



Translation von DNA in Musik

Versuche zur Anwendung von Grundlagen der genetischen Information
im kreativen Prozess

Verfasst von

Leonie Jamila Schaak, Chelsea Angela Aloma-Gödeke und Maarten Schlüter

Fächer: Biologie & Musik
Prüfer: Jan Wicke & Knut Krüger-Bruhn

Inhaltsverzeichnis

1. Was war unser Ziel?	2
2. Was sind unsere Ergebnisse?	2
2.1 Das System	2
2.2 Song 1	3
2.3 Song 2	3
2.4 Kombination und Präsentation der Produkte	4
3. Wie sind wir zu unseren Ergebnissen gekommen?	5
4. Individuelle Reflexionen	12
4.1 Reflexion Chelsea	12
4.2 Reflexion Maarten	13
4.3 Reflexion Leonie	14
Glossar	15
Anhänge	17
Quellen	19

1. Was war unser Ziel?

Unser Ziel war es herausfinden, welche Grundlagen der Genetik sich im kreativen Prozess sinnvoll nutzen lassen. Um dieses Ziel zu erreichen, wollten wir Aspekte der Biologie wie Hormone, Aminosäuren oder mRNA-Sequenzen und Aspekten der Musik wie Taktart, Harmonie, Melodie, Tonhöhe oder Tempo miteinander verknüpfen. So war es uns möglich ein System zu erstellen, mit dem die mRNA-Sequenzen in Tonfolgen oder Melodien übersetzt werden können. Als Endergebnis wollten wir ein Produkt präsentieren, welches kurze mRNA-Sequenzen, mithilfe unseres entworfenen Systems tonal darstellt. Den Song wollten wir gepaart mit einem selbst entworfenen [Musikvideo](#) überliefern, um diesen noch besser darstellen zu können.

2. Was sind unsere Ergebnisse?

2.1 Das System

Unser System basiert auf unterschiedlichen Elementen der Biologie und der Musik. Rhythmik, Klangfarbe und die Beziehung zwischen den Motiven stehen im Vordergrund, um eine mRNA-Sequenz darzustellen. Vier Motive werden den vier RNA-Basen zugeordnet, damit aus ihnen musikalische Sequenzen gebaut werden können. Die Motive sind jeweils einen Takt lang.

Die Entwicklung der Motive richtet sich nach den folgenden Richtlinien:

1. Alle Motive müssen sich rhythmisch so voneinander abgrenzen, dass der Wechsel von einem Motiv zum Nächsten deutlich zu hören ist.
2. Der Aufbau und Klang der Motive muss zeigen, welches Motiv eine [Purinbase](#) und welches eine [Pyrimidinbase](#) darstellt. In diesem Fall wird eine Abgrenzung der beiden Purinbasen von den Pyrimidinbasen durch eine [Oktavverdopplung](#) in den jeweiligen Motiven erzielt. Da Purinbasen eine Struktur eines [Doppelring](#) haben, besitzen nur ihre Motive diese Oktavverdopplungen.
3. Die Beziehung zwischen einer Pyrimidinbase und dessen zugehöriger Purinbase muss während des Entwickelns der Motive mit einbezogen werden. In diesem Fall bedeutet dies, dass Motive zusammengehöriger Basen nach einem Frage-Antwort Prinzip geschrieben werden, d.h das Motiv für Guanin stellt musikalisch eine Antwort auf das Motiv für Cytosin dar und das Motiv für Adenin soll nach einer Antwort auf eine Frage in dem Motiv für Uracil klingen.

Nach dem Befolgen dieser Richtlinien erhielten wir die Motive A, B, C und D.

Unser [Motiv A](#) steht für die Purinbase Guanin, hat also eine Oktavverdopplung und stellt eine Frage zum Motiv B dar.

Unser [Motiv B](#) steht für die Pyrimidinbase Cytosin, hat also keine Oktavverdopplung und ist eine Antwort auf Motiv A.

Motiv C steht für die Pyrimidinbase Uracil, besitzt also keine Oktavverdopplung und ist eine Antwort auf Motiv D.

Unser Motiv D steht für die Purinbase Adenin, besitzt also eine Oktavverdopplung und stellt eine Frage zum Motiv C dar.

2.2 Song 1

Durch die Umsetzung unseres Systems ist als erstes Produkt ein musikalisches Stück mit einer Länge von ca. einer Minute entstanden. Die Tonart ist E-Dur, das Tempo liegt bei 180 bpm und das Stück ist im 4/4 Takt geschrieben.

Der Klang ist von elektronischer Musik aus den 80er Jahren inspiriert.

Die Hauptmelodie, bestehend aus den vier Motiven, wird von einem Synthesizer gespielt. Die Motive sind im Laufe des Songs in unterschiedlicher Reihenfolge zu hören. Diese Reihenfolge basiert auf einer mRNA-Sequenz, welche gelesen wird, um einen Serotonintransporter zu synthetisieren.¹

Ein Serotonintransporter transportiert ausgeschüttete Mengen des Glückshormons Serotonin aus dem synaptischen Spalt zurück zur präsynaptischen Endung.²

Aus praktischen Gründen übersetzen wir nur die ersten 48 Basen der gegebenen Sequenz mithilfe unseres Systems in Musik.

Ein Schlagzeug, Pads und ein Bass wurden hinzugefügt, da sie typische Bestandteile der Musik aus den 80ern sind. Der Bass und das Pad sind an die Motive angepasst und ändern sich somit ebenfalls entsprechend der mRNA-Sequenz.

2.3 Song 2

Unser zweites Produkt ist ein Song bestehend aus einer Strophe und einem Refrain. Er ist im 4/4 Takt geschrieben und besitzt ein Tempo, das bei 180 bpm liegt.

Der Song besitzt eine Länge von ca. 2 Minuten und enthält die Motive A und B.

Die Motive werden nacheinander gespielt und wiederholen sich im Laufe des Liedes (ABABA...). Insgesamt kommen die Motive A und B zusammen 72 mal vor, da 72 Guanin und Cytosin Basen für den Song genutzt wurden. Die Reihenfolge in der die Motive angeordnet sind, richtet sich nicht nach der mRNA Sequenz, sondern basiert stattdessen auf einer Stotterregion³.

Stotterregionen sind repetitive, nicht codierende DNA-Abschnitte. Wir verwenden sie im zweiten Produkt, weil sie im menschlichen Genom auftreten und weil wir dadurch unseren zweiten Song konventionell bzw. regelmäßig aufbauen können.

Der Song enthält einen Bass, Pads und Schlagzeug. Zusätzlich kommen im Song zwei unterschiedliche Formen von Gesang vor.

¹ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/L05568?report=GenBank>

² <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4965693/>

³ <https://www.nature.com/articles/tp2017133>

2.4 Kombination und Präsentation der Produkte

In der menschlichen DNA werden codierende Regionen häufig durch Stotterregionen unterbrochen. Diesen Zustand wollen wir mit unseren Produkten darstellen.

Deswegen werden Song 1 und 2 nicht einzeln, sondern zusammen gespielt, d.h. zunächst ist ein Teil von Produkt 1 ca. 30 Sekunden lang zu hören, danach erscheint Song 2 und am Ende erscheint der restliche Teil von Song 1, also nochmal ca. 30 Sekunden. Song 1, welcher die Sequenz des Transporters ist, wird demnach von Song 2 der Stotterregion unterbrochen.

Beide Produkte werden in einem Video präsentiert. Das Video besitzt eine Länge von drei Minuten. Die Handlung und die Bilder im Video spiegeln den Wechsel zwischen Produkt 1 und 2 wieder. Um den Unterschied zwischen den Basen zu zeigen, wurde jeder Base eine bestimmte Bewegung zugeordnet. Die Bewegungen bzw. diese Tänze werden von Leonie und Chelsea ausgeführt, wenn Produkt 1 zu hören ist. Ist Produkt 2 stattdessen zu hören, verändert sich die Kleidung von Leonie, Chelsea und Maarten. Ihre Bewegungen werden ausdrucksvoller und die Art und Weise, wie sie von der Kamera erfasst werden, wird abwechslungsreicher. Zusätzlich werden Effekte wie zum Beispiel „Slow-Motion“ hinzugefügt. Diese Art von visueller Präsentation soll klar den Unterschied zwischen Produkt 1 und 2 darstellen. Im Video wird der Übergang von einem zum anderen Produkt gezeigt, in dem die drei Hauptdarsteller zunächst von der Stotterregion erfasst und verändert werden. Danach werden die drei wieder von Produkt 1 eingeholt und fallen zurück in ihr altes Bewegungsmuster, d.h. sie kleiden und bewegen sich so wie sie es zu Beginn des Songs taten.

3. Wie sind wir zu unseren Ergebnissen gekommen?

Schon bevor wir ein klares Ziel formulieren konnten, hatten wir einen langen Weg vor uns. Auf die Idee, die Biologie mit etwas Musikalischem zu verbinden, hat uns Herr Krüger im Musikunterricht gebracht, als er von früheren P5 Gruppen erzählt hat, die einen biologischen Vorgang in einem Song erläutert haben. Maarten und Leonie waren von der Idee in unserer P5 Arbeit etwas Kreatives im Zusammenhang mit der Musik zu erarbeiten sofort überzeugt und wollten dafür einen ähnlichen Ansatz verfolgen, wie die ehemaligen Gruppen. Auch Chelsea hatte Interesse an einem solchen Projekt und als es im Projektunterricht schließlich zu der Gruppenbildung gekommen ist, hat sie sich Leonie und Maarten angeschlossen und wir haben in der Stunde sowie in einem ersten Zoom-Meeting gemeinsam erste Ideen ausgetauscht.

Unsere ursprüngliche Idee war es, einen eigenen Song ohne biologischen Kontext zu schreiben und anschließend den biologischen Aspekt in einem Songtext einzubauen. Dann hat uns Herr Wicke allerdings einen anderen Weg gezeigt, der unser Interesse sofort geweckt hat. Es ging dabei um einen Künstler, der [Genmutationen](#) musikalisch dargestellt hat.⁴ Davon inspiriert, wollten wir etwas Neues ausprobieren und nicht einfach einen von vielen “Erklärsongs” schreiben. Auch Ellie Joteva⁵ haben wir uns dafür ein Stück weit als Vorbild genommen. Die Künstlerin war 2020/2021 Teil eines Projektes, an dem unser Profil ebenfalls teilnehmen durfte. Wir haben damals viele Projekte von ihr gesehen, in denen sie biologische Vorgänge künstlerisch dargestellt hat. Genau das wollten wir auch ausprobieren, nur dass unsere ausgewählte Kunstform die Musik gewesen ist. Um Wissenschaft und Kreativität zu verbinden, sind wir auf die Idee gekommen, mRNA-Codons aus der Codesonne tonal darzustellen.

Wir haben uns für mRNA entschieden, weil die [Synthese](#) eines Proteins nur dann möglich ist, wenn mRNA synthetisiert und zu den [Ribosomen](#) transportiert wird. Die DNA enthält zwar die relevanten Information für die Fertigung eines Proteins, aber ohne die mRNA könnte diese Information nicht sinnvoll genutzt werden.

Nachdem wir unsere erste Grundidee geklärt und unseren Projektsteckbrief ausgefüllt hatten, haben wir Mitte November auch unser erstes “reales” Treffen vereinbart.

Der Ort, an dem wir größtenteils an unserem Projekt gearbeitet haben, ist ein von Maartens Band gemieteter Proberaum. Dort hatten wir immer unsere Ruhe zum Arbeiten und vor allem auch viele musikalische Hilfsmittel, wobei wir hauptsächlich mit der Musiksoftware Cubase gearbeitet haben. Maarten ist bereits sehr vertraut mit diesem System gewesen, weshalb er Chelsea und Leonie immer wieder erklären konnte, wie dort gewisse Funktionen genutzt werden. Wir wollten nämlich, dass nicht

⁴ <https://www.netzpiloten.de/dna-sequenzen-sonifikation-genetik/>

⁵ <http://www.joteva.com>

nur Maarten die ganze Zeit am Laptop sitzt, sondern dass auch Chelsea und Leonie mit dem System arbeiten konnten.

Uns fiel es sehr schwer zu starten, da wir noch keine konkrete Idee zu einem System entwickelt hatten. Wir mussten dafür sehr viele verschiedene Wege und Möglichkeiten ausprobieren, wobei wir unsere Ideen oft verworfen haben und noch einmal ganz anders ansetzen mussten.

Eine solcher Ideen war, dass wir einer Base jeweils einen Ton zuordnen könnten, jedoch wäre die daraus entstehende Melodie nicht wirklich schön geworden, es wäre schwer gefallen, daraus einen Song zu schreiben, der uns gefällt und Außenstehende hätten dem biologischen Teil schwer folgen können.

Wir wollten, dass man den musikalischen Teil, der aus der Biologie entsteht, gut verfolgen und die Unterschiede zwischen den einzelnen Basen heraushören kann.

Unsere nächste Idee ist es gewesen, den Basen jeweils einen Akkord beziehungsweise eine [Stufe](#) aus der [Stufentheorie](#) zuzuordnen und aus den entsprechenden Tönen Melodien zu bauen. Weitere Überlegungen dazu waren, ob wir jeweils ein [Codon](#) der mRNA-Sequenz einem Instrument zuteilen und diese dann aufeinander aufbauen lassen oder ob wir eben doch eine einzelne Hauptmelodie aus der Sequenz bauen. Wir haben uns für Letzteres entschieden, weil wir viel Wert darauf legten, dass man dem Ablauf der Sequenz gut folgen kann. Bei vielen Instrumenten, die gleichzeitig verschiedene Melodien spielen, wäre das kaum möglich gewesen und es hätte beim Hören sehr durcheinander geklungen.

Da wir nun eine grundlegende Idee zur Umsetzung hatten, ist unser nächster Schritt gewesen, eine mRNA-Sequenz herauszusuchen, an der wir unser System ausprobieren konnten. Praktisch wäre hierzu eine Sequenz gewesen, die eine ähnliche Struktur wie ein Popsong hat, wo sich also Abschnitte wiederholen, wie in einem Song zum Beispiel der Refrain. Eine solche zu finden, hätte aber eindeutig den Rahmen dieser Projektarbeit gesprengt. Wir hatten die Überlegung, uns eine mRNA-Sequenz auszudenken, allerdings hätten wir dann einfach einen Song geschrieben, ohne uns wirklich an ein biologisches Konzept zu halten, was unserem eigentlichen Ziel nicht entsprochen hat.

Wir hatten also die Idee Stotterregionen, also STRs zu verwenden, da diese wie in der Musik typisch eine Regelmäßigkeit aufweisen und wir somit näher an der Struktur eines typischen Popsongs gewesen wären. In einer Einzelarbeit hat Maarten bereits einige zu unserem Genre passende Instrumente und deren Zusammenspiel für die Umsetzung herausgesucht und davon eine erste [Beispielversion](#) entworfen. Chelsea hat sich bereits erste Gedanken über einen Songtext gemacht und diese in einen Beispieltext verfasst. Währenddessen hat Leonie nach möglichen Sequenzen für Stotterregionen recherchiert. Dabei ist sie allerdings kaum fündig geworden und die ständige Wiederholung hätte zwar den musikalischen Teil gut abgedeckt, jedoch würde der biologische Teil wieder in den

Hintergrund fallen. Sie hat also den Vorschlag gemacht, lieber eine "normale" kürzere mRNA-Sequenz zu nutzen.

Eine weitere Idee dazu war es, ganze [Formteile](#) aus einer Base, also einer entsprechenden Stufe zu komponieren, um deutlich zu machen, wo eine Base beginnt und wo sie endet.

Zusammen haben wir immer wieder festgestellt, dass es eine besonders große Herausforderung ist, ein sinnvolles, begründetes und für uns zufriedenstellendes System zu entwickeln, weshalb wir uns, um unsere Gedanken zu sortieren, in einer [Tabelle](#) aufgeschrieben haben, welche Teile aus der Musik, z.B. Rhythmus oder Tonhöhen beziehungsweise welche Teile aus der Biologie, also z.B. Basen oder [Triplets](#), wir hätten verwenden und welche Teile wir jeweils hätten miteinander verbinden können.

Für eine gute Umsetzung haben wir Anfang Dezember zudem einen zeitlichen Plan erstellt, mit Zielsetzungen, wann wir mit welchem Schritt fertig sein wollten. Bis nach den Weihnachtsferien wollten wir ein fertiges System entwickelt haben, bis vor der Projektwoche mit dem Musikalischen Teil fertig sein und in der Projektwoche unser Musikvideo drehen. Zunächst wollten wir aber mit unseren beiden Prüfern sprechen, um zu erfahren, ob unsere Ideen ihren Anforderungen und Vorstellungen entsprechen.

Als wir unsere Idee allerdings Herr Krüger vorgestellt haben, erklärte dieser uns, dass das menschliche Gehirn Stufen schlecht wiedererkennt, weshalb wir die Idee, den Basen Stufen bzw. Akkorde zuzuteilen, wieder verworfen haben. Wir hatten bereits viel Arbeit in diese Idee gesteckt, was für uns erstmal etwas frustrierend war. Wir haben daraus aber gelernt, dass uns so etwas eben passieren kann, besonders weil wir in gewisser Weise experimentieren. Außerdem konnten wir aus diesen grundsätzlichen Ideen ein anderes System weiterentwickeln. Herr Krüger hat uns ebenfalls erklärt, dass Außenstehende, vor allem, wenn sie unseren Song das erste Mal hören, eher bestimmte Rhythmen und Tonfolgen wiedererkennen können.

Da wir festgestellt haben, dass wir diese beiden Aspekte gut in Motive umsetzen könnten, sind wir auf die Idee gestoßen, vier von diesen zu komponieren und sie den Basen zuzuordnen.

Dazu haben wir erstmal versucht verschiedene Motive zu den Basen zu schreiben und diese dann in der Reihenfolge entsprechend einer mRNA-Sequenz ablaufen zu lassen. Dabei haben wir erkannt, dass dies gut funktioniert und noch immer sinnvoll klingt, wenn die Motive verschieden und quasi zufällig hintereinander abgespielt werden. Jedoch ist uns aufgefallen, dass wir deutlicher machen mussten, wann ein Motiv endet und ein anderes beginnt. Dazu konnten uns die anderen Instrumente helfen, wie die Bassdrum beim Schlagzeug, bei der wir beispielsweise eine Betonung auf die erste Zählzeit gesetzt haben, aber auch die Motive selbst konnten wir so abwandeln, dass sie sich hörbar voneinander unterscheiden.

Wir wollten einen Weg finden, die zusammengehörigen Purin- und Pyrimidinbasen auch in den Motiven zueinander passend zu schreiben, weshalb wir sie jeweils als Frage-Antwort Prinzip abgeändert haben.

Um unsere Zuordnung noch besser zu begründen, haben wir uns die Struktur der unterschiedlichen Basen angesehen und dementsprechend die Motive der Purinbasen, die aus einem Doppelringsystem bestehen, mit einer Oktavverdopplung ergänzt.

Unser Plan, vor den Weihnachtsferien mit unserem System fertig zu sein, ist aufgegangen. Nachdem wir also Mitte Dezember endlich ein passendes System gefunden hatten, mit dem alle von uns zufrieden waren, und wir Mitte Januar unsere Motive geschrieben hatten, mussten wir uns nun entscheiden, welche mRNA-Sequenz wir für unser Produkt übersetzen wollten. Dabei haben wir uns für das Glückshormon Serotonin entschieden, da wir auch einen glücklichen Song schreiben wollten.

Da wir eigenständig keine mRNA- oder DNA-Sequenz für Serotonin finden konnten, hat uns Herr Wicke eine Website⁶ dafür gezeigt. Wir haben herausgefunden, dass es im menschlichen [Genom](#) kein Gen und damit auch keine mRNA-Sequenz gibt, mit der das Glückshormon Serotonin synthetisiert wird.

Statt einer Sequenz für Serotonin haben wir aber verschiedene Rezeptoren und einen Transporter für das Glückshormon gefunden.

Wir haben uns dazu entschlossen, die Sequenz des Transporters zu verwenden, da wir unser Projekt als einen Weg gesehen haben, der letztendlich mit dem Produkt ein Glücksgefühl auslösen sollte. Auch der Transporter befindet sich ständig auf einem Weg, um dafür zu sorgen, dass letztendlich das Glückshormon ausgeschüttet wird.

Weil wir eine DNA-Sequenz gefunden haben, unser System sich allerdings auf mRNA-Sequenzen bezieht, mussten wir die DNA-Sequenz erst einmal in eine mRNA-Sequenz umschreiben und diese dann mit unseren Motiven in Musik umwandeln.

Weil die gefundene Sequenz sehr lang war und wir in erster Linie unser System zeigen wollten, haben wir nur die ersten 48 Basen der gegebenen Sequenz mithilfe unseres Systems in Musik übersetzt. Zu den Motiven haben wir weitere Instrumente hinzugefügt.

Wir haben festgestellt, dass das Produkt der umgesetzten Basensequenz sich kaum wie ein typischer Song anhören kann. Grund dafür ist, dass die Sequenz sehr unregelmäßig ist, während ein Song sehr auf Regelmäßigkeit basiert.

Bei Letzterem wiederholen sich oftmals die Melodien und die [Harmonien](#) in einer bestimmten Reihenfolge. Das war ein Grund dafür, dass wir uns Ende Januar entschieden haben, einen zweiten Song zu schreiben. Unsere Idee war es, dass wir

⁶ <https://genome-euro.ucsc.edu/cgi-bin/hgGateway>

mit Hilfe der ehemaligen Idee Stotterregionen, beziehungsweise STRs zu verwenden, eine gewisse Regelmäßigkeit einbringen und so näher an die Struktur eines Popsong kommen könnten. Ein weiterer Grund für ein zweites Produkt war, dass wir in unserem ersten Song eine kodierende Region dargestellt haben, es aber auch viele nicht kodierende Regionen auf den Chromosomen gibt, genau wie die Stotterregionen.

Bevor wir aber mit der Umsetzung davon begonnen haben, haben wir zunächst die Meilensteingespräche mit unseren Prüfern geführt.

Bei dem Gespräch mit Herr Krüger haben wir festgestellt, dass er ein etwas anderes Bild von unserem Projekt hatte und uns nicht empfehlen konnte einen zweiten Song zu schreiben beziehungsweise uns geraten hat am Ende nur ein Produkt vorzustellen. Wir konnten uns darauf einigen, dass wir nicht zu viel machen und uns auf das konzentrieren, was für unsere verbleibende Zeit realistisch ist.

Wir haben gezweifelt, ob wir wirklich den zweiten Song schreiben sollen, haben uns schlussendlich aber dafür entschieden. Diese Entscheidung wurde unter anderem durch das Gespräch mit Herr Wicke beeinflusst. Dieser hat uns nämlich in unserer Idee und vor allem dabei, dass wir uns künstlerisch ausleben können, bestärkt. Außerdem konnten wir in den Gesprächen noch einmal sehr gut unsere bisherigen Schritte reflektieren, wodurch wir auch unser weiteres Vorgehen besser durchdenken konnten.

Die Projektwoche hatte nun begonnen und unser Plan mit dem musikalischen Teil bis zu der Projektwoche, also bis Anfang Februar fertig zu sein, ist nicht aufgegangen. Wir haben aber gemerkt, dass wir auch nicht eine ganze Woche für unser Musikvideo gebraucht hätten.

Um Herr Krügers Meinung, uns auf ein Produkt zu konzentrieren und unsere Pläne in Einklang zu bringen, sind wir auf die Idee gekommen, die beiden Songs zu einem Produkt werden zu lassen. Dazu wollten wir unseren ersten Song der "normalen" mRNA-Sequenz von unserem zweiten Song, indem wir eine Stotterregion umsetzen wollten, unterbrechen lassen.

Zu Beginn der Projektwoche hat uns Herr Wicke dafür eine Website⁷ gezeigt, auf der man verschiedene STRs finden kann.

Um einen Bezug zu dem Serotonin Transporter zu haben, dessen DNA-Sequenz auf dem 17. Chromosom liegt, haben wir eine Stotterregion auf dem selben Chromosom gesucht.

Als wir ein solches Beispiel der Stotterregionen mit unseren Motiven in Musik übersetzt haben, ist uns aber ein Problem aufgefallen. Wenn die beiden Motive, die eine Frage darstellen sollen, oder auch die beiden Motive, die eine Antwort sein sollen, hintereinander gespielt werden, hört sich das Ergebnis unpassend an. Da wir in diesem zweiten Song aber genau so etwas Untypisches vermeiden wollten, haben

⁷ <https://strbase.nist.gov/>

wir nach Stotterregionen gesucht, welche in unsere Motive übersetzt als Frage und Antwort zusammenpassen.

Erst war die Überlegung uns die Stotterregion dazu selbst auszudenken, jedoch wollten wir von Anfang an einen Bezug zur Realität. Bei unserer Recherche haben wir dann Stotterregion mit der Wiederholung von Cytosin und Guanin gefunden, was in Form von [Polymorphismus](#) auf dem Gen des Serotonin Transporters auftaucht⁸.

Unsere beiden Motive zur passenden mRNA dieser Region waren ein passendes Frage-Antwort System. Jedoch haben uns unsere anderen beiden Motive besser gefallen und wir wollten lieber aus diesen unseren Song aufbauen. Deshalb haben wir uns dazu entschieden, unsere Motive den Basen der mRNA noch einmal anders zuzuordnen. Zuvor hatten wir die Zuordnung, dass Motiv A für Adenin steht und eine Frage auf das Motiv B ist. Motiv B sollte für Uracil stehen und eine Frage auf Motiv A sein. Motiv C wiederum sollte für Cytosin stehen und eine Antwort auf Motiv D sein und Motiv D sollte für Guanin stehen und eine Frage für das Motiv C darstellen. Diese Zuordnung änderten wir so ab, dass Motiv A für Guanin steht und als Frage für Motiv B dient, welches für Cytosin steht und eine Antwort auf Motiv A ist. Motiv C hat ab nun für Uracil gestanden und ist eine Antwort auf Motiv D, welches wiederum für Adenin steht und eine Frage für das Motiv C darstellen soll. Aufgrund dieser neuen Zuordnung mussten wir auch unseren ersten Song noch einmal neu übersetzen, wobei wir die Anordnung der Motive ändern mussten.

Anschließend haben wir begonnen unseren zweiten Song zu komponieren, wobei wir zunächst die Stotterregion auf mRNA-Ebene mit der Abwechslung von Guanin und dann Cytosin in den Motiven begonnen haben. Wir haben dabei keine bestimmte Länge gewählt, da diese in der Biologie bei STRs variieren kann. Dann haben wir weitere Instrumente um die Motive gebaut und uns einen Aufbau der Formteile ausgedacht. Auch diesen haben wir nicht nach einem bestimmten Aspekt in der Wissenschaft gebaut, sondern unserer künstlerischen Freiheit Raum gegeben. So haben wir es auch mit den Übergängen zwischen den beiden Songs gemacht. Schließlich mussten wir noch die mRNA-Sequenz des Transporters nach unserem zweiten Song weiterführen, um zu zeigen, dass die Sequenz nach Stotterregionen normal weiterläuft.

Lange haben wir überlegt, ob wir noch Gesang einfügen wollen und haben uns schließlich dafür entschieden. Wir haben uns über den Text viele Gedanken gemacht, letztendlich haben wir aber vor allem in unserer Strophe spontan beim Aufnehmen entschieden, was und wie wir es singen.

Nachdem wir für uns entschieden haben, endlich mit unserem musikalischen Teil fertig zu sein und zufrieden damit waren, haben wir uns als nächstes Gedanken zu unserem Musikvideo gemacht. In diesem wollten wir in erster Linie unser

⁸ <https://www.nature.com/articles/tp2017133>

musikalisches Produkt visuell verdeutlichen. Dabei war es uns wichtig, generell ein glückliches und lustiges Video zu drehen, um den Bezug zu Serotonin darzulegen. Auch den Unterschied unserer beiden Songs wollten wir visuell verdeutlichen.

Zum Aufnehmen unseres Videos haben wir uns einen Tag der Projektwoche genommen, an dem wir in die Überseestadt gefahren sind und uns dort nochmal auf eine andere Weise künstlerisch ausleben konnten.

Am nächsten Tag hat Maarten unsere Aufnahmen zusammengeschnitten. Da Chelsea und Leonie keine Erfahrungen mit dem Schneiden haben und das Erlernen dazu den Rahmen dieses Projekts nicht einhalten würde, haben die beiden in der Zeit weiter an unserer Projektdokumentation gearbeitet. Diese haben wir so aufgeteilt, dass jeder ungefähr gleich viel Zeit und Mühe investiert hat, wobei wir eben das Schneiden unseres Videos, welches Maarten gemacht hat, miteinbezogen haben.

Zum Abschluss der Projektwoche haben wir noch ein Meilensteingespräch mit unserem Prüfer Herr Wicke gehabt. Dabei haben wir uns selbst verdeutlicht, dass wir insgesamt sehr zufrieden mit unseren generellen Fortschritten und vor allem denen in der Projektwoche waren. Außerdem haben wir uns bewusst gemacht, was wir noch bis zur Projektabgabe machen mussten. Zu dem Zeitpunkt mussten wir noch unser Video fertig schneiden und unsere Projektdokumentation zu Ende bringen, was wir in der restlichen Zeit bis zu der Projektabgabe auch geschafft haben. Nach der Projektabgabe müssen wir zudem noch eine passende Präsentation vorbereiten.

In, aber vor allem nach der Projektwoche, hatten wir das erste Mal wirklich Phasen, in denen wir eher alleine gearbeitet haben, wenn wir das Video geschnitten, bzw. an unserer Projektdokumentation geschrieben haben. Das wir nahezu all unsere Ergebnisse gemeinsam erarbeitet haben, ist auch der Grund dafür, dass wir uns dazu entschieden haben, unseren Weg des Projektes in einem gemeinsamen Text festzuhalten. Da aber trotzdem noch einmal jeder persönlich berichten sollte, was wir während der Projektzeit erlebt und gelernt haben und was wir daraus mitnehmen konnten, haben wir beschlossen, dass zusätzlich jeder für sich eine individuelle Reflexion formuliert.

4. Individuelle Reflexionen

4.1 Reflexion Chelsea

An dem P5 Projekt zu arbeiten, war für mich eine abwechslungsreiche Erfahrung. Es gab Zeitpunkte, in denen Vieles an unserem Projekt unklar war. Anfangs war es schwer ein System zu entwickeln, um die mRNA Sequenzen in Musik zu übersetzen. Deswegen mussten wir viel recherchieren und verschiedene Möglichkeiten ausprobieren. Als wir uns dann entschieden haben, Motive zu nutzen, erhielt jeder von uns die Aufgabe, kurze Melodien zu entwickeln.

Für mich war die Recherche einfacher als das Kreieren eines Motives. Generell hatte ich keine Schwierigkeiten damit, wichtige Informationen zu finden und diese an meine Teammitglieder weiterzugeben. Bei der Kreation von Motiven war dies anders. Ich verbrachte mehrere Tage damit, Motive zu entwerfen und verwendet dabei unterschiedliche Methoden.

Es dauerte etwas, bis ich Motive geschaffen hatte mit denen ich wirklich zufrieden war. Rückblickend kann ich sagen, dass ich in dieser Zeit viel über das Komponieren von kurzen Melodien sowohl mit dem iPad als auch mit dem Laptop, gelernt habe. Außerdem habe ich mehr über mRNA und Serotonin erfahren und mich näher mit der Musiksoftware "Cubase" auseinandergesetzt.

Im Laufe unseres Projektes gab es viele Diskussionen, in denen Ideen ausgetauscht wurden. Ich konnte mich immer an diesen Diskussion beteiligen und oft sinnvolle Beiträge liefern. Meine Aufgaben habe ich auch immer zeitgemäß erledigt.

Dasselbe gilt auch für meine Teammitglieder, da die Teamarbeit in unsere Gruppe hervorragend war.

Wesentliche Erkenntnisse aus der Projektphase waren für mich richtige Zeitplanung und das Setzen von kleinen Zielen bringt Erfolg, es macht sehr viel Spaß lange, an einem kreativen Projekt zu arbeiten und Teamarbeit funktioniert am besten, wenn man seine eigenen Ideen einbringt und auf die Vorschläge von Anderen eingeht.

Zusammenfassend kann ich sagen, dass ich dank des P5 Projektes viele schöne Erfahrungen machen konnte. Ich bin sehr zufrieden mit unserem Produkt und sehr stolz darauf, dass wir es geschafft haben, die Biologie und Musik so gut miteinander zu verknüpfen.

4.2 Reflexion Maarten

Ich wusste schon immer, dass ich in der Q.1 dieser Schule mal eine Projektarbeit auf die Beine stellen muss. Ich bin ehrlich, ich hatte großen Respekt davor. Ich hatte immer eine 20 Seiten lange schriftliche Ausarbeitung im Kopf, als ich an das Projekt dachte. Wochenlanges Schreiben für ein Thema, welches man zwei Monate nach Abgabe wieder vergessen hat. Doch meine Gedanken wurden nicht zur Realität. Im Gegenteil. Dieses Projekt war zwar anstrengend, aber hatte in meinen Augen trotz dessen einen großen Mehrwert. Bei dieser Projektarbeit wurde unser Durchhaltevermögen sehr strapaziert. Bei der monatelangen Entwicklung unseres Projekts gab es oft Unstimmigkeiten oder Diskussionen. Wir schafften es jedoch trotzdem dieses System zu entwickeln und es anzuwenden. Ein Highlight unseres Projektes war für mich der Dreh des Musikvideos. An diesem Tag haben wir innerhalb von sechs Stunden alles gedreht und dabei so viel Spaß wie möglich gehabt. Wir kamen wirklich gut voran und unsere Planung funktionierte. Am Anfang hatte ich auch Zweifel, dass wir unser Ziel nicht erreichen werden oder zeitlich stark ins Schwanken kommen. Doch wir hatten genug Zeit für alles und unser frühes Starten des Projekts hat sich ausgezahlt. Außerdem war die Projektwoche für mich eine erfrischende Abwechslung zum Schulalltag, wie wir ihn sonst kennen. Die Zusammenarbeit hat mir in unserem Projektteam sehr gefallen. Wir alle waren nach meinen Auffassungen gleichermaßen beteiligt und niemand kam zu kurz oder hat zu viel gemacht. Niemand ist mal nicht erschienen oder hat nicht kommuniziert. Jeder meldete sich, falls mal etwas dazwischen kam. Für mich war dieses Projekt eine sehr schöne Erkenntnis und im Nachhinein bin ich glücklich, dass wir doch etwas eigenes entwickelt haben und nicht einen bestehenden Song mit neuem Songtext bestückt haben.

Mein hauptsächlichster Beitrag zum Projekt lag vermutlich eher im Bereich der Musik und des Filmens. Ich konnte viel für die Entstehung beitragen und Chelsea und Leonie die Welt der Medien ein wenig näher bringen. Dazu konnte ich mich auch bei biologischen Gesprächen immer wieder gut einbringen und habe die Gruppe oft aus kreativen Sackgassen herausgeführt. Mein Ziel war es Struktur in unsere Planung zu bringen, auch wenn dies nicht immer funktioniert hat. Beim Song schreiben konnte ich Chelsea und Leonie immer wieder helfen, in dem ich neue Wege oder Instrumente gezeigt habe, die wir zusammen ausprobieren konnten. So kamen wir schnell und in der angegebenen Zeit zu unserem Ziel.

Ich finde, dass unser Song: "Serotonin" ein echter Ohrwurm geworden ist! Danke für die Erfahrung :)

4.3 Reflexion Leonie

Das Projekt würde ich als eine ganz eigene Erfahrung beschreiben. Es war nicht wie eine typische Schulaufgabe, da wir quasi unser gesamtes Konzept und somit unsere Ergebnisse selbst erarbeitet haben. Natürlich war dies oft eine Herausforderung, aber wir hatten so auch mehr Freiheiten und konnten uns künstlerisch ausleben, da es eben nicht eine bestimmte Art gibt, Kreatives darzustellen. Ich war zunächst zögerlich, als wir eher in die experimentelle Weise übergehen wollten, doch es hat mir sehr viel Spaß gemacht neue Wege zu entdecken und etwas zu schaffen, was es meines Wissens so noch nicht gibt. Oft war es frustrierend, Ideen verwerfen zu müssen, doch daraus haben wir immer etwas für unseren weiteren Weg mitgenommen.

Ich habe viel darüber gelernt, was Musik und Wissenschaft voneinander unterscheidet, aber vor allem was sie vereint. Ich habe gelernt besser mit dem Programm "Cubase" umzugehen und habe erfahren, wie man bestimmte Videoaufnahmen produziert und in einem Musikvideo nutzen kann.

Ich empfinde unsere Projektplanung und unser Projektmanagement als gut gelungen. Wir haben uns eigene zeitliche Ziele gesetzt und ständig dokumentiert, was wir erreicht haben. Außerdem haben wir unsere Aufgaben gerecht aufgeteilt und wenn es Unklarheiten gab, konnten wir diese immer offen kommunizieren und gemeinsam genauer besprechen. Ich habe dabei gelernt, dass es wirklich hilfreich ist, sich persönliche zeitliche Ziele für Aufgaben zu setzen, da man seine Zeit so viel effektiver nutzen kann.

Dass wir alle drei unsere Ideen und Wünsche mit in unsere Arbeit eingebracht haben und uns dabei aufeinander einigen konnten und uns ergänzt haben, empfinde ich als große Stärke unserer Gruppe. Davon hat nicht nur unser Projekt profitiert, sondern wir konnten auch viel voneinander lernen. Generell habe ich unsere Zusammenarbeit als sehr harmonisch empfunden. Wir haben schnell unsere Rollen in der Gruppe erkannt, konnten aber auch außerhalb unserer Stärken viel beitragen, da wir ständig miteinander gearbeitet und kommuniziert haben.

Ich hatte zu Beginn des Projekts große Bedenken, wie wir zu dritt als Gruppe funktionieren können. Sicherlich mussten wir zu Beginn lernen, wie wir am besten miteinander funktionieren und uns aufeinander abstimmen, doch schnell haben wir gute Wege dazu gefunden. Das hat mir gezeigt, dass ich mich öfter auf Dinge, entgegen meiner Befürchtungen, einlassen sollte.

Mein Beitrag zur Gruppe war meiner Meinung nach sehr hilfreich. Ich war engagiert dabei, habe die Gruppe mit neuen Ideen bereichert und viel über unseren Fortschritt reflektiert. Mein Wissen über Biologie und Musik konnte ich dabei einbringen. Über mich selbst habe ich gelernt, dass ich mehr Selbstvertrauen haben kann meine Ideen auszusprechen, da diese oft hilfreich sein können. Außerdem habe ich gemerkt, dass ich gut im Team arbeiten kann, dabei aber noch mehr Kompromisse eingehen könnte, damit sich alle Teammitglieder besser und schneller einigen.

Glossar

Nr.	Begriff	Erklärung
1	Purinbase	Unter anderem die Basen Guanin und Adenin, welche aus einem Doppelring bestehen.
2	Pyrimidinbase	Unter anderem die Basen Cytosin, Uracil und Thymin, welche aus einem Ring bestehen.
3	Oktavverdopplung	Die Oktavierung von Tönen. Die Verdopplung und anschließende Transponierung von einem Motiv um 8 Ganztonschritte.
4	Synaptischer Spalt	Ein Spalt, in dem sich Neurotransmitter befinden, zwischen dem Endknöpfchen und den Dendriten von zwei Nervenzellen.
5	Präsynaptische Endigung	Das Ende eines Neurons, in dem Erregungen über Synapsen an umliegende Neuronen weitergeleitet werden. Auch Axonterminale oder Endknöpfchen genannt.
6	Genmutation	Die Mutation (ungewollte Veränderung) eines Gens. Diese kann gute Folgen oder auch schlechte Folgen haben.
7	Synthese	Das Zusammenführen zweier Elemente oder Stoffe.
8	Ribosom	Ein aus Protein bestehender Komplex, welcher in der Proteinbiosynthese für die Translation zuständig ist.
9	Stufen	Namengebung von Akkorden in einer Tonart. Wenn die Tonart C-Dur ist, ist der C-Dur Akkord in dieser die erste Stufe.
10	Stufentheorie	Ein Mittel zur Beschreibung oder Analyse eines Musikstückes
11	Codon	Eine Einheit, bestehend aus drei aufeinanderfolgenden Basen, welche Aminosäuren codieren.

12	Formteile	Aufteilung von Stücken in verschiedene Formteile. (Intro, Strophe, Refrain etc.)
13	Tripletts	Drei aufeinanderfolgende Basen.
14	Genom	Die Gesamtheit der Erbinformationen eines Individuums in Form von Chromosomensätzen.
15	Harmonien	Die Übereinstimmung von Tönen in der Musik.
16	Polymorphismus	Das Auftreten mehrerer Genvarianten innerhalb einer Population.

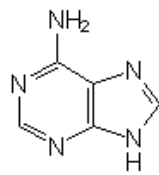
Anhänge

Projektjournal:

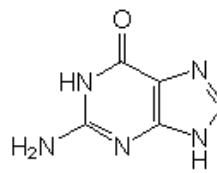
<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1dTshj1B0KXE-4XEJdB4CSSEluJkBKbv-jhLZb8DKQ/edit#gid=0>

Abb.1 Purin- und Pyrimidinbasen

Purinbasen

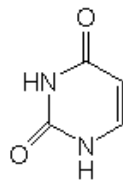


Adenin (A)

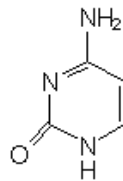


Guanin (G)

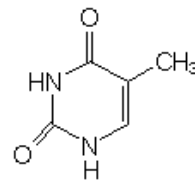
Pyrimidinbasen



Uracil (U)



Cytosin (C)



Thymin (T)

(https://www.chemieunterricht.de/dc2/wsu-bclm/kap_02b.htm)

Abb.2 Tabelle zur Übersicht zwischen den Aspekten der Biologie und der Musik:

BIO	MUSIK
Basen	
mRNA Triplets (Codons)	Stufen
Pyrimidinbasen & Purinbasen	
Polypeptidketten	Instrumente
Aminosäuren	Formteile (Chorus, Strophe etc)
Exons & Introns	Satz / Periode
Stottertriplets	Rythmus
Genregulation	Pausen
Codesonne	Lautstärke

erste Beispielfassung von ausgewählten Instrumenten:

https://drive.google.com/file/d/188ZdBgYh2z2ddc_4spXMJROD-YP96XmG/view?usp=sharing

Motiv A:

https://drive.google.com/file/d/1kYc__GEYDbAY3G77AQC4ZC2P3STKbeeq/view?usp=sharing

Motiv B:

<https://drive.google.com/file/d/19axGdIGl6PJZHdNNU-hmbn5cn93bXuxT/view?usp=sharing>

Motiv C:

https://drive.google.com/file/d/1d6Ph1il5QhIJmKANr-N9tKccCsAutbC_/view?usp=sharing

Motiv D:

<https://drive.google.com/file/d/1XtuGVJvigxG3ZAPgObEEOK8ytmHOecXI/view?usp=sharing>

Song 1:

https://drive.google.com/file/d/1RiBtDu2GhFb7yIBW7dmlBo1P_c9UmBlw/view?usp=sharing

Song 2:

<https://drive.google.com/file/d/1ZZIP8S9D34MLt2OczTilPU1nTzDAzAb/view?usp=sharing>

Musikvideo:

<https://www.youtube.com/watch?v=96d5hNSf6yE>

Quellen

Deckblatt

<https://mobile.twitter.com/szwalle>

(zuletzt aufgerufen am 05.03.2022)

Serotonintransporter-Sequenz

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/L05568?report=GenBank>

(zuletzt aufgerufen am 06.03.2022)

Serotonintransporter

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4965693/>

(zuletzt aufgerufen am 06.03.2022)

Purinbasen

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/purinbasen/9552>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Pyrimidinbasen

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/pyrimidinbasen/9575>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Struktur von Purin- und Pyrimidinbasen

https://www.chemieunterricht.de/dc2/wsue-bclm/kap_02b.htm

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

So klingt DNA

<https://www.netzpiloten.de/dna-sequenzen-sonifikation-genetik/>

(zuletzt aufgerufen am 06.03.2022)

Stotterregion

<https://www.nature.com/articles/tp2017133>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Genom Browser

<https://genome-euro.ucsc.edu/cgi-bin/hgGateway>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

STRBase

<https://strbase.nist.gov/>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Ellie Joteva

<http://www.joteva.com>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Polymorphismus

<https://flexikon.doccheck.com/de/Polymorphismus>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Harmonie

<https://www.dwds.de/wb/Harmonie>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Genom

<https://studyflix.de/biologie/genom-2645>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Tripletts

<https://www.lernhelfer.de/schuelerlexikon/biologie/artikel/der-genetische-code>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Formteile

http://www.gymnasium-allermoehe.de/musik/Hinweise_zur_Arrangement-Analyse.pdf

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Codon

<https://flexikon.doccheck.com/de/Codon>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Stufentheorie

<https://music2me.com/de/magazin/stufentheorie>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Ribosom

<https://studyflix.de/biologie/ribosomen-1894>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)

Synthese

<https://flexikon.doccheck.com/de/Synthese>

(zuletzt aufgerufen am 07.03.2022)