

Experiment zur Untersuchung der Auswirkung von digitaler Kommunikation mit JANUS auf die Verständlichkeit analoger Sprachkommunikation nach STANAG 1074 unter Wasser*

Justus Fricke, Ivor Nissen

Wehrtechnische Dienststelle für Schiffe und Marinewaffen, Maritime Technologie und Forschung (WTD 71),
24340 Eckernförde, Deutschland, Email: {JustusFricke,IvorNissen}@bundeswehr.org

Einleitung

Gegenüber einer Vielzahl von Standards für digitale Kommunikationsverfahren in der Welt über Wasser existieren für Verfahren der digitalen Unterwasserkommunikation keine offenen Standards. Um dem Abhilfe zu schaffen, wurde unter Federführung des NATO Undersea Research Centres (NURC) vor einigen Jahren unter dem Arbeitsnamen JANUS begonnen, einen offenen Standard für die digitale Unterwasserkommunikation zu erarbeiten [1]. Diese Arbeit wird von dem NATO STO Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE) fortgeführt und soll von der NATO in einem *Standardization Agreement* (STANAG) standardisiert werden, der als offener Standard auch von zivilen Institutionen und Angehörigen von Nicht-NATO-Mitgliedstaaten genutzt werden können. Wesentliche Ziele von JANUS sind Offenheit, Einfachheit und Robustheit, um eine große Verbreitung in vielen unterschiedlichen Geräten zu ermöglichen. Ein Konflikt, der im Rahmen der Standardisierung auftaucht, ist das vorgesehene Spektrum von JANUS. Wie die meisten Kommunikationsverfahren unter Wasser verwendet JANUS als Träger für die Kommunikationssignale Schall. Damit ist das zur Verfügung stehende Spektrum noch knapper als für terrestrische Anwendungen im elektromagnetischen Spektrum. Das von Teilen der Mitgliedstaaten und an JANUS mitarbeitenden Institutionen gewünschte verbindliche Frequenzband überlappt dabei mit dem in der NATO für analoge Sprachkommunikation - auch Unterwassertelefonie (UT) genannt - vorgesehenen Frequenzband [2]. Die Überlappung in das Sprachband beträgt ungefähr 50 % - eine Darstellung findet sich in Abbildung 1. Die analoge Sprachkommunikation ist häufig die einzige nutzbare Kommunikationseinrichtung für getauchte Uboote und hat eine große Bedeutung für die Sicherheit des Ubootes. Um festzustellen, wie stark JANUS in dem vorgesehenen Frequenzband die analoge Sprachkommunikation einschränkt, wurden im Juli 2014 Experimente im Rahmen der Forschungsfahrt REP14-Atlantic des CMRE mit Unterstützung der portugiesischen Marine und der WTD 71 durchgeführt.

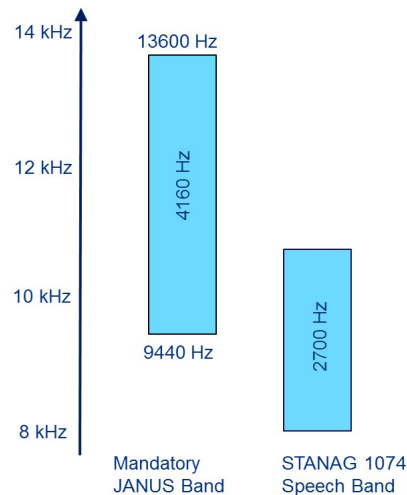


Abbildung 1: Darstellung der Überlappung des verbindlichen JANUS-Bands mit dem Sprachband nach STANAG 1074.

Experiment zu JANUS und STANAG 1074 im Rahmen von REP14-Atlantic

Ziel

Der für die Unterwassertelefonie in [2] als Sprachband definierte Bereich von 300 – 3000 kHz wird für die Übertragung in den Frequenzbereich über 8 kHz hochmoduliert und mit Wasserschallwandlern in das Wasser abgestrahlt. Sind am Empfänger zur gleichen Zeit JANUS-Signale im Wasser, so überlagern sich diese mit dem Sprachsignal. Die Überlagerung beider Signale wird durch die UT mit ihren Wandlern in ein elektrisches Signal zurück gewandelt und heruntermoduliert. Zusammen mit dem im Wasser übertragenen Sprachsignal wird auch die tieffrequente Hälfte des JANUS-Signals heruntermoduliert und für den Bediener des UT hörbar. Für den Hörer erschwert die Interferenz des JANUS-Signals somit das Verstehen der Sprachnachricht. Ziel des hier dargestellten Versuchs ist es, den Einfluss eines JANUS-Signals auf die *Verständlichkeit* (inhaltsrichtiges Verstehen, engl. *intelligibility*) eines gleichzeitig übermittelten Sprachsignals zu bestimmen. Dabei sollen die Bedingungen möglichst realistisch sein, d. h. möglichst den gesamten Kanal zwischen Sprecher und Hörer beinhalten.

*This work has been made possible by a collaborative research effort with the NATO STO Centre for Maritime Research and Experimentation (CMRE) as well as support by the Portuguese Navy.

Versuchsanordnung

Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 2 dargestellt. Von dem getauchten Uboot wurden über den Mikrofoneingang des UT vorab aufgenommene Nachrichten gesendet und am Kopfhörerausgang des UT auf dem Überwasserschiff aufgezeichnet. Damit beinhalten die aufgezeichneten Nachrichten alle Störungen, die bei der analogen Unterwassersprachübertragung zwischen Mikrofon und Kopfhörer auftreten. Jede zweite Übertragung wurde zusätzlich durch ein ins Wasser abgestrahltes JANUS-Signal gestört. Die JANUS-Signale folgen dem derzeitigen Entwurf des Standards, der in wesentlichen Teilen auch in [1] wiedergegeben ist. Beispielimplementationen zur Signalerzeugung sind im JANUS-Wiki verfügbar [3]. Die abgestrahlte Sprachnachricht bestand aus einer "The message is" lautenden Präambel und drei zufällig ausgewählten Buchstaben die entsprechend dem Phonetischen NATO-Alphabet [4] ausgesprochen wurden. Diese 3-Buchstaben-Kombination wurden u. a. deshalb gewählt, weil ebensolche als sogenannte *3-Letter-Codes* tatsächlich für die Übermittlung von vordefinierten Nachrichten über UT verwendet werden. Neben 3-Letter-Codes wurden auch Reimwörter nach EN 15333-1 und Nachrichten aus 7 Buchstaben gesendet. Erstere, als ein weiteres Verfahren zur Bestimmung der Verständlichkeit und zweitere, um mit Nachrichten gleichen Informationsgehalts wie ein JANUS-Paket einen Vergleich der Robustheit zu ermöglichen. Diese Auswertung berücksichtigt aber nur die 3-Letter-Codes.

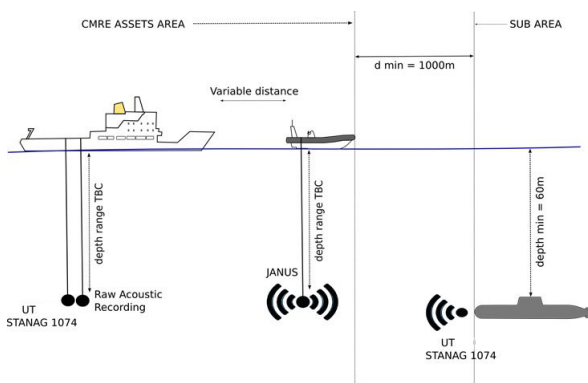


Abbildung 2: Versuchsanordnung während REP14-Atlantic: Vom getauchten Uboot wurden vorab aufgezeichnete Sprachnachrichten mit Unterwassertelefonie nach STANAG 1074 übertragen und die auf dem Überwasserschiff ebenfalls per Unterwassertelefon empfangen und demodulierten Nachrichten aufgezeichnet.

Auswertung

Für die Auswertung der aufgenommenen Sprachnachrichten wurden Audiodateien kleiner Abschnitte mit jeweils einer Sprachnachricht erstellt. Das Spektrogramm eines solchen Abschnitts ist in Abbildung 3 dargestellt. Das Ziel des Versuchs ist die Beurteilung des Einflusses der JANUS-Interferenz auf die Verständlichkeit einer Sprachnachricht. Um die Verständlichkeit zu messen, werden Hörertests verwendet. Empfangene Sprachnachrichten werden unter kontrollierten Bedingungen Hörern

vorgespielt. Die Hörer geben wieder, was sie verstanden haben. Die 3L-Codes sind dafür gut geeignet, weil durch die verwendeten phonetischen Buchstaben eine direkte, allgemein bekannte und leicht festzuhaltende Entsprechung als Buchstaben existiert. Eine Fehlerauswertung der Hörergebnisse findet durch einfache Vergleiche der Buchstaben in der gesendeten Nachricht mit den von den Hörern schriftlich festgehaltenen, verstandenen Buchstaben statt. Dabei wird ein *Wort* bestehend aus drei *Symbolen* (Buchstaben) als fehlerhaft gewertet, wenn mindestens eines der drei Symbole falsch verstanden wurde (Wortfehlerereignis = 1 bei fehlerhaften Worten, Wortfehlerereignis = 0 bei fehlerfreien Worten).

Um den Einfluss der Störung durch JANUS auf die Verständlichkeit festzustellen muss der Einfluss anderer Störungen (z. B. Umgebungsrauschen, Schiffsgeräusche, Delfine, Echos...) bestimmt werden. Dies geschieht über die Sprachnachrichten ohne Interferenz. Als Maß für die Stärke der Interferenz wird ihre Leistung herangezogen, weshalb die Verständlichkeit in Abhängigkeit von Leistungsgrößen ausgewertet wird. Die Berechnung der Leistungen von Signal (Sprache) P_S , Interferenz (JANUS) P_I und Rauschen P_N ist in den Spektrogrammen in Abbildung 3 veranschaulicht. Die Energie des Sprachsignals konzentriert sich auf den Frequenzbereich unter 1 kHz und ist in den meisten Fällen auf eine Dauer von 3 s beschränkt. Dementsprechend wird die durchschnittliche Leistung des Sprachsignals (der Buchstaben) durch Berechnung der Energie in dem in Abbildung 3 mit P_S markierten Bereichs approximiert. Analog wird für die Größen P_I und P_N verfahren – für ihre Berechnung wird die Sprachpause nach "The message is" genutzt. Eine Näherung für das SNR des Sprachsignals kann nun als

$$SNR = \frac{P_S}{P_N} \quad (1)$$

definiert werden. Allerdings ist aus Abbildung 3 leicht zu erkennen, dass bei der Berechnung der Leistungen auf diese Weise in mehrfacher Hinsicht approximiert wird: die drei Buchstaben können länger als 3 s sein und haben Energieanteile über 1 kHz. Auch die Energieverteilung der einzelnen Buchstaben ist sehr unterschiedlich, die Mittelung hat also auf unterschiedliche Buchstaben unterschiedliche Auswirkungen. Ein genaue Berechnung der Leistung der einzelnen Buchstaben ist aber für die Auswertung dieses Versuchs zu aufwändig.

Durch die Mittelung der Wortfehlerereignisse von Hörproben verschiedenen Inhalts, verschiedener Hörer und ähnlichem SNR kann eine vom SNR abhängige Wortfehlerwahrscheinlichkeit (*Word Error Probability*, WEP) errechnet werden. Die Verständlichkeit, interpretiert als *inhaltsrichtiges Verstehen*, ist das Komplement der Fehlerwahrscheinlichkeit. Daraus folgt die Definition der Verständlichkeit in Abhängigkeit des SNR als

$$\text{Verständlichkeit}(SNR) = 1 - \text{WEP}(SNR). \quad (2)$$

Ergebnis

Für die hier dargestellten Ergebnisse wurden 300 empfangene Sprachnachrichten, davon 150 durch ein JANUS-

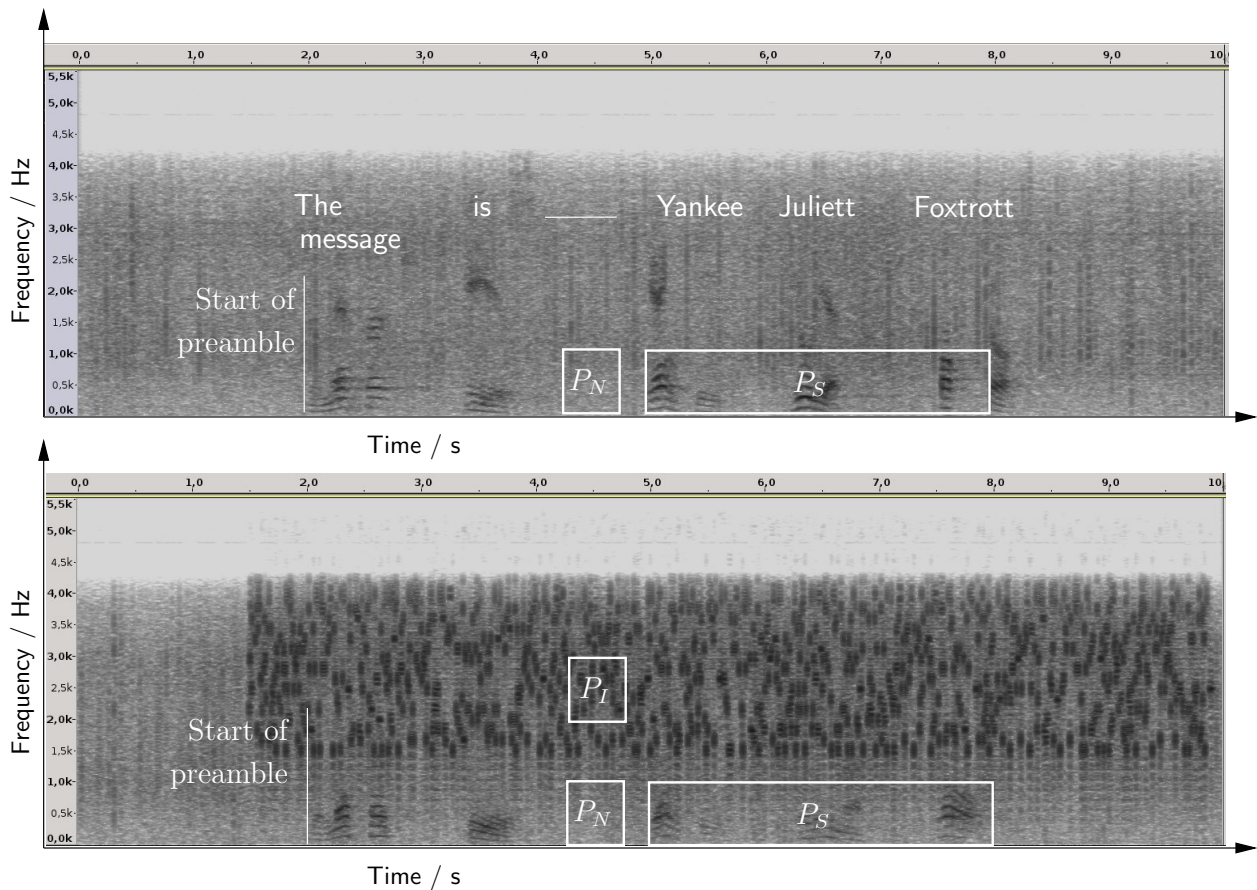


Abbildung 3: Spektrogramm einer ungestörten (oben) und durch ein JANUS-Signal gestörten (unten) Sprachnachricht. Dargestellt ist die Nutzung der Energieverteilung von Sprachsignal und Störungen in Zeit und Frequenz zur Leistungsbestimmung.

Signal gestörte, in 5 Testvariationen mit jeweils 30 gestörten und ungestörten Nachrichten Testhörern vorgespielt. Damit wurden insgesamt 1200 Hörereignisse durch 12 untrainierte Hörer erzeugt und ausgewertet. In Abbildung 4 ist die sich daraus ergebende durchschnittliche Verständlichkeit über das SNR aufgetragen. Jeder der Messpunkte stellt eine Mittelung über mindestens 20 Hör- bzw. Wortfehlerereignisse dar. Die in Abbildung 4 dargestellten Messpunkte ergeben sich bei Auswertung der Sprachproben mit einer Interferenzleistung $-24 \text{ dB} < P_I < -20 \text{ dB}$. Für die Nachrichten ohne Interferenz kann die Verständlichkeit gut durch eine mit zunehmenden SNR ansteigende Gerade angenähert werden. Der Verlauf der Verständlichkeit bei Interferenz ist weniger eindeutig. Je nach Leistung der Interferenz können sich abhängig vom SNR unterschiedliche Verläufe ergeben. Angenommen werden kann, dass sehr starke Interferenzleistungen das Erreichen einer Verständlichkeit von 1 verhindern werden. Für geringe Interferenzleistungen wird sich ein ähnlicher Verlauf wie für das interferenzfreie Sprachsignal mit Verständlichkeit von nahe 0 für sehr niedrige und Verständlichkeit nahe 1 für sehr hohe SNR ergeben. Eine noch ausstehende Auswertung weiterer aufgenommener Sprachnachrichten mit anderen Interferenzleistungen wird hier wahrscheinlich Klarheit bringen.

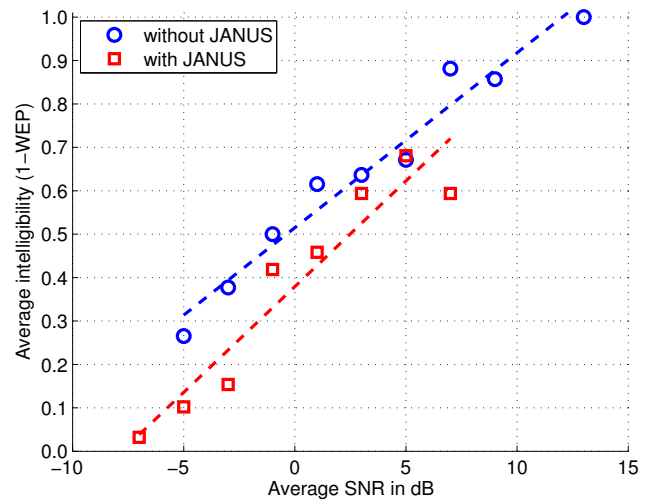


Abbildung 4: Verständlichkeit (*intelligibility*) der 3-Letter-Codes mit und ohne Interferenz durch ein JANUS-Signal.

Tabelle 1: Zur Leistungsberechnung genutzte Zeit-Frequenzbereiche.

	Zeit		Frequenz	
	t_{start}	t_{stop}	f_{start}	f_{stop}
P_S	2,9 s	5,9 s	0 Hz	1000 Hz
P_N	2,2 s	2,7 s	0 Hz	1000 Hz
P_I	2,2 s	2,7 s	2000 Hz	3000 Hz

Literatur

[1] Potter, J.; Alves, J., Green, D.; Zappa, G.; McCoy, K. und Nissen, I.: "The JANUS Underwater Commu-

nications Standard," in *Proc. UComms 2014*, Sept. 2014, Sestri Levante, Italien.

[2] NATO Military Agency for Standardization: Minimum Standard Characteristics of Underwater Telephones for Use in Submarines, Surface Ships and Helicopters of NATO Nations, STANAG 1074 Ed. 4, Apr. 1997.

[3] JANUS wiki, URL: <http://www.januswiki.org>

[4] NATO Standardization Agency: Multinational Maritime Tactical Signal and Maneuvering Book, MTP 1(D), Vol. II, März. 2003.