

Auracast™

Chancen und Grenzen

eine kritische Analyse



t1p.de/Wissen_Hoeranlagen

Norbert L. Muth, M.A.

© Reutlingen, 6. November 2025

Inhalt

Vorwort.....	3
1 Vorteile von Auracast.....	5
2 Scheinargumente: HiFi-Stereo für Schwerhörige	6
2.1 Auracast soll HiFi für Schwerhörige zurückbringen	6
2.2 Auracast: die Stereo-Welt für Schwerhörige?	7
Fazit	9
3 alle bisherigen Hörsysteme (auch mit Bluetooth) sind nicht kompatibel	10
4 Zwei Auracast-Varianten in Hörsystemen	11
5 Die sozio-psychologischen Gruppen der Schwerhörigen	13
6 Was bedeutet Barrierefreiheit?	14
7 Fehlende Barrierefreiheit von Auracast.....	16
8 Zusätzliche Abhängigkeiten: Smartphone	17
8.1 Bedienkonzepte: Warum ein Smartphone notwendig ist	17
8.2 Weitere Bedienprobleme.....	21
9 Das Kostenproblem.....	22
10 Ist digital immer besser als analog?.....	22
10.1 Warum haben digitale Systeme eine Latenz?.....	23
11 Das Problem mit der zu hohen Latenzzeit	26
11.1 Latenz zwischen zwei unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen:	26
11.2 Die maximal verträgliche Latenzzeit für Schwerhörige	28
11.2.1 Das Zwei-Sinne-Prinzip: Mundabsehen/Mimik/Gestik/Körpersprache	28
11.2.2 Vorschriften, Normen und Untersuchungen zur Latenz.....	30
11.3 Fazit: Was bedeutet das für Schwerhörige?	35
12 Woher kommt die hohe Latenz bei Auracast?	37
13 Fehlende Sicherheitskonzepte	39
13.1 Bluetooth-Broadcasting ist kein zuverlässiges Übertragungsmedium	39
13.2 Aufwändige Sender-Arrays in größeren Bereichen	42
13.3 Probleme bei beweglichen Empfängern	44
13.4 Fake-Sender sind möglich	45
13.4.1 Der simple Fake-Sender („evil twin“-Schema).....	46
13.4.2 Der regelkonforme „subversive“ Fake-Sender	46
14 Mögliche Probleme beim Datenschutz	47
15 Fazit und Ausblick.....	48
Barrierefreiheit	52

Vorwort

Auracast ist eine Erweiterung der Bluetooth-Technologie. Es erlaubt, eine Art von Bluetooth-Rundfunk (Broadcast) zu machen, den jeder Mensch hören kann, der ein dazu technisch geeignetes Gerät wie Auracast-Lautsprecher, Kopfhörer oder auch Hörgerät bzw. Cochlea-Implantat besitzt und bedienen kann. Der Empfang einer Auracast-Sendung ist allerdings nicht so einfach wie bei einem normalen Radio, es gehört noch einiges mehr dazu. Mit dem bisherigen Bluetooth ist kein Auracast-Empfang möglich, denn es funktioniert erst mit Bluetooth-Chips ab Version 5.2 mit passender Option, Firmware und Software. Es ist das Kalkül, dass ältere Smartphones, Tablets, Notebooks, Fernseher und auch Hörsysteme etc. deshalb baldmöglichst durch neue Auracast-fähige Geräte ersetzt werden. Hörgeräte konnten bisher nach 6 Jahren - in Zukunft meist erst nach 9 Jahren - ausgetauscht werden. Tatsächlich werden Hörsysteme aber oft erst nach 10-15 Jahren ausgetauscht.

Auracast wird derzeit lautstark mit großem Marketing-Aufwand propagiert. Mit dieser Technik werde die Stummschaltung der Welt aufgehoben („unmute the world“). Gemeint ist, dass an vielen öffentlichen Orten Anzeigen, Fernseher, Beschilderungen und Reklametafeln (digital signage) nun auch mit einem Ton versehen werden können, den man über seine Kopfhörer oder Hörsysteme hören kann. Vornehmlich werden Beispiele von Flughäfen und Fitness-Center genannt. In Einkaufszentren ist eine auf die Person zugeschnittene Dauerberieselung mit Musik, Information und Werbung möglich.

Im Prinzip spricht nichts dagegen, wenn jemand eine Technik nutzt, um für sich eine bessere Hörsituation zu schaffen, also z.B. über Bluetooth telefoniert, mit einem TV-Streamer den Fernsehton besser hört, ein Roger-System benutzt oder mit Auracast seine Musik mit Freunden teilt. Das ist auch gut so. Problematisch wird es im öffentlichen Bereich, wenn die bestens eingeführte und am weitesten verbreitete barrierefreie und niederschwellige induktive Hörtechnik durch eine nicht mehr barrierefreie und latenzbehaftete Technik wie Auracast ersetzt werden soll, wenn auch nicht in kurzer Zeit.

Wie weiter unten zu sehen, liegen die Hauptprobleme von Auracast in der

- fehlenden Barrierefreiheit der Bedienung, weiteren Abhängigkeiten
- Latenz (=Zeitverzögerung). Diese erzeugt zwei Problemkreise:
 - Latenz zwischen Originalton und gehörtem Ton erzeugt typischerweise bei Hörgeräten Hall- und Echo-Effekte, die die Sprachverständlichkeit reduzieren und damit dem Sinn einer Höranlage entgegenwirkt.
 - Latenz zwischen auditiver (gehörtem Ton) und visueller (Mundbewegung/Mimik/Gestik/Körpersprache) Wahrnehmung erzeugt Probleme beim wichtigen Zwei-Sinne-Prinzip, wenn beim Mundabsehen, der gesehene Buchstabe (linguistisch genauer: Phon) nicht mehr mit dem gehörten Buchstaben übereinstimmt.
- Sicherheit der Technik, z.B. Datenschutzprobleme und Fake-Sender, sodass sie nicht in sicherheitsrelevanten Bereichen eingesetzt werden kann, z.B. Flughafen, Bahnhof, Großveranstaltungen. (Kapitel 13.4)

Die Latenz verlangt erhöhte Gehirnleistung und das bedeutet Hör-Stress. Stress aber bedeutet immer Gefahr einer gesundheitlichen Schädigung. (Kapitel 11) Bevor die Hörgeräteindustrie die latenzfreie T-Spule durch Auracast ersetzt, täte sie gut daran, erst durch medizinisch-wissenschaftliche Untersuchungen nachzuweisen, dass die lange Latenzzeit in keinem Fall zu gesundheitlichen Gefahren führen kann.

Auracast ist nicht barrierefrei und für Schwerhörige teuer, also sozial ausgrenzend.

Der beworbene Senderadius von 100m gilt nur in den USA/Kanada. Im Rest der Welt ist die zulässige Sendeleistung nur 1/10 der nordamerikanischen und somit beträgt der Sende-Radius nur rund 30m - unter guten Bedingungen. Das macht Installationen in großen Bereichen um ein Vielfaches teurer, da ganze Sender-Netzwerke installiert werden müssen – mit ungelösten technischen Problemen.

Einige sprechen vom „Potential“ und „Kinderkrankheiten“ ließen sich sicherlich durch technische Änderungen beseitigen. Laut Bluetooth-SIG ist Auracast jedoch im Markt, also nicht mehr in der Entwicklungsphase. Änderungen an Grundstrukturen sind kaum mehr möglich, wie z.B. der Schutz vor Fake-Sendern (s. Kap. 13.4).

1 Vorteile von Auracast

Auracast-fähige Smartphones, Tablets, PCs oder TVs können den Ton eines Films direkt an eine beliebige Anzahl von Kopfhörern bzw. Hörsystemen übertragen. Musik etc. kann mit Freunden geteilt werden. Auch kann jede/r Zuhörer:Zuhörer:in die Lautstärke und auch die Klangfarbe individuell einrichten. Damit Nachbarn nicht mithören können, kann der Stream auch verschlüsselt werden.

Man kann sich im öffentlichen Bereich wie auf Flughäfen, Bahnhöfen, Fitnesscentern oder Einkaufszentren auf die angebotenen Streams aufschalten, ohne andere Leute in der Umgebung zu stören oder dass sie mitbekommen, was man gerade hört. Privatsphäre ist in gewissem Rahmen also gewährleistet. Ein professioneller Power-Sender hat bei freier Sichtverbindung eine theoretische Reichweite in Europa bis zu 30m, wenn er nicht in Konkurrenz mit anderen Geräten steht, die denselben Funkfrequenz-Bereich 2,4GHz nutzen - Bluetooth-Geräte, WiFi/WLAN, Gebäude-Automatisierung u.v.a.m. (siehe Kapitel 13.1). Rein praktisch sind es maximal 25-30m¹, so wie bei Induktion auch.

Normalerweise werden diese Gerätschaften benötigt:

- Auracast-fähiger Sender (Smartphone, Tablet, PC, TV, Streamer, professioneller Transmitter, USB-Dongle etc.)
- beliebig viele Auracast-fähige Empfänger (Kopfhörer, Hörgerät/CI, Auracast-Empfangsgerät)
- und zusätzlich für jeden Empfänger ein an ihn gekoppeltes Smartphone (über bisheriges Bluetooth gepaired) mit Auracast-App, mit der das gewünschte Programm (Stream) eingestellt, ggf. Passwörter erfasst und individuelle Lautstärke/Klangfarbe etc. geregelt werden.

¹ Praktische Erfahrung eines Auracast-Vertreterers auf einer Messe und hier:
https://www.bluetooth.com/blog/answers-to-commonly-asked-questions-about-auracast-broadcast-audio/?utm_source=hearingtracker.com

2 Scheinargumente: HiFi-Stereo für Schwerhörige

2.1 Auracast soll HiFi für Schwerhörige zurückbringen

Ständig wird betont, Schwerhörige könnten durch Auracast besser hören und verstehen, denn Schwerhörige möchten in HiFi-Stereo-Qualität hören und das würde Auracast bieten. HiFi hat nach der alten Norm DIN 45500 einen Übertragungsbereich von 40-12500 Hz ± 3 dB. Bei einem Fachvortrag behauptete sogar ein Vertreter eines Hörgeräteherstellers, wegen der hohen Auracast-Qualität sei das Mundabsehen in Zukunft überflüssig. Dies entspricht allerdings nicht den Tatsachen.

Allerdings: als schwerhörig gilt erst, wer auf dem besseren Ohr einen Hörverlust von mindestens 25dB (WHO) im Sprach-Kernbereich von 500 bis 4000 Hz und gleichzeitig im Sprachtest („Freiburger“) im Störschall ein Verlust der Wortverständlichkeit von mindestens 20% besteht. Erst dann bekommt man ein Hörgerät.

Etwa 95% der Schwerhörigen haben eine Innenohrschwerhörigkeit: sie hören viele Töne zu leise bzw. erst ab einer bestimmten Lautstärke oder gar nicht mehr. Die allermeisten Schwerhörigen haben eine Hochtonschwerhörigkeit: sie haben schon unterhalb von 4000Hz einen gravierenden Hörverlust, bei den höheren Frequenzen sieht es dann meist noch schlechter aus. Deshalb begrenzen die allermeisten Hörsysteme die Übertragung auf maximal 8000Hz und oberhalb von etwa 5000Hz nimmt die Übertragungsleistung eines Hörgerätes ohnehin rapide ab. Auch Funkmikrofone wie z.B. Phonak Roger übertragen nur von 100Hz bis 7300Hz.

Ein Hören in HiFi-Qualität ist daher für Schwerhörige illusorisch. So schlimm es auch ist, keine Technik der Welt kann und wird in absehbarer Zeit geschädigte Ohren reparieren. Der limitierende Faktor ist also die Hörschädigung, nicht der technische Übertragungsweg oder das Hörsystem. Hörgeräte können den fehlerhaften Frequenzgang des geschädigten Ohres nur in den Grenzen zwischen erhöhter Hörschwelle und erniedrigter Unbehaglichkeitsschwelle ausgleichen, aber zerstörte Hörzellen nicht ersetzen. Ein CI kann lediglich bis zu 250 Frequenzen übertragen.

Es kommt im Wesentlichen darauf an, dass das Sprachsignal synchron mit den visuellen Informationen bleibt und von Störlärm aus der Umgebung freigehalten wird, indem es von der Quelle (z.B. Mikrofon oder TV-Gerät) schnellstmöglich auf einem akustisch unbeeinflussbaren Weg in die Hörsysteme übertragen wird.

Auracast ist eine Übertragungstechnik, keine Hörtechnik und schon gar nicht eine Hörkorrektur-Technik. Es kann also Hören und Verstehen nicht besser unterstützen als alle anderen bisher zur Verfügung stehenden Höranlagen-Techniken (Induktion, FM, IR, DECT, WLAN/WiFi) oder persönliche Hörunterstützung wie z.B. Funkmikrofone, TV-Streamer oder traditionelle Bluetooth-Anbindung an Telefone/MP3-Playern.

2.2 Auracast: die Stereo-Welt für Schwerhörige?

Wird von Stereo gesprochen, verstehen die meisten Leute gerade im Schwerhörigen-Umfeld das als räumliches Hören im Gegensatz zu Mono. Diese Annahme ist jedoch falsch: räumliches Hören ist **3D**, Stereo ist aber nur **1D**, Mono ist **0D**, **2D** sind Quadrophonie, 5.1 und 7.1-Systeme.

Was genau ist Stereo?

Stereo ist ein technisches Verfahren zur Übertragung akustischer Informationen mit einer Reduzierung der räumlichen Informationen auf eine Linie zwischen zwei Lautsprechern. Der 180° -Winkel zwischen vorne ganz links und ganz rechts wird zusammengeschrumpft: bei Lautsprecher-Wiedergabe im optimalen Fall auf 60° , bei Kopfhörern bzw. Hörsystemen auf 0° , also nur auf die etwa 16cm lange Linie innerhalb des Kopfes zwischen den Ohren. Sämtliche anderen räumlichen Informationen wie vorne/hinten/oben/unten oder Entfernung sind nicht mehr enthalten, nur noch links/rechts, also nur noch 1D statt 3D. Die Stereo-Mikrofontechnik beschränkt sich auf die Unterschiede zwischen links und rechts von Lautstärke (Intensitätsstereo) oder die geringen Laufzeitunterschiede (Laufzeitstereo), sehr selten von beiden (Äquivalenzstereo). Diese Rechts-Links-Informationen werden im natürlichen Schallfeld durch die physischen Abmessungen des Kopfes gebildet.

Was ist räumliches Hören?

Stereo (=1D) ist nur ein auf rechts/links zusammengeschrumpelter Anteil der räumlichen Informationen (3D). Die gesamten räumlichen Informatio-

nen (rechts/links/vorne/hinten/oben/unten und Entfernung werden vor allem durch die Form der bei jedem Menschen unterschiedlichen Ohrmuschel und Ohrkanal gebildet und durch die unterschiedliche Schallempfindung im Gehirn. Die Ohrmuschel schattet nach hinten und oben ab und reflektiert den Schall unterschiedlich.

Die Richtungs-Informationen stecken im Wesentlichen in den hohen Tönen und ihren Beziehungen zueinander, zu den mittleren und tiefen Tönen. Die Entfernungs-Informationen stecken in der Beziehung der tiefen (unterhalb 200Hz) und sehr hohen Töne zu den mittleren.

Einen physikalisch doppelten Schalldruckpegel empfindet ein Mensch noch lange nicht als doppelt so laut. Im Schnitt wird der etwa dreifache physikalische Schalldruck (10dB) als doppelt so laut empfunden, aber das schwankt erheblich von Mensch zu Mensch, von der Tonhöhe und sogar von der Art des Schalles und der subjektiven Bewertung des Schalls (z.B. Ton einer Flöte oder Babyschrei). Bei der Auswertung dieser Informationen spielt noch die Hörerfahrung eine gravierende Rolle. Auch unwillkürliche Kopfbewegungen tragen dazu bei: dreht man den Kopf nach rechts, wandert ein Geräusch, das von vorne kommt, nach links, ein Geräusch von hinten jedoch nach rechts. Senkt man den Kopf, dann wird ein von oben kommendes Geräusch leiser, von unten jedoch lauter und es wandert die Scheitellinie entlang. So lokalisieren wir ein Geräusch.

Die binaurale Aufnahmetechnik

Die binaurale Aufnahmetechnik nutzt einen Kunstkopf mit künstlichen (typisierten) Ohren und Ohrkanälen. Die Mikrofone sind anstelle des Trommelfells eingebaut. Diese Technik übernimmt in weitem Rahmen also die räumlichen Informationen aus dem natürlichen Schallfeld. Was fehlt, sind die persönlichen Ohren/Ohrkanäle und die unwillkürlichen Kopfbewegungen. Deshalb funktioniert die vorne/hinten-Lokalisation nicht immer korrekt. Diese Technik ist eine Kopfhörertechnik, zur Übertragung reicht eine HiFi-Stereo-Anlage.

Der „immersive Sound“ (3D-Sound)

Der „immersive Sound“ (3D-Sound) z.B. Dolby Atmos, erzeugt diese räumlichen Informationen künstlich über Computer-Programme im Abspielgerät. Mithilfe einer Konfigurations-Datei (HRTF-Datei) wird die Wieder-

gabe an den Raum, die Anzahl und Positionen der Lautsprecher, dem Typ eines Kopfhörers etc. berechnet, sodass im sogenannten Sweetspot optimal gehört werden kann. Es ist sogar möglich, die persönlichen Ohren, den Kopf und Oberkörper einzuscannen und daraus eine HRTF-Datei zu generieren, die dann alles auf den individuellen Menschen umrechnet. Wir haben den Test mit den Standard-Ohren und Kopfhörer gemacht: Bei der guthörenden Person hat das ziemlich gut funktioniert, bei der schwerhörigen Person mit Premium-Hörgeräten hat das absolut nicht funktioniert, da war nur noch rudimentäres rechts-links vorhanden.

Problematik Schwerhörigkeit und räumliches Hören

Die räumlichen Informationen stecken in den hohen und sehr hohen sowie den tiefen Tönen und ihrer Beziehung zu den mittleren Tönen.

Die hohen Töne können Schwerhörige meist nicht mehr (korrekt) hören und die allermeisten Hörsysteme übertragen die relevanten Töne unterhalb von 200Hz nur sehr schlecht. Ein Hörgerät muss innerhalb der verschiedenen Frequenzbereiche die Lautstärke zwischen der erhöhten Hörschwelle und der erniedrigten Unbehaglichkeitsschwelle halten (frequenzabhängige Kompression). Es ändert also die Verhältnisse der Frequenzen untereinander. Die einzelnen Frequenzbereiche werden unterschiedlich behandelt, die dazu notwendigen digitalen Prozesse dauern deshalb auch unterschiedlich lang. Rechtes und linkes Ohr haben meist unterschiedliche Hörschädigungen, es werden also auch die Unterschiede der Lautstärke und Laufzeit des Schalles rechts und links verändert und das auch noch unterschiedlich in den einzelnen Frequenzbereichen.

Das räumliche Hören wird unter anderem über Hörbilder im Hörzentrum des Gehirns abgebildet. Diese Hörbilder sind aber in den allermeisten Fällen schon abgebaut oder wurden bei Frühschwerhörigen nie aufgebaut. Räumliches Hören ist also für Schwerhörige eingeschränkt bis gar nicht mehr möglich.

Fazit

Stereo kann nur noch rudimentär zur Ausblendung von Störschall dienen, da die meisten wesentlichen räumlichen Informationen fehlen. Problematisch wird es auch bei einseitiger oder hochgradiger Schwerhörigkeit.

Allerdings ist Stereo-Empfang beim Live-Hören im Straßenverkehr extrem wichtig, weil es dort wichtig ist, ob ein Auto von links oder rechts kommt. Dafür sind die Hörerättemikrofone zuständig, also kein Fall für Auracast. Bei der Musik-Wiedergabe aus Rundfunk oder von Musik-Playern hingegen steigert Stereo den Musikgenuss, zumal die meisten Musikaufnahmen nur in Stereo sind. Auch bei Hörspielen hat Stereo seine Berechtigung. Zum Stereo-Hören gibt es auch induktive Stereo-Kopfhörer. Auracast hat dann eine Berechtigung, wenn man diese Musik/Hörspiele in einer Gruppe gleichzeitig per Kopfhörer bzw. Hörsystem hören möchte und dabei individuelle Anpassungen im Klang machen möchte.

Sprachübertragungen bei Vorträgen, Webinaren, Vorlesungen, Theatern oder Gottesdiensten etc. hingegen sind so gut wie nie in Stereo. Und auch bei Filmen kommt die Sprache fast immer aus der Mitte. Eine Stereo-Übertragung trägt hier also selten zur Verbesserung des Hörens und Verstehens bei.

Eine Betonung auf HiFi-Stereo-Übertragung im öffentlichen Raum ist also ein Scheinargument. Es ist nicht in Ordnung, wenn man schwerhörigen Menschen mithilfe des positiven Begriffes HiFi-Stereo suggeriert, Auracast könnte ihnen wieder das frühere gute Hören zurückbringen und so unerfüllbare Hoffnungen weckt.

→ ***Enttäuschte Hoffnungen sind schlimmer als Hoffungslosigkeit.***

3 alle bisherigen Hörsysteme (auch mit Bluetooth) sind nicht kompatibel

Zur Nutzung von Auracast muss der Bluetooth-Chip im Hörsystem alle diese Voraussetzungen gleichzeitig erfüllen:

- Chip-Version 5.2 oder höher
- Auracast-API
- Optionsfeature „BLE Audio“
- Firmware mit Unterstützung des Auracast-API

Zur Steuerung von Auracast ist bisher eine App auf einem Smartphone notwendig, den Auracast-Assistenten. (siehe Kapitel 8) Mit seiner Hilfe wird der gewünschte Sender und einer seiner Streams ausgewählt, bei verschlüsselten Streams das Passwort eingegeben und das Hörsystem

über Fernsteuerbefehle darauf eingestellt. Ursprünglich war das Konzept, dass das Smartphone ebenfalls Auracast-fähig sein muss. Ende Februar 2024 hat die Bluetooth-SIG Hinweise veröffentlicht, wie auch Smartphones ohne Auracast-Fähigkeit die Auracast-Hörsysteme steuern könnten. Diese neuen technischen Vorgaben wurden nicht bei allen momentan zertifizierten Auracast-Hörsystemen umgesetzt, diese benötigen auf alle Fälle eines der wenigen Auracast-fähigen Android-Smartphones mit dem Auracast-Assistenten des Smartphone-Herstellers.

<https://www.bluetooth.com/de/auracast/find-a-product/>

Die bisherigen Hörsysteme haben alle diese Voraussetzungen nicht, da sie meist noch Chip-Versionen von Bluetooth-4.2 verbaut haben. Ein Upgrade auf die Versionen ab 5.2 ist wegen Hardware-Änderungen nicht möglich und weil niemand neue Chips in Hörsysteme einlötet. Auch werden üblicherweise von den Hörsystem-Herstellern keine Firmware und Software für nicht mehr produzierte Hörsysteme bereitgestellt.

Zur direkten Nutzung von Auracast sind also komplett neue Hörsysteme notwendig. Mittlerweile haben fast alle Hörgerätekonzerne in ihren neuen (teuren) Spitzengeräten Bluetooth-Chips mit der BLE Audio-Option und Auracast-Fähigkeit. Das liegt daran, dass fast alle die Chips „von der Stange“ kaufen, die mit Auracast-Fähigkeit nur unwesentlich teurer sind. Allerdings sind von den Auracast-fähigen Hörsystemen bisher nur wenige Geräte (nebst Zweitmarken) von der Bluetooth-SIG zertifiziert, alle anderen haben keine funktionierende Unterstützung durch Firmware oder Software. Phonak hatte schon vor längerer Zeit als Alternative das selbst entwickelte Roger-System mit ähnlicher und teilweise besserer Funktionalität (z.B. nicht nur 1:n-Broadcast, sondern ein n:m-Netzwerk), nicht kompatibel, aber mit geringerer Latenz (ca. 20ms).

Merke: Da Auracast nur in den teuersten Hörsystemen funktioniert, ist das mit einer normalen oder kleinen Rente nicht finanzierbar. Auracast ist also auch sozial ausgrenzend.

4 Zwei Auracast-Varianten in Hörsystemen

Der gewünschte Sender und Stream (Programm-Kanal) wird mithilfe einer App auf dem Smartphone eingestellt. Dabei gibt es zwei unterschiedliche

Verfahren, die von der Art abhängt, wie Auracast im Hörsystem von der Hard- und Software her eingerichtet ist.

Das Suchen nach Sendern und Streams wird *Scannen* genannt. Auracast-Hörsysteme unterscheiden sich in:

- **Fremdscanner:** sie können nicht selbst scannen, das muss ein externes Gerät übernehmen, in der Regel also ein Auracast-fähiges Smartphone mit dem Auracast-Assistenten. Wenige Android Premium-Smartphones haben im Bluetooth-Menü diesen Auracast-Assistenten des Smartphone-Herstellers. (iPhones sind generell nicht Auracast-fähig).
- **Selbstscanner:** sie können auch selbst nach Sendern und Streams scannen. Immer wenn in der Fernsteuer-App des Hörsystemherstellers der Suchen-Knopf gedrückt wird, bekommt das Hörsystem den Befehl zu scannen. Die erhaltenen Daten werden in eine Datenbank im Hörsystem eingetragen und die wichtigsten Daten an das Smartphone kopiert. Dort wird dann der passende Stream ausgewählt und per Fernsteuerbefehl dann das Hörsystem darauf eingestellt.

Von welcher Variante das Hörsystem ist, steht meist weder in der Bedienungsanleitung noch im technischen Datenblatt, einen Hinweis findet man allenfalls irgendwo zwischen den Zeilen auf der Homepage des Herstellers, wenn man weiß, worauf man achten muss.

Der Grund für den Unterschied: das Scannen benötigt relativ viel Batterie-Leistung, die in Hörsystemen nicht gerade reichlich zur Verfügung steht. Deshalb wurde bei der Auracast-Entwicklung die Fremdscanner-Variante gewählt, denn ein Smartphone-Akku hat eine höhere Kapazität. Aber, als im Laufe der Zeit klar wurde, dass Apple vorerst bei Auracast nicht mitmacht und nicht jede:r Schwerhörige neben einem neuen Hörsystem auch noch ein neues Android-Smartphone kaufen will, ließ man sich die Selbstscanner-Variante einfallen. Daraus ergeben sich dann diese Fälle:

		Auracast-fähiges Hörsystem	
		Selbstscanner	Fremdscanner
Smart-phone	Auracast-fähig <u>und</u> hat scann-fähigen Auracast-Assistent (Android-Premium)	funktioniert	funktioniert, aber ggf. zusätzliche Kosten
	nicht Auracast-fähig <u>oder</u> hat keinen scann-fähigen Auracast-Assistenten (iPhone oder Standard-Android)	Fernsteuer-App des Hörsystem-Herstellers	Auracast nicht nutzbar

Das verkompliziert die Nutzbarkeit von Auracast, die Barrierefreiheit und ggf. die finanzielle Belastung der Schwerhörigen. Evtl. muss von iPhone auf Android umgestellt werden. Rentner:innen, die die abgelegten Android-Geräte von ihren Enkeln „geerbt“ haben, müssen sich ggf. von ihrer schmalen Rente ein neues Premium-Smartphone kaufen.

5 Die sozio-psychologischen Gruppen der Schwerhörigen

Etwa 20% der Bevölkerung sind schwerhörig, allerdings trägt nur ein Teil Hörsysteme. Besonders relevant ist der Lebensabschnitt, in dem sie als schwerhörig diagnostiziert wurden, nicht so sehr der Lebensabschnitt, in dem sie sich gerade befinden. Anhand dessen lassen sie sich grob typisiert in drei sozio-psychologische Gruppen einteilen. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres Selbstverständnisses, des Umgangs mit ihrer Schwerhörigkeit und ihrem Verhältnis zur Hörtechnik.

- **Gruppe 1 (Kindes/Jugendalter) (weniger als 1% der Schwerhörigen)**
Diese Gruppe hat sich schon früh mit ihrer Schwerhörigkeit abgefunden, sie gehört zu ihrer Identität und sie bekennen sich offen dazu. Sie können sich auch kaum an gutes Hören erinnern bzw. hatten es auch niemals. Technik ist für sie kein Problem, sie sind damit aufgewachsen und benutzen sie souverän. Barrierefreiheit ist für sie Inklusion und es ist ihnen sogar oft recht, wenn sie als schwerhörig auffallen. Oft fordern sie sogar, dass sich jede:r Schwerhörige offen bekennt, um das Problem Schwerhörigkeit in die öffentliche Diskussion zu bringen. Viele waren in Schwerhörigenschulen, kennen sich untereinander und sind in Schwerhörigenvereinen engagiert.
- **Gruppe 2 (aktives Berufsleben) (etwa 40% der Schwerhörigen)**
Oft tritt die Schwerhörigkeit schlagartig ein, z.B. durch Hörsturz, Unfall, Krankheit. Sie wird als Schicksalsschlag empfunden. Aber weil man in Beruf und Familie funktionieren muss, helfen Leugnen oder Vermeidungsstrategien nicht lange und man arrangiert sich mit den Hörsystemen. Aber die Hoffnung besteht, dass es irgendwann etwas gibt, das das gute Hören wieder zurückbringt. So wird jede neue Technik oft begeistert begrüßt oder sogar Hoffnungen gesetzt in sinnwidrige Dinge wie Hörpillen, Rotlicht-Bestrahlung oder neue Hörtherapien.

- **Gruppe 3** (ab Renten-nahem Alter) (**etwa 60% der Schwerhörigen**)

Im Wesentlichen sind das die altersbegleitend Schwerhörigen. Bei dieser (größten) Gruppe ist der Prozess schleichend. Schwerhörigkeit wird als Peinlichkeit empfunden. Dies wird bestärkt durch die Reklame der Hörgeräteindustrie, die immer deutlich auf die Unsichtbarkeit ihrer Hörgeräte hinweist. Schwerhörigkeit ist für sie ein weiteres Zeichen für das immer näher rückende Ende des Lebens und wird deshalb lange Zeit verleugnet. Die Schuld am Nicht-Verstehen wird auf äußere Gründe verschoben (andere nuscheln, man war in Gedanken, abgelenkt etc.). Gelingt die Verleugnung nicht mehr, dann beginnt die Vermeidungsphase, man zieht sich zurück, meidet Situationen, in denen man hören muss oder dreht sogar den Spieß um und dominiert Gespräche durch eigenes Dauerreden. Kann die Schwerhörigkeit nicht mehr geleugnet werden, dann beginnt die Trauerphase, aus der viele gar nicht mehr herauskommen und in Depressionen verfallen. Hörtechnik wird nur schwer akzeptiert. Ein Knöpfchen drücken am Hörgerät oder auf einer Fernsteuerung geht noch, aber Geräte ausleihen, mit einem Smartphone koppeln etc. ist für sie in aller Regel ein No-Go. Hörtechnik muss unsichtbar und einfach zu bedienen sein, also niederschwellig und barrierefrei.

→ Insgesamt gesehen sind etwa 80% der Schwerhörigen im Rentenalter, denn natürlich erreichen auch die Schwerhörigen aus Gruppe 1 und 2 das Rentenalter. Hinzu kommen dann auch noch weitere Probleme, die sich mit dem Alter ergeben, z.B. reduzierte Fingerfertigkeit, langsamer ablaufende Denkprozesse, Probleme mit neuen Techniken etc.

6 Was bedeutet Barrierefreiheit?

Barrierefreiheit wird in Deutschland im §4 Behindertengleichstellungsgesetz (BGG) definiert – Wortlaut auf der Rückseite, im Wesentlichen wortgleich mit den Regelungen in Österreich. Dieser Paragraph fasst die entsprechenden Regelungen der UN-Behindertenrechts-Konvention zusammen und dürfte deshalb in allen Vertragsstaaten inhaltlich ähnlich geregelt sein. Wir müssen hier deutlich unterscheiden zwischen

- **öffentlichem** Bereich wie Stadthallen, Kirchen, Universitäten, Volkshochschulen, Vortragsräumen etc.,
- **halböffentlichem** Bereich wie z.B. Schulen und Konferenz-Räumen,
- **nicht öffentlichem** Bereich wie Vereinstreffen im Vereinsheim etc.
- **privatem** Bereich.

Der §4 BGG bezieht sich auf Barrierefreiheit im öffentlichen und in gewissem Rahmen auf den halb-öffentlichen Bereich, also überall dort, wo beliebig andere oder auch bestimmte Besucher:innen ebenfalls anwesend sein können, denen gegenüber man seine Behinderungen nicht preisgeben will, weil sie z.B. schambesetzt ist oder aus einem beliebigen anderen Grund. Schwerhörigkeit ist in gewissem Rahmen schambesetzt und sie ist „versteckbar“, z.B. durch längere Haare, kleinere Hörgeräte etc. Ob man das gut findet oder nicht oder der Überzeugung ist, dass Schwerhörige in der Öffentlichkeit zu ihrer Behinderung zu stehen haben: es ist die Privatsache eines jeden Menschen und jeder Mensch hat das Recht, selbst zu entscheiden, ob und wie er sich outet oder eben sich nicht outet. Das muss bedingungslos akzeptiert werden, weil es ein Grundrecht ist: das Recht auf informationelle Selbstbestimmung und dies wird auch durch §9 DSGVO unterstützt. Schon das Ausleihen oder Tragen eines Empfangsgerätes (z.B. FM/IR/Auracast-Empfänger) stellt ein Zwangsouten dar. Die Zwickmühle Nicht-Verstehen oder Zwangsouten geht gar nicht!

§4 BGG fordert, dass die Teilnahme und Teilhabe für Menschen mit Behinderungen so zu erfolgen hat wie für jeden anderen auch, wobei behinderungsbedingte Hilfsmittel zulässig sind. Das heißt, dort, wo Guthörende keine Empfangsgeräte benötigen oder sich irgendwo an einem Gerät anmelden müssen (z.B. einer Wallbox), darf man das auch nicht von Menschen mit Behinderungen fordern. Der Zwang zur Benutzung von nicht behinderungsbedingten Geräten gar auf eigene Kosten, wie z.B. einem Smartphone, ist folglich genauso wenig zulässig wie das Verbot oder die nicht Nutzbarkeit von behinderungsbedingten Hilfsmitteln. Nicht zulässig wäre z.B. das Verbot von Blindenhund, Rollstuhl etc.. Barrierefreiheit impliziert aber auch, dass das persönliche Hilfsmittel den bestmöglichen Behinderungsausgleich bieten muss und die zur Verfügung stehenden barrierefreien Maßnahmen auch nutzen kann. Ein Rollstuhl, der keinen Rollstuhlaufzug nutzen kann, darf nicht zulässig sein, ebenso ein Hörsys-

tem ohne T-Spule, da man damit die Induktion als die einzige barrierefreie Höranlage nicht nutzen kann.

Zwiespältig ist auch eine vorherige Bedarfsanmeldung bei einer Veranstaltung, ob man eine Rollstuhlrampe oder eine Höranlage benötigt, denn auch das stellt ein Zwangssouten dar und behindert das Grundrecht auf Freizügigkeit: man kann sich nicht spontan für einen Vortrag entscheiden, so wie alle anderen es können. Rampen, Höranlagen etc. müssten dem Inklusionsgedanken zufolge eigentlich automatisch zur Verfügung stehen.

7 Fehlende Barrierefreiheit von Auracast

Auracast hat einen Digitalzwang durch die absolute Notwendigkeit eines Smartphones. (siehe Kapitel 8) Smartphones sind keine behinderungsbedingten Hilfsmittel und somit torpedieren sie die Barrierefreiheit. Wie zwei repräsentativen Studien² feststellen, nutzt mehr als die Hälfte der über 65-Jährigen **kein** Smartphone, egal aus welchem Grund, denn es gibt keine Pflicht zum Besitz, zur Nutzung oder Beherrschung eines Smartphones. Diese Verhältnisse dürften sich in den Industrieländern nur wenig unterscheiden. Damit wird aber der weitaus größte Teil der schwerhörigen Menschen von Auracast ausgeschlossen, denn der allergrößte Teil der Schwerhörigen sind die altersbegleitend Schwerhörigen, also jenseits von 60/65 Jahren (ca. 80%). Muss ein externes Auracast-Empfangsgerät genutzt werden, muss es ähnlich wie bei einer FM- oder IR-Anlage ausgeliehen werden und ist somit nach §4 BGG ebenfalls nicht barrierefrei.

Der immer wieder vorgebrachte Verweis darauf, dass die „digitalen Alphabeten“ ja irgendwann aussterben, ist zynisch gegenüber den jetzt

² Es gibt zwei Pressemeldungen der Bitkom zum Thema:

17. August 2023: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Drei-Viertel-ueber-65-Jaehrigen-nutzen-Smartphone-Handy>

Dort wird unterschieden in Smartphone und Handy, also den einfachen Geräten bzw. „Seniorenhandy“: ein Smartphone haben nur 48% der über-65-Jährigen.

3. Juni 2021: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Mehr-als-die-Haelfte-der-Ueber-65-Jaehrigen-nutzt-kein-Smartphone>

„Demnach verwenden 53 Prozent der Befragten über 65 Jahren kein solches Gerät. In der Altersgruppe zwischen 65 und 74 Jahren liegt der Anteil bei 36 Prozent, in der Gruppe über 75 Jahren mit 74 Prozent nochmals deutlich höher.“ Also: 65-74 Jahre: 36% kein Smartphone und ab 75 Jahre: 74% kein Smartphone

lebenden Menschen, die ein Anrecht auf Teilnahme und Teilhabe am gesellschaftlichen, kulturellem, religiösen und politischen Leben haben. Außerdem ändert sich das digitale Umfeld heutzutage so schnell, dass auch diejenigen, die jetzt in jüngeren Jahren sich in der digitalen Welt zurechtfinden, im Alter aber Gefahr laufen, dennoch abzuhängen.³ Auch dies dürfte in allen Industrieländern ähnlich sein. „Digitale Analphabeten“ werden mit Sicherheit nicht aussterben und auch deren Grundrechte dürfen nicht verletzt werden.

8 Zusätzliche Abhängigkeiten: Smartphone

Bisher sind Schwerhörige im Großen und Ganzen nur von ihren Hörsystemen abhängig. Mit Auracast wird aber die Teilnahme und Teilhabe am gesellschaftlichen, kulturellen, politischen und religiösen Leben nicht mehr nur vom Hörsystem, sondern darüber hinaus von einem zweiten Gerät, dem Smartphone, abhängig, mit all seinen Problemen wie z.B. Akku leer, daheim vergessen, verloren, Software-Probleme, Bedienungsfehler, Smartphone-Verbote z.B. in Schulen oder vertraulichen Konferenzen.

Die Wahrscheinlichkeit, ein Smartphone zu vergessen oder es nicht aufzuladen ist - insbesondere bei Selten-Nutzern - relativ groß.

Das Risiko, nicht hören und verstehen zu können, erhöht sich also um mehr als das Doppelte. Dies schränkt die Barrierefreiheit erheblich ein.

8.1 Bedienkonzepte: Warum ein Smartphone notwendig ist

Von Anfang an war immer klar, dass die Bedienung von BLE Audio/Auracast durch ein Smartphone nicht barrierefrei sein kann. Um sich fein aus der Affaire zu ziehen, erklärt die Bluetooth-SIG, die Nutzung des Auracast-Assistenten auf einem Smartphone sei keine Vorschrift, sondern nur eine Möglichkeit, und schiebt damit die Verantwortung auf die Konstrukteure der Hörsysteme, für eine barrierefreie Bedienbarkeit zu sorgen. Das Vorläufer-Projekt „Hearstream“ der EHIMA (European Hearing Instrument Manufacturers Association) ist allerdings genau daran gescheitert.

³ „Die Hälfte der Deutschen (51 Prozent) hat Angst, der technischen Entwicklung nicht folgen zu können.“ Auf dieser Seite ist ein link auf die Studie: <https://www.bitkom-research.de/digitale-teilhabe-2023>

Bisher sind eine Reihe von Bedienkonzepten genannt worden, aber keines hat sich bisher als praxistauglich oder barrierefrei herausgestellt. Nehmen wir hier die ziemlich naiven ersten Vorschläge heraus, die herumgegeisterten: z.B. **nur einen Auracast-Stream** im Sendebereich (100m Umkreis) erlauben oder **automatisch auf den stärksten Sender einstellen**. Beide Vorschläge sind „Rohrkrepierer“, der erste verhindert die Verbreitung des Systems, der zweite verspielt die Mehrkanal-Fähigkeit oder erleichtert Fake-Sender, denn es ist immer nur ein Stream der Stärkste im Raum, aber auch das kann sich im laufenden Betrieb ändern, z.B. durch einen extra-starken Fake-Sender. Auch verstieße es gegen das Selbstbestimmungsrecht, denn man könnte nicht selbst bestimmen, welchen Stream man hören will. Abwandlungen des Prinzips verkomplizieren das Bedienkonzept.

- a) Die **Auracast-Taste** am Hörsystem: die kleinen Hörsysteme haben keinen Platz für zusätzliche Tasten und man muss die richtige Taste ja auch ohne Hinsehen und auch mit etwas bewegungseingeschränkten Fingern finden können. Was soll ein Druck auf diese Taste bewirken: mit dem letzten bekannten oder stärksten Sender verbinden? Oder muss man damit alle Sender und Streams durchklicken? Gibt es – wie angestrebt – zahlreiche Streams, muss man ziemlich oft klicken, um den richtigen Stream zu treffen, falls er gerade einen Ton überträgt oder vielleicht eine Kurzbeschreibung zu hören ist. Im Kino muss man das Gehörte mit dem Film abgleichen, das geht bei der Eröffnungsmusik wohl kaum, da kann man nicht den richtigen Film feststellen und erst recht nicht die gewünschte Sprache. Und wie soll man mit einer einzigen Taste ein sicheres Passwort eingeben? Diese Idee führt sich selbst ad absurdum. Diese Taste gibt es dementsprechend an keinem Hörsystem, auch wenn das in irgendwelchen unqualifizierten Internetforen oder Wikis wider besseren Wissens behauptet wird.
- b) Das Hörgerät wird über eine „**Wallbox**“ ähnlich wie beim Roger-Schulsystem eingestellt, zwei Techniken werden diskutiert:
- Man muss davorstehen und durch Knopfdruck seine Hörsysteme programmieren.

- Im Vorbeigehen werden die Hörgeräte mit den Informationen zu den Streams des Raumes versorgt, man kann dann mit Durchklicken am Hörgerät den gewünschten Stream auswählen.

Im ersten Fall müssen sich Schwerhörige outen. Im zweiten Fall wird irgendetwas am behinderungsbedingten Hilfsmittel verändert, was man nicht kontrollieren kann und deshalb dazu auch keine Zustimmung gegeben haben kann. Auf alle Fälle verstoßen sie gegen das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung, vielleicht auch gegen andere rechtlichen Vorschriften wie z.B. die DSGVO (Datenschutzgrundverordnung). Außerdem wird eine Auracast-Installation nochmals erheblich verteuert, denn es müssten an jedem Eingang und in größeren Räumen mehrere solcher Wallboxen in verschiedenen Höhen für Erwachsene, Kinder/Kleinwüchsige und unterfahrbar für Rollstuhlfahrer:innen sowie bei großen Eingängen rechts und links hängen. Eine Box würde vermutlich um die 500€ plus ständiger Wartung kosten.

Im zweiten Fall der Automatik gibt es weitere Probleme:

- entweder muss man sehr nahe an der Wallbox vorbei gehen und ein Fertig-Signal abwarten: das wäre nicht barrierefrei, weil man sich dadurch outet.
- Oder die Hörsysteme werden auf Entfernung umgestellt: Die Einstellung der Hörgeräte wird dann auch ohne Zustimmung verändert. Es ist aber auch lästig, wenn man nur kurzfristig, z.B. irrtümlich den Raum betritt. Betritt man anschließend den gewünschten Raum, muss wieder der gewünschte Stream eingestellt werden. Außerdem kann es Überlagerungen mit Nachbarräumen geben.

Und wenn man zwischendurch für ein Nebengespräch das Hörsystem auf Mikrofon umgestellt hat, muss man ggf. zum Rückschalten auf Auracast während der laufenden Veranstaltung zur Wallbox gehen.

Eine Wallbox im öffentlichem Bereich verletzt auf alle Fälle das Recht auf informationelle Selbstbestimmung und den §9 DSGVO und ist auch nicht barrierefrei nach §4 Behindertengleichstellungsgesetz.

- c) Über **NFC** auf den gewünschten Stream einstellen. NFC ist die Induktionstechnik, mit der z.B. berührungslos mit Scheckkarten oder Smart-

phones gezahlt wird. Eine NFC-Antenne hat etwa 2 bis 5cm Durchmesser: zu groß für Hörsysteme. Man braucht also ein persönliches Zusatzgerät oder ein Smartphone, das man ganz nah an den gewünschten NFC-Tag hält und das dann über Bluetooth die Fernsteuerbefehle ins Hörsystem überträgt. Auch hier ergeben sich dieselben Probleme für die Barrierefreiheit wie bei einer Wallbox: Zwangsouten. Weil man dadurch sichtbar als Nutzer eines Systems für Schwerhörige wird, verstößt es gegen das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung, den §9 DSGVO und §4 BGG. Selbst wenn es auch NFC-Tags für Guthörende mit Auracast-Kopfhörer gibt, man erkennt trotzdem, wo das Lesegerät angelegt wird. Außerdem reicht schon die Vermutung auf Schwerhörigkeit zur Stigmatisierung. Und wenn man zwischendurch für ein Nebengespräch das Hörsystem auf Mikrofon umgestellt hat, muss man wieder während der laufenden Veranstaltung zum NFC-Tag laufen, um wieder auf Auracast umzustellen. NFC-Tags lassen sich ggf. austauschen oder von Hackern umprogrammieren, sodass z.B. auf einen Fake-Sender eingestellt wird. (siehe Kapitel 13.4)

- d) Man scannt mit seinem Smartphone einen **Barcode** an der Wand bzw. auf einem Infoblatt oder an Infoschaltern/Kassen etc. einen individuell generierten Barcode mit den notwendigen Parametern eines Streams. Zum Scannen ist allerdings ein Smartphone nötig. Ein Smartphone ist kein behinderungsbedingtes Hilfsmittel, die notwendige Nutzung im öffentlichen Rahmen verstößt also gegen die Grundsätze der Barrierefreiheit. (siehe Kapitel 5-7). Das Scannen eines Barcode in der Öffentlichkeit verstößt hier in diesem Fall gegen das Grundrecht auf informationelle Selbstbestimmung und §9 DSGVO, weil man dadurch sichtbar als Nutzer eines Systems für Schwerhörige wird. (Zwangsouten) Außerdem lässt sich über diesen Weg das Abonnieren eines Fake-Senders (siehe Kapitel 13.4) erheblich vereinfachen: ein Barcode an der Wand lässt sich überkleben und Infozettel können ausgetauscht werden. → Internetsuche nach „Quishing“.
- e) Der **Auracast-Assistent**: eine App auf dem Smartphone. Das Hörsystem muss über Bluetooth-LE mit dem Smartphone gekoppelt sein. Näheres siehe siehe Kapitel 4.

Je nach Programmierung könnte der Auracast-Assistent auf dem Smartphone die Informationen zum gewünschten Stream auch über NFC oder einen Barcode einlesen. (siehe oben)

Derzeit gibt es nur wenige Hörsysteme mit zertifiziertem Auracast⁴. Einige darunter sind derzeit nicht scanfähig und benötigen ein Auracast-fähiges Smartphone mit Auracast-Assistenten. Die Auracast-zertifizierten Smartphones sind preislich im High-End-Premiumsegment angesiedelt, das billigste China-Modell kostet ca. 400€.

Auch hier gilt: ein Smartphone ist kein behinderungsbedingtes Hilfsmittel, es verstößt also gegen die Grundsätze der Barrierefreiheit. (siehe Kapitel 5-7)

Wir sehen, alle Alternativen zum Auracast-Assistenten auf dem Smartphone sind entweder nicht möglich, sind unsicher, verstoßen gegen Gesetze oder verteuern bzw. verkomplizieren den Einsatz von Auracast beim Betreiber des Veranstaltungsortes. Deswegen hat sich die Hörgeräteindustrie dazu entschieden, das Smartphone als Bedienelement zu bestimmen und damit die Kosten und Probleme auf die Hörsystem-Nutzer zu verschieben, mit der lapdaren Folge: wer das nicht will oder kann, ist eben draußen, Punkt.

Insgesamt aber spricht die fehlende Barrierefreiheit bzw. das Zwangsouten nicht gegen Auracast als eine Zusatztechnik, vorausgesetzt, dass gleichzeitig eine barrierefreie Technik, das heißt im Prinzip die Induktion angeboten wird. Aber wird ein Veranstalter zwei etwa gleich teure Techniken installieren und anbieten?

8.2 Weitere Bedienprobleme

Nicht gelöst ist, wie ein Stream-Typus abonniert werden kann. Da jeder Stream individuell benannt werden kann, gibt es praktisch keine Möglichkeit, z.B. grundsätzlich immer den Durchsage- oder Notfall-Stream zu abonnieren, egal ob auf dem Bahnhof, im öffentlichen Nahverkehr oder auf dem Flughafen. Und wie soll die App z.B. wissen, ob man die Durchsagen für Ankunft oder Abfahrt benötigt? Ebenso ist nicht gelöst, wie die

⁴ <https://www.bluetooth.com/de/auracast/find-a-product/>

App überprüfen kann, ob ein Stream von einem offiziellen oder einem Fake-Sender kommt. (Kapitel 13.4)

Bisher ist keines der Probleme auch nur annähernd gelöst. Alle aktuellen Auracast-Implementierungen werden über den Auracast-Assistenten auf dem Smartphone gesteuert.

9 Das Kostenproblem

Auracast wird auch nicht billig sein, weder für die schwerhörigen Menschen noch für die Betreiber eines Veranstaltungsraumes bei Anschaffung sowie beim Betrieb. Auracast-Hörgeräte gibt es bisher nur in wenigen Premium-Geräten mit mehreren tausend Euro Aufzahlung pro Gerät, trotz Beteuerungen der Hörgeräteindustrie seit Anfang 2020, Auracast kostenfrei in allen Hörsystemen, auch den Basisgeräten, zur Verfügung zu stellen. Das ist mit einer Rente kaum finanzierbar. (zur Erinnerung: 80% der Schwerhörigen sind über 60 Jahre alt). Ein Cochlea-Implantat finanziert die Allgemeinheit über die Krankenkassen vollständig.

Ein Auracast-Sender mit geringer Reichweite von ein paar Metern für private Anwendungen (z.B. TV-Streamer) kosten um die 100-400€.

Für öffentliche Einrichtungen kann es jedoch richtig teuer werden: ein professioneller Auracast-Transmitter mit Senderadius bis zu etwa 30m kostet den Angaben nach um die 2.100€ plus MwSt. Der zugehörige Auracast-Empfänger für Leute ohne Auracast im Hörgerät kostet um die 350€ zuzüglich einer dazu passende induktive Halsringschleife von bis zu 200€. Dazu noch Ladeschalen, über die die Empfänger auch konfiguriert werden. Das sind über 8.200€ plus MwSt für nur 10 Personen, dazu kommen Installation, Wartungsvertrag und Schulungen für die Verwaltungssoftware. Ggf. sind auch mehrere Sender notwendig, die mit 15 bis 26m Abstand in 3m Höhe installiert werden sollten. (siehe Kapitel 13.2)

10 Ist digital immer besser als analog?

Digitalisierung hat in vielen Bereichen Vorteile. Das heißt aber nicht, dass es überall Vorteile bzw. keine Nachteile hat. Das gilt ganz besonders im Audio-Bereich.

Ein digitales Audio-System hat immer eine Latenzzeit (Zeitverzögerung zwischen Eingang und Ausgang), die nicht verhinderbar ist. (Kapitel 10.1)

Demgegenüber hat ein analoges Audio-System praktisch keinerlei Latenz. Eine digitale Klangbearbeitung (DSP) hat jedoch erhebliche Vorteile gegenüber einer analogen Klangbearbeitung. Aber gerade im professionellen Audibereich mit digitalen Audiogeräten wird ständig nach Lösungen für die Problematik der Latenz gesucht, gerade weil jedes Gerät unterschiedliche Latenzen hat und dies zu Synchronisationsproblemen führt. Es kommt also darauf an, wo die Digitalisierung Vorteile bietet und wo sie Nachteile mit sich bringt.

Im Umfeld von Höranlage und Hörsystemen ist das einfach beantwortbar. Wir haben hier zwei Äste: Das Hörsystem selbst und der Übertragungsweg in das Hörsystem.

Digitalisierung **im Hörgerät** bietet riesige Vorteile, z.B. frequenzabhängige Amplituden-Kompression, Rückkopplungsverhinderung, Nebengeräuschreduzierung, Frequenz-Kompression und Frequenz-Transposition, genauere Hörkurvenkorrektur u.v.a.m. Das wiegt den Nachteil der Latenz bei Weitem auf. Ein Hörgerät hat eine Latenz von etwa 7-15 ms, ein Cochlea Implantat 4-15 ms.

Eine Höranlage benötigt aber auf dem **Übertragungsweg** von der Quelle, also z.B. Mikrophon, bis zum Hörgerät keine oder nur sehr geringe Klangbearbeitung, die problemlos auch analog zu lösen ist, z.B. Trittschallfilter. Weitere Klangbearbeitung leistet der Induktionsverstärker (Kompression, Limiter) oder das Hörsystem, das dabei die individuelle Hörstörung berücksichtigt. Da hat die Digitalisierung auf dem Übertragungsweg keinen Vorteil, nur den Nachteil der Latenz. Das Signal wird zudem auf dem Weg mehrfach von einem Format ins andere konvertiert und das kostet ebenfalls Verarbeitungszeit (Latenz), verbessert aber das Signal nicht.

10.1 Warum haben digitale Systeme eine Latenz?

Bei der Digitalisierung wird das analoge Audiosignal erst in ein digitales Format gewandelt (AD-Wandler) und in einem Arbeitspuffer abgelegt. Das dauert bis zu etwa 1ms.

Wenn das Signal über eine Funkstrecke (Bluetooth bzw. WLAN/WiFi) übertragen werden soll, dann muss die Datenmenge erheblich reduziert werden, sonst wäre die Sendefrequenz nur von einem Sender blockiert,

so wie bei einem analogen Funk-Sender. Es gibt deshalb auch eine Sendezeit-Begrenzung (Duty Cycle): z.B. nur 1% der Zeit und nicht dauerhaft. Um die Datenmenge zu reduzieren, wird ein zeitaufwändiges Computer-Programm vom Typus CODEC, hier der LC3, benötigt. Erst wird ein Arbeitspuffer mit den digitalen Audiodaten gefüllt und ein Bereich von 7,5 oder 10ms abgegrenzt (Zeitfenster). Dazu kommen noch einmal 2,5ms „Look-Ahead-Buffer“ hinzu: eine Latenz von 10-12,5ms. Für Hörsysteme ist der 10+2,5 Puffer vorgesehen, also hier schon $1+10+2,5 = 13,5\text{ms}$.

Erst wenn dieser Pufferbereich gefüllt ist, kann der CODEC anfangen, zu arbeiten. Als erstes übersetzt eine Transformation das digitale Tonformat in eine Tabelle mit allen enthaltenen Frequenzen und ihre durchschnittliche Amplitude. Aus dieser Tabelle werden dann alle Frequenzen entfernt, die nicht zum beabsichtigten Zweck (Musik oder Sprache) benötigt werden, also z.B. die Geigen, wenn die Pauke donnert. Diese psychoakustische Datenreduktion betrachtet nur das Hörverhalten von Guthörenden, aber Schwerhörige hören grundsätzlich anders. Im Beispiel Pauken/ Geige würden Tieftonschwerhörige garnichts hören, die Geigen macht der CODEC weg, die Pauken die eigene Cochlea. Bei Stereo wird üblicherweise der Unterschied links-rechts ermittelt. Auracast jedoch erstellt zwei getrennte Sende-Streams. Dann wird der Unterschied zwischen dem aktuellen und dem vorherigen Zeitfenster ermittelt, das nennt sich Differenz-Frame. Würden nur Differenz-Frames gesendet, gäbe es Probleme, wenn das ein oder andere Päckchen nicht beim Empfänger angekommen ist. Und außerdem könnte man sich nicht später zuschalten. Deswegen wird von Zeit zu Zeit ein vollständiges Zeitfenster gesendet (Key-Frame), damit der Empfänger von da aus wieder frisch aufsetzen kann. Dann werden noch Fehlerkorrekturdaten generiert, die es einem Empfänger erlauben, ein paar nicht richtig empfangene Bits zu rekonstruieren. Das Ergebnis wird dann „gezippt“ und dem Sendemodul übergeben, dort durchnummeriert. Das Senden braucht ebenfalls noch Zeit. Bei Standard-Bluetooth oder WLAN/ WiFi wartet der Sender noch auf eine ok-Bestätigung vom Empfänger, was wiederum erheblich an Zeit benötigt. Auracast als Rundfunksender kann aber nicht auf eine Empfangsquittung warten, weil ihm ja die Zuhörer unbekannt sind und deswegen die Qualität der Übertragung nicht überprüft werden kann. Zum Vergleich: Wenn Sie bei einer

Autofahrt in ein Funkloch geraten, kann der Sender ja auch nicht für Sie die Verkehrsnachrichten wiederholen. Also sendet Auracast vorsorglich jedes Datenpäckchen 3-5mal, um die Wahrscheinlichkeit zu steigern, dass eines der Päckchen ordentlich angekommen und beansprucht für sich einfach bis zu fünfmal mehr der knappen Sende-Ressource als anderen Diensten gestattet ist.

Auf der Empfängerseite muss das Zeitfenster wieder neu aufgebaut werden. Weil es dennoch immer wieder passieren kann, dass der Sender nicht schnell genug Audio-Daten nachliefern kann, baut der Empfänger eine „elastische Warteschlange“ auf, also ein kleines Vorratslager der eingelaufenen Audio-Daten, um eine gleichmäßige Audiowiedergabe einigermaßen zu gewährleisten. (Wie bei einem Fließband: es gibt immer ein kleines Zwischenlager von Teilen, wenn einmal der Nachschub aus dem Lager stockt oder einen Transportschaden hat.) Wenn ein Datenpäckchen dennoch fehlt, dann gibt es eben ein paar Aussetzer oder falsche Töne, bis wieder ein neuer Key-Frame ankommt. (Das Fließband wird angehalten, bis eine korrekte Lieferung ankommt oder das Produkt wird mit Fehlern ausgeliefert.)

Je mehr Verarbeitung nötig ist bzw. je langsamer die CPU bzw. je mehr sie mit anderen Dingen (z.B. im Hörgerät mit Störschallunterdrückung) beschäftigt ist, desto höher ist die Latenzzeit.

Um die Latenz zu verringern, gibt es verschiedene Stellschrauben, allerdings verringert sich im Gegenzug die Qualität, die Zuverlässigkeit oder es geht auf Kosten der anderen bzw. des „demokratischen“ Zusammenspiels. Man kann das Zeitfenster verkleinern (geringere Übertragungsqualität), die Anzahl der Sende-Wiederholungen der Päckchen verringern (geringere Zuverlässigkeit) oder die Sendeleistung erhöhen, um schwächere Sender in der Nähe zu „übertönen“, was dann deren Übertragungszuverlässigkeit reduziert (die Macht des Stärkeren!).

Auf der Empfängerseite kann die „elastische Warteschlange“ verkürzt werden, es gibt dann häufiger Knackser und Aussetzer.

Insgesamt benötigt der Prozess bei Auracast in der für Hörsysteme vorgesehenen Qualität weit mehr als 30ms.

11 Das Problem mit der zu hohen Latenzzeit

Nach ersten Tests beträgt die Latenz einer Auracast-Übertragung ca. 34 bis etwa 80 ms für den Weg vom Eingang in den Auracast-Sender bis an die Stelle im Hörgerät, wo auch das Mikrofon oder die T-Spule ihr Signal einsteuert. Das ist der Eingang in die DSP (Digital Sound Processor) des Hörsystems, also die Einheit, die den Hörkurvenausgleich, die Störgeräusch-Unterdrückung und vieles Weitere durchführt. Die DSP benötigt für ihre Arbeit nochmals etwa 7-15ms, bis der Ton wieder am Hörgeräte-Lautsprecher zu hören ist. Mit Auracast dauert also die Latenz des Tones insgesamt ca. 40 bis 90ms. Das ist weit über den Grenzwert von 10-12ms für Schwerhörige (siehe weiter unten), die dadurch unter einem erheblich stärkeren Hörstress leiden müssen. Hat das Hörgerät weder Auracast, noch eine T-Spule, dann werden noch weitere Zusatzgeräte benötigt. Die Gesamt-Latenz erhöht sich dann um mindestens 20ms bis zu etwa 260ms.

Laufen Bild und Ton auseinander (Latenz), muss das Gehirn sie erst noch synchronisieren. Das fordert mehr Leistung des Gehirns ab, vor allem dann, wenn der Ton wie bei Schwerhörigkeit fehlerhaft ist. Das führt zu **Stress** und bewirkt Verschlechterungen in mindestens vier für Schwerhörige wichtigen Bereichen:

- Erschwerung oder Unmöglichkeit des Mundabsehens (Zwei-Sinne-Prinzip)
- Kontrolle der eigenen Sprache
- Entstehung von technisch erzeugtem Hall bzw. Echo
- Verspätete Wahrnehmung des Tonsignals

Stress aber führt zu erhöhter Pulsrate und erhöhtem Blutdruck, auf Dauer kann also eine **Gesundheitsgefahr** bestehen.

11.1 Latenz zwischen zwei unterschiedlichen Sinneswahrnehmungen:

- **Zwei-Sinne-Prinzip:** zeitliches Auseinanderklaffen der Signale von Akustik (erster Sinn) und Visuellem (zweiter Sinn: Mundbild/Mimik/Gestik/Körpersprache): das für Schwerhörige wichtige Visuelle, insbesondere **Mundabsehen** wird erschwert oder ist nicht mehr

möglich. Die beiden Sinnes-Wahrnehmungen müssen erst im Kurzzeitgedächtnis synchronisiert werden, noch bevor das „Hörpuzzle“ beginnen kann. Das Problem der Latenz beim Mundabsehen wird in der Praxis von Schwerhörigen jedoch oft als „schlechtes Mundbild“, „verwaschene Sprache“ und ähnlich wahrgenommen, aber nicht als Problem der Latenz erkannt.

Wiederholungen des Tonsignals mit einer Zeitverzögerung (Latenz):

- Bei der **Kontrolle der eigenen Sprache**: Bei eigenen Redebeiträgen und gleichzeitiger Nutzung von digitalen Übertragungssystemen hört man die eigene Stimme doppelt. Einmal beim Sprechen und dann zeitverzögert als Echo noch einmal über das Übertragungssystem. Hier kommt man leicht unwillkürlich ins Stottern und aus dem Konzept. (siehe Kap. 11.2.2.8) Das wirkt dann bei den anderen Teilnehmenden peinlich und ist deshalb diskriminierend.
- Technisch erzeugte **frühe Reflexionen, Hall bzw. Echo**⁵: das tritt auf, wenn ein akustisches Signal zu unterschiedlichen Zeiten über mehr als einen Weg ins Innenohr (Cochlea) gelangt. Bis etwa 15ms Zeitunterschied wird von frühen Reflektionen gesprochen (schon sie können den Klang verändern), danach kommen Hall bzw. Nachhall und ab etwa 40ms werden deutlich erkennbare Signale als Echo bezeichnet. Die Zeitgrenzen hängen etwas von der Art des Schalls (Musik/Sprache) und der Art der Sprache (viele kurze Plosiv-Laute oder längere Vokale) und von der momentanen Verfassung des/der Zuhörenden ab. Diese zusätzlichen Ton-Signale reduzieren die Sprachverständlichkeit (STI). Sie entstehen durch die Latenz der Höranlage und durch die Versorgungsart der Hörsysteme, die im Hörakustik-Studio zum Teil korrigierbar sind:
 - a. offene Versorgung (oft bei leicht- bis mittelgradig Schwerhörigen)
 - b. Mischstellung: Hörgeräte-Mikrofon ist auch beim Umschalten auf T-Spule oder Streaming weiterhin aktiv.

⁵ Die Zeitgrenze für Echo wurde für Guthörende bei Inland-Festnetz-Telefonaten auf 25ms festgelegt. vgl. Abschnitt Nationales Festnetz
[https://de.wikipedia.org/wiki/Verz%C3%B6gerung_\(Telekommunikation\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Verz%C3%B6gerung_(Telekommunikation))

- c. einseitige bzw. unterschiedliche Versorgung (Hörgerät und CI, stark unterschiedliche Hörkurven und dadurch unterschiedliche Verarbeitungszeit.)
→ leider kaum verhinderbar.

11.2 Die maximal verträgliche Latenzzeit für Schwerhörige

Wie lang darf die Latenzzeit dauern, damit Schwerhörige noch einigermaßen gut Mundabsehen können? Dieser Frage werden wir hier nachgehen.

11.2.1 Das Zwei-Sinne-Prinzip: Mundabsehen/Mimik/Gestik/Körpersprache

Es ist unterschiedlich wie viel oder wenig ein Mensch vom Mund absieht, oder Mimik, Gestik, Körpersprache verwertet. Guthörende sind nicht darauf angewiesen, Schwerhörige jedoch in besonderem Maße. Aber sie nutzen das Mundabsehen nicht nur zur Kontrolle, wie Dolmetscher:innen (siehe weiter unten), sondern auch dazu, dass sie

- Störgeräusche von Buchstaben unterscheiden (Phon-Detektion),
- Entscheiden, welcher Buchstaben es ist (Phon-Distinktion),
- nicht gehörte Buchstaben ergänzen (Phonem-Supplementation).

Dies nennt sich auch das „Hörpuzzle“. Bei Schwerhörigen ist die akustische Wahrnehmung nicht mehr zuverlässig: manche Laute werden gar nicht gehört, manche unterschiedlichen Laute klingen gleich oder sehr ähnlich, manche Störgeräusche klingen wie Laute, manche Laute wie Störgeräusche. Schwerhörige sind deshalb darauf angewiesen, ihre unzuverlässige akustische Wahrnehmung mit visuellen Informationen zu ergänzen und zu korrigieren. Beim Sprechen werden Mund, Lippen, Backen, Unterkiefer je nach gesprochenem Laut ganz typisch bewegt. Eine Reihe von Lauten ist gut erkennbar, es heißt 30%, weitere Laute bilden erkennbare Gruppen (z.B. p und b). Technisch ist es sogar möglich, die Muskelimpulse in Sprache um zu setzen.⁶ Mimik und Gestik geben weitere Hinweise, wie das Gesprochene gemeint ist: sachlich, ironisch, verachtend etc.: eine Grimasse, eine Handbewegung, eine Körperhaltung.

⁶ https://www.wdrmaus.de/filme/sachgeschichten/lautlos_telefonieren.php5

Akustische und visuelle Informationen werden als erstes im Kurzzeitgedächtnis gespeichert, danach werden sie vom Gehirn analysiert und interpretiert, d.h. letztendlich versucht, deren Sinn zu verstehen.

Enthält das Akustische auch Hall, Echo und Störgeräusche, dann muss dieses erst noch bereinigt werden. Guthörende haben dazu eine gesicherte zweite Information: alle Geräusche enthalten auch noch Zusatzinformationen: die räumliche Information, d.h. die Richtung und Entfernung, aus der sie kommen. Bei Schwerhörigen ist diese zweite Information unzuverlässig oder gar nicht mehr vorhanden. Sie sind also zum Aussondern von Störlärm (*Phon-Detektion*) auf eine andere Quelle angewiesen: vor allem Mundabsehen, aber auch Mimik, Gestik, Körpersprache.

Mithilfe des Mundabsehens werden dann auch ähnlich oder gleich klingende Laute unterschieden (*Phon-Distinktion*) oder fehlende Laute ergänzt (*Phonem-Supplementation*)

Klaffen aber Akustik und Visuelles zeitlich auseinander (Latenz), so müssen erst beide Informationen synchronisiert werden: anhand bestimmter „Marker“ gemacht, die im Visuellen und Akustischen übereinstimmen.

Schritt 1: Gehört wurde z.B. ein „A“. Da die akustischen Informationen unzuverlässig sind, so könnte das Gehörte z.B. ein „E“ gewesen sein.

Schritt 2: Nun wird innerhalb eines bestimmten zeitlichen Bereiches im Visuellen (Mundbewegung) ebenfalls ein „A“ gesucht und dann versucht, von da aus die nächsten Laute und Mundbilder in Übereinstimmung zu bekommen. Hierbei wird z.B. auch die Dauer eines Lautes relevant.

Problem: Beim Abrastern des Visuellen nach dem gesuchten „A“ kann der „McGurk“-Effekt⁷ eintreten: stimmen Mundbild und akustische Information nicht überein, versucht das Gehirn einen Mittelweg zu finden und „erfindet“ einen Buchstaben, der irgendwie dazwischen liegt (Interpolation). So könnte also vermeintlich ein passender dritter Buchstaben festgestellt und als Marker festgehalten werden.

Folgeschritte: nun wird versucht, von dem vermeintlichen Marker aus alle Folgebuchstaben überein zu bekommen. Auch hier kann wieder der McGurk-Effekt eintreten: auch wenn akustisch der richtige Buchstabe

⁷ vgl.: <https://de.wikipedia.org/wiki/McGurk-Effekt>) oder auf Youtube.

gehört wurde, aber der gesehene Buchstabe ein anderer ist, wird ein dritter (falscher) Buchstabe verstanden.

Man kann Glück haben oder irgendwann im Prozess wird erkannt, dass nichts mehr zusammenpasst. Dann wird das Ganze mit der Suche nach einem Marker wieder von Vorne beginnen. Je mehr aber Akustik und Visuelles auseinanderklaffen und desto unzuverlässiger das Gehörte ist, umso aufwändiger und ungenauer wird der Prozess und umso länger dauert er. Dauert der Synchronisationsprozess zu lange ist die zur Verfügung stehende Zeit verstrichen: Timeout. Ab einem gewissen Punkt gelingt die Synchronisation zwischen Sehen und Hören überhaupt nicht mehr. Ein Kipp-Punkt wird erreicht. Das Mundabsehen kann dann sogar kontraproduktiv werden. Allgemein geht man davon aus, dass dies spätestens bei etwa **40-50ms** Latenz der Fall ist. Der Teil der Rede fällt dann aus.

In jedem Fall führt die Latenz-Situation zum Hörstress. Hörstress aber reduziert die Leistungsfähigkeit des Gehirns und führt zur Ermüdung. Das aber erhöht wiederum den Hörstress und reduziert die Leistungsfähigkeit: ein Teufelskreis. Letztendliche Folge: Situationsvermeidung.

Stress aber bedeutet: erhöhte Pulsrate, Blutdruckerhöhung und weitere physische und psychische Reaktionen, die zum Gesundheitsrisiko werden.

11.2.2 Vorschriften, Normen und Untersuchungen zur Latenz

Vorweg müssen die Rahmenbedingungen für hörakustische Versuche erläutert werden:

Praktisch alle hörakustische Versuche werden mit Guthörenden gemacht. Das liegt u.a. daran, dass Schwerhörigkeit so unterschiedlich ist, dass sie sich nicht normieren lässt, um reproduzierbare Ergebnisse zu bekommen. Guthörende sind nicht auf das Zwei-Sinne-Prinzip angewiesen, also z.B. visuelle Informationen wie Mundbild, Mimik, Gestik. Das für Schwerhörige wichtige Mundabsehen bleibt bei den meisten hörakustischen Untersuchungen außer Betracht. Meist ist auch der Stresslevel nicht Gegenstand der Untersuchungen: für die Frage, ab wann ein bestimmtes akustisches Phänomen (Ton) erkannt wird, ist es irrelevant, wie sehr sich die Probanden anstrengen müssen. Niemand fragt, wie sehr der „Freiburger Sprachtest“ bei der Hörgeräteanpassung anstrengt. Die oft wenigen Probanden rekrutieren sich meist aus den Reihen der Mitarbeitenden des jeweiligen Aku-

stik-Instituts, also meist „Ohren-Menschen“, die schon oft an ähnlichen Test teilgenommen haben. Das ist auch nicht grundsätzlich anders als bei den meisten wissenschaftlichen Untersuchungen anderer Disziplinen, die sich um Strukturen im menschlichen Bereich kümmern, wie z.B. Medizin, Psychologie, Soziologie, Gehirnforschung etc.

11.2.2.1 Die Dauer eines Lautes:

Ein erster Hinweis: ein gesprochener Laut dauert zwischen etwa 37ms (kurzes „i“) und 214ms (sehr langes „a“).⁸

Diese Zeiten sind relevant für das Synchronisieren zwischen Akustik und Visuellem. Da könnte es beim Satz „Ich bin Fritz“ schon bei Latenzen von 34-40ms zu Synchronisationsproblemen kommen.

11.2.2.2 ITU-R BT.1359 Richtlinie von 1998

Sie geht von früheren subjektiven Untersuchungen aus und definiert Grenzwerte, ab wann bei TV-Übertragungen ein Bild/Ton-Versatz (Latenz) den Betrachtern auffällt und ab wann sie nicht mehr akzeptiert wird:

	Ton vor Bild	Ton nach Bild (hier relevant)
Latenz fällt auf	45ms	125ms
Latenz wird nicht mehr akzeptiert	90ms	185ms

Es ging hier nicht um ein direktes Sehen „life vor Ort“, sondern um eine TV-Übertragung aus einer Zeit, in der pro Sekunde 25 Bilder hintereinander jeweils zur Hälfte übertragen werden konnten (technisch: 50i), d.h. ein komplettes Bild wurde für 40ms gezeigt, also ein sehr grobes Raster. Mundabsehen oder Stress war bei diesen Untersuchungen offensichtlich kein Thema. Vermutlich waren die Probanden Guthörende, die gar nicht auf das Mundabsehen abgewiesen waren und es auch nicht tun.

11.2.2.3 EBU Technical Recommendation R37 – 2007⁹

Ton vor Bild: ≤40ms	Ton nach Bild (hier relevant): ≤60ms
---------------------	--------------------------------------

11.2.2.4 Institut für Rundfunktechnik München:

Zu dieser oben genannten Aufstellung in der ITU-Richtlinie sagt dann auch das Institut für Rundfunktechnik München:

⁸ <https://de.wikipedia.org/wiki/Lautdauer>

⁹ European Broadcasting Union, Genf: <https://tech.ebu.ch/publications/r037>, 2007

„Weiterhin ist zu beachten, dass nicht die Grenze, ab wann ein Betrachter den Bild/Ton-Versatz bewusst erkennt, für die Definition einer Toleranzgrenze herangezogen werden kann, sondern dass schon viel früher ein gewisses „Unwohlsein“ beim Betrachter entsteht, ohne dass ihm die Ursache bewusst wird; der Genuss des Programms ist jedoch dennoch eingeschränkt.“¹⁰

→ „Unwohlsein“ ist allgemein bekannt als ein Stressfaktor. Stress aber reduziert die Kapazität für das Hörpuzzle, im Endeffekt also die Sprachverständlichkeit.

11.2.2.5 ITU-R BR.265

Empfehlung für Filme mit 24fps: 22ms maximale Latenz

11.2.2.6 Dolmetschende:

Mit Guthörenden gab es wissenschaftliche Untersuchungen u.a. zur Latenz zwischen Bild (Mundbewegung/Mimik/Gestik/Körpersprache) und Ton, nämlich im Bereich von Dolmetschenden. Einen sehr guten Anhaltspunkt geben die Normen und Vorschriften für Dolmetscher:innen, denn diese sind ebenfalls auf das Mundabsehen/Mimik/Gestik/Körpersprache angewiesen, um im Zweifelsfall das richtige Wort zu verstehen. Die ISO-Normen für Dolmetschende:

- + Abwechseln nach 15-20min mit dem/der Partner:in
- + Kabinen müssen schallisoliert und klimatisiert sein.
- + Die Sichtverbindung zum Sprecher muss direkt und klar sein.
- + Die Audioqualität muss sehr hoch sein. Frequenzgang von mindestens 125-15000Hz \pm 3dB, Geräuschabstand >95dB und Klirrfaktor unter 1%. (Anm. ein „tz“ geht bis zu 14.000Hz) Selbstredend muss die Übertragung Echo-frei sein. Diese Qualität erreicht kein Hörsystem und die Ohren von Schwerhörigen ohnehin nicht mehr.
- + Die Latenz über die gesamte Audiostrecke darf laut ISO-Norm 20108 maximal **45ms** sein (Forderung der Dolmetscher waren **12ms**). Die EU-Kommission schreibt sogar nur **10ms** vor.¹¹

¹⁰ Richtlinien, Erläuterungen zum Bild/Ton-Versatz vom August 2009 (herausgegeben von Institut für Rundfunktechnik München) Kapitel 2.4 Seite 6

¹¹ https://commission.europa.eu/document/download/c69953e1-5630-4f67-8d4e-8b0ddb55baf8_en?filename=technical-specifications-for-portable-interpreting-equipment-2018_en.pdf&prefLang=de

Darüberhinaus können sich Dolmetschende

- + auf den Vortrag vorbereiten, sie erhalten oft Redemanuskripte und Fachwörterlisten.
- + Und sie kommen zum Vortrag nicht des Vortrags willen, sondern nur um ihn zu dolmetschen. Sie sind darauf trainiert, das Gehörte in ihrem Ultrakurzzeitgedächtnis zu speichern, um Gehirnleistung zu sparen.

Der Grund für diese Begrenzung der Latenz auf 12ms: Wissenschaftliche Versuche haben die Gehirnleistung, Stresslevel und andere Faktoren bei verschiedenen Latenzzeiten zwischen visueller Wahrnehmung (Mundbild/Mimik/Gestik/Körpersprache) und auditiver Wahrnehmung (gehörter Ton) und weiteren Parametern gemessen. Man konnte feststellen, dass die Gehirnleistung und der Stresslevel spätestens nach 12ms Latenz stark ansteigen. Also forderte man diese 12ms als Grenzwert für die Latenz, die EU-Kommission legte sie schon auf 10ms fest.

Aber es gibt Unterschiede zwischen Dolmetschenden und Schwerhörigen zu Ungunsten der Schwerhörigen:

- Schwerhörige können sich nicht nach 15/20min austauschen lassen.
- Sie sitzen nicht in Störlärm-geschützten und klimatisierten Kabinen.
- Sie hören nicht hochqualitativ, weil ihre Ohren geschädigt sind.
- Sie bekommen keine Skripte und Fachwörterlisten.
- Sie wollen den Inhalt des Vortrages verstehen und sich merken.

Das heißt, die Hör-Anforderungen für Schwerhörige sind mindestens ähnlich hoch wie bei Dolmetschenden.

11.2.2.7 Hörgerätetechnik

Bei einem DAGA-Vortrag eines Experten, der bei einem Hörsystem-Konzern und an der Universität Darmstadt gearbeitet hat, fand sich diese Feststellung: „Die notwendige Begrenzung der Latenz auf unter 10ms führt u.a. zu Begrenzungen der erreichbaren Frequenzselektivität.“¹²

Da alle Hörsysteme heutzutage digital sind, haben sie eine Latenz. Hier wird sogar festgestellt, dass das reine Hörgerät notwendigerweise auf unter 10ms Latenz begrenzt werden muss, d.h. die Latenz zwischen Hörgerätemikrofon und Hörgeräte-Lautsprecher. Wenn aber schon das

¹² DAGA-Vortrag 2017 von Jens Puder (Hörgerätekonzern Sivantos und Uni Darmstadt)

Hörgerät selbst in der Latenz auf 10ms begrenzt werden muss, bleibt praktisch ja keine Latenz mehr für eine Höranlage übrig.

11.2.2.8 Eigene Sprachkontrolle

Aus der Musikbranche ist bekannt, dass Musiker aus dem Takt geraten, wenn das InEar-Monitoring eine Latenz von mehr als 5-10ms hat. Das ist wichtig bei Studio-Aufnahmen, weil dort die Musiker in getrennte Aufnahmeräume platziert werden. Die Musiker hören sich dann gegenseitig über das InEar-Monitoring. Quellen finden sich im Internet zuhauf.

Ähnliches bestätigt auch das Institut für Rundfunktechnik für Sprache:

„Neben diesen Effekten, die der Zuschauer wahrnimmt, sind Signallaufzeiten auch für den Kommentator problematisch. Nimmt z. B. ein Kommentator seine eigene Stimme um mehr als 10 ms verzögert auf dem Kopfhörer wahr, kann er dadurch irritiert werden.“¹³

Wenn selbst professionelle Sprecher irritiert werden können, dann gilt dieses für Normal-Menschen erst recht und für Schwerhörige in besonderem Maße. Bei Publikumsfragen oder eigene Redebeiträge kommt man leicht unwillkürlich ins Stottern und aus dem Konzept. Das wirkt bei anderen Teilnehmern peinlich und ist deshalb diskriminierend.

11.2.2.9 Hall und Echo

Sie treten auf, wenn man beides, den Originalton und etwas später den verzögerten Ton über die Höranlage hören kann, sie sich also überlagern. Das wirkt wie Hall und Echo, führt ggf. zu Kammfiltereffekten und reduziert auf alle Fälle die Sprachverständlichkeit (STI=Sprach Transfer Index): Verursacht wird dies auch durch falsche Hörgeräte-Versorgung bzw. Hörsystem-Einstellungen:

- **einseitige** Hörgeräteversorgung (ein noch guthörendes Ohr, eines mit Hörgerät versorgt.)
- **unterschiedliche Latenzen** der Hörsystemversorgung: z.B.: Hörgerät und CI, sehr unterschiedliche Hörkurven rechts/links
- **offene Versorgung** (heutzutage eher der Regelfall)

¹³ Richtlinien, Erläuterungen zum Bild/Ton-Versatz vom August 2009 (herausgegeben von Institut für Rundfunktechnik München), Kapitel 4.5.10 "Konferenzschaltung" / n-1-Signal Seite 20

- **Mischeinstellung** des Hörgerätes: die Hörgerätemikrofone bleiben ständig eingeschaltet, auch wenn auf T-Spule oder Streaming umgeschaltet wird. (heutzutage meist Standardeinstellung der Hörsysteme)

Die Verfolgung der Signalwege hat ergeben, dass das Tonsignal bis zu sechs Wege in das Innenohr auf einer Seite nehmen kann, und das jeweils mit unterschiedlichen Latenzzeiten. Bei zwei Ohren sind das bis zwölf Wege und Latenzen. Damit wird der eigentliche Zweck einer Höranlage zumindest zum Teil zunichte gemacht.

11.3 Fazit: Was bedeutet das für Schwerhörige?

Latenz bedeutet Hörstress und Probleme beim wichtigen Zwei-Sinne-Prinzip (Mundabsehen/Mimik/Gestik/Körpersprache) durch erhöhte Anforderung an die Gehirnleistung. Erst nach der Synchronisation kann der Verstehensprozess anlaufen, das heißt, das Buchstaben- und Wörter-Puzzle kann beginnen.

Je höher die Latenz und je geringer das Hörvermögen ist, desto aufwändiger wird die Synchronisationsleistung und umso länger braucht das Gehirn dafür.

Ab einer gewissen Latenz gelingt die Synchronisation zwischen Sehen und Hören nicht mehr. Ein Kipp-Punkt wird erreicht. Je länger Schwerhörige diesem Hörstress unterliegen, desto früher setzt dieser Kipp-Punkt ein. Das heißt, die maximal „verträgliche“ Latenzzeit verkürzt sich im Laufe des Zuhörens. Dann kommt es zum Kaskaden-Effekt: Wenn die Buchstaben nicht mehr gut genug erkannt werden, kann das Wort nicht mehr ermittelt werden, dadurch nicht mehr der Satz und ohne richtige Sätze der ganze Vortrag nicht mehr. Es beginnt sogar ein Teufelskreis:

- nicht Verstehen erhöht den Stress.
- Stress zieht Gehirnleistung ab.
- Zum Hören steht weniger Gehirnleistung zur Verfügung.
- Es wird noch weniger verstanden und das führt zu noch mehr Stress.

Das Mundabsehen wird ggf. sogar kontraproduktiv, weil die gesehenen nicht mehr mit den gehörten Buchstaben (Phon) übereinstimmen.

Schwerhörige sind in der Zwickmühle: Mundabsehen zieht wegen der Latenz zu viel Hirnleistung ab, die für das Hörpuzzle benötigt werden, aber

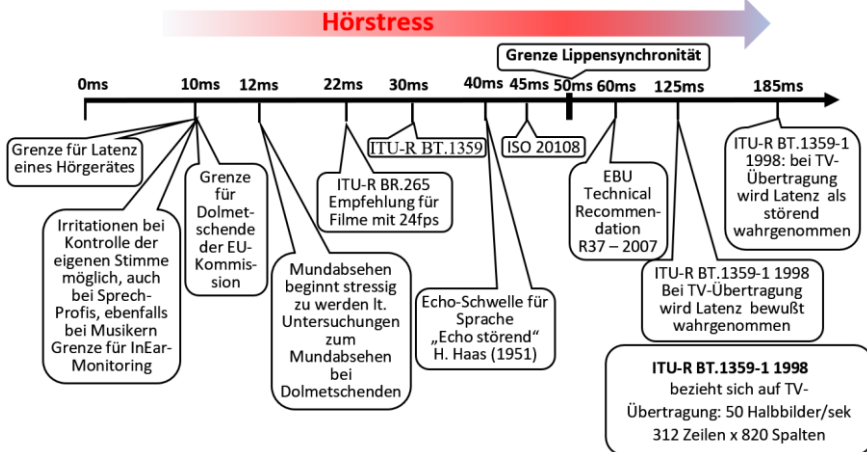
ohne die visuelle Information fehlt notwendiger Input für das Hörpuzzle, der Verstehensprozess nicht gelingt mehr. Die einzige Lösungsstrategie kann dann nur noch Rückzug aus der Situation sein.

Nun gibt es Einwände, dass Schall natürlicherweise pro Meter 3ms Latenz gegenüber dem Sehen hat, Latenz also normal und deshalb unbeachtlich sei. Es ist aber falsch, Situationen aufgrund dessen, dass sie in unserer Umwelt durchaus vorkommen, als nicht anstrengend bzw. stressfrei zu bewerten. Bergauf laufen kommt im natürlichen Leben auch vor: strengt es deshalb grundsätzlich nicht an? In der freien Natur lebende Menschen müssen sich immer wieder vor wilden Tieren in Acht nehmen: **stressfrei?**

Das Akkumodell: bei einem kurzfristigen Hörstress an einem Infopoint oder einer Kasse wird kaum bemerkt, dass sich der innere Akku etwas leert. Wenn jedoch die Hörstress-Situation bei einem Vortrag ein/zwei Stunden oder einen ganzen Tag bei einer Konferenz anhält, dann spürt man schnell, wie der Hörstress den inneren Akku belastet. Wie es aussieht, ist die technisch wie menschlich verträgliche Latenzzeit auf etwa 10-12ms begrenzt. Die wird aber schon praktisch vom Hörsystem verbraucht. Es bleibt für eine Höranlage also so gut wie keine Latenzzeit mehr übrig. Das kann nur eine analoge Höranlagentechnik leisten.

Hörstress ist aber Stress und ist gesundheitlich bedenklich.

Latenz: Ton nach Bild



12 Woher kommt die hohe Latenz bei Auracast?

Eines vorweg: In den technischen Daten werden praktisch nie die Neben-Bedingungen genannt, unter denen die angegebenen Latenz zustande kommt. Es gibt z.B. verschiedene Qualitätsstufen der Auracast-Übertragung und Mono oder Stereo, die Einfluss auf die Latenz haben. Mono auf unterster Qualitätsstufe hat die niedrigste Latenz. Hörsysteme brauchen aber die Mittlere Qualität (24k Auflösung in Mono). Stereo erhöht die Latenz, weil Auracast dafür zwei getrennte Streams erstellt und sendet.

Nach den Datenblättern und ersten Tests beträgt sie ca. 34 bis etwa 80 ms für die Gesamtübertragungszeit, je nach verwendeter Gerätekombination. Nicht getestet wurde der Fall, dass der Auracast-Transmitter zwei Streams sendet: einen SD-Stream für Hörsysteme und einen HD-Stream für Kopfhörer. Die Latenzzeit ermittelt sich aus mehreren Faktoren:

Der Analog-zu-Digitalwandler braucht unter 1ms, es folgt der LC3-Codec. Je nach gewünschter Übertragungsqualität benötigt er ein Zeitfenster von 7,5ms oder 10ms. Hinzu kommen noch die Zeit für den „Look ahead-buffer“ = 2,5ms, die Verarbeitungszeit und Sendezeit. Auf der Empfangsseite folgen dann Entpacken, Decodieren und Wiederaufbau des Zeitfensters und Synchronisieren mit dem Hörgerät am anderen Ohr. Mit der Wiedergabe des Zeitfensters kann erst begonnen werden, wenn sicher ist, dass das Nachfolgefenster am Ende auch schon bereitsteht. Das dürfte wiederum etwa die Länge des Zeitfensters dauern.

So besagen offizielle Aussagen zum LC3-Codec im Auracast-Sendeverfahren, dass man theoretisch auf fast 30ms Latenzzeit hinunter kommen könnte.¹⁴ In der Praxis also um einiges mehr als 30ms.

¹⁴ „An analysis of the Bluetooth transmission using LC3 has shown that it is possible to achieve a total system delay close to 30 ms for audio transmission in a gaming-audio setup.“ Bluetooth White Paper: Performance Characterization of the Low Complexity Communication Codec, Version vom 13.6.2013, Seite 40, https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2023/07/LC3Characterization_WP.pdf?utm_campaign=le-audio&utm_source=internal&utm_medium=blog&utm_content=a-technical-overview-of-lc3

Dann folgt mit etwa 4-15ms, die Verarbeitung durch die Hörsystem-DSP: die Hörkurvenkorrektur, Störgeräuschunterdrückung etc. und die Digital/ Analog-Wandlung bzw. bei CI die Ansteuerung der Elektrode.

Hat das Hörsystem kein Auracast, so braucht man vom Anlagenbetreiber einen Auracast-Empfänger und eine Halsringschleife, sodass man mit der T-Spule im Hörsystem induktiv hören kann. Hat man keine T-Spule, so braucht man noch von seinem Hörsystemhersteller ein Zubehörgerät mit analogem Anschluss. Wenn es das gibt, dann meist erst ab den höherpreisigeren Geräten. Diese Zubehörgeräte bringen aber eine zusätzliche Latenz von 20ms. Hat das Hörsystem das bisherige Bluetooth, so kann für Bluetooth-Classic-Hörsysteme (Phonak/AB) ein mobiler Bluetooth-Classic-Transmitter (ca. 10€) an den Auracast-Empfänger angeschlossen werden: zusätzliche Latenz ab 200ms. Alle anderen Hörsysteme haben Bluetooth-LE(MFi) und benötigen nochmals zusätzlich den Telefon-Konverter (Telefonclip) der die Latenz nochmals auf insgesamt 260ms bis zu etwa 300ms erhöht. An Kosten für die Hörsystem-Zubehörgeräte fallen ab etwa 200€ bis über 1000€ an, ohne den Auracast-Empfänger.

Hörsystem-Anbindung (Grund-Latenz Hörsystem-Logik: 4-15ms)	zusätzl.Latenz
Auracast im Hörsystem eingebaut	≈34 ms
Hörgerät mit Auracast-Empfänger und Kopfhörer (Qualitätseinbuße)	≈34 ms
CI mit Auracast-Empfänger und Kopfhörer → funktioniert fast nie	≈34 ms
Hörsystem mit eingebauter T-Spule: Auracast-Empfänger und Halsringschleife (Auracast-Empfänger muss für Halsringschleifen vorgesehen sein.)	≈34 ms
Hörsystem mit externer T-Spule: Auracast-Empfänger und Halsringschleife an T-Spule im Zusatzgerät, das sendet per Digitalfunk zum Hörsystem. (Auracast-Empfänger muss für Halsringschleifen vorgesehen sein.)	≈54 ms
Hörsystem -> Auracast-Empfänger -> Analoganschluß am Zubehör (z.B. Roger On oder GN Multi-Mic etc.)	≈54 ms
Hörsystem mit Bluetooth-Classic: Auracast-Empfänger mit Bluetooth-Classic-Transmitter	> 200 ms
Hörsystem mit Bluetooth-LE(MFi): Auracast-Empfänger mit Bluetooth-Classic-Transmitter und Telefonkonverter (TelefonClip)	> 220ms

Fazit:

Je nach Konfiguration kommen wir bei Auracast auf zusätzliche Latenzzeiten zwischen 34ms (günstigster Fall) und bis zu 300ms. Hinzu kommt noch die Latenzzeit, die die DSP des Hörsystems benötigt (3-10 oder 15ms). Warum wird dann bei Auracast von kurzer Latenz gesprochen? Das ist nur gemeint im Vergleich zum bisherigen SBC-Codec für Bluetooth-Classic, der bei etwa 200ms liegt. Aber 34ms plus bis zu 15ms sind auf alle Fälle zu viel für ein gelingendes Mundabsehen.

Es mag sein, dass Schwerhörige für eine kurze Zeit mit einer höheren Latenz als 12ms zurechtkommen, wenn sie gerade ausgeruht sind. Aber alle Erfahrung von über 20 Jahren mit Schwerhörigen haben gezeigt, dass nach etwa eine $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ -Stunde Ruhe nach einer Pause kommen oder man sich langsam zurückzieht. Es ist deshalb mehr als gerecht und sinnvoll, für Schwerhörige ebenfalls eine maximale Audio-Latenz von 10-12 ms festzulegen.

Technisch gesehen werden diese 12ms schon zum großen Teil durch die digitalen Hörgeräte mit etwa 3-10ms Latenz aufgefressen. Meist ist auch ein digitales Mischpult mit DSP verbaut, das ebenfalls 1-3ms Latenz hat. Da bleibt für die Höranlage nichts mehr übrig, sie muss also latenzfrei sein. Somit kommt nur eine analoge Anlage in Frage, z.B. die Induktion.

13 Fehlende Sicherheitskonzepte

13.1 Bluetooth-Broadcasting ist kein zuverlässiges Übertragungsmedium

Die technischen Grundlagen von Bluetooth wurden 1940 von der Schauspielerin Hedy Lamarr für die Torpedo-Steuerung erfunden, ist also eine sehr alte Technik. Das heutige Bluetooth wurde als Nahbereichsfunktechnik entwickelt und sendet im 2,4GHz-Bereich, der mit zahlreichen anderen Diensten und Geräten wie Mikrowelle, WLAN/ WiFi, Hausautomation, Fernsteuerungen, Streaming-Geräte u.v.a.m. geteilt werden muss. Er gilt als überlastet.

Die Sendeenergie wird von jedem Vorkommen von Wasser /Feuchtigkeit und von Wänden etc. geschluckt und in Wärmeenergie umgesetzt. Blue-

tooth war eigentlich als Übertragungstechnik für kurze Entfernungen von wenigen Metern konzipiert, denn da ist die Verbindungsqualität meistens ausreichend. Auracast soll aber ein „wide area network = WAN“ sein. Da entstehen dieselben Probleme wie bei jeder Funktechnik, z.B. WLAN/WiFi, also z.B. schwach oder gar nicht versorgte Bereiche. So lauten die Angaben für die Reichweite des Auracast-Streamers 100m bei freier unverstellter Sicht, auch wenn vollmundige Vertreter von Test mit bis zu 400m auf einem Flughafen sprechen.

Das waren wohl Tests nachts auf dem Rollfeld und möglicherweise der Durchmesser des Funkbereiches und nicht der Radius. Allerdings ist in Nordamerika die 10fache Sendestärke (100mW) gegenüber dem Rest der Welt (10mW) erlaubt, letzteres ergibt aber nach grober Berechnung dann nur noch etwa 30m ($100m * \sqrt{10}$) Sendereichweite. Praktische Erfahrung war, dass den Angaben zufolge in einer Messehalle ohne Publikum angeblich schon 100m erreicht wurden (vermutlich USA), aber mit Publikum reduzierte sich (in Europa) die Reichweite auf 20-30m. Und die Bluetooth-SIG spricht von einem Versorgungsbereich von 30.000 square feet ¹⁵ (ohne nähere Angaben), das ist ein Kreisradius von unter 30m.

Im Freien ohne Sichtverbindung kann der Empfang abbrechen, z.B. wenn man selbst oder andere zwischen umgehängten Auracast-Empfänger und dem Sender stehen. Jedes Wasser bzw. feuchtes Material schluckt einen Teil der 2,4GHz-Strahlung. Also ähnliche Probleme wie bei Infrarot.

Bluetooth kennt drei Sendeklassen mit diesen Reichweiten ¹⁶:

	maximale Sendeleistung	Reichweite innen	Reichweite im Freien
Klasse 1	100mW=20dBm (Nordamerika) 10mW=10dBm (Rest der Welt)	100m 30m	100m ???m
Klasse 2	2,5mW = 4dBm	10m	50m

¹⁵ https://www.bluetooth.com/blog/answers-to-commonly-asked-questions-about-auracast-broadcast-audio/?utm_source=hearingtracker.com

¹⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#cite_note-cbild-2

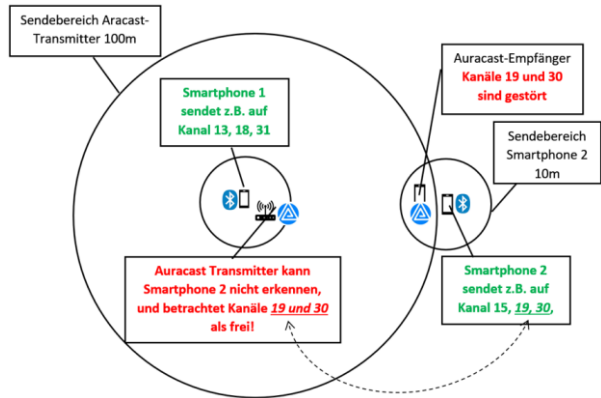
plus eigener Ergänzung aufgrund von:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Telekommunikation/Unternehmen_Institutionen/Frequenzen/Allgemeinzuteilungen/Funkanlage_nGeringerReichweite/2018_05_SRD_pdf Seite 4

Klasse 3	1mW= 0dBm	1m	10m
----------	-----------	----	-----

Aber auch ohne diese Leistungsbeschränkung ist die Zuverlässigkeit jenseits von etwa 20m aus folgenden Gründen nicht mehr gegeben.

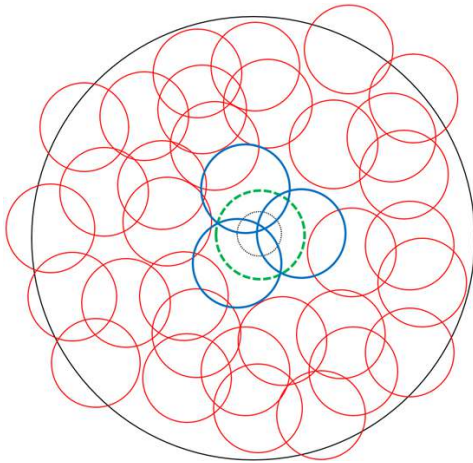
Bluetooth prüft vor dem Senden auf freie bzw. belegte Funkkanäle und nutzt nur diejenigen, die als frei erkannt wurden. Ein Sender kann aber belegte Kanäle nur erkennen, wenn die Funkstrahlen ihn erreichen. Klasse-2 Geräte senden im Innenraum aber nur etwa 10m weit, Klasse 3 Geräte nur 1m. Welche Kanäle in 20 bis 100m Abstand von Klasse-2-Geräten (10m Radius) belegt sind, kann der Auracast-Sender also nicht feststellen und glaubt fälschlicherweise, sie seien frei. Gerade im öffentlichen Bereich, wie Bahnhof, Flughafen, Hörsaal etc. führen zahlreiche Gäste ihre Smartphones/Tablets mit aktiviertem WLAN und Bluetooth mit sich.



Das muss sogar so sein, denn die Auracast Hörsysteme/Kopfhörer etc. werden ja gerade über Bluetooth gesteuert. Hinzu kommen noch zahlreiche weitere Geräte, die sich der 2,4GHz-Technik bedient. Der Empfang kann also ab etwa 10m Entfernung gestört sein, rechnen wir

aber gnadenhalber mit 20m, ohne dass der Auracast-Sender es bemerken und berücksichtigen könnte. So sendet er lustig auf Kanälen, die am Empfangsort jenseits von den 20m aber belegt sein können. Es gibt Signalüberschneidungen und somit werden Übertragungspakete zerstört.

Zeichnen wir das einmal praxisnäher: Die schwarze Linie sei ein 100m Sendebereich, die gestrichelte grüne Linie ist ein 20m-Umkreis, den der Auracast-Sender noch kontrollieren könnte. Die dünnen roten Kreise sind Smartphones oder andere 2,4GHz-Geräte (WLAN, Fernsteuerungen, Gebäudeautomatisierung etc.), die als Klasse-2-Gerät nur einen Umkreis von 10m erreichen. Nur das Gebiet innerhalb des grünen Kreises kann mit

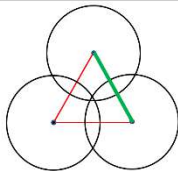


relativ hoher Wahrscheinlichkeit einen sauberen Empfang von Auracast-Streams erwarten. Der restliche Bereich kann im Empfang gestört werden, ohne dass irgend etwas dagegen unternommen werden kann.

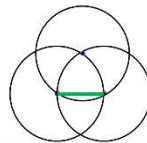
13.2 Aufwändige Sender-Arrays in größeren Bereichen

Muss ein größerer Bereich als ein Radius von 20-30m lückenlos und zuverlässig versorgt werden, z.B. ein Flughafen oder Bahnhof, muss der gesamten Bereich lückenlos zugespflastert werden mit Auracast-Sendern, die denselben Stream übertragen. Wie engmaschig die Sender dabei aufgestellt werden müssen, hängt von der Art ab, wie sie ihr Audiosignal erhalten. Auracast hat dafür keine Funktionalität vorgesehen und eine andere offizielle Bluetooth-Lösung gibt es ebenfalls nicht, selbst das Bluetooth-Mesh-System ist nicht geeignet, es ist nur für kleine Datenmengen konzipiert,

Zentralversorgter Modus



Repeater-Modus



$$\text{Senderabstand} \leq \sqrt{3} * \text{Senderradius}$$

$$\text{Senderabstand} \leq \text{Senderradius}$$

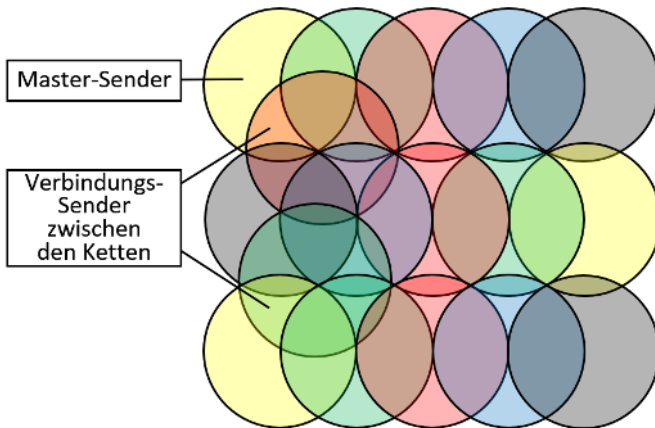
nicht für Audio-Streams. Es gibt also nur von den einzelnen Firmen konzipierte „proprietäre“ Systeme:

- zentralversorgter Modus: jeder Sender erhält sein Signal einzeln über ein kabelgebundenes Audio-Netzwerk (z.B. Dante)
- kabelgebundene Kaskadierung: das Signal wird an einem Gerät vom Eingang zu Ausgang durchgeschleift und dann vom Ausgang in ein Folgegerät weitergeleitet.

- Repeater-Modus: jeder Sender übernimmt das Funk-Signal von stärksten Sender mit demselben Klarnamen (auch evtl. eines Fake-Senders) und schickt es (mit etwas Latenz) weiter.

Im zentralversorgten Modus bzw. in einer kabelgebundenen Kaskadierung kann der Abstand etwas größer sein, im drahtlosen Repeatermodus müssen die Sender innerhalb der zuverlässigen Sende-Entfernung (Senderradius) liegen. Dabei sind noch Signalverluste durch Witterungseinflüsse, Wände, Metallkonstruktionen etc. zu berücksichtigen.

Unter realen Verhältnissen z.B. auf einem Bahnhof, ist die zuverlässige Reichweite auf den Bahnsteigen erheblich niedriger, weil sie offen dem Wetter mit Regen, Nebel und Schnee ausgeliefert sind. Sie liegt vermutlich bei der Hälfte der theoretischen 30m Reichweite. Senderabstand im Repeatermodus wären dann alle 15m und im zentralversorgten Modus alle 26m, zum Preis von um die 2000-2500€ je Sender zuzüglich Audioverkabelung bis zu jedem Sender. Die Sender sollten etwa in 3m Höhe über den Köpfen der Empfänger montiert sein, also sind oft noch Steh- oder Hänge-Säulen notwendig.



Und so ungefähr sähe das Netz mit 17 Sendern im Repeater-Modus für eine Bahnhofshalle mit einer Größe von etwa 90x90m aus. Das Netz ist aber noch nicht einmal redundant, d.h. bei Ausfall eines Senders brechen

ggf. ganze Segmente weg. Hinweis: Der Mittelpunkt eines jeden Kreises (=Sender) muss mindestens von einer Kreislinie eines anderen Kreises (=Reichweite des Signalgeber-Sender) geschnitten werden.

13.3 Probleme bei beweglichen Empfängern

Hat man also in großen öffentlichen Räumen so ein Auracast-Sender-Netz, dann bewegen sich Personen mit ihren Empfängern, also Hörsystemen oder Hearables durch den Raum und verlassen den Sendebereich des eingestellten Senders und betreten den Bereich eines anderen Senders. Reisende Personen laufen z.B. durch den Flughafen, die Bahnhofshalle oder den Bahnsteig entlang. Ein ICE ist 130 bis 400m lang, das wären also bis zu 14 Senderwechsel und man will dabei weiterhin die Durchsagen hören. Vom Auracast-System ist keine Lösung vorgesehen, dafür muss jede Firma, die Auracast-Empfänger bzw. Hörsysteme anbietet, eine eigene Lösung konstruieren, wie der Empfänger barrierefrei und zuverlässig von einem Sender zum nächsten überwechselt.

Jeder Sender/Stream hat einen Klarnamen, also z.B. „HBf München“, der im Auracast-Assistenten angezeigt wird. Dieser Klarnamen ist frei wählbar und verschiedene Sender können und müssen ihn ja in einem Sendernetz einheitlich verwenden. An einem bestimmten Punkt sind aber oft mehrere Sender gleichzeitig empfangbar. Würde der Empfänger nur auf den Klarnamen reagieren, dann würde er die einzelnen Sendepäckchen mehrfach hintereinander empfangen, es gäbe Chaos. Deshalb hat jeder Sender noch eine eindeutige technische Kennung in Form eines bestimmten Bitmusters, die jedem Sende-Päckchen im Absenderfeld mitgegeben wird. Darüber wird der eigentliche Empfang geregelt. Im „Extended Advertising Protokoll“ wird von Zeit zu Zeit der Klarnamen mit diesem Bitmuster verbunden und der Auracast-Assistent im Smartphone teilt dem Hörsystem mit, dass es nur auf Sendepäckchen mit diesem Bitmuster in der Absender-Adresse reagieren soll.

Wenn nun der Sendebereich des eingestellten Senders nach etwa 30m (Bahnsteig) bis zu maximal 60m ($2 \times \text{Radius}$ von 30m) verlassen wird, muss auf den am neuen Ort aktuellen Sender umgestellt werden. Das Hörsystem muss also das neue Absender-Bitmuster des Senders für diesen Bereich erfahren. Dieser Vorgang aber ist nicht im Auracast-System geregelt. Das muss jeder Hersteller selbst programmieren.

Eine Lösung ist: Anwender regeln das manuell: etwa alle 30m nimmt man sein Smartphone, ruft den Auracast-Assistenten auf und wählt den stärk-

sten Sender mit dem gewünschten Sender/Stream-Namen. Das ist sicherlich nicht sehr praktisch, wenn man mit Gepäck und kleinen Kindern reist. Eine Sonderlösung hat der Ampetronic/Listen Tech Auri-Empfänger: Einstellbar ist, dass er automatisch auf den stärksten Sender mit demselben Stream-Namen geht. → leichtes Spiel für Fake-Sender (s. Kap. 13.4) Ansonsten gibt es bisher noch kein bekannt gewordenes Konzept.

13.4 Fake-Sender sind möglich

Fake-Sender sind Auracast-Sender, die nicht vom offiziellen Betreiber stammen. Es gibt in Auracast keine Möglichkeit, festzustellen, ob es sich um einen autorisierten Sender handelt.¹⁷ Bei einem normalen Radiosender ist ja auch nicht einfach zu erkennen, ob es sich um einen Piratensender handelt, der sich als BBC, Deutsche Welle etc. ausgibt. Aber immerhin gibt es dabei die Möglichkeit, die Sendefrequenz zu prüfen. Bei Bluetooth gibt es auch diese Möglichkeit nicht, denn alle Bluetooth-Sender verwenden immer das gesamte 2,4GHz-Frequenzband.

Mit Fake-Sendern kann man also z.B. angebliche Umleitungen von Flügen auf andere Terminals/Gates verbreiten oder Panikmache durch falsche Alarmmeldungen, die Terroristen ausnutzen könnten. Ein paar gezündete Sylvester-Böllere unterstreichen die Fake-Meldungen. Auch in Kirchen könnte es Probleme geben, wenn eine falsche Predigt übertragen wird. Das fällt nicht unbedingt schnell auf, weil ein Mundabsehen erheblich gestört ist.

Auch wenn man dazu übergeht, Barcodes zu scannen: Barcodes an der Wand können überklebt werden, Infozettel ausgetauscht, NFC-Tags umprogrammiert werden. Auch die anderen Bedienkonzepte, die in Diskussion stehen, lassen sich austricksen und manipulieren.

¹⁷ „„Es ist mir noch nicht ganz klar, wie die Echtheit der Streams verifiziert werden soll«, sagt der Wissenschaftler vom Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit (Cispa) im Gespräch mit dem SPIEGEL. »Im Zweifel wissen Passagiere gar nicht, ob der Auracast vom Flughafen oder von einem Nachbarn eingespeist wird, der seinen Broadcast einfach Gate 18 genannt hat.«“ Siehe: <https://www.spiegel.de/netzwelt/gadgets/auracast-die-naechste-bluetooth-generation-erlaubt-kopfhoerer-partys-a-4e786901-e025-4897-bb48-616a91c9d6f2>

Der Unterschied: bei allen bisherigen Durchsage- bzw. Hör-Anlagen muss sich ein Angreifer Zugang zum Sendegerät verschaffen, die aber stehen immer in der Technikzentrale mit erschwertem bzw. gesichertem Zugang. Und dann ist ja auch noch das Problem, das zuständige Gerät zu finden und es fachgerecht zu manipulieren. Bei Auracast ist alles super easy: ein Fake-Sender in der Aktentasche reicht und kann sogar per Smartphone ferngesteuert werden. Eine Sicherheit gibt es bei Auracast also nicht.

13.4.1 Der simple Fake-Sender („evil twin“-Schema)

Auracast sieht vom Design her vor, dass Sender- und Stream-Namen frei gewählt werden können; das ist auch notwendig, sonst wird das bequeme Teilen von Musik mit Freunden z.B. in der Bahn fast unmöglich. Es ist also problemlos möglich, einen Sender-Namen zu wählen, der vorgaukelt, ein offizieller Sender der Einrichtung zu sein. Wird er so benannt, dass er alphabetisch vor dem offiziellen Sender liegt, so wird er im Auracast-Assistenten auf dem Smartphone in der Regel zuerst angezeigt. Beispiel:

offizieller Sendenamen:	Munic-Airport-IX
Fake-Sendernamen:	Munic-Airport IX (<i>fehlender Bindestrich!</i>)
Fake 2:	Airport Munic IX
Fake 3:	Muenchen-Airport-IX

Den Stream kann man benennen, wie den offiziellen Stream, also z.B. „Gate 19“ oder leicht ändern mit zwei Leerzeichen. Nun werden die meisten Nutzer instinktiv auf den Fake-Sender schalten. Man braucht dazu nur einen entsprechenden Auracast-Sender, den man sich dann selbst einrichten kann.

13.4.2 Der regelkonforme „subversive“ Fake-Sender

Gesichert¹⁸ ist auch, dass mithilfe eines normalen Notebooks, eines normal käuflichen USB-Sticks für Bluetooth-Entwickler, der zugehörigen Software und ein paar im Internet nachlesbaren Befehlen sogar auch ein verschlüsselter Auracast-Stream innerhalb weniger Sekunden entschlüsselt und gekapert werden kann. Der offizielle Sender wird einfach abgehängt und alle Nutzer auf den Fake-Sender umgeleitet. Dieser Fake-Sender kann auch per Smartphone ferngesteuert werden.

¹⁸ <https://media.ccc.de/v/38c3-auracast-breaking-broadcast-le-audio-before-it-hits-the-shelves#l=deu&t=1704>

Technisch ist das nicht verhinderbar, weil der Auracast-Sender keine Verbindung mit seinen Empfängern hat und es somit keine Rückmeldemöglichkeit gibt. Der Fake-Sender überträgt in einer Sendelücke einfach unter der offiziellen Senderkennung (textlich und datentechnisch) allen Empfängern eine andere Frequenz-Sprung-Tabelle und sofort hängen alle Empfänger am Fake-Sender. Diese Fake-Sender sind prinzipiell nicht verhinderbar, weil sie sich lediglich vollkommen regelkonform der offiziellen Bluetooth-Technik bedienen. Die Frequenz-Sprung-Tabelle ist die Erfindung von Hedy Lamarr: nach einer bestimmten Zeitspanne wird auf die nächste Funk-Frequenz (Sende-Kanal-Nr) laut Tabelle umgeschaltet.

14 Mögliche Probleme beim Datenschutz

Ein normales Hörsystem kann in allen notwendigen Funktionalitäten am Hörsystem durch wenige Knöpfchen bedient werden: Ein/Ausschalten, Programmwechsel, T-Spule, Lautstärke und ggf. Umschalten auf das Streaming-Zubehör (Funkmikro/TV-Streamer). Ein Smartphone ist zur Bedienung eines Hörsystems nicht notwendig. Jedoch kann eine Fernsteuer-App auf dem Smartphone weitere Einstellungen bieten, z.B. eine geringfügige Tonhöhenanpassung, genauere Einstellung der Richtfunktion der Mikrofone, das Mischungsverhältnis zwischen T-Spule und Mikrofon etc. Eine Fernsteuer-App kann allerdings auch einiges mehr machen, z.B. auch weitere Daten erfassen und das ist durchaus auch so vorgesehen.

Das Hörsystem schreibt ohnehin alle Aktivitäten in eine Datenbank des Hörsystem-Chips. Im Hörakustikstudio kann diese Aktivitäten-Datenbank nach den Nutzerverhalten ausgewertet werden. Dies wird z.B. bei Gutachten für Krankenkassen genutzt. Auch greifen die Hörsystemhersteller auf solche Nutzerdaten zurück.

Ist das Hörsystem mit dem Smartphone verbunden, dann ergeben sich noch sehr viel mehr Möglichkeiten der Datenerhebung. Inwieweit sie genutzt werden, ist nicht bekannt. Aber die bekannten Datenkraken wären sicherlich sehr interessiert.

Eine analoge Höranlage (Induktion, FM, IR) kann keine Nutzer-Daten erfassen, aber digitale Geräte sind dazu prinzipiell in der Lage. Bei Auracast muss zwangsweise ein Smartphone verwendet werden, auch diese sammeln Daten für die bekannten Datenkraken.

Gerade ist ein riesiges Sicherheitsproblem bei bestimmte Bluetooth-Chips bekannt geworden. Davon sind Kopfhörer auch mit Mikrofonen betroffen, u.a. auch ein Auracast-fähiges System. Es ist möglich, das Mikrofon und die Kopfhörermuscheln abzuhören und ggf. sogar auf das verbundene Smartphone zuzugreifen.¹⁹ Generell ist bekannt, dass Bluetooth immer wieder Sicherheitsprobleme hat. Wenn die fehlerhafte Software fest im Chip verankert ist, kann der Fehler nicht per Update beseitigt werden.

15 Fazit und Ausblick

Bisher konnten weder die Hörsystem-Hersteller noch die Auracast-Konstrukteure nachweisen, dass die durch Auracast erzeugte erhebliche Latenzzeiten für Schwerhörige über längere Nutzungszeiten schadlos und problemlos zu bewältigen sind und unter keinen Umständen zu gesundheitlichen Gefährdungen führt, z.B. durch zusätzlichen Hörstress. Solange dieses nicht wissenschaftlich-medizinisch und audiologisch nachgewiesen ist und auch kein barrierefreies Bedienkonzept entwickelt wurde, kann schon aus diesem Grund nicht auf die bisherige latenzfreie Induktionstechnik/T-Spule verzichtet werden. Das gebietet die Sorgfaltspflicht, die Produktsicherheit und Produkthaftpflicht der Hersteller.

Wenn sich jemand freiwillig und bewusst diesen Problematiken unterwirft, ist das eine andere Sache. Wenn aber schwerhörige Menschen gezwungen werden sich dieser Problematik zu unterwerfen, weil die latenzfreie und einzige barrierefreie induktive Technik nicht mehr angeboten wird, dann ist das äußerst problematisch.

Bisher existiert noch nicht einmal eine Idee zu einem Konzept, wie Fake-Sender verhindert werden können, weil sich die Fake-Sender an die offiziellen Regeln von Bluetooth halten, nur eben nicht so, wie es sich die Auracast-Entwickler ausgedacht hatten. Somit verbietet es sich, Auracast in sicherheitsrelevanten Bereichen wie Flughafen/Bahnhof/öffentliche Großveranstaltungen etc. einzusetzen.

¹⁹ <https://www.pcwelt.de/article/2834730/experten-warnen-vor-gefaehrlicher-bluetooth-luecke-in-kopfhoerern-sony-jbl-bose.html>

Wie oben dargestellt, ist Auracast:

- keine barrierefreie Höranlagentechnik, da Smartphone notwendig
- sozial ausgrenzend wegen hoher Aufzahlungen für Hörgeräte
- problematisch für Mundabseher, eigene Sprachkontrolle (hohe Latenz) sowie Sprachverständlichkeit (STI). Dies kann möglicherweise gesundheitsschädlich wirken
- nicht kompatibel mit bisherigen (Bluetooth) Hörsystemen
- abhängig von einem weiteren Gerät, dem Smartphone, einem speziellen Auracast-Empfänger oder sonstigem Zubehör
- verwirrende Bedienkonzepte wegen zweier unterschiedlicher Auracast-Varianten (siehe Kapitel 4)
- möglicherweise problematisch beim Datenschutz
- von einer zuverlässigen Übertragungstechnik bis 100m kann nicht die Rede sein, maximal 20-30m sind unter Umständen möglich
- für eine zuverlässige System-Abdeckung im öffentlichen Bereich (Bahnhof, Flughafen, Hörsaal etc.) sind riesige Sendernetze notwendig.
- keine Regelung für die Kontinuität des Empfangs beim Durchqueren eines Sendernetzes beim Wechsel des Sendebereiches der Netzknoten
- nicht für sicherheitsrelevante Bereiche, da Gefahr von Fake-Sendern
- keine Möglichkeit, einen Sender-Typus grundsätzlich zu abonnieren, z.B. „Änderungen im öffentlichen Nahverkehr“, „Notfallinfos“ etc.

Technisch gesehen scheint es sich zu eignen in Situationen ohne visuellen Kontakt, in nicht sicherheitsrelevanten kleinen Bereichen oder für kurzzeitige Übertragungen oder Situationen, in denen man seine Erholungspausen selbst bestimmen kann: z.B. Infoschalter, Kassen, Automaten, kurze Durchsagen, das Teilen von Musik oder für die Übertragung des TV-Tons im privaten Umfeld. Aber schon in einer Silent Disco oder großen Fitness-Centern drohen Sicherheitsprobleme. Flächendeckende Installationen im öffentlichen Bereichen (Bahnhof/Flughafen etc.) sind aufwändig, kostspielig und wegen Sicherheitsbedenken problematisch. Sie werden deshalb wohl nie zum Zuge kommen.

Es ist nicht zielführend, wenn man – um nicht als altmodisch und technikfeindlich zu gelten – unkritisch und vorschnell auf jede neue Technik aufspringt und die bewährte Technik über Bord werfen will, nur um später oder vielleicht auch zu spät dann die Grenzen und Probleme der neuen Technik zu erkennen.

So war es z.B. in Norwegen, als man dort den analogen Rundfunk gegen den modernen digitalen Rundfunk ausgetauscht hatte, dann schnell die analoge Sendetechnik in den globalen Süden verkaufte, um dann festzustellen, dass der Verkehrsfunk nicht mehr funktionierte, weil in fast allen Autos noch analoge Radiogeräte steckten und kaum jemand in sein altes Auto ein teures digitales Gerät einbauen ließ, weil es in ein paar Jahren ohnehin auf dem Schrott landen werde.

So ähnlich hätte es kommen können, als damals die Infrarot-Anlagen aufkamen, dann die FM-Anlagen, die proprietäre Roger-Technik, danach der WLAN/WiFi-Streamer-Hype. Sie haben zwar alle ihre kleinen Nischen gefunden, in denen sie ihren Dienst mit all ihren Problemen versehen. Aber sie konnten die schon vor über 20 Jahren totgesagte Induktivtechnik niemals auf breiter Front ersetzen.

Bei jeder Hörtechnik und Höranlagentechnik ist es notwendig, äußerst kritisch zu analysieren, welche Vorteile, Grenzen und Nachteile sie hat. Erst dann kann über ihren Einsatz und ggf. den richtigen Einsatzbereich entschieden werden, denn daran hängt die Teilnahme und Teilhabe am sozialen, kulturellem, politischen und religiösem Leben und nicht zuletzt die Gesundheit von Millionen schwerhöriger Menschen. Eine riesige Verantwortung, mit der nicht leichtfertig umgegangen werden darf.

Und so sollten wir auch Auracast betrachten: als eine Technik für einen bestimmten Einsatzzweck, nicht aber als Ersatz für die zur Zeit einzig niederschwellige barrierefrei Höranlagen-Technik, die wir für die Grundversorgung von Schwerhörigen haben, nämlich die Induktion über die T-Spule. Letztere ist weiterhin in etwa 85% der verkauften Hörsysteme verfügbar und wird vom Basis-Hörgerät bis zum High-End Premium-Gerät, auch von Auracast-fähigen, ohne Zusatzkosten geliefert.

Es wird von Auracast-Befürwortern oft gesagt, dass Auracast Potential habe. Aber was nützen Potentiale, also theoretisch denkbare Möglichkeiten, wenn gar nicht absehbar ist, ob sie realisierbar sind. Warum auf eine Technik setzen, die jede Menge harte systematische Probleme hat (wie z.B. Fake-Sender und Latenz) und Lösungen dafür im Bereich der Wünsche liegen.

Niemand wird eine alte Kaffeemaschine, die noch einwandfrei funktioniert und guten Kaffee macht, auf den Müll werfen und eine neue Kaffeemaschine kaufen, die umständlich zu bedienen ist, schlechten Kaffee macht und zudem auch noch teuer ist, nur weil der Verkäufer behauptet, dass die Maschine Potential hätte und den Konstrukteuren im Laufe der Zeit sicherlich etwas einfallen wird, wie ein Nachfolgemodell besseren Kaffee machen und die Bedienung einfacher werden wird. Jeder vernünftige Mensch lässt eine solche Maschine stehen und wartet ab. Wer will schon Versuchskaninchen sein und dafür auch noch hohe Geldsummen selbst zahlen?

Auracast eignet sich aus Sicherheits-, und Kosten-Gründen nicht für den öffentlichen Bereich und schon gar nicht dort, wo man sich über weite Strecken im Raum bewegt (Flughafen, Bahnhof etc.). Da bleibt fast nur das private Teilen von Musik oder TV im Fitnesscenter. Etwa 80% der Schwerhörigen sind im Rentenalter, ist das das Klientel dafür?

Somit ist fraglich, ob sich Auracast überhaupt durchsetzen kann. Sind Hörsystem-Nutzer:innen tatsächlich bereit, soviel Geld zu investieren für die relativ seltenen Anwendungsfälle, für die es bisher auch schon gängige Lösungen gibt?

Sämtliche Hörsystemkonzerne haben erklärt, weiterhin die induktive T-Spule zu unterstützen.²⁰

Schwerhörige benötigen eine brauchbare, niederschwellige und barrierefreie Höranlagen-Technik, die sich bewährt hat, aber keine unfertige Technik, von der man sich bisher nur Potentiale verspricht.

²⁰ Vortrag von Ralf Göppert mit den einzelnen Stellungnahmen:
<https://www.schwerhoerige-muensterland.de/wp-content/uploads/Hoeren-ohne-Barriere-IndukTive-Hoeranlage.pdf>

Barrierefreiheit

Barrierefrei sind

- bauliche und sonstige Anlagen,
- Verkehrsmittel,
- technische Gebrauchsgegenstände,
- Systeme der Informationsverarbeitung,
- *akustische und visuelle*
 - *Informationsquellen und*
 - *Kommunikationseinrichtungen*
- sowie andere gestaltete Lebensbereiche

wenn sie für Menschen mit Behinderungen

- in der allgemein üblichen Weise,
- ohne besondere Erschwernis und
- grundsätzlich ohne fremde Hilfe

- ✓ auffindbar,
- ✓ zugänglich und
- ✓ nutzbar

sind. *Hierbei ist die Nutzung behinderungsbedingt notwendiger Hilfsmittel zulässig.*

§ 4 BGG - Behindertengleichstellungsgesetz (D)

§6 Abs. 6 BGStG - Bundes-Behindertengleichstellungsgesetz (A)

(kursive Texte nicht im österreichischem Text)

DIN-Fachbericht 124 (2002) Gestaltung barrierefreier Produkte:

Demnach kann ein Produkt als barrierefrei bezeichnet werden, wenn es

- von möglichst allen Menschen
 - in jedem Alter
 - mit unterschiedlichen Fähigkeiten
 - weitgehend gleichberechtigt und
 - ohne Assistenz
- bestimmungsgemäß benutzt werden kann.