



Irreführende, technisch nicht umsetzbare minimale ERP Leistungsangaben zu aktiven, adaptiven massiv MIMO 5G Makro-Antennen in den StDb¹, Online Monitoring, QS² und adaptive Antennen

1. ERP Leistungsangaben in StDb für adaptive massiv MIMO 5G Makroantennen

An die Leistungsangaben in den StDb stellt die NISV Vollzugsordnung die Anforderung:

Gemäss Absatz 3.3, Angaben im Zusatzblatt 1: **ERP: Sendeleistung**

„Hier ist für jede Antenne die Sendeleistung (**äquivalente Strahlungsleistung**) einzutragen, welche für den massgebenden Betriebszustand beantragt wird ...“

Aenderung NISV Ziff 63, gemäss **Bundesratsentscheid vom 17.04.2019**

„Als **massgebender Betriebszustand** gilt der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung; **bei adaptiven Antennen wird die Variabilität der Senderichtungen und der Antennendiagramme berücksichtigt.**“

Seit Nutzungsbeginn der adaptiven Antennen werden in den StDb ERP Leistung für 5G Antennen (bspw. Ericsson AIR6488B42) **mit ERP Leistungen im Bereich von 50 – 150 Watt deklariert.**

Zum Vergleich: konventionelle Antennen weisen eine ERP Deklaration im StDb im Bereich von einigen Hundert bis 6'000 Watt auf.

➔ **Die maximale EIRP HF Sendeleistung der AIR6488B42 Antenne beträgt: 50'000 Watt.**

Maximale **HF Ausgangsleistung** (Einspeisung der Antennen-Abstrahlelemente): **200 Watt**

Maximaler Antennengewinn **Gain**: **23.9 dBi**, entspricht einem **Faktor 245** (s. Ref.[5])

(EIRP Gainbereich aktueller adaptiver 5G Antennen: 22 – 24 dB =[^] 160 – 250)

Die ERP Sendeleistung ergibt sich aus dem Produkt der hochfrequenten Ausgangsleistung (HF Ausgangsleistung) in das Antennenelement und dem Antennengewinn, also:

ERP := HF Ausgangsleistung x Antennengewinn G_d ; (EIRP/ERP = 1.64 =[^] G_i / G_d)

Für die genannten StDb **ERP Leistungsangaben** ergeben sich daher **HF Ausgangsleistungen** im Bereich von: $(50 - 150 \text{ Watt}) / (245 / 1.64) =$ [^] 0.33 – 1 Watt

➔ Bei 200 Watt nominaler maximaler HF Ausgangsleistung **deklariert der Anlagenbetreiber im StDb also eine Nutzung der Antennenleistung von lediglich 0.16 resp. 0.5 %!** also am unteren Leistungsminimum der Antennenelektronik.

➔ **Der technische Anhang dokumentiert den derzeitigen Stand der Technik bezüglich der Grenzen der Leistungsregulierung aktiver, adaptiver 5G Antennen.**

Das Ergebnis der Auswertung vorneweg:

➔ **ERP Leistungsangaben im Suprozentbereich der nominalen HF Ausgangsleistung basieren nicht auf den technischen Gegebenheiten der eingesetzten massiv MIMO Antennen. Entsprechende Angaben in den StDb sind irreführend.**

¹ StDb: Standortdatenblatt

² QS: Qualitäts-Sicherungssystem



Limitierende, technische Grenzen der Leistungsskalierung:

1.1 Power added efficiency (PAE) der PA geht gegen Null für kleine Ausgangsleistungen:

Die Power Amp (PA, HF Ausgangsverstärker) stellen den grössten Verlustleistungsbeitrag der gesamten Antennen-Elektronik. Mit kleinen Ausgangsleistungen geht die Leistungseffektivität der ganzen Antennen gegen Null, die Antennen werden eigentlich zu Heizungen. Die PAE Effizienzsteigerung der PA ist (Energiebedarf) wichtig, dafür wird erheblicher technischer Aufwand betrieben.

1.2 Peak to average ratio (PAR) der 5G Strahlung: (s. Ref. [8])

„The 5G waveforms are with high PAPR and similar to 4G/WLAN, these waveforms will inevitably degrade PA's efficiency at power back-off **and considerably worsen the average PAE of a PA.**“

Die starke Pulsierung der 5G Strahlung führt dazu, dass der Arbeitspunkt der Leistungsverstärker abgesenkt (Power Backoff) werden muss.

1.3a Leistungsregulation der Leistungsverstärker (PA):

Diese ist nur sehr bedingt im Bereich von 20 – 100 % möglich und **bestimmt die minimal mögliche HF Ausgangsleistung!**

Beim Unterschreiten der unteren Leistungslimite treten starke Nichtlinearitäten auf. Hinweis auf die Schwankungen der Leistungskontrolle: Ericsson spezifiziert die Ausgangsleistung der AIR Antennen mit +/- 1.5 dB = $\hat{=}$ -30 /+ 40% (s. Ref. [9]).

1.3b Leistungsregulation der Transceiver Mikrochips in den Frontend-Modulen (FEM):

Beträgt zwischen **0.4 und 1% der maximalen Ausgangsleistung**, 8 Bit Auflösung.

1.4 Nichtlinearität der PA:

Die Elektronik der Frontend-Modulen (FEM) beinhaltet Digitale Vorentzerrung (DPD: digital Predistortion)) für eine akzeptable Linearität der PA im Bereich von:

+/- 0.5 dB entsprechend - 11 / + 12 %, über die Bandbreite des Sendesignals.

1.5 Beamforming erfordert sowohl Amplituden wie Phasen Kontrolle! (s. Ref. [1])

Bei einem typischen PAR von 7.8 dB für ein 5G Signal entspricht dies **einer benötigten Amplitudendynamik von einem Faktor 5**, also ca. einer 3 Bit Leistungssteuerung, **Die untere Leistungsgrenze erhöht sich damit auf 2 – 5%.**

1.6 Begrenze Auflösung der Tx Messung durch die integrierten Observation Receiver:

Auflösung der Messung: **im 10% Bereich.**

Schlussfolgerungen:

- ➔ **Eine untere Leistungsgrenze der aktiven, adaptiven massiv MIMO 5G Antenne im Subprozentbereich ist mit dem derzeitigen Stand der Technik nicht realisierbar!**
- ➔ **Die aktiven, adaptiven 5G Antennen lassen sich nur mit einer HF Ausgangsleistung im Bereich von grösser 20 % der Maximalleistung kontrolliert betreiben!**
Ein Betrieb im Subprozent-Bereich führt zu unkontrollierten Betriebszuständen, Instabilitäten und HF Signalinterferenzen/Störungen!
- ➔ **Die Leistungs-Effizienz im Subprozentbetrieb geht gegen Null, die Antenne wird zur Heizung.**



- ➔ Für die ERP Deklarationen in den StDb muss für 5G adaptive massive MIMO Antennen eine minimale HF Ausgangsleistung im Bereich von 20% der Maximalleistung gefordert werden. Unter Anwendung einer statistischen Beurteilung der Antennenleistung gemäss Ericsson (s. Ref. [11]) resultiert für die Ericsson AIR6488 mit 200 Watt Nominalleistung eine ERP von:

$$\text{ERP} := 20/100 \times 200 \text{ Watt} \times 0.25 \times (245 / 1.64) := 1493 \text{ Watt.}$$

↑
Statistische Beurteilung

Vergleich mit neueren ERP Leistungsangaben in StDb für adaptive Antennen:

deklierte ERP Leistung für 1 Antenne

Salt / SO_1530G, Antenne AEQF:	400 Watt
Salt / SO_0251B, Antenne AAU5831:	800 Watt
Swisscom / SO_0251B, Antenne AIR6488:	800 Watt
Sunrise / ZU421-1, Antenne AAU5313	300 Watt

EMF Grenzwerte, Ausschlusszonen Angaben von Ericsson: (s. Ref. [10])

Bei Anwendung einer statistischen Beurteilung der EMF Antennen-Befeldung resultiert für 200 Watt HF Ausgangsleistung eine „aktuelle maximale Ausgangsleistung“ (besser „äquivalente“) von: 44 Watt

- ➔ Für die (äquivalente) Leistung von 44 Watt resultiert bei Einhaltung von 1/100 ICNIRP Grenzwerten (CH OMEN) eine Ausschlusszone um den Aufstellungsort der Antenne mit Radius 115 m (bei 3 Sektor Antennen Anordnung) und 70 m Höhe.

Für den ERP Leistungsausweis von min 20% der Maximalleistung resultiert:

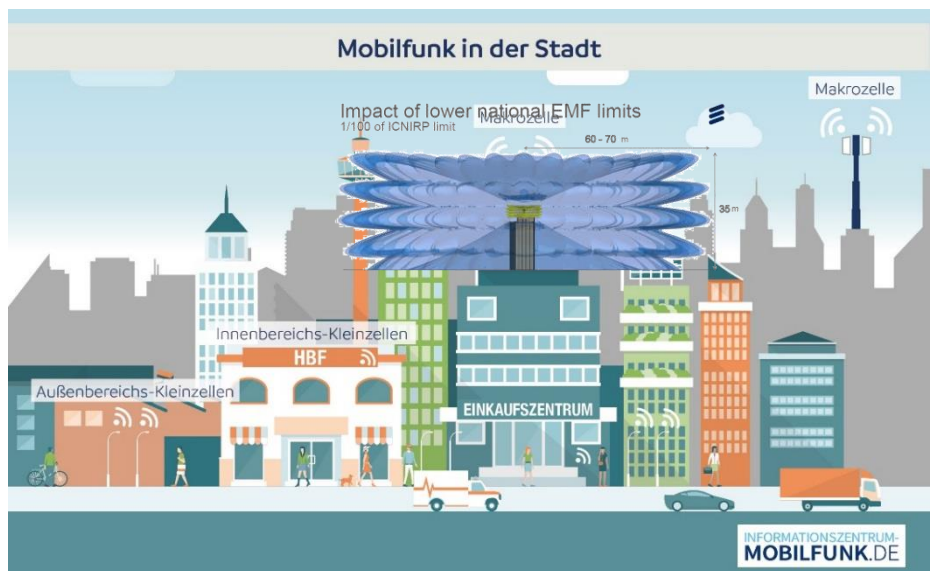
Bei 10 Watt äquivalenter (statische Beurteilung) Ausgangsleistung resultiert entsprechend für CH OMEN eine Ausschlusszone mit Radius 60 -70 m Durchmesser und 35 m Höhe.

Bildliche Darstellung der Ausschlusszone für 1/100 ICNIRP entsprechend CH OMEN Grenzwert 5-6 V/m und 10 Watt äquivalente HF Ausgangsleistung mit massiv MIMO Makro-Antenne im städtischen Umfeld.

Diese Darstellung beinhaltet die statistische Leistungsbewertung nach Ericsson, die auf einer **Zeit-Mittelwertbildung der EMF Belastung gemäss dem thermischen ICNIRP Wirkungsmodell** basiert (6 Minuten Mittelung), statistischer Leistungsbewertungsfaktor: 0.25 (95% Perzentil)

Ausschlusszone
Horizontal:
Radius: 60 – 70 m
Vertikal: 35 m

Bild illustrativ,
nicht masstäblich



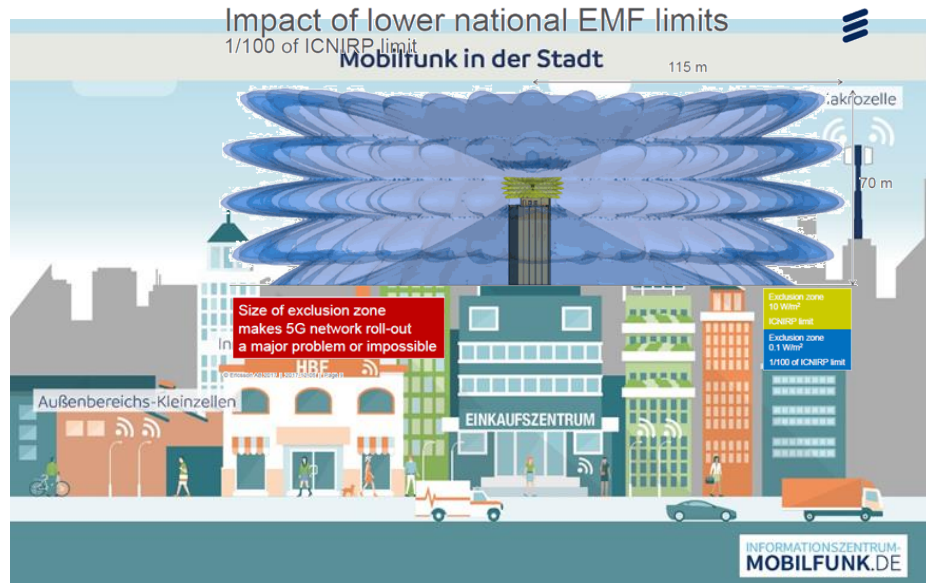


Bildliche Darstellung der Ausschlusszone **ohne statistische Leistungsbewertung**, wenn **die biologische Schadenwirkung durch die Momentanwerte der ausgesendeten Mikrowellenstrahlung berücksichtigt wird**: Radius 115 – 140 m, Höhe 70 m
Die ERP beträgt: $20/100 \times 200 \times 245 / 1.64 := 5975$ Watt (20% der Maximalleistung für AIR6488)

Zur Kontrolle, Berechnung gemäss Vollzugsordnung mit Sichtverbindung zur Antenne:
Radius/Distanz: bei 5 V/m Feldstärke: 140 m, bei 6 V/m: 115 m

Ausschlusszone
Horizontal:
Radius: 115 – 140 m
Vertikal:
Höhe: 70 m

Bild illustrativ,
nicht masstäblich



→ Fazit von Ericsson zu massiv MIMO 5G Antennen

Size of exclusion zone makes 5G network roll-out a major problem or impossible

Fazit Verfasser:

→ **5G massive MIMO Makroantennen sind in der urbanen CH Bebauung nicht einsetzbar!**

Die **Not-„Lösung“** der Anlagenbetreiber: durch **Manipulation der ERP Leistungsangaben** in den StDb, ohne Bezug zu den technischen Gegebenheiten, die kennt ja niemand, eine Mess- und Kontrollmöglichkeit besteht nicht. Und so wird die Makroantenne „irgendwie“ in die städtische Bebauung „geschrumpft“, aus der Makro wird - - scheinbar -einer Mikroantenne (ERP: 6 Watt)

Manipulierte Ausschlusszone





1.7 Kapazitätsvergleich: Wieviel Endgeräte/Handys (UE³) „versorgt“ eine ERP „optimierte“ 5G Makroantenne an der Zellgrenze?

Aus der **Kanalreziprozität**, der Funkweg zwischen Antenne und Handy wird in der technischen Literatur als reziprok beurteilt, der Funkkanal hat dieselben Eigenschaften für Downlink und Uplink (offensichtlich für ein TDD Übertragungsverfahren), 5G adaptives Beamforming nutzt diese Kanaleigenschaft mit der „Channel State Information“ (CSI) Technik, folgt, dass die Sendeantenne mit derselben ERP Leistung strahlen muss, wie das Handy (moderne Handy sind wie die Antenne Leistungs-reguliert/optimiert).

ERP Leistung 4G Handy: **1- 2 Watt**, diese maximale Sendeleistung wird **an der Empfangsgrenze** (Distanz zur Antenne, Gebäude-, Wegdämpfung) für eine kritische Verbindung benötigt, ERP Leistung 5G Handy: **bis 20 Watt ERP**, an der Empfangs-, Zellgrenze, (s. Ref.: [12][13])

Kritische Verbindungs-Kapazität: Maximale Anzahl an gleichzeitigen, kritischen Verbindungen der ERP-„optimierten“ 5G Makroantenne:

Sendeleistung MF-Antenne, ERP		50 Watt	100 Watt	200 Watt
Sendeleistung Handy, ERP				
4G	max. 1 Watt	50	100	200
	max. 2 Watt	25	50	100
	typ. 0.1 Watt	500	1000	2000
5G				
	max. 20 Watt	2	5	10
typ.	typ. 0.5 Watt	100	200	400

Zielkapazität von aktiven, adaptiven 5G Makro-Antennen: einige 10'000 Verbindungen (s. Ref. [14])

Die „optimierten“ ERP Leistungsangaben in den StDb erlauben also lediglich die Verbindung von 10 5G Handys am Zellrand, oder 400 Handys mit guter Verbindung (bei ERP 200 Watt).

Dies ergibt einen Nutzungsfaktor im Vergleich bei einer Verbindungskapazität von 20'000 Handys und einer ERP Angabe von 200 Watt: **1/2000 bis 1/50**,

→ **Die Anlagenbetreiber erklären mit den StDb ERP Angaben also, dass sie ihre Investition nur zu 1/2000'stel oder maximal zu 1/50'stel nutzen wollen. Wenn die Argumentation unter 1.1 bis 1.6 die technische, so gibt die vorstehende Argumentation 1.7, die ökonomische Begründung dafür, dass die ERP Leistungsangaben in den StDb's um einen Faktor 20 - 50 (abhängig von einer EMF-statistischen, respektive der ökonomischen Bewertungen) zu tief und irreführend ausgewiesen sind!**

Anmerkung zu 5G Handys, aktuelle FCC Regulation:

Die aktuelle FCC Regulation erlaubt für 5G Smartphone ERP Werte bis 20 Watt. 5G Handys verfügen über MIMO Antennentechnik mit Beamforming. Die Feldstärke der resultierenden fokussierten Strahlung überschreitet dabei die FCC Grenzwerte. Die Handys müssen zur Seite des Displays hin mit einer **metallischen Abschirmung ausgerüstet** werden. Dies ist notwendig für den Schutz der empfindliche Elektronik (!) vor einer Beschädigung durch die starke Mikrowellenstrahlung, davon profitiert davon dann auch noch der Kopf des Benutzers.

³ UE: User Equipment



2. Forderung nach einem Online Monitoring der HF Ausgangsleistung

Forderung nach einer Erhöhung der Anlagengrenzwerte von Seiten der Anlagenbetreiber:
Die referenzierte Ericsson Präsentation datiert vom Dezember 2017.
Die Versteigerung der 3.6 GHz NR Frequenzen datiert vom Februar 2019.

→ **Die Lizenznehmer haben in Kenntnis der EMF Grenzwertproblematik bezüglich des Rollout im städtischen Umfeld der adaptiven massiv MIMO 5G Makro-Antennen gehandelt.**

Die aktuell vernehmbaren nachträglichen Forderungen nach einer Erhöhung der Anlagengrenzwerte, Zitat:

«So haben wir uns das nicht vorgestellt», so die Worte des sichtlich verzweifelten CEO`s von Sunrise, André Krause.», s. <https://www.orwell-news.ch/bei-5g-tut-sich-einiges/>, belegen die ungenügende Auseinandersetzung mit und Kenntnis der technischen Einsatzgrenzen und dass die Lizenznehmer auf die Durchsetzung höherer Anlagengrenzwerte im Parlament gesetzt haben: Nun, nach Abschluss des Lizenzvertrages, nachträglich Abänderungen einzufordern, zeugt von mangelnder Geschäftsmoral.

Der aktuelle, unregulierte Zustand bezüglich der Verwendung von aktiven, adaptiven massiv MIMO 5G Makroantennen ist gekennzeichnet durch:

- manipulierte, irreführende ERP Leistungsangaben in den StDb,
- fehlendes 5G Messverfahren, es existiert weltweit kein Standard,
- fehlende Vollzugsordnung.

Als vordringliche Massnahme zur Bewältigung dieses untragbaren Zustandes **empfehlen wir die Nutzung der in die aktiven adaptiven 5G Makroantennen eingebauten Tx Messeinrichtung** (die Messung der Tx HF Ausgangsleistung wird für die Regelung der Antennenelektronik benötigt, s. Ericsson AIR Antennen: Tx Monitorfunktion) für ein **Online Monitoring der HF Ausgangsleistung**:

→ **Die Anlagenbetreiber haben über die Messung (Nutzung der in die Antennenelektronik eingebauten Funktionen: „Observation Receiver“ und/oder „Tx Monitor“) der HF Ausgangsleistung (:= Eingangsleistung in die Abstrahlelemente der Antenne) sicherzustellen, dass die bewilligte ERP Sendeleistung der aktiven, adaptiven 5G Antennen zu keinem Zeitpunkt überschritten wird.**

Mittels einer Logaufzeichnung ist jeweils der sekundliche Maximalwert der „TX Monitor“-Messung zu protokollieren und den Behörden zur Verfügung zu stellen.

Quellverweis zur Tx Monitor Funktion: s. technische Datenblätter zu Ericsson Antennen.

Mit der **Integration der Online Tx Monitoring Daten in das QS**, wird dessen Kontrollfunktion für adaptive Antennen wiederhergestellt

Eine Expertise⁴ des BAKOM hat die Notwendigkeit der Überwachung der abgestrahlten (ERP) Antennenleistung schon 2005 erkannt und eingefordert!

⁴ BAKOM: „Kontrolle der abgestrahlten Leistung (ERP) von Basisstationen“, 30.09.2005



3. QS und adaptive Antennen:

Das verwendete 3.6 GHz New Radio (NR) Frequenzband verwendet das **Time Division Duplex (TDD) Uebetragsverfahren**. Dieses erfordert, dass die 3 Schweizer Betreiber ihre Uplink und Downlink Zeitschlitze (Timings) identisch konfigurieren und zeitlich synchronisieren müssen, ansonsten treten Störungen auf («out of block interferences») und die Betreiber können die konzessionierten Frequenzbänder nicht voll nutzen, da «Guard» Bänder («Abstandshalter» zwischen den Frequenzbändern der Betreiber) notwendig würden.

Daher nutzen die 3 Schweizer Anlagenbetreiber das identische Konfigurations-Format «DDDSU» mit einer 2.5 ms Periodizität des Uebertragungszyklus. Diese Betriebsart legt fest, dass 60% der totalen Uebertragungskapazität für den Downlink, 20% für den Uplink und 20% für das Signaling zur Verfügung stehen. (s. Ref. [2])

- Die in der Schweiz im Betrieb stehenden aktiven, adaptive 5G Antennen können also ihr Antennendiagramm in der angewendeten DDSU Konfiguration mindestens:
400 mal pro Sekunde verändern!

Daraus folgt unmittelbar, dass für aktive, adaptive Antennen **das vorhandene, statische QS System** – einmal pro Tag Ausführung einer programmautomatischen Überprüfungsroutine für den Abgleich der bewilligten zu den tatsächlich, zum Abgleichzeitpunkt wirkenden Antennenparametern: Sendeleistung und Senderichtung –**die dynamische Charakteristik der adaptiven Antennen nicht erfassen und daher die ursprünglich intendierte Überwachungsfunktion nicht leisten kann.**

Das **bestehende QS wurde für passive, statische Antennen ausgelegt**, adaptive Antennen weisen dynamische Antennendiagramme und Sendeleistungen auf.

- Mit der **Integration der Online Tx Monitoring Daten in das QS**, wird dessen Kontrollfunktion für adaptive Antennen wiederhergestellt.

Dass die „freiwilligen Selbstanzeigen „ – genannt QS Fehlerprotokolle – einen Beitrag zur Einhaltung der gesetzlichen HF-Befeldungs-Grenzwerte leisten, ist nicht zu erwarten, hier kann nur **ein unabhängiges HF-NIS Monitoring** (Online Monitoring) eine gewisse Sicherheit bieten, analog den Erfahrungen mit der Radarüberwachung im Strassenverkehr.

3. Fehlendes Messverfahren und Vollzugshilfe für adaptive Antennen:

Bis heute **besteht weltweit keine Einigkeit und daher keine Messvorschrift** für die Messung adaptiver Antennen.

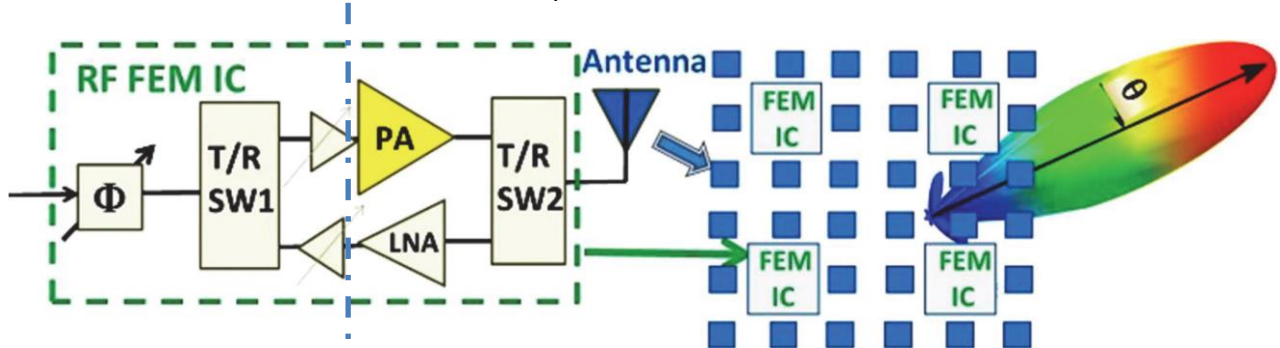
Das BAFU teilte Ende Januar 2020 mit, dass das Erstellen der Vollzugshilfe noch längere Zeit in Anspruch nehmen wird.



RF Frontend Module (FEM) – Grenzen der Kontrolle, Error Budget

Technische Grundlagen, Referenzdokumente:

Blockschema der Elektronik für aktive, adaptive massiv MIMO Antennen:



Transceiver Mikrochip

Power Amp (PA) für Tx Antenne-Ausgang

Low Noise Amp (LNA) für Rx Antennen-Eingang

T/R Switch TDD Mode RF Switch

FEM: Front End Module: Kombination von Transceiver Mikrochip und PA:

2 FEM pro Antennenelement (2er Sub-array), dual polarisiert, d. h. 2 Tx Kanäle,

Aktive, adaptive massiv MIMO Antennen mit 64Tx/64Rx:

64 transceiver, je min. 2 bilden ein Antennenelement, 32 Sub-arrays, 64 Tx Kanäle

Resultierende Ausgangsleistung, RF Power Output:

**Ausgangsleistung total: transceiver RF output power x PA Gain_i (Small Signal)
x Anzahl Tx Kanäle x Antenna Gain_i := EIRP**

Power Level in dB → Addition der Einzelwerte:

(Ausgedrückt in dBm Level, ohne «return loss» Betrachtung an Ein – und Ausgängen)

Bsp. mit Transceiver AD9375 und PA Qorvo TGA2597

Transceiver 6-7 dBm x PA Gain, Small Signal: 24 dB → 31 dBm (Wattbereich)

x Anzahl FEM: 18 db@64Tx x Antenna-Gain 200-250:20-24 dB → 69 - 73 dBm

Entspricht EIRP Bereich: 8000 – 20'000 Watt

Bsp. mit Transceiver AD9375 und PA Qorvo QPA3503:

Transceiver 6-7 dBm x 34 dBm (Paverage 3 Watt, PA Gain 32 dB@2.7 dBm) → 34 dBm

x Anzahl FEM: 18 db@64Tx x Antenna-Gain 200-250:20-24 dB → 72 - 76 dBm

Entspricht EIRP Bereich: 16'000 – 40'000 Watt

Vergleich mit bekannten adaptiven Antennenmodellen von Ericsson: (s. Datenblatt Ref. [3]),

AIR6468: Power Amp Output: 1.875 Watt /Tx (TüV Doc Ref. [4] := 32.7 dBm (inkl. Transceiver),

Total RF Ausgangsleistung: 1.875 x 64 := **120 Watt** =[^] 50.8 dBm,

Output Power Toleranz: **50.8 dBm +0.6 / - 2.0 dB** → 76 – 138 Watt =[^] - 53 / + 15 %,

Antenna Gain: 24 dB

EIRP: 2 x 71 dBm =[^] 2 x 12'600 Watt, max. EIRP , 25'200 / 120 (errechneter Antennagain:=210)

AIR6488: max. 2 x 74 dBm orthogonale Beams (alle Antennenelemente in Phase addierend, dual polarisiert): max. 50'000 Watt EIRP,

Nominale RF Output Power: 200 Watt, Max. Antenna Gain: 50'000/200:= 250 =[^] 23.9 dB

(s. Datenblatt Ref. [5])

Power Amp Output rechnerisch: 200 / 64 := 3.125 Watt



Error budget Transceiver am Beispiel der Analog Devices Mikrochips: (s. Datenblätter Ref. [6])

Transceiver: AD 9371, AD9375 (2016, 17):

Tx Transmit error budget, Power Output: 6-7 dBm

BW flatness: +/- 0.15 dB ; any 20 MHz span =^ +/- 3.5 %

Attenuation step error: +/- 0.03 dB ;Figure 100 =^ +/- 0.7 %

Signalverarbeitungs-Schwankungsbereich, relativ, worst-case: +/- 4.2 % =^ +/- 0.18 dB

+ zusätzliche **transiente Schwankungen** durch:

Overshoot during transition: -1 / + 0.5 dB; see ADRV9009 - 26 bis +12 %

Auflösung Leistungssteuerung:

Power Control Resolution: 0.05 dB ; range 42 dB, beyond 20 dB unkalibriert,
, praktisch also 20 dB, s. Grafiken Datasheet

8 Bit Dataregister SPI I/F, 100 / 256 Stufen, Leistungsauflösung absolut: =^ 0.4 %

Observation Receiver error budget:

BW ripple: +/- 0.5 dB ;über 250 MHz BW =^ +/- 12 %

Analog Gain step: 1 dB ;Gain range 0 – 18 dB =^ 26 %

Transceiver ADRV 9009 (2018, 19):

Power Output: 6-7 dBm

Peak-to-peak Gain deviation: 1 dB ; (über 450 MHz BW)

Gain slope: +/- 0.1 dB ; any 20 MHz BW, =^ +/- 2.3 %

Transmitter Attenuation Nonlinearity: 0.1 dB; for any 4 dB step =^ 2.3 %

Differential Nonlinearity: 0.04 dB =^ 0.9 %

Signalverarbeitungs-Schwankungsbereich, relativ, worst case: ~ +/- 4 % =^ +/- 0.18 dB

+ zusätzliche **transiente Schwankungen** durch:

Attenuation Overshoot: -1 / + 0.5 dB - 26 bis + 12 %

Auflösung Leistungssteuerung:

Power Control range: 0 -32 dB ;für konstantes SNR 0 – 20 dB

Power Control resolution: 0.05 dB (8 Bit Datenregister Bit SPI I/F =^ 0.4 %) **1 %**

Entspricht der minimalen Leistungsauflösung, absolut.

Observation Receiver error budget:

Gain slope: +/- 0.1 dB 2.3 %

Analog Gain step: 0.5 dB ; Gain range 0 – 30 dB **12 %**



Error budget Power Amp (s. Datenblätter Ref.[7]):

Leistungsregelung, PAE:

Zitat aus [8] «RF Front-End Circuits and Architectures for IoT/LTE-A/5G Connectivity»:
«The broadband modulation bandwidth for 5G RF transmitters (i.e., maximum possibly even above 1GHz) demands high-power efficiency and stringent linearity from its power amplifier (PA).»
«It is well-known the performance of a radio-frequency power amplifier (RF PA) can often dominate the overall transmitter (TX) performance, as its power-added efficiency (PAE) dictates the power and heat dissipation for the entire TX.»

PAE: wie aus dem Datenblatt des **Qorvo QPA3503** PA hervorgeht, geht die **PAE gegen Null für kleine Leistungen.**

Eine Leistungsregelung muss über die DC Speisung vermittels Efficiency Enhancement Techniken erfolgen (dynamic supply modulation etc.).

➔ **Einsatz PA bei kleinen Ausgangsleistungen führt zu Leistungs-Ineffizienz.**

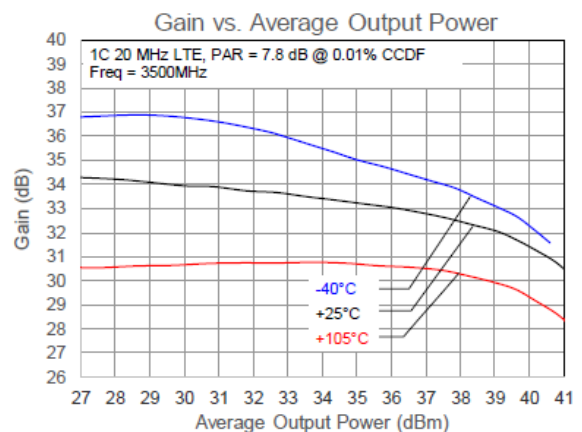
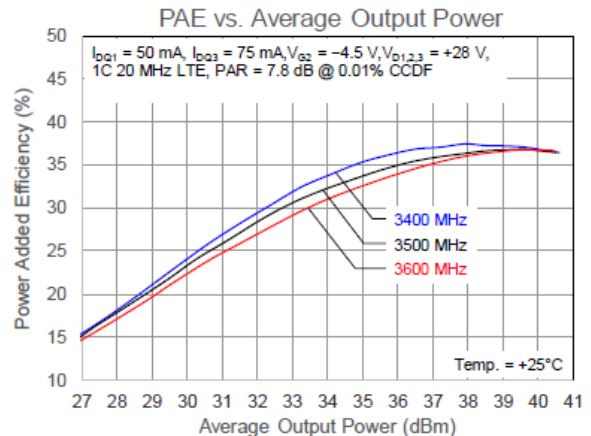
Arbeitspunkt, Gain Variation, Nichtlinearität:

RF PA arbeiten als Class B / Class C Verstärker, haben nur einen begrenzt linearen Arbeitsbereich, in den unteren und oberen Leistungsbereichen treten starke Nichtlinearitäten auf.

Backoff Power Level: Leistungsbeschränkung auf den linearen Verstärkungsbereich, unterhalb der Saturation.

Gain Variabilität:

Gain versus $P_{out\ avg}$: **- 1 / + 0.5 dB @ 3500 MHz** \Rightarrow **- 26 / + 12 %**
Als Funktion der Temperatur: **+/- 3 dB @ $T_{25^\circ C}$** \Rightarrow **--50 / + 100 %**
 $P_{out\ avg}$ nominal: 34.8 dBm



Error Budget PA, absolut, worst case: > -50/+ 100 % Schwankungsbereich im Power Output!

➔ Der Einsatz von Stand der Technik PA's erfordert integrierte PAE Optimierungs-, Linearisierungs/Power Back-Off –Funktionen (dynamic supply modulation und DPD) nebst der Kontrolle der Arbeitstemperatur (Klimatisierung) in den Front End Modulen.
s. Datenblatt Ref. [6] AD 9375 mit Nennung der DPD (digital predistortion) Funktionalität:
«Fully integrated, ultralow power DPD actuator and adaptation engine for PA linearization»

Grenzen der «dynamic supply modulation»: ~ 10 - 48 VDC (s. Ref. [8]), 3 – 5 Bit Auflösung.



Aus den Datenblättern der Qorvo HF Leistungsverstärker:

Qorvo TGA2597, 1.4 Watt PA:

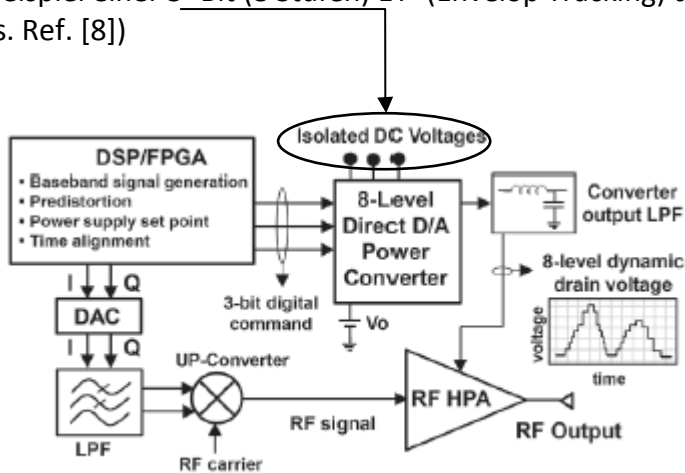
Frequency Range: 2-6 GHz / Output Power: > 31.5 dBm @PIN = 18 dBm,
Large Signal Gain: > 13.5 dB (PIN = 18 dBm) / Small Signal Gain: > 24 dB
PAE: > 31 % @PIN = 18 dBm, PAE: 15% @ PIN gegen Null.

Qorvo QPA 3503, 3 Watt PA:

Operating Frequency Range: 3.4 - 3.6 GHz / Operating Drain Voltage: +28 V
Gain at 3 W avg.: 32 dB @ PAR = 7.8 dB 0.01% CCDF
Power Added Efficiency at 3 W avg.: 33% , **PAE: gegen Null für kleine Pout!**
50 Ω Input / Output / Integrated Doherty Final Stage

Dynamische Power Supply Modulation:

Beispiel einer 3- Bit (8 Stufen) ET- (Envelop Tracking) dynamic supply modulation PA mit DPD:
(s. Ref. [8])



Derendingen, den 16. November 2020

Thomas Fluri, dipl. Ing. ETH



Referenzdokumente

[1] Ericsson White Paper: „advanced-antenna-systems-for-5g-networks“

<https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/white-papers/advanced-antenna-systems-for-5g-networks>

[2] Rewheel:“ Rolling out 5G fibre-through-the-air under the exceptionally strict Swiss EMF radiation limits“

http://research.rewheel.fi/insights/2019_dec_sunrise_5G/

[3] Ericsson Datenblatt zu AIR6468, Ericsson doc.: 91/1551-LZA 701 6001/1 Uen X,

[4] TÜV Süd, FCC Test, Testbericht zu Ericsson RRU LTE und AIR6468:

<https://fccid.io/TA8AKRD901075/Test-Report/75941291-Report-01-Issue-3-PART-1-3807055.pdf>

[5] Ericsson Datenblatt zu AIR6488, Ericsson dec.: 213/1551-LZA 701 6001/1 Uen M

<http://www.1com.net/wp-content/uploads/2019/09/sales@1com.com-Ericsson-AIR-6488-Integrated-Radio-Unit-Datasheet.pdf>

[6] Analog Devices, Datenblätter zu AD9371, 9372 und ADRV9009 s. Website AD:

<https://www.analog.com/en/products/ad9371.html#>

[7] Qorvo , Datenblätter zu RF Power Amp TGA2997, QPA3503 etc.:

<https://www.qorvo.com/products/amplifiers/power-amplifiers>

[8] «RF Front-End Circuits and Architectures for IoT/LTE-A/5G Connectivity», 2018 Huawei, Yan Li,

Yan Li, Anokiwave Inc., Austin, USA, Received 12 September 2018; Accepted 12 September 2018; Published 1 October 2018 Wireless Communications and Mobile Computing

<https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/1438060/>

[9] Ericsson Presentation: „5G und EMF“, SSM, 2018-12-12, Christer Törnevik

[10] Ericsson, „ Impact of EMF limits on 5G networkroll-out“, ITU Workshop on5G, EMF & Health

Warsaw, December 5 , 2017,

https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171205/Documents/S3_Christe_Tornevik.pdf

[11] „Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO“, IEEE Access, Received August 9, 2017, accepted September 13, 2017, date of publication September 18, 2017, date of current version October 12, 2017.

Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2017.2753459

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8039290>

[12] Technik – Mobiltelefone Sendeleistungen von Handys Technologie und Empfangsbedingungen

<https://www.emf.ethz.ch/de/emf-info/themen/technik/mobiltelefone/sendeleistungen-von-handys/>

[13] Implications of Incident Power Density Limits on Power and EIRP Levels of 5G Millimeter-Wave User Equipment

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9163106>

[14] „Massive MIMO at the world cup“

<http://ma-mimo.ellintech.se/2018/06/28/massive-mimo-at-the-world-cup/>