



Fachtechnische Beurteilung:

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

Bearbeitungsstand: 14.12.2020

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 massiv MIMO Antennen werden in den StDb ERP Leistung für diese Antennen **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.

11 Die maximale ERP HF Sendeleistung der AIR6488B42 Antenne beträgt: 30'500 Watt.

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

Maximaler Antennengewinn **Gain_{ERP}: 21.8 dB**, entspricht einem **Faktor 150** (s. Ref.[5])

12 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 ERP.

Für die genannten StDb **ERP Leistungsangaben** ergeben sich HF Ausgangsleistungen

(HF LeistungsverstärkerAusgang in die Antennenelemente) im Bereich von:

50 – 150 Watt / 150 = **0.33 – 1 Watt**

13 Bei 200 Watt nominaler maximaler HF Ausgangsleistung deklariert der Anlagenbetreiber im StDb also eine Nutzung der Antennenleistung von lediglich 0.17 resp. 0.5 %!

Diese Angaben implizieren einen Betrieb am unteren Leistungsminimum der Antennenelektronik.

14 Die nachfolgenden fachtechnischen Analysen belegen den derzeitigen Stand der Technik bezüglich der Grenzen der Leistungskalierung der Elektronik von adaptiven massiv MIMO Antennen.

¹ StDb: Standortdatenblatt

² QS: Qualitäts-Sicherungssystem



2. Technische Grenzen der Leistungskalierung:

21 Die Power added efficiency (PAE) der Power Amplifier (PA) geht gegen Null für kleine Ausgangsleistungen:

Wie unter 7.3 «Error budget RF PA» beispielhaft gezeigt, geht die Power Added Efficiency und damit die Leistungs-Effektivität **für Ausgangsleistungen < 10% der Nominalleistung gegen Null, die Antenne wird eigentlich zur Elektroheizung.**

Die Power Amplifier (PA, HF Leistungsverstärker) stellen den grössten Verlustleistungsbeitrag der gesamten Antennenelektronik.

Die PAE Effizienzsteigerung der PA ist (Energiebedarf) wichtig, dafür wird seitens der Antennen-Hersteller erheblicher technischer Aufwand betrieben.

22 Peak to average power ratio (PAPR) 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 OFDM³ Strahlung erfordert eine minimale Gaidynamik von einem Faktor 6 im linearen Arbeitsbereich des PA's und bestimmt so dessen minimale und maximale (Power Backoff) Leistungslimiten.

23a Leistungsregulation der Leistungsverstärker (PA):

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

Beim Unterschreiten und Überschreiten der unteren und oberen Leistungslimiten treten starke Nichtlinearitäten (Class B / Class C Verstärker) und damit Übertragungsfehler auf.

23b Leistungsregulation der Transceiver Mikrochips in den Frontend-Modulen (FEM):

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

24 Nichtlinearität der PA:

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

+/- 0.5 dB entsprechend - 22 / + 12 %, über die Bandbreite des Sendesignals.

25 **Beamforming erfordert sowohl Amplituden wie Phasenkontrolle!** (s. Ref. [1])

Bei einem PAPR von 7.8 dB@CCDF=0.01% für ein 5G OFDM Signal entspricht dies **einer benötigten Amplitudendynamik von einem Faktor 8**, also ca. einer 3 Bit Leistungssteuerung, **Die untere Leistungsgrenze gemäss 23b erhöht sich entsprechend bis auf 8%.**

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

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

27 **ERP Leistungsangaben im einstelligen Prozentbereich und weniger! der nominalen HF Ausgangsleistung basieren nicht auf den technischen Gegebenheiten der eingesetzten massiv MIMO Antennen. Entsprechende Angaben in den StDb sind manipulativ und irreführend.**

³ OFDM: Orthogonal Frequency Duplex Modulation

3. EMF Grenzwerte und Ausschlusszonen, konventionelle <versus-> statistische EMF Bewertung

Diskussion der Ericsson Präsentation: „ Impact of EMF limits on 5G network roll-out“, ITU Workshop on 5G, EMF & Health, Warsaw, December 5 , 2017, (s. Ref. [10])

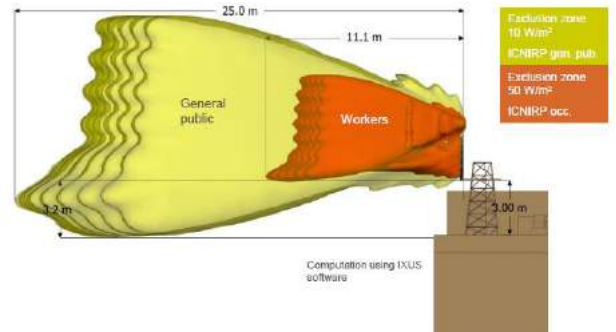
3.1 Konventionelle Beurteilung der EMF:

Die «Compliance Distance», also der Radius der EMF Ausschlusszone um die Antenne bestimmt sich zu:

$$CD = \sqrt{\frac{Pt \times GEIRP}{4 \pi S_l}}$$

S_l : EMF Grenzwert

Für eine AIR6488B42 massiv MIMO Antenne mit :
 $P_t = 200$ Watt, $Gain_{EIRP} := 250$



Ergibt sich für den ICNIRP Grenzwert («allgemeines Publikum») von 10Watt/m² die Ausschlusszone:

31 Ausschlusszone mit ICNIRP Grenzwerten 10 Watt/m² und für das «allgemeine Publikum»: Radius Ausschlusszone = ~ **25 m**, s. obiges Bild.

Für den Schweizer AGW := 1/100 ICNIRP := 0.1 Watt/m² resultiert:

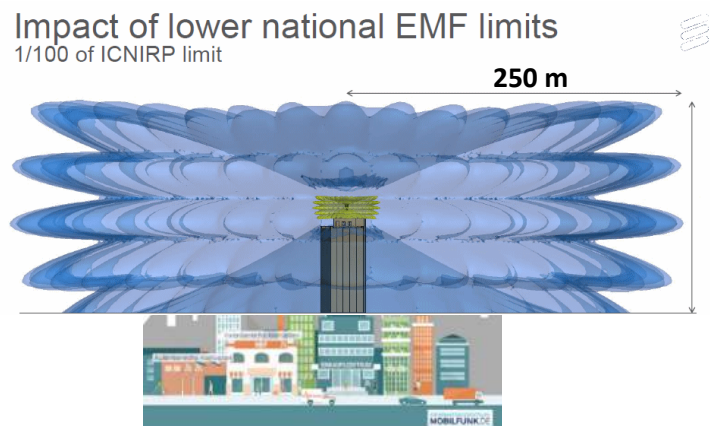
32 **Für 1/100 ICNIRP Grenzwert, bspw. CH AGW, 0.1 Watt/m²: Radius Ausschlusszone = ~ 250 m!**

Das sähe in der CH urbanen Bebauung dann in etwa so aus:

Ausschlusszone horizontal: Radius: 250 m
 Vertikal, Höhe: 140 m
ERP: 30'000 Watt

Bild illustrativ,
 nicht masstäblich

Höhe: = ~ 140 m



Fazit von Ericsson:

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



3.2 Statistische Bewertung der EMF

Ericsson hat schon im Dezember 2017 auf die **offensichtliche Inkompatibilität der massiv MIMO Antennentechnik in einer dichten urbanen Bebauung** hingewiesen und eine statistische Bewertung der HF EMF-Befeldung vorgeschlagen, s. Ref. [10] [11].

Aus dieser **räumlich-zeitlichen statistischen Bewertung der HF EMF-Befeldung einer adaptiven massiv MIMO Antenne** wird durch Ericsson die folgende Berechnung abgeleitet:

$P_T := TDD (a) \times \text{max. HF Verstärkung} (b) \times 1.4 (c) \times 0.25 (d)$; „actual maximum power“
(nach Ericsson, Anmerkung Verfasser: besser wäre die Bezeichnung „äquivalente“ Leistung.)

- (a) TDD: time division duplex Faktor, als Folge des Übertragungsverfahrens,
- (b) max. HF Ausgangsleistung der Antennenelektronik,
- (c) Leistungstoleranz +/- 1.5 dB \Rightarrow Faktor 1.4,
- (d) Statistischer Faktor, **95'tes Perzentil** (Diskussion s. Folgeseite)

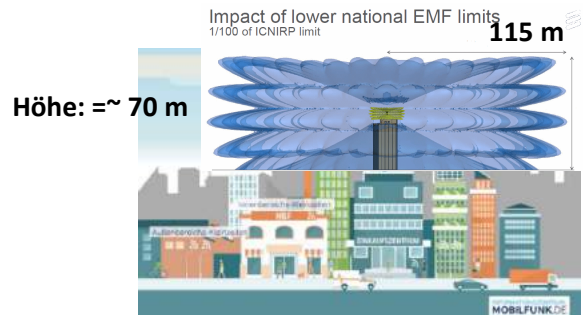
33 P_T ist die maximale HF Ausgangsleistung in die Antennenelemente und muss folglich mit der Antennenverstärkung multipliziert werden, um die maximal wirkende ERP Leistung zu erhalten!

Mit dieser statistischen Bewertung der HF EMF Antennenbefeldung 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**.

Ausschlusszone horizontal, Radius: 115 m
vertikal, Höhe: 70 m
ERP \approx 6'600 Watt

Bild illustrativ, nicht masstäblich



Für die ERP Deklarationen in den StDb muss für adaptive massive MIMO Antennen eine minimale HF Ausgangsleistung im Bereich von 20% der Maximalleistung gefordert werden.
 $ERP := 0.75 \times (20/100 \times 200 \text{ Watt}) \times 1.4 \times 0.25 \times (245 / 1.64) = 1'575 \text{ Watt}$.

↑ Statistische Beurteilung

Vergleich mit neueren ERP Leistungsangaben in StDb für adaptive Antennen:
deklarierte 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

Unter Anwendung der «mindestens 20% der Maximalleistung» Anforderung an die ERP Leistungsausweise in den StDb - begründet durch die technischen Grenzen der Leistungskalierung - resultiert:

34 **Bei 10 Watt äquivalenter (20% von 200 Watt + 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:

Ausschlusszone CH Omen «statistisch»
Horizontal, Radius: 60 – 70 m
Vertikal, Höhe: 35 m
ERP = 1'575 Watt

Bild illustrativ,
nicht masstäblich

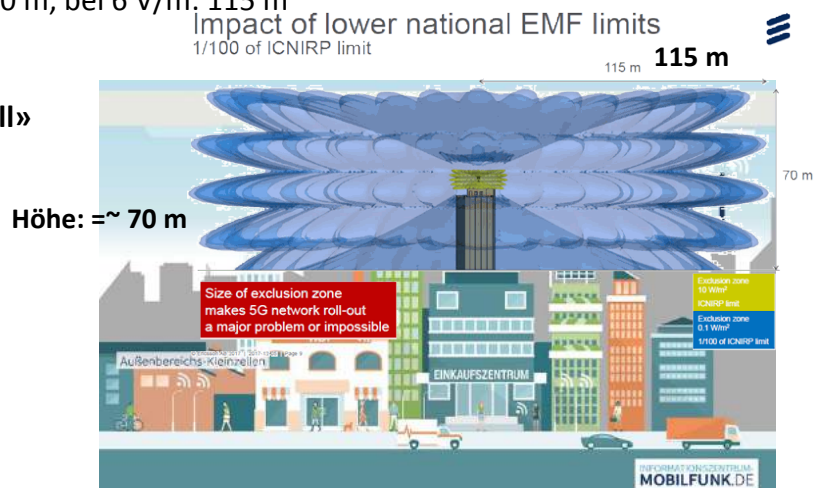


Bildliche Darstellung der Ausschlusszone ohne statistische Leistungsbewertung, wenn 100% der ausgesendeten Mikrowellen EMF berücksichtigt werden:

Die ERP beträgt: $20/100 \times 200 \times 245 / 1.64 \approx 6'000 \text{ Watt}$ (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 CH Omen «konventionell»
Horizontal, Radius: 115 – 140 m
Vertikal: Höhe: 70 m
ERP $\approx 6'000 \text{ Watt}$

Bild illustrativ,
nicht masstäblich



Fazit Analyse:

35 **5G massive MIMO Makroantennen sind in der urbanen CH Bebauung nicht einsetzbar! auch nicht mit einer statistischen Bewertung der Mikrowellenbefeldung!**

- 36 **Erfahrungswerte für CH OMEN StDb Ausschlusszonen:**
→ die kritischen CH OMEN befinden sich in einem Radius von 15 (!) – 30 Meter um die adaptiven massiv MIMO Antennen!

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 in CH StDb:

Bild illustrativ,
 nicht masstäblich



Erste 5G Testmessungen der Mikrowellen EMF eines traffic beam Signals einer adaptiven massiv MIMO Antenne durch das **ANFR⁴** waren nur möglich, indem ein traffic beam der Antenne durch Daten Download-Anforderungen (von 150 MB bis 100 GB) an der Messstelle „festgehalten“ und gemessen werden konnte. Messresultate für die elektrische Feldstärke:

Ort	Distanz	el. Feldstärke
Mérignac	100 m	9 V/m
Toulouse	90 m	8.3 V/m
Nozay	150 m	6 V/m

s. Referenzdokument [13]:

- 37 **Auf CH Verhältnisse umgesetzt ergibt das eine Ausschlusszone von 150 m im Umkreis einer adaptiven massiv MIMO Makro-Antenne.**

- 38 **Wird dieser Befund, massive AGW Überschreitung durch EMF Mikrowellen Befeldung infolge „Festhalten“ des traffic beams durch starke Download Anforderungen, auf das statistische Modell angewendet, resultiert eine Mikrowellen Befeldung ausserhalb des 95sten Perzentils!**

⁴ ANFR: Agence Nationale des Fréquences



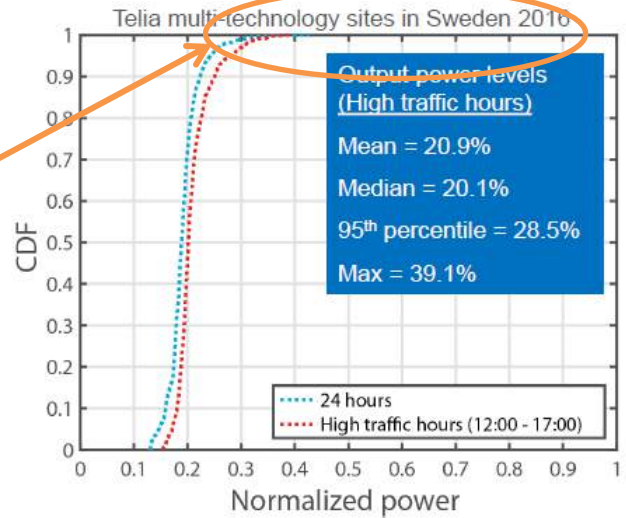
3.3 Diskussion der statistischen Auswertung basierend auf dem 95sten Perzentil

Ericsson Präsentationen [10] [11]:

Die Kummulative Distributions Funktion (CDF) summiert die einzelnen Vorkommnisse (HF-EMF) und sagt mit den Ericsson Annahmen aus, dass **95% aller Vorkommnisse, unterhalb 28% der Maximalleistung zu liegen kommen.**

Was aber geschieht hier?

Was geschieht mit den 5%, mit höherer als durch den (statistisch bewerteten) AGW vorgegebenen, HF EMF belasteten Menschen?



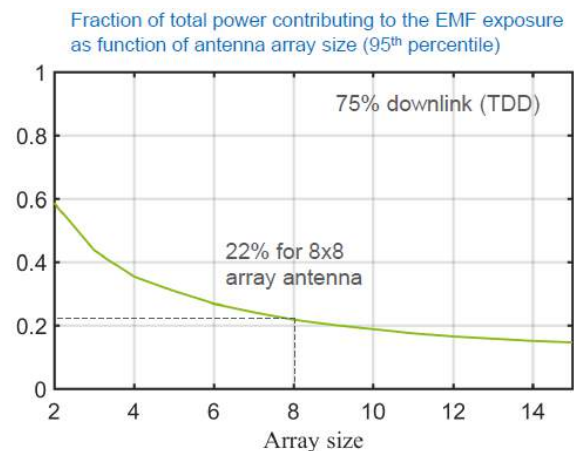
Denn die Anlagenbetreiber werden die OMEN Befeldung erfahrungsgemäss weiterhin auf 1-2% an die untere Grenze, der durch den AGW vorgegebenen Leistung, hochrechnen.

39 Die Anwendung einer statistischen HF-EMF Bewertung der adaptiven massiv MIMO Antennen führt also u.a. dazu, dass die Anwohner einer solchen MFA ihre Wohnungen nach den Internet Nutzungsgewohnheiten Ihrer Nachbarn auswählen müssen! Denn möglicherweise berechnet die „intelligente Antenne“ ja den optimalen Weg zum UE quer durch das Schlafzimmer zum Nachbar!

39a Was geschieht mit den 5% Anwohnern, die mit höherer als durch den, mittels des 95stel Perzentils statistisch bewerteten, AGW vorgegebenen Mikrowellenstrahlung befeldet werden? Gilt der AGW nur zu 95%?

3.4 Technologieabhängigkeit des statistischen Faktors

Der statistische Faktor ist abhängig von der konkreten technischen Ausführung der phased array Matrix! (s Ref. [10])



39b Die konkrete Matrixanordnung (Anzahl Tx/Rx Elemente) muss also in der NISV rechnerischen Prognose mitberücksichtigt werden!



4. Kapazitätsvergleich: Wieviel Endgeräte/Handys (UE⁵) „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 Handys 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.: [15][16][17])

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**,

40 **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 Abschnitt 1, 2 und 7 die technische, so gibt die vorstehende Argumentation die ökonomische Begründung dafür, dass die ERP Leistungsangaben in den StDb um einen Faktor 20 - 50 (abhängig von einer EMF-statistischen, respektive einer 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 Mikrowellen-EMF, davon profitiert dann auch noch der Kopf des Benutzers.

⁵ UE: User Equipment



5. 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.

50 **Die Lizenznehmer haben in Kenntnis der EMF Grenzwertproblematik bezüglich des Rollout im städtischen Umfeld für adaptive 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:

- 51 Falsche oder manipulierte, sicher aber irreführende ERP Leistungsangaben in den StDb.
- 52 Unsicherheit, fehlende Regulierung bezüglich konventioneller und statistischer Berechnung der ERP Leistungsangaben in den StDb.
- 53 Fehlendes 5G Messverfahren, es existiert weltweit kein Standard.
- 55 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:**

55 **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.

Eine Expertise⁶ des BAKOM hat die Notwendigkeit der Überwachung der abgestrahlten (ERP) Antennenleistung schon 2005 erkannt und eingefordert!

⁶ BAKOM: „Kontrolle der abgestrahlten Leistung (ERP) von Basisstationen“, 30.09.2005



6. 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])

61 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!

62 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.**

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

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

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-EMF Monitoring** (Online Monitoring) eine gewisse Sicherheit bieten, analog den Erfahrungen mit der Radarüberwachung im Strassenverkehr.

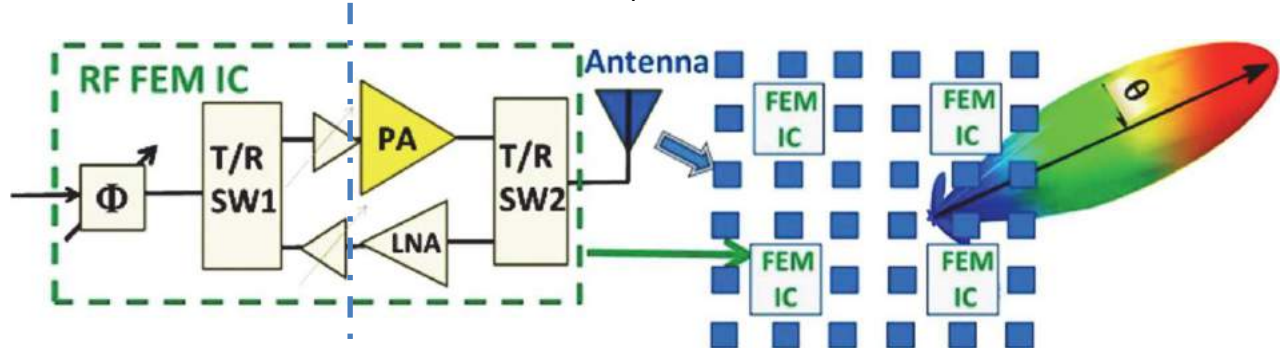
6.2 Fehlendes Messverfahren und Vollzugshilfe für adaptive Antennen:

Bis heute **besteht weltweit keine Einigkeit und daher keine Messvorschrift** bezüglich der Messung von adaptiven massiv MIMO Antennen.

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

7. RF Frontend Module (FEM) – Grenzen der Leistungsskalierung, Error Budget Technische Grundlagen, Referenzdokumente:

71 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 HF Ausgangsleistung, RF Power Output ERP:

72 **Ausgangsleistung total: transceiver RF output power x PA Gain x Anzahl Tx x Gain_{ERP}**

Beispiel 1: **Transceiver AD9375** und **PA Qorvo TGA2597**, 64 Tx massiv MIMO

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

Transceiver 6-7 dBm x **PA Gain: 24 dB** (small signal) → **30 dBm** (Wattbereich)

x 64 (Anzahl Tx) x Antenna-Gain_{ERP} 150: → **70 dBm**

Entspricht ERP Bereich: 10'000 Watt

Beispiel 2: **Transceiver AD9375** und **PA Qorvo QPA3503**, 64Tx massiv MIMO

Transceiver 6-7 dBm x **PA Gain: 34 dBm** (Paverage 3 Watt) → **34 dBm** (3 Watt Bereich)

x 64 (Anzahl Tx) x Antenna-Gain_{ERP} 150: → **74 dBm**

Entspricht ERP Bereich: 25'000 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 HF 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_{EIRP}: 24 dB → Gain_{ERP} = 150,

EIRP: 2 x 71 dBm =[^] 2 x 12'600 Watt, max. ERP: 15'400

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_{EIRP}: 50'000/200 := 250 =[^] 23.9 dB

(s. Datenblatt Ref. [5])

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



7.2 Error budget Transceiver am Beispiel der Analog Devices Mikrochips:

(s. Datenblätter Ref. [6])

73 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%

+ zusätzliche **transiente Schwankungen** durch:

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

Signalverarbeitungs-Schwankungsbereich, relativ, worst-case: +17/- 31 % =^ +0.68/- 1.18 dB

Auflösung Leistungssteuerung:

Power Control Resolution: 0.05 dB ; range 42 dB, beyond 20 dB dB unkalibriert,
; praktisch also 20-30 dB, s. Grafiken Datasheet

8 Bit Dataregister SPI I/F, Span 100-300 / 256 Stufen, Leistungsauflösung absolut: ~ 1 %

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 %

Schwankungsbereich Observation receiver, **absolut, worst-case:** +27/- 21 % =^ +/-1.05 dB

74 Transceiver ADRV 9009 (2018, 19): Tx Transmit error budget, 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, =^ +0/- 2.3 %

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

Differential Nonlinearity: 0.04 dB =^ 0.9%

+ zusätzliche **transiente Schwankungen** durch:

Attenuation Overshoot: -1 / + 0.5 dB - 20 bis + 12 %

Signalverarbeitungs-Schwankungsbereich, relativ, worst case: ~ +16/- 23 % =^ +0.64/- 1.14 dB

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)

8 Bit Dataregister SPI I/F, Span 100-300 / 256 Stufen, Leistungsauflösung absolut: ~ 1 %

Observation Receiver error budget:

Gain slope: +/- 0.1 dB 2.3 %

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

Schwankungsbereich Observation receiver, **absolut, worst-case:** +15 % =^ +/- 0.6 dB

75 Technische Grenzen der Leistungsskalierung durch Transceiver:

Leistungsskalierung absolut: ~ 1%

Schwankungsbereich relativ, worst case: + 0.7 / - 1.2 dB

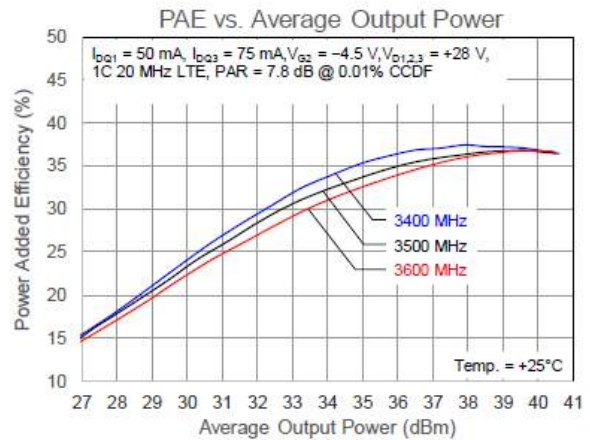


7.3 Error budget Power Amp (s. Datenblätter Ref.[7]):

Leistungsregelung, PAE:

Datenblatt **Qorvo QPA3503 PA 3 W, 28 V, 3.4 – 3.6 GHz GaN PA Module**
Für kleine Eingangsleistungen geht die **PAE gegen Null!**

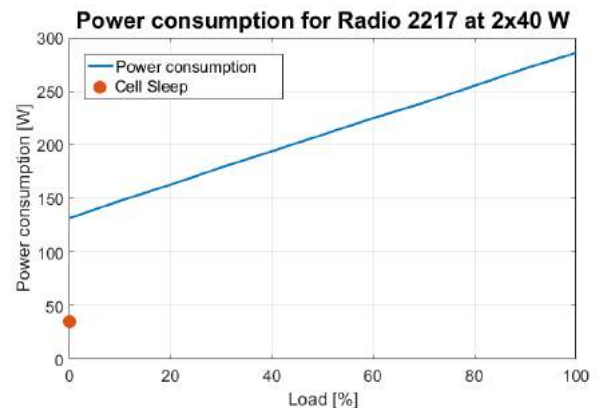
76 **PAE := 0% @ 24 dBm P_{Out}**
0.25 Watt von max. 3 Watt
^= 10% Maximalleistung



Zitat aus [12]:

«Energy Efficiency of Radio Units and its Impact on RAN Energy Consumption»,
Master's Thesis in Electrical Measurements, Thomas Berglund, Helen Huynh, Ericsson AB

77 **«Für den derzeitigen Stand der Technik gilt für die meisten HF Leistungsverstärker typischerweise, dass eine relativ grosse Verlustleistung entsteht, obwohl keine oder nur eine kleine Verbindungslast vorliegt».**



Kein umweltverantwortlicher Antennenhersteller oder Anlagenbetreiber will eine MFA als Elektroheizung betreiben!

78 **Der behauptete Betrieb einer massiv MIMO Antennen im einstelligen Leistungs-Prozentbereich und weniger! ist technisch nicht möglich und verbietet sich aus Umweltgründen ohnehin!**

79 Die Verlustleistung der HF Leistungsverstärker bestimmt die Energieeffizienz der ganzen Antenne, diese wird erfasst durch die zentrale Beurteilungsgrösse:

PAE (Power Added Efficiency) := $\frac{\text{HF Ausgangsleistung PA Out} - \text{HF Eingangsleistung PA In}}{\text{DC Einspeiseleistung}}$

80 **Für Ausgangsleistungen unter 10% der Nominalleistung geht die PAE gegen Null! kleine Ausgangsleistungen führen zu Leistungs-Ineffizienz.**



7.4 Arbeitspunkt, Gain Variation, Nichtlinearität:

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.**»

«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.**»

81 RF PA arbeiten als **Class B / Class C Verstärker, haben also nur einen begrenzt linearen Arbeitsbereich**, in den unteren und oberen Leistungsbereichen treten starke Nicht-linearitäten auf.

82 **Backoff Power Level:**

Leistungsbeschränkung auf den linearen Verstärkungsbereich, unterhalb der Saturation.

Das **PAPR (peak to average power ration)**, also die OFDM Pulscharakteristik der HF EMF ist die **zweite wichtige technische Grenze für den möglichen Arbeitsbereich der PA.**

83 Bei typischen **PAPR von 7.8dB@CCDF:=0.01%** , muss also ein **Faktor 6 an Gaidynamik, in einem linearen Verstärkungsbereich des PA wirksam sein.**

Gain Variabilität:

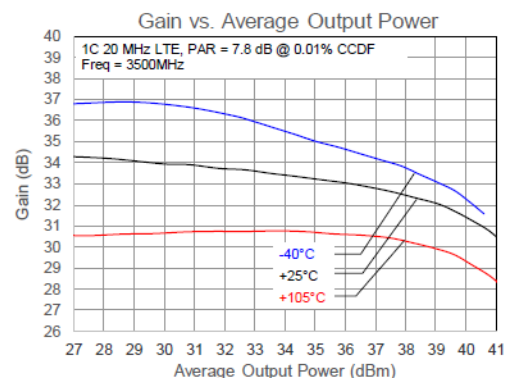
Gain versus $P_{out\ avg}$:

- 1 / + 0.5 dB @ 3500 MHz $\hat{=}$ - 26 / + 12 %

Als Funktion der Temperatur:

+/- 3 dB @ $T_{25^{\circ}C}$ $\hat{=}$ ~ -50 / + 100 %

$P_{out\ avg}$ nominal: 34.8 dBm



84 **Error Budget PA, absolut, worst case: +3.5 / - 4 dB $\hat{=}$ -60/+ 124 % Schwankungsbereich im Power Output!**

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

85 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. [5] AD 9375 mit Nennung der DPD (digital predistortion) Funktionalität :

«Fully integrated, ultralow power DPD actuator and adaptation engine for PA linearization»

«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:

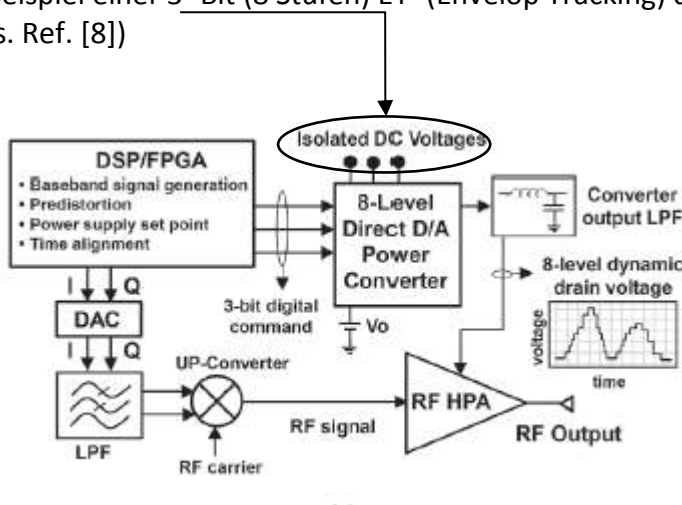
Frequency Range: 2-6 GHz / Output Power: > 31.5 dBm @PIN = 18 dBm,
Large Signal Gain: > 13.5 dB (PIN = 18 dBm) / Small Signal Gain: > 24 dB
PAE: > 31 % @PIN = 18 dBm, PAE: 15% @ PIN gegen Null.

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 14. Dezember 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**
- [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 ,1 Donald Y. C. Lie ,2 Chaojiang Li,3 Dixian Zhao ,4 and Christian Fager, 5 Anokiwave Inc., Austin, USA, _Texas Tech University, Lubbock, USA, GlobalFoundries, Burlington, USA, _Southeast University, Nanjing, China, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden**
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 network roll-out“, ITU Workshop on 5G, EMF & Health Warsaw, December 5 , 2017,**
https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171205/Documents/S3_Christer_Tornevik.pdf
- [11] **Time-Averaged Realistic Maximum Power Levels for the Assessment of Radio Frequency Exposure for 5G Radio Base Stations Using Massive MIMO**, 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, IEEE Access
- [12] Zitat aus: **«Energy Efficiency of Radio Units and its Impact on RAN Energy Consumption»,** Master's Thesis in Electrical Measurements, Thomas Berglund, Helen Huynh, Ericsson AB, Faculty of Engineering LTH, 2017
- [13] **ANFR: Agence Nationale des Fréquences,**
<http://5gobservatory.eu/the-anfr-published-the-first-detailed-emf-measurements-on-5g-pilots-in-the-3-5-6-ghz-band-in-france/>
- [14] E. Björnson: **«Massive MIMO at the World Cup»,**
<http://ma-mimo.ellintech.se/2018/06/28/massive-mimo-at-the-world-cup/>
- [15] **Implications of Incident Power Density Limits on Power and EIRP Levels of 5G Millimeter-Wave User Equipment**, Received June 23, 2020, accepted July 19, 2020, date of publication August 10, 2020, date of current version August 21, 2020.*Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.3015231*
- [16] ICNIRP, 2020: **‘Guidelines for limiting exposure to electromagnetic _fields (100 kHz to 300 GHz),’**International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)
Health Phys., vol. 118, no. 5, pp. 483_524, May 2020.
- [17] **IEEE C95.1-2019 - IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields, 0 Hz to 300 GHz**
https://standards.ieee.org/standard/C95_1-2019.html