

Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Studiengang Media Engineering

Bachelorarbeit von

Jasmin Kosma

Matrikelnummer: 3162774

Ferrofluid EQ – Design und Programmierung

Wintersemester 2022/2023

Abgabedatum: 13.02.2023

Betreuer:

Prof. Dr. Matthias Hopf

Schlagworte: Audio, Visualisierung, Elektromagneten, Ferrofluid, Design

Prüfungsrechtliche Erklärung der/des Studierenden

Angaben des bzw. der Studierenden:

Name: Kosma Vorname: Jasmin Matrikel-Nr.: 3162774

Fakultät: Elektro-,Feinwerk-,Informationstechnik Studiengang: Media Engineering

Semester: WS 22/23

Titel der Abschlussarbeit:

Ferrofluid EQ - Design und Programmierung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbständig verfasst, nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, alle benutzten Quellen und Hilfsmittel angegeben sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Nürnberg, 13.02.23 Kosca
Ort, Datum, Unterschrift Studierende/Studierender

Erklärung der/des Studierenden zur Veröffentlichung der vorstehend bezeichneten Abschlussarbeit

Die Entscheidung über die vollständige oder auszugsweise Veröffentlichung der Abschlussarbeit liegt grundsätzlich erst einmal allein in der Zuständigkeit der/des studentischen Verfasserin/Verfassers. Nach dem Urheberrechtsgesetz (UrhG) erwirbt die Verfasserin/der Verfasser einer Abschlussarbeit mit Anfertigung ihrer/seiner Arbeit das alleinige Urheberrecht und grundsätzlich auch die hieraus resultierenden Nutzungsrechte wie z.B. Erstveröffentlichung (§ 12 UrhG), Verbreitung (§ 17 UrhG), Vervielfältigung (§ 16 UrhG), Online-Nutzung usw., also alle Rechte, die die nicht-kommerzielle oder kommerzielle Verwertung betreffen.

Die Hochschule und deren Beschäftigte werden Abschlussarbeiten oder Teile davon nicht ohne Zustimmung der/des studentischen Verfasserin/Verfassers veröffentlichen, insbesondere nicht öffentlich zugänglich in die Bibliothek der Hochschule einstellen.

Hiermit genehmige ich, wenn und soweit keine entgegenstehenden Vereinbarungen mit Dritten getroffen worden sind,
 genehmige ich nicht,

dass die oben genannte Abschlussarbeit durch die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm, ggf. nach Ablauf einer mittels eines auf der Abschlussarbeit aufgebrachten Sperrvermerks kenntlich gemachten Sperrfrist

von Jahren (0 - 5 Jahren ab Datum der Abgabe der Arbeit),

der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Im Falle der Genehmigung erfolgt diese unwiderruflich; hierzu wird der Abschlussarbeit ein Exemplar im digitalisierten PDF-Format auf einem Datenträger beigelegt. Bestimmungen der jeweils geltenden Studien- und Prüfungsordnung über Art und Umfang der im Rahmen der Arbeit abzugebenden Exemplare und Materialien werden hierdurch nicht berührt.

Nürnberg, 13.02.23 Kosca
Ort, Datum, Unterschrift Studierende/Studierender

Datenschutz: Die Antragstellung ist regelmäßig mit der Speicherung und Verarbeitung der von Ihnen mitgeteilten Daten durch die Technische Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm verbunden. Weitere Informationen zum Umgang der Technischen Hochschule Nürnberg mit Ihren personenbezogenen Daten sind unter nachfolgendem Link abrufbar: <https://www.th-nuernberg.de/datenschutz/>

Vorwort

Das Projekt Ferrofluid EQ ist in einer experimentell, wissenschaftlichen Partnerarbeit entstanden, damit zielführende Fortschritte und Ergebnisse trotz umfangreicher Maßnahmen, in einem realisierbaren Rahmen vorgeführt und aus der Sicht eines Media Engineers untersucht werden können. Um den kompletten Umfang des vorliegenden Projektes verstehen zu können, müssen die Bachelorarbeiten *Ferrofluid EQ – Technik und Aufbau* von Frau Erika Sebeld und *Ferrofluid EQ – Design und Programmierung* von Frau Jasmin Kosma gelesen werden. Beide Arbeiten bestehen aus sich gegenseitig ergänzenden Teilbereichen, wobei an den notwendigen Passagen auf das entsprechende Kapitel der anderen Arbeit verwiesen wird.

Abstract

Im Fokus dieser experimentell wissenschaftlichen Arbeit steht die design-technische Entwicklung und Softwarelösung einer nutzerfreundlichen Darstellung und Steuerung von Ferrofluid als audiovisuellem Medium in einem Prototyp. Es werden unter anderem vergleichbare Projekte untersucht und der Digitalisierungsvorgang analoger Audiosignale erläutert.

Aus kritischen Beobachtungen experimenteller Versuchsreihen wurden Grenzen und Hindernisse in Bezug auf den Einsatz von Ferrofluiden als visuelle Informationsträger erkannt und Lösungsansätze entwickelt. Damit das Ferrofluid gepaart mit reaktiven Lichteinflüssen gekonnt in Szene gesetzt wird, findet sich hier ein Ansatz zur Entwicklung der korrekten Ansteuerung verbauter Technik, sowie zur Umsetzung des Konzeptes hin zu einer optisch zusagenden Darstellung des Prototyps bei zeitgleich geeigneter Platzierung einzelner Komponenten.

Zusammenfassend wird ein entwickeltes Gerät mit ansprechendem Design vorgestellt, welches durch Elektromagneten dazu fähig ist, Ferrofluid anhand der Frequenzspektren der abgespielten Musik zu bewegen und darzustellen. Besondere Einblicke werden durch den Prototyp in die Bereiche der magnetischen Flüssigkeiten, Kunst und Technik gewährt und er bildet eine gute Basis zur Realisierung weiterer Ideen und Studentenprojekte mit Ferrofluiden.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	3
Abstract	4
Abbildungsverzeichnis	7
1 Einleitung und Motivation.....	9
2 Theoretische Grundlagen.....	11
2.1 Ferrofluid	11
2.1.1 Grundlagen	11
2.1.2 Visuelle Eigenschaften.....	12
2.2 Audiotechnik.....	14
2.2.1 Grundlagen	14
2.2.2 Spektrumanalysator	16
2.2.3 Equalizer	17
2.3 Audiovisualisierung.....	19
2.3.1 Grundlagen	19
2.3.2 Audiovisuelle Medien und Anwendungsgebiete.....	21
2.4 Designgestaltung.....	23
2.4.1 Grundlagen	23
2.4.2 Produktdesign.....	24
3 Reflexion vergleichbarer Projekte.....	26
3.1 Audiovisuelle Projekte	27
3.2 Ferrofluid Projekte	28
3.3 Audiovisuelles Ferrofluid Projekt.....	29
3.4 Resümee der genannten Projekte	30
4 Projektdurchführung.....	31
4.1 Designvorgaben & praktische Umsetzung.....	31

4.1.1	Halterung des Elektromagneten.....	31
4.1.2	Rahmen der Elektromagneten Matrix.....	34
4.1.3	Gestaltung des Ferrofluid Tanks.....	36
4.1.3.1	Konzipierung des Tanks.....	36
4.1.3.2	Test zur Auswahl des Tankglases	37
4.1.4	Problem Management.....	41
4.1.5	Entwicklung der Tankhalterung.....	43
4.1.6	Anpassung des Gehäuses	44
4.2	Software / Programmierung.....	49
4.2.1	Arduino IDE.....	49
4.2.1.1	FastLED-Bibliothek	49
4.2.1.2	MSGEQ7 Bibliothek	49
4.2.2	Prototyp.....	50
4.2.3	Ansteuerung der Magneten Matrix.....	51
4.2.4	Ansteuerung der LEDs	56
5	Zusammenfassung.....	59
6	Ausblick	60
	Literaturverzeichnis.....	61

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Ferrofluid Tropfen unter der Einwirkung eines Magnetfelds	12
Abbildung 2 Messinstrument zur Spektrum Analyse aus [12, p. 257]	16
Abbildung 3 Amplituden-Frequenz-Diagramm aus [8, S. 11].....	16
Abbildung 4 Professioneller, grafischer 31-Band-Equalizer aus [15]	17
Abbildung 5 DAW Logic Pro - User Interface aus [16].....	18
Abbildung 6 Amplituden-Zeit-Diagramm aus [10, p. 11]	19
Abbildung 7 Wasserfalldiagramm (Rauschen als Testsignal) aus [10, p. 11]	20
Abbildung 8 Audiovisualisierungen erzeugt mit VLC-Player - links: Frequenzspektren, rechts: freie, künstlerische Interpretation	20
Abbildung 9 Audiovisualisierung mit dem AudioVisualizer-Plug-In des Chrome Browsers.....	21
Abbildung 10 Stufen der Entwicklungsspirale aus [25, S. 11]	24
Abbildung 11 Erster Prototyp der Spule.....	31
Abbildung 12 Finaler Prototyp der Spule	32
Abbildung 13 Präparierung des Spulen Prototypen.....	32
Abbildung 14 Fertige Spule.....	33
Abbildung 15 Vektorgrafik für den Plexiglasausschnitt.....	34
Abbildung 16 Leere E-Magneten Matrix	35
Abbildung 17 Befüllte E-Magneten Matrix.....	35
Abbildung 18 Tankmodell erstellt mit Blender	37
Abbildung 19 Testausschnitt Floatglas	38
Abbildung 20 Testausschnitt Optiwhite-Glas.....	38
Abbildung 21 Testausschnitt Borofloatglas.....	38
Abbildung 22 Testausschnitt B270-Glas.....	39
Abbildung 23 Testaufbau – Ferrofluid sammelt sich an der Oberfläche.	39
Abbildung 24 Ölfilm auf der Oberfläche.....	39
Abbildung 25 Mit Magneten fixierter Ferrofluid-Glas-Test	40
Abbildung 26 Glastank mit UV-Kleber	40
Abbildung 27 Erster Test mit befülltem Tank.....	41
Abbildung 28 Darstellung des ausgelaufenen Tanks.....	42

Abbildung 29 Fertiggestellter Tank	43
Abbildung 30 Tank-Kassette	43
Abbildung 31 Kassette für die Reagenzgläser	44
Abbildung 32 Design Gehäuse Frontansicht	45
Abbildung 33 Design Gehäuse - frontale Innenansicht	45
Abbildung 34 Ferrofluid EQ - Seitenansicht durch die Plexiglasscheibe ohne Matrix-Aufbau	46
Abbildung 35 Ferrofluid EQ - Frontalansicht mit Matrix-Aufbau	46
Abbildung 36 Ferrofluid EQ - Seitenansicht mit Matrix-Aufbau	47
Abbildung 37 Ferrofluid EQ - Schräge Seitenansicht mit Matrix-Aufbau.....	47
Abbildung 38 Ferrofluid EQ - Schräge Front- und Seitenansicht mit Matrix-Aufbau.....	48
Abbildung 39 Ferrofluid EQ - Schräge Frontansicht mit Matrix-Aufbau	48
Abbildung 40 Aktivitätsdiagramm zur Inbetriebnahme des Ferrofluid EQ.....	52
Abbildung 41 Aktivitätsdiagramm zum Abgreifen der Frequenzwerte	53
Abbildung 42 Frequenzantwort des MSGEQ7 aus [42].....	53
Abbildung 43 Strobe Timing Diagram des MSGEQ7 aus [41].....	54
Abbildung 44 Durchschnittsberechnung und Setzen der Startfrequenz	54
Abbildung 45 Pin- und Arraybelegung der Magneten	55
Abbildung 46 An- und Abschalten der Magneten	55
Abbildung 47 Ferrofluid EQ mit blauer Beleuchtung	58
Abbildung 48 Ferrofluid EQ mit grüner Beleuchtung.....	58
Abbildung 49 Ferrofluid EQ mit pinker Beleuchtung	58

1 Einleitung und Motivation

Der Trend der Lavalampe belegt, dass viele Menschen von sich frei bewegenden Flüssigkeiten fasziniert sind. Die Art und Weise wie sich die Flüssigkeit in der Lampe nach oben oder unten bewegt begeistert Betrachter weltweit. So lag der jährliche Ausstoß der Firma Crestworth bei bis zu sieben Millionen Lampen, die heiß begehrt waren und ein Kultobjekt der 1960er Jahre wurden [1]. Mittlerweile gibt es bereits ein, der Lava-Lampe ähnelndes, Ferrofluid-Produkt als Dekorationselement im Internet zu kaufen [2].

Generell erfreuen sich Ferrofluid-Gadgets in den letzten Jahren einer immer größer werdenden Beliebtheit, weshalb online heutzutage eine breite Auswahl an Artikeln vorzufinden ist. In den meisten Fällen wird die magnetische Flüssigkeit durch das Anlegen eines herkömmlichen Magneten angehoben und folgt der Handbewegung mit dem Magneten. Doch wieso soll sich der Effekt dieser interessanten Masse auf die manuelle Erzeugung beschränken?

Die Kombination der Aspekte des Designs und der unkonventionellen Idee frei bewegliche Flüssigkeiten darin zu integrieren, welche üblicherweise nur am Grund eines Gefäßes oder der Erde betrachtet werden können, förderte die Idee eine weitere Komponente hinzuzufügen – den Ton. Hiermit werden die Möglichkeiten einbezogen, eine Ansteuerung der Flüssigkeit unabhängig von einem manuellen Vorgang mit einem Magneten vorzunehmen und den Effekt durch auditive und visuelle Reize verstärkt aufnehmen zu können.

Ergänzend zu den Ausführungen von Frau Erika Sebeld werden in dieser Arbeit die projektspezifischen Aspekte des Designs und der Programmierung abgedeckt. Weiterhin werden vergleichbare Projekte analysiert und Grundlagen zu den wichtigsten Themenfeldern, die zum Verständnis der Installation notwendig sind, vermittelt.

Die Anwendung soll nutzerfreundlich gestaltet sein, sodass sie nicht nur Technik- oder Audiofachleuten zusagt, sondern auch viele verschiedene Nutzergruppen anspricht. Besonders die Zielgruppe der studierenden und technikbegeisterten Bevölkerung soll

berücksichtigt werden, um ein Objekt zu schaffen, das nicht nur den gewünschten Ferrofluid-Effekt abbildet, sondern auch Einblicke in die internen Abläufe des Systems ermöglicht.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Ferrofluid

Der NASA-Ingenieur Steve Papell entwickelte Ferrofluide in den frühen 1960er Jahren. Seine Aufgabe war es eine Methode zu entwickeln, welche es ermöglicht, im schwerelosen Raum Treibstoff aus der Rakete in die Treibstoffpumpe des Motors zu führen. Der Versuch dem Treibstoff magnetische Nanopartikel beizumengen, um den gewünschten Effekt mithilfe von Magnetfeldern zu erzielen hatte zwar keinen Erfolg, führte allerdings zur Entwicklung dieser interessanten schwarzmagnetischen Flüssigkeit, welche 1965 patentiert wurde. [3] Im Jahre 1969 veröffentlichte NASA die *Studie über ferromagnetische Flüssigkeiten* von Robert Kaiser und Ronald E. Rosensweig und legte damit den Grundstein für die Erforschung dieser Substanz und die Entwicklung neuartiger Technologien [4]. Heutzutage gibt es eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungsgebiete, vor allem im Bereich der Technik und der Medizin [5, p. 126].

2.1.1 Grundlagen

Genauer betrachtet handelt es sich bei Ferrofluiden um sogenannte kolloidale Suspensionen. Eine kolloidale Suspension beschreibt ein heterogenes Stoffgemisch bestehend aus fein verteilten Festkörpern und einer Trägerflüssigkeit. Zudem ist es eine grobdisperse Dispersion, was bedeutet, dass sich die in ihr vereinten Stoffe nicht oder kaum ineinander lösen oder chemisch miteinander verbinden. Die Stoffe, die sich im Ferrofluid vereinen sind fünf bis zehn Nanometer große Eisen-, Magnetit- oder Kobaltpartikel und meist Öl oder Wasser als umschließende Flüssigkeit. [6] Zudem werden dem Gemisch noch Tenside beigemischt, welche die Oberflächenspannung der Flüssigkeit herabsetzen, dadurch den Vorgang ermöglichen zwei scheinbar nicht miteinander mischbare Flüssigkeiten sehr fein zu vermengen und so das Ferrofluid als polymere, also aus vielen gleichen Teilen aufgebaute, Oberflächenbeschichtung stabilisieren [7]. Diese Stabilität hat den Vorteil, dass sich die Partikelteilchen nicht über die Zeit absetzen und auch unter Einwirkung eines Magnetfelds nicht aneinander anlagern oder sich von der Flüssigkeit als andere Phase absetzen. [8, p. 3 f.] Des Weiteren sind Ferrofluide superparamagnetisch, wobei die genaueren magnetischen

Eigenschaften dieses Stoffes von Erika Sebold ausgeführt werden. Die Verarbeitung von Ferrofluid gestaltete sich als herausfordernd, denn der Stoff verhält sich vergleichbar wie Tinte und haftet an allem. Er lässt sich schwer entfernen, weshalb es ratsam ist Schutzhandschuhe und alte Kleidung zu tragen.

2.1.2 Visuelle Eigenschaften

Ferrofluid erscheint in großen Mengen wie eine schwarze Flüssigkeit, wobei sie bei dünnem Auftragen einen bräunlichen Ton annimmt. Werden ein paar Tropfen Ferrofluid auf einer Glasplatte aufgetragen und ein Magnetfeld angelegt, so wird sein Erscheinungsbild von drei konkurrierenden Faktoren geprägt. Die Oberflächenspannung des Fluids, die Erdgravitationskraft und das Magnetfeld beeinflussen die Formgebung des Tropfens und scheinen ihm somit Leben einzuhauchen. Geprägt ist die Flüssigkeit vor allem über die Art und Stärke des angelegten Magnetfelds. Aus der zunächst glatten Oberfläche der Flüssigkeit richten sich die magnetischen Partikel in der Flüssigkeit senkrecht zu dem angelegten homogenen Magnetfeld aus und formen hexagonal angeordnete Stacheln wie in Abbildung 1 zu sehen ist.



Abbildung 1 Ferrofluid Tropfen unter der Einwirkung eines Magnetfelds

Die Partikel würden am liebsten schmale Flüssigkeitsfäden entlang der Feldlinien bilden. Da die Flüssigkeit ihre Oberfläche jedoch möglichst klein halten möchte, wirkt ihre Grenzflächenspannung diesem Prozess entgegen. Um beiden Kräften gerecht zu werden bilden sich die beschriebenen Stachelmuster. Diese ordnen sich hexagonal an, weil eine Fläche so lückenlos mit größtem Innenwinkel und kleinster Wandenergie bedeckt werden kann. In der Natur finden sich vergleichbare Muster z.B. bei einer Bienenwabe oder einer

Ananasfrucht. [8, p. 22 f.] Der Vorgang, den das Fluid durchläuft, beschreibt die Rosensweig-Instabilität und bildet den Verlauf der magnetischen Feldlinien dreidimensional ab [9, p. 34]. Versiegelt verpackt ist Ferrofluid bei Raumtemperatur sehr lange haltbar [8, p. 4], an der Luft trocknet es jedoch aus.

2.2 Audiotechnik

2.2.1 Grundlagen

Die Ton- oder auch Audiotechnik umfasst eine große Bandbreite an Technologien und Verfahren die zur Erfassung, Übertragung, Verarbeitung und Wiedergabe von akustischen Ereignissen, also Schall und Ton verwendet werden. Über die Bereiche der Mikrofonie und Aufnahme hinweg zur Mischung und dem Mastering sowie der Ausgabe mit Lautsprechern oder Kopfhörern, all diese Bereiche bedienen sich der Audiotechnik, um den Schall möglichst gut einzufangen, zu beeinflussen und wieder auszugeben.

Im Allgemeinen wird bei einem Vorgang, der in regelmäßigen Zeitabständen wiederholt den gleichen Zustand erreicht von einer periodischen Schwingung ausgegangen. Diese lässt sich im mathematischen Sinne aus der Kreisbewegung der Schallwellen ableiten und entspricht der Amplitude der Schwingung. Schwingungen können sich auch überlagern. Sie werden dann Interferenzen genannt und je nach Frequenz und Phasenlage können sich die Amplitudenwerte addieren, auslöschen oder auch einen schwebenden Zustand erreichen. Eine Frequenz beschreibt in der Tontechnik die Anzahl der Schwingungsperioden pro Sekunde.

$$\text{Frequenz } f = \frac{1}{\text{Periodendauer } T}$$

Sie wird in der Einheit Hz angegeben, um den Physiker Heinrich Rudolf Hertz zu ehren.

$$1 \text{ Hz} = \frac{1 \text{ Schwingung}}{1 \text{ Sekunde}}$$

Ein tiefer Ton wird dabei mit einer tiefen Frequenz angegeben, ein hoher Ton mit einer hohen Frequenz. Das menschliche Ohr kann Frequenzen im Bereich von 20Hz bis 20 000 Hz (= 20 kHz) wahrnehmen, wobei Infraschall unterhalb 20 Hz und Ultraschall über 20 kHz , also die tiefsten und höchsten Frequenzbereiche nur von einigen Tierarten gehört werden können. [10, p. 7 f.] Durch Schallwandler wie z.B. Mikrofone wird Schall in elektrische Spannung umgewandelt. Anschließend muss diese Spannung, welche als kontinuierlicher Verlauf der Schwingung

angesehen werden kann, in eine Form gebracht werden, mit der ein Computer, der nur Werte im Bereich 0 und 1 erlaubt, arbeiten kann. Hierzu wird meist die Pulsmodulation (PCM) angewandt.

Das wert- und zeitkontinuierliche analoge Signal durchläuft am Eingang einen Anti-Aliasing- oder auch Tiefpassfilter. Dieser filtert sehr hohe, nicht mehr wahrnehmbare Frequenzen aus dem Signal, sodass das Abtasttheorem eingehalten werden kann. Bei der Abtastung wird das Prinzip der Pulsamplitudenmodulation angewendet, welche das gefilterte Nutzsignal in der Amplitude durch einen Pulsträger moduliert. Dabei muss nach dem Nyquist-Shannon-Abtasttheorem gewährleistet sein, dass die Abtastfrequenz mindestens doppelt so hoch ist wie die höchste, im Signal vorkommende Frequenzkomponente [11, p. 76 f.]. Die Spannungswerte sind in diesem Stadium noch wertkontinuierlich, durch die Unterteilung in Abschnitte jedoch zeitdiskret. Eine Haltestufe sorgt dafür, die Spannungswerte über eine Abtastperiode zu halten, damit der Analog-/Digital-Wandler Zeit hat, um die gehaltenen Werte in Binärzahlen bzw. Audiosamples zu übersetzen. Erst nach diesem Quantisierungsschritt kann von der eigentlichen Pulsmodulation ausgegangen werden. Das nun vorliegende PCM-Signal ist nicht nur zeitdiskret, sondern durch die Quantisierungsschritte der Amplitude auch wertdiskret. Im Anschluss kann jede mögliche Betrachtung, Bearbeitung, Übertragung oder Speicherung erfolgen, bevor das digitale Audiosignal zur Wiedergabe wieder in ein analoges Signal zurückgewandelt werden muss. Entwicklungen die zur Auswertung und Bearbeitung digitaler Signale dienen, sind unter vielen anderen der Spektrumanalysator und der Equalizer. Auf beide Komponenten wird im weiteren Verlauf der Arbeit näher eingegangen. Um die korrekte Ausgabe über Kopfhörer oder Lautsprecher zu ermöglichen, muss das Signal noch ein paar weitere Bearbeitungsschritte durchlaufen. Der Digital-/Analog-Wandler transformiert die binären Zahlenwerte wieder in Amplitudenwerte einer elektrischen Spannung. Die treppenähnliche Form des Signals die dadurch entsteht wird durch einen De-Glitcher geglättet. Ein Tiefpassfilter filtert die Abtastfrequenz heraus und abschließend wird ein Ausgangsverstärker angewendet um das analoge Audiosignal auf den Normpegel zu bringen. [10, p. 243 f.]

2.2.2 Spektrumanalysator

Ein Spektrumanalysator ist ein Messinstrument zur Erfassung und Visualisierung der Signalamplitude in einem gewissen Frequenzbereich. Üblicherweise werden die Signale auf einem im Gerät verbauten Bildschirm dargestellt. Die Frequenz wird dabei auf der horizontalen Achse und die Amplitude auf der vertikalen Achse abgebildet. Hierbei erfolgt eine Skalierung der Y-Achse im logarithmischen Maßstab, was die Möglichkeit schafft sehr große Wertebereiche in der Praxis noch gut darstellen zu können. [12, p. 257 f.]

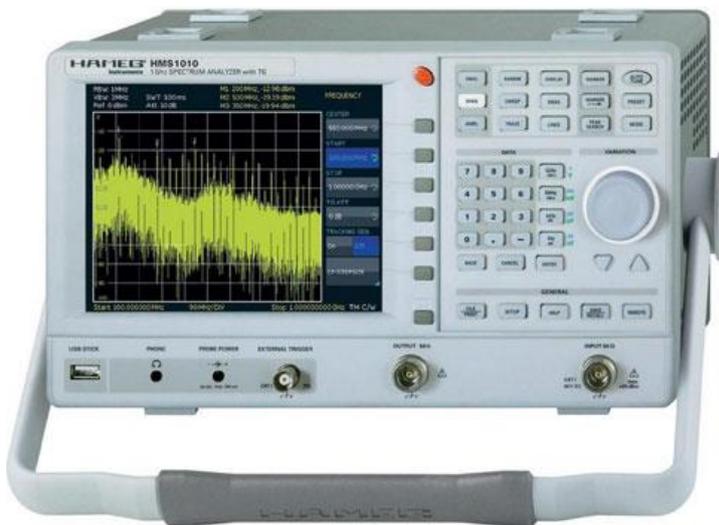


Abbildung 2 Messinstrument zur Spektrum Analyse aus [12, p. 257]

In der Akustik kann, durch die nach Jean Baptiste Joseph Fourier benannte Fourier-Transformation oder Fourier-Analyse, ein Abschnitt der Amplitude im Zeitbereich in den Frequenzbereich umgerechnet werden. Als Resultat wird ein diskretes Kurzzeitspektrum, auch Frequenz- oder nur Spektrum genannt, ausgegeben, wie in Abb. 3 dargestellt. [10, p. 10 f.]

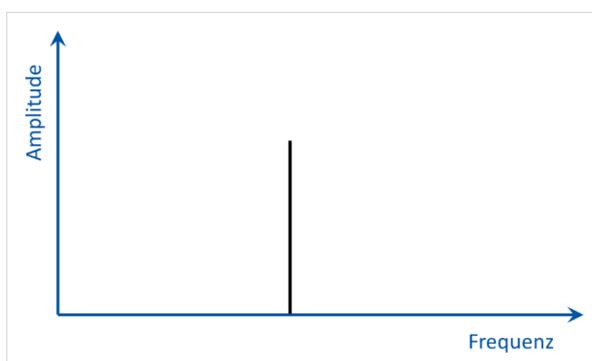


Abbildung 3 Amplituden-Frequenz-Diagramm aus [8, S. 11]

Um die Frequenzanteile eines zeitdiskreten Signals analysieren zu können, wird bei den meisten Spektrum Analytoren die schnelle Fourier-Transformation angewandt. Hierbei handelt es sich um einen Algorithmus zur effizienten Berechnung der diskreten Fourier-Transformation. [13] Viele digitale Oszilloskope können heutzutage ebenfalls eine einfache Darstellung des Frequenzspektrums realisieren [14].

2.2.3 Equalizer

Der EQ oder Equalizer ist ein Filter der als elektronische Komponente zur Beeinflussung des Frequenzgangs bzw. der Klangfarbe eingesetzt wird. Er wird einerseits verwendet, um technisch bedingte Störgeräusche herauszufiltern, andererseits dient er der künstlerischen Klanggestaltung. [10, p. 318]

Grundsätzlich wird zwischen analogen und digitalen Filtern unterschieden. Im analogen Bereich gibt es zudem unterschiedliche Bauarten. Beim grafischen EQ läuft die An- oder Abhebung über ein Gerät mit je einem Schieberegler pro beeinflussbarem Frequenzband, wie in Abb. 4 zu sehen ist.

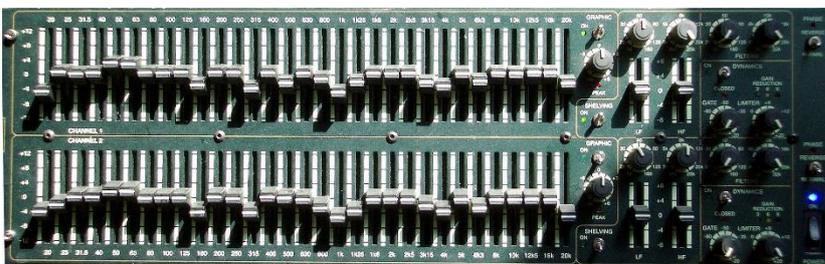


Abbildung 4 Professioneller, grafischer 31-Band-Equalizer aus [15]

Der parametrische EQ findet sich oft in Mischpulten oder Effektgeräten und hat die Eigenschaft, dass die Mittenfrequenz, die Amplitudenanhebung oder -absenkung und die Bandbreite für ein oder mehrere Frequenzbänder eingestellt werden kann. [15]

Analoge Filter sind technische Filter, welche genutzt werden, um das Audiosignal auf bestimmte Arten und Weisen zu filtern. Hoch- oder Tiefpassfilter dienen zum Beispiel dazu den hohen oder tiefen Frequenzbereich herauszufiltern, Bandpassfilter hingegen filtern beide

Bereiche heraus und lassen somit nur einen eingeschränkten Übertragungsbereich passieren.
[10, p. 318 f.]

Softwareprogramme, die zur Erzeugung und Bearbeitung von Musik verwendet werden, nennt man *Digital Audio Workstations* (DAW). Digitale Filter sind meist als Software-Plug-In in diesen implementiert und die Bedienung erfolgt über eine grafische Oberfläche. Die Beeinflussung der Frequenzverläufe wird hierbei durch mathematische Operationen wie u.a. Addition, Multiplikation und /oder durch Signalverzögerung umgesetzt. [10, p. 323 f.] Ein Beispiel hierfür ist die Anwendung Logic Pro von Apple (vgl. Abb. 5) [16].



Abbildung 5 DAW Logic Pro - User Interface aus [16]

2.3 Audiovisualisierung

2.3.1 Grundlagen

Alle Töne lassen sich heutzutage mithilfe von Audiovisualisierungen darstellen. Der Begriff definiert die Darstellung von Grafiken oder Animationen anhand von Audiodaten. Sie dienen einerseits dem bildlichen Verständnis und der technischen Auswertung von Audiosignalinformationen, werden allerdings auch für künstlerische Ansätze herangezogen. [17]

Die wohl älteste und populärste Form der Audiovisualisierung im analogen Bereich ist die Notation. Sie hat sich über 1000 Jahre bewährt [18, p. 193], allerdings können Tonsignale heute mit einer Vielzahl unterschiedlicher Technologien und Methoden deutlich besser grafisch dargestellt werden. Abbildungen, die den Zustand einer Schwingung in Abhängigkeit der Zeit darstellen werden Oszillogramme genannt und durch ein Oszilloskop erzeugt. Durch die angelegte Spannung bildet dieses die Wellenform des Signals über die Zeit ab, was in einem Amplituden-Zeit-Diagramm verständlich dargestellt werden kann (Abb. 6). [10, p. 11]

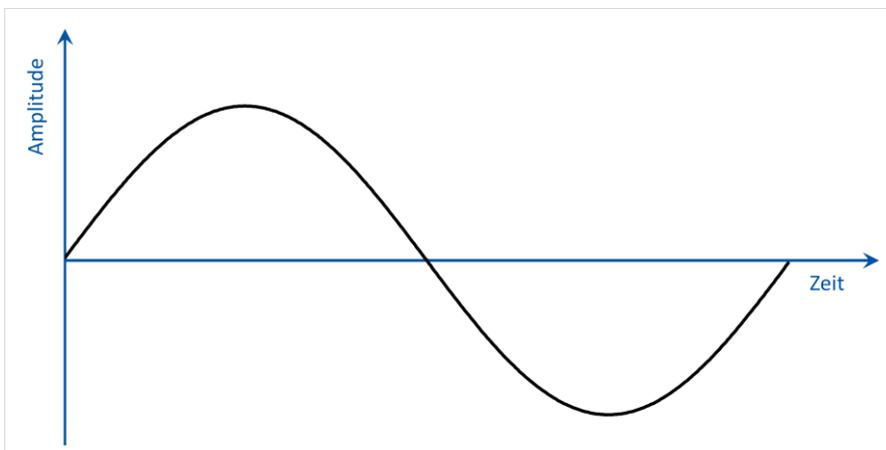


Abbildung 6 Amplituden-Zeit-Diagramm aus [10, p. 11]

Die Verbildlichung über den in Kapitel 2.2.2 genannten Spektrumanalysator ist ebenfalls eine Audiovisualisierung. Unter anderem gibt es auch noch die dreidimensionale Verbildlichung eines Frequenzspektrums über die Zeit in einem Wasserfalldiagramm (Abb. 7). Dabei werden hier mehrere diskrete Kurzzeitspektren hintereinander aufgezeichnet.

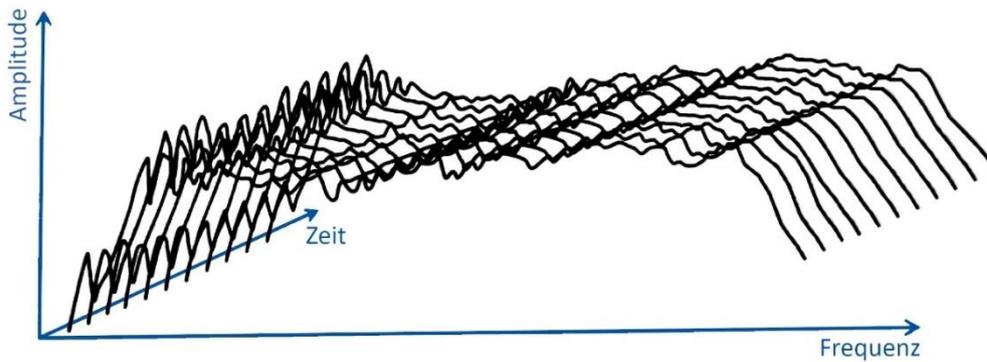


Abbildung 7 Wasserfalldiagramm (Rauschen als Testsignal) aus [10, p. 11]

Abgesehen von der rein technischen Betrachtung birgt die Audiovisualisierung ein großes Spektrum an weiteren Einsatzmöglichkeiten. Tonsignale können anhand einzelner oder einer Kombination mehrerer Parameter visualisiert werden. [17] Dieser Umstand wird vor allem auch im künstlerischen Bereich ausgenutzt. Dabei werden Eigenschaften des Signals wie beispielsweise Lautstärke, Tempo, Frequenz oder Rhythmus herangezogen, um dynamische visuelle Objekte oder Strukturen zu generieren, welche sich in Helligkeit, Sättigung, Farbe und/oder Form passend zur Musik verändern können.

Das Spektrum an Darstellungsmöglichkeiten ist groß. So beherrschen schon die meisten Media Player, wie der *VLC-Player* (VideoLAN Organization) oder der *Windows Media Player* (Microsoft) eine Visualisierung der abgespielten Daten. Über den *VLC-Player* wurde die folgende Abbildung generiert. Sie zeigt eine Ansicht der einzelnen Frequenzspektren (linke Abbildung), aber auch eine freie, rein künstlerisch motivierte Darstellung des Signals (rechte Abbildung).

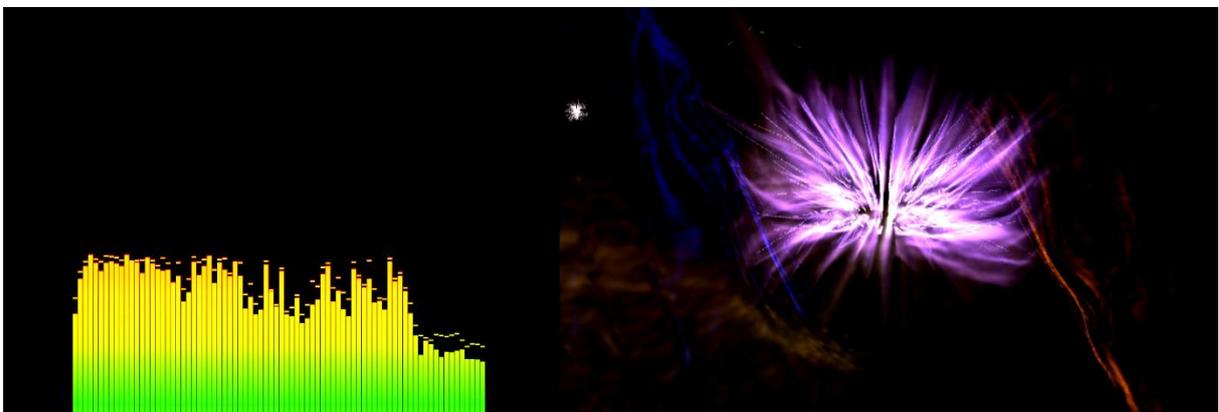


Abbildung 8 Audiovisualisierungen erzeugt mit VLC-Player - links: Frequenzspektren, rechts: freie, künstlerische Interpretation

Weiterhin sind auch einige Plug-Ins vorhanden, die die Integration von Visualisierungen in anderen Systemen ermöglichen. So gibt es beispielsweise im Chrome Web Store einen *AudioVisualizer* der sich als Erweiterung des Chrome Browsers auf jeder Webseite aktivieren lässt und sogar die Möglichkeit bietet verschiedene Visualisierungen anhand einiger Parameter zu beeinflussen. [19] Die folgenden Abbildungen wurden mit dieser Erweiterung generiert.

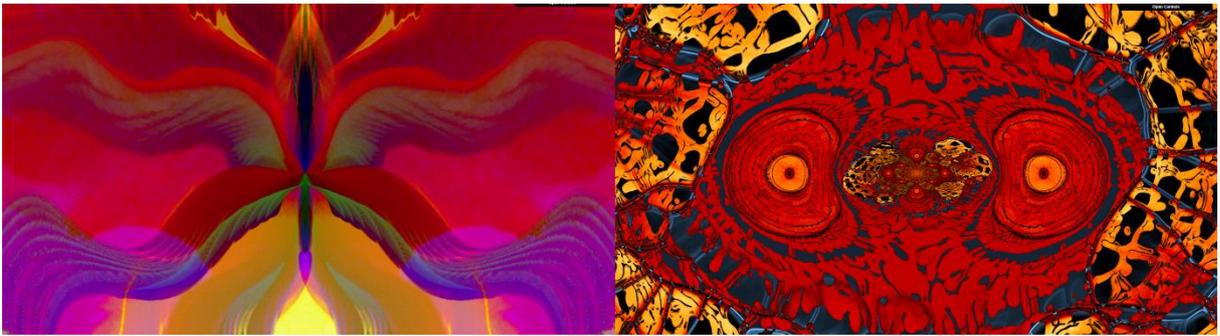


Abbildung 9 Audiovisualisierung mit dem *AudioVisualizer*-Plug-In des Chrome Browsers

2.3.2 Audiovisuelle Medien und Anwendungsgebiete

Die audiovisuellen Medien bezeichnen laut dem *Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft* Medienangebote, die zeitgleich optisch auf das Auge als auch akustisch auf das Ohr wirken [20, p. 21]. Im traditionellen Sinne zählen darunter Film, Fernsehen, Theater und Video, aber auch verwandte Bereiche wie Computerspiele. Alle diese Bereiche haben unterschiedliche Techniken, Funktionen und Ausdrucksformen, was eine gemeinsame Medialitätsbestimmung erschwert. Deshalb werden bewegte Klangbilder als Basismedium angesehen [21, p. 182 f.]. Wie Thomas Görne in seinem Buch *Sounddesign* erläutert, haben Bild und Ton eine nahezu magnetische Anziehungskraft. Ihm zufolge ist die menschliche Wahrnehmung dahingehend ausgerichtet, akustische und visuelle Reize miteinander zu verbinden, wenn sie zeitgleich auftreten [22, p. 17]. Neurologen der Duke University haben im Jahr 2018 einen Artikel im Fachblatt *Proceedings of the National Academy of Sciences* veröffentlicht, welcher die komplexe Beziehung zwischen Auge und Ohr näher beleuchtet. Sie berichten, dass die Blickrichtung auch die Hörrichtung durch gezielte Ausrichtung des Trommelfells fokussiert. [23] Wird der McGurk-Effekt betrachtet, welcher die Beeinflussung der Wahrnehmung eines akustischen Sprachsignals durch die gleichzeitige Beobachtung einer Lippenbewegung darlegt, so ist zu beobachten, dass Wahrnehmung und Verarbeitung

qualitativ besser sind, wenn das menschliche Gehirn die Sinneseindrücke kombinieren kann [24]. Das verbesserte Hörverständnis bei Blickkontakt hat demnach sowohl kognitive als auch physiologische Gründe und beeinflusst unterbewusst ebenso die Gefühlslage, in der sich die erlebende Person befindet.

2.4 Designgestaltung

2.4.1 Grundlagen

Das englische Wort Design ist auf den lateinischen Ausdruck *designare* ‚(be)zeichnen‘, zurückzuführen und beschreibt im ursprünglichen Sinne die äußerliche Gestaltung eines Objekts bezüglich Farb- und Formgebung. Im weiteren Sinne umfasst das aus dem Englischen übernommene Wort die Kombination von Kenntnissen aus unterschiedlichen Bereichen wie unter anderem der Kunst und Ästhetik, der Wissenschaft und Technologie, sowie der Sozialwissenschaften. Laut Wikipedia gibt es kein einheitliches Verständnis von Design. In Theorie und Praxis wird der Begriff unterschiedlich betrachtet was dazu führt, dass die beiden Bereiche wenig Einfluss aufeinander haben. In der Design-Theorie wird versucht die Praxis zu erfassen und in Konzepten zu vereinen, wobei die Praxis eher auf Erfahrungen basiert und weniger darauf achtet sich im Rahmen der theoretischen Möglichkeiten zu bewegen. Dabei ist weiterhin zu nennen, dass sich Design am Menschen orientiert und darauf abzielt einen Einfluss auf den Menschen auszuüben [25]. Der Designprozess erfordert also nicht nur die Auseinandersetzung mit der äußeren Gestalt eines Objektes, sowie seiner technischen Funktion, sondern auch dessen Interaktion mit einem Benutzer.

Der Industriedesigner Dieter Rams schrieb in den späten 1970er Jahren Anforderungen nieder, denen gutes Design seiner Meinung nach gerecht werden müsse.

1. Gutes Design ist innovativ.
2. Gutes Design macht ein Produkt brauchbar.
3. Gutes Design ist ästhetisch.
4. Gutes Design macht ein Produkt verständlich.
5. Gutes Design ist unaufdringlich.
6. Gutes Design ist ehrlich.
7. Gutes Design ist langlebig.
8. Gutes Design ist konsequent bis ins letzte Detail.
9. Gutes Design ist umweltfreundlich.
10. Gutes Design ist so wenig Design wie möglich.

Rams nannte sie die 10 Thesen für gutes Design. Diese Leitsätze beziehen sich überwiegend auf den Bereich des Produktdesign und haben das internationale Design radikal verändert. [26, p. 11 f.] Auch für unser Projekt sollten sie einen groben Leitfaden darstellen, an dem sich orientiert werden soll. Im Folgenden wird daher näher auf gestalterische Prozesse des Produktdesign eingegangen, da diese Konzepte prägend bei der Entwicklung des Prototyps waren.

2.4.2 Produktdesign

Die Orientierung zur Entwicklung des Designs ist stark von der Art des Produkts abhängig und erlaubt nur einen gewissen Grad der Freiheit [27]. Der Designprozess startet mit einer Definition der Ziele und Aufgaben, die ein Produkt erfüllen soll. Diese stellt für dieses Projekt Frau Erika Sebeld vor. Anschließend werden darauf basierend Konzepte erarbeitet, Skizzen zur Gestalt erstellt und erste Entwürfe als Modelle angefertigt. Dabei kann es sich auch um virtuelle Modelle im Rechner handeln. Das Buch *Produktdesign* beschreibt, dass das Wesen des Gestaltungsprozesses die wiederkehrenden Schleifen zur Verbesserung und Anpassung dieser Ideen und Entwürfe sind. Abbildung 10 zeigt, dass diese Schleifen die Arbeitsschritte Analysieren, Definieren und Entwerfen mehrmals durchlaufen.

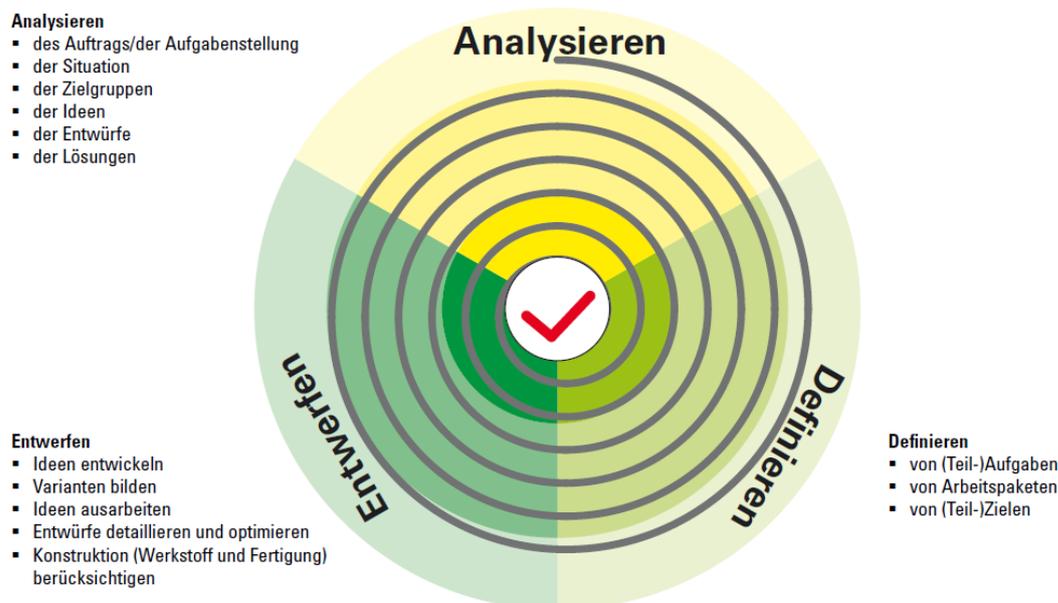


Abbildung 10 Stufen der Entwicklungsspirale aus [25, S. 11]

Die Punkte dieser Darstellung sind entscheidende Elemente für das Produktdesign. So ist es beispielsweise notwendig die Zielgruppe und deren Bedürfnisse zu kennen, um das Produkt so gestalten zu können, dass es deren Bedarf deckt. Die gewonnenen Erkenntnisse und Zwischenergebnisse der einzelnen Phasen werden präsentiert und besprochen. Beim Durchlaufen der Entwicklungspirale ist es möglich, dass nach der Analyse festgestellt wird, dass das Ziel auf dem eingeschlagenen Weg nicht erreicht werden kann. In diesem Fall wird entlang der Spirale zurückgegangen, bis zu dem Punkt, an dem die Voraussetzungen noch gestimmt haben. Mit steigender Anzahl an Schleifen nähert sich das Produkt dem Ergebnis und der Projektfortschritt wird vorangetrieben. [28, p. 10 f.]

3 Reflexion vergleichbarer Projekte

Für die bessere Einordnung positiver wie negativer Aspekte werden im Folgenden Projekte untersucht, die sich im Bereich Ferrofluid und Musikvisualisierung befinden. Die genauere Betrachtung soll bei der Gestaltung des Prototyps behilflich sein indem potenzielle Anwendungsprobleme im Vorfeld erkannt und umgangen werden. Die Vielfalt an Projekten die beide Themenbereiche abdecken ist überschaubar, denn der Einsatz von Ferrofluiden ist im forschungstechnischen und industriellen Bereich zwar weit gekommen, im Bereich der künstlerischen Verwendung steckt er allerdings noch in den Kinderschuhen und ist nicht von wissenschaftlichen Quellen abgedeckt. Es werden deshalb je zwei audiovisuelle und Ferrofluid-Projekte vorgestellt, aber auch eines, dass beide Elemente verbindet.

3.1 Audiovisuelle Projekte

Die Anzahl an audiovisuellen Projekten ist durch verbesserte Technologie und steigendes Interesse der Gesellschaft stetig gestiegen und begeistert Menschen auf der ganzen Welt. So findet sich eine Vielzahl an innovativen Projekten, wodurch die Aktualität der Thematik verdeutlicht wird.

Ein interessantes Vorhaben, ist die audiovisuelle *Aura* Installation vom Studio Nick Verstand aus Holland. Die eigene emotionale Erfahrung des Publikums manifestiert sich dabei als organische Lichtkompositionen in verschiedensten Farben, Formen und Intensitäten. Die Teilnehmer werden mit Biosensoren ausgestattet, mit deren Hilfe Herzfrequenzvariabilität, Hirnströme und elektrodermale Aktivität erfasst werden können. Sie stehen dabei unter einem Vorhang aus Licht der von oben auf sie herabgestrahlt wird. Musikalische Komponenten werden im Hintergrund abgespielt, sobald sich die teilnehmende Person hinsetzt oder legt. Dies weckt Emotionen, die sich in den Änderungen der Lichtgestaltung widerspiegeln. [29]

Die audiovisuelle Gestaltung von Emotionen wird in der Bachelorarbeit von Julia Beck aus dem Jahr 2015 thematisiert. Sie greift auf, dass Gefühle ein wesentlicher Bestandteil des Alltags sind und unterbewusst Einfluss auf das menschliche Handeln und Empfinden haben. Sechs Papierskulpturen, die durch ihr Design stellvertretend in ihrer Form die Emotionen Freude, Trauer, Furcht, Zorn, Ekel und Überraschung darstellen sollen, stellen die Basis für eine Video-Mapping-Projektion dar. Auditive Elemente jeder einzelnen Emotion dienen unterstützend und sind auf das dargestellte Erscheinungsbild bezüglich deren Agieren und Form- und Farbgebung abgestimmt. [30]

3.2 Ferrofluid Projekte

Fetch ist ein Ferrofluid Display, welches durch die Ansteuerung über Elektromagneten dazu in der Lage ist, Animationen wie z.B. die Uhrzeit wiederzugeben. Zwei Studenten der Universität Oslo haben das Projekt ins Leben gerufen und online ausführend dokumentiert. Der Benutzer hat über den Bildeditor *Aseprite* die Möglichkeit eine Pixelgrafik zu erstellen, welche in dem Display angezeigt werden soll. Über ein externes Python-Skript wird die *Aseprite*-Datei in eine eigens entwickelte Datei konvertiert, mit welcher die Animationen dargestellt werden können. Die magnetische Flüssigkeit in einem Tank wird dabei über eine Matrix mit 252 Elektromagneten angesteuert, wobei berücksichtigt werden muss, dass das Ferrofluid am Boden des Displays angelagert ist und erst durch das gezielte Ansteuern der Magneten in die gewünschte Position gebracht werden kann. Interaktionsmöglichkeiten in Echtzeit wurden bei diesem Projekt nicht genutzt. [31]

Einen weitaus künstlerisch geprägten Ansatz verfolgt der Bildhauer Eric Mesplé. Er verwendet Ferrofluid in seinen Werken, um den Betrachter in einen Zustand der Neugierde zu versetzen. So hat er beispielsweise mit seiner *Ferreflection Wall* eine interaktive Skulptur erschaffen, bei der die Silhouette des Benutzers in einer mit Ferrofluid übergossenen Wand in Echtzeit erzeugt und gesteuert werden kann. Der Anwender stellt sich vor die Wand und über 320 Elektromagneten werden an- oder ausgeschaltet, je nachdem ob das entsprechende Körperteil des Anwenders vom Kamerasensor einer Kinect erfasst wird oder nicht. Das Ferrofluid formt sich auf der Platte vor den angeschalteten Magneten und weist das für die Rosensweig-Instabilität übliche Verhaltensmuster auf. [32]

3.3 Audiovisuelles Ferrofluid Projekt

Das CYMATICS Projekt des neuseeländischen Komponisten Nigel Stanford ist eine Anreihung audiovisueller Experimente festgehalten in einem Musikvideo. Dieses erreichte auf YouTube bereits über 44 Millionen Klicks und beinhaltet Visualisierungen mit einer Chladni Platte, Ferrofluid, Wasser, einer Plasmalampe, Feuer und einem Tesla Transformator zur Erzeugung von Blitzen. Wobei alle Ansätze interessant sind, fokussiert Folgendes den Bereich der Ferrofluid Visualisierung. Laut Nigel Stanfords Homepage trägt ein rechteckiger Pool die Flüssigkeit und drei ansteuerbare Elektromagneten sorgen bei Betätigung des Keyboards dafür das Ferrofluid passend zur Musik springen zu lassen. Um eine schöne Stachelbildung herstellen zu können musste die Größe der Elektromagneten und der abgespielte Ton berücksichtigt werden. Die Verwendung eines Echos lieferte offenbar die besten Ergebnisse, weshalb das Keyboard als führendes Instrument in der ersten Hälfte des Liedes gewählt wurde. [33]

3.4 Resümee der genannten Projekte

Alle ausgewählten Projekte haben den Charakter, dass sie eigenständige Installationen sind. Besucht oder erlebt werden sie dort, wo sie aufgebaut bzw. ausgestellt werden. Interessant wäre, eine Installation, die die Elemente Ferrofluid und Audiovisualität vereint und damit ein Element erschafft, das zur Raumgestaltung bzw. Dekoration und zur Analyse bzw. -Verarbeitung von Audiosignalen eingesetzt werden kann.

Das *Fetch* Ferrofluid-Display nähert sich dieser Richtung, verwehrt allerdings den Aspekt der Audioverarbeitung und ist mit der vorherigen Bearbeitung durch *Aseprite* eher ungeeignet in Bezug auf dieses Projekt, da nicht mit Reaktionen anhand von Echtzeit-Audio gearbeitet werden kann. Das *CYMATICS* Projekt inkludiert die audiovisuelle Komponente, ist jedoch nicht so gestaltet, dass es über einen längeren Zeitraum mehrmals eingesetzt werden kann. Auch die *Ferreflection Wall* von Eric Mesple ist ein Unikat und nicht audioreaktiv, bietet aber die Möglichkeit einer Interaktion. Für diese Arbeit war es erforderlich ein Maß zu finden, das die Bedingungen des Ferrofluids und der Audiobeeinflussung in einem kompakten System vereint und eine einfache Interaktionsmöglichkeit des Nutzers mit dem Gerät ermöglicht.

4 Projektdurchführung

4.1 Designvorgaben & praktische Umsetzung

Die folgenden Ausführungen tragen die designspezifischen Prozesse und Entscheidungen zur Entwicklung des Ferrofluid EQ. Die Ergebnisse sind durch ein fortlaufendes Überarbeiten und Anpassen der erreichten Zwischenergebnisse entstanden und werden nachfolgend präsentiert.

4.1.1 Halterung des Elektromagneten

Ein Konzept für die Halterung der Elektromagneten war für das Projekt notwendig, um den Kupferdraht auf dem Eisenkern und die gefertigten Magneten in einer Matrix positionieren zu können. Die Umsetzung sollte mit dem 3D Drucker erfolgen, was eine vorherige Modellierung des Objektes erforderte. Ein mit *Blender* erstelltes Modell umfasste den Ansatz eines Prototyps, der den Eisenkern mit einer dünnen Schicht komplett umschloss und an den beiden Enden eine Randbegrenzung mit einer im Durchmesser zwei Zentimeter breiten Schicht aufwies (Abbildung). Diese sollte ein Herabrutschen der Magnete verhindern.



Abbildung 11 Erster Prototyp der Spule

Es wurde weißes 3D-Druck Material gewählt, damit die Elektromagneten in der Matrix hinter dem Tank leichter zu verdecken sind.

Die Montur des Spulenprototypen über dem Eisenkern erwies sich als umständlich und das Endresultat ergab nach der Messung und Testung mit dem Ferrofluid ein unzufriedenstellendes Ergebnis. Daher wurde ein zweiter Prototyp gestaltet, welcher genauso aufgebaut war wie zuvor, mit dem Unterschied, dass der Eisenkern frei lag und die Halterungen wie eine Art Kappe an den beiden Enden des Eisenkerns angebracht wurden.

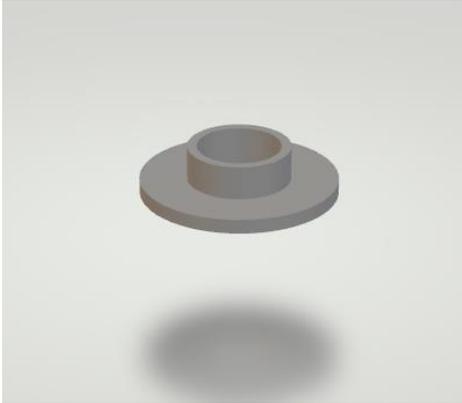


Abbildung 12 Finaler Prototyp der Spule

In die breiten Flächen des zweiten Prototyps wurden noch kleine Löcher gebohrt, um die Drähte fixieren zu können und eine geordnete Kabelführung zu realisieren.



Abbildung 13 Präparierung des Spulen Prototypen

Ein fertig gewickeltes Modell ergibt aus dem folgenden Bild (vgl. Abbildung 14).

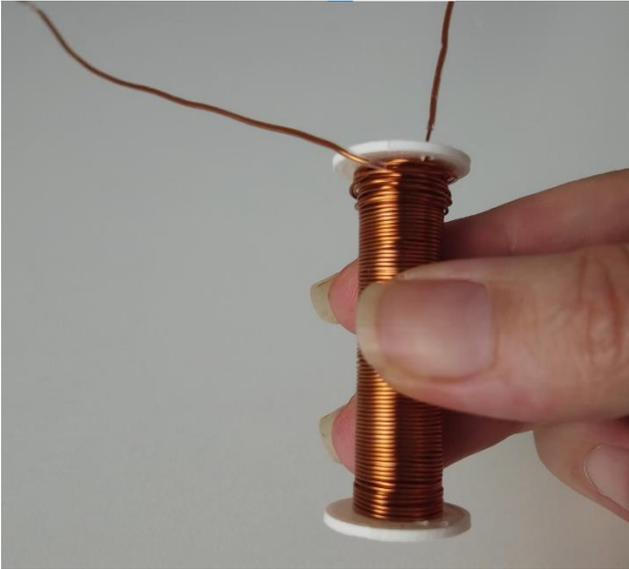


Abbildung 14 Fertige Spule

4.1.2 Rahmen der Elektromagneten Matrix

Um die 20 Elektromagneten richtig hinter dem Tank positionieren zu können musste eine Vorrichtung erstellt werden. Das gewählte Material sollte möglichst transparent sein, damit der Bereich hinter dem Tank gut zu verdecken aber noch lichtdurchlässig ist. Aufgrund dieser Anforderungen fiel die Wahl auf Plexiglas, um die Elektromagneten in einen Rahmen zu fassen. Mithilfe der Software *Inkscape*, welche zur Bearbeitung und Erstellung zweidimensionaler Vektorgrafiken herangezogen wird, wurde das Modell für den Matrix-Rahmen erstellt und anschließend mit einem Lasercutter ausgeschnitten. Das Ergebnis waren zwei fünf Millimeter dicke Scheiben, mit jeweils 20 zwei Zentimeter breiten, runden Löchern, dazwischen zwölf sieben Millimeter breite, runde Löcher und vier quadratische Aussparungen an den Ecken mit einer Breite von fünf Millimetern (vgl. Abb. 115).

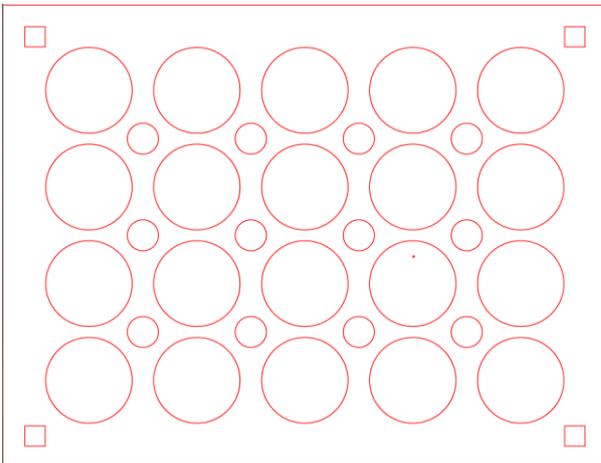


Abbildung 15 Vektorgrafik für den Plexiglasausschnitt

Die Magneten wurden in die größten Löcher gesetzt und die kleineren, runden Öffnungen dienen einer besseren Luftzirkulation und einer geordneten Führung der Drähte zur Schaltplatine. Durch die quadratischen Öffnungen wurden lange, bemutterte Schrauben geführt, um den Abstand zwischen den Scheiben richtig an die Länge der Elektromagneten anpassen zu können und um eine Befestigung an dem Gehäuse zu ermöglichen. Da der Tank so nah wie möglich an der Matrix stehen sollte, wurde noch eine zusätzliche, im gleichen Format geschnittene Plexiglasscheibe an der Front der Matrix angeklebt, um die überstehenden Schraubenköpfe zu versenken. Abschließend wurden die Magnete mit einem

Alleskleber der Firma Uhu verklebt. Die folgenden Abbildungen zeigen eine leere und eine mit Magneten befüllte Matrix.



Abbildung 16 Leere E-Magneten Matrix

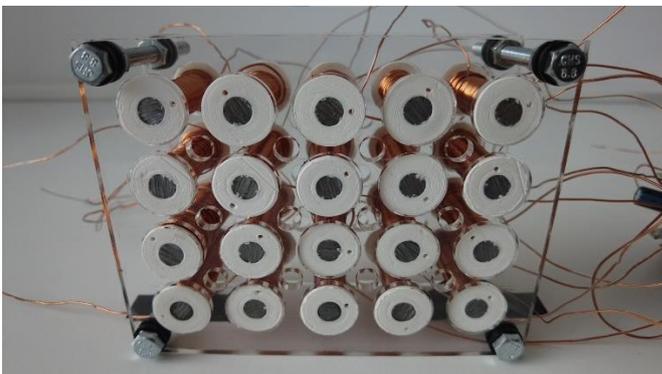


Abbildung 17 Befüllte E-Magneten Matrix

4.1.3 Gestaltung des Ferrofluid Tanks

4.1.3.1 Konzipierung des Tanks

Damit das Ferrofluid vor der Matrix gelagert werden kann und für einen längeren Zeitraum schön anzusehen ist, musste ein Behältnis konzipiert werden, welches die Flüssigkeit hält und konserviert. Durch die Testreihe zur Ermittlung der geeigneten Lagerungsflüssigkeit, auf welche in der Arbeit von Frau Sebeld genauer eingegangen wird, waren bereits erste Erfahrungswerte vorhanden, wie sich das Ferrofluid bei der Verarbeitung verhält. Ferrofluid ist wie bereits erwähnt ein Stoff, der sehr leicht an anderen Feststoffen kleben bleibt, was bei der Gestaltung des Tanks und der Lagerungsflüssigkeit berücksichtigt werden musste. Das Material für den Tank sollte möglichst glatt, robust und einfach zu reinigen sein., denn die kleinsten Unebenheiten oder Verschmutzungen an der Oberfläche können dazu führen, dass das Material mit einem schwarzen Film überzogen wird und der dahinterliegende, visuelle Effekt nicht wahrgenommen werden kann.

Die erste Idee den Tank aus Plexiglas anzufertigen, wurde nach einem Prototyp wieder verworfen, da das Material zu leicht zerkratzt. Die Wahl fiel schließlich auf Glas. Dieses musste extrem sauber sein, um unser Vorhaben umzusetzen. Es sollte außerdem gewährleistet sein, dass das Ferrofluid genug Raum hat, um die komplette Stachelbildung erreichen zu können. Zudem sollten alle Elektromagneten unserer Matrix vom Tank abgedeckt werden, sodass sich die schwarze Flüssigkeit vor jedem Magneten formen kann. Im oberen Bereich des Tanks sollten zwei runde Aussparungen für die Befüllung bzw. Entleerung vorhanden sein. Durch unsere Testungen wurde erkannt, dass das Ferrofluid beim Einfüllen einen bräunlichen Ölfilm auf der Oberfläche der Lagerungsflüssigkeit zurücklässt. Dieser lässt sich zwar teilweise mit einem Magneten herunterziehen, jedoch gelangen dabei auch kleinste Schmutzpartikel, die sich an der Oberfläche der Lagerungsflüssigkeit befinden, ins Ferrofluid und führen zu vereinzelt Flecken, die an der Innenwand des Tanks hängen bleiben. Demnach haben auch die Schmutzpartikel, die sich beim Öffnen und Schließen unseres Tanks an der Wasseroberfläche anlagern einen Einfluss auf die Reinheit des Tanks. Es galt also, die Wasseroberfläche so klein wie möglich zu halten und um dem gerecht zu werden, wurde geplant, die Ebene mit den Löchern zu erhöhen. Die 3D-Grafik Software *Blender* ermöglichte

eine vorläufige Modellierung des Tanks und erleichterte dessen Planung und Konzeption (Abbildung 18).

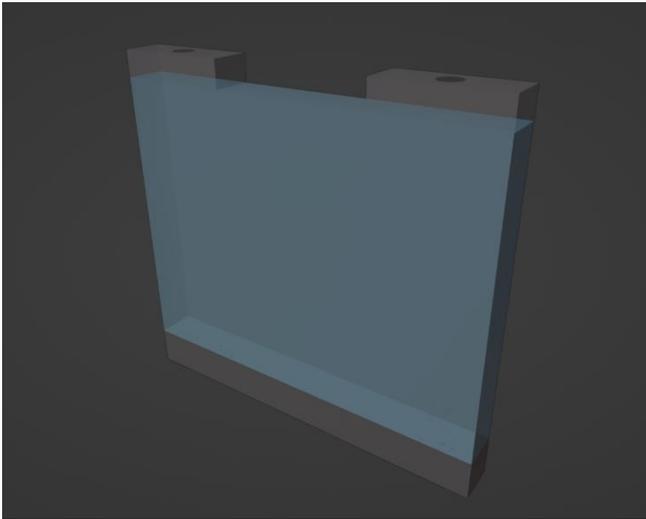


Abbildung 18 Tankmodell erstellt mit Blender

Eine luftdichte Versiegelung des Gefäßes sollte mit zwei konisch geformten Silikonstopfen realisiert werden.

4.1.3.2 Test zur Auswahl des Tankglases

Der Glas verarbeitende Betrieb Hans Weidner GmbH hat es uns ermöglicht, unsere Konzeptidee des Tanks umzusetzen. Nach einer Besprechung des Modells mit dem Fertigungsleiter Herrn Valerie Sebeld wurde vereinbart, dass zur Auswahl des besten Glases ein Testversuch mit verschiedenen Glasarten durchgeführt werden sollte. Dabei handelte es sich um B270-, Borofloat-, Optiwhite- und Floatglas.

Das heutzutage am meisten verwendete Bauglas ist Floatglas. Es besteht aus Kalk-Natron-Silikatglas und hat eine an den Kanten sichtbare grünliche Färbung. Das Material ist robust, kann Temperaturschwankungen von bis zu 40 Kelvin standhalten und hat eine Lichtdurchlässigkeit von 85-90%. [34]

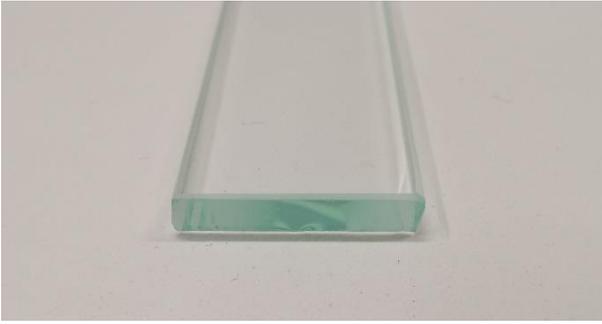


Abbildung 19 Testausschnitt Floatglas

Optiwhite-Glas ist ein weiteres Flachglas für dessen Herstellung allerdings spezielle eisenoxidarme Rohstoffe verwendet werden. Dies sorgt dafür, dass der Grünschimmer des Glases deutlich reduziert wird. Die Glaskante gibt nur einen leicht türkisenen Farbton wieder. [35]

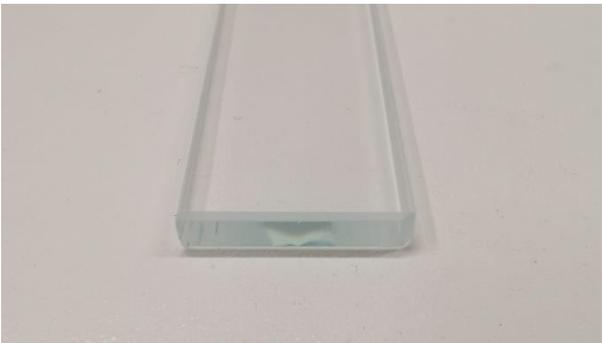


Abbildung 20 Testausschnitt Optiwhite-Glas

Borofloat beschreibt ein Borosilikatglas und weist eine hohe chemische und thermische Beständigkeit auf. Es ist ein klares, nahezu farbloses Glas mit einer hohen Transparenz und ein sehr robuster Werkstoff. [36]



Abbildung 21 Testausschnitt Borofloatglas

B270- Glas ist ein modifiziertes Kalk-Natron-Glas bei dessen Herstellung hochreine Rohstoffe verwendet werden. Dadurch ergeben sich keine Verfärbungen und das Glas besticht über eine außergewöhnliche Klarheit. [37]



Abbildung 22 Testausschnitt B270-Glas

Für unser Projekt würden sich alle Glasarten eignen, allerdings sollte mit einem Test erörtert werden, an welchem Glas am wenigsten Ferrofluid hängen bleibt. Hierfür wurde die Reinigung der Gläser, wie im Kapitel Reinigungsvorgang der Arbeit von Frau Sebeld beschrieben, vorgenommen und das Ferrofluid in das Salzwasser mit den Abschnitten der Testgläser gegeben. Entgegen der Erwartung, dass das Ferrofluid zu Boden sinkt und sich auf den Boden legt, stieg es zurück an die Oberfläche und breitete sich dort aus wie in Abb. 23 und 24 zu sehen ist.

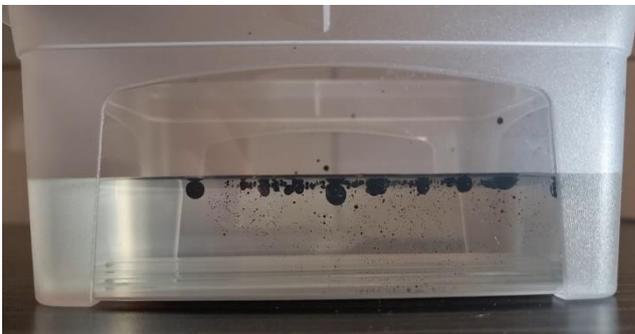


Abbildung 23 Testaufbau – Ferrofluid sammelt sich an der Oberfläche.



Abbildung 24 Ölfilm auf der Oberfläche

Diese Entdeckung legte den Grundstein für die Testreihe zur Ermittlung der geeigneten Lagerungsflüssigkeit. Die vorherige Recherche hatte zwar ergeben, dass ein Gemisch aus Maldon-Salz und Wasser den gewünschten Effekt erzielen sollte, allerdings traf diese Annahme auf das von uns erworbene Ferrofluid nicht zu. Damit der Gläsertest dennoch fortgesetzt werden konnte wurden normale Magnete unter dem Tank platziert, um die Ferrofluid-Tropfen auf dem Glas bzw. am Boden zu halten (siehe Abbildung 25).

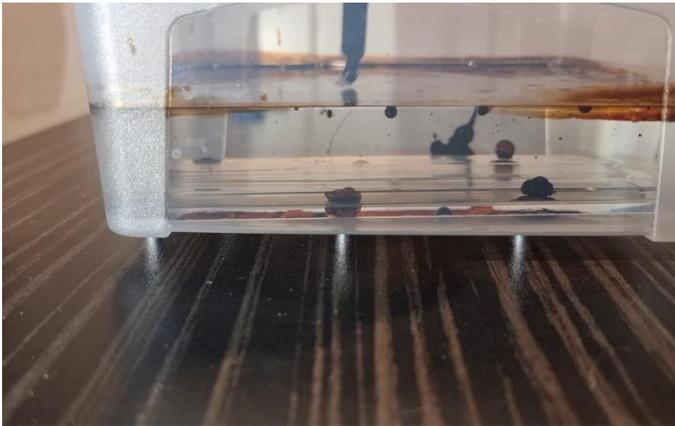


Abbildung 25 Mit Magneten fixierter Ferrofluid-Glas-Test

Die Gläser lagen 72 Stunden in dem Behälter und nach dieser Zeit erzielte das B270-Kronglas die besten Resultate. Da es auch optisch den schönsten Eindruck auf uns machte, wurde entschieden den Tank aus diesem Glas anzufertigen. Das mit einem UV-Kleber versiegelte Gefäß ist auf Abbildung 26 zu sehen und war die Grundlage für die Zusammenführung der Elektromagneten Matrix mit einem Element, dass es ermöglichte, alle Magneten-Visualisierungen mit Ferrofluid darzustellen.

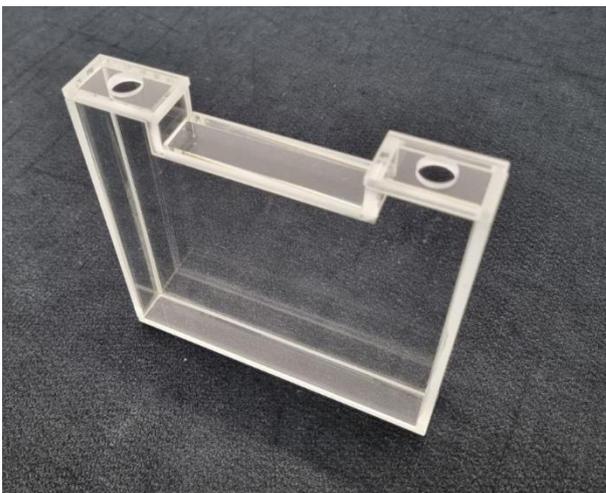


Abbildung 26 Glastank mit UV-Kleber

Bis zu diesem Punkt konnten diese nur über runde Testgläser beobachtet werden, welche lediglich eine, maximal zwei Spalten unserer Matrix abdeckten und durch die Krümmung eine deutlich schwächere Wirkung auf das Ferrofluid zeigten. Eine deutliche Aussage darüber, wie der endgültige Effekt sich in dem passenden Behältnis auswirkt, konnte demnach ohne diesen Tank nicht ermittelt werden.

4.1.4 Problem Management

Nach der ersten Reinigung und Befüllung des Tanks war das dargestellte Ergebnis zufriedenstellend.



Abbildung 27 Erster Test mit befülltem Tank

Die unteren Bereiche ließen sich durch die kleinen Öffnungen nur sehr schwer erreichen, weshalb es dort teilweise nicht gelungen ist den Tank ausreichend zu reinigen. Dies hatte zur Folge, dass Ferrofluid an der Glaswand hängen blieb. Zwei Tage nach der Befüllung war die Salzwasserlösung aus dem Tank ausgelaufen und nur das Ferrofluid schwamm noch am Boden des Behälters.



Abbildung 28 Darstellung des ausgelaufenen Tanks

Der UV-Kleber hielt also das Ferrofluid, nicht aber das Salzwasser. Nach erneuter Reinigung war geplant, die Kanten des Tanks von Herrn Jebramek, einem in Nürnberg ansässigen Aquarienbauern, mit Silikon abdichten zu lassen. Leider ging der ursprüngliche Tank beim Transport zu dessen Werkstatt kaputt, weshalb die passenden Glasteile von der Firma Weidler neu zugeschnitten und ausgehändigt wurden. Der Aquarienbauer wurde nun damit beauftragt die Glasteile zu einem Tank zusammen zu kleben. Eine Woche später war das Resultat fertig, Herr Jebramek warnte jedoch, dass Silikon auch nicht lange gegen Öl beständig ist. Er empfahl eine Lagerung von 2 Wochen nicht zu überschreiten. Aus diesem Grund wurde ein spezieller Glas-Kleber der Firma UHU besorgt, welcher wasserfest und weitestgehend resistent gegen Öl und verdünnte Säuren und Basen ist. Die Kanten wurden hiermit und zusätzlich mit Alleskleber erneut verklebt und der Tank damit endgültig versiegelt. Abbildung 29 zeigt einen gereinigten und mit einem Isopropanol-Salzwasser-Gemisch befüllten Tank.



Abbildung 29 Fertiggerichteter Tank

4.1.5 Entwicklung der Tankhalterung

Die Tankhalterung sollte zur Stabilisierung des Tanks, als Positionierungshilfe im Gerät und als Wasserschutz bzgl. der Technik entwickelt werden. Damit der Rahmen um den Tank die geplanten Lichteinfälle der LEDs nicht behindert, wurde auf Plexiglas zurückgegriffen. Mit Hilfe des Lasercutters wurden passende Teile ausgeschnitten und zusammengesteckt. Im Anschluss wurden die Kanten und Löcher mit durchsichtigem Plexiglasleber abgedichtet. Das Ergebnis findet sich in Abbildung 30 als Kassette mit einem bereits befüllten Tank.

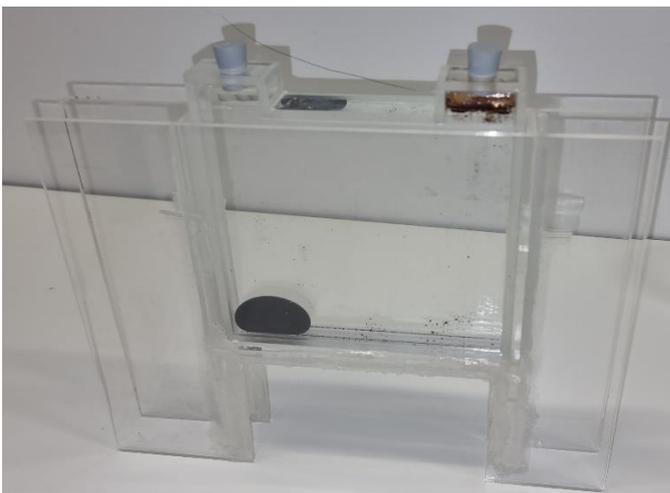


Abbildung 30 Tank-Kassette

Da die Entwicklung des Tanks einige Hürden mit sich brachte, wurde entschieden parallel eine weitere Kassette anzufertigen, welche die Verwendung von Reagenzgläsern anstelle des Tanks ermöglichte (siehe Abbildung 31).

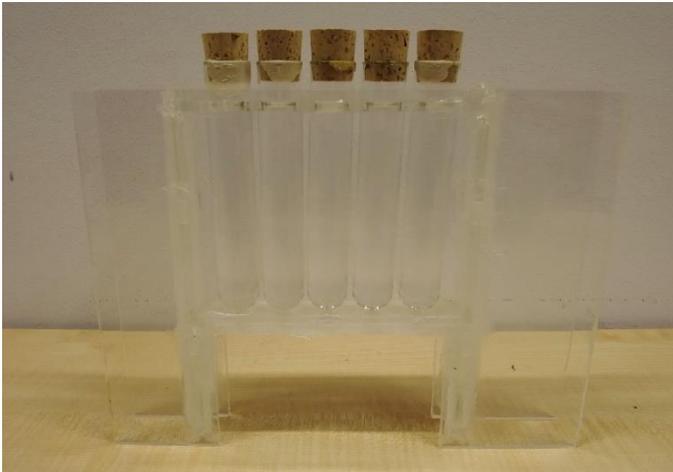


Abbildung 31 Kassette für die Reagenzgläser

Diese können nicht auslaufen, haben dafür aber einen anderen Effekt auf die Darstellung. Während das Ferrofluid im Tank zwischen den Spalten hin- und her fließen kann, wird der Bewegungsspielraum mit dieser Variante auf die Darstellung vor der jeweiligen Spalte eingegrenzt. Hiermit können die Amplitudenwerte der jeweiligen Frequenz präziser angezeigt werden, da jede Spalte die gleiche Menge an Ferrofluid enthalten wird und die Magneten hinter den Spalten sich das Ferrofluid nicht gegenseitig wegnehmen können. Eine kunstvollere Darstellung wird mithilfe des Tanks erreicht. Beide Varianten wurden dahingehend angepasst, sie im Gehäuse einfach einsetzen und austauschen zu können.

4.1.6 Anpassung des Gehäuses

Um die Überlegungen und finalen Entscheidungen bezüglich dieses Arbeitsschrittes visuell gesammelt zu präsentieren, wurden einige Entwurfsskizzen angefertigt.

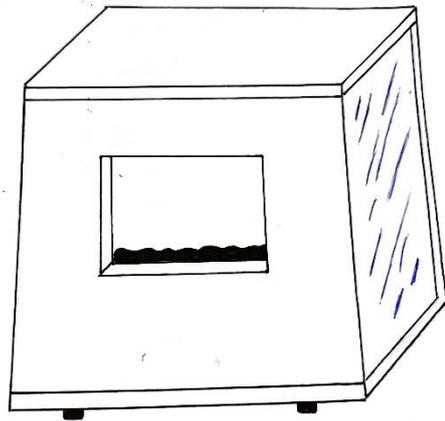


Abbildung 32 Design Gehäuse Frontansicht

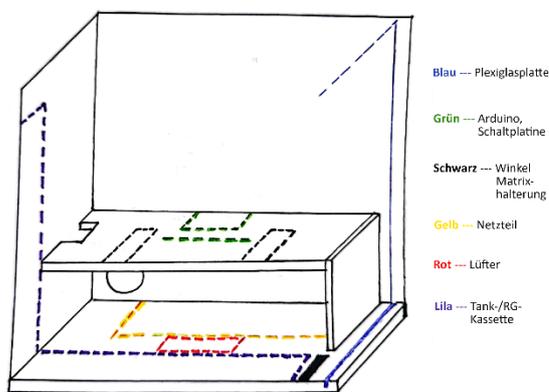


Abbildung 33 Design Gehäuse - frontale Innenansicht

Das Gehäuse sollte einen Darstellungsbereich für den audiovisuell reaktiven Ferrofluid-Aspekt aufweisen, aber auch den technischen Bereich des Projektes näher beleuchten. Eine Belüftung der Magnete sollte nach den Erkenntnissen der Testreihe der Elektromagneten ebenfalls berücksichtigt werden, genauso wie eine runde Öffnung zur Führung der ausgehenden Verkabelung. Geplant war außerdem, die LEDs rund um die Tank- oder Reagenzglas-Kassette zu führen und eine Seite des Gerätes offen mit einer klaren Plexiglasplatte zu gestalten, was einen Einblick auf die Elektromagneten und die verbaute Technik gewährt. Die E-Magneten Matrix sollte erhöht eingebaut werden, um primär die Positionierung auf das Tank Display abzustimmen, sekundär eine darunterliegende Belüftung der Magneten zu ermöglichen und tertiär eine ansprechende Präsentation der Matrix zu liefern. Dies ließ sich in der Planung gut mit der Platzierung eines doppelten Bodens umsetzen, unter dem wiederum das Netzteil eingesetzt werden sollte. Auf dem doppelten Boden können Winkel angebracht und mit der Matrix verschraubt werden, während die Schaltplatine mit dem zugehörigen Arduino, dem

Spektrum Shield und dem Bluetooth Modul direkt dahinter Platz findet. Die Tank- oder Reagenzglas-Kassette sollte in der Planung ebenfalls einen Bereich direkt hinter dem Displayausschnitt, aber noch vor den Magneten zugeordnet bekommen. Für die Befestigung des LED-Streifens und der Fixierung des Tanks wurde noch eine Holzleiste einkalkuliert. Zudem waren noch Lüftungslöcher im Deckel und Füße am Boden eingeplant. Abschließend wird an dieser Stelle noch eine bebilderte Reihe des Endprodukts ohne eine Kassette vorgestellt.

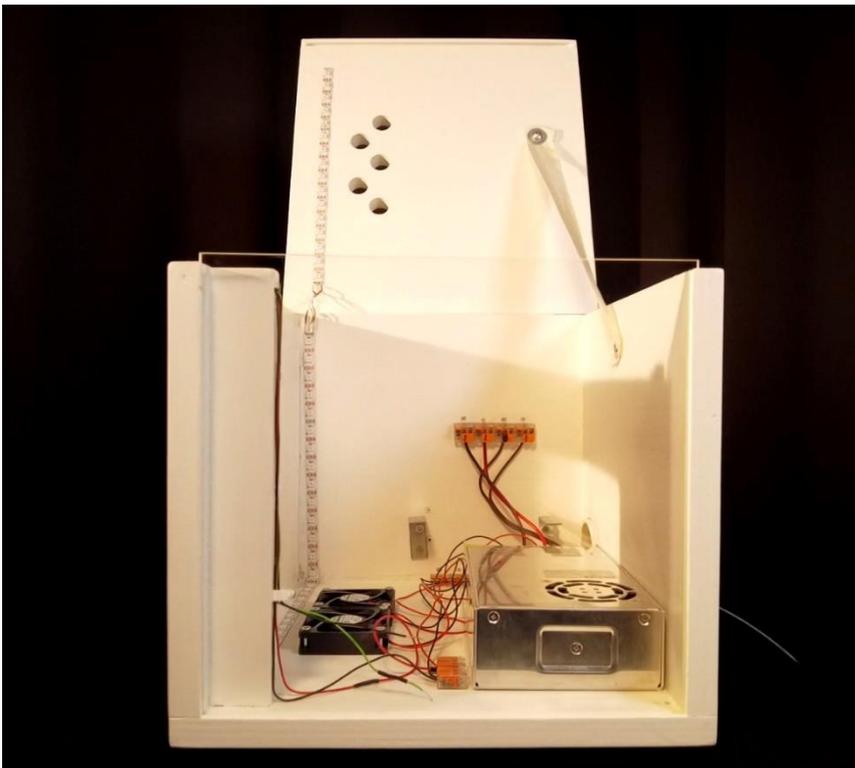


Abbildung 34 Ferrofluid EQ - Seitenansicht durch die Plexiglasscheibe ohne Matrix-Aufbau

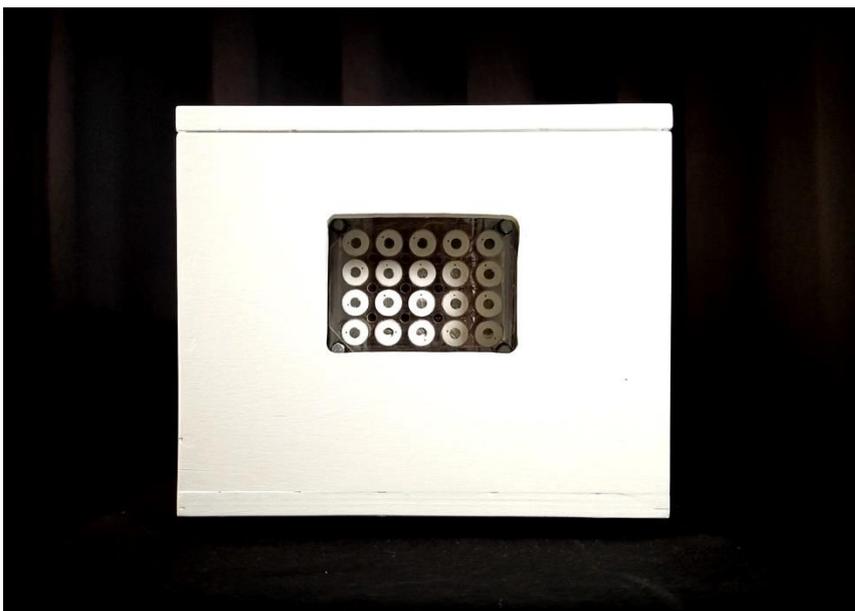


Abbildung 35 Ferrofluid EQ - Frontalansicht mit Matrix-Aufbau

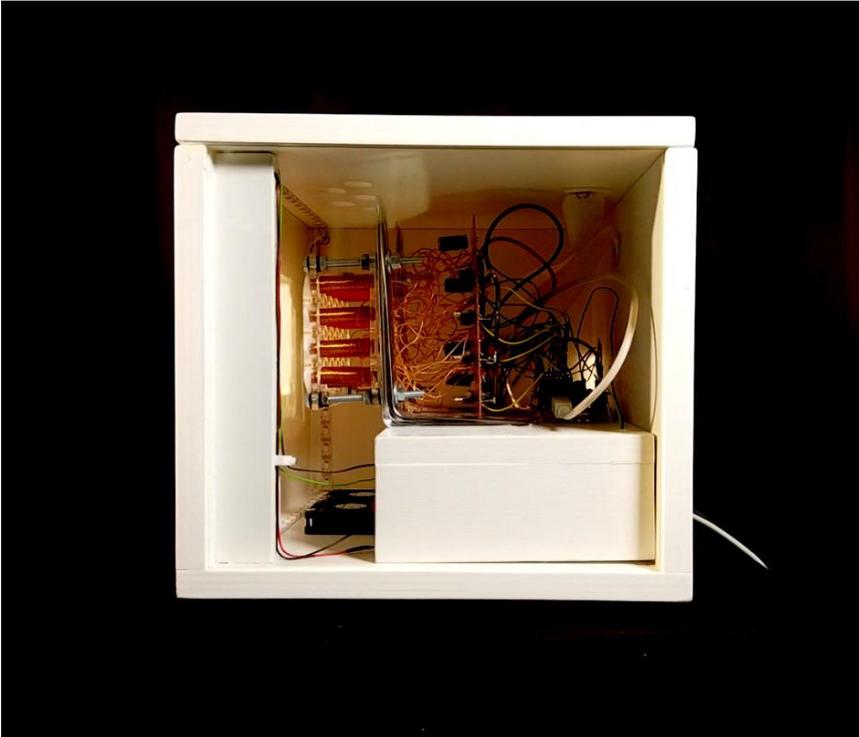


Abbildung 36 Ferrofluid EQ - Seitenansicht mit Matrix-Aufbau

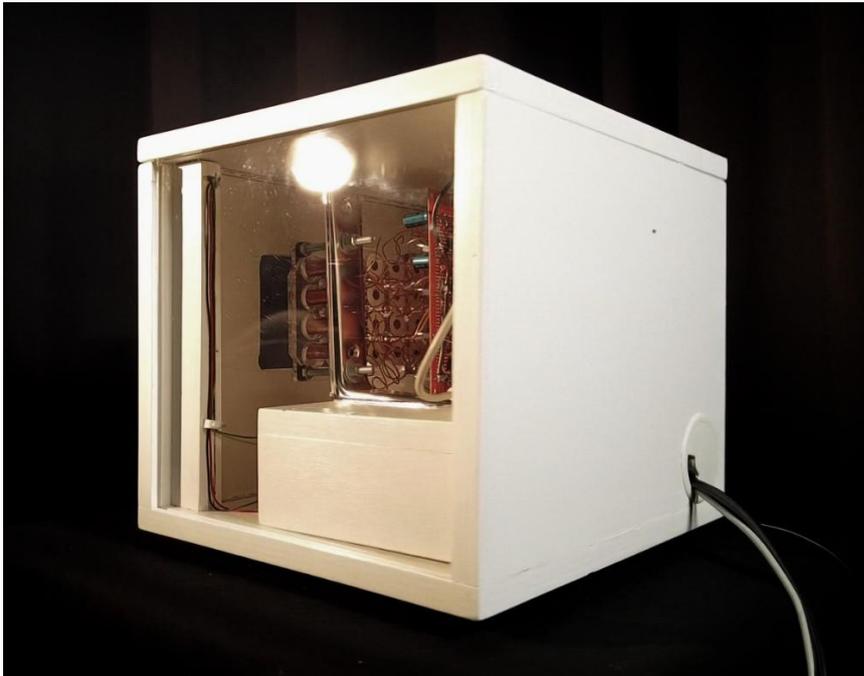


Abbildung 37 Ferrofluid EQ - Schräge Seitenansicht mit Matrix-Aufbau

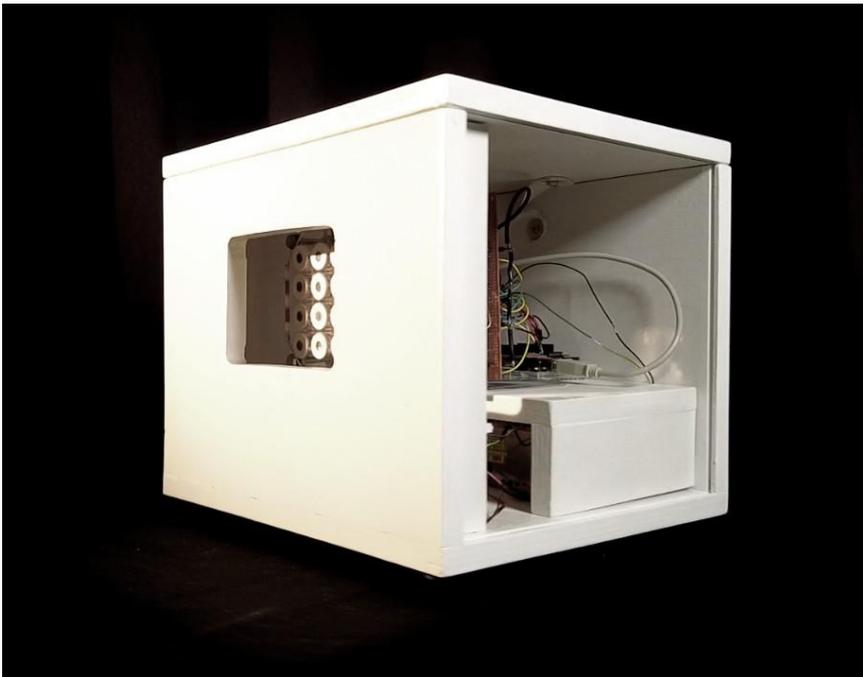


Abbildung 38 Ferfluid EQ - Schräge Front- und Seitenansicht mit Matrix-Aufbau



Abbildung 39 Ferfluid EQ - Schräge Frontansicht mit Matrix-Aufbau

4.2 Software / Programmierung

Führend ist hier zu nennen, dass im Rahmen dieser Bachelorarbeit darauf geachtet wurde, folgende Code Conventions einzuhalten. Konstanten wurden in Caps Lock mit Unterstrichen gehalten, während gewöhnliche Variablen in der camelCase Schreibweise verfasst wurden. Der Programmcode wurde in englischer Sprache geschrieben und ausführlich mit Kommentaren versehen.

4.2.1 Arduino IDE

Zur Entwicklung unseres Projekts wurde mit der quelloffenen *Arduino IDE* gearbeitet. Die C bzw. C++ ähnliche Programmiersprache [38], die diese Entwicklungsumgebung nutzt, ermöglicht es mithilfe von sogenannten *Sketches*, die zugehörige Hardware zu programmieren. Die Programme werden in einem Texteditor geschrieben und in einer .ino Datei gespeichert. Ein Nachrichtenbereich gibt Rückmeldungen zu Fehlerquellen, Speicher- und Exportvorgängen. Die Konsole zeigt Textausgaben des Programms und durch die grafische Benutzeroberfläche kann eine Vielzahl an Bibliotheken für das Projekt installiert werden.

4.2.1.1 FastLED-Bibliothek

Die *FastLED*-Bibliothek ermöglicht eine schnelle und effiziente Programmierung adressierbarer LED-Pixel und -Streifen. Sie läuft auf einer großen Anzahl von Mikrocontrollern und unterstützt mehrere Chipsets wie z.B. WS2810, WS2811, Neopixel und viele mehr. *FastLED* wird von vielen Entwicklern in zahlreichen Kunst- oder Hobbyprojekten verwendet, findet sich aber auch in kommerziellen Produkten. [39] [40] Auch in der vorliegenden Arbeit soll die Bibliothek für die Realisierung der LED-Beleuchtung eingesetzt werden.

4.2.1.2 MSGEQ7 Bibliothek

Diese Bibliothek unterstützt die Konvertierung der analogen Spannungsausgabe des MSGEQ7-Chips zu digitalen Daten. Die Daten haben die Werte 0 – 255 (8 Bit). Die Outputs des Chips werden *Channel* genannt und stellen den Input für die Bibliothek dar. [41] Diese Bibliothek wurde auch verwendet, um die LED-Ausgabe zu steuern.

4.2.2 Prototyp

Zur Funktionalitätsprüfung wurde zunächst an einem Prototyp zur Steuerung der Magneten und der Feststellung bzw. Beurteilung des daraus resultierenden, visuellen Feedbacks der ferromagnetischen Flüssigkeit gearbeitet. Hierbei ging es lediglich darum, eine Aktivierung und Deaktivierung der Magneten vornehmen zu können. Anschließend sollte der Code eine separate Ansteuerung gewährleisten und schließlich die Magnete so beeinflussen, dass deren elektromagnetische Kraft einen Ferrofluidtropfen über drei Ebenen anheben kann. Dabei ist der Zeitversatz des An- und Ausschaltens individueller Magneten zu beachten, denn wird diese Zeit zu gering angesetzt, fällt das Ferrofluid wieder auf den Boden des Gefäßes und der Effekt kann sich nicht auf die höher liegenden Magneten Reihen erstrecken. Umgesetzt wurde dies, indem die Magnetpins definiert, als Output deklariert und mithilfe der *digitalWrite*- und *delay*-Methode an- und ausgeschaltet wurden.

Die nächste Phase der Testversuche beinhaltete die Ansteuerung über die Pulsweitenmodulation (PWM) mithilfe der *analogWrite*-Funktion und verschiedenen Arbeitszyklen. Von diesem Schritt hatten wir uns primär eine veränderte Darstellung der Stachelintensität erhofft. Ein weiterer Faktor war eine präzisere Ansteuerung der Magnete. Da sich das Ferrofluid im Tank vertikal bewegen muss, wäre es von Vorteil, wenn die Magnete, die bereits mithilfe der Schwerkraft mehr Ferrofluid tragen, weniger stark angesteuert werden als die darüber liegenden.

Die Überlegungen zur PWM wurden nach den Testungen durch die vorliegenden Ergebnisse verworfen. Selbst mit einer genauen Ansteuerung über die analogen Pins des Arduino konnten keine Veränderungen bezüglich des Aussehens oder Verhaltens der magnetischen Flüssigkeit festgestellt werden, wobei die Magnete konstant die gleiche Menge an Ferrofluid trugen.

Nachdem die erstellten Elektromagneten in der Matrix verbaut und mit der Platine verbunden waren, wurde zuerst ein rudimentärer Test Code geschrieben, um die Funktion jedes einzelnen Magneten zu prüfen. Dabei verlief die Steuerung so, dass der unterste Magnet der linken Spalte für 5 Sekunden angeschaltet wurde und eine Sekunde später wurde der darüberliegende Magnet aktiviert. Das Ferrofluid, das herangezogen wurde, um ein visuelles

Feedback über die Funktionsfähigkeit der Magneten zu erhalten, befand sich zu diesem Zeitpunkt in einem Testgefäß, das vor die Matrix gestellt wurde und konnte sich so vor jedem angeschalteten Magneten formen. Mit dieser Ansteuerung konnte im Ferrofluid die gewünschte Stachelausprägung erzielt werden. Der Vorgang, die Spulen so für jede Spalte der Matrix an- und abzuschalten, ermöglichte eine effiziente Fehlersuche in Bezug auf den von Erika Sebold ausgeführten technischen Schaltkreis und erste Eindrücke, wie sich die Flüssigkeit unter Einfluss des Magnetfelds verhält und auf den Betrachter wirkt.

4.2.3 Ansteuerung der Magneten Matrix

Als alle technisch bedingten Fehlerquellen beseitigt waren, begann die nächste Phase der Code-Entwicklung. Aus Usability Gründen wurde die Verknüpfung über Bluetooth zur Ansteuerung unseres Ferrofluid EQ gewählt. Anwendungstechnisch benötigt es also ein entsprechendes Gerät, das zudem Audiosignale abspielen kann. Meist wird hier ein Smartphone oder Tablet gewählt. Der Anwender verknüpft nun sein gewähltes Gerät und spielt eine Audiodatei, z.B. ein Lied über den Musikstreaming Dienst *Spotify* ab. Eine Übersicht zum besseren Verständnis der verarbeiteten Signale im Code wurde mit dem folgenden Aktivitätsdiagramm erarbeitet.

FerroEQ in Betrieb nehmen

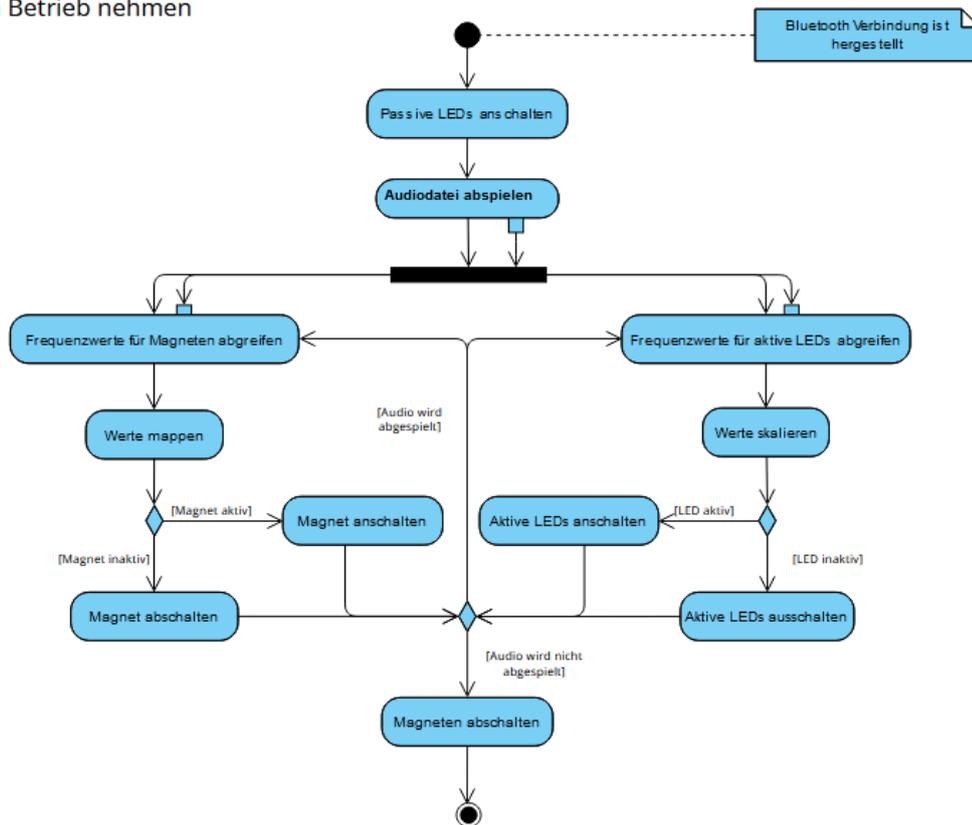


Abbildung 40 Aktivitätsdiagramm zur Inbetriebnahme des Ferrofluid EQ

Über das Bluetooth-Modul landen die Werte für den rechten und linken Audiokanal beim Spektrum Shield und dem MSGEQ7, welcher das Audiospektrum auf die sieben Frequenzbänder 63Hz, 160Hz, 400Hz, 1kHz, 2.5kHz, 6.25kHz und 16kHz aufteilt [42]. Eine analoge Repräsentation des höchsten Amplitudenwertes der jeweiligen Frequenz wird über einen Multiplexer an den Ausgang gegeben und kann nun vom ADC des Arduino Mega 2560 mit einer 10Bit Auflösung, also Werten zwischen 0 und 1023, digital weiterverarbeitet werden. [43] An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass die Umsetzung des folgenden Abschnittes ohne die Verwendung einer Erweiterung erfolgte. Das Abgreifen der Signale wird also ohne Bibliothek vorgenommen und in der nachstehenden Abbildung 41 als Aktivitätsdiagramm ausgeführt.

Frequenzwerte für Magnete abgreifen

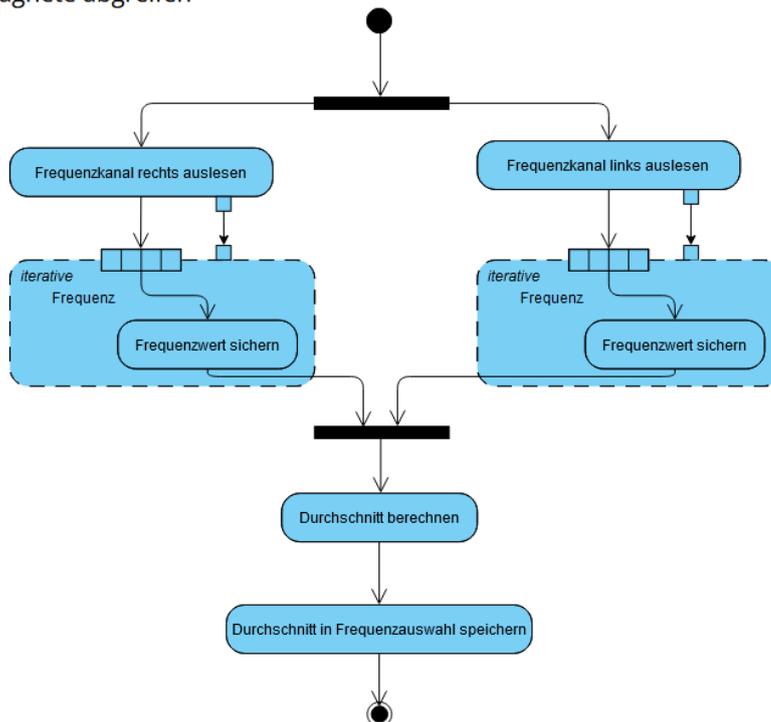


Abbildung 41 Aktivitätsdiagramm zum Abgreifen der Frequenzwerte

Für die restlichen Abschnitte wird aufgrund der simplen Verfahren auf eine Verbildlichung in Form von Aktivitätsdiagrammen verzichtet. Die *ReadFrequencies* -Methode ist für die projektspezifische Datenaufnahme ausgelegt. Vor dem Auslesen der Werte muss der Multiplexer zurückgesetzt werden, indem der RESET-Pin des MSGEQ7-Chips angesprochen wird. Ein Abschalten desselben Pins ermöglicht die Aktivierung des STROBE-Pins, welcher einen zyklischen Durchlauf beider Kanäle anstößt. Nach einem initialen Puls wird bei 63Hz gestartet und bis 16kHz durchgewechselt. Die typische Frequenzantwort geht laut dem Datenblatt des MSGEQ7 aus der folgenden Abbildung hervor.

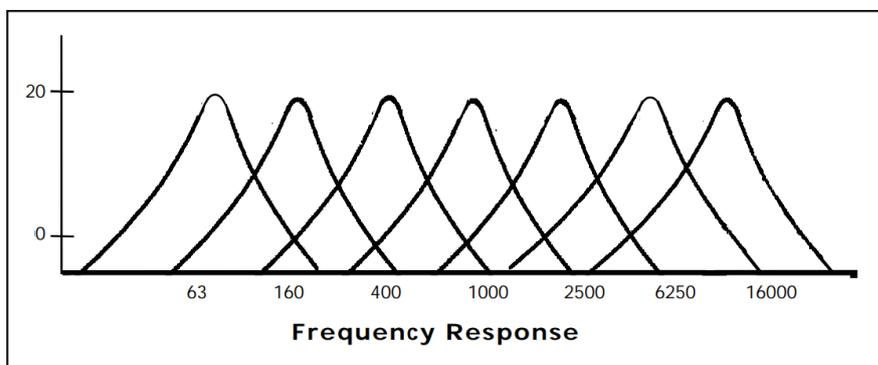
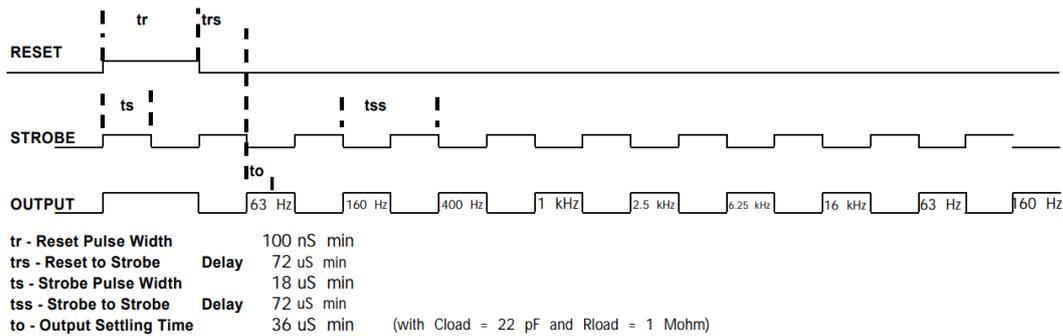


Abbildung 42 Frequenzantwort des MSGEQ7 aus [42]

Das *Strobe Timing Diagram* verbildlicht den zeitlichen Verlauf der Abtastimpulse (Abb. 43)



Strobe Timing Diagram

Abbildung 43 Strobe Timing Diagram des MSGEQ7 aus [41]

Die abgegriffenen Werte werden für jeden Kanal in den Integer Arrays *frequenciesLeft* und *frequenciesRight* gespeichert. Für die Zwecke unserer Darstellung kommt es nicht auf die Verwendung beider Kanäle an. Daher wird aus diesem Grund der Durchschnitt ermittelt und fünf dieser Werte, in dem weiteren Integer Array *matrixFrequencies* gespeichert. An dieser Stelle werden auch die Frequenzbereiche festgelegt, welche repräsentativ für die Spalten der Matrix stehen. Für unser Projekt werden nicht die Werte der Frequenzbänder zwischen 63 Hz und 2.5kHz gewählt, sondern die zwischen 160Hz und 6.25kHz. Dies wird durch *i+1* im *frequenciesLeft/frequenciesRight*-Aufruf erreicht (siehe Abbildung 44).

```
//build average amplitude value from two frequency channels and set selection start frequency (band+1 == 160Hz; band == 63Hz)
for (uint16_t band = 0; band < matrixFrequenciesLength; band++)
{
    matrixFrequencies[band] = (freqLeftChannel[band+1] + freqRightChannel[band+1])/2;
}
```

Abbildung 44 Durchschnittsberechnung und Setzen der Startfrequenz

Im Anschluss wird in der *PreprocessFrequencies*-Funktion für jedes Frequenzband eine *map*-Funktion aufgerufen, welche den erhaltenen Wertebereich von 0 – 1023 auf einen überschaubaren Bereich von 0 – 4 herunterbricht. Dieser Bereich steht stellvertretend für die Schwellwertstufen, die ein Wert erreichen muss, um ein An- oder Ausschalten der Magneten zu steuern.

Die *SearchActiveMagnets*-Methode wurde entwickelt, um aus jeder Spalte der Matrix den aktuell anzusprechenden Magneten herauszufiltern. Hierbei gilt es vorerst zu verstehen, wie die Matrix aufgebaut ist (siehe Abbildung 45).

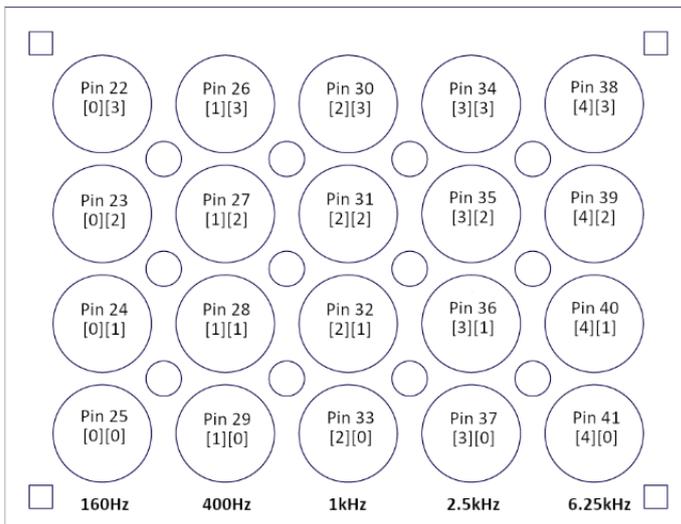


Abbildung 45 Pin- und Arraybelegung der Magneten

Die Frontansicht der Matrix veranschaulicht, wie die Belegung des zweidimensionalen Arrays für die Magneten gewählt wurde. Um beispielsweise den Pin 36 anzusteuern, wäre ein Aufruf über die `magnetMatrix[3][1]` durchzuführen. Diese Belegung ermöglicht es in der erwähnten Methode durch die Spalten zu iterieren, alle Magneten auszuschalten und pro Spalte nur den Magneten anzuschalten, der anhand des erhaltenen gemappten Frequenzwerts im entsprechenden Reihenabschnitt der `magnetMatrix` gefunden wird. Die entsprechende Code Passage, die hierfür verantwortlich ist, wird nachfolgend abgebildet (Abb. 46).

```
//iterate through magnetMatrix
for (int colIndex = 0; colIndex < matrixColLength; colIndex++)
{
    //turn off all magnets
    digitalWrite(magnetMatrix[colIndex][0], LOW);
    digitalWrite(magnetMatrix[colIndex][1], LOW);
    digitalWrite(magnetMatrix[colIndex][2], LOW);
    digitalWrite(magnetMatrix[colIndex][3], LOW);

    //turn on active magnet in each column
    if (matrixFrequencies[colIndex] > 0) {
        digitalWrite(magnetMatrix[colIndex][matrixFrequencies[colIndex] - 1], HIGH);
    }
}
```

Abbildung 46 An- und Abschalten der Magneten

Mit der `GraphFrequencies`-Methode können die gemappten Amplitudenwerte außerdem über den seriellen Monitor oder den Plotter ausgegeben werden. Diese ist, bis die Notwendigkeit einer Verwendung besteht, auskommentiert.

Nach der Ansteuerung der Matrix mit diesen Befehlen wurde ersichtlich, dass eine schöne Stachelbildung seitens des Ferrofluids nicht erreicht werden konnte. Zu schnell schalten sich die Magneten an und ab. Die Flüssigkeit hat nicht die Zeit sich dem schnell wechselnden Status lange genug anzupassen, um den erwünschten Effekt zu erzielen. So bleibt es bei einer interessant tanzenden, dynamisch wirkenden Substanz ohne Stacheln, die nicht weniger gern betrachtet wird. Es machte zudem den Eindruck, als hätten die obersten Magneten der Matrix keinen Einfluss auf das Ferrofluid. Eine Überprüfung der gemappten Werte ergab, dass der Amplitudenwert den Wert 4 erreichen kann und somit die oberen Magneten anschalten müsste. Dies geschieht jedoch so schnell und selten, dass der darunterliegende Wert überwiegend angenommen und der jeweilige Magnet in der dritten Reihe von unten angeschaltet wird. Somit hat das Ferrofluid in diesem Fall kaum eine Chance die vierte Reihe zu erreichen. Der Versuch die Werte in der *map*-Funktion auf einen Wertebereich zwischen 0 und 5 zu mappen hatte einen leichten Erfolg dahingehend zu verbuchen, dass das Ferrofluid nun auch von der dritten Reihe öfter angesprochen wurde. Eine Ausweitung auf die vierte Reihe konnte allerdings auch in diesem Fall nicht erfolgen.

4.2.4 Ansteuerung der LEDs

Der LED-Code wurde am Ende der Projektphase entwickelt und implementiert, damit die Frequenzabbildungen durch das Ferrofluid mithilfe des verbauten LED-Streifens, ebenfalls frequenzabhängig durch verschiedene Helligkeitsstufen und verschiedene Farbwerte untermalt bzw. begleitet werden.

Im Verlauf der Entwicklungen wurden dazu zwei Modi entwickelt, die LEDs auf die gleiche Art und Weise zu abgespielten Frequenzen im Betrieb aufleuchten bzw. reagieren lassen, dabei aber unterschiedliche Farbwerte besitzen. Hier ist zu nennen, dass für die Ansteuerung der LED-Lampen, die *FastLED*- und die *MSGEQ7*-Bibliothek verwendet wurde. Der Code zur Belichtung wird in dem *FastLED* Präprozessor Makro *EVERY_N_MILLISECONDS* umgesetzt. Dies ermöglicht eine parallel zum Magnetcode verlaufende Verarbeitung der Signale und umgeht die für Arduinos übliche *delay*-Problematik, da die Loop Methode nicht geblockt wird.

Dank der *MSGEQ7*-Bibliothek kann eine Instanz der Klasse *CMSGEQ7* erstellt werden. Beim Aufruf werden ein Glättungsfaktor, Reset- und Strobe-Pin und der Rechts- und Linkskanal initialisiert. Mit der *read*-Funktion der Erweiterung wird dafür gesorgt, dass der Chip in einem festgelegten Intervall, ohne Verzögerung ausliest. Der Aufruf der *get*-Funktion erlaubt es die passenden Frequenzbänder, in unserem Fall 160Hz, abzugreifen.

Anders als bei den Magneten werden hier alle LED-Lampen von diesem einen Band gesteuert. Eine Belegung der LEDs auf unterschiedliche Frequenzbänder wurde ausprobiert, führte jedoch zu einem unschönen Ergebnis und keiner eindeutig erkennbaren Anpassung zur Musik, da zu viele Lichtimpulse miteinander konkurrierten.

Der abgefangene Wert wird über die Methode *mapNoise* von Störgeräuschen befreit und anschließend mit der *nscale8_video*-Funktion aus *FastLED* im Farbraum auf 256 Helligkeitsstufen skaliert in einer *CRGB*-Instanz gespeichert.

An dieser Stelle kann im Code zwischen der *fill_rainbow*- und der *fill_solid*-Methode entschieden werden, welche repräsentativ für den ersten und zweiten Modus stehen. Mit dem ersten Regenbogen Modus werden die LEDs mit einer bunten Farbkombination angesprochen. Dies kann zur passenden Musik ansprechend, aber auch schnell überfordernd wirken. Der zweite Modus setzt daher mit einem einheitlich geprägten Ansatz alle LED-Pixel auf einen vorgegebenen Farbwert und reguliert deren Helligkeit anhand der eingehenden Signale. Eine Wahl von beispielsweise Dunkelblau, ruft dabei einen angenehmen Effekt hervor.

Beim Erproben und Gestalten dieser Modi fiel auf, dass eine indirekte, passive Beleuchtung im Betrieb vorteilhaft wäre, um eine visuelle Feststellung beim An- und Abschalten des Gerätes zu erfahren. Mit acht gleichmäßig verteilten LEDs sollte deshalb eine konstante weiße Hintergrundbeleuchtung umgesetzt werden, während die restlichen LEDs sich dem gewählten Modus entsprechend verhalten.

Eine Aufreihung verschiedener Farbergebnisse findet sich in den nachfolgenden Abbildungen.



Abbildung 47 Ferrofluid EQ mit blauer Beleuchtung



Abbildung 48 Ferrofluid EQ mit grüner Beleuchtung



Abbildung 49 Ferrofluid EQ mit pinker Beleuchtung

An dieser Stelle ist zu erwähnen, dass bei der Betrachtung unseres Produktes Anfälle wegen Lichtempfindlichkeit auftreten können. Für einen kleinen Prozentsatz der Menschen besteht die Gefahr einen photosensitiven epileptischen Anfall zu erleiden, sollten sie bestimmten visuellen Reizen, z.B. schnell wechselnden Hell-Dunkel-Kontrasten, ausgesetzt sein.[43] Einer Nutzung unseres Produktes ist in diesen Fällen abzuraten.

5 Zusammenfassung

Die Basis des Ferrofluid EQ ist innerhalb der Projektbearbeitung erfolgreich getestet und aufgebaut worden. Der Benutzer kann sich leicht mit dem Gerät verbinden und Musik seiner Wahl durch das Ferrofluid Display in einem schönen Darstellungsbereich visualisieren. Weiterhin bleibt dem Anwender durch die beiden Kassetten die Möglichkeit der Entscheidung zwischen einer künstlerisch angehauchten oder einer präziseren informationsbasierten Darstellung der Ferrofluidvisualisierung. Das Produkt kann geöffnet und leicht auseinander gebaut werden, indem die Plexiglasplatte aus der Führung genommen, die Kabelverbindungen getrennt, der doppelte Boden herausgenommen und die gewählte Kassette entfernt wird. Letztere kann auch durch leichtes Anheben der Matrix entfernt werden, ohne dass der doppelte Boden entfernt werden muss. Eine seitliche Betrachtung ermöglicht es die gestalterische Darstellung der Technik aufzunehmen und ein besseres Verständnis für die Funktionsweise des Produktes zu entwickeln.

Im Allgemeinen verlief die Umsetzung des Projektes abgesehen von ein paar Rückschlägen positiv. Einer davon, war die von Frau Seheld ausgeführte Erkenntnis durch die Hitzeentwicklung unserer Magneten keinen länger andauernden Betrieb und damit keinen Equalizer gewährleisten zu können. Demnach ist mit dem Resultat eher ein Spektrumanalysator zu verbinden. Auch die Tatsache, dass der Tank nie eine makellose Reinheit erzielt hat, trübte die Sicht auf die Visualisierung und den resultierenden Eindrücke. Dennoch konnte eine visuell ansprechende Anwendung erstellt werden, die, durch die Ferrofluid Komponente, Neugierde und Interesse weckt und je nach abgespielter Musik dazu in der Lage ist noch weitere Stimmungslagen beim Betrachter hervorzurufen.

In einer rückblickenden Betrachtung lässt sich abschließend festhalten, dass die Konzepte des Produktdesign in der vorliegenden Arbeit gut umgesetzt werden und die Thesen des Herrn Rams, mit der Ausnahme der Umweltfreundlichkeit eingehalten werden konnten.

6 Ausblick

Durch die Berücksichtigung von Reparaturbedarf oder Erweiterungswünschen während der Planungsphase, ist die Ausbaufähigkeit, die diesem Projekt zugeschrieben werden kann, relativ hoch. Neben den von Erika Sebold genannten Punkten wäre zum Beispiel noch der Einbau weiterer Sensoren denkbar, um die Funktionsvielfalt auszubauen. Eine Kinect-Kamera könnte beispielsweise eine herunterskalierte Strichmännchen-Abbildung der aufgenommenen Person im Display erzeugen. Über weitere Programme könnten simple Vektorgrafiken oder Animationen abgebildet werden und selbst eine Basisvariante des Spiels Pong würde sich vermutlich damit umsetzen lassen.

Aus einem persönlichen Blickwinkel betrachtet, ist es spannend die Zukunft der Ferrofluide zu verfolgen, denn die vergangenen Jahre wurden immer mehr interessante Projekte zu diesem außergewöhnlichen Stoffgemisch auf Portalen oder Webseiten veröffentlicht. An dieser Stelle wird diese Arbeit abgeschlossen und die Weiterentwicklung dieses Projekts freudig erwartet.

- [1] D. Nolde, „Die Firma mit dem Blubb,“ WELT, 30.08.2003. [Online]. Available: <https://www.welt.de/print-welt/article256487/Die-Firma-mit-dem-Blubb.html>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [2] „MTR Designs Ferrofluid Sculpture,“ MTR Designs, 2023. [Online]. Available: <https://shop.mtr-designs.com/>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [3] Robert S. Arrighi, „NASA,“ 25.02.2021. [Online]. Available: <https://www.nasa.gov/feature/glenn/2021/history/novel-rocket-fuel-spawned-ferrofluid-industry>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [4] „NASA,“ [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19690024115>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [5] S. Odenbach, „Ferrofluide - ihre Grundlagen und Anwendungen,“ in *Physik in unserer Zeit*, 3. Hrsg., Bd. 32, 2001, pp. 122 - 127.
- [6] „Ferrofluid,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Ferrofluid>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [7] „Tensid,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Tensid>. [Zugriff am 12.02.2023].
- [8] K. Stierstadt, *Ferrofluide im Überblick*, 1. Hrsg., Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2020.
- [9] S. Reuß und T. Wilhelm, „Herstellung und Anwendung von Ferrofluiden,“ *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule* 64. Jahrgang, Nr. 3, pp. 33 - 36, 2015.
- [10] V. Smyrek, *Tontechnik für Veranstaltungstechniker*, Stuttgart: Hirzel, 2012.
- [11] P. Ackermann, *Computer und Musik: eine Einführung in die digitale Klang- und Musikverarbeitung*, H. Schauer, Hrsg., Wien: Springer Verlag, 1991.
- [12] H. Bernstein, *NF- und HF-Messtechnik*, Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2015.

- [13] „Schnelle Fourier-Transformation,“ Wikipedia, [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Schnelle_Fourier-Transformation. [Zugriff am 12 02 2023].
- [14] „Spektrumanalysator,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Spektrumanalysator>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [15] „Equalizer,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Equalizer>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [16] „Logic Pro,“ Apple, 2023. [Online]. Available: <https://www.apple.com/de/logic-pro/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [17] „Audiovisualisierung,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Audiovisualisierung>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [18] C. Hempel, „Visualisierung von Musik,“ in *Wissenschaftliche Perspektiven auf Musik und Medien*, Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008, pp. 193 - 204.
- [19] „AudioVisualizer - Chrome Web Store,“ Google, [Online]. Available: <https://chrome.google.com/webstore/detail/audiovisualizer/bojhikphaeclnbdckplmadjkflgbkfh>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [20] H. Kleinsteuber, Lexikon Kommunikations- und Medienwissenschaft, G. Bentele, H. Brosius und O. Jarren, Hrsg., Wiesbaden: Springer VS, 2013.
- [21] K. Fahlenbrach, Medien, Geschichte und Wahrnehmung, Wiesbaden: Springer VS, 2019.
- [22] T. Görne, Sounddesign, U. Schmidt, Hrsg., Carl Hanser Verlag München, 2017.
- [23] D. M. C. J. D. S. C. S. a. J. G. K. Gruters, „The eardrums move when the eyes move,“ *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Bd. Vol. 115, Nr. 6, pp. E1309-E1318, 06 02 2018.
- [24] „Auge und Ohr: Das Zusammenspiel der beiden Sinnesorgane,“ KIND, [Online]. Available: <https://www.kind.com/de-de/magazin/ hoeren/das-ohr/rund-ums-ohr/auge-und-ohr/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [25] „Design,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Design>. [Zugriff am 12 02 2023].

- [26] D. Rams, 10 Thesen für gutes Design, C. W. d. Jong, Hrsg., Prestel, 2017.
- [27] „Produktdesign,“ Wikipedia, [Online]. Available: <https://de.wikipedia.org/wiki/Produktdesign>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [28] D. S. T. S. A. S. P. S. P. Bühler, Produktdesign, Springer Vieweg, 2019.
- [29] A. Morris, „Audiovisual installation translates emotions into beams of light,“ Dezeen, 25 11 2017. [Online]. Available: <https://www.dezeen.com/2017/11/25/aura-installation-translates-emotions-into-beams-of-light-studio-nick-verstand-dutch-design-week/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [30] J. Beck, „Die audiovisuelle Gestaltung von Emotionen,“ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, 2015. [Online]. Available: <https://kd.htw-berlin.de/projekte/bewegtes/gestaltung-von-emotionen/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [31] „Fetch: A Ferrofluid Display,“ Applied Procrastination, [Online]. Available: <https://hackaday.io/project/167056-fetch-a-ferrofluid-display>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [32] „Technology-mediated - MESPLÉ,“ [Online]. Available: <http://www.mesple.com/mesple-technology-art>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [33] „CYMATICS - Behind the scenes,“ Nigel Stanford, [Online]. Available: https://nigelstanford.com/Cymatics/Behind_the_Scenes.aspx. [Zugriff am 12 02 2023].
- [34] „Was ist Floatglas: Eigenschaften & Co,“ Dreieck Design, [Online]. Available: <https://www.dreieck-design.com/de/ratgeber/floatglas/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [35] „Optiwhite-Glas: Was ist das? Eigenschaften, Preis und Weißglas nach Maß,“ Dreieck Design, [Online]. Available: <https://www.dreieck-design.com/de/ratgeber/optiwhite/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [36] „Borofloat,“ Schott, [Online]. Available: <https://www.schott.com/de-de/products/borofloat-p1000314>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [37] „B 270,“ Schott, [Online]. Available: <https://www.schott.com/de-at/products/b-270-p1000313>. [Zugriff am 12 02 2023].

- [38] „Arduino (Plattform),“ Wikipedia, [Online]. Available: [https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_\(Plattform\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Arduino_(Plattform)). [Zugriff am 12 02 2023].
- [39] M. K. D. Garcia, „FastLED,“ [Online]. Available: <http://fastled.io/>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [40] D. G. M. Kriegsmann, „Github FastLED,“ Github, [Online]. Available: <https://github.com/FastLED/FastLED>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [41] N. Hood, „GitHub NicoHood/MSGEQ7,“ GitHub, [Online]. Available: <https://github.com/NicoHood/MSGEQ7>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [42] Mixed Signal Integration, *Seven Band Graphic Equalizer Data Sheet*, 2011.
- [43] „Analog Input Pins | Arduino Documentation,“ Arduino.cc, 2023. [Online]. Available: <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-input>. [Zugriff am 12 02 2023].
- [44] „Photosensibilität (Neurologie),“ Wikipedia, [Online]. Available: [https://de.wikipedia.org/wiki/Photosensibilität_\(Neurologie\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Photosensibilit%C3%A4t_(Neurologie)). [Zugriff am 13 02 2023].