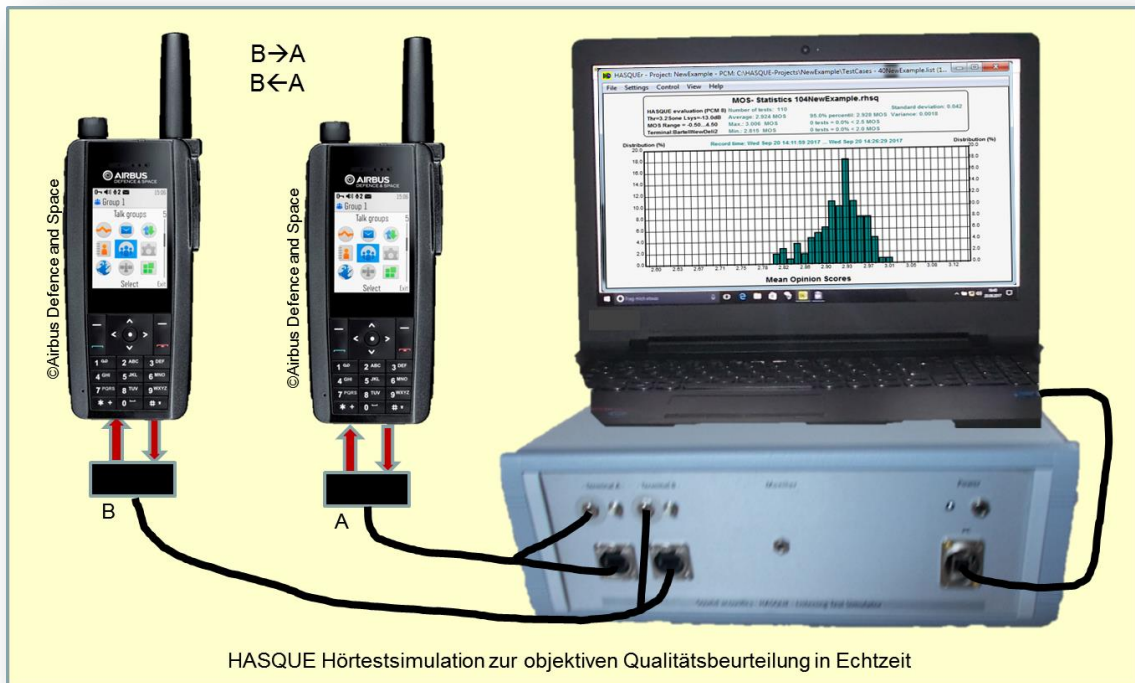


Empfehlungen für eine zuverlässige Qualitätsbeurteilung von TETRA- Endgeräten mit dem HASQUE Messsystem



Inhalt

Abstrakt	3
Toleranzeinflüsse.....	4
Messtoleranzen durch das TETRA - Verfahren.....	4
Betriebsbedingte Einflüsse	5
Referenzsignale	5
Endgeräteeinflüsse	6
Hardwarebetrieb	7
Hardwaretest und Endgeräteanpassung.....	10
Hardwaretest.....	11
Messungen im Zeitbereich	11
Messungen im Frequenzbereich	12
Automatische Pegeladaption	13
Zusammenfassung:	14
Literatur	15
Abbildungen	15

Abstrakt

Das HASQUE - Messverfahren erzeugt bei der Qualitätsbeurteilung von Audiosignalen exakt reproduzierbare Ergebnisse ohne nennenswerte Messtoleranzen. Messtoleranzen werden im Wesentlichen durch die Eigenschaften der Endgeräte und deren Schnittstellenanpassung zum Messsystem festgelegt.

Dieser Bericht zeigt, wie die Qualität von TETRA-Endgeräten für den digitalen Behördenfunk mit Hilfe des HASQUE Hörtestsimulators präzise und mit geringer Messtoleranzabweichung von ca. 1% gemessen werden kann.

Es werden die Toleranzeinflüsse des TETRA Codecs, der Endgeräteeigenschaften und der Pegelanpassung zwischen Endgeräte und Messsystem erörtert.

Im Kapitel Hardwaretest wird gezeigt, wie die spezielle Messtechnik des HASQUE Messsystems zur Überprüfung und Fehleranalyse der zu evaluierenden Endgeräte effizient eingesetzt werden kann.

Mit Hilfe eines Wizards zur automatischen Pegelanpassung zwischen Endgeräte und Messsystem wird ein definierter Messbetrieb sichergestellt, mit dessen endgerätespezifischer Parametrierung reproduzierbare Qualitätsmessungen durchgeführt werden können.

Im letzten Kapitel werden die wichtigsten Regeln für eine präzise Qualitätsbeurteilung zusammengefasst.

Toleranzeinflüsse

Messbare Qualitätsschwankungen können verfahrens- und betriebsbedingt auftreten.

Im Gegensatz zur Beurteilung linearer Systeme ergeben sich verfahrensbedingt bei der Hörtestsimulation mit TETRA Endgeräten zusätzliche Toleranzschwankungen, welche stark eingegrenzt werden können.

Betriebsbedingte Qualitätsschwankungen können mit Hilfe verfügbarer Mess- und Abgleichfunktionen, korrekten Endgeräteeinstellungen und der Verwendung brauchbarer Referenzsamples stark reduziert oder vermieden werden.

Im Folgenden werden die Toleranzeinflüsse näher betrachtet.

Messtoleranzen durch das TETRA - Verfahren

Schwächstes Glied in der Kette der systembedingten Einflüsse ist der TETRA Codec [1, 2, 3, 4]. Die gemessenen Qualitätsmaße schwanken bei TETRA Codecs verfahrensbedingt durch die äquidistante Blockverarbeitung mit 10 ms langen Signalausschnitten. Je nachdem, mit welcher Phasenlage kritische Anregungen kodiert und wieder dekodiert werden, ergeben sich Fehler, welche als hörbare Verzerrungen empfunden werden und somit zu gehöradäquaten Qualitätsschwankungen führen.

Zur Ermittlung der Toleranzeigenschaften des TETRA Codecs wurden 60 Simulationen mit schrittweiser Erhöhung der Phasenverschiebung um je 1 ms mit ein und demselben Referenzsample durchgeführt, um phasenabhängige Qualitätsunterschiede über mehrere TETRA-Rahmen nachweisen zu können.

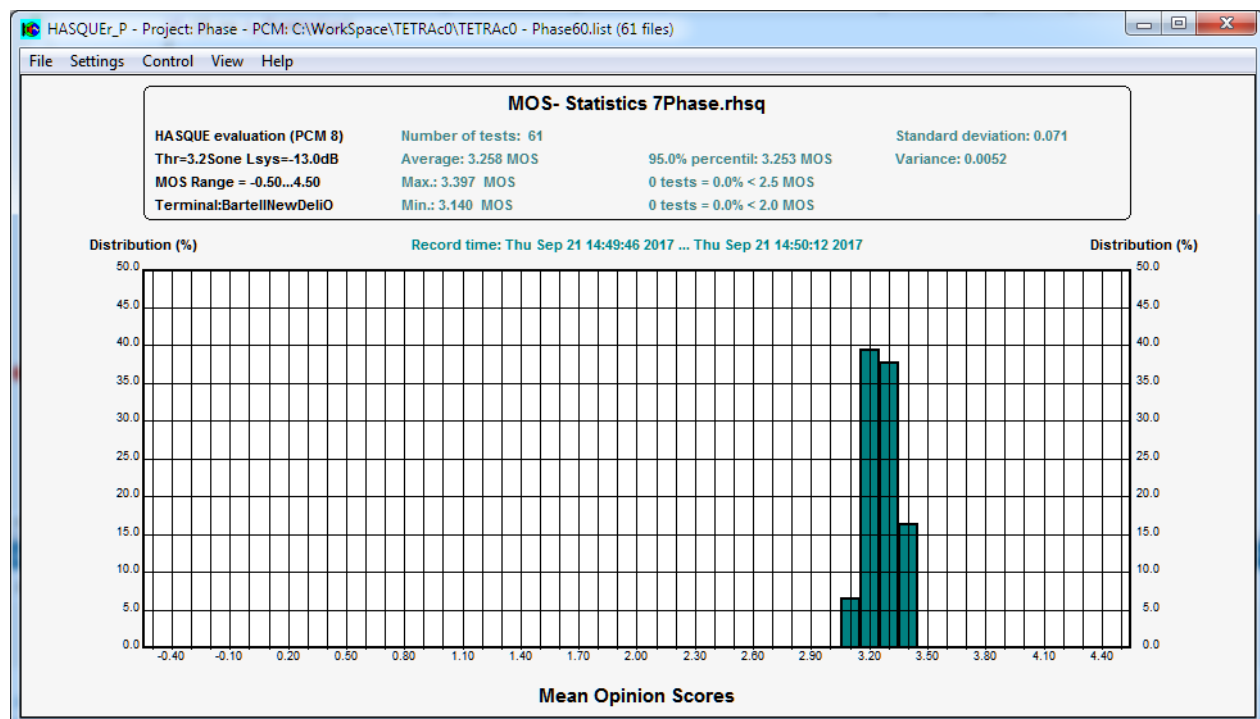


Bild 1: Phasenabhängige Qualitätsschwankungen des TETRA Codecs

Das Ergebnis der Simulation zeigt Bild 1. Die gemessenen Qualitätsmaße des simulierten TETRA Codecs (ohne Hardwareperipherie) variieren durch das Phasenverhalten um ca. 5 Prozent. Die gemessenen Schwankungen korrelieren mit subjektiv empfundenen Qualitätsschwankungen.

Für eine reproduzierbare Endgerätebeurteilung folgt daraus, dass jedes Sprachsample mehrfach evaluiert werden muss, um über den Mittelwert der einzelnen Messungen eine repräsentative Aussage machen zu können. Es ergeben sich folgende Ergebnisse bei Gleichverteilung der Phasenlagen:

Anzahl Messungen	MOS Abweichung	Toleranz (%)
1	0.25	5
5	0.05	1
10	0.025	0.5
100	0.0025	0.05

Tabelle 1: Ergebnis der Toleranzschwankungen mit TETRA Codec

D. h. um eine Messtoleranz $< 1\%$ erreichen zu können, müssen ca. 10 Messungen für jedes verwendete Referenzsample durchgeführt und gemittelt werden.

Betriebsbedingte Einflüsse

Für eine reproduzierbare Qualitätsbeurteilung verschiedener Endgeräte ist der korrekte Betrieb des Messsystems an dem zu evaluierenden Endgerät ausschlaggebend. Betriebsbedingte Qualitätsschwankungen können durch folgende Einflüsse hervorgerufen werden.

1. Referenzsignale
2. Endgeräteeinflüsse:
 - Verschlüsselung
 - Speech Item Talk Time
 - Akku Ladung
 - Wiedergabelautstärke
 - PTT- Ansprechzeit
3. Hardwareverbindung
4. Schnittstellenanpassung zwischen Messsystem und Endgerät
 - Anpassung des Sendepiegels des Messsystems an die Eingangsempfindlichkeit des Endgerätes
 - Anpassung des Ausgangspegels des Endgerätes die Eingangsempfindlichkeit des Messsystems

Referenzsignale

Referenzsignale [1] verkörpern bei der Hörtestsimulation die Höreigenschaften eines gesunden Ohres. Bandbegrenzte, verzerrte oder verrauschte Referenzsignale sind gleichbedeutend mit einem Gehörschaden und sind nicht für die Qualitätsmessung an Audiosystemen geeignet. Die gemessene Qualität kann durch unbrauchbare Referenzsignale um mehr als 10% schwanken, weswegen Referenzsignale nach ITU-T Empfehlung [9] zur Qualitätsbeurteilung dringend empfohlen werden.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten ist die Verwendung ein und desselben ausgewählten Sammlung von Referenzsamples für die Qualitätsbeurteilung obligatorisch. Toleranzen durch Sprachsamples sind damit bei einem direkten Qualitätsvergleich verschiedener Endgeräte ausgeschlossen.

Endgeräteeinflüsse

Bestimmte Eigenschaften oder programmierbare Funktionen der zu untersuchenden Endgeräte können die Qualitätsbeurteilung stark beeinflussen.

Eine vergleichbare Qualitätsbeurteilung erfordert vergleichbare Betriebsbedingungen.

Endgeräteoptionen

Verschlüsselung erzeugt Stolen Frames, wodurch die Qualität wegen der Fehlerverdeckung dann hörbare Störungen verursacht, wenn das Sprachsample an der Stelle des „gestohlenen Blocks“ sich vom vorigen Sprachblock unterscheidet. Die gemittelte Qualität ist reduziert. Die Störungen sind auch als kurzzeitige Sprachunterbrechungen hörbar.

Die Ergebnisse von Messungen mit Verschlüsselung sind nicht vergleichbar mit Messungen ohne Verschlüsselung.

Speech Item Talk Time ist eine programmierbare Sprechzeitbegrenzung und kann dann verheerende Qualitätseinbrüche verursachen, wenn die eingestellte Zeitbegrenzung zu klein ist. In diesem Fall können die letzten Äußerungen eines Sprachsamples verloren gehen, was auch als deutliche Sprachunterbrechung wahrgenommen werden kann.

Korrekte Qualitätsmessungen können nur durchgeführt werden, wenn die mögliche Sprechzeit eines Endgeräts größer ist als die Aufnahmezeit der Referenzaufnahme zuzüglich maximaler Signallaufzeit über das gesamte Messsystem.

Endgeräte mit einstellbarer Lautstärke

Der Lautstärkeinstellbereich von Endgeräten mit manuell einstellbarer Wiedergabelautstärke kann aus Gründen der Kompensationsmöglichkeit von schwachen Empfangspegeln (leiser Sprecher) so groß sein, dass bei hoher Lautstärkeeinstellung und bei Nominalpegel hörbare Verzerrungen verursacht werden. Da diese Verzerrungen vom Endgerät erzeugt werden, können diese auch nicht durch eine Pegelanpassung am Messempfänger kompensiert werden. Die Qualität ist in dem Fall auch hör- und messbar schlechter. Die Ergebnisse von Messungen an Endgeräten mit diesem Verhalten bei hoher Wiedergabelautstärke sind daher nicht vergleichbar mit Messungen bei reduzierter Lautstärke.

Grundsätzlich ist es mit HASQUE möglich, die Qualität bei voller Wiedergabelautstärke zu messen. Dies macht jedoch wenig Sinn, wenn die Lautstärkereserven für Extremfälle vorgesehen sind, und der „Normalbetrieb“ bei reduzierter Lautstärkeeinstellung erfolgt.

HASQUE ermöglicht die Einstellung einer definierten Wiedergabelautstärke mit Hilfe des Husky Wizards (siehe Automatische Pegeladaption), mit dem die Wiedergabelautstärke exakt auf verzerrungsfreie Vollaussteuerung abgeglichen werden kann.

Reproduzierbare Messungen müssen bei gleicher Lautstärkeeinstellung durchgeführt werden, um Qualitätsschwankungen durch endgerätebedingte Verzerrungen auszuschließen.

Akku Ladung

Zur Überprüfung der Qualitätsbeeinträchtigung durch die Akkuladung von Endgeräten wurden zwei Funkgeräte im Wechsel bis zur Selbstabschaltung eines Funkgerätes wegen zu geringer Akkuladung bewertet. Hierbei wurden insgesamt 1046 Testfälle in 3 Stunden evaluiert.

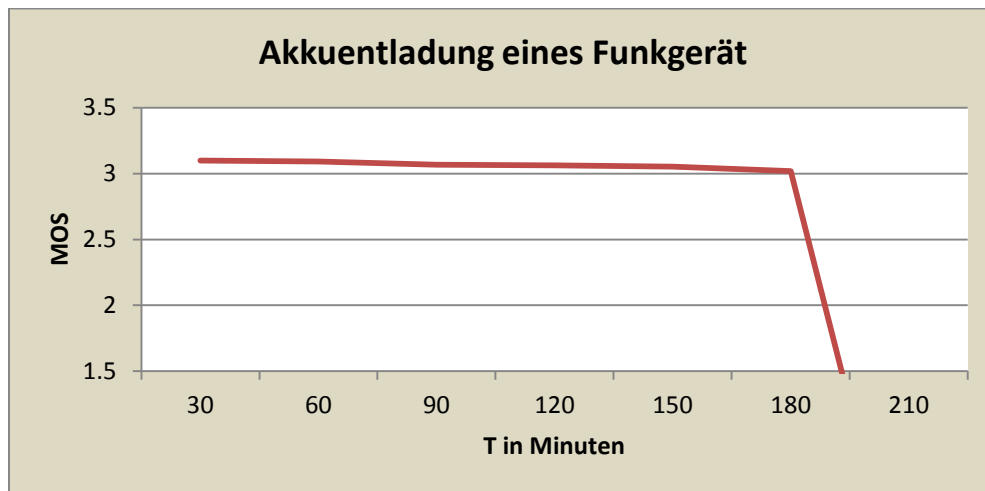


Bild 2: Sinkende Qualität durch AKKU –Entladung

Das gemessene Qualitätsmaß akkubetriebener Endgeräte fällt mit abnehmender Akkuladung bis zum Aussetzen von 3.1 auf 3.0 auf der MOS Skala ab. Dies entspricht einer Toleranz von 2 %.

Während der Entladung wurden einzelne (ca. 2 von 1000) Qualitätseinbrüche um 30% durch kurzzeitige Sprachunterbrechung beobachtet.

Wegen dieses Verhaltens wird empfohlen eine Qualitätsbeurteilung von akkubetriebenen Endgeräten nur mit voll geladenen Akkus durchzuführen.

PTT-Ansprechzeit

Werden Endgeräte mit Hilfe der PTT Taste in den Sendebetrieb versetzt, vergeht eine vom Endgerät abhängige Ansprechzeit, bis Sprachsignale einwandfrei übertragen werden können. Diese Ansprechzeit kann und muss in der programmierbaren Messablaufsteuerung des Messsystems berücksichtigt werden, da sonst Sprachunterbrechungen während des Messbetriebs auftreten und zu erheblicher Qualitätsminderung (>0,5 auf der MOS Skala) führen können.

Hardwarebetrieb

Signalleitungen - Schirm und Erdung

Die HASQUE-Hardware ist mit galvanisch getrennten symmetrischen Signalschnittstellen ausgerüstet, um Einstreuungen durch HF-Funksignale oder Netzbrumm möglichst zu vermeiden. Dennoch muss beim

Betrieb mit unbekannten Endgeräten darauf geachtet werden, dass das Messsignal nicht durch Störsignale über Zuleitungen oder durch Masseschleifen überlagert wird.

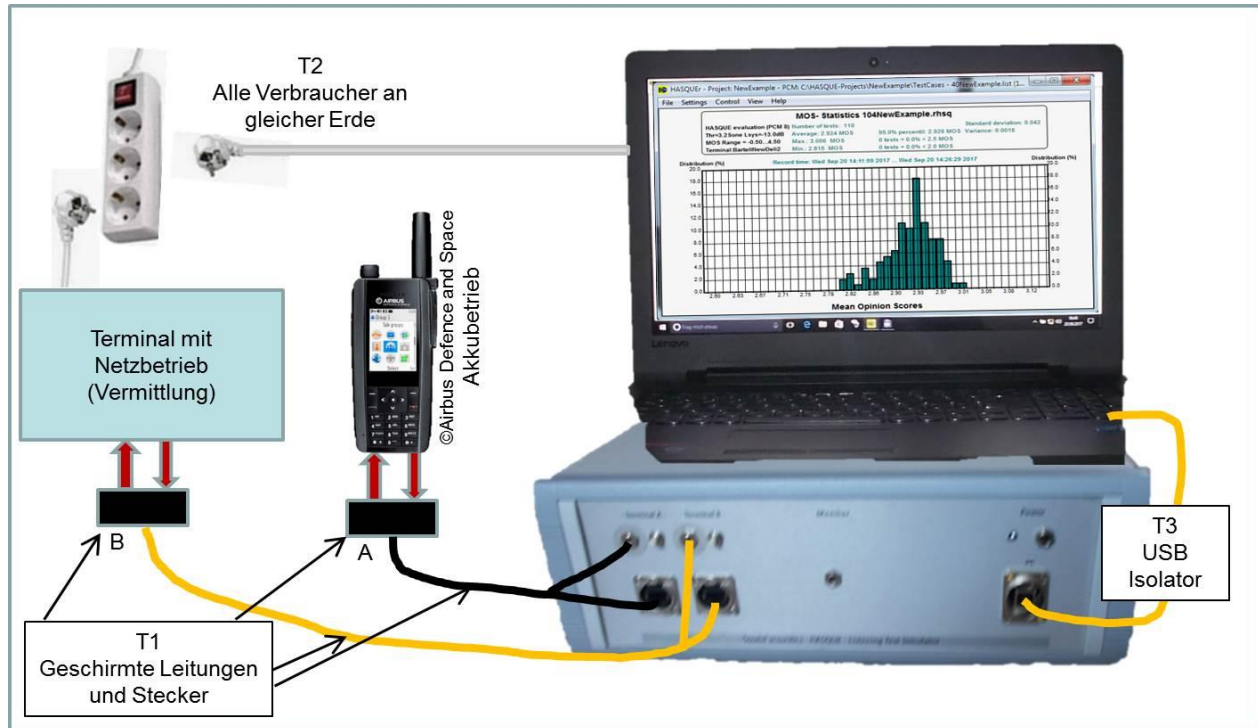


Bild 3: Beispiele zur Vermeidung von Einstreuungen und Brummschleifen

Im Bild 3 sind verschiedene Geräte mit dem HASQUE - Messsystem verbunden. Es gibt folgende Möglichkeiten:

- Die HASQUE - Software ist auf einem Laptop mit Steckernetzteil installiert. Die PC-Hardware arbeitet vom Netz galvanisch getrennt.
- Es sind mit Akku betriebene Terminals angeschlossen.
- Es sind ein mit Netzkabel betriebener PC und mit Netzkabel betriebene Terminals miteinander verbunden. Die Signalmasse der Terminals ist nicht mit Erde verbunden.
- Es sind ein mit Netzkabel betriebener PC und mit Netzkabel betriebene Terminals miteinander verbunden. Die Signalmasse der Terminals ist ebenfalls mit Erde verbunden.

Um einwandfreie Messungen durchführen zu können wird für die oben gezeigten Betriebsarten folgendes empfohlen:

- Signalleitungen und Steckverbinder sollten generell (a-d) abgeschirmt sein. Insbesondere Terminals mit asymmetrischen Schnittstellen und hoher Eingangsempfindlichkeit benötigen eine gute Schirmung!

2. Geräte, die während einer Messung miteinander verbunden sind und über die Netzspannung gespeist werden müssen (c-d), sollen mit ein und derselben Steckdosenleiste mit Netzspannung versorgt werden, um etwaige Brummschleifen über das Stromnetz zu vermeiden.
3. In kritischen Fällen (d und induzierte Erdschleife) kann zwischen USB-Eingang und PC ein USB-Isolator verwendet werden, um eine vorhandene Masseschleife zu unterbrechen. In den meisten Fällen lässt sich dies durch eine vernünftige Verdrahtung umgehen.

Messtechnisch lässt sich mit Hilfe des Hardwaretests eine Brummstörung durch die Überhöhung bei 50 Hz im Frequenzbereich oder ein HF-Einstreuungen durch ein breitbandiges Rauschen im Zeitbereich nachweisen.

Kontakte

Eine schlechte Verbindung zwischen den Signal- Ein - und Ausgängen der Terminals und dem Messsystem kann zu starken Qualitätseinbrüchen führen. Insbesondere sind oxidierte Kontakte am Servicestecker der Endgeräte gefährlich, da der Kontakt während laufender Messungen nicht sichergestellt ist und Qualitätsschwankungen zwischen nur 0.2 auf der MOS Skala durch gelegentliches Knistern und bis -0.5 durch Totalausfall verursachen kann.

Aus diesem Grund wird die regelmäßige Überprüfung und bei Bedarf die Reinigung der Verbindungskontakte zu den Endgeräten empfohlen.

Pegelanpassung zwischen Messsystem und Endgerät

Eine falsche Einstellung des Messgeräte-Sendepegels führt immer zu Qualitätsverlusten. Zu hohe Pegel erzeugen Verzerrungen und/oder starke AGC - Schwankungen. Ein zu geringer Sendepiegel erhöht das Quantisierungsrauschen und verschlechtert den Signal- Störabstand.

Aktuell sind Endgeräte im Einsatz, deren Eingangsempfindlichkeit um bis zu 40 dB verschieden sein kann. Viele Endgeräte sind programmierbar, wodurch die Möglichkeit für eine fehlerhafte Aussteuerung relativ hoch ist.

Die Wiedergabepegel verschiedener Endgerätes sind nicht nur von deren Lautstärkeeinstellung mit einem Einstellbereich von >25dB abhängig, sondern können zwischen Hörer- und Lauthörbetrieb erhebliche Unterschiede von zusätzlich 20 dB aufweisen. Ein zu geringer Messgeräteempfangspegel führt zu einer Verschlechterung des SNR, ein zu großer zu Verzerrungen.

Eine korrekte Anpassung der Sende- und Empfangspegel der Messeinrichtung an die zu testenden Endgeräte ist manuell nur mit erheblichem Aufwand durch mehrere Iterationen (messen und einstellen) möglich und kann zu größeren Toleranzschwankungen führen. Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Qualitätsbeurteilung mit manuellem Pegelabgleich zu einer Messtoleranz von >10% kann. So wurde ein und dasselbe Endgerät mit einem gemittelten MOS-Wert von 2.6 und bei einem anderen Pegelabgleich mit 3.1 auf der MOS Skala bewertet.

Diese Toleranzschwankungen lassen sich mit Hilfe der automatischen Pegelanpassung des HASQUE Messsystems auf ca. 1% begrenzen.

Hardwaretest und Endgeräteanpassung

Werden neue Endgeräte mit dem Messsystem verbunden, muss zunächst in einem Hardwaretest festgestellt werden, ob die Endgeräte korrekt angeschlossen sind und störungsfrei arbeiten. Erst nach diesem Test sollten die Schnittstellenpegel angepasst werden. Diese beiden Aufgaben lassen sich mit Hilfe des HASQUE Messsystems in wenigen Minuten wie folgt durchführen.

Hardwaretest

Messungen im Zeitbereich

Der Hardwaretest erfolgt mit Hilfe eines speziellen Testsignals jeweils über die Verbindungen A→B und B→A. Die Verbindungsrichtung kann mit Hilfe der PTT Tasten während des Hardwaretests über die grafische Oberfläche festgelegt werden, wodurch beide Richtungen bidirektional ausgemessen und abgeglichen werden können.

Bei dem Testsignal handelt es sich um einen bei Sound acoustics entwickelten Bartlettburst, mit dem Pegel, Klirrfaktor und Störabstand trotz automatische Sinustonunterdrückung (ist in einigen Endgeräten implementiert) und trotz Modulationseigenschaften des TETRA Codecs gemessen werden können.

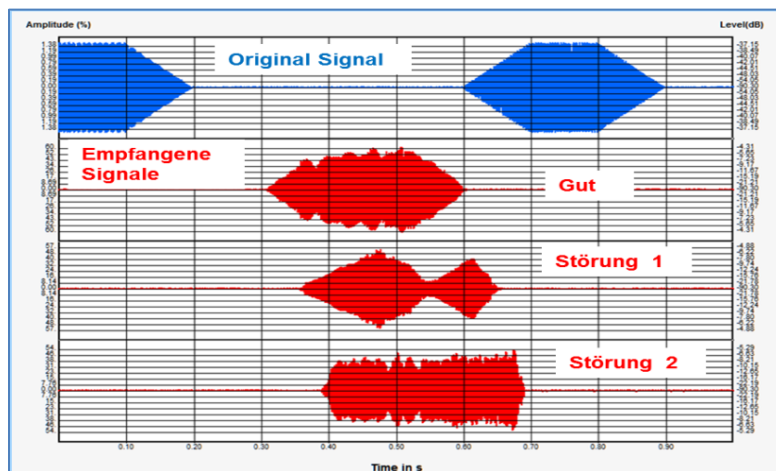


Bild 4: Fehlerdiagnose mit Bartlettburst

Darüber hinaus bietet der Bartlettburst als Hexagon eine einfache grafische Diagnosemöglichkeit zur Beurteilung der Übertragungseigenschaften.

Eine gute Übertragung bildet das Sechseck des Bartlettbursts wie in Bild 4 gezeigt mit geringer Amplitudenmodulation nach. Die Amplitudenmodulation des TETRA Codecs verursacht bei Anregungen mit dem Bartlettburst keine nennenswerten harmonischen

Oberwellen, da die Signalform der einzelnen Sinusschwingungen des Bartlettbursts kaum verformt wird. Mit Hilfe einer von Sound acoustics entwickelten adaptiven Klirranalyse, welche Messfehler durch äquidistante Frequenzabtastung kompensiert, ergeben sich bei dieser Darstellung Verzerrungen deutlich unter 0.1%.

Störung 1 zeigt eine Eindellung und weist auf ernsthafte Verbindungsfehler zwischen Terminal und Messsystem hin. Treten solche Störungen auf müssen die Verbindungsleitungen bzw. der Servicestecker überprüft werden. Dieser Fehler ist nicht eindeutig mit der Klirranalyse nachweisbar und muss grafisch erfasst werden.

Störung 2 deutet auf Übersteuerung des Endgeräts. Aus dem Hexagon wurde ein Rechteck. Diese Deformierung kann starke Verzerrungen erzeugen. Sofern die Störung allerdings durch eine AGC verursacht wurde, ergibt sich kein nennenswerter Klirrfaktor. Die Qualität wird aber in diesem Fall durch die hörbare Verlängerung der Nutzsignale (auch als Atmen wahrnehmbar) verschlechtert. Fehler dieser Art reduzieren das Qualitätsmaß um typ. 0.3-0.5 auf der MOS Skala und müssen durch eine korrekte Pegelanpassung zwischen Endgerät und Messsystem ausgeglichen werden.

Messungen im Frequenzbereich

Die Überprüfung der Übertragungsfunktion einer stehenden Verbindung über zwei Endgeräte wie in Bild 5 gezeigt ist über die GUI mit einem Mausklick möglich.

Auf einen Blick lassen sich Unterschiede zwischen dem gesendeten (blau) und dem empfangenen (rot) Spektrum erkennen. Im Bereich 300-3500 Hz (Markierung) treten keine lokalen Einbrüche oder Überschwinger auf. Die Welligkeit des Empfangsspektrums ist auf den TETRA Codec zurückzuführen. Die kontinuierliche Anhebung mit zunehmender Frequenz ist bei einigen Endgeräten mehr oder weniger ausgeprägt und soll zur besseren Verständlichkeit beitragen. Die Übertragungsfunktion ist ok.

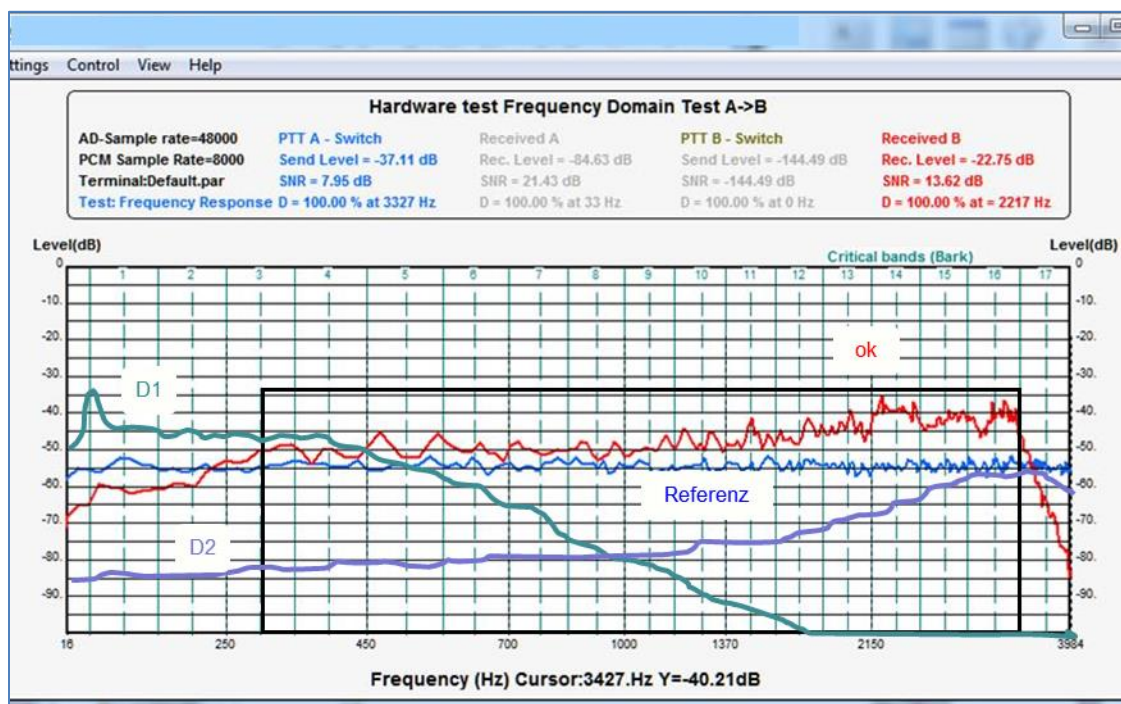


Bild 5: Überprüfung der Übertragungsfunktion

Eine starke Beeinträchtigung des Frequenzgangs wird subjektiv als dumpf (D1), grell oder dünn (D2) empfunden und bewirkt immer eine messbare Qualitätsminderung.

Fehler dieser Art deuten auf ein defektes Endgerät oder extreme Verbindungsprobleme und müssen beseitigt werden.

Automatische Pegeladaption

Eine präzise bidirektionale automatische Pegelanpassung zwischen Endgeräte und Messsystem kann mit Hilfe des „Husky“ Wizards durchgeführt werden. Für Endgeräte mit manuell einstellbarer Wiedergabelautstärke stellt der Wizard ein Mess- und Abgleichprogramm zur Verfügung, mit dem eine definierte Wiedergabelautstärke eingestellt werden kann.

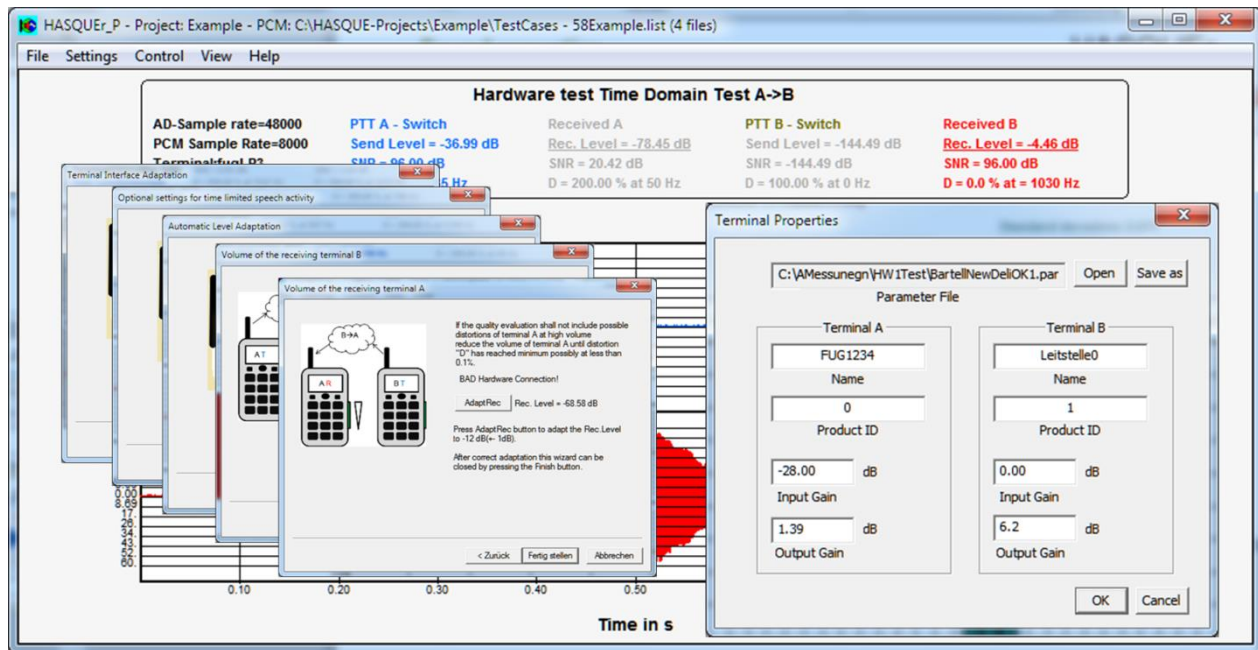


Bild 6: Automatische Pegeladaption mit Wizard

Der Wizard sorgt für eine einwandfreie Pegelanpassung und damit zu reproduzierbaren Qualitätsmessungen mit einer Toleranzabweichung von typ. < 1% und führt den Anwender durch folgende Schritte.

- Abfrage von Hardwareeigenschaften (PTT Ansprechzeit und Sprechzeitbegrenzung)
- Automatische Pegeladaption an die Eingänge der angeschlossenen Endgeräte
- Klirranalyse zur Bestimmung einer definierten Wiedergabelautstärke
- Automatische Pegeladaption an die Messsystemeingänge
- Abspeichern der Endgeräteparameter

Der Wizard nimmt ca. drei Minuten für einen kompletten bidirektionalen Abgleich in Anspruch und ermöglicht die Abspeicherung der ermittelten Terminalparameter.

Die Terminalparameter sind endgeräteabhängig und können jederzeit zur Evaluierung der dazugehörigen Endgeräte geladen und verwendet werden, ohne die Abgleichprozedur wiederholen zu müssen.

Zusammenfassung:

Eine reproduzierbare Qualitätsbeurteilung von TETRA - Endgeräten ist in einem engen Toleranzfenster von ca. 1% unter folgenden Voraussetzungen möglich:

- Auswahl der Sprachsamples
 - Verwendung der gleichen Auswahl von Referenzsignalen nach Empfehlungen der ITU-T P.862
 - Pro Referenzsignal sollten mindestens 10 Messungen durchgeführt werden, um eine Messtoleranz von < 1% zu erreichen.
- Endgeräteeinstellungen
Vergleichbare Messungen erfordern gleiche Betriebsbedingungen mit gleichen Endgeräteoptionen und Einstellungen.
- Vermeidung von Messfehler
 - Akkubetriebene Endgeräte sollten aufgeladen sein,
 - Ansprechzeit der PTT Funktion muss in der programmierbaren Messablaufsteuerung des Messsystems berücksichtigt werden,
 - Einstreuungen vermeiden - geschirmte Leitungen und Steckverbinder verwenden
 - Erdschleifen vermeiden - alle Verbraucher bei Netzbetrieb an gleicher Steckdosenleiste anschließen - Laptops mit Steckernetzteil verwenden - USB Isolator verwenden
 - Steckverbinder müssen einwandfreie Kontakte aufweisen.
- Präzise Pegelanpassung zwischen Endgerät und Messsystem

Mit Hilfe des Hardwaretests und der automatischen Pegeladaption des HASQUE Messsystems können neue Endgeräte zuverlässig evaluiert werden.

Vor einer Evaluierung kann der einwandfreie Messbetrieb mit Hilfe eines Hardwaretests in weniger als einer Minute überprüft werden. Der Test zeigt das Übertragungsverhalten der Endgeräte im Messsystem auf einem Blick.

Die automatische Pegeladaption reduziert die Messtoleranz von >10% eines zeitraubenden manuellen Abgleichs auf ca. 1% und kann mit Hilfe eines Wizards in 3 Minuten für einen kompletten bidirektionalen Abgleich einfach durchgeführt werden.

Literatur

1. ETSI EN 300 395 -1 "Terrestrial Truncated Radio (TETRA) - Speech Codec for full rate traffic channel- Part1: General description of speech functions" ETSI – Sophia Antipolis Cedex – France – 2004-2009
2. ETSI EN 300 395 -2 "Terrestrial Truncated Radio (TETRA) - Speech Codec for full rate traffic channel- Part2: Tetra Codec" ETSI – Sophia Antipolis Cedex – France – 2004-2009
3. ETSI EN 300 395 -3 "Terrestrial Truncated Radio (TETRA) - Speech Codec for full rate traffic channel- Part3: Specific operating features" ETSI – Sophia Antipolis Cedex – France – 2004-2009
4. ETSI EN 300 395 -4 "Terrestrial Truncated Radio (TETRA) - Speech Codec for full rate traffic channel- Part4: Codec conformance testing" ETSI – Sophia Antipolis Cedex – France – February 2000
5. Sound acoustics: „Anforderungen an Referenzsignale für eine korrekte Hörtestsimulation“ , interne Berichte, 27.6.2017
6. Wikipedia: [Hörtestsimulation](#)
7. E. Zwicker: „Psychoakustik“ Springerverlag 1982, ISBN 3-540-11401-7.
8. E. Zwicker, H. Fastl : „Psycho acoustics“, Springerverlag 1999, ISBN 3-540-65063-6 .
9. ITU-T P.862 Recommendation: "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow band telephone networks and speech codecs", 02/2001

Abbildungen

Bild 1:Phasenabhängige Qualitätsschwankungen des TETRA Codecs	4
Bild 2: Sinkende Qualität durch AKKU –Entladung.....	7
Bild 3:Beispiele zur Vermeidung von Einstreuungen und Brummschleifen.....	8
Bild 4: Fehlerdiagnose mit Bartlettburst	11
Bild 5: Überprüfung der Übertragungsfunktion.....	12
Bild 6: Automatische Pegelanpassung mit Wizard.....	13