

# **Wie blinde Menschen noch besser mit dem Gehör sehen können.      Technischer Teil.**

15.12.2025 – ChatGPT Ergänzungen bezüglich Bionik Facettenauge am Ende des Dokuments.

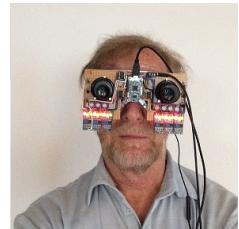
**Dokument 2 von 2, zusätzlich bebildert für Sehende.**

## **Konzept-Vorschlag von Hans Ulrich Stalder ©.**

**2. August 2018.** Projektstart war im Januar 2018.

Das Projekt wurde Ende September 2018 sistiert.

Die vorliegende Dokument-Version wurde mit dem Kapitel „Prototyp Hindernis-Erkennung“ ergänzt - siehe letztes Kapitel. Für Menschen die nur mit der Braille-Zeile auskommen müssen, sind wichtige Informationen bewusst wiederholt beschrieben worden. Technische Ergänzungen in Form von Bildern sind unumgänglich, wurden aber so gut es geht beschrieben. Die Text-Sprachausgabe wurde vom Autor mit dem PDF-Reader Foxit revidiert.



Erster Prototyp

### **1. Vorwort zum technischen Teil.**

Hiermit wird ein Verfahren vorgestellt wie blinde Menschen zu mehr Selbstständigkeit gelangen. Primär wird eine Hindernis-Erkennung beim Gehen vorgestellt. Weiter wird dem blinden Menschen die räumliche Wahrnehmung in Gehrichtung ermöglicht. Dies beruht auf speziellen akustischen Signalen. Diese werden über die Wangenknochen übertragen, mittels Open-Ear Technologie (Bone Conduction Technologie). Diese „Open-Ear“ Kopfhörer garantieren ein absolut ungestörtes Hören der Umgebungsgeräusche.

#### **a) Haftungsausschluss.**

Für fehlerhafte Angaben und deren Folgen kann weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernommen werden. Ich distanziere mich hiermit ausdrücklich von allen Inhalten der verlinkten Seiten und mache mir diese nicht zu eigen. Änderungen vorbehalten.

# Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort zum technischen Teil.....	1
a) Haftungsausschluss.....	1
2. Eine Graphik für Sehende und alles noch einmal erklärt.....	4
2.1. Der virtuelle Horizont.....	4
2.2. Der frontale Bereich.....	4
2.3. Die zwei seitlichen Bereiche.....	4
2.4. Für Sehende folgt ein Bild das den virtuellen Horizont veranschaulicht.....	5
a) Bild virtueller Horizont Anfang.....	5
b) Bild virtueller Horizont Ende.....	5
2.5. Detektion durch einen Rauschen-Farben Wechsel.....	6
2.6. Detektion durch Lautstärke-Erhöhung.....	6
3. Erklärung der Hinderniserkennung.....	6
3.1. Mit zwei Bilder eine frontale Detektion veranschaulicht.....	6
a) Bilder frontale Detektion Anfang.....	7
b) Bilder frontale Detektion Ende.....	7
3.2. Mit zwei Bilder zusätzlich eine seitliche Detektion veranschaulicht.....	7
a) Bilder seitliche Detektion Anfang.....	8
b) Bilder seitliche Detektion Ende.....	8
4. Ultra-Schall Komponente.....	8
4.1. Standard Komponente.....	8
4.2. Ultra-Schall Einheiten.....	9
4.3. Die Ultra-Schall Empfänger.....	9
5. Umwandlung vom Computer Bild zur Panorama-Ebene.....	9
6. Es folgen zwei Bilder mit ausführlichem Text.....	10
6.1. Symbolbild vom blindem Menschen vor einer Waldbank.....	10
a) Waldbank Bild Personen-Silhouette Anfang.....	10
b) Waldbank Bild mit Personen-Silhouette Ende.....	10
6.2. Waldbank Interpretation durch den Computer.....	10
6.3. Waldbank Bild mit Kolonnen und Zeilen ergänzt.....	11
a) Waldbank Bild mit Distanz-Punkten Anfang.....	11
b) Waldbank Bild mit Distanz-Punkten Ende.....	11
7. Ergänzende Benutzer-Einrichtungen und Drucktasten-Dienste.....	12
8. Das Sehen mit Facettenaugen mit vier Film-Bildern erklärt.....	13
8.1. Die Wabenstruktur und die Wabengröße.....	13
8.2. Der bewegte Facetteneauge-Bereich als Bildfolge.....	13
8.3. Ausführliche Beschreibung der Bildfolge.....	14
a) Bildfolge Anfang mit letztem Bild der Bild-Folge zuerst.....	15
b) Bildfolge Ende mit erstem Bild der Bild-Folge.....	15
c) Das folgende Bild veranschaulicht das mutmassliche Erinnerungsbild.....	15
9. Technische Komponente in Übersicht.....	16
9.1. Ultra-Schall-Booster.....	16
a) Bild technische Übersicht Anfang.....	16

b) Bild technische Übersicht Ende.....	16
9.2. Impuls-Generatoren.....	16
9.3. Ultra-Schall und Wobbel-Generatoren.....	16
9.4. Ultra-Schall-Mikrophone.....	16
9.5. Ultra-Schall-Filter.....	16
9.6. Stör-Impuls-Filter und Wasserwaage.....	17
9.7. Komparator und Reflexions-Mustererkennung.....	17
9.8. GPS-Unterstützung und Datenbank-Interface.....	17
9.9. Panorama-Positions-Rechner und Rauschen-Profil Festlegung.....	17
9.10. Rauschen-Generatoren.....	17
9.11. Zuordnung der Rauschen-Profile.....	17
9.12. Lautsprecher.....	17
10. Eingesetzte Zusatzkomponente.....	18
11. Ultra-Schall oder Stereo-Kamera-Brille zur Detektion?.....	18
12. Projekt-Ablauf und Sicherung von Teilerfolgen.....	18
12.1. Funktionsnachweis erbringen.....	18
12.2. Mit Feldversuchen die Alltagstauglichkeit verbessern.....	18
12.3. Die Facettenauge-Sicht und die Sprachausgabe implementieren.....	19
12.4. Die visuelle Wahrnehmung optimieren.....	19
12.5. Übergabe vom Projekt an die Industrie.....	19
13. Warum auch ein künstlich 3D Surround-Sound funktioniert.....	19
14. Entwurf für ein neues Blindensignet für Gehörsehende.....	20
a) Bild Blindensignet Anfang.....	20
b) Bild Blindensignet Ende.....	20
15. Rauschen-Muster als Rauschen-Folge.....	20
16. Prototyp Hindernis-Erkennung.....	21
16.1. Wie funktioniert der Prototyp mit nur einer Hindernis-Erkennung.....	21
16.2. Bilder: Hinderniserkennungs-Brille mit Elektronik und Zubehör .....	22
16.3. Bild: Brillenvorsatz Elektroplatine Einteilung .....	23
16.4. Bild: Elektronik-Schema Infrarot-Empfänger .....	24
16.5. Bild: Infrarot-Scheinwerfer 230V / 10W / 850nM / 60IR-LED / 80° .....	24
16.6. Surround-Sound mit Audacity generieren - eine Annäherung.....	25
17. ChatGPT Ergänzungen bezüglich Bionik Facettenauge.....	26

## **2. Eine Graphik für Sehende und alles noch einmal erklärt.**

Präambel: Unterschiedliche Rauschen-Muster werden durch Farb-Bezeichnungen voneinander unterschieden. Die Rauschen-Farben Blau und Rosa stehen in diesem Konzept für weiter entfernte Hindernisse. Die Rauschen-Farben Weiss und Braun stehen für näher gelegene Hindernisse.

Der Gehörsehende, damit sind auch weibliche Personen gemeint, ist die Person die diese Objekterkennungs-Hilfe benutzt.

### ***2.1. Der virtuelle Horizont.***

Der virtuelle Horizont ist eine gedachte Querlinie in Blickrichtung und folgt allen Bewegungen vom Kopf. Er kann somit gehoben, gedreht und geschwenkt werden. Der virtuelle Horizont dient dazu die Lage und die Ausdehnungen von Objekten auszuloten. Ob Rosa- und Blaues-Rauschen oder Weisses- und Braunes-Rauschen generiert wird, hängt davon ab welcher Bereich näher beim Gehörsehenden liegt.

### ***2.2. Der frontale Bereich.***

Den virtuellen Horizont in Gehrichtung auf den Boden projiziert, liegen hinter dem virtuellen Horizont, daher näher zum Gehörsehenden, nebeneinander zwei Bereiche wo eine Objekt-Detektion weisses Rauschen generieren würde. Vor dem virtuellen Horizont sind zwei Bereiche wo eine Objekt-Detektion blaues Rauschen generieren würde.

In Gehrichtung mit gerade aus gehaltenem Kopf und ohne Hindernis wird weisses oder kein Rauschen generiert. Dagegen wird blaues Rauschen generiert, wenn sich ein Objekt zwar vor dem virtuellen Horizont befindet, ein hervorstehendes Objekt die Distanz gegenüber dem hinteren Bereich aber verkürzt.

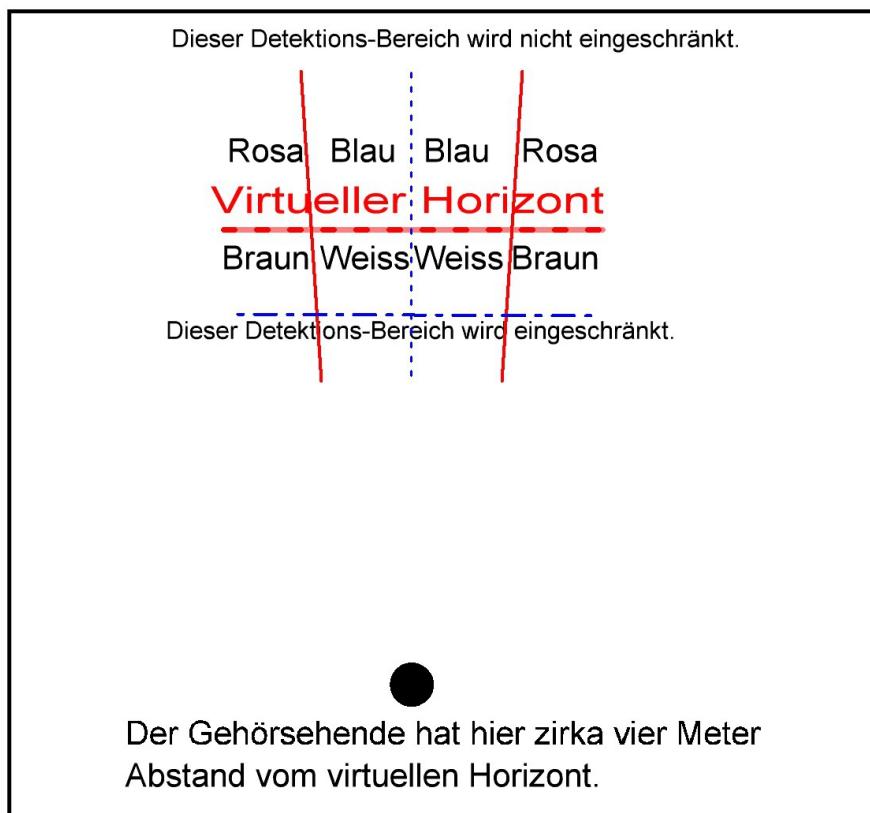
### ***2.3. Die zwei seitlichen Bereiche.***

Vor dem virtuellen Horizont, aber links und rechts vom mittleren Bereich, würde rosa Rauschen bei einer Objekt-Detektion generiert werden. Hinter dem virtuellen Horizont, auch links und rechts vom mittleren Bereich, liegen die Bereiche die braunes Rauschen bei einer Objekt-Detektion generieren würden. Die Breite der gesamt detektierten Fläche liegt im vorliegenden Fall bei etwa zwei Meter.

## **2.4. Für Sehende folgt ein Bild das den virtuellen Horizont veranschaulicht.**

Das nachfolgende Bild zeigt den auf den Boden projizierten virtuellen Horizont. Bei etwa vier Meter Abstand zum Gehörsehenden erstreckt sich dieser quer über den Boden mit etwa zwei Meter Ausdehnung.

### **a) Bild virtueller Horizont Anfang.**



### **b) Bild virtueller Horizont Ende.**

Anmerkung: In der Projektion aus Augenhöhe auf den Boden, erscheint das erweiterte H unten etwas enger, bedingt durch den Parallaxe-Fehler. Wie bereits erwähnt, entspricht eine Detektion zwar nicht genau der einer Projektion. Als Vorstellungs-Hilfe ist das H mit dem beidseitig hervorstehenden Querbalken aber zweckdienlich.

## **2.5. Detektion durch einen Rauschen-Farben Wechsel.**

Im vorderen Bereich gibt es kein künstliches Bereichs-Limit. Dagegen im hinteren Bereich schon. Zwischen den beiden Bereichen liegt, wie erwähnt, der virtuelle Horizont. Je schmäler der hintere Bereich ist, desto genauer kann der Fuss eines Objekts ausgelotet werden. Die Erklärung ist, da immer das nächste Objekt detektiert wird, ist es bei einem hinteren Bereich auch länger der Boden der detektiert wird. Hier ist ein Kompromiss bezüglich der Tiefe vom hinteren Bereich zu finden, nämlich zwischen genauem Detektieren und störendem Rauschen durch den Boden verursacht.

## **2.6. Detektion durch Lautstärke-Erhöhung.**

Auch ohne ein Rauschen-Farbe Wechsel wird eine frühe Erkennung von niedrigen Objekten gewährleistet, nämlich durch einen sprunghaften Anstieg der Lautstärke. Dabei wird davon ausgegangen, das der Gehörsehende beim Gehen seinen Kopf in allen Richtungen etwas bewegt.

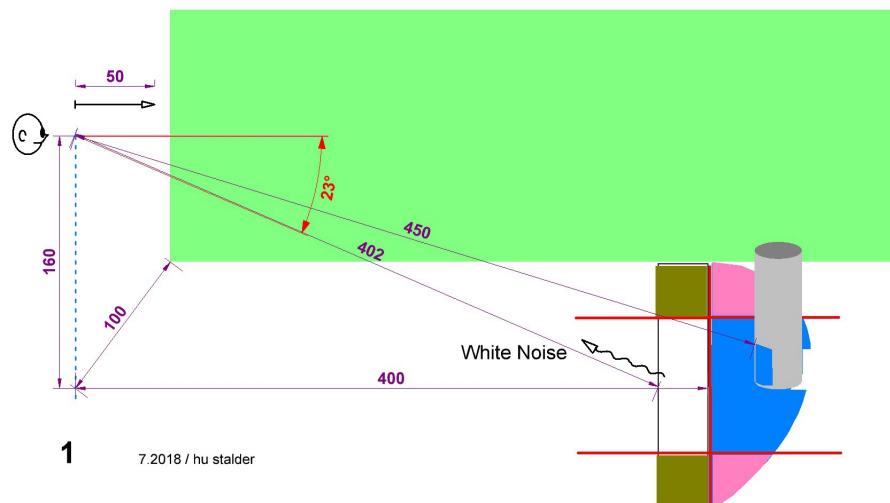
## **3. Erklärung der Hinderniserkennung.**

Die Hörgerät-Systeme werden mit einem Ultra-Schall-Sender ergänzt. Ein reflektiertes Signal bedeutet, dass sich ein Hindernis in "Blickrichtung" befindet. Die Signal-Laufzeiten vom Ultra-Schall auf die beidseitig vom Kopf angebrachten Mikrophone ergeben den Abstand und den Winkel zum Hindernis. Mit dem links und rechts Abgleich der Ultra-Schall Laufzeiten wird die Positionen in der Panorama-Ebene berechnet. Mit entsprechender Bandbreite wird auf diese Position der Panorama-Ebene ein Rauschen eingespielt. Ob sich das Hindernis oberhalb oder unterhalb vom virtuellen Horizontes befindet, wird mit unterschiedlichem Rauschen kund getan. Den Kopf aufrecht gehalten ist der abwärts gerichtete Winkel ab Augenhöhe zum virtuellen Horizont etwa 22 Grad. Nach etwa vier Meter setzt bei ebenem Boden der virtuelle Horizont am Boden auf. Mit einer Erweiterung von GPS werden die Standorte vom blinden Menschen und der Hindernisse festgestellt. Dies ermöglicht bei bewegten Objekten deren absehbaren Standorte zu berechnen und eine Kollisions-Warnmeldung zu sprechen. Das sei hier vorweggenommen, der Einsatz von GPS macht noch viele weitere nützliche Hilfs-Funktionen möglich.

### **3.1. Mit zwei Bilder eine frontale Detektion veranschaulicht.**

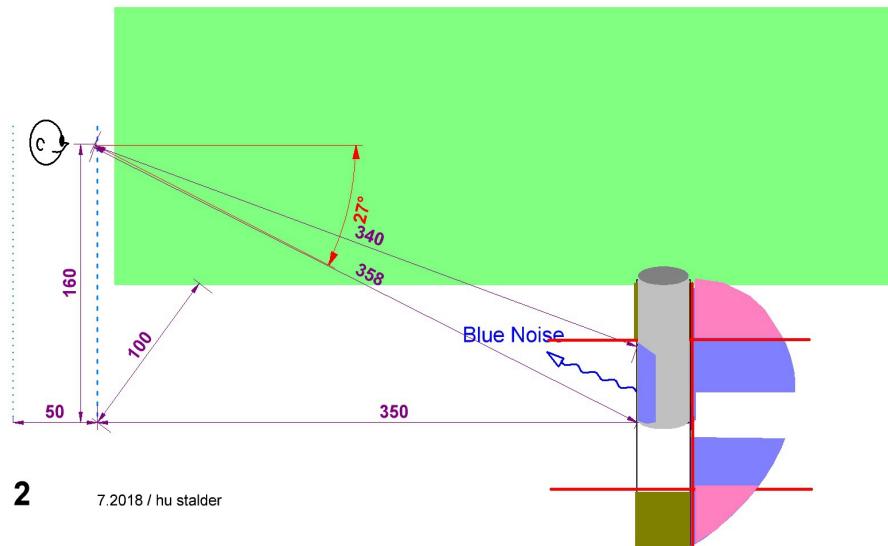
Die folgenden zwei Bilder in Falschperspektive veranschaulichen Sehenden wie es zu einem Rauschen-Farben Wechsel von Weiss auf Blau kommt. Der Beobachter steht auf der Höhe anfangs vom hinteren Bereich.

### a) Bilder frontale Detektion Anfang.



1

7.2018 / hu stalder



2

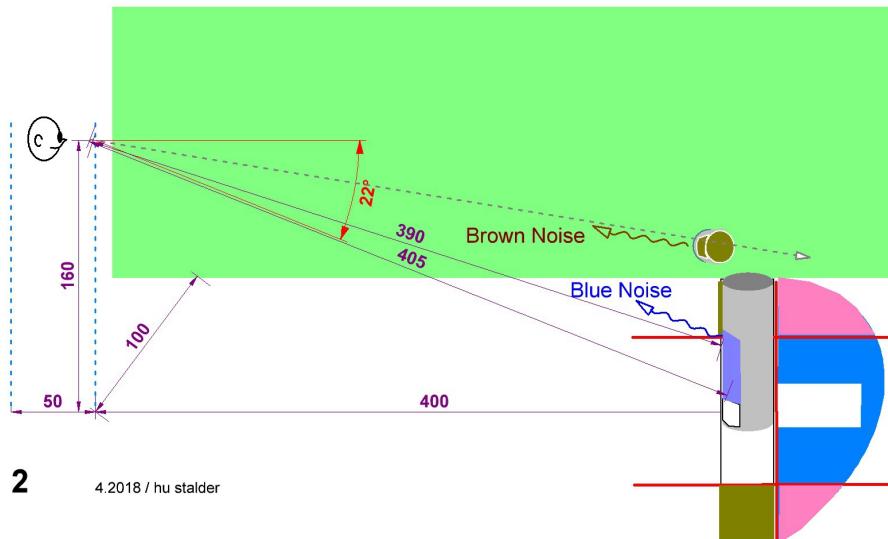
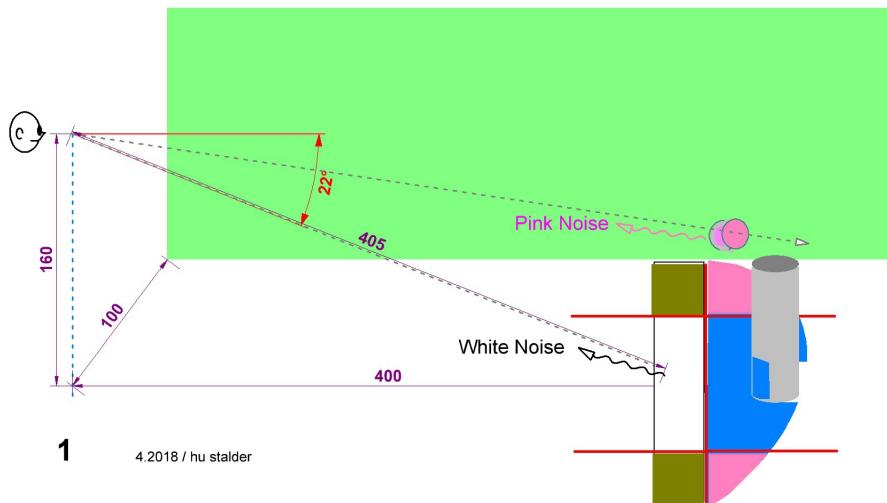
7.2018 / hu stalder

### b) Bilder frontale Detektion Ende.

#### 3.2. Mit zwei Bilder zusätzlich eine seitliche Detektion veranschaulicht.

Die folgenden zwei Bilder in Falschperspektive veranschaulichen Sehenden wie ein aus der Seitenwand hervorstehendes Hindernis ein zusätzliches Rosa-Rauschen verursacht. Mit Verkürzung der Distanz zum Hindernis wechselt die zusätzliche Rauschen-Farbe von Rosa auf Braun. Der Beobachter steht auf der Höhe anfangs vom hinteren Bereich.

### a) Bilder seitliche Detektion Anfang.



### b) Bilder seitliche Detektion Ende.

## 4. Ultra-Schall Komponente.

### 4.1. Standard Komponente.

Für die erste Entwicklungs-Phase vom Projekt werden handelsübliche ohrenumschliessende Bügel-Kopfhörer verwendet. An diese werden oberhalb der Hörmuschel handelsübliche Ultra-Schall-Sender montiert. Auch die Ultra-Schall-Mikrophone werden oberhalb und unterhalb der Hörmuschel angebracht. Im Weiteren wird am Bügel vom Kopfhörer eine einzige elektronische Wasserwaage installiert, die die horizontale Mittellinie bei der Panorama-Ebene festlegt. Zusammen mit Beschleunigungsmesser, wie sie heute in jedem Handy vorhanden sind, wird die gegenwärtige „Blickrichtung“ bestimmt.

Bei der definitiven Ausführung kommen folgende Komponente in oder auf das Hinterohr-Gerät, Das sind die Ultraschallsender, die oben liegenden Ultra-Schall-Mikrophone, die elektronischen Wasserwaagen sowie die Beschleunigungsmesser.

#### ***4.2. Ultra-Schall Einheiten.***

Ultra-Schall-Sender gibt es in unterschiedlichen Ausführungen auf dem Markt. Beim Prototyp mit Bügel-Kopfhörer wo Grösse und Gewicht keine grosse Rolle spielt, können erst einmal diese verwendet werden. Nach kleinen Ultra-Schall-Sender ist noch zu suchen die auf dem Hinterohr-Gerät platziert werden können. Falls sich auf dem Markt keine geeigneten Sender finden lassen, hat der Autor bereits eine Idee für eine Eigenentwicklung.

#### ***4.3. Die Ultra-Schall Empfänger.***

Die Reflexions-Schallwellen treffen mit einer zeitlichen Verzögerung, unterschiedlichen Winkel und mit unterschiedlicher Intensität auf die Mikrophone auf. Diesen Informationen werden vom Computer, wie bereits erwähnt, in ein abstraktes Bild umgesetzt, respektive zusammengesetzt.

Jedes Hörgerät hat mindestens zwei Ultra-Schall Mikrophone. Eines über dem Ultra-Schall Sender und eines unterhalb vom Ohr. Das Untere ist an einem am Hörgerät befestigten Bügel, der hinter dem Ohr bis unter dieses reicht, angebracht. Die mehrfach vorhandenen Mikrophone erlauben es der Computer-Software nicht nur ein räumliches Bild der Umgebung zu konstruieren, sondern geben auch Aufschluss über die Beschaffenheit vom Hindernis. Zudem minimalisieren sie Fehlinterpretationen.

### **5. Umwandlung vom Computer Bild zur Panorama-Ebene.**

Die Panorama-Ebene wird in mehrere Zeilen und Kolonnen aufgeteilt. Für Sehende wird dies später in einem Bild dargestellt. Pro Kolonne wird pro Zeiteinheit immer nur ein Rauschen-Profil in die Hörsysteme eingespielt. Wie bereits erwähnt, kann mit nicken und drehen vom Kopf dennoch ein räumlicher Bildeindruck erlangt werden. Die ermittelten Bild-Fragmente werden temporär im Computer gespeichert. Wenn das Bild nicht schon wieder überlagert wurde, kann dieses mit neuen Informationen vervollständigt werden. Im Weiteren kann das gespeicherte Bild auf Verlangen permanent abgespeichert werden.

Je schmäler die Kolonne ist desto klarer wird das ermittelte Bild, stellt aber wahrscheinlich höhere Anforderungen an den blinden Menschen. Wie schmal eine Kolonne in der Panorama-Ebene höchstens sein darf ist noch herauszufinden.

Das Ultraschall-Absorptionsvermögen der reflektierenden Flächen wird hier vernachlässigt. Die rote Linie ist der virtuelle Horizont und die Distanz zu dieser ist abhängig vom Gehörsehenden und der Kopf-Ausrichtung. Normalerweise minus 22 Grad ab Augenhöhe und bei horizontaler Kopf-Ausrichtung.

## 6. Es folgen zwei Bilder mit ausführlichem Text.

### 6.1. *Symbolbild vom blindem Menschen vor einer Waldbank.*

Im Vordergrund ist eine weisse Personen-Silhouette abgebildet. Diese Personen-Silhouette steht vor einer leicht abgedrehten und mit Laub bedeckten Waldbank.

#### a) **Waldbank Bild Personen-Silhouette Anfang.**



#### b) **Waldbank Bild mit Personen-Silhouette Ende.**

Hinweis zur Waldbank-Photo-Lizenz: Diese ist kostenlos freigegeben.

### 6.2. *Waldbank Interpretation durch den Computer.*

Die für Sehende im Bild angezeigten gelben Zahlen sind ergänzende Referenz-Zahlen und haben keine technische Bedeutung.

Das Waldbank-Bild wurde mit einem Raster ergänzt. Das heißt, in sechs Kolonnen und acht Zeilen unterteilt. In der vertikalen Mitte geht quer durch das Bild der virtuelle Horizont (für Sehende als rote Linie gekennzeichnet).

Die vertikale Panorama-Ebene Mitte entspricht im vorliegenden Fall den Kolonnen drei und vier. Die Zellen in der Mitte entsprechen im vorliegenden Fall einer Breite von ungefähr 40 Zentimeter bei einem Abstand zum Gehörsehenden von etwa drei Meter in „Blickrichtung“ Waldbank (für Sehende zu Punkt 3).

Die seitlichen Zellen der Kolonnen 1, 2, 5 und 6 definieren die Panorama-Ränder. In die Panorama-Ebene Ränder werden die Rauschen-Farben rosa (obere Hälfte) und braun (untere Hälfte) eingespielt.

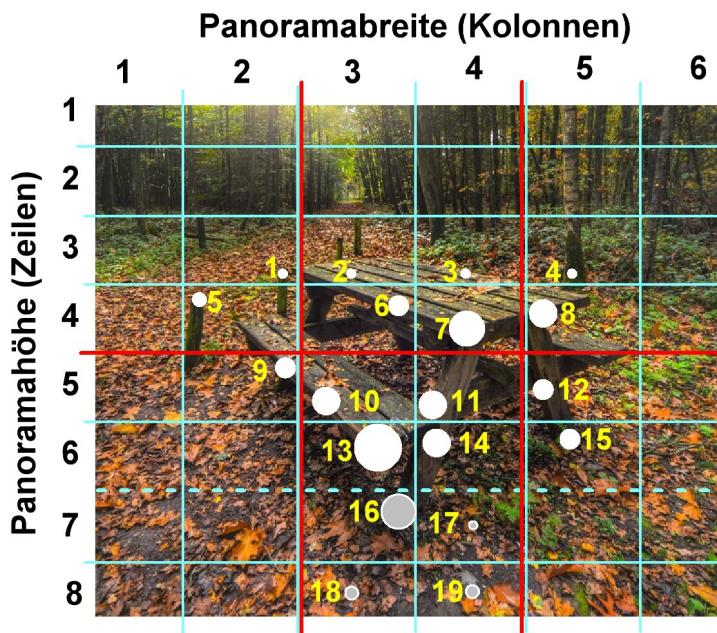
Das Waldbank-Bild ist ergänzt mit weissen Abstands-Punkten unterschiedlicher Größen. Die Waldbank-Ecke in Zeile 3, Kolone 3 hat den grössten Abstandspunkt, denn je kleiner der Abstand, desto grösser sind die weissen Abstands-Punkte.

### **6.3. Waldbank Bild mit Kolonen und Zeilen ergänzt.**

Im nachfolgenden Bild-Beispiel werden insgesamt vier Kolonnen berechnet. Pro Kolonne wird nur ein einzelner Punkt akustisch in die Panorama-Ebene übertragen. Das ist der Punkt pro Kolone mit dem kleinsten Abstand zum Betrachter. Die weissen Abstands-Punkte im Bild sind daher das was der Computer auf Grund der Ultraschall-Detektion pro Zelle feststellt.

Der Abstand wird durch Rauschen unterschiedlicher Lautstärke signalisiert. Die Lautstärke-Grade gehen von 1 für leise, weit weg oder ganz seitlich, bis 4 für laut, sehr nahe oder sogar sehr laut bei Kollisionsverdacht.

#### **a) Waldbank Bild mit Distanz-Punkten Anfang.**



#### **b) Waldbank Bild mit Distanz-Punkten Ende.**

Zeile 7 und 8 werden wegen dem Bereichs-Limit vom hinteren Bereich nicht mehr zur Rauschen-Generierung verwendet. Die Distanzpunkte in grau werden im Computer-Bild gespeichert und werden zur Objekt-Erkennung verwendet.

Auf das Bild bezogen wird folgendes in den „Kolonnen“ im 3D Surround-Panorama gehört:

Kolonne 2 (Punkt 9): Braunes-Rauschen mit Lautstärke eins.

Kolonne 3 (Punkt 13): Weisses-Rauschen mit Lautstärke vier und gesprochener Abstandsangabe.

Kolonne 4 (Punkt 7): Weisses-Rauschen mit Lautstärke drei.

Kolonne 5 (Punkt 8): Rosa-Rauschen mit Lautstärke zwei.

PS. Die virtuelle Zellen-Grösse ist distanzabhängig und wird auf Grund vom nächst-erkanntem Objekt ermittelt.

## **7. Ergänzende Benutzer-Einrichtungen und Drucktasten-Dienste.**

Die zusätzlich benötigte Hardware wird in einer Tragtasche untergebracht. Im oberen Bereich der Tasche befindet sich eine Drucktastenreihe mit sieben Taster unterschiedlicher Blinden-Markierungen und einem Drehknopf. Den Bedienelementen sind folgende Funktionen zugeordnet:

1. Drucktaste: ist ein Fotoauslöser der Kamera-Brille um Personen-Gesichter zu fotografieren und temporär abzuspeichern.
2. Drucktaste: ist eine Audio-Aufnahmetaste um die Fotografie mit dem Name der fotografierten Person zu ergänzen.
3. Drucktaste: speichert den gegenwärtigen Standort temporär ab.
4. Drucktaste: ist eine Audio-Aufnahmetaste um den Standort mit einem Hinweis zu ergänzen, das können Warnhinweise oder Irgendwas sein.
5. Drucktaste: letzte Aktion rückgängig machen durch zweimaliges drücken.
6. Drucktaste: speichert die letzten Aktionen permanent ab und es wird zugleich eine Referenz-Nummer gesprochen.
7. Drucktaste: mit drücken wird vorgelesen was die Kamera-Brille gegenwärtig an Text sieht.
8. Drehknopf um die Facettenaug-Grösse stufenlos einstellen zu können.

Alle Drucktasten sowie der Drehknopf sind mit einem zusammenhängenden Deckel vor ungewollter Betätigung geschützt.

Da der Ultra-Schall Sender relativ viel Strom zieht, werden mindestens 4 Stück 1,2 Volt aufladbare Nickel-Metallhydrid-Zellen benötigt. Diese sind ebenfalls in der Tragtasche untergebracht. Das heisst, die Hörsysteme haben keine eigenen Batterien. Der zusätzlich gewonnene Raum kann für zusätzliche Elektronik benutzt werden, zum Beispiel für die Ultra-Schall Aufbereitung. Strom- und Steuerkabel werden via Taschen-Riemen zu den Hörsysteme geführt. Hinter dem Kopf des Trägers werden die Kabel links-rechts aufgetrennt und zum Hörsystem geführt.

## **8. Das Sehen mit Facettenaugen mit vier Film-Bildern erklärt.**

Vorab, dieses Kapitel ist rein theoretischer Natur. Die nachfolgend beschriebene Facettenaugen-Technik hat vor allem im Nahbereich Vorteile. Denn die kleinen Waben-Größen ermöglichen ein detailliertes Hinsehen. Für eine Hinderniserkennung beim Gehen kann die bisher beschriebene Technik besser gegenüber der Facetten-Technik abschliessen. Falls Tests dies in der Praxis bestätigen würden, muss die Detektion-Technik stufenweise umschaltbar sein. Dem steht nichts im Weg, die beiden Techniken sind eine reine Soft-Ware Angelegenheit. Es kann auch darüber nachgedacht werden, dass sich die Detektion-Technik stufenweise selbst umstellt, nämlich abhängig von der Distanz zum Objekt und nur bei stillstehender Person, respektive unbewegtem Objekt.

### **8.1. Die Wabenstruktur und die Wabengrösse.**

Generell wird über den frontalen Detektion-Bereich eine sechseckige Waben-Struktur gelegt. Zusätzlich wird der detektierte Bereich mit einem rechteckigen Rahmen eingeschränkt. Der Rahmen überstreicht in der Höhe immer vier Waben und in der Breite immer acht Waben. Rahmen und Waben-Grösse sind abhängig vom Abstand des am nächsten detektierten Objekts, nämlich ab Augenhöhe im Winkel von zirka 22 Grad nach unten und in der Breite gleichermassen. Im vorliegenden Fall wo eine Person relativ nahe detektiert wurde, hat die einzelne Wabe einen Durchmesser von zirka sechs Zentimeter. Zwei Waben sind in diesem Fall etwa die Kopfbreite der abgebildeten Person.

### **8.2. Der bewegte Facettenauge-Bereich als Bildfolge.**

Mit vier mal gleichem Bild einer Person wird der rechteckige Rahmen von unten nach oben, daher von der Brust bis über den Kopf geschoben.

Betrachtet man die vier Bilder von unten nach oben wie Filmbilder, sieht man an den Farbpunkten in den betroffenen Waben was detektiert wurde. Entsprechend der Farbe vom Farbpunkt wird das Rauschen-Muster in die Panorama-Ebene eingespielt. Zur Erinnerung, pro Kolone wird jeweils nur ein einziges Rauschen-Muster in die Panorama-Ebene eingespielt. Das sind auf die Waben bezogen, die ja etwas versetzt zueinander stehen, maximal fünf Waben.

Überlagert man den Waben ein Infrarot-Bild und setzt dies in ein Rauschen-Muster um, können freie Sitzplätze in Bus und Bahn gefunden werden<sup>1</sup>.

---

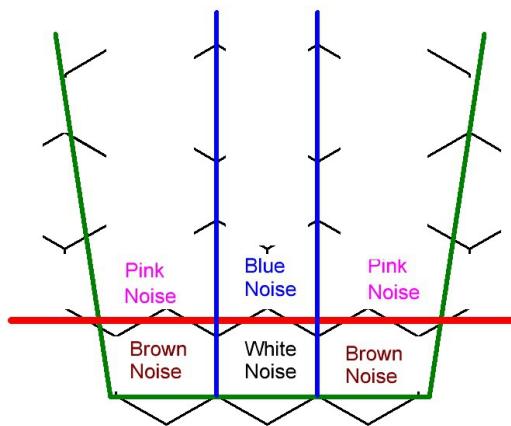
<sup>1</sup> Die Problematik für blinde Menschen vom freien Sitzplätze suchen wurde am 1.10.2018 in einem Postauto beobachtet.

### **8.3. Ausführliche Beschreibung der Bildfolge.**

Mit diesen vier Bildern wird ersichtlich warum ein bewegter Rechteck-Rahmen eine bessere Auflösung ergibt als ein stehender Rechteck-Rahmen, denn die Waben selbst sind gegeneinander versetzt. Besonders für das räumliche Sehen ist ein bewegter Ausschnitts-Rahmen zwingend. Mit gegebenenfalls wiederholtem verschieben vom virtuellen Horizont nach oben und wieder nach unten wird der Bildeindruck immer besser. Zusätzlich kann der Gehörsehende seinen Kopf etwas schwenken um die Konturen zu schärfen. Wird die Person nochmals etwas seitlich in gleicher Weise „angesehen“ sollten sich letztlich mit dem räumlichen Sehen die menschlichen Konturen im Seh-Cortex herauskristallisieren. Dies geschieht alles intuitiv und ohne weiterführende Computer-Unterstützung.

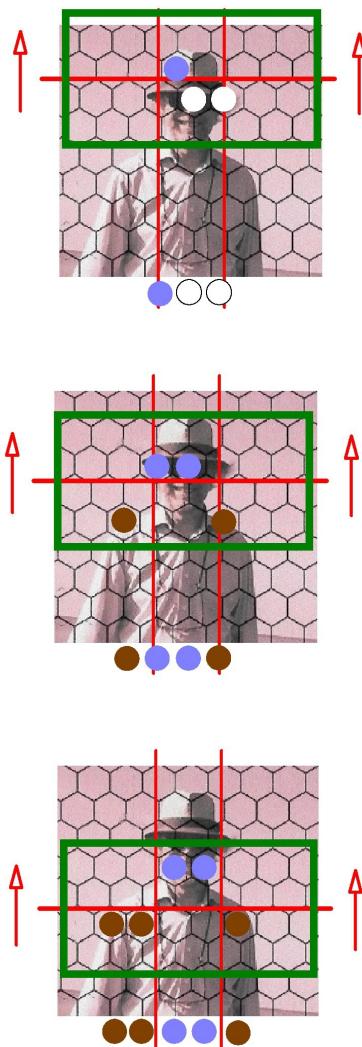
Eine noch detailliertere Beschreibung der vier Bildern zu machen würde wohl zu weit führen. Blinden Menschen müssen diese vier Bilder von einem Sehenden erklärt werden.

Die Bild-Folge enthält eine mittlere Auflösung der veränderbaren Facettenaug-Größen. Das folgende, einzelne Bild veranschaulicht das projizierte „H“, mit dem erweiterten Querstrich, hier allerdings in Form von der gröbsten Facettenaug-Einstellung.



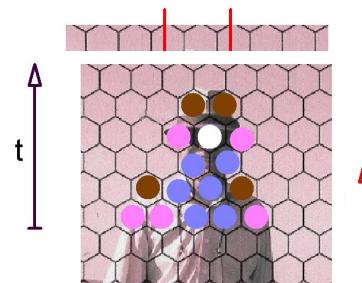
Die Ausgangslage ist, dass die abgebildete Person bereits etwas früher detektiert wurde und der Waben-Auswahl Rahmen bereits bis Achsel-Höhe angehoben wurde. Dies ist das letzte Bild der Bild-Folge. Ab diesem Bild wird der Waben-Auswahl Rahmen kontinuierlich weiter angehoben, bis letztlich auf Kopf-Höhe. Die unter den Bildern auf horizontaler Ebene wiederholten Farb-Punkte sind die Rauschen-Farben die in die Panorama-Ebene eingespielt werden. Effektiv haben diese noch unterschiedliche Lautstärken. Auf diese wurde aber hier nicht eingegangen.

**a) Bildfolge Anfang mit letztem Bild der Bild-Folge zuerst.**



**b) Bildfolge Ende mit erstem Bild der Bild-Folge.**

**c) Das folgende Bild veranschaulicht das mutmassliche Erinnerungsbild.**



Dazu ist zu vermerken, dass der „Scan“, von unten nach oben, bis zur Stille im Hörpanorama gemacht wurde.

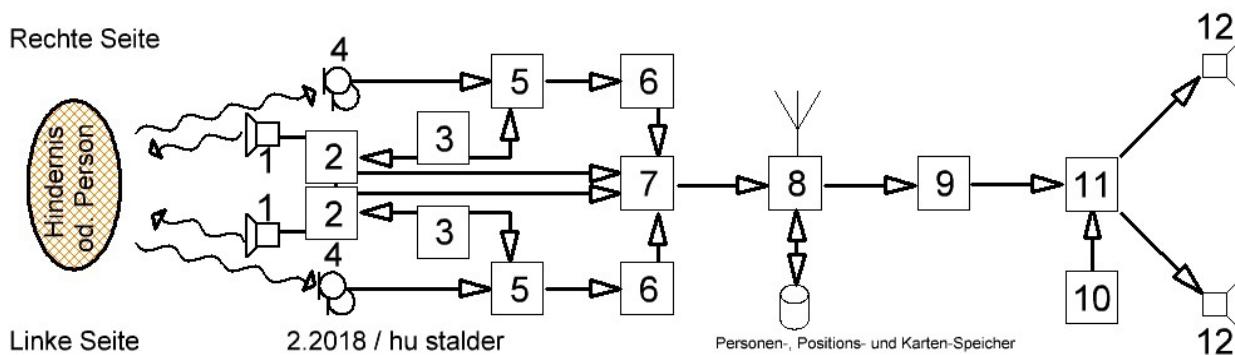
## 9. Technische Komponente in Übersicht.

Das folgende Schema ist ein Vorschlag vom Zusammenspiel elektrischer Komponente. Dort wo analoge Komponente für die linke und rechte Kopfseite eingesetzt werden, wurden diese zusammengezählt aufgelistet. Anschliessend an Punkt 9.1. vom Schema werden nach dem Bild die restlichen Komponente aufgelistet.

### 9.1. Ultra-Schall-Booster.

Zwei Ultra-Schall Booster-Lautsprecher mit elektronisch gesteuertem Schallkeule-Former, vertikal und horizontal von fest definierter Streuung. Die elektronisch geformten Schallkeulen der Booster machen den Fokus aus.

#### a) Bild technische Übersicht Anfang.



#### b) Bild technische Übersicht Ende.

### 9.2. Impuls-Generatoren.

Zwei Ultra-Schall Impuls-Generatoren mit einer Frequenz grösser als 200 Hertz.

### 9.3. Ultra-Schall und Wobbel-Generatoren.

Zwei Ultra-Schall-Generatoren und zwei Wobbel-Generatoren. Die Sinuskurven vom Wobbel-Generator links und rechts sind gegeneinander um 90 Grad verschoben. Die Ultra-Schall-Frequenz ist abhängig vom Wobbel-Generator. Die Ultra-Schall-Frequenz variiert zwischen 50 Kilo-Hertz und 70 Kilo-Hertz.

### 9.4. Ultra-Schall-Mikrophone.

Vier Ultra-Schall Mikrophone werden zusätzlich zu denn normalen Sprach- und Musik-Mikrofonen benötigt.

### 9.5. Ultra-Schall-Filter.

Zwei Ultra-Schall Filter gemäss Wobbelfrequenz.

## **9.6. Stör-Impuls-Filter und Wasserwaage.**

Zwei Störimpuls Filter und Horizontal-Fläche-Bestimmung. Die konsolidierten Informationen von den eingebauten elektronischen Neigungsmesssysteme mit den Interface RS232 bestimmen die Position vom virtuellen Horizont und dessen Neigungswinkel.

## **9.7. Komparator und Reflexions-Mustererkennung.**

Ein Komparator zwischen der rechten und linken Seite berechnet die Objekt-Position. Folglich werden die binauralen Signale einem Laufzeit-Abgleich unterworfen. Der Laufzeit-Abgleich errechnet auf Grund der Schall-Laufzeit den Abstand zum Hindernis und die Höhe ab Boden. Zudem wird eine Reflexions-Analyse gemacht zwecks Oberflächen-Material-Bestimmung. Im Weiteren werden die Reflexions-Signale bezüglich Mustererkennung analysiert und für einen Datenbank-Abgleich aufbereitet. Die Mustererkennung stellt zudem Stufen, Treppen und Abgründe fest.

## **9.8. GPS-Unterstützung und Datenbank-Interface.**

Die GPS-Unterstützung wird benötigt um die Standort-Bestimmungen vom blinden Menschen sowie vom detektierten Objekt zwecks Kollisionsberechnungen bei bewegten Objekten zu machen. Das detektierte Objekt wird bestimmt und falls dieses in der Datenbank gefunden wurde als Sprachausgabe in die abstrakte Hör-Ebene eingespielt. Optional erfolgt eine Standort-Speicherung vom Gehörsehenden selbst oder auch vom detektierten Hindernis. Die Standorte werden zusammen mit einer Sprachmeldung, vom Gehörsehenden gesprochen, in einem persönlichen Datenbank-Bereich abgespeichert.

## **9.9. Panorama-Positions-Rechner und Rauschen-Profil Festlegung.**

Ein Panorama-Positions-Rechner für den Creative Multi-Speaker Surround, auch CMss-3D Surround genannt, legt die Position in der Panorama-Ebene fest. Zeitgleich werden die Rauschen-Profile festgelegt. Ein Rauschen-Profil ist ein Rauschen aus den Rauschgeneratoren das mit einer Hüllkurve-Überlagerung zusätzliche Objekt-Informationen transportiert, zum Beispiel für ein hängendes Hindernis.

## **9.10. Rauschen-Generatoren.**

Die Rauschen-Generatoren generieren die vier Rauschen-Farben.

## **9.11. Zuordnung der Rauschen-Profile.**

Zuordnung der akustischen Informationen in die verschiedenen Ebenen.

## **9.12. Lautsprecher.**

Zwei Hörsystem-Lautsprecher sind das Interface zum Mensch. Die Lautstärke kann manuell eingestellt werden. Zudem passt sich die Lautstärke in ganz kleinen Schritten dem Umgebungslärm an.

## **10. Eingesetzte Zusatzkomponente.**

Die zusätzlich benötigte Hardware, wie GPS-Empfänger, ggf. auch abgespeicherte GPS-Strassenkarten, etc. sowie die zusätzlichen Rechner sind in der Anhängertasche untergebracht, welche man vorne trägt. Die Anhängertasche wird auf der Vorderseite für individuelle Ansagen, usw. mit einem Lautsprecher bestückt.

Mit einer Personen-Erkennungs-Brille, Internet-Anwendungen und über den I F T T T Dienstanbieter, englisch heisst dies "If this then that" ausgesprochen IFT, kann der blinde Mensch den gesprochenen Name einer gegenüberstehenden Person erfahren. Natürlich muss diese Person erkannt werden oder gemäss persönlicher Datenbank bekannt sein.

Ein Hörsystem mit Ultra-Schall Sender und Empfänger kombiniert, das heisst, fest zusammengebaut, macht das ganze System kompakter, bringt Raum für die Elektronik und zusätzliche Stabilität. In diesem Fall kann das System auch mit nur einem elektronischen Neigungsmesssystem auskommen.

## **11. Ultra-Schall oder Stereo-Kamera-Brille zur Detektion?**

Die vorliegenden Erläuterungen gehen von einer Ultra-Schall Detektion aus. Falls die Technik soweit ist, dass die Objekt-Erkennung mit einer erweiterten Stereo-Kamera-Brille vorgenommen werden kann, kann möglicherweise auf den Ultra-Schall Teil verzichtet werden. Dabei ist nicht zu vernachlässigen, dass eine Ultra-Schall Detektion auch Informationen über die Oberfläche-Beschaffenheit vom Objekt liefert. Die grundlegenden Funktionen bei Benutzung einer Stereo-Kamera-Brille bleiben ab Position 9.6. dieselben.

## **12. Projekt-Ablauf und Sicherung von Teilerfolgen.**

### **12.1. Funktionsnachweis erbringen.**

Es wird zuerst ein Funktionsnachweis bezüglich Sehen in der Panorama-Ebene erbracht. Das heisst, die Soft-Ware muss bereits funktionieren, die Hard-Ware Teile werden aber vorerst nur auf minimalisierter Basis zusammengestellt. Das heisst konkret, nur unter Verwendung von Bügel-Kopfhörer und weiteren industriell verfügbaren Komponenten. Das sind im Weiteren herkömmliche Ultra-Schall-Sender, ein handelsüblicher Laptop und ein einziges elektronisches Neigungsmesssystem das einfacheitshalber am Kopfhörer-Bügel befestigt wird.

### **12.2. Mit Feldversuchen die Alltagstauglichkeit verbessern.**

Als nächstes folgt mit blinden Gehörsehenden ein Akzeptanz-Test. Die Test-Personen sollen dabei aus verschiedenen Rauschen-Muster das ihnen Angenehmste auswählen können.

### **12.3. *Die Facettenauge-Sicht und die Sprachausgabe implementieren.***

Die Gegenstands-Detektion im Facettenauge-Modus ist software-mässig zu implementieren. Dabei ist mit Test-Personen auszuloten wie klein die Waben und der detektierte Bereich höchstens sein dürfen. Abhängig vom Test-Erfolg können Pieps-Töne als Farbindikatoren in die Waben-Position der Facettenauge-Ebene eingespielt werden. Zusammen mit Gesprochenem in der abstrakten Hör-Ebene ist das Zusammenspiel zu optimieren.

### **12.4. *Die visuelle Wahrnehmung optimieren.***

Einer der letzten Punkte ist die Weiterentwicklung vom vorliegenden Verfahren. Dieser hat zum Ziel die visuellen Wahrnehmung zu verfeinern. Dazu gehört auch die eingesetzten Programme mit erweiterten Feldversuchen zu optimieren.

### **12.5. *Übergabe vom Projekt an die Industrie.***

Der letzte Punkt ist die Übergabe vom Projekt an die Industrie. Diese muss einem Leistungsauftrag folgen und letztlich ein alltagstaugliches System auf den Markt bringen.

## **13. Warum auch ein künstlich 3D Surround-Sound funktioniert.**

Für ein räumliches Hören sind drei Haupt-Faktoren verantwortlich, immer vorausgesetzt, dass die Geräuschquelle nicht direkt vor oder hinter dem Kopf liegt.

Erstens, die Laufzeit-Unterschiede vom Schall zu den beiden Ohren.

Zweitens, die Schallpegel-Differenz an den Ohren, da der Kopf auch ein Schalldämpfer ist.

Drittens, das der Schallquelle zugewandte Ohr empfängt immer einen grösseren Anteil der hohen Frequenzen.

Fazit, ob ein Geräusch direkt von vorne oder hinten kommt, kann nur festgestellt werden wenn man den Kopf bewegt. Da ja aber nur Objekte detektiert werden, die vor dem Kopf sind, stellt sich das Gehirn automatisch darauf ein. Zu erwähnen ist noch, künstlich generierter 3D Surround-Sound hat immer auch eine Gegenseite, so wie dies beim normalen Hören auch der Fall ist. Sicherlich wird das Generieren vom 3D Surround-Sound den Entwicklern einiges abfordern.

#### **14. Entwurf für ein neues Blindensignet für Gehörsehende.**

Das neue Blindensignet im folgenden Bild steht für Gehörsehend, Hörgerät tragend und mitteilsam.

##### **a) Bild Blindensignet Anfang.**



##### **b) Bild Blindensignet Ende.**

#### **15. Rauschen-Muster als Rauschen-Folge.**

Der folgende MP3-Link demonstriert wie Rauschen-Muster klingen. Abhängig von der Art der Generierung und der Wiedergabe sind diese eher scharf oder wohlklingend. Diese hier sind mangels technischer Mittel eher scharf herausgekommen.

Klangwiedergabe der Rauschen Muster: Blau, Weiss, Rosa, Braun.

N.B. Normalerweise sind es nur kurze Rauschen-Pakete die in die Panorama-Ebene eingespielt werden.

## **16. Prototyp Hindernis-Erkennung.**

Der blinde Mensch soll mit dieser Apparatur erfahren können wie eine Hindernis-Erkennung funktioniert und wie eine Kollision verhindert werden kann.

In die vorliegende Apparatur wurden viele Arbeitsstunden investiert, dagegen aber nicht einmal 200 Schweizerfranken Material verbaut.

Dieser Prototyp entspricht der Grundfunktion "Hinderniserkennung" wie im Konzept-Vorschlag für eine Voll-Version beschrieben. Hauptzweck von diesem Prototyp ist es ein Gefühl für die Hinderniserkennung zu erhalten. Die dazu verwendete Technik basiert auf einem Infrarot-Sender als Hindernis. Das Hinderniserkennungs-Prinzip ist aber dasselbe wie bei der Voll-Version mit Ultra-Schall.

Die wichtigsten Abweichungen gegenüber der Voll-Version hier nochmals als Zusammenfassung:

- der Prototyp funktioniert nur als Hinderniserkennung;
- die Detektion-Technik basiert auf Infrarot und nicht auf Ultra-Schall;
- es werden nur präparierte Hindernisse erkannt;
- individuelle Hör-Eigenschaften verzehren den Surround-Sound, da keine individuelle Balance-Einstellung vorgenommen wurde;
- im Hörpanorama wird nur ein einzelner Rauschen-Kanal unterstützt;
- die Rauschen-Lautstärke pro Rauschen-Muster ist konstant und gibt keinen Aufschluss über die Distanz zum Hindernis;
- mit Ultra-Schall entscheidet der Computer welche Reflexionen in ein akustisches Signal umgewandelt werden, das heisst, es werden alle Reflexionen in einem ersten Schritt analysiert – so auch auf Löcher und Senkungen im Boden.

P.S. Die vorliegende Apparatur wurde im Alleingang und ohne Fremdfinanzierung entwickelt.

### **16.1. Wie funktioniert der Prototyp mit nur einer Hindernis-Erkennung.**

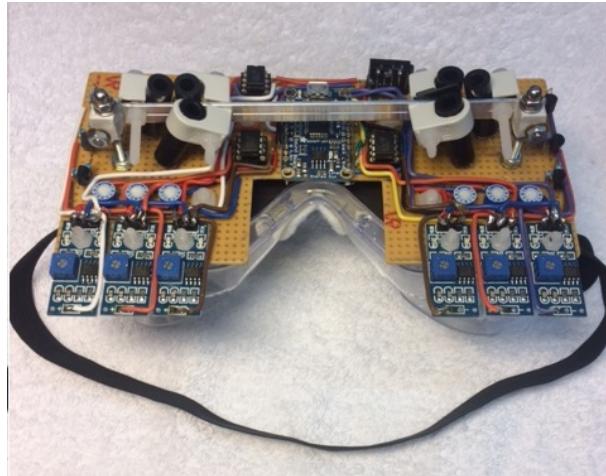
Die Test-Person erhält eine spezielle Brille und ein „Open Ear“ Stereo-Kopfhörer der die Rauschen-Muster über die Backenknochen zum Gehör leitet. Die Brille erkennt ein frontales oder ein seitliches Hindernis und setzt dieses in ein Rauschen-Muster um. Entsprechend dem Winkel zum Hindernis erklingt das Rauschen-Muster im linken oder im rechten Stereo-Kanal oder eben in der Mitte.

Ermöglicht wird dies durch ein künstliches Hindernis das mit einem Infrarot-Sender ausgestattet ist.

Grundsätzlich entspricht das Detektion-Prinzip dem erweiterten „H“ das auf den Boden projiziert wird. Es wird vorausgesetzt, dass dies bekannt ist.

In der Folge ist nach jedem Bild eine kurze Erklärung eingefügt.

## 16.2. Bilder: Hinderniserkennungs-Brille mit Elektronik und Zubehör



Die Hinderniserkennungs-Brille mit der ganzen Elektronik als Vorsatz.



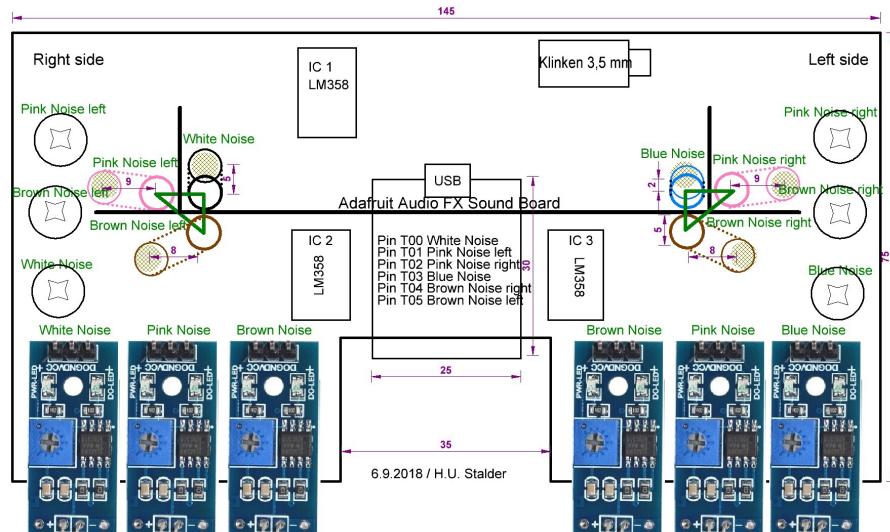
Der „Open Ear“ Kopfhörer mit den Lautsprechern die über den Backenknochen platziert werden.



Die ganze Einrichtung inklusive Zubehör in einer Weinkiste sauber verpackt.

### 16.3. Bild: Brillenvorsatz Elektroplatine Einteilung

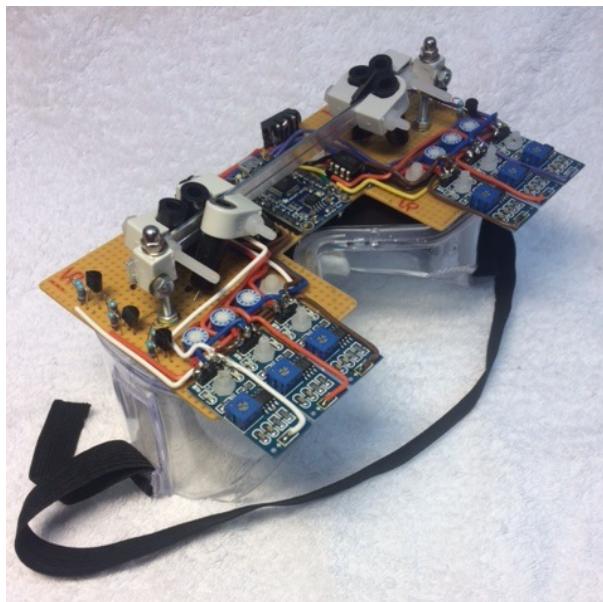
Brillen-Vorsatz mit Adafruit, IR Receiver-Dioden, etc. (Draufsicht)



Die Elektro-Platine beinhaltet zwei mal drei gerichtete Röhrchen mit den Infrarot-Dioden auf Platine-Ebene montiert. In der Mitte der Elektro-Platine befindet sich das Adafruit Audio FX Sound Board.

Das Kathode-Potential einer einzelnen Infrarot-Diode wird durch ein Spannungs-Gegenkopplungs-Verstärker mit Transistor BC547C auf den zweckentfremdeten LDR-Eingang eines Helligkeitssensor geleitet und danach mit einem halben IC LM358 für den Adafruit Audio FX invertiert und getriggert.

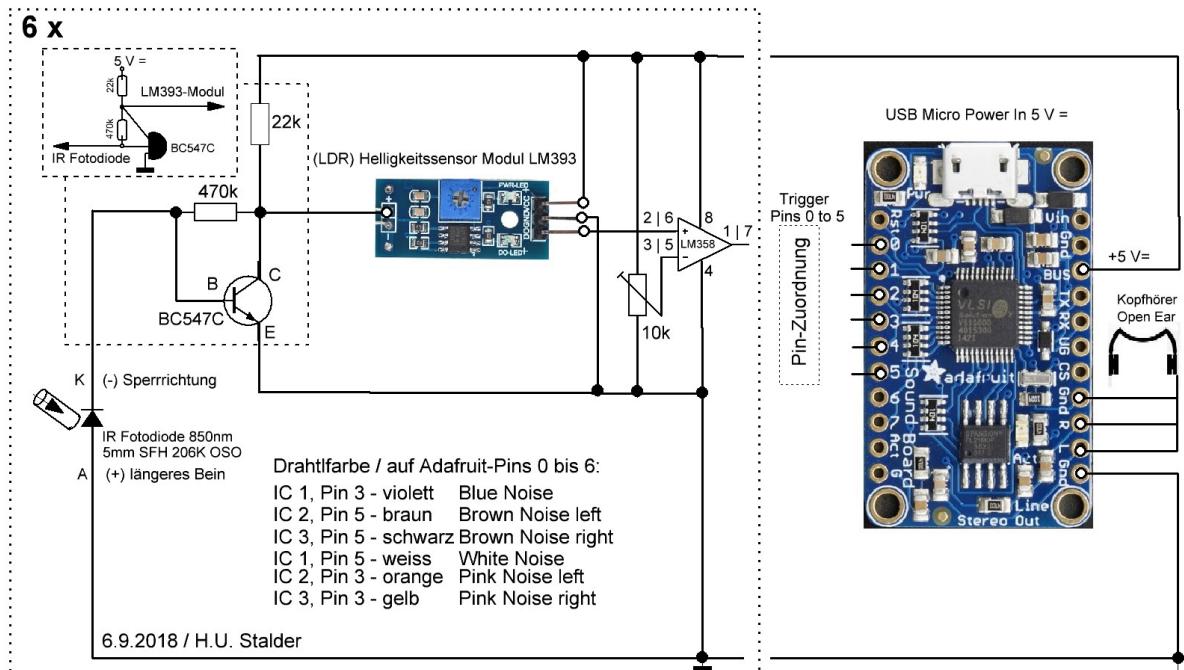
Die drei zweifach Operationsverstärker IC LM358 sind zudem mit sechs variablen Elektro-Widerständen ausgestattet (nicht aufgeführt in der Grafik). Mit diesen können die Trigger-Schwellen eingestellt werden.



Die Hinderniserkennungs-Brille, Ecke links oben beginnend: Transistoren-Vorverstärker, rechts davon schwarz die Fokus-Röhrchen, darunter die IC Elektro-Widerstände (Trimmer) und ganz unten die Helligkeitssensoren-Boards, in der Mitte die Adafruit Audio FX Sound Board, danach einer von drei ICs.

## 16.4. Bild: Elektronik-Schema Infrarot-Empfänger

Adafruit Audio FX Sound Board Verdrahtung



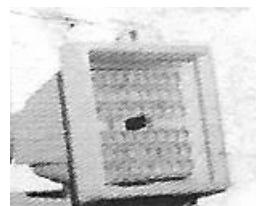
Der Kopfhörer-Ausgang funktioniert nur mit dem Verstärker-Unterstützten „Open Ear“ Kopfhörer.

Der Infrarot-Empfänger besteht aus sechs Empfängerteilen. Jedem Empfängerteil wird ein Rauschen-Muster zugeordnet das im Hörpanorama, sprich „Open Ear“-Kopfhörer, an entsprechender Stelle gehört wird.

Das Kernstück dieser Schaltung bildet eine ansteuerbare „Sound-Karte“ mit einem zusätzlichen Ein-Mega-Byte-Speicher für die Rauschen-Muster.

Hinweis: Zwischen den einzelnen Rauschen-Muster nimmt der Abstand im Hörpanorama mit zunehmendem Abstand zum Infrarot-Scheinwerfer zu.

## 16.5. Bild: Infrarot-Scheinwerfer 230V / 10W / 850nM / 60IR-LED / 80°.



Das künstliche Hindernis ist ein Infrarot-Scheinwerfer. Dieser ist stark genug um vom Detektor noch im Abstand von zirka sechs Meter erkannt zu werden. Der Infrarot-Sender selbst ist ein so genannter IR-Dioden-Cluster und kann Räume bis zu max. 15 Meter ausleuchten.

## **16.6. Surround-Sound mit Audacity generieren - eine Annäherung.**

Schritt für Schritt Anweisung – ohne Gewähr, da sich die Audacity-Version während den Arbeiten geändert hat. Die folgenden Angaben basieren auf der Audacity-Version 2.2.2 (die Angaben in [Klammern] beziehen sich auf eine ältere Version).

1. Audacity starten und das Funktionieren sicherstellen
2. Audio-Datei laden: Datei / Importieren>Audio -> zB. Noise-Pink.mp3 (Mono)  
Projektfrequenz (Hz) muss auf 44100 Hz eingestellt sein (Sample Rate)
3. Datei auf 1,5 Sekunden limitieren
4. Von Mono auf rechter / linker Kanal umstellen: Tonspur / ▼ zB. Linker Kanal
5. Erste Sicherstellung: Datei / Exportieren [16-Bit / Projektfrequenz 44100 Hz]  
Voreinstellung; Standard 170-210 Kbit/s; Stereo: zB. Noise-Pink-Surround-  
Left.WAV / Metadaten bearbeiten /  
Name: Noise Pink Surround Left Side / Genre: Noise
6. Mono auf Linker und Rechter Kanal erweitern:  
Bearbeiten / in neue Tonspur kopieren
7. Zweite Tonspur umbenennen: Tonspur / ▼ zB. Rechter Kanal
8. Kanäle zoomen: Ansicht / Einzoomen - Vergrößern  
mehrmais Ctrl + 1 drücken bis 0.001 Sekunden angezeigt wird, dazu  
zwischendurch Ctrl + [ drücken (zum Anfang gehen) oder |◀◀ drücken,  
ggf. mit Ctrl + 3 Auszoomen - Verkleinern und den Zoom-Faktor korrigieren
9. Linker Kanal auswählen: in den freien Bereich unter ▼ tippen
10. Linke Kanal-Daten um 0,0004 Sekunden vorziehen:  
Löschen 0,0004 Sek.
11. Rechter Kanal auswählen: in den freien Bereich unter ▼ tippen
12. Beim rechten Kanal die Höhen dämpfen: Effekt / Equalizer ->  
Gerade auswählen / ab 1000 Hz (0dB) bis 2000 Hz auf -6dB abfallen
13. Beim rechten Kanal die Lautstärke reduzieren:  
Effekt / Verstärken dB -2.6
14. Aus den separaten Kanälen eine Stereo-Spur generieren:  
Linker Kanal ▼ : Stereoton-Spur erstellen
15. Gesamtlänge synchronisieren: alles nach einer Sekunde löschen
16. Jetzt sollten 1 Sekunde Stereo-Tonspur sichtbar sein
17. Sicherstellung vornehmen : Datei / Exportieren - nichts mehr ändern
18. Für die Gegenseite Kanäle tauschen: Importieren / ....WAV,

Import-Methode wählen: Vor der Bearbeitung kopieren (sicherer),  
Kanal ▼ : Stereo in Mono-Spuren, 1. Kanal -> Rechter Kanal,  
2. Kanal -> Linker Kanal + ggf. die Lautstärke pro Kanal anpassen

19. Exportieren mit Name-Anpassung.

Hinweise zur Handhabung: CTRL/A ► CTRL/V danach auf eine Sekunde reduzieren + CTRL/A - Effekt / Normalisieren / Max. Amp. 0,0 dB  
(Gleichspannung und Stereokanäle ... leer lassen.)

## 17. ChatGPT Ergänzungen bezüglich Bionik Facettenauge.

### Chatverlauf

Du:

Kann eine vormenschliche DNA, z.B. das Facettenauge, sich auch in der heutigen DNA vom Menschen befinden?

ChatGPT:

Kurz gesagt: Ja – aber nicht als „fertige alte Bauteile“, sondern als umfunktionierte genetische Baupläne.

Etwas ausführlicher und sauberer erklärt:

**Keine alten Organe, aber alte Gene**

In der heutigen menschlichen DNA gibt es **keine Gene, die direkt ein Facettenauge oder andere vormenschliche Organe „codieren“**. Menschen hatten nie selbst Facettenaugen, sondern stammen von gemeinsamen Vorfahren ab, die sehr viel weiter zurückliegen.

Was es aber sehr wohl gibt, sind **extrem alte, konservierte Gene**, die schon bei sehr frühen Tieren existierten und heute **für ganz andere Dinge genutzt werden**.

**Das klassische Beispiel: das PAX6-Gen**

- **PAX6 steuert die Augenentwicklung.**
- Es kommt bei Insekten, Tintenfischen, Mäusen **und Menschen** vor.
- Das verrückte Detail:  
Setzt man das menschliche *PAX6*-Gen in eine Fruchtfliege ein, kann dort ein **Facettenauge** entstehen.

Das heisst:

**Nicht das Auge selbst ist „gespeichert“, sondern der grundlegende Entwicklungs-Schalter.**

## Evolution recycelt

Evolution arbeitet wie ein Bastler:

- Alte Gene bleiben erhalten
- Sie werden **neu kombiniert, abgewandelt oder anders reguliert**
- Die gleichen Gene können völlig unterschiedliche Strukturen hervorbringen

Deshalb gilt:

- Kein verborgenes Facettenauge im Menschen 
- Aber **genetische Werkzeuge**, die schon vor hunderten Millionen Jahren existierten

## Warum das wichtig ist

Das zeigt:

- Alle komplexen Tiere sind **genetisch tief verwandt**
- Grosse Unterschiede entstehen oft **nicht durch neue Gene**, sondern durch **neue Nutzung alter Gene**
- Entwicklung (Embryologie) ist mindestens so wichtig wie Mutationen

Wenn du willst, können wir auch über:

- „Atavismen“ (z.B. Schwanzansätze)
  - Warum Menschen keine Kiemen bekommen
  - Oder wie Embryonen evolutionäre Spuren zeigen
- sag einfach Bescheid.

Ende - ChatGPT kann Fehler machen.