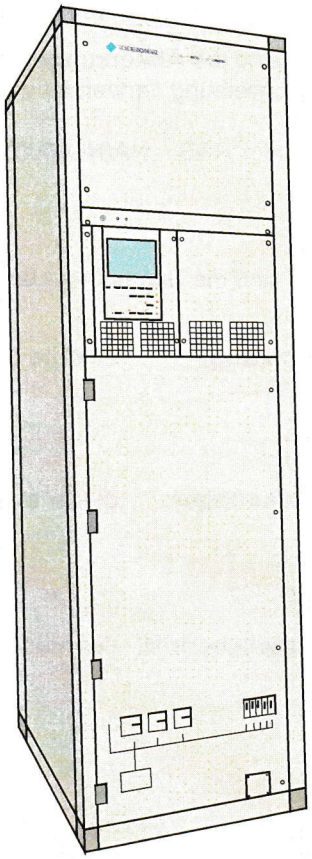
1.2 Anwendung des Senders (am Beispiel des Bd. III 500-W-Senders)

Der **DAB-Sender NA 6050** ist ein 500-W-Transistor-Sender mit passiver Vorstufenreserve für den digitalen terrestrischen Hörfunk DAB (**D**igital **A**udio **B**roadcasting) im Band III (175 ... 207 MHz).

Er besteht aus den Hauptkomponenten:

- ❑ **Sendergestell**,
- ❑ **DAB-Steuersender**,
- ❑ **Vorstufenreserve,**
- ❑ **Leistungsverstärker**,
- ❑ **Netzteile**.



⇨ Bei einem DAB-System werden die Audio-Quellen mit einem MUSICAM-Coder einzeln digitalisiert, komprimiert und einem MULTIPLEXER zugeführt. Dieser wandelt die Daten in einen Datenstrom mit einer Datenrate von 2 Mbit/s um (ETI).

⇨ Ein COFDM-Modulator verteilt dann den Datenstrom QPSK-moduliert auf viele Träger, die nach Mischung in die RF-Lage verstärkt und über eine Antenne abgestrahlt werden.

⇨ Über die digitale Hörfunktechnik kann dadurch pro Einzelsender eine Vielzahl an Programmen (fünf bis acht) auf einmal verarbeitet werden. Darüber hinaus ist es möglich, weitere Programme für regionale oder lokale Anbieter bereitzustellen.

⇨ Mit mehreren Sendern läßt sich aber auch ein Gleichwellennetz aufbauen. Ein integrierter GPS-Empfänger übernimmt dabei die Anbindung an eine externe Leitfrequenz, um die erforderliche Genauigkeit der Frequenzdifferenz der einzelnen Sender untereinander zu erreichen. Durch die Synchronität der einzelnen Sender entfällt die gegenseitige Störbeeinflussung (wie beim analogen UKW-Hörfunk), sondern sie tragen alle gemeinsam zur Netzfeldstärke bei.

1.3 Leistungsmerkmale

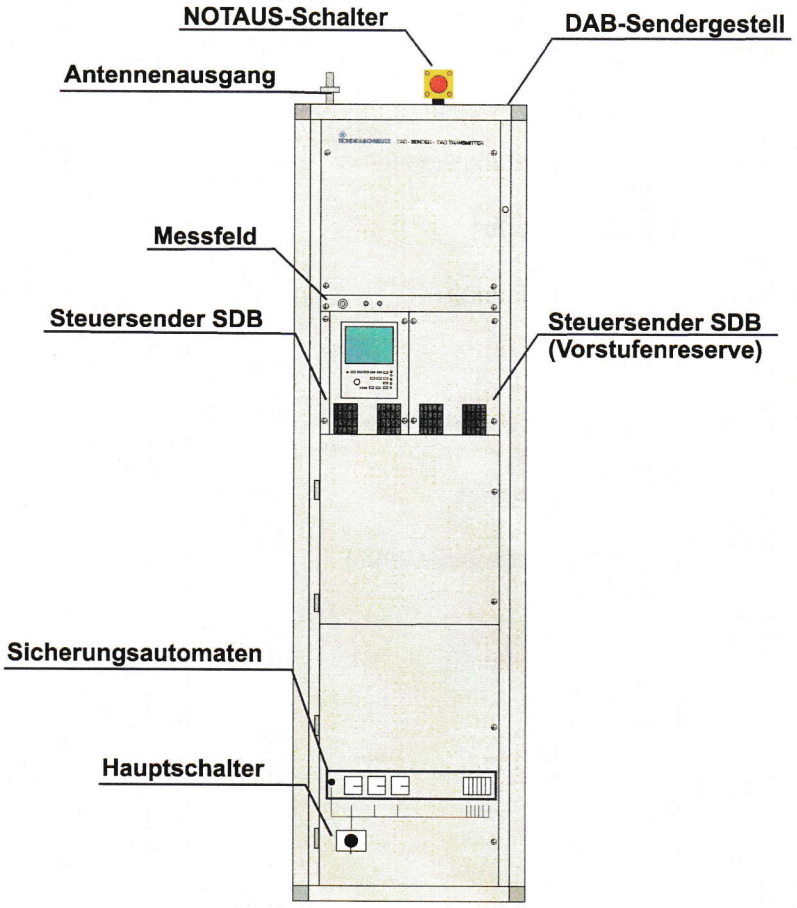
Die **DAB-Sender der Baureihe NA/NL 6000** zeichnen sich durch die folgenden Leistungsmerkmale aus:

- ❑ Höchste Übertragungsqualität
- ❑ Sehr gute Energiebilanz
- ❑ Servicefreundlich durch modularen Aufbau
- ❑ Integrierter COFDM-Modulator für Eingangssignale ETI(NI) oder ETI(NA)
- ❑ Integrierter GPS-Empfänger
- ❑ Kompaktes 19"-Standardgestell
- ❑ Breitbandige, lineare Transistorleistungsverstärker
- ❑ Redundanz in den Leistungsendstufen
- ❑ Eingang für externe Frequenzanbindung
- ❑ Integrierte Lüfter
- ❑ Raumkühlung oder geführte Luftkühlung möglich
- ❑ Bandpaßfilter im Sendegestell integriert
- ❑ Zweiter Steuersender (passive Vorstufenreserve)

1.4 Eigenschaften des Senders am Beispiel NA 6050

1.4.1 Aufbau der DAB-Sender

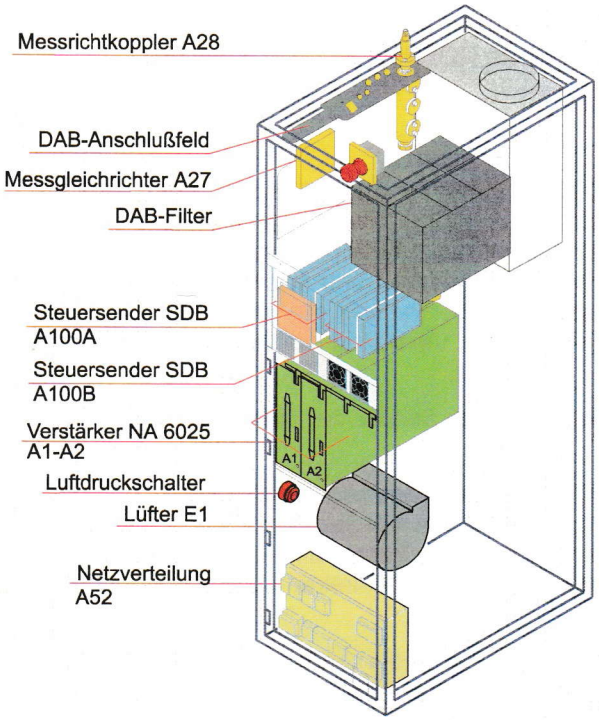
Die DAB-Sender der Baureihe NA 6000 sind wie folgt ausgeführt:



Die Anordnung der weiteren Komponenten und Baugruppen innerhalb des Gestells ist auf der folgenden Seite aufgeführt.

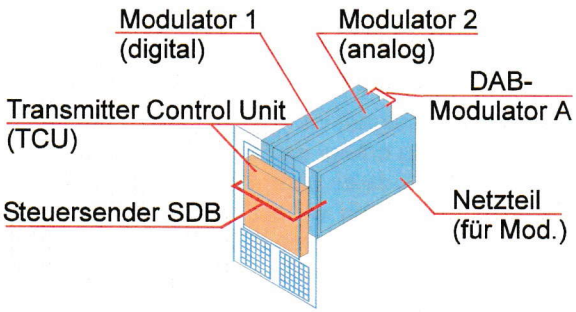
1.4.2 Übersicht Sendergestell

Im Sendergestell sind die folgenden Baugruppen und Komponenten untergebracht:

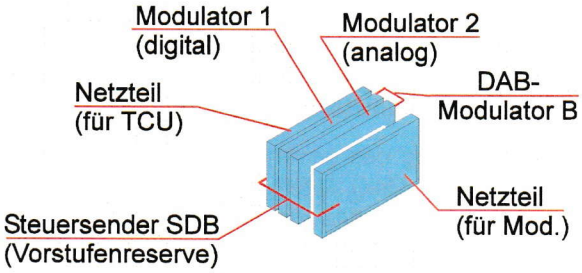


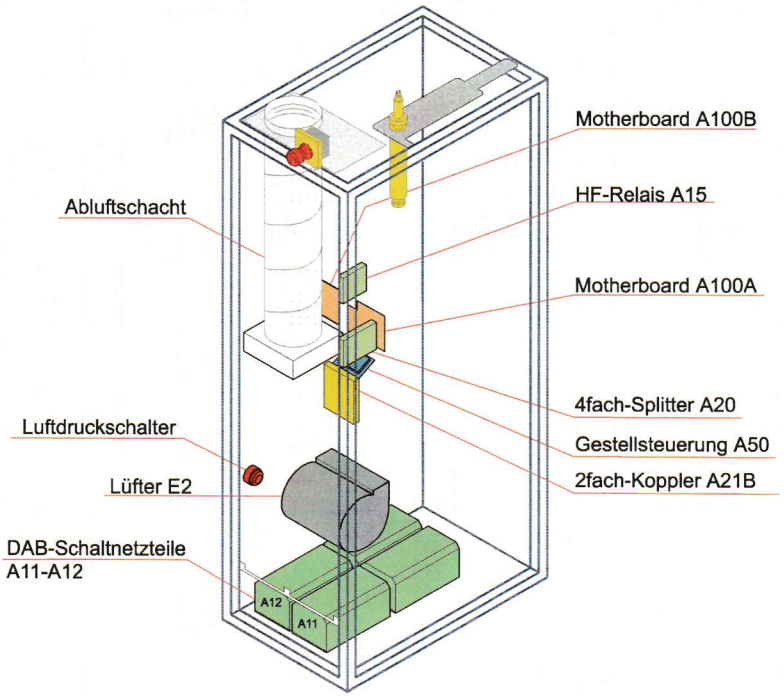
Frontansicht

Der **Steuersender SDB** unterteilt sich in die folgenden Baugruppen.



Der **Steuersender SDB (Vorstufen-reserve)** unterteilt sich in die folgenden Baugruppen.





Rückansicht

1.5 Funktionsweise des Sendersystems (Beispiel: NA6050)

Der Steuersender dient als Vorstufe für die nachfolgenden Leistungsverstärker. Er ist redundant ausgelegt (passive Vorstufenreserve), um im Störungsfall einen unterbrechungsfreien Betrieb zu gewährleisten.

Das Eingangssignal des DAB-Steuersenders mit integriertem COFDM-Modulator kann sein:

⇨ **ETI(NI, G703)**

⇨ **ETI(NA, G704)**.

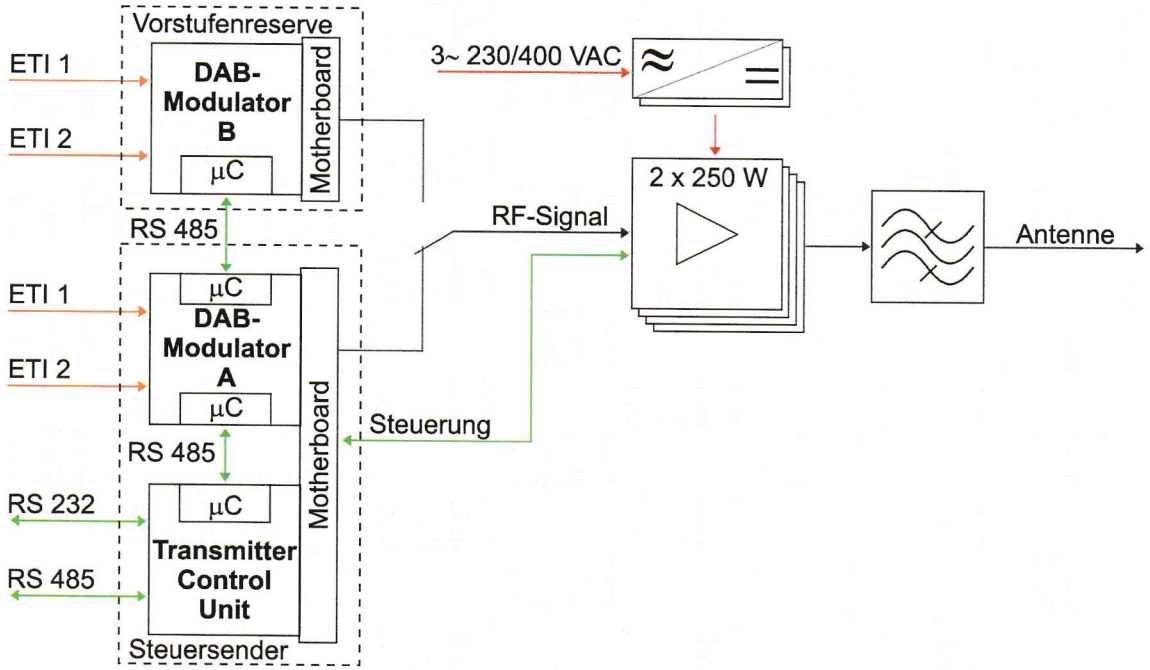
Das Ausgangssignal ist das DAB-Signal nach ETS300401 in der HF-Lage (Band III, 175 ... 207 MHz). Die Umsetzung erfolgt im Band III durch Direktmodulation (ohne ZF). Die Ausgangsleistung von 500 W wird durch die zwei über Kopplereinheiten parallelgeschalteten Verstärker erzeugt. Die Verstärker zeichnen sich durch hohe Linearität, einen sehr guten Wirkungsgrad und ihre Kompaktheit aus. Die Verstärker sind temperaturkompensiert, Schutzschaltungen überwachen alle wichtigen Betriebsparameter. Eine Reflexionsabschaltung (VSWR = 1,5) schützt die Verstärker vor zu großen reflektierten Leistungen am Ausgang.

Durch den im Sendergestell integrierten Bandpaßfilter erfüllt der Sender die Spektrumsmaske für "Critical Areas".

Jeder Verstärkereinschub wird von einem separaten Netzteil gespeist, jedes stellt eine eigene mechanische Einheit dar. Dadurch wird automatisch Redundanz für die Versorgungsspannungen der Verstärker sichergestellt. Jedes Netzteil enthält zwei identische, primär getaktete Schaltregler. Alle elektrischen Verbindungen werden beim Einschieben in das Gestell durch direkte Steckverbindung an der Rückseite der Netzteile hergestellt.

Die Bedienung des gesamten DAB-Senders erfolgt über die im Steuersender integrierte TCU (**T**ransmitter **C**ontrol **U**nit). Menügeführt lassen sich Einstellungen an Hard- und Softkeys komfortabel und sicher vornehmen. Alle Einstellungen für den gesamten Steuersender können beliebig verändert und in einem Speicher netzausfallsicher abgelegt werden.

Zusätzlich ist die Bedienung auch über einen PC/Laptop mit entsprechender Software unter Windows möglich. Eine Fernwirkeinrichtung ermöglicht das Ein- und Ausschalten sowie die Überwachung des Betriebszustands des Senders.



1.5.1 Funktions- und Parameterbeschreibung der DAB-Vorstufe

1.5.2 Überblick

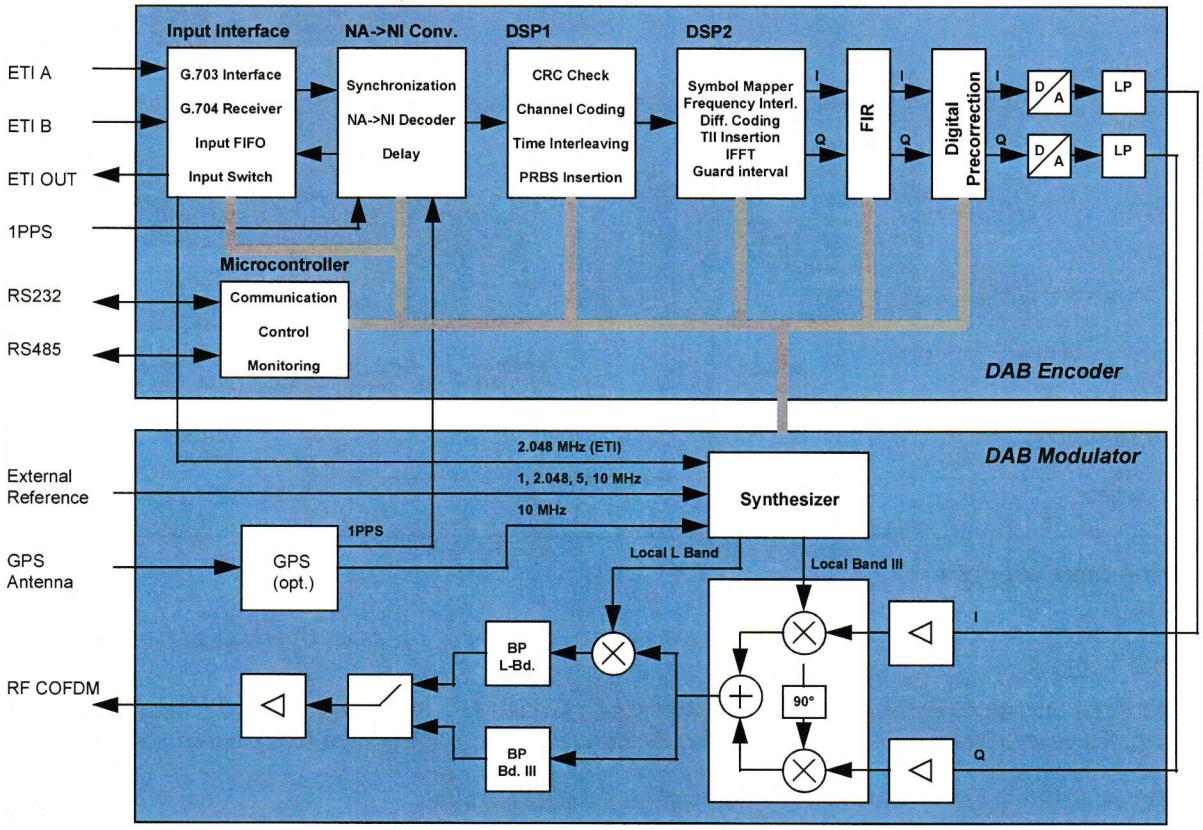


Bild 1: Blockschaltbild der DAB Vorstufe

Die DAB Vorstufe besteht aus den Baugruppen DAB Encoder (SDBDAB1) und DAB Modulator (SDBDAB2).

Der Encoder beinhaltet die Verarbeitung des Eingangssignals, die Kanalcodierung und -modulation sowie die digitale Vorverzerrung. Er übergibt die analogen DAB Basisbandsignale an den Modulator. Der Encoder enthält außerdem den Microcontroller, der die gesamte Vorstufe steuert und die Kommunikation zur Sendersteuerung übernimmt.

Der Modulator ist für die Frequenzaufbereitung und die Umsetzung der Basisbandsignale in die Hochfrequenzlage verantwortlich. Er kann optional einen GPS-Empfänger als interne Referenz aufnehmen.

1.5.3 Input Interface

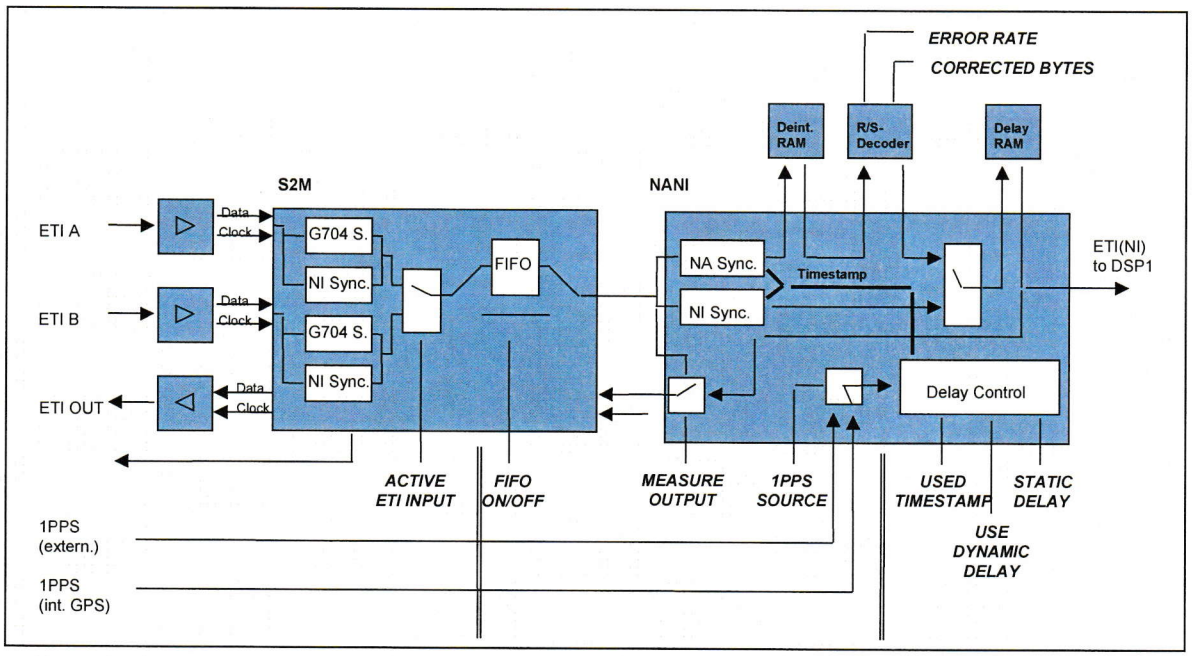


Bild 2: Input Interface

1.5.3.1 Input

Das Input Interface besteht aus zwei physikalischen Eingängen: einem Haupt- und einem Reserveeingang. Es verarbeitet als Eingangssignal das Ensemble Transport Interface (ETI) in den Varianten:

ETI(NA, G704)$_{5592}$:	Network adapted layer mit 5592 Nutzbytes
ETI(NA, G.704)$_{5376}$:	Network adapted layer mit 5376 Nutzbytes
ETI(NI,G.703):	Network independent layer

Die Eingänge arbeiten nach den ITU-Empfehlungen G.703 / G.704 und können per Steckbrücke an die dort definierten Eingangswiderstände (75 und 120 Ohm) angepasst werden. Optional kann eine Impedanzwandlerbaugruppe mit hochohmigem Eingang >2 kOhm eingebaut werden. Zur Realisierung der physikalischen Eingänge besitzt jeder Eingang einen Pufferbaustein, der auch den jeweiligen Takt des Signals regeneriert. Beide Eingangssignale gelangen dann in den G703/G704-Empfangsbaustein (S2M-FPGA im folgenden S2M genannt)). Dort werden beide Eingänge parallel auf G.704-Rahmen sowie NI-Synchronisation untersucht. S2M synchronisiert sich so automatisch auf den anliegende ETI-Variante auf sowohl für den aktiven als auch für den redundanten Eingang. Mit Hilfe des Schalters **ACTIVE ETI INPUT** erfolgt die Auswahl des aktiven Eingangssignals. Das ausgewählte Eingangssignal wird dann in einen Datenpuffer (FIFO) eingespeist.
Das FIFO besitzt eine Tiefe von 72 ms und eliminiert Jitter- und Wandererscheinungen im Datentakt des Eingangssignals gegenüber dem Mastertakt der Vorstufe von bis zu ± 24 ms (± 49152 Bit). Mit Hilfe des Schalters **FIFO ON/OFF** kann das FIFO ausgeschaltet werden.

☞ Bei ausgeschaltetem FIFO ist der Verarbeitungstakt der Vorstufe an den Datentakt des Eingangssignals gekoppelt, um so Datenverluste durch Jitter- und Wandererscheinungen zu vermeiden.

☞ Bei eingeschaltetem FIFO ist der Verarbeitungstakt der Vorstufe an den Referenzoszillator gekoppelt und damit sehr stabil. Taktschwankungen des Zuführungsnetzwerkes können so nicht in das DAB-Ausgangssignal überkoppeln.

Das FIFO sollte eingeschaltet werden:

- im Gleichwellennetz, wenn der dynamische Laufzeitausgleich genutzt wird und ein gültiger Timestamp im ETI-Signal enthalten ist; dies ist die zu bevorzugende Betriebsart.
- wenn im Zuführungsnetzwerk starke Taktschwankungen auftreten, die ohne FIFO nicht ausgeglichen werden können.

Das FIFO sollte ausgeschaltet werden:

- im Gleichwellennetz, wenn kein gültiger Timestamp in das ETI-Signal eingetastet werden kann, die Zuführungslaufzeiten zu den einzelnen Senderstandorten aber stabil sind (z.B.Satellitenzuführung) und so das Gleichwellennetz mit Hilfe des statischen Laufzeitausgleichs eingestellt werden kann;
- wenn die statische Taktungenauigkeit des Eingangssignals so groß ist, daß in relativ kurzen Abständen FIFO-Unter- oder Überläufe zu erwarten wären. Der Oszillator für den Verarbeitungstakt kann Taktungenauigkeiten im Eingangssignal von bis zu ± 100 Hz folgen.

Der Eingangsdatenstrom wird nun einem Logikbaustein (im folgenden als NANI bezeichnet) zugeführt, der folgende Aufgaben ausführt:

- Synchronisation auf die Rahmenstruktur von 24 ms
- NA/NI-Konvertierung, falls ein ETI(NA)-Signal anliegt
- dynamische Delaykompensation
- statisches Delay
- Extraktion des MNSC und NASC

NANI detektiert automatisch, ob ein ETI(NI) oder ein ETI(NA)-Signal anliegt. Wurde die Synchronisation auf das Eingangssignal erreicht, so wird an der Buchse Test ein zum Rahmenbeginn synchroner 24 ms-Puls (FS24_INPUT) ausgegeben. Desweiteren wird der Framecounter im ETI-Signal ausgewertet, der eine Periode von 6 Sekunden aufweist. Immer dann, wenn der Framecounter den Wert 0 erreicht, wird ebenfalls ein Puls (Signal 6S_INPUT) ausgegeben.

Falls ein ETI(NA) Signal anliegt, wird das Signal in ein ETI(NI)-Signal konvertiert. Bei der Konvertierung erfolgt die Reed-Solomon-Decodierung sowie das Deinterleaving. Die Anzahl der korrigierten Bytes sowie die Anzahl der nicht korrigierbaren Datenblöcke werden gezählt und im Menü Error Correction dargestellt.

Mit dem Parameter **MEASURE OUTPUT** wird festgelegt, welches Signal NANI auf den ETI-Ausgang legt. Bei "RECOVERED ETI INP" wird das Eingangssignal nach der Taktregeneration und dem Datenpuffer wieder ausgegeben. Es hat dann noch keine Konvertierung oder Delayline durchlaufen. Falls die Schalterstellung "DELAYED NI" gewählt wird, wird das Signal, das an der Schnittstelle zur COFDM-Codierung (Eingang DSP1) anliegt - also nach der NA/NI-Konvertierung sowie dynamischem und statischem Delay - ausgegeben.

Der DAB Ensemble Multiplexer kann in den Header des ETI Signals den MNSC (Multiplex Network Signalling Channel) einfügen. Über den MNSC können über eine zu vergebende Adresse die Sender des Sendernetzes separat angesprochen und bestimmte Parameter (TII, Offset Delay) eingestellt werden. NANI extrahiert die Datenbytes des MNSC (Multiplex Network Signalling Channel) und übergibt diese an den Microcontroller zur weiteren Verarbeitung.

1.5.3.2 Delay

Die im ETI Signal enthaltenen Timestamps werden von NANI ausgewertet. Über den Parameter **USED TIMESTAMP** kann ausgewählt werden , ob der LI-Timestamp oder der im ETI(NA)-Signal zusätzlich enthaltene NA-Timestamp zur Steuerung der Delaykompensation herangezogen werden soll. Die Timestamps werden bis zum Level 4 (488 ns) lt. ETS 300799 ausgewertet.

NANI realisiert mit Hilfe eines externen RAM-Bausteins die Delaykompensation.

Das Delay kann logisch aufgeteilt werden in einen Teil, der unterschiedliche Laufzeiten im Zuführungsnetzwerk ausgleicht und in einen weiteren Teil, der sich auf den Sender selbst bezieht.

In der Relisierung teilt sich das Delay auf in einen dynamischen und einen statischen Teil.

1.5.3.3 Network Delay: Dynamisches Delay / Additional Static Delay

Der dynamische Teil des Delays wird mit Hilfe des Timestamps gesteuert und mit dem Schalter **TIMESTAMP ON/OFF** ein- bzw. ausgeschaltet. NANI kann den dynamischen Laufzeitausgleich aber nur durchführen, falls am gewählten Eingang für den Sekundenpuls (Parameter **1PPS SOURCE** im Menü Input) ein 1pps Signal anliegt und NANI sich darauf auch mit seinem Mastertakt synchronisieren konnte. Dazu benötigt es nach dem Start mindestens 3 Sekundenpulse, die ohne Jitter (< 488 ns) genau im Sekundenraster liegen. NANI wertet dafür die steigende Flanke der Pulse aus.

Ist die Synchronisation auf den Sekundenpuls nicht gelungen, wird, falls das dynamische Delay eingeschaltet ist, kein Signal an die nachfolgenden Verarbeitungsstufen ausgegeben. Die Vorstufe gibt dann kein Ausgangssignal ab. Ist jedoch die Synchronisation einmal gelungen, so kann das 1pps Signal auch einmal ausfallen, ohne daß das Ausgangssignal beeinträchtigt wird. Nach der Synchronisation überprüft NANI nur noch, ob der Sekundenpuls, wenn er denn anliegt, innerhalb eines Fenster liegt. Liegt der Sekundenpuls dauerhaft (für länger als 5 Sekunden) außerhalb des Fensters, dann erfolgt eine Synchronisation auf die neue Position des 1pps. Dies ist dann auch mit einer Anpassung des Laufzeitausgleichs und damit mit einer kurzen Signalunterbrechung verbunden.

Die Größe des Fensters wird mit dem Parameter **1 PPS WINDOW** festgelegt. Der Parameter wird in Bytes angegeben und bezieht sich auf die Bitrate des Eingangsdatenstroms. Wenn beispielsweise als Fenster "1 Byte" eingestellt wird, so bezeichnet dies ein Fenster von ± 3,9 µs. Das dynamische Delay wird mit einer Auflösung von 488 ns eingestellt und kann bis zu 1 Sekunde betragen.

Ist das dynamische Delay ausgeschaltet, so kann getrennt für die beiden Eingänge ein zusätzliches statisches Delay (**ADD. STATIC DLY INPUT1/2**) eingestellt werden, das Unterschiede in der Laufzeit zweier Zuführungswege statisch ausgleichen kann. Es kann bis zu 0,5 Sekunden betragen.

1.5.3.4 Transmitter Delay: Statisches Delay des Senders / Offset Delay

Das statische Delay wird mit dem Parameter **STATIC TX DELAY** eingegeben und umfasst die Verarbeitungszeit des Senders und ein zusätzliches statisches Delay, das Herstellerunterschiede bei der Verarbeitungszeit ausgleichen soll. kann ebenfalls bis zu 0,5 Sekunden betragen. Es kann mit einer Auflösung von 0,5 µs eingegeben werden und ist mit einer Schrittweite von 488 ns realisiert. Das Static Tx Delay muß bei jedem Sender eines Gleichwellennetzes gleich eingestellt werden.

Mit dem Schalter **OFFSET DELAY ON/OFF** kann dem statischen Delay eine weitere statische Komponente hinzugefügt werden. Das Offset Delay kann im ETI(NI)-Signal im MNSC übertragen werden. Falls der Parameter auf "ON" steht, wird das statische Delay vom Microcontroller um das Offset Delay erhöht.

Im Feld **TOTAL TX DELAY** wird die Summe aus Static Tx Delay und Offset Delay angezeigt.

1.5.3.5 Verarbeitungszeiten des SDB600

Die Verarbeitungszeit der SDB600 ist unterschiedlich für die verschiedenen DAB-Modi sowie auch davon abhängig, ob das dynamische Delay eingeschaltet ist oder nicht:

DAB-Mode	dyn. Delay	ETI-Layer	Verarbeitungszeit / ms	Ungenauigkeit wegen FIFO
FIFO = X				
I	ON	NI/NA	120,009	0
II	ON	NI/NA	48,009	0
III	ON	NI/NA	48,009	0
IV	ON	NI/NA	72,009	0
FIFO=OFF				
I	OFF	NI	144,518	0
II	OFF	NI	72,518	0
III	OFF	NI	72,518	0
IV	OFF	NI	96,518	0
FIFO=OFF				
I	OFF	NA	168,018	0
II	OFF	NA	96,018	0
III	OFF	NA	96,018	0
IV	OFF	NA	120,018	0
FIFO=ON				
I	OFF	NI	144,518	±24 ms
II	OFF	NI	72,518	±24 ms
III	OFF	NI	72,518	±24 ms
IV	OFF	NI	96,518	±24 ms
FIFO=ON				
I	OFF	NA	168,018	±24 ms
II	OFF	NA	96,018	±24 ms
III	OFF	NA	96,018	±24 ms
IV	OFF	NA	120,018	±24 ms

Das Static Tx Delay wird ab Werk auf folgende Werte eingestellt:

Mode I: 200ms
Mode II: 120 ms
Mode III: 120 ms
Mode IV: 150 ms

Es kann auf maximal 500 ms erhöht werden. Minimal kann die in der Tabelle angegebene Verarbeitungszeit des SDB600 eingestellt werden.

1.5.3.6 Impulsausgänge

NANI gibt an der Testbuchse ein zu dem verzögerten Signal synchronen 24ms-Puls (FS24_DELAY). Dieser bildet auch die Grundlage für die folgende Verarbeitung. Desweiteren wird auch hier der Framecounter detektiert und ein Puls (6S_DELAY) erzeugt, wenn der Framecounter einen Nulldurchgang hat. Der Vergleich der 6S-Pulse vom Eingang und nach dem Delay ergibt also die Durchlaufzeit durch die Eingangsverarbeitung bis zum Eingang des eigentlichen COFDM-Coders.

1.5.4 Error Correction

Im ETI-Signal sind in den unterschiedlichen Signallayern Möglichkeiten zur Fehlererkennung und -korrektur definiert.

1.5.4.1 Reed-Solomon-Decodierung

Im ETI(NA)-Signal werden die Nutzdaten mit einem Reed-Solomon-Code geschützt. Bei der Codierung werden die Nutzbytes zu Blöcken zusammen gefasst, an die die Code bytes angehängt werden. Der Reed-Solomon Decoder decodiert die Datenblöcke und korrigiert dabei fehlerhafte Datenbytes. Die Anzahl der korrigierten Bytes je Datenblock wird im Feld **CORRECTED BYTES** angegeben. Ist die Fehlerhäufigkeit zu hoch, so kann der Decoder die Blöcke nicht mehr korrigieren. NANI zählt dann die Anzahl der nicht korrigierbaren Blöcke je 24 ms und gibt den Wert bei **ERROR RATE** aus. Der verwendete Reed-Solomon-Code kann Bitfehlerraten von maximal 10E-3 korrigieren.

1.5.4.2 CRC-Checks im ETI(NI)-Signal

Im ETI(NI)-Signal werden Header und Nutzdaten jeweils mit einem CRC-Wort übertragen. Mit Hilfe dieser Checksumme läßt sich feststellen, ob die Daten fehlerbehaftet sind oder nicht. Die Checksummen im ETI(NI)-Signal werden im DSP1 ausgewertet. Der Header des ETI-Signals enthält die Konfigurationsinformation für die Kanalcodierung im DSP1. Ist der Header fehlerhaft, so wird der vorher empfangene, fehlerfreie Header zur Konfiguration weiterverwendet. Mit dem Schalter **IGNORE ETI ERROR** eingestellt, ob Fehler im Header oder bei den Nutzdaten ignoriert werden sollen. CRC-Fehler führen dann nicht mehr zu einem Abschalten des Ausgangssignals des Senders.

Bei den Parametern **MAX. CRC HEADER ERROR** bzw. **MAX. CRC DATA ERROR** kann die Anzahl der CRC-Fehler im Header bzw. bei den Nutzdaten angegeben werden, die innerhalb eines Messfensters auftreten dürfen, ohne daß das Ausgangssignal abgeschaltet wird. Die Größe des Messfensters (in ETI-Rahmen a 24 ms) wird bei **OVER MEASURED FRAMES** eingegeben.

Mit **SIGNAL OK AFTER CORRECT FRAMES** wird die Anzahl der Rahmen definiert, die ohne CRC-Fehler hintereinander empfangen werden müssen, damit das Ausgangssignal wieder freigegeben wird.

1.5.5 DAB-Parameter

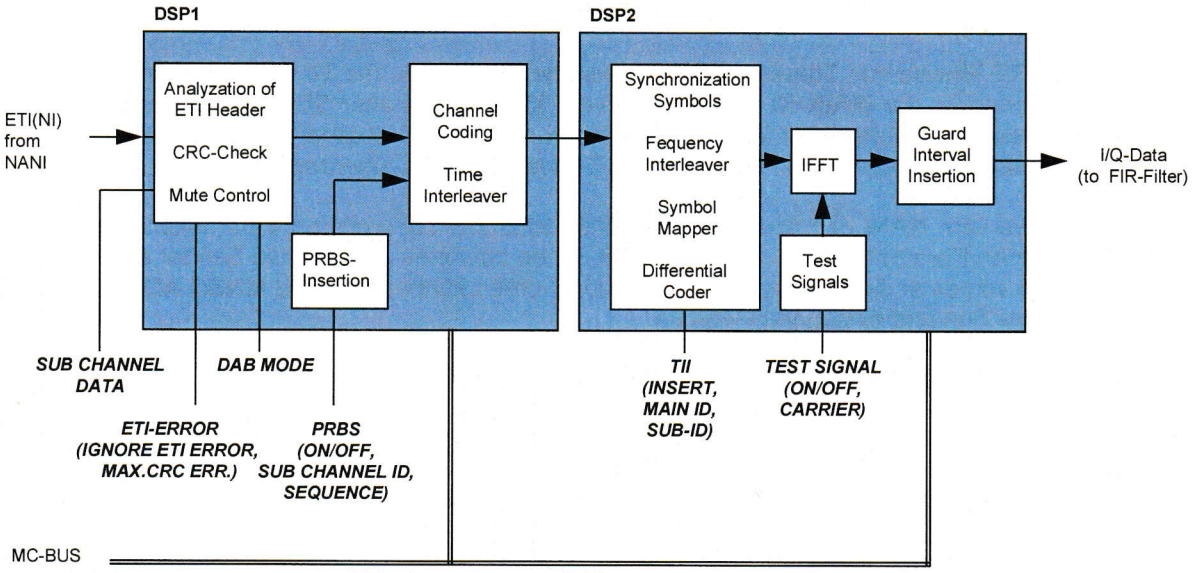


Bild 3: Kanalcodierung und -modulation

In der nachfolgenden Verarbeitung analysiert der DSP1 zunächst den Header des ETI-Signals. Dort finden sich Informationen wie der DAB-Mode sowie Anzahl, Art und Fehlerschutz der Nutzdatenkanäle. Der DSP1 führt dann entsprechend die Kanalcodierung (Energy Dispersal, Faltungscodierung sowie Time-Interleaving) durch. Werden im Header des ETI Signals dynamische Rekonfigurationen signalisiert, so folgt der DSP1 diesen automatisch.

In dem Zwischenspeicher zum DSP2 sammelt der DSP1 die Daten, die zu einem Transmission Frame gehören. Der DSP2 fügt zunächst am Beginn eines Transmission Frame das Nullsymbol und das Time-Frequency-Phase-Reference (TFPR) Symbol ein. Bei der Berechnung des Nullsymbols kann der DSP2 das Trägermuster für die Senderkennung (Transmitter Identification Information : TII) einfügen.

Nach der Berechnung dieser Synchronisationssymbole werden die Daten, die zu einem Symbol im DAB-Zeitsignal gehören sollen, aus dem Zwischenspeicher blockweise ausgelesen und den einzelnen Unterträgern zugeordnet (Frequency Interleaving). Dann erfolgt für jeden Unterträger die Differenzcodierung im Verhältnis zur Phasenlage des Unterträgers im vorhergehenden Symbol. Anschließend wird mit einer inversen Fouriertransformation (IFFT) das Zeitsignal berechnet. Das so generierte DAB-Symbol wird aus dem DSP2 ausgelesen und dabei das Guard Interval gebildet.

1.5.5.1 DAB-MODE

Der DAB-Mode, in dem der Sender arbeiten soll, kann einerseits aus dem Header des ETI Signals-übernommen werden, aber auch lokal festgelegt werden. Dazu dient der Schalter **SELECT DAB MODE ETI/LOCAL**.

Im Feld **DAB MODE (ETI)** wird der Mode angezeigt, der im ETI-Signal übertragen wird.
Mit dem Parameter **DAB MODE (LOCAL)** wird der DAB-Mode lokal festgelegt, falls der Schalter SELECT entsprechend eingestellt ist.

1.5.5.2 MNSC/TII

Mit Hilfe der Transmitter Identification Information (**TII**) wird ein Trägermuster festgelegt, das im Nullsymbol übertragen wird und eine Senderkennung darstellt.

Im Feld **INSERT TII** wird das Trägermuster ein- oder ausgeschaltet. Die TII wird mit Hilfe von zwei Parameter beschrieben: der **MAIN-ID** und der **SUB-ID**. Mit dem Schalter **SELECT TII** kann bestimmt werden, ob diese Parameter lokal festgelegt oder aus dem MNSC übernommen werden. In den Feldern **MAIN/SUB-ID(MNSC)** werden die für diesen Sender im MNSC übertragenen Werte angezeigt.

Der MNSC wird vom NANI extrahiert und dem Microcontroller zur weiteren Verarbeitung übergeben. Im MNSC werden Parametersätze übertragen, mit denen über eine Adresse die Sender eines Sendernetzes einzeln von einer Zentrale aus angesprochen werden können. Im Feld **MNSC ADDRESS** kann die Adresse des Senders eingegeben werden.

Ein Parametersatz enthält die folgenden Angaben:

- TII
- Offset Delay
- Transmitter Control Flags

Die **Transmitter Control Flags** werden nur angezeigt. Sie haben keine betriebliche Auswirkung, da bislang keine Anwendung in der ETS 300799 definiert wurde.

1.5.5.3 Subchannel Data

Wie bereits erwähnt, analysiert der DSP1 den Header des ETI-Signals. Der Header enthält Informationen über die Zusammensetzung des DAB-Signals wie Anzahl, Art, Datenrate und Fehlerschutz der Nutzdatenkanäle. Das Fenster **SUBCHANNEL** stellt diese Informationen dar:

- **SUB CHANNEL ID**: logische Nummer des Kanals im DAB-Signal
- **TYPE**: Art des Fehlerschutzes; meistens werden Audiosignale mit UEP und Datensignal mit EEP übertragen
- **DATA RATE**
- **PROT.LEVEL**: Ebene des Fehlerschutzes
- **ADDRESS**: Startadresse des Subchannels im DAB-Signal

1.5.6 Test

DSP1 und DSP2 erlauben die Erzeugung von verschiedenen Testsignalen.

1.5.6.1 Master / Slave

Mit dem Schalter **Operation Mode** kann eingestellt werden, ob der DAB Modulator das ETI-Signal (Slave) oder eine lokal gespeicherte Konfiguration (Master) verarbeiten soll. Im Master Mode benötigt der Steuersender kein Eingangssignal, um ein DAB-Signal zu erzeugen. Das erzeugte DAB Signal enthält keine nutzbaren Daten sondern lediglich in einem Subchannel eine Pseudo Random Binary Sequence (PRBS), falls diese eingeschaltet wurde. Diese Funktion ermöglicht die Messung der Bitfehlerrate, auch wenn kein Eingangssignal zur Verfügung steht.

Im Master-Mode wird das folgende DAB Ensemble erzeugt:

Subchannel	Art	Datenrate	Protection Level
1	Audio	256 kbit/s	4
2	Audio	224 kbit/s	3
3	Audio	224 kbit/s	4
4	Audio	192 kbit/s	3
5	Audio	192 kbit/s	4
6	Audio	64 kbit/s	3
7	Daten	64 kbit/s	3
8	Daten	24 kbit/s	2

1.5.6.2 PRBS-Einfügung

Zur Durchführung von Messungen der Bitfehlerrate können anstatt von Nutzdaten Pseudo-Random-Datensequenzen übertragen und mit Hilfe eines Bitfehlermeßgeräts wieder ausgewertet werden.

Der DSP1 kann unterschiedliche Pseudo-Random-Binary Sequenzen (PRBS) erzeugen und in einen Subchannel einfügen. Die PRBS-Einfügung wird sowohl im Master- als auch im Slave-Mode unterstützt. Im Slave-Mode wird bei der Einfügung der Nutzinhalt des entsprechenden Subchannels durch die Datensequenz ersetzt.

Mit dem Schalter **INSERT PRBS** wird die Einfügung ein- und ausgeschaltet.

Im Feld **SUBCHANNEL** wird die ID des Subchannels festgelegt, in den die PRBS eingefügt werden soll. Im Slave-Mode muß es sich dabei um einen existierenden Subchannel handeln, also um eine ID, die im ETI-Signal definiert ist. Auch im Master-Mode wird die Einfügung nur für einen existierenden Subchannel (sh. Kapitel 1.4.1) durchgeführt. Mit dem Schalter **SEQUENCE** kann die gewünschte Pseudo-Random-Folge ausgesucht werden.

1.5.6.3 Test Signal

Der DSP2 kann anstatt des DAB-Zeitsignals einzelne unmodulierte Träger berechnen. Diese können dann z.B. zur Funktionsüberprüfung des I-Q-Modulators verwendet werden. Im Feld **SIGNAL CARRIER** wird dafür die Frequenz des Trägers festgelegt. Mit dem daneben liegenden Schalter **GENERATE TESTSIGNAL** wird die Testsignalgenerierung ein-/bzw. ausgeschaltet.

Es ist zu beachten, daß die Träger in Abhängigkeit vom DAB-Mode mit unterschiedlichem Frequenzabstand angeordnet sind. Der Abstand der Träger und damit die minimale Frequenz, die erzeugt werden kann, beträgt im Mode I 1 kHz, im Mode II 4 kHz, im Mode III 8 kHz und im Mode IV 2 kHz. Als maximale Frequenz kann der Träger bei 768 kHz erzeugt werden.

1.5.7 Digitale Vorverzerrung

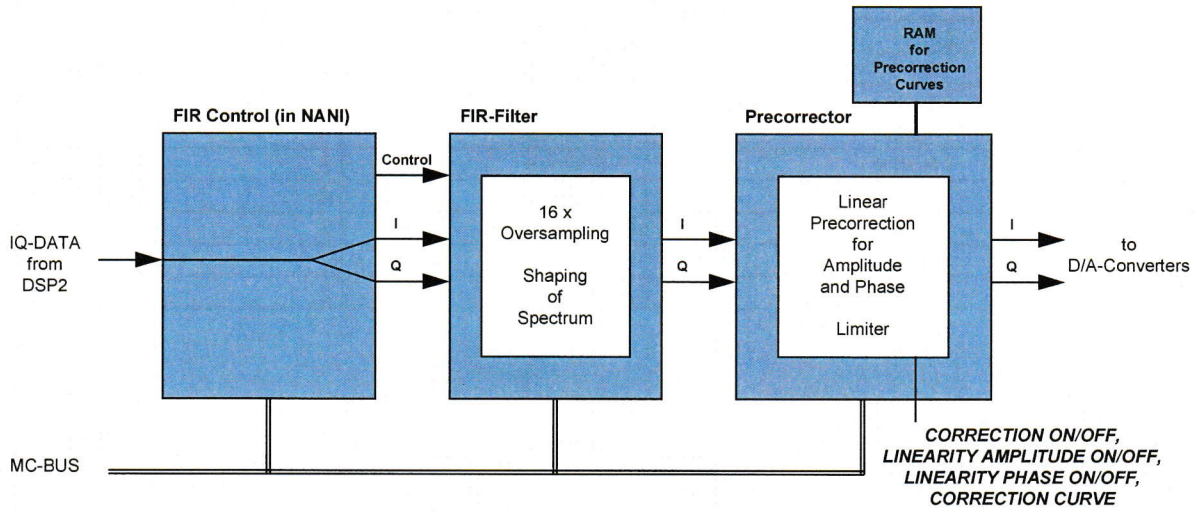


Bild 4: Nachverarbeitung und digitale Vorverzerrung der DAB Basisbandsignale

Aus dem DSP 2 wird das DAB-Zeitsignal als digitales, komplexes Basisbandsignal, also mit Inphase- und Quadraturkomponente ausgelesen. Bei der anschließenden digitalen Filterung wird die Abtastrate um den Faktor 16 angehoben und so die zur Linearitätsvorverzerrung notwendige Bandbreite geschaffen. Zudem wird das Signal gefiltert, um Modulationsprodukte der Randträger zu beseitigen, die die Spektrumsmaske verletzen würden. Diese könnten mit einem analogen Filter in der HF-Lage nicht mehr beseitigt werden.

Die digitale Entzerrung wird mit einem Entzerrermodul durchgeführt, das auf die Encoderbaugruppe aufgesteckt wird. Auf dem Modul befinden sich ein programmierbarer Logikbaustein zur Berechnung des vorverzerrten Signals sowie der Kennlinienspeicher. Die digitale Entzerrung arbeitet mit einer Abtastfrequenz von 32,768 Mhz (bei einer Bandbreite des unverzerrten Signals von ca. 800 kHz), sodaß die spektralen Produkte, die durch die Entzerrung entstehen, ohne Verletzung des Abtasttheorems übertragen werden können.

Die Vorverzerrung teilt sich in zwei voneinander unabhängige Zweige auf: die Entzerrung der Momentanamplitude und die Entzerrung der Momentanphase. Im Menü "Precorrection"-"Operation" wird mit Hilfe des Schalters **LINEARITY CORRECTION** die gesamte Entzerrung ein- oder ausgeschaltet. Mit **LINEARITY AMPLITUDE** wird lediglich der Amplitudenzweig und mit **LINEARITY PHASE** lediglich der Phasenzweig ein- bzw. ausgeschaltet.

Im Menü "Precorrection"-"Linearity" können die Kennlinien für Amplitude und Phase mit bis zu 16 Stützstellen festgelegt werden. Die einzelnen Stützwerte werden unter **POINT** angewählt und aktiviert oder deaktiviert. Mit **POSITION** wird die Position des Stützwertes in der Kennlinie in % der maximalen Aussteuerung angegeben. Mit **MAGNITUDE** wird die Korrektur der Momentanamplitude festgelegt, wenn diese gleich der Position des Stützwertes ist.

Durch Anwahl des Knopfes **AMPLITUDE** kann zur Phasenkennlinie gewechselt werden. Entsprechend gelangt man durch Anwahl des Knopfes **PHASE** wieder zur Amplitudenkennlinie. Aus den Stützwerten berechnet der Microcontroller das Kennlinienfeld und speichert dieses im Kennlinienspeicher auf dem Entzerrermodul. Bei der Entzerrung ist zu beachten, daß die Amplitudenkennlinie Einfluß auf den Ausgangspegel der DAB-Vorstufe hat. Wenn also die Kennlinie verändert wird, ist sicherzustellen, daß die Ausgangsleistung des Steuersenders hoch genug ist. Dies wird mit der Statusanzeige "RF vorhanden" signalisiert. Die Ausgangsleistung kann mit dem Parameter **LEVEL HF** im Menü Output eingestellt werden.

1.5.8 I-Q-Modulation und Synthesizer (Output)

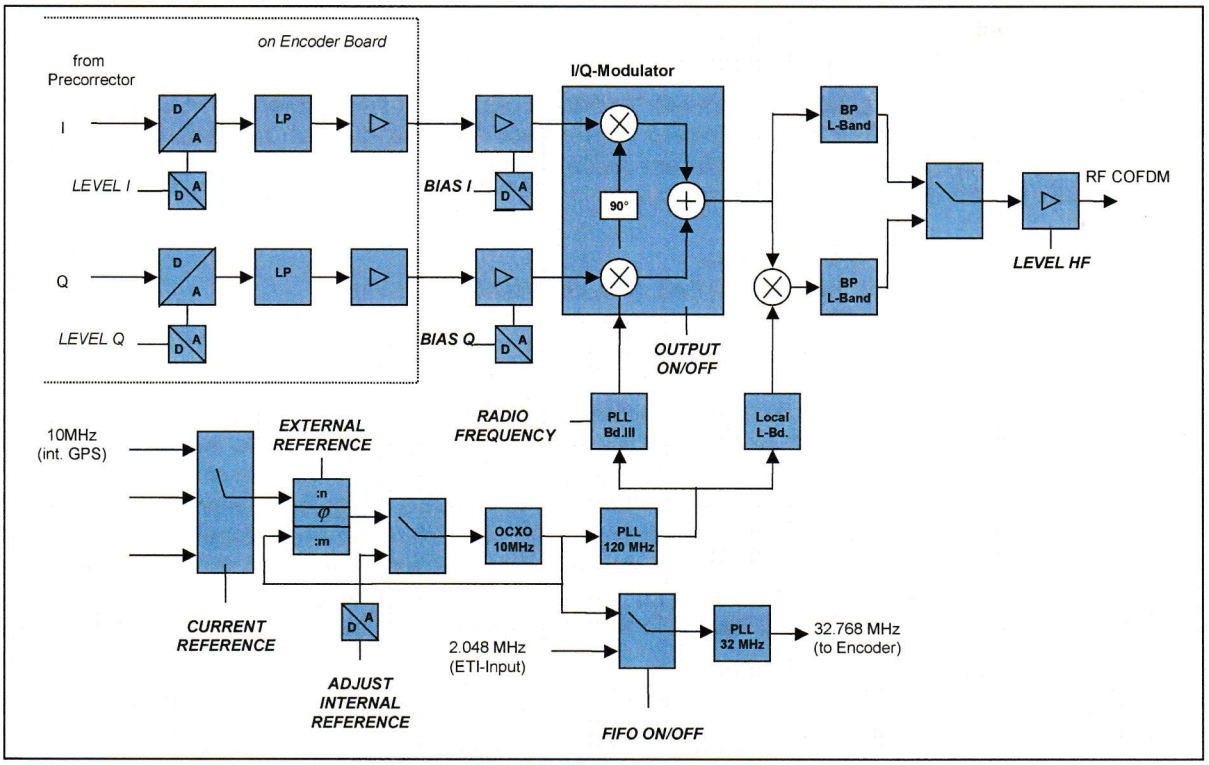


Bild 5: Frequenzaufbereitung und IQ-Modulation

1.5.8.1 IQ-Modulator

Nach der Entzerrung werden die Basisbandsignale in Analogsignale konvertiert. Die Auflösung der D/A-Wandler beträgt dabei 12 Bit. Der folgende analoge Tiefpass beseitigt die Abtastprodukte. Über Pufferverstärker erfolgt dann die Ausgabe der Signale an die Modulator-Baugruppe. Der Pegel der analogen Basisbandsignale kann über den Microcontroller über 8 Bit D/A-Wandler abgeglichen werden. Dazu dienen die Werte **LEVEL I** und **LEVEL Q**. Diese werden auf der Encoder-Baugruppe als werkseitiger Einstellwert gespeichert und sind nur zum Service autorisierten Benutzern zugänglich.

Auf der Modulator-Baugruppe werden die Basisbandsignale mit Hilfe einer direkten Quadraturmodulation in die Band III Frequenzlage umgesetzt. Damit dabei die Trägerunterdrückung gewährleistet ist, muß der Gleichanteil der Basisbandsignale abgeglichen werden. Dies geschieht ebenfalls über 8 Bit D/A-Wandler mit Hilfe der Werte **BIAS I** und **BIAS Q**. Auch bei diesen Werten handelt es sich um Abgleichwerte, die nicht allgemein zugänglich sind. Falls das DAB-Signal im L-Band erzeugt werden soll, wird das Signal aus dem Band III mit einer festen Mischfrequenz in das L-Band gemischt. Die eigentliche Frequenzeinstellung erfolgt bei der IQ-Modulation in das Band III.

Das Ausgangssignal der DAB-Vorstufe kann mit dem Schalter **OUTPUT** ein- oder ausgeschaltet werden. Mit dem Wert **LEVEL Hf** kann wird der Pegel des Ausgangssignals festgelegt. Der Pegel muß so eingestellt werden, daß die Statusanzeige "RF vorhanden" anzeigt.

1.5.8.2 Synthesizer

Der Bereich für die Ausgangsfrequenz des Steuersenders wird mit dem Parameter **RADIO FREQUENCY BAND** eingestellt.

Die Mittenfrequenz des DAB-Signals wird mit dem Parameter **RADIO FREQUENCY** festgelegt.

Die Erzeugung der Local Frequenz für den I-Q-Modulator basiert auf einer Referenz-PLL. Diese besitzt einen geheizten Ofenquarz (OCXO) mit einer Frequenz von 10 MHz, der sich auf verschiedene Referenzquellen synchronisieren lässt. Die Referenzquelle wird mit dem Schalter **CURRENT REFERENCE** eingestellt. Es existieren vier Schalterstellungen:

- 10 MHz vom internen GPS-Empfänger
- externe Referenzfrequenz mit 1MHz, 2.048 MHz, 5 MHz oder 10 MHz
- 2.048 MHz Takt vom ETI-Signal
- Einstellung der Frequenz des OCXO über einen D/A-Wandler

Falls der interne GPS-Empfänger als Quelle festgelegt wird, sollte auch der Sekundenpuls des internen GPS-Empfängers für den Betrieb im Gleichwellennetz verwendet werden. So ist die Synchronität zwischen Zeit- und Frequenzreferenz gewährleistet. Falls eine externe Referenz verwendet wird, so muß deren Frequenz mit dem Schalter **EXTERNAL REFERENCES** festgelegt werden. In diesem Fall sollte für den Betrieb im Gleichwellennetz ein dazu synchroner, externer Sekundenpuls angeschlossen werden. Wenn als Referenz der Takt des ETI Eingangssignals verwendet werden soll, so ist zu beachten, daß der Ziehbereich der Referenz PLL ca. ± 15 Hz beträgt. Daher darf die Frequenz des ETI-Signals um maximal 3 Hz abweichen, damit die Referenz-PLL sich auf diese Referenz synchronisieren kann.

Für den Fall, daß keine externe Frequenzreferenz angeschlossen werden soll, wird der OCXO in der Schalterstellung "intern" vom Microcontroller mit Hilfe eines D/A-Wandlers auf die richtige Frequenz eingestellt. Der Parameter **ADJUST INTERNAL REFERENCE** zeigt die Einstellung des D/A-Wandlers und ist ein nicht allgemein zugänglicher Serviceparameter.

Aus dem Ausgangssignal der Referenz-PLL wird eine interne Referenz von 120 MHz generiert. Diese steuert dann den Band III Synthesizer an. Über einen Frequenzvervielfacher wird die Mischfrequenz für den L-Bandmischer gebildet.

Der Verarbeitungstakt der digitalen Signalverarbeitung wird aus einer PLL mit einer Ausgangsfrequenz von 32,768 MHz gewonnen. Diese PLL wird durch den Ofenquarz synchronisiert. Wenn der Schalter **FIFO ON/OFF** sich aber in der Stellung off befindet, so ist die PLL an den Datentakt des aktiven Eingangssignals angehängt. Damit wird ein Datenverlust bei ausgeschaltetem FIFO verhindert. Die 32 MHz-PLL hat ein Ziehbereich von ± 50 ppm. Das bedeutet, daß die PLL Taktungenauigkeiten im Eingangssignal von bis zu ± 10 Hz folgen kann. Die Mittenfrequenz wird weiterhin aus der Referenzschleife gewonnen und wird daher nicht von Schwankungen der Eingangsdatenrate beeinflußt.

1.5.8.3 Automatik bei Ausfall der Referenzfrequenz (siehe Kapitel 3.13)

Wenn der Steuersender mit einer externen Referenzfrequenz betrieben wird, so kann der Steuersender für eine bestimmte Zeit weiter in einem Gleichwellennetz senden, selbst wenn die Referenz ausfällt. Bei anliegender externer Referenz, mißt dazu der Microcontroller die Regelspannung , die am OCXO anliegt, und mittelt den gemessenen Wert. Falls die Referenz ausfällt, stellt der Microcontroller die Regelspannung am OCXO über einen D/A-Wandler wieder ein. Damit bleibt die korrekte Mittenfrequenz des DAB-Signals erhalten.

Die Automatik wird im Menü "CCU"-"OPERATION" unter **AUTOMATIC REF.FREQUENCY** ein- und ausgeschaltet. Die Zeit, die mit dieser Automatik bei Ausfall der Referenz überbrückt werden kann, hängt vor allem von den Schwankungen der Umgebungstemperatur und weniger von der Alterung des OCXO ab. Der Benutzer kann diese Zeit im Menü "CCU"-"SYSTEM"-"SETUP" unter **REFERENCE FAIL DELAY** festlegen. Der Wertebereich beträgt 0 bis 24 Stunden.

Falls als Referenz der optionale, interne GPS-Empfänger gewählt wurde, so geht dieser selbst in einen Holdover-Mode über, wenn der GPS-Empfang einmal nicht möglich sein sollte. Da der Referenzoszillator des Empfängers stabiler ist als der OCXO des Steuersenders, wird in diesem Fall nicht die Automatik aktiviert.

1.5.9 Microcontroller

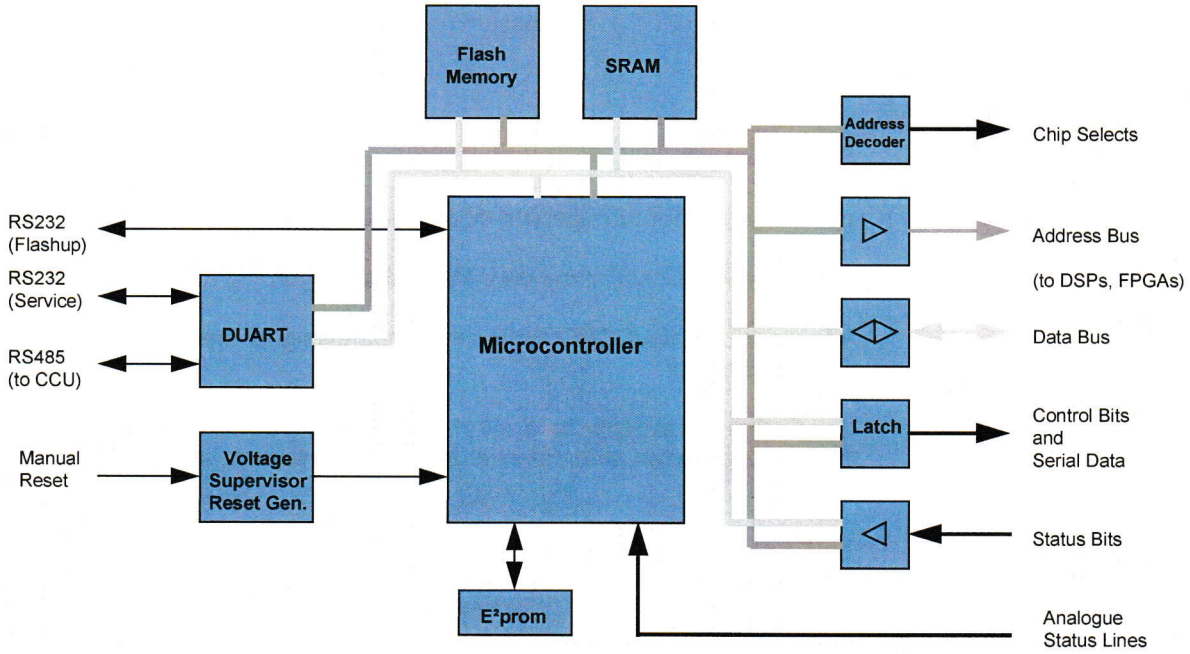


Bild 6: Rechnerkern

Der Microcontroller des Steuersenders befindet sich auf der Encoder Baugruppe. Seine Aufgaben sind die Konfiguration, Steuerung und Überwachung der Encoder- und Modulator-Baugruppe sowie die Kommunikation mit der Sendersteuerung.

Die Peripherie des MC besteht aus den folgenden Bausteinen:

- Reset / Spannungswächter: Der Wächterbaustein überwacht die Versorgungsspannung (5V) und löst bei Unterschreitung einer Schwelle einen Reset des Steuersenders aus. Desweiteren reicht er den manuellen Reset an den Microcontroller weiter. Nach einem Reset wird der Steuersender komplett neu gestartet
- Programmspeicher: Die gesamte Soft- und Firmware der DAB-Vorstufe wird in diesem Programmspeicher gespeichert. Er ist als Flash Memory ausgeführt und erlaubt den Soft- und Firmwareupdate ohne Epromtausch
- Arbeitsspeicher
- E²prom: zur Speicherung netzausfallsicheren Speicherung von Einstellungen und Fehlerereignissen
- asynchrone serielle Schnittstellen (RS232, RS485)
- synchrone serielle Schnittstellen zur Ansteuerung des Synthesizers und der Stellglieder (D/A-Wandler)
- Parallel-I/O zur Steuerung und Statusüberwachung
- Adressdecoder zur Selektierung der einzelnen Funktionsgruppen durch den Microcontroller