

# Das FT4-Protokoll für digitale Conteste

Joe Taylor, K1JT, Steve Franke, K9AN, and Bill Somerville, G4WJS

22. April 2019 (übersetzt von OE1EQW, Enrico Schürer)

**Einleitung:** FT4 ist ein experimenteller Digitalmodus, der speziell für Conteste entwickelt wurde. Wie bei FT8 werden auch Übertragungen mit fester Länge, strukturierte Nachrichten mit für minimale QSOs optimierten Formaten und eine starke Vorwärtsfehlerkorrektur verwendet. Sende-/Empfangssequenzen sind 6 Sekunden lang, so dass FT4 um das 2,5-fache schneller ist als FT8 und etwa die gleiche Geschwindigkeit wie RTTY für Conteste hat. FT4 kann mit Signalen arbeiten, die um 10 dB schwächer sind als für RTTY erforderlich, während die Bandbreite deutlich geringer ist.

**Basisparameter:** FT4-Nachrichtenformate sind die gleichen wie in FT8 und werden mit dem gleichen (174,91) Paritätsprüfcode niedriger Dichte kodiert. Die Übertragungen dauern 4,48 Sekunden gegenüber 12,64 Sekunden für FT8. Die Modulation verwendet die 4-Ton-Frequenzumtastung bei etwa 23,4 Baud, wobei die Töne durch die Baudrate getrennt sind. Die belegte Bandbreite (die 99% der Sendeleistung enthält) beträgt 90 Hz. Die Schwellenempfindlichkeit für 50% Dekodierwahrscheinlichkeit beträgt  $S/N = -16,4$  dB, gemessen in der Standard-Referenzrauschbandbreite von 2500 Hz. Eine Prioritätsdekodierung (AP) kann die Schwellenempfindlichkeit auf  $-18$  dB oder besser drücken.

## Installation und Ersteinrichtung

Führen Sie die folgenden Schritte aus, um an der FT4-Testgruppe teilzunehmen und an einer oder mehreren anstehenden "Pseudo-Contest-Sessions" teilzunehmen, um einen Release-Kandidaten für WSJT-X 2.1.0 zu installieren und zu konfigurieren:

1. Laden Sie das Installationspaket von einem Link herunter, der bereitgestellt wird.
2. Installieren Sie das Programm wie gewohnt für Ihr Betriebssystem. Um Konflikte mit Ihrem normalen Betrieb zu vermeiden, verwenden Sie eventuell ein anderes Installationsverzeichnis als das für *WSJT-X 2.0* verwendete.
3. Starten Sie das Programm wie gewohnt für FT8.
4. Wählen Sie im Menü **Configurations** die Option **FT8 | Clone** (oder **Default | Clone**).
5. **Benennen** Sie die resultierende neue Konfiguration in **FT4** um und wählen Sie die neue Konfiguration aus.
6. Wählen Sie im Menü **Mode** die Option **FT4**.
7. In der Registerkarte **File | Settings | Frequencies** klicken Sie mit der rechten Maustaste auf eine beliebige Zeile in der Liste der Arbeitsfrequenzen und klicken auf die Schaltfläche **Reset**. Durch diese Aktion werden die empfohlenen Arbeitsfrequenzen für FT4 ermittelt.
8. Aktivieren Sie das Kontrollkästchen **Special operating activity** in der **Settings | Advanced** Registerkarte. Wählen Sie dann **RTTY Roundup-Messages** und geben Sie im Feld **RTTY RU Exch** Ihren richtigen Contestinhalt ein.
9. Anweisungen zum Anschließen des *WSJT-X* an den *N1MM Logger+* finden Sie im *WSJT-X 2.1 Benutzerhandbuch*, Abschnitt 4.5.

Sie haben jetzt einen Release-Kandidaten für *WSJT-X 2.1.0* für den FT4-Betrieb konfiguriert. Es könnte hilfreich sein, eine FT4-Beispieldatei herunterzuladen und zu untersuchen. Wählen Sie im Menü **Help** die Option **Download Samples** und aktivieren Sie das Kontrollkästchen **FT4**. Konfigurieren Sie die **Wide Graph**-Steuerelemente wie in *Bild 1* gezeigt, und wählen Sie im Menü **Decode** die Option **Deep** aus. Öffnen Sie dann die Beispieldatei im Menü **File**. Das aufgezeichnete Intervall sollte 19 Dekodierungen erzeugen, wie in *Bild 1* dargestellt. Die meisten dekodierten Signale sind in der Audiodatei nicht oder kaum hörbar. Weniger als ein Drittel sind stark genug, um zuverlässig

dekodiert zu werden, wenn sie RTTY-Signale wären - und nur dann, wenn sie sich über einen viel breiteren Frequenzbereich ausbreiten würden.

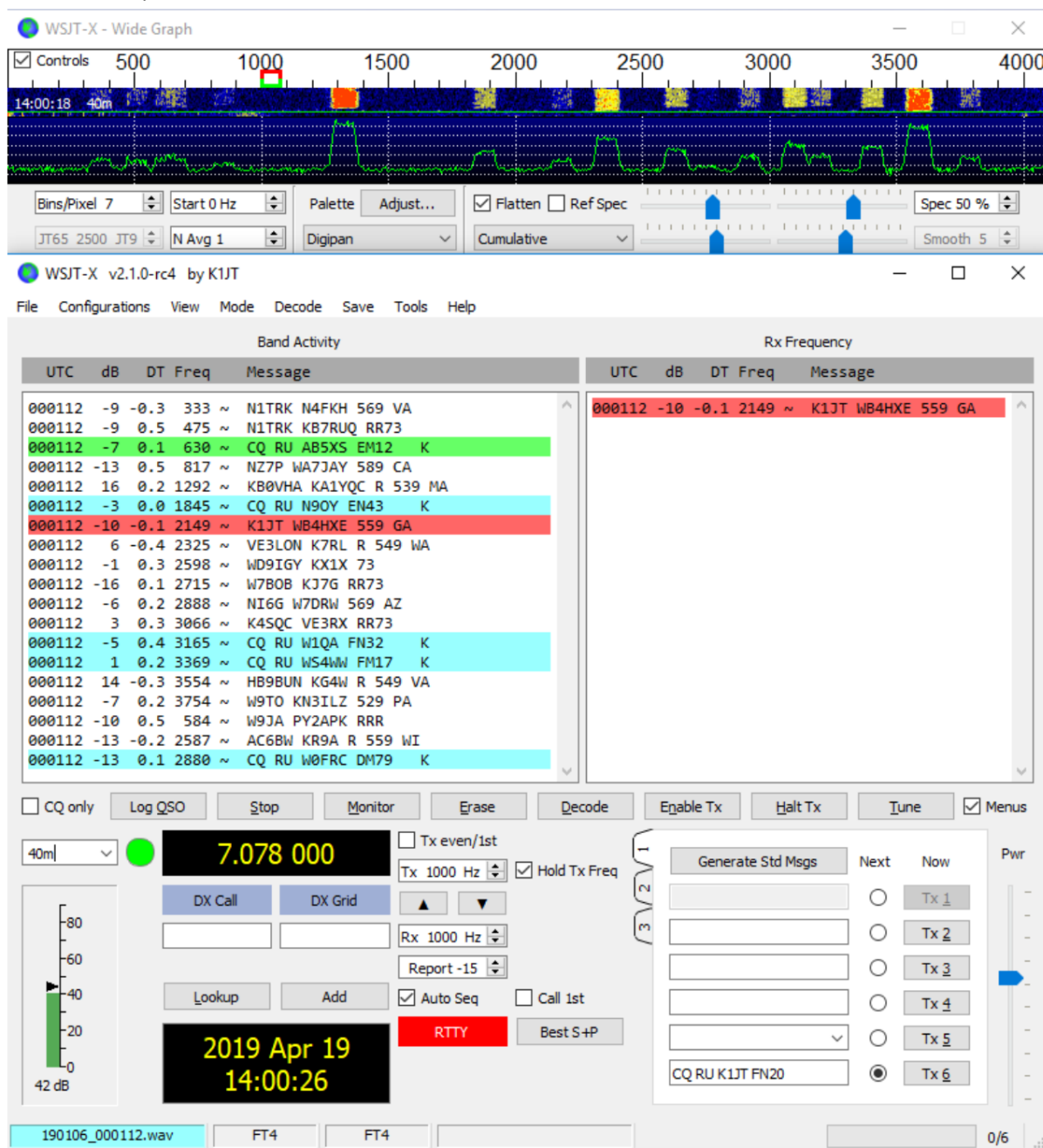


Bild 1: Bildschirmfoto, das simulierte FT4 Signale und Dekodierungen zeigt

**Betrieb:** Abgesehen von den viel kürzeren S/E-Sequenzen verhält sich FT4 im Wesentlichen genauso wie FT8. Ein neues Kontrollfeld ist für den FT4-Betrieb verfügbar, eine Schaltfläche mit der Bezeichnung **Best S + P** direkt unter dem Kontrollkästchen **Call 1st**. Durch Klicken auf diese Schaltfläche während eines Empfangszyklus wird das Programm aktiviert, um alle CQ-Nachrichten zu überprüfen, die am Ende der 6-Sekunden-Empfangssequenz dekodiert wurden. Das Programm wählt den besten potenziellen QSO-Partner (aus einer Wettbewerbsperspektive) aus und behandelt es so, als hätte man auf diese Zeile mit dekodiertem Text geklickt. "Bester potentieller QSO-Partner" bedeutet hier "Neuer Multiplikator" (1. Priorität) oder "Neues Rufzeichen auf Band" (2. Priorität). "Neuer Multiplikator" wird derzeit als "neues DXCC" interpretiert; eine weiter gefasste Multiplikatorenkategorie (für die ARRL RTTY Roundup-Regeln) wird in Kürze implementiert. Wir können auch zusätzliche Prioritätsranglisten bereitstellen, beispielsweise „New Grid on Band“ (nützlich für nordamerikanische UKW-Wettbewerbe), Sortierung nach Signalstärke usw.

Aktivieren Sie für die Tastatursteuerung der übertragenen Nachrichten das Kontrollkästchen **Alternate F1 – F6 bindings** in der Registerkarte **Settings | General**. Im typischen Contest-Style-Betrieb können Sie dann die Funktionstaste **F1** drücken, um CQ zu senden. Doppelklicken Sie auf die dekodierte Nachricht, um auf ein CQ zu antworten und Ihren Contestinhalt zu senden. Alternativ können Sie auf **Best S + P** klicken und den Auswahlalgorithmus eine Station auswählen lassen, die gerufen werden soll. Die Kontrollkästchen **Auto Seq** und **Call 1st** verhalten sich wie in FT8 und der Rest eines Minimal-QSOs kann ohne weitere Bedienereingaben fortgesetzt werden. Die Funktionstasten **F2 – F5** können zum Senden von Nachrichten verwendet werden, die in Eingabefeldern für Tx2 - Tx5 auf der Registerkarte 1 unten rechts im Hauptfenster angezeigt werden. Die Funktionstaste **F6** schaltet den Status des Kontrollkästchens **Call 1st** um und die Tastenkombination **Alt + B** kann verwendet werden, um den Aktivierungsstatus von **Best S + P** umzuschalten.

FT4 ist derzeit so konfiguriert, dass eine Station, die im Such- und Pounce-Modus ("S + P") arbeitet, ein QSO protokolliert, wenn RR73 gesendet wird und die CQ rufende ("Run") - Station ein QSO protokolliert, wenn RR73 empfangen wird. Wie FT8 unterscheidet FT4 kaum zwischen einer S + P-Station und einer Run-Station. Ein Bediener kann leicht und häufig zwischen diesen beiden Arten des Einleitens von QSOs wechseln und die Contestergebnisse hängen von der Optimierung dieser und vieler anderer Betriebsentscheidungen ab. Mit einem stetigen Angebot verfügbarer Sender sind QSO-Raten von weit über 100 / Stunde möglich.

**Gesendetes Signal:** FT4 verwendet eine Modulationstechnik, die als Gaußsche Frequenzumtastung oder GFSK bekannt ist. Die erzeugte Audiowellenform besteht aus 105 Symbolen (Tönen), die nacheinander mit einer von vier Frequenzen gesendet werden. Die kodierte Folge unterschiedlicher Töne für einen Teil einer Übertragung könnte ursprünglich wie die obere (rote) Kurve in *Bild 2* aussehen.

In FT4 wird die Frequenzfolge jedoch durch Faltung mit einer Gaußschen Funktion geglättet, bevor sie an den Softwaremodulator gesendet wird. Die blaue Kurve zeigt die entsprechende geglättete Frequenzfolge, die tatsächlich an den Modulator gesendet wird. Die übertragene Sequenz weist keine stufenweisen Diskontinuitäten mehr auf.

Die Unterschiede zwischen der roten und der blauen Kurve scheinen recht klein zu sein, aber die Spektren der resultierenden Audiowellenformen sind bemerkenswert unterschiedlich. *Bild 3* zeigt Spektren für ein FT4-Signal (blau) und ein Standard-FSK-Signal mit kontinuierlicher Phase (rot) für dieselbe kodierte Bitsequenz. Das GFSK-Spektrum weist steile Ränder auf, die eine Bandbreite von nur 75 Hz bei –6 dB, 200 Hz bei –60 dB und 260 Hz bei –80 dB einnehmen. Auf die Audiowellenformen wird keine zusätzliche Filterung angewendet.

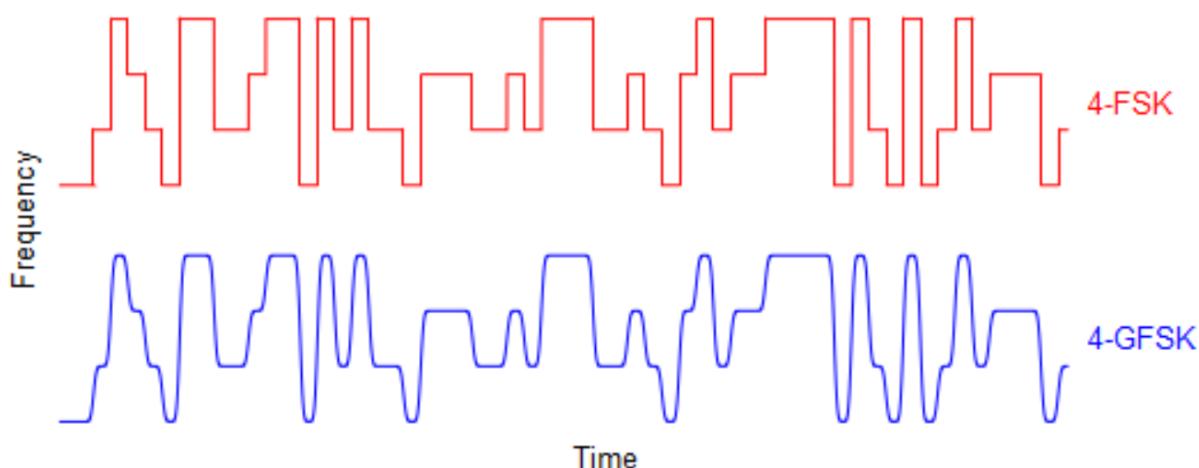


Bild 2: Beispiele der kodierten (rot) und geglätteten (blau) Frequenzfolgen als Teil der FT4-Nachricht

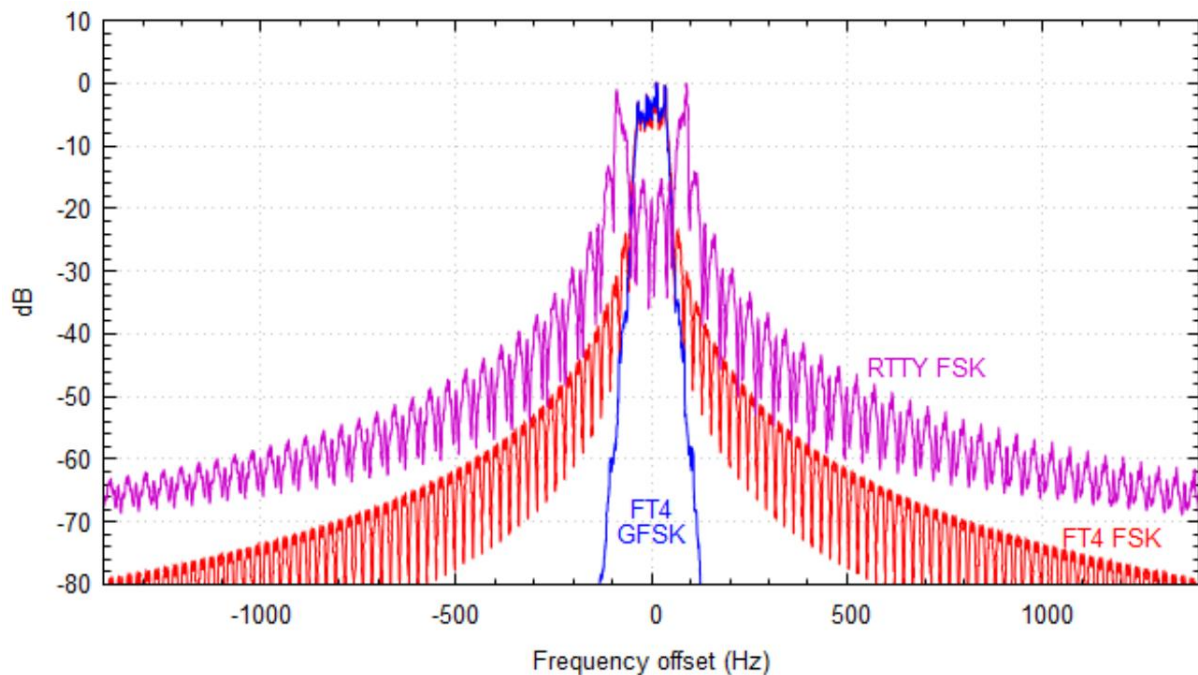


Bild 3: Spektren eines gesendeten FT4 Signals (blau), FT4 nur mit FSK und RTTY mit FSK kontinuierlicher Phase (violett)

Bild 3 zeigt auch das Spektrum eines Standard-RTTY-Signals (violett), das bei -60 dB mehr als 2000 Hz breit ist. Einige Ham-Software, die RTTY-Signale durch Audio Frequency Shift Keying (AFSK) generiert, bietet eine optionale Filterung der Wellenform, um unerwünschte Seitenbänder zu reduzieren. Eine solche Nachmodulationsfilterung zerstört jedoch notwendigerweise die konstante Hüllkurve des FSK-Signals mit kontinuierlicher Phase und hinterlässt eine Wellenform, die mit guter Linearität verstärkt werden muss, um die Erzeugung neuer unerwünschter Seitenbänder zu vermeiden. Im Gegensatz dazu hat das GFSK-Signal von FT4 eine konstante Hüllkurve und ist immun gegen Intermodulationsverzerrungen.

**Dekodierung und Frequenznutzung:** Der FT4-Dekoder in *WSJT-X 2.1* identifiziert und dekodiert Signale an einer beliebigen Stelle in einem Durchlassbereich von bis zu 5 kHz. Wie in anderen *WSJT-X*-Modi sind empfangene Nachrichten "alles oder nichts" - es gibt keine partiellen Dekodierungen und falsche Dekodierungen sind selten. Die Subtraktion von dekodierten Signalen vom empfangenen Datenstrom ermöglicht das Dekodieren von Übertragungen, die sich in der Frequenz mit anderen, möglicherweise viel stärkeren Signalen überlappen. Die letzten drei Dekodierungen, die im Bandaktivitätsfenster in *Bild 1* gezeigt sind, sind Beispiele für solche Dekodierungen im zweiten Durchgang. Mit der normalen ungeraden/geraden Sequenz von Übertragungen und Signalen, die in Intervallen von 120-150 Hz angeordnet sind, können bis zu 50 Stationen in einem 3 oder 4-kHz-Durchlassbereich mit geringer Interferenz arbeiten, selbst wenn die Signalstärke um bis zu 60 dB variiert.

Die Erfahrung wird zeigen, welche Strategie die beste Wahl für die Auswahl der Skalenfrequenzen während eines Wettkampfs ist und wie viele ~3 kHz-Segmente für FT4 in jedem Band verwendet werden sollten. Als erste Richtlinie empfehlen wir die folgenden Einstellfrequenzen für FT4: 3,575, 7,047, 10,140, 14,080, 18,104, 21,140, 24,919, 28,180, 50,318, 144,170 MHz. Wir freuen uns über jedes Feedback, das zu einer besseren Frequenzwahl führen kann.

**Empfindlichkeit:** *Bild 4* zeigt Messungen der Empfindlichkeit des FT4-Dekoders über einen weiten Bereich simulierter Ausbreitungsbedingungen. Rechts geben gepaarte Zahlen die Doppler-Spreizung (Hz) und die Zwei-Wege-Differentialverzögerung (ms) für verschiedene ITU-Standardbedingungen an, wobei das Watterson-Modell für die Ausbreitung der Ionosphäre verwendet wird. Die am weitesten links liegenden durchgezogenen Kurven entsprechen üblichen Ausbreitungspfaden der mittleren

Breiten unter ungestörten Bedingungen. Gestrichelte Kurven zeigen die gemessenen Empfindlichkeiten für die Dekodierung mit maximaler *a-priori*-Information in zwei Extremen der Ausbreitungsbedingungen. Für einen groben Vergleich mit RTTY stellen wir fest, dass RTTY unter simulierten Bedingungen in mittleren Breiten nur bei einem SNR von  $-1$  bis  $+4$  dB je nach verwendetem Softwaremodem zu Zeichenfehlerraten von weniger als 10% führt. FT4 bietet einen Empfindlichkeitsvorteil von etwa 10 dB gegenüber RTTY.

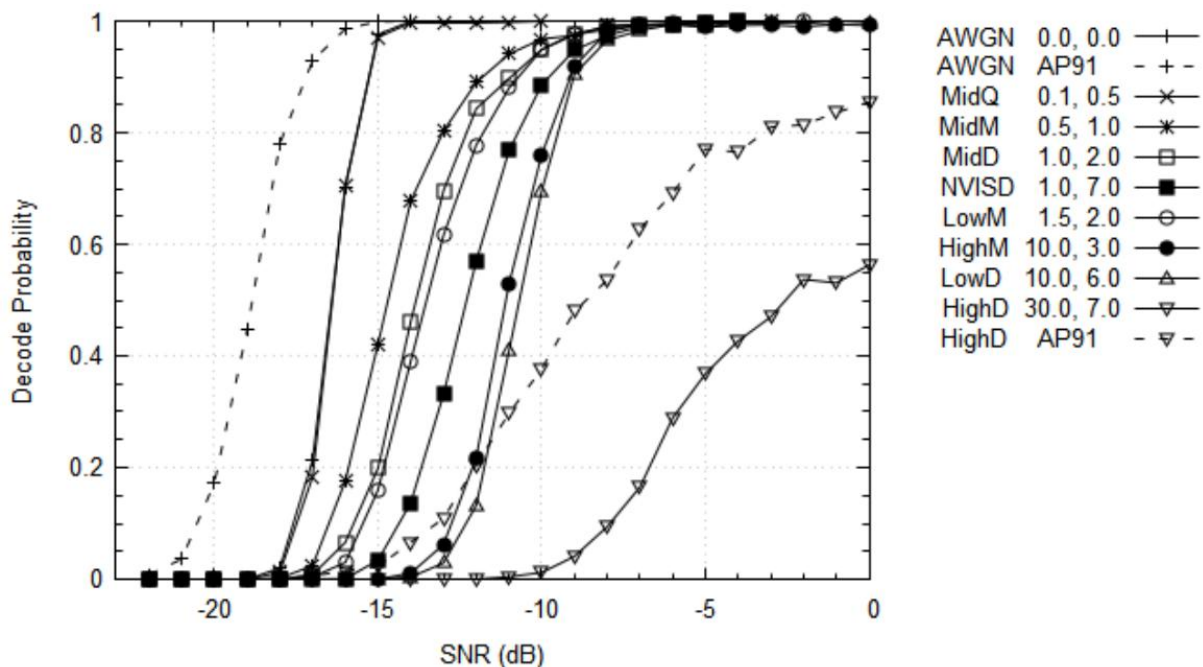


Bild 4 - Gemessene Dekodierwahrscheinlichkeit für FT4 als Funktion des SNR. AWGN bedeutet Additiv White Gaussian Noise; Low, Mid und High beziehen sich auf den geomagnetischen Breitengrad. Q, M und D implizieren ruhige, moderate oder gestörte ionosphärische Bedingungen; NVIS bedeutet Near Vertical Inzidenz Skywave; AP91 bezieht sich auf eine *a-priori*-Dekodierung der RR73-Nachricht in einem typischen Wettbewerbs-QSO.

**Frühere Tests:** Durch die ersten Veröffentlichungskandidaten von *WSJT-X 2.1.0* konnten wir die Zweckmäßigkeit untersuchen, FT4 zu einem asynchronen Modus ohne feste Startzeiten für S/E-Intervalle zu machen. Diese Tests dienten dazu, die erheblichen Vorteile der Verwendung von zeitsynchronisierten Sequenzen aufzuzeigen. Feste Sequenzlängen mit vorgeschriebenen Startzeiten stellen sicher, dass ein viel größerer Anteil der empfangenen Signale dekodierbar ist, insbesondere bei wettbewerbsähnlichen Betriebsbedingungen, bei denen eine bestimmte Station etwa die Hälfte der Zeit sendet. Durch die Synchronisation wird normalerweise die Kanalkapazität erhöht.

**Zeitplan:** Einige Parameter und Betriebsverhalten von FT4 werden noch getestet und optimiert. Es wird sehr nützlich sein, mehrere Pseudo-Conteste mit einer größeren Gruppe aktiver Teilnehmer durchzuführen. Auch wenn diese Versionen keine schwerwiegenden Fehler oder Unzulänglichkeiten aufweisen, sind wir der Meinung, dass FT4 zu neu ist, um in zwei bevorstehenden Ereignissen eingesetzt zu werden: dem ARRL VHF Contest (8. bis 10. Juni) und dem ARRL Field Day (22. bis 23. Juni). Daher planen wir die Erstellung eines Release-Kandidaten *WSJT-X 2.1.0-rc5*, der am 7. Juni 2019 abgeschaltet wird. Soweit möglich, halten wir uns an den folgenden Zeitplan:

- 22. April: Öffentliche Ankündigung zu FT4 mit einem Link zu diesem Dokument
- 29. April: Zweite Ankündigung mit Links zu herunterladbaren Installationspaketen für *WSJT-X 2.1.0-rc5*
- 9. Mai 0000 - 0100 UTC: FT4-Übungssession, 7.090 MHz
- 14. Mai 0000 - 0100 UTC: FT4-Übungssession, 7.090 MHz

- 5. Juni 0000 - 0100 UTC: FT4-Übungssession, 7.090 MHz (falls erforderlich)
- 15. Juli: Veröffentlichung der allgemeinen Verfügbarkeit (GA) von *WSJT-X 2.1.0*

**Zufällige, abschließende Gedanken:** FT4 ist ein Spezialmodus für schnelle Contest-QSOs. Es erfüllt diesen Zweck sehr effektiv, aber wie bei FT8 ist der Modus für umfangreichere Gespräche nicht nützlich. FT4 benötigt viel weniger Bandbreite als RTTY und bietet eine zuverlässige Dekodierung bei viel niedrigeren Signalpegeln. Es besteht keine Notwendigkeit für "partielle Superhilfen" oder ähnliche Wettbewerbshilfen und erfahrene Bediener, die FT4 verwenden, werden eine geringere Motivation für die Verwendung eines DX-Clusters oder anderer Nicht-Funkhilfen feststellen. Alle Informationen, die erforderlich sind, um in einem Wettbewerb gut abzuschneiden, können während des Wettbewerbs über die eigenen Antennen und Funkgeräte drahtlos abgerufen werden. Bei FT4 gibt es kaum einen Unterschied zwischen CQ- und S + P-Betrieb. Daher ist es einfach, häufig zwischen den beiden Möglichkeiten zu wechseln, um QSO-Partner zu finden. Stationen, die Antennen mit geringer Leistung und Kompromisse verwenden, können effektiv an einem Wettbewerb mit FT4 teilnehmen.