

**Dokumentation
Neurospot
BA Praxisarbeit**

ZHdK, Zürcher Hochschule der Künste
Departement Design, FS 2022
Vertiefung Industrial Design VID
Zürich, 09.06.2022

Autor:

Linus Maurmann, Industrial Design ZHdK

Projektpartner:

Janosch Imhof, Maschinenbau ETH

Mentorinnen ZHdK:

Susanne Marti

Lisa Ochsenbein

Mentor ETH:

Marc Zander

Firmenpartner:

IDUN Technologies AG

Inhaltsverzeichnis 1 Forschen

1.1 Ausgangslage	6
1.2 Vision und Fokus	6
1.3 Anwendung	8
1.4 Terminologie	12
1.5 Aufgabenteilung	14
1.6 Entwurfsgrundlagen	16

2 Entwerfen und Testen

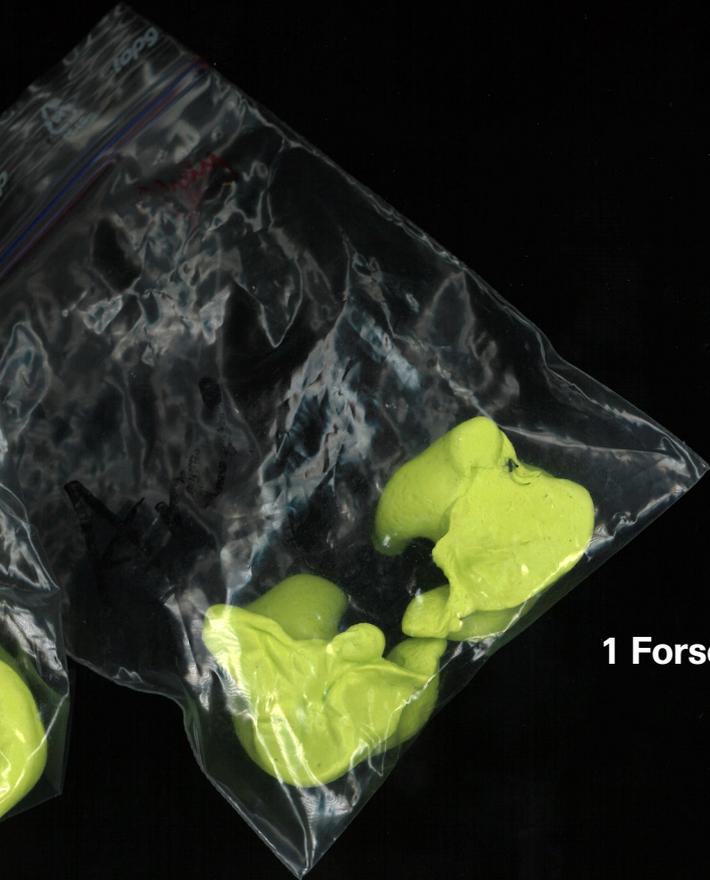
2.1 Flansch	24
2.2 Pathfinder	28
2.2.1 Auswertung Pathfinder	30
2.3 Iterationsstufe 2	34
2.3.1 Testing Iterationsstufe 2	36
2.3.2 Auswertung Iterationsstufe 2	38
2.4 Iterationsstufe 3	40
2.5 Iterationsstufe 4	44
2.5.1 Konklusion Iterationsstufe 4	48
2.6 Material und Farbe	50

3 Umsetzen

Dank	82
------	----

Eigenständigkeitserklärung	84
----------------------------	----





1 Forschen



Das Neurotechnologie Startup IDUN Technologies arbeitet derzeit an der Entwicklung eines im Ohr tragbaren Elektroenzephalografiegeräts. Das Gerät misst Hirnaktivität und sendet die gewonnenen Daten an ein Smartphone oder Computer. Dort werden diese Daten weiterverarbeitet und finden Verwendung in verschiedenen Bereichen, wie der Analyse der zerebralen Gesundheit, des Schlafs oder des mentalen Befindens.

In einem weiteren Schritt könnte das Gerät als Benutzerinterface für Applikationen auf dem Smartphone oder Computer eingesetzt werden. IDUN spricht hier von einem Ubiquitous Brain Computer Interface, also einer niederschwellig einsetzbaren, nutzerzentrierten Hirn-Computer-Schnittstelle.

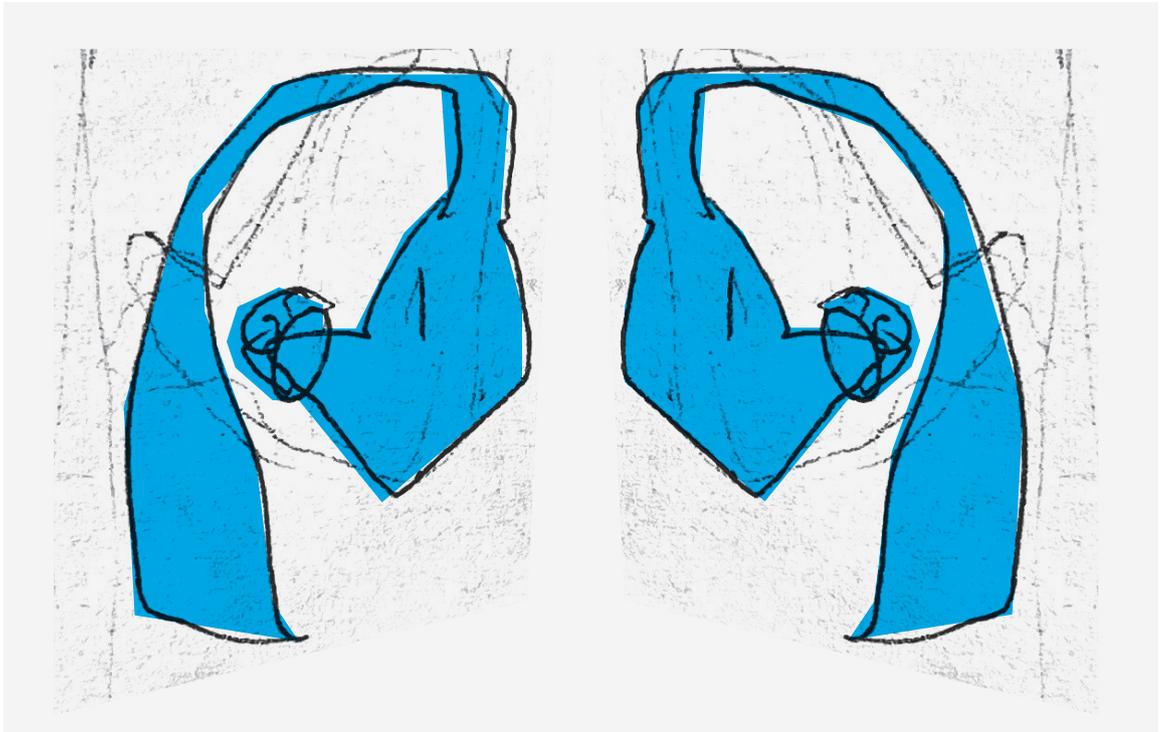
Zum Ziel des Tandemprojektes bestehend aus Firmenpartner IDUN Technologies, ETH Maschinenbaustudent Janosch Imhof und mir setzen wir uns die Weiterentwicklung des bestehenden Prototypens zu einer Produktvision, wie sie 2026 auf den Markt kommen könnte. IDUN Technologies plant in den nächsten Jahren zwei Produktentwicklungen, vom aktuellen Funktionsprototypen zum Beta Testgerät und schlussendlich den nun von uns behandelte Schritt zum Mass-Market-Device.

1.1 Ausgangslage

1.2 Vision und Fokus



aktueller Funktionsprototyp von IDUN Technologies



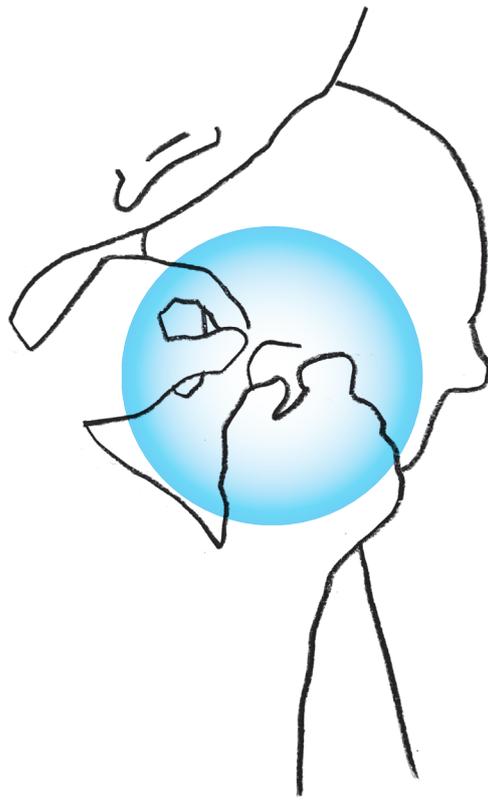
Skizze einer Produktvision
aus Meeting mit IDUN Technologies

Unser erster Schritt von einer vagen Vision zu einem konkreten Produktentwurf bildet die Definition einer Anwendung. IDUN Technologies konzentriert sich im Bereich der Softwareentwicklung und Promotion momentan am meisten auf eine Anwendung in der autonomen Schlaftherapie. **1.3 Anwendung**

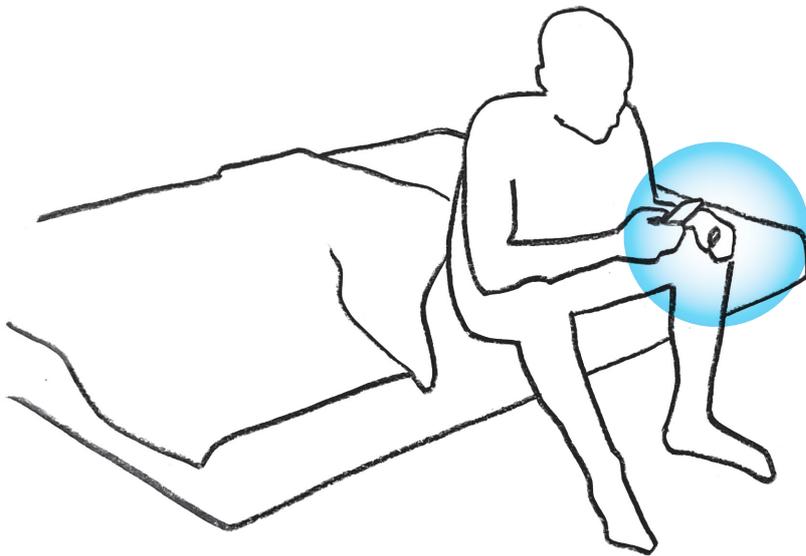
Auch uns reizte dieses Szenario, Schlafstörungen gelten als chronische Gesellschaftskrankheit unserer Zeit, daher sehen wir die Relevanz für neuartige Lösungen in diesem Themenbereich.

Die Grafik rechts zeigt eine schematische Darstellung der Anwendungssituation und des Gesamtkontextes in Verbindung mit dem Gerät. Auf der folgenden Doppelseite folgt eine Bildstrecke des Anwendungsszenarios.

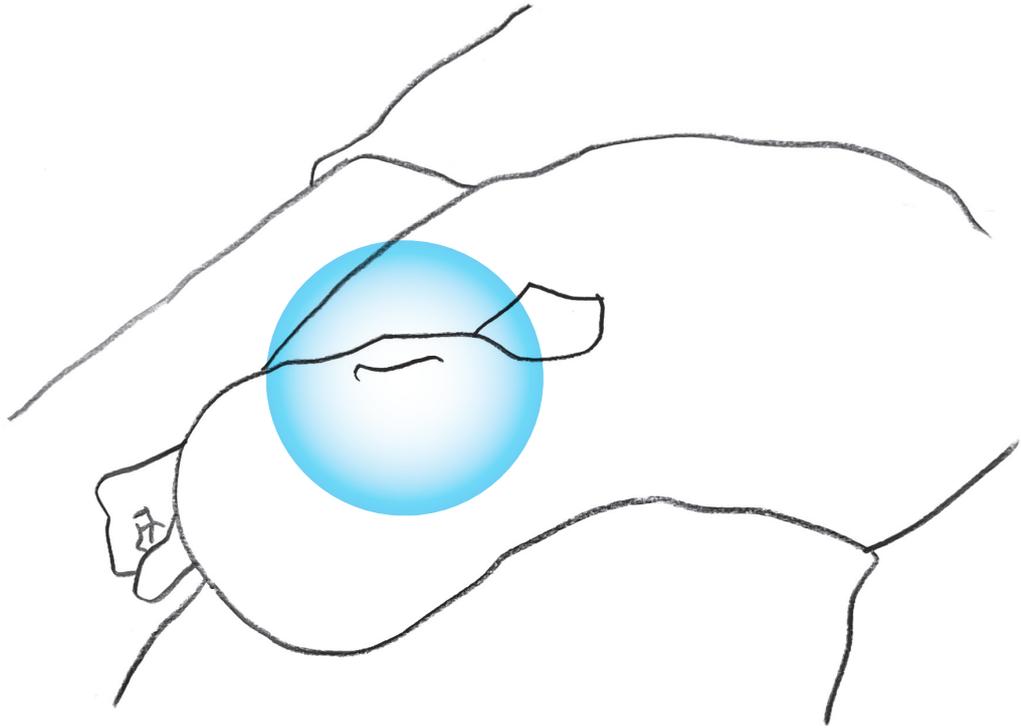
Handlung/Zustand	Device	Darstellungsform
Chronische oder akute Schlafprobleme mühevoll ein schlafen, wiederholtes aufwachen		I Ausgangslage
Besuch bei schlaftherapeut:in / psycholog:in empfehlung des geräts		II Anschaffung
Besuch bei schlaftherapeut:in / psycholog:in anpassung/kalibrierung des geräts		
Besuch bei schlaftherapeut:in / psycholog:in käuflicher erwerb/ausleihevertrag		
	Inbetriebnahme App Erstellen des Benutzer:innenprofils	III Personalisierung
	Personalisierung Gerät Signalstärkenkalibrierung	
	Person Anziehen, festlegen der Weckzeit	IV Anwendung
	Gerät Kopplung App (Automatisch)	
	Gerät Start der Datenerfassung (Automatisch)	
	Person Schlafen/Ruhen	
	Gerät Datenerfassung (Automatisch)	
	Gerät Audiostimulation (Responsiv)	
	Gerät Einleitung der Aufwachphase	
	Person Aufwachen	
	Person Ausziehen des Geräts	
	Gerät Stoppen der Datenerfassung	
	Gerät Aufbereitung der Daten	
	Person Aufladen des Geräts	
Direkte Wirkung des Gerätes Verbesserung der Schlafqualität durch Stimulation		
Indirekte Wirkung des Gerätes Einstellung der Medikation/Therapieform		



Das Gerät wird in einer Fachklinik erworben und an das Ohr der betroffenen Person angepasst.



Zu Beginn der Ruhephase wird auf der Neurospot App die geplante Weckzeit eingestellt und die einzelnen Geräte werden ins Ohr eingeführt.



Sobald die Geräte im Ohr sind, wird das adaptive Neurofeedback und die Datenaufzeichnung gestartet.

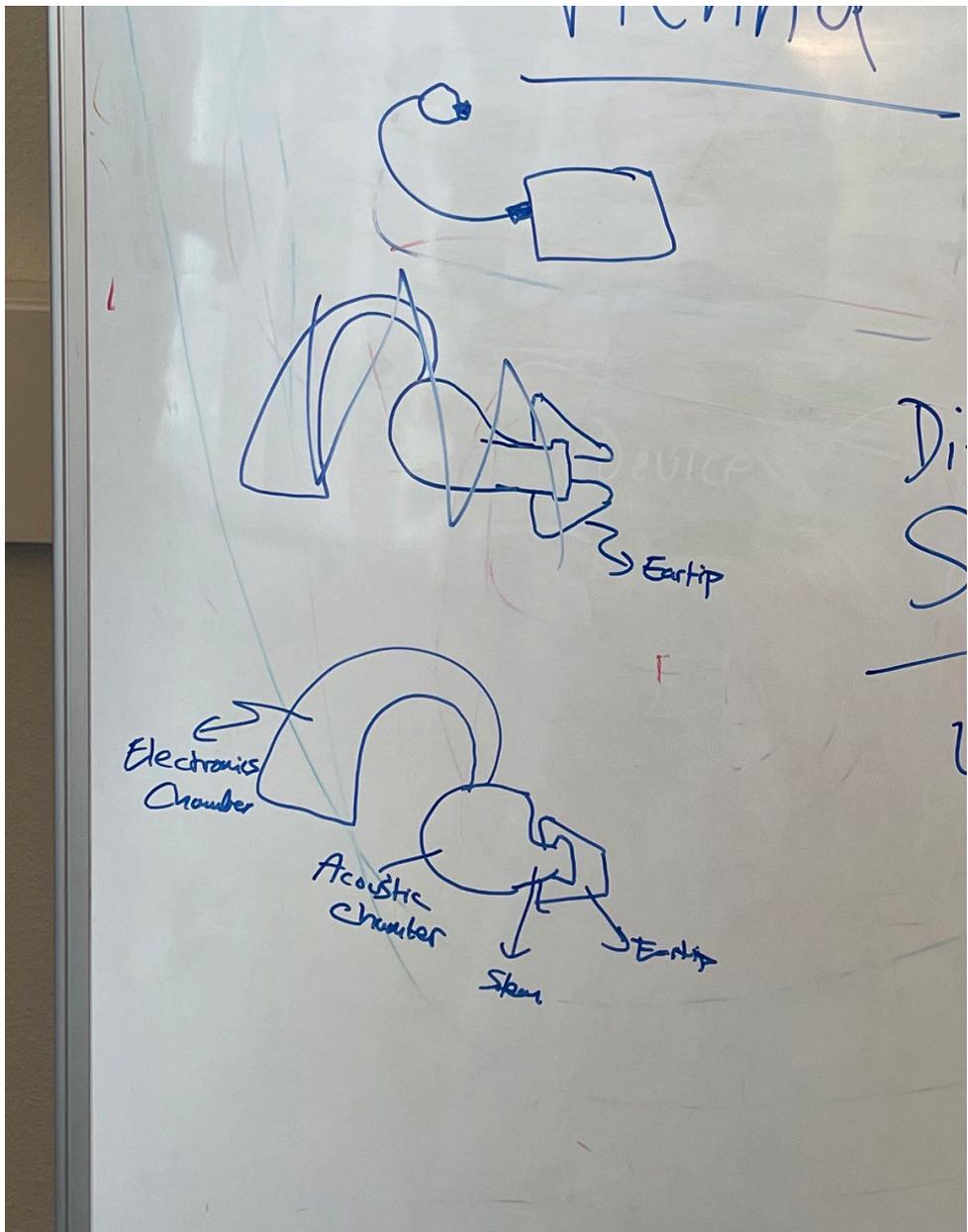


Das Gerät leitet zur eingestellten Weckzeit die Aufwachphase ein, die Träger:in erlebt einen natürlichen Aufwachprozess. Die Hirnaktivitätsverläufe der vergangenen Nacht sind als grafische Darstellungen abrufbar und geben Auskunft über Schlafqualität.

Das Gerät wird anschliessend im dazugehörigen Lade-case verstaut.

Bereits im zweiten Meeting mit IDUN Technologies fiel auf, dass eine klare und effiziente Kommunikation ohne fixe Terminologie einzelner Bauelemente nicht möglich ist. Gemeinsam definierten wir darum die aktuelle Terminologie, soweit es uns unser derzeitiger Projektstand erlaubte. Über die gesamte Projektdauer überarbeiteten wir die Terminologie durch das Hinzukommen und Wegfallen einzelner Elemente natürlich fließend. **1.4 Terminologie**

Neben der Terminologie des Geräts, ist auch die Terminologie des Ohrs selbst ein wichtiges Hilfsmittel in Entwurf und Auswertung des Geräts. Hier bedienen wir uns an den jeweiligen anatomischen Fachbegriffen. Die Terminologielegenden sind im hinteren Umschlag zu finden und können bei Bedarf aufgeklappt werden. ▶▶



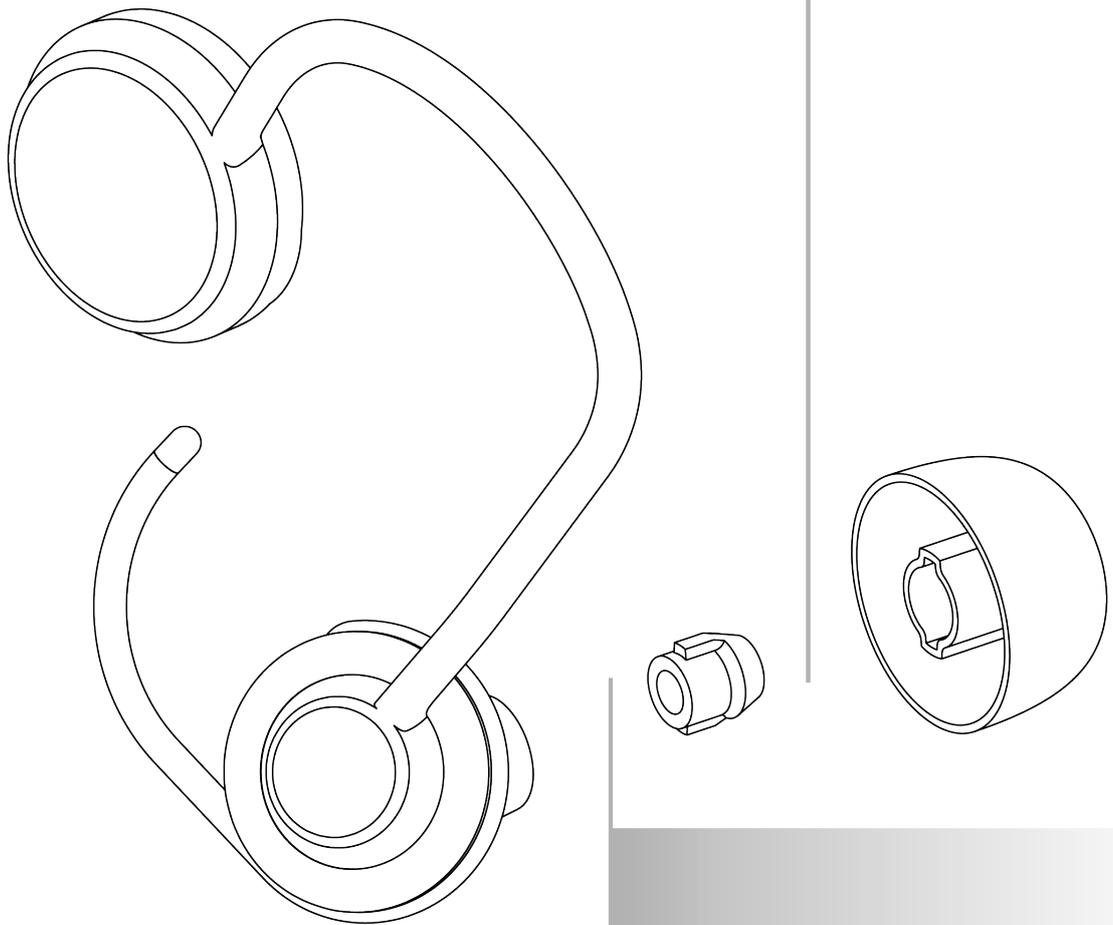
Die Terminologie des Gerätes erweiterte sich während des Entwicklungsprozess konstant. Das Bild zeigt eine erste Skizze aus dem besagten Meeting.

Akkurate Datenerhebung und Tragekomfort bilden die beiden zentralen Elemente dieses Projekts. Wird einer dieser beiden Ansprüche nicht erfüllt, ist das Produkt unbrauchbar. Mit unserer Aufgabenstellung wollten wir folgendermassen diese beiden Aspekte abdecken. **1.5 Aufgabenteilung**

Wir entschieden uns, die Aufgaben entsprechend unseren Kompetenzen zu verteilen. Aus der Schnittmenge unserer Aufgabenstellungen konnten wir so von den Kompetenzen des jeweiligen Anderen profitieren. Janosch fokussierte sich somit auf die Datenerhebung, seine definierten wir als iterativen Designprozess des Eartips. Kritische Faktoren dabei sind die Signalqualität und der Tragekomfort. Ich konzentrierte mich derweil auf die Ergonomie und Gestaltung des Geräts als Ganzes. Kritisch hierbei ist vor allem der Tragekomfort und die formale Lesbarkeit des Geräts.

Stellt man das Gerät schematisch dar, manifestiert sich der Schnittpunkt von Janoschs und meinen Aufgabenbereichen als Flansch zwischen Eartip und dem restlichen Gerät. ▶

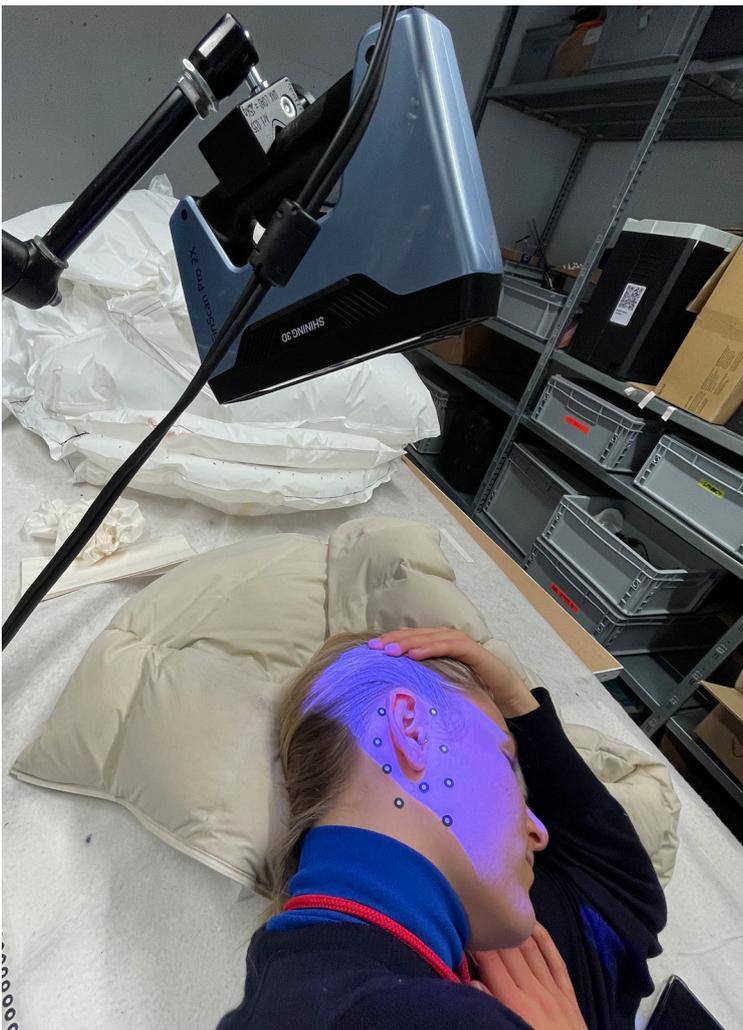
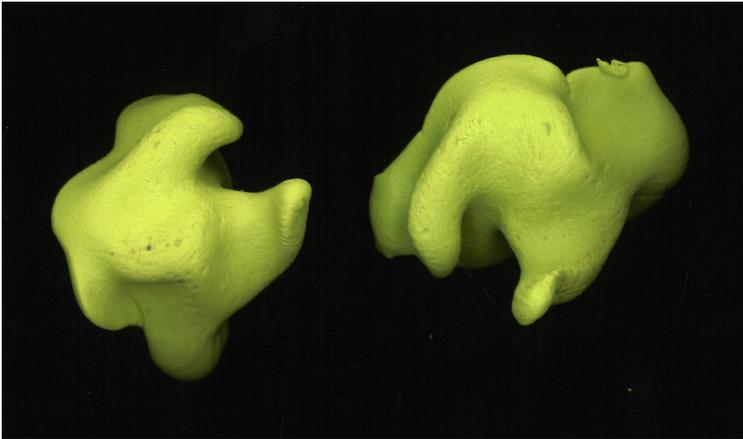
Arbeitsbereich Linus Maurmann

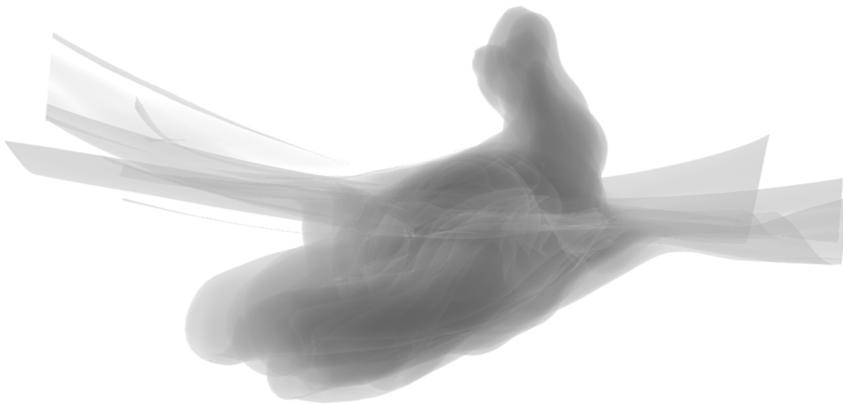
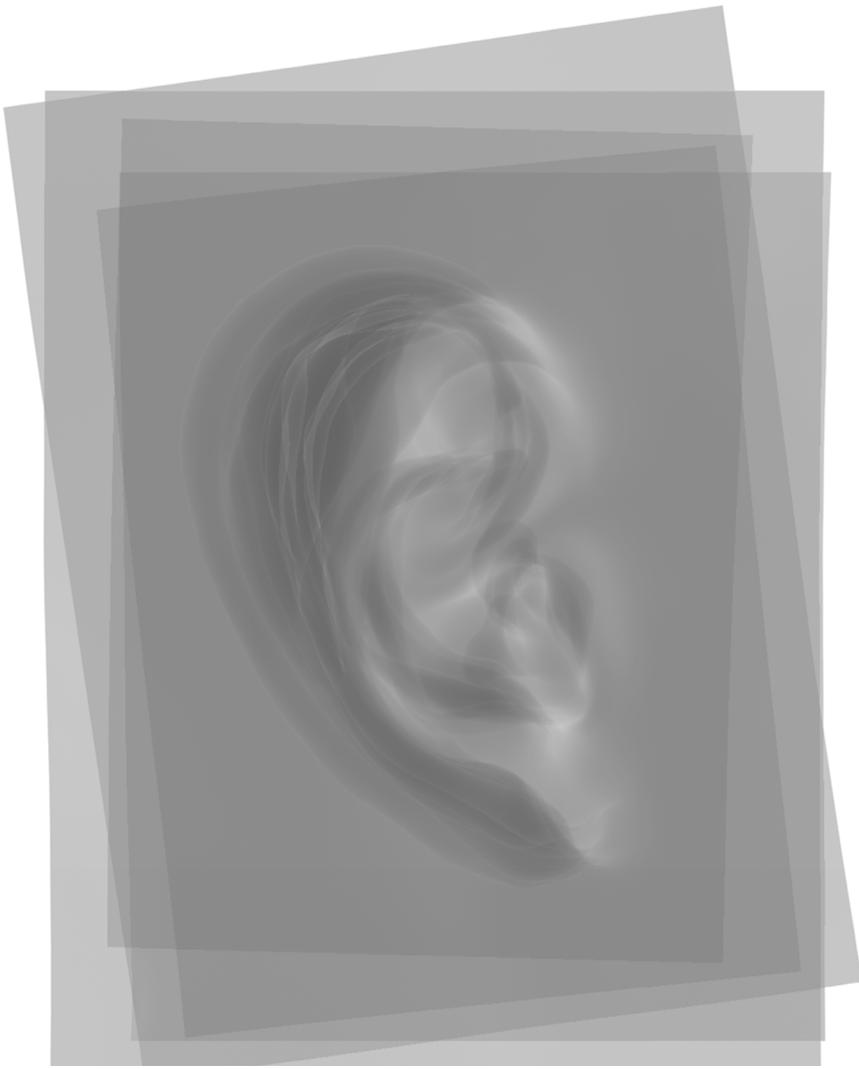


Arbeitsbereich Janosch Imhof

Janosch und ich bewegten uns im Entwurf vorwiegend im digitalen Raum, daher mussten wir uns zu Beginn des Entwurfsprozesses eine Sammlung an Referenzgeometrien anlegen. Für uns wichtig waren 3D Modelle vom Innenteil und Gehörgang, sowie der Aussenmuschel des Ohres. Mit Hilfe von schnellabbildender Silikonmasse, einem 3D Scanner und einer Gruppe an Personen, die einwilligte ihr Ohr von uns scannen zu lassen konnten wir uns so einen akkuraten Datensatz von 8 Ohren erstellen. Wir achteten uns bei der Wahl der Referenzsubjekte auf grösstmögliche Varianz in derer Ohrgeometrie. **1.5 Entwurfsbasis**

Für alle physischen Vorgänge, wie dem Testen oder Anpassen von Prototypen fertigte Silikonmodelle der 3D Referenzgeometrien. Die Silikonmodelle sind in ihrer Flexibilität und Kinematik dem realen Ohr sehr ähnlich.



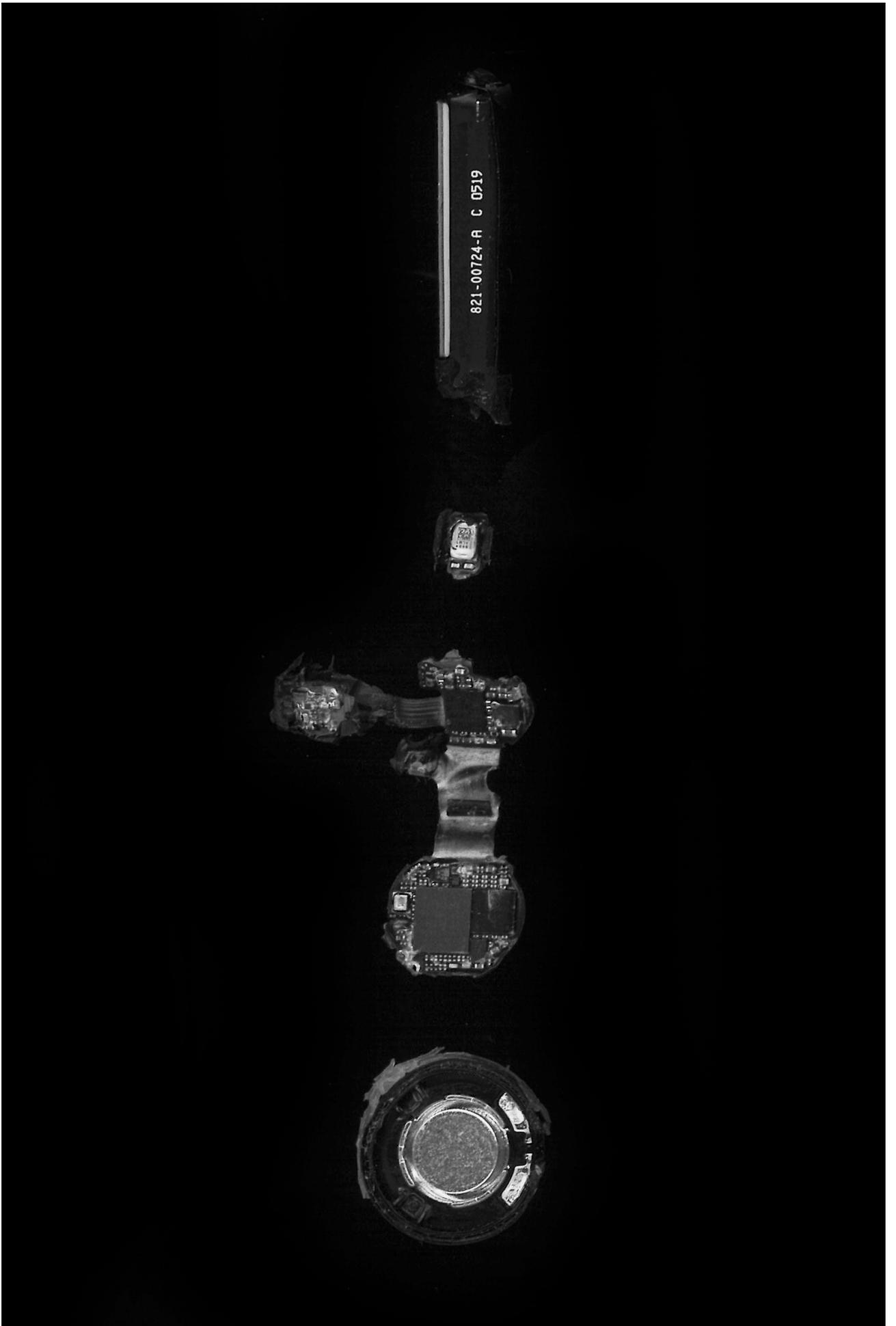






Neben der organischen Geometrie des Ohres stand die Form und Masse der zu verbauenden Elektronik ebenfalls an zentraler Stelle. Hier konnten uns IDUN Technologies und deren Produktionspartner Hearable Labs einige bereits bekannte Bauteilgrößen nennen, andere konnten wir anhand der Analyse der Komponenten eines AirPods bestimmen.









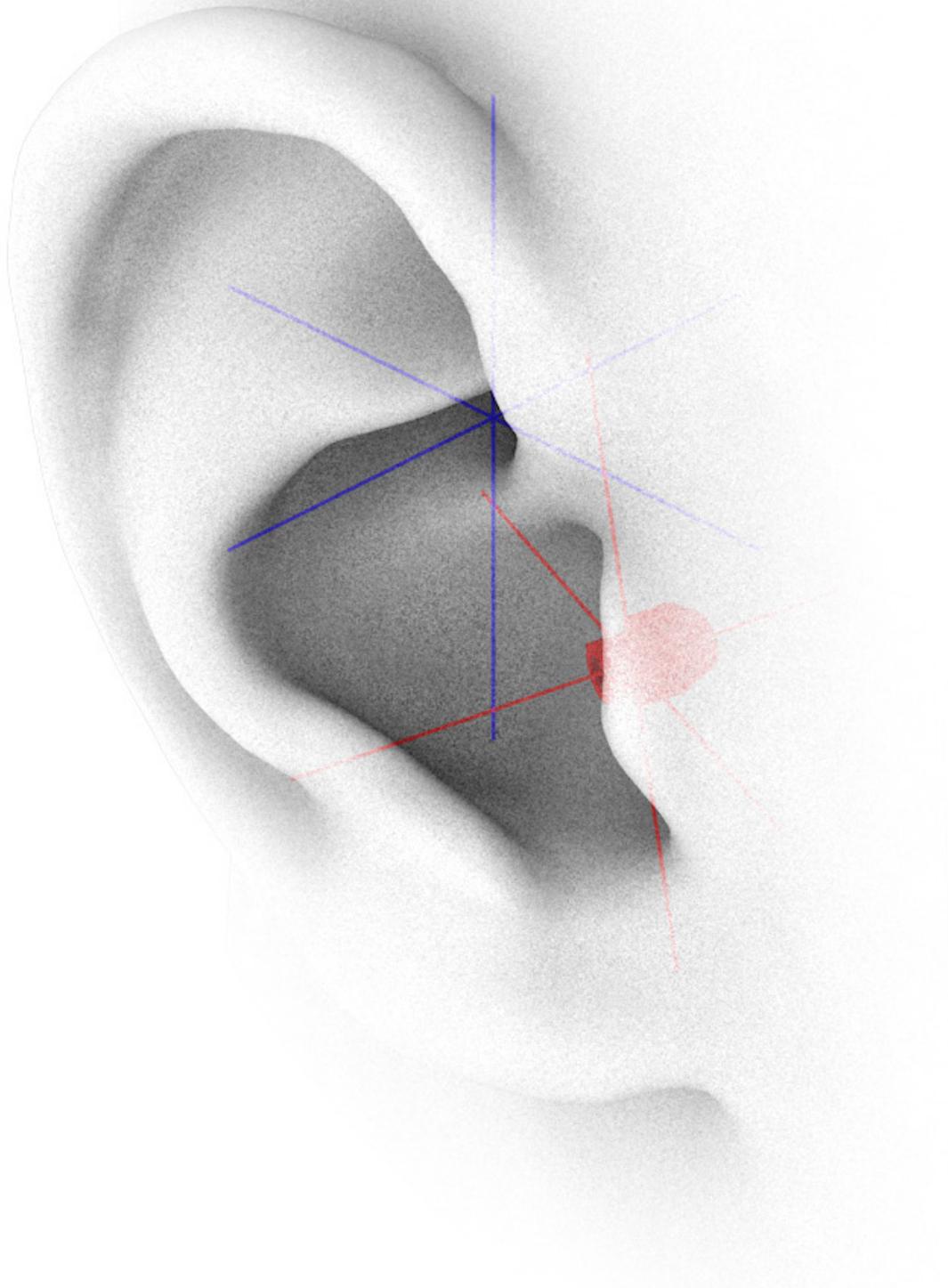
2 Entwerfen und Testen



Der Flansch [rot] zwischen Acoustic Chamber und Eartip bildet die Verbindung von Janoschs Arbeit zu meiner Arbeit. Seine Position definieren wir als den Nullpunkt der gesamten Gerätekonstruktion (Abb. links). Mittels dem Testen von Prototypen und der Analyse verschiedenster Ohrgeometrien (Abb.) konnten wir schlussendlich diese genaue Position und Ausrichtung festlegen. Als globale Referenzgeometrie galt dabei Ohrscan 1 (Abb. links).

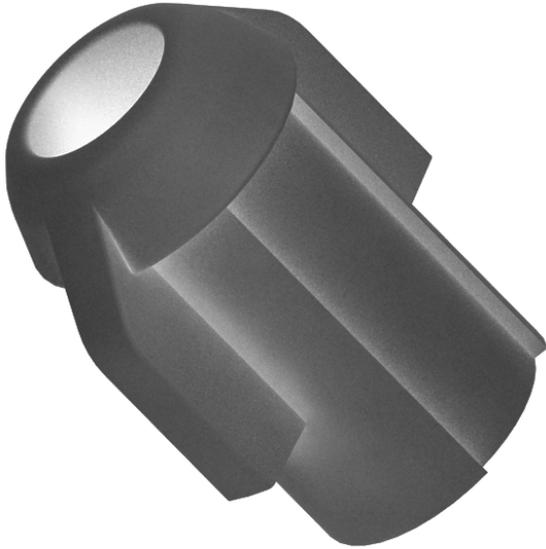
2.1 Flansch

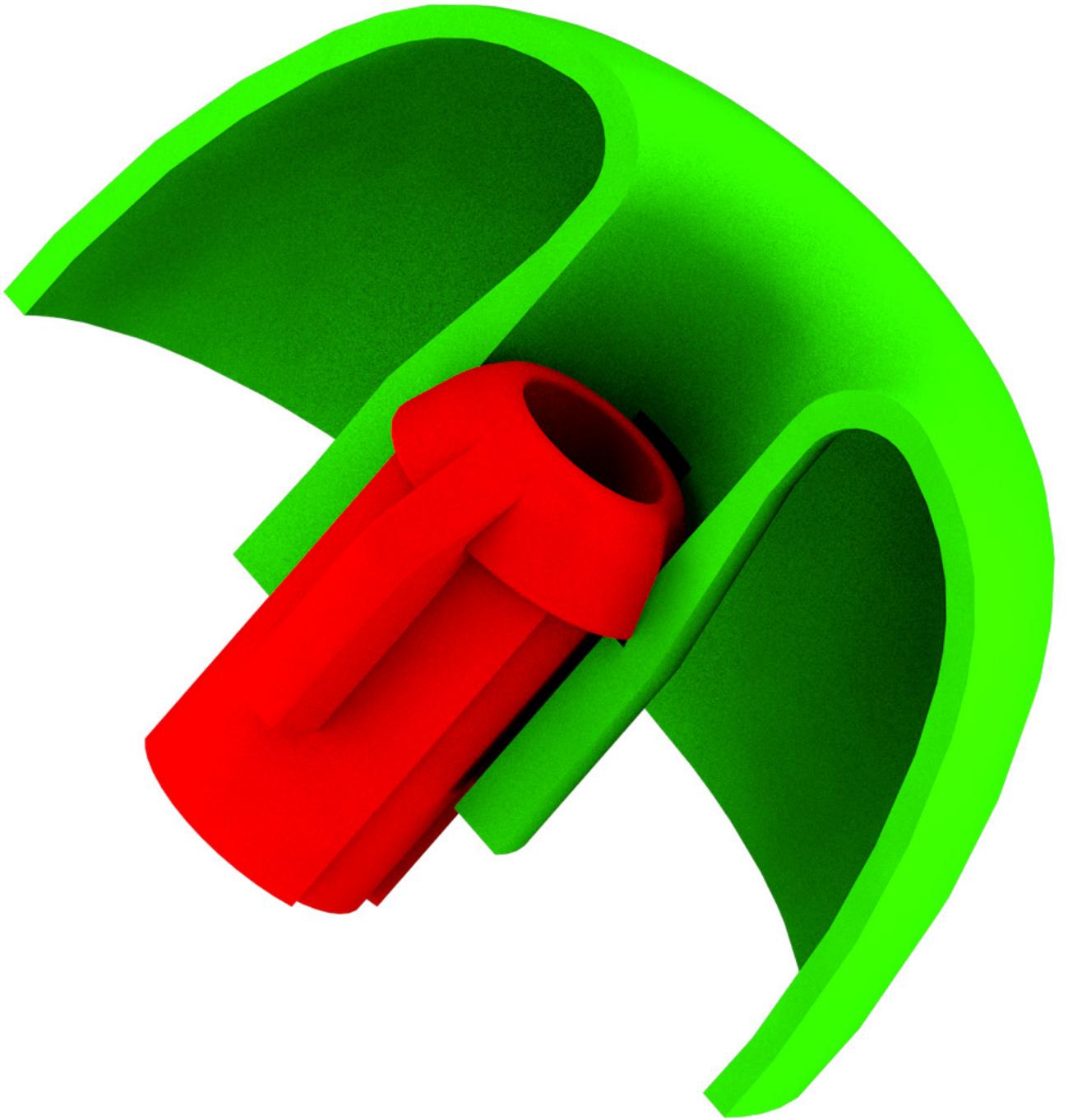




Die blauen Linien bilden die Geometrieachsen des Ohrs,
rot im Verhältnis dazu die Achsen des Flansches.

Bei der Konstruktion der Flanschgeometrie bestanden einige Anforderungen: eine Verdrehsicherung mittels Finnen, eine Tip-Retention Lippe und die Integration von zwei ENIG-RoHS Kontaktplatinen. Janosch wollte in den kommenden Signal to Noise Ratio - Testings prüfen, ob der Innendurchmesser des Eartips einen Einfluss auf dessen konduktive Performance hat, daher einigten wir uns auf zwei Varianten mit jeweils unterschiedlichen Innendurchmessern.

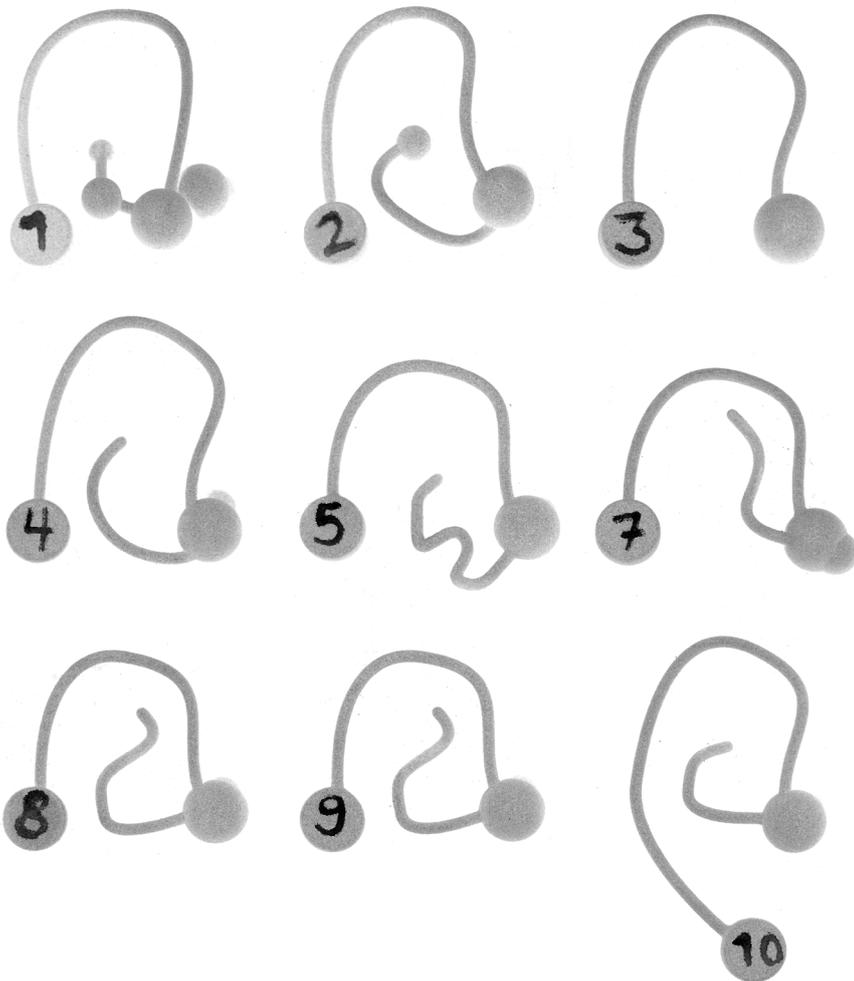




Die Geometrie des Ohrs ist komplex. In jede Achse winden sich Knorpel und fleischliche Auswüchse, die es mit Entwurfsmasse aufzufangen gilt. Nach einigen gescheiterten manuellen Prototypen entschied ich mich deswegen, vorerst im digitalen, virtuellen Raum wegweisende Ergonomiemodelle zu entwerfen. Diese ersten Modelle nennen Janosch und ich Pathfinders, sie dienen der Wegfindung im Entwurfsprozess als erste Iterationsstufen des Gesamtprozesses. **2.2 Pathfinders**

Die Gestaltung der Pathfinders ist rein Funktional und bildet keine Referenz zu einem Ausdruck, den ich schlussendlich in diesem Produkt zeigen will. In der Konstruktion der Pathfinders ging es darum, die Kontaktpunkte zu definieren, durch die das Gerät sich stabil im Ohr halten kann.

Diesen rein digitalen Wegfindungsprozess wurde in einem weiteren Schritt zu einem Hybrid aus digitaler Entwurfsphase und analoger Testphase. Mittels selektivem Lasersintering konnte ich entwürfe aus Nylon drucken und physisch testen.





Die Abbildung rechts zeigt eine Auslegeordnung der *Pathfinders* in Bezug auf Haltekraft im Verhältnis zu Komfort. Diese Ordnung basiert auf einer Befragung mehrerer Testpersonen und persönlichen Beobachtungen. Im rot markierten Interessensbereich lassen sich einige Parallelen finden.

2.2.1 Auswertung Pathfinders

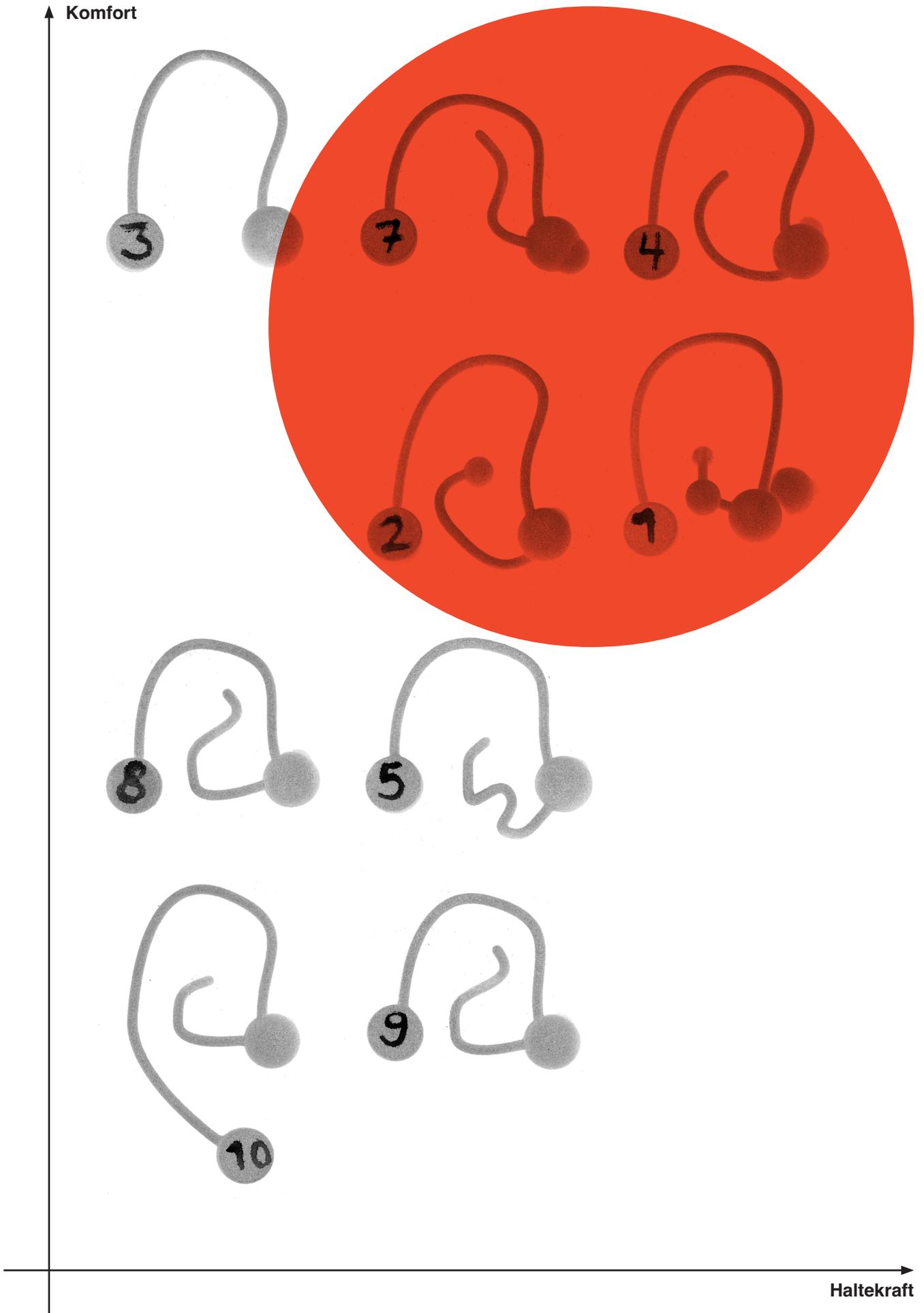
I. Die Klemmung zwischen *Tragus*, *Antitragus* und *Anthelix* bietet Verdrehsicherheit und allgemeinen Halt. Bei konstanter Gerätegrösse nimmt in kleineren Ohren der Neigungswinkel des Gerätes zu, wobei das Ende des Bügels so weiter in die *Cymba* vordringt.

II. Je weiter oben die *Electronics Chamber* liegt, also je näher an der *Scapha*, desto besser sitzt sie am Schädel. Die Kraft muss so nur über einen kurzen Hebel gehalten werden.

III. Anhand von *Pathfinder Nr.7* wird ein Gegendruck zwischen *Cymba*, *Crus helicis* und *Crus anthilicis inferius* erzeugt. Einige Probanden empfanden dies als angenehmer als den Klemmmechanismus in Erkenntnis I. beschrieben. Das Ohr fühle sich freier an. Dies hat aber den Nachteil, dass das Gerät insgesamt weniger verdrehsicher ist.

IV. Bei allen Pathfindern war der Gegendruck von *Electronics Chamber* zu Schädel zu schwach. Das *Connecting Bracket* muss dementsprechend angepasst werden und die *Acoustic Chamber* sollte eine hohe Verdrehsicherheit bieten.

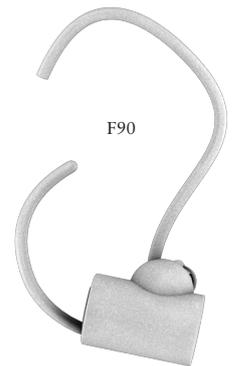
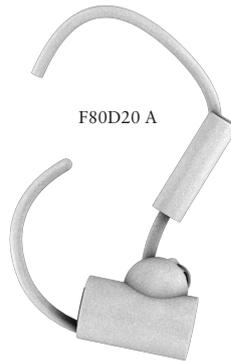
↑ Komfort



Aufbauend aus den grundlegenden Erkenntnissen aus der Auswertung der Pathfinders und der effektiven Bauteilmasse der Elektronik konstruierte ich in der *Iterationsstufe 2* 12 Versionen. In der darauffolgenden Auswertung sollte anschliessend entschieden werden, wie nun eine konkrete Anordnung dieser Bauteile aussehen könnte.

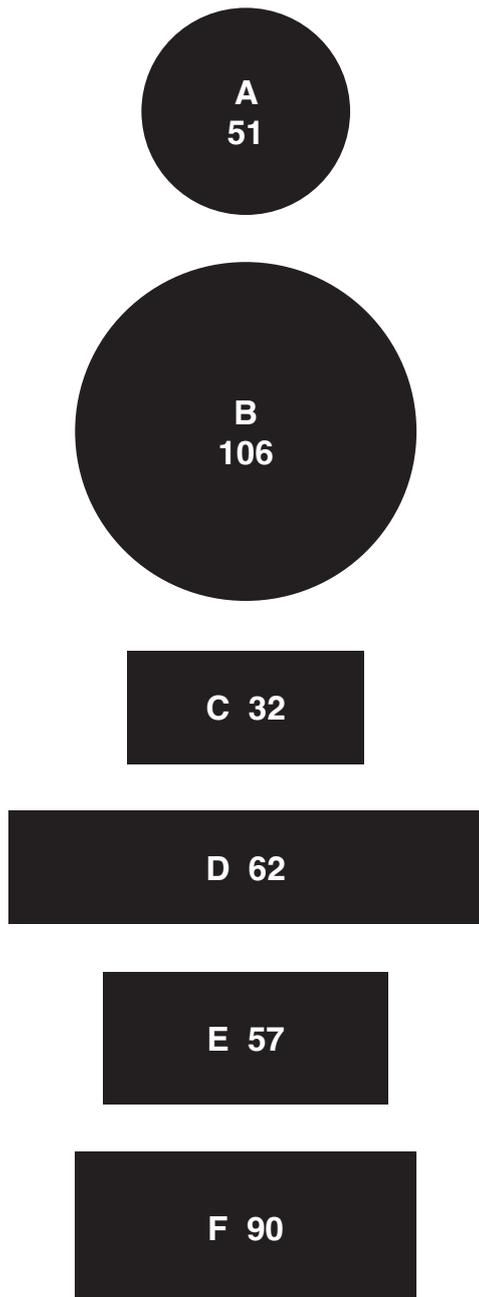
2.3 Iterationsstufe 2

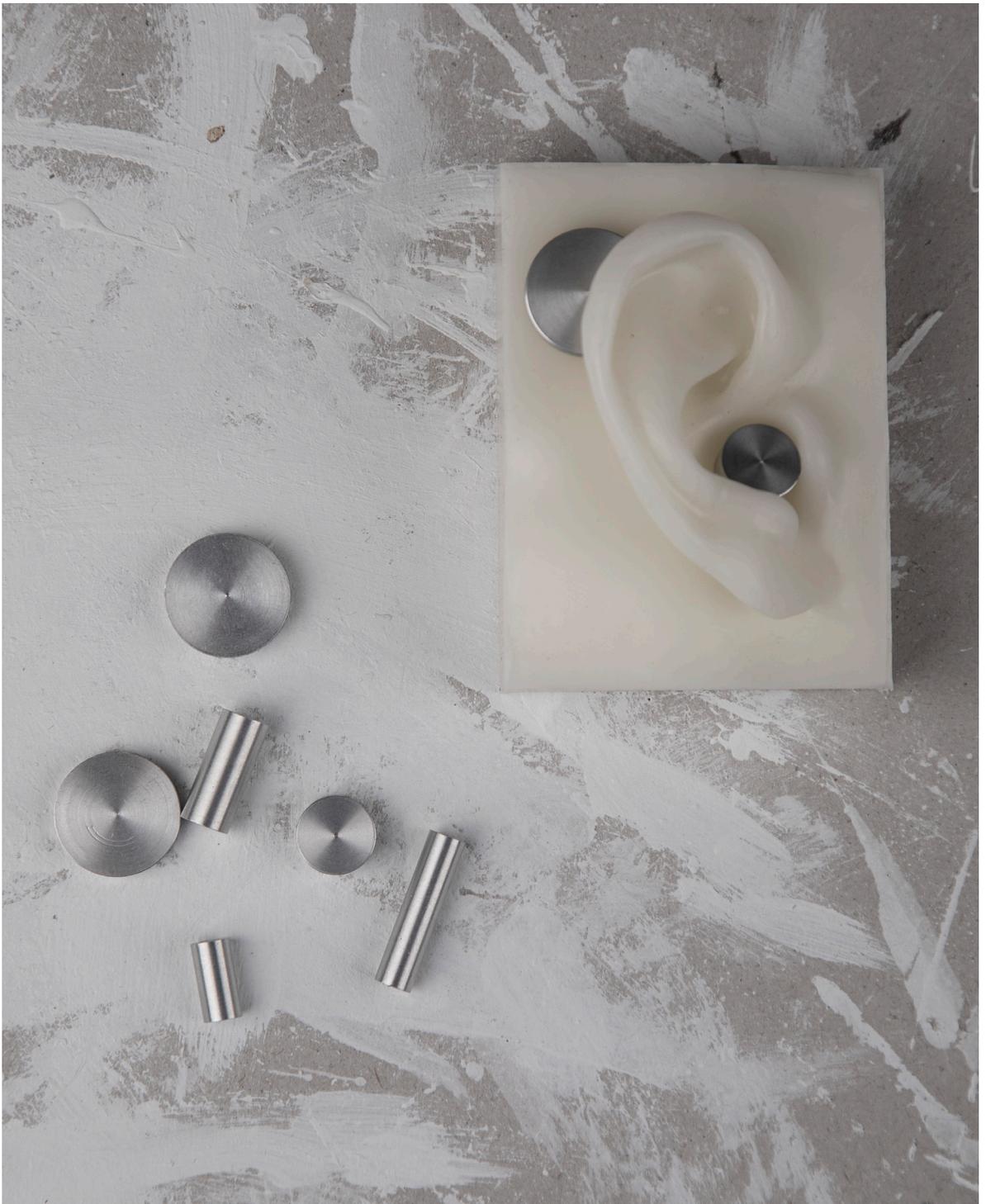




Zusammen mit Technikern von IDUN Technologies und in eigener Recherche kam ich zu Schluss, dass die Kapazität der Gerätebatterie ungefähr 100 mAh betragen sollte. Sinnvoll wäre hierbei eine oder mehrere Lithium-Ionen Batterien. Lithium-Ionen Batterien sind zwangsweise Zylindrisch, wobei das Verhältnis zwischen Durchmesser und Höhe bei konstantem Volumen keinen grossen Einfluss auf deren Kapazität hat. 100 mAh entsprechen so einem ungefähren Volumen von 800 Kubikmillimetern.

Mit Hilfe von gedrehten Aluminium Batterieattrappen und den Silikonohren konnte ich nun haptisch entwerfen und so die realen Grössenverhältnisse der Versionen besser einschätzen.





In den durchgeführten Testings konnte ich einerseits die Wirkung verschiedener Geometrien, aber auch verschiedener Vergleichsrelationen beobachten. In der Auswertung liess ich die ProbandInnen die jeweiligen Testmodelle numerisch von 1 bis 10 bewerten, wobei 1 für *unaushaltbar* und 10 für *nicht spürbar* stand. Da weder *unaushaltbar* noch *nicht spürbar* definierte Zustände sind, konstruiert sich die jeweilige Bewertung also aus dem Vergleich zwischen A und B, in diesem Fall dem rechten und linken Ohr.

2.3.1 Testing Iterationsstufe 2

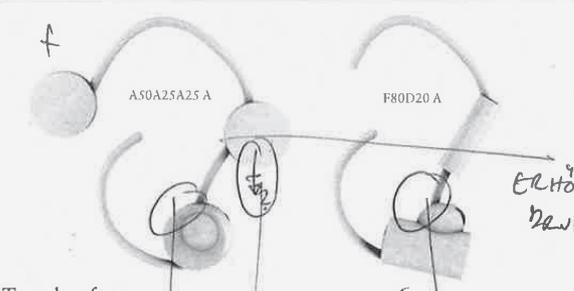
Testing Pathfinders II

Name: Müller, X P D
 Vorname: [REDACTED]

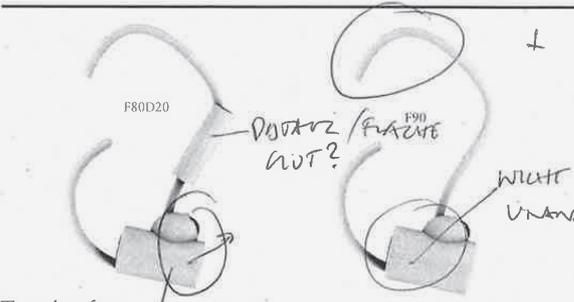
Eartipgröße: S
 Ohrmuschelgröße: 62



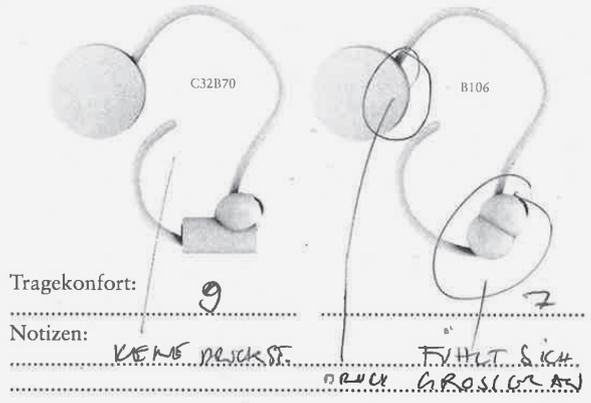
Tragekonfort: 7 8
 Notizen: DRUCK WICHT NACH
 DRUCK NACH DRUCK



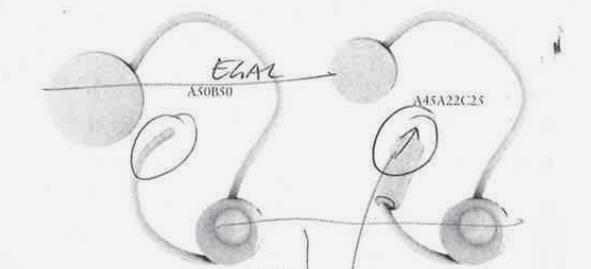
Tragekonfort: 7 6
 Notizen: WICHT DRUCK DRUCK



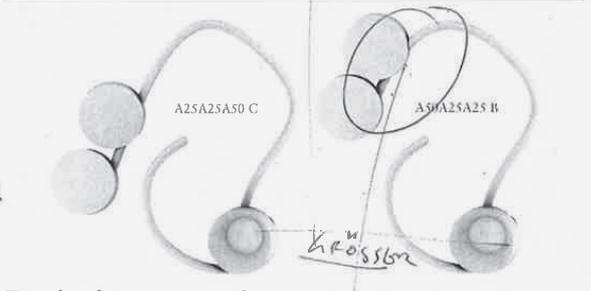
Tragekonfort: 6 7
 Notizen: DRINKT WITTS GIN
 ALS RECHS



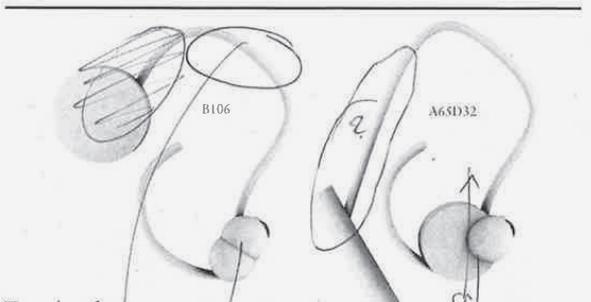
Tragekonfort: 9 7
 Notizen: KEINE DRUCKE. FÜHLT SICH
 DRUCK GROSSE AN



Tragekonfort: GROSSE 7 7
 Notizen: OHNE BELASTUNG
 SPÜRBAR



Tragekonfort: 8 7
 Notizen: KEINE DRUCK

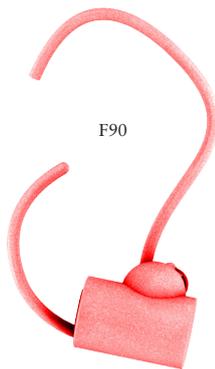
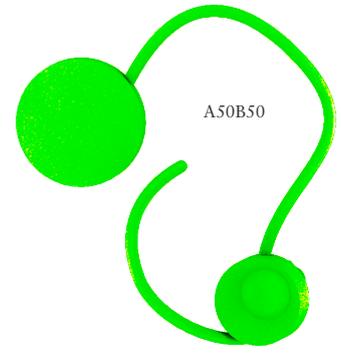


Tragekonfort: 7 7
 Notizen: WICHT ANLIEGENDE
 RECHS WITTS

Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Testings zu schaffen, wandelte ich die diese numerischen Werte, die „Noten“ der jeweiligen Geräte also, in die prozentuale Abweichung des jeweiligen Notendurchschnitts um. Das Testing war teils redundant, einige Pathfinder testete ich bewusst doppelt, um eine stabilere Bewertungsgrundlage zu schaffen. **2.3.2 Auswertung Iterationsstufe 2**

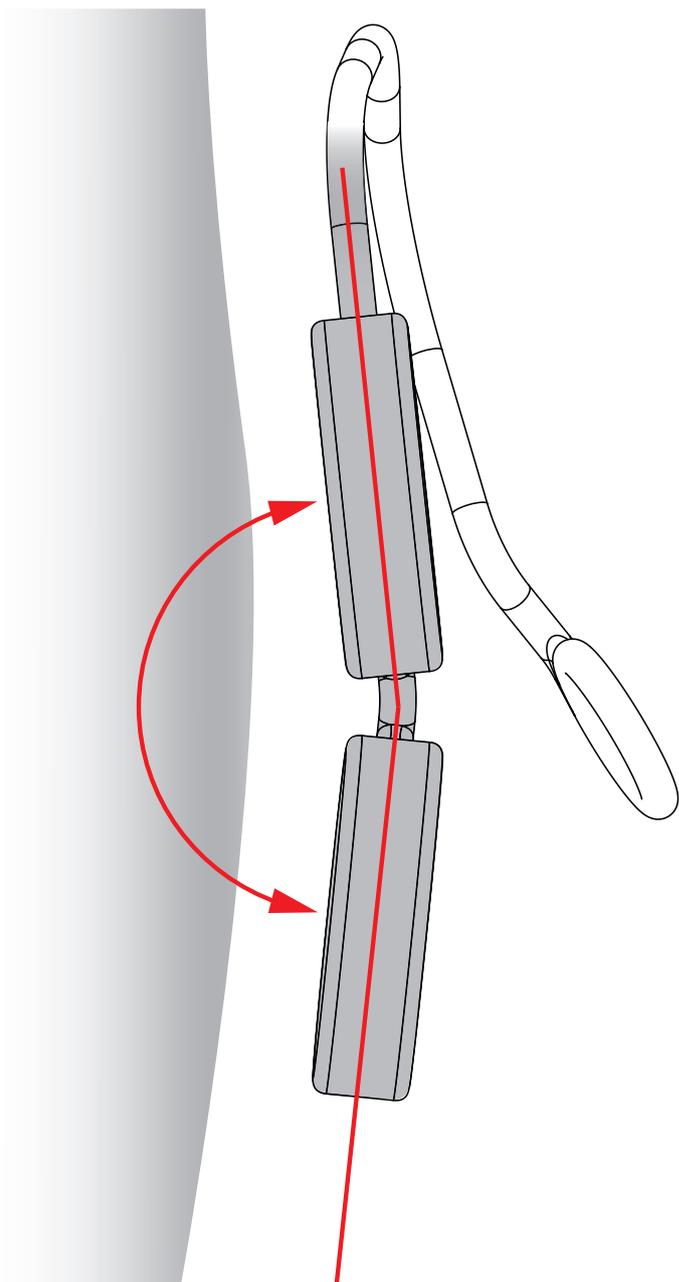
Im Anschluss ermittelte ich aus den jeweiligen prozentualen Abweichungen der einzelnen Modelle pro Testing die totale Abweichung insgesamt, indem ich erneut den Mittelwert selbiger bestimmte. Die Auswertung zeigte eine ausgewogene Verteilung von über- und unterdurchschnittlichem Tragekonfort, was für eine relativ lineare Bewertungsabstufung innerhalb der beiden Modellgruppen spricht.

Die als überdurchschnittlich komfortabel bewerteten Modelle zeigen mit einer Häufung der Bauteilmasse hinter der *Scapha* und in *Cavum Conchae* Parallelen in ihrer Masseverteilung. Typ *A50A25A25C* zeigte sich mit einer Abweichung von 15.8% als komfortabelste Lösung. Die unterdurchschnittlich komfortablen Modelle (rot) wiesen eine Abweichung von mindestens 16% in Relation zu den komfortablen Varianten (grün) auf. Aus diesem Sprung in der sonst linearen Skala schliesse ich, dass die generelle Bauform der grün dargestellten Modelle deutlich der der rot dargestellten Modelle überlegen ist.



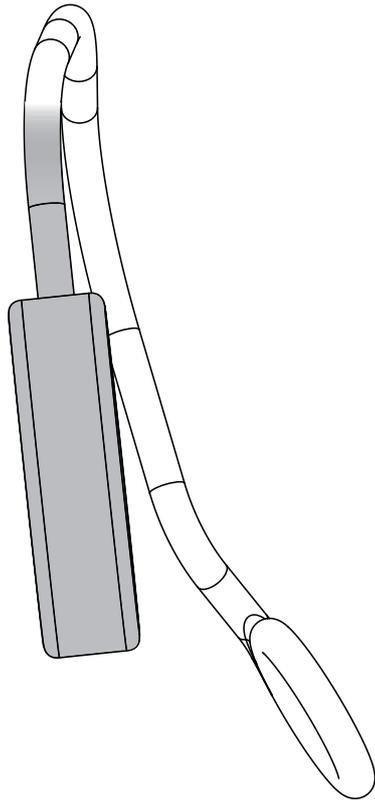
Nach der Konzeption der Masserverteilung ging es in *Iterationsstufe 3* nun um erste Gestaltungsentscheide, Usability und Machbarkeit. Ausgehend von Version A50A25A25C aus *Iterationsstufe 2* baute ich ein Grundmodell im parametrischen CAD, welches Anpassungen in allen Winkeln und Positionen der jeweiligen Geräteelementen zulies. Anfangs entschied ich mich gemäss der A50A25A25C für 2 Batteriekammern hinter der *Scapha*, sah aber auch Nachteile dieser Konstruktion bezüglich Usability und Komfort. Der Zwischenraum zwischen den beiden Batteriekammern sollte flexibel bleiben, da der Schädel sich individuell verschieden ausprägt und so eine anpassungsfähige Inklinations (siehe Grafik unten) zwischen den beiden Kontaktflächen bestehen muss. Zudem sind die Batterien Zylindrisch, was den Nachteil hat, dass ein grosser aber nicht wirklich nutzbarer Leerraum entsteht.

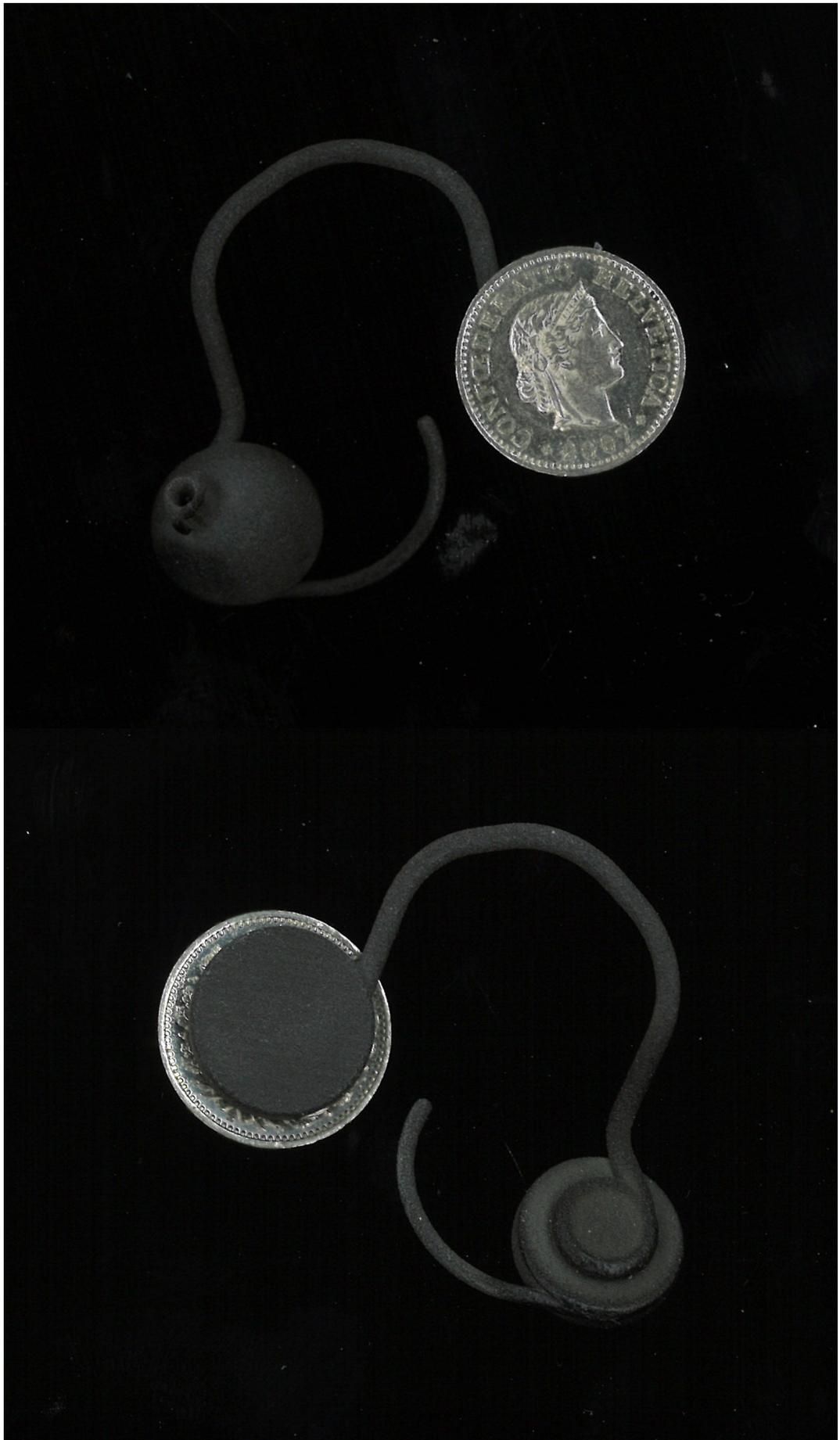
2.4 Iterationsstufe 3





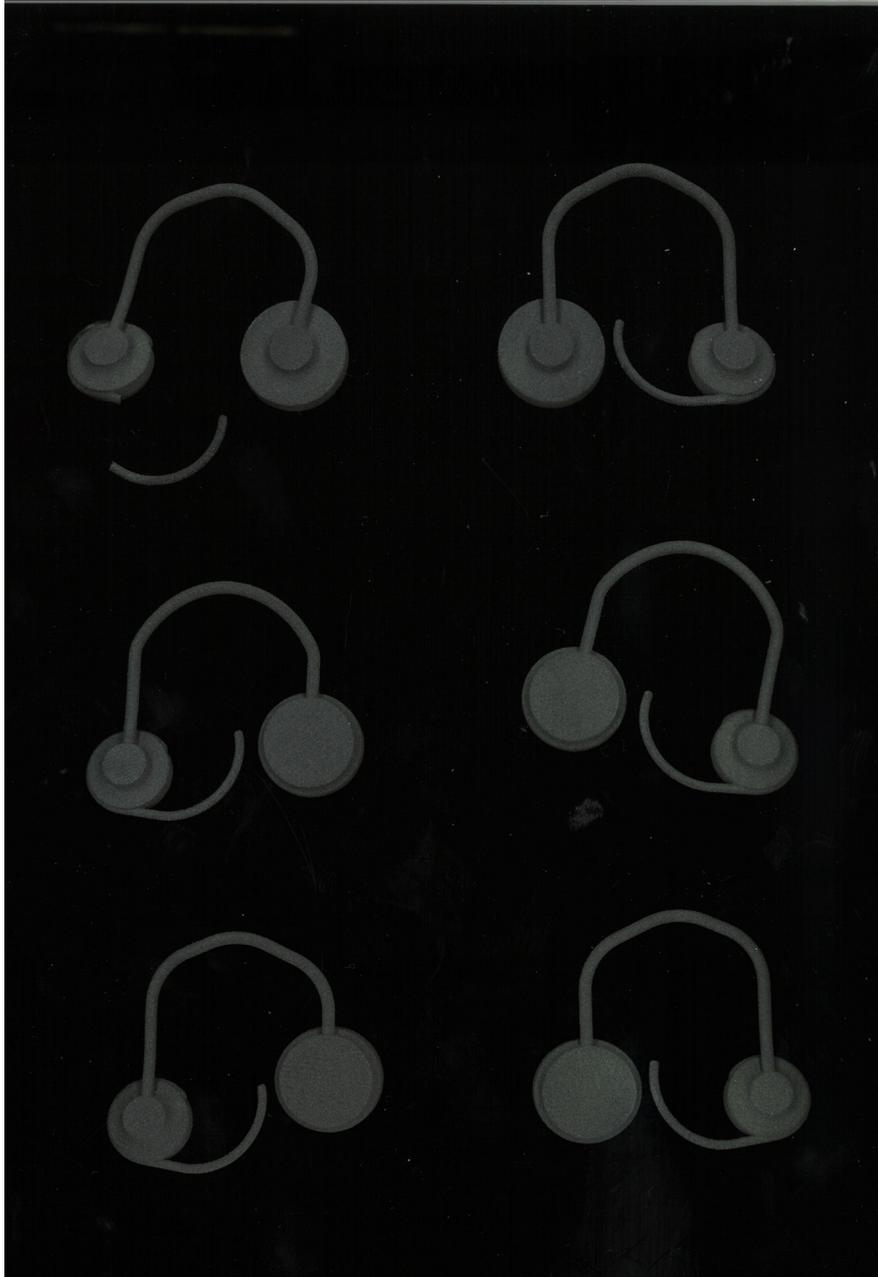
Als eines der Modelle zu Boden fiel und die untere der zwei Batteriekammern abbrach, nahm ich dies zum Anlass ein 10 Rappenstück auf die verbliebene Batteriekammer zu kleben, um diese in ihrer Dicke auf das notwendige Kapazitätsminimum zu erweitern, so dass das Gerät auch durch eine einzelne Batterie betrieben werden könnte. In einem Testing im kleineren Rahmen wurde klar, dass der Unterschied im Komfort minimal ist, doch die Anbringung sich als deutlich einfacher gestaltet. Deshalb entschied ich mich für eine einzelne Batteriekammer.



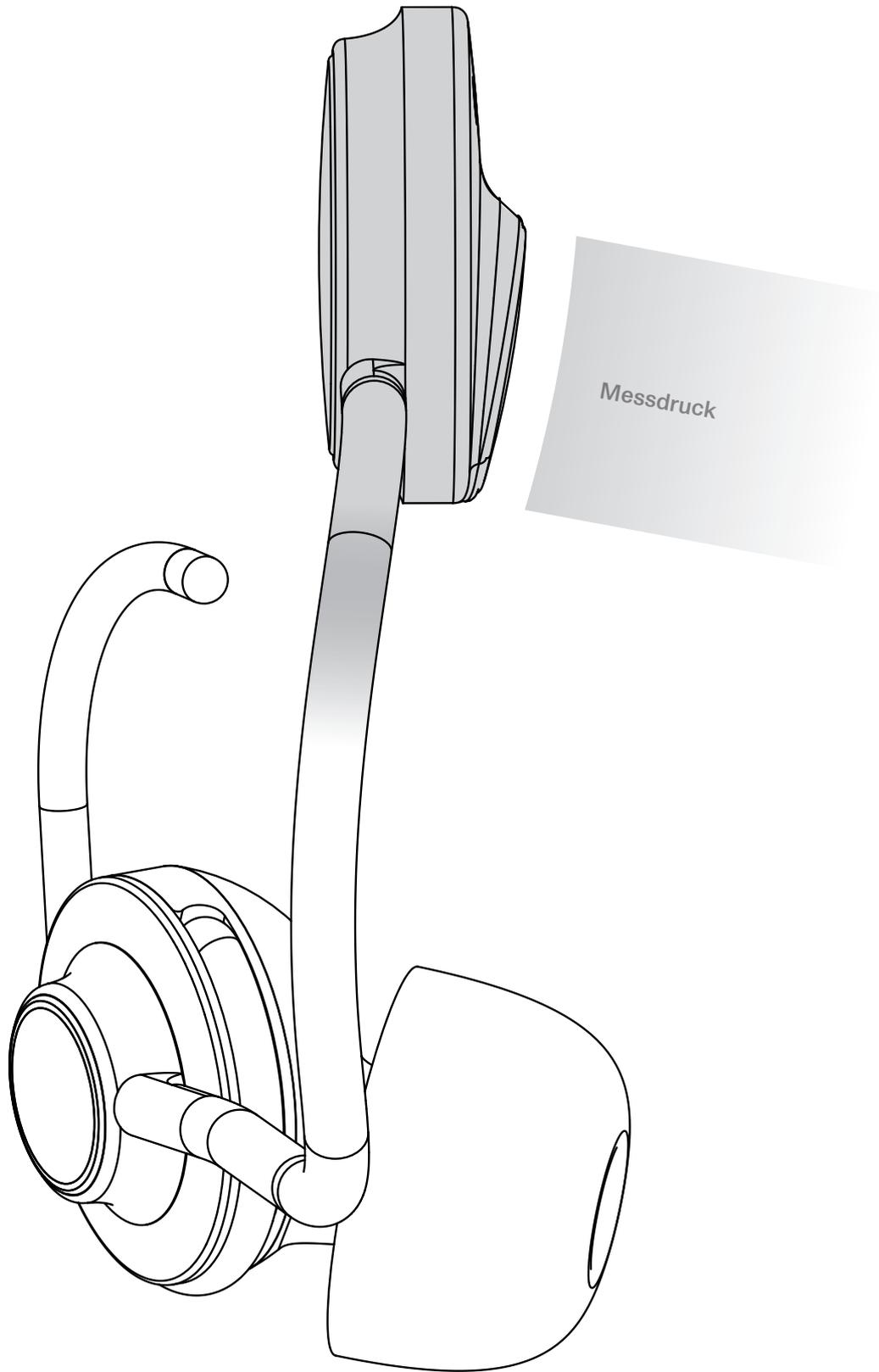


Die letzte Iterationsstufe diente der Klärung formaler Fragen und sollte so den **2.5 Iterationsstufe 4** Ergonomieprototypen zu einem konkreten Produktprototypen transformieren. Die Hauptarbeit hierbei steckte im wesentlichen in der Gestaltung der *Electronics Chamber*. Ein wichtiger Faktor hierbei war es, den *Heartrate Sensor* und die *Reference Electrode* so zu integrieren, dass diese genügend Druck erzeugen um fehlerfrei zu Messen.

Dazu verkleinerte ich die Kontaktfläche auf der schädelseitigen Seite der *Electronics Chamber* und wankelte sie zudem leicht an, so dass eine Druckstelle von 10 Millimetern im Durchmesser entsteht. So wirkt der Gesamtdruck durch die Vorspannung des *Connecting Brackets* auf eine kleinere Stelle, was zur Folge hat, dass die beiden Messungen stabiler verlaufen. Da dieser Bereich des Schädels nervlich eher schlechter abgedeckt ist, ist dies aber kaum spürbar.

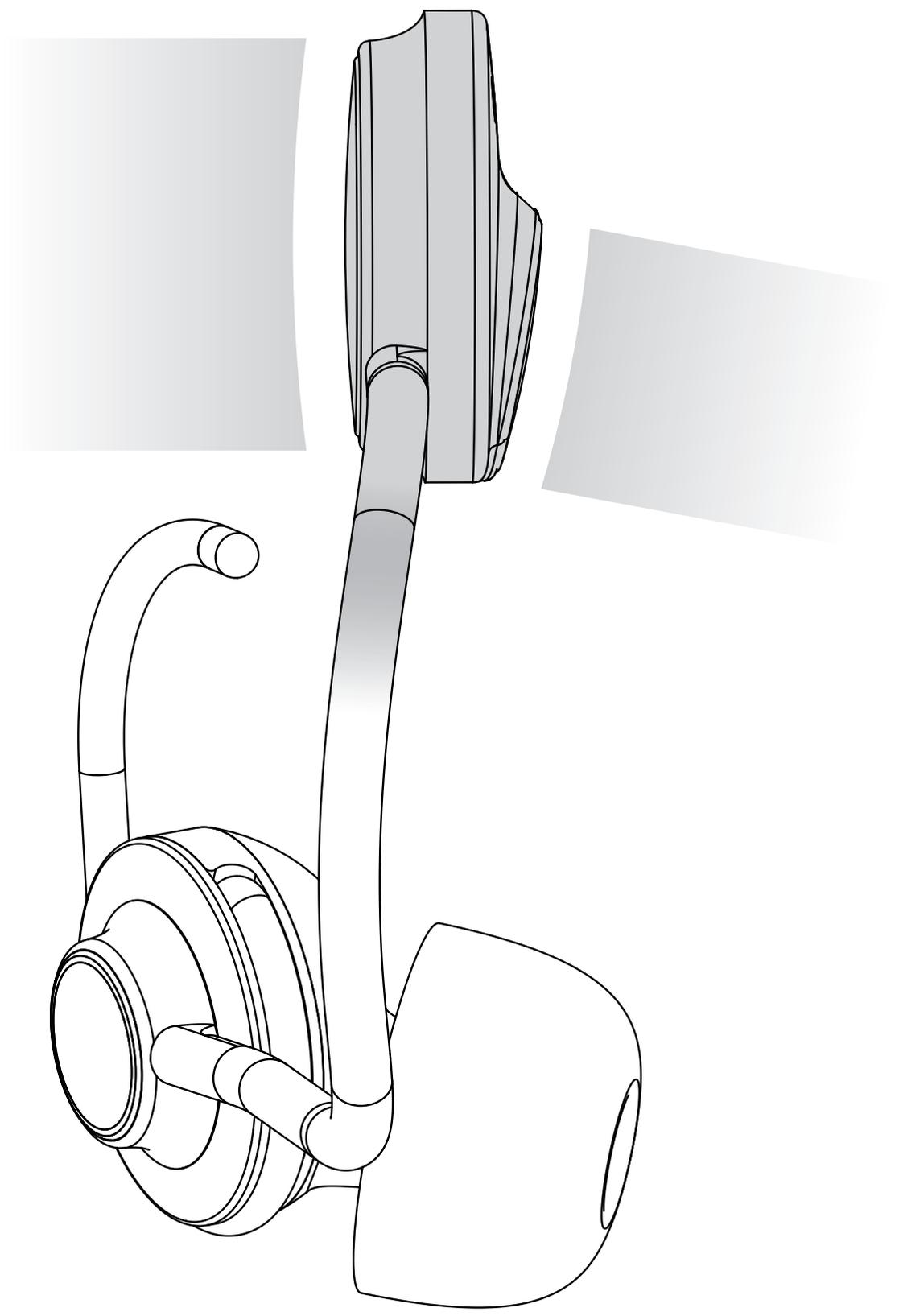


Leicht unterschiedliche Gerätepaare dienten als Ausgangslage für AB Testings, Proband:innen konnten jeweils linke und rechte Modelle vergleichen.



Mit der nach innen gewölbten Verrundung am Anschluss *Connecting Bracket / Acoustic Chamber* und an der Aussenseite der *Electronics Chamber* wollte ich die formale Referenz (Abb. Elektroden) zur Messung und Präzision schaffen. Die dabei entstehende Kante an der Aussenseite der *Electronics Chamber* ist nicht spürbar, da die angrenzende Aussenseite leicht überwölbt ist und so den Druck von der Kante nimmt.





Nach insgesamt 86 Iterationsschritten kam ich zur finalen Geometrie von Neurospot. Die Grösse des Geräts hierbei ist universell, wobei durch ein Wechseln des *Anthelix Bow* die Vorspannung in den Gehörkanal justiert werden kann. Die Darstellung zeigt eine Ansicht aller wesentlichen äusseren Geräteelementen.

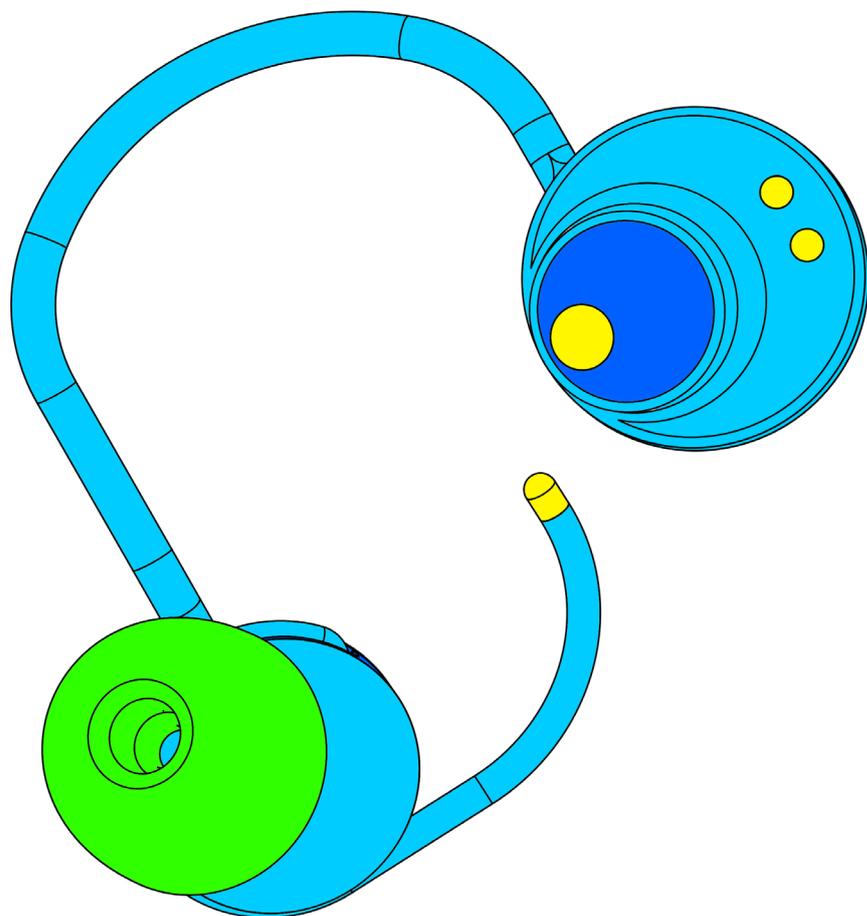
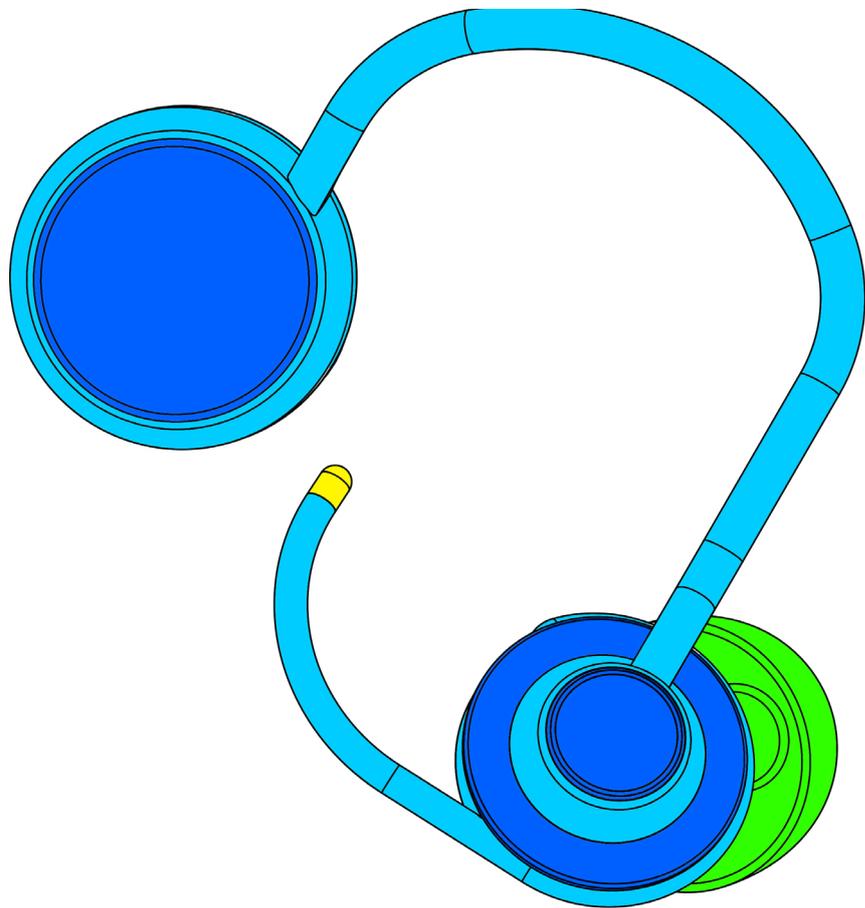
2.5.1 Konklusion Iteration 4

- 1** Conductive Eartip
Der Eartip aus Dryode™ Material misst die durch Hirnaktivität auftretende Energiepotentiale. Verschiedene Grössen sichern hohe Signalqualität und Haltekraft über eine diverse Palette an Gehörkanalgeometrien.
- 2** Heartrate Sensor
Der Pulsmesser hinter der transluzenten Abdeckung speist Daten in den Schlafanalysealgorithmus.
- 3** Reference Electrode
Das Kontaktpad dient als Referenzelektrode zur Messung der Hirnströme.
- 4** Ground Electrode
Das zentral satt anliegende Kontaktpad bildet die elektrische Erdung des Geräts.
- 5** Anthelix Bow
Dieses Teil erzeugt Verdrehsicherheit und Druck in den Gehörkanal. An seinem Ende ist zudem die Ground Electrode angebracht. Zwei auswechselbare Grössenvarianten ermöglichen eine optimale Anpassung an verschiedene Ohrformen.
- 6** Charging Electrodes
An diesen Punkten wird das Gerät in einem Lade Case aufgeladen. Die Gestaltung des Lade Cases war nicht Inhalt dieses Projekts.
- 7** Indicator Ring
Der LED Indikatorring kommuniziert Aktivitätszustände und macht das Gerät bei einem Herausfallen sichtbar im Dunkeln.



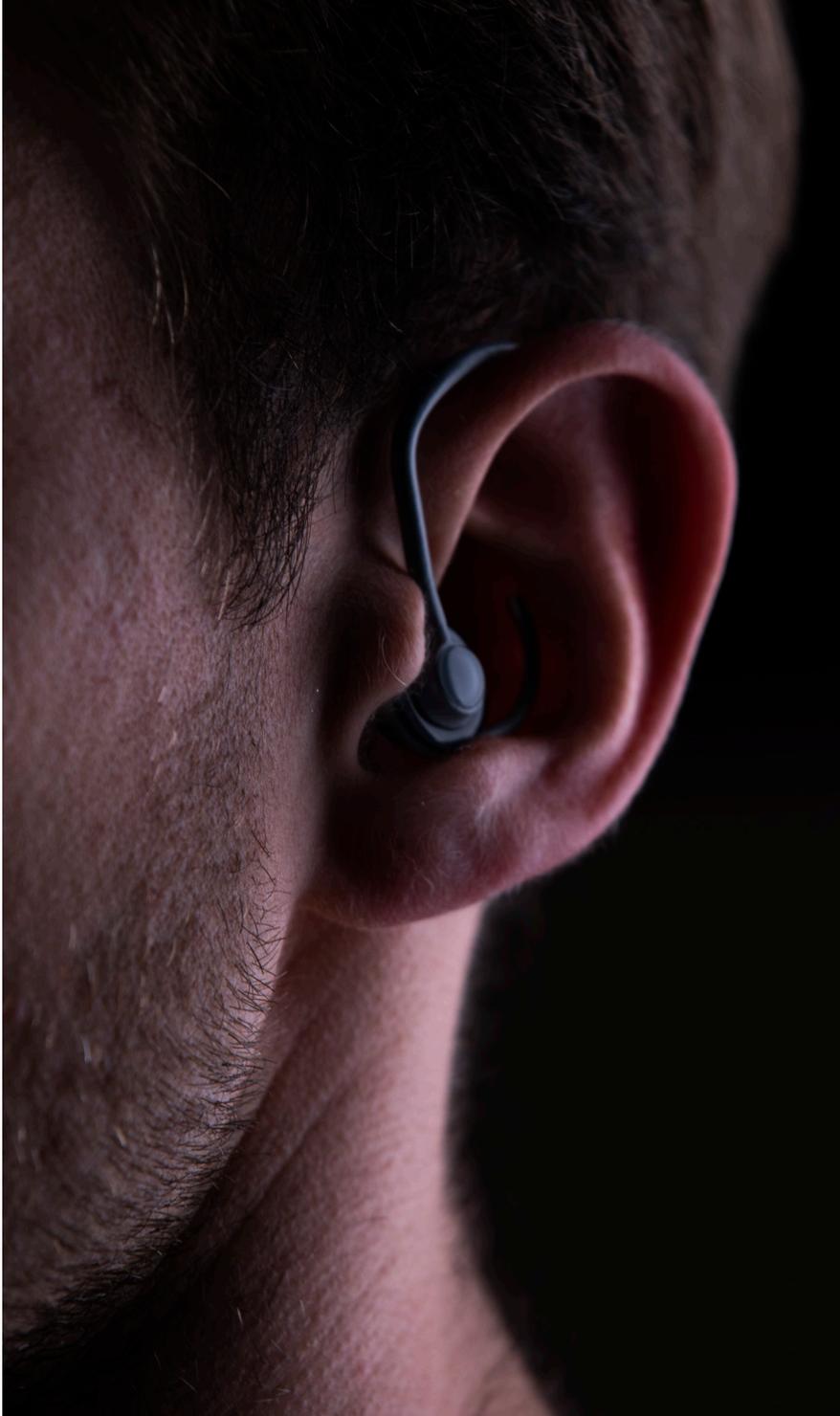
Die Aussenhülle des Geräts setzt sich rein durch seine praktischen Funktionen aus **2.6 Farbe und Material** 4 verschiedenen Materialien zusammen. In ihrer Oberfläche und Haptik sind diese nur bedingt einstellbar, doch kann ihre Farbgebung dem Zweck und Szenario des Geräts angepasst werden.

- Dryode™ (patentierte Eigenentwicklung IDUN, leitfähig, flexibel)
- Silikon umspritztes ABS
- Polycarbonat (transluzent, eingefärbt)
- Platinbeschichtetes Kupfer

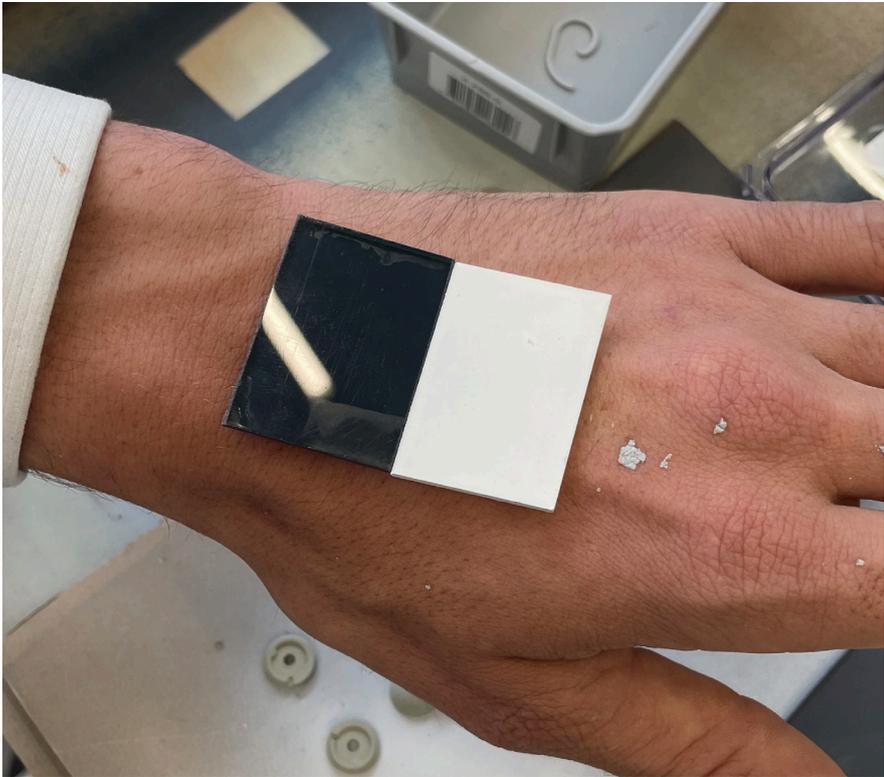
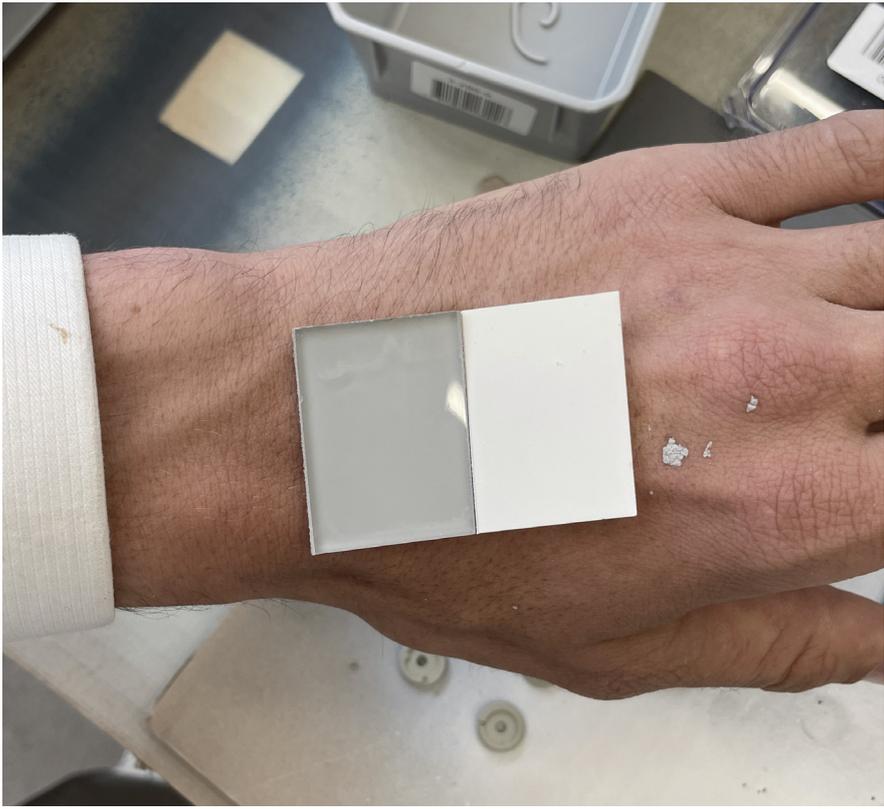


Da das Gerät am Körper getragen wird, muss es in Kombination mit jeglichen ▶
Hautfarben funktionieren. Zudem ist es sehr klein und die Form des Bügels
amorph, die Farbe sollte darum zur formalen Lesbarkeit der Form beitragen.
Betrachtet man die 1:1 Umsetzungen einer hellen und einer dunklen Version mit
seidenmatter Oberfläche am realen Ohr fällt auf, dass die Hellere formal wesent-
lich besser lesbar ist.

Ist die Oberfläche hingegen glänzend, bilden sich Reflektionen des Umgebungs- ▼
lichts, was die Form wieder besser Erkennbar macht bei beiden Versionen.





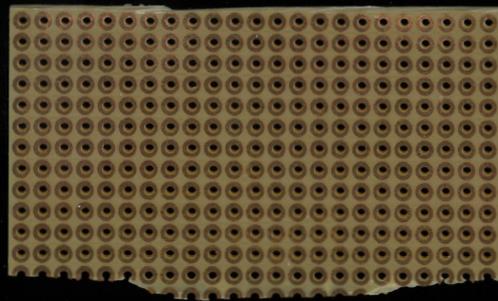
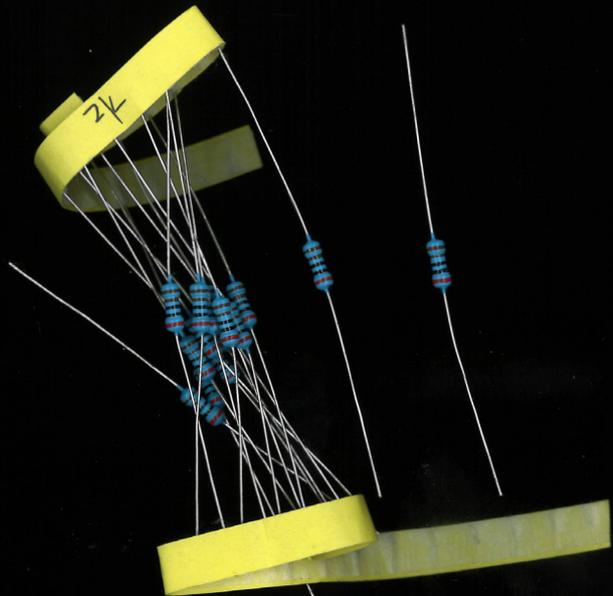
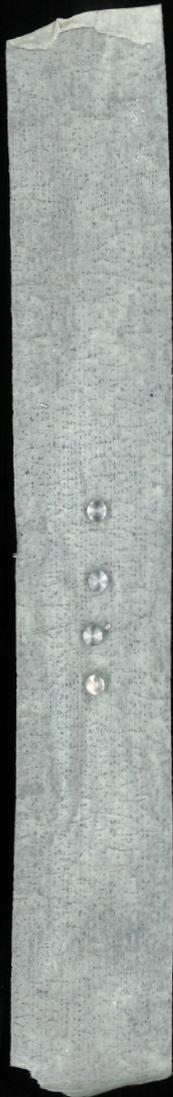




Als definitive Farbvor schläge sehe ich schlussendlich Variante X und Y. Ich entschied mich hierbei bewusst zu zu 2 Varianten, da ich es als sinnvoll erachte den Benutzer:innen eine Option zu lassen. Im Endmodell Präsentiere ich die hellere der beiden Varianten, da so geometrische Details besser erkennbar sind. Beide der Varianten enthalten einen subtilen Blauanteil, der durch den Blau schimmernden LED Indikatorring hervorgehoben wird. Blau wählte ich als Assoziation der Ruhe und Nacht, die schwachen Farbkontraste als Phänomen der nächtlichen Sicht.

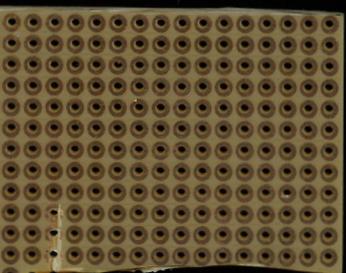








3 Umsetzen



Die Endmodelle im Masstab 1:1 basieren auf einem SLS Polyamid Druck. Jedes **3. Endmodell** Modell besteht aus insgesamt 12 Einzelteilen, hinzu kommt je ein LED um den Indikatorring zu beleuchten. Oberflächen bildete ich nach Möglichkeit originalgetreu nach, so lackierte ich Silikonumspritzte Teile in Seidenmatt, drehte transparente Teile aus Polycarbonat und metallische aus Aluminium.

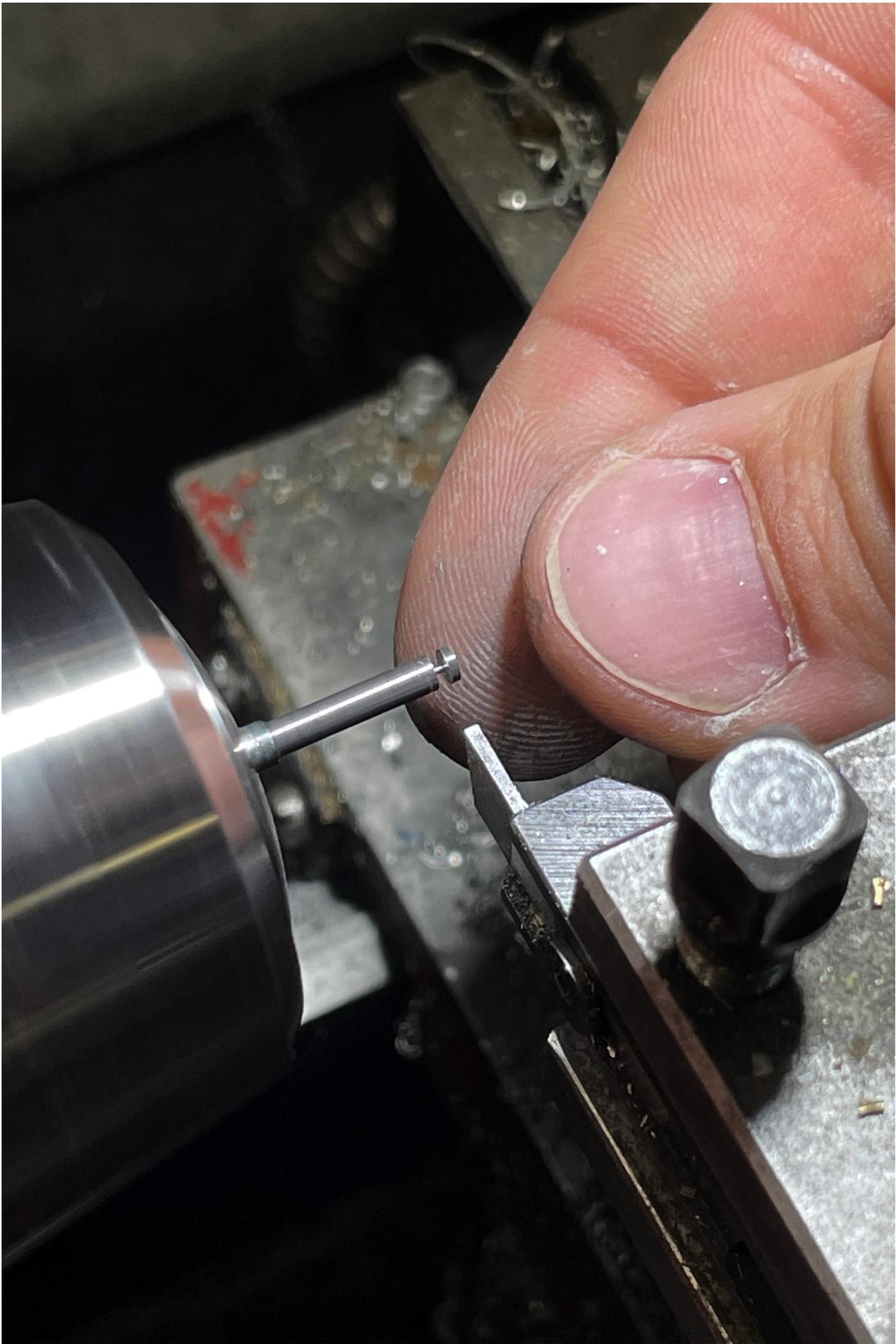




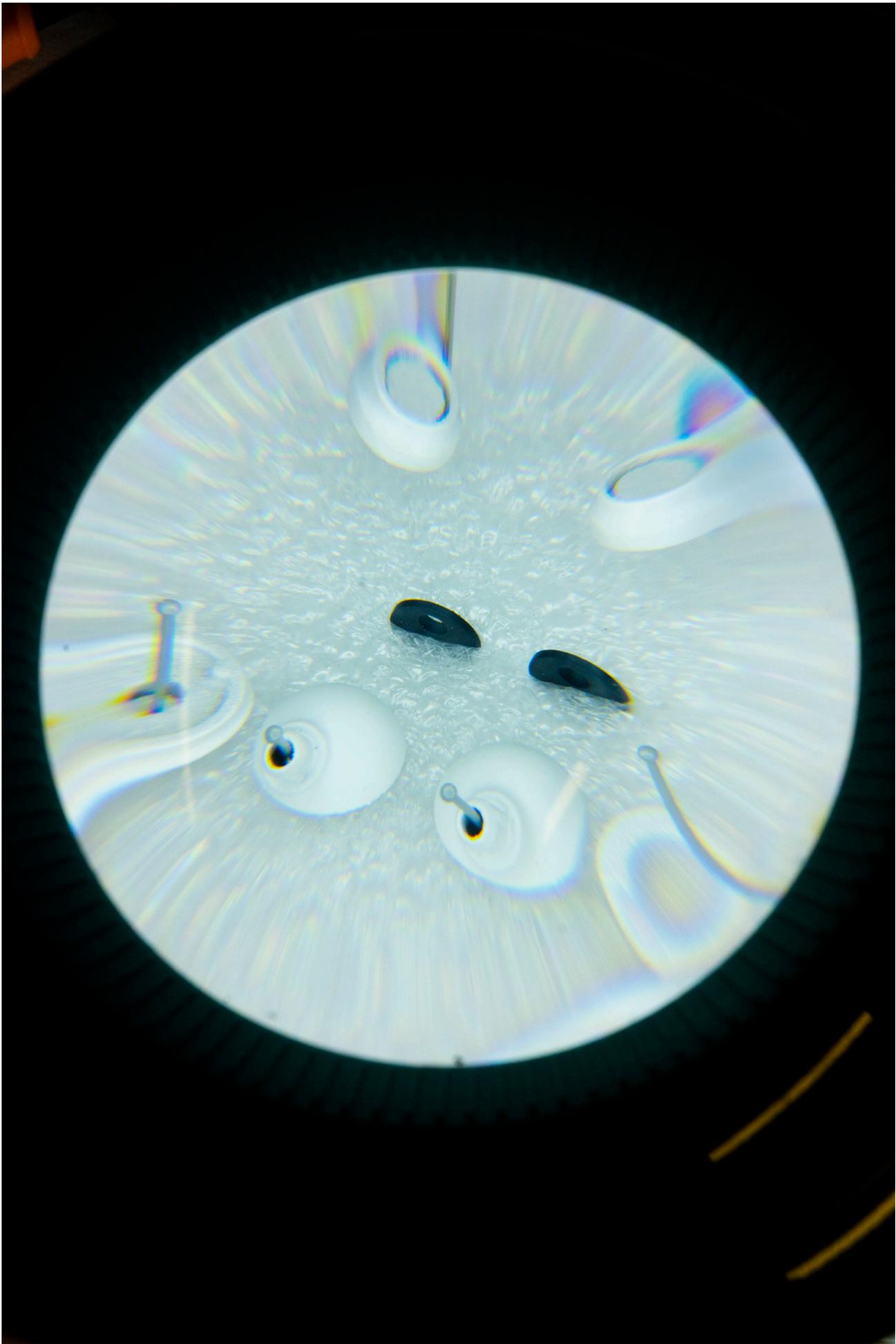


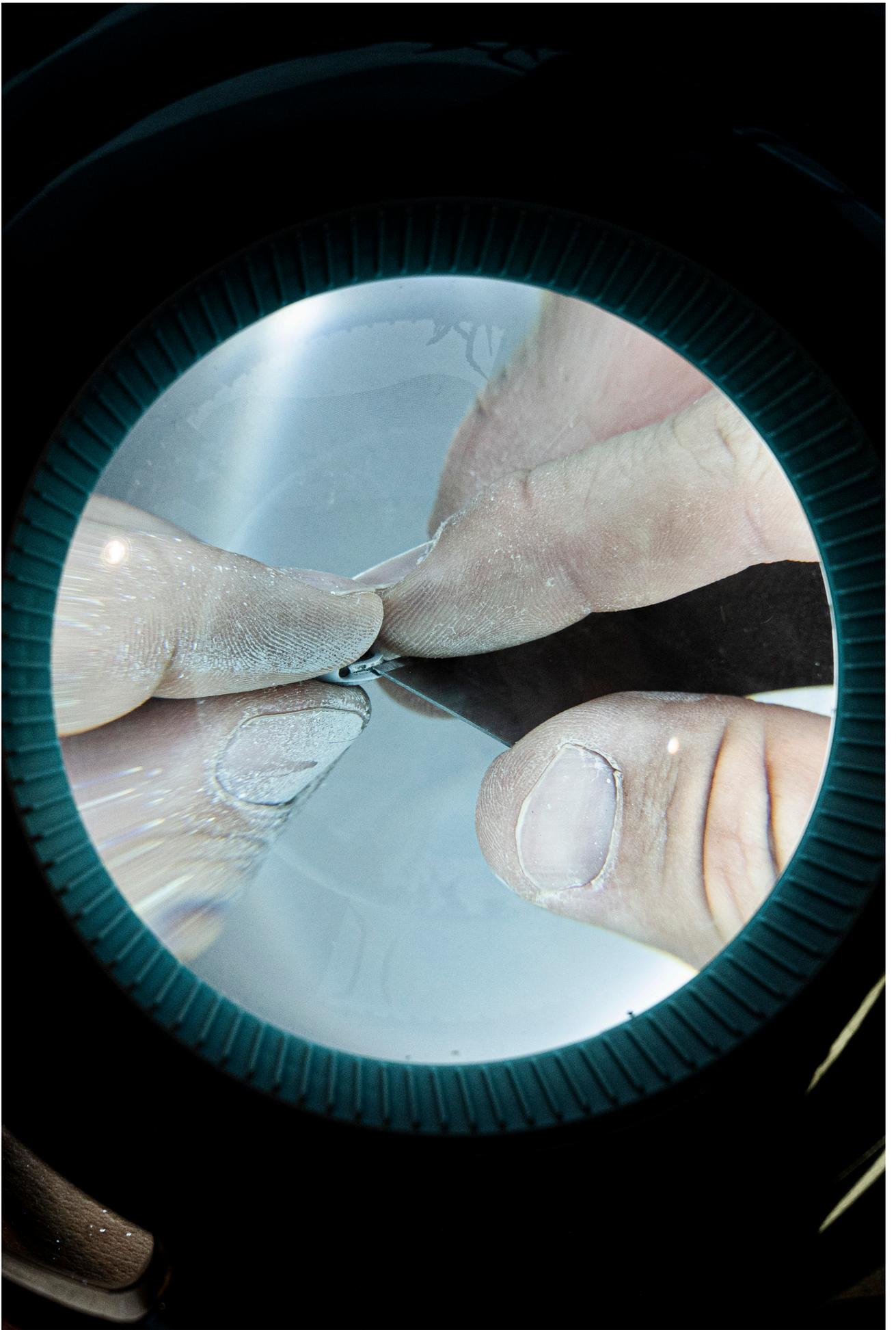




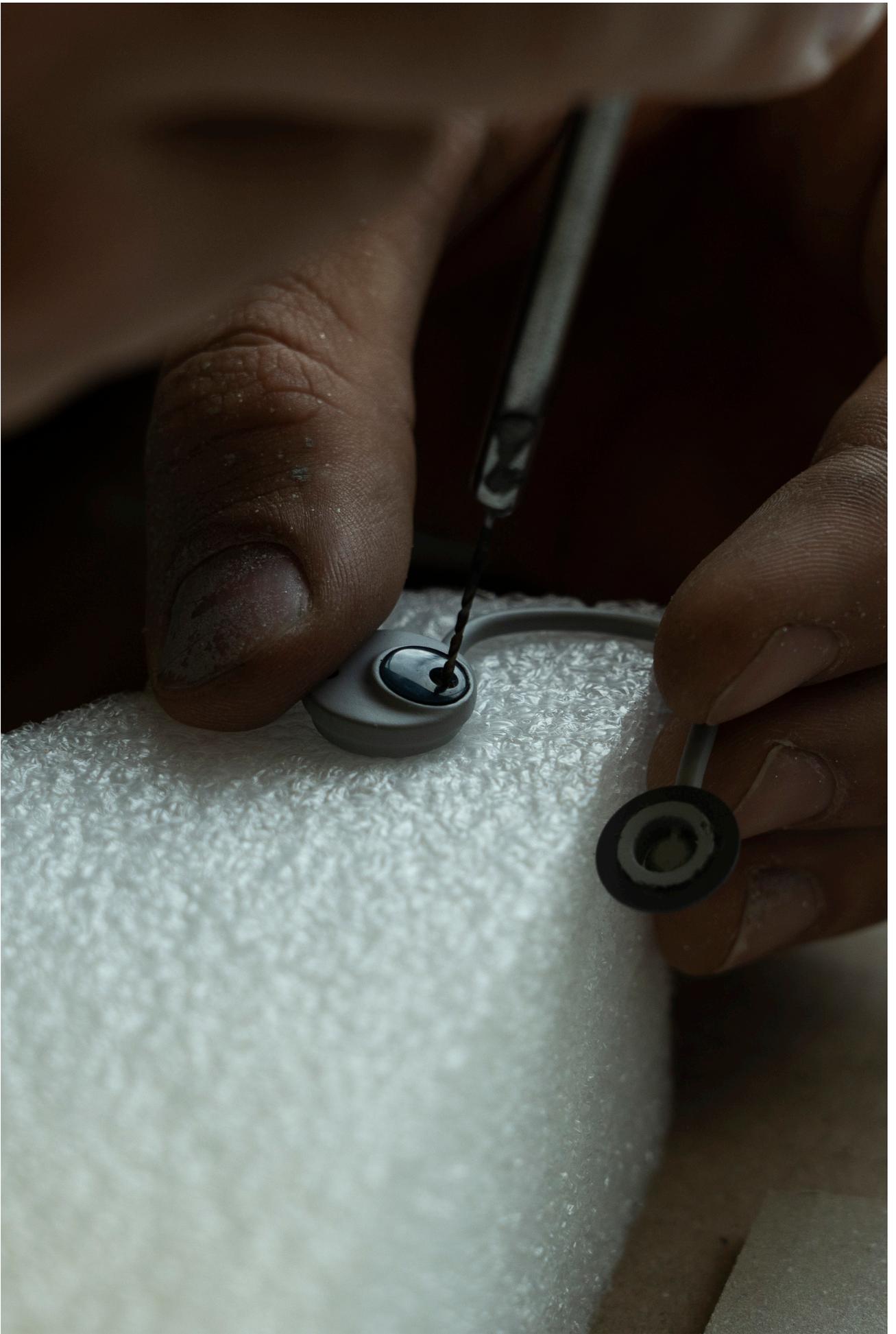


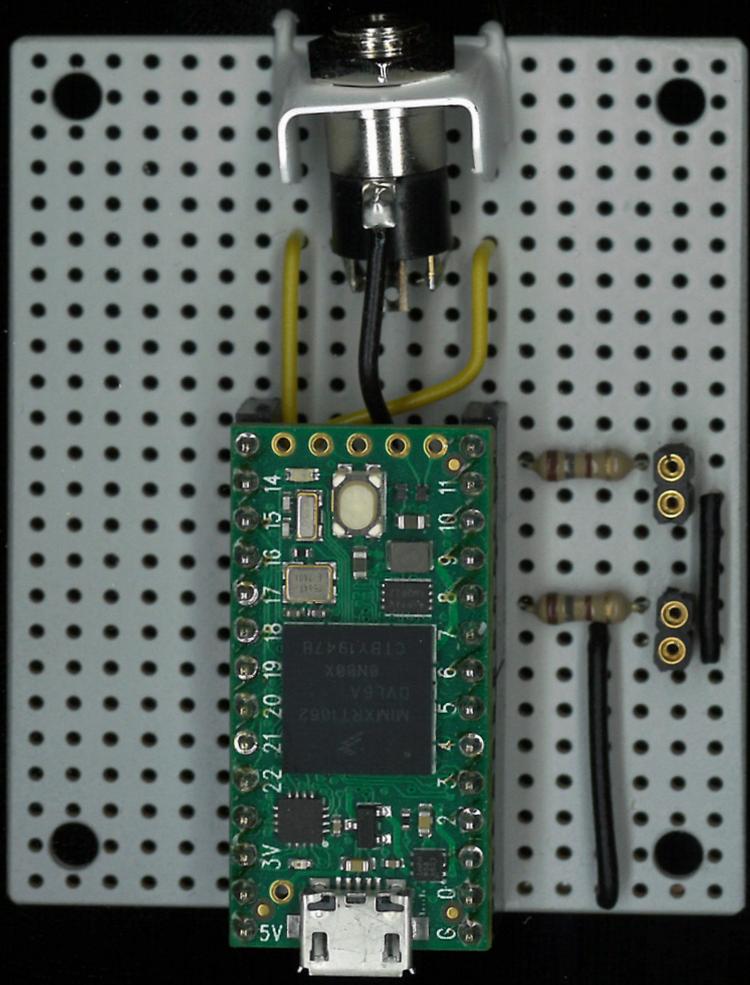


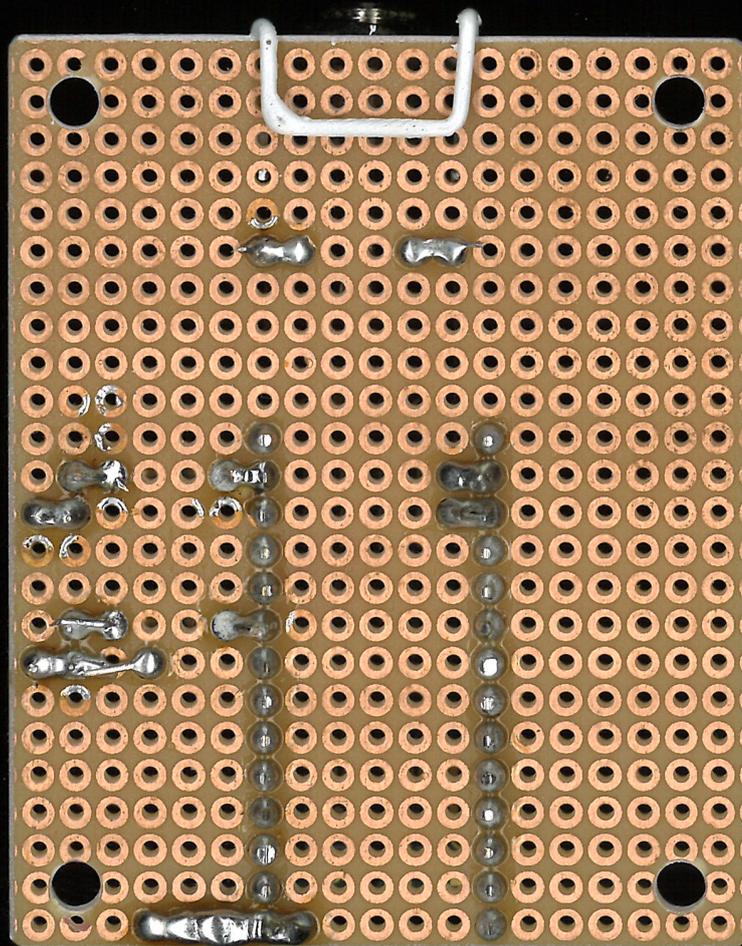




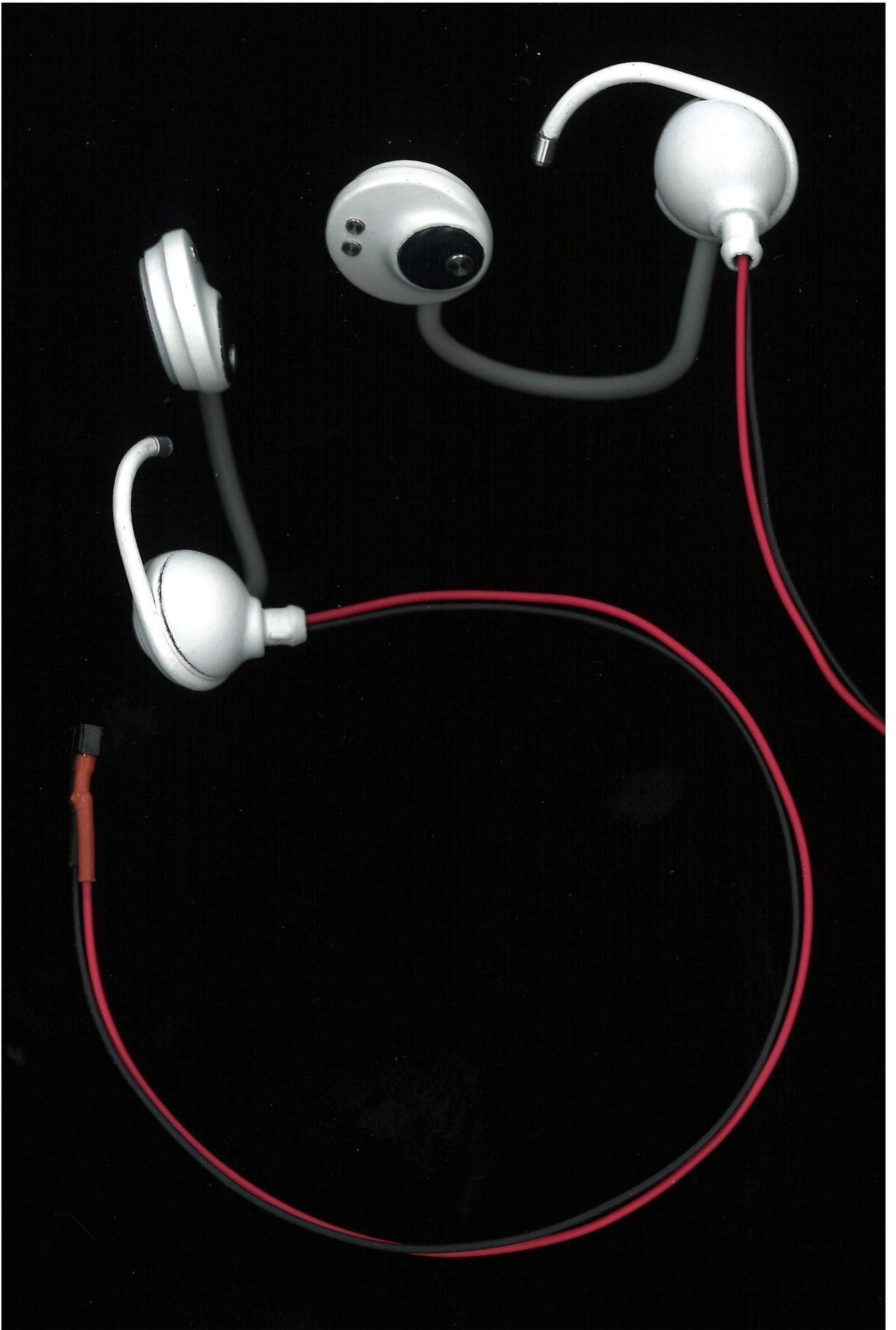




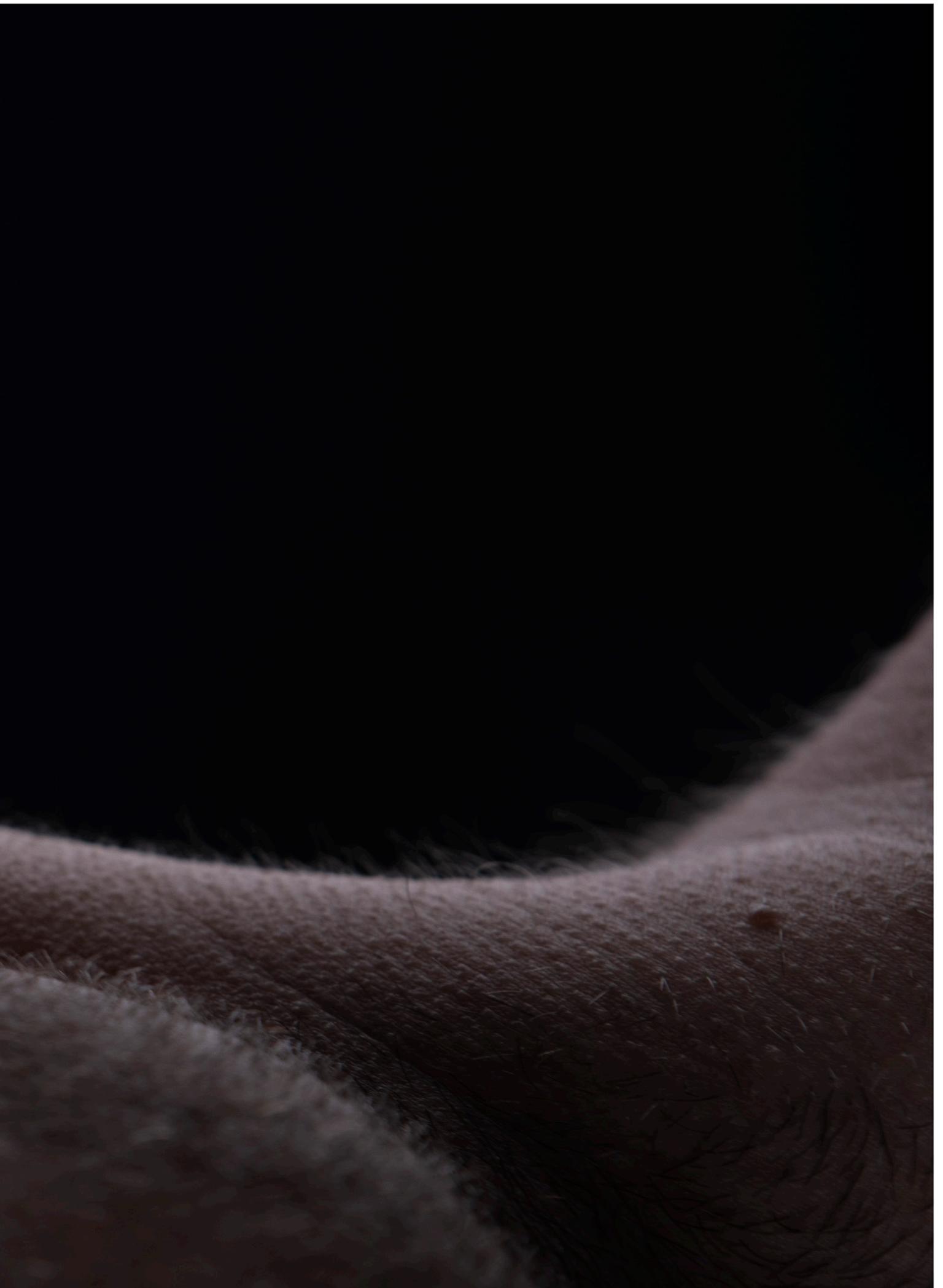




Für die Steuerung der LEDs schrieb ich ein simples Programm, welches Audiosignale in eine skalierbare Steuerspannung umwandelt. An den Mikrocontroller der diese Installation steuert, fügte ich ein Stereo 3.5mm TRS Jack, so können die LEDs durch die Amplitude eines Audiosignals gedimmt werden.



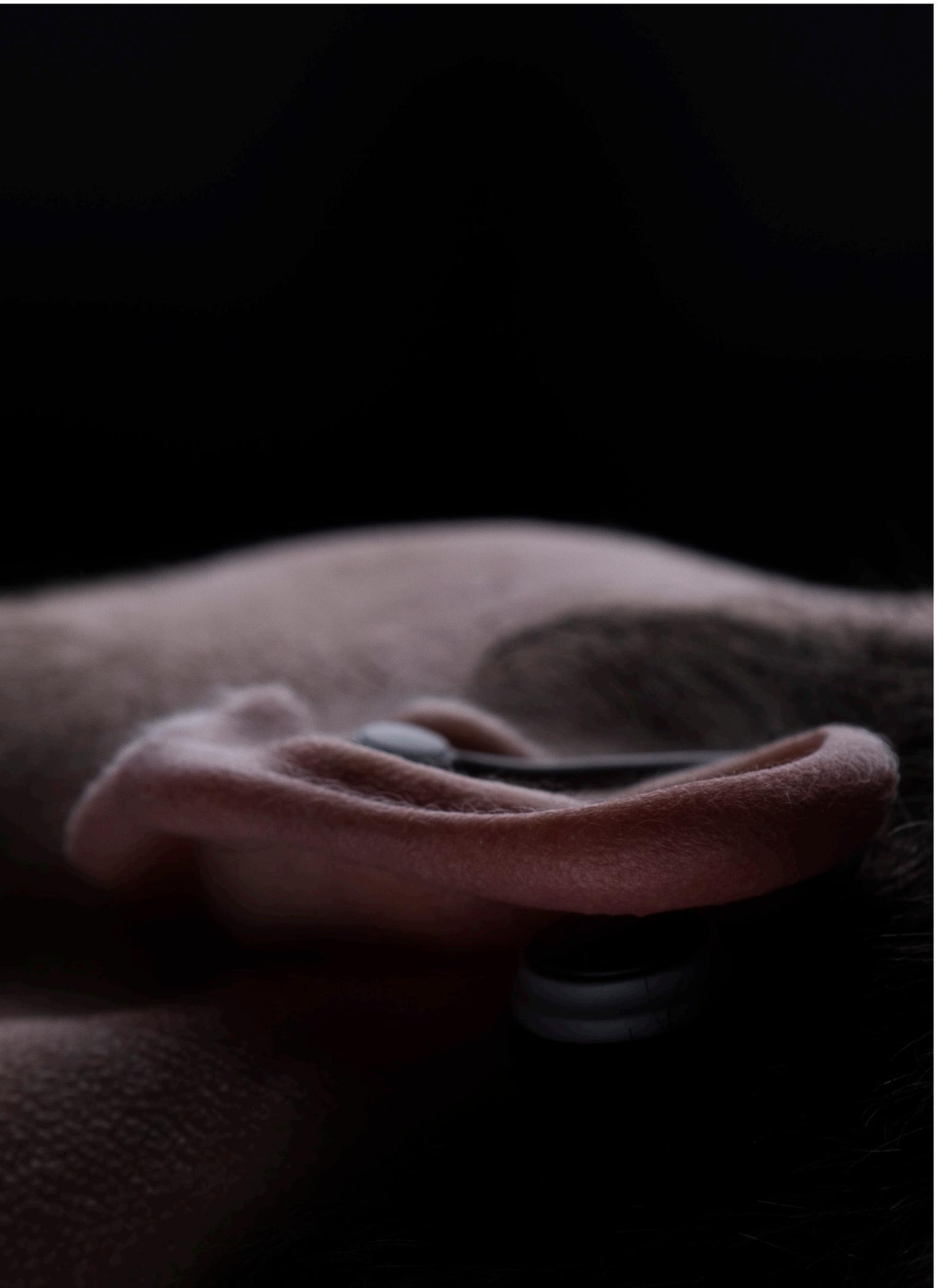












Eigenständigkeitserklärung Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe. Alle Stellen, die ich wortwörtlich oder sinngemäss aus öffentlichen oder nicht öffentlichen Schriften übernommen habe, habe ich als solche kenntlich gemacht.

Zürich, 09.06.2022

Unterschrift des Autors:

Linus Maurmann

