

Inhaltsverzeichnis

1. Q65	2
2. JT4	5
3. JT65	7
4. JT9	10

Q65

Digitale Betriebsarten im Detail\: Q65

Q65 ist eine digitale Betriebsart, die seit [WSJT-X Version 2.4.0](#) verfügbar ist (seit 28. Mai 2021) und die sehr geeignet ist für die VHF/UHF/SHF Frequenzbereiche, bei mäßiger Sendeleistung (100W) und für Stationen mit Antennendefiziten.

Q65 ist ein digitales Übertragungsverfahren und Protokoll für minimal-QSOs bei besonders schwierigen Ausbreitungsbedingungen. Wenn die Dopplerverbreiterung mehr als nur einige Hz beträgt, ist Q65 die beste unter allen Betriebsarten in WSJT-X. Q65 ist besonders effektiv für Verbindungen über Tropo-Scatter, Regenstreuung, ionosphärische Streuung, TEP und EME auf UKW- und höheren Bändern sowie für andere Arten von Verbindungen mit schnellem Schwund.

Q65 verwendet eine 65-Ton-Frequenzumtastung und baut auf den nachgewiesenen Stärken von QRA64 auf, einem Modus, das 2016 in WSJT-X eingeführt wurde. Q65 unterscheidet sich von QRA64 in folgenden wichtigen Punkten:

- Ein neuer Q-ary Repeat Accumulate-Code mit niedriger Rate zur Vorwärtsfehlerkorrektur
- Benutzernachrichten und Sequenzierung identisch mit denen in FST4, FT4, FT8 und MSK144
- Ein Einzelton für die Zeit- und Frequenzsynchronisation. Wie bei JT65 ist dieser „Synchronisationston“ auf der Spektralanzeige des Wasserfalls gut sichtbar. Darüber hinaus bietet Q65 eine empfindliche „Synchronisationskurve“ am unteren Rand des Wasserfallfensters. Im Gegensatz zu JT65 sind Synchronisation und Decodierung auch dann noch erfolgreich, wenn Meteor-Pings oder andere kurze Signalverbesserungen vorhanden sind.
- Optionale Submodi mit Sende-/Empfangsdauern von 15, 30, 60, 120 und 300 s und unterschiedlichen Tonabständen.
- Eine neue, äußerst zuverlässige Listendecodierungstechnik für Nachrichten, die zuvor empfangene Nachrichtenfragmente enthalten. Eine Rufzeichendatenbank wird nicht verwendet.
- Hochwirksame Nachrichtenakkumulation über mehrere Durchgänge für Situationen, in denen einzelne Übertragungen zu schwach oder Signalverbesserungen zu spärlich sind, um ein Signal zu decodieren.
- Eine "Multi-Decodierungs" -Option, die versucht, alle Q65-Signale im empfangenen Durchlassbereich zu decodieren.

Implementiert wird diese digitale Betriebsart über die Soundkarte eines PC. Zuerst eingeführt wurde Q65 mit Hilfe der Implementierung als Open Source Software [WSJT-X Version 2.4.0-rc1](#) durch [Joe Taylor \(K1JT\)](#). Die aktuelle Programmversion ist WSJT-X Version 2.4.0 (Stand: 20. Aug. 2021, siehe [WSJT-X 2.4.0 Benutzerhandbuch](#)).

Q65 hat viele Gemeinsamkeiten mit [JT65](#), [JT9](#) und [JT4](#). Diese digitalen Modi verwenden fast identische Nachrichtenstruktur und Quellencodierung. Details zur Quellencodierung wurden veröffentlicht im Artikel "[The JT65 Communications Protocol](#)", der in der Zeitschrift [QEX](#) während 2005 veröffentlicht wurde.

Die Vorwärtsfehlerkorrektur (FEC) in Q65 verwendet einen speziell entwickelten (65,15) Blockcode mit Sechs-Bit-Symbolen. Zwei Symbole werden aus dem Code "punktiert", was einem effektiven (63,13) Code mit einer Nutzlast von $k = 13$ Informationssymbolen entspricht, die durch $n = 63$ Kanalsymbole übertragen werden. Die punktierten Symbole bestehen aus einem 12-Bit-CRC, der aus den 13 Informationssymbolen berechnet wird. Der CRC wird verwendet, um die Wahrscheinlichkeit für falsche Decodierungen auf einen sehr niedrigen Wert zu reduzieren. Eine Pseudozufallssequenz mit 22 Symbolen, die über einen ganzen Durchgang verteilt ist, wird als "Ton 0" gesendet und zur Synchronisation verwendet. Die Gesamtzahl der Kanalsymbole in einer Q65-Übertragung beträgt somit $63 + 22 = 85$.

Für jeden Sende-/Empfangsdurchgang haben die Submodi A - E Tonabstände und belegte Bandbreiten, die das 1, 2, 4, 8 bzw. 16-fache der Basiswerte betragen. Vollständige Submode-Bezeichnungen enthalten eine Nummer für die Sequenzlänge und einen Buchstaben für den Tonabstand, wie in Q65-15A, Q65-120C usw.

Die folgende Tabelle listet die üblichen Frequenzbereiche für QRA64 (Stand 2017). Die "Dial Frequency" gibt dabei die Frequenz des (unterdrückten) Trägers an. Dies ist also die angezeigte Frequenz am Funkgerät. Das Funkgerät moduliert das obere Seitenband (USB-Modulation).

Dial Frequency

160m	1,83x MHz
80m	3,57x MHz
60m	5,35x MHz
40m	7,07x MHz
30m	10,13x MHz
20m	14,07x MHz
17m	18,10x MHz
15m	21,0xx MHz
12m	24,9xx MHz
10m	28,07x MHz
6m	USA: 50,275 MHz
	IARU R1: 50,305 MHz
2m	144,120 MHz
70cm	432,065 MHz
23cm	1296,065 MHz
13cm	2301,065 MHz
	2304,065 MHz
	2320,065 MHz
9cm	3400,065 MHz
6cm	5760,200 MHz

3cm	10368,200 MHz
-----	---------------

Weitere Infos:

[Q65 Quick Start Guide](#)

JT4

Digitale Betriebsarten im Detail\ JT4

JT4 ist eine digitale Betriebsart, die sehr geeignet ist für für Erde-Mond-Erde Verbindungen auf den Mikrowellenbändern. Implementiert wird diese digitale Betriebsart über die Soundkarte eines PC.

Synchronisierung mit Hilfe von GPS und automatischer Dopplerkorrektur im JT4 Decoder ermöglichen Erde-Mond-Erde Verbindungen im 10 GHz Band zwischen portablen Stationen (40 W Sendeleistung mit einem Parabolspiegel von 80 cm Durchmesser) und einer stärkeren (ortsfesten) Station (3 m Speigeldurchmesser).

Zuerst eingeführt wurde JT4 mit Hilfe der Implementierung als Open Source Software [WSJT](#) von [Joe Taylor \(K1JT\)](#).

Die aktuelle Programmversion ist WSJT-X Version 2.6.1 (Stand: 23.03.2024), siehe [.WSJT-X 2.6.1 Handbuch](#). Ein "candidate release" 2.7.0-rc4 ist ebenfalls verfügbar.

JT4 hat viele Gemeinsamkeiten mit [JT65](#) und [JT9](#). Diese digitalen Modi verwenden fast identische Nachrichtenstruktur und Quellencodierung. Details zur Quellencodierung wurden veröffentlicht im Artikel "[The JT65 Communications Protocol](#)", der in der Zeitschrift [QEX](#) während 2005 veröffentlicht wurde.

Das Signal besteht aus 4 Tönen: [4-FSK](#). Digitale Daten werden strukturiert in Paketen mit 72 Informationsbits, wie bei [JT65](#). Die Informationsbits werden kodiert mit einem [Faltungscodierung](#) der Rate $r=1/2$ und Einflusslänge $K=32$. Dies führt zu codierten Nachrichten der Länge $(72+31) \times 2 = 206$ Bit. Die Datenrate entspricht 4.375 baud. Der wirksame Durchsatz ist etwa 0.25 Buchstaben pro Sekunde (characters per second, cps).

Es gibt mehrere experimentelle Varianten ("submodes") von JT4, die sich unterscheiden im Frequenzabstand der vier Einzeltöne: Submode JT4A, JT4B, ... , JT4G. Der JT4A Submode hat 4,375 Hz Tonabstand und daher 17,5 Hz Gesamtbandbreite. Die gemessene Kurve der Blockfehlerrate ist um etwa 0,5 bis 1 dB verschoben zu schlechteren Signal- zu Störleistungsverhältnissen gegenüber JT65. Am anderen Ende der Bandbreitenskala findet man JT4G mit 315 Hz Tonabstand und 1260 Hz Gesamtbandbreite. Die breiteren JT4 Submodes wurden entworfen für EME-Verbindungen in den höheren Mikrowellenbändern, und für Streuverbindungen an Regentropfen bei 10 GHz. Die folgende Tabelle dokumentiert die wichtigsten Parameter:

Mode	Tonabstand (Hz)	Bandbreite (Hz)
JT4A	4,375	17,500
JT4B	8,750	35,00
JT4C	17,500	70,000
JT4D	39,375	158,000
JT4E	78,750	315,000
JT4F	157,500	630,000
JT4G	315,000	1260,000

Die PC-Uhr muss auf 2 Sekunden genau sein In einer Aussendung werden maximal 13 ASCII Zeichen übertragen. Es werden nur folgende Informationen übertragen: Rufzeichen, Rapport in dB und LOC (4 Stellen).

Die Decodierung von JT4 Nachrichten verhält sich in etwa so, wie die von JT65: Entweder der Decoder dekodiert erfolgreich oder der Decoder erkennt, dass eine erfolgreiche Dekodierung nicht möglich ist.

Weitere Informationen: [WSJT \(Wikipedia\)](#), [WSJT](#), [AC4M Digital Radio Site](#) und [WSJT-X](#).

Siehe auch: [Grundlagen Digitale Betriebsarten](#), [FT8](#), [FT4](#), [JT65](#), [JT9](#), [QRA64](#), [MSK144](#), [WSPR](#), [JT6M](#) und [FSK441](#).

JT65

Digitale Betriebsarten im Detail: JT65

JT65 ist eine digitale Betriebsart, die sehr geeignet ist für niedrige Sendeleistung ("QRP-Betrieb") und für Stationen mit Antennendefiziten. Diese Betriebsart wurde ursprünglich entwickelt für Erde-Mond-Erde (EME) Verbindungen und für Verbindungen mit sehr geringer Sendeleistung auf den VHF und UHF Bändern. Diese Betriebsart wird inzwischen aber zunehmend populär auf den Lang-, Mittel- und Kurzwellenbändern.

Die aktuelle Programmversion ist WSJT-X Version 2.6.1 (Stand: 23.03.2024), siehe [.WSJT-X 2.6.1 Handbuch](#). Ein "candidate release" 2.7.0-rc4 ist ebenfalls verfügbar.

Implementiert wird diese digitale Betriebsart über die Soundkarte eines PC. Zuerst eingeführt wurde JT65 mit Hilfe der Implementierung als Open Source Software [WSJT](#) durch [Joe Taylor \(K1JT\)](#).

JT65 hat viele Gemeinsamkeiten mit [JT9](#) und [JT4](#). Diese digitalen Modi verwenden fast identische Nachrichtenstruktur und Quellencodierung. Details zur Quellencodierung wurden veröffentlicht im Artikel "[The JT65 Communications Protocol](#)", der in der Zeitschrift [QEX](#) während 2005 veröffentlicht wurde.

Das Signal besteht aus 65 Tönen: Ein Synchronisationston und 64 weitere Töne, die die Information transportieren: [65-FSK](#). Digitale Daten werden strukturiert in Paketen mit 72 Informationsbits, wie bei [JT9](#). (Eine typische Nachricht besteht aus zwei Rufzeichen, die jeweils mit 28 bit dargestellt werden, einem Grid-Locator, dargestellt durch 15 bit, und einem Signalisierungsbit, das den Nachrichtentyp festlegt) Die Informationsbits werden kodiert mit einem [Reed-Solomon \(63,12\) Code](#). Diese Kodierung fügt zu den 72 Informationsbits noch 306 redundante Bits hinzu. Dies ergibt einen Kodeblock bestehend aus 378 bit und eine Code Rate $r = 72/378 = 1/5,25 = 0,19$. Diese 378 bit werden gruppiert zu 63 Kanalsymbolen zu je 6 bit (also: $6 \times 63 = 378$).

Jede Aussendung dauert exakt 46,8 Sekunden, die in 126 Symbole zu je etwa 0,372 Sekunden Symboldauer aufgeteilt werden. Ein Symbol wird abgetastet mit etwa 11025 Abtastwerten pro Sekunde, was 4096 digitalen Abtastwerten pro Symbol entspricht. Die Datenrate entspricht 2.69 baud. Wirksamer Durchsatz ist etwa 0.25 Buchstaben pro Sekunde (characters per second, cps). Die Varianten JT65A, JT65B und JT65C unterscheiden sich in den Frequenzabständen zwischen den 65 Tönen: 5,4 Hz, 10,8 Hz und 21,6 Hz. JT65A belegt 177,6 Hz Bandbreite, daher passen rund zehn JT65 Signale nebeneinander in ein Spektrum mit 2kHz Bandbreite. Entsprechend belegt JT65B die doppelte Bandbreite (= 355,2 Hz) und JT65C die vierfache (= 710,4 Hz).

Die folgende Tabelle listet die üblichen Frequenzbereiche für JT65 (Stand 2018). Die "Dial Frequency" gibt dabei die Frequenz des (unterdrückten) Trägers an. Dies ist also die angezeigte Frequenz am Funkgerät. Das Funkgerät moduliert das obere Seitenband (USB-Modulation).

Dial Frequency

2190m	136,130 kHz
630m	474,200 kHz
160m	1,838 MHz
80m	3,570 MHz
60m	5,357 MHz
40m	7,076 MHz
30m	10,138 MHz
20m	14,076 MHz
17m	18,102 MHz
15m	21,076 MHz
12m	24,917 MHz
10m	28,076 MHz
6m	50,310 MHz
2m	144,489 MHz
70cm	432,000 MHz
23cm	1296,000 MHz
13cm	2301,000 MHz
6cm	5760,000 MHz
3cm	10368,000 MHz
1,25 cm	24048,000 MHz

Die PC-Uhr muss auf 2 Sekunden genau sein In einer Aussendung werden maximal 13 ASCII Zeichen übertragen. Es werden nur folgende Informationen übertragen: Rufzeichen, Rapport in dB und LOC (4 Stellen).

Der JT65 Signalrapport für das S/N ist beschränkt auf den Bereich zwischen -30 und -1 dB. In aktuellen JT65 Dekodern (Stand: WSJT-X 1.6.0) ist die S/N Skala nichtlinear verzerrt oberhalb von -10 dB.

Bis WSJT-X Version 1.6.0 wird mit dem *Algebraic Soft-Decision* Algorithmus von [Ralf Koetter](#) und [Alexander Vardy \(2003\)](#) dekodiert. Dieser Dekoder ist patentiert und nicht im Public Domain. Beginnend mit WSJT-X Version 1.7.0 wird mit dem neuen soft-output *Franke-Taylor* Algorithmus dekodiert, der von [Steven J. Franke, K9AN](#), und [Joseph H. Taylor, K1JT](#) in [QEX-2016](#) veröffentlicht wurde. Dieser Dekoder ist besser als der bisherige und wurde nicht patentiert. Die aktuelle Programmversion ist 2.0.1 (Stand 23.04.2019).

JT65 wurde entwickelt und vorgestellt während 2003 für sehr schwache und langsam veränderliche Funkverbindungen, wie sie beispielsweise vorkommen im Zusammenhang mit Troposcatter und Erde-Mond-Erde Verbindungen. Die Empfangssignale sind erfolgreich dekodierbar bei Signal- zu Rauschverhältnissen bis ca. -25 dB. Dies erlaubt das Arbeiten von Stationen, deren Signale mit dem menschlichen Ohr nicht mehr wahrgenommen werden können.

Weitere Informationen: [WSJT \(Wikipedia\)](#), [WSJT](#), [AC4M Digital Radio Site](#), [WSJT-X](#) und [Signal Identification Wiki](#).

Siehe auch: [Grundlagen Digitale Betriebsarten](#), [JT4](#), [JT9](#), [JT6M](#), [QRA64](#), [FT8](#), [FT4](#), [MSK144](#), [FSK441](#), [FST4](#) und [WSPR](#).

JT9

Digitale Betriebsarten im Detail\ JT9

JT9 ist eine digitale Betriebsart, die sehr geeignet ist für niedrige Sendeleistung ("QRP-Betrieb") und für Stationen mit Antennendefiziten. Diese Betriebsart wurde speziell entwickelt für die Lang- und Mittelwellenbänder. Implementiert wird diese digitale Betriebsart über die Soundkarte eines PC. Zuerst eingeführt wurde JT9 mit Hilfe der Implementierung als Open Source Software [WSJT-X](#). Dies ist eine experimentelle Version der Software [WSJT](#), die auf [Joe Taylor \(K1JT\)](#) zurückgeht.

Die aktuelle Programmversion ist WSJT-X Version 2.6.1 (Stand: 23.03.2024), siehe [.WSJT-X 2.6.1 Handbuch](#). Ein "candidate release" 2.7.0-rc4 ist ebenfalls verfügbar.

JT9 hat viele Gemeinsamkeiten mit [JT65](#) und [JT4](#). Diese digitalen Modi verwenden fast identische Nachrichtenstruktur und Quellencodierung. Details zur Quellencodierung wurden veröffentlicht im Artikel "[The JT65 Communications Protocol](#)", der in der Zeitschrift [QEX](#) während 2005 veröffentlicht wurde.

Das Signal besteht aus 9 Tönen: Ein Synchronisationston und 8 weitere Töne, die die Information transportieren: [8-FSK](#). Diese Betriebsart ist speziell entworfen für den Betrieb auf Mittel- und Kurzwelle. Digitale Daten werden strukturiert in Paketen mit 72 Informationsbits, wie bei [JT65](#). (Eine typische Nachricht besteht aus zwei Rufzeichen, die jeweils mit 28 bit dargestellt werden, einem Grid-Locator, dargestellt durch 15 bit, und einem Signalisierungsbit, dass den Nachrichtentyp festlegt) Die Informationsbits werden kodiert mit einem [Faltungscodierung](#) der Rate $r=1/2$ und Einflusslänge $K=32$. Dies führt zu codierten Nachrichten der Länge $(72+31) \times 2 = 206$ Bit. JT9 belegt 15,6 Hz Bandbreite, daher passen leicht hundert JT9 Signale nebeneinander in ein Spektrum mit 2kHz Bandbreite.

Die folgende Tabelle listet die üblichen Frequenzbereiche für JT9 (Stand 2018). Die "Dial Frequency" gibt dabei die Frequenz des (unterdrückten) Trägers an. Dies ist also die angezeigte Frequenz am Funkgerät. Das Funkgerät moduliert das obere Seitenband (USB-Modulation).

Dial Frequency

160m	1,839 MHz
80m	3,572 MHz
60m	5,357 MHz
40m	7,078 MHz
30m	10,140 MHz
20m	14,078 MHz
17m	18,104 MHz
15m	21,078 MHz
12m	24,919 MHz
10m	28,078 MHz
6m	50,312 MHz

2m	144,xxx MHz
----	----------------

Die PC-Uhr muss auf 2 Sekunden genau sein In einer Aussendung werden maximal 13 ASCII Zeichen übertragen. Es werden nur folgende Informationen übertragen: Rufzeichen, Rapport in dB und LOC (4 Stellen).

Der JT9 Signalrapport für das S/N ist beschränkt auf den Bereich zwischen -50 und +49 dB. In aktuellen JT9 Dekodern (Stand: WSJT-X 1.6.0) ist die S/N Skala in guter Näherung linear, stellt aber keineswegs eine Präzisionsmessung dar.

JT9 ist etwa 2 dB empfindlicher als JT65.

Weitere Informationen: [WSJT \(Wikipedia\)](#), [WSJT](#), [AC4M Digital Radio Site](#), [WSJT-X](#) und [Signal Identification Wiki](#)..

Siehe auch: [Grundlagen Digitale Betriebsarten](#), [JT65](#), [JT4](#), [WSPR](#), [QRA64](#), [FT8](#), [FT4](#), [MSK144](#), [FSK441](#), [FST4](#) und [JT6M](#).