

AMSAT-DL **High Speed Modem**

Das neue „Highspeed Multimedia Modem“ für den QO-100 NB-Transponder

Kurt Moraw, DJ0ABR, Matthias Bopp, DD1US
5. Dezember 2020, Software Ver. 0.42, Dokumentation Ver. 1.1

QO-100 ist nun bald zwei Jahre sehr erfolgreich in Betrieb. Er deckt fast die Hälfte der Erdoberfläche ab und Dank seiner sehr stabilen Ausbreitungsbedingungen bietet er exzellente Funkverbindungen und das rund um die Uhr an 7 Tagen die Woche. Bisher wird er vor allem in CW/SSB und DATV genutzt. Um die Nutzung weiterer digitaler Modi zu stimulieren, wurde für die AMSAT-DL die Software Highspeed Multimedia Modem von DJ0ABR entwickelt.

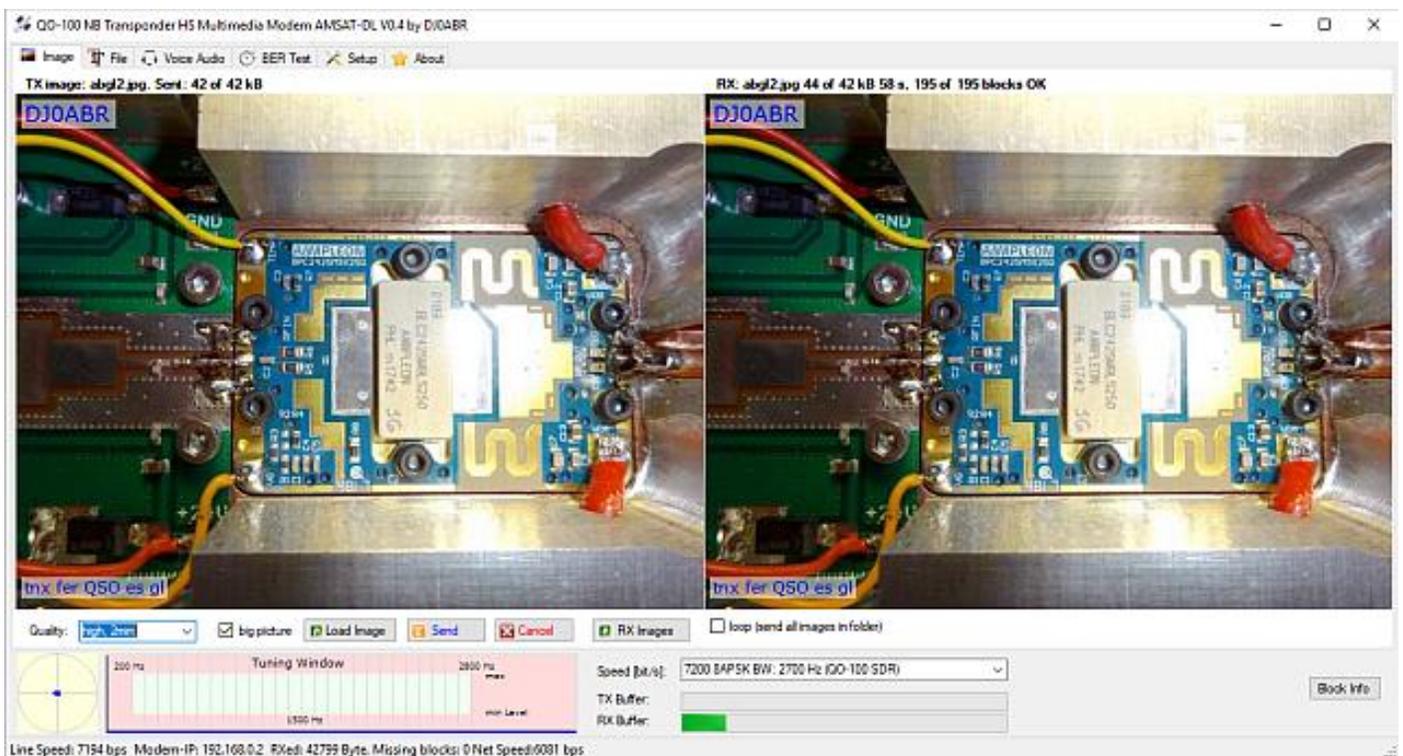


Bild 1: Übertragung eines hochauflösenden Bildes via QO-100

Motivation

Vor knapp einem Jahr, im Spätsommer 2019 fand im Distrikt-U, ausgerichtet von DH5RAE, eine Vorführung des Satellitenbetriebs über QO-100 statt. Dabei waren auch viele Besucher anderer Vereine und nichtlizenzierte Privatpersonen vor Ort, darunter erstaunlich viele junge Technikbegeisterte. Sehr überrascht waren die Besucher von der hervorragenden, störungsfreien Übertragungsqualität. SSB klingt über QO-100 fast so gut wie FM. Highlight war ein QSO zwischen Island, Brasilien und DL, eine Kombination, die auf Kurzwelle praktisch unmöglich ist.

Dann wurden Digimodes vorgeführt, zunächst RTTY, gefolgt von analogem SSTV und schließlich KGSTV zur digitalen Bildübertragung. An dieser Stelle merkte man speziell bei den jüngeren OMs ein deutliches Nachlassen des Interesses. In der späteren Diskussionsrunde wurde kritisch angemerkt, dass wir einen hochmodernen Satelliten haben, darauf aber digitale Betriebsarten nutzen, die vor 30 Jahren schon zu den Oldtimern zählten und nur langsame Textübertragung oder Bilder in Briefmarkengröße zulassen. Dies war ein deutlicher Denkanstoß und schließlich die Motivation, den Stand der Technik zu nutzen, um eine moderne, schnelle Übertragung zu ermöglichen.

Technische Vorgaben und theoretische Grenzen

Es gilt es zwei Grenzwerte einzuhalten, welche beim Betrieb über auf QO-100 vorgeschrieben sind: die maximale Bandbreite ist 2,7kHz und das maximale Signal darf den Bakenpegel nicht übersteigen. Aus diesen zwei Werten ergibt sich ein Fenster für die maximal erreichbare Übertragungsgeschwindigkeit digitaler Daten.

Laut Shannon-Hartley-Gesetz bestimmt die Bandbreite die maximale Zahl an Symbolen pro Zeiteinheit. Shannon definiert zunächst nicht, wie viele Bit in einem Symbol verpackt sind. Da die Symbolrate diese physikalische Grenze hat, muss man, um die Übertragungsgeschwindigkeit zu erhöhen, die Anzahl der Bits/Symbol erhöhen. Dazu gibt es viele Möglichkeiten. Bei einer Phasenmodulation kann man z.B. die Phase mehr oder weniger stark verändern. Jeder Phasenlage entspricht dann ein Bit. An dieser Stelle greift die zweite QO-100-Regel „kein Signal stärker als die Bake“. Diese Regel gibt ein maximales Signal-Rauschverhältnis vor. Rauschen führt dazu, dass die Punkte im Konstellationsdiagramm zu „Wolken“ aufgebläht werden.

Wenn man zu viele Phasenzustände nutzt, wird es dem Empfänger bei zunehmendem Rauschen schließlich unmöglich, einzelne Symbole zuverlässig zu unterscheiden (Bilder 2a–2c).

Da bei der Übertragung über QO-100 praktisch keine Störungen, sondern nur weißes Rauschen (AWGN) das Signal beeinflusst, gilt für die maximal übertragbare Bitrate die folgende Formel:

$$\text{max. Bitrate [bit/s]} = B * \log(1+S/N) / \log(2),$$

mit B=Bandbreite und S/N=Signal-Rausch-Verhältnis.

Wir setzen eine maximal zulässige Bandbreite von 2700 Hz und ein S/N von 10, was einem Signal mit +10 dB über dem Rauschen entspricht, ein. Daraus ergibt sich eine theoretisch maximal erreichbare Bitrate von 9340 Bit/Sekunde. Natürlich könnte man auch mit einem höheren SNR rechnen, aber wir wollen im Satellitenbetrieb mit geringen Leistungen arbeiten und müssen auch Stationen mit kleinen Parabolspiegeln berücksichtigen.

Eine detaillierte Erklärung dieser Zusammenhänge findet man hier [1].

Aktuelle Übertragungsverfahren

Um die Ziele für das neue Modem zu stecken, betrachten wir zunächst die gebräuchlichen Modulationsarten welche im digitalen Bandsegment von QO-100 regelmäßig zu sehen sind:

RTTY:

RTTY ist eine der ältesten und bekanntesten Übertragungsverfahren für Text. Anstelle des üblichen ASCII-Codes wird ein 5 Bit langer Baudot-Code durch Frequenzumtastung übertragen. Eine logische „0“ entspricht der Frequenz 2125 Hz und eine „1“ einer Frequenz von 2295 Hz. Bei der üblichen Bitrate von 45,45 Bit/s dauert ein Bit 22 ms. In dieser Zeit werden knapp 50 Schwingungen des Signals übertragen, die Symbolrate beträgt also ca. 0,02 S/s.

RTTY ist nach heutigen Maßstäben extrem ineffizient, jedoch mit einfachsten Mitteln leicht zu decodieren. Eine deutliche Verbesserung bietet PSK31, allerdings ist diese Kurzwellenbetriebsart auf QO-100 praktisch nie zu hören.

SSTV:

Klassisches SSTV dient zur analogen Bildübertragung. Helligkeits- und Farbwerte werden verschiedenen NF-Frequenzen zugeordnet und zusammen mit einem Synchronsignal gesendet. Dieses Verfahren stammt ursprünglich aus den 1950er Jahren und ist ein richtiger Oldtimer, wird aber immer noch gerne auf QO-100 und sogar der ISS benutzt. Es gibt eine Vielzahl von ähnlichen Codierungsverfahren, auf QO-100 sind meist „Scottie“ oder „Martin“ zu hören. Die Bildauflösung ist unterschiedlich, im Durchschnitt ca. 350×240 Pixel. Die Übertragungszeit beträgt je nach Verfahren z.B. 110 Sekunden.

Eine analoge Übertragung lässt sich nur schlecht in digitale Geschwindigkeiten umrechnen. Eine Abschätzung mit „Martin-1“ würde eine entsprechende Bitrate von ca. 6800 Bit/s ergeben. Leider ist analoges SSTV sehr fehleranfällig, da jede kleinste Schwankung im Empfangssignal sofort Auswirkung auf den Bildinhalt hat.

KGSTV:

Dieses von JJØOBZ entwickelte Programm dient der digitalen Bildübertragung und ist auf QO-100 häufig anzutreffen. Es werden Bilder mit einer Auflösung von 320×240 Pixel in Blöcken zu je 16×16 Pixel übertragen. Es stehen zwei Verfahren zur Auswahl: MSK mit 1200 Bit/s und 4FSK mit 2400 Bit/s.

Falls der Empfänger einzelne Blöcke nicht decodieren konnte, fordert er diese durch Senden einer Fehlerliste nochmal an, solange bis das Bild komplett ist. Aufgrund der geringen Störungen auf QO-100 sind die Bilder aber oft beim ersten Durchgang komplett.

FreeDV:

Motivation zur Entwicklung dieser Betriebsart zur digitalen Sprachübertragung war, dass das digitale D-Star-System (wie auch DMR) einen proprietären Codec (AMBE) benutzt. Diesen muss man als Hardware kaufen, die Softwareversion ist für Funkamateure praktisch unerschwinglich.

Daher wurde der freie und quelloffene Codec-2 entwickelt, auf dem auch FreeDV basiert.

Auf QO-100 wird meist in FreeDV-2020 gearbeitet. Dieses System wurde für QO-100 überarbeitet. Es benutzt ein OFDM-System mit einer Bitrate von max. 2400 Bit/s (2400A Modus) falls alle OFDM-

Träger zur Übertragung genutzt werden können. Hierzu muss natürlich der gute Signal-Rauschabstand von QO-100 ausgenutzt werden, um die Fehlerrate klein zu halten.

Alle diese Systeme wurden primär für die Kommunikation auf Kurzwelle entwickelt, nur FreeDV bekam einige Anpassungen an QO-100. Entsprechend sind sie natürlich auch auf den hohen Störpegel auf Kurzwelle ausgelegt und ein signifikanter Anteil der wertvollen Bandbreite muss für eine Fehlerkorrektur benutzt werden.

Ziel des neuen Highspeed-Modems ist es diese derzeit gebräuchlichen Betriebsarten zu ergänzen.

Technische Daten des neuen Highspeed Modems „HS Multimedia Modem“

Die theoretische Grenze von 9340 Bit/s bei gegebener Bandbreite und S/N muss ggf. korrigiert werden um die begrenzten Möglichkeiten der benutzten Hardware, insbesondere dem Transceiver, zu berücksichtigen. Beispielsweise haben ICOM-Transceiver im DATA-Modus eine fest eingestellte Tx-Bandbreite von 2400 Hz. Damit ergibt sich bei einem S/N = 10dB eine maximale Bitrate von 8300 Bit/s.

Ältere Transceiver haben andere Bandbreiten. Vor allem in der Nähe der Filterflanken beginnen Linearität und Phasengang abzufallen weshalb hier zusätzlicher Reserveabstand erforderlich ist (excess bandwidth). Weitere Anpassungen an die Filterkurve werden mit einem digitalen Equalizer vorgenommen.

Es wurde versucht durch Messungen mit vielen verschiedenen Transceivern die erreichbaren Grenzen für QPSK und 8APSK Modulation zu ermitteln.

Dieses Projekt ist noch sehr jung und liegt derzeit in Version 0.42 vor. Gerade bei den Modulationsverfahren werden sicher noch einige Schritte folgen. Für eine stabile Ausgangsbasis wurden zunächst zwei Modulationsarten implementiert:

- QPSK mit einer Bitrate von 3000 Bit/s bis 4800 Bit/s (nominell 4410 Bit/s)
- 8APSK mit einer Bitrate von 5500 Bit/s bis 7200 Bit/s (nominell 6000 Bit/s bei Verwendung eines ICOM IC-9700 bzw. 7200 Bit/s bei Verwendung eines SDRs wie Pluto oder LimeSDR)
- Fehlerkorrektur: Reed Solomon Code [3]
- Voll-Duplex (Empfang der eigenen Aussendung möglich, wichtig auf QO-100)
- Voll-Duplex-QSOs im Split-Betrieb
- Übertragung beliebiger Daten wie Bilder, Text, HTML-Seiten, ganzen Webpräsenzen, Binärdaten
- Übermittlung von Dateinamen und Dateigröße sowie CRC gesichertes Übertragen von Dateien via QO-100
- Automatische Skalierung von Bildern entsprechend der gewünschten Übertragungszeit
- Automatische ZIP-Komprimierung
- Digitale Sprachübertragung durch Verwendung von CODEC-2 oder OPUS

Erste Tests wurden von DJØABR, DH5RAE, DL1EV und DL3MX unternommen. Alfred, DL3MX, hatte dazu speziell eine besonders kleine Anlage mit einem 40 cm-Parabolspiegel auf einem Stativ aufgebaut. Damit konnten folgende Ergebnisse erreicht werden:

Betriebsart	0-Fehler SNR	0-Fehler Leistung	Mindest-SNR	Mindestleistung
QPSK-4410	+13dB	500mW	+11dB	300mW
8PSK-6000	+19dB	1,25W	+17dB	800mW

Die Leistungsangaben beziehen sich auf einen Sender, der bei 5 W im SSB-Betrieb Bakenpegel erreicht. Bei diesen Messungen war die mittlere BPSK-400 Bake mit einem SNR von ca. +25 dB zu empfangen (schwankend +24 bis +28 dB). Da bereits mit sehr kleinen Schüsseln eine Fehlerrate von (fast) 0 erreicht wird, erübrigen sich Verfahren mit Anforderung neuer Datenblöcke. Im Fehlerfall sendet man Bilder einfach nochmal, was bei kurzen Übertragungszeiten von 10 bis 30 Sekunden kein Problem darstellt.

Bei den weiteren Arbeiten zur Verbesserung von Datenrate und SNR muss immer auf einen möglichst breiten Einsatzbereich mit einer Vielzahl von Funkgeräten geachtet werden.

Anforderungen an den Transceiver

Um hohe Bitraten übertragen zu können, benötigt man eine gute Linearität und einen einwandfreien Phasengang. Optimal funktionieren Geräte mit integrierter Soundkarte, die es von allen bekannten Herstellern seit Jahren gibt. Ein Anschluss über die normale Mikrofonbuchse älterer Transceiver wird wegen der internen Sprachfilter nur bei den niedrigeren Übertragungsraten funktionieren. SDR-Sender/Empfänger wie ADALM Pluto oder LimeSDR funktionieren sehr gut. Filter, Sprachprozessoren, Störaustaster (NB) oder Funktionen zur Rauschunterdrückung (NR) müssen grundsätzlich ausgeschaltet werden.

Das Konstellationsdiagramm kann gut zur Beurteilung der Empfangsqualität herangezogen werden. Ein zu schwaches, verrauschtes Signal erkennt man an diffus verteilten Pixeln. Zieht es die Punkte allerdings in die Länge, ist die Phaseninformation gestört, z.B. durch Phasenjitter im Empfangssignal. Auf QO-100 kann das durch die Verwendungen einer unsaubereren GPS-Referenz in Sender oder Empfänger entstehen. Das ist auch der Grund, warum für den DVB-S2-Betrieb (ebenfalls QPSK moduliert) ein OCXO anstelle von GPS empfohlen wird. Die erwähnten Effekte werden in den nachfolgenden Konstellationsdiagrammen am Beispiel eines QPSK-4410 Signals gezeigt (Bilder 2a–c).

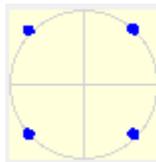


Bild 2a: optimales Konstellationsdiagramm bei S/N >40 dB

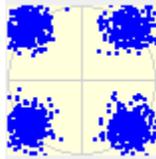


Bild 2b: Konstellationsdiagramm via QO-100 bei S/N 15 dB

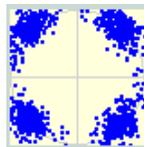


Bild 2c: Konstellationsdiagramm bei Jitter der LNB-Referenzfrequenz

Beispiele für Übertragungszeiten (8APSK-6000)

- Bild mit 320×240 Pixeln (wie bei SSTV bzw. KGSTV üblicherweise verwendet): ca. 8 Sekunden
- Bild mit 640×480 Pixeln (low quality, Erläuterung siehe später): ca. 33 Sekunden
- Bild mit 640×480 Pixeln (medium quality, Erläuterung siehe später): ca. 55 Sekunden
- HTML-Webseite mit 14 kB: ca. 7 Sekunden

Speziell bei Texten oder HTML-Seiten können durch die automatische Komprimierung Nettogeschwindigkeiten von mehr als 16 kBit/s erreicht werden. Eine reine Text-Stationsvorstellung lässt sich so in knapp 2 bis 3 Sekunden übermitteln, eine ausführliche Vorstellung mit einem Bild der QSL Karte in ca. 30 bis 40 Sekunden. Durch diese kurzen Sendezeiten erübrigen sich im Fehlerfall Blockwiederholungen. Falls erforderlich sendet man die Datei einfach nochmals. Für sehr große Dateien (das Maximum ist mit 200 kB festgelegt) kann HS Multimedia Modem anhand der Blocknummer Ergänzungen vornehmen und so aus zwei fehlerhaften Übertragungen eine fehlerfreie Datei herstellen, sofern nicht zufälligerweise der gleiche Block defekt war.

Struktur des HighSpeed Multimedia Modems

Modulator und Demodulator wurden in GNU-Radio entwickelt und dann, wegen der besseren Portierbarkeit, mit Liquid-SDR implementiert. Sie bilden zusammen mit der Funkanlage das (fehlerbehaftete) physikalische Übertragungsmedium.

High-Speed Data Transfer in a 2,7kHz SSB channel

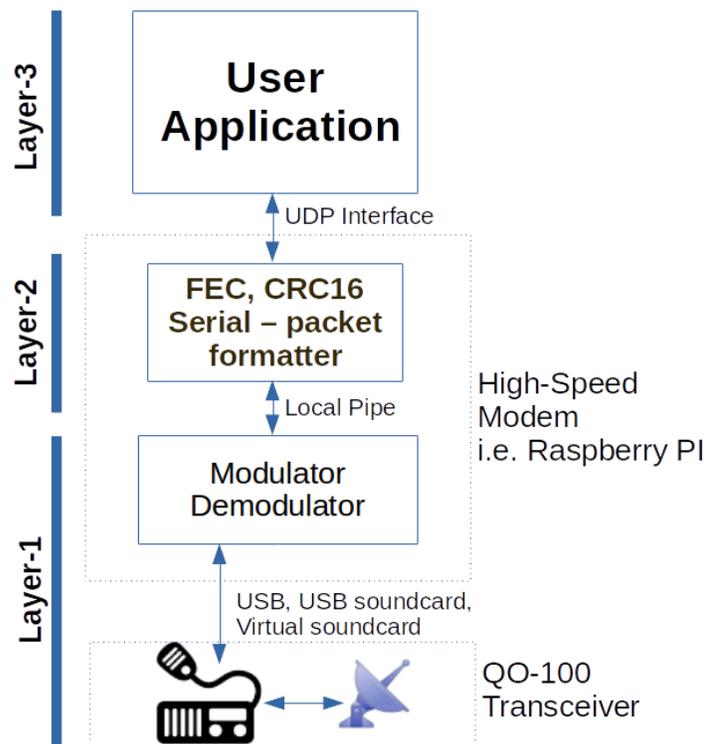


Bild 3: Layerstruktur des Highspeed Multimedia Modems

Als Schnittstellen zum Anwenderprogramm werden UDP-Ports benutzt. Das macht es für andere Entwickler einfacher das Modem zu benutzen, bietet Unabhängigkeit von Geräten und Betriebssystemen und bietet Netzwerkfähigkeit (Bild 3).

Das Highspeed Multimedia Modem in der Praxis

Das Highspeed Multimedia Modem ist ein System zur schnellen Übertragung von Daten in einem normalen 2,7-kHz-Sprachkanal via QO-100. Im Vergleich zu herkömmlichen Systemen wird eine Steigerung der Übertragungsgeschwindigkeit um den Faktor 5 bis 10 erreicht.

Dieses Modem eignet sich zur Übertragung von Bildern, beliebigen Dateien, Texten, HTML-Webdateien und Programmdateien bis hin zu vollständigen Webpräsenzen sowie für digitalisierte Sprache.

Für eine Stationsvorstellung kann man z.B. das Bild seiner QSL-Karte zusammen mit sauber formatiertem Text senden und beim Empfänger öffnet sich automatisch der Webbrowser um die empfangene Präsentation darzustellen.

Das Highspeed-Modem arbeitet voll-duplex, d.h. Senden und Empfang laufen gleichzeitig. Damit kann man die eigene Aussendung prüfen, so wie es vom Satellitenbetreiber gewünscht wird. Ein Vollduplex-QSO ist im Split-Betrieb (TX- und RX-Frequenz um z.B. 5 kHz versetzt) möglich. So ist echtes Gegenprechen in digitaler Sprache möglich.

Wer übrigens nur eine Aussendung mitlesen will, braucht nur die Empfangsfrequenz und die per synthetisierter Sprache angesagte Übertragungsrate einstellen. Danach kann man den Empfänger einfach mitlaufen lassen. Die Empfangssoftware erkennt automatisch den Datentyp (z.B. Bilder, ASCII-Dateien, Binärdateien etc.) und führt die passenden Aktionen aus.

Die fehlerfreien Blöcke von fehlerhaften Dateien werden intern gespeichert. Wenn eine Datei ein weiteres Mal empfangen wird, so korrigiert die Software automatisch fehlerhafte Blöcke mit zuvor korrekt empfangenen Daten und kann so aus zwei fehlerhaften Übertragungen eine fehlerfreie Datei erzeugen.

Hier ein Beispiel die Übertragungsergebnisse für ein sauber konfiguriertes System: Es wurden mehrmals hintereinander 50 Bilder mit ca. 20kByte/Bild gesendet, jeweils also insgesamt 1Mbyte. Das Signal wurde im Vollduplexbetrieb gleichzeitig empfangen. Von jeweils 50 Bildern war im Durchschnitt ein Bild fehlerhaft (davon ein Block mit 258 Byte). Es kamen also in der Regel 49 Bilder sofort korrekt an, nur ein Bild musste auf die Wiederholung warten.

Benötigte Geräte

- QO-100-Funkanlage
- PC mit Windows (Version 10, vermutlich lauffähig ab V7, jedoch nicht getestet) oder
- PC mit Linux (alle Distributionen) oder
- Single-Board-Computer, derzeit unterstützt Raspberry Pi 4 und Odroid N2, N2+, C2 und C4 (Raspberry Pi 3B+ nur bei abgesetztem Netzwerkbetrieb),
- Optional bei abgesetztem Netzwerkbetrieb: beliebiger PC (Windows, Linux, Mac) für die Benutzeroberfläche.

Installation

Windows Desktop PC:

Man lädt die Installationsdatei von [5] herunter. Durch das Ausführen der Datei hsmodem_setup.exe [5] wird das komplette Programm (Modem und Benutzeroberfläche automatisch installiert. Nach dem ersten Start zeigt Windows 10 zwei Dialoge um die Erlaubnis zum Netzwerkzugriff einzuholen, beide muss man bestätigen. Falls beim Programmstart eine Meldung zu fehlenden DLLs erscheint, so muss das Microsoft-Paket vc_redist.x86.exe installiert werden. Bitte nur das Original von Microsoft benutzen, dieses befindet sich hier [6].

Achtung: Immer die x86-Version auswählen (vc_redist.x86.exe) auch wenn man einen 64-Bit-PC hat!

Linux Desktop PC:

Man lädt das Projekt von [2] und startet das Script hsmodem.sh in einer Konsole, das Programm wird dann installiert.

Single-Board-Computer Raspberry PI oder Odroid:

1. Man lädt das entsprechende vorkonfigurierte Image von [4] herunter,
2. entzippt das Image,
3. flasht das Image auf eine SD-Karte (empfohlen 32 GB Micro-SD-Karte),
4. steckt die Karte in den Single-Board-Computer (Monitor/Tastatur ist nicht erforderlich, aber natürlich möglich),
5. verbindet den Single-Board-Computer mit einem Ethernet-Kabel mit dem Heimnetzwerk.

Transceiver:

Das Modem sendet und empfängt im NF-Bereich (maximal von 150 Hz bis 2,85 kHz) über eine Soundkarte, die an einen passenden Transceiver angeschlossen ist. Viele moderne Transceiver haben bereits eine eingebaute Soundkarte und einen USB-Anschluss, z.B. die meisten ICOM-Transceiver. In diesem Fall verbindet man einfach Modem und Transceiver mit einem USB-Kabel. In Bild 4 läuft das Modem auf einem Odroid-SBC. Es kann aber auch auf dem PC selbst laufen.

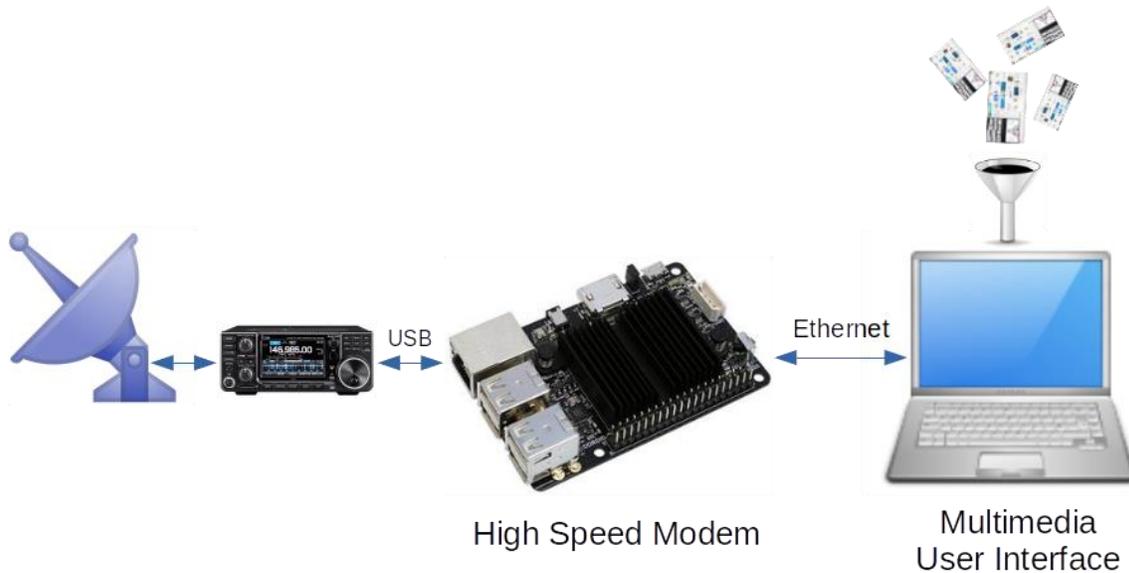


Bild 4: Anschluss moderner Transceiver an das Highspeed Multimedia Modem auf einem Single-Board-Computer

Hat der Transceiver keine eingebaute USB-Karte, so kann man einen USB-Sound-Stick oder andere Soundkarte verwenden (Bild 5). Optimal sind USB-Soundkarten mit Line-In Eingang. USB-Sticks die nur einen Mikrofoneingang haben sind weniger ideal und brauchen eine feinfühligere Einstellung, da sie sehr empfindlich sind.

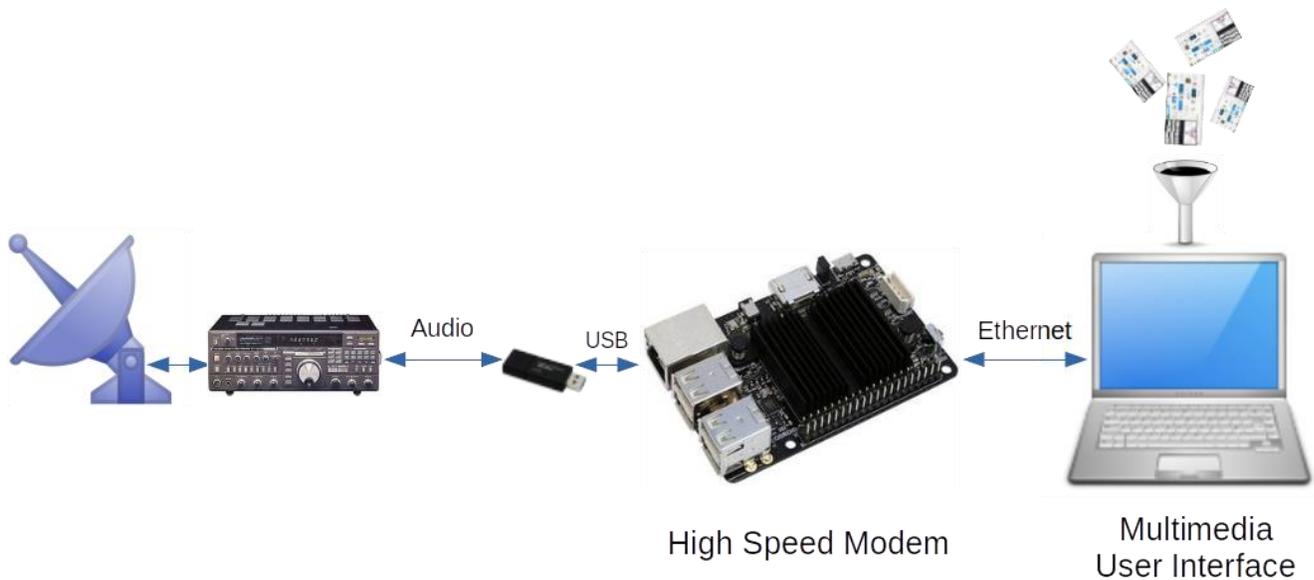


Bild 5: Anschluss via Soundkarte an das Highspeed Multimedia Modem auf einem Single-Board-Computer

Wichtig: für eine optimale Performance des HS Multimedia Modems muss das Signal mit guter Linearität und sauberem Phasengang übertragen werden. Über den normalen Mikrofon- und Lautsprecheranschluss wird man nur mit deutlich reduzierter Datenrate arbeiten können. Gut geeignet sind Transceiver mit integrierter Soundkarte und SDR-Sender/Empfänger.

SDR-Transceiver und Anschluss über virtuelle Soundkarte:

Besonders elegant ist die Verwendung eines SDR-Transceivers (Bild 6). Dieser empfängt das ZF-Signal vom LNB und sendet direkt auf der Uplinkfrequenz. In der Regel wird er mittels eines USB-Kabels mit dem PC verbunden. Im Falle des ADALM Pluto kann dies alternativ mittels einer Ethernet-Verbindung erfolgen.

Auf dem PC benötigt man nun eine passende Software, sehr weit verbreitet ist die Freeware „SDR-Console“ von Simon Brown.

Das High Speed Modem kann wie jede andere digitale Betriebsart (fldigi, freeDV etc.) mit Hilfe einer virtuellen Soundkarte (virtual audio cable VAC) an die verwendete SDR-Software angebunden werden. Da dieses Thema stark vom Betriebssystem und der verwendeten Software abhängt, ist geplant, hierfür eine eigene Dokumentation zu schreiben.



Bild 6: Verwendung eines SDR-TRX mit dem Highspeed Multimedia Modem inclusive der GUI auf einem Windows-PC

Single-Board-Computer:

Läuft das Modem auf einem Raspberry Pi oder Odroid, so wird man in der Regel die Benutzeroberfläche auf einem anderen PC im Heimnetzwerk betreiben. Nur ein Odroid des Typs C4 oder N2 hat genug Rechenleistung, um Modem und Nutzeroberfläche gleichzeitig laufen zu lassen. Man verbindet den Single-Board-Computer mittels eines Ethernet-Kabels mit dem Heimnetzwerk. Die Vergabe der IP-Adresse läuft automatisch (DHCP). Auch die Erkennung des Modems im Heimnetzwerk ist automatisch. Der Benutzer braucht sich um das Netzwerk nicht weiter zu kümmern. Sobald alles angeschlossen ist, schaltet man den Single-Board-Computer ein. Ein ausreichend kräftiges Netzteil und gute Kabel sind zu verwenden. Da man bei Verwendung von billigen USB-Kabeln oft mehrere 100 mV der Versorgungsspannung verliert, darf man hier nicht sparen.

Benutzeroberfläche / Bedienung

Die Benutzeroberfläche läuft auf einem beliebigen Rechner (Windows PC, Linux PC, Single-Board-Computer, vermutlich auch Mac-OS, der aber noch nicht getestet wurde). Nach dem Programmstart wird das Modem automatisch im Heimnetzwerk gefunden, egal ob es auf dem gleichen oder einem anderen Rechner läuft. Das Programm heißt „oscardata.exe“ und befindet sich auf der SD-Karte im Verzeichnis: /home/odroid/modem oder /home/pi/modem oder als Download auf dieser Seite [5].

Windows: das Programm wird wie beschrieben installiert und aus dem Menü wie gewohnt gestartet.

Linux: die Datei läuft unter dem Linux-Paket: mono-complete ab Version 6.12.0. In den vorkonfigurierten Images ist das bereits installiert.

Um das Programm zu starten öffnet man eine Konsole und geht nach /home/odroid/modem bzw. /home/pi/modem und startet dort: „mono oscardata.exe“.

Nach dem Starten von oscardata.exe sieht man die Benutzeroberfläche (Bild 7), vorerst noch ohne Inhalt.

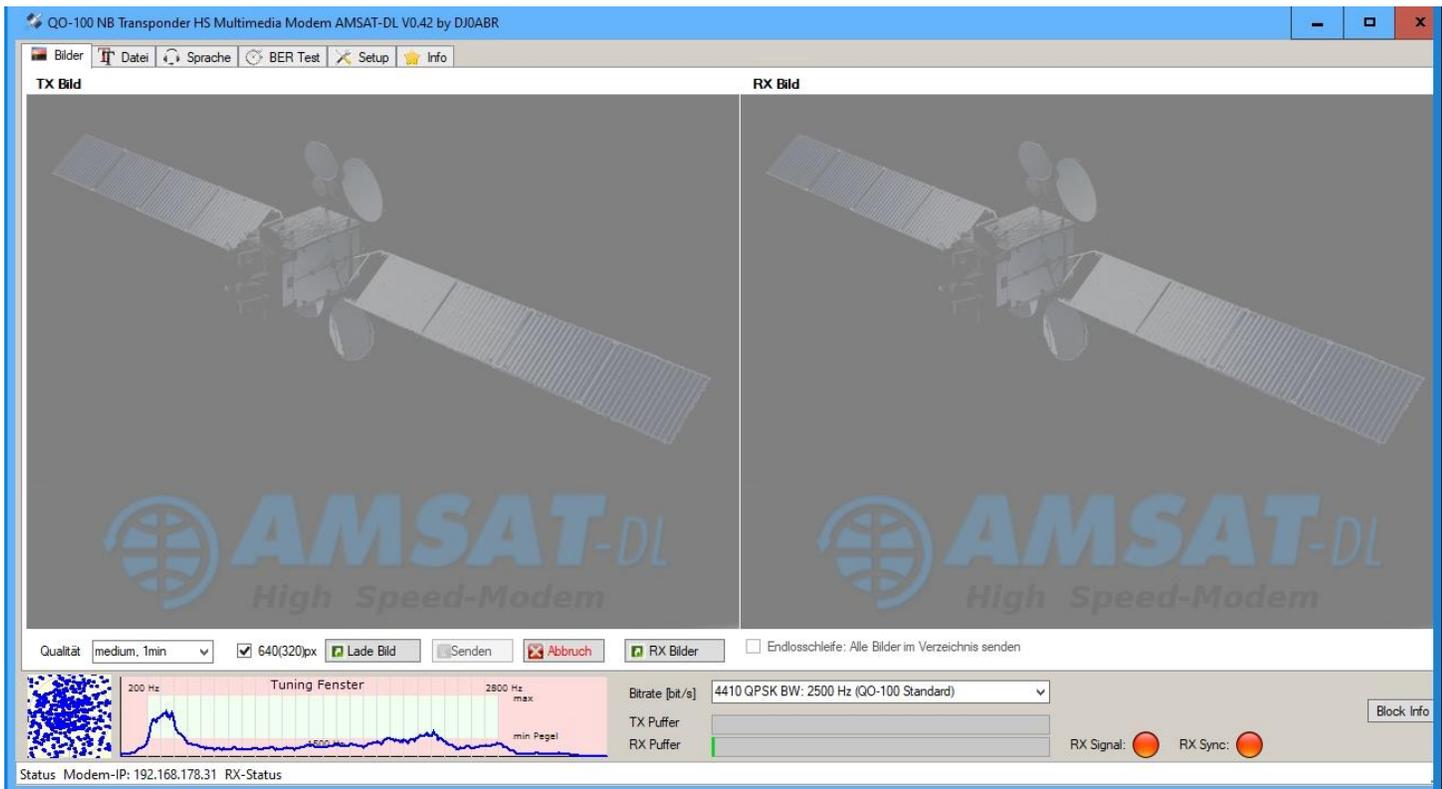


Bild 7: Benutzeroberfläche

In der Statuszeile erscheint die IP-Adresse des Modems. Falls nicht, so besteht noch keine Netzwerkverbindung. Sobald der Transceiver eingeschaltet ist sieht man im Konstellationsdiagramm links unten Rauschen.

Setup:

Im Menüpunkt „Setup“ werden zunächst die notwendigen Grundeinstellungen definiert (Bild 8).

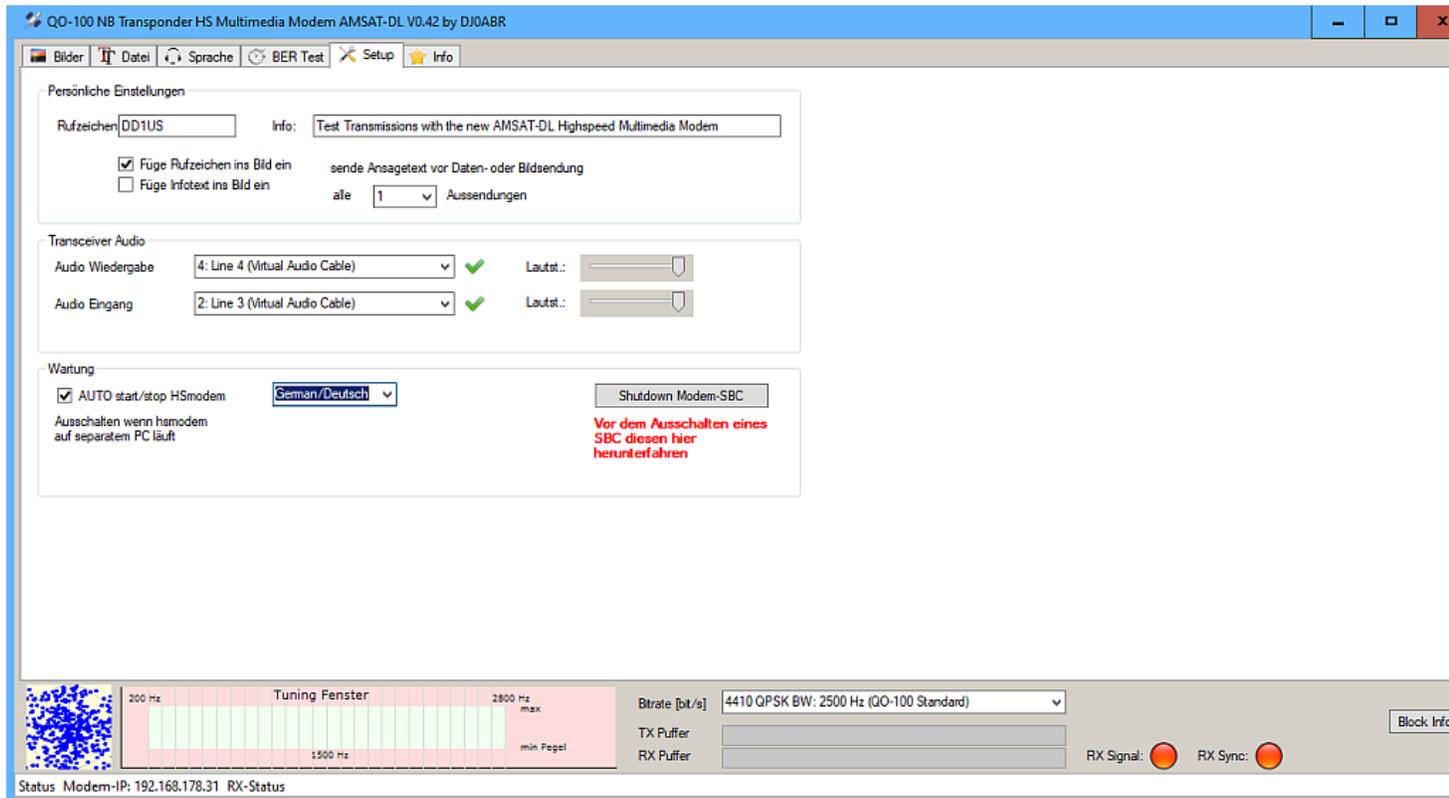


Bild 8: Grundeinstellungen im Menüpunkt Setup

- **Persönliche Einstellungen:**
Zunächst erfolgt die Eingabe des eigenen Rufzeichens, der Infotext ist optional. Man kann diesen wie auch das Rufzeichen in ein gesendetes Bild einblenden lassen. Ob vor jeder Aussendung mittels einer künstlichen Stimme die verwendete Modulationsart und Datenrate ausgesendet wird oder wie im Beispiel (Bild 8) vor jeder vierten Aussendung kann frei definiert werden.
- **Transceiver Audio:**
Hier definiert man die Audioquellen für den Sender (Audio Wiedergabe) bzw. die Audiosenke für den Empfänger (Audio Eingang). Dies können das Mikrofon und der Lautsprecher des PCs sein. Im Beispiel werden zwei „virtual audio cable“ verwendet um das High Speed Modem mit der SDR-Console zu verbinden. Die Lautstärkeeinstellungen kann man später noch optimieren.
- **Wartung:**
Läuft das Modem auf dem gleichen PC wie die Benutzeroberfläche ist bei „AUTO start/stop HSmodem“ ein Haken zu setzen. Verwendet man für das Modem einen Raspberry Pi oder Odroid Rechner und für die Benutzeroberfläche einen anderen Rechner so entfällt dieser. In dem Auswahlfeld rechts daneben kann man zwischen den Sprachen German/Deutsch und Englisch auswählen.
Die Schaltfläche „Shutdown Modem-SBC“ sollte gedrückt werden, bevor man einen SBC (wie Raspberry PI oder Odroid) abschaltet. Dies ist nötig um zu vermeiden die SD-Karte während des Abschaltens zu beschreiben und zu beschädigen.

Senden und gleichzeitiger Empfang von Testdaten:

Im Fenster „BER Test“ können Testdaten gesendet und empfangen werden, um mittels eines Bitfehlerraten-tests die einwandfreie Funktion der eigenen Anlage zu verifizieren (Bild 9).

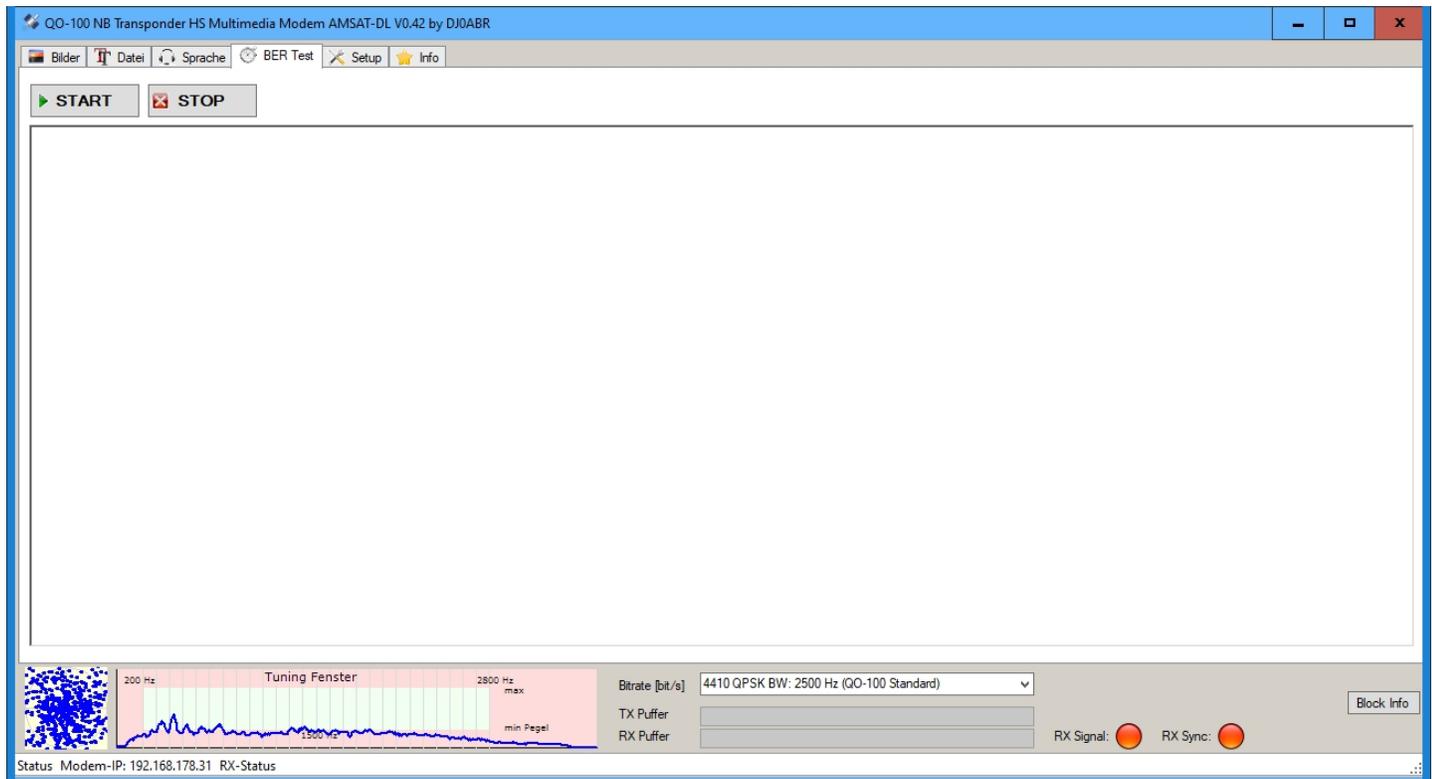


Bild 9: BER Test

Es stehen verschiedene Bandbreiten und Geschwindigkeiten zur Verfügung (Bild 10). Für den Betrieb auf QO-100 werden die Modi 4410 Bit/s QPSK und 6000 Bit/s 8APSK empfohlen. Für die ersten Tests sollte man 3000 QPSK wählen, da hier die Anforderungen an die Funkanlage am geringsten sind.

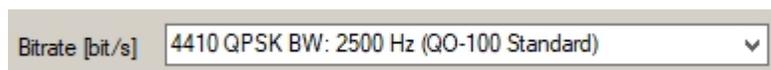


Bild 10: Geschwindigkeitsauswahl

Nun klickt man den „START“-Knopf und das Modem sendet daraufhin Testdaten. Man schaltet den Transceiver manuell auf Senden (bisher gibt es noch keine automatische PTT) und optimiert zunächst die Ausgangsleistung. Das empfangene eigene Signal muss immer unter Bakenpegel sein. Bei der Verwendung eines SDR-TRX und der SDR-Console kann man deren VOX-Funktion nutzen. Zur Einstellung des Senders gibt es zwei Möglichkeiten:

1. die Aussteuerung der Soundkarte und
2. die Einstellung der Sendeleistung.

Details, wie dies beim IC-9700 eingestellt wird finden sich in einem späteren Kapitel. Für den Empfang ist wichtig, dass der Eingangspegel der Soundkarte so eingestellt wird, dass die Spektrumanzeige im grünen Bereich liegt (Bild 11a).

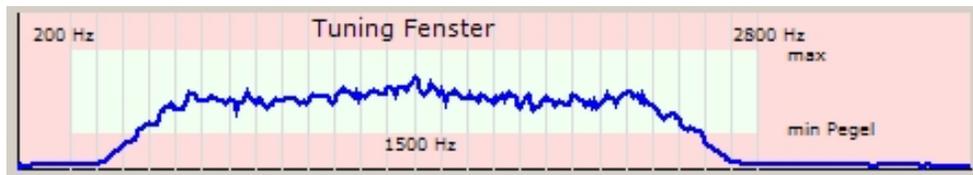


Bild 11a: Pegel- und Frequenzeinstellung

Zwischen Sende- und Empfangsfrequenz kann es manchmal einen kleinen Offset geben. Selbst bei GPS stabilisierten Systemen können systembedingt bis zu ± 50 Hz Abweichung auftreten. Mit der RIT-Funktion des Transceivers korrigiert man gegebenenfalls Abweichungen um das Spektrum in die Mitte des grünen Bereichs zu stellen (wie in Bild 11a zu sehen). Bild 11b zeigt eine falsche Einstellung, die Empfangsfrequenz ist hier zu niedrig eingestellt.

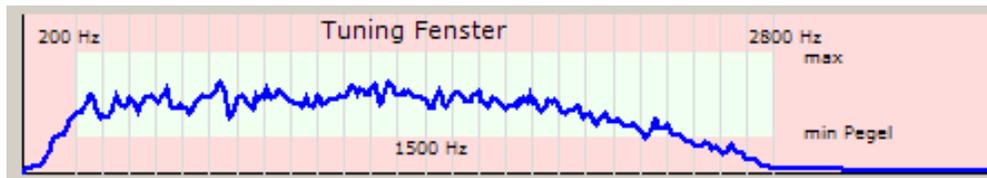


Bild 11b: Falsche Frequenzeinstellung

Das Modem hat einen Fangbereich von ca. ± 200 Hz, jedoch sind die Empfangsfilter der Transceiver in der Regel nicht so breit und würden bei einer falschen Einstellung das Signal an den Rändern abschwächen. Eine genaue Einstellung ist auch mit dem Konstellationsdiagramm möglich.

Die Punkte sollten so scharf wie möglich sein. Hier zwei Beispiele mit 6000 Bit/s 8APSK:

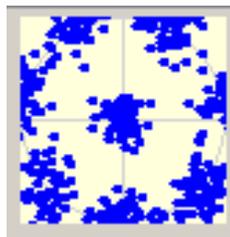


Bild 12a: Falsche Einstellung, das Signal ist stark verrauscht, die Fehlerrate ist hoch

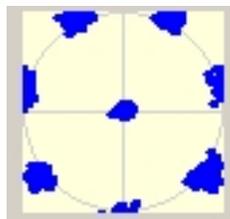


Bild 12b: Korrekte Einstellung mit niedriger Fehlerrate

Sobald Pegel und Frequenz richtig eingestellt sind, laufen die Testdaten durch das Fenster (Bild 13).

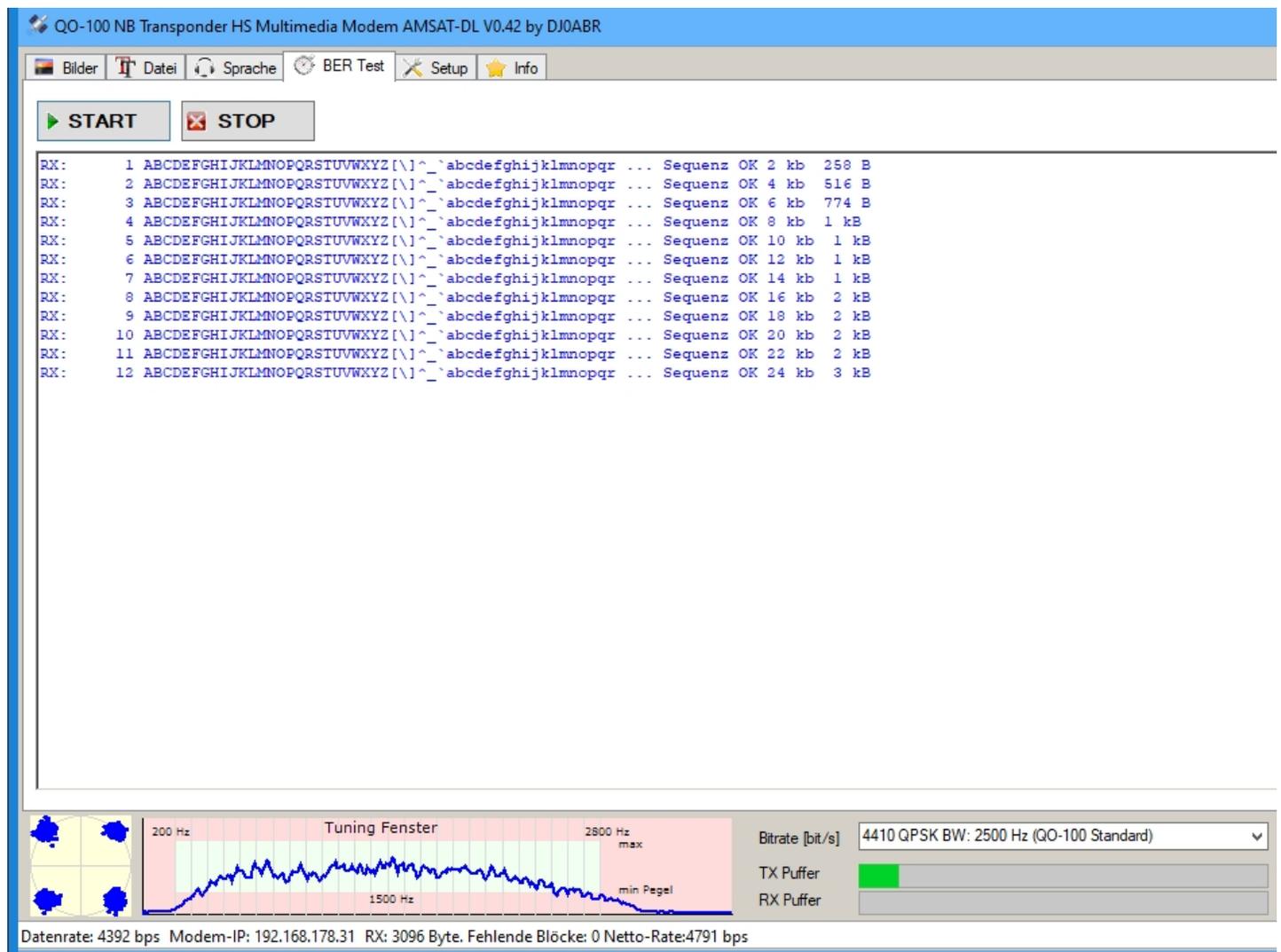


Bild 13: Bitfehlerratenest

Bei korrekter Funktion wird immer „Sequenz OK“ angezeigt. Fehlermeldungen (Frame verloren) sollten sehr selten auftreten. Natürlich kann man Testdaten anderer Stationen ebenfalls empfangen.

Sendung und Empfangen von Bildern:

Wenn die Testdaten wie im vorherigen Kapitel erläutert korrekt empfangen wurden, kann man nun zum Menüpunkt „Bilder“ (Bild 14) wechseln und versuchen, Bilder zu empfangen und zu versenden (Bild 15).



Bild 14: Fensterauswahl Image

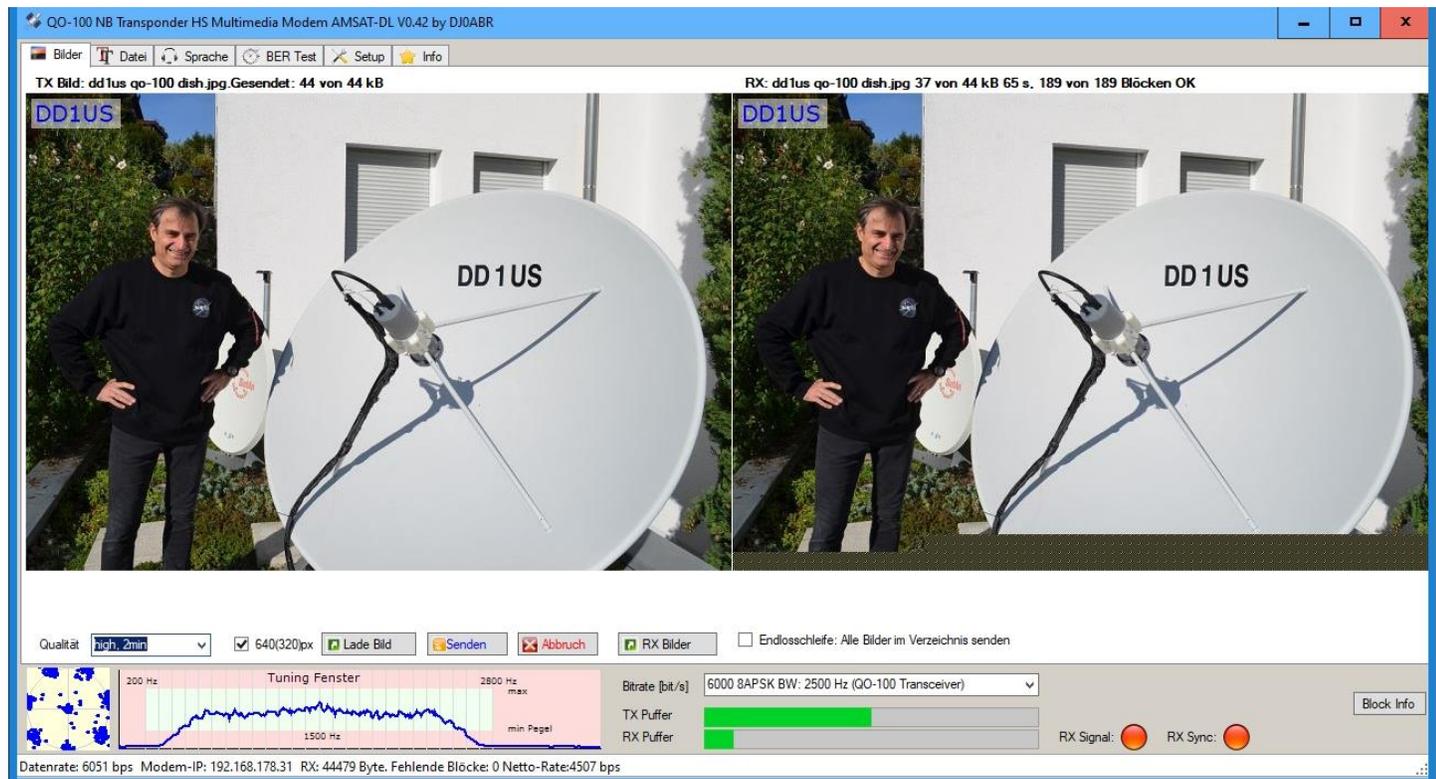


Bild 15: Ein Bild wird via QO-100 übertragen

- **Qualität:**
Es können vier Auflösungen (Details, Bildschärfe) ausgewählt werden. Diese Einstellung bestimmt die Übertragungszeit, welche grob geschätzt mit angegeben ist. Mit der Einstellung „medium, 1min“ können bereits sehr scharfe Bilder gesendet werden. Höhere Einstellungen des Parameters Quality sind nur bei extremen Ansprüchen erforderlich.
- **640(320)px:**
Die Bilder werden unabhängig vom Bildformat automatisch skaliert. Fast jeder Bildtyp und jede Auflösung kann gesendet werden. Die Skalierung hängt von der Einstellung „640(320)px“ ab: nicht aktiviert: 320 × 240 Pixel, aktiviert: 640 × 480 Pixel.
- **Lade Bild:**
Mit einem Klick auf „Lade Bild“ wählt man ein zu sendendes Bild aus. Der Speicherort für zu sendende Bilder kann per eingebautem Filebrowser ausgewählt werden.
- **Senden:**
Durch Klicken auf „Send“ wird das ausgewählte Bild gesendet.

- **Abbruch:**
Möchte man eine laufende Bildübertragung abbrechen, so klickt man auf dieses Feld.
- **Rx Bilder:**
Der Speicherort für empfangene Bilder ist durch Klicken auf „RX Bilder“ erreichbar.
- **Endlosschleife: alle Bilder im Verzeichnis senden:**
Wenn dies aktiviert ist, werden alle Bilder im gleichen Verzeichnis in einer Endlosschleife gesendet.

Links in Bild 15: das originale Bild, bereits automatisch skaliert.

Rechts in Bild 15: via QO-100 empfangenes Bild. Die Übertragung ist fast fertig. Über dem Empfangsbild werden Dateiname, empfangene Bytes, Dateigröße, Übertragungsdauer, Anzahl der korrekt empfangenen Blöcke und Gesamtzahl der empfangenen Blöcke angezeigt. Bei fehlerfreiem Empfang ist dies eine 100-%-Kopie des linken Bildes.

Senden und Empfang von Dateien:

Der Menüpunkt „Datei“ erlaubt die Übertragung von ASCII-, HTML- und Binärdateien (Bild 16).

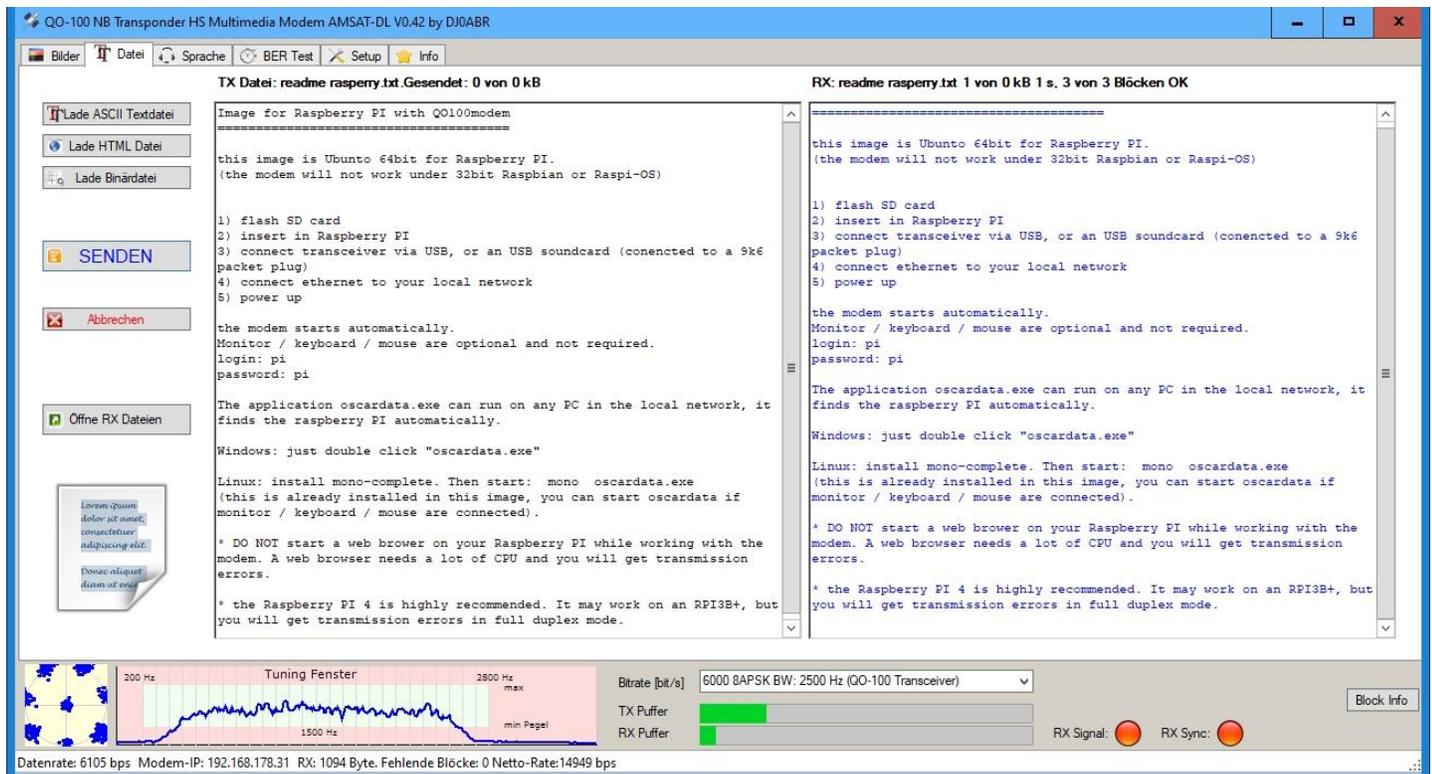


Bild 16: Eine Textdatei wurde via QO-100 übertragen

- **Lade ASCII Textdatei:**
In diesem Menüpunkt wählt man eine reine Textdatei zum Senden aus. Sie wird im linken Fenster gezeigt.

- **SENDEN:**
Hiermit sendet man die Datei. Falls man sich selbst empfängt, so wird die empfangene Textdatei rechts angezeigt.

Im Beispiel (Bild 16) wurde eine Textdatei mit der Beschreibung der Installation des Highspeed Multimedia Modems auf einem Raspberry Pi mit einer effektiven Übertragungsgeschwindigkeit von 13949 Bit/s übertragen. Da sich Textdateien gut komprimieren lassen, wurde diese hohe Geschwindigkeit erreicht. Die Komprimierung wird automatisch für alle Dateien, außer Bilddateien, angewendet.

- **Lade HTML Datei:**
In diesem Menüpunkt wählt man eine zu sendende HTML-Datei aus. HTML (Web)-Dateien werden genauso wie Textdateien übertragen, nur dass sich beim Empfang automatisch ein Webbrowser öffnet und die HTML Seite anzeigt.
- **Lade Binärdatei:**
Analog zu den vorhergehenden Punkten wird hier eine Binärdatei ausgewählt.

Binärdateien werden nach dem Empfang natürlich nicht angezeigt. Stattdessen zeigt das rechte Fenster eine Übertragungsstatistik (Bild 17).

```

RX: XLOG.EXE 11 von 9 kB 15 s, 44 von 44 Blöcken OK
-----
Binärdatei empfangen
-----
Sendezeit       : 15 seconds
Übertragungsgeschw: 8708 bit/s
Dateigröße      : 16667 byte
Dateiname       : C:\Users\matth\AppData\Roaming\oscardata\oscardata
                 \1.0.0.0\oscardata\XLOG.EXE

```

Bild 17: Eine Binärdatei wurde via QO-100 übertragen

- **Abbrechen:**
Möchte man eine laufende Dateiübertragung abbrechen, so klickt man auf dieses Feld.
- **Öffne RX Dateien:**
Hiermit kann auf alle empfangenen Dateien zugegriffen werden.

Digitale Sprachübertragung:

Das Highspeed Multimedia Modem würden den Namen nicht verdienen, wenn es nicht auch digitale Sprache übertragen könnte. Also wurde auch diese Möglichkeit im Menüpunkt „Sprache“ implementiert (Bild 18).

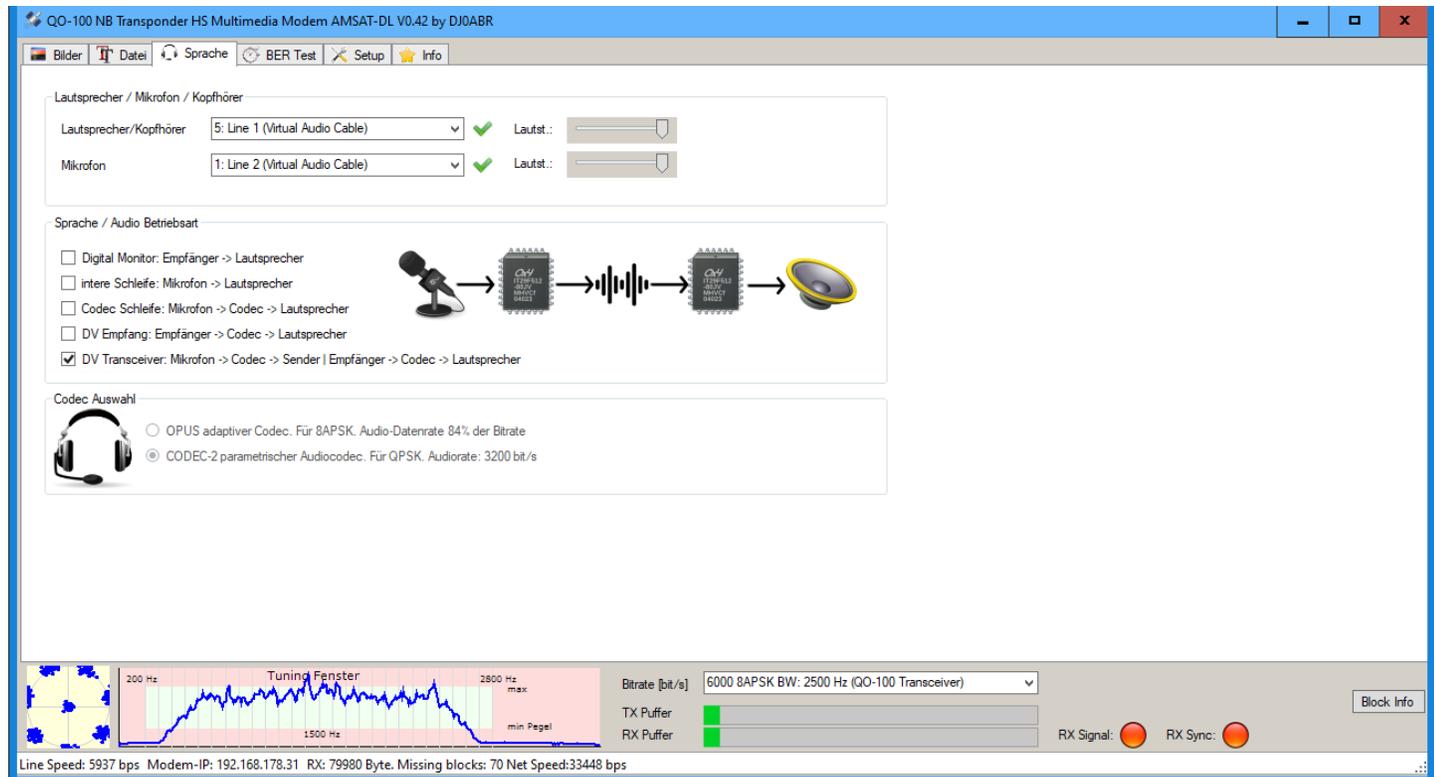


Bild 18: Es werden sowohl CODEC-2 als auch OPUS unterstützt

- Lautsprecher / Mikrofon / Kopfhörer:
Hier werden die Ein- und Ausgänge der Soundkarte oder wie im Beispiel (Bild 18) eines virtuellen Audiokabels (Virtual Audio Cable VAC) ausgewählt.
- Sprache / Audio Betriebsart:
Es kann immer nur eine der fünf Betriebsarten ausgewählt werden
 - Digital Monitor: das Empfangssignal wird direkt zum Lautsprecher durch geschleift. Diesen Modus benutzt man zur Beobachtung der Frequenz bzw. der Beurteilung des Empfangssignals.
 - Interne Schleife: das Mikrofon wird direkt mit dem Lautsprecher verbunden. Damit kann die Funktion der Soundkarte und der Lautstärkeinstellungen geprüft werden.
 - Codec Schleife: in diesem Testmodus wird zusätzlich der ausgewählte Codec ein geschleift. Damit kann man die tatsächliche Qualität der Audioübertragung bei den verschiedenen Bitraten prüfen, ohne auf Sendung zu gehen.
 - DV Empfang: in diesem Modus kann man einem laufenden Highspeed Modem QSO zuhören
 - DV Transceiver: dies ist der eigentliche QSO-Modus.
Wenn man Tx und Rx-Frequenz um mindestens 5 kHz versetzt, ist echtes Gegensprechen (voll duplex) möglich.

- **Codec Auswahl:**
Hier kann man zwischen zwei Sprach-Codex auswählen. CODEC-2 arbeitet mit einer festen Audiorate von 3200 Bit/s und ist insbesondere für niedrige Datenraten geeignet. OPUS skaliert die Audiorate in einem Verhältnis von 84 % zur Datenrate und bietet bei höheren Datenraten (8APSK-Modi) eine natürlichere Sprachqualität.

Sende- und EmpfangspegelEinstellung am Beispiel von ICOM Transceivern:

Getestet wurden: IC-9700, IC-7100 und (nur Rx) IC-7300 sowie IC-7610. Auf diese vier Transceiver beziehen sich die nachfolgend dargestellten Einstellungen. IC-910 und IC-9100 funktionieren auch, nur die Bezeichnungen der Menüpunkte sind bei diesen Geräten etwas anders. Der IC-705 wurde nicht getestet, man kann aber davon ausgehen, dass HighSpeed Modem auch damit funktioniert.

Vorbereitung des Transceivers:

- **USB-D:**
Für den analogen Sprachbetrieb ist in der Regel USB eingestellt. Für den Datenbetrieb muss man auf USB-D umstellen. Hierfür tippt man auf [USB] und aktiviert dann DATA. Dies ist sowohl für die Sendeseite, als auch für die Empfangsseite vorzunehmen. Dann kann man die eigenen Bilder, die man sendet, zur Kontrolle auch gleich wieder ansehen.



Bild 19: Einstellung Datenmodus

Will man wieder analogen Sprachbetrieb machen, muss man wieder auf normales USB zurückstellen.

- **Filter:**
Das Empfangsfilter wird auf FIL1 gestellt. Dann überprüft man die Bandbreite: FIL1 2s lang drücken, bis das Filtermenü angezeigt wird. Die Filterkurve stellt man auf „SHARP“. Dann tippt man auf BW und stellt mit dem großen Einstellknopf auf 3.6k.



Bild 20: Einstellung Empfangsfilter

- **Frequenz:**
Der Satellitenbandplan sieht für „Digitalbetrieb mit bis zu 2,7 kHz Bandbreite“ den

Frequenzbereich 10489,580 bis 10489,650 MHz vor. Alternativ kann man auch den Bereich „Mixed/Special“ oberhalb von 10489,850 MHz verwenden.

Sendepiegel, Ausgangsleistung:

Die Ausgangsleistung wird sowohl von der Aussteuerung der Soundkarte als auch von der Leistungseinstellung des Transceivers beeinflusst. Dabei ist es wichtig, dass die Soundkarte nicht zu weit ausgesteuert wird, da jede Übersteuerung das QPSK/8APSK-Signal empfindlich stört.

Hier die Einstellung am Beispiel von ICOM-Transceivern:

Menü-Taste - SET – CONNECTORS - MOD INPUT:

- Alles auf 50 % stellen
- DATA OFF MOD: MIC/ACC
- DATA MOD: USB

Mit der Einstellung „USB MOD LEVEL“ kann man die Aussteuerung des Sendesignals einstellen, ca. 40–50 % sollten optimal sein.

Empfangspegel:

Der Empfangspegel muss so eingestellt werden, dass bei Empfang eines Signals das Spektrum im grünen Bereich liegt.

Menü-Taste: SET – CONNECTORS - USB AF/IF OUTPUT:

- OUTPUT SELECT: AF
- AF OUTPUT LEVEL: ca. 50%, je nach Spektrumanzeige (Bild 11a)

Referenzen:

Sie können die Projektdaten über das AMSAT-DL bzw. DJØABR Github Repository herunterladen. Es befindet sich Entwicklung. Wir versuchen immer lauffähige Versionen zu hinterlegen. Derzeit gibt es fast wöchentlich Updates, welche die Funktion des Modems und die Kompatibilität zu neuen Geräten verbessern. In einem geplanten zweiten Artikel werden die internen Abläufe der Modulation und Demodulation von QPSK- und 8APSK-Signalen beschrieben.

Links:

- [1] Berechnung der maximalen Bitraten: <https://de.wikipedia.org/wiki/Shannon-Hartley-Gesetz>
- [2] Softwarequellen im AMSAT-DL Github-Repository: <https://github.com/amsat-dl/QO-100-modem>
- [3] Fehlerkorrekturverfahren: <https://www.schifra.com/fqa.html>
- [4] Images Highspeed Multimedia Modem für Raspberry PI und Odroid: <https://t1p.de/a4am>
- [5] Programm mit der Benutzeroberfläche für Windows: <https://t1p.de/a4am>
- [6] DLL Paket von Microsoft: <https://t1p.de/b68y>