

OSAMC Online  
21.10.2020



# **In-Ear Monitoring über WLAN**

Eine Analyse zur Realisierbarkeit mit Freier Software

Von Sven Thielen



# Überblick

1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
3. Prototypentwicklung
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick



# Überblick

1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
3. Prototypentwicklung
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick

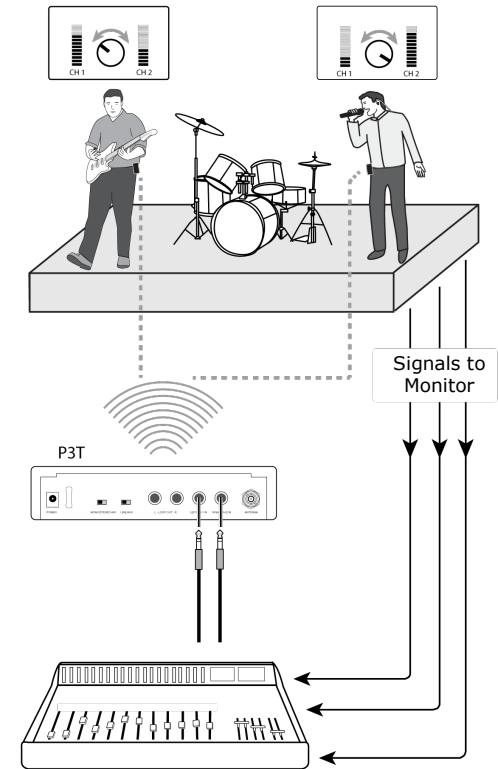
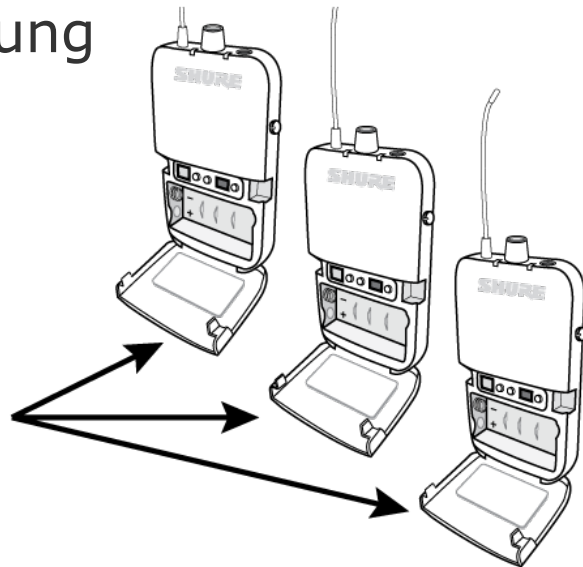
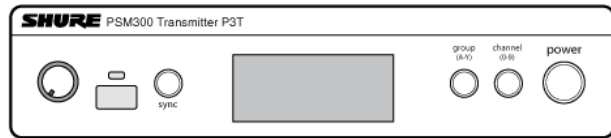
# 1.1 In-Ear Monitoring (IEM)



Quelle: shure.com

## 1.1 In-Ear Monitoring (IEM)

- Mobile Abhören
- Anpassung der Mischung
- Proprietäre Hardware
- Anschaffungskosten



Quelle: shure.com

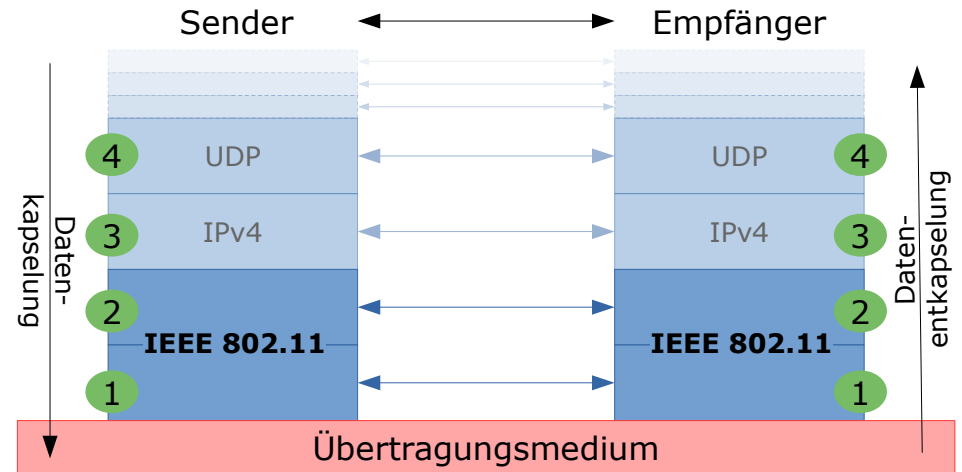
# 1.2 Wireless Local Area Network (WLAN)



Quelle: [linksys.com](https://www.linksys.com)

# 1.2 Wireless Local Area Network (WLAN)

- ISO/OSI bzw. TCP/IP-Layer 1-2
- CSMA/CA
- Wi-Fi 5 (IEEE 802.11ac):
  - 5 GHz, MU-MIMO





# Überblick

1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
3. Prototypentwicklung
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick

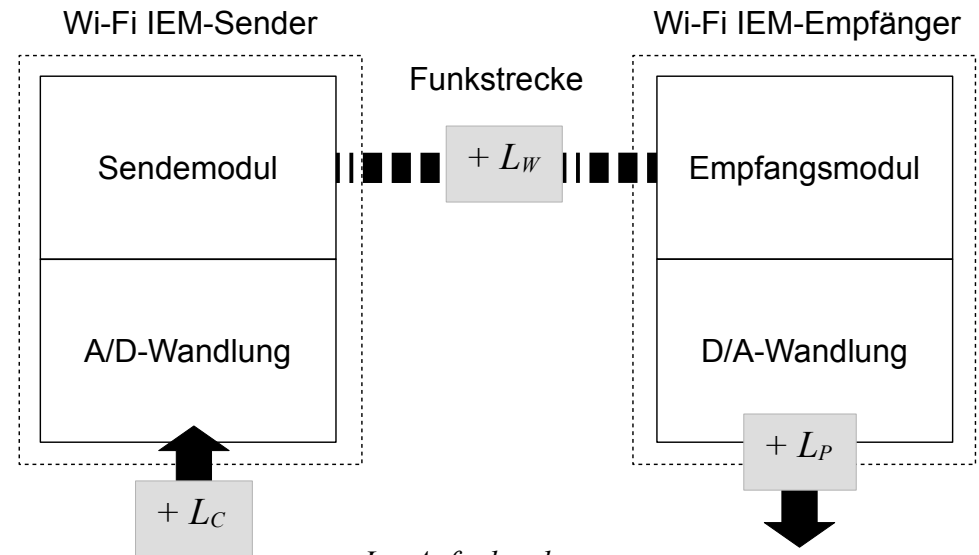


# 2.1 Grobkonzept

- Audio over IP (AoIP)
- WLAN per Access Point
- Raspberry Pi + HAT



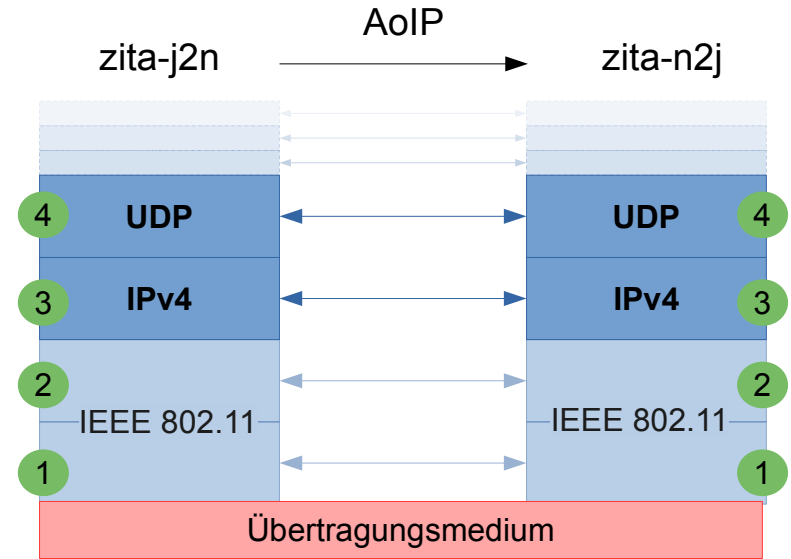
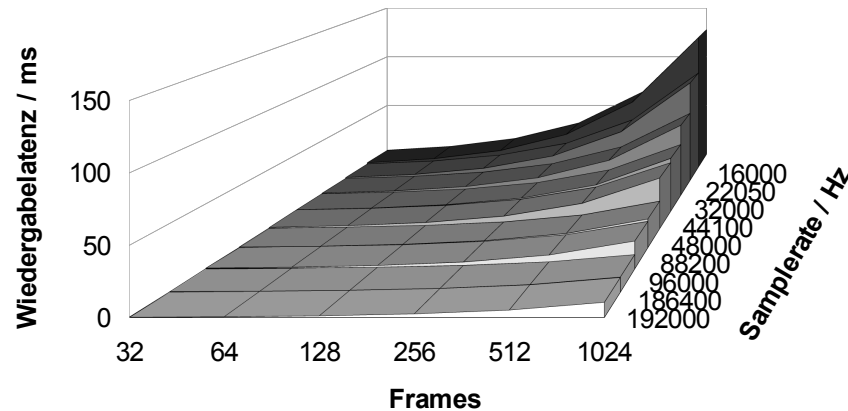
Quelle: hifiberry.com



$L_C$ : Aufnahmelatenz  
 $L_W$ : Funkstreckenlatenz  
 $L_P$ : Wiedergabelatenz

## 2.2 Feinkonzept

- RealtimePi (Raspbian + linux-rt)
- JACK Audio Server, zita-njbridge



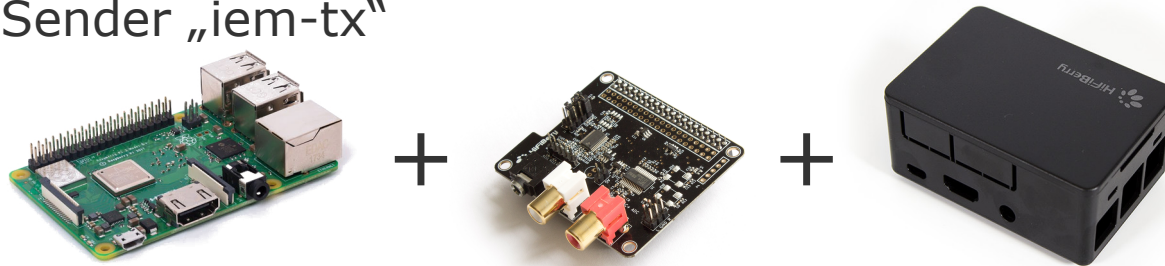


# Überblick

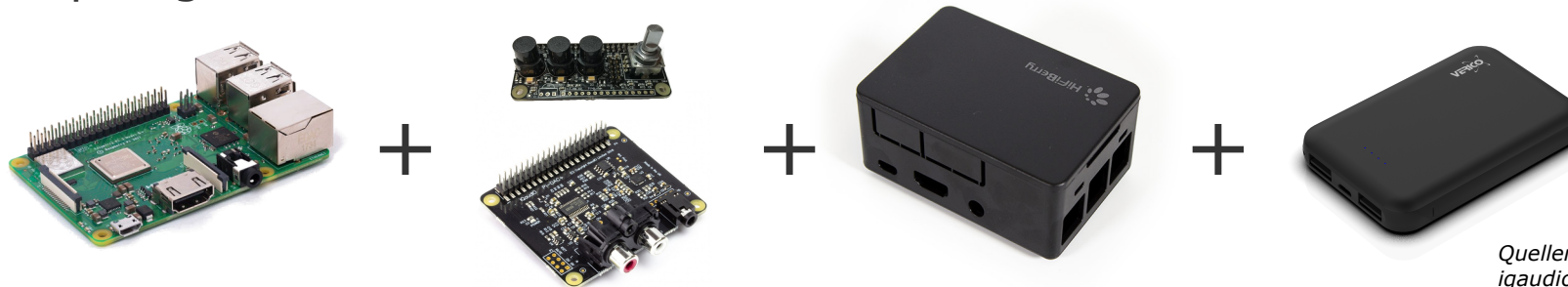
1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
- 3. Prototypentwicklung**
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick

# 3.1 Prototyp A: Komponenten

Sender „iem-tx“

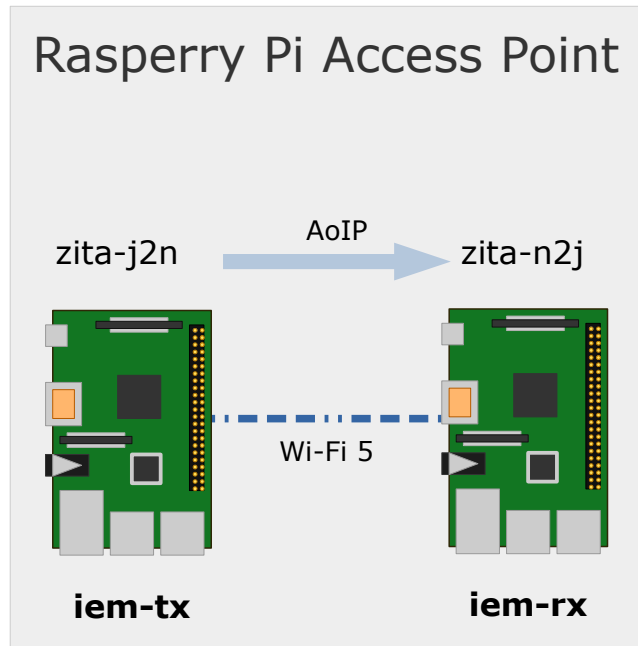


Empfänger „iem-rx“



Quellen: [hifiberry.com](http://hifiberry.com),  
[iqaudio.co.uk](http://iqaudio.co.uk), [raspberrypi.org](http://raspberrypi.org)  
[vericoglobal.com](http://vericoglobal.com)

# 3.1 Prototyp A: Funktionsweise

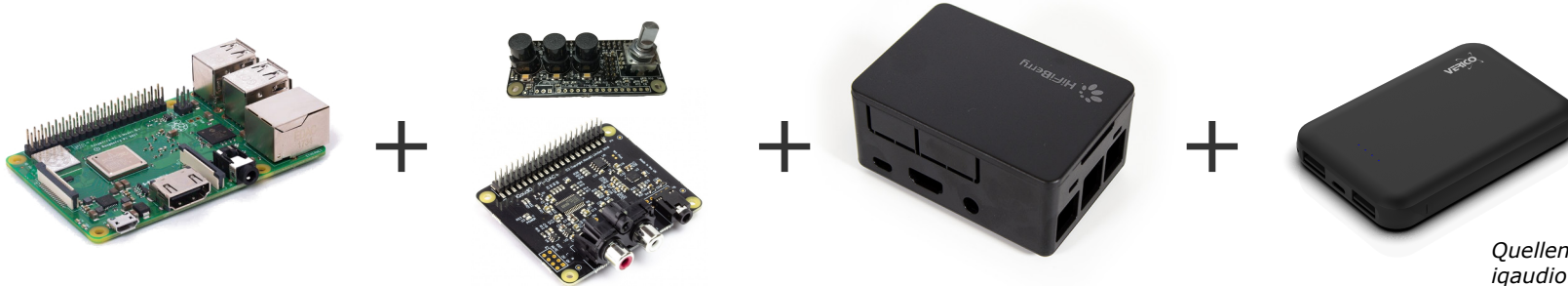


## 3.2 Prototyp B: Komponenten

Sender „iem-tx“

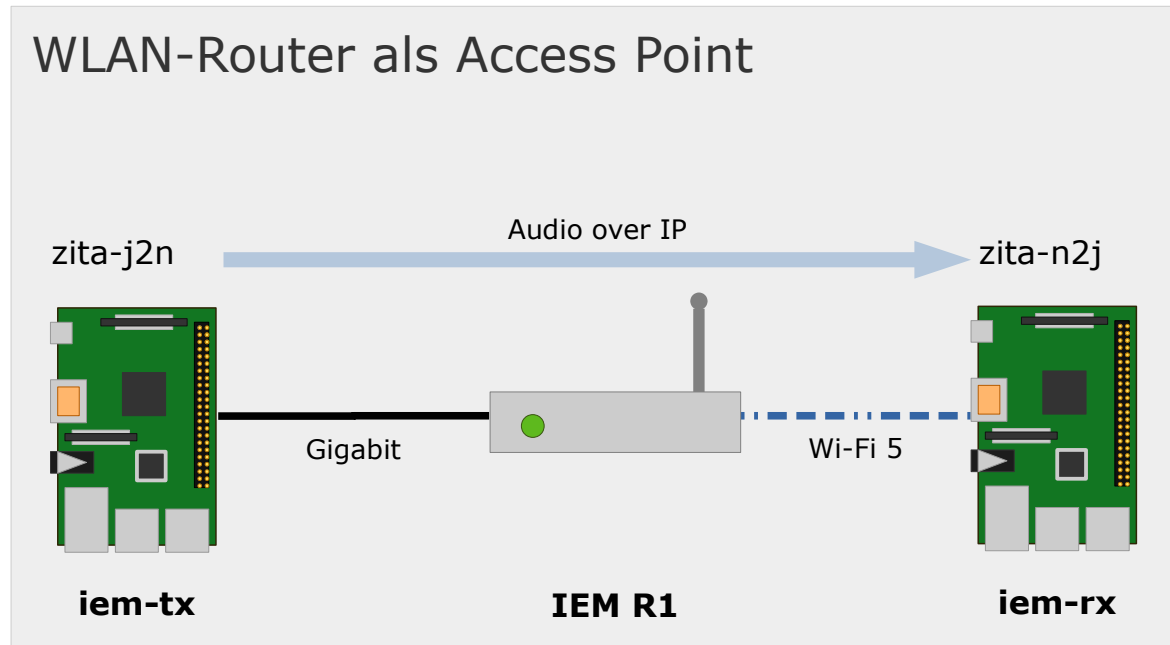


Empfänger „iem-rx“



Quellen: [hifiberry.com](http://hifiberry.com),  
[iqaudio.co.uk](http://iqaudio.co.uk), [linksys.com](http://linksys.com),  
[raspberrypi.org](http://raspberrypi.org) [vericoglobal.com](http://vericoglobal.com)

## 3.2 Prototyp B: Funktionsweise



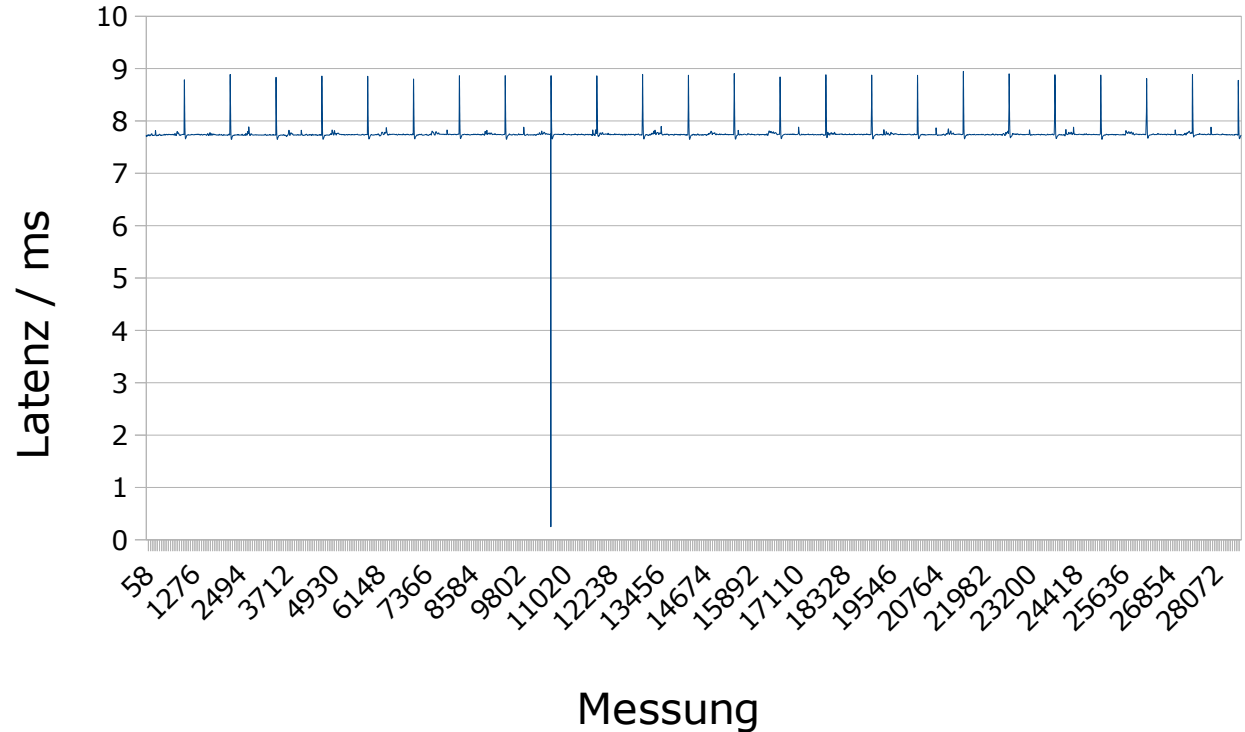
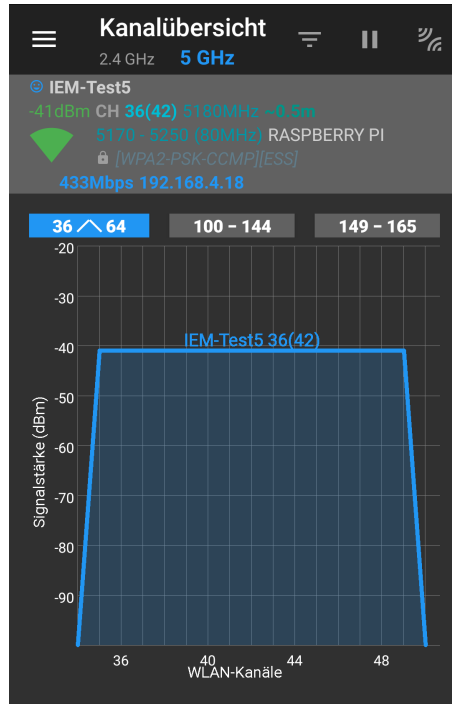


# Überblick

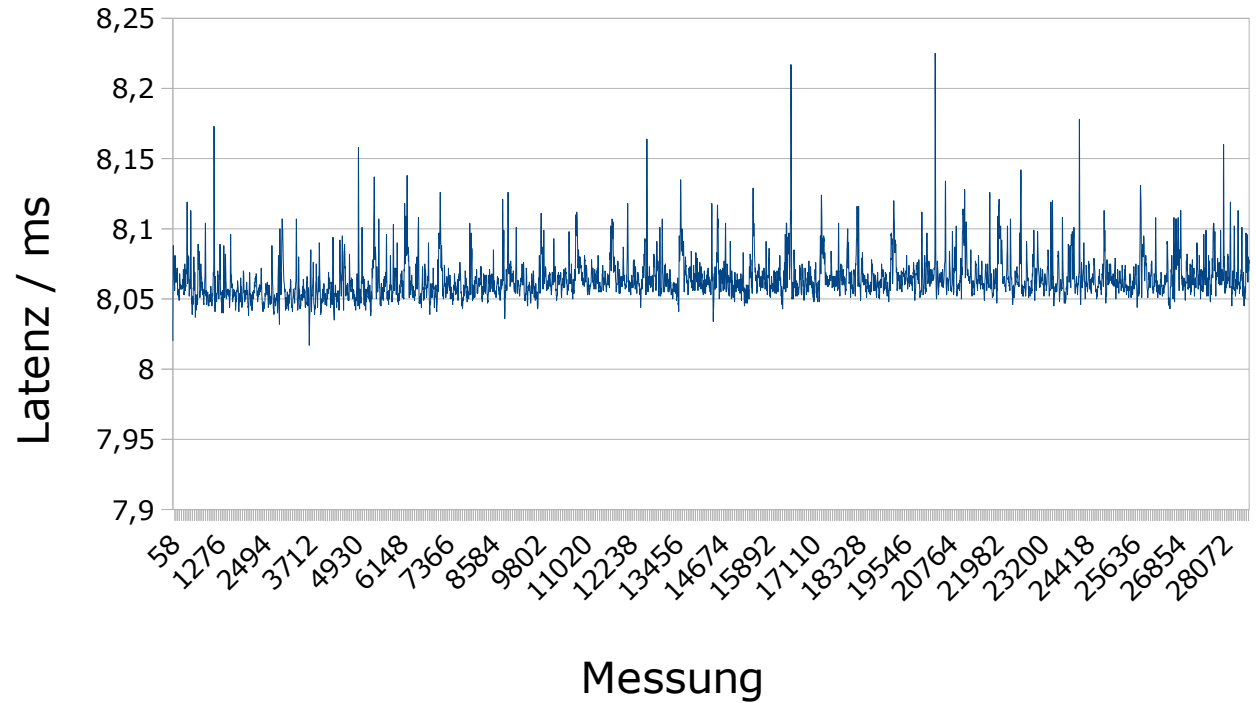
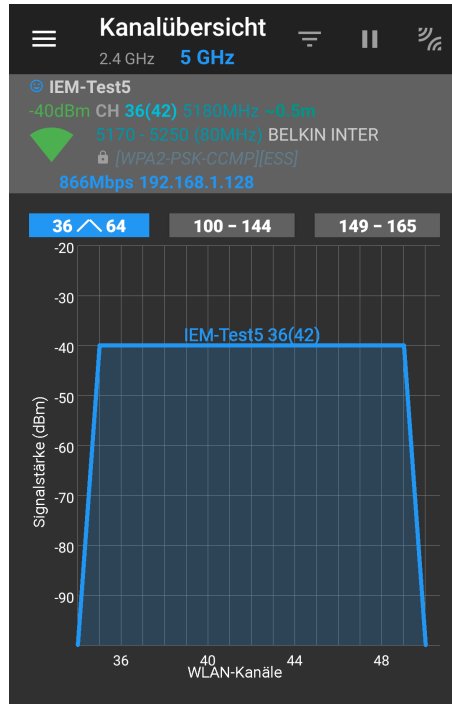
1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
3. Prototypentwicklung
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick



# 4.1 Signalstärke & Latenz: Prototyp A



# 4.2 Signalstärke & Latenz: Prototyp B



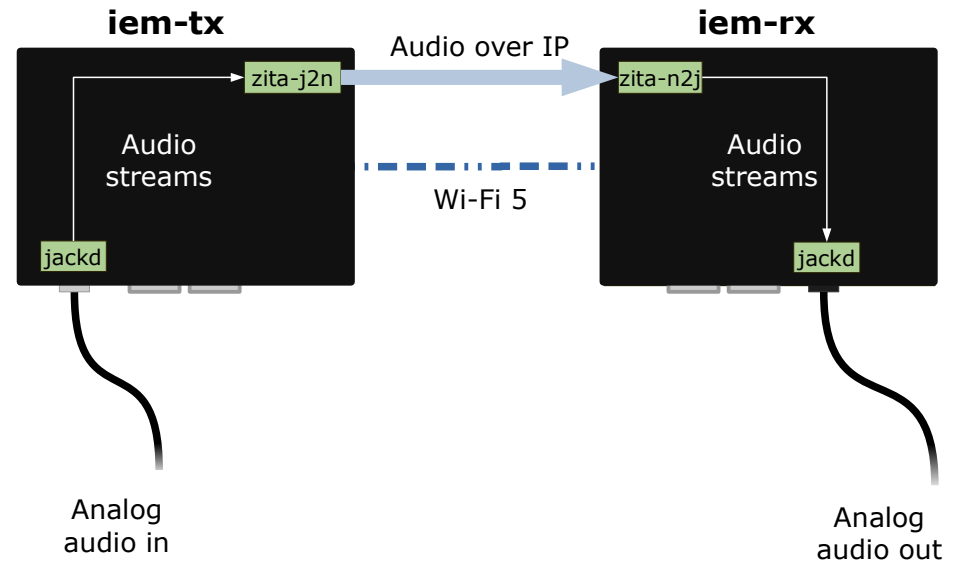


# Überblick

1. Grundlagen
2. Konzeptionierung
3. Prototypentwicklung
4. Messungen
5. Fazit & Ausblick

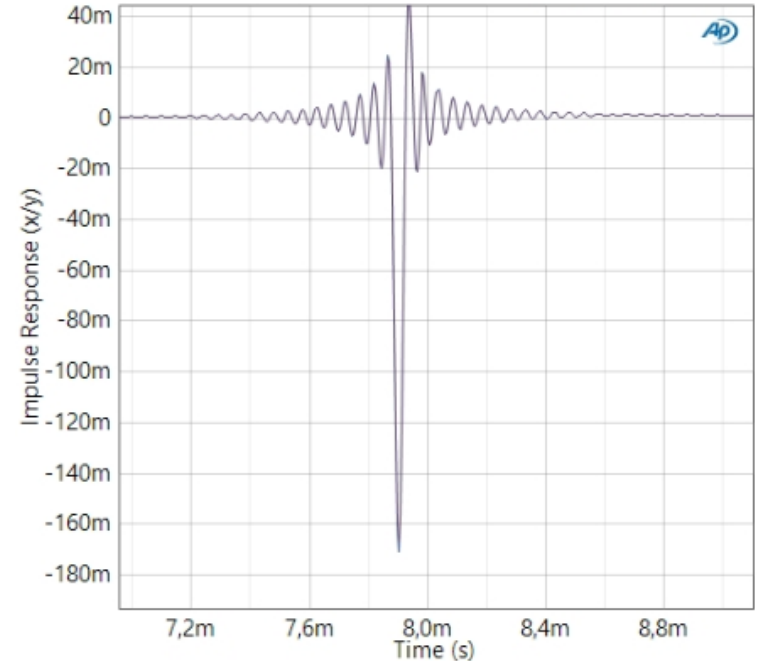
## 5.1 Chancen

- mehr In-Ear Monitoring Nutzer
- kostengünstiges Equipment
- Modulare Komponenten
- Routing + Mix flexibel und individuell anpassbar



## 5.2 Herausforderungen

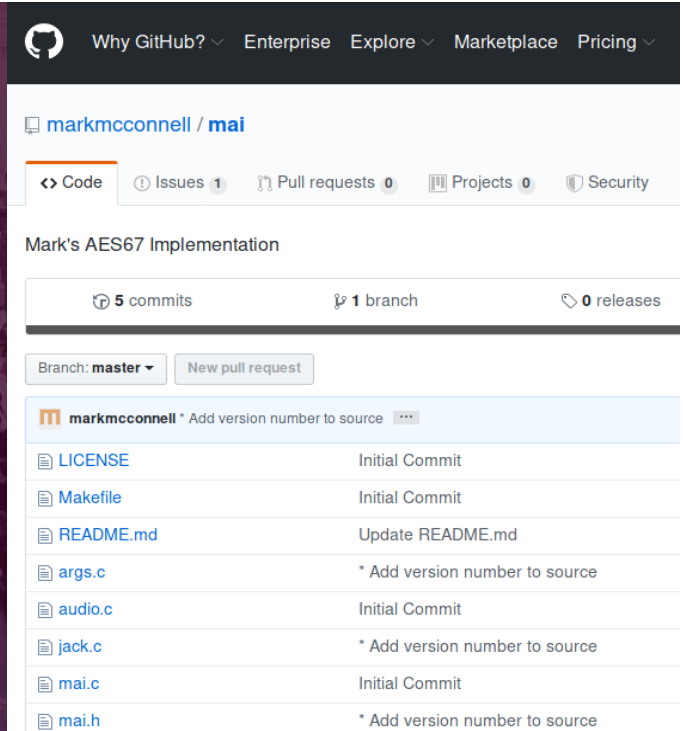
- Latenzanalyse und -optimierung
- Verlustbehaftete Übertragung
- Raspberry Pi HATs
- Wi-Fi Geräte
- Anwendungsorte



## 5.3 „Zukunftsmusik“

Wi-Fi 6

is the next generation of Wi-Fi®



The screenshot shows the GitHub interface for the repository 'markmccconnell / mai'. The repository is titled 'Mark's AES67 Implementation'. It has 5 commits, 1 branch, and 0 releases. The current branch is 'master'. Below the repository information, there is a table of files:

File	Commit Message
LICENSE	Initial Commit
Makefile	Initial Commit
README.md	Update README.md
args.c	* Add version number to source
audio.c	Initial Commit
jack.c	* Add version number to source
mai.c	Initial Commit
mai.h	* Add version number to source

Quellen: [mspoweruser.com](https://mspoweruser.com), [github.com](https://github.com)

Vielen Dank für  
Ihre Aufmerksamkeit!

**Ende**

Haben Sie Fragen?

# 6.1 Bildquellen

Folie	Quelle
4	Links: <a href="https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/six-questions-to-help-you-choose-a-psm-system-for-your-church">https://www.shure.com/en-US/performance-production/louder/six-questions-to-help-you-choose-a-psm-system-for-your-church</a> abgerufen 08.08.2019 12:28 Rechts: <a href="https://br.shure.com/produtos/sistemas-de-monitor-pessoal/sistema-de-monitor-pessoal-psm-300">https://br.shure.com/produtos/sistemas-de-monitor-pessoal/sistema-de-monitor-pessoal-psm-300</a> abgerufen 10.08.2019 13:40
5	Links und rechts: <a href="https://pubs.shure.com/guide/PSM300/en-US">https://pubs.shure.com/guide/PSM300/en-US</a> abgerufen 09.08.2019 07:36
6	Links: <a href="https://www.linksys.com/us/r/resource-center/what-is-a-wifi-access-point/">https://www.linksys.com/us/r/resource-center/what-is-a-wifi-access-point/</a> abgerufen 08.08.2019 16:11 Rechts: <a href="https://www.linksys.com/us/p/P-EA8500-RM/">https://www.linksys.com/us/p/P-EA8500-RM/</a> abgerufen 09.08.2019 08:53
10	Rechts: <a href="http://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2014/08/dacplus-rca-raspberry-600x600.jpg">http://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2014/08/dacplus-rca-raspberry-600x600.jpg</a> abgerufen 12.08.2019 15:00
13, 15	Von links oben nach rechts unten (zeilenweise): <a href="https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/">https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/</a> abgerufen 10.03.2020 14:09 <a href="https://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2018/11/dacplus-adc2.jpg">https://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2018/11/dacplus-adc2.jpg</a> abgerufen 10.03.2020 13:20 <a href="https://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2015/12/unicase-back.jpg">https://www.hifiberry.com/wp-content/uploads/2015/12/unicase-back.jpg</a> abgerufen 10.03.2020 15:47 <a href="http://cache-www.linksys.com/resources/img/press-kits/ea8500/linksys-ea8500-side.jpg">http://cache-www.linksys.com/resources/img/press-kits/ea8500/linksys-ea8500-side.jpg</a> abgerufen 10.03.2020 18:23 <a href="http://iqaudio.co.uk/hats/8-pi-dac.html">http://iqaudio.co.uk/hats/8-pi-dac.html</a> abgerufen 10.03.2020 17:34 <a href="http://iqaudio.co.uk/330-thickbox_default/cosmic-controller-kit.jpg">http://iqaudio.co.uk/330-thickbox_default/cosmic-controller-kit.jpg</a> abgerufen 10.03.2020 16:52 <a href="http://www.vericoglobal.com/wp-content/uploads/2019/05/PowerGuard-5K-black-1.1067.png">http://www.vericoglobal.com/wp-content/uploads/2019/05/PowerGuard-5K-black-1.1067.png</a> abgerufen 10.03.2020 18:51
23	Links: <a href="https://mspoweruser.com/wp-content/uploads/2018/10/WiFi-6.jpg">https://mspoweruser.com/wp-content/uploads/2018/10/WiFi-6.jpg</a> abgerufen 13.08.2019 16:29



# 6.2 Literaturquellen 1/3

- Lester, Michael; Boley, Jon. (1. Oktober 2007). *The Effects of Latency on Live Sound Monitoring*. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=14256> abgerufen 23.06.2019 21:30
- Nykänen, Arne; Löfdahl, Magnus; Johannesson, Tomas; Berg, Jan. (11. Mai 2017). *Do In-Ear Monitors Protect Musicians' Hearing?* <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18649> abgerufen 19.06.2019 10:00
- Berg, Jan; Johannesson, Tomas; Löfdahl, Magnus; Nykänen, Arne. (11. Mai 2017). *In-Ear vs. Loudspeaker Monitoring for Live Sound and the Effect on Audio Quality Attributes and Musical Performance*. <http://www.aes.org/e-lib/browse.cfm?elib=18673> abgerufen 19.06.2019 13:12
- O'Riordan, Ciarán; Förster, Andreas K. (Übersetzung). (19. Dezember 2006). *Tivoisierung erklärt - Implementierung und schädliche Wirkung*. <https://akfoerster.de/text/tivoisierung.html> abgerufen 15.07.2019 10:16
- alsa-project.org. (24. September 2006). *FramesPeriods - AlsaProject*. <https://www.alsa-project.org/main/index.php/FramesPeriods> abgerufen 20.05.2019 09:09
- Apple Inc. (30. Oktober 2017). *What Is Core Audio?*. <https://developer.apple.com/library/archive/documentation/MusicAudio/Conceptual/CoreAudioOverview/WhatisCoreAudio/WhatisCoreAudio.html> abgerufen 15.07.2019 11:26
- die.net. (2019). *jackd(1) - Linux man page*. <https://linux.die.net/man/1/jackd> abgerufen 25.05.2019 18:29
- Dominguez, Dennis. (2019). *Digital Signal Processing (or Pi). Adventures in making my Raspberry Pi 3 realtime, and running audio DSP*. <https://github.com/dddomin3/DSPi> abgerufen 10.07.2019 12:22
- Schnabel, Patrick; Elektronik-Kompedium.de. (11. Mai 2019). *ISO/OSI-7-Schichtenmodell*. <https://www.elektronik-kompedium.de/sites/kom/0301201.htm> abgerufen 13.06.2019 12:07
- Renner, Thomas; Vetter, Michael; Rex, Sascha; Kett, Holger. (2005). *Open Source Software: Einsatzpotenziale und Wirtschaftlichkeit*. Stuttgart. Fraunhofer IRB Verlag.
- Stallmann, Richard; Free Software Foundation. (30. Mai 2019). *Die Freie-Software-Bewegung und die Zukunft der Freiheit; 9. März 2006*. Transkript (Übersetzung) einer Rede vom 9. März 2006 in Zagreb. <https://fsfe.org/freesoftware/transcripts/rms-fs-2006-03-09.de.html> abgerufen 06.07.2019 15:32
- Google Developers; Google Inc. (2019). *Android Latency | Android NDK | Android Developers*. <https://developer.android.com/ndk/guides/audio/audio-latency> abgerufen 16.07.2019 10:59

# 6.2 Literaturquellen 2/3

Weinzierl, Stefan (Hrsg.). (2008). *Handbuch der Audiotechnik*. Berlin. Springer-Verlag.

Modul 9 GmbH. (2019). *Datasheet DAC+ ADC*. <https://www.hifiberry.com/build/documentation/datasheet-dac-adc/> abgerufen 10.07.2019 11:09

Dickreiter, Michael; Dittel, Volker; Hoeg, Wolfgang; Wöhr, Martin. (2008). *Handbuch der Tonstudientechnik Band 1*. München. K. G. Saur.

ICANN IANA. (28. März 2019). *IPv4 Multicast Address Space Registry*. <https://www.iana.org/assignments/multicast-addresses/multicast-addresses.txt> abgerufen 06.07.2019 14:20

ICANN IANA. (31.05.2019). *Service Name and Transport Protocol Port Number Registry*. <https://www.iana.org/assignments/service-names-port-numbers/service-names-port-numbers.txt> abgerufen 06.07.2019 15:36

IEEE. (31. August 2018). *802.3-2018 - IEEE Standard for Ethernet*. <https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8457467> abgerufen 18.07.2019 15:06

Press, Barry; Inform IT. (13. Dezember 2000). *Latency and Jitter on Your LAN | Inform IT*. <http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=20020> abgerufen 20.06.2019 16:14

International Organization for Standards. (15. November 1994). *ISO/IEC 7498-1 Information technology – Open Systems Interconnection – Basic Reference Model*. [https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269\\_ISO\\_IEC\\_7498-1\\_1994\(E\).zip](https://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994(E).zip) abgerufen am 20.07.2019 15:38

IQaudio Limited. (21. November 2018). *IQaudio User Guide, v30*. <http://www.iqaudio.com/downloads/IQaudio.pdf> abgerufen 04.07.2019 21:52

Jackaudio. (29. November 2016). *WalkThrough\_User\_NetJack2*. [https://github.com/jackaudio/jackaudio.github.com/wiki/WalkThrough\\_User\\_NetJack2](https://github.com/jackaudio/jackaudio.github.com/wiki/WalkThrough_User_NetJack2) abgerufen 24.06.2019 15:12

Wiki.linuxaudio.org. (2. Juni 2013). *Latency compensation and xrun reduction tips [Linux-Sound]*. <https://wiki.linuxaudio.org/wiki/latency> abgerufen 12.07.2019 18:17

Wiki.linuxaudio.org. (30. Mai 2017). *System configuration [Linux-Sound]*. [https://wiki.linuxaudio.org/wiki/system\\_configuration](https://wiki.linuxaudio.org/wiki/system_configuration) abgerufen 05.06.2019 09:53

Wiki.linuxaudio.org. (29. September 2017). *Raspberry Pi and realtime, low latency audio [Linux-Sound]*. <https://wiki.linuxaudio.org/wiki/raspberrypi> abgerufen 05.07.2019 11:30

Belkin International, Inc. (2018). *Linksys EA8500 Max-Stream™ AC2600 MU-MIMO Smart Wi-Fi Router*. <https://www.linksys.com/de/p/P-EA8500/#product-specs> abgerufen am 19.06.2019 19:37

Mandl, Peter. (2018). *TCP und UDP Internals – Protokolle und Programmierung*. Wiesbaden. Springer Vieweg.

# 6.2 Literaturquellen 3/3

OpenWrt Project. (30. Dezember 2015). *Client Mode Wireless*. [https://oldwiki.archive.openwrt.org/doc/howto/clientmode#bridged\\_client\\_mode\\_issues](https://oldwiki.archive.openwrt.org/doc/howto/clientmode#bridged_client_mode_issues) abgerufen am 22.06.2019 15:08

OpenWrt Project. (7. September 2018). *OpenWrt Project: Linksys EA8500*. [https://openwrt.org/toh/linksys/linksys\\_ea8500](https://openwrt.org/toh/linksys/linksys_ea8500) abgerufen am 19.06.2019 19:58

OpenWrt Project. (19. Februar 2019). *OpenWrt Project: Wifi Extender or Repeater or Bridge Configuration*. [https://openwrt.org/docs/guide-user/network/wifi/relay\\_configuration](https://openwrt.org/docs/guide-user/network/wifi/relay_configuration) abgerufen am 17.06.2019 18:03

Christiane Bangert; Production Partner. (11. Februar 2019). *Audio-Netzwerk – Eine Übersicht*. <https://www.production-partner.de/basics/audio-netzwerke-eine-uebersicht/> abgerufen 14.06.2019 16:04

Raspberry Pi Foundation. (2017). *Firmware warning icons - Raspberry Pi Documentation*. <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/warning-icons.md> abgerufen 30.06.2019 14:58

Raspberry Pi Foundation. (2019). *Raspberry Pi 3 Model B+ Product Brief*. <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf> abgerufen 15.06.2019 16:01

Raspberry Pi Foundation. (2019). *Memory option in config.txt - Raspberry Pi Documentation*. <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/config-txt/memory.md> abgerufen 18.06.2019 14:07

Raspberry Pi Foundation. (2019). *Setting up a Raspberry Pi as an access point in a standalone network (NAT) - Raspberry Pi Documentation*. <https://www.raspberrypi.org/documentation/configuration/wireless/access-point.md> abgerufen 21.06.2019 15:16

Sheffer, Guy. (2019). *An out-of-the-box raspberrypi/raspbian distro with a realtime kernel*. <https://github.com/guysoft/RealtimePi> abgerufen 18.05.2019 16:20

Shure Inc. (2019). *In-Ear Monitoring Basics*. [https://www.shure.co.uk/musicians/discover/educational/in\\_ear\\_monitoring\\_basics](https://www.shure.co.uk/musicians/discover/educational/in_ear_monitoring_basics) abgerufen 19.06.2019 13:05

Harrison, Gavin; Sound On Sound. (März 2004). *On-stage Monitoring*. <https://www.soundonsound.com/techniques/stage-monitoring> abgerufen am 12.07.2019 10:32

Texas Instruments. (25. Oktober 2018). *PCM512x 2-VRMS DirectPath™, 112-dB and 106-dB Audio Stereo DACs With 32-Bit, 384-kHz PCM Interface datasheet (Rev. C)*. <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm5122.pdf> abgerufen 11.07.2019 11:51

Adriaensen, Fons. (Juli 2014). *zita-j2n, zita-n2j - Jack clients to transport multichannel audio over a local network*. <https://manpages.ubuntu.com/manpages/bionic/man1/zita-njbridge.1.html> abgerufen 06.07.2019 22:35

Wi-Fi Alliance. (2019). *Wi-Fi CERTIFIED 6 Highlights*. <https://www.wi-fi.org/file/wi-fi-certified-6-highlights> abgerufen 18.07.2019 13:44