie von 0,511 MeV. Diese beiden Quanten werden in die entgegengesetzte Richtung emittiert. Diese „Vernichtungsstrahlung“ ist ein natürliches Nebenprodukt der β^+ -Strahlung.

Eine weitere Zerfallsart ist der α -Zerfall. Dieser tritt bevorzugt bei schweren Kernen auf und lässt sich durch die Bildung eines ${}^4_2\text{He}$ -Kerns beschreiben. Allgemein formuliert wird ein α -Zerfall folgendermaßen:



Die Massenzahl A ändert sich um vier Einheiten und die Ordnungszahl Z um zwei Einheiten. Die Energie, welche bei einem α -Zerfall frei wird, liegt zwischen 1,83 MeV und 11,7 MeV. Durch die geringe Halbwertszeit, welche zwischen 10^{-6}s und $>10^{10}\text{a}$ liegt, ist die Reichweite eines α -Zerfall gering.

Die dritte Strahlungsart ist der γ -Zerfall, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass ein Nuklid von einem angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt und einen γ -Quant emittiert. Manchmal können Elektronen anstelle der γ -Quanten auftreten. Diese Elektronen werden Konversionselektronen genannt. Dieser angeregte Zustand entsteht bei α - oder β -Zerfall. Die dabei entstehende Energie ist direkt proportional zur Frequenz der Strahlung – $E = h \cdot \nu$. Die bereits beobachteten γ -Energien liegen zwischen 5 keV und 7 MeV.^{6,[7,8,9,10,11]}

2.3. Herstellung von Positronenstrahler

Um Positronenstrahler zu erzeugen, müssen die Nuklide in einem sogenannten Zyklotron hergestellt werden. Das Zyklotron wurde von Ernest Lawrence und Milton Stanley Livingston 1930 entwickelt und ist ein sogenannter Wechselfeldbeschleuniger. Durch ein angelegtes Magnetfeld werden die Teilchen stark beschleunigt und dann auf ein Element geschossen, welches einer Kernumwandlung unterzogen wird.

Das Zyklotron ist aus zwei flachen halbkreisförmigen Metallbehältern aufgebaut, die sich zwischen den Polen eines starken Elektromagneten befinden. In der Mitte ist die Ionenquelle montiert. Diese Ionenquelle ist zwischen zwei Metallbehältern, welche als Elektroden fungieren, angeordnet. Durch einen stetigen Spannungswechsel werden die Ionen stark beschleunigt und kreisen auf einer spiralförmigen Bahn. Am Ende werden diese durch eine Ablenkplatte auf einen stabilen Eduktkern geschossen.

Durch die gekrümmte Bahn unterliegen die Ionen der Lorenzkraft, welche der Kraftwirkung des Magnetfeldes gleicht:

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = Z \cdot e \cdot v \cdot B$$

m...Masse, r.... Radius, vGeschwindigkeit, $Z \cdot e$**Ladung** , B....magnetische Flussdichte

Die Winkelgeschwindigkeit setzt sich aus der Geschwindigkeit und dem Radius zusammen:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{Z \cdot e \cdot B}{m}$$

Die Umlaufzeit t ist von der Energie und der Geschwindigkeit des Teilchens unabhängig:

$$t = \frac{2 \cdot \pi \cdot m}{Z \cdot e \cdot B}$$

Aus dieser Formel ist zu erkennen, dass Teilchen mit dem selben $\frac{Z \cdot e}{m}$ Wert auf dieselbe Geschwindigkeit beschleunigt werden können. Daher werden sowohl α -Teilchen als auch Deuteronen verwendet.

Folgende Kernreaktionen können in einem Zyklotron ausgelöst werden:

(p,n); (p, α); (p,2n); (P,pn); (d,n); (d, α); (d,2n); (d,p); (d;2p)

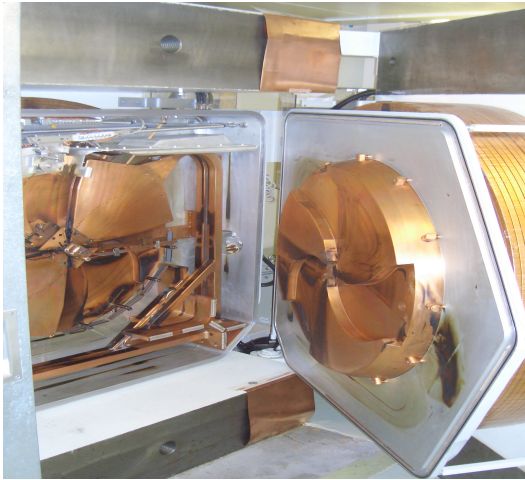
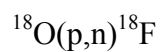


Abb. 4: Innere eines Zyklotrons

Für die Herstellung von ^{18}F wird Wasser mit angereicherten ^{18}O -Atomen verwendet. Durch den Beschuss mit Protonen oder Deuteronen entsteht durch die Kernreaktion ^{18}F :



Der Anreicherungsgrad beträgt $>97,5\%$ und ergibt eine Ausbeute von 37GBq, wenn ein 11 MeV Zyklotron verwendet wird und die Bestrahlungszeit unter 60 Minuten beträgt. Die beschleunigten Teilchen sind in diesem Fall Protonen und das Targetvolumen beträgt 1ml und der Targetstrom $35\mu\text{A}$. [8,9,11]

2.4. Tumorbildung

Die Tumorbildung wird durch sechs grundlegende Kennzeichen beschrieben. Diese Kennzeichen wurden 2000 von Douglas Hanahan und Robert A. Weinberg postuliert und 2011 von den beiden weiter entwickelt. Für diese Arbeit sind die ersten sechs Merkmale ausreichend.[12,13]

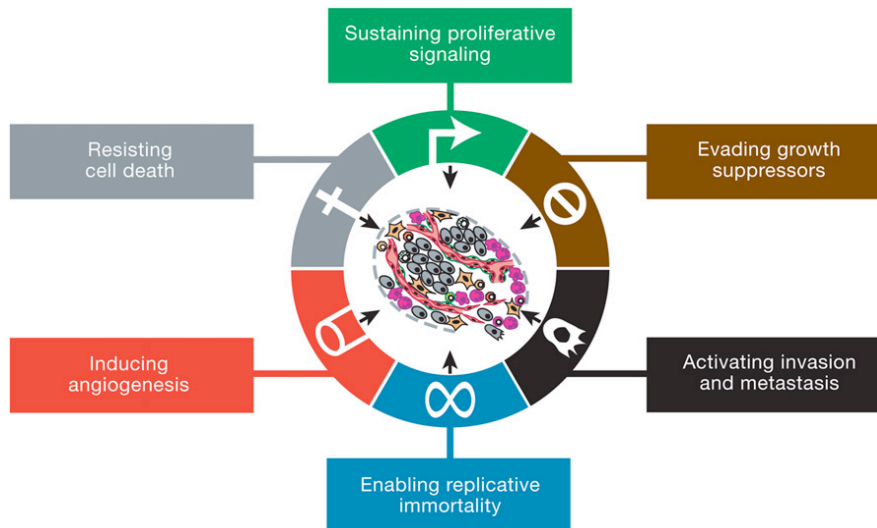


Abb. 6: Darstellung der „Six Hallmarks of Cancer“

2.4.1. Apoptose

Tumorzellen haben die Möglichkeit, dem geplanten Zelltod zu entgehen. Die Apoptose ist eine Barriere um Tumorzellen zu entgehen. Entartete Zellen werden täglich produziert, doch durch die Apoptose können diese Zellen zerstört werden, ohne dass ein größerer Schaden angerichtet wird. Der geplante Zelltod wird durch mehrere physiologische Initiatoren eingeleitet. Nicht entartete Zellen werden durch extrazelluläre Signale dazu gebracht sich selbst zu zerstören. Durch eine Regulierung der pro- und antiapoptotischen Signale werden Zellen zerstört oder bleiben erhalten. Im Fall von Tumorzellen herrscht ein Überschuss an antiapoptotischen Signalen und die Zelle geht nicht in den natürlichen Zelltod, sondern teilt sich weiter. Diese Regulatorproteine gehören zu der Bcl-2 Familie.[12,13]

2.4.2. Angiogenese

Durch erhöhtes Wachstum brauchen Tumorzellen mehr Blutgefäße, welche die Zellen mit Energie und Sauerstoff versorgen. Während der Tumorstadiumphase haben Tumore die Fähigkeit, neue Blutgefäße auszubilden. Dieser Wachstum wird durch bestimmte

Signalproteine, growth factor A (VEGF-A) und thrombospondin-1 (TSP- 1), angeleitet. Schon in frühen Stadien der Tumorbildung ist die Angiogenese erkennbar.[12,13]

2.4.3. Zellteilung

Neben der Angiogenese haben Tumorzellen, im Gegensatz zu normalen Zellen, die Fähigkeit so viele Zellzyklen zu durchlaufen, wie es für die Ausbildung der Tumormasse notwendig ist. Normalerweise bestimmen Telomere am Ende jedes Chromosoms, wie oft eine Teilung der Zelle möglich ist. Nach dem Abbau der Telomere durch häufige Zellteilung, stirbt die Zelle automatisch ab. Karzinogene Zellen haben aber durch spezifische molekular-biochemische Mechanismen (z.B. Up-Regulation der Telomerase) die Fähigkeit, dass die Enden der Telomere immer eine ausreichende Länge beibehalten, um eine unbegrenzte Zellteilung zu ermöglichen.[12,13]

2.4.4. Metastasierung

Durch die unbegrenzte Teilbarkeit der Tumorzellen beginnen sich diese im Körper zu verteilen. Diese Metastasierung erfolgt durch die Aussendung von Zellen, welche sich durch den Körper fortbewegen und angrenzendes Gewebe angreifen. Ebenso sind Proteasegene stärker aktiv als deren Inhibitoren. Der Übergang von „normalen Tumorzellen“ zu metastasierenden Zellen wird als „epithelial-mesenchymal transition“ beschrieben.[12,13]

2.4.5. Wachstumssupressor

Ein weiteres Kennzeichen ist die Fähigkeit von Tumorzellen Proteinen, welche das Wachstum des Tumors stoppen sollten, auszuweichen. Die zwei häufigsten Wachstumsunterdrücker kodieren retinoblastom-zugehörige Proteine und TP53 – Proteine.[12,13]

2.4.6. Zellwachstum

Das letzte Kennzeichen ist die fundamentalste Eigenschaft von Tumorzellen. Die entarteten Zellen brauchen kein externes Signal, um zu wachsen und sich zu teilen. Die Tumorzellen produzieren eigene Wachstumsproteine und können Signale aussenden, welche nichtentartete Zellen im umliegenden Gewebe erreichen.[12,13]

Durch diese Fähigkeiten haben Tumorzellen einen erhöhten Energiebedarf und an dieser Stelle setzt die Tumordiagnostik mit 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose an.

2.5. Positronen – Emissions- Tomographie und 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose

Im Jahr 1962 wurde von Rankowitz und Robertson der erste Entwurf für einen Positronen-Emissions-Tomographen veröffentlicht. Dieses Gerät bestand aus 32 Natriumiodid-Detektoren und sollte freiwerdenden Positronen detektieren. Zur Rekonstruktion wurde der Logarithmus für die CT-Bilder verwendet. Mitte der 1970er Jahre wurde der erste industriell herstellbare PET-Scanner gebaut. Durch diese Technik kann der menschlichen Körper, nicht wie bei der üblichen Szintigraphie zweidimensional, sondern dreidimensional dargestellt werden.

Der Aufbau des Scanners schaut folgender Maßen aus:

Um die Patientinnen und Patienten rotiert ein Ring mit Detektoren, welche die Strahlung aufnehmen und dann weiter an einen Computer leiten. Beim PET-Scan wird davon ausgegangen, dass das Positron und Elektron ein sehr kurzlebiges Positronium bilden und dann mit einem Winkel von 180° von einander weg fliegen. Hierbei entstehen Photonen, welche mit jeweils 511keV eine genau detektierbare Energie haben. Die räumliche Zuordnung kann dann über eine Koinzidenzmessung erfolgen. Dadurch kann der Entstehungsort der Photonen detektiert werden. Die bei der Bildung von Photonen entstehende Streustrahlung ist von den verwendeten Kristallen und vom Aquisitionsmodus abhängig. Gestreute Strahlung wird durch Bleisepten aufgefangen und kann nicht von den Kristallen detektiert werden. Damit der Streuanteil nicht zu groß wird, werden heute BGO (Wismutgermanat) und LSO (Lutetiumoxyorthosilicat), GSO (Gadoliniumoxyorthosilicat) oder Yttriumsilikat verwendet. Diese haben eine untere Energieschwelle von 400keV und verringern so den Streuanteil. Die mögliche Bildauflösung bei humanen PET-Geräten liegt bei 4-5mm. Heutzutage werden vor allem PET-Scans mit Ganzkörper-CT-Scans verbunden. Dies führt dazu, dass die Patientinnen und Patienten nur eine statt zwei Untersuchungen haben und Tumore, welche durch ein PET-Scan nicht genau lokalisiert werden können, genau zugeordnet werden können. Bei der Diagnostik wird zwischen sogenannten Kalten Knoten und Heißen Knoten unterschieden. Kalte Knoten zeigen eine Minderspeicherung im Gewebe an, wohingegen Heiße Knoten eine erhöhte Speicherung anzeigen.

Für PET-Scans können nur Positronenstrahler verwendet werden, welche durch Zyklotrone oder Generatoren hergestellt werden müssen. Ein sehr häufig verwendetes Radionuklid ist ¹⁸F, welches eine Halbwertszeit von 109,7 Minuten hat. ¹⁸F wird über eine (p,n)-Reaktion aus ¹⁸O hergestellt, wobei das Bestrahlungstarget aus hochreinem Silber, Tantal, Titan oder Niob besteht. Das Targetmaterial ist angereichertes H₂¹⁸O und wird mit hochenergetischen Protonen beschossen. Dabei kommt es zu einer Kernreaktion, was zur Ausbildung von ¹⁸F führt. In wässriger Form liegt das Fluor als Fluorid, ¹⁸F⁻, vor und wird nach der Bildung mit einem Inertgasstrom in die Reaktionszelle transportiert. Die erreichte Ausbeute beträgt >90%.

Mögliche Kernreaktionen für die Herstellung von ^{18}F sind: $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$, $^{17}\text{O}(\text{d},\text{n})^{18}\text{F}$, $^{16}\text{O}(\text{t},\text{n})^{18}\text{F}$, $^{16}\text{O}(^3\text{He},\text{p})^{18}\text{F}$, $^{16}\text{O}(^3\text{He},\text{n})^{18}\text{Ne} \rightarrow ^{18}\text{F}$, $^{16}\text{O}(\alpha,\text{pn})^{18}\text{F}$, $^{16}\text{O}(\alpha,2\text{n})^{18}\text{Ne} \rightarrow ^{18}\text{F}$, $^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha)^{18}\text{F}$, $^{20}\text{Ne}(^3\text{He},\alpha\text{p})^{18}\text{F}$, $^{20}\text{Ne}(3\text{He},\alpha\text{n})^{18}\text{Ne} \rightarrow ^{18}\text{F}$, $^{19}\text{F}(\gamma,\text{n})^{18}\text{F}$.

Die Gewinnung von ^{18}F kann „carrier-added“ oder „no-carrier-added“ erfolgen. Der Unterschied zwischen diesen Methoden ist, dass das gewünschte Radioisotop einerseits mit einem „carrier“, welcher das Nuklid an sich bindet transportiert, und im anderen Fall das Radioisotop ohne Träger weitertransportiert wird. Die IUPAC definiert den Begriff „carrier“ folgendermaßen:

„A substance in appreciable amounts which, when associated with a tracer of a specific substance, will carry with it through a chemical or physical process, or to prevent the tracer from undergoing non-specific processes due to its low concentration.“

Diese Träger können in die Klassen isotopischer Träger und nicht-isotopischer Träger unterteilt werden. Allgemein kann gesagt werden, dass ein „carrier“ ein stabiles Element ist, wobei auch langlebige Radioisotope oder Radionuklide eingesetzt werden können.

Bei „no-carrier-added“ hat die IUPAC folgende Definition veröffentlicht: „A preparation of a radioisotope, which is essentially free of stable isotopes of the element in question.“

Ein Beispiel für eine „carrier-added“ Reaktion wäre $^{20}\text{Ne}(\text{d},\alpha)^{18}\text{F}$, wobei das Neon-Gas mit F_2 als Träger versetzt wird, um eine Herstellung von radioaktivem $[^{18}\text{F}]\text{F}_2$ zu erreichen. Jedoch ist die spezifische Aktivität dieser Reaktion geringer als die, der „no-carrier-added“ Reaktion von $^{18}\text{O}(\text{p},\text{n})^{18}\text{F}$.

Das $^{18}\text{F}^-$ wird anschließend weiter zu 2- $[^{18}\text{F}]\text{Fluor}$ -2-desoxyglucose verarbeitet.

2- $[^{18}\text{F}]\text{Fluor}$ -2-desoxyglucose wird über eine nukleophile Substitution hergestellt. Diese Synthese wurde 1986 erstmalig von Hamacher et al. beschrieben.

Durch die Kernreaktion im Zyklotron liegt $[^{18}\text{F}]\text{Fluor}$ in wässriger Lösung vor. Durch einen Anionenaustauscher mit K_2CO_3 wird $[^{18}\text{F}]\text{Fluor}$ abgetrennt und K^+ -Ionen mit Kryptofix 222 komplexiert. Durch das Hinzufügen von Acetonitril wird das Ganze in eine organische Phase überführt. $[^{18}\text{F}]\text{Fluorid}$ reagiert mit 1,3,4,6-Tetra-O-Acetyl-2-O-trifluormethansulfonyl- β -D-mannopyranose in einer nukleophilen Substitution. Die vier O-Acetyl-Gruppen fungieren als Schutzgruppen und werden nach einer vollständigen nukleophilen Substitution durch hinzufügen von 1M Salzsäure oder Natronlauge durch saure oder basische Hydrolyse entfernt. Anschließend erfolgt eine Aufreinigung mittels Festphasenchromatographie.[8,9,11,14-22]

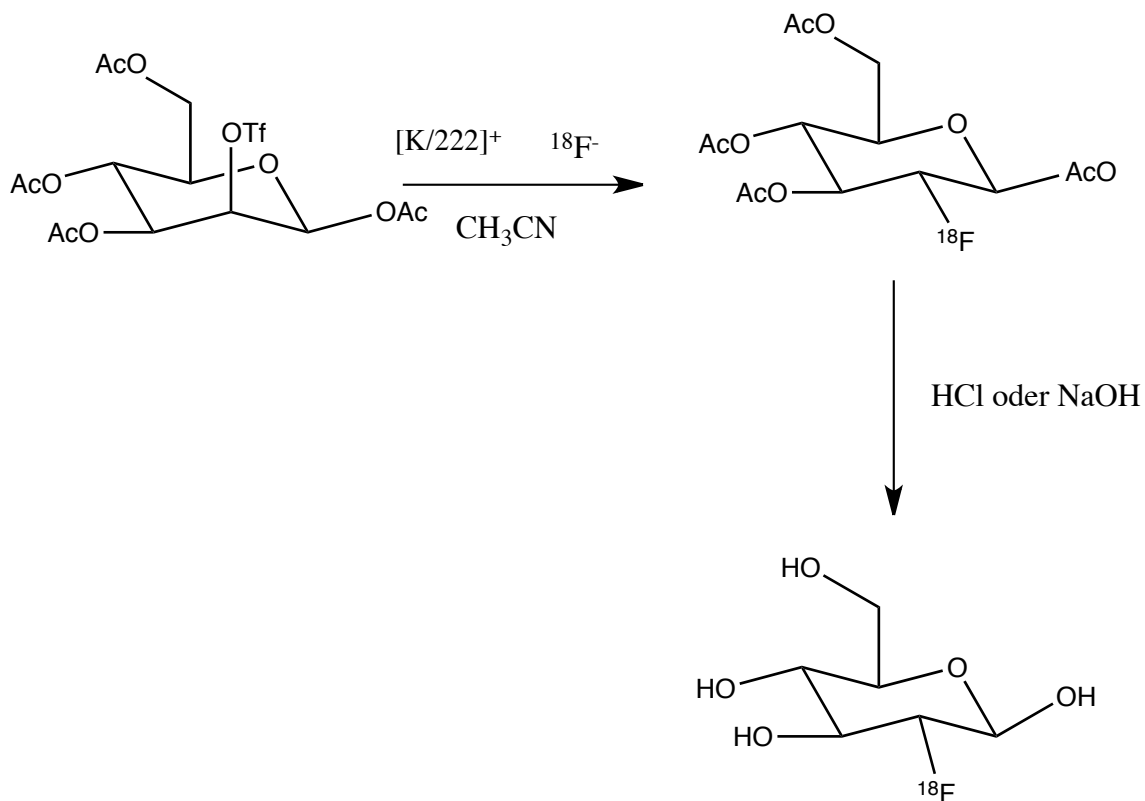


Abb. 6: Synthese von 2-[^{18}F]FDG

Neben der nukleophilen Reaktion wurde früher auch eine elektrophile Reaktion angewendet. Hierbei wurde geträgertes ^{18}F hergestellt und anschließend mit $\text{KOAc} \times 1.5 \text{ HOAc}$ versetzt. Das dabei entstehende $[^{18}\text{F}]\text{AcOF}$ reagiert mit Tri-O-acetyl-D-glucal zu $\text{TA}-[^{18}\text{F}]\text{FDG}$, wobei das TA auch hier als Schutzgruppe fungiert und anschließend sauer oder basisch entfernt wird.[23]

Durch die Ähnlichkeit von 2-[^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose mit der normalen Glucose, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, nimmt der Körper den modifizierten Zucker normal auf und beginnt mit dessen Spaltung.

Die Glucose wird bei der Glykolyse zu zwei Molekülen Pyruvat und zwei ATP, ein wichtiger Energieträger im Körper, umgewandelt.

Die Glykolyse erfolgt in drei Schritten:

Bei der ersten Stufe wird die Glucose zu Fructose-1,6-bisphosphat umgewandelt. Diese Stufe erfolgt abermals über mehrere Schritte:

Im ersten Schritt wird die Glucose zu Glucose-6-phosphat phosphoryliert. Durch die Addition der Phosphorylgruppe wird die Glucose destabilisiert. Die Hexokinase katalysiert die Reaktion, indem sie sich um die Glucose schließt. Bei dieser Umschließung bleibt nur die

Umgebung der Glucose unpolar und Wasser vom aktiven Zentrum entfernt. Wäre Wasser anwesend, würde sich ADP und P_i bilden.

Im zweiten Schritt wird mittels Glucose-6-phosphat-Isomerase Glucose-6-phosphat zu Fructose-6-phosphat umgewandelt. Hierbei muss die Isomerase zuerst den Sechsering öffnen, dann katalysieren und anschließend die Entstehung eines Fünferinges begünstigen. Abermals wird eine Phosphorylierung durchgeführt und ein ATP zu ADP umgewandelt. Bei dieser Reaktion hängt sich zweite Phosphatgruppe an das Fructose-6-phosphat und wandelt dieses zu Fructose-1,6-bisphosphat um. Die Phosphofruktokinase ist ein allosterisches Enzym und bestimmt die Geschwindigkeit der Glykolyse.

In der ersten Stufe kommt es nur zu einem Energieverbrauch aber keinem Energiegewinn. Die Glucose muss zu Glucose-6-phosphat phosphoryliert werden, damit dieses aufgrund seiner negativen Ladung nicht durch die Membran zurückdiffundieren kann und die Phosphorylgruppe destabilisiert die Glucose soweit, dass ein weiterer Abbau möglich ist.

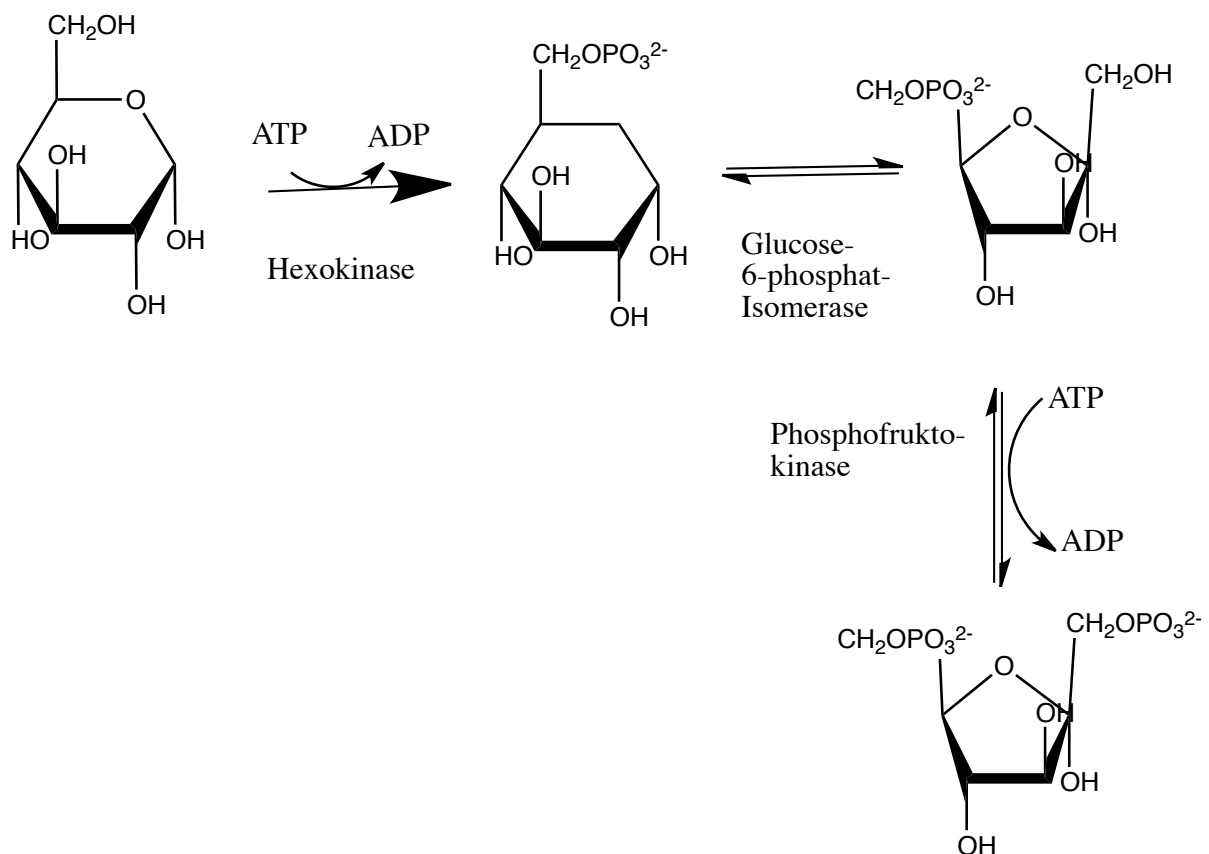


Abb. 7: erste Schritte der Glykolyse

Im zweiten Schritt wird Fructose-6-phosphat in zwei C3-Einheiten aufgespalten: Dihydroxyaceton-phosphat und Glycerinaldehyd-3-phosphat. Diese Aufspaltung wird durch

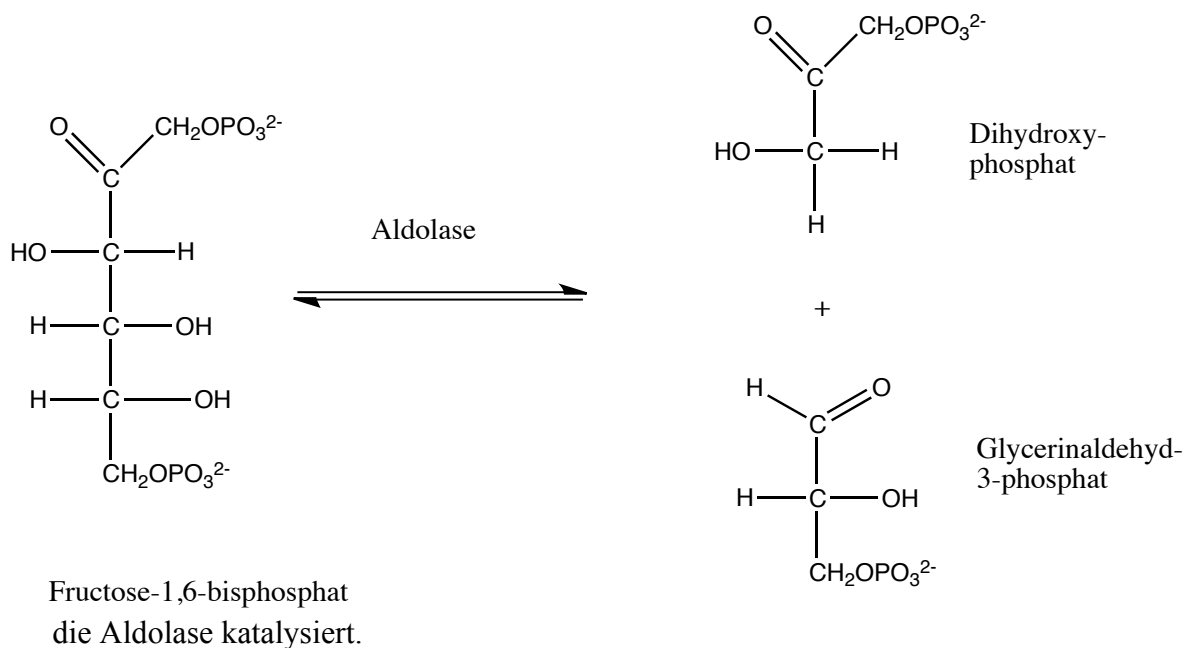


Abb. 8: Umwandlung von Fructose-1,6-bisphosphat in Dihydroxyphosphat und Glycerinaldehyd-3-phosphat

Vom Glycerinaldehyd-3-phosphat geht die Glycolyse weiter. Dihydroxyphosphat wird durch Triosephosphat-Isomerase in Glycerinaldehyd-3-phosphat umgewandelt. Ansonsten würde ein C3-Fragment verloren gehen, welches für die folgende ATP-Gewinnung von Nutzen ist. Die Umwandlung ist reversibel und läuft sehr schnell ab.

Nach dieser Aufspaltung beginnt die dritte Stufe der Glycolyse, und somit der eigentliche Energiegewinn. Glycerinaldehyd-3-phosphat wird mittels Glycerin-3-phosphat-dehydrogenase zu 1,3- Bisphosphoglycerat unter Freisetzen von NADH, welches durch Phosphoglycerat-Kinase zu 3-Phosphoglycerat umgewandelt wird. Dabei entsteht erstmalig Adenosintriphosphat. Anschließend kommt es über zwei weitere Schritte zur Pyruvatbildung. Hier wird ebenso ATP frei.

Die Nettoreaktion der Umwandlung von Glucose in Pyruvat lautet:



Bei einer sauerstoffarmen Umgebung wird Milchsäure, unter ATP-Gewinn, gebildet. Diese Reaktion nutzen Krebszellen aus, da diese schneller wachsen als die zur Versorgung notwendigen Blutgefäße.[24]

2-[^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose wird wie Glucose in die Zelle transportiert und dort zu 2-[^{18}F]FDG-6-Phosphat umgewandelt. Eine weitere Metabolisierung ist aber durch die Substitution von ^{18}F nicht möglich. Die Rückreaktion durch Phosphatasen zu 2-[^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose ist in unterschiedlichen Organen unterschiedlich langsam und so kommt es zu einer Anreicherung in den Organen. Während dieser Anreicherung kommt es zu Kernzerfällen und γ -Quanten werden ausgesendet und vom PET-Scanner erfasst.[20]

3. Didaktische Durchführung

Jeder Unterrichtseinheit unterliegt eine grundlegende Methodik, welche den zu vermittelnden Stoff in einer richtigen Form an die Schülerinnen und Schüler weiter gibt. Lars Schmoll definiert den Begriff Unterrichtsmethode folgendermaßen:

„Die Unterrichtsmethode ist der prinzipielle Weg, den Lehrer und Schüler beschreiten, um die im Lehrplan fixierten Ziele des Unterrichts zu erreichen, um die im Lehrplan fixierten Inhalte zu vermitteln bzw. anzueignen.“ [25]

Die Unterrichtsmethode muss in Vordergrund stehen, denn sie ist die Vermittlerin des Wissens. Funktioniert der Unterricht so, wie es die Methode vorschreibt bzw. empfiehlt, sollten die Schülerinnen und Schüler einen größeren Lerneffekt verspüren und die Lehrperson selber sollte weniger lehren müssen. Bei der Auswahl der Methode sollten die übergeordneten Ziele der Lehrperson bedacht werden, denn unterschiedliche Methoden fördern unterschiedliche Kompetenzen. Nach Elisabeth Berger und Hildegard Fuchs sollte bei der Methodenwahl nachkommende Perspektiven bedacht werden. Diese Perspektiven sind: Faktenwissen, Verständnis, Anwendung und Transfer und Kreativität. Neben diesen Aspekten müssen auch die Voraussetzungen der Schülerinnen und Schüler beachtet werden. Bei diesen Voraussetzungen kann es sich um kognitive Fähigkeiten, soziale Kompetenzen, physische und psychische Einschränkungen, Alter, Gesundheit und Geschlecht handeln. Werden diese Betrachtungsweisen nicht ausreichend in die Methodenüberlegung einbezogen, so können Methoden auch zu keinem Lernerfolg oder zu keiner Kompetenzaneignung führen. [3,26,27]

3.1. Brainstorming

Die Methode des Brainstormings kann neben dem Unterrichtseinstieg auch dazu verwendet werden, dass Problemsituationen, inhaltlicher oder sozialer Natur, im Plenum gelöst werden können. Der Beginn dieser Methode erfolgt über die Lehrperson, welche eine Aufgabe an die Klasse stellt und die Schülerinnen und Schüler dazu bringt, diese Aufgabe selber zu lösen. Die Lösung sollte spontane Gedanken und Assoziationen von Seiten der Schülerinnen und Schüler sein. Diese Gedanken werden dann anhand von Stichwörtern an die Tafel geschrieben. Doppelte Wortmeldungen werden auf jeden Fall aufgeschrieben, denn jede Schülerin und jeder Schüler sollte die Möglichkeit haben, ihre/seine Ideen der Klasse zu präsentieren.[28]

In der selbstgehaltenen Stunde habe ich diese Methode in der 11.Schulstufe angewendet und die Schülerinnen und Schüler haben zu der Frage „Wie kann man in den Körper

reinschauen?“ ihre Gedanken und Ideen an die Tafel geschrieben. Durch diese Wortmeldungen konnte ein guter Unterrichtseinstieg geschaffen werden und die Schülerinnen und Schüler hatten einen direkten Bezug zum Thema und konnten ihr Vorwissen präsentieren.

3.2. Diskussion

Die Methode „Diskussion“ bedarf in einer Klasse eine wichtige Voraussetzung, denn die Schülerinnen und Schüler müssen mit den Regeln, Techniken und Verhaltensvorgaben vertraut sein. Zu Beginn muss die Zielsetzung der folgenden Diskussion allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern bekannt sein, denn ohne klare Vorgaben verläuft sich die Diskussion nach einiger Zeit im Sand. Die Diskussionsleitung kann zu Beginn von der Lehrperson übernommen werden, sollte aber im Laufe der Zeit von den Schülerinnen und Schülern gemacht werden.

Die Einleitung zur Diskussion kann durch spezifische Fragen, Aussagen oder offene Fragen erfolgen. Vor allem offene Fragen bringen die Schülerinnen und Schüler, dazu mit mehr Enthusiasmus in die Diskussion zu starten. Sollten nicht alle Schülerinnen und Schüler Argumente und Wortmeldungen zur Diskussion beitragen, so kann die/der Diskussionsleiterin/-leiter diese Schülerinnen und Schüler direkt ansprechen und eventuell fragen, wie sich die Schülerinnen/ der Schüler beim Erarbeiten des Diskussionsstoffes oder während der Diskussion gefühlt hat. Grundlegend müssen alle Schülerinnen und Schüler mit den Diskussionstechniken vertraut sein. Diese können in einer vorangegangenen Stunde gemeinsam besprochen und ausgewählt werden.[27]

3.3. Frontalunterricht

Der Frontalunterricht hatte seine Geburtsstunde im 17. Jahrhundert und zeichnete sich dadurch aus, dass die Lehrperson lehrt und die Schülerinnen und Schüler lernen. Diese Kurzdefinition erläutert die Kritik an dieser Methode, denn viele Pädagoginnen und Pädagogen meinen, dass der Frontalunterricht stark lehrerzentriert ist und die Handlungsmöglichkeiten der Schülerinnen und Schüler einschränkt. Ebenso wird kritisiert, dass Schülerinnen und Schüler als eine Masse zusammengefasst werden und keine Individualisierung stattfindet. Ebenso wird von Pädagoginnen und Pädagogen kritisiert, dass der Frontalunterricht mehr eine Sozialform, als eine Unterrichtsmethode ist. Denn überspitzt kann gesagt werden, dass der gesamte inhaltliche Verlauf der Unterrichtsstunde und jeglicher Sozialkontakt zwischen den Schülerinnen und Schüler von der Lehrperson bestimmt werden.

Hilbert Meyer definierte die Methode 1987 folgendermaßen: „Frontalunterricht ist ein zumeist thematisch orientierter und sprachlich vermittelter Unterricht, in dem der Lernverband (die Klasse) gemeinsam unterrichtet wird und in dem der Lehrer, zumindest dem Anspruch nach, die Arbeits-, Interaktions- und Kommunikationsprozesse steuert und kontrolliert. Heutzutage verstehen Pädagoginnen und Pädagogen unter dem Begriff „Frontalunterricht“ einen Sammelbegriff für verschiedene Konzepte, welche von der Lehrperson gelenkt werden.

Schülerinnen und Schüler verurteilen den Frontalunterricht nicht so, wie es Bildungswissenschaftlerinnen und Bildungswissenschaftler tun. Denn die Schülerinnen und Schüler wünschen sich in bestimmten Lernsituationen eine Fachperson, welche sie bei Fragen unterstützen kann. Der Frontalunterricht sollte jedoch nicht die Hauptarbeitsmethode sein, denn die Schülerinnen und Schüler sollten neben der passiven Zuhörerrolle auch eine aktive Beteiligung am Unterricht erleben. Hierbei kommt vor allem eine Untervariante des Frontalunterrichts zum Tragen. Bei einem gelenkten Unterrichtsgespräch hat die Lehrperson noch immer den Hauptanteil am Unterrichtsgeschehen, jedoch können die Schülerinnen und Schüler Fragen stellen und ihre Meinung zu einem Thema kundtun. Diese Unterrichtsgespräche sind nicht planbar und hängen stark von der Beteiligung der Schülerinnen und Schüler ab.

Der Frontalunterricht kann nach Wiechmann in vier Phasen unterteilt werden. In der ersten Phase findet eine Präsentation des Grundwissens statt. Hier sollten Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit bekommen, Probleme zu lösen, bzw. an einer Problemlösung zu arbeiten. In der zweiten Phase findet das Unterrichtsgespräch statt. In Phase Drei kommt es zu einer Wiederholung des vorher erlernten Wissens. Diese Phase sollte als Einzelarbeit stattfinden, denn so kann jede Schülerin und jeder Schüler auf ihre und seine individuellen Lernbedürfnisse eingehen. Die vierte und letzte Phase ist durch die Anwendung des Wissens auf ein Problem geprägt. Hier sollen die neu erlernten Kompetenzen noch einmal vertieft und angewendet werden.

Schwierigkeiten beim Frontalunterricht können entstehen, wenn die Schülerinnen und Schüler nicht genügend Zeit bekommen, um neue Inhalte voll zu erfassen und die Lehrperson den Inhalt zu rasch vermittelt. Aus diesem Grund schreibt Jürgen Wiechmann, dass der Frontalunterricht im optimalen Ablauf von drei Faktoren geprägt wird. Erstens sollte sich der Vortrag der Lehrperson nur auf den Lerngegenstand beziehen. Zweitens sollte die Lehrperson individuelle Lernvoraussetzungen kennen und beachten und drittens sollte kein Zeitdruck hinter der Übermittlung von neuem Wissen herrschen.

Pädagoginnen und Pädagogen sehen den Frontalunterricht als eine geeignete Methode für die Einführung eines neuen Themenkomplexes bzw. zur Übermittlung von neuem Wissen. Denn das Ziel der Methode sollte es sein, Schülerinnen und Schüler über ein neues Thema zu informieren.[2,25,29,30]

3.4. Gruppenarbeit

Die Gruppenarbeit ist eine weitere Form des differenzierten Unterrichts und erfordert von der Lehrperson eine hohe Planungs- und Vorbereitungszeit. Im Gegensatz zur Partnerarbeit arbeiten bei dieser Unterrichtsmethode 3 oder mehr Schülerinnen und Schüler gemeinsam an einem Projekt oder einer Aufgabe. Eine grobe Einteilung kann bei dieser Methode zwischen arbeitsgleich – alle Gruppenmitglieder arbeiten auf dieselbe Art und Weise an einer Aufgabe – arbeitsteilig – jedes Gruppenmitglied erarbeitet auf ihre/seine Art an einer gemeinsamen Aufgabe – und aufgabengleich – alle Gruppen haben einen identen Arbeitsauftrag bekommen – aufgabenverschieden – hier bekommt jede Gruppe eine eigene Aufgabe, wobei alle Aufgaben zu dem selben übergeordneten Themenkomplex gehören.

Grundlegende Spielregeln müssen beachtet und auch eingehalten werden, damit eine gute Arbeitsatmosphäre für alle Schülerinnen und Schüler gegeben ist. Diese Regeln werden am besten vorher mit der ganzen Klasse besprochen. So ist sichergestellt, dass alle Jugendlichen mit den Regeln einverstanden sind. Neben den Gruppenregeln müssen die einzelnen Arbeitsaufträge von der Lehrperson so aufgebaut sein, dass die Schülerinnen und Schüler diese ohne Hilfe der Lehrerin/ des Lehrers erledigen können. Denn nur so können die Schülerinnen und Schüler vollkommen selbstständig arbeiten.

Die Gruppenarbeit beginnt mit der Einteilung der Schülerinnen und Schüler in mehrere Kleingruppen. Die Gruppengröße ist abhängig von der Aufgabenstellung und sollte allen Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit geben, sich positiv an der Gruppenarbeit zu beteiligen. Die Gruppen sollten von Gruppenarbeit zu Gruppenarbeit variieren, da sich die Schülerinnen und Schüler nur so an neue Gruppenmitglieder gewöhnen können. Diese Methode kann zu eventuellen Störungen führen, da nicht immer alle Schülerinnen und Schüler miteinander arbeiten wollen oder können. Anschließend wird der Arbeitsauftrag verteilt und die Schülerinnen und Schüler sollten diesen ohne größere Probleme verstehen und ausführen können. Deswegen ist vor allem bei schriftlichen Aufträgen besonders darauf zu achten, dass eine klare Formulierung vorherrscht. Nach der Erarbeitung der Arbeitsaufträge

sollten die Schülerinnen und Schüler ihre Ergebnisse der Klasse zu präsentieren oder die Ergebnisse werden im Plenum diskutiert und verglichen.

Die Vorteile einer Gruppenarbeit präsentieren sich für Schülerinnen und Schüler auf unterschiedliche Arten. Vorrangig arbeiten die Schülerinnen und Schüler ohne die direkte Unterstützung der Lehrperson. Dadurch kann kein „Druck“ von Lehrerinnen-/Lehrerseite aufkommen und die Schülerinnen und Schüler arbeiten befreiter. Ebenso können sich Schülerinnen und Schüler gegenseitig helfen, wobei vor allem schwächere Schülerinnen und Schüler eine geringere Hemmschwelle haben und früher um Hilfe bitten. Durch das gegenseitige Helfen und durch den Erfolg eine Arbeit ohne die Hilfe der Lehrperson geschafft zu haben, steigt das Selbstvertrauen der Schülerinnen und Schüler. Neben den Vorteilen für die Schülerinnen und Schüler birgt die Methode der Gruppenarbeit auch den Vorteil, dass die Methode für die Erarbeitung eines neuen Themenkomplexes geeignet ist und eine Alternative zur lehrergesteuerten Einführung bietet.[4,27,28]

3.5. Gruppenpuzzle

Das Gruppenpuzzle ist eine Methode, welche die Schülerinnen und Schüler dazu auffordert ein Thema mittels Selbststudienmaterials selber zu erschließen und aufzuarbeiten. Der Ursprung dieser Methode liegt bei einer Gruppe von israelischen und amerikanischen Sozialpsychologen und Lehrerbildner, welche einen großen Themenbereich so verkleinern wollten, damit er für die Schülerinnen und Schüler am besten erarbeitet werden kann. Durch die Zerlegung des Themenbereiches entstand der erste Name „Laubsägentechnik“ der Methode. In den 1980iger Jahren wurde die Methode dann von Slavin weiter entwickelt.

Das Ziel der Methode ist neben dem Erwerb von neuem Wissen, dass die Schülerinnen und Schüler mehr Selbstvertrauen in ihre eigene Leistungen bekommen und dass sie erkennen, dass der Erfolg ein Teamerfolg ist. Diese Teamarbeit führt auch weiters zu einer verringerten Aggressionsbereitschaft und zeigt den Schülerinnen und Schüler, dass der Lerneffekt von dem Miteinander in der Gruppe abhängt.

Die Methode kann grob in fünf Schritte eingeteilt werden.

Im ersten Teil werden die Schülerinnen und Schüler in Kleingruppen von 4 Schülerinnen und Schüler pro Gruppe eingeteilt. Anschließend werden die Arbeitsblätter ausgeteilt.

Bei unerfahrenen Schülerinnen und Schülern muss die Methode vorher erklärt werden.

Im zweiten Schritt erarbeiten die Schülerinnen und Schüler die Themen in den Stammgruppen selbstständig. Bei eventuellen Fragen hilft die Lehrperson, ansonsten arbeiten die Schülerinnen und Schüler selbstständig.

Während des dritten Schrittes treffen sich die Schülerinnen und Schüler in den Expertengruppen und besprechen die eigene Fragestellung. Dabei werden die Schülerinnen und Schüler zu den Experten, da das Wissen gemeinsam vertieft wird.

Im vierten Schritt planen die Schülerinnen und Schüler, wie sie ihr Wissen an die „unwissenden“ Klassenkameraden weiter geben können und so aufbereiten können, dass diese es verstehen.

Im letzten Schritt treffen sich die Schülerinnen und Schüler wieder in ihren Stammgruppen und erzählen sich gegenseitig das erlernte Wissen. So bekommen alle Schülerinnen und Schüler dasselbe Wissen zugeführt und eine Schülerin oder ein Schüler übernimmt die Rolle der Lehrperson.

Die fünf Schritte sind keine fest vorgegebene Vorgabe, sondern können, je nach zeitlichen Vermögen abgeändert oder gekürzt werden. Sollte das Gruppenpuzzle so vorbereitet worden sein, dass die Lehrperson eine Nebenrolle im Unterrichtsgeschehen spielt, so wurde die Methode erfolgreich durchgeführt.[4,28,31]

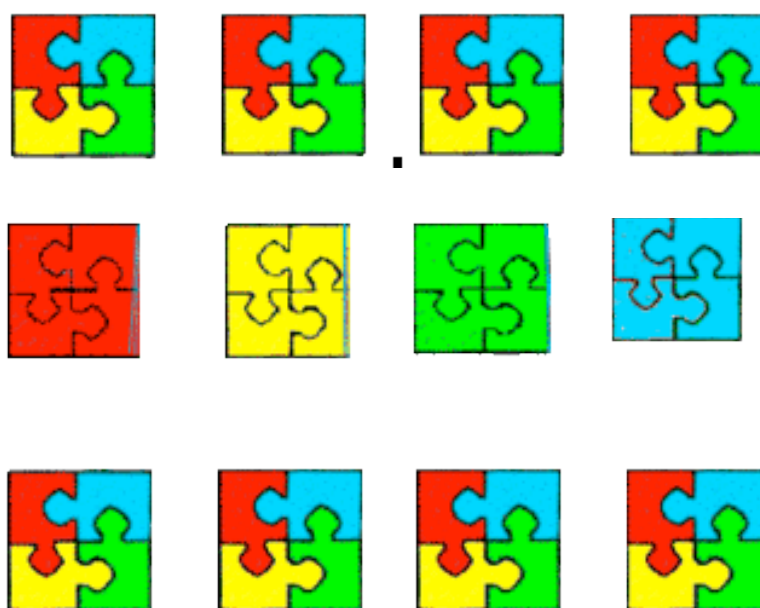


Abb. 9: Schritte 2, 3 und 5 eines Expertenpuzzles

3.6. Partnerarbeit

Über das Thema Partnerarbeit ist in der meisten Literatur nicht viel vermerkt, da viele Bildungswissenschaftler und Bildungswissenschaftlerinnen die Partnerarbeit als eine Form der Gruppenarbeit sehen. Bei der Partnerarbeit arbeiten nur zwei Personen miteinander, wobei es hier nach dem Gabler Wirtschaftslexikon nicht um eine Gruppe, sondern um eine Dyade handelt. Eine Gruppe wird erst Gruppe genannt, wenn mehr als 3 Personen/Dinge/Tiere/etc. teilnehmen.

Bei einer Partnerarbeit arbeiten zwei Schülerinnen oder Schüler zusammen und bewältigen eine Aufgabe gemeinsam. Welche Schülerinnen oder Schüler miteinander arbeiten, kann durch die Lehrperson oder durch die Kinder/Jugendlichen selbst bestimmt werden. Die Lehrperson kann bei bekannten Lernschwächen oder Lernstärken die Schülerinnen und Schüler so zusammensetzen, dass stärkere Schülerinnen und Schüler schwächeren Mitschülerinnen oder Mitschülern eine Hilfe oder Unterstützung sind. Ebenso können stärkere Schülerinnen und Schüler zusammenarbeiten und eventuell eine schwierigere Aufgabe bewältigen, als die restliche Klasse. Neben dem Vorteil der Lernunterstützung durch Mitschülerinnen und Mitschülern werden die Sozialkompetenz und Lernkompetenz besonders gefördert.[28,32] Vor allem in Klassen mit schlechter Klassengemeinschaft, hat meine Erfahrung gezeigt, dass Partnerarbeit dazu führt, dass Schülerinnen und Schüler miteinander arbeiten müssen und sich auch so privat näher gekommen sind.

Dieser Grund war meine hauptsächliche Motivation Partnerarbeit als eine der verwendeten Methoden anzuwenden. Die Versuchsklasse war zwar eine Klasse in der das Klassenklima mehr als positiv war, jedoch sind Partnerarbeiten mit nicht so vertrauten Mitschülerinnen und Mitschülern immer wieder eine Herausforderung.

3.7. Stationenbetrieb

Die Methode wurde in den 1980er-90er Jahren erstmalig in unterschiedlichen Unterrichtsfächern eingeführt. Davor war ein Stationenbetrieb nur im Sportunterricht zu finden. Nach Bauer lautet die Definition: „Lernen an Stationen beschreibt jeweils das zusammengesetzte Angebot mehrerer Lernstationen, das die Lernenden im Rahmen einer übergeordneten Thematik bearbeiten und unter Umständen teilweise mitgestalten.“ Anhand dieser Definition ist erkennbar, dass das übergeordnete Ziel der Methode eine Verbesserung der Selbstständigkeit der Schülerinnen und Schüler ist und eine Selbsterarbeitung eines Themenkomplexes erwünscht wird.

Der Stationenbetrieb kann auf verschiedene Arten aufgebaut sein. Bekanntere Beispiele sind Lernstraße, Lerntheke, Lernzirkel oder Lernzone. Alle Methoden haben denselben didaktischen Hintergrund, denn die Schülerinnen und Schüler sollen selbstständig handeln und die Aufgaben unabhängig von der Lehrperson bewältigen. Neben der Förderung der Selbstständigkeit und der eigenen Kompetenzen, wird auch bei dieser Methode die Sozialkompetenz gestärkt.

Der Aufbau des Stationenbetriebes sollte so gewählt sein, dass die Teilthemen klar eingegrenzt sind, jedoch ein überfassendes Lernziel klar formulieren. Ebenso sollten die Arbeitsanweisungen schriftlich erfolgen. So wird die Eigenständigkeit der Schülerinnen und Schüler weiter gefördert. Wilhelm H. Peterßen unterteilt den Stundenaufbau in vier Teile. Im ersten Teil sollte es zu einer Themeneinführung kommen. Hier steht die Lehrperson noch im Vordergrund. Anschließend erklärt die Lehrperson den Schülerinnen und Schülern wie die Methodik funktioniert. Die Abschnitte drei und vier sind von den Schülerinnen und Schülern klar kontrolliert, denn hier arbeiten die Schülerinnen und Schüler an den verschiedenen Aufgaben und haben eine Metainteraktion untereinander. Bei Abschnitten drei und vier besitzt die Lehrperson nur eine Nebenrolle und hilft bei eventuellen Fragen. Am Ende der Stundeneinheit sollte eine Kontrolle der Aufgaben stattfinden, jedoch sollte diese nicht durch die Lehrperson, sondern durch die Schülerinnen und Schüler selber passieren. Denn auch die gegenseitige Kontrolle und Hilfestellung bei Fehlerkorrekturen fördert die Teamfähigkeit und gibt den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, die Erfolgserlebnisse direkt wahrzunehmen.

Der Stationenbetrieb gehört zu den beliebtesten Methoden des freien Unterrichts, denn die Schülerinnen und Schüler haben die Möglichkeit in ihrem eigenen Tempo die Aufgaben zu erledigen und der Druck durch die Lehrperson ist nicht vorhanden.[25,28,30,33]

4. Gebrauchtes Wissen der Schüler und Schülerinnen

Die vorherigen Kapitel haben die wissenschaftliche und didaktische Grundlage für den praktischen Teil dieser Arbeit. Um diesen jedoch durchführen zu können, muss vorher das von der Lehrperson verlangte Wissen dokumentiert werden. Diese Überlegungen basieren auf dem vorherigen Kapiteln und werden in zwei Kategorien unterteilt, da die Schüler und Schülerinnen der 8. Schulstufe andere Lernvoraussetzungen und Vorwissen haben, als die Schüler und Schülerinnen der 11. Schulstufe. Um diese unterschiedlichen Voraussetzungen bestmöglich fördern und fordern zu können, werde ich unterschiedliche Schwierigkeitsniveaus und Fachvokabular in den einzelnen Jahrgängen verwenden. Eine strikte Trennung der Schulstufen ist nicht möglich, da auch immer das Vorwissen und Eigeninteresse der Schüler und Schülerinnen beachtet werden muss.

4.1. Unterstufe

Folgende Thematiken sollten in den Unterstufenklassen besprochen werden bzw. so aufbereitet werden, dass die Schülerinnen und Schüler einen Überblick und Wissen über die Themenbereiche haben. Der Gebrauch von Fachausdrücken sollte in der Sekundarstufe 1 auf ein Minimum reduziert werden.

- Grundkonzepte von Radioaktivität, Isotope
- Wie entsteht ein radioaktives Fluoratom? → Zyklotron
- Wie funktioniert die Bildgebung? → PET-Scan
- Was ist eine β^+ -Strahlung, gibt es noch andere Arten der Strahlung? → Die anderen Strahlungsarten sollten nur kurz wiederholt werden.
- Zucker wird zur Energiegewinnung gebraucht → Grundlagen zur Energiegewinnung im menschlichen Körper müssen besprochen werden. Hier muss darauf geachtet werden, dass vor allem Themen wie ATP oder Citratzyklus, etc. nicht zu genau angesprochen werden.
- Schutz vor Strahlung
- Qualitätskontrolle

Folgende Aspekte brauchen Schülerinnen und Schüler der Unterstufe nicht bearbeiten, da das chemische Grundwissen noch nicht vorhanden ist:

- 2-[¹⁸F]FDG-Synthese
- Genaue Glykolyse im Körper
- Funktionsweise von Targets
- Arten von Zucker
- Keine genaue Qualitätskontrolle
- Tumorbildung
- Energiehaushalt im Körper

4.2. Oberstufe

Folgende Punkte sollten in den Unterrichtseinheiten zum Thema Medizinische Radiochemie von den Schülerinnen und Schülern aufgegriffen und begriffen werden. Der Einsatz von Fachausdrücken sollte forciert werden:

- Grundkonzepte von Radioaktivität, Isotope, Strahlungsarten
- Welche Methoden gibt es, um radioaktive Elemente herzustellen? → Zyklotron – sollte vorrangig besprochen werden - , Reaktor und Generator
- Wie funktioniert die Bildgebung? → PET-Scan
- Was ist eine β^+ -Strahlung?
- Zucker wird zur Energiegewinnung gebraucht → Konzept ausnützen
- Glykolyse → optional, da der Zeitaufwand zu groß ist um es in den Regelunterricht einzubauen. Eventuell kann die Glykolyse in Freifächern genauer besprochen werden.
- Wie kommt das Radionuklid in den Körper? Targets

Folgende Aspekte müssen von den Schülerinnen und Schülern nicht bearbeitet werden. Die Lehrperson sollte aber ein Grundwissen darüber verfügen, um bei etwaigen Fragen korrekte Antworten geben zu können:

- 2-[¹⁸F]FDG-Synthese → genauer chemischer Mechanismus, warum und wie das Fluor an den Zucker bindet.
- Detaillierte Qualitätskontrolle
- Tumorbildung
- Energiehaushalt im Körper

5. Unterrichtsplanung

5.1. Informationen für die Lehrpersonen

Die beiden Unterrichtskonzepte basieren auf den Lehrplänen für die 8. und 11. Schulstufe im Fach Chemie. Da das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler in der 8. Schulstufe im Bereich von Radioaktivität noch nicht im benötigten Maße vorhanden ist, ist eine der beiden vorgesehenen Einheiten eine Stunde im Fach Physik. Hier soll für die Schülerinnen und Schüler eine Auffrischung ihrer Kenntnisse stattfinden, welche für die nachfolgende Chemiestunde benötigt werden. Es ist hier von Nöten, dass ein fächerübergreifender Unterricht stattfindet.

In der Sekundarstufe 2 sollte das Vorwissen aus Physik und die chemischen Grundlagen aus der Sekundarstufe 1, so wie die Vertiefung im zweiten bzw. dritten Lehrjahr in Chemie ausreichen, um die Grundlagen der Medizinischen Radiochemie zu verstehen und den Stationenbetrieb ohne große Hilfe seitens der Lehrperson zu bewältigen.

5.2. Unterstufe

5.2.1. Didaktischer Aufbau

Die Einheit zum Thema Medizinisch Radiochemie wird in der Unterstufe in zwei Untereinheiten aufgeteilt. Die erste Untereinheit sollte im Physikunterricht der Klasse durchgeführt werden, da vor allem physikalische Hintergründe zum Thema vermittelt werden müssten. Erst die zweite Einheit wird von der Fachprofessorin für Chemie abgehalten.

In der Physikstunde dürfen die Schülerinnen und Schüler kurz überlegen, welche Assoziationen sie mit dem Begriff „Medizinische Radiochemie“ haben und welche Möglichkeiten es geben kann, in den menschlichen Körper hineinzuschauen. Bei diesem Arbeitsschritt sollten die Schülerinnen und Schüler die Methodik des Brainstorming verwenden. Durch die Verwendung dieser Methodik, haben alle Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit ihre Ideen der ganzen Klasse zu präsentieren. Nach dem Sammeln der Ideen wird vor allem auf den PET-Scan genauer eingegangen, da dieser für das Verständnis in der darauffolgenden Chemiestunde von Nöten ist. Auf Grund der Komplexität des Themas wird der PET-Scan als Lehrervortrag in Form des Frontalunterrichtes den Schülerinnen und Schülern näher gebracht. Während des Vortages wird den Schülerinnen und Schülern die genaue Funktionsweise des PET-Scans vermittelt und die Bildgebung erklärt.

Anschließend an den Lehrervortrag bekommen die Schülerinnen und Schüler ein Arbeitsblatt und ein Kreuzworträtsel zum Ausfüllen. Diese Arbeiten sollten die Schülerinnen und Schüler in Partnerarbeit erledigen. Durch die Arbeit mit einem Partner, wird neben den fachlichen Kompetenzen auch die Sozialkompetenz geschult.

Nach der Partnerarbeit folgt ein erneuter Lehrervortrag über die verschiedenen Herstellungsarten von Radionukliden. Dieser Teil der Einheit wird wiederum als Frontalunterricht geführt, da diese Thematik viele physikalische und chemische Vorkenntnisse verlangt. Es ist daher für Schülerinnen und Schüler einer 8. Schulstufe, welche sich im ersten Lehrjahr im Fach Chemie und im dritten Lehrjahr im Gegenstand Physik befinden, nicht möglich, den Stoff selbstständig so aufzubereiten, dass vorausgesetzt werden kann, dass die Schülerinnen und Schüler dem Inhalt in der folgenden Chemiestunde folgen können. Zur Unterstützung des Lehrervortrages wurde eine Power Point Präsentation angefertigt. Diese soll den Schülerinnen und Schüler helfen die komplexe Materie zu verstehen.

Nach diesem Teil der Einheit wird die Stunde beendet.

5.2.2. Stundenplanung – Planungsmatrix – Physik

Zeit	Lehr- & Lernziel	Thema/Inhalt	Methoden	Medien	Aktivitäten des Lehrenden	Aktivitäten der Lernenden	(Selbst-) Reflexion	Kompetenzen
5 Minuten		Was wissen die S/S über Medizinische Radiochemie, Radioaktivität?	Plenumsdiskussion	Tafel	Hilfestellung geben	Wortmeldung	Arbeiten die S/S mit?	
10 Minuten		Wie kann man in den Körper sehen? CT, MR, PET, SPECT, Röntgen	Brainstorming	Tafel	Hilfestellung geben	Wortmeldung	Arbeiten die S/S mit?	Redekompetenz
10 Minuten		PET-Scan genauer erklären	Lehrervortrag	PPP	Vortrag über das Thema halten	Aufpassen und mitdenken	Verstehen die S/S die Erklärung von der Lehrperson?	
15 Minuten		Radioaktivität, Arten der Strahlung	Partnerarbeit: Arbeitsblatt lesen und Kreuzworträtsel ausfüllen	Arbeitsblätter	Hilfestellung bei Fragen geben	Arbeitsblätter lesen und Fragen beantworten	Lesen die S/S die Arbeitsblätter und können sie die Fragen beantworten?	H-W2 N 2 Sozialkompetenz
10 Minuten		Herstellungsmöglichkeiten (Zyklotron, Reaktor, Generator)	Lehrervortrag	PPP	Vortrag halten	Aufpassen und Mitdenken	Verstehen die S/S den Vortrag der Lehrkraft?	

5.2.3. Stundenplanung – Planungsmatrix – Chemie

Zeit	Lehr- & Lernziel	Thema/Inhalt	Methoden	Medien	Aktivitäten des Lehrenden	Aktivitäten der Lernenden	(Selbst-) Reflexion	Kompetenzen
7 Minuten		Was wissen die S/S noch aus der vorherigen Physikstunde?	Brainstorming	Tafel	Hilfestellungen geben	Wortmeldungen	Arbeiten die S/S mit?	
3 Minuten		Gruppeneinteilung		UNO-Karten	Gruppeneinteilung koordinieren	UNO-Karten „ziehen“	Wissen die S/S in welchen Gruppen sie eingeteilt wurden?	Sozialkompetenz
30 Minuten			Expertenpuzzle 15 Minuten durchlesen und in Expertengruppen diskutieren 15 Minuten 2. Teil vom Puzzle (3 Minuten pro Person)	Handouts	S/S bei Fragen helfen	Arbeitsblätter lesen und dann innerhalb der Gruppe diskutieren → in Expertengruppen gehen und hintereinander den Themenbereich erklären	Verstehen die S/S die Arbeitsblätter? Können die S/S ihren MitschülerInnen die Texte erklären?	H-W1 H-S 2 Sozialkompetenz Lesekompetenz
10 Minuten		Pro/Contra von Nuklearmedizin	Plenumsdiskussion	Tafel	Diskussionsleitung	S/S sollen die Diskussion führen und ihre Standpunkte vertreten	Kommt eine Diskussion innerhalb der Klasse zustande?	N1 Sprachkompetenz

5.2.4. Kompetenzmodell der Unterstufe

Das Kompetenzmodell der Unterstufe ist für die naturwissenschaftlichen Fächer Biologie, Physik und Chemie gemeinsam aufgebaut. Aufgebaut ist das Modell aus Handlungsdimension (H), Anforderungsdimension (N) und den fächerspezifischen Inhaltsdimensionen (I).

Die Handlungsdimension ist in drei Unterkategorien unterteilt, welche die Dimension genauer beschreiben. Der erste Unterpunkt ist „Wissen organisieren: Aneignen, Darstellen, Kommunizieren“ und beschreibt vier Ebenen:

- W1 → Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik beschreiben und benennen.
- W2 → Aus unterschiedlichen Medien und Quellen fachspezifische Informationen entnehmen.
- W3 → Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm ...) darstellen, erklären und adressatengerecht kommunizieren.
- W4 → Die Auswirkungen von Vorgängen in Natur, Umwelt und Technik auf die Umwelt und Lebenswelt erfassen und beschreiben.

Die zweite Unterkategorie beschreibt, dass die Schülerinnen und Schüler Erkenntnisse über Fragen, Interpretationen oder Untersuchungen gewinnen können. Diese Kategorie ist ebenfalls in vier Ebenen aufgebaut.

- E1 → Zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Beobachtungen machen oder Messungen durchführen und diese beschreiben.
- E2 → Zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen und Vermutungen aufstellen.
- E3 → Zu Fragestellungen eine passende Untersuchung oder ein Experiment planen, durchführen und protokollieren.
- E4 → Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren (ordnen, vergleichen, Abhängigkeiten feststellen) und interpretieren.

Die folgende Unterkategorie beschreibt die Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler selbstständig Schlüsse, durch Bewerten, Entscheiden und Handeln zu ziehen. Hier gibt es

ebenfalls vier Subdimensionen:

- S1 → Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen aus naturwissenschaftlicher Sicht bewerten und Schlüsse daraus ziehen.
- S2 → Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft erkennen, um verantwortungsbewusst zu handeln.
- S3 → Die Bedeutung von Naturwissenschaft und Technik für verschiedene Berufsfelder erfassen, um diese Kenntnis bei der Wahl meines weiteren Bildungsweges zu verwenden.
- S4 → Fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren und naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Argumentationen und Fragestellungen unterscheiden.

Die Handlungsdimension ist so aufgebaut, dass diese Kompetenz von den Schülerinnen und Schülern alleine oder im Team erarbeitet werden kann.

In dieser Arbeit werden die Kompetenzen W1 und S2 gefördert und von den Schülerinnen und Schülern erlernt.

Die Anforderungsdimension (N) hat drei unterschiedliche Niveaus, welche die Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler genauer beschreibt. Umso mehr Erfahrung die Jugendlichen mit selbstständigem Arbeiten haben, desto höher kann das Anforderungsniveau geschraubt werden. Das erste Niveau, welches auch in dieser Unterrichtsplanung zu finden ist, beschreibt eine sehr angeleitete Arbeit, welche mit einfachen Mitteln und Worten untersucht und beschrieben werden soll. Diese Stufe verlangt ein stark reproduziertes Handeln, welches von der Lehrperson angeleitet wird.

Die Inhaltsdimension beschreibt die Fähigkeiten der Schülerinnen und Schüler, Informationen über bestimmte Themenbereiche zu haben und diese wiedergeben zu können. In diesem Projekt wurden die Inhalt C5 und P5 behandelt. C5 spiegelt die Biochemie und Gesundheitserziehung. Die Schülerinnen und Schüler sollen Wissen über Medikamente bekommen. P5 beinhaltet den Aufbau der Materie und somit radioaktiven Zerfall und seine Eigenschaften.[34]

5.2.5. Benötigte Materialien und Fachausdrücke

In der 8. Schulstufe wird neben den Arbeitsblättern, welche für alle Schülerinnen und Schüler zur Verfügung stehen sollten, und den Power Point Präsentationen kein weiteres externes Unterrichtsmaterial benötigt. Erfordert werden jedoch ein Beamer, Laptop oder Standcomputer und eine Tafel. Es steht der unterrichtende Lehrperson frei, ob sie eine Power Point Präsentation verwenden möchte oder ob Overhead-Folien oder ein anderes Bildmaterial verwendet wird. Es ist aber von großer Notwendigkeit, den Schülerinnen und Schülern so viele Bilder wie möglich zu zeigen, denn das Verständnis der Schülerinnen und Schüler hängt vor allem bei so einem komplexen Thema stark von der visuellen Unterstützung und Erklärung ab. Durch diese bildliche Darstellung der Lerninhalte können die Schülerinnen und Schüler den Inhalt besser kognitiv verarbeiten.

Die Verwendung der Fachausdrücke sollte in dieser Schulstufe auf ein Minimum beschränkt werden, jedoch sollten keine Substituenten oder andere Wörter für Fachausdrücke eingesetzt werden, wenn die Fachbegriffe zu komplex oder verwirrend wären. Die beste Lösung wäre eine Umschreibung für diese Begriffe zu finden. Ein Beispiel dafür wäre, dass 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose nicht durchgehend so bezeichnet, sondern, dass die vereinfachte Variante 2-[¹⁸F]FDG genommen werden könnte. Ungeeignet wäre es 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose einen neuen Namen zu geben, welcher nur den Schülerinnen und Schülern der spezifischen Klasse bekannt wäre, denn so kennen diese Kinder keine allgemein gültige Bezeichnung für die Substanz und eine eventuelle Verwirrung, wenn in anderen Fächern oder später darüber gesprochen wird, könnte entstehen.

In den gehaltenen Stunden wurde ein Minimum an Fachausdrücken verwendet und es hat sich herausgestellt, dass die Schülerinnen und Schüler gut damit umgehen konnten.

Bei der Verwendung von spezifischen Begriffen und Definitionen, sollten diese ganz genau besprochen werden, denn eine Verwirrung der Schülerinnen und Schüler würde sonst folgen. Vor allem bei Molekülnamen, wie hier bei 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose, muss den Schülerinnen und Schülern genau definiert werden, welche Bedeutung der Zweier vor dem Namen hat und was ¹⁸F bedeutet.

Fachausdrücke im physikalischen Teil der Einheit können verstärkt eingesetzt oder gar wiederholt werden, da die Schülerinnen und Schüler sich schon im dritten Lehrjahr befinden und einen Grundwortschatz aufgebaut haben. Jedoch sollte immer auf die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler eingegangen werden und etwaige neue oder noch nicht so bekannte Begriffe wiederholt und erneut erklärt werden.

5.2.6. Arbeitsblätter

Die Arbeitsblätter unterteilen sich in Arbeitsaufträge für den Gegenstand Physik und Chemie. Um eine Wiederholung des neu gelernten Stoffes zu garantieren und eine Festigung des Stoffes zu gewährleisten, wurde ein Kreuzworträtsel ausgeteilt. Dieses wurde als Partnerarbeit gemacht.

In der darauffolgenden Chemiestunde wurde ein Expertenpuzzle gemacht. Diese Arbeitsblätter zeigen die unterschiedlichen Themenbereiche für das Überthema „Medizinische Radiochemie“.

Die Arbeitsblätter wurden nach den gehaltenen Stunden leicht verändert und dem Schwierigkeitsgrad angepasst.

Fragen

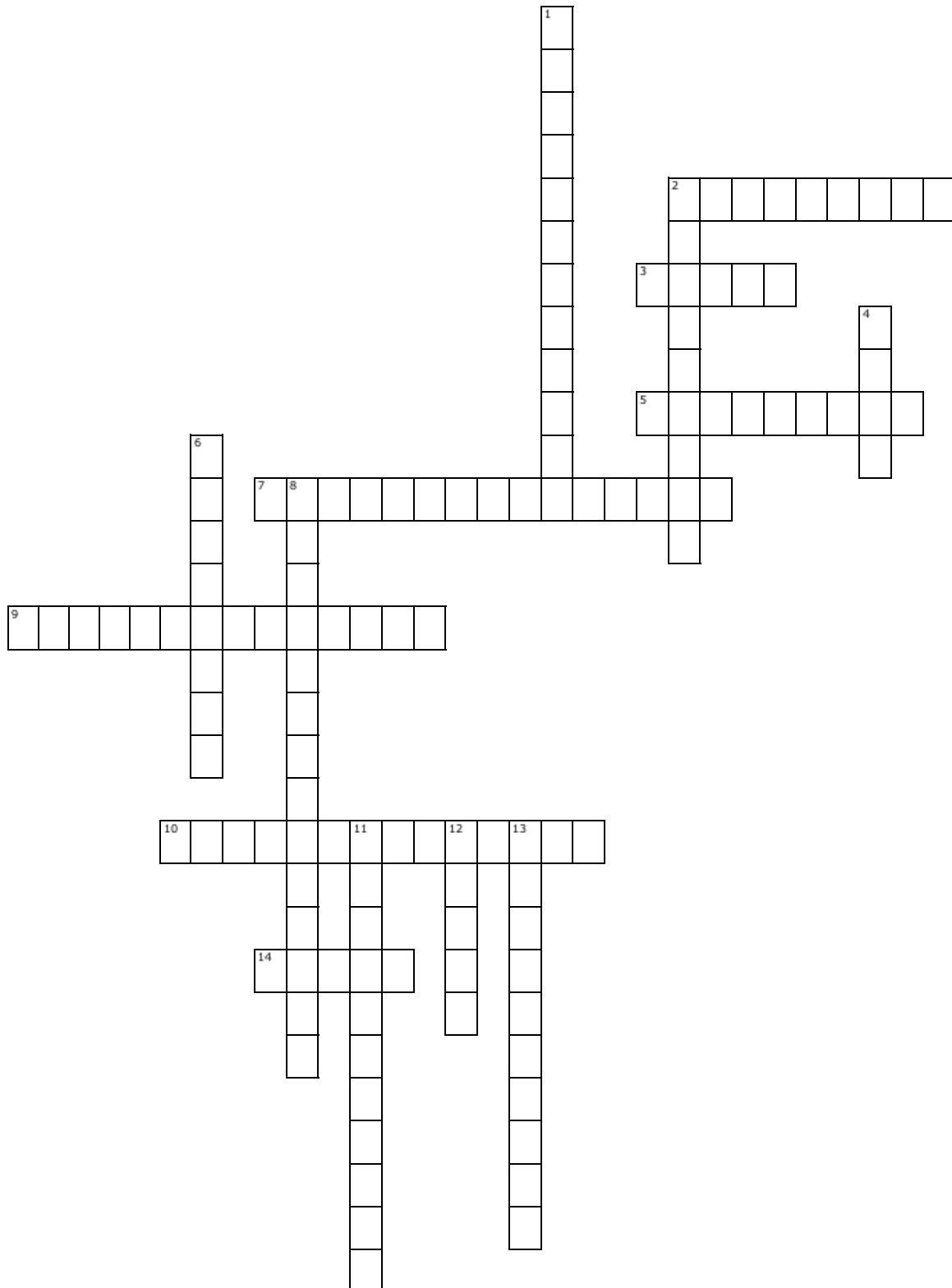
Waagrecht:

2. Mit welchem Element kann Betastrahlung abgeschirmt werden?
3. Welche physikalische Größe bestimmt die Gefährlichkeit von Radioaktivität?
5. Von welcher Person wurde die Radioaktivität entdeckt?
7. Wofür kann die Gammastrahlung eingesetzt werden?
9. Welche Strahlung kann nur mit Bleiblöcken abgehalten werden?
10. In welchem Jahrhundert wurde die Radioaktivität entdeckt? (xx.xxxxxxxxxxx)
14. Von wem wurde der Name Radioaktivität eingeführt?

Senkrecht:

1. Mit welchem Gerät kann Strahlung gemessen werden?
2. Welcher Bestandteil des Atoms wandelt sich bei instabilen Atomen um?
4. In wie viele Arten kann die Bestrahlung unterteilt werden?
6. Was ist das Antiteilchen zum Elektron?
8. Wie heißt die Strahlungsart mit der höchsten Energie?
11. Wie werden Atome mit instabilen Kernen genannt?
12. Für wen kann radioaktive Strahlung unter anderem gefährlich sein?
13. Was kann mit einem PET-Scan entdeckt werden?

Radioaktivität



Radiopharmaka

Radiopharmaka sind Arzneimittel, die in der Nuklearmedizin eingesetzt werden. Diese Medikamente bestehen aus einem radioaktiven Bestandteil, der an einen sogenannten „Carrier“ gebunden ist. Mit Hilfe des „Carrieres“ wird der radioaktive Bestandteil an seinen Wirkungsort im Körper gebracht. Vorrangig werden Radiopharmaka im Bereich der Diagnostik eingesetzt.

Im Gegensatz zu Röntgenbildern wird bei einer Untersuchung mit Radiopharmaka kein stationäres Bild (z.B. Bild von einem gebrochenen Knochen) aufgenommen, sondern Stoffwechseleränderungen im Körper. Die Auswahl des Radioisotops hängt von der Halbwertszeit (in dieser Zeit zerfällt die Hälfte des vorhandenen Isotops), der Strahlungsart und den physikalischen Eigenschaften ab. Halbwertszeiten von nur einigen Stunden sind in der Diagnostik erwünscht. Jedoch darf die Halbwertszeit nicht zu gering, also nur einige wenige Minuten sein, da sonst keine Zeit für die Herstellung und Verabreichung vorhanden wäre.

Eingesetzt werden Radiopharmaka hauptsächlich in der Tumordiagnose, Metastasenfindung und Entzündungsabklärung. Welche Art von Krebs detektiert werden kann, hängt von der unterschiedlichen Aufnahme im betroffenen Gewebe ab. Lungenkrebs nimmt andere Radiopharmaka auf, als ein Gehirntumor oder die Schilddrüse.

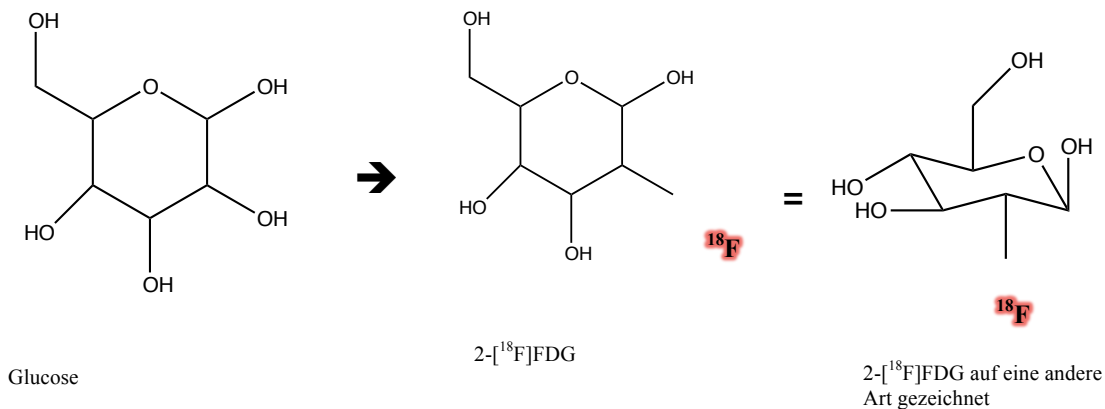
Weltweit wird häufig 2-[¹⁸F]FDG, 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose, für die Tumordiagnose eingesetzt. 2-[¹⁸F]FDG ist ein Zuckermolekül mit radioaktivem Fluor anstelle einer OH-Gruppe.

Neben der Diagnose können Radiopharmaka auch in der Therapie eingesetzt werden. Hierbei wird das radioaktive Arzneimittel so nahe wie möglich an die gewünschte Stelle gebracht und die ausgesendete Strahlung zerstört die Tumorzellen. Neben den krankhaft veränderten Zellen können auch gesunde Zellen zerstört werden, da die Reichweite der Strahlung über den Zelldurchmesser hinausgeht. Doch auch hier werden mehr Krebszellen, als gesunde Zellen zerstört und der Nutzen ist größer als der angerichtete Schaden.

Was ist 2-[¹⁸F]FDG und wie wird es hergestellt?

2-[¹⁸F]FDG wird auch 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose genannt. Dieser Name setzt sich aus mehreren Bestandteilen zusammen:

- 2- zeigt die Position des Fluors im Molekül an
- [¹⁸F]Fluor bedeutet, dass ein radioaktives Fluor an dem Zucker hängt
- die Silbe „desoxy“ heißt, dass ein Sauerstoff aus dem Ursprungsmolekül entfernt wurde
- die Endung „-glucose“ zeigt an, dass es sich bei diesem Molekül, um einen bestimmten Zucker handelt



Die Herstellung von 2-[¹⁸F]FDG erfolgt über mehrere Schritte:

Zuerst muss das radioaktive Isotop ¹⁸F hergestellt werden. Dies geschieht in einem Zyklotron. Dafür wird ein ¹⁸O-Atom, welches in spezielles Wasser eingebaut ist, mit Protonen beschossen. Das Sauerstoffatom nimmt das Proton auf und gibt ein Neutron dabei ab. Durch diese Kernreaktion (= eine Reaktion im Atomkern) entsteht das ¹⁸F-Isotop. Dieses Isotop, welches in Wasser gelöst vorliegt, wird vom Zyklotron über eine abgeschirmte Leitung ins Labor transportiert. Dort wird es in einem Gerät vom Wasser abgetrennt und dann anstelle einer OH-Gruppe an das Glucosemolekül gebunden. Anschließend muss das 2-[¹⁸F]FDG noch von Nebenprodukten abgetrennt und auf Reinheit kontrolliert werden. Bei der Kontrolle wird vor allem darauf geschaut, dass keine toxischen Verunreinigungen vorliegen und sich keine Keime in der Lösung befinden, da sonst die Patientinnen und Patienten daran erkranken könnten.

Wie funktioniert die Bildgebung mit 2-[¹⁸F]FDG?

Wird bei einer Patientin/einem Patienten ein Tumor oder eine Entzündung vermutet, so hat man die Möglichkeit bei dieser Person ein PET-Scan mit 2-[¹⁸F]FDG zu machen. Hierfür wird der Patientin/dem Patienten das 2-[¹⁸F]FDG über eine Injektion mit einer Nadel verabreicht. Damit gewährleistet wird, dass sich der radioaktive Zucker nur an den gewünschten Stellen anlagert, darf sich die Patientin/der Patient nicht mehr viel bewegen und sollte sich auch in einem abgedunkelten Raum befinden, damit die äußeren Reize auf ein Minimum begrenzt sind, denn auch das Gehirn hat einen sehr hohen Energiebedarf und lagert viel Zucker ein. Vor der Verabreichung des Radionuklids muss die Patientin/der Patient noch einmal seine Blase entleeren. Durch diese Maßnahme, lagert die Blase selbst nicht zu viel 2-[¹⁸F]FDG ein. Würde dies nicht gemacht werden, so wäre auf den PET-Bildern die Blase zu deutlich zu sehen und das umliegende Gewebe könnte nicht genau betrachtet werden.

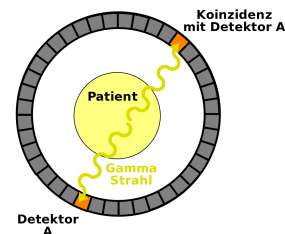
Nach einiger Zeit, bei der abgewartet wird, dass sich der radioaktive Zucker im Körper verteilt, wird die Patientin/der Patient in den Untersuchungsraum gebracht. Dort wird mittels des PET-Scans die ausgesandte Strahlung aufgefangen und im Computer in ein 2D- oder 3D-Modul umgewandelt. Mit diesem können die Ärztinnen/Ärzte den Tumor oder die Entzündung lokalisieren und einen Behandlungsplan erstellen.

Die ausgesandten Strahlen sind Gammastrahlen, welche beim Aufeinandertreffen von Elektron und Positron (Antiteilchen vom Elektron) entstehen.

Für Diagnosen im Gehirn ist 2-[¹⁸F]FDG nicht gut geeignet, da auch gesunde Zellen zu viel Zucker einlagern würden und dadurch keine Diagnose gestellt werden kann. Die Darstellung von Veränderung im Gehirn kann aber durch modifizierte (veränderte)

Aminosäuren geschehen. Diese werden ebenso wie alle anderen Radionuklide im Körper eingebaut, senden dann aber Strahlung, die detektiert werden kann, ab.

Mit [¹³N]Ammoniak kann die Herzmuskeldurchblutung angeschaut werden. Für die Diagnose bei Knochenmetastasen wird z.B. [¹⁸F]Natriumfluorid eingesetzt. Dieses Radiopharmakon wird vom Körper als Knochenaufbaumaterial identifiziert und so in großen Mengen im Knochen eingelagert. Wichtig bei den Radiopharmaka ist, dass sie immer speziell auf ein Organ oder einen Stoffwechsel abzielen und nicht im ganzen Körper eingelagert werden. Wäre das der Fall, so hätte das Radiopharmakon keinen diagnostischen Wert mehr, da die Ärztin/der Arzt keine gezielte Diagnose mehr stellen könnte.



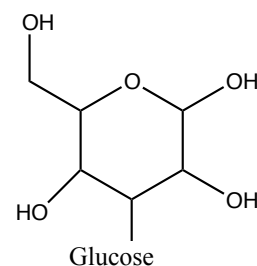
Wie wird im Körper Energie gewonnen?

Damit der Mensch laufen, gehen oder einen Stift aufheben kann, muss der menschliche Körper Energie gewinnen. Diese Energie wird aus der aufgenommenen Nahrung gewonnen und verbraucht. Die Nahrung besteht zum Großteil aus Kohlenhydraten, Fett, Eiweißstoffen und Vitaminen. Sowohl Fett als auch Kohlenhydrate können für die Energiegewinnung verwendet werden.

Kohlenhydrate kommen viel in Getreide (Mais, Hafer, Roggen, Weizen) vor, welches dann zu Lebensmitteln verarbeitet wird. Die Kohlenhydrate werden über das Essen aufgenommen und anschließend in die einzelnen Bestandteile aufgespaltet. Hierbei ist vor allem der Zucker – im speziellen die Glucose – sehr wichtig. Jede Zelle im Körper kann Glucose aufnehmen und wieder abgeben. In den verschiedenen Zellen wird der Zucker entweder für die Energiegewinnung verwendet oder gespeichert. Diese gewonnene Energie wird dann für Muskelkontraktionen, Gehirnaktivität oder andere Prozesse im Körper gebraucht.

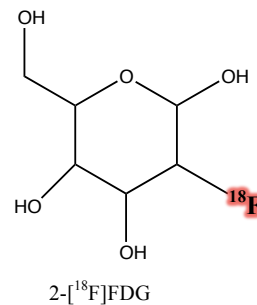
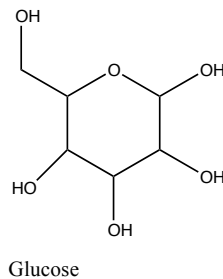
Der Glucosegehalt im Blut wird für die schnell verfügbare Energie im Körper verwendet. Dies ist vor allem bei gesteigerter Aktivität, wie Sport aber auch beim Lernen, besonders wichtig. Der Blutzuckerspiegel (=Glucosegehalt im Blut) sollte nicht zu niedrig oder zu hoch sein. Durch die Verdauung kommt der Zucker in das Blut. Im Darm wird der Nahrungsbrei weiterverarbeitet und die Glucose wird ins Blut abgegeben. Bei Nahrungsmitteln mit langen Glucoseketten (z.B. Stärke) muss zuerst die Kette in die einzelnen Glucosemoleküle zerlegt werden, bevor diese ins Blut übergehen können.

Die Glucose wird in der Zelle dann zur Adenosintriphosphat (ATP)-Gewinnung gebraucht. Dieses ATP ist die Energie für die Muskeln und das Gehirn. Wichtig für die ATP-Gewinnung ist, dass der Körper immer genug Sauerstoff zur Verfügung hat.



Wieso bleibt 2-[¹⁸F]FDG in der Zelle?

2-[¹⁸F]FDG (2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose) schaut dem richtigen Zucker, speziell Glucose, sehr ähnlich. Einzige OH-Gruppe wurde durch ein radioaktives Fluorisotop ersetzt.



Durch diese große Ähnlichkeit kann der Körper keinen Unterschied zwischen einem herkömmlichen Zucker und dem modifizierten (verändertem) Zucker feststellen. Deswegen gelangt 2-[¹⁸F]FDG in den Blutkreislauf und wird dann zu den Stellen im Körper transportiert, die einen erhöhten Zuckerbedarf haben.

Diese Orte sind vor allem Tumore, Metastasen oder Entzündungen, aber auch das gesunde Gehirn braucht viel Energie zum Arbeiten, weswegen auch hier 2-[¹⁸F]FDG aufgenommen wird. Speziell Krebszellen brauchen sehr viel Energie für die Zellteilung und Verbreitung. Diese Energie wird ihnen durch die Aufnahme von Zucker gegeben.

„Normaler“ Zucker würde in der Zelle dann weiter verarbeitet und zerteilt werden, so dass am Schluss Energie gewonnen werden kann. Durch das Radioisotop Fluor-18 anstelle einer OH-Gruppe, kann das 2-[¹⁸F]FDG nicht vollständig abgebaut werden. So erfolgt auch kein Energiegewinn für die Zelle.

Eine Therapie mit 2-[¹⁸F]FDG ist aber nicht möglich, da jede Zelle im Körper, also auch eine gesunde Zelle, 2-[¹⁸F]FDG aufnimmt und alle Zellen geschädigt werden würden.

Wird bei einer Patientin oder einem Patienten nun ein Tumor oder eine Entzündung vermutet, so kann bei dieser Person ein PET-Scan mit 2-[¹⁸F]FDG gemacht werden, um die krankhafte Veränderung lokalisieren zu können.

5.2.7. Mögliche Verschränkungen mit anderen Fächern

In der Originalplanung der 8. Schulstufe ist eine Verschränkung mit dem Fach Physik eingeplant. Diese Zusammenarbeit ist für die Schülerinnen und Schüler von großer Bedeutung, da einige Lehrinhalte in der Physikstunde erklärt und wiederholt werden müssen. Vor allem die Bedeutung der unterschiedlichen radioaktiven Strahlungsarten und ihr Nutzen in der Medizin sollte im Physikunterricht behandelt werden. Ebenso kann die Funktion eines PET-Scans detaillierter besprochen werden, da die Fachlehrerin/der Fachlehrer die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler kennt und auf diesen aufbauen kann.

Ein weiteres Fach, mit dem interdisziplinär gearbeitet werden kann, ist Biologie. Hier würden die Schülerinnen und Schüler den biologischen Hintergrund der Funktion von 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose kennen lernen. Eine detaillierte Erklärung ist in der Chemiestunde nicht möglich, es ist jedoch wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler die metabolische Aufnahme im Körper verstehen können. Neben diesem Lerninhalt kann auch Allgemeines über Radioaktivität und deren Gefahr für Natur und Menschen besprochen werden. Ein Themenbereich, welcher erst in Oberstufe behandelt wird, ist die Entstehung von Tumoren und Metastasen. Dieses Kapitel kann in der 8. Schulstufe angesprochen werden, sollte aber nicht zu detailreich behandelt werden, da dies für die Schülerinnen und Schüler zu komplex sein könnte. Die Bearbeitung des Themas ist jedoch für die Chemie sehr hilfreich, denn damit hätten die Schülerinnen und Schüler das Hintergrundwissen und würden verstehen, wieso Radionuklide in der Medizin so eine große Bedeutung haben. Ein weiterer Themenbereich wäre die Energiegewinnung im Körper. Dieser Mechanismus wird von 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose ausgenutzt, um in den Tumor oder in die Metastase zu gelangen und sollte daher von den Schülerinnen und Schülern verstanden werden. Auch dieses Wissen hilft den Jugendlichen 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose zu verstehen und zu erkennen, wie es chemisch im Körper wirkt.

In der 8. Schulstufe ist eine Verschränkung mit den beiden anderen naturwissenschaftlichen Fächern ausreichend. In Bilingualen Schulen kann auch ein Teil des Unterrichtes auf Englisch abgehalten werden. Jedoch ist dies nur zu empfehlen, wenn die Schülerinnen und Schüler einen guten Grundwortschatz an englischen Vokabeln haben.

5.3. Oberstufe

5.3.1. Didaktischer Aufbau

Die Einheit in der 11. Schulstufe wird auf zwei Unterrichtsstunden Chemie aufgeteilt. Von Vorteil wäre eine Doppelstunde oder eine Laboreinheit, da die Arbeitsaufträge von den Schülerinnen und Schülern in einem Stück bearbeitet werden können. Sollte keine Doppelstunde zur Verfügung stehen, kann die Einheit auch nach 50 Minuten unterbrochen werden und die Arbeiten werden in der darauffolgenden Stunde weitergeführt.

Zu Beginn der Stunde wird ein Brainstorming von ungefähr 10 Minuten durchgeführt. Hier sollen die Schülerinnen und Schüler darüber nachdenken, welche Assoziationen sie mit dem Thema Medizinische Radiochemie haben und welche Vorstellungen oder Ideen sie haben könnten, falls sie mit dem Begriff per se wenig anfangen können. Nach den verschiedenen Wortmeldungen, welche von den Schülerinnen und Schülern auf die Tafel geschrieben werden, werden diese kurz besprochen. Eine weitere Diskussion darüber ist nicht notwendig, da die Arbeitsblätter die erwähnten Themengebiete abdecken.

Anschließend findet ein kurzer Lehrervortrag über die Entdeckungsgeschichte der medizinischen Radiochemie statt. Hier liegt der Fokus auf der Entdeckung des 2- ^{18}F]FDG. Dieser Abschnitt der Einheit sollte nicht länger als fünf Minuten dauern, da er nur eine kurze Einstiegsinformation geben soll.

Die darauffolgende Gruppeneinteilung in Dreierteams kann nach dem Belieben der Lehrperson erfolgen. In der gehaltenen Einheit habe ich mich für Zettel mit verschieden farbigen Punkten entschieden. Jede andere Methode ist aber genauso erfolgreich und kann ausgewählt werden.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler sich in den Gruppen zusammengetan haben, beginnt der Hauptteil der Einheit. Hierbei arbeiten die Schülerinnen und Schüler selbstständig an den verschiedenen Stationen. Von Vorteil wäre ein Klassenraum, in dem sich die Kleingruppen frei bewegen können. So können verschiedene Stationen aufgebaut werden und die Schülerinnen und Schüler haben während der einzelnen Arbeitsaufträge die Möglichkeit, eine kurze Pause zu machen. Sollte so ein Klassenraum nicht vorhanden sein, so kann die Gruppenarbeit so gestaltet werden, dass die Schülerinnen und Schüler sich die verschiedenen Arbeitsaufträge hintereinander abholen. Die Lehrperson hat in dieser Arbeitsphase nur eine untergeordnete Rolle. So soll sich diese nur im Fall einer Frage seitens einer Schülerin oder eines Schüler in das Unterrichtsgeschehen einbauen.

Nach dieser Phase der Unterrichtseinheit ist eine Diskussionsphase von ungefähr 20 Minuten geplant. Bei Klassen, welche mit Plenumsdiskussionen nicht vertraut sind, sollte die

Lehrperson die Diskussionsleitung übernehmen. In geübteren Klassen, kann diese Aufgabe auch eine Schülerin oder ein Schüler übernehmen. Das Thema der Diskussion sollten die Vor- und Nachteile der Nuklearmedizin sein. Hierbei teilen sich die Schülerinnen und Schüler selbstständig in zwei Gruppen auf. Für die Einteilung der Gruppen sollte aber keine zu lange Vorbereitung eingeplant werden, denn die Schülerinnen und Schüler haben sich schon in der restlichen Einheit mit dem Thema befasst und eine eigene Meinung gebildet. Dieser Punkt kann aber variabel weggelassen werden, falls es die Zeit nicht erlaubt. Diese Plenumsdiskussion kann als Wissensüberprüfung angesehen werden, da die Schülerinnen und Schüler ihre eigene Meinung und ihr Wissen der Klasse präsentieren müssen.

5.3.2. Stundenplanung

–

Planungsmatrix

10 Minuten	Die S/S sollen sich trauen ihre eigenen Vorstellungen und Ideen der Klasse zu präsentieren	Was für Vorstellungen haben die S/S von dem Thema?	Brainstorming	Tafel	Koordination der Wortmeldungen	Wortmeldungen	Melden sich die S/S oder muss die Lehrperson Hilfestellungen geben?	
5 Minuten		Entdeckungsgeschichte	Lehrervortrag	PPP	Vortrag halten	Aufpassen und mitdenken	Verstehen die S/S den Vortrag? Stellen die S/S Fragen?	
5 Minuten		Gruppeneinteilung (3er Gruppen)			Gruppeneinteilung koordinieren	Sich in den richtigen Gruppen zusammenfinden	Wissen die S/S in welche Gruppen sie gehören?	Sozialkompetenz
60 Minuten			Stationenbetrieb, Gruppenarbeit	Arbeitsblätter, ...	Hilfestellungen leisten, wenn Fragen auftauchen	Arbeitsblätter bearbeiten	Verstehen die S/S die Arbeitsblätter? Arbeiten die S/S die Arbeitsblätter aus?	H – WO 2 H- WO 4 Sozialkompetenz
20 Minuten		Pro-Contra von Nuklearmedizin erarbeiten sich in 2 Gruppen Pro-Contra → dann Diskussion	Podiumsdiskussion 2 Gruppen 10 Minuten Vorbereitungszeit 10 Minuten Diskussion		Diskussion leiten	Mitdiskutieren und aufpassen, was die andere Position sagt	Diskutieren die S/S mit? Verstehen die S/S die unterschiedlichen Positionen?	H- KO 1 H – KO 4

5.3.3. Kompetenzmodell der Oberstufe

In der Oberstufe ist das Kompetenzmodell ident zu dem Modell der Unterstufe aufgebaut. Es gibt ebenfalls die Handlungskompetenz und unterschiedliche Anforderungsniveaus. Ebenso ist der Lehrplan, welcher vom Bundesministerium für Bildung und Frauen ausgegeben wird, enthalten.

Die Handlungskompetenz setzt sich aus drei Unterkategorien zusammen, welche wiederum in fünf bis sieben Ebenen unterteilt ist.

Die erste Unterkategorie beschreibt die Fähigkeit von Schülerinnen und Schülern Wissen mittels Recherchieren, Darstellen und Kommunizieren zu organisieren. Die fünf Ebenen lauten folgendermaßen:

- WO 1 → unterschiedliche, relevante Quellen ausfindig machen und daraus fachspezifische Informationen entnehmen.
- WO 2 → Daten sowie Vorgänge und Phänomene in Natur, Umwelt und Technik in verschiedenen Formen (Text, Grafik, Tabelle, Bild, Diagramm, Modell, ...) adressatengerecht darstellen, erläutern und diskutieren.
- WO 3 → Fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren.
- WO 4 → Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten aus anderen Disziplinen heranziehen, um naturwissenschaftliches Wissen zu organisieren.
- WO 5 → Die Bedeutung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse für die Entwicklung von Zivilisation und Kultur darstellen, erläutern und diskutieren.

Eine weitere Unterkategorie stellt die Fähigkeiten der Jugendliche dar, Erkenntnisse durch Fragen, Untersuchungen und Recherchen zu gewinnen. Die Unterebenen beinhalten folgende Aspekte:

- EO 1 → Zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, ...) durchführen und protokollieren.
- EO 2 → Daten und Ergebnisse von Untersuchungen analysieren.
- EO 3 → Zu naturwissenschaftlichen Fragen, Vermutungen und Problemstellungen eine passende Untersuchung (Beobachtung, Messung, Experiment, ...) planen.
- EO 4 → Naturwissenschaftliche Modelle verwenden, um Daten und Ergebnisse von

Untersuchungen sowie Vorgänge und Zusammenhänge zu erklären.

- EO 5 → Zu Vorgängen und Phänomenen in Natur, Umwelt und Technik Fragen stellen, Vermutungen aufstellen und Problemstellungen definieren, die mit Hilfe naturwissenschaftlichen Kenntnisse und Untersuchungen bearbeitet bzw. überprüft werden können.
- EO 6 → Auf der Basis von Daten und Untersuchungsergebnissen sowie deren Interpretation Hypothesen über Vorgänge und Zusammenhänge aufstellen.
- EO 7 → Die Relevanz von Untersuchungsergebnissen im Hinblick auf eine konkrete Frage, Vermutung oder Problemstellung einschätzen.

Die letzte Unterkategorie befasst sich mit der Fähigkeit der Schülerinnen und Schüler Konsequenzen zu ziehen. Operatoren dazu sind Bewerten, Entscheiden und Handeln. Hier gibt es ebenso Ebenen, welche den Fähigkeiten der Jugendlichen angepasst sind.

- KO 1 → fachlich begründete Bewertungskriterien wiedergeben.
- KO 2 F naturwissenschaftliche von nicht-naturwissenschaftlichen Fragestellungen und Argumentationen unterscheiden.
- KO 3 → Konkurrierende Interpretationsmöglichkeiten gegeneinander abwägen und auf dieser Basis Entscheidungen treffen.
- KO 4 → Daten, Fakten und Ergebnisse aus verschiedenen Quellen sowie Schlussfolgerungen kritisch hinterfragen und Gründe für deren Annahme oder Verwerfung angeben.
- KO 5 → Einen Problemlöseprozess kritisch reflektieren und gegebenenfalls alternative Strategien entwickeln.
- KO 6 → Bedeutung, Chancen und Risiken der Anwendungen von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen für mich persönlich und für die Gesellschaft einschätzen.
- KO 7 → Entscheidungen in gesellschaftlich relevanten Fragen aus naturwissenschaftlicher Sicht begründen und bewerten.

Diese Stufen werden wiederum in drei Kategorien unterteilt. WO 1, WO 2, EO 1 und KO 1 gehören zu der Gruppe Reproduktionsleistungen. Transferleistungen beinhalten die Ebenen WO 3, WO 4, EO 2, EO 3, EO 4, KO 2 und KO 3. Die letzte Kategorie ist die Reflexion und Problemlösung. Diese setzt sich aus den Ebenen WO 5, EO 5, EO 6, KO 4, KO 5, KO 6 und

KO 7 zusammen.

In der Unterrichtsplanung wurden die Kompetenzen WO 2, WO 4, KO 1 und KO 4 eingebaut und für die Schülerinnen und Schüler aufbereitet.

Das Anforderungsniveau kann zwischen zwei Stufen variieren. In der ersten Stufe werden die Schülerinnen und Schüler stark angeleitet, die Aufgaben detailliert beschrieben und mögliche Lösungsvorschläge vorgegeben. Auf dem zweiten Niveau müssen die Schülerinnen und Schüler selbstständig Lösungen zu Aufgaben finden, wobei auch die Aufgabenstellung nicht zu viel preisgeben darf. Prüfungen und vor allem die Reifeprüfung sollten dem Anforderungsniveau II entsprechen.

Die Inhaltsdimension ist an den Lehrplan des Bundesministeriums für Bildung und Frauen angelehnt und sollte daher entnommen werden.[35]

5.3.4. Benötigte Materialien und Fachausdrücke

In der 11. Schulstufe werden neben den klassischen Unterrichtsmaterialien – Tafel, Beamer, Computer – noch weitere Materialien für die Arbeitsaufträge benötigt.

Es werden Styroporbälle in den Farben rot, violett, schwarz und weiß gebraucht. Mit diesen Styroporbällen soll von den Schülerinnen und Schülern das Molekül 2- ^{18}F Fluor-2-desoxyglucose nachgebaut werden. Die weißen Kugeln repräsentieren den Wasserstoff in der Verbindung. Schwarze Bälle sind das Pendant zu Kohlenstoff. Rote Kugeln sind Sauerstoffmoleküle und die violetten Styroporbälle sind das radioaktive Fluor. Die Farben wurden so ausgewählt, da ein handelsüblicher Molekülbaukasten dieselben Farbreferenzen verwendet. Durch die größeren Kugeln ist das Molekülmodell anschaulicher. Der Nachteil ist, dass die Schaschlikspieße, welche als Bindungen fungieren, nicht genau den Bindungslängen entsprechen und der Bindungswinkel ebenfalls nicht exakt ist. Die Styropormodelle können aber im Klassenraum oder Chemiesaal aufgehängt werden und für nachfolgende Klassen als Anschauungsmaterial fungieren.

Die Anzahl der Styroporkugeln hängt von der Anzahl der Schülerinnengruppen und Schülergruppen ab. Jede Gruppe sollte ein Modell basteln können. Für eine Gruppe werden sechs schwarze Kugeln, fünf rote Kugeln, eine violette Kugel und elf weiße Styroporkugeln benötigt. Neben den unterschiedlichen Farben ist auch eine Größenvarianz zwischen den

Styroporkugeln möglich. So können, wie beim Molekülbaukasten, die Wasserstoffkugeln kleiner sein, als die Kohlenstoff- oder Sauerstoffmodelle. Mit dieser Größenvariation wird die Veranschaulichung für die Schülerinnen und Schüler weiter erhöht.

Neben den bisher genannten Materialien wird für die Schülerinnen und Schüler ein Internetzugang benötigt, da eine Aufgabe eine Recherche im Internet beinhaltet. In Laptopklassen kann diese Arbeit mithilfe des Laptops ausgeführt werden, ansonsten können die Schülerinnen und Schüler die eigenen Handys benutzen.

Weitere Arbeitsmaterialien werden nicht benötigt. Die Schülerinnen und Schüler sollten aber alle ein eigenes Arbeitsblatt bekommen und nicht nur eines pro Gruppe. So wird gesichert, dass alle die Möglichkeit haben, diese Unterlagen als Lernhilfe für spätere Tests oder Wiederholungen zu verwenden.

Der Gebrauch von Fachausdrücken in der Oberstufe sollte gefördert werden, da die Schülerinnen und Schüler bald mit einer höheren Ausbildung beginnen oder einen Beruf ergreifen und in diesen Bereichen der Gebrauch von Fachvokabular unumgänglich ist. Vor allem die Verwendung von Molekülbezeichnungen sollte geübt werden. Ebenso haben die Schülerinnen und Schüler der 11. Schulstufe schon Vorkenntnisse in Chemie, Physik und Biologie und daher ist eine Vertiefung des Fachvokabulars zu empfehlen.

5.3.5. Arbeitsblätter

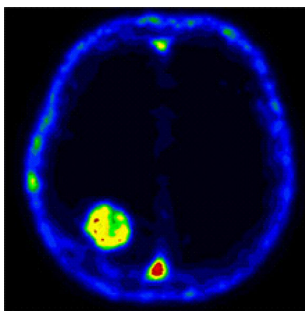
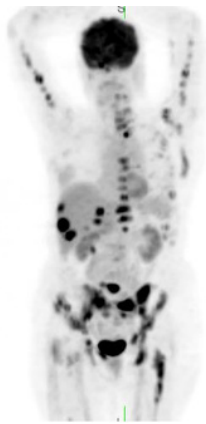
Diese Arbeitsblätter beinhalten die einzelnen Stationen beim Stationenbetrieb, welcher als Methode in der Oberstufe angewendet wurde. Die einzelnen Arbeitsblätter wurden nach der gehaltenen Stunde nicht mehr verändert, da die Schülerinnen und Schüler in ihrem Feedback meinten, dass der Schwierigkeitsgrad angemessen war.

Station: „Bilderanalyse“

Anleitung 1:

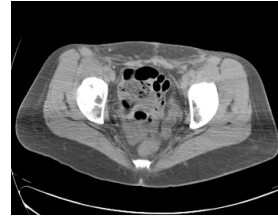
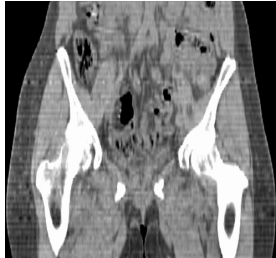
Ordne folgende Krankheitsbilder den medizinischen Aufnahmen zu:

- 1) Schilddrüsenkarzinom
- 2) Lymphdrüsenkrebs (Lymphom)
- 3) Gehirntumor (Glioblastom)
- 4) Lungenkrebs (Bronchialkarzinom)



Anleitung 2: Beschreibe was du am CT-Bild, PET-Scan und auf der PET/CT-Aufnahme siehst!

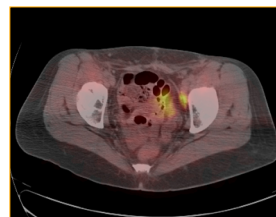
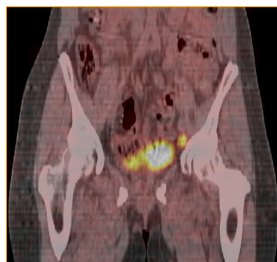
CT-Bild:



PET-Scan:



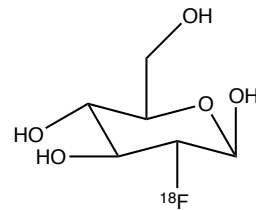
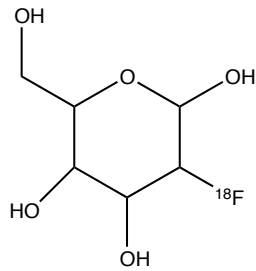
PET/CT:



Station: [^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose

Bastelt mit den Styroporkugeln das Molekül! Orientiert euch dabei an der angegebenen Strukturformel! Vergesst dabei nicht auf die Wasserstoffe an den Kohlenstoffatomen!

2-[^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose, ist ein zuckerähnliches Molekül, welches vom Körper wie ein normales Glucose-Molekül aufgenommen wird. Aufgrund der spezifischen Lage des radioaktiven Fluors (Position 2), kann das Molekül nicht weiter verstoffwechselt werden. Deswegen kann auch keine Energie aus 2-[^{18}F]FDG gewonnen werden.



Station: Herstellung von künstlichen Radioisotopen

Anleitung: Fülle den Lückentext mit Hilfe der im Kästchen angegebenen Wörter aus!

Lückentext:

Zyklotron

Ein Zyklotron ist ein _____, welcher Ionen auf einer _____ Bahn beschleunigt. Bei dieser Methode werden Radionuklide hergestellt, welche für den _____ eingesetzt werden. Positronen oder _____ werden auf das Zielmaterial, _____ genannt, geschossen. Dabei kommt es zu einer _____, bei der das gewünschte Radionuklid entsteht. Da die Radionuklide oft nur eine _____ Halbwertszeit haben, müssen sie in der Nähe der Patientinnen und Patienten hergestellt werden.

Generator

Hier werden Radionuklide mit kurzen _____ hergestellt. Um die gewünschten Radionuklide zu erhalten, müssen die Mutternuklide eine längere Halbwertszeit als die _____ haben. Durch diese Gegebenheit kann immer wieder das gewollte Radionuklid _____ werden. Dieses Radionuklid liegt dann zumeist in _____ Form vor, was eine Weiterverarbeitung einfach gestaltet.

Reaktor

In einem Reaktor werden Atome kontrolliert mit _____ Neutronen beschossen. Die _____, welche bei einer Kernreaktion frei werden, sind zu schnell und müssen daher vorher _____ werden. Das erledigt ein _____. Die nun verlangsamen Neutronen, werden _____ Neutronen genannt und können auf andere Atome geschossen werden. Diese Atome nehmen dann das Neutron auf und zerfallen zu den _____ Radionukliden.

abgebremst Deuteronen flüssiger gemolken geringe gewünschten Graphit-Moderator Halbwertszeiten Kernreaktion langsamen Neutronen PET-Scan spiralähnlichen Target Teilchenbeschleuniger thermische Tochternuklide

Station: Krebsentstehung – Signalabgabe

Anleitung: Lies den Text durch und beschrifte anschließend die Graphik! Markiere dabei die Stelle, an der der Zucker „eingreift“!

Text:

Cancer is a collective term for many related diseases, by which the cells start to grow without any control. For this proliferation of cells a lot of different inside-cell-procedures are responsible. Two scientists established six hallmarks of cancer, which are the cornerstones of this disease.

The first hallmark is the fact, that cancer cells can resist cell death. Normally apoptosis is a barrier for cancer development. This is the most fundamental trait, because normal tissue can control the production of new cells instead of cancer cells. Cancer cells even send out proliferative signals, which stimulate cell growth. Because of these signals cancer cells grow faster than normal cells.

Correlative to resisting cell death, cancer cells can induce angiogenesis. Cancer cells grow faster than normal cells and need more blood vessels for survival (angiogenesis). For building these blood vessels cancer cells need more energy and so they absorb more glucose (sugar) than normal cells.

As you already know, normal cells can replicate themselves only for a certain number of times. This number depends on the length of telomeres, which are located at the end of the DNA. Cancer cells don't have this natural barrier and so they can grow and divide themselves as often as they want. Additionally, cancer cells do not react to the signals of growth suppressors. Therefore, they do not stop growing as soon as the cells dictates to do so.

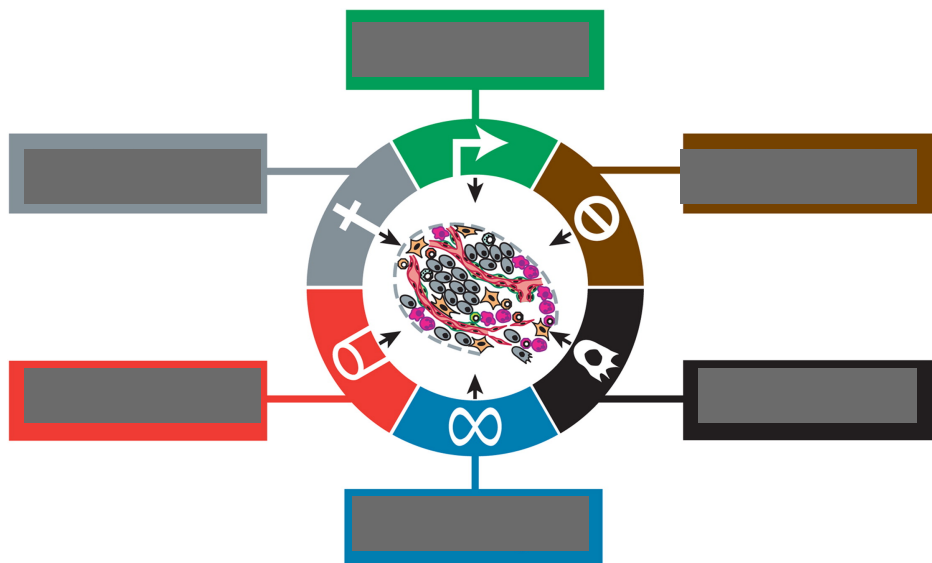
The last hallmark is the ability to activate invasion of healthy tissue and metastasis. The building of metastases means, that cancer cells can spread around the body and build a new tumor in a different part of the human body.

Glossar:

Angiogenesis = Wachstum von Blutgefäßen	Hallmarks = Kennzeichnung
Apoptosis = programmierter Zelltod	Immortality = Unsterblichkeit
Cancer cells = Krebszelle	Proliferation = starke Vermehrung
Cornerstone = Grundstein	Replicate = wiederholen

Abbildung:

- Sustaining proliferative signaling
- Evading growth suppressors
- Inducing angiogenesis
- Activation invasion und metastasis
- Resisting cell death
- Enabling replicative immortality



Station: Strahlenschutz

Anleitung: Stelle dir vor, dass du eine Laboranleitung für den Chemieunterricht schreiben musst. Jedoch stehen dir nur radioaktive Chemikalien und Atome zur Verfügung. Ändere die Arbeitsanleitung soweit um, dass keine Gefahr für dich oder deine Klassenkameraden bestehen würde.

Finde heraus, welche Hilfsmittel es für die Abschirmung von radioaktiver Strahlung im Labor gibt!

Arbeitsanleitung:

Fehling-Test auf reduzierenden Zucker:

Gleiche Mengen von Fehling I und Fehling II werden in einer Epruvette vermischt. Anschließend wird eine Spatelspitze des zu untersuchenden Zuckers hinzugefügt. Eine rote Färbung nach Erwärmung zeigt einen reduzierenden Zucker an.

Arbeitsanleitung für radioaktive Stoffe:

Verwendete Geräte:

Station: Zerfallsarten

Anleitung: Beantworte folgende Angaben mit Hilfe des Internets!

Fragen:

1. Finde heraus, welche Zerfallsarten es gibt.
2. Welche Unterschiede gibt es in der ausgesandten Strahlung zwischen den Strahlungsarten?
3. Was ist ein Positron?
4. Beschreibe kurz die Gefahren der einzelnen Strahlungsarten und wie sich der Mensch davor schützen kann.
5. In welchen Bereichen können die unterschiedlichen Strahlungsarten eingesetzt werden?
6. Nenne für jede Strahlungsart ein spezifisches Radioisotop und wo es in der Medizin eingesetzt werden kann.

This image shows a blank sheet of white paper with horizontal blue or grey ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are approximately 20 lines visible. On the left side, there is a vertical margin line, creating a narrow left margin. The paper appears to be a standard notebook or ledger page.

Station: Bildgebung

Anleitung: Lies dir den Text durch und beantworte anschließend die dazu gestellten Fragen!

Text:

Schon seit Jahrhunderten war es für die medizinische Wissenschaft wichtig, in das Körperinnere hineinschauen zu können. Jedoch war dies am Anfang nur möglich, wenn die Person seziert wurde. Mit Henri Becquerels Entdeckung der Radioaktivität und der Entdeckung von Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen am Ende des 19. Jahrhunderts war es nun möglich, sich das Innere des menschlichen Körpers von außen anzuschauen. Im Laufe des 20. Jahrhunderts haben sich dann verschiedene Diagnosemethoden entwickelt.

Bei diesen Methoden muss grundsätzlich unterschieden werden, ob eine stationäre Aufnahme getätigt werden soll, oder ob Stoffwechselveränderungen betrachtet werden sollen. Stationäre Aufnahmen erfolgen zum Beispiel über Röntgenaufnahmen oder über Computertomographien (CT). Ist jedoch erwünscht, dass Veränderungen im Stoffwechsel detektiert werden, so müssen Verfahren wie PET (Positronen-Emissions-Tomographie) oder SPECT (Single-Photon-Emission-Computed-Tomographie) verwendet werden. Hierbei werden Radionuklide für die Detektion benötigt.

Wie der Name PET schon vermuten lässt, werden hierbei Positronen (Antiteilchen zum Elektron) emittiert und treffen dann auf ein Elektron. Hierbei werden zwei Gammaquanten mit einer spezifischen Energie erzeugt. Diese Gammaquanten gehen dann mit einem Winkel von 180° voneinander weg und werden von den Kristallen im Gerät aufgefangen. Dort werden Lichtblitze erzeugt, welche in ein elektrisches Signal umgewandelt werden, das nach Verstärkung und mit Hilfe eines Computers detektiert werden kann. Daraus kann rückgeschlossen werden, an welcher Stelle im Körper das Positron und Elektron auf einander getroffen sind und sich vernichtet haben.

Häufig reicht ein PET-Scan nicht aus, um genau lokalisieren zu können, wo sich der Tumor oder die Entzündung aufhält. Um das zu umgehen, wird der PET-Scan mit einem CT-Bild übereinander gelegt (fusioniert). Damit die Patientin/der Patient keine Wartezeiten zwischen den Untersuchungen hat, wurden Geräte entwickelt, welche direkt vor dem PET-Scan ein CT-Bild machen. Dies vereinfacht auch die Arbeit der Radiologietechnologinnen/Radiologietechnologen, da die Bilder direkt übereinander gelegt werden können, ohne dass eine Bildbearbeitung vorher notwendig ist.

[illegible]

5.3.6. Mögliche Verschränkungen mit anderen Fächern

In der 11. Schulstufe ist eine Verschränkung mit vielen verschiedenen Unterrichtsfächern möglich.

Vorrangig ist ein fächerübergreifender Unterricht mit Physik und Biologie anzudenken, da hier die meisten Überschneidungen vorhanden sind. In diesen beiden Fächern, kann ident zur Unterstufe, das Grundlagenwissen für Schülerinnen und Schüler gefestigt werden. In Physik kann neben der Besprechung des PET-Scans auch SPECT oder nicht auf Nuklearmedizin basierende Diagnosemethoden besprochen werden. Durch die Ausweitung des Themenbereiches haben die Schülerinnen und Schüler mehr Wissen über medizinische Diagnostik und könne diese mit den physikalischen Grundlagen verbinden. Auch der Aspekt der Radioaktivität kann ausgeweitet werden. So kann genauer über die Herstellung verschiedener Radionuklide gelehrt werden und die Gefahren, welche die Arbeit mit Radionukliden mit sich bringt.

Durch die Verschränkung mit Biologie kann das Thema Krebsentstehung und Krebsbekämpfung detaillierter besprochen werden. Bei diesem Themenbereich ist es wichtig, dass auch die Chemie miteinbezogen wird.

Weitere mögliche Fächer wären Englisch, Geographie, Religion/Ethik und Mathematik.

Das Unterrichtsfach Englisch könnte eingebunden werden, indem bestimmte Themen auf Englisch den Schülerinnen und Schülern vermittelt werden. Durch den Sprachwechsel werden die Schülerinnen und Schüler an die wissenschaftliche englische Sprache gewöhnt. Es ist aber notwendig, dass die Jugendlichen über einen guten Grundwortschatz verfügen, da sonst das Verständnis sinken würde.

Ein weiteres Unterrichtsfach, das eingebunden werden kann, ist Geographie und Wirtschaftskunde. Dieses Fach lässt sich mit der Nuklearmedizin verbinden, da der wirtschaftliche Nutzen von Radioaktivität nicht nur im Bereich der Energieerzeugung eine Rolle spielt, sondern auch in medizinisch-wirtschaftlichen Gebieten. Ebenso kann geographisch analysiert werden, wo sich Reaktoren zur Radionuklidherstellung befinden und ob es Gründe für diese Standorte geben könnte.

In Religion oder Ethik sollte über die Verantwortung und den Kosten/Nutzen-Gewinn bei der Verwendung von radioaktiven Materialien an Menschen gesprochen werden. Ebenso eignet sich das Thema Tierversuche, welche für die Testung von Radiopharmaka verwendet werden, gesprochen bzw. diskutiert werden. Hier ist aber zu beachten, dass sowohl die Vorteile als auch Nachteile genannt werden und dass die Lehrperson keine vorgefestigte Meinung zu

diesem Thema hat, und so viel Information, wie möglich, den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung stellt, damit diese sich ein eigenes Bild machen können und eine individuelle Entscheidung treffen können.

Das Fach Mathematik kann ebenfalls miteinbezogen werden, da die Bildgebung eines PET-Scans durch mathematische Modelle berechnet wird. Ebenso werden falsche Signale automatisch gelöscht und nicht für die Bildgebung berechnet. Dieser Themenbereich ist sehr spezifisch und eignet sich daher nur für Wahlpflichtfächer oder Kurse, in denen sehr interessierte Schülerinnen und Schüler anwesend sind.

Diese kurze Darstellung mit etwaigen Verschränkungen soll darstellen, dass vor allem in der Oberstufe andere Fächer in dieses Projekt miteinbezogen werden können, um den Schülerinnen und Schülern ein umfassendes Bild geben zu können. Umso detaillierter die Bearbeitung der Radiopharmaka und Nuklearmedizin, desto mehr Wissensertrag haben die Schülerinnen und Schüler.

5.4. Wissenskontrolle am Ende der Einheit

Am Ende von jeder Einheit sollte eine kurze Überprüfung oder Wissenskontrolle eingeplant sein, damit die Lehrperson kontrollieren kann, ob die Schülerinnen und Schüler noch Fragen haben oder ob bestimmte Inhalte noch einmal wiederholt werden müssen. Kann die Wissenskontrolle nicht am Ende der Einheit durchgeführt werden, so sollte diese spätestens in der nächsten Unterrichtsstunde erfolgen. Dadurch ist ein Lernerfolg für die Schülerinnen und Schüler garantiert und etwaige Fragen oder Unklarheiten können sofort beantwortet und geklärt werden.

6. Durchführung der Schulstunden

6.1. 8. Schulstufe

Schule: BG/BRG Mödling Franz Keimgasse

Klasse: 4F

Datum: 4.5.2015

Anzahl Schülerinnen/Schüler: 13/4

Fächer: Physik und Chemie

Unterrichtsbeschreibung:

Die Unterrichtseinheit besteht aus zwei aufeinanderfolgenden Unterrichtsstunden. Die erste Einheit war eine Physikstunde, welche von meiner Kollegin Mag. Ingrid Zeitlhofer-Tüchy gehalten wurde. Die zweite Stunde war eine Chemiestunde und wurde direkt von mir gehalten. Beide Stunden wurden von Prof. Wolfgang Wadsak beobachtet.

Die Unterlagen für den Physikunterricht wurden von meiner Seite zur Verfügung gestellt. Ein vorangegangenes Gespräch mit Mag. Ingrid Zeitlhofer-Tüchy fand statt.

Die zweite Stunde setzte direkt die Physikstunde fort und behandelte den medizinisch-chemischen Aspekt von Radiopharmaka.

Physikstunde:

Die Einheit begann mit einer Wiederholung der letzten Stunde, in der noch einmal die verschiedenen Strahlungsarten besprochen wurden. Das Thema Radioaktivität wird laut Lehrplan des Bundesministeriums für Bildung und Frauen auch in dieser Schulstufe eingeführt.[36] Der Unterschied zwischen β^+ - und β^- -Strahlung wurde im Detail besprochen, da vor allem dieses Wissen für die beiden Unterrichtsstunden von Bedeutung ist. Ebenso wurde erklärt, welche Differenzen es zwischen α -, β - und γ -Strahlung vorherrscht. Hier wird auf die Formel $E = h \cdot f$ eingegangen.

Die nachfolgenden acht Minuten wurden dafür genutzt, dass der Positronen-Emissions-Tomograph in den Unterricht eingeführt und besprochen wurde. Hier diente als Grundlage eine Power Point Präsentation (siehe Anhang). Eine Schülerin fragte, ob ein PET etwas mit einem Teilchenbeschleuniger zu tun habe. Die Lehrperson antwortete darauf, dass hier vor allem die β -Strahlung von Bedeutung ist und erklärte noch einmal den Unterschied zwischen β^+ - und β^- -Strahlung. Während einer kurzen Verzögerung, wegen technischen Problemen mit

dem Beamer, begann die Lehrperson das Tracerprinzip den Schülerinnen und Schülern zu erklären. Dieses Thema wurde nur oberflächlich angesprochen, da es für die Schülerinnen und Schüler nur wichtig war zu wissen, dass es zu einer Vernichtung von Elektron und Positron kommt und so ein Lichtquant entsendet wird und, dass dieser Lichtimpuls von Kristallen aufgefangen wird, wodurch es zu einem Signal kommt.

Nach der kurzen Einführung zum Thema PET wurde der Unterschied zwischen PET und CT erklärt. Hier sollten die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass unterschiedliche Dinge mit diesen beiden Diagnosemethoden erkannt werden können.

Zur Ergebnissicherung wurde ein Kreuzworträtsel designt, welches von einer Schülerin und einem Schüler ausgeteilt wurde. Die letzten 13 Minuten des Unterrichts waren die Schülerinnen und Schüler damit beschäftigt, dieses Kreuzworträtsel auszufüllen. Dies geschah in Teamarbeit.

Chemiestunde:

Die Chemiestunde dauerte von 8:55-9:45. In den ersten fünf Minuten wurde das Kreuzworträtsel von der Lehrperson aufgelöst. Dies hätte eigentlich noch in der Physikstunde stattfinden sollen, jedoch ging es sich dort zeitlich nicht mehr aus. Beim Vergleichen der Antworten war auffallend, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Frage: „*Wie viele Arten der Strahlung gibt es?*“ als Antwort drei statt vier hatten. Es stellte sich nun heraus, dass dieser entscheidende Punkt in der vorigen Stunde nicht so vermittelt wurde, wie es eigentlich gedacht war. Nach Vergleich des Rätsels wurde der Verlauf der restliche Stunde erklärt. Die Schülerinnen und Schüler sollten in fünf Gruppen eingeteilt werden. Anschließend sollten sie Form eines Expertinnen-, Expertenpuzzles die Texte innerhalb der Gruppe erarbeiten und anschließend den Mitschülerinnen und Mitschülern ihre Inhalte vermitteln. Die Einteilung erfolgte durch UNO-Karten, wobei es jedoch kurze Probleme gab, da es nur 15 Karten für 17 Kinder vorhanden waren. Dieses Problem wurde aber schnell gelöst, da die beiden Schülerinnen ohne Karte, sich die Gruppen aussuchen konnten.

In den darauffolgenden 15 Minuten lasen sich die Schülerinnen und Schüler innerhalb ihrer Stammgruppe ihre Texte durch und besprachen sie. Dabei arbeiteten alle Kinder brav mit und beteiligten sich am Unterrichtsgeschehen. Immer wieder kam die Frage auf, ob Tumore auch mit Strahlung therapiert werden können.

Nach dieser Unterrichtsphase teilten sich die Schülerinnen und Schüler in die Expertinnen- und Expertengruppen ein. Dies verursachte kurzfristig einige Schwierigkeiten, da die Kinder mit dieser Methodik noch nicht vertraut waren und daher nicht genau wussten, wie sie sich nun gruppieren sollten. Es waren nun 20 Minuten Zeit, um den Mitschülerinnen und

Mitschülern die Texte zu erklären. In dieser Phase wurde die Lehrperson durch den anwesenden Experten Prof. Dr. Wadsak unterstützt. Er beantwortete Fragen von Schülerinnen und Schüler und half bei Verständnisschwierigkeiten.

Nach dem Beenden des Expertinnen- und Expertenpuzzles war die Stunde beendet und die Unterrichtseinheit somit abgeschlossen.

6.1.1. Feedback der Schülerinnen und Schüler:

	Positives Feedback	Negatives Feedback
S 1	<u>Allgemein:</u> „interessantes Thema“ „dass die Lehrpersonen Sachen erklärt haben“	<u>Allgemein:</u> „Zuerst schwierig zum Verstehen“
S 2	<u>Allgemein</u> „Sehr gute Idee“ <u>Chemie:</u> „interessant“ <u>Physik:</u> „Kreuzworträtsel war toll“	<u>Allgemein:</u> „Ich fand es etwas unnötig, dass der Fachmann mit war, er hat irgendwie wenig/nichts gesagt.“ <u>Physik:</u> „zu kompliziert in Physik“ „zu unverständlich in Physik“
S 3	<u>Allgemein:</u> „sonst wars interessant und gut, dass es nicht zu kompliziert erklärt wurde“	<u>Chemie:</u> „Das Mittel, das bei einem PET gespritzt wird und worüber wir den Zettel bekommen haben, hätte einfacher beschrieben werden sollen ... – Es war irgendwie zu kompliziert.“
S 4	<u>Allgemein:</u> „Ich finde das Thema war/ist sehr interessant, jedoch gab es sehr wenig Unterschied zum normalen Unterricht....“ <u>Chemie:</u> „...Aber Ihr Teil des Unterrichts war sehr informativ.“	<u>Allgemein:</u> „...Natürlich konnte man dem Spezialisten Fragen stellen, doch wurde er leider ein bisschen zu wenig einbezogen. Außerdem hatte ich das Gefühl, dass Frau Prof. Zeitlhofer nicht besonders glücklich war, nicht tun zu können, was sie gerne getan hätte...“
S 5	<u>Chemie:</u>	<u>Physik:</u>

	„Ich habe die Zusammenfassung dank Frau Professor Czeiner verstanden.“ „In Chemie war plötzlich alles logisch.“ „Der Typ, der da war, hat auch sehr geholfen.“ <u>Physik:</u> „Die Zusammenfassung war hilfreich.“	„Es ist ein bisschen blöd, dass Frau Professor Zeitlhofer davon ausgeht, dass alle alles verstehen und dann weiß man nicht, wenn man fragen will, ob das eine blöde Frage ist oder das überhaupt mit dem Thema zu tun hat.“
S 6	<u>Chemie:</u> „Das mit den UNO-Karten hat mir gut gefallen (Expertenpuzzle).“	
S 7	<u>Allgemein:</u> „Ich fand sowohl die Chemie als auch die Physikstunde interessant.“ „Mich interessiert Radioaktivität generell sehr.“ „Der „Aufbau“ das Gerät → die auslösende Flüssigkeit fand ich ansprechend.“ „Aber alles in allem waren die Unterrichtsstunden sehr interessant auch einen Spezialisten mit zu nehmen fand ich sehr cool.“	<u>Physik:</u> „Das Einzige, was ich zu kritisieren habe ist, ich fand die PowerPoint nicht so ansprechen gestaltet und Bilder haben gefehlt. Es war ein bisschen schwer sich das Gerät vorzustellen ein kurzes Video wäre vielleicht auch gut gewesen.“
S 8	<u>Physik:</u> „Power point war gut und hilfreich, trotzdem Erklärungen manchmal nicht ganz verstanden“ „Kreuzworträtsel hat alles nochmal zusammengefasst“ <u>Chemie:</u> „Gut erklärt, einfacher zu verstehen als in Physik“	
S 9	<u>Physik:</u>	

	„war im Grunde genommen sehr interessant und auch gute Powerpoint aber ich habe quasi nichts verstanden.“ <u>Chemie:</u> „Ich fand gut, dass wir uns in diese Gruppen aufgeteilt haben und ich habe viel mehr verstanden.“	
S 10	<u>Physik:</u> „Powerpoint war gut...“ <u>Chemie:</u> „Gut erklärt und ich habe manche Sachen, die ich beim Physik-Teil nicht verstanden habe verstanden.“	<u>Physik:</u> „,...hab die Erklärungen manchmal nicht ganz verstanden.“
S 11	<u>Physik:</u> „Zusammenfassung der vorigen Stunde“ <u>Chemie:</u> „Kreuzworträtsel als Wiederholung“	
S 12	<u>Physik:</u> „Frau Professor war gut gelaunt“ <u>Chemie:</u> „hat mir sehr gut gefallen“	<u>Physik:</u> „es hat gewirkt wie ein Referat“
S 13	<u>Physik:</u> „schönes Kreuzworträtsel“	<u>Physik:</u> „im Text stand nicht wie die physikalische Größe zur Bestimmung der Gefährlichkeit der Radioaktivität“
S 14	<u>Physik:</u> „Es war sehr gut, auch die PP war sehr gut zusammenfassend und durch die Bilder konnte man sich das auch sehr gut vorstellen...“ <u>Chemie:</u> „Es war gut zu verstehen,...“	<u>Physik:</u> „,...(allerdings teilweise mit einer zu schnellen Geschwindigkeit)“ <u>Chemie:</u> „,...allerdings waren die Texte teilweise falsch zu verstehen“
S 15	<u>Physik:</u>	

	„Ich finde den Unterricht manchmal informativ und manchmal eher langweilig....“ <u>Chemie:</u> „...Unterricht sehr informativ...“	
S 16	<u>Physik:</u> „haben Zusammenfassung bekommen“ „Kreuzworträtsel war lustig“ <u>Chemie:</u> „Hab die Zusammenfassung kapiert“ „Gruppenarbeit war besser als Frontalunterricht“ „Chemiker war nett“ „alles verständlich formuliert“	<u>Physik:</u> „hab den Stoff aus Physik erst in Chemie verstanden.“ <u>Chemie:</u> „hätten mehr Zeit gebraucht“

6.2. 11. Schulstufe

Schule: BG/BRG Mödling Franz Keimgasse

Klasse: 7B

Datum: 11.5.2015

Anzahl Schülerinnen/Schüler: 9/16

Fach: Chemie

Unterrichtsbeschreibung:

Der Unterricht dauerte von 10:00-11:45 mit einer fünf Minuten Pause nach den ersten 50 Minuten.

In den beiden Chemiestunden, bekamen die Schülerinnen und Schüler einen Überblick über das Thema Radiochemie. Die angewandten Methoden waren eine Lernstraße, Brainstorming und eine kurze Phase des Frontalunterrichts.

Chemiestunde:

Die ersten zehn Minuten fand ein kurzes Brainstorming über das Thema Nuklearmedizin und Radiochemie statt. In dieser Phase arbeiteten die Schülerinnen und Schüler gut mit, auch wenn ihr Vorwissen beschränkt war. Anfangs dachten sie, dass sie nichts wüssten, als die Lehrperson jedoch die Fragestellung auf „Wie kann man in den Körper reinschauen?“ änderte, kamen viele Wortmeldungen seitens der Schülerinnen und Schüler. Angesprochene Themen waren PET, Operationen, Röntgen, Ultraschall, CT und MRT. Zum Thema Radiochemie selber wusste ein Schüler das Schlagwort „Strahlentherapie“. Allen anderen Schülerinnen und Schülern war dieses Thema eher fremd.

Nach der Phase des Brainstormings kam der Frontalunterricht mit einer Power Point Präsentation von der Lehrperson. Hier ging es um die Geschichte der Radiochemie und sollte die Schülerinnen und Schüler zu dem Thema hinführen. Hier war die Mitarbeit der Schülerinnen und Schüler ebenfalls gut und viele Fragen rund um das Thema Radioaktivität wurden gestellt.

Nach dem Frontalunterricht begann die Hauptphase der Unterrichtseinheit. Hier erarbeiteten die Schülerinnen und Schüler sich anhand der Arbeitsblätter selbst das Thema Radiochemie. Um diese Arbeit zu vereinfachen wurden die Schülerinnen und Schüler in fünfer Gruppen eingeteilt. Dies erfolgte durch ziehen verschiedenfarbiger Zettel. Die Arbeitszeit erfasste rund eine Stunde. In dieser Zeit konnten alle Gruppen alle Arbeitsblätter ausfüllen und bearbeiten.

Es stellte sich heraus, dass der Schwierigkeitsgrad für die Klasse passend war, denn selbst den englischsprachigen Text konnten alle Gruppen ohne Probleme meistern.

In den letzten 15 Minuten wurden die Ergebnisse miteinander verglichen. Es mussten kaum Ergebnisse korrigiert werden. Jedoch meldeten sich immer dieselben Schülerinnen und Schüler, was dazu führt, dass nicht überprüft werden konnte, ob alle Kinder das selber Ergebnis hatten. Das Vergleichen der Ergebnisse wurde anstelle der Diskussion eingeschoben, da für eine sinnvolle Diskussion nicht genügend Zeit gewesen wäre.

6.2.1. Feedback der Schülerinnen und Schüler

	Positives Feedback	Negatives Feedback
S 1	„kein normaler Unterricht“ „Gute Erklärungen der Arbeitsaufträge auf den ABs“	„schlechte Materialien beim Basteln“
S 2	„Ich finde die Arbeitsblätter waren gut vorbereitet und es war auch verständlich was zu tun ist.“	
S 3	„Ich finde, man merkt, dass Sie viel Arbeit in die Arbeitsblätter gesteckt haben.“ „Die Gruppenarbeit war lustig & interessant.“	
S 4	„Es hat Spaß gemacht, die Arbeitsblätter auszuarbeiten + viele Bilder, eigenständig“ „gute Aufteilung von Information und Gruppenarbeit“	
S 5	„Ich fand es sehr interessant jedoch ...“ „Das Basteln war cool!“	„...fand ich es langweilig mir das Wissen selbst durch ca. 10 Zettel anzueignen. Ich fände es besser wenn man es mehr mit System macht.“
S 6	„gut, sich durchsetzende Lehrerin“ „Basteln ist immer toll“	„die Aufgaben zu den Texten waren nicht so interessant“
S 7	„Sie konnte sich gut durchsetzen“ „Basteln war toll“	

	„sonst waren die Aufgaben recht einfach ... v.a. weil wir das in Bio schon gemacht haben!“	
S 8	„recht lustig“	„Atommodell schwer zu bauen“
S 9	„gutes Arbeitsklima, nette Versuche, alles schaffbar und interessant gemacht“	„bisschen zu wenig Zeit, bzw. ein längerer Vortrag wäre sehr interessant“
S 10	„hat eh passt“	
S 11	„war ganz nett, wieso kommen sie nicht öfter vorbei?“	„bitte das Basteln optimieren“
S 12	„prinzipiell sehr ansprechend“	„Molekül-Bauen war etwas schwer/überflüssig“
S 13	„hat gepasst...“	„...das Basteln und die Internetrecherche war bisschen unnötig“
S 14	„war cool, weils mal was anderes ist...“	„...das Basteln war unnötig und ist mit Baukasten viel einfacher“

7. Reflexion der Einheiten

7.1. Eigene Reflexion

7.1.1. Was ist gut gelungen – was nicht?

Die Unterrichtseinheiten waren sowohl in der Oberstufe als auch in der Unterstufe ein Erfolg. Die Feedbacks beider Klassen zeigten das Bild von zufriedenen Schülerinnen und Schüler, welche durch die Einheiten eine neue Seite der Chemie entdecken konnten.

Bei der Unterstufe war meiner Meinung nach die Physikstunde von großem Vorteil, da das Vorwissen der Schülerinnen und Schüler im Bereich der Strahlungsarten und ihren Eigenschaften begrenzt ist. Durch die 50 Minuten, in denen vor allem auf dieses Thema eingegangen werden kann, haben die Schülerinnen und Schüler das benötigte Vorwissen, um in der darauffolgenden Chemiestunde dem Stoff folgen zu können.

Die Physikstunde war für zwei große Themenbereiche gedacht. Einerseits sollten die Schülerinnen und Schüler die verschiedenen Herstellungsmöglichkeiten von Radioisotopen kennen lernen und andererseits sollte der PET-Scan im Detail besprochen werden. Es stellte sich heraus, dass die Erklärung des PET-Scans mehr Zeit in Anspruch nahm, als vorher eingeplant war. Dadurch wurden die Herstellungsmöglichkeiten nicht mehr besprochen. Ebenso war eine Besprechung des Kreuzworträtsels nicht mehr möglich. Die Verschiebung dieses Punktes in die Chemiestunde stellte sich als sinnvoll heraus, da Fragen geklärt werden konnten und die Schülerinnen und Schüler eine Rekapitulation des vorher gehörten Stoffes hatten.

In der Unterstufe stellte sich heraus, dass die Arbeitsblätter in der Chemieeinheit zu anspruchsvoll waren, weswegen viele Fragen bezüglich Radiopharmaka entstanden. Hier war es von Vorteil, dass ein Experte auf diesem Gebiet anwesend war, denn er konnte Fragen von Schülerinnen und Schülern ebenfalls beantworten, wodurch keine Gruppe warten musste. Natürlich ist es nicht immer möglich, eine Expertin oder einen Experten in der Stunde zu haben, sollte jedoch die Möglichkeit bestehen, sollte diese wahrgenommen werden, denn das Feedback der Schülerinnen und Schüler hat gezeigt, dass die Anwesenheit des Experten für das Verständnis der Schülerinnen und Schüler wichtig war.

In der 11. Schulstufe waren zwei Chemiestunden vorgesehen. Dieses Konzept sollte beibehalten werden, wobei eine dritte Stunde wünschenswert wäre, da hier die Plenumsdiskussion bezüglich der Vor- und Nachteile von Radiochemie in der Medizin

erläutert werden könnten. Die Lernstraße war eine gute Methode, um verschiedene Aspekte dieses Themas den Schülerinnen und Schülern näher zu bringen. Aufgrund der Klassengröße konnten die Schülerinnen und Schüler nicht zwischen den einzelnen Stationen hin und her wandern, sondern mussten sich die Arbeitsblätter auf den Platz holen. Hier wäre ein größerer Klassenraum, wenn einer vorhanden ist, zu empfehlen. Das Basteln mit den Styroporkugeln war eine gute Abwechslung und die Modelle konnten besser hergezeigt werden, als wenn mit einem Molekülbaukasten gearbeitet worden wäre. Einige Kugel bestanden im Inneren aus Wolle und ließen sich nur schwer mit Schaschlikspießen verbinden. Es ist daher zu empfehlen, die teureren Styroporkugeln zu kaufen. Ebenfalls ist es von Vorteil, wenn die Kugeln unterschiedliche Größen haben, da hier die Größenverhältnisse zwischen den Atomen überdacht werden kann.

7.1.2. Verbesserungsmöglichkeiten

Die Einheiten wurden soweit gekürzt, indem in beiden Schulstufen die Plenumsdiskussion weggelassen wurde. Denn die Diskussionen würden eine weitere Stunde in Anspruch nehmen und sind im regulären Lehrplan nicht machbar. Ebenso sollten in beiden Schulstufen mehr Bilder gezeigt werden, denn die visuellen Eindrücke der Kinder hätte zum Verständnis beigetragen.

Die Arbeitsblätter im Fach Chemie in der 8. Schulstufe mussten angepasst werden, da hier Verständnisprobleme auftraten.

Ebenso wären Versuche, welche die Schülerinnen und Schüler selbstständig absolvieren könnten eine große Bereicherung. Jedoch ist die Arbeit mit radioaktiven Materialien in öffentlichen Schulen nicht erlaubt. Andere Versuche mit Zucker oder Fluor würden zwar zu einem Verständnis bezüglich dieser beiden Materialien führen, jedoch keine Einführung oder Unterstützung bei der Thematik der Radiochemie geben. Neue Versuche in diese Richtung zu erfinden wäre hilfreich, um den Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit zu geben, selbstständig im Labor zu arbeiten und sich näher mit der Thematik zu beschäftigen.

Sowohl in der Unterstufe als auch in der Oberstufe fehlte eine Wissenskontrolle an den Enden der Einheiten. In der Unterstufe wurde diese spontan zu Beginn der Chemiestunde durchgeführt, als das Kreuzworträtsel verglichen wurde, jedoch war diese in der eigentlichen Planungsmatrix nicht vorgesehen. Bei einer Neuplanung des Unterrichtes sollte eine Wissenskontrolle auf jeden Fall vorhanden sein. In der Oberstufe wurde keine Überprüfung des vorhandenen Wissens gemacht. Es wurden nur

die Arbeitsblätter gemeinsam verglichen, jedoch hatten so einige Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit sich aus dem Vergleichen herauszuhalten. Durch diese Situation konnte nicht kontrolliert werden, ob alle Schülerinnen und Schüler der 11.Schulstufe die vermittelten Lerninhalte verstanden und aufgenommen haben. Auch hier sollte zukünftig eine Wissenskontrolle eingeführt werden.

In beiden Schulstufen lässt sich das Zeitmanagement so weit verbessern, dass alle geplanten Einheiten in den Schulstunden durchgeführt werden können. Lässt sich dies nicht machen, so sollten Abschnitte der Unterrichtsplanung herausgenommen werden. Denn nur so haben die Schülerinnen und Schüler genug Zeit, um die Aufgaben richtig zu bewältigen und den Stoff aufzunehmen.

7.2. Reflexion der anderen Lehrkräfte

7.2.1. Auswertung des Fragebogens

1. War der Inhalt dem Klassenniveau angepasst?

„Der Inhalt war optimal dem Klassenniveau angepasst.“

2. Wie hätte der Stoff vereinfacht / schwieriger gemacht werden können?

„Der Stoff war sowohl den Vorkenntnissen der Schüler als auch der Altersstufe entsprechend aufbereitet, daher ist keine Vereinfachung notwendig.“

3. Welche Verbesserungsvorschläge gibt es von Ihrer Seite?

„Die Power Point Präsentation hätte durch mehr Bildmaterial und die Auswahl größerer Bilder anschaulicher gestaltet werden können.“

4. Welches Vorwissen benötigen die Schülerinnen und Schüler?

„Radioaktivität, radioaktive Strahlungsarten“

5. Weitere Anmerkungen:

/

8. Mögliche Darstellung in einem Chemiebuch

8.1. Analyse von bestehenden Chemielehrbüchern

Die Methode der Schulbuchforschung kann auf verschiedene Arten durchgeführt werden. Es gibt den Ansatz der literarischen Interpretation, bei welcher der Einstieg über die Praxis der Literaturwissenschaften erfolgt. Die Beurteilung der Schulbücher erfolgt über eine subjektive Beurteilung von Pädagoginnen und Pädagogen, welche sich mit diesem speziellen Schulbuch befasst haben. Eine weitere Möglichkeit ist die soziologische Analyse. Hierbei baut die Forschung auf Umfragen und Interviews auf. Durch die große Zahl an subjektiven Meinungen kann ein einigermaßen objektives Ergebnis vermutet werden. Die dritte Art der Schulbuchforschung ist die theoriegestützte Schulbuchinterpretation. Bei dieser Methode liegen die Grundlagen in der vergleichenden Literaturwissenschaft, Politikwissenschaft und die Forschung zum Lehrplan und Schulentwicklung.

Der vierte Ansatz ist die spezifische Form der Schulbuchanalyse. Diese kann in sechs Unterpunkte unterteilt werden: Gesamt- oder Teilanalyse, Aspekt- oder Gesamtanalyse, Horizontal- oder Vertikalanalyse, Hermeneutische oder erfahrungswissenschaftliche Inhaltsanalyse, nicht vergleichende oder vergleichende Analyse und Schreibtischinspektion oder Wirkungsevaluation. Vor allem der Aspekt „Gesamt- oder Teilanalyse“ ist für diese Arbeit interessant, da es sich hier um eine Analyse von einzelnen Themen, Büchern oder Unterrichtseinheiten handelt.

Die letzte Methode für eine Schulbuchanalyse, ist die Entwicklung von Schulbuchrastern. Diese hat sich teilweise an der amerikanischen Checkliste orientiert.

Für die Analyse habe ich mir die Bücher *EL-MO*, *Moleküle*, und *Elemente* von den Autoren Roderich Magyar, Wolfgang Liebhart und Gabriele Jelinek, das Schulbuch *Chemie 1- Allgemeine und anorganische Chemie* von Dr. Franz Neufingerl und Mag. Alexandra Palka und *Chemie 2 – Organische Chemie* von Dr. Franz Neufingerl ausgesucht. Der Grund, wieso ich diese Bücher gewählt habe, liegt darin, dass vor allem die Bücher *EL-MO*, *Moleküle* und *Elemente*, meiner Erfahrung nach, die am weitesten verbreiteten Schulbücher in Ostösterreich sind und *Chemie 1* wurde 2014 herausgegeben und soll besonders für die Vorbereitung zur neuen Reifeprüfung geeignet sein. Ebenso wurden die Bücher in den Jahren 2011, 2012 und 2015 von zwei unterschiedlichen Schulbuchverlagen in Österreich an Schulen verkauft.

In allen ausgewählten Schulbüchern werden die Themen Glykolyse und Aufbau von Zuckern aufgearbeitet. In *Moleküle* und *EL-MO* werden verschiedene Arten von Medikamenten

beschrieben, jedoch wird die Krebsentstehung nur sehr allgemein erwähnt und etwaige Radiopharmaka bleiben unerwähnt. *Elemente* und *Chemie1- Allgemeine und anorganische Chemie* befassen sich nur mit allgemeiner und anorganischer Chemie und haben daher keine Kapitel zu dem Bereich Biochemie.

Themengebiete aus dem chemischen Alltag sind in allen Büchern Waschmittel, Farbstoffe und Pigmente und Kunststoffe. Diese Themenbereiche sind auf mehrere Seiten ausgeweitet, wobei der biochemische und medizinische Bereich den kleinsten Teil dieser Kapitel einnimmt.[37-42]

8.2. Selbstgestaltete Buchseiten

An dieser Stelle sollen nun die selbstgestalteten Schulbuchseiten für das Thema Nuklearmedizin abgebildet werden.

RADIOAKTIVE ARZNEIMITTEL

Die Grundlage der Verwendung und Funktion von radioaktiven Arzneimitteln, so genannten Radiopharmaka, liegt in der Einwirkung auf Vorgänge im Stoffwechsel. Durch die Ähnlichkeit der Nuklide können diese in den menschlichen Körper eingeschleust werden und dort ihre Strahlung abgeben. In der nuklearmedizinischen Diagnostik können durch die Detektion dieser Strahlung, krankhafte oder natürliche Veränderungen von außerhalb des Körpers gemessen werden. In der nuklearmedizinischen Therapie wird die zerstörerische Natur der radioaktiven Strahlung genutzt, um im Körper selbst Tumore oder andere krankhafte Veränderungen durch innere Behandlung zu beseitigen.

1. Geschichte

Der Radiopharmakologie liegt eine lange Geschichte von Entdeckungen und Forschung zugrunde, welche von unterschiedlichsten Forscherinnen und Forschern geprägt wurde. Die ersten Anfänge tätigte **Henri Becquerel** im Jahr 1896.

Henri Becquerels Entdeckung war, wie vieles ein reiner Zufallsfund. Er untersuchte die Lumineszenzstrahlung von Uranoxid UO_2 , welches eine lichtabgeschirmte Photoplatte schwärzen konnte. Becquerel erkannte, dass es sich hierbei um eine Eigenstrahlung des Materials handeln musste und nannte diese „Radioaktivität“. Die beiden Forscher Pierre Curie und Marie Sklodowska Curie erforschten die Radioaktivität in Paris und entdeckten mehrere Elemente, welche damals noch nicht im PSE eingetragen waren. 1898 erkannten die beiden Physiker Julius Elster und Hans Friedrich Geitel, dass der Radioaktivität eine Elementumwandlung zu Grunde liegt.

In den Beginn des Einsatzes von Radiopharmaka, wurde vor allem Radium und Thorium verwendet. Diese Medikamente waren als „Radiumtaumel“ bekannt. Einsatzgebiete waren Behandlungen bei Akne, Tuberkulose, Elephantiasis, Syphilis und Epilepsie.

Im Jahr 1905 wurden die ersten Tumore mit radioaktiven Substanzen, hauptsächlich Radiumbromid und Radiumsulfid, behandelt. Doch nicht nur in der onkologischen Therapie wurden Radioisotope eingesetzt. Aus Werbungen ist bekannt, dass die Radioaktivität als Wundermittel und Allheilmittel verkauft wurde. Radioaktive Trinkwasseraufbereitung war an der Ostküste der USA ein gängiges Verfahren und sollte Menschen gesünder machen. Ebenso wurde radioaktive Schokolade, welche die Manneskraft stärken und das Altern verhindern sollte, in den Supermarkt gebracht. Eine Untersuchung 1930 ergab jedoch, dass nur 5% der Produkte wirklich Radioaktivität aufwiesen.



Abb. 1.1: Radiaktive Zahnpasta



Abb. 1.2: Angeblich gesundheitsförderliche Schokolade



Abb. 1.3: Radiaktives Wasser



Abb. 1.4: Darstellung des Versuchs von H. Becquerel



Abb. 1.5: Falsche Kopie der geschwärzten Photoplatte

2. Grundlagen

2.1. Radioaktivität

Die Grundlage der Radioaktivität ist der Kernzerfall eines Atoms. Atome sind aus Protonen, Neutronen und Elektronen aufgebaut, wobei Elektronen bei Kernprozessen keine Rolle spielen. Ein radioaktiver Zerfall findet dann statt, wenn ΔE positiv ist. Ein Nuklid wird durch die Protonenzahl Z , Neutronenzahl N und die Massenzahl A beschrieben. Nuklide eines chemischen Elements haben dieselbe Protonenzahl aber unterschiedliche Neutronenzahlen und werden auch Isotope genannt. Ein Pendant zum Periodensystem der Elemente ist die sogenannte Nuklidkarte, welche alle Nuklide in einem Koordinatensystem darstellt.

Radioaktive Atomkerne besitzen eine potentielle Energie, welche auf unterschiedliche Arten frei werden kann. Eine Zerfallsart ist der **α -Zerfall**. Dieser tritt bevorzugt bei schweren Kernen auf und lässt sich durch die Bildung eines He-Kerns beschreiben. Die β -Strahlung kann in **β^+ -Zerfall** und **β^- -Zerfall** geteilt werden. Bei der häufigeren β^- -Strahlung wird ein Neutron in ein Proton umgewandelt und ein Elektron und Antineutrino wird ausgesendet. Fluor-18, eines der häufigsten Nuklide in der Radiopharmazie, zerfällt mittels eines β^+ -Zerfalls und sendet dabei Positronen aus. Die Ladung des Atomkerns ändert sich, nicht jedoch die Masse des Kerns. Diese Positronen, sind positiv geladene Elektronen. Im Kern kommt es zu einer Umwandlung eines Protons in ein Neutron, Positron und Neutrino. Die β^+ -Strahlung tritt nur bei künstlich hergestellten Radionukliden mit kleinem Z auf. Die Lebensdauer eines Positrons ist im Allgemeinen sehr kurz und es vereinigt sich bei der Abbremsung mit einem Elektron. Dabei entstehen zwei γ -Quanten mit einer jeweiligen Energie von 0,511 MeV. Diese beiden Quanten werden in die entgegengesetzte Richtung emittiert. Diese „Vernichtungsstrahlung“ (Annihilation) ist ein natürliches Nebenprodukt der β^+ -Strahlung. Die dritte wesentliche Strahlungsart ist der **γ -Zerfall**, welcher dadurch gekennzeichnet ist, dass ein Nuklid von einem angeregten Zustand in den Grundzustand zurückkehrt und ein γ -Quant emittiert. Manchmal können Elektronen anstelle der γ -Quanten auftreten.

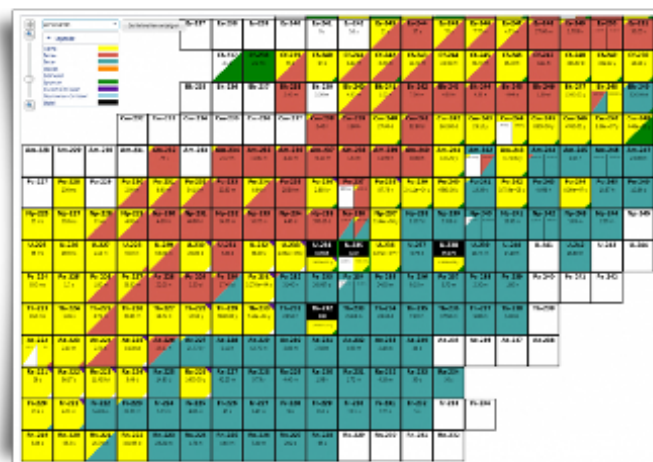


Abb. 2.1.1: Darstellung einer Nuklidkarte

2.2. Herstellung von Radionukliden

Radionuklide können durch verschiedene Geräte hergestellt werden. Einerseits mit dem **Reaktor**, wobei hier Nuklide mit γ -Strahlung produziert werden. Radionuklide mit einem β^+ -Zerfall werden häufig mittels **Zyklotron** hergestellt. Hierbei wird ein Target mit beschleunigten Teilchen (Protonen, Deuteronen) beschossen und es kommt zu einer Kernreaktion. Die dritte Möglichkeit ist über ein **Generatorsystem**. Dort zerfallen länger lebige Mutternuklide in Tochternuklide, mit kürzerer Halbwertszeit, welche dann selektiv eluiert werden können. Das wichtigste Beispiel dafür ist der $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Generator.



Abb. 2.2.1: ^{99}Mo -Generator für die $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Herstellung

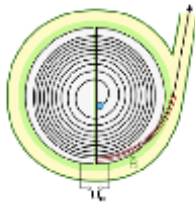


Abb. 2.2.2: Funktionsweise eines Zyklotrons



Abb. 2.2.3: Zyklotron des AKH-Wien

2.3. Herstellung von Radiopharmaka

Die Synthesen von Radiopharmaka erfolgen an abgeschirmten Arbeitsplätzen, denn bei der Herstellung dürfen beteiligte Personen nicht mit Strahlung kontaminiert werden. Eine der gängigsten Methoden ist die Verwendung von sogenannten **Kits**. Hierbei liegen schon alle Reaktionspartner in einer Ampulle vor und nur mehr die benötigte Menge an Radionuklid muss zugefügt werden. Durch diese Methode ist es auch nicht ausgebildeten ChemikerInnen möglich, Radiopharmaka für PatientInnen herzustellen.

2.4. Diagnosemethoden

Die klinische Diagnose der radioaktiven Strahlung kann über verschiedene Geräte erfolgen. γ -Strahlung wird mittels Detektoren, welche z.B. ringförmig um den Patienten angeordnet sind aufgefangen. Dabei wird die ausgesandte Energie gemessen und in ein elektrisches Signal umgewandelt. Dieses Signal wird wiederum im Computer in ein Bild umgewandelt, welches anzeigt, aus welcher Körperregion die Strahlung gekommen ist.

Die **Positronen-Emissions-Tomographie (PET)** erfasst ausgesandte γ -Quanten aus der Vernichtung von β^+ -Strahlern. Häufig werden PET-Geräte mit einer Computertomographie (CT) oder Magnetresonanz (MR) kombiniert um eine detaillierte Bildgebung zu gewährleisten ("Hybridbildgebung").

Die **Single-Photon-Emissions-Tomographie (SPECT)** fängt einzelnen Photonen auf und verwendet diese für die gewünschte Bildgebung. Dabei handelt es sich um sogenannte **Gammakameras (Szintigraph)**. Die SPECT kann ebenfalls mit einem CT kombiniert werden.

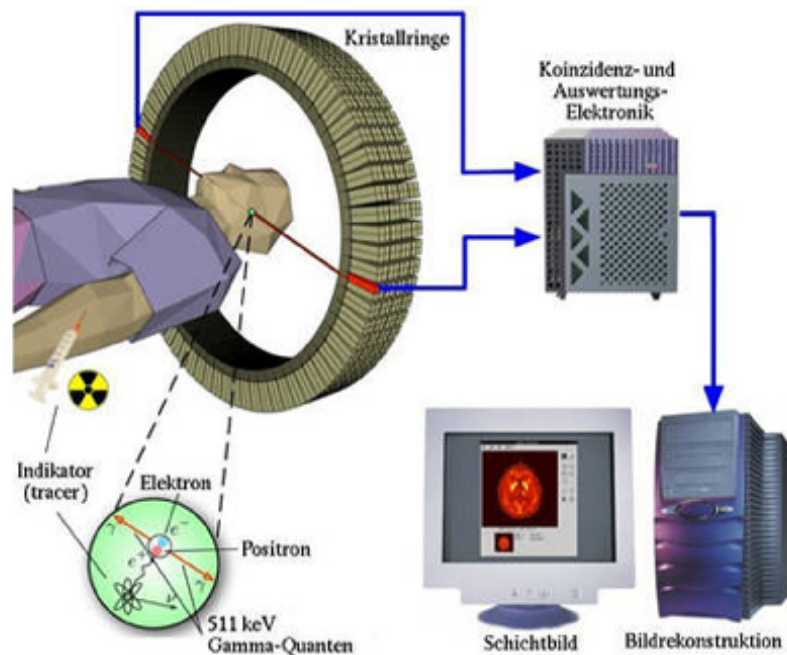


Abb. 2.4.1: Funktionsweise eines PETs

3. Radiopharmaka und ihre Wirkung

Radiopharmaka basieren auf dem Prinzip, dass körpereigene oder ähnliche Substanzen, die mit einem Radionuklid versetzt wurden, verwendet werden:

Radiopharmakon = Radionuklid + „biologisch aktive Komponente“

Als „biologisch aktive Komponente“ werden z.B. Zucker, Aminosäuren, Neurotransmitter, Peptide oder Proteine (Antikörper) eingesetzt. Diese Komponente verursacht eine spezifische Wechselwirkung mit dem molekularen Ziel (z.B. Tumorgewebe, Entzündungen, Rezeptoren, Stoffwechselvorgänge oder Enzymen).

3.1. Radionuklide

Die Einteilung der Radionuklide erfolgt über ihr Einsatzgebiet bzw. über die Diagnosemethode. So kann zwischen Therapie-, SPECT- oder PET-Nukliden unterschieden werden. Diese Differenzierung erfolgt durch die verschiedenen Strahlungsarten, welche die Nuklide emittieren. SPECT-Nuklide sind γ -Strahler. PET-Nuklide sind β^+ -Strahler, welche in weiterer Folge γ -Quanten aussenden. In der Therapie werden α - oder β^- -Strahler eingesetzt.

Radionuklid	Strahlungsart	HWZ	Herstellung	Anwendung
^{11}C	β^+	20 min	Zyklotron	PET
^{18}F	β^+	110 min	Zyklotron	PET
^{68}Ga	β^+	68 min	Generator ($^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$)	PET
^{90}Y	β^-	72 h	Reaktor	Therapie
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	γ	6 h	Generator ($^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$)	SPECT
^{123}I	γ	13,2 h	Zyklotron	SPECT
^{131}I	β^-	8 d	Reaktor	Therapie
^{177}Lu	β^-	6,7 d	Reaktor	Therapie
^{223}Ra	α	11,4 d	Reaktor	Therapie

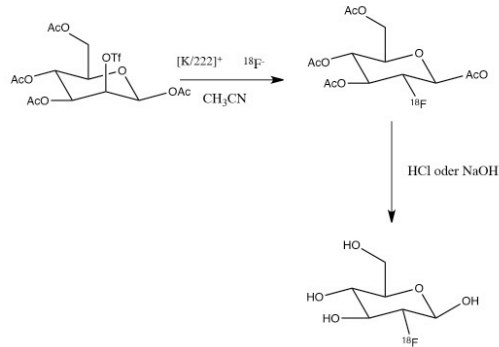
3.2. Radiopharmaka

Die am häufigsten eingesetzte Radiopharmaka, beinhalten in der PET, Fluor-18 oder Gallium-68 bzw. in der SPECT Technetium-99m.

Radiopharmakon	Nuklid	Anwendung
^{18}F FDG (2- ^{18}F Fluor-2-desoxyglucose)	^{18}F	Onkologie, Neurologie, Kardiologie
^{11}C Methionin	^{11}C	Neurologie (Hirntumor)
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetat	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Schilddrüsendiagnostik
^{131}I Iodid	^{131}I	Schilddrüsentherapie
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI (hexa-methoxyisobutyl-isonitril)	$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Herzmuskeldurchblutung

3.3. [^{18}F]FDG und die Glykolyse

Eines der bekanntesten Radionuklide ist 2- ^{18}F Fluor-2-desoxyglucose oder [^{18}F]FDG. [^{18}F]FDG wird über eine Reaktion von ^{18}F mit einem vorbereiteten Glukosederivat hergestellt.



Durch die Ähnlichkeit mit natürlicher Glukose wird [^{18}F]FDG in der Zelle ganz normal aufgenommen und die ersten Schritte der Glykolyse beginnen. In der Zelle wird [^{18}F]FDG zunächst analog zu Glukose in FDG-6-Phosphat umgewandelt. Eine weitere Metabolisierung, durch die nachgeschaltete Isomerase, ist aber durch die Substitution von ^{18}F nicht möglich. Die Rückreaktion zu [^{18}F]FDG ist fast nicht möglich und so kommt es zu einer Anreicherung in den Organen über die Zeit. Während dieser Anreicherung kommt es zu Kernzerfällen und γ -Quanten werden ausgesendet, welche vom PET-Scanner erfasst werden können. Somit können Vorgänge im Körper, die unterschiedlich viel Glukose verwenden, detektiert werden (z.B. Tumore, Entzündungen, Epilepsie).

3.4. Technetium-99m

Das mit Abstand am häufigsten in der Nuklearmedizin eingesetzte Radionuklid ist Technetium-99m. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Radiopharmaka werden für die Szintigraphie verschiedener Organe verwendet. Vor allem im Bereich der Schilddrüsendiagnostik wird $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetat eingesetzt. Das $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Pertechnetat reichert sich bei krankhaften Veränderungen in der Schilddrüse anders an als im Normalgewebe und sendet γ -Strahlen aus, welche von einem Detektor aufgefangen werden. Die Halbwertszeit liegt bei ungefähr sechs Stunden. Durch diesen kurzen Zeitraum, muss $^{99\text{m}}\text{Tc}$ mittels eines $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Generators hergestellt werden. Molybdän-99 dient als Mutter-nuklid und zerfällt mit einer HWZ von ca. 66 Stunden in $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Anregung für Lehrperson/ weiterführende Themen

- Krebsentstehung
- Unterschiedliche Krankheiten und Diagnosemethoden
- Detaillierte Erklärung der Herstellungsmethoden der Radionuklide
- Detaillierte Erklärung der Herstellungsmethoden der Radiopharmaka
- Radioaktivität – spezifische Strahlung
- Gefahren von Radioaktivität
- Glykolyse (aerob vs. anaerob)



9. Conclusio

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Einführung des Gebietes der medizinischen Radiochemie in unterschiedlichen Schulstufen viele Möglichkeiten, aber auch Schwierigkeiten bietet.

Durch die spezifische Fragestellung *„Inwieweit lässt sich das Gebiet der medizinischen Radiochemie, insbesondere die Tracertechnik mittels [^{18}F]Fluor-2-desoxyglucose, in den Schulunterricht einer 8. und 11. Schulstufe einer Allgemein Höheren Schule einbringen?“* war von Beginn ausgedrückt, dass die Einführung dieser Thematik theoretisch möglich ist. Die praktische Durchführung hat gezeigt, dass auch Schülerinnen und Schüler im ersten Lehrjahr Chemie dem Unterricht folgen können.

Die erste postulierte These *„Die Thematik muss in der 8. Schulstufe durch einen zweigeteilten Unterricht - Physik und Chemie - für die Schülerinnen und Schüler aufgearbeitet werden.“* hat sich so weit bestätigt, dass die Schülerinnen und Schüler in ihrem ersten Lehrjahr noch nicht genug Vorwissen besitzen, als dass sie den Stoff ohne die Grundlagen aus dem Physikunterricht kognitiv erfassen können. Durch die Wiederholung des radioaktiven Zerfalles und einer Erklärung welche Energien dabei entstehen, hatten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit schon abgespeichertes Wissen zu vertiefen oder es sich wieder in das Gedächtnis zurufen. Diese Wiederholung hat eine weitere These bestätigt. *„Die Schülerinnen und Schüler der 8. Schulstufe können, auch ohne viel Vorwissen dem Unterricht folgen und die Thematik verstehen.“* Diese Überlegung wurde durch das Feedback und Fragen während der Stunden von den Schülerinnen und Schülern selbst verifiziert. Eine weitere Möglichkeit zur Überprüfung dieser These wäre ein Fragebogen, der von den Schülerinnen und Schülern ausgefüllt wird. Ebenso wäre auch eine Wissensüberprüfung am Ende der Stunde wichtig gewesen. Denn hierbei kann das Wissen der Schülerinnen und Schüler gefestigt werden und die Lehrperson bekommt einen Überblick, welche Jugendliche noch Probleme mit dem Stoff haben und kann in der darauffolgenden Stunde daran anknüpfen.

Für die 11. Schulstufe wurde die These überlegt, dass die Schülerinnen und Schüler genug Vorwissen aus anderen Fächern mitbringen, um das Thema mit Hilfe von Arbeitsblättern, aber unabhängig von der Lehrperson, erarbeiten können. Diese These wurde ebenso verifiziert, da die Unterrichtsbeobachtung gezeigt hat, dass einige Themenbereiche auf den Arbeitsblättern den Schülerinnen und Schülern schon bekannt waren und sie kaum Verständnisfragen hatten. Auch beim abschließenden Vergleich, welcher als eine Art Wissenskontrolle fungierte, hatten die Schülerinnen und Schüler kaum unterschiedliche oder falsche Antworten.

Der bedeutende Unterschied zwischen der achten und elften Schulstufe war die Verwendung von Fachvokabular. Hier wurde die These „*Der Gebrauch von Fachsprache ist in beiden Schulstufen möglich, jedoch muss auf die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler eingegangen werden.*“ ebenfalls bestätigt. Wie in Kapitel Fünf beschrieben wird, haben die Schülerinnen und Schüler der Oberstufenklasse den Vorteil, dass ihnen der Gebrauch von Fachvokabular geläufiger ist als den Schülerinnen und Schülern aus der achten Schulstufe. In beiden Fällen hat sich aber gezeigt, dass die Jugendlichen mit Fachausdrücken umgehen können und diese auch verstehen. In der Unterstufe müssen spezifische Begriffe länger und genauer erklärt, definiert und öfters wiederholt werden. Vor allem die Bezeichnung für 2-[¹⁸F]FDG und deren Aufbau hat in dieser Schulstufe die größten Probleme verursacht. Hierbei wäre ein großes Molekül, wie es von den Schülerinnen und Schülern der 11. Schulstufe hergestellt wurde, zu empfehlen. Denn anhand dieses Modells kann der ganzen Klasse genau erklärt werden, welche Bedeutung das ¹⁸F-Ion hat und wieso die Ähnlichkeit mit dem Zuckermolekül so eine große Rolle in der Radiopharmakologie spielt.

Die Frage welches Vorwissen von den Schülerinnen und Schülern mitgebracht werden muss, wurde in Kapitel Vier ausführlich beantwortet. Kurz zusammenfasst kann aber gesagt werden, dass vor allem die verschiedenen Strahlungsarten und deren unterschiedliche Energieentsendung verstanden werden muss. Von Seiten der Biologie müssen die Schülerinnen und Schüler der Unterstufen wissen, wie Energie im Körper gewonnen wird und von welchen Nahrungsmitteln dieser Energiegewinn ausgeht. Die Jugendlichen der Oberstufenklassen sollten Vorkenntnisse über die Tumorentstehung haben und ungefähr wissen, wie die Glykolyse im Körper abläuft. Hierzu sind aber keine chemischen Formeln notwendig, sondern ein Wissen über ATP und die Zuckerspaltung ist ausreichend.

Zu Beginn der Unterrichtsplanung kam die Frage auf, wie weit die medizinische Radiochemie oder Radiopharmakologie den Schülerinnen und Schülern vorgestellt werden muss, damit ein Wissensaufbau entstehen kann. Die Unterrichtsdurchführung hat gezeigt, dass in der Unterstufe eine kurze Einführung in die Thematik notwendig ist. Hier ist zu empfehlen, dass die Schülerinnen und Schüler selbstständig überlegen, welche Arten es gibt, um in den menschlichen Körper zu blicken. Denn einigen Schülerinnen und Schülern ist ein PET-Scan vage bekannt, jedoch haben sie das Hintergrundwissen nicht, um die Methode voll und ganz zu verstehen. In der Oberstufe haben die meisten Schülerinnen und Schüler ein ungefähres Wissen, was ein PET-Scan ist und auch das Stichwort SPECT ist während des Brainstormings

gefallen. Der Zusammenhang zwischen Tumordiagnostik und Nuklearmedizin war einigen Schülerinnen und Schülern bekannt und hat dadurch den Stundeneinstieg erleichtert.

In Klassen, welche mit dem Thema nicht so vertraut sind, sollten die ersten Minuten dazu genutzt werden, die Nuklearmedizin und vor allem den PET-Scan thematisch in den Bereich der Medizin und Diagnosemethoden einzuordnen. Hierzu ist eine Grafik oder ein Tafelbild zu empfehlen.

Für Pädagoginnen und Pädagogen der heutigen Zeit ist die wichtigste Frage, welche Kompetenzen in den Unterrichtseinheiten geschult werden. Für die Unterstufenklasse war es das Ziel, dass die Schülerinnen und Schüler mit einem annähernd neuen Themengebiet bekannt werden und lernen wichtige Informationen aus verschiedenen Quellen isolieren und verstehen können. Ebenso war es von Bedeutung, dass die Jugendlichen lernen neue naturwissenschaftliche Phänomene erklären zu können. Vor allem die Methode des Expertenpuzzle war von großer Wichtigkeit, da die Schülerinnen und Schüler als Expertinnen und Experten ihr neu erlerntes Wissen an ihre Klassenkolleginnen und Klassenkollegen weiter geben mussten.

In der Oberstufe sollten die Schülerinnen und Schüler ebenso Daten und Fakten aus unterschiedlichen Quellen herausfiltern und weitergehend kritisch hinterfragen. In der geplanten Diskussionsrunde ist es das Ziel, dass die Jugendlichen dieses Wissen kritisch wiedergeben können. Um dies bewältigen zu können, sollten sie die Antworten auf den Arbeitsblättern in unterschiedlichen Formaten darstellen und ihr Vorwissen aus anderen Disziplinen heranziehen.

Eine genau Auflistung der verwendeten und allgemein vorhandenen Kompetenzen lässt sich in Kapitel Fünf nachlesen.

Die Frage: *Ist es möglich ein Konzept zu erstellen, welches als ein weiterführendes Kapitel in Schulbüchern untergebracht werden kann, damit die Radiochemie einen höheren Stellenwert im Chemieunterricht bekommt?*“ kann bestätigt werden. Bei der Gestaltung des Kapitels war zu beachten, dass das Layout an andere Schulbücher angepasst ist und dass das Kapitel so aufgebaut ist, dass die Lehrperson eine erste Anregung hat. Sollte das Kapitel von Schülerinnen und Schülern eigenständig bearbeitet werden, so ist dies anhand dieses Kapitels ebenfalls möglich.

Kritisch zu betrachten ist die Zeiteinteilung in den Unterrichtseinheiten, da mehr Zeit benötigt worden wäre, um vor allem in der Oberstufe die Diskussion über Kosten und Nutzen der

Nuklearmedizin, einzubringen. Auch in der Unterstufe wäre eine dritte Stunde von Vorteil gewesen, da eine Wissenskontrolle am Ende der Einheit gefehlt hat. Auch hätten offene Fragen, welche nach längerem Überlegen entstehen können, beantwortet werden können. In diesem Sinne wäre ein Projekt, welches über mehrere Tage und bestenfalls mit verschiedenen Unterrichtsfächern kombiniert ist, wünschenswert. Dabei hätten die Schülerinnen und Schüler die Möglichkeit noch mehr Aspekte der medizinischen Radiochemie kennen zu lernen. Vor allem für die Schülerinnen und Schüler der Oberstufe wäre eine Erweiterung des Themengebietes auf Aminosäuretracer oder Behandlungsmethoden mit Radionukliden wünschenswert.

So ein Projekt, welches mehr Aspekte der Nuklearmedizin abdeckt, wäre in einer modularen Oberstufe möglich. Hier könnte ein Kurs, welcher ein Semester lang dauert, das Thema Gesundheit und Medizin behandeln. Dabei wäre ein tiefer Einblick in die Radiopharmakologie möglich und auch andere Aspekte der Pharmakologie oder Biochemie könnten behandelt werden.

Ein weiterer Forschungsschwerpunkt wäre die Entwicklung passender Versuche für Schulklassen. Vor allem für Schülerinnen und Schüler der Unterstufe, wäre ein Versuch, welcher die Tracertechnik oder den Energiegewinn im Körper zeigt, für das Verständnis von großem Vorteil. Durch das Verbot von radioaktiver Strahlung in Schulen ist ein Experiment mit ^{18}F -Ionen nicht möglich. Jedoch wären Versuche ohne radioaktive Strahlung denkenswert.

Diese kurzen Überlegungen haben weitere Forschungsmöglichkeiten im Bereich der erweiterten Schulbildung aufgezeigt. Für mich persönlich wäre es sehr erfreulich, wenn in diesem Bereich weitere Entwicklungen stattfinden würden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: eigene Anfertigung

Abbildung 2: [image on the Internet]. [cited 2016 Jan 28]. Available from:

<http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/radioaktivitaet-einfuehrung/geschichte>

Abbildung 3: [image on the Internet]. [cited 2016 Feb 7]. Available from:

http://goerdeler.lspb.de/cms/gghtml/oetzi/oetzi_5/image039.jpg

Abbildung 4: zur Verfügung gestellt von W. Wadsak

Abbildung 5: Hanahan D, Weinberg RA. The Hallmarks of Cancer. Cell. 2000; 100: 57-70.

Abbildung 6: eigene Anfertigung

Abbildung 7: eigene Anfertigung

Abbildung 8: eigene Anfertigung

Abbildung 9: [image on the Internet]. [cited 2016 Feb 7]. Available from: <http://cdn-scraplogo.pearltrees.com/fa/ce/face04999d1624485607a0d6e6f0b7ca-pearlsquare.jpg?v=2>

Bibliographie

- [1] Lehrplan Chemie der AHS-Unterstufe [Internet]. Wien: Bundesministerium für Bildung und Frauen; 2000 [cited 2016 January 24]. Available from: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs6_780.pdf?4dzgm2
- [2] Lehrplan Chemie der AHS-Unterstufe [Internet]. Wien: Bundesministerium für Bildung und Frauen; 2000 [cited 2016 January 24]. Available from: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_09_11861.pdf?4dzgm2
- [3] Kiel E, editor. Unterricht sehen, analysieren, gestalten. 2nd ed. Bad Heilbrunn: Klinkhardt; 2012.
- [4] Mattes W, editor. Methoden für den Unterricht: 75 kompakte Übersichten für Lehrende und Lernende. Paderborn: Schöningh; 2002.
- [5] Bethge K, Kernphysik: Eine Einführung; mit 24 Tabellen, 89 Übungen mit ausführlichen Lösungen sowie Kästen zur Erläuterung und einem historischen Überblick über die Entwicklung der Kernphysik. Berlin: Springer; 1996.
- [6] Staiger C. Zur Geschichte der Radiopharmazie: „Strahlende Gesundheit“. Pharm. Unserer Zeit. 2005; 34(6): 454-459.
- [7] Hoffmann P, Lieser KH. Methoden der Kern- und Radiochemie. Weinheim: VCH-Verl.-Ges.; 1991.
- [8] Schicha H, Schober O. Nuklearmedizin: Basiswissen und klinische Anwendung. 7th ed. Stuttgart: Schattauer GmbH; 2013.
- [9] Stolz W. Radioaktivität: Grundlagen – Messung – Anwendung. 5th ed. Wiesbaden: Teubner; 2005.
- [10] Keller C. Grundlagen der Radiochemie. 3rd ed. Frankfurt am Main: Otto Salle Verlag GmbH & Co.; 1993.
- [11] Lieser KH. Einführung in die Kernchemie. 3rd ed. Weinheim: VCH; 1991.
- [12] Hanahan D, Weinberg RA. The Hallmarks of Cancer. Cell. 2000; 100: 57-70.
- [13] Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of Cancer: The Next Generation. Cell. 2011; 144: 646-674.
- [14] Herzog H, Rösch F. PET- und SPECT-Technik: Chemie und Physik der Bildgebung. Pharm. Unserer Zeit. 2005; 34(6): 468-473.
- [15] Al-Jammaz I, Al Rayyes A.H, Chai J-S, Ditroi F, Haji-Saeid M, Jensen M, et. al. Cyclotron Produced Radionuclides: Operation and Maintenance of Gas and Liquid Targets. IAEA Radioisotopes and Radiopharmaceuticals Series. 2012; 4: 5-120.

- [16] Nozaki T, Iwamoto M, Ido T. Yield of ^{18}F for Various reactions form Oxygen and Neon. International Journal of Applied Radiation and Isotopes. 1974; 25: 393-399.
- [17] Qaim SM, Coenen HH. Produktion pharmazeutisch relevanter Radionuklide: An Reaktoren und Zyklotronen. Pharm. Unserer Zeit. 2005; 34(6): 460-466.
- [18] de Goeij JJM, Bonardi ML. How do we define the concepts specific activity, radioactive concentration, carrier, carrier-free and no-carrier-added?. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2005; 263(1): 13-18.
- [19] Hamacher K, Coenen HH, Stöckling G. Efficient Stereospecific Synthesis of No-Carrier-Added-2- ^{18}F -Fluoro-2-Deoxy-D-Glucose Using Aminopolyether Supported Nucleophilic Substitution. J Nucl. Med. 1986; 27: 235-238.
- [20] Machulla HJ. PET-Diagnostik in der Onkologie: Beispiele aus der Praxis. Pharm. Unserer Zeit. 2005; 34(6):490-497.
- [21] Knieß T, Steinbach J. PET-Tracer für die onkologische Diagnostik: Welche radiomarkierten Substanzen sind relevant?. Onkologische Pharmazie. 2009; 11(4): 4-11.
- [22] Yu S. Review of ^{18}F -FDG synthesis and quality control. Biomedical Imaging and Intervention Journal [Internet]. 2006 [cited 2016 January 26]; 2 (4):e57. Available from: <http://www.bij.org/2006/4/e57> doi: 10.2349/bij.2.4.e57
- [23] Füchtner F, Steinbach J, Mäding P, Johannsen B. Basic Hydrolysis of 2- ^{18}F Fluoro-1,3,4,6-tetra-O-acetyl-D-glucose in the Preparation of 2- ^{18}F Fluoro-2-deoxy-D-glucose. Appl. Radiat. Isot. 1996; 47 (1): 61-66.
- [24] Berg JM, Tymoczko JL, Stryer L. Biochemie. 6th ed. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag; 2007.
- [25] Schmoll L. Grundbausteine des Unterrichts. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren; 2010.
- [26] Wiechmann J. Frontalunterricht. In: Wiechmann J, editor. Zwölf Unterrichtsmethoden: Vielfalt für die Praxis. Weinheim: Beltz Verlag; 2011. p. 24-36.
- [27] Berger E, Fuchs H. Planen, unterrichten, beurteilen: das Wichtigste für die Praxis. Linz: Veritas Verlag; 2007.
- [28] Peterßen WH. Kleines Methoden-Lexikon. 2nd ed. München: Oldenbourg-Schulbuchverlag; 2001.
- [29] Gudjons H. Methodik zum Anfassen: Unterrichten jenseits von Routinen. Bad Heilbrunn: Klinkhardt; 2000.
- [30] Wiechmann J. Unterrichtsmethoden – vom Nutzen der Vielfalt. In: Wiechmann J, editor. Zwölf Unterrichtsmethoden: Vielfalt für die Praxis. Weinheim: Beltz Verlag; 2011. p. 13-23.

- [31] Frey-Eiling A, Frey K. Das Gruppenpuzzle. In: Wiechmann J, editor. Zwölf Unterrichtsmethoden: Vielfalt für die Praxis. Weinheim: Beltz Verlag; 2011. p. 52-59
- [32] Springer. Gruppe. In: Gabler Wirtschaftslexikon [Internet]. [cited 2015 August 8]. Available from: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/gruppe.html>
- [33] Hegele I. Stationenarbeit – Ein Einstieg in den offenen Unterricht. In: Wiechmann J, editor. Zwölf Unterrichtsmethoden: Vielfalt für die Praxis. Weinheim: Beltz Verlag; 2011. p. 61- 74.
- [34] Bifie Wien. Kompetenzmodell Naturwissenschaften 8. Schulstufe. Wien: 2011.
- [35] Bundesministerium für Bildung und Frauen. Die kompetenzorientierte Reifeprüfung: Chemie. Richtlinien und Beispiele für Themenpool und Prüfungsaufgaben. Wien. Bundesministerium für Bildung und Frauen: 2012.
- [36] Lehrpläne der AHS-Unterstufe [Internet]. Wien: Bundesministerium für Bildung und Frauen; 2000 [cited 2015 Juni 23]. Available from: https://www.bmbf.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?4dzgm2.
- [37] Bamberger R, Methoden und Ergebnisse der internationalen Schulbuchforschung im Überblick. In: Olechowski R, editor. Schulbuchforschung. Frankfurt am Main: Lang; 1995. p. 57-59.
- [38] Magyar R, Liebhart W, Jelinek G, EL-MO: Elemente und Moleküle. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG; 2011.
- [39] Magyar R, Liebhart W, Jelinek G, Moleküle. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG; 2011.
- [40] Magyar R, Liebhart W, Jelinek G, Elemente. Wien: Österreichischer Bundesverlag Schulbuch GmbH & Co. KG; 2011.
- [41] Neufingerl F, Palka A, Chemie 1: Allgemeine und anorganische Chemie. Wien: Verlag Jugend & Volk GmbH; 2015.
- [42] Neufingerl F, Chemie 2: Organische Chemie. Wien: Verlag Jugend & Volk GmbH; 2012.

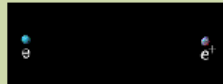
Anhang

A1. Power Point Präsentationen für 8.Schulstufe

A1.1. PET-Scan

PET-Scan

- PositronenEmissionsTomographie
- Positron entsteht bei Zerfall → trifft auf Elektron → beide vernichten sich
- Gammastrahlen entstehen → gehen von einander weg



Animation: zur Verfügung gestellt von W. Wadsak

- Gammastrahlen werden von Kristall im PET-Scan aufgefangen → erzeugen Lichtblitze → erzeugt elektrisches Signal
- Verbindungslinie zwischen Lichtblitzen kann detektiert werden

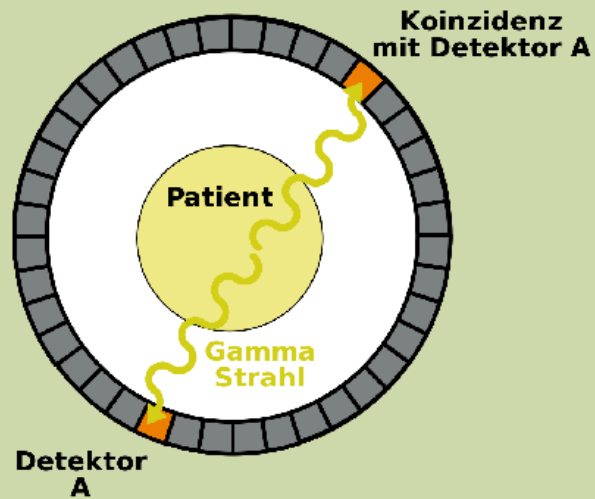


Abbildung 1: Hünig D- CC BY-SA 3.0 [image on the Internet]. 2006 Sept 8 [cited 2016 Jan 28]. Available from: https://de.wikibooks.org/wiki/Physikalische_Grundlagen_der_Nuklearmedizin/_Nuklearmedizinische_Abbildungssysteme

- 30.000 Kristalle in einem PET-Scan
- PET/CT: CT (Computertomographie) und PET werden miteinander verbunden

PET/CT

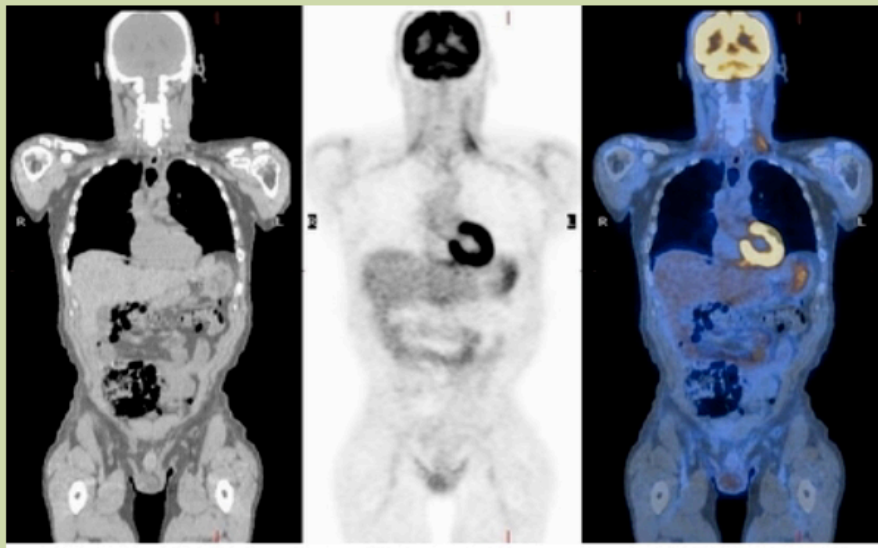


Abbildung 2:[image on the Internet].[cited 2016 Jan 28]. Available from: <http://www.med.harvard.edu/JPNM/chetan/petct/petct.html>

Vorteile

- Geringe Substanzmenge → keine Wirkung
- Körpereigenen Substanzen sehr ähnlich → gut verträglich
- Film über Zeit statt Bild

Nachteile

- Teure Herstellung
- Limitierte Information

A1.2. Herstellungsmöglichkeiten von Radioisotopen

Herstellung von Radionukliden

Herstellungsarten

- Zyklotron
- Generator
- Reaktor

Zyklotron

- Teilchenbeschleuniger
- Spiralähnliche Bahn
- Zielmaterial (Target) wird beschossen
- geringe Halbwertszeit → werden in Nähe von Patienten hergestellt

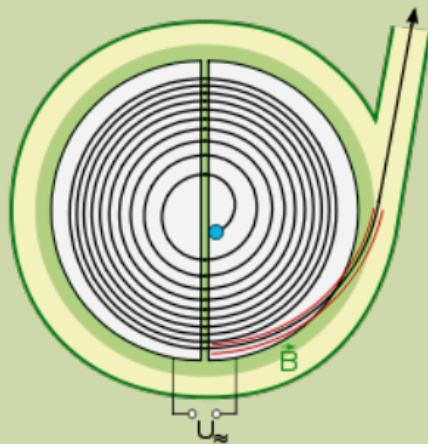


Abbildung 1: Foehl K. [image on the Internet]. 2009 Mai 14[cited 2016 Jan 28]. Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Zyklotron>

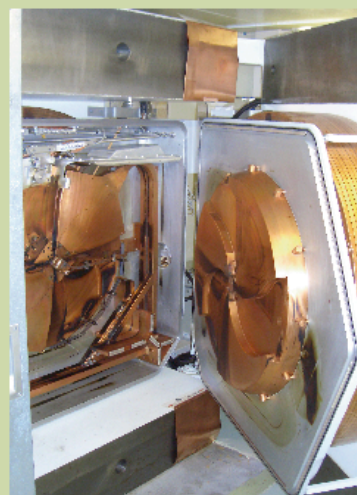


Abbildung 2: zur Verfügung gestellt von W. Wadsak

Generator

- Geringe Halbwertszeiten
- Mutternuklid bleibt in Generator
- Mutternuklid muss höhere Halbwertszeit haben als Tochternuklid

Generator

- Tochtermolekül kann „abgemolken“ werden
- Flüssige Form von Radionuklid → gute Weiterverarbeitungsmöglichkeit

Generator



Abbildung 3: Maher K. [image on the Internet]. 1990 Jan 1 [cited 2016 Jan 28].
Available from: <https://de.wikipedia.org/wiki/Technetium-99m-Generator#/media/File:Five99mTechnetiumGenerators.jpg>

Reaktor

- Atome mit Neutronen beschossen → sind aber zu schnell
- Neutronen müssen abgebremst werden (Graphit-Moderator) → thermische Neutronen

Reaktor

- Langsame Neutronen auf Atom schießen →
nimmt Neutron auf oder zerfällt →
Radionuklid entsteht



Abbildung 4: [image on the Internet]. [cited 2016 Jan 28]. Available from: <http://www.raonline.ch/pages/edu/nw2/kernenergie01.html>

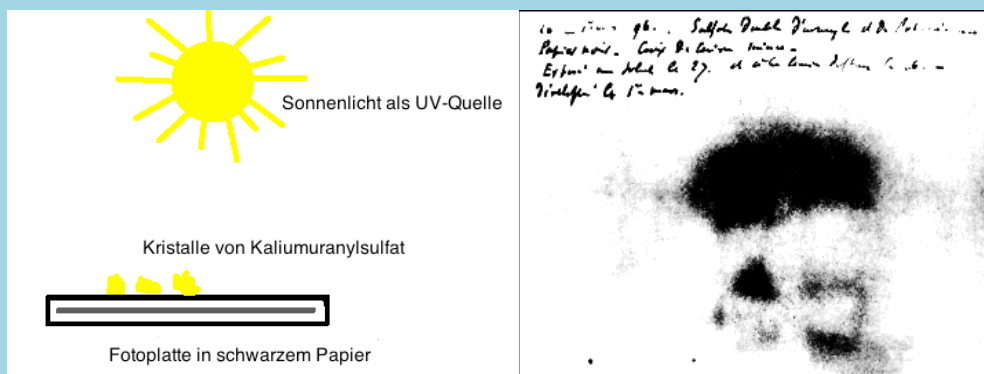
A2. Power Point Präsentation die für 11.Schulstufe

A2.1. Geschichte der Nuklearmedizin

Nuklearmedizin

Geschichte

- 1896: Henri Becquerel → Entdeckung von Radioaktivität
 - Untersuchung von Lumineszenz von Mineralien (UO_2)



Abbildungen 1: eigene Anfertigung

Abbildung 2:[image on the Internet]. [cited 2016 Jan 28]. Available from: <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/radioaktivitaet-einfuehrung/geschichte>

- 1898: Radioaktivität ist Umwandlung von Element
- Anfang 20.Jahrhundert: Ehepaar Curie entdeckt neue Elemente
- 1905: 1.Tumorbehandlung
 - Radiumbromid
 - Radiumsulfit
- Nach 1.WK: neue Geräte für Dosisbestimmung

- Radioaktivität als Wundermittel in den USA:
 - Radioaktives Trinkwasser und Schokolade → stärkt Manneskraft und verhindert Altern
 - Nur 5% der Produkte mit radioaktiven Substanzen



Abbildung 3:[image on the Internet]. 2011 Dec 11 [cited 2016 Jan 28]. Available from: <https://treeofmamre.wordpress.com/2011/12/11/1920s-ad-drink-radioactive-water-for-your-health/>



Abbildung 4:[image on the Internet]. 2010 Jul 25 [cited 2016 Jan 28]. Available from: <http://pharmama.ch/2010/07/25/eine-strahlende-vergangenheit/>



Abbildung 5:[image on the Internet]. 2011 Apr 15 [cited 2016 Jan 28]. Available from: <http://www.mta-r.de/blog/die-burkbraunradiumschokolade/>

- 1933: künstliche Radionuklide
- 1941: erste Schilddrüsentherapie mit Radioiod
- 1943: 1.Reaktor in Tennessee
- 1977: 1.Synthese von [^{18}F]FDG

A3. Zusammenfassung

Die vorliegende Diplomarbeit befasst sich mit der Frage, ob Aspekte der medizinischen Radiochemie, vor allem die Verwendung, Funktionsweise und Herstellung von Radiopharmaka in der 8. und 11.Schulstufe unterrichtet werden können. Zur Untersuchung wurden zwei Unterrichtseinheiten in einem Gymnasium in 2340 Mödling, herangezogen. In der 8.Schulstufe wurde die Unterrichtseinheit auf eine Physik- und eine Chemiestunde aufgeteilt, wobei in der Physikstunde eine Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erklärt wurde. Die Chemiestunde diente zur Erklärung der chemischen Wirkung von 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose und dessen Anreicherung im Körper.

In der 11.Schulstufe wurde derselbe Inhalt mittels einer Gruppenarbeit vermittelt, wobei hier vor allem die Anreicherung von 2-[¹⁸F]Fluor-2-desoxyglucose im Körper, die Entstehung von Tumoren und die Bildgebung unterschiedlicher Organe im Fokus des Lerninhaltes standen.

Die verwendeten Arbeitsblätter wurden nach Feedback der Schülerinnen und Schüler, der Lehrkollegen und nach Rücksprache mit Prof. Dr. Wolfgang Wadsak verändert. Die verwendeten Unterrichtsmethoden, werden in der Diplomarbeit genauer dargestellt und ihre Bedeutung in verschiedenen Unterrichtssituationen erklärt.

Die vorliegende Diplomarbeit hat gezeigt, dass dieser Bereich der angewandten, medizinischen Chemie im Alltag der Schülerinnen und Schüler immer präsenter wird, jedoch dieses Thema in keinen österreichischen Schulbüchern aufgegriffen und im Unterricht kaum besprochen wird. Aus diesem Grund war die Erstellung von Schulbuchseiten, welche sich speziell mit diesem Thema auseinander setzen, das übergeordnete Ziel dieser Diplomarbeit. Die Schulbuchseiten sollen einen erleichterten Einstieg für Lehrpersonen, welche sich noch nicht mit dem Thema auseinander gesetzt haben, bieten.

Neben dem klassischen Chemieunterricht lässt sich das Thema mit verschiedenen anderen Schulfächern kombinieren. Neben den naturwissenschaftlichen Fächer Biologie und Physik, bieten sich auch Fächer wie Mathematik (Berechnung von Koinzidenzen und diagnostischer Bildgebung), Englisch (Fachausdrücke in der englischen Sprache präsentieren oder Teile des Unterrichtes auf Englisch gestalten) und Geographie (wirtschaftliche Aspekte).

Durch die vorliegende Arbeit konnte gezeigt werden, wie wichtig die Behandlung des Themenkomplexes im Unterricht von Klassen mit unterschiedlichem chemischen Grundwissen ist. Die Auswertung der Feedbackzettel der Schülerinnen und Schüler hat gezeigt, dass die medizinische Radiochemie auf jeden Fall in den Chemieunterricht in

unterschiedlichen Schulstufen aufgenommen werden sollte und, dass das Interesse der Schülerinnen und Schüler vorhanden wäre.

A4. Abstract

This diploma thesis investigates one question: can the medical aspect of radio-chemistry, especially the use function and production of radionuclides, be taught in different academic years? The lessons were held in an 8th grade and 11th grade class at a school in 2340 Mödling.

In the 8th grade the lesson was held by a physics and a chemistry teacher. In the course of the physics lesson, the main focus was on the positron emission tomography (PET). During the chemistry lesson, the students should understand the effect of 2-[¹⁸F]Fluoro-2-deoxyglucose and its enrichment in the human body.

The 11th grade students had very similar topics, but with a larger emphasis on the enrichment of emphasis on the enrichment of 2-[¹⁸F]Fluoro-2-deoxyglucose in the human body, the genesis of malignancies, and the medical imaging of different organs. The students worked in small groups and had to acquire the knowledge with minimal help from the teacher.

The worksheets were revised after the students feedback was read and a consultation with colleagues and Prof. Dr. Wolfgang Wadsak was held. The used teaching methods are further discussed in the diploma thesis.

This diploma thesis shows, that applied medical chemistry is a big issue in the students life, but is not discussed in any Austrian chemistry books. On this account, the main focus of this diploma thesis was to create a chapter for a chemistry book, in which nuclear medicine is represented in simplified terms. This chapter should help other teachers, who are not familiar with nuclear medicine and its chemical background, to be able to teach students.

Nuclear medicine can be taught interdisciplinary with science subjects, as biology or physics, but also with mathematics (calculating the occurrence of coincidences and diagnostic imaging), English (teaching technical terms) and geography (economical aspect).

This diploma thesis showed, that a discussion of nuclear medicine in different grades, with students, who have different skill levels, is very important. Especially the evaluation of feedbacks displays the importance of introducing new subjects in chemistry education and that the students are extremely interested in learning something new.

A5. Lebenslauf

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Katharina Czeiner
Adresse: Gärtnergasse 10/4, 2340 Mödling
Nationalität: Österreich
Telefon: +43 660/4320987
Email: katharina.czeiner@gmx.net
Geburtsdatum: 04.03.1992

Ausbildung

Seit Februar 2012: *Diplomstudium Lehramt für Chemie und Geschichte, Sozialkunde und Politische Bildung, Universität Wien*

Seit Oktober 2011: *Diplomstudium Lehramt für Chemie und Englisch (stillgelegt Juni 2012), Universität Wien*

Seit Oktober 2010: *Bachelorstudium Chemie (stillgelegt Oktober 2011), Universität Wien*

Dezember 2007 – Juni 2008: *Sprachaufenthalt: Texas, USA*

September 2002 – Juni 2010: *Abschluss am BG/BRG Mödling, Franz-Keimgasse 3*

September 1998 – Juni 2002: *Karl Stingl Volksschule, Mödling*

Beruflicher Werdegang

seit 2/2013: Unterrichtstätigkeit am BG/BRG Mödling, Franz-Keimgasse 3

02/2014: Ausbildung für den Skibegleitlehrer

07 – 08/ 2012 Ferialpraktikant bei AGES, Wien

Persönliche Fähigkeiten und Kompetenzen

Muttersprache: Deutsch

Fremdsprachenkenntnisse: • Englisch (C1)
• Isländisch (A1)

Computerkenntnisse: MS Office, SAP-Grundkenntnisse, Internet und Social-Media Kenntnisse

Führerschein: Klasse B