

Datenübertragung im Amateurfunk

aus dem Betrachtungswinkel der Übertragungssicherheit
für die Anwendung im Notfunk

Was bedeutet eigentlich Datenübertragung im Amateurfunk? Sind nicht alle Aussendungen eine Form von Daten, die wir als Funkamateure in den Äther schicken? Natürlich sind das alles Daten nur in den verschiedensten Formen.

Die verschiedenen Formen können die Daten selbst sein, wie z. B. Sprache, Bilder, Text, etc. Auch die Übertragungsart und natürlich die Modulationsart sind von Grund auf verschieden.

Dabei gibt es verschiedene Methoden die Sicherheit der übertragenen Daten zu gewährleisten.

Als Beispiel ein Phonie-QSO: Wenn der Empfänger der Nachricht, aus verschiedenen Gründen, etwas nicht verstanden hat kann er bei dem Sender nachfragen und ihn bitten die Aussendung zu wiederholen. Das kann solange erfolgen, bis die Nachricht vom Empfänger als fehlerfrei bestätigt wird. Bei einigen digitalen Übertragungsarten wird im Prinzip genauso verfahren, aber eben nicht bei allen. Deswegen eignen sich nicht alle „Digi-Modes“ zur sicheren fehlerfreien Übertragung von wichtigen Daten z. B. in einer Notsituation. Dabei muß zwischen Übertragungsarten mit und ohne Fehlerkorrektur unterschieden werden. Die üblichen „Digi-Modes“ wie z. B. RTTY, PSK und auch CW haben eben diese Fehlerkorrektur nicht.

In Notsituationen kommen somit nur Übertragungsarten in Frage, die eine Fehlerkorrektur aufweisen, um in jedem Fall zu gewährleisten, daß die zu übertragende Information fehlerfrei beim Empfänger ankommt. Dazu später mehr.

Zusätzlich sollte in diese Betrachtung noch die Stabilität der verwendeten Übertragungsart gegenüber Störeinflüssen wie z. B. Gewitter, Fading, Nachbarkanalstörung, etc. einfließen.

Da es in Notsituationen oftmals auch um die zeitnahe Übermittlung von Informationen geht, sollte ein Übertragungsverfahren gewählt werden, das sich möglichst unempfindlich gegenüber oben genannten Einflüssen verhält.

Um verschiedene Arten von Daten mit nur einem Übertragungsstandard über weite Distanzen übermitteln zu können wurde letztendlich Packet Radio so weiterentwickelt, daß es auf den Kurzwellenbändern verwendet werden kann. Damit können Nachrichten mit reinem Text aber auch mit Dateianhängen verschickt werden, wie es vom E-Mail-System im Internet bekannt ist, aber eben über Kurzwellenfunk im Amateurfunk.

Die Anfänge des Systems gehen auf ein Treffen von vier Funkamateuren in Cleveland 1998 zurück. Damals wurde der Grundstein für das WinLink2000 System, kurz WL2K, gelegt, das sich bis heute weltweit zur Übermittlung von E-Mails über Funk etabliert hat.

Innerhalb von WL2K gibt es im Wesentlichen zwei verschiedene Übertragungsarten, nämlich WINMOR und PACTOR.

Beide Übertragungsarten verwenden die Vorwärtsfehlerkorrektur um bereits während der Übermittlung durch den Sender, unter Verwendung redundanter Datensätze, eine möglichst geringe Fehlerrate beim Empfänger zu erzielen. Um letztendlich eine fehlerfreie Übertragung gewährleisten zu können gibt es das „ARQ-Protokoll“. Dabei muß ein Datenpaket vom Empfänger als fehlerfrei empfangen quittiert werden, bevor vom Sender das nächste Paket verschickt wird. Die Überprüfung auf der Seite des Empfängers geschieht mit einem Prüfbit das mit jedem Packet ausgesendet wird. Das aktuelle Datenpaket wird solange erneut ausgesendet, bis der Sender die Quittung vom Empfänger erhalten hat.

Bei näherer Betrachtung der beiden Modi WINMOR und PACTOR fallen bei beiden Vor- und Nachteile auf.

Das Wort „WINMOR“ ist ein Kunstwort aus dem Englischen das sich aus „**Win**Link **mail over radio**“ zusammensetzt, was übersetzt „WinLink-Mail über Funk“ bedeutet.

WINMOR ist eine kostengünstige Möglichkeit E-Mails über WL2K zu verschicken und zu empfangen. Dabei wird einfach die Soundkarte des Rechners benutzt, um die verschiedenen Modulationsarten zu

erzeugen. Die dafür benötigte Software ist kostenlos erhältlich. Das Verfahren und die benötigte Hardware ist mit anderen „Digi-Modes“ wie z. B. PSK31 vergleichbar. Dabei handelt es sich immer um eine sogenannte „Audio-Modulationsart“, bei der die Modulation als Audiosignal in den Transceiver eingespeist wird und zur Demodulation eben dann in umgekehrter Weise vom TRX zur Soundkarte. Die Modulation und Demodulation erfolgt im Rechner der die Soundkarte beinhaltet.

Dabei finden die folgenden Modulationsarten Verwendung:

- 4FSK (vierfache Frequenzumtastung)
- QPSK (Quadraturphasenumtastung)
- 16QAM (sechzehnfache Quadraturamplitudenmodulation)

Je nach verwendeter Modulationsart, Bandbreite und Anzahl von Trägertönen können verschieden hohe Übertragungsraten erreicht werden. Je höher die Bandbreite umso störanfälliger ist die Übertragung, vergleichbar einer Phonie-Verbindung mit 2700 Hz Bandbreite und einem schmalen CW-Signal. Im WL2K haben sich zwei verschiedene Bandbreiten von 500 Hz und 1600 Hz etabliert. Darum sind die Angaben in Tabelle 1 auch nur theoretische Werte. Vom Brutto-Datendurchsatz muß die Datenrate, die zur Fehlerkorrektur benötigt wird noch abgezogen werden, was bei einer Bandbreite von 1600 Hz eine reine Nutzdatenrate von maximal 1300 Bits/s ergibt.

Modulations- verfahren	Bandbreite (Hz)	Träger- töne	max. Brutto-Datendurchsatz (B/min)
4FSK	200 Hz	1	250
QPSK	200 Hz	1	480
16QAM	200 Hz	1	680
4FSK	500 Hz	3	700
QPSK	500 Hz	3	1300
16QAM	500 Hz	3	2300
4FSK	2000 Hz	15	2500
QPSK	2000 Hz	15	5500
16QAM	2000 Hz	15	10000

Tabelle 1

Quelle: Wikipedia

Der Vorteil von WINMOR ist ein komplett offengelegter Standard, der ohne Lizenzgebühren verwendet werden kann.

Der Nachteil ist die, im Vergleich zu PACTOR, geringe Übertragungsrate, da bei dem Verfahren keine Komprimierung vorgesehen ist. Auch ist die Störuneempfindlichkeit im Vergleich zu PACTOR niedriger. Das bedeutet in der Praxis, daß vom Empfänger oft ein Datenpaket mehrmals vom Sender angefordert werden muß, bis es fehlerfrei übertragen wurde. Eben wie bei einer schlechten Phonieverbindung, wo oft nachgefragt werden muß, bis z. B. das Rufzeichen oder der Name der Gegenstation klar ist. Das führt dann natürlich unweigerlich zu einer niedrigen Nutzdatenrate, da diese in der Praxis als Verhältnis zwischen Datenmenge und Zeiteinheit definiert ist. Hierbei wird üblicherweise die Einheit Bits / Sekunde verwendet.

Im Vergleich dazu steht im WL2K-System auch PACTOR zur Verfügung.

Auch PACTOR ist ein Kunstwort aus dem Englischen, das sich aus „**P**acket **t**eleprinting **o**ver **r**adio“ zusammensetzt. Es wird sozusagen aus den beiden Begriffen „Packet Radio“ und „AMTOR“ gebildet. AMTOR wiederum ist der Vorgänger von PACTOR und setzt sich aus „**A**mateur **t**eleprinting **o**ver **r**adio“ zusammen. Wie aus dem Wort zu erkennen ist, ist AMTOR eine Weiterentwicklung von RTTY. Im Vergleich zu AMTOR und PACTOR hat RTTY eben keine Fehlerkorrektur.

Wie auch RTTY verwendet AMTOR zwei Töne mit einer Shift von 170 Hz auf Kurzwelle und 850 Hz auf UKW, sprich eine AFSK-Modulation mit 7 Bit / Zeichen.

PACTOR ist die konsequente Weiterentwicklung, die bereits in den 1980er Jahren von zwei deutschen Funkamateuren, die heutige Firma SCS, begonnen hat.

Das ursprüngliche PACTOR oder auch PACTOR-1-Verfahren arbeitet genau wie AMTOR mit zwei Tönen als AFSK-Modulation, jedoch mit 8 Bit / Zeichen, längeren Paketen und einem zyklischen Redundanz-Check als Fehlererkennung. Mittlerweile (Stand 2013) gibt es schon die vierte Generation von PACTOR. Um die aufwändige Fehlerkorrektur anwenden zu können wird ein Controller benötigt, der PACTOR-Terminal-Controller, kurz PTC.

PACTOR-1 (Einführung 1989)

Wie bereits erwähnt arbeitet PACTOR-1 mit AFSK mit zwei Tönen wie AMTOR. Daraus ergibt sich eine Übertragungsrate von 100 – 200 Bit / Sekunde.

PACTOR-2 (Einführung 1994/95)

PACTOR-2 arbeitet mit verschiedenen Modi von DPSK (Phasenmodulation) als Modulationsart. Damit können schon höhere Datenraten erreicht werden, wie in Tabelle 2 beschrieben. Dafür wurde ein neuer Controller benötigt, der PTC-2 und seine Verwandten.

Modulations- verfahren	Symbol- rate	Brutto-Bitrate (Bit/s)	Netto-Bitrate (Bit/s)
DBPSK	1/2	200	100
DQPSK	1/2	400	200
8-DPSK	2/3	600	400
16-DPSK	7/8	800	700

Tabelle 2

Quelle: Wikipedia

Mit aktivierter Kompression können Datenraten von etwa 1.200 Bit / Sekunde erreicht werden. Dabei kommt für Texte die Huffman-Kompression zur Anwendung. Alternativ dazu entwickelte SCS eine eigene Kompressionsmethode, die „Pseudo-Markov-Kodierung“, die den Datendurchsatz bei Text um etwa den Faktor 1,3 im Vergleich zu Huffman erhöht. Ab dem PTC-2 prüft der PTC welche der drei Übertragungsarten am besten geeignet ist (unkomprimiert, Huffman oder Pseudo-Markov) und verwendet diese für das jeweilige Datenpaket. Außerdem findet bei der Pseudo-Markov-Kodierung eine deutsche und eine englische Codierungstabelle Verwendung. Insgesamt kann der PTC zwischen sechs verschiedenen Komprimierungsmöglichkeiten wählen.

Z. B. wenn in einem Text eine längere Passage unterstrichen ist, oder wenn sich gleiche Zeichen wiederholen, dann wird nicht jedes einzelne Zeichen übertragen, sondern nur ein Zeichen und dessen Anzahl.

Der PTC entscheidet sich sozusagen bei jedem Paket für die optimale Methode, was zu diesem Geschwindigkeitsgewinn führt.

PACTOR-3 (Einführung 01.05.2002)

Bei PACTOR-3 wurde das Modulationsverfahren nochmals erweitert, wodurch wiederum die Datenraten, wie in Tabelle 3 beschrieben, erhöht werden konnten. Dafür finden jetzt bis zu 18 Trägertöne von 400 – 2.400 Hz Verwendung von denen jeder mit PSK moduliert wird. Das ergibt eine Bandbreite eines SSB-Signals für PACTOR-3. Mit einem Firmwareupdate ist der PTC-2 in der Lage auch das PACTOR-3-Verfahren anzuwenden.

Level	Anzahl der Träger	Brutto-Bitrate (Bit/s)	Netto-Bitrate (ohne Komprimierung, Bit/s)
1	2	200	76,8
2	6	600	247,5
3	14	1400	588,8
4	14	2800	1186,1
5	16	3200	2039,5
6	18	3600	2722,1

Tabelle 3

Quelle: Wikipedia

Auch hier kommt die gleiche Kompression wie bei PACTOR- 2 zum Tragen, die eine Brutto-Bitrate von bis zu 5.200 Bit / Sekunde erlaubt.

PACTOR-4 (Einführung 2011)

Mit der Einführung von PACTOR-4 wurde auch ein neuer Controller notwendig, der P4dragon. Der P4dragon kommt mit schlechteren Signal / Rauschverhältnissen zurecht, da hier die neueste Generation von digitalen Signal Prozessoren, DSP's, zum Einsatz kommt.

PACTOR-4 verwendet im Gegensatz zu PACTOR-2 und PACTOR-3 nur einen Trägerton (mit Ausnahme von Level 1), der mit in Tabelle 4 beschriebenen Modulationsverfahren moduliert wird. Dadurch ergeben sich wiederum höhere Datenraten.

Level	Modulations-verfahren	Brutto-Bitrate (Bit/s)	Netto-Bitrate (Bit/s)
1	2-Ton DBPSK-Chirp	113	46,9
2	DQPSK, Spread-16	225	85,32
3	DQPSK, Spread-16	225	147,2
4	DQPSK, Spread-8	450	300,8
5	BPSK	1800	433,1
6	BPSK	1800	1069,5
7	QPSK	3600	2199,5
8	PSK8	5400	3304,5
9	QAM16	7200	4407,5
10	QAM32	9000	5512,5

Tabelle 4

Quelle: Wikipedia

Auch hier kommt die gleiche Kompression wie bei PACTOR- 2 und PACTOR-3 zum Tragen, die eine Brutto-Bitrate von bis zu 13.000 Bit / Sekunde bei reinem Text erlaubt.

Die Vorteile von PACTOR liegen auf der Hand. Die wesentlich höhere Übertragungsgeschwindigkeit und die höhere Störunempfindlichkeit gegenüber WINMOR bringen enorme Vorteile in Notsituationen. Jedoch hat PACTOR den Nachteil, daß dafür ein teurer Controller notwendig ist.

Resümee:

Für Übertragungen die ab und zu getätigt werden, z. B. um aus dem Urlaubsland in Kontakt mit der Heimat zu stehen, langt WINMOR vollkommend aus. Jedoch wenn es wirklich auf diese Übertragung der Daten ankommt würde ich auf jeden Fall PACTOR empfehlen.