

# A Comment on Joe's Paper „How Many Bits Are Copied in a JT65 Transmission?“

by Klaus von der Heide, DJ5HG

In an earlier paper [1] the author tried to outline a problem concerning the interpretation of rules for the validity of QSOs. In the last issue of DUBUS Joe Taylor, K1JT, published a paper [2], that partly is an answer to [1]. Joe and me agree in nearly all aspects. Differences especially occur in non-technical aspects. Since these are of concern to the ham radio community the problem again is discussed here.

## 1. The Problem

There are many factors in a communication system that influence the information throughput. The most important stage in a coded digital system is that where the decision has to be made which codeword is taken as „received“. The base-2-logarithm of the number of possible choices is an upper limit of the information content that on average can be transferred by one code word. Applying this to JT65 we get the following result:

Both, the hard-decision Reed-Solomon decoder and the Kötter-Vardy decoder really transfer 72 bit (minus a very small portion due to a remaining uncertainty on the correct message). If subsequent receptions are averaged and then decoded by these decoders then also 72 bit are received. Deep Search (DS) only transfers less than the base-2-logarithm of the number of possible messages. With an actual full list we get about 14 bit, and taking EME entries only we get 12 bit (as above minus a portion of uncertainty). Even repeated transmissions of the same message cannot supersede this limit. By repetition only the portion of uncertainty can be reduced. The information content of an amateur radio callsign is given by the base-2-logarithm of the number of existing callsigns. Since this value is greater than 14 bits it is proven that DS cannot communicate callsigns. Although Joe in his last paper [2] verifies that this theoretical view of the transferred information content is correct he argues that in practise there are transferred other and more bits. The aim of this comment is to clear up the contradiction.

## 2. The Meaning of a Bit

Bit in most cases means a *binary digit*. A binary digit is a symbol that only has two possible values, usually written as 0 and 1. These binary digits are used to code everything within our computers. Shannon [3] on the other hand (before binary computers were ubiquitously used) introduced the concept of information content with the unit *bit*. Both units are related by the fact that a message with information content  $c$  measured in *bit* can only be encoded into  $n$  *binary digits* with  $n \geq c$ . A symbol of an alphabet with 43 equally likely symbols for example has an information content of 5.4263 *bit*. A binary code for such a single symbol at least must use 6 *binary digits* or 7 of these symbols would fit into 38 *binary digits* ( $7 \cdot 5.4263 = 37.984$ ).

On the other hand the information content of a message encoded by  $n$  *binary digits* may be a value between 0 and  $n$  in *bit*. If we encode each symbol of the alphabet with 43 different symbols by the ASCII-code then 5.4263 *bit* of information are encoded by 8 *binary digits*. The decoder at the receiving end gets 8 - possibly corrupted - *binary digits* and it must decide between 43

possible symbols. So the received information content (at maximum) is 5.4263 *bit* while the number of received *binary digits* is 8. The *binary digits* define the physical platform the information is represented on. They by themselves do not carry any information. It is the encoding specification that converts an information to a coded pattern of *binary digits* and that inversely enables the reconstruction of the original information from the binary pattern.

Joe Taylor [2] says the same in other words: *However, these measures of the quantity of transferred information should not be confused with the number of probabilistically evaluated information-carrying symbols or bits conveyed over the radiopath from transmitter to receiver. The latter quantities ... are roughly analogous to characters or other fragments copied from a marginal CW signal.*

### 3. How Many Bits Are Copied in a JT65 Transmission?

The most important point of my argumentation is the following: *The only relevant value is the information content that the deciding stage of the implemented decoder actually can extract from the set of information-carrying symbols.*

Joe, K1JT, measures the rate of correctly copied symbols depending on the SNR. He argues that these correctly received symbols carry more information than necessary for two callsigns if the SNR is greater than -28 dB (at a bandwidth of 2500 Hz). This argumentation is highly misleading in two aspects:

(1) In a simulation, we know which symbols are correct. But a real transmission will result in 63 symbols, and we neither know exactly how many of these symbols are correct nor which they are. It is inappropriate, therefore, simply to add the information content of correctly decoded symbols.

Indeed, Joe does not add information content. He simply counts symbols. But in that case it is impossible to compare the reception of symbols to that of callsigns. In CW too, it is not the number of received dots and dashes that counts, but the fact whether a callsign can confidently be retrieved or not.

Instead of summing the information of correctly received symbols we have to apply Shannon's formalism to the JT65 case. The result is shown as a line called „Shannon Limit“ in figure 1. The Shannon limit is computed here based on Joe's measurements concerning correctly copied symbols and applied to a channel with 64 equally likely symbols.

Figure 1 shows that theoretically one callsign could be transferred per minute at -27 dB. But the limit cannot be reached with finite information content as is used in QSOs. So the practical limit is somewhere at -25 dB.

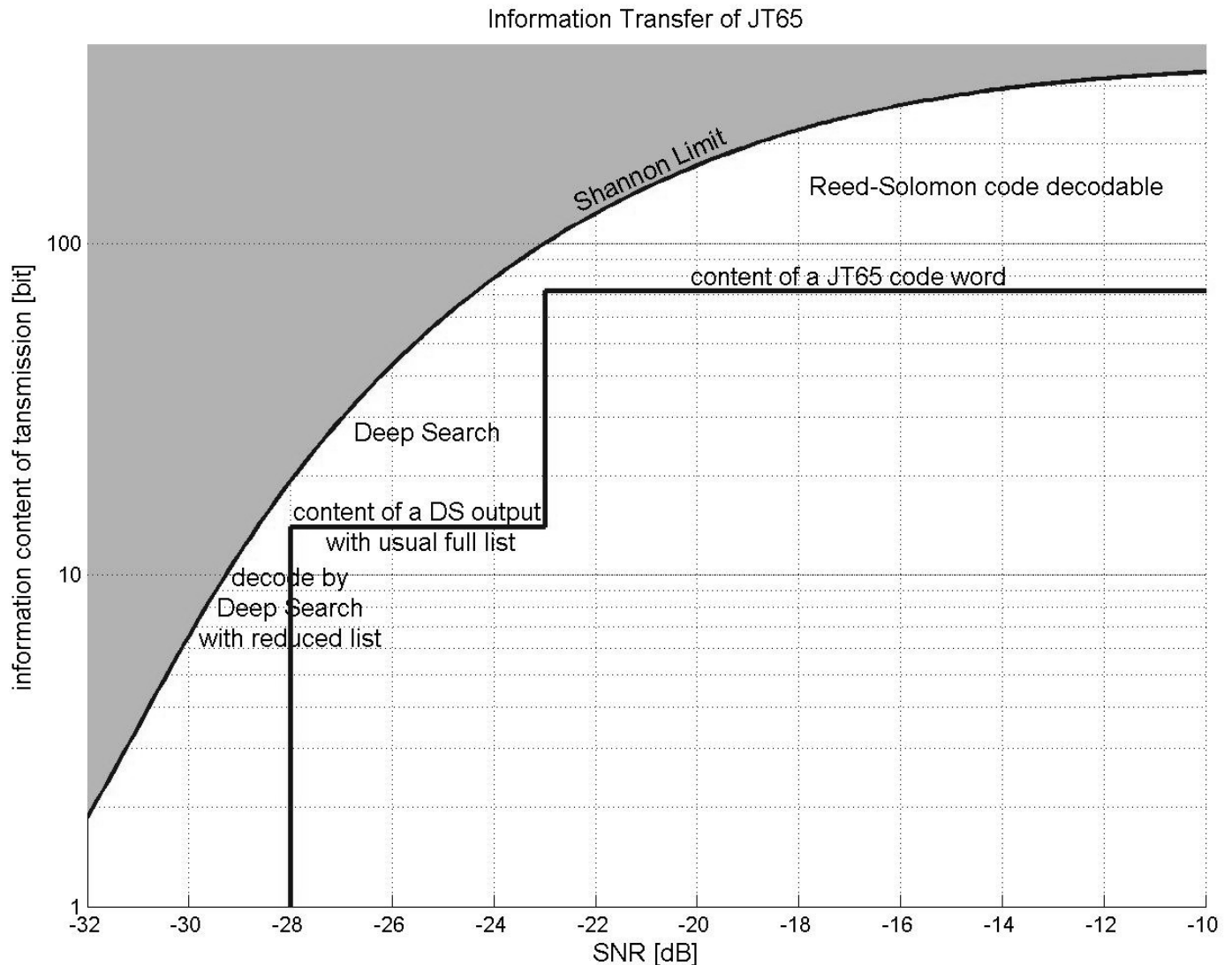
(2) As stated above, the behaviour of the decoder determines the information throughput. As most digital communication systems JT65 degrades in steps, not continuously. The two steps are shown in figure 1. The medium level depends on the number of entries in the list used for DS. The lowest level 0 *bit* is not shown. Although there is some more information in front of the decoder, DS principally cannot make use of it. The argumentation of Joe in [2] indeed is based on the continuous degradation. Yes, there is more than the 14 bits which DS can deliver. But what should we count: information that in principle with other codes and decoders could be extracted or information which an implemented mode actually delivers?

The paper of Joe [2] contains a nice outline of JT65, and (with the exception of the inappropriate comparison with „two callsigns“ in figure 2) all data are a good base for further studies. But the title is misleading because the bits counted there do not measure the information transfer of JT65.

### 4. Conclusion

The question whether the *community* accepts QSO's with less than 16 bits transferred in either direction as valid is still open. It cannot be answered by Joe or by this author. The community must do it. It is just this author's feeling that there should be a lower limit. By editing the list of

callsigns used in the DS-decoder of JT65 every user can freely reduce the transferred information content to very few bits. We should not restrain our freedom by a general proscription of DS-related methods. But, on the other hand, there is the problem of competition in two aspects: (1) There must be clear rules for *First Contacts*, for *contests* etc. and (2) any other future digital mode must do as well if it wants to compete with a mode that uses some sort of DS.



**Fig. 1:** As in most digital modes the information throughput of JT65 does not degrade continuously with decreasing SNR but degrades in steps. The actual information transfer of JT65 is 72 bit or 14 bit or less than 14 bit or 0. The Shannon limit is computed here based on Joe's measurements concerning correctly copied symbols and applied to a channel with 64 equally likely symbols. This limit cannot be reached with finite information content as is used in QSOs.

## Literature

- [1] K. von der Heide, "Minimal QSOs and Their Validity", DUBUS 35, No 1, pp. 38-53, 2006
- [2] J. Taylor, "How Many Bits Are Copied in a JT65 Transmission?", DUBUS 35, No 3, pp.64-68, 2006, also printed in EME 2006 conference - Proceedings, Würzburg, 2006
- [3] C. E. Shannon, A Mathematical Theory of Communication, The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp.397-423,623-656, July, October 1948

# Ein Kommentar zu Joe's Arbeit „How Many Bits Are Copied in a JT65 Transmission?“

von Klaus von der Heide, DJ5HG

In einer früheren Arbeit [1] hat der Autor auf ein Problem der Interpretation von Regeln hingewiesen, die die Gültigkeit von QSOs festlegen. In der letzten Ausgabe von DUBUS publizierte Joe Taylor, K1JT, eine Schrift [2], die zum Teil eine Antwort zu [1] ist. Joe und ich stimmen in fast allen Aspekten überein. Differenzen gibt es speziell in nicht-technischer Hinsicht. Da QSO-Regeln die Gemeinschaft der Funkamateure grundsätzlich betreffen, wird das Problem hier nochmals behandelt.

## 1. Das Problem

Der Informationsfluss in einem Kommunikationssystem wird von mehreren Faktoren bestimmt. Die wichtigste Station in solch einem digitalen System ist die, an der die Entscheidung getroffen wird, welches Kodewort als das empfangene angesehen wird. Der Logarithmus zur Basis 2 für die Anzahl der möglichen Kodewörter ist eine obere Grenze für den Informationsgehalt, der im Mittel per Kodewort übertragen werden kann. Auf JT65 angewandt ergibt sich:

Beide Dekodierer, der Reed-Solomon-Dekodierer mit vorheriger harter Symbolentscheidung sowie der Kötter-Vardy-Dekodierer übertragen 72 bit (abzüglich eines sehr kleinen Anteils, der die verbliebene Unsicherheit über die Korrektheit der Entscheidung misst). Auch wenn aufeinander folgende Empfangsdurchgänge gemittelt werden und erst dann dekodiert (average), ist der Informationsgehalt 72 bit.

Tiefensuche (DS) überträgt weniger als der Logarithmus zur Basis 2 für die Anzahl der möglichen Dekodierungen. Bei einer aktuellen vollen Liste sind das 14 bit bzw. 12 bit, wenn nur EME Einträge benutzt werden (auch hier abzüglich einer Größe, die die Unsicherheit der Entscheidung misst). Bei der Mittelung aufeinander folgender Durchgänge kann nur die Unsicherheit verkleinert werden, nicht aber der vorgegebene Wert von 12 bzw. 14 bit überschritten werden. Der Informationsgehalt eines Amateurrufzeichens ist im Mittel gleich dem Logarithmus zur Basis 2 für die Anzahl vergebener Rufzeichen. Dieser Wert ist mit ca. 22 bit deutlich größer als der mit DS maximal übertragbare Informationsgehalt. Deshalb ist es nicht möglich, mit DS ein Amateurrufzeichen zu übertragen.

Joe bestätigt in seiner Arbeit [2], dass diese theoretische Behandlung des Informationsflusses korrekt ist. Allerdings wendet er ein, dass in der Praxis mehr bit übertragen werden. Ziel dieses Kommentars ist, deutlich zu machen, an welcher Stelle der Widerspruch besteht.

## 2. Zwei Bedeutungen für „Bit“

Meistens ist mit Bit *binary digit* gemeint, also Binärzeichen. Ein *Bit* ist ein Symbol, das zwei verschiedene Zustände annehmen kann, 0 oder 1. Diese *Bit* werden benutzt um alles innerhalb unserer Rechner zu kodieren. Shannon [3] andererseits führte das Konzept des Informationsgehaltes mit der Einheit *bit* ein (bevor binär arbeitende Rechner allgegenwärtig wurden). Im deutschsprachigen Raum ist es üblich, mit *Bit* Binärstellen zu bezeichnen und *bit* als Einheit der Informationsmenge zu verwenden. Beide Einheiten hängen dadurch zusammen, dass eine Nachricht des Informationsgehaltes  $c$  gemessen in *bit* nur kodiert werden kann in  $n$  *Bit* mit  $n \geq c$ . Ein Symbol eines Alphabetes mit 43 gleichwahrscheinlichen Symbolen hat z.B. den Informationsgehalt 5.4263 *bit*. Der Binärkode für soch ein einzelnes Symbol muss wenigstens 6 Bit enthalten oder 7 dieser Symbole passen in 38 Bit ( $7 \cdot 5.4263 = 37.984$ ). Andersherum kann der Informationsgehalt einer aus  $n$  *Bit* bestehenden Nachricht zwischen 0 und  $n$  *bit* liegen. Wenn man jedes Symbol des Alphabetes mit 43 Symbolen nach ASCII kodiert, dann enthalten 8 *Bit* den Informationsgehalt 5.4263 *bit*. Der Dekodierer auf der Empfängerseite empfängt 8 *Bit* (möglicherweise fehlerhaft) und er muss sich für eines der 43 Symbole entscheiden. Der empfangene Informationsgehalt ist (maximal) 5.4263 *bit*, obwohl die Anzahl der empfangenen *Bit* 8 ist. Die *Bit* definieren die Basis, auf der die Information repräsentiert wird. Sie allein tragen keine Information. Es ist die Kodiervorschrift, die die Information in ein Bitmuster wandelt und mit der invers die Information rekonstruiert werden kann.

Joe Taylor [2] sagt dasselbe mit anderen Worten: *However, these measures of the quantity of transferred information should not be confused with the number of probabistically evaluated, information-carrying symbols or bits conveyed over the radiopath from transmitter to receiver. The latter quantities ... are roughly analogous to characters or other fragments copied from a marginal CW signal.*

### 3. Wie viele Bit / bit werden empfangen bei einer JT65 Übertragung?

Der Kernpunkt meiner Argumentation ist der folgende: *Der einzig maßgebliche Wert ist der Informationsgehalt, den die entscheidende Station des implementierten Dekodierers tatsächlich extrahieren kann aus dem angebotenen Signal.* Auch bei CW zählt man nicht empfangene Punkte und Striche oder dekodierte Zeichen. Einzig ob alles zusammen ein Rufzeichen ergibt ist wichtig. Joe, K1JT, [2] misst die Rate korrekt empfangener Symbole abhängig vom SNR. Er argumentiert, dass diese korrekt empfangenen Symbole zusammen mehr Information übertragen als zwei Rufzeichen enthalten, solange das SNR besser als -28 dB ist (bei einer Bandbreite von 2500 Hz). Diese Betrachtungsweise ist sehr irreführend in zweierlei Hinsicht:

(1) In einer Simulation weiß man, welche Symbole korrekt sind. Eine reale Übertragung mit JT65 liefert 63 Symbole, doch ist unbekannt, wieviele davon richtig sind und schon gar nicht welche das sind. Den Informationsgehalt aus einer Simulation stammender korrekter Symbole einfach zusammenzuzählen, ist deshalb falsch. Tatsächlich meint Joe auch nur die Anzahl korrekter Symbole und nicht den Informationsgehalt. Dann aber ist der Vergleich mit ganzen Rufzeichen nicht möglich. Auch bei CW zählt man nicht empfangene Punkte und Striche oder dekodierte Zeichen. Einzig ob alles zusammen ein Rufzeichen ergibt ist wichtig. Statt dessen muss man den Formalismus von Shannon [3] systematisch anwenden. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis in Form der mit „Shannon Limit“ bezeichneten Grenzlinie. Die Shannon-Grenze wurde hier direkt berechnet durch Anwendung von Joe's Messergebnissen über die Rate korrekter Symbole auf einen Kanal mit 64 gleichwahrscheinlichen Symbolen. Abbildung 1 zeigt, dass bei -27 dB theoretisch ein Rufzeichen pro Empfangsdurchgang übertragen werden könnte. Allerdings kann die Shannon-Grenze mit so kleinen Informationsgehalten wie sie in QSOs üblich sind, bei weitem nicht erreicht werden. Realistisch wäre die Übertragung eines Rufzeichens bei etwa -25 dB.

(2) Wie oben angemerkt bestimmt das Verhalten des Dekodierers maßgeblich den Informationsfluss. Bei schlechter werdendem SNR degradieren die meisten digitalen Übertragungsverfahren in Sprüngen und nicht kontinuierlich. JT65 degradiert in zwei Schritten. Sie sind in Abbildung 1 gezeigt. Die mittlere Ebene hängt von der Anzahl der für die Tiefensuche benutzten Listeneinträge ab. Die unterste Ebene mit 0 *bit* ist nicht eingezeichnet. Die Argumentation von Joe basiert auf der Annahme einer kontinuierlichen Degradierung. Vor dem Dekodierer kann tatsächlich etwas mehr an Information sein als dieser prinzipiell nutzen kann. Was aber soll für die Beurteilung eines Kommunikationssystems zählen: Information, die mit anderer Kodierung und mit anderem Dekodierer im Prinzip übertragen werden könnte oder Information, die bei einer vorliegenden Implementierung real gewonnen werden kann? Die oben erwähnte Möglichkeit, ein einzelnes Rufzeichen bei -25 dB zu übertragen, ist bei JT65 nicht implementiert.

Joe's Schrift [2] gibt einen sehr guten Einblick in JT65. Auch die dort veröffentlichten Messungen sind eine gute Grundlage für weitere Studien. Allerdings ist die dort gebrachte Interpretation fragwürdig, und der Titel der Arbeit ist irreführend, weil die *Bit*, die dort gezählt werden, nicht die von JT65 übertragene Information messen

### 4. Folgerung

Die Frage, ob die Amateurgemeinde QSOs akzeptiert, bei denen insgesamt in jede Richtung weniger als 16 *bit* übertragen wird, ist nach wie vor offen. Sie kann weder von Joe noch vom Autor beantwortet werden. Das muss die Gemeinschaft machen. Der Autor hat das Empfinden, dass es eine untere Grenze für ein QSO als solches geben sollte. Immerhin kann man bei JT65 durch Editieren der Liste den Informationsgehalt frei wählen bis herunter zu wenigen *bit*. Die Freiheit sollte man aber nicht grundsätzlich einschränken sondern nur die Regeln für die Gültigkeit von QSOs in digitalen Verfahren präziser formulieren. Solche Regeln sind dort nötig, wo ein fairer Vergleich versucht wird: (1) Bei *Erstverbindungen*, *Contesten* etc. und (2) bei zukünftigen digitalen Betriebsarten, die ebenfalls dopen müssen, wenn sie mit einem Verfahren mithalten wollen, das Tiefensuche (DS) benutzt.

**Abb. 1:** Wie die meisten digitalen Übertragungsverfahren degradiert JT65 mit abnehmendem SNR nicht kontinuierlich sondern in Sprüngen. Die tatsächlich übertragene Informationsmenge ist 72 *bit* oder 14 *bit* oder 0 *bit*. Die Shannon-Grenze wurde durch Anwendung von Joe's Messwerten aus [2] auf einen Kanal mit 64 gleichwahrscheinlichen Symbolen ermittelt. Diese Grenze kann mit den geringen Informationsgehalten in QSOs nicht annähernd erreicht werden.