

ENTWICKLUNG EINER UNIVERSELLEN AUDIO- UND DATENSCHNITTSTELLE ZUR SPRACHQUALITÄTSMESSUNG IN DIGITALEN FUNKNETZEN

Enrico Lösch^{1/2}, Andreas Zimmermann¹, Alexander Schenk¹ und Oliver Jokisch²

¹Polizeiverwaltungsamt Sachsen

*²Institut für Kommunikationstechnik, Hochschule für Telekommunikation Leipzig (HfTL)
enrico.loesch@bos.sachsen.de*

Kurzfassung: Der vorliegende Beitrag beschreibt die Erweiterung eines Mess- und Evaluationssystems zur Bewertung der Sprachqualität in digitalen TETRA-Funknetzen. Einleitend werden der Messaufbau des vorhandenen Systems sowie die eingeschränkte Anschlussmöglichkeit und Funktionalität in dem Funknetz diskutiert. Hauptgegenstand der Entwicklungsarbeiten ist die Erweiterung der Messmöglichkeiten durch eine neue, universelle Audio- und Datenschnittstelle. Dazu werden die Systemarchitektur sowie der Aufbau und die Bedienung des neuen Gerätes vorgestellt. Nach Beschreibung des aktuellen Entwicklungsstands folgt ein kurzer Ausblick auf die geplanten Arbeiten.

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurde in der Bundesrepublik Deutschland für die Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) ein digitales Bündelfunknetz errichtet. Auch im Bereich der Wirtschaft gewinnen digitale Bündelfunknetze zunehmend an Bedeutung. Beim BOS-Digitalfunknetz handelt es sich um ein bundesweites, zellulares und redundantes Netz für die Übertragung von Sprache und Daten, welches die Möglichkeit der Ende-zu-Ende Verschlüsselung (E2E) bietet. Als Standard dient TETRA (Terrestrial Trunked Radio) des European Telecommunication Standards Institute (ETSI). Der offene TETRA-Standard verfolgt den Ansatz eines skalierbaren Mobilfunknetzes. Damit kann die Leistungsfähigkeit und Komplexität des Funknetzes an unterschiedliche Bedürfnisse angepasst werden. Mit der Inbetriebnahme erster Netzabschnitte ergab sich die Notwendigkeit der Optimierung des Netzes sowie einer Überwachung der Quality-of-Service (QoS)-Parameter. Neben der Funkabdeckung und Netzverfügbarkeit ist die Sprachqualität ein wichtiger Qualitätsparameter. Dazu kommen im Freistaat Sachsen entsprechende Messmittel zur Bewertung der Sprachqualität zwischen zwei TETRA-Endgeräten zum Einsatz.

Mit dem Wechsel vom Analog- zum Digitalfunk mussten neue Leitstellensysteme entwickelt und in das TETRA-Netz integriert werden. Die Nutzer des BOS-Digitalfunknetzes setzen vielfältiges Audiozubehör für unterschiedliche taktische Anwendungen ein. Dies können beispielsweise Headsets, Handapparate, Freisprecheinrichtungen oder Helmgarnituren sein. Eine ganzheitliche Betrachtung der Sprachqualität muss deshalb das Audiozubehör, die Leitstellensysteme sowie die Umgebungseinflüsse bzw. Einsatzbedingungen berücksichtigen.

2 Vorhandenes Evaluierungssystem und Messaufbau

Der Freistaat Sachsen setzt zur Bewertung der Sprachqualität im TETRA-Funknetz die Software ROMES4 der Firma Rohde & Schwarz ein [1]. Dabei wird von Endgerät zu Endgerät übertragen, und es ist ausschließlich eine Analyse über die gesamte Signalkette möglich. Die Industrie bietet derzeit kein Messequipment an, mit dessen Hilfe diese Messung bei Einspeisung in andere Punkte der Signalkette möglich ist. Die Inbetriebnahme einer integrierten Rettungsleitstelle der Feuerwehr in Sachsen hat gezeigt, dass auch die Möglichkeit bestehen muss, in Teile der Signalkette einspeisen zu können [2]. Daraus resultierte die

Aufgabe zur Entwicklung einer neuen Hard- und Software, die diese Forderung erfüllt. Der Einsatz der zu entwickelnden Audio- und Datenschnittstelle ist auch im Bereich anderer TETRA Funknetzbetreiber denkbar (Verkehrsbetriebe, Energieversorger, etc.).

Die Abbildung 2.1 zeigt schematisch den derzeitigen Messaufbau zur Ermittlung der Sprachqualität. Die Analysesoftware läuft auf einem leistungsfähigen Laptop, an dem eine USB-Soundkarte für die Übergabe der digitalen Sprachdaten in Sende- und Empfangsrichtung angeschlossen ist. Die Soundkarte dient der D/A bzw. A/D Wandlung des Testsignals. Das nachfolgende AudioBoard ist ebenfalls eine Entwicklung der Firma Rohde & Schwarz. Es hat die Aufgabe, den Signalpegel zwischen den Funkgeräten und der Soundkarte anzupassen. Das pegelangepasste analoge Signal wird in Senderichtung in ein TETRA Handfunkgerät (Sepura STP8000) eingespeist. Dazu dient die Zubehörschnittstelle des Gerätes. Über die Steuerleitungen wurde zuvor von ROMES ein Verbindungsaufbau zwischen den Teilnehmern A und B initiiert, so dass das Testsignal über den zu prüfenden Netzabschnitt zum Teilnehmer B übertagen und anschließend von ROMES analysiert wird.

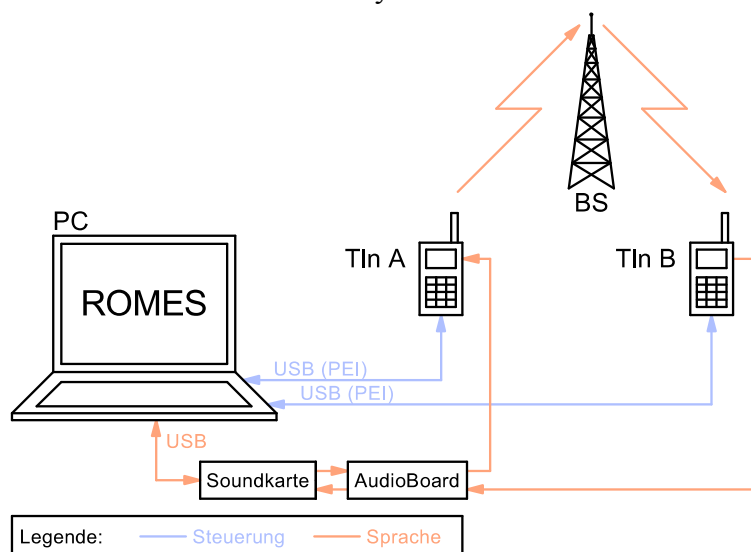


Abbildung 2.1 - Messaufbau der Sprachqualitätsmessung innerhalb einer Funkzelle

Die Steuerung der Endgeräte erfolgt über das Peripheral Equipment Interface (PEI), welches im Standard EN 300 392-5 des European Telecommunications Standards Institute (ETSI) beschrieben wird [3].

Aufgrund der räumlichen Nähe der Teilnehmer ist der überprüfbare Netzabschnitt auf eine Basisstation begrenzt. Für eine funkzellenübergreifende Messung werden zwei ROMES-Messsysteme mit jeweils einem Endgerät benötigt.

Die direkte Ein- und Auskopplung zu den Funkgeräten und die festen Pegelanpassungen beschränken die Möglichkeiten des bisherigen Messaufbaus auf die Beurteilung der Sprachqualität zwischen zwei Handfunkgeräten. Daher können wichtige Einflüsse des täglichen Einsatzgeschehens nicht analysiert werden. Dies beinhaltet z. B. das Zubehör der Endgeräte, das in vielen verschiedenen Varianten (Headset, Faustmikrofon, usw.) im Einsatz ist. Im täglichen Einsatz findet die Kommunikation vorrangig zwischen der Leitstelle und den Endgeräten statt. Die Anbindung eines Leitstellensystems an ROMES ist mit diesem Messaufbau nicht möglich. Von Nachteil ist ebenso die direkte Einspeisung des Testsignals in das Endgerät. Dies führt zu scheinbar besseren Messergebnissen, da keine Berücksichtigung von akustischen Umgebungseinflüssen erfolgt.

3 Lösungskonzept einer universellen Audio- und Datenschnittstelle

Aufgrund der beschriebenen Nachteile des vorhandenen Messsystems, wird eine Schnittstellenerweiterung entwickelt, die der Anpassung des ROMES-System an verschiedene Messaufgaben dient [4][5]. Mit dem erweiterten Messsystem sind folgende zusätzliche Leistungsmerkmale geplant:

1. Integration des Endgerätezubehörs,
2. Berücksichtigung von Umgebungseinflüssen und der akustischen Eigenschaften des Raumes,
3. Ansteuerung eines Kunstkopfes,
4. Einfach durchzuführende Pegelanpassung an ein beliebiges, analoges Ein- bzw. Ausgabegerät (Mikrofon, Lautsprecher),
5. Anschluss an das Leitstellensystem.

Damit diese Forderungen erfüllt werden können, müssen die Soundkarte und das AudioBoard des derzeitigen Messaufbaus durch eine flexible Audio- und Datenschnittstelle ersetzt werden, um mit der Schnittstelle alternative Messaufbauten zu realisieren (Abb. 3.1 bis Abb. 3.3).

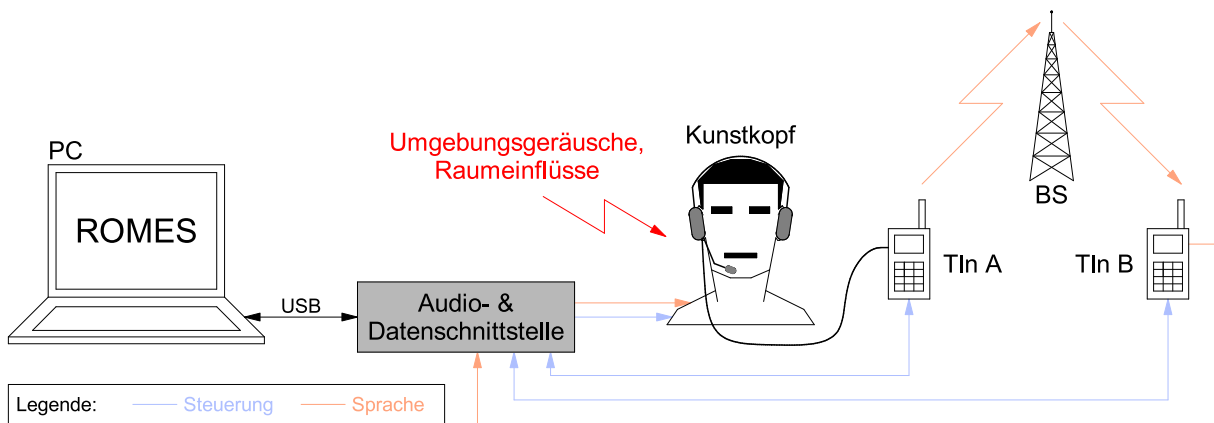


Abbildung 3.1 - Messung mit Kunstkopf

Für die qualitative Beurteilung des Endgerätezubehörs ist entscheidend, wie dessen Qualität die Sprachverständlichkeit in unterschiedlichen Einsatzumgebungen beeinflusst. Die Nachahmung der realen Nutzung des Zubehörs kann mit dem in Abbildung 3.1 dargestellten Messaufbau erfolgen. Die Versuchsanordnung erlaubt es, auch die akustischen Einflüsse des Raumes zu betrachten und für eine gute Sprachqualität zu optimieren. Die Audio- und Datenschnittstelle übernimmt die Aufgabe der D/A und A/D Wandlung sowie der Pegelanpassung des Sprachsignals. Gleichzeitig leitet die Datenschnittstelle die Steuerbefehle der PEI-Schnittstellen weiter und übernimmt die Steuerung des Kunstkopfes.

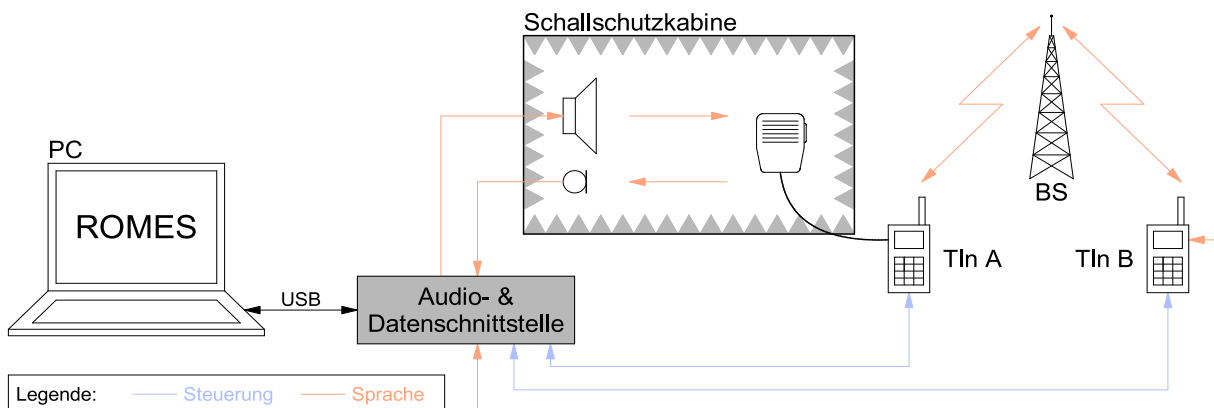


Abbildung 3.2 – Messung mit Schallschutzkabine

In Abbildung 3.2 ist ein Messaufbau dargestellt, der die Beurteilung des Endgerätezubehörs in der Schallschutzkabinen ermöglicht. Die akustische Kopplung erfolgt innerhalb eines reflexionsarmen Raumes. Dadurch werden Raum- und Umgebungseinflüsse ausgeschlossen und der Vergleich verschiedenen Zubehörs ermöglicht. Die Audio- und Datenschnittstelle übernimmt die Aufgabe der D/A und A/D Wandlung sowie der Pegelanpassung des Sprachsignals. Gleichzeitig leitet die Datenschnittstelle die Steuerbefehle der PEI-Schnittstellen weiter und übernimmt alle Steuerungsaufgaben. Die flexible Pegel- und Impedanzanpassung ermöglicht die Verwendung verschiedener Mikrofon- und Lautsprecher-typen, welche innerhalb der Schallschutzkabinen für Testszenarien zum Einsatz kommen. Die Weiterleitung der Steuerbefehle der PEI-Schnittstellen zu den Endgeräten bleibt unverändert.

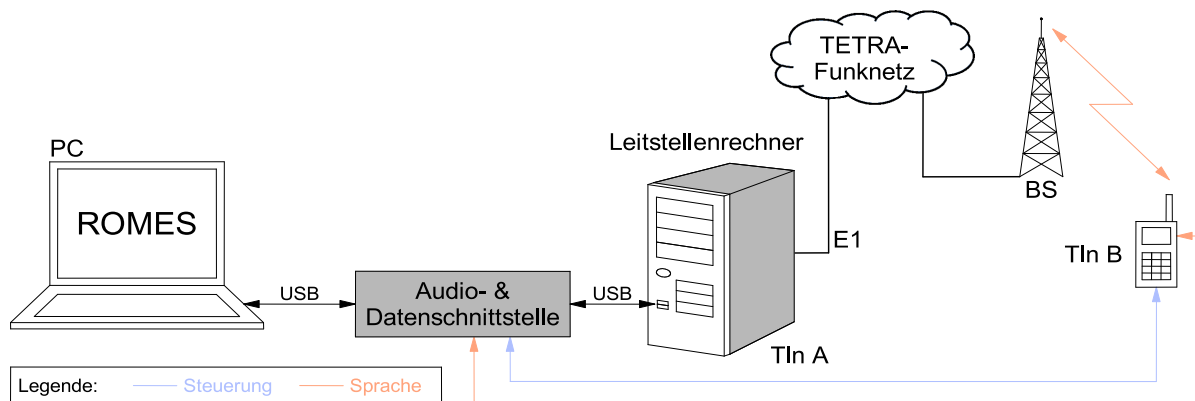


Abbildung 3.3 - Messung über Leitstellenanbindung

Für die Einführung des BOS-Digitalfunkes wurden Leitstellensysteme für die BOS komplett neu entwickelt. Innerhalb des Leitstellensystems wird an mehreren Schnittstellen das Sprachsignal umcodiert. An einigen Schnittstellen erfolgt eine D/A bzw. A/D Wandlung und eine Wandlung zwischen digitalen Kompressionsverfahren. Die mehrfachen Wandlungen der Sprachsignale sollen mit einem weiteren Messaufbau (Abbildung 3.3) untersucht werden. Das Leitstellensystem ist direkt an die Netzinfrastruktur angebunden. Die Aufgabe der Audio- und Datenschnittstelle besteht bei diesem Messaufbau in der Vermittlung zwischen ROMES und dem Leitstellenrechner. Die Schnittstelle muss sich aus Sicht von ROMES wie ein Endgerät verhalten und aus Sicht des Leitstellenrechners wie ein USB-Audiozubehör, damit der digitale Audiostream zwischen beiden Geräten ausgetauscht werden kann. Des Weiteren passt die Audio- und Datenschnittstelle den Signalpegel vom und zum Endgerät (TIn B) an und ermöglicht die Steuerung des Endgerätes.

Neben der Verwendung als universelle Schnittstelle für die Sprachqualitätsanalyse im schmalbandigen TETRA-Funknetz, soll die Audio- und Datenschnittstelle für andere Messzwecke als rechnergestützte Signalquelle im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz genutzt werden können.

4 Systemarchitektur der Audio- und Datenschnittstelle

Die Audio- und Datenschnittstelle ist eine Neuentwicklung bei der die elektromagnetischen Störeinflüsse minimiert wurden. Die Funktionalitäten sind dabei auf mehrere Module verteilt. Ein vereinfachtes Blockschaltbild zeigt die Abbildung 4.1.

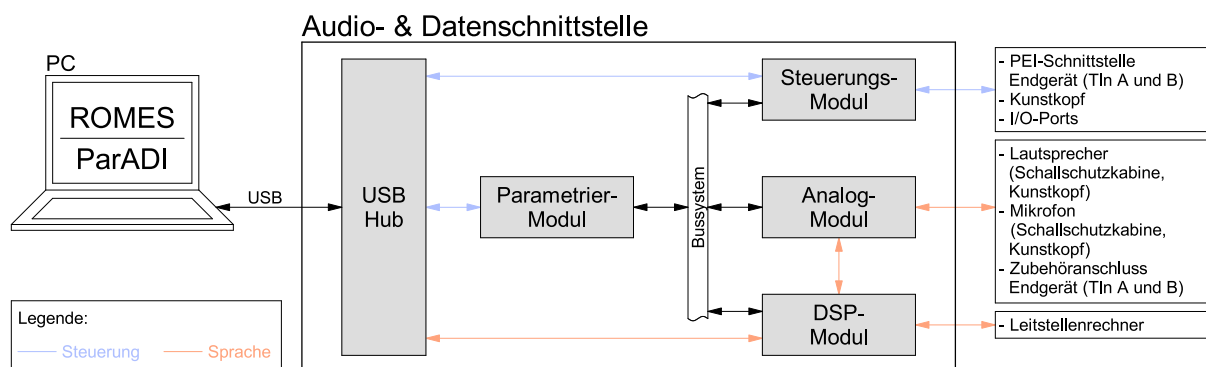


Abbildung 4.1 – Systemarchitektur der Audio- und Datenschnittstelle (vereinfachtes Blockschaltbild)

Der Audio- und Datenschnittstelle wird eine hohe Flexibilität abverlangt, damit diese auch für zukünftige Anwendungen zur Sprachqualitätsmessungen eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund wurde die Bedienung des Gerätes vollständig softwarebasierend realisiert. Die Software, nachfolgend ParADI genannt, läuft auf dem Messrechner und kann simultan mit der Software ROMES betrieben werden.

Jeglicher Datenaustausch zwischen dem Messrechner und der Audio- und Datenschnittstelle erfolgt über einen USB 2.0 Port. Der *USB-Hub*, innerhalb des Gerätes, erweitert diesen Port und stellt somit logische Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen dem Messrechner und den Modulen her.

Das *Steuerungs-Modul* kommuniziert mit der Software ROMES über zwei virtuelle COM-Ports, welche als PEI-Schnittstellen betrieben werden. Es übernimmt die Aufgabe der bidirektionalen Befehlsweiterleitung zwischen dem Endgerät und ROMES. Wird bei einem Messaufbau kein Endgerät als Schnittstelle zum TETRA-Funknetz genutzt (z. B. bei Leitstellenmessungen), so emuliert das Modul ein Endgerät auf der PEI-Schnittstelle. Das Modul stellt eine RS-232 Schnittstelle, drei galvanisch getrennte digitale Ein- und fünf Ausgänge für Steuerungsaufgaben bereit. Des Weiteren wertet das Steuerungs-Modul die Kommunikation der PEI-Schnittstellen aus, so dass diese Informationen mit der Steuerung externer Geräte verknüpft werden können. Ein typischer Anwendungsfall ist die Nachahmung einer Push-to-Talk Taste (PTT) für die Signalisierung einer aktiven Funkverbindung.

Im *DSP-Modul* werden mit einem digitalen Signalprozessor (DSP) das Signalrouting, die Signalverarbeitung und die Signalwandlung durchgeführt. Neben der D/A und A/D Wandlung des Sprachsignals, sorgt der DSP für einen breiten Einsatzbereich der Audio- und Datenschnittstelle. So ist es beispielsweise möglich, das Sprachsignal zu manipulieren bevor es in das TETRA-Netz eingespeist oder zurück an ROMES gesendet wird. Ein Anwendungsfall könnte die Faltung des Sprachsignals mit der Impulsantwort eines Raumes, zur Nachbildung verschiedener Raumeinflüsse unter Laborbedingungen sein. Der DSP wird über eine graphische Programmieroberfläche, das SigmaStudio von der Firma Analog Devices, konfiguriert.

Die Pegel der eingehenden analogen Signale (z. B. vom Mikrofon der Schallschutzkabine oder von der Zubehörschnittstelle des Endgerätes) müssen an den Quantisierungsbereich des D/A Wandlers angepasst werden, um einen möglichst niedrigen Quantisierungsfehler zu erzielen. Das Ausgangssignal des D/A Wandlers muss nach der Tiefpassfilterung ebenfalls im Signalpegel an das angeschlossene Zubehör angepasst werden, um z. B. eine Verzerrungen des Signals oder einen niedrigen Signalrauschabstand zu vermeiden. Dafür ist das *Analog-Modul* vorgesehen. Weitere Aufgaben sind die Bereitstellung der Mikrofonspannung im Bereich von 0,5 V bis 48 V, die Impedanzanpassung an einen niederohmigen Lautsprecher und die optische Pegelanzeige für eine schnelle Pegelanpassung. Das Analog-Modul ist so dimensioniert, dass analoge Signale mit einem Pegel von -75 dBu bis 15 dBu verarbeitet werden können.

Das *Parametrier-Modul* kommuniziert direkt mit der Software ParADI, d.h. es nimmt alle Befehle zur Bedienung des Gerätes entgegen, verarbeitet diese oder leitet sie per Bussystem weiter. Als Schnittstellenprotokoll zur Geräteparametrierung dient der Befehlssatz „Standard Commands for Programmable Instruments (SCPI)“ mit gerätespezifischer Erweiterung.

Das Parametrier-Modul speichert das Programm des DSPs in einem EEPROM ab und lädt es beim Starten des Gerätes in den DSP. Weiterhin steuert das Modul die digitalen Potentiometer des Analog-Moduls.

5 Schnittstellenaufbau

Die Module wurden auf zweiseitigen Leiterplatten realisiert, die in einem 19“-Metallgehäuse untergebracht sind (Abbildung 5.1). Das Netzteil wurde klassisch mit Ringkerntransformatoren aufgebaut. Die Taktfrequenzen der digitalen Schaltungsbereiche sind niedrig gewählt, damit geräteinterne Strahlungskopplungen gering gehalten werden.

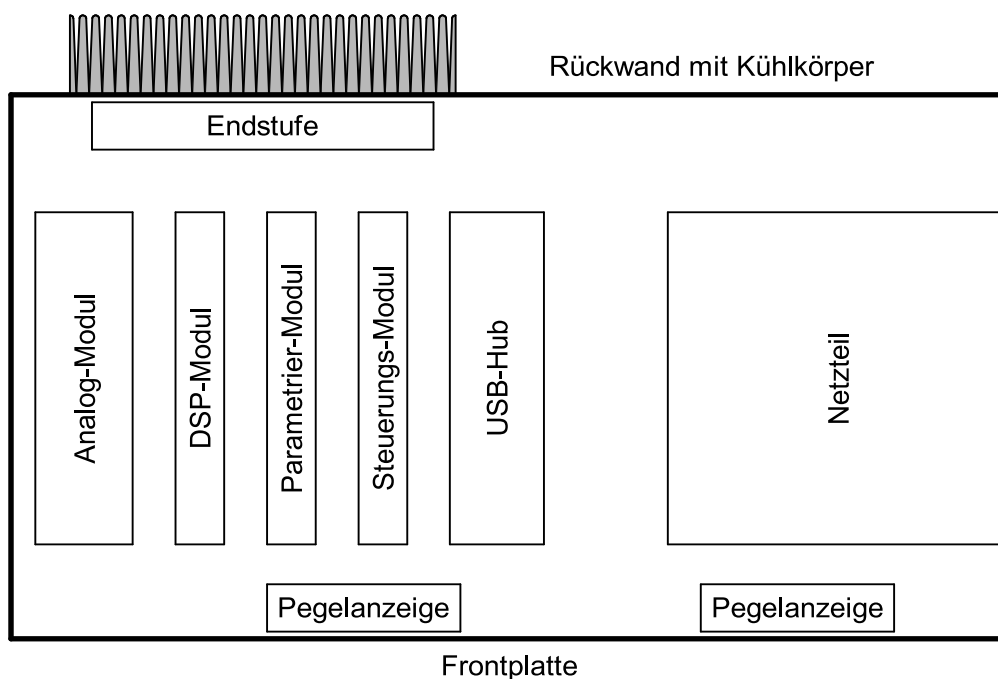


Abbildung 5.1 - Anordnung der Module im Gehäuse

Wie in der Abbildung 5.2 dargestellt, enthält die Frontplatte alle Schnittstellen zur analogen und digitalen Ein- und Ausgabe des Sprachsignals, sowie die Schnittstellen zur Steuerung der Funkgeräte und ggf. weiterer, externer Hardware.

Da die Bedienung des Gerätes per Software erfolgt, bietet die Frontplatte ausreichend Platz für robuste, verschraub- oder verriegelbare Steckverbinder. Das soll einen sicheren Messaufbau und eine lange Lebensdauer des Gerätes ermöglichen. Für die analogen Schnittstellen werden durchgängig XLR-Steckverbindungen verwendet. Bei den digitalen Schnittstellen kommen D-Sub- oder USB-Verbindungen zum Einsatz.

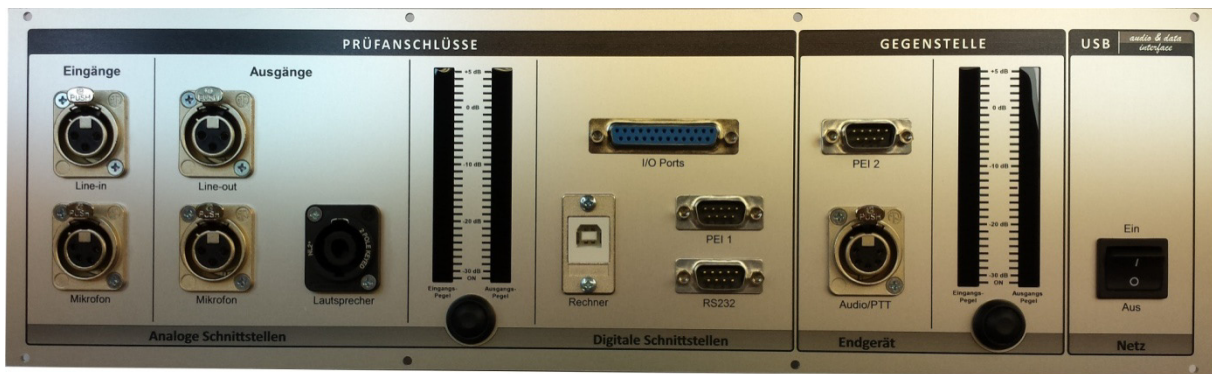


Abbildung 5.2 – Ansicht der Frontplatte

6 Schnittstellenbedienung

Zur Bedienung der Audio- und Datenschnittstelle wurde die Software ParADI entwickelt. Über die grafische Benutzeroberfläche lassen sich alle Parameter, wie beispielsweise die Verstärkungsfaktoren zur Pegelanpassung, das Signalrouting, Funktionen der I/O-Ports und die Konfiguration der Datenschnittstellen einstellen. Die Informationen werden per SCPI-Protokoll und virtuellen COM-Port zur Audio- und Datenschnittstelle übertragen. Im Programm sind die wesentlichen DSP-Routinen hinterlegt. Optional können weitere DSP-Routinen mit dem SigmaStudio erstellt und mittels ParADI an das Gerät gesendet werden.

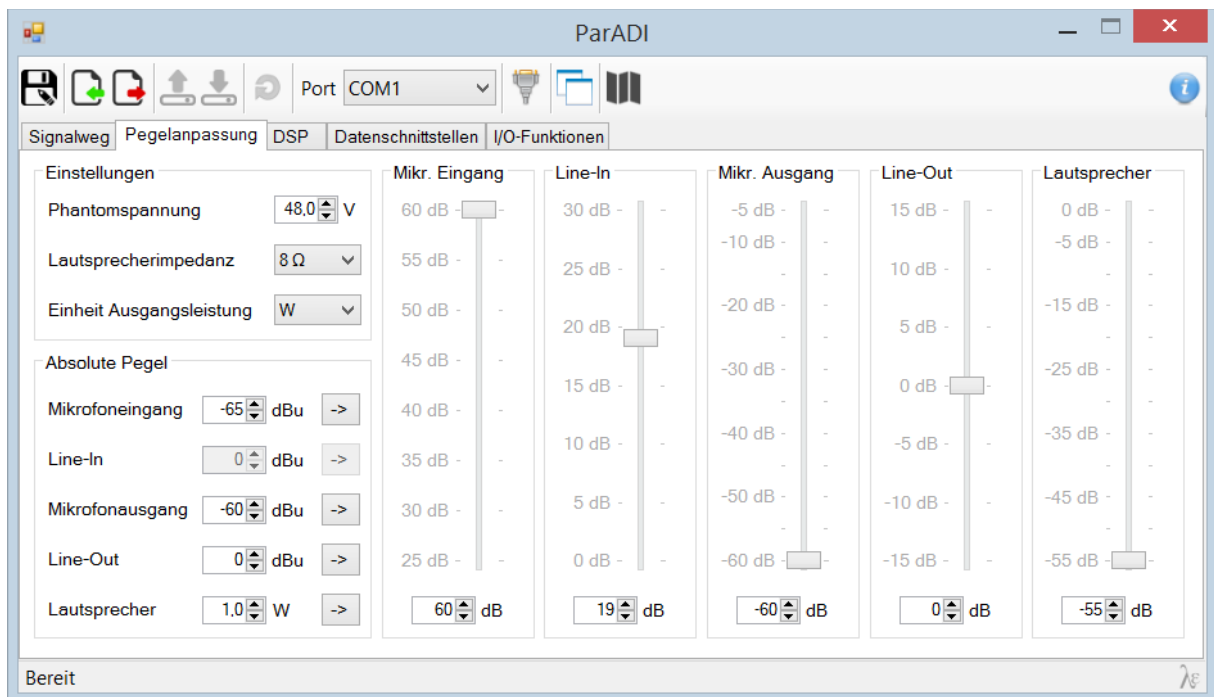


Abbildung 6.1 - Software zur Bedienung der Audio- und Datenschnittstelle (GUI-Beispiel)

7 Diskussion und Zusammenfassung

Die quantitative Messung der Sprachqualität ist nicht nur über die gesamte Signalkette (Endgerät zu Endgerät) erforderlich, sondern auch in Teilen der Übertragungskette. Ein dafür erforderliches Interface wird derzeit nicht auf dem europäischen Markt angeboten. Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und Herstellung dieses Interfaces mit dem Anspruch, eine universelle Nutzung möglich zu machen.

Das derzeitige System ist optimiert für Messungen mit dem Messsystem ROMES, bei dem das Messverfahren „Perceptual Evaluation of Speech Quality (PESQ)“ eingesetzt wird [6]. Die aktuelle Anwendung unter ROMES nutzt eine Übertragungsbandbreite von 0,3 kHz bis 3,4 kHz. Darüber hinaus erlaubt das Interface eine Interoperabilität zwischen schmal- und breitbandigen NF-Anwendungen, da es eine NF-Übertragungsbandbreite von 20 Hz bis 20 kHz unterstützt. Bedingt durch den internen Prozessoraufbau und die zugehörige Firmware ist eine universelle Adaption an periphere Rechentechnik möglich. Beispielsweise erwähnt sei die Anwendung im Fahrzeugbau, im Bereich Endgerätezubehör (Qualitätsbewertung, Spezifikation) und bei Messungen in Kommunikationsnetzen mit HD-Voice und Full-HD Voice Sprachcodecs.

Die Hard- und Firmwareentwicklung des Prototyps wurde im Wesentlichen abgeschlossen. Das DSP-Modul und die Bediensoftware ParADI befinden sich derzeit noch in der Entwicklung. Es folgt anschließend die messtechnische Überprüfung der Module und die Integration des Gerätes in den Messaufbau. Erste Messungen von Sprachqualität mit der neuen Audio- und Datenschnittstelle sind für Mitte 2016 geplant.

Literatur

- [1] RHODE & SCHWARZ: *ROMES4 Drive Test Software – Mobile Versorgungs- und QoS-Messungen im Mobilfunk*, <http://www.rohde-schwarz.de/de/Produkte/messtechnik-testsysteme/drive-test-loesungen/ROMES.html> (aufgerufen am 15.1.2016)
- [2] SCHREIER, A.: *Raumakustische Untersuchung einer Leitstelle der BOS Sachsen, messtechnische Analyse der eingesetzten Audiokomponenten und Schlussfolgerungen zur akustischen Optimierung der Übertragungskette*. Bachelorarbeit, HfT Leipzig, 2013.
- [3] ETSI EN 300 392-5: *Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D) and Direct Mode Operation (DMO); Part 5: Peripheral Equipment Interface (PEI)*, V2.2.0, 2010.
- [4] LÖSCH, E.: *Universelle Audio- und Datenschnittstelle zur Messung der Sprachqualität in Verbindung mit dem Messsystem ROMES zur Bewertung komplexer digitaler Funksysteme*. Bachelorarbeit, HfT Leipzig, 2015.
- [5] LÖSCH, E.: *Entwicklung einer universellen Audio- und Datenschnittstelle zur Messung der Sprachqualität in Verbindung mit dem Messsystem R&S ROMES4 zur Bewertung komplexer digitaler Funksysteme*. Projektbericht, HfT Leipzig, 2015.
- [6] ITU-T REC. P.862: *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ) – An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*, 2001.