

SPRACHQUALITÄT IN DRAHTLOSEN NEXT GENERATION NETWORKS: EINFLÜSSE VON NETZWECHSELN IM KONVERSATIONSVERSUCH

Sebastian Möller, Niklas Kirschnick, Blazej Lewcio, Pablo Vidales und Marcel Wältermann

Quality and Usability Lab, Deutsche Telekom Laboratories, TU Berlin

sebastian.moeller@telekom.de

Kurzfassung: In diesem Beitrag wird die Sprachqualität beim Übergang zwischen verschiedenen Netzwerktechnologien, Sprachkodierern und Audio-Bandbreiten in Mobilfunknetzen der nächsten Generation analysiert. Die Ergebnisse eines Konversationstests zeigen, dass neben der Audio-Bandbreite und Paketverlusten auch Netzwerkwechsel zu hörbaren Beeinträchtigungen führen können. Der Grad der Beeinträchtigung hängt u.a. von ihrer zeitlichen Position innerhalb Gespräches ab.

1 Motivation

In Mobilfunknetzen der nächsten Generation wird es einen nahtlosen Übergang zwischen verschiedenen Netztechnologien geben, wobei bestehende Medien- und Datenverbindungen gehalten werden sollen. Bei einer Sprachkommunikation über solche Netze (Voice over IP) wird also die Verbindung bestehen bleiben, egal in welchem Netz man sich gerade befindet. Allerdings wird der Netzwerkwechsel nicht immer ganz ohne Qualitätseinbußen vonstatten gehen: Während des Umschaltens kann es zu Aussetzern oder hörbaren Artefakten kommen, der Sprachkodierer und die damit übertragene Audio-Bandbreite kann sich ändern, und weitere Übertragungseigenschaften wie die Paketverlustrate können sich durch den Netzwerkwechsel ändern.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Mobisense (User Perception of Mobility in Next Generation Networks)“ bei den Deutsche Telekom Laboratories wird der Einfluss von Netzwerkwechseln und damit verbundenen Beeinträchtigungen auf die wahrgenommene Sprachqualität im Detail untersucht. Ziel ist es, eine quantitative Abschätzung der Beeinträchtigungen zu bekommen und womöglich instrumentell vorherzusagen. Eine solche Vorhersage würde es erlauben, den Prozess des Netzwerkwechsels im Sinne der Sprachqualität möglichst optimal zu gestalten. Sie ist auch Voraussetzung für eine adäquate Auslegung der Netze, und mitentscheidend für eine maximale Kundenzufriedenheit.

Erste Einsichten in die zugrunde liegenden Einflussfaktoren und ihre relative Gewichtung wurde bereits in zwei Hörversuchen erhalten, welche in Möller et al. [10] und Lewcio et al. [8] vorgestellt wurden. Die Hörversuche adressierten zum einen kurze Sprachproben von ca. 6s Dauer, zum anderen simulierte Dialoge von 60s Dauer, bei denen die einzeln beurteilten Stimuli als sinnvolle „Geschichten“ verbunden wurden und die Versuchspersonen durch Beantworten kurzer inhaltlicher Fragen aktiv in den Dialog eingebunden wurden. Letzteres Testverfahren wird in ETSI TR 102 506 [1] zur Beurteilung der sog. *Call Quality* definiert, während das Verfahren zur Bewertung der kurzen Stimuli in ITU-T Rec. P.800 [5] standardmäßig empfohlen wird. Dabei haben sich folgende Einflussfaktoren herauskristallisiert:

- Paketverluste sind die wichtigste Quelle von Beeinträchtigungen.
- Eine größere Audio-Bandbreite (50-7000 Hz) wurde im Hörversuch und in der simulierten Konversation deutlich besser beurteilt als die Standard-Telefonbandbreite (300-3400 Hz). Allerdings wirkten sich Wechsel der Audio-Bandbreite während des (simulierten) Gespräches negativ aus; die Qualitätseinbuße war ähnlich derer, die

durch Paketverluste mit einer Verlustrate von 5-10% hervorgerufen wird. Ein Wechsel zu höherer Bandbreite (vermeintlich höhere Qualität) zahlte sich nur dann aus, wenn die verbleibende Gesprächsdauer noch ausreichend lang war (im Versuch etwa 30s).

- Wechsel der Netzwerks allein – ohne Wechsel des Sprachkodierers und damit verbunden der Audio-Bandbreite – zeigten praktisch keinen wahrnehmbaren Effekt.
- Es zeigte sich eine Interaktion zwischen der Paketverlustrate und der Bandbreite: Bei hoher Paketverlustrate war der Vorteil der erweiterten Audio-Bandbreite nur gering; bei niedriger Paketverlustrate war er deutlicher wahrnehmbar.

Diese Ergebnisse unterliegen allerdings bislang der Einschränkung, dass sie in einer reinen Hörsituation bzw. in einer nur simulierten Konversationssituation erhalten wurden. Auch waren die Anzahl der betrachteten Netzcharakteristika und die Versuchspersonenzahl begrenzt.

In diesem Beitrag sollen diese Ergebnisse nun in einer realistischeren Konversationssituation validiert und erweitert werden. Hierzu wurden mit Hilfe eines Simulationssystems [12] Konversationen unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt, bei denen an vordefinierten Stellen Wechsel des Netzes und seiner Eigenschaften (Sprachkodierer, Audio-Bandbreite und Paketverluste) eingefügt wurden. Das dazu notwendige Simulationssystem ist in Abschnitt 2 skizziert, und der Versuchsaufbau wird in Abschnitt 3 beschrieben. Die erhaltenen Qualitätsurteile werden in Abschnitt 4 diskutiert und mit den bislang erzielten Ergebnissen verglichen. Sie bilden die Grundlage für eine spätere instrumentelle Modellierung der Sprachqualität, wie sie in Lewcio et al. [7] mit Hilfe eines erweiterten E-Modells bereits vorgeschlagen wurde und in Abschnitt 5 kurz beleuchtet wird.

2 Mobisense-Testbett

Das in Versuch verwendete Testbett verbindet unterschiedliche drahtlose Zugangsnetze und -netzsimulationen auf Basis von IPv4. Es besteht aus einem *Home Agent*, über den eine Sprachverbindung zwischen einem mobilen Knoten (*Mobile Node*) und einem korrespondierenden festen Knoten (*Correspondent Node*) hergestellt wird. Der mobile Knoten kann sich dabei in verschiedenen Netzwerken „bewegen“; bislang wurden LAN (Local Area Network), WLAN (Wireless LAN), Flash-OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) und HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) emuliert. Der mobile und der korrespondierende Knoten sind auf je einem Laptop unter Linux 2.6.18.2 implementiert; der Home Agent besteht aus einem Cisco-Router 2610XM mit dem Betriebssystem CISCO IOS 12.2(8r). Weitere Details zur verwendeten Hard- und Software finden sich in [12], und eine Übersicht wird in Abb. 1 gegeben.

Die VoIP-Verbindung wurde mittels der PJSIP-Software [11] implementiert, wobei umfangreiche Änderungen und Erweiterungen am Standard-Programmpaket vorgenommen wurden. Diese Software verwendet das SIP/SDP-Protokoll zur Verhandlung der Vermittlungsparameter und eine zusätzliche RTP-Paketfilterung, die Parallelisierung von RTP Datenströmen ermöglicht, die wiederum zum „weichen“ Wechsel des Sprachkodierers während des Gespräches notwendig ist. In [12] und [13] wurden unterschiedliche Wechselstrategien verglichen, wobei sich zeigte, dass ein „weicher“ Netzwechsel mit parallelen Datenströmen perceptiv deutlich besser als ein „harter“ Wechsel beurteilt wird.

Das Mobisense-Testbett unterstützt unterschiedliche Sprachkodierer. Für die im Folgenden beschriebenen Experimente verwendeten wir den Sprachkodierer nach ITU-T Rec. G.722 [4] bei 64 kbit/s zur Breitbandübertragung (50-7000 Hz), sowie den logarithmischen PCM-Kodierer nach ITU-T Rec. G.711 [3] bei 64 kbit/s zur Schmalbandübertragung (300-3400 Hz); ersterer wird in vielen Breitbandübertragungsszenarien eingesetzt, während letzterer den

Standard für die ISDN-Telefonie darstellt. Die Fehlerverschleierungstechnologie (Packet Loss Concealment, PLC) wurde nur mit dem ITU-T Rec. G.711 Schmalband-Kodierer verwendet; der Breitband-Kodierer war durch zusätzlichen PLC-Algorithmus nicht optimiert, denn das Ziel der Konfiguration war der Vergleich zwischen einer „einfachen“ Breitbandübertragung und einer optimierten Schmalbandübertragung bei gleicher Bitrate.

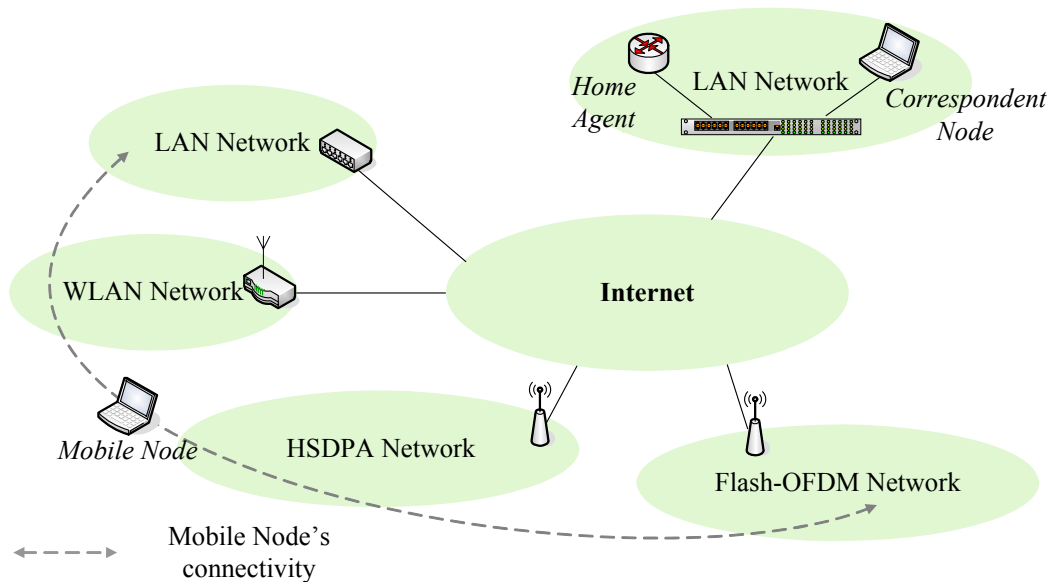


Abbildung 1 – Mobisense-Testbett zur Simulation unterschiedlicher Netzwerkkonfigurationen [12].

Paketverluste wurden nur in Richtung auf den Mobile Node hin in randomisierter Form generiert; ansonsten waren die Verbindungen symmetrisch. Dennoch wurde beobachtet, dass sich Netzwerkwechsel in Richtung des Correspondent Node deutlicher bemerkbar machen als in Richtung des Mobile Node, wo sie kaum hörbar waren, was aus den Übertragungsnetzcharakteristika resultiert. Diese beiden Unterschiede (Paketverlust-Beeinträchtigungen nur am Mobile Node, Netzwechsel-Beeinträchtigungen nur am Correspondent Node) waren technisch bedingt und zeigen sich auch in den Ergebnissen in Abschnitt 4.

3 Versuchsaufbau

Das beschriebene Mobisense-Testbett wurde in eine Versuchsumgebung zur Durchführung von Konversationstests in Anlehnung an ITU-T Rec. P.800 [5] integriert. Diese bestand aus zwei voneinander schallisolierten und weitgehend reflexionsarm ausgekleideten Räumen für Versuchspersonen sowie einem Kontrollraum für den Versuchsleiter. Für jede Versuchsperson stand ein Laptop (Mobile Node bzw. Correspondent Node) zur Verfügung, zwischen denen mittels der PJSIP-Software nacheinander 14 Verbindungen (vorab eine Verbindung zum Training) aufgebaut wurden. Als Endgerät diente in beiden Fällen ein diotisch beschallendes Headset von Typ Sennheiser HMD 410.

Die Versuchspersonen wurden zunächst über den Sinn des Experimentes aufgeklärt und mit der Versuchsaufgabe vertraut gemacht. Sie absolvierten dann zunächst einen Trainingsdurchlauf mit einer simulierten Verbindung. Ihre Aufgabe bestand darin, insgesamt 14 Gespräche über Testverbindungen mit verschiedenen Verbindungscharakteristika zu führen, und nach jedem Gespräch die Gesamtqualität der Verbindung auf einer 5-stufigen Kategorienskala im „absoluten“ Maßstab zu skalieren. Die Skala wurde gemäß ITU-T Rec.

P.800 [5] gestaltet. Die Gespräche wurden mittels kleiner Szenarien stimuliert, bei denen die Versuchspersonen unterschiedliche Aufgaben partnerschaftlich lösen sollten (bspw. Fahrplanauskunft bei der Bahn, Terminabsprache beim Arzt, Reservierung einer Theaterkarte), vgl. auch [9]. Jede Partei hatte dabei nur einen Teil der Informationen und musste von der anderen die restlichen Informationen erfragen, was zu in etwa gleichmäßig verteilten Gesprächsanteilen führen sollte, vgl. [9].

Um über alle Versuchspersonen vergleichbare aber dennoch zeitlich variierende Verbindungsqualitäten zu erreichen wurde die Gesprächszeit auf maximal 180s begrenzt. Den Versuchspersonen wurde diese Begrenzung vorher mitgeteilt und auch während des Gespräches durch eine kleiner werdende Zeitscheibe auf einem Monitor dargestellt. Die Verbindungscharakteristika wurden somit für eine nominale Gesprächsdauer von 180s entworfen. Dabei ist zu beachten, dass in einigen Fällen die Gespräche schon vor Ablauf der 180s beendet wurden (da das Gesprächsziel bereits erreicht war), in anderen Fällen das Gespräch aber vor Erreichen des Zieles nach 180s abgebrochen wurde. Dieser Kompromiss wurde gewählt, um gegenüber den simulierten Dialogen aus [10][8] eine realistischere Konversationsituation (potentiell höhere Validität der Testergebnisse) zu erzielen, im Gegenzug aber trotzdem in etwa vergleichbare Gesprächsdauern zu erhalten.

Die Verbindungsprofile wurden so gestaltet, dass unterschiedliche Audio-Bandbreiten und Paketverlustraten in unterschiedlichen zeitlichen Abschnitten des Gespräches bzgl. der dabei erzielten Qualität miteinander verglichen werden können. Dabei wurden die Verbindungsprofile zu den Szenarien mittels eines Graeco-Latin-Square-Designs zugeordnet. Eine genauere Aufstellung findet sich in u.a. Tab. 1.

Tabelle 1 – Charakteristika der simulierten Übertragungskanäle. Netze: W: WLAN; H: HSDPA; Paketverlustrate in % (in runden Klammern, ansonsten ohne Verlust); Kodierer: G.711 (schmalband), G.722 bei 64 kbit/s (breitband); Sekundenangaben in eckigen Klammern beziehen sich auf die Dauer der Verbindung bis zum Wechsel (→ einfach, ↔ mehrfach).

Nr.	Erläuterung
1	W G.722 während der gesamten Gesprächsdauer
2	H G.711 während der gesamten Gesprächsdauer
3	W G.722 [45s] → W G.722 (3%) [30s] → H G.711 [bis Gesprächsende]
4	W G.722 [45s] → W G.722 (5%) [30s] → H G.711 [bis Gesprächsende]
5	W G.722 [45s] → W G.722 (10%) [30s] → H G.711 [bis Gesprächsende]
6	W G.722 [45s] → H G.711 [60s] → W G.722 [bis Gesprächsende]
7	W G.722 [75s] → W G.722 (5%) [30s] → W G.722 bis Gesprächsende]
8	W G.722 [75s] → W G.722 (5%) [bis Gesprächsende]
9	W G.722 [75s] → W G.722 (10%) [bis Gesprächsende]
10	W G.722 [10s] → H G.722 [100s] → W G.722 [bis Gesprächsende]
11	W G.722 [10s] → H G.711 [100s] → W G.722 [bis Gesprächsende]
12	W G.722 [10s] ↔ H G.722 [25s]x4 → W G.722 [bis Gesprächsende]
13	W G.722 [10s] ↔ H G.711 [25s]x4 → W G.722 [bis Gesprächsende]
14	High Speed Mobility: W G.722 ↔ H G.722 Wechsel non-stop

Insgesamt nahmen 26 Versuchspersonen jeweils in (einander meist nicht bekannten) Paaren am Versuch teil. Das Alter der Versuchspersonen bewegte sich zwischen 22 – 40 Jahren, denn

es handelte sich vielfach um Personen aus dem universitären Umfeld, was zum niedrigeren Altersdurchschnitt führte. Alle Versuchspersonen hatten nach eigenem Bekunden keine Hörverluste. Sie wurden für ihre Tätigkeit mittels eines Gutscheins entlohnt.

4 Analyse und Diskussion

Die aufgezeichneten Gespräche wurden zunächst bzgl. ihrer Länge und der tatsächlich auftretenden Paketverluste analysiert. Dabei wurden solche Gespräche von der weiteren Analyse ausgeschlossen, die entweder so kurz waren, dass die Verbindungscharakteristik, die für das Ende des Gespräches vorgesehen war, nicht mehr für zumindest einen Zeitraum von 15s aktiv war; zum anderen wurden Verbindungen mit nicht vorhergesehenen Paketverlusten ausgeschlossen. Die verbleibenden Urteile der Versuchspersonen wurden getrennt nach Verbindungsseite (Mobile Node bzw. Correspondent Node) zu Mittelwerten (Mean Opinion Score, MOS) aggregiert. Durch dieses Verfahren reduzierte sich die Anzahl der für jeden Mittelwert betrachteten Einzelwerte auf 8 bis 13, in einem Fall sogar auf 6 (Verbindung Nr. 13 aus Tab. 1). Diese Unsicherheit ergab sich aus dem realistischen Versuchsprotokoll und den im Kapitel 2 beschriebenen Übertragungseigenschaften; sie muss bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

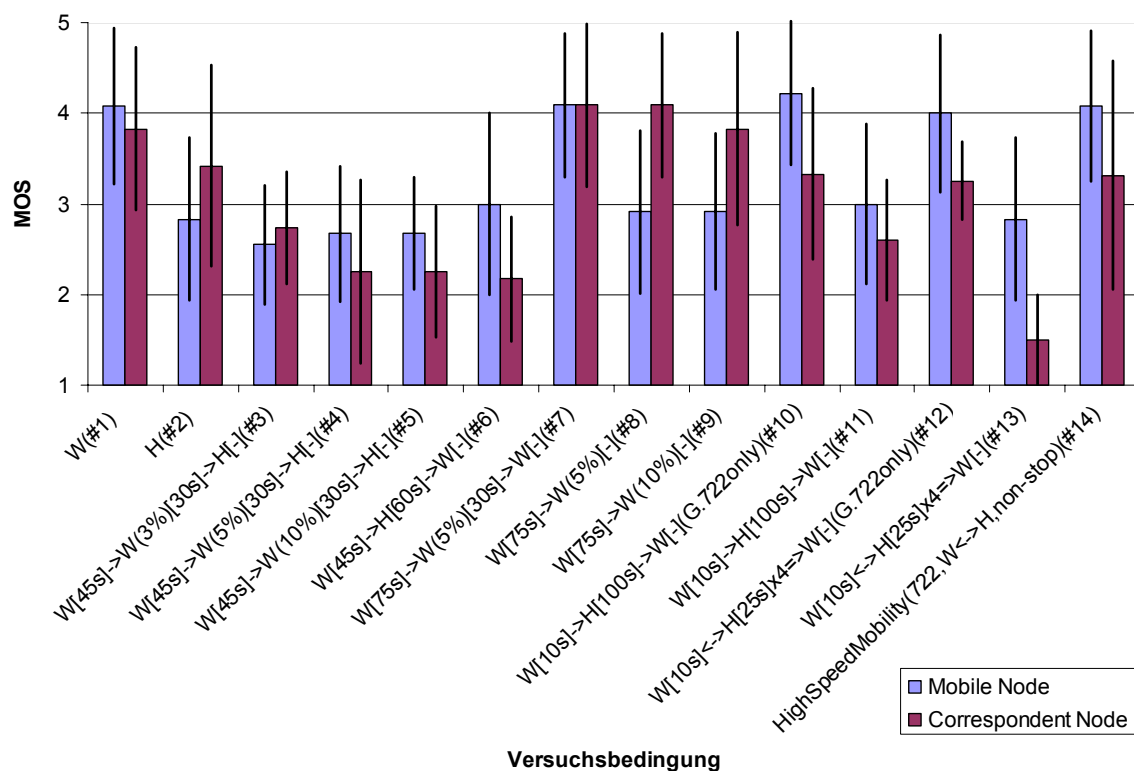


Abbildung 2 – Qualitätsbeurteilungen (Mittelwert und Standardabweichung) aufgeschlüsselt nach Verbindungscharakteristiken am Mobile Node und am Correspondent Node. #n bezeichnet die Nummer n der Verbindung in Tab. 1.

4.1 Beurteilungen am Mobile Node

Die Qualitätsurteile am Mobile Node werden vor allem durch die Audio-Bandbreite sowie die Paketverluste bestimmt. Die besten Beurteilungen werden für die durchgängig breitbandigen Verbindungen erzielt, und zwar fast unbeeinflusst von etwaigen (auch mehrmaligen)

Netzwerkwechseln, wie der Vergleich zwischen Verbindungen #1, #10, #12 und #14 zeigt. Wie bereits im Hörversuch gezeigt wurde ist der reine Netzwerkwechsel beim Mobile Node kaum wahrnehmbar.

Beim Wechsel zu Schmalband (Verbindung #2) zeigt sich am Mobile Node eine deutliche Qualitätseinbuße gegenüber dem Breitband-Fall; allerdings ist bei dieser Verbindung der Unterschied in der Beurteilung im Vergleich zum Correspondent Node nicht logisch, da keine unsymmetrischen Effekte vorliegen. Ein Vergleich der Urteile am Mobile Node zwischen den Verbindungen #2, #6, #11 und #13 zeigt, dass bei #2 offensichtlich die Bandbreiteneinschränkung perceptiv dominiert; bei #6 und #11 ist dieser Effekt durch die größere Bandbreite zu Beginn und am Ende des Gespräches abgemildert. Bei Verbindung #13 ist die Beurteilung durch den vielfachen Wechsel zwischen Schmalband und Breitband ebenfalls stark beeinträchtigt, vergleichbar mit #2. D.h. dass bei häufigem Bandbreitenwechsel keine Verbesserung gegenüber dem reinen Schmalband-Fall erzielt werden kann.

Verbindungen #3 bis #5 weisen jeweils eine Kombination von Paketverlusten und Kodiererwechseln auf, verbunden jeweils mit einem Wechsel der Audio-Bandbreite. Diese Verbindungen sind diejenigen mit den schlechtesten Beurteilungen am Mobile Node. Allerdings ist die Abstufung der Urteile in Bezug auf die Paketverlustrate nicht logisch; die Verbindung mit 10% Verlust wird bspw. etwas besser bewertet als die Verbindung mit 3% Verlust. Eine Überprüfung der real auftretenden Paketverluste sowie eine Untersuchung, ob diese evtl. vorwiegend in Pausen auftraten, konnte die Beobachtung nicht weiter erklären. Eine Betrachtung der Verbindungsprofile #7, #8 und #9 zeigt, dass Paketverluste zum Ende des Gespräches hin schlechter beurteilt werden als in der Mitte des Gespräches.

Verbindungen #7 bis #9 zeigen wiederum den Einfluss von Paketverlusten. Allerdings fällt die Qualitätseinbuße hier etwas geringer aus, da die Verluste nur in einem kürzeren Zeitfenster erst zum Ende des Gespräches hin auftreten. Der Vergleich zwischen Verbindungen #10 und #11 bzw. #12 und #13 am Mobile Node zeigt deutlich die Qualitätsverschlechterung, die durch den Wechsel des Sprachkodierers und der Audio-Bandbreite hervorgerufen wird. Die Größenordnung dieser Verschlechterung entspricht wiederum derjenigen, die durch Paketverluste erzielt wurde.

4.2 Beurteilungen am Correspondent Node

Beim Correspondent Node wurden keine Paketverluste simuliert. Stattdessen zeigen aber die Netzwerkwechsel und damit verbundene Kodiererwechsel einen deutlich hörbaren negativen Effekt. Dieser wird in den negativen Beurteilungen der Verbindungen #3, #4 und #5 deutlich. Demgegenüber wird Verbindung #6 trotz deutlich längerem Anteil schmalbandiger Übertragung auf gleichem Qualitätsniveau wie #4 und #5 beurteilt; dies deutet darauf hin, dass die schmalbandige Verbindung zum Ende des Gespräches sich qualitativ negativer auswirkt als in der Gesprächsmitte; dieser Effekt wurde bei Weiss et al. [14] als „End-Effekt“ (eine Abwandlung des Recency-Effektes) bezeichnet.

Die negativsten Urteile ergeben sich am Correspondent Node für Kombinationen von Netzwerk- und Kodiererwechsel. So erzielt Verbindung #13 das schlechteste Ergebnis des gesamten Tests. Der Anteil des Kodiererwechsels an dieser Qualitätseinbuße ist dominierend, wie ein Vergleich der Beurteilungen am Correspondent Node für Verbindungen #12 und #13 zeigt. Allerdings muss beachtet werden, dass bei Verbindung #13 nur 6 Versuchspersonen-Urteil in den Mittelwert einfließen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden Untersuchungen zur Sprachqualität in drahtlosen Mobilfunknetzen der nächsten Generation beschrieben. Hierzu wurde in einer Konversationssituation Wechsel des Netzwerks, des Sprachkodierers sowie der damit verbundenen Audio-Bandbreite gezielt generiert und die auditiv wahrgenommene Qualität gemessen. Die erhaltenen Qualitätsurteile zeigen, dass – entgegen dem Hörversuch – am Correspondent Node auch der Netzwerkwechsel einen signifikanten Einfluss auf die beurteilte Qualität hat. Am Mobile Node wirkt sich der Wechsel des Netzwerks allein demgegenüber praktisch nicht aus. Daneben werden an beiden Knoten ein Wechsel der Audio-Bandbreite sowie (am Mobile Node) Paketverluste als störend wahrgenommen. Die deutlichsten Beeinträchtigungen zeigen sich am Correspondent Node, wenn Wechsel der Audio-Bandbreite zusammen mit Artefakten des Netzwerkwechsels auftreten.

Insgesamt werden einige Ergebnisse des Hörversuches und des Versuches der simulierten Konversationen bestätigt. Ein häufiger Wechsel der Audio-Bandbreite wirkt sich störend aus, ebenso wie Paketverluste. Demgegenüber ist die Beeinträchtigung am Correspondent Node beim alleinigen Netzwerkwechsel neu, und sie wurde auch nach dem Hörversuch nicht erwartet.

Der Vergleich zeigt auch, dass es sich in der Praxis als extrem schwierig herausstellt, in der Konversationssituation kontrollierte Versuchsbedingungen bei zeitlich variierenden Netzwerkbedingungen zu erzielen. So musste ein großer Teil der Ergebnisse verworfen werden, weil der Gesprächsanteil innerhalb bestimmter Verbindungseinstellungen zu kurz ausfiel. Dies steigert den Wert der simulierten Konversationen, wie sie in [1] und [14] beschrieben sind.

Die Ergebnisse aller drei Versuchsreihen (Hörversuche mit kurzen Stimuli, simulierte Konversationen und reale Konversationen) sollen nun zur Optimierung und Erweiterung von Qualitäts-Vorhersagemodellen verwendet werden. Hierzu bedarf es zunächst einer Optimierung der Modelle für die einzelnen Gesprächsphasen. Bspw. zeigte das signalbasierte Verfahren WB-PESQ [6] in [8] bereits eine recht gute Eignung, während das parametrische E-Modell [2] noch erweitert werden muss, um zeitlich variierende Verbindungseigenschaften adäquat zu beschreiben. Hierzu können sog. Switching-Impairment-Faktoren hilfreich sein, wie sie in [7] vorgestellt wurden. Auch können zeitliche Integrationsmodelle wie in [14] Verwendung finden. Mit Hilfe valider Modelle können anschließend Netzwerk- und Kodierwechsel im Sinne einer optimalen Gesamtqualität – und zwar aus *Nutzersicht* – getriggert werden.

Literatur

- [1] ETSI TR 102 506: Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Estimating Speech Quality per Call. European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, 2007.
- [2] ITU-T Rec. G.107: The E-Model: A Computational Model for Use in Transmission Planning. International Telecommunication Union, Geneva, 2009.
- [3] ITU-T Rec. G.711: Pulse Code Modulation (PCM) of Voice Frequencies. International Telecommunication Union, Geneva, 1988.
- [4] ITU-T Rec. G.722: 7 kHz Audio-coding Within 64 kbit/s. International Telecommunication Union, Geneva, 1988.
- [5] ITU-T Rec. P.800: Methods for Subjective Determination of Transmission Quality. International Telecommunication Union, Geneva, 1996.

- [6] ITU-T Rec. P.862.2: Wideband Extension to Recommendation P.862 for the Assessment of Wideband Telephone Networks and Speech Codecs. International Telecommunication Union, Geneva, 2007.
- [7] Lewcio, B., Wältermann, M., Möller, S., Vidales, P.: E-Model Supported Switching Between Narrowband and Wideband Speech Quality. In: First International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX'09), July 29-31 2009, San Diego CA.
- [8] Lewcio, B., Wältermann, M., Vidales, P., Raake, A., Möller, S.: Performance of Instrumental Speech Quality Measures for Next Generation Wireless Networks. In: Boone, M.M. (Ed.): Proc. NAG/DAGA 2009 Int. Conf. on Acoustics, Rotterdam, 23-26 Mar. 2009, pp. 1161-1163.
- [9] Möller, S.: Assessment and Prediction of Speech Quality in Telecommunications. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2000.
- [10] Möller, S., Wältermann, M., Lewcio, B., Kirschnick, N., Vidales, P.: Speech Quality while Roaming in Next Generation Networks. In: Proc. IEEE Int. Conf. on Communications (ICC 2009), Dresden, 14-18 June 2009, 5 pages.
- [11] PJSIP – Open Source SIP Stack and Media Stack for Presence, Im/instant Messaging, and Multimedia Communication. Erhältlich unter <http://www.pjsip.org>, 2008.
- [12] Vidales, P., Kirschnick, N., Lewcio, B., Steuer, F., Wältermann, M., Möller, S.: Mobisense Testbed: Merging User Perception and Network Performance. In: Proc. 4th Int. Conf. on Testbeds and Research Infrastructures for the Development of Networks & Communities, Innsbruck, March 18-20 2008.
- [13] Wältermann, M., Lewcio, B., Vidales, P., Möller, S.: A Technique for Seamless VoIP-Codec Switching in Next Generation Networks. In: IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Communication Software and Services Symposium, Beijing, 2008.
- [14] Weiss, B., Möller, S., Berger, J.: Wahrgenommene Sprachqualität in Telefongesprächen bei zeitlich variierenden Übertragungseigenschaften. In: Fellbaum, K. (Ed.): Elektronische Sprachsignalverarbeitung. Tagungsband der 18. Konferenz, Cottbus, Dresden: TUDpress, 210-217, 2007.