

Lastenheft für eine DAB+-Modulationsautomatik in SFN-Netzen

1. Einleitung

Der NDR betreibt derzeit ein analoges Sendernetz auf UKW. Dieses ist für den Havariefall so aufgebaut, dass das Signal von einem Quellpunkt an einem anderen Senderstandort empfangen und von dort wieder ausgesendet werden kann. Die Umschaltung erfolgt bei Ausfall der Leitungszuführung völlig autark, ohne Verbindung zum Netzmanagementsystem. Somit wird erreicht, dass eine flächendeckende Versorgung mit Hörfunk auch dann gegeben ist, wenn die periphere Infrastruktur ausfällt. Für DAB+ ist ein solches Konzept derzeit nicht verfügbar, soll aber entwickelt werden. Eine Hürde ist dabei, dass ein DAB+-Sendernetz aus Gleichwellennetzen (SFN) besteht. Hier strahlen mehrere Sender eines Versorgungsgebietes synchron auf einer Frequenz den gleichen Inhalt aus. Ziel ist es ein Konzept samt funktioneller Prototypen zu erstellen, das eine von der Leitungsinfrastruktur unabhängige autarke Umschaltung ausgewählter Sender eines SFNs auf ein per Ballempfang zugeführtes Signal vorsieht. Sobald alle per Leitung zugeführten Signale für die Sender im gesamten SFN wieder zur Verfügung stehen, soll bei allen Sendern automatisch auf Leitungszuführung zurückgeschaltet werden, so dass das gesamte SFN im Normalzustand arbeitet.

2. Beschreibung Istzustand

Zur Flächenabdeckung einer Region mit einem DAB+ Kanal benötigt man mehrere Sendeanlagen, die innerhalb dieser Fläche in einem sogenannten SFN (Single Frequency Network) arbeiten. Das heißt, dass alle Sender in diesem SFN mit der gleichen Sendefrequenz senden. Damit die ausgesendeten Inhalte der einzelnen Sender sich im Feld nicht stören, müssen zu jeder Zeit an allen Sendern- die identischen Daten zugeführt und abgestrahlt werden. Diese Daten werden zentral im Playout-Center (POC) erzeugt und als EDI- oder ETI- Datenströme an die Senderstandorte übertragen. Die Übertragung erfolgt bisher über angemietete, teilweise redundante Datenleitungen (ETI) oder per Satelliten Up-/Downlink (EDI). Auf die Komponenten dieses Übertragungsnetzes hat der NDR keinen Einfluss. Daher muss der NDR davon ausgehen, dass dieses Netz im Katastrophenfall nicht zur Verfügung steht.

Um die Beeinträchtigungen durch Geräteausfälle am Sender zu minimieren, verfügen diese über zwei Vorstufen, mit je 2 EDI-Eingängen, als Vorstufenreserve. Damit beide Vorstufen mit den Eingangssignalen versorgt sind, gibt es redundante Verteilverstärker (ETI), bzw. redundante Netzwerkschalter (EDI). Einige dieser Senderstandorte verfügen zudem über unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) und Netzersatzanlagen (NEA). Weiterhin wird das Sendernetz durch Repeater ergänzt. Diese empfangen das ausgesendete Signal eines anderen Standortes des SFNs und senden es erneut aus. Außerdem lassen sich alle Senderanlagen über eine IP-Anbindung innerhalb des NDR-Netzwerks aus der Ferne überwachen und bedienen. Diese IP-Anbindung nutzt bei leitungsangeordneten Standorten die gleiche Infrastruktur wie das ETI-/EDI Signal und ist damit ebenfalls nicht ausfallsicher. Weiterhin gibt es Standorte, die nur per DSL oder Mobilfunk an die Fernwirkanlage angeschlossen sind. Bei diesen muss davon ausgegangen werden, dass sie ebenfalls nicht ausfallsicher sind. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Darstellung eines DAB-SFNs mit den genannten Komponenten.

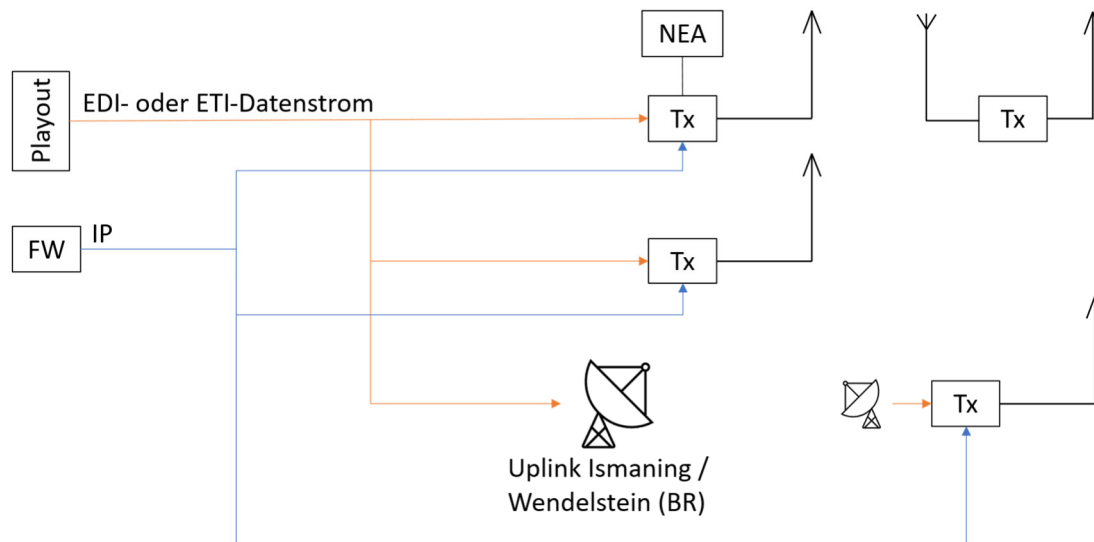


Abbildung 1: Beispielhafte Darstellung eines SFN

Das Sendernetz des Norddeutschen Rundfunks besteht aus bisher 16 SFN. Für jedes SFN steht im POC ein eigener Multiplexer zur Erzeugung des Datenstroms bereit. Als Redundanz gibt es für jedes SFN einen (räumlich getrennten) Backup-Multiplexer.

Trotz der beschriebenen Redundanzen im POC und am Senderstandort, gibt es bisher keine Blackoutsicherheit im Bereich der Datenleitungen. Ziel ist es, eine Datenzuführung für die Programminhalte zur Verfügung zu stellen, sodass im Havariefall die Sender ohne externe Infrastruktur weiterhin betrieben werden können.

3. Beschreibung Soll-Konzept

3.1

In dem Soll-Konzept erfolgt die Zuführung nur noch IP-basiert über EDI-Signale. Um im Havariefall eine definierte Mindestversorgung mit einem „Notnetz“ zu gewährleisten, wurden die Sender in Kategorien eingeteilt:

Kategorie 1 Notnetz-Sender

- hat NEA
- hat zweibeinige DisNet-Anbindung
- hat mindestens einen Ballempfang als Reserveweg. Ein zweiter Reserveweg soll manuell geschaltet werden können.
- erzwingt – bei Wegfall seines DisNet-Signals – in seinem SFN einen Wechsel auf Ballempfang für alle anderen Kategorie 1 und Kategorie 2 Sender und eine Abschaltung aller Kategorie 3 Sender
- sorgen gemeinsam für mehr als 95% Flächenversorgung (outdoor/mobil)

Kategorie 2 Ergänzungssender 1. Klasse

- hat keine NEA
- hat zweibeinige DisNet-Anbindung
- hat mindestens einen Ballempfang als Reserveweg
- wird von Notnetzsendern (Kategorie 1) ggf. mit auf Ballempfang umgeschaltet
- erzwingt selbst aber – bei Wegfall seines DisNet-Signals – kein Umschalten auf Ballempfang der übrigen Sender (sondern schaltet sich ab)
- sorgen mit Kategorie 1 für mehr als 99% Flächenversorgung (outdoor/mobil)

Kategorie 3 Ergänzungssender 2. Klasse

- hat keine NEA
- hat nur eine Sat-Anbindung oder nur eine einbeinige DisNet-Anbindung
- hat keinen Ballempfang als Reserveweg
- muss abgeschaltet werden, wenn die Notnetzsender im gleichen SFN auf Ballempfang wechseln

Kategorie 4 SFN-Repeater

- kann es a) mit oder b) ohne gesicherte Stromversorgung geben
- schaltet ab, wenn er am Standort keinen Strom mehr hat oder der Empfangspegel für Repeaterbetrieb nicht mehr ausreicht, z. B. wenn der als Quelle genutzte Sender außer Betrieb geht
- übernimmt ansonsten das Signal vom Muttersender

Die Mindestversorgung wird durch die Sender der Kategorien 1 und 2 bereitgestellt, wobei Sender der Kategorie 2 keine Umschaltung des SFN auf Havariebetrieb auslösen, wenn deren Signalzuführung ausfällt. Sender der Kategorie 3 müssen im Havariefall abschalten. Sender der Kategorie 4 nehmen als Repeater automatisch am Notnetzkonzept teil und müssen weiter nicht betrachtet werden. Mögliche Ursachen für ein Havarieszenario und einer daraus folgenden Umschaltung können unter anderem Stromausfall, Ausfall der Datenanbindung oder ein Ausfall des POCs für ein Multiplex sein.

3.2

Für die Signalzuführung im Havariefall werden Senderstandorte mit den Sendern der Kategorie 1 und 2 mit speziellen Ball-Empfängern ausgerüstet. Diese empfangen das ausgesendete Signal eines benachbarten SFN. Für die Neuaussendung im eigenen SFN wandeln diese das Empfangssignal in einen neuen EDI-Datenstrom um. Damit dieses Signal einem Sender zugeführt werden kann, ist es notwendig, dass es eine EDI-Umschalteinrichtung vor dem Sendereingang (Modulationsautomatik, MA) zur Selektion des korrekten Eingangssignals gibt.

Welches Eingangssignal an welchen Ausgangsport der MA gelegt wird, kann über eine Matrix konfiguriert werden. Das umfasst möglichst auch, dass ein Eingang an beiden Ausgängen ausgegeben werden soll. Siehe folgende Beispieldarstellungen:

Eingangsauswahl	
Ausgang 1	Ausgang 2
Primärer Eingang Input 3 ▾	Primärer Eingang Input 4 ▾
Sekundärer Eingan Input 1 ▾	Sekundärer Eingan Input 1 ▾
Manueller Eingang Input 2 ▾	Manueller Eingang Input 2 ▾

Abbildung 2 Beispielfunktion Kategorie 1

Eingangsauswahl	
Ausgang 1	Ausgang 2
Primärer Eingang Input 1 ▾	Primärer Eingang Input 2 ▾
Sekundärer Eingan Input 3 ▾	Sekundärer Eingan Input 3 ▾
Manueller Eingang —	Manueller Eingang —

Abbildung 3 Beispielfunktion Kategorie 2

Damit erreicht man eine Priorisierung der Eingangsquellen bei Leitungsausfall oder Störung der Modulationsautomatik unter Berücksichtigung einer Bypass-Funktionalität auf Input 1 und der Senderkategorie. Die Bypass-Funktionalität stellt sicher, dass bei Geräteausfall ein definierter Eingang auf einen definierten Ausgang durchgeschaltet wird.

Im Normalbetrieb werden die primären Eingänge auf EDI-Ausgang 1 und EDI-Ausgang 2 ausgegeben. Bei Ausfall dieser EDI-Signale an den Eingängen wird das EDI-Signal des ausgewählten Sekundäreinganges auf den Ausgängen 1 und 2 ausgegeben.

Fällt das reguläre, über (DisNet-)Leitung zugeführte EDI-Signal an einem Kategorie 1 Sender für eine konfigurierbare Zeit aus, schaltet die MA den EDI-Datenstrom des Ball-Empfängers auf den Eingang des Senders. Dieses muss nun auch an allen anderen Sendern der Kategorie 1 und 2 desselben SFN erfolgen.

Fällt das reguläre, über Leitung zugeführte EDI-Signal an einem Kategorie 2 Sender für eine definierbare Zeit aus, schaltet die MA nicht selbständig auf Ball. Somit geht der Sender wegen eines fehlenden Eingangssignals aus. Das Umschalten auf Ballempfang muss einem Kat. 2-Sender über seine Leitungsanbindung gesichert signalisiert werden.

Ausfall des regulären Signals bedeutet, dass die EDI-Multicastdatenströme aus Main- und Backupmultiplexer auf der bzw. den Leitungszuführungen nicht mehr vorhanden sind.

Auch soll die MA wieder in den normalen Betrieb auf Leitungszuführung zurückschalten, sobald sichergestellt ist, dass ein gültiges per Leitung transportiertes EDI-Signal aus dem Payout für eine einstellbare Zeit an allen Sendern der Kategorie 1 wieder zur Verfügung gestellt werden kann. Die Umschaltung der MA soll am Senderstandort automatisch, d. h. ohne manuellen Eingriff oder Steuerungsbefehl von außen, z. B. durch Prüfung der Datenströme, erfolgen. Die Umschaltung im SFN muss innerhalb von maximal 60 Sekunden abgeschlossen sein, damit es nicht zu länger anhalten SFN-Beeinträchtigungen kommt.

Jedoch muss auch ein Eingriff durch Mitarbeiter am Senderstandort oder im Normalbetrieb aus der Ferne möglich sein. Diese manuellen Schalthandlungen haben im Gegensatz zur Automatik die höhere Priorität. Es ist mindestens ein Eingang vorzusehen, der nur manuell angewählt werden kann.

Wie eingangs erwähnt müssen in einem SFN an allen Sendern zu jederzeit dieselben Daten zur Aussendung vorliegen. Daraus ergibt sich, dass im Havariefall oder bei manueller Steuerung alle an einem SFN beteiligten Sender, hinsichtlich ihrer Konfiguration im Havariefall, berücksichtigt werden müssen. Das Gleiche gilt auch beim Zurückschalten auf Normalbetrieb.

3.3

Es muss an einer Stelle konfigurierbar sein, ob ein Sender zur Kategorie 1 oder Kategorie 2 gehört. Ebenso muss für Wartungszwecke am Sender eine Möglichkeit gegeben sein, die betroffene MA in einen Modus zu versetzen, in dem sie nur vor Ort am Gerät bedienbar ist (Ort/Fern Modus). Die Umschaltung Ort/Fern darf nur lokal über Bedienelemente an der Gerätefront möglich sein. Zusätzlich muss sie so zu konfigurieren sein, dass sie keine Umschaltung des gesamten SFN auf Ballempfang auslöst (MA aus bzw. Wartungsmodus). In diesem Zustand soll es möglich sein, einen beliebigen Eingang zum Ausgang zu routen. Der Wartungsmodus soll sowohl lokal per Bedienelement oder auch remote umschaltbar sein. In diesem Modus sind SNMP-Meldungen, durch den Anwender, wahlweise unterdrückt.

Zur Erhöhung der Redundanz muss es an wichtigen Senderstandorten möglich sein, diese mit zwei MAen auszustatten. Die Umschaltung eines ganzen SFN auf Ball darf in diesem Fall erst erfolgen, wenn beide MAen nicht erreichbar sind. Daher muss im System ebenfalls konfigurierbar sein, welche MAen redundant ausgelegt sind, um ein entsprechendes Verhalten zu gewährleisten.

3.4

Die einzelnen Geräte sollen per SNMP an die Fernwirkanlage des NDR angeschlossen werden, um den Zustand des SFN und der zugehörigen Geräte im NDR-eigenen Managementsystem anzuzeigen. Die Meldungen sind während des Entwicklungsprozesses nach Erfordernissen abzustimmen.

3.5

Während der Entwicklung sind anhand von Prototypen gemeinsame Tests mit Begleitung des NDR durchzuführen, um die Funktionalität zu evaluieren und die Entwicklung zu unterstützen. Als Bewertungsmaßstab hierfür werden die A-Kriterien der Bewertungsmatrix/Kriterienkatalog herangezogen.

3.6

Das System hebt die Redundanz der Playoutstandorte und Senderstandorte nicht durch einen „Single Point of Failure“ auf.

4. Beschreibung von Schnittstellen

4.1 Am Senderstandort

Die Zuführung über die Leitungsanbindung („Disnet“) erfolgt mittels einer oder zwei unabhängigen EDI-Leitungen. Diese enthalten jeweils das Signal des Main- oder des Backupmultiplexers als Multicast-Datenströme auf zwei unterschiedlichen Multicastadressen. Die Anschlüsse sind physikalisch mittels zweier RJ45 Ports mit den Datenraten von 100/1000 Mbit/s realisiert. Das System darf die IGMP-Kommunikation zwischen Modulationsleitung und Sender nicht behindern. Die Source-Adresse von Multicast-Paketen wird durchgereicht.

Als Übertragungsprotokoll ist IPv4 gefordert. IPv6 ist optional einzuplanen.

Die Ballempfänger stellen das Rebroadcasting-Signal ebenfalls über eine RJ45-Buchse mit einer Multicast-Adresse zur Verfügung. An die MA sollen daher mindestens zwei zusätzliche EDI-Quellen direkt anschließbar sein.

Ferner existiert am Standort eine Fernwirkanbindung als Remotezugang. Die MA muss mindestens SNMP v2c unterstützen können. Ein Webinterface für einen Browserzugriff muss gegeben sein. Auf Java ist hierfür zu verzichten. Der Management-Port (für SNMP und Webinterface) der MA muss ebenfalls als Netzwerkschnittstelle über eine RJ-45-Buchse realisiert sein.

Es muss eine Möglichkeit vorgesehen werden, die Funktionalität der Umschaltung des gesamten SFN zu testen, indem die Ausfallkriterien innerhalb dieses Systems simuliert werden können.

4.2 Im Playout

Es gibt sowohl im Main- als auch im Havarieplayout einen EDI-Ausgang. An beiden Schnittstellen steht das identische EDI-Signal, aber mit zwei verschiedenen Multicastadressen zur Verfügung.

Physikalisch handelt es sich um Netzwerktechnik mit jeweils einem RJ45 Port 100/1000 Mbit/s.

5. Funktionale Anforderungen an das Gesamtsystem

- Die für die Funktion **zusätzlichen** Komponenten und Geräte müssen autark, d. h. bei Wegfall sämtlicher Kommunikationsverbindungen zum Senderstandort, die beschriebenen Schalthandlungen auf Havariebetrieb durchführen. Dabei ist eine einstellbare Wartezeit vor der Schalthandlung vorzusehen, so dass kurzzeitige Auslöseereignisse nicht zu Umschaltungen führen.
- Ebenso ist nach Verschwinden des Fehlers an allen betroffenen Standorten unter Einhaltung einer zeitlichen Hysterese eine selbständige Rückschaltung auf den Normalbetrieb (Leitungsanbindung des EDI-Datenstroms) erforderlich.
- Fällt die MA aus (Gerätedefekt), darf es zu keinen SFN-Störungen kommen und der Sender soll mit einem passenden Signal nach Sollkonzept versorgt werden (Bypass). Nach Netzwiederkehr, Reboot o. Ä. bleibt die MA im Bypassmodus, bis ihre eigene Funktionalität sichergestellt ist.
- Wartungsarbeiten dürfen nicht zu Störungen oder Ausfällen bzw. Umschaltungen im SFN führen.
- Skalierung des SFN (hinzufügen neuer Sender einschließlich zusätzlicher MAen) soll ohne Störungen im SFN möglich sein.

6. Nichtfunktionale Anforderungen

- Erfüllt die TR ARD 5-1.0 Teil 1 + 3 (Bedingungen für sendertechnische Geräte und Anlagen Stand 2021) Link
- Montage in 19" Gestell
- Betrieb an 230V – Netz
- Die Geräte besitzen zwei unabhängige, hot-plug-fähige Netzteile. Eine SNMP-Meldung muss bei Ausfall eines NT erzeugt werden.
- Die Geräte sollen über eine grafische Benutzeroberfläche (Web-Browser) verfügen, aus der der Gerätezustand hervorgeht.
- Die Geräte müssen vollständig über Webinterface und SNMP steuerbar sein, sowie Meldungen über den Betriebszustand abgeben/darstellen.
- Ein analoge Bedienmöglichkeit an der Gerätefront ermöglicht es die Grundfunktionalitäten einzustellen, insbesondere die Abmeldung der MA vom System für Wartungszwecke. Web-Oberfläche soll konform mit den ergonomischen Anforderungen an Bildschirmarbeitsplätze sein (z. B. Schriftgröße, Farben etc.), BITV-Test

7. Wartbarkeit

- Verbaute Komponenten müssen Standardkomponenten aus dem Industriebereich sein. Abweichungen davon sind abzusprechen.

8. Lieferumfang

- Geräte
- Benutzerhandbuch mit Beschreibung der Funktion und der Bedienung inklusive Konfigurationsbeispielen sowie den Systemarchitekturen der verwendeten Geräte und Systeme in deutscher Sprache.
- Es ist eine detaillierte Beschreibung der verwendeten proprietären Schnittstellenprotokolle zu liefern, so dass im Falle einer Geschäftsaufgabe, Geräteabkündigung oder eines Betriebsüberganges gewährleistet ist, dass einzelne Komponenten über einen langen Zeitraum nachbeschafft oder nachgebaut werden

können. Alternativ sind dem NDR die kommentierten Quelltexte sowie eine Beschreibung der Programmierwerkzeuge auszuhändigen.

- Schulung/Einweisung in die Funktion in deutscher Sprache optional buchbar