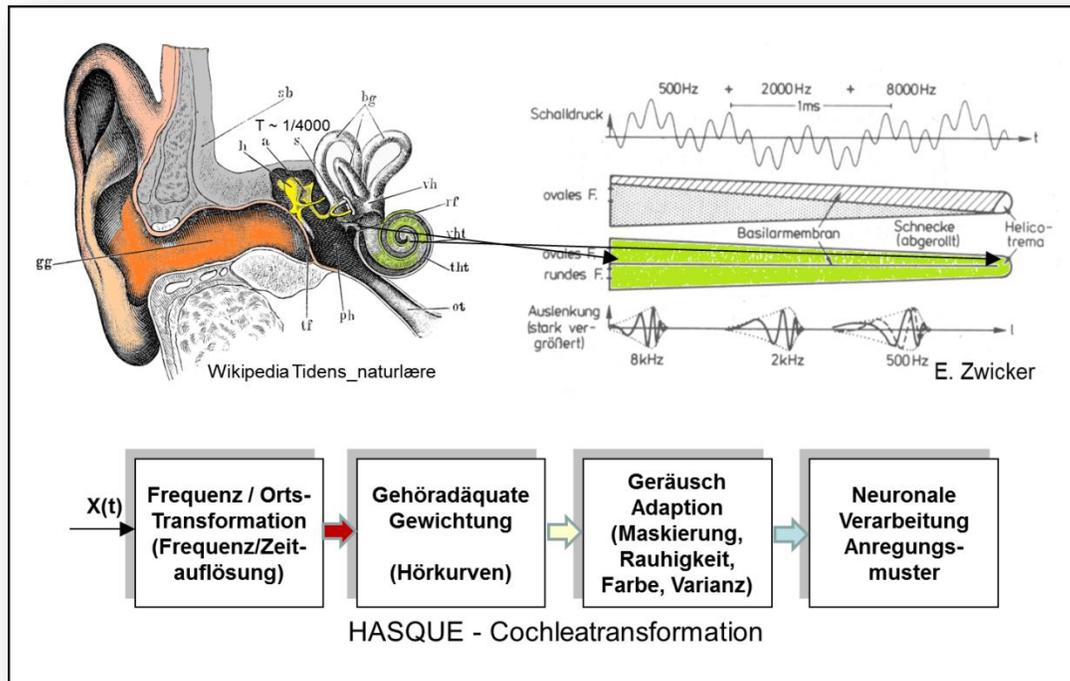


HASQUE



Objektive Qualitätsbeurteilung von
Audio- und
Telekommunikationssystemen durch
Hörtestsimulation mit HASQUE

Inhalt

Einleitung.....	3
Entwicklung	3
Hörtestsimulation mit HASQUE.....	4
Nachbildung der Rahmenbedingungen von Hörtests	4
Nachbildung der Höreigenschaften.....	4
Vergleich mit subjektiven Hörtests	5
Messsysteme	7
Echtzeitmesssystem	7
Funktionstest.....	8
Automatische Pegeladaption	8
Taskeditor zur Messablaufsteuerung.....	9
Offlinemesssystem	10
Messergebnisse	11
Statistiken.....	11
Ergebnisübersichten.....	12
Einzelergebnisse	12
Hörbare Fehler	13
Signalkorrelation	13
Spektrale Darstellungen	14
Fehlerklassifizierung und Fehlererkennung	14
Zusammenfassung und Ausblick	16
Literaturverzeichnis.....	17

Einleitung

HASQUE (*Hearing Adequate Signal Quality Evaluation*) ist ein Verfahren zur Hörtestsimulation [1] für die Qualitätsbeurteilung von Audio - und Telekommunikationssystemen, mit dessen Hilfe zeitraubende Hörtests mit stark schwankenden Ergebnissen durch objektive Messtechnik mit reproduzierbaren Ergebnissen ersetzt werden können.

Herausragende Merkmale des HASQUE Verfahrens sind die Anpassungsfähigkeit an verschiedene Hörtests durch die mögliche Vorgabe der Hörtestbedingungen (Wiedergabelautstärke, Übertragungsbandbreite, Akzeptanzschwelle) und die gehöradäquate Bewertung von Signalen und Hintergrundgeräuschen auch während Sprachpausen.

HASQUE wird unter Anderem von der Bundesanstalt für den Digitalfunk der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BDBOS) für Qualitätsmessungen zur Zertifizierung von Endgeräten und Leitstellen im Bereich Digitalfunk eingesetzt.

Entwicklung

Mit Hilfe der Forschungsergebnisse von Eberhard Zwicker [2, 3] waren die Grundregeln für eine Nachbildung der Höreigenschaften gegeben.

Unter Anderem war die korrekte Nachbildung der im Innenohr (Cochlea) stattfindenden Frequenz-Ortstransformation eine Herausforderung für die Entwicklung neuer Algorithmen, da die Frequenz- / Zeitauflösung des menschlichen Ohres mit bekannten Verfahren wie der schnellen Fourier-Transformation (FFT) oder Bandfiltern nicht korrekt nachgebildet werden konnte. So wurde eine gleitende Spektralanalyse[4] schon Mitte der 1990er Jahre für eine bessere Zeitauflösung vorgeschlagen. Im Laufe der folgenden Jahre wurden die BARK-Transformation[5] und die CFT[**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**] für eine bessere Nachbildung der Frequenz-Ortstransformation mit gehöradäquater Frequenz- und Zeitauflösung entwickelt.

Basierend auf der CFT begann die Entwicklung des HASQUE-Verfahrens im Jahr 2003, nachdem sich innerhalb der Internationale Fernmeldeunion (ITU) keine brauchbare Lösung zur gehöradäquaten Qualitätsbeurteilung von Geräuschreduktionsverfahren abzeichnete und die Qualitätsbeurteilung von Signalen mit Hintergrundgeräuschen mit bekannten Verfahren nicht befriedigend durchgeführt werden konnte.

HASQUE wurde in 2005 zum Patent angemeldet [8] und durch Erfahrungen mit verschiedenen Anwendungen aus den Bereichen PC-Multimedia, Abwehrtechnik (akustische Ortung), Telekommunikation (Bewertung von Verfahren zur Geräuschreduktion, Bandbreitenerweiterung, Sprachcodecs) und Studioteknik (Bewertung von TV Werbespots) in Zusammenarbeit mit den für diese Themen relevanten Unternehmen und Großkonzernen kontinuierlich so optimiert, dass die Korrelation mit subjektiven Qualitätsmaßen bei allen angewandten Applikationen deutlich über 90 % lag .

Mit der Fertigstellung des Kernverfahrens begann die Entwicklung von HASQUE basierenden Messsystemen für eine einfach zu bedienende Benutzeroberfläche mit erweiterten Testfunktionen zur Fehleranalyse und Fehlererkennung.

Hörtestsimulation mit HASQUE

Für eine Hörtestsimulation sind sowohl die korrekte Nachbildung der Höreigenschaften des menschlichen Gehörs, als auch die bei einem Hörtest angewandten Rahmenbedingungen ausschlaggebend.

Nachbildung der Rahmenbedingungen von Hörtests

Hörtests werden nach Empfehlungen der ITU [8, 10] bei definierter **Wiedergabelautstärke** - in der Regel wird ein Schalldruckpegel von 79 dBA empfohlen - und bei einer von der Applikation bestimmten **Übertragungsbandbreite** durchgeführt. Die **Akzeptanzschwelle** der Probanden ist zwar starken Schwankungen ausgesetzt (individuell und von der Tagesform abhängig), wird sich aber immer an die Applikation selbst ausrichten. Für einfache Telekommunikationssysteme ist diese Schwelle deutlich höher im Vergleich zu professionellen Studiosystemen. Die Probanden bewerten Hörproben nach einer **Qualitätsskala**, die sich in Abhängigkeit der verwendeten Empfehlung unterscheiden kann.

Ein wesentliches Merkmal des HASQUE-Verfahrens ist, dass die Hörtestparameter **Wiedergabelautstärke**, **Übertragungsbandbreite**, **Akzeptanzschwelle** und die **Qualitätsskala** individuell festgelegt werden können, womit eine natürliche Anpassung an verschiedene Hörtestbedingungen und Qualitätsskalen möglich ist.

In Abhängigkeit der **Wiedergabelautstärke** wird eine Störung wegen des nichtlinearen Lautheitsempfindens unterschiedlich stark wahrgenommen. Insbesondere kleine Störungen werden bei hoher Wiedergabelautstärke wesentlich deutlicher wahrgenommen als bei normaler oder geringer Wiedergabelautstärke, obwohl die Nutzsignale ebenfalls in Abhängigkeit der Wiedergabelautstärke verändert werden [3, 4].

Die Angabe der **Bandbreite** ist erforderlich, um Qualitätsmaße verschiedener Hörtests vergleichen zu können. Eine Reduzierung der Bandbreite bewirkt immer eine Erhöhung der gemessenen objektiven Qualität, wenn dadurch Störungen außerhalb des Übertragungsbands unterdrückt werden. Bei Messsystemen ohne zusätzliche Bandbegrenzung wird die maximale Übertragungsbandbreite durch die Abtastrate und die Frequenzauflösung des Messsystems bestimmt. Nach ITU-T P.862[11] wird eine zusätzliche Bandbegrenzung zur Nachbildung der Telefonqualität eingesetzt.

Die **Akzeptanzschwelle** reflektiert die maximal akzeptierte Lautheit von Störung in einem System und wird in Sone angegeben.

Die **Qualitätsskala** kann individuell festgelegt werden. Eine Skalierung nach Empfehlungen der ITU-T auf einer 5-Punkte-Skala (bspw. der STI-CISSkala) ist ebenso möglich wie eine prozentuale Skalierung.

Nachbildung der Höreigenschaften

Die Nachbildung der Höreigenschaften des menschlichen Ohres wird bei HASQUE durch eine sogenannte Cochleatransformation im gesamten zur Verfügung stehenden Frequenzbereich ohne Bandbegrenzung durchgeführt. Der Name „Cochleatransformation“ wurde gewählt, da in der Cochlea im Innenohr wesentliche Höreigenschaften mit bestimmt werden.

Bild 1 zeigt die grundlegenden Funktionen der Cochleatransformation. Die Frequenz-Ortstransformation arbeitet mit optimierter Zeit-Frequenzauflösung und liefert Ortskoeffizienten, welche mit gehöradäquaten Gewichtungskoeffizienten bewertet werden. In einer anschließenden Geräuschadaption werden Maskierungseffekte durch adaptive Algorithmen im Zeit- und Frequenzbereich nachgebildet, um eine gehöradäquate Mithörschwelle zu erhalten. D.h. die Mithörschwelle wird an das Hintergrundgeräusch der zu bewertenden Systeme in Abhängigkeit der Geräuscheigenschaften

adaptiert. So werden quasi-stationäre Geräuschquellen wie beispielsweise Fahrgeräusche bei konstanter Geschwindigkeit und nicht-stationäre Geräusche wie das Rattern eines vorbeifahrenden Zuges unterschiedlich stark bewertet. Die Zerlegung der geräuschadaptierten Ortskoeffizienten nach den Signaleigenschaften in verschiedene Anregungsmuster ermöglicht eine gute Approximation an die subjektiv empfundene Anregung und kann im weitesten Sinne als neuronale Verarbeitung [17] aufgefasst werden.

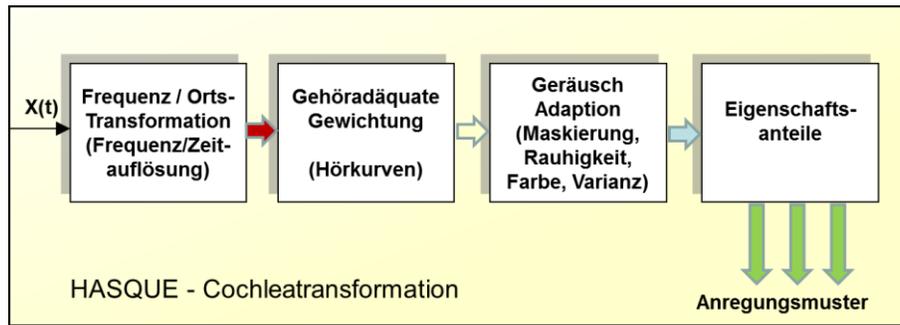


Bild 1: Nachbildung der subjektiv empfundenen Anregungsmuster

HASQUE bildet mit der Cochleatransformation die Höreigenschaften des menschlichen Ohrs nach, vergleicht über die nachgebildeten Anregungsmuster Ein- und Ausgangssignal eines Systems und berechnet aus den daraus gewonnenen „hörbaren“ Fehlern ein Qualitätsmaß.

Vergleich mit subjektiven Hörtests

Vergleicht man die Ergebnisse verschiedener Hörtests, ergeben sich erwartungsgemäß mit zunehmenden Störungen geringere Qualitätsmaße (MOS). Störungen können hierbei Geräusche, Signalunterbrechungen, lineare und nichtlineare Verzerrungen sein, weswegen die Abszisse in Bild 2 ohne Einheit angegeben ist. Für die Tests wurden Sprachdaten mit folgenden Eigenschaften verwendet:



Bild 2: Subjektive und objektive Qualitätsbeurteilung

- Bandbreite 4-8kHz
- Störungen SNR 6-50dB
- Geräuschquellen
 - Straße
 - Auto
 - Küche
 - Restaurant
 - Büro
- Aufnahmelänge 5...60 Sekunden

Die maximalen Abweichungen der subjektiven Qualitätsbeurteilungen (D =grün gestrichelt) von den gemittelten MOS Werten (grün) ergeben sich durch die individuellen Akzeptanzschwellen der Testpersonen und können auch in Abhängigkeit von der Tagesform einer Testperson schwanken. Interessant ist hierbei die Tatsache, dass die Qualitätsunterscheidung - was klingt besser, was schlechter - zwischen den einzelnen Testfällen bei allen Testpersonen stark korrelieren. Die Akzeptanzschwelle der Probanden, deren Qualitätsbeurteilung vom MOS im Mittel abweicht, kann somit als Offset aufgefasst werden und zur Ermittlung einer offsetfreien Kurve (D') nach G 1 mit N = Anzahl der Messungen, n =

aktuelle Messung, D = maximale Abweichung herangezogen werden, um tatsächliche Abweichungen der Qualitätsdifferenzierung vom MOS-Wert zu erhalten.

$$D'(n) = D(n) - \frac{\sum_{n=0}^{N-1} MOS(n) - \sum_{n=0}^{N-1} D(n)}{N}$$

G 1: Ermittlung der Qualitätskurven abweichender Akzeptanzschwellen

Diese nach G 1 offsetkompensierten Abweichungen sind in Bild 2 als grüne Linien dargestellt und zeigen, wie gut die Qualitätsdifferenzierung verschiedener Probanden miteinander korreliert.

Die blaue Kurve im Bild 2 zeigt die objektiven Qualitätsmaße mit HASQUE.

Wesentliche Fehler bei der objektiven Qualitätsbeurteilung können durch eine fehlerhafte Nachbildung der Höreigenschaften auftreten. Insbesondere führt eine Bandbegrenzung, welche beispielsweise durch IRS - Filter in anderen Verfahren zum Einsatz kommen kann, zu erheblichen Abweichungen.

Sowohl eine Bandbegrenzung, als auch nichtlineare Verzerrungen sind mit einer Hörschädigung vergleichbar. Für eine plausible Bewertung sind daher einwandfreie Referenzsignale obligatorisch[11].

Messsysteme

HASQUE-Messsysteme stehen sowohl für die Beurteilung von Systemen in Echtzeit als auch zur Beurteilung von postprozessierten PCM-Aufnahmen derselben als Offlinesystem zur Verfügung.

Echtzeitmesssystem

HASQUE Echtzeitmesssysteme (Bild 3) arbeiten bidirektional mit analogen Schnittstellen, welche mit

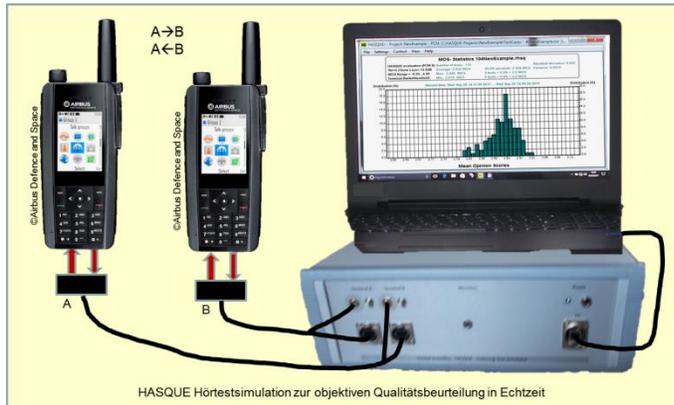


Bild 3: HASQUE Echtzeitmesssystem

hochwertigen 24-Bit-Wandlern bei 48 kHz abgetastet werden. Dem Anwender steht ein Hardwaretestprogramm zur Verfügung, welches sowohl einen **Funktionstest** der angeschlossenen Endgeräte, als auch eine **automatische Pegelanpassung** zwischen Messsystem und Endgeräte durchführen kann, bevor die eigentliche Qualitätsbeurteilung der Endgeräte gestartet wird. Diese Tests sind in der Regel in wenigen Minuten durchführbar und stellen eine

korrekte Qualitätsbeurteilung der Endgeräte sicher.

Das Hardwaretestprogramm verwendet unter anderem ein spezielles Anregungssignal (Bartlettburst), mit dem die Übertragungseigenschaften (Signalpegel, Klirrfaktor und SNR) des zu untersuchenden Systems gemessen werden können. Der Bartlettburst wurde entwickelt, um auch Messungen an Systemen mit automatischer Sinustonunterdrückung durchführen zu können.

Welche Testdaten[13] und wie viele Tests durchgeführt werden sollen, oder ob Testdaten bei den Messungen mehrfach wiederholt werden müssen sind applikationsabhängige [14] Entscheidungen, welche vom Anwender mit Hilfe einer zum Messsystem gehörenden einfach zu programmierenden Messablaufsteuerung über einen **Taskeditor** frei festgelegt werden können.

Die Messablaufsteuerung führt die Tests nach dem Start mit den vom Anwender vorgegebenen Befehlen durch und erzeugt hierbei Aufnahmen, Dateilisten und **Messergebnisse** mit Übersichtsgrafiken Histogrammen und Einzelergebnissen.

Funktionstest

Der Funktionstest (Bild 4) liefert unmittelbar nach dem Start des Hardwaretestprogramms sowohl die grafische Darstellung der an den Signalschnittstellen anliegenden Bartlettbursts, als auch in der Legende Messergebnisse über den aktuellen Pegel, Klirrfaktor und SNR.

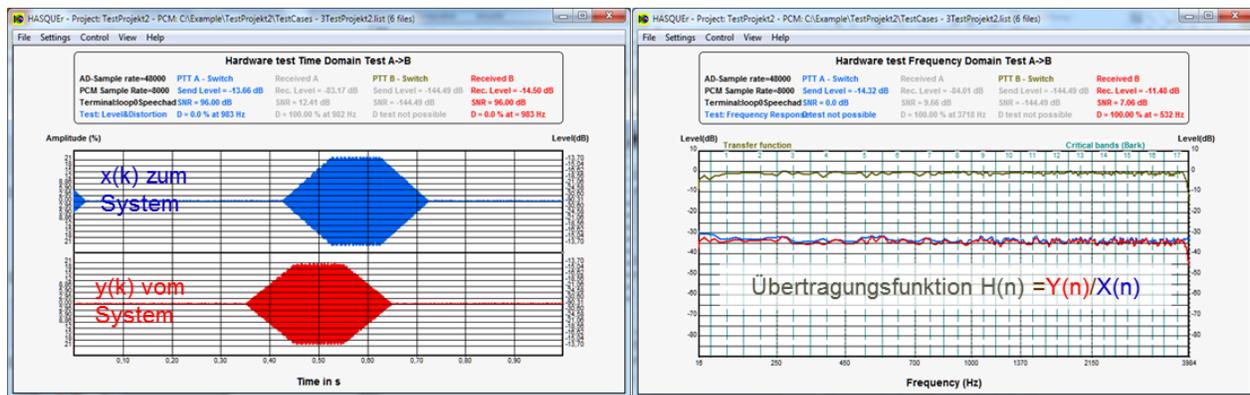


Bild 4: Funktionstests der angeschlossenen Systeme per Mausklick

Die Reproduktion des empfangenen Bartlettbursts ($y(k)$) lässt hierbei schon Rückschlüsse auf die Systemeigenschaften zu. Verformungen des Sextanten an den Flanken deuten hierbei auf eine AGC und Eindellungen in der Mitte des Sextanten auf Fehler im System.

Die Überprüfung angeschlossener Systeme im Frequenzbereich lässt sich durch einen Mausklick in der Legende bewerkstelligen und zeigt auf einen Blick die Spektren der Signale an den Systemschnittstellen und die daraus resultierende Übertragungsfunktion des zu Untersuchenden Systems.

Die notwendigen Messfunktionen wurden speziell für diesen „Schnelltest“ entwickelt, um eine fehlerfreie Funktion der Endgeräte am Messsystem ohne Zeitaufwand vor der Evaluierung sicherstellen zu können.

Automatische Pegeladaption

Mit Hilfe eines automatischen Pegelabgleichs werden die Schnittstellenpegel zwischen Messsystem und Testobjekten korrekt abgeglichen, wodurch eine geringe Messtoleranz (typ. <1%) und damit reproduzierbare Messergebnisse erreicht werden.

Die automatische Pegeladaption erfolgt mit Hilfe eines Wizards Bild 5, wodurch die bei einem manuellen Abgleich möglichen Abgleichfehler und Einstelltoleranzen durch den Anwender nahezu ausgeschlossen werden können.

Die hinter dem Wizard verwendeten Messprogramme benutzen den oben erwähnten Bartlettburst zur Ermittlung der Aussteuergrenzen und stellen die für einen störungsfreien Betrieb erforderlichen Verstärkungswerte in Send- und Empfangsrichtung am Messsystem ein.

Der Wizard öffnet nach der automatischen Pegeladaption eine Dialogbox mit den eingetragenen Settings und zusätzlichen Editierfeldern zur Beschreibung der angeschlossenen Hardware.

Sämtliche Eintragungen in der gezeigten Dialogbox können in einer Terminalparameterdatei unter dem vom Anwender festgelegten Namen abgespeichert und für zukünftige Messungen immer wieder verwendet werden.

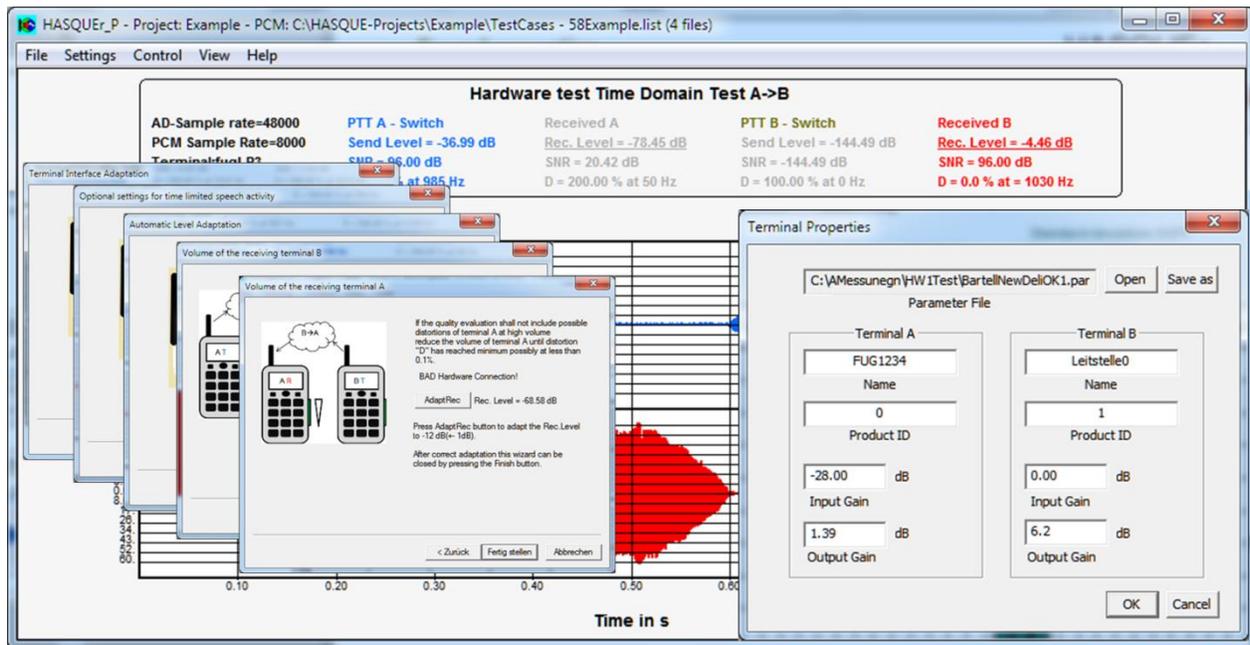


Bild 5: Automatischer Pegelabgleich zwischen Messsystem und Endgeräte

Taskeditor zur Messablaufsteuerung

Echtzeitmessungen werden mit Hilfe eines programmierbaren Taskinterpreters gestartet. Der Taskinterpreter wird zur Steuerung des Messsystems, der Messrichtung, der angeschlossenen Terminals, für die individuelle Auswahl von Testsignalen und für die Erzeugung von Aufnahmen vom Testobjekt eingesetzt. Für die Programmierung des Taskinterpreters steht ein **Taskeditor** zur Verfügung, mit dem der Messablauf vor dem Start der Messungen bei der Kompilierung geprüft wird. Für die Programmierung werden drei Versionen angeboten:

<p>TIP- Individuelle Programmierung</p> <p>Open a Popup Window = Please confirm connection Start a Loop = 10 Reference file =C:\ITUTestCases\Ref1.wav Press PTTA Wait =1500 Evaluate Release PTTA Wait =1500 Press PTTB Wait =1500 Evaluate Release PTTB Wait =1500 End of Loop</p>	<p>TOP- Optimierte Programmierung</p> <p>Open a Popup Window = Please confirm connection Start a Loop = 10 Reference file =C:\ITUTestCases\Ref1.wav EvaluateAB EvaluateBA End of Loop</p> <p>TUP- Unidirektionale Programmierung</p> <p>Open a Popup Window = Please confirm connection Start a Loop = 10 Send Ref1 Receive Ref1 End of Loop</p>
---	---

Bild 6: Programmierbeispiele - Taskinterpreter

Bild 6 zeigt Programmierbeispiele für verschiedene Taskinterpreter, bei denen immer der gleiche Messablauf durchgeführt wird.

Die TIP-Programmierung ermöglicht die individuelle Festlegung der Reaktionszeit der Hardware bei der Umschaltung der Messrichtung über die Push- to -Talk - Tastenfunktion (PTT). Die TOP-Programmierung fasst die PTT-Steuerung in einem Befehl zusammen, wobei die Reaktionszeit der Hardware als fester Wert in den Settings der Software eingegeben werden kann. Die TUP Programmierung ist für verteilte

Messsysteme mit unidirektionaler Steuerung geeignet, bietet die gleiche Programmierung der Reaktionszeit der Hardware wie TOP und arbeitet mit einer definierten Datenbasis, aus der die Testdaten durch Synonyme (Ref1...Ref2) ausgewählt werden können.

Offlinemesssystem

Das Offlinemesssystem (Bild 7) bietet über die Hörtestsimulation von postprozessierten Aufnahmen hinaus zahlreiche Messfunktionen zur Fehleranalyse von Audio- und Telekommunikationssystemen und eignet sich damit auch zur Qualitätsoptimierung der zu untersuchenden Systeme.

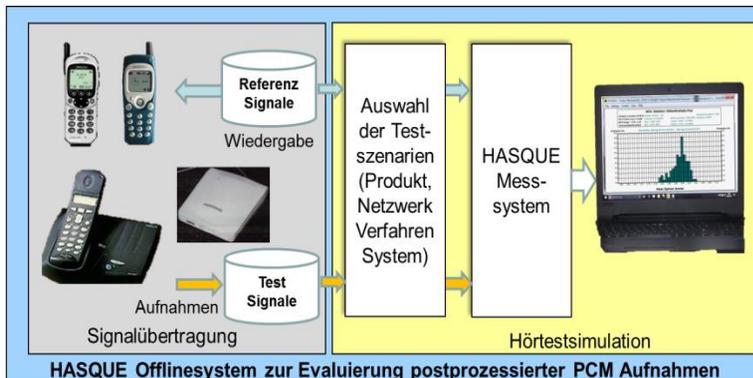


Bild 7: Offlinemesssystem

Offlinemessungen werden mit windowskonformen PCM Signalen (*.wav Dateien) durchgeführt. Es können sowohl einzelne Messungen als auch Serienmessungen durchgeführt werden. Die Abtastrate des Messsystems wird automatisch an die im Header der Audiodatei angegebene Abtastrate angepasst. Bei Serienmessungen werden zusätzlich Statistiken über die Qualitätsmaße, die Latenz und die Sprachunterbrechungen erzeugt.

Serienmessungen werden mit Dateilisten durchgeführt, welche mit Hilfe eines zum Programm gehörenden Dateilisteneditors aus der vom Benutzer individuell ausgewählten Zusammenstellung von Testfällen erzeugt wird.

Mit Hilfe einer Importfunktion für komprimierte RST-Dateien werden die dazugehörigen die Referenz- und Testfälle importiert, Dateilisten generiert und für die Evaluierung freigegeben.

Sämtliche Funktionen des Offlinemesssystems, sowie die im Folgenden aufgezeigten Messergebnisse und Darstellungen sind auch Bestandteil des Echtzeitmesssystems.

Messengergebnisse

Statistiken

Die statistische Auswertung von Messungen (Bild 8) an einem System liefert wertvolle Hinweise über das Systemverhalten auf einen Blick.

Statistiken mit dazugehörigen Histogrammen werden für die Messwerte Qualitätsmaß, Latenz und Sprachunterbrechungen berechnet und angezeigt, wodurch eindeutige Rückschlüsse auf das Systemverhalten des zu untersuchenden System möglich sind.

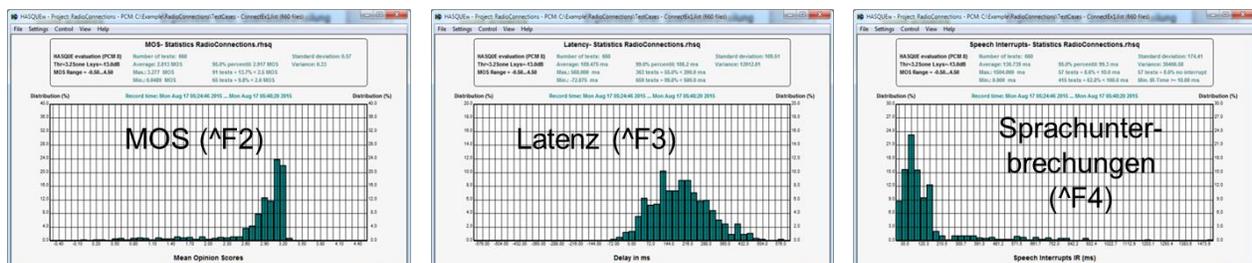
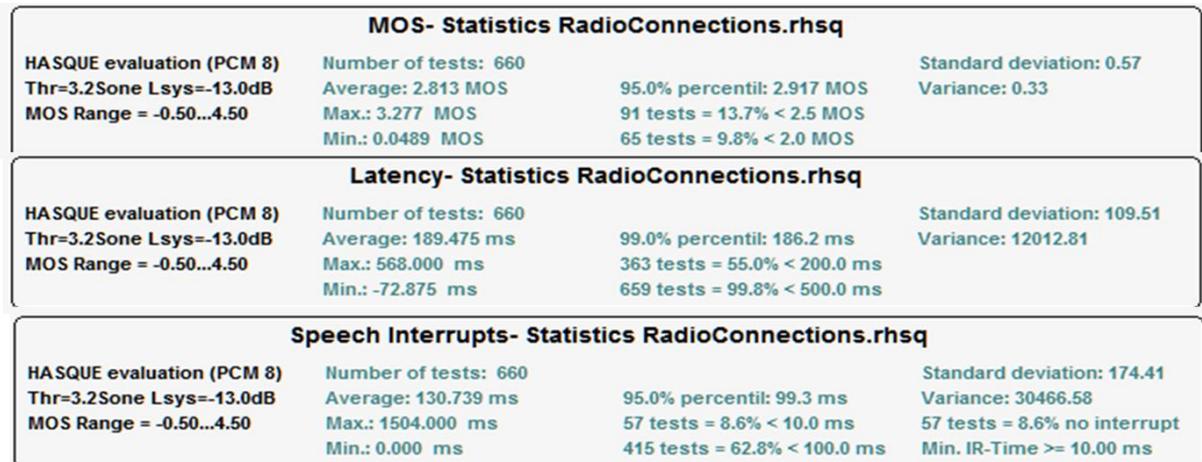


Bild 8: Statistiken und Histogramme

In der Legende der angezeigten Histogramme werden der arithmetischen Mittelwert, Maximalwert Minimalwert, Standardabweichung und Varianz der ausgewählten Messwerte über alle Testfälle angegeben. Darüber hinaus werden Perzentil und die Anzahl der Tests die eine obere und untere Schwelle unterschreiten angegeben.

Mit dem Perzentil wird der Mittelwert der am häufigsten auftretenden Ergebnisse ausgegeben, welcher sich im Bereich der prozentualen Angabe des Perzentils ergibt. Die prozentuale Angabe des Perzentils ist programmierbar und ermöglicht dem Anwender einen beliebigen Prozentsatz von „Ausreißern“ aus der Mittelwertbildung auszuklammern.

Die obere und untere Schwelle sind ebenfalls programmierbar und ermöglichen eine Aussage darüber, wieviel Testfälle sich im Grenzbereich zwischen noch akzeptierten und nicht akzeptierten Messwerten bewegen.

Ergebnisübersichten

HASQUE-Messsysteme liefern Ergebnisübersichten mit denen auf einen Blick erkannt werden kann, wann und wo kritische Testfälle aufgetreten sind (Bild 9).

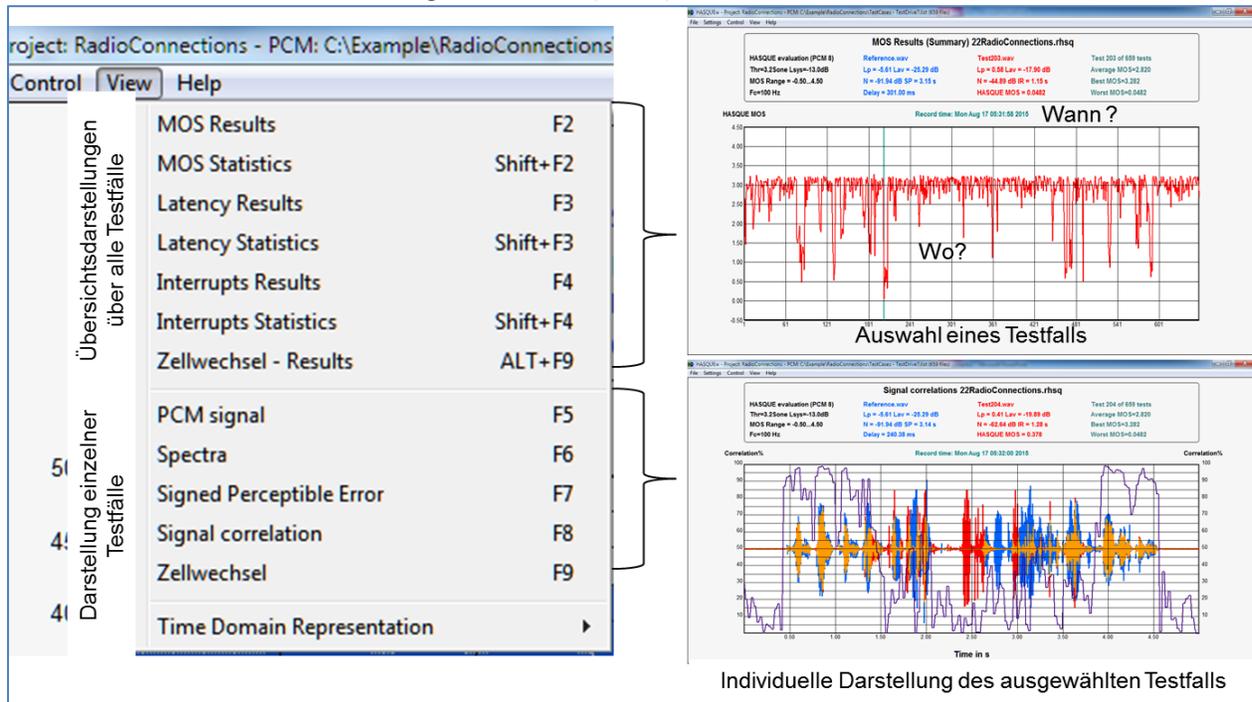


Bild 9: Zeitsparende Auswahl von einzelnen Ergebnissen - Einfache Fehlersuche

Ergebnisübersichten stehen für verschiedene Merkmale wie Sprachunterbrechungen, MOS, Latenz und einer individuell programmierbaren Fehlerart (im Beispiel „Zellwechsel“) zur Verfügung und ermöglichen damit individuelle Untersuchungen.

Die Auswahl einzelner Testfälle erfolgt per Mausklick auf der gewählten Übersicht und ermöglicht dadurch den gezielten Zugriff auf Einzelergebnisse für detailliertere Untersuchungen im Zeit- und Frequenzbereich.

Einzelergebnisse

Der Zugriff auf interessante Einzelergebnisse ist direkt per Mausklick über die Übersichtsdarstellungen und die statistischen Angaben über die Extremwerte (Minimum, Maximum) in den Legenden mit Hilfe der GUI möglich.

Messergebnisse eines ausgewählten Testfalles werden in der jeweiligen Darstellung in der Legende angezeigt. Einzelergebnisse im Zeitbereich können gezoomt und auf der Zeitachse verschoben werden, um verdächtige Passagen sichtbar zu machen und untersuchen zu können. Mit Hilfe der Abhörfunktion lassen sich ausgewählte Testfälle und Passagen subjektiv beurteilen und vergleichen.

Für die Untersuchungen an Testfällen stehen folgende Darstellungen und Messfunktionen zur Verfügung.

Sound acoustics

Research, Development, Implementation

Hörbare Fehler

Bild 10 zeigt einen ausgewählten Testfall mit dazugehörigem „wahrnehmbarem“ Fehler (braune Kurve). Ausgewählte Passagen können mit Hilfe der Abspielfunktion abgehört und mit dem Referenzsignal verglichen werden, um zu hören was man sieht.

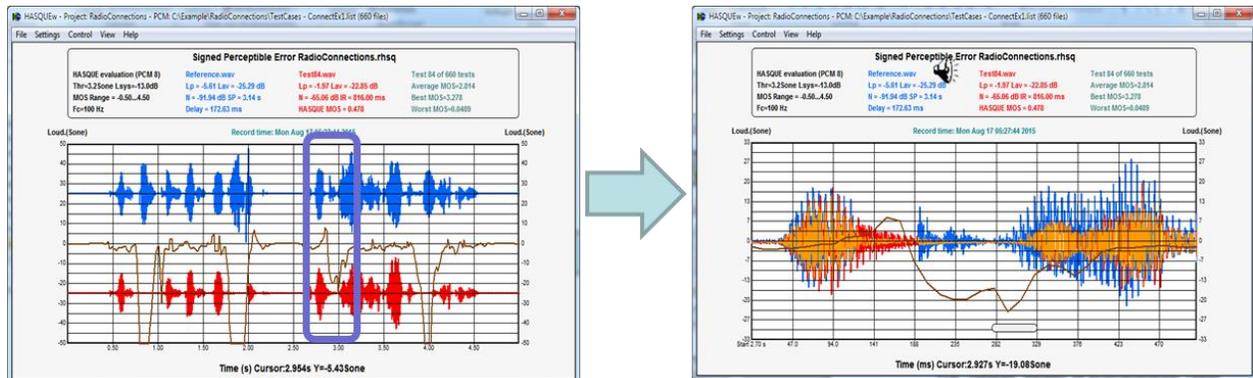


Bild 10: Darstellung hörbarer Fehler im Zeitbereich um zu sehen was man hört

Signalkorrelation

Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse (Bild 11) lassen sich die Unterschiede zwischen Eingangs- und Ausgangssignal des zu untersuchenden Systems nachweisen, welche durch natürliche Maskiereffekte

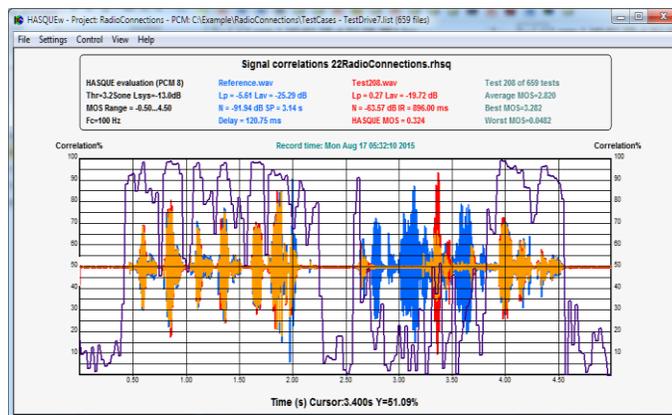


Bild 11: Signalkorrelation

„hörbarer Fehler“ nicht exakt erfasst werden können.

Ungestörte Signale - d.h. das Ausgangssignal gleicht dem Eingangssignal-werden mit einem Korrelationswert von 100% angezeigt.

Durch die prozentuale Angabe der einzelnen Korrelationswerte über der Zeitachse lässt sich eine Aussage über die Ähnlichkeit der Signale und damit auch über die Wahrscheinlichkeit für die Existenz von Artefakten und anderen Signalstörungen sehr einfach herleiten.

Korrelationsschwankungen über der Zeitachse zeigen die Genauigkeit der Signalübertragung im Zeit- und Frequenzbereich an und sind als Fehlereigenschaft selbst klassifizierter Fehler an einer hohen Erkennungsrate beteiligt.

Mit dem Zugriff auf die Darstellung der Signalkorrelation werden auch dynamische Verschiebungen und Phasenjitter der Signallaufzeit (Latenz) zur Bildung des Korrelationsmaßes eliminiert und korrigiert angezeigt.

Sound acoustics

Research, Development, Implementation

Spektrale Darstellungen

Die Darstellung von Spektren erfolgt bei HASQUE-Messsystemen immer mit gehöradäquater Frequenzverteilung und zeigt die Frequenzgruppen auf der Bark-Skala. Dies erleichtert die korrekte

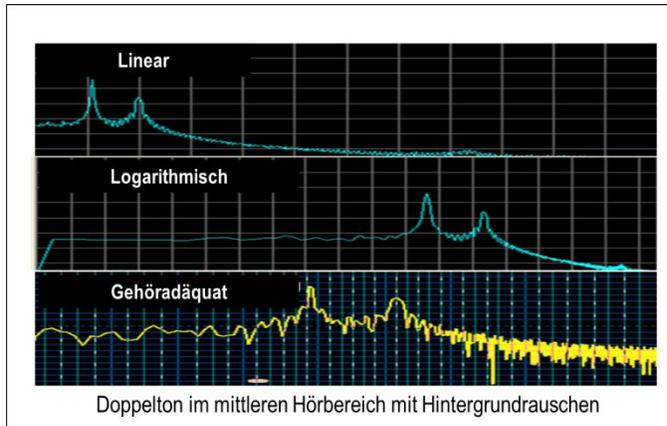


Bild 12: Gehöradäquate Darstellung vs. linear und log.

Zuordnung zu dem was man hört. Wie Bild 12 verdeutlicht, wird ein im mittleren Hörbereich wahrgenommener Doppelton mit Hintergrundgeräusch weder linear noch logarithmisch empfindungsgemäß dargestellt.

Bei der linearen Darstellung sind die Frequenzen im unteren Frequenzbereich so stark gedrängt, dass keine brauchbare Auswertung möglich ist. Bei der

logarithmischen Darstellung ist eine Auswertung im oberen Frequenzbereich

erschwert und weniger interessierende Frequenzen zwischen 0 und 50 Hz nehmen fast die Hälfte der X-Achse in Anspruch.

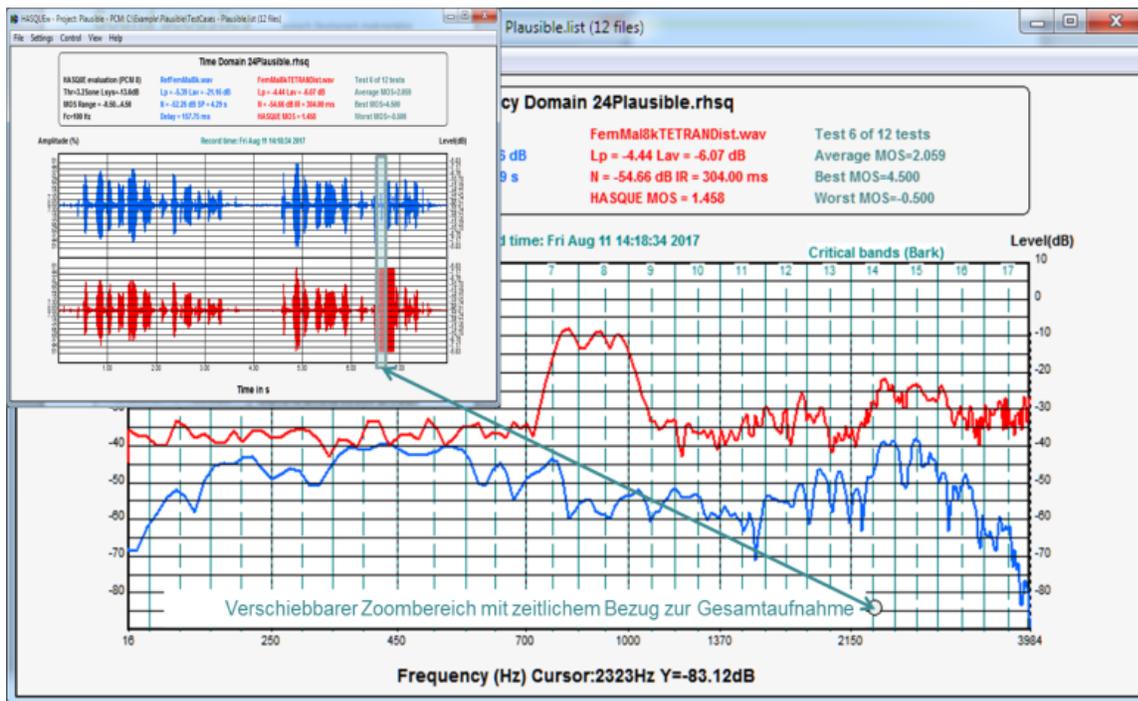


Bild 13: Frequenzdarstellung im gezoomten Zeitbereich

Die Spektralanalyse (Bild 13) erfolgt immer über das angezeigte Zeitsignal und wird beim Verschieben der Zeitachse eines gezoomten Bereichs kontinuierlich aktualisiert. Dadurch können Signalfehler im Frequenzbereich präzise aufgespürt und untersucht werden.

Fehlerklassifizierung und Fehlererkennung

Signalfehler können unterschiedliche Ursachen haben. Die Fehlerklassifizierung ermöglicht die

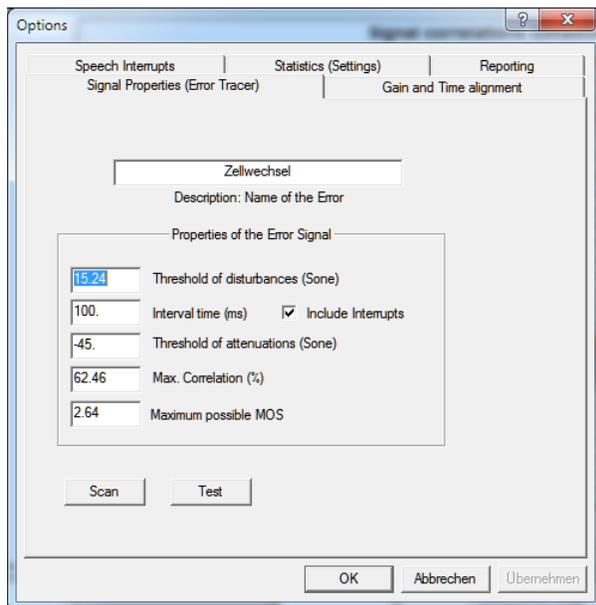


Bild 14: Fehlerbeschreibung und Klassifizierung

individuelle Festlegung eines Fehlertyps wie beispielsweise Störungen durch Signalunterbrechungen bei schwachem Empfang, Artefakte die durch Zellwechsel auftreten oder Störsignale durch akustische Störungen wie das Martinshorn von Einsatzfahrzeugen. Die Fehlerklassifizierung wird mit Hilfe der Dialogbox "Signal Properties" Bild 14 durchgeführt. Der Name des Fehlers ist frei definierbar und wird in den Grafiken und den für die Anzeige und Auswertung relevanten Menüpunkten verwendet (Bild 9). Die Beschreibung der Eigenschaften eines Fehlertyps wird mit Hilfe eines Scanners automatisch ermittelt. Hierbei kann der Benutzer den gesuchten Fehler auf der grafischen Darstellung durch Einzoomen markieren und mit der Beendigungstaste des mit dem Scanvorgang geöffneten Wizards zur Erfassung der Fehlereigenschaften übernehmen.

Zur Verifizierung der Fehlererfassung steht ein Testbutton zur Verfügung, mit dem der erkannte Fehler in der Grafik angezeigt wird. Durch den Scanvorgang bei der Fehlerklassifizierung werden die Eigenschaften eines Fehlerfalles erfasst, wobei mit Hilfe der Testfunktion überprüft werden kann, ob die erfassten Parameter den Fehlerfall korrekt wiedergeben. Im Bedarfsfall muss der Scanvorgang dann wiederholt werden, wenn die erfassten Parameter für andere Testfälle einer Testreihe nicht genügen.

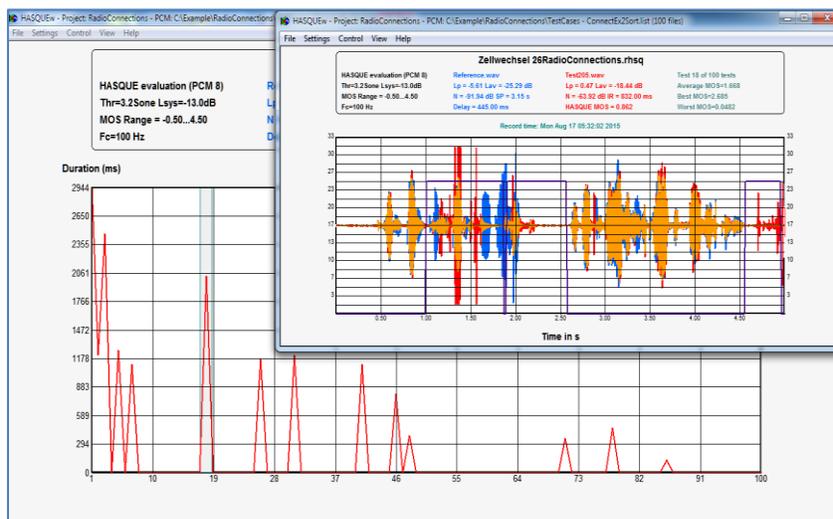


Bild 15: Übersichtsdarstellung und einzelner Testfall mit als Zellwechsel klassifiziertem Fehler

Die Fehlererkennung ermittelt sowohl den definierten Fehler, als auch die Dauer des Fehlers (Duration in ms) für jeden Testfall getrennt.

Eigene definierte Fehler lassen sich sowohl über die Gesamtübersicht mit zeitlicher Zuordnung, als auch für jeden Testfall getrennt anzeigen.

Die Erkennungsrate der auf diese Weise definierten Signalfehler ist Abhängig vom

Fehlertyp und kann durch Iteration mit falsch interpretierten Testfällen sogar

noch erhöht werden. Bisherige Untersuchungen zur Erfassung der Fehler durch Zellwechsel zeigen eine Fehlererkennungsrate von 99% mit und 100% ohne Latenzjitter bei 5708 simulierten Testfällen.

Zusammenfassung und Ausblick

Komplexe Aufgaben zur Qualitätsbeurteilung, Fehlererkennung und Qualitätsoptimierung von Audio und Telekommunikationssystemen lassen sich mit Hilfe des HEASQUE-Verfahrens und der ausgereiften grafischen Oberfläche der Messsysteme zuverlässig und effizient durchführen. Durch die Übersichtsdarstellungen mit direktem Zugriff auf markante Einzelergebnisse sind erhebliche Zeiteinsparungen gegenüber klassischen Suchmethoden möglich.

Die Fehlerklassifizierung des HASQUE Messsystems ermöglicht Geräteherstellern und Netzbetreibern gezielte Untersuchungen an deren zu beurteilenden Systemen vorzunehmen, wodurch notwendige Maßnahmen zur Optimierung der betreffenden Systeme zuverlässig und schnell erkannt und umgesetzt werden können.

Offlinemesssysteme sind geeignet, vorhandene Testaufnahmen und frühere Evaluierungen mit Hilfe der neuen Messverfahren nachträglich zu untersuchen, um bisher nicht erkannte Systemeigenschaften nachzuweisen und sichtbar zu machen, oder um zu prüfen, ob die Übertragungsqualität des zu untersuchende System für eine Zertifizierung bei der BDBOS ausreicht.

Echtzeitmesssysteme können mit Hilfe von Hardwaretestprogrammen schnell und zuverlässig an verschiedene zu untersuchenden Systeme angepasst werden, womit reproduzierbare Messergebnisse mit geringer Toleranzabweichung erreicht werden können.

Die Implementierung des Verfahrens in verteilte Messsysteme, in Produkten und in Übertragungssystemen ermöglicht eine zuverlässige kontinuierliche Überwachung der Audioqualität von Audio- und Telekommunikationssystemen mit einer hohen Korrelation (>90%) zu subjektiven Hörtests.

Unsere kontinuierliche Forschung und Entwicklung an diesen Messsystemen konzentriert sich heute auf die automatische Erkennung und Zuordnung von neuen klassifizierten Signalfehlern, um in Diagnosesystemen eine automatische Fehlerzuordnung zu erreichen.

Literaturverzeichnis

1. Wikipedia: [Hörtestsimulation](#)
2. E. Zwicker: *Psychoakustik*. Springer, Berlin 1982, ISBN 3-540-11401-7
3. E. Zwicker, H. Fastl: *Psychoacoustics*. Springer, Berlin 1999, ISBN 3-540-65063-6
4. E. Terhardt, "Fourier Transformation of Time Signals," *Acustica*, Vol. 57, 1985.
5. Rolf Kapust: „Qualitätsbeurteilung codierter Audiosignale mittels einer BARK – Transformation“. Dissertation, Technische Fakultät der Universität Erlangen, 1993.
6. Michael Walker: *Verfahren und Anordnung zur Durchführung einer an die Übertragungsfunktion menschlicher Sinnesorgane angepassten Fourier Transformation sowie darauf basierende Vorrichtungen zur Geräuschreduktion und Spracherkennung*, EP20020360079, 07.03.2002
7. Michael Walker: *Gehöradäquate digitale Sprachsignalverarbeitung*. Funkschau 04/2003, ISSN 0016-2841. Seite 57-58
8. Michael Walker: Vorrichtung und Verfahren für eine gehöradäquate objektive Qualitätsschätzung von Audiosignalen, P. 10 2005 019 903.8, 29.4.2005.
9. ITU-T P.800 Recommendation, *Methods for subjective determination of transmission quality*
10. ITU-T P.835 Recommendation, *Subjective test methodology for evaluating speech communication systems that include noise suppression algorithm*
11. 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*
12. B. Ettinger/E. Herter, *Sprachverarbeitung*, ISBN 3-446-16076-0, Seite 178
13. Sound acoustics Literatur: [Anforderungen an Referenzsignale für eine korrekte Hörtestsimulation](#)
14. Sound acoustics Literatur: [Empfehlungen für eine zuverlässige Qualitätsbeurteilung von TETRA-Endgeräten mit dem HASQUE Messsystem](#)