



Fachtechnische Beurteilung:

Kritik an der von METAS vorgeschlagenen Messmethode(n) zu 5G NR Basisstationen mit adaptiven massiv MIMO Antennen - Frequenzbereich bis 6 GHz

Zusammenfassung:

Dieses Analysepapier untersucht die Voraussetzungen der provisorischen METAS Messmethoden zu 5G NR Basisstationen mit adaptiven massiv MIMO Antennen aus den veröffentlichten Unterlagen.

Der Bericht richtet sich an Fachpersonen aus Verwaltung und den Regulierungsbehörden und erfordert Grundkenntnisse der Mobilfunktechnik, insbesondere der adaptiven MIMO Technik und den regulatorischen Verfahren und Rahmenbedingungen.

Für die Kontrolle der Emissionen von Mobilfunkanlagen ist ein HF-EMF Messverfahren eine notwendige Voraussetzung, sowohl für die Planung, Baubewilligung, Inbetriebnahme wie auch den späteren Betrieb einer Mobilfunkanlage.

Das benötigte Messverfahren muss den Schutz von Leib und Leben der Bevölkerung vor Mikrowellen Befeldung sicherstellen, muss also hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messresultate erfüllen.

Solange die Kontrolle der Einhaltung der Grenzwerte im Vollzug nicht möglich ist, sind die Verfügungen der kantonalen NIS-Fachstellen, zu einer messtechnischen Überprüfung zwecks Einhaltung der Grenzwerte, nicht vollstreckbar.

Die Vorstellung **von auf die Endgeräte fokussierten Beams ist irreführend**, vielmehr basiert die adaptive MIMO Technik auf der fortlaufenden Erkundung und Auswertung der Kanalantworten (Pilotsignale, Channel State Information CSI) und deren Verwendung im Downlink als „Transmit Precoding“ mit der gleichzeitigen Abstrahlung aus allen M Antennenelementen und im Uplink als „Receive Combining“ der Sendesignale von K Endgeräten.

Vermittels der CSI kann die BS die Endgeräte im Up und Downlink räumlich unterscheiden = «**Spatial diversity**» - (und dies bis auf Bruchteile der Wellenlänge λ der Übertragungsfrequenz). Adaptive massiv MIMO Antennen nutzen Spatial Diversity und ermöglichen so Mehrwegverbindungen zwischen Sender und Empfänger. Spatial diversity nutzt die Reflexionseigenschaften der Mikrowellenstrahlung, für jeden Messort entsteht so ein eigener, räumlich variabler Messraum, der sich zudem durch lokale Reflexionen stark verändern kann und jeden Bezug zu Antennendiagrammen der Basisstation verunmöglicht.

Dies ist **die** grundsätzliche Mikrowellen EMF Messproblematik bei adaptiven massiv MIMO Antennen, welche bis heute weltweit durch die Industrie und Messgerätehersteller nicht gelöst werden konnte.

Dieses Problem kann auch METAS Messempfehlungen nicht lösen, **es zeigt sich, dass die von METAS vorgeschlagenen Messmethoden** für die Messung der 5G NR SSS Signale und deren Hochrechnung unter Auswertung von (stipulierten) Antennendiagrammen, für adaptive massiv MIMO Antennen **nicht anwendbar, ja untauglich sind!**



Das METAS unterliegt einem grundsätzlichen messtheoretischen Irrtum, wenn es versucht, die Messmethoden für passive Antennen auf adaptive massiv MIMO Antennen anzuwenden!

Konventionelle Antennendiagramme sind für adaptive Antennen mit „spatial diversity“ Fähigkeit für die Ermittlung der elektrischen Feldstärke nutzlos! Auch bei direkter LoS kann der Verbindungsweg nicht vorausgesagt werden!

Die akkreditierten Messfirmen sind mit den Vorgaben von METAS klar nicht in der Lage, eine Abnahmemessung durchzuführen, die auch nur annähernd die Anforderungen an den Schutz von Leib und Leben der Anwohner und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erfüllen kann!

Die behauptete, angeblich geringere Mikrowellen EMF Belastung durch adaptive massiv MIMO Antennen infolge des „Beamformings“, steht im Widerspruch zu den technischen Signal-Ausbreitungseigenschaften sowohl der höherfrequenten Mikrowellen EMF, wie auch derjenigen der adaptiven massiv MIMO Antennen und ist falsch!

Adaptive massiv MIMO Antennen sind kein „perpetuum mobile“!

Die Kanalerkundung vermittelt mittels Pilotsignalen für die Ermittlung der CSI, deren Nutzung als Spatial diversity für Receive Combining und Transmit Precoding sind keine Zaubermittel der adaptiven massiv MIMO Technik. Der Preis ist die um einen **Faktor 10 erhöhte Mikrowellenbefeldung!**

Adaptive massiv MIMO Antennen verwenden Spatial diversity/CSI Receive Combining und Transmit Precoding Verfahren zur SNR Optimierung. Eine **OMEN Festlegung** muss also die räumlichen Reflexionsverhältnisse („Scattering“) berücksichtigen:

! dies ist eine unmögliche Aufgabe!

Zu vor Ort Abnahmemessungen **mit einer zuverlässigen worst case Messmethode**, für die in der isotropen Ausschlusszone (s. Abschnitt 5) liegenden OKA und OMEN, wird es keine Alternative geben. Die je OKA/OMEN Ort-spezifischen, speziellen räumlichen Reflexions-Gegebenheiten erlauben kein anderes Vorgehen!

Derendingen, den 03. Februar 2021

Thomas Fluri

Dipl. Ing ETH

Bearbeitungsstand: 08. Februar 2021, Anzahl Seiten: 33



Inhaltsverzeichnis

Abschnitt	Inhalt	Seite
1.	Gesetzliche Grundlagen zur Kontrolle und Einhaltung der Emissionsbegrenzungen	4
2.	Informationstheoretische Grundlagen und Einsatzigenschaften von adaptiven massiv MIMO Antennen	6
2.1	Erhöhung der Sendeleistung	7
2.2	Nutzen eines Array Gains	8
2.3	Uplink SE und Space-Division Multiple Access (SDMA)	10
2.4	Downlink SE und Space-Division Multiple Access	11
2.5	Channel State Information (CSI), Erkundung des Übertragungskanal	12
3.	Kritik der von METAS vorgeschlagenen Messmethode	14
3.2	Analyse der von METAS vorgeschlagenen Messmethoden	15
3.2.1	Analyse der Code-selektiven Messmethoden	15
3.2.2	Analyse der Frequenz-selektiven Messmethode	17
3.3	Fazit der Kritik an den vorgeschlagenen METAS «Messmethoden»	19
3.4	Verantwortung des METAS	20
3.5	Anforderungen an ein „worst case“ Mess-Szenario für adaptive massiv MIMO Antennen	20
3.5.1	Worst case Messmethode: Messung bei maximaler Datenübertragungsrate	20
3.5.2	Diskussion LoS (Line of Sight) Sichtverbindungen	21
3.5.3	Diskussion NLoS (Non Line of Sight) Indirekte Verbindung über Reflexion	22
3.6	Resultate einer Code-selektiven adaptiven massiv MIMO Messung für LTE/4G	23
3.7	Adaptive massiv MIMO Antennen sind kein „perpetuum mobile“	24
4.	Der ANFR worst case-basierende messmethodische Ansatz , Testmessungen in Frankreich, ANFR Testmessungen in Frankreich	24
5.	Rechnerische NISV Prognose für adaptive massiv MIMO Antennen Compliance Distance Beurteilung durch Ericsson	27
5.1	Rechnerische NISV Prognose	21
5.2	Vorgehen im Standortdatenblatt zur Evaluation der rechnerischen Prognose	27
5.3	Compliance Distance Beurteilung durch Ericsson	28
5.4	Kritik der Antennendiagramme zu adaptiven massiv MIMO Antennen Unterschiedliche Ausstrahlung von Broadcast und Traffic Signalen	29
5.4.2	Fragwürdige umhüllende Antennendiagramme (AD) in den MFA Projektunterlagen, Fehlende Angaben zum Verhältnis von PBCH zu PDSCH Ausstrahlung	30
	Referenzen, Quelldokumente	32
	Anhang 1: Screenshots der SSB Signalisierung s. Ref. [9]	33



1. Gesetzliche Grundlagen zur Kontrolle und Einhaltung der Emissionsbegrenzungen

Vollzugsempfehlung zur NISV, BUWAL, 2002, Verweis auf die gesetzlichen NISV Grundlagen:

2.1 Anforderungen an die Anlage

In diesem Kapitel werden diejenigen Bestimmungen der NISV erläutert, welche eine einzelne Mobilfunkanlage und deren Strahlung betreffen.

2.1.1 Übersicht über die anwendbaren Bestimmungen der NISV

Art. 4 Vorsorgliche Emissionsbegrenzung
¹ Anlagen müssen so erstellt und betrieben werden, dass sie die in Anhang 1 festgelegten vorsorglichen Emissionsbegrenzungen einhalten.
² Bei Anlagen, für die Anhang 1 keine Vorschriften enthält, ordnet die Behörde Emissionsbegrenzungen so weit an, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist.

Art. 11 Meldepflicht
¹ Der Inhaber einer Anlage, für die Anhang 1 Emissionsbegrenzungen festlegt, muss der Behörde im Bewilligungs- oder Konzessionsverfahren ein Standortdatenblatt einreichen, wenn die Anlage neu erstellt, an einen andern Standort verlegt, am bestehenden Standort ersetzt oder im Sinne von Anhang 1 geändert wird. Ausgenommen sind elektrische Hausinstallationen (Anhang 1 Ziff. 4).
² Das Standortdatenblatt muss enthalten:
a. die aktuellen und geplanten technischen und betrieblichen Daten der Anlage, soweit sie für die Erzeugung von Strahlung massgebend sind;
b. den massgebenden Betriebszustand nach Anhang 1;
c. Angaben über die von der Anlage erzeugte Strahlung:
1. an dem für Menschen zugänglichen Ort, an dem diese Strahlung am stärksten ist,
2. an den drei Orten mit empfindlicher Nutzung, an denen diese Strahlung am stärksten ist, und
3. an allen Orten mit empfindlicher Nutzung, an denen der Anlagegrenzwert nach Anhang 1 überschritten ist;
d. einen Situationsplan, der die Angaben nach Buchstabe c darstellt.

Anhang 1 NISV
.....
6 Sendeanlagen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse
61 Geltungsbereich
¹ Die Bestimmungen dieser Ziffer gelten für Sendeanlagen von zellularen Mobilfunknetzen und von Sendeanlagen für drahtlose Teilnehmeranschlüsse mit einer gesamten äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von mindestens 6 W.
² Sie gelten nicht für Richtfunkanlagen.

und nachfolgende Artikel 62 – 65.

Ferner gilt nach der Vollzugsordnung Abschnitt 2.1.8:

Art. 12 Kontrolle
¹ Die Behörde überwacht die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen.
² Zur Kontrolle der Einhaltung des Anlagegrenzwertes nach Anhang 1 führt sie Messungen oder Berechnungen durch, lässt solche durchführen oder stützt sich auf die Ermittlungen Dritter. Das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) empfiehlt geeignete Mess- und Berechnungsmethoden.



„Nach Inbetriebnahme der Anlage soll daher in der Regel eine NIS-Abnahmemessung durchgeführt werden, wenn gemäss rechnerischer Prognose der Anlagegrenzwert an einem OMEN zu 80% erreicht wird. In begründeten Fällen kann die Behörde diese Schwelle auch niedriger ansetzen.“

Ferner entscheidet das BGer 1A.160/2004, dass:

«Die Anwohner von Mobilfunkanlagen haben jedoch ein schutzwürdiges Interesse daran, dass die Einhaltung der NIS-Grenzwerte durch objektive und überprüfbare bauliche Vorkehrungen gewährleistet wird.»

1.1 Damit ist ein Messverfahren für die Kontrolle der Emissionen der Mobilfunkanlagen eine notwendige Voraussetzung, sowohl für die Planung, Baubewilligung, Inbetriebnahme wie auch den späteren Betrieb einer Mobilfunkanlage.

→ Das benötigte Messverfahren muss den Schutz von Leib und Leben der Bevölkerung vor Mikrowellen Befeldung sicherstellen, muss also **hohe Anforderungen an die Zuverlässigkeit und die Reproduzierbarkeit der Messresultate erfüllen.**

Solange die Kontrolle der Einhaltung der Grenzwerte im Vollzug nicht möglich ist, sind die Verfügungen der kantonalen NIS-Fachstellen, zu einer messtechnischen Überprüfung zwecks Einhaltung der Grenzwerte, nicht vollstreckbar.

Dieses Analysepapier untersucht die Voraussetzungen der provisorischen METAS Messmethoden zu 5G NR Basisstationen aus den folgenden veröffentlichten Unterlagen:

- [4] «Technical Report: Measurement Method for 5G NR Base Stations up to 6 GHz», Version 2.0, 18 February 2020
- [5] «Technischer Bericht: Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz», Version 2.1, 20 April 2020 (18. Februar 2020)
- [6] Nachtrag vom 15. Juni 2020 zum Technischen Bericht Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz [Version 2.1 20 April 2020] Nachtrag – METAS-Bericht 154.1-2020-5218-1016
- [7] BAFU, 30.06.2020, Erläuterungen zur Messmethode für adaptive Antennen

2. Informationstheoretische Grundlagen und Einsatzigenschaften von adaptiven massiv MIMO Antennen

Informationstheoretische Channel Kapazität nach Claude Shannon:

If h is deterministic and the interference v has zero mean, a known variance $p_v \in \mathbb{R}_+$, and is uncorrelated with the input (i.e., $\mathbb{E}\{x^*v\} = 0$), then the channel capacity C is lower bounded as

$$C \geq \log_2 \left(1 + \frac{p|h|^2}{p_v + \sigma^2} \right) \quad (1.9)$$

where the bound is achieved using the input distribution $x \sim \mathcal{N}_{\mathbb{C}}(0, p)$.

Betrachtung des Signal to Interference to Noise (SINR) Verhältnis (ratio):

$$\text{SINR} = \frac{\overbrace{p|h|^2}^{\text{Received signal power}}}{\underbrace{p_v}_{\text{Interference power}} + \underbrace{\sigma^2}_{\text{Noise power}}}$$

Eröffnet **3 Wege zur Optimierung der SE:**

Wegen der Channel Reziprozität (TDD Übertragung) gelten die nachfolgenden Überlegungen gleichermassen für Up – wie für Downlink.

Spectral Efficiency SE := Informationsrate [bit/s] / Bandbreite [Hz] ; Menge an Information in Bit pro Sekunde und 1 Hz Bandbreite

Betrachtung eines 2 Zellen Netzwerks:

1.3. Ways to Improve the Spectral Efficiency

21

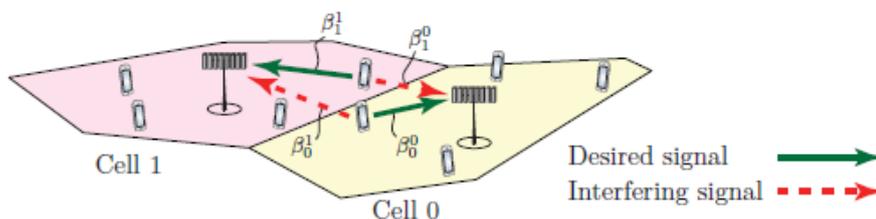


Figure 1.8: Illustration of the notion of desired and interfering UL signals in a two-cell network. In the Wyner model, every UE in cell 0 has the same value of the average channel gain β_0^0 from its serving BS and of the average channel gain β_1^0 to the other-cell BS, while every UE in cell 1 has the same value of β_1^1 and β_0^1 .

Referenzen: s. S. 32



2.1 Erhöhung der Sendeleistung

Average SNR bei einem Empfänger UE in der Zelle 0:

$$\text{SNR}_0 = \frac{p}{\sigma^2} \beta_0^0$$

β_0^0 ; mittlerer Channel Gain Endgerät UE in Zelle 0 zur Basisstation 0 (Aron Wyner)
 p : Sendeleistung des Endgerätes

Lemma 1.4. Suppose the BS in cell 0 knows the channel responses. An *achievable*¹¹ UL SE for the desired UE in the LoS case is

$$\text{SE}_0^{\text{LoS}} = \log_2 \left(1 + \frac{1}{\bar{\beta} + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right) \quad (1.17)$$

with $\bar{\beta}$ and SNR_0 given by (1.12) and (1.13), respectively. In the NLoS case (with $\bar{\beta} \neq 1$), an achievable UL SE is

$$\begin{aligned} \text{SE}_0^{\text{NLoS}} &= \mathbb{E} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{p|h_0^0|^2}{p|h_1^0|^2 + \sigma^2} \right) \right\} \\ &= \frac{e^{\frac{1}{\text{SNR}_0}} E_1 \left(\frac{1}{\text{SNR}_0} \right) - e^{\frac{1}{\text{SNR}_0 \bar{\beta}}} E_1 \left(\frac{1}{\text{SNR}_0 \bar{\beta}} \right)}{\log_e(2) (1 - \bar{\beta})} \end{aligned} \quad (1.18)$$

SE ; Spectral Efficiency, Menge an Information die in 1 Sekunde über 1 Hz Bandbreite in einer Zelle übertragen werden kann, Einheit [bits/sec/Hz/cell].

Die Grenze der SE bei LoS Verbindung **ist limitiert durch die Interferenz:** $\bar{\beta} = \frac{\beta_1^0}{\beta_0^0}$

One can improve the SE by increasing the transmit power p . However, the SE will not increase indefinitely with p . In the LoS case, we have

$$\text{SE}_0^{\text{LoS}} \rightarrow \log_2 \left(1 + \frac{1}{\bar{\beta}} \right) \quad \text{as } p \rightarrow \infty \quad (1.20)$$

Für die NLoS Verbindung gilt:

$$\text{SE}_0^{\text{NLoS}} \rightarrow \frac{1}{1 - \bar{\beta}} \log_2 \left(\frac{1}{\bar{\beta}} \right) \quad \text{as } p \rightarrow \infty$$

Für $\bar{\beta} := -10$ dB, schnelle Konvergenz gegen 3.69 bits/s/Hz

Für $\bar{\beta} := -30$ dB = Konvergenz gegen 9.97 bits/s/Hz, führt nur zu einer Verdreifachung der SE bei 100 mal mehr Sendeleistung.

→ **Fazit: eine Erhöhung der Sendeleistung hat einen positiven Effekt auf das SNR, wird aber durch die Inter-Zellen-Interferenz begrenzt. Es sind keine grossen Verbesserungen der SE möglich.**

Zum Vergleich SE von 4G Systemen: 0 – 5 bit/s/Hz

Anmerkung. **Erhöhung der Zelldichte** $D := \text{Zellen/km}^2$

Da mit einer Erhöhung der Zelldichte sowohl das Nutz- wie auch das Interferenz-Signal in etwa gleichermassen steigen, kann die SE dadurch nicht verbessert werden.

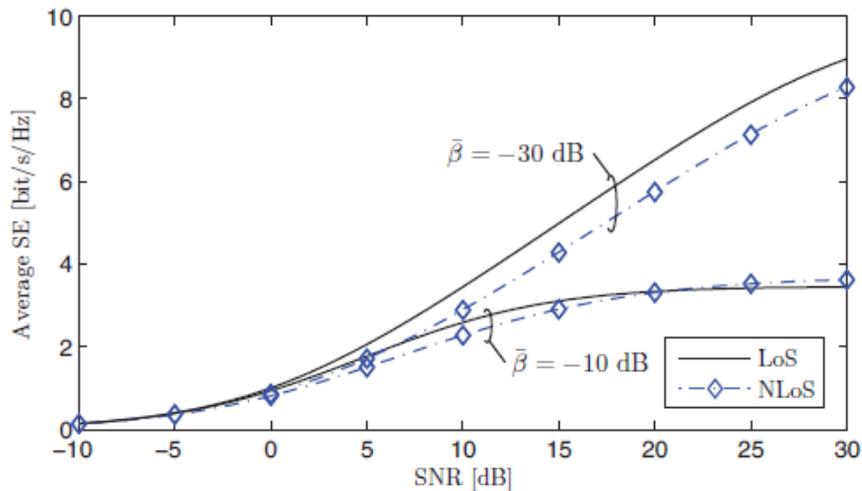


Figure 1.9: Average UL SE as a function of the SNR for different cases of inter-cell interference strength, $\bar{\beta} \in \{-10, -30\}$ dB, and different channel models.

2.2 Nutzen eines Array Gains

Ansatz: Anstelle einer Erhöhung der Sendeleistung wird durch den Einsatz mehrerer Empfangs-Antennen bei der Basisstation (BS) versucht, mehr HF-EMF Energie vom Sender «einzufangen», die Wirkung eines solchen ULA (uniform linear array) wird als „array gain“ bezeichnet. Die räumliche Anordnung einer Anzahl von Antennen erlaubt es dem Empfänger, **die aus unterschiedlichen räumlichen Winkeln eintreffenden Signale, durch geeignete räumliche Filterung (receive combining) zu unterscheiden**. Dies ist insbesondere wichtig für **Multipfad NLoS Verbindungen**, um Signale über Reflexionswege zu erfassen.

Nun wird ein Empfangsvektor als Summe empfangen mit $m = 1 \dots M$ Elementen,
 M := Anzahl Empfangsantennen:

$$\mathbf{y}_0 = \underbrace{\mathbf{h}_0^0 s_0}_{\text{Desired signal}} + \underbrace{\mathbf{h}_1^0 s_1}_{\text{Interfering signal}} + \underbrace{\mathbf{n}_0}_{\text{Noise}}$$

sind die Kanalantworten von Zelle i nach j , ebenfalls Vektoren mit m Elementen

Empfangs-Kombination (receive combining): mehrfache Empfangsantennen werden dann wirksam, **wenn die Basisstation (BS) die Kanalantworten des Endgerätes UE kennt!** Dann kann die BS die empfangenen Signale aller M Antennen **kohärent zusammenfügen**.

➔ **Die Ermittlung und Nutzung der Kanalantworten (channel responses) für «receive combining» und «Precoding» (s. 2.4) ist ein Schlüsselaspekt der adaptiven massiv MIMO Technik!**

Der **Receive Combining Vektor** beinhaltet die Kanalantworten zu den M Antennen:

Die Kanalantworten der M Antennenelemente erzeugt von/durch K Pilotsignalen generieren die **Channel State Information CSI**, s. Absatz 2.5, ein Abbild also, der aktuellen räumlichen und physikalischen Übertragungseigenschaften des Luftkanals zwischen Sender und Empfänger.

UL SE mit Spatial diversity, Maximum Ratio (MR) Receive Combining für **LoS** Verbindung:

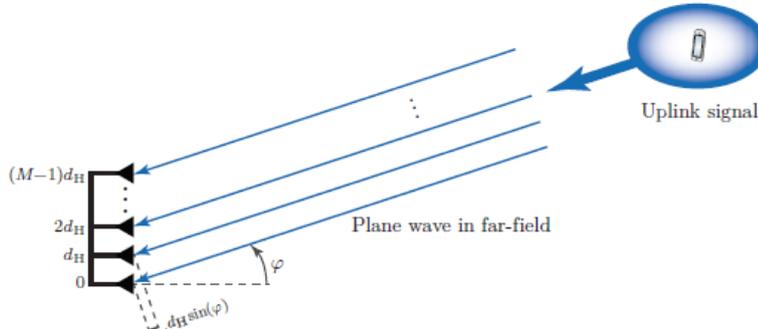


Figure 1.10: LoS propagation between a transmitting single-antenna UE and a BS equipped with a ULA with M antennas. The antenna spacing is d_H wavelengths, the azimuth angle to the UE is φ , and the UE is located in the far-field of the array, so that a plane wave reaches it. Note that the setup is illustrated from above.

$$SE_0^{\text{LoS}} = \log_2 \left(1 + \frac{M}{\beta g(\varphi_0^0, \varphi_1^0) + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right)$$

UL SE mit Spatial diversity, Maximum Ratio (MR) Receive Combining für **NLoS** Verbindung:

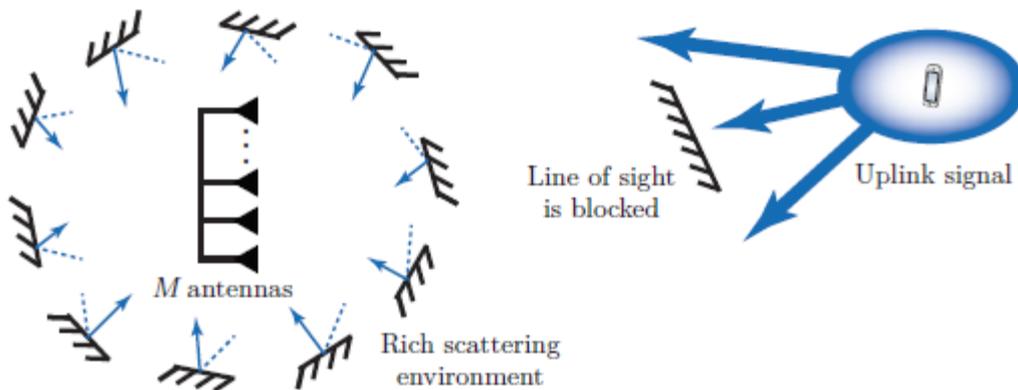


Figure 1.11: NLoS propagation with uncorrelated Rayleigh fading between a transmitting single-antenna UE and a BS equipped with an array of M antennas. The LoS path is blocked, but the signal finds multiple other paths via scattering objects. The BS is surrounded by many scattering objects so that the UE location has no impact on the spatial directivity of the received signal.

$$SE_0^{\text{NLoS}} = \mathbb{E} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{p \|\mathbf{h}_0^0\|^2}{p \frac{|\langle \mathbf{h}_0^0, \mathbf{h}_1^0 \rangle|^2}{\|\mathbf{h}_0^0\|^2} + \sigma^2} \right) \right\} \geq \log_2 \left(1 + \frac{M-1}{\beta + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right). \quad (1.32)$$

2.2.a

➔ **Fazit: die SE wächst nur logarithmisch mit der Anzahl M Empfangsantennen.**

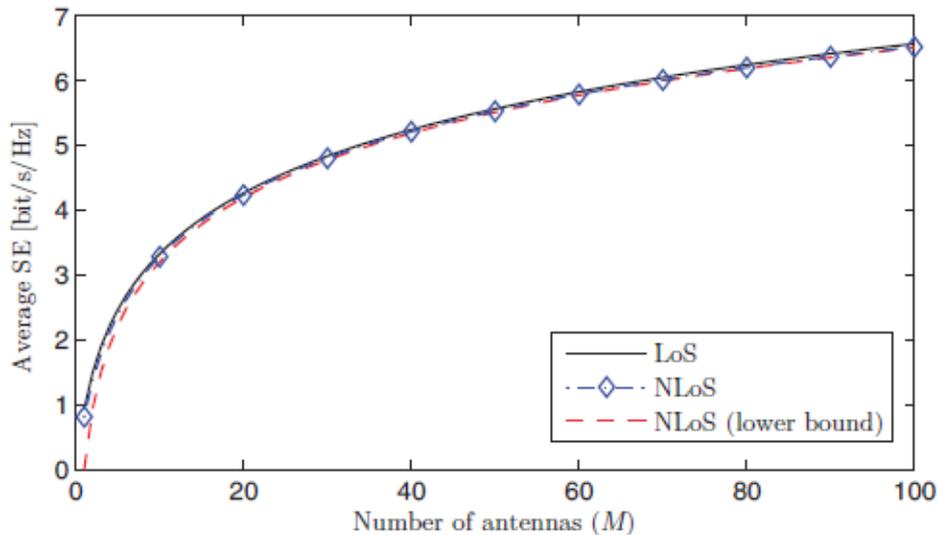


Figure 1.14: Average UL SE as a function of the number of BS antennas M for different channel models. The SNR is $\text{SNR}_0 = 0$ dB and the strength of the inter-cell interference is $\bar{\beta} = -10$ dB.

2.3 Uplink SE und Space-Division Multiple Access (SDMA)

MIMO: Multiple In Multiple Out

Gleichzeitiger Empfang von K Endgeräten und Abstrahlung über M Antennenelemente.

K mehrfache Eingänge und M mehrfache Ausgänge: **MIMO**

.1 UL SE für MR Combining und LoS Verbindung:

$$SE_0^{\text{LoS}} = \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{M}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K g(\varphi_{0k}^0, \varphi_{0i}^0) + \bar{\beta} \sum_{i=1}^K g(\varphi_{0k}^0, \varphi_{1i}^0) + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right) \quad (1.43)$$

Die SE wächst linear mit M , jedes Endgerät profitiert also gleichermassen vom «**array gain**», aber im Logarithmus, zudem treten $K-1$ Interferenz-Störungen auf.

.2 UL SE für MR Combining und NLoS Verbindung:

$$SE_0^{\text{NLoS}} = \sum_{k=1}^K \mathbb{E} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{p \|\mathbf{h}_{0k}^0\|^2}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K p \frac{|\langle \mathbf{h}_{0k}^0, \mathbf{h}_{0i}^0 \rangle|^2}{\|\mathbf{h}_{0k}^0\|^2} + \sum_{i=1}^K p \frac{|\langle \mathbf{h}_{0k}^0, \mathbf{h}_{1i}^0 \rangle|^2}{\|\mathbf{h}_{0k}^0\|^2} + \sigma^2} \right) \right\} \\ \geq K \log_2 \left(1 + \frac{M-1}{(K-1) + K\bar{\beta} + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right). \quad (1.44)$$

→ **Die SE wächst linear mit K** , ausserhalb des Logarithmus! dies wird als **SDMA** «**Multiplexing Gain**» gekennzeichnet.

Fazit: UL SDMA Übertragung kann die SE der gesamten Zelle um einen Faktor 10 vergrößern.

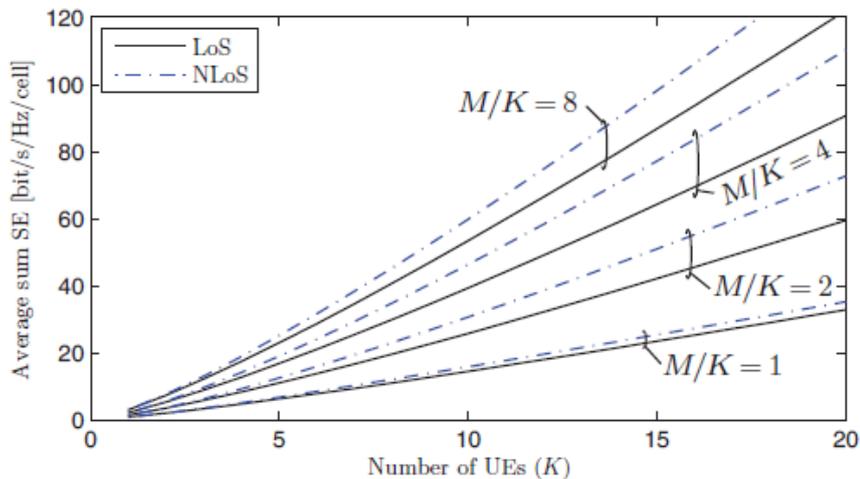


Figure 1.17: Average UL sum SE with M-MMSE combining as a function of the number of UEs per cell, when the number of antennas increases with K with different fixed antenna-UE ratios M/K . The SNR is $\text{SNR}_0 = 0$ dB and the strength of the inter-cell interference is $\bar{\beta} = -10$ dB. The sum SE grows as M/K increases.

Dies wird erreicht mit der gleichzeitige SDMA Verbindung von K Endgeräten mit einer Anzahl M Antennen in der Basisstation wird ein **array gains** erzielt, der die Wirkung der Interferenzen verkleinert. Wie aus vorstehendem Diagramm ersichtlich sollte dabei das Verhältnis $M/K > 1$ sein.

Achtung: durch SDMA und MIMO wird die SE der Endgeräte **nicht dramatisch vergrößert**, dafür ist die Verwendung von mehr Bandbreite und also SDMA Ressourcen notwendig.:

2.4 Downlink SE und Space-Division Multiple Access

Die K Endgeräte werden von den M Antennenelementen der BS **unter Nutzung der CSI** mit vorkodierten Signalen, das Verfahren wird als „**Precoding**“ bezeichnet, verbunden.

Precoding ist so zu verstehen, dass alle K Datensignale von allen M Antennen gesendet werden aber je mit eigener Amplitude und Phase, um die Signale kohärent (konstruktive Addition beim Empfänger) auf die Endgeräte zu übertragen.

Dies wird vereinfachend auch als «**Beamforming**» bezeichnet.

Die Vorstellung **von auf die Endgeräte fokussierten Beams ist irreführend**, vielmehr basiert die adaptive MIMO Technik auf der fortlaufenden Erkundung und Auswertung der Kanalantworten (Pilotsignale, Channel State Information CSI) und deren Verwendung als Precoding in der SDMA Signalaufbereitung.

Räumlich gerichtete Beams sind ein Precoding Spezialfall für reine LoS Übertragungen.

Wie das Precoding Verfahren wirkt, veranschaulicht das folgende kurze Video der LUN Universität:

<https://www.youtube.com/watch?v=XBb481RNqGw>



Downlink SE für LoS und NLoS:

Lemma 1.8. If the BSs use MR precoding and the UEs in cell 0 know their respective effective channels $(\mathbf{h}_{0k}^0)^H \mathbf{w}_{0k}$ and the interference variance, then an achievable DL sum SE [bit/s/Hz/cell] in the LoS case is

$$SE_0^{\text{LoS}} = \sum_{k=1}^K \log_2 \left(1 + \frac{M}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K g(\varphi_{0i}^0, \varphi_{0k}^0) + \bar{\beta} \sum_{i=1}^K g(\varphi_{1i}^1, \varphi_{0k}^1) + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right). \quad (1.49)$$

With NLoS channels, a DL sum SE [bit/s/Hz/cell] and a closed-form lower bound are

$$SE_0^{\text{NLoS}} = \sum_{k=1}^K \mathbb{E} \left\{ \log_2 \left(1 + \frac{p \|\mathbf{h}_{0k}^0\|^2}{\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^K p \frac{|(\mathbf{h}_{0k}^0)^H \mathbf{h}_{0i}^0|^2}{\|\mathbf{h}_{0i}^0\|^2} + \sum_{i=1}^K p \frac{|(\mathbf{h}_{0k}^1)^H \mathbf{h}_{1i}^1|^2}{\|\mathbf{h}_{1i}^1\|^2} + \sigma^2} \right) \right\} \\ \geq K \log_2 \left(1 + \frac{(M-1)}{(K-1) \frac{M-1}{M} + K \bar{\beta} + \frac{1}{\text{SNR}_0}} \right). \quad (1.50)$$

Gleich wie beim Uplink wirken der **array gain** im Logarithmus und der SDMA **Multiplexing Gain** in der NLoS Verbindung.

2.5 Channel State Information (CSI), Erkundung des Übertragungskanals

In der Praxis sind die Kanalantworten nur für ein paar Millisekunden konstant.

Beispiel: Handy in Fahrzeug mit 135 km/h = 37.5 m/s unterwegs, ergibt ein Kohärenzintervall (Zeit, in der Amplitude und Phase in einem Übertragungskanal von wenigen 100 kHz Bandbreite vernachlässigbar kleine Änderungen erfahren) das näherungsweise im Verhältnis zur Wellenlänge der Funkübertragung abgeschätzt werden kann:

$T_c \approx \lambda/4v$, ergibt bei einer Frequenz von 2 GHz im obigen Fall : $T_c = 1$ ms

Je höher die Übertragungsfrequenz ist, je häufiger muss also die Kanalantwort aktualisiert werden.

Die aktuellen in der BS anliegenden Kanalantworten wird als Channel state bezeichnet.

Das (statistische) Wissen der BS über die Kanalantworten wird als **Channel State Information** bezeichnet.

Die Kanalantwort wird durch die Aussendung von **Pilotsignalen** ermittelt: Jede Empfangsantenne kann das Pilotsignal der Sendeantenne empfangen und dieses Empfangssignal mit dem bekannten, Soll-Pilotsignal vergleichen, um eine Kanalantwort zu ermitteln.

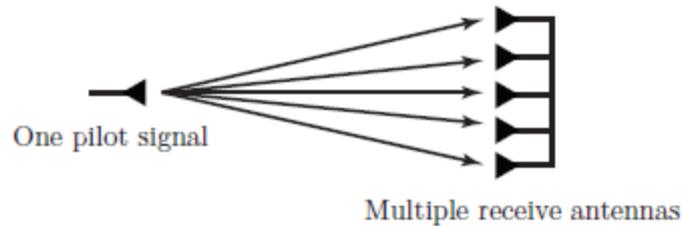


Figure 1.20: When an antenna is transmitting a pilot signal, any number of receive antennas can simultaneously receive the pilot signal and use it to estimate their respective channels to the transmitter.

Orthogonale Pilotsignale: Für die Unterscheidung von 2 Sendeantennen werden 2 orthogonale Pilotsignale benötigt, die Anzahl benötigter orthogonaler Pilotsignale ist proportional zu der Anzahl M Sendeantennen.

Kanalreziprozität bei TDD Übertragung:

Uplink: Für K Endgeräte (mit einer einzigen Sendeantenne) benötigt die BS K (mit ms Periodizität) Pilotsignalauswertungen.

Downlink: die BS verfügt über M Einzelantennen, die Kanalermittlung benötigt also M Pilotsignale. Typischerweise ist das Verhältnis $M/K \geq 4$ (s. Fig. 1.17 auf S. 11), der Downlink Aufwand für die Kanalerkundung vermittelt Pilotsignalen also viel grösser als für den Uplink.

Da der Luftkanal in Up- und Downlink für eine TDD Übertragung **reziprok ist**, genügt die Verarbeitung von K Endgeräten Pilotsignalen für die CSI Ermittlung.

Vermittels der CSI kann die BS die Endgeräte im Up und Downlink räumlich unterscheiden = «Spatial diversity» (und dies bis auf Bruchteile der Wellenlänge λ der Übertragungsfrequenz).

Visualisierung der Spatial diversity Wirkung (im Downlink **vermittels der CSI Ermittlung**:

Die Pilotsignale im Uplink (ausgestrahlt von den Endgeräten) repräsentiert in einer akustischen Analogie: das Geräusch des platzenden Ballons wird durch die M Antennenelemente der adaptiven massiv MIMO Antenne als «Kanalantworten» registriert und zur Channel State Information zusammengefügt.

Wegen der Kanalreziprozität (TDD Übertragung) dient dann die CSI im **Precoding** Verfahren dazu, in der umgekehrten, der Downlink Übertragungsrichtung, die von M Antennenelementen ausgestrahlte HF-EMF, am Ort des Endgerät konstruktiv (Phasenkohärent) zu überlagern.



Figure 6. Audio analogy to uplink channel characterization.

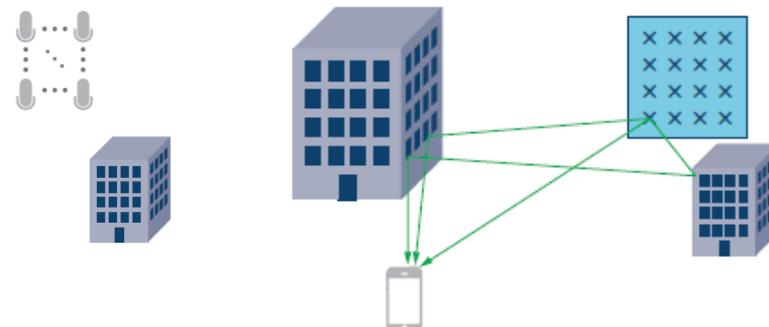


Figure 2. Multipath environment between antenna array and user.



3. Kritik an der von METAS vorgeschlagenen Messmethode

Die adaptiven massiv MIMO Antennen werden aktuell vorwiegend für die Übertragung 5G NR Fast verwendet, kommen aber zukünftig auch bei LTE/4G bzw. UMTS/3G zum Einsatz, dieser ist also **technologieunabhängig**, s. BAFU Information an die Kantone, „Mobilfunk und Strahlung: Aufbau der 5G-Netze in der Schweiz«, vom 17.04.19).

Die Nutzung der Spatial diversity, vereinfachend auch als «Beamforming» bezeichnet (s. 2.4) verunmöglicht das bisher angewendet Verfahren der Hochrechnung von gemessenen Signalbestandteilen (Code- oder Frequenz-selektiv) auf die ERP Sendeleistung.

Die an einem Ort XY gemessene elektr. Feldstärke kann keinem Luftkanalweg zur Basisstation mehr zugeordnet und damit kann kein Antennendiagramm mehr ausgewertet werden!

Dies gilt nicht nur für NLoS Verbindungen, auch LoS Verbindungen enthalten im Allgemeinen Reflexionsanteile, die in die Messung eingehen und keinem Verbindungsweg zugeordnet werden können.

3.1.a

Die durch die spatial diversity ermöglichten Mehrwegverbindungen, erzeugen zusammen mit den Reflexionseigenschaften der Mikrowellenstrahlung für jeden Messort (bbspw. OMEN) je einen neuen, räumlich variablen Messraum, der sich zudem durch lokale Reflexionen stark verändern kann und jeden Bezug zu den Antennendiagrammen der Sendquelle verunmöglicht.

3.1.b

→ Dies ist die grundsätzliche Mikrowellen EMF Messproblematik bei adaptiven massiv MIMO Antennen, welche bis heute weltweit durch die Industrie und Messgerätehersteller nicht gelöst werden konnte.

Dies hat der weltweit führende HF-EMF Messgerätehersteller **Narda** (L3Harris) **schon Im August 2019** in seinen Informationsvideos «**5G in a nutshell**» festgestellt und auf die laufenden internationalen Bemühungen verwiesen, s.:

Link zur Narda Präsentation: https://www.youtube.com/watch?v=xrYSXS_-urQ

3.1.c Unterschiedliche Ausstrahlung von Broadcast und Traffic Signalen:

Bei der adaptiven massiv MIMO Antenne sind die Antennengewinne für Signalisierungskanal SS/PBCH und den Datenverkehr PDSCH unterschiedlich und haben unterschiedliche Abstrahlungseigenschaften: SS/PBCH: passiv, 20 ms Periodizität <-> PDSCH: adaptiv, dynamisch.

Wenn man also von der Signalisierung auf den Datenverkehr hochrechnet, muss man diesen Unterschied mit einbeziehen. **Dieser Unterschied ist aber kein fester Faktor von X dB.**

Der Unterschied **kann räumlich sehr unterschiedlich ausfallen** (Reflexionen!).

Mit der adaptiven spatial diversity/Beamforming PDSCH Ausstrahlung kann die adaptive Antenne einen weiten horizontalen Bereich von 120° und vertikalen Bereich von $\geq \pm 30^\circ$ befellen.

An den Rändern der Zelle können Unterschiede von mehreren 10 dB im PBCH und PDSCH Verhältnis auftreten. Diese Aussagen stammen von **Narda**, einem international bekannten und kompetenten Messgerätehersteller.

Die Abstrahlungskegel von SS/PBCH und PDSCH sind verschieden und , s. S. 23 und Ref [14]



Zitat Narda, zum Stand der Messtechnik, dass das Verhältnis von SS/PBCH und PDSCH mit den Messgeräten noch nicht erfasst werden kann. *«Diesen Unterschied nicht zu berücksichtigen, wäre sträflich. Hinzu käme, dass dieser Unterschied im Antennengewinn so gerichtet ist, dass er eine Unterbewertung bewirkt. Dies wäre aus Gründen der Sicherheit (Vorsorgeprinzip) absolut nicht akzeptabel».*

3.2 Analyse der von METAS vorgeschlagenen Messmethoden

Referenzen, s. S. 32

- [4] «Technical Report: Measurement Method for 5G NR Base Stations up to 6 GHz», Version 2.0, 18 February 2020
- [5] «Technischer Bericht: Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz», Version 2.1, 20 April 2020 (18. Februar 2020)
- [6] Nachtrag vom 15. Juni 2020 zum Technischen Bericht Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz [Version 2.1 20 April 2020] Nachtrag – METAS-Bericht 154.1-2020-5218-1016
- [7] BAFU, 30.06.2020, Erläuterungen zur Messmethode für adaptive Antennen

3.2.1 Analyse der Code-selektives Messmethoden

Zitate aus den Veröffentlichungen in *Kursivschrift* (Hervorhebungen durch den Verfasser):

„Die Messung des SSS sowie das Decodieren des DM-RS-Signals erfordern eine code-selektive Feldsonde, einen Messempfänger oder einen Spektrumanalysator, der NR-Signale decodieren und ihre Leistung quantifizieren kann.

Die SSS-Signalbandbreite beträgt $127 \cdot \Delta f$, der SS/PBCH-Block dagegen weist eine Bandbreite von $240 \cdot \Delta f$ auf, wobei Δf den Subträgerabstand des SS/PBCH-Blocks darstellt.“

Zum Messverfahren:

*„An einem gegebenen Ort wird die Messung wie folgt durchgeführt: Für jede NR-Zelle i müssen alle messbaren SS/PBCH-Blöcke nach ihrer **Zellkennung i und dem SS/PBCH-Blockindex j** (geht aus der Demodulation des DM-RS-Signals hervor) identifiziert werden. Jeder **SS/PBCH-Block mit dem Index j entspricht einem PBCH-Antennenstrahl**. Für jeden (durch seinen Index j identifizierten) SS/PBCH-Block wird die Feldstärke **$E_{i,SSS(RE)}$ pro Resource-Element des SSS gemessen**. Die elektrischen Feldstärken $E_{i,SSS(RE)}$ aller SS/PBCH-Blöcke innerhalb eines halben Frames werden dann quadratisch addiert, um einen neuen Wert zu bilden. Das räumliche Maximum $E_{i,maxSSS(RE)}$ dieses Wertes muss innerhalb des Messvolumens gesucht werden. Gemäss [10] werden alle SS/PBCH-Blöcke innerhalb desselben halben Frames (siehe Anhang A.2) gesendet, und man kann davon ausgehen [10], dass dieser halbe Frame mit einer Periodizität von zwei Frames, d.h. 20 ms, gesendet wird.2*

$$E_{i,h} = E_{i,max}^{SSS(RE)} \cdot K_i(\varphi_i, \theta_i) \quad (1)$$

Dabei bedeuten

$$E_{i,max}^{SSS(RE)} = \max \left(\sqrt{\sum_j (E_{i,j}^{SSS(RE)})^2} \right) \quad (2)$$

$$K_i(\varphi_i, \theta_i) = K_i^{SSS(RE)} \cdot K_i^{antenna}(\varphi_i, \theta_i) \cdot K_i^{stat} \cdot K^{duplex} \quad (3)$$



Diskussion des «Allgemeinen Hochrechnungsfaktors» $K_i(\varphi_i, \theta_i)$:

$K_i(\varphi_i, \theta_i)$ Allgemeiner Hochrechnungsfaktor für Zelle i . Der allgemeine Hochrechnungsfaktor hängt vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i ab.

$K_i^{\text{SS}(RE)}$ SSS-Hochrechnungsfaktor für Zelle i .

$K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ Antennenkorrekturfaktor, unter Berücksichtigung der Differenz aus dem Antennendiagramm des SS/PBCH-Signals von Zelle i und dem Antennendiagramm des Gesamtsignals im maximal erlaubten Betriebszustand. Der Antennenkorrekturfaktor hängt vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i ab.

Mit der Definition des Antennenkorrekturfaktors::

$K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) =$

$$\left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{wenn } A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) < 10 \\ & \text{und } A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) \leq A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \\ A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) / A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) & \text{wenn } A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) < 10 \\ & \text{und } A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) > A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \\ K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}} & \text{wenn } A_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) \geq 10 \end{array} \right. \quad (7)$$

3.2.1.a

Beurteilung:

➔ Dieser Messvorschlag beinhaltet also: ausgehend von der SS/PBCH Signalausbreitung, (zu dieser liegen in den Hersteller- und den StDb Projekt-Unterlagen keine Angaben vor) über das unbekannte dynamische Verhältnis zwischen SS/PBCH und PDSCH Ausstrahlungseigenschaften, (s. 3.1.c) und ungeachtet der vollkommen unbekanntem Signalüberlagerungen durch die Spatial diversity und NLoS Mehrwegübertragung am Messort (Reflexionen), soll das Antennendiagramm für den PDSCH mit für ein bestimmtes Wertepaar von Azimut und Elevation – aus einer LoS Betrachtung (!)- ausgewertet werden!

Umsetzung der «Variabilität der Senderichtung»: 5 *Keulenstatistischer Faktor*

Für jede NR-Zelle i der Basisstation (bzw. Anlage) wird ein statistischer Faktor $K_{i\text{stat}}$ bestimmt, um die *Variabilität der Senderichtung und der Antennendiagramme von adaptiven Antennen gemäss Anhang 1, Absatz 63 der NISV [1], Fassung vom 1. Juni 2019, zu berücksichtigen.*

Die Definition des statistischen Faktors $K_{i\text{stat}}$ wird derzeit noch untersucht.»

3.2.1.b

➔ Dieser Ansatz, die Variabilität der Senderichtung infolge der Spatial diversity und der räumlich von Messort zu Messort variierenden reflektiven Gegebenheiten mit einem Faktor abzubilden, ignoriert die technischen Bedingungen der Befeldungseigenschaften von adaptiven massiv MIMO Antennen und ist vollkommen untauglich.



Im Handel sind zurzeit keine Messgeräte für die Code-selektive Messung von mit adaptiven massiv MIMO Antennen abgestrahlten Signalen erhältlich. METAS hat deshalb als Übergangslösung eine Frequenz-selektive Messmethode vorgeschlagen und diese am 18.02.20 publiziert.

3.2.2 Analyse der Frequenz-selektiven Messmethode

Das Frequenz-selektive Verfahren verwendet dieselbe Rechenvorschrift zur Hochrechnung der gemessenen Signalbestandteile unter Auswertung von stipulierten Antennendiagrammen:

$$E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}}$$
$$E_h \cong \left(E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}} \right) \cdot \max_{i=1..n} (K_i(\varphi_i, \theta_i)) \quad (16)$$

Dabei bedeutet

n Anzahl Zellen der Basisstation bzw. der Anlage.

Mit derselben Rechenvorschrift für $K_i(\varphi_i, \theta_i)$:

$$K_i(\varphi_i, \theta_i) = K_i^{\text{SSS(RE)}} \cdot K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) \cdot K_i^{\text{stat}} \cdot K^{\text{duplex}}$$

- **Damit gilt für das Frequenz-selektive «Messmethode» dieselbe methodische Kritik gemäss 3.2.1.a und 3.2.1.b wie für die Code-selektive «Messmethode».**
- Beinahe unwichtig ist dabei, dass die Frequenz-selektive Messung unter Einsatzes eines Spektrumanalysators im Zero-Span Modus zusätzlich eine Messunsicherheit mit sich bringt, wie das METAS selber feststellt.

Die vorgeschlagene Frequenz-selektive «Messmethode» für adaptive massiv MIMO Antennen ist für Abnahme- und Kontrollmessungen nicht brauchbar, da die vorgeschlagene «Messmethode», ungeachtet der theoretischen Untauglichkeit, allenfalls unter Laborbedingungen angewendet werden könnte. Die Voraussetzungen für die Messungen sind dabei unter anderen, Zitate:

«Da der Spektrum Analysator bei einem TDD-Übertragungsschema nicht zwischen Uplink und Downlink unterscheiden kann, ist es wichtig, jedes Mobiltelefon in der Nähe des Messsystems auszuschalten.»

Es kann also nicht zwischen Mobiltelefonen oder anderen im Messumfeld einstrahlenden Sendequellen (Booster-Box, IoT Anwendungen oder einer benachbarten Mobilfunkanlage) unterscheiden. Und weiter: «Bei der frequenzselektive Messmethode sind keine Unterscheidungen zwischen benachbarten Zellen eines Betreibers möglich».

»Die frequenzselektive Methode kann keine Aussage zur Einhaltung der Anlagengrenzwerte machen. Es handelt sich um eine orientierende Messung.»



Der METAS Nachtrag vom 15. Juni 2020 zur Frequenz-selektiven Messung belegt die Untauglichkeit des vorgeschlagenen messmethodischen Ansatzes:

Zunächst wird am Allgemeinen Korrekturfaktor «gewerkelt».

Problem der Zellüberlappung: 3 Bereiche für den Korrekturfaktor $K_i^R(\varphi_i, \theta_i)$ um Zellen abzugrenzen:

Aktuell	$E_h \cong \left(E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}} \right) \cdot \max_{i=1..n} (K_i(\varphi_i, \theta_i))$
Neu	$E_h \cong \left(E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}} \right) \cdot K_i^R(\varphi_i, \theta_i)$

mit

$K_i^R(\varphi_i, \theta_i) =$		
$\left\{ \begin{array}{l} K_{i_1}(\varphi_{i_1}, \theta_{i_1}) \\ K_{i_2}(\varphi_{i_2}, \theta_{i_2}) \\ \max_{i_1, i_2} (K_{i_1}(\varphi_{i_1}, \theta_{i_1}), K_{i_2}(\varphi_{i_2}, \theta_{i_2})) \end{array} \right.$	im Hauptsendebereich der Zelle i_1	(17)
	im Hauptsendebereich der Zelle i_2	
	im Bereich zwischen Zellen i_1 und i_2	

Dann wird an der Messbandbreite «gewerkelt», Anpassung Auflösungs BW:

Aktuell	"... minimalen Auflösungsbandbreite der SSS-Bandbreite ($127 \cdot \Delta f$)".
Neu	"... minimalen Auflösungsbandbreite der Hälfte SSS-Bandbreite, d.h. von $(127 \cdot \Delta f)/2$, ...".

Um dann gleich noch die gesamte Hochrechnungsformel anzupassen:

Aktuell	$E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}}$
Vorgeschlagen	$E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \max \left(\sqrt{\frac{1}{127}}, \sqrt{\frac{\Delta f}{RBW}} \right) \cdot K_i^{\text{FSM}}$

Definitionen werden angepasst (RBW ist die Auflösungsbandbreite).

➔ Mit obiger lapidaren Feststellung: «**Definitionen werden angepasst ...**», also ein «**work in progress**» Eingeständnis!



3.3 Fazit der Kritik an den vorgeschlagenen METAS «Messmethoden»

Die METAS «Messmethoden» versuchen die Anforderungen aus der Politik, im Speziellen des BAFU, zu erfüllen und **adaptive massiv MIMO Antennen wie passive, konventionelle Antennen zu messen.**

Das BAFU empfiehlt den Kantonen mit Schreiben vom 17. April 2019, Zitat:

*«Bis diese Vollzugshilfe ausgearbeitet ist, können adaptive Antennen in einem worst case Szenario behandelt werden. Die Strahlung wird **wie bei konventionellen Antennen** nach der maximalen Leistung beurteilt. Damit wird ihre tatsächliche Strahlung überschätzt und die Beurteilung ist auf der sicheren Seite.»*

Schreiben des BAFU «An die kantonalen und städtischen NIS-Fachstellen» vom 31. Januar 2020:

«c) Empfehlung an die Kantone

Den Kantonen wurde im April 2019 empfohlen, adaptive Antennen wie konventionelle Antennen zu beurteilen (worst case Beurteilung). Damit wird deren tatsächliche Strahlung überschätzt und die Beurteilung ist für die betroffene Bevölkerung auf der sicheren Seite (Information vom 17. April 2019 an die Kantone - Mobilfunk und Strahlung: Aufbau der 5G-Netze in der Schweiz).

*Bis zur Publikation der Vollzugshilfe für adaptive Antennen empfiehlt das BAFU den Kantonen, **adaptive Antennen weiterhin gleich zu behandeln wie konventionelle Antennen.** Das bedeutet, dass die Strahlung wie bei konventionellen Antennen nach dem maximalen Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung und basierend auf Antennendiagrammen beurteilt wird, die für jede Senderichtung den maximal möglichen Antennengewinn berücksichtigen. Die Beurteilung bleibt so für die betroffene Bevölkerung einer Mobilfunkanlage auf der sicheren Seite.*

Werden adaptive Antennen gleich behandelt wie konventionelle Antennen kann ihr Betrieb in den bestehenden QS-Systemen der Mobilfunkbetreiberinnen und der Datenbank des BAKOM korrekt dargestellt werden.»

3.3.a

→ **Die von METAS vorgeschlagene Messmethoden für das 5G NR SSS Signal und dessen Hochrechnung unter Auswertung von (stipulierten) Antennendiagrammen, sind für adaptive massiv MIMO Antennen nicht anwendbar, ja untauglich!**

Die METAS „Messmethoden“ ignorieren die Multipath Luftkanal-Eigenschaften der adaptiven massiv MIMO Technik, reduzieren diese auf eine idealisierte LoS Verbindung, die die tatsächlichen Verhältnisse vollkommen ignorieren. Die Luftkanal-Verbindungen zwischen Basisstation und Endgeräten haben **grundsätzlich NLoS Charakter**, sind also indirekt und die Folge von Reflexionen («scattering»).

3.3.b

→ **Das METAS unterliegt einem grundsätzlichen messtheoretischen Irrtum, wenn es versucht, die Messmethoden für passive Antennen auf adaptive massiv MIMO Antennen anzuwenden!**

3.3.c

→ **Konventionelle Antennendiagramme für adaptive Antennen mit „spatial diversity“ Fähigkeit, sind für die Ermittlung der elektrischen Feldstärke nutzlos! Auch bei direkter LoS kann der Verbindungsweg nicht vorausgesagt werden!**

Ein anschaulicher Vergleich:

Der Lichtstrom (in Lux, Lumen/m²) einer Glühlampe kann nicht gleich wie die derjenige einer Laserlicht- (phasen-kohärente (!) Strahlung) Show gemessen werden.



3.3.d

- **Die akkreditierten Messfirmen sind mit den Vorgaben von METAS klar nicht in der Lage, eine Abnahmemessung durchzuführen, die auch nur annähernd die Anforderungen an den Schutz von Leib und Leben der Anwohner und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse erfüllen kann!**
(wie unter 1.a gefordert)

3.4 Verantwortung des METAS:

Die Veröffentlichungen des METAS dokumentieren die Unzulänglichkeit des messmethodischen Ansatzes, dies kommt insbesondere im Nachtrag vom 15. Jun 2020 klar zum Ausdruck: das Vorgehen von METAS ist experimentell und kann nur scheitern!

- Die Anforderung aus der Politik zur Gleichbehandlung von adaptiven massiv MIMO Antennen und passiven konventionellen Antennen, kommt einer **unlösbaren Aufgabe** gleich: der **«Quadratur des Kreises»**.
- Dass das METAS diese Anforderung nicht abgelehnt hat, ist sein Unvermögen und es wird dafür haften müssen.

3.5 Anforderungen an ein „worst case“ Mess-Szenario für adaptive massiv MIMO Antennen

Verordnungsvorgabe:

BAFU Information an die Kantone vom 17. April 2019 , BR Entscheid vom 17. April 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“.*

*«Bis diese Vollzugshilfe ausgearbeitet ist, können adaptive Antennen in einem **worst case Szenario** behandelt werden. Die Strahlung wird wie bei konventionellen Antennen nach der maximalen Leistung beurteilt. Damit wird ihre tatsächliche Strahlung überschätzt und die Beurteilung ist auf der sicheren Seite.»*

3.5.1 Worst case Messmethode: Messung bei maximaler Datenübertragungsrate:

Da das SS/PBCH zu PDSCH Signalverhältnis unbestimmt ist, s. Absatz 3.1.c, besteht keine Messmöglichkeit von Signalbestandteilen mit anschliessender Hochrechnung auf einen Beurteilungswert. Die Anzahl ausgestrahlter SS/PBCH Beams ist variabel (4 oder 8), das Antennendiagramm unbekannt. Die METAS „Messmethode“ versucht dies mit einer quadratischen Mittelung zu lösen (Gleichung 2).

- **Der messmethodische Ansatz des ANFR löst diese Problematik, indem er direkt die Messung des PDSCH Traffic Beam Signals unternimmt und dies mit worst case Bedingungen!**

ANFR: Agence Nationale des Fréquences, s. Ref. [9], Diskussion der Resultate s. Abschnitt 4ff



Ein einzelnes in der Funkzelle verbundenes Endgerät ausgerüstet mit einem leistungsfähigen 5G Modem verlangt eine **Daten Downloadanforderung** (FTP oder UDP Filetransfer), **die genügend gross ist, die maximale Datenübertragungsrate der adaptiven massiv MIMO Antenne für eine Messung auszuschöpfen.**

Für eine Datenübertragungsrate in der BS Funkzelle von 500 Mbps, also ca. 50 MByte/s, ohne Overhead Betrachtung, benötigt eine 1 GByte grosse Datei eine Downloadzeit von ca. 20 Sekunden.

Diese Zeit genügt für eine **Feldstärkenmessung über die gesamte Bandbreite des Traffic Beam Signals am Aufstellungsort des Endgerätes und unter echten Betriebsbedingungen**, zudem kann die Messzeit durch Anpassung der Downloadanforderung leicht verlängert werden .

3.5.2 Diskussion LoS (Line of Sight) Sichtverbindungen:

Prinzipiell verbindet die massiv MIMO Antennen Verbindungen zu den Endgeräten auf der Basis von **Pilotsignal Kanalerkundung/CSI** und verwendet die **Spatial diversity** Fähigkeit, zur Erzielung eines optimalen SNR (signal to noise ratio) beim Endgerät.

Wirkt in der direkten LoS ein Antennen-Richtungsabschwächungsfaktor, besteht **für die smarte adaptive massiv MIMO Antenne prinzipiell ein optimalerer Weg über eine indirekte Abstrahlung vermittelt Reflexionen!**

Die von M Antennenelementen abgestrahlte Mikrowellen EMF **addiert konstruktiv** auf das Endgerät **über prinzipiell unbekannte Mehrwegverbindungen** infolge Reflexion und der **Spatial diversity** Funktionalität.

Direkte LoS Signalanteile befellen nebst dem Endgerät OKA Orte zwischen BS und Endgerät.

Indirekte NLoS Signalanteile befellen nebst dem Endgerät auch OMEN Orte im Umkreis von, durch die adaptive massiv MIMO Antenne auf der Basis der CSI genutzten, geeigneten Signalreflexionen an räumlichen Gegebenheiten im Umkreis des Endgerätes.

→ **Es existiert keine „reine“ LoS Verbindung in einem urbanen, bebauten Gebiet mit zahlreichen reflektiven räumlichen Gegebenheiten!**

3.5.2a

Fazit LoS Verbindung, Verlust der Anwendbarkeit des Antennendiagrammes:

→ **Die Anwendung von CSI/Spatial diversity Funktionalität verunmöglicht deterministische Aussagen über die Verbindungswege zwischen Basisstation mit adaptiven massiv MIMO Antennen und den Endgeräten auch bei LoS Situation!**

Das Antennendiagramm verliert seine Bedeutung, wenn Azimut und Elevation einer Verbindung unbekannt sind und dies zudem gleich mehrfach, da prinzipiell Mehrwegverbindungen angenommen werden müssen!

3.5.2b

OMEN Befeldung auch bei LoS:

Prinzipiell muss auch für den Fall einer „reinen“ LoS Verbindung von OMEN Befeldungen im Umkreis eines Endgerätes ausgegangen werden!

Die behauptete, angeblich geringere Mikrowellen EMF Belastung durch adaptive massiv MIMO Antennen infolge des „Beamformings“, steht im Widerspruch zu den technischen Signal-Ausbreitungseigenschaften der adaptiven massiv MIMO Antennen und ist falsch!



3.5.3 Diskussion NLoS (Non Line of Sight) Indirekte Verbindung über Reflexion:

Die Luftkanal-Verbindungen zwischen **Basisstation und Endgeräten haben grundsätzlich NLoS Eigenschaften**, die Mikrowellen EMF zwischen Sender und Empfänger wird also vermittels Reflexionen («scattering») übertragen.

Alle für die vorstehende LoS Betrachtung festgestellten Verhältnisse treffen nun generell zu:

- **NLoS Verbindungen ergeben höhere SNR Werte auf die Endgeräte (s. Figur 1.17 auf S 11), sind also gegenüber LoS der bevorzugte Verbindungsweg!**
- **Zu den Verbindungswegen können keine deterministischen Voraussagen gemacht werden.**
- **Azimut, Elevation und Anzahl Verbindungswege sind unbekannt, das Antennendiagramm verliert seine Anwendbarkeit.**
- **OKA und OMEN Befeldungen treten an unerwarteten Orten im Umkreis des Verbindungsweges zwischen BS und Endgerät auf.**
- **Insbesondere bei der Nutzung von Verbindungen mit adaptiven massiv MIMO Antennen in das Gebäudeinnern trifft nun zu, was der Verfasser bereits mit der fachtechnischen Beurteilung (s. Ref. [8] auf Seite 7) geäußert hat:**
„39 **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!**
- Bekanntlich durchdringt höherfrequente EMF die Gebäudehülle schlechter als niederfrequente, (bestimmt durch das Verhältnis von Wellenlänge zu Mauerwerk, 900 MHz $\lambda = 33$ cm, 3.5 GHz $\lambda = 8.6$ cm).
Die in der Schweiz im Frequenzband von 3-4 – 3.6 GHz abstrahlenden adaptiven massiv MIMO Antennen müssen also NLoS Verbindungen nutzen, um Verbindungen mit gutem SNR in das Gebäudeinnere herzustellen!
- **Die behauptete, angeblich geringere Mikrowellen EMF Belastung durch adaptive massiv MIMO Antennen infolge des „Beamformings“, steht im Widerspruch zu den technischen Signal-Ausbreitungseigenschaften sowohl der höherfrequenten Mikrowellen EMF, wie auch derjenigen der adaptiven massiv MIMO Antennen und ist falsch!**
- **Zu vor Ort Abnahmemessungen, mit einer zuverlässigen worst case Messmethode, bei in der isotropen Ausschlusszone (s. Abschnitt 5) liegenden OKA und OMEN, wird es keine Alternative geben. Die je OMEN-spezifischen, speziellen räumlichen Reflexions-Gegebenheiten erlauben kein anderes Vorgehen!**
- **Smartphone Endgeräte generieren Mikrowellen Befeldung:**
Ohne Endgeräte sendet die adaptive massiv MIMO Antennen lediglich das SS/PBCH Broadcast-Signal. Dies zudem mit < -10 dBm kleinerer Leistung als die PDSCH Downlink Datensignale und mit einem quasi-statischen (20 ms Periodizität, 4 bis 8 Sektorbeams) Antennendiagramm (s. Ref. [14]). Mit der SS/PBCH Signalisierung wird eine Funkzelle definiert, innerhalb derer Endgeräte erkannt und zur Erkennung vermittels Pilotsignal-Erkundigung aufgefordert werden. **Treten Smartphone-Endgeräte in die Funkzelle ein, entsteht eine permanente Signalisierungsaktivität** (Pilotsignal Kanalerkundung), die installierten Apps der Smartphones aktivieren die eingebauten Datenaktualisierung und Benutzerprofilierung: **es entsteht eine Grundaktivität an Downlink PDSCH Befeldung im Sekundentakt, ganz ohne explizite Benutzereingaben.**

Jedes kleine HF-EMF Messgerät kann diese fortlaufende Verbindungsaktivität nachweisen.

3.6 Resultate einer Code-selektiven adaptiven massiv MIMO Messung für LTE/4G

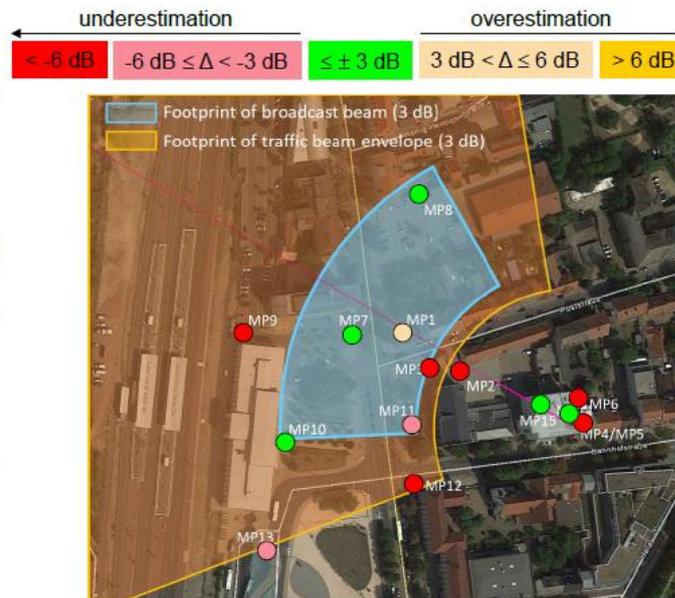
s. Ref. [14]

Messansatz: eine Code-selektive Messung der adaptiven Antennen ist unter LTE möglich, da das Zellen-spezifische Referenzsignal (cell-specific reference signal CRS) ausgesendet wird.

Ergebnisse: Vergleich der aus der Hochrechnung der (für LTE) gemessenen Signalbestandteile ermittelten Beurteilung mit den unter worst case Bedingungen tatsächlich gemessenen elektrischen Feldstärken:

Results

- Generalized extrapolation factor leads to massive underestimation at some measurement points
- Measurement method with constant antenna gain difference only suitable for points
 - with LOS to antenna
 - located outdoors
 - inside broadcast and traffic beams



→ **Massive Abweichungen: $\pm 3 \text{ dB} \hat{=} +100/-50\%$, $\pm 6 \text{ dB} \hat{=} +400%/-75\%$!**
Massive Überschreitung der von METAS angeführten Messgenauigkeit von : $\pm 45\%$

Zitat METAS aus Ref. [15]:

„In der Praxis der Mobilfunkmessungen erhalten akkreditierte Messlaboratorien typische erweiterte Messunsicherheiten von $\pm 36\%$ bis $\pm 44\%$. **Die maximale zulässige erweiterte Messunsicherheit nach den Messempfehlungen wurde mit $\pm 45\%$ definiert.**“

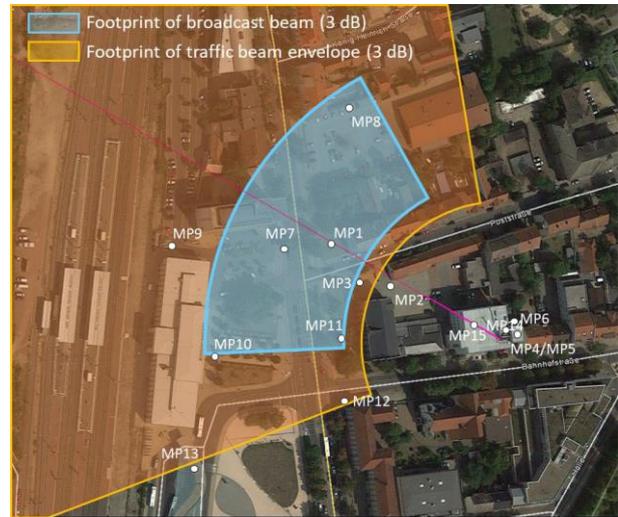
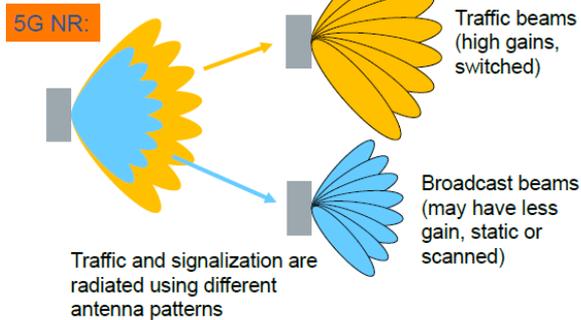
Obige Messung erfolgten unter LTE Bedingungen und zudem nur unter LoS im Aussenbereich!
 Kein Wunder, dass der Bericht festhält:

Summary and Outlook

- Vertical beam sweeping has a massive impact on vertical compliance distances
 → limitation of the vertical beam sweeping range decreases compliance distances
- Previous approaches to exposure assessment in 2G-4G networks will no longer be applicable to 5G, **but urgently needed**
- Accuracy of a generalized extrapolation factor strongly depends on the location of the measurement point w.r.t. both beams
- The SSB radiated by the broadcast beam(s) may be used as a base for an extrapolation, but will require code-selective SSB measurement techniques as soon as 5G cells will provide realistic traffic conditions
- First measurement results are promising, some questions are still to be solved before a reproducible procedure can be defined
- **When developing new radio technologies, it is necessary to standardize possibilities to evaluate their (max. possible) exposure e.g. by test modes**

Wie in [14] diskutiert und dargestellt, sind Abstrahlkegel und Antennendiagramme von SS/PBCH und PDSCH verschieden und die befeldeten Bereiche stark unterschiedlich,.

Traffic and Broadcast Beam



3.7 Adaptive massiv MIMO Antennen sind kein „perpetuum mobile“:

Die angeblichen Vorteile der erhöhten Datenübertragungskapazität von adaptiven massiv MIMO Antennen haben einen Preis!

Ein Blick auf die ERP Leistungsangaben genügt:

ERP Leistung einer typischen 200 Watt adaptiven massiv MIMO Antenne mit typischer ERP Gain von 150, resultierende abgestrahlte Leistung **30'000 Watt**

Vergleich mit einer typischen passiven Antenne, Einspeiseleistungen von ca. 100Watt typische ERP Gain 30, resultierende abgestrahlte Leistung: **3000 Watt.**

- **Der Preis ist ein Faktor 10 Mehrbelastung durch Mikrowellenbefeldung!**
- Die angestrebte Erhöhung der Datenübertragungsrates wird also auch durch eine theoretische zweifelhafte Erhöhung der Sendeleistung angestrebt, Diskussion s. Abschnitt 2.1.
- **Die Kanalerkundung vermittelt mittels Pilotensignalen für die Ermittlung der CSI, deren Nutzung als Spatial diversity für Receive Combining und Transmit Precoding sind kein Zaubermittel, der adaptiven massiv MIMO Technik!**
- ! **Der Preis ist die um einen Faktor 10 erhöhte Mikrowellenbefeldung!**



4. Der ANFR worst case-basierende messmethodische Ansatz , Testmessungen in Frankreich ANFR Testmessungen in Frankreich

Referenz [9] „Assessment of the exposure of the general public to 5G electromagnetic waves, Part 2: first measurement results on 5G pilots in the 3,400-3,800 MHz band“, ANFR, April 2020

Eine für die adaptive massiv MIMO Antennentechnik adäquate Messmethode hat das ANFR in Frankreich erfolgreich angewendet. Dabei wurde das traffic beam Signal der adaptiven massiv MIMO Antenne durch Daten Download Anforderungen von 150 MB bis 100 GB an der Messstelle «festgehalten».

Die Messungen erfolgten vor der kommerziellen Inbetriebnahme der Basisstationen, die HF Feldstärken im 3.4 – 3.6 GHz Frequenzbereich und in den Messumgebungen konnte also vorgängig gemessen und Fremdeinflüsse ausgeschlossen werden.

Gemessen wurde die HF Feldstärke Frequenz-selektiv mit aktuell erhältlichen Messgeräten (u.a. Spektrumanalysator).

Zitate:

S. 2.: „The post-initialisation measurements were taken without traffic as these sites were not open to subscribers at the time.“

„Additional measurements were also taken at a limited number of sites in specific test configurations, in particular with continuous data traffic in a beam locked in a given direction and when downloading a 1 GB file.“

S. 8.: „in direct view between 100 and 200 m and in the median azimuth sector for each installation“

S. 9.: „... direct and unobstructed visibility of the sites“

S. 10.: „The measurements were taken at different points: in direct view of the antenna, within an antenna beam and outside the beams. The measurements were taken 1.5 m above the ground, outdoor“

S. 20.: „In the axis connecting the antenna to the terminal, at a height of 1.5 m, electric field strengths of between 0.25 V/m and 9 V/m were measured, outdoors, at distances ranging from 2 to 250 m from the antennas for transmission over a 100 MHz bandwidth and a maximum transmitted power of 200 W.“

Die Messergebnisse:

Town/City	Manufacturer	Operator	Electric field strength without traffic	Maximum electric field strength when the antenna is transmitting continuously at full load in a given direction	Electric field strength received when sending a 1 GB file in a given direction
Mérignac	Huawei	Bouygues Telecom	0.1-0.2 V/m	9 V/m	1.1 V/m
Châtillon	Huawei	Orange	0.01-0.2 V/m	0.65 V/m	--
Toulouse	Huawei	SFR	0.1-0.2 V/m	8.3 V/m	0.8 V/m
Douai	Ericsson	Orange	0.1 V/m	1.4 V/m	--
Nozay	Nokia	Nokia	0.05-0.6 V/m	6 V/m	1.6 V/m
Pau	Huawei	Orange	0.01-0.1 V/m	1.8 V/m	--



Verwendete massiv MIMO Antennen:

Town/City	Manufacturer	Operator	Antenna type ³
Mérignac	Huawei	Bouygues Telecom	64T64R
Châtillon	Huawei	Orange	64T64R
Toulouse	Huawei	SFR	64T64R
Douai	Ericsson	Orange	64T64R
Nozay	Nokia	Nokia	64T64R
Pau	Huawei	Orange	32T32R and 8T8R
Saint-Ouen	Samsung	Orange	32T32R

Table 3: List of 5G sites that were the subject of supplementary analysis

Diskussion Messung in **Nozay**, Nokia Antenne mit Einspeiseleistung 200 Watt:

Gemessene elektrische Feldstärke für worst case Übertragung: 6 V/m in 140 m Distanz!

Sowohl in der axialen wie lateralen Messrichtung werden Reflexionseinwirkungen – Auswirkungen der Spatial Diversity Funktionalität - festgestellt.

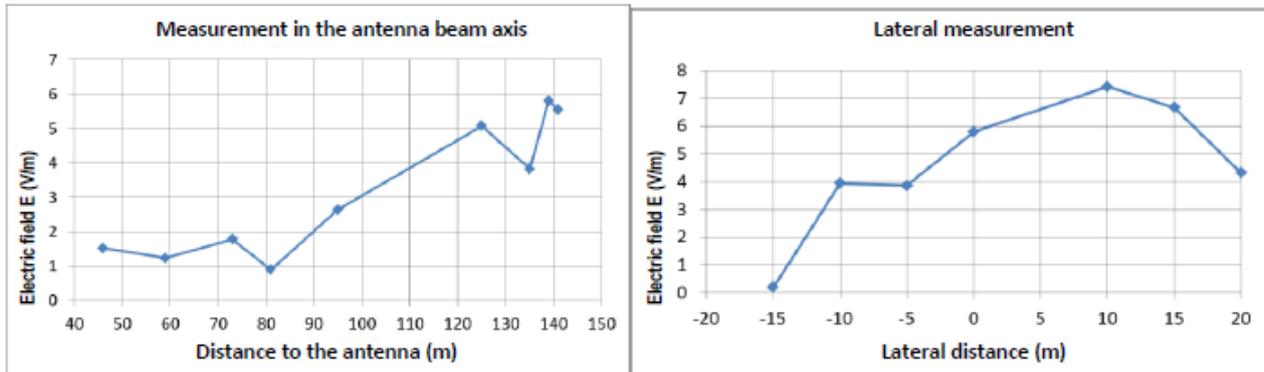
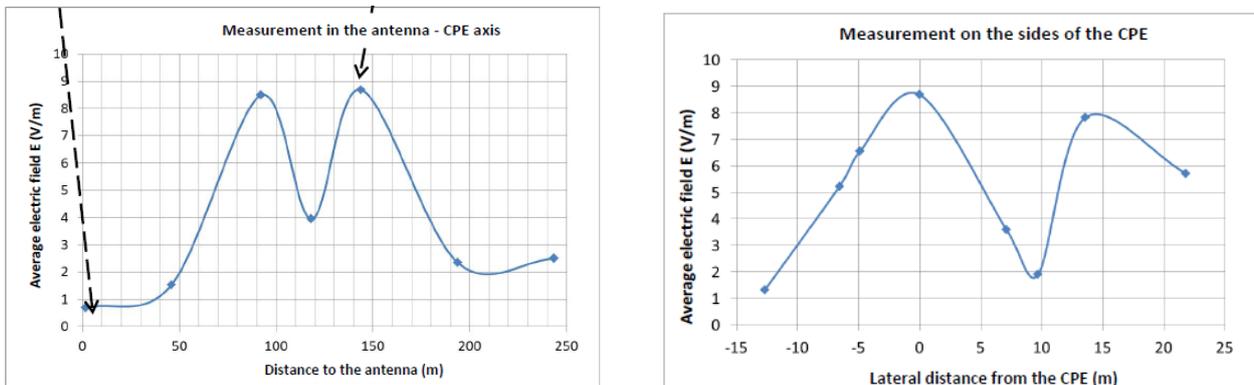


Figure 21: 6-minute average electric field strengths measured at sector 1 of the Nokia site in Nozay on the left in the line of sight of the antenna and on the right perpendicular to the line of sight of the antenna at about 140 metres from the antenna.

Diskussion Messung in **Mérignac**, Huawei mit Einspeiseleistung 200 Watt:

Gemessene elektrische Feldstärke für worst case Übertragung: 9V/m in ca. 140 m Distanz!

Starke Reflexions Manifestationen sowohl in axialer wie laterales Messrichtung.





Diskussion Messung in **Toulouse**, Huawei massiv MIMO Antenne mit Einspeiseleistung **2 Watt**.
Gemessene elektrische Feldstärke für worst case Übertragung: 0.65 V/m bei 60 m Distanz.

Spatial Diversity Manifestationen in axialer und lateraler Messrichtung.

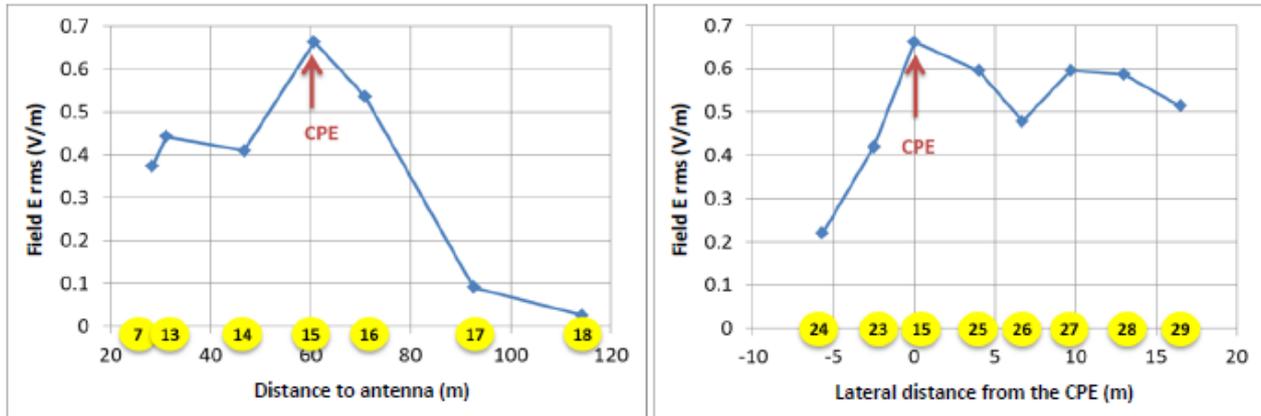


Figure 15: At the top, overhead view of the Châtillon site. The CPE is placed at the red point and the yellow points show the measurement points in the antenna axis and on the sides of the CPE. At the bottom, 6-minute average field strengths measured over 100 MHz band in the antenna axis (on the left) and on the sides of the CPE (on the right).

Fazit des ANFR, Zitat aus dem Rapport S. 31:

„With 5G steered beam antennas, greater spatial and temporal variability is foreseeable and the level read at the broadband probe at any given time may no longer be a good indicator of exposure“

Die ANFR Messmethode, die direkte Messung der elektrischen Feldstärke mit worst case Datenübertragungsrate, ohne Hochrechnung auf der Basis einer Antennendiagramm-Auswertung, erkennt der Verfasser als einzig gangbaren messmethodischen Weg, gegeben die Spatial Diversity Funktionalität der zu messenden adaptiven massiv MIMO Antennen.

Allfällige Fremdeinwirkungen wirken nicht anders als bei der von METAS vorgeschlagenen Frequenzselektiven Methode damit muss umgegangen werden.

Diese Störanteile fallen aber bei der ANFR Methode viel weniger ins Gewicht, können diese doch durch entsprechend starke – zeitlich langdauernde – Download Anforderungen stark reduziert bis ausgeschlossen werden (keine weiteren Endgeräte-Nutzungen in der Funkzelle zulassen).

Anmerkung zur Forderung nach einem Reduktionsfaktor:

Diese beruht auf der Basis der ICNIRP „Empfehlungen“ und dem diesen zugrundeliegenden **thermischen Gesundheitschädigungs Dogma**, die HF-EMF Befeldung **wird über 6 Minuten gemittelt**.

Das ICNIRP thermische Dogma ist längst durch die (unabhängige) Wissenschaft widerlegt, Zitate aus dem jüngsten BERENIS Newsletter von Januar 2021, Ref. [12]

„...dass EMF-Exposition, sogar im niedrigen Dosisbereich, durchaus zu Veränderungen des oxidativen Gleichgewichtes führen kann.“

„Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Mehrzahl der Tierstudien und mehr als die Hälfte der Zellstudien Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch HF-EMF und NF-MF gibt. Dies beruht auf Beobachtungen bei einer Vielzahl von Zelltypen, Expositionszeiten und Dosierungen (SAR oder Feldstärken), auch im Bereich der Anlagegrenzwerte.“



**5. Rechnerische NISV Prognose für adaptive massiv MIMO Antennen
Compliance Distance Beurteilung durch Ericsson**

5.1 Rechnerische NISV Prognose

Auswirkung auf die **OMEN Festlegung**:

Diese erfolgt bis heute auf der Basis der Abstrahleigenschaften von passiven konventionellen Antennen und der Auswertung der zugehörigen Antennen-diagramme (selektiv oder umhüllend) **unter Anwendung von LoS Vorgaben** mit Distanz, Azimut, Elevation resp. Höhe rel. zur Antenne.

Adaptive massiv MIMO Antennen verwenden Spatial diversity/CSI Receice combining und Transmit Precoding Verfahren zur SNR Optimierung.

→ **Eine OMEN Festlegung muss also die räumlichen Reflexionsverhältnisse („Scattering“) berücksichtigen: dies ist eine unmögliche Aufgabe!**

→ **Die Anwendung von CSI/Spatial diversity Funktionalität verunmöglicht deterministische Aussagen über die Verbindungswege zwischen Basisstation mit adaptiven massiv MIMO Antennen und den Endgeräten.**

! Das Antennendiagramm verliert seine Bedeutung, wenn Azimut und Elevation einer Verbindung unbekannt sind und dies zudem gleich mehrfach, da prinzipiell Mehrwegverbindungen angenommen werden müssen!

5.2 Vorgehen im Standortdatenblatt zur Evaluation der rechnerischen Prognose:

5.2.1 Die Richtungsabschwächungsfaktoren (RF) und die Gebäudedämpfung haben keine Bedeutung mehr und sind mit dem Wert von 0 (Null) einzutragen:

Da $\gamma_n = 1$, es wirken keine Richtungsabschwächungsfaktoren und $\delta_n = 1$, es wirkt keine Gebäudedämpfung,

→ **Dies gilt sowohl für OKA wie OMEN Orte!**

5.2.2 Die Berechnung der elektrischen Feldstärke erfolgt gemäss der Vollzugsordnung Absatz 3.7: Aus der Betrachtung der isotropen Leistungsverteilung:

$$S_{\dots} = \frac{P_n \cdot G_{EIRP}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad [W/m^2] \quad ; P_n \text{ Einspeiseleistung der Zelle } n \text{ in die Antenne}$$

; G_{EIRP} Antennen-Gain, isotrope Bezugsantenne

Errechnet sich die elektrische Feldstärke zu:

$$E = \frac{1}{d_n} \sqrt{\frac{P_n \cdot G_{ERP} \cdot 1.64 \cdot Z_0}{4 \cdot \pi}} \quad [V/m] \quad ; G_{ERP} \text{ Antennen-Gain, ERP, } \lambda/2 \text{ Bezugsant.}$$

; mit $Z_0 =$ Feldwellenwiderstand 377 Ohm

Woraus sich die aus der Vollzugsordnung bekannte Formel 19 ergibt:

$$E = \frac{7}{d_n} \sqrt{P_{n,ERP}}$$

mit $\gamma_n = 1, \delta_n = 1$, **$d_n =$ direkte Distanz zwischen Antenne und OKA/OMEN,**

Für die Beurteilung nach dem worst case Szenario gilt die direkte Distanz zwischen OKA/OMEN und dem(den) Standort(en) der Antenne(n).

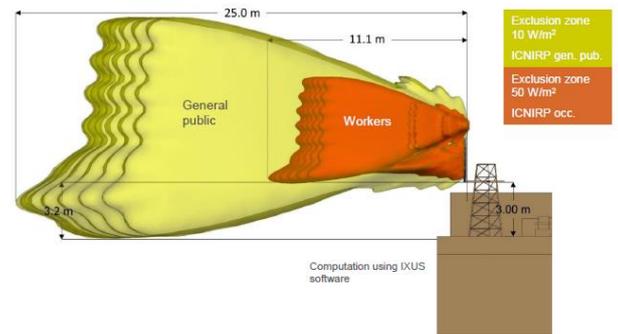
5.3 Compliance Distance Beurteilung durch Ericsson

Diskussion der Ericsson Präsentation, Referenz [10], [11], s. auch Referenz [8] Abschnitt 3:
 „Impact of EMF limits on 5G network roll-out“, ITU Workshop on 5G, EMF & Health, Warsaw,
 Ericsson wendet eine HF-EMF Beurteilung basierend auf der zuvor unter 5.2.2 diskutierten isotropen
 Leistungsverteilung an.

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

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

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 der 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!**

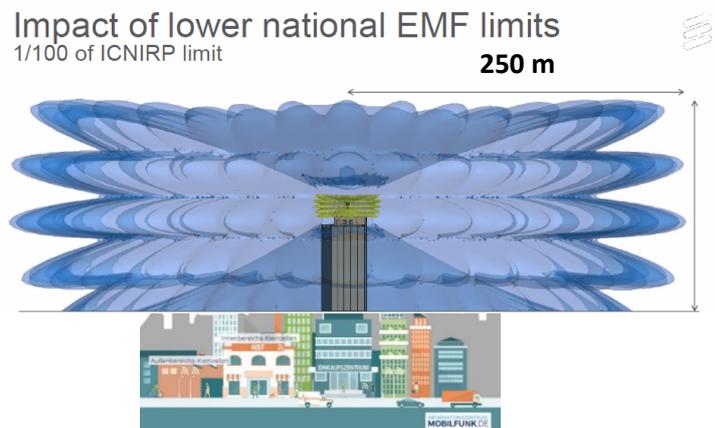
Das sähe in der CH urbanen Bebauung dann in etwa so aus:

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**





Die Lehre aus der HF-EMF Beurteilung entsprechend dem Ericsson Ansatz lautet s. [8]:

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

- In der urbanen CH Bebauung entstehen nur noch NLoS und können bezüglich der Mikrowellen Befeldung rechnerisch nur schwer abgeschätzt und messtechnisch nur durch worst case PDSCH traffic Download Verfahren kontrolliert werden.
- **Sämtliche in der Ausschlusszone liegenden OKA/OMEN Orte müssen gemessen werden!**
- Adaptive massiv MIMO Antennen wurden für die Fussballweltmeisterschaften entwickelt (s. Ref. [16]) und **können in der urbanen Schweizerischen Bebauung nicht verwendet werden!**

Ericsson hat das Problem erkannt und setzt für den „Coverage tier“ im urbanen Raum auf **Small Cell Lösungen**, s.: <https://www.ericsson.com/en/small-cells/outdoor-coverage>

„Ericsson’s outdoor micro radio series provides seamless mobility for users moving in and out of the small cell coverage area. These radios have the best in class design, superior radio performance and power efficiency when it comes to medium range 3GPP radio products.“

5.4 Kritik der Antennendiagramme zu adaptiven massiv MIMO Antennen Unterschiedliche Ausstrahlung von Broadcast und Traffic Signalen mit Referenz zu Abschnitt 3.1.c und Ref. [14]

Bei der adaptiven massiv MIMO Antenne sind die Antennengewinne für Signalisierungskanal SS/PBCH und den Datenverkehr PDSCH unterschiedlich und haben unterschiedliche Abstrahlungseigenschaften: quasi-statisch, 25 ms Periodizität <-> adaptiv, dynamisch.

Wenn man also von der Signalisierung auf den Datenverkehr hochrechnet, muss man diesen Unterschied mit einbeziehen. **Dieser Unterschied ist aber kein fester Faktor von X dB.**

Der Unterschied **kann räumlich sehr unterschiedlich ausfallen** (Reflexionen, SW-kontrollierte AD!).

Mit der adaptiven spatial diversity/Beamforming PDSCH Ausstrahlung kann die adaptive Antenne einen grösseren horizontalen Bereich und vertikalen Bereich befelden als das SS/PBCH (s.S. 23).

An den Rändern der Zelle können Unterschiede von mehreren 10 dB im SS/PBCH und PDSCH Verhältnis auftreten (s. Abschnitt 3.1.c und Anhang1).

5.4.1 Software-kontrollierte Antennendiagramme (AD)

Adaptive massiv MIMO Antennen können einen Sendebereich mit einer unvergleichlich höheren Leistung befelden als konventionelle Antennen. In Kenntnis dieser Eigenschaft bietet Ericsson deshalb auch eine **Software-Leistungskontroll-Lösung** „Power lock“ an.

Zitat Ref. [13]:

„With beamforming the instantaneous ERP and the **resulting peak RF EMF levels can be higher than those for traditional base-station antennas.**“

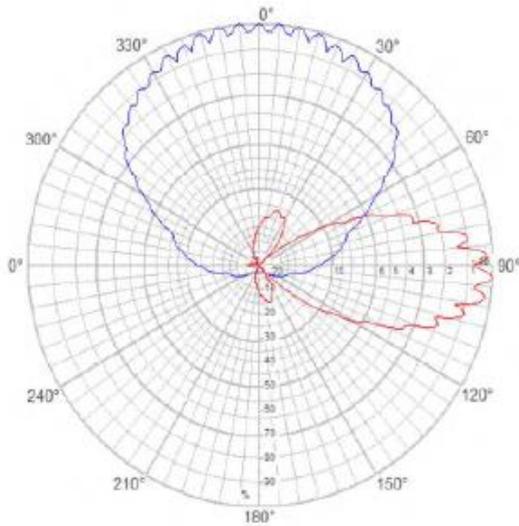
„Ericsson provides a functionality **that reduces the timeaveraged power levels to a configurable value, this is achieved through power back-off.**“

- **Dies ist ein weiterer Schritt in Richtung Software-kontrollierte Antennendiagramme
Wer kontrolliert diese und wie?**

5.4.2 Fragwürdige umhüllende Antennendiagramme (AD) in den MFA Projektunterlagen Fehlende Angaben zum Verhältnis von SS/PBCH zu PDSCH Ausstrahlung

- ➔ Die den StDb Projektunterlagen beigelegten AD mit summarischen, umhüllenden Antennendiagrammen **entsprechen nicht den Abstrahlungseigenschaften der adaptiven massiv MIMO Antennen.**

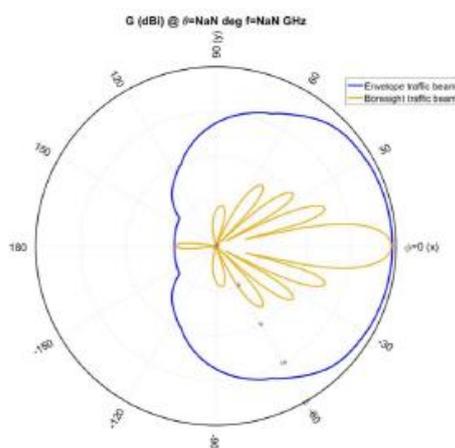
In der Referenz [1] ist das AD wie folgt wiedergegeben:



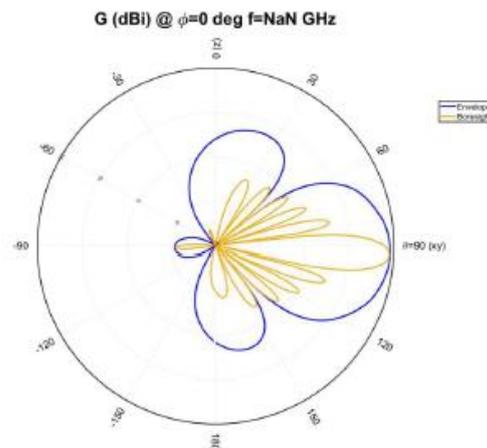
Die im AD sichtbare „**Welligkeit**“ entspricht nicht der tatsächlichen räumlichen Auflösungsfähigkeit der adaptiven massiv MIMO Antenne. Diese kann ein Endgerät über eine Distanz von 100m auf Wellenlänge genau lokalisieren. Dies entspräche in etwa einer Winkelauflösung von: $8.6 \text{ cm}/100\text{m} \approx 0.05^\circ$

➔ Das AD muss folglich eine gleichförmige Umhüllung ohne Welligkeit aufweisen.

Für dieselbe Ericsson AIR6488B42 Antenne verwendete die Swisscom seit 2019 das folgende AD mit einer umhüllenden Darstellung, folgt zuletzt aber wieder dem obigen Schema mit „Welligkeit“:



Azimuth



Elevation

- ➔ **Keine Angaben finden sich in den MFA Projektunterlagen zum AD des SS/PBCH und zum (dynamischen) Verhältnis von SS/PBCH und PDSCH!**, s. Abschnitt 3.1.c.
Die SS/PBCH senden quasi-statisch und mit einer max. ERP Leistung von ca. 64 dBm, entsprechend 3000 Watt, also im Bereich einer konventionellen passiven Antenne!



- Anhang 1 auf Seite 32 zeigt die Screenshots der Signalmessung aus dem ANFR Testmessungsrapport, **die den unregelmäßigen, unkontrollierten Zustand der SSB Ausstrahlung belegen!**



Referenzen, Quelldokumente

Abschnitt 2:

- [1] «Massiv MIMO Networks», Emil Björnson, Jakob Hoydis, Luca Sanguinetti, NOW Publishers, 2018, ISBN 978-1-68083-985-2
- [2] «Breaking the barriers of Shannon's capacity: An overview of MIMO wireless systems» David Gespert, Jabran Akhtar, University of Oslo, 2004, Telenor
- [3] «Massive MIMO and Beamforming: The Signal Processing Behind the 5G Buzzwords» Claire Masterson, Analog Devices, June 2017

Abschnitt 3:

- [4] «Technical Report: Measurement Method for 5G NR Base Stations up to 6 GHz», Version 2.0, 18 February 2020
- [5] «Technischer Bericht: Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz», Version 2.1, 20 April 2020 (18. Februar 2020)
- [6] Nachtrag vom 15. Juni 2020 zum Technischen Bericht Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz [Version 2.1 20 April 2020] Nachtrag – METAS-Bericht 154.1-2020-5218-1016
- [7] BAFU, 30.06.2020, Erläuterungen zur Messmethode für adaptive Antennen
- [8] „Irreführende, technisch nicht umsetzbare minimale ERP Leistungsangaben zu aktiven, adaptiven massiv MIMO 5G Makro-Antennen in den StDb, Online Monitoring, QS und adaptive Antennen“, fachtechnischer Beurteilung, IFE Th. Fluri, Dez 2020
- [14] Massive MIMO Antennas – Impact on Compliance Distances and Challenges for Human Exposure Assessment, December 4th, 2019, Thomas Kopacz, M.Sc., RW TH Aachen
- [15] „Die Messunsicherheit beim Messen der Strahlung von Mobilfunk Basisstationen (Amtsbericht)“. METAS, 11. Juni 2014.

Abschnitt 4:

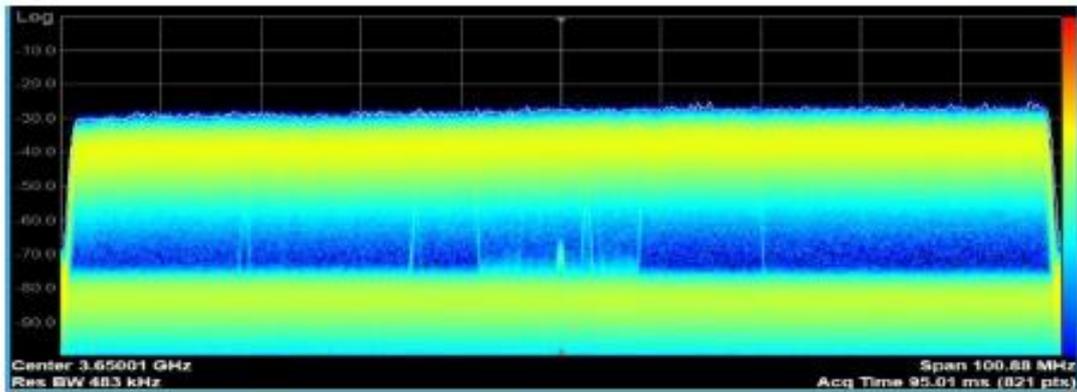
- [9] „Assessment of the exposure of the general public to 5G electromagnetic waves, Part 2: first measurement results on 5G pilots in the 3,400-3,800 MHz band“, ANFR, April 2020
- [12] „Gibt es Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch elektromagnetische Felder?“ Eine Zusammenfassung relevanter Beobachtungen in Tier- und Zellstudien der letzten zehn Jahre in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen, Prof. Dr. Meike Mevissen, Universität Bern Dr. David Schürmann, Universität Basel, BERENIS – Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung, Newsletter-Sonderausgabe Januar 2021

Abschnitt 5:

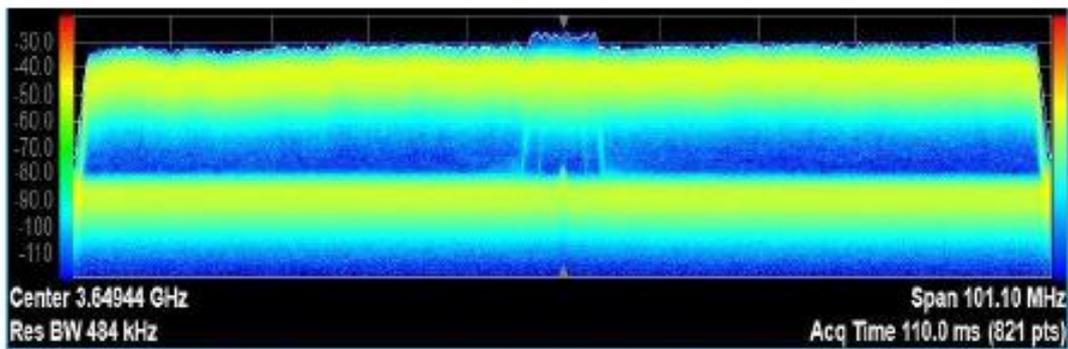
- [10] „Impact of EMF limits on 5G networkroll-out“, ITU Workshop on 5G, EMF & Health, Warsaw, Ericsson, Christian Törnevik, December 5 , 2017
- [11] „5G och EMF“, Ericsson, Ref. Doc. SSM, 2018-12-12
- [13] „Beamforming -How does it work“, Frank Henschke, Ericsson AG, 2019-11-26
- [16] «Massive MIMO at the World Cup», E. Björnson, <http://ma-mimo.ellintech.se/2018/06/28/massive-mimo-at-the-world-cup/>

Anhang 1: Screenshots der SSB Signalisierung s. Ref. [9]

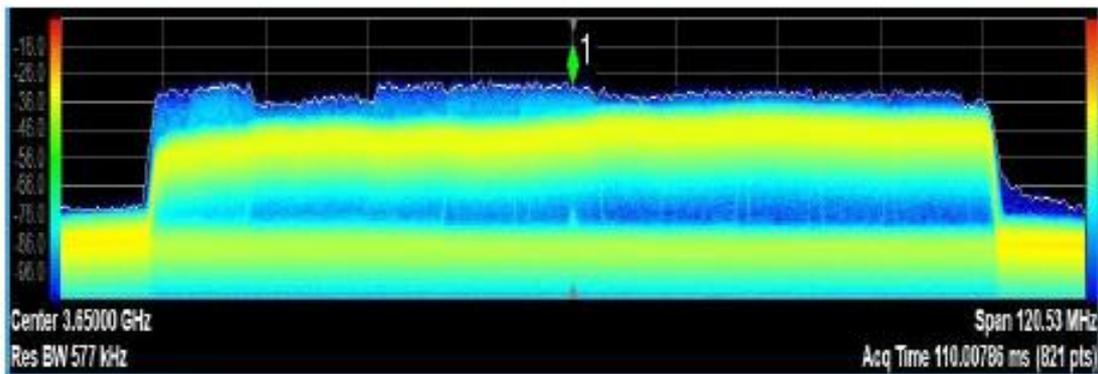
First exposure measurement results on 5G 3.4 GHz - 3.8 GHz pilots



(b) Ericsson - Orange - Douai - the SSBs are no longer visible due to an identical or weaker level than the traffic



(c) Nokia - Nozay - the SSBs are visible in the centre of the band due to a slightly stronger level than the traffic



(d) Samsung - Orange - Saint-Ouen - the SSBs are visible at the bottom of the band due to a slightly stronger level than the traffic

Figure 6: Spectra observed when the antenna transmits all its resources to serve a user in a given direction. On the Y-axis, the received power level in logarithmic scale depending on the frequency on the x-axis (100 or 120 MHz around the central frequency of the antenna's transmitting band). The colours indicate the occurrence of observed levels; yellow levels are the most frequent. All 100 MHz of the band is occupied during downlink transmissions and during uplink times there are no transmissions and the received level is the noise level in the band.