



Technischer Bericht: Messmethode für 5G-NR-Basisstationen im Frequenzbereich bis zu 6 GHz

**Version 2.1
20 April 2020
(18. Februar 2020)**

Herausgeber Eidgenössisches Institut für Metrologie METAS
Lindenweg 50
3003 Bern-Wabern
Tel. +41 58 387 01 11
www.metas.ch

Copyright Dieses Dokument darf nur in vollständiger Form veröffentlicht oder weitergegeben werden.

Bericht METAS-Bericht 154.1-2020-5218-1016

Dieser Bericht ist unter folgendem Link im PDF-Format verfügbar
<http://www.metas.ch/nisy>
(➡ Technische Berichte / Rapports techniques/ Rapporti tecnici)

Bern-Wabern, 20. April 2020
(das englische Original des Berichts wurde am 18. Februar 2020 veröffentlicht).

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	4
1.1	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung	4
1.2	Messempfehlungen	4
1.3	Zweck und Geltungsbereich	4
1.4	Überblick	4
1.5	Geltungsbereich	5
1.6	Anwendung und Aussichten	5
2	Die code-selektive Messung	6
2.1	Messwert	6
2.2	Beurteilungswert	7
2.3	Kommentar	8
3	Hochrechnungsfaktor für das SSS	9
4	Antennenkorrekturfaktor	10
4.1	Definition	10
4.2	Kommentar	11
4.3	Vereinfachungen	12
5	Keulenstatistischer Faktor	13
6	Duplexfaktor	14
7	Summierung aller Zellen und Technologien	14
7.1	Konformitätsbewertung	14
8	Die frequenzselektive Messung	15
8.1	Messwert	15
8.2	Beurteilungswert	15
8.3	Konformitätsbewertung	16
9	Literatur	17
10	Anhang A: Grundlagen von NR (zur Information)	18
10.1	SS/PBCH-Blockstruktur gemäss [9]	18
10.2	Zeitmessung der SS/PBCH-Blöcke gemäss [10]	19
11	Anhang B: Beispiele	20
11.1	Die code-selektive Messung	21
11.2	Frequenzselektive Messung	22
12	Anhang C: Definitionen, Symbole und Abkürzungen	23

1 Vorwort

1.1 Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung

Die im Jahr 1999 (Fassung vom 1. Juni 2019) veröffentlichte Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) [1] regelt:

- die **Immissionsgrenzwerte** für elektrische und magnetische Felder mit Frequenzen von 0 Hz bis 300 GHz (gestützt auf die ICNIRP [2]);
- die sogenannten **Anlagegrenzwerte**, die strenger sind als die Emissionsgrenzwerte. Diese Grenzwerte wurden als vorsorgliche Begrenzung von Emissionen eingeführt. Sie gelten für die Strahlung, die eine Anlage in ihrem **massgebenden Betriebszustand** abgibt, was (bei den mobilen Telekommunikationssystemen) den Betrieb bei maximalem Gesprächs- und Datenverkehr und maximaler Sendeleistung meint. Diese Anlagegrenzwerte sind an Orten mit empfindlicher Nutzung, z.B. in Wohnräumen, Büroräumen, Schulen, Kinderspielplätzen usw., einzuhalten.

Anders gesagt umfasst die Konformitätsbewertung einer Mobilfunk-Basisstation sowohl die Messung der Stärke des elektrischen Feldes zu einem gegebenen Zeitpunkt als auch eine **Hochrechnung der Messwerte für den massgebenden Betriebszustand**.

1.2 Messempfehlungen

Um die Konformität einer Anlage mit den gesetzlichen Anforderungen zu bewerten, sind demnach Messungen der elektrischen Feldstärke erforderlich wie auch zusätzliche Berechnungen. Diese beiden Schritte ermöglichen die Erfassung der im massgebenden Betriebszustand erwarteten Feldstärken. Zur Harmonisierung der dabei verwendeten Messverfahren und Hochrechnungen wurden bereits mehrere «Messempfehlungen» und technische Berichte für spezifische Technologien veröffentlicht: GSM [3], EDGE [4], UMTS [5], Rundfunk und Funkruf [6] sowie LTE [7].

1.3 Zweck und Geltungsbereich

Mit der Einführung von New Radio (NR) als Technologie in 5G-Mobilfunknetzen gilt es, eine neue Referenzmethode für die Messung der Feldstärke von NR-Anlagen im Innen- und Ausserbereich zu erarbeiten. Die Messmethode muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Robustheit und Durchführbarkeit
- Bereitstellung von präzisen Hochrechnungen unter Vermeidung von Über- oder Unterschätzung der elektrischen Feldstärken im massgebenden Betriebszustand
- Berücksichtigung der Steuerungsfunktionen der Strahlungskeule in der 5G-Technologie
- Berücksichtigung der Variabilität der Senderichtung und der Antennendiagramme bei 5G-adaptiven Antennen gemäss Anhang 1, Absatz 63 der NISV [1] vom 1. Juni 2019
- Übereinstimmung mit früheren Messempfehlungen
- Anwendbarkeit auf FDD- und TDD-Duplexverfahren

1.4 Überblick

Wie bei früheren Messempfehlungen werden auch hier zwei verschiedene Methoden vorgeschlagen:

- Die code-selektive Messmethode ermöglicht die Beurteilung der Konformität einer Anlage mit dem Anlagegrenzwert und gilt deshalb als **Referenzmethode**.
- Die spektrale Messmethode (frequenzselektive Methode) erlaubt keine Unterscheidung zwischen zwei verschiedenen Zellen eines gleichen Betreibers oder einer gleichen Anlage. Ausserdem tendiert sie zu einer Überschätzung der hochgerechneten

Feldstärke im massgebenden Betriebszustand. Sie kann zwar die Konformität einer Anlage mit den Vorgaben bestätigen, scheitert letztlich jedoch an der abschliessenden Beurteilung der Nichtkonformität (sogar wenn die hochgerechnete Feldstärke den Anlagegrenzwert überschreitet). Folglich gilt diese Messmethode als **orientierende Messung**.

1.5 Geltungsbereich

Gemäss dem 5G-Standard (Release 15) [8] deckt die NR-Technologie zwei Frequenzbereiche ab: den Frequenzbereich von 450 MHz bis 6 GHz und den Frequenzbereich von 24,5 GHz bis 52,6 GHz. Der vorliegende Bericht **beschränkt sich auf den ersten Frequenzbereich** bis 6 GHz.

1.6 Anwendung und Aussichten

Dieses Dokument enthält eine statistische Hochrechnung (Reduktion) für adaptive Antennen, die derzeit einen konservativen Standardwert von 1 aufweist. Der genaue Wert muss in einer Vollzugsempfehlung an die NISV [1] definiert werden.

Dieses Dokument kann für die Konformitätsprüfung von NR-Basisstationen in Bezug auf die NISV verwendet werden, bis das Eidgenössische Institut für Metrologie (METAS) und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine offizielle Messempfehlung herausgeben.

2 Die code-selektive Messung

2.1 Messwert

Die code-selektive Messmethode basiert auf der Ermittlung der Feldstärke, die das sekundäre Synchronisierungssignal (SSS) des Downlink-Signals des Physical Broadcast Channel (PBCH) produziert. Die Kennnummer (SS/PBCH-Blockindex) der SS/PBCH-Strahlungskeule ist erforderlich. Das SSS ist Bestandteil der SS/PBCH-Blöcke, die im NR-Downlink-Signal über eine Bandbreite von 3,6 MHz bis 7,2 MHz (für eine Trägerfrequenz von bis zu 6 GHz) verteilt werden (siehe Anhang A). Das SSS belegt eine Bandbreite von 1,905 MHz bzw. 3,810 MHz (127 Resource-Elemente). Der SS/PBCH-Block ist in der Regel nicht um die Downlink-Trägerfrequenz zentriert. Jeder SS/PBCH-Block belegt eine Reihe aus vier aufeinanderfolgenden OFDM-Symbolen. Der SS/PBCH-Block enthält das Demodulations-Referenzsignal (DM-RS). Die DM-RS-Resource-Elemente des SS/PBCH-Blocks enthalten Informationen zur Zellkennung (0 bis 1007) und zur Kennnummer (SS/PBCH-Blockindex) der SS/PBCH-Strahlungskeule [9]. 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 Bandbreite der Messeinrichtungen zur Quantifizierung des SSS wird nicht vorgegeben, muss jedoch mindestens die gesamte Bandbreite des SSS-Downlink-Signals abdecken. 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 PBCH-Blocks darstellt. Gemäss der NR-Numerologie kann der Subträgerabstand für Trägerfrequenzen von bis zu 6 GHz 15 kHz, 30 kHz und 60 kHz betragen. Die Subträgerabstände von 120 kHz und 240 kHz dienen gemäss [8] Trägerfrequenzen von über 24 GHz und werden infolgedessen nicht in diesem Dokument behandelt. Für Trägerfrequenzen von bis zu 6 GHz sind als Subträgerabstände Δf für den PBCH gemäss [10] lediglich 15 kHz und 30 kHz möglich (60 kHz wird für den PBCH nicht genutzt). Wie in [8] erwähnt, können innerhalb desselben OFDM-Symbols verschiedene Numerologien (Subträgerabstände) gemultiplext werden.

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 $E_{i,j}^{\text{SSS}(\text{RE})}$ pro Resource-Element des SSS gemessen. Die elektrischen Feldstärken $E_{i,j}^{\text{SSS}(\text{RE})}$ aller SS/PBCH-Blöcke innerhalb eines halben Frames werden dann quadratisch addiert, um einen neuen Wert zu bilden. Das räumliche Maximum $E_{i,\text{max}}^{\text{SSS}(\text{RE})}$ 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.

Das räumliche Maximum wird durch Scannen der Empfangsantenne ermittelt, wobei Folgendes zu berücksichtigen ist:

- Stehwellen im Messvolumen
- Polarisierung der Messantenne (Empfangsantenne)
- Ausrichtung (Azimut und Elevation) der Messantenne

Es gelten folgende Messbedingungen:

- Minimaler Abstand zu Wänden, Boden, Decke, Mobiliar und Fenstern: 50 cm
- Höhe über dem Boden zwischen 0,5 und 1,75 m

Für die Messungen ist eine Empfangsantenne mit kleinen Abmessungen zu verwenden, die leicht in Innenräumen zum Einsatz kommen kann. Ein Kalibrierzertifikat muss die Rückverfolgbarkeit der Empfangsantenne zum Internationalen Einheitensystem (SI) nachweisen.

2.2 Beurteilungswert

Für jede NR-Zelle i der Basisstation muss der Messwert der elektrischen Feldstärke für den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet werden:

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

Dabei bedeuten

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

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

Die Variablen sind wie folgt definiert:

$E_{i,h}$	Hochgerechneter Wert der elektrischen Feldstärke von Zelle i in V/m.
$E_{i,\max}^{\text{SSS(RE)}}$	Räumliches Maximum im Messvolumen der Quadratsumme der elektrischen Feldstärke des SSS pro Resource-Element (RE) aller SS/PBCH-Blöcke der Zelle i , gemäss Definition in Gleichung (2). Die Summe wird auf alle verfügbaren SS/PBCH-Blockindexte j angewandt, die sich innerhalb desselben halben Frames befinden.
$E_{i,j}^{\text{SSS(RE)}}$	Elektrische Feldstärke (in V/m) pro Resource-Element (RE) des SSS der Zelle i und SS/PBCH-Blockindex j . Dieser Wert ist das quadratische Mittel aller gemessenen SSS-Resource-Elemente innerhalb desselben SS/PBCH-Blocks.
$K_i(\varphi_i, \theta_i)$	Allgemeiner Hochrechnungsfaktor für Zelle i . Der allgemeine Hochrechnungsfaktor hängt vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i ab.
$K_i^{\text{SSS(RE)}}$	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.
φ_i	Azimut (definiert als Horizontalwinkel in einem Kugelkoordinatensystem) des Messorts in Bezug auf die Sendeantenne von Zelle i .
θ_i	Elevation (definiert als Vertikalwinkel in einem Kugelkoordinatensystem) des Messorts in Bezug auf die Sendeantenne von Zelle i .
K_i^{stat}	Keulenstatistischer Faktor für Zelle i .
K^{duplex}	Duplexfaktor.

Gleichung (1) entspricht mit Ausnahme der Abhängigkeit vom Azimut und der Elevation der Hochrechnung der anderen Messempfehlungen [3,4,5,7]. In bestimmten Situationen kann die Abhängigkeit vom Azimut und der Elevation vernachlässigt werden, wodurch für jede Zelle ein einziger Hochrechnungsfaktor zu berücksichtigen ist. Dies wird in Abschnitt 4 näher erläutert.

2.3 Kommentar

NR funktioniert anders als LTE, wo die zellenspezifischen Referenzsignale permanent an dieselben Antennenports übertragen werden wie die Nutzlastdaten. Bei NR werden die Nutzlastdaten über die logischen Antennenports 1000 bis 1011 an den Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) gesendet, die Synchronisierungs- und Kennungssignale dagegen werden über den logischen Antennenport 4000 an die PBCH-Kanäle übermittelt. Die SS/PBCH-Blöcke können an bis zu 4 oder 8 (bis zu 6 GHz) verschiedene SS/PBCH-Strahlungskeulen gesendet werden.

Der PDSCH-Kanal hat seine eigenen Strahlungskeulen, die in der Regel stärker fokussiert sind als die SS/PBCH-Strahlungskeulen (siehe Abbildung 1). Die Stärke der PDSCH-Strahlungskeule hängt von den Nutzlastdaten ab und kann demzufolge im Zeitverlauf variieren.

Zur Ermittlung des Beurteilungswerts werden die elektrischen Feldstärken der verschiedenen SS/PBCH-Blockinduxe so kombiniert, wie in Gleichung (2) beschrieben. Der Grund für die Kombination der Feldstärken verschiedener SS/PBCH-Blockinduxe besteht erstens darin, die Mehrwegeausbreitung der Strahlung der Basisstation zu berücksichtigen, und zweitens, realistischere Werte der Strahlung der Basisstation zu liefern, insbesondere im Bereich zwischen zwei SS/PBCH-Strahlungskeulen, wie in Abbildung 1 dargestellt.

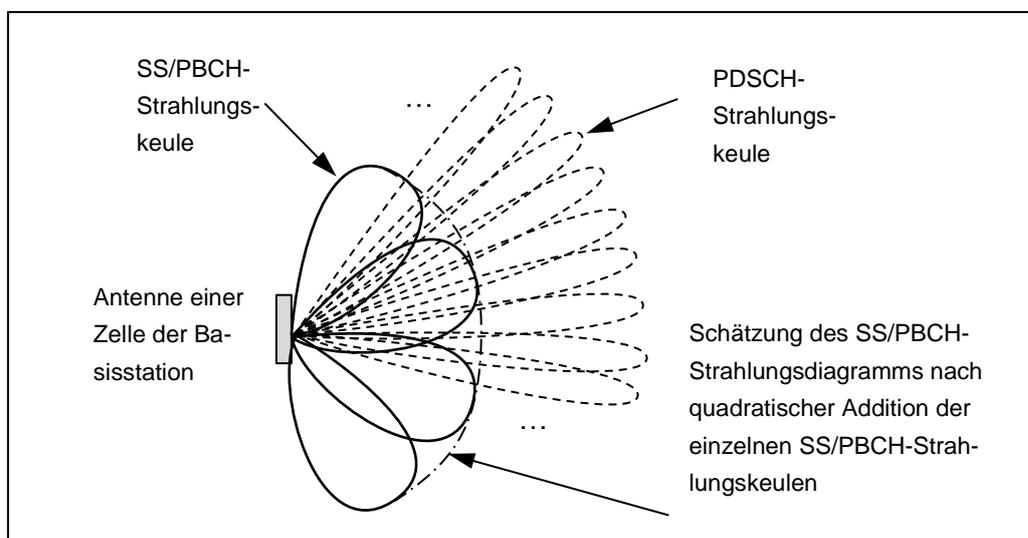


Abbildung 1: Schematische Darstellung (von oben) des horizontalen Strahlungsdiagramms einer Zelle der NR-Basisstation. PDSCH-Strahlungskeulen sind nicht alle dargestellt.

3 Hochrechnungsfaktor für das SSS

Für jede Zelle i der Basisstation wird ein Hochrechnungsfaktor $K_i^{\text{SS}(RE)}$ nach folgender Formel berechnet:

$$K_i^{\text{SS}(RE)} = \sqrt{\frac{P_{i,\text{bewilligt}}}{P_i^{\text{SS}(RE)}}} \quad (4)$$

Dabei bedeuten

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

$P_i^{\text{SS}(RE)}$ Aktuelle effektive Sendeleistung (ERP) pro Resource-Element des SSS des SS/PBCH-Blocks von Zelle i in W . Sie entspricht dem Maximum in allen Richtungen des «summierten SSS-ERP-Strahlungsdiagramms» $P_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i)$ und wird durch folgende Gleichung ausgedrückt:

$$P_i^{\text{SS}(RE)} = \max_{\varphi_i, \theta_i} P_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) \quad (5)$$

$P_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i)$ «Summiertes SSS-ERP-Strahlungsdiagramm», errechnet aus der Summierung der Sendeleistung (ERP) pro Resource-Element aller SS/PBCH-Strahlungskeulen, wie in nachfolgender Gleichung definiert:

$$P_i^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) = \sum_j P_{i,j}^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i) \quad (6)$$

$P_{i,j}^{\text{SS}(RE)}(\varphi_i, \theta_i)$ Aktuelle «effektive Sendeleistung» pro Resource-Element in W des SSS des SS/PBCH-Blocks von Zelle i und Index j in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung.

$P_{i,\text{bewilligt}}$ Maximal bewilligte ERP in W unter Berücksichtigung des Signals aller Antennenports der Zelle i : PSDCH, PBCH und PDCCH.

Hinweise

1. Die maximale ERP $P_{i,\text{bewilligt}}$ bezieht sich auf die maximal bewilligte ERP ohne Reduktion.
2. Die bewilligte Leistung $P_{i,\text{bewilligt}}$ (gemäss Standortdatenblatt) und die aktuelle Leistung der Referenzsignale $P_i^{\text{SS}(RE)}$ sind den Angaben der Netzbetreiber zu entnehmen.
3. Die aktuelle Leistung der Referenzsignale $P_i^{\text{SS}(RE)}$ ist als Leistung pro Resource-Element und nicht als Gesamtleistung des SS/PBCH-Blocks definiert.

4 Antennenkorrekturfaktor

4.1 Definition

Für jede Zelle i sowie für jeden Azimut φ_i und jede Elevation θ_i werden die entsprechenden Hochrechnungsfaktoren $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ wie folgt berechnet:

$$K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) < 10 \\ & \text{und } A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) \leq A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \\ A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) / A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) & \text{wenn } A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) < 10 \\ & \text{und } A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) > A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \\ K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}} & \text{wenn } A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) \geq 10 \end{cases} \quad (7)$$

Dabei bedeuten

$$A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) = \sqrt{\frac{P_i^{\text{SSS(RE)}}}{P_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)}} \quad (8)$$

$$K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}} = \max_{\{\varphi_i, \theta_i \mid A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) < 10\}} A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) / A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \quad (9)$$

Die Variablen sind wie folgt definiert:

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

$K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}}$ Maximalwert des Verhältnisses $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) / A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i)$, wobei das Maximum auf alle Richtungen angewandt wird, für welche die Dämpfung $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ der SS/PBCH-Strahlungskeule weniger als 10 beträgt (entspricht 20 dB).

- $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ Dämpfung gemäss Gleichung (8) des «summierten SSS-ERP-Strahlungsdiagramms» von Zelle i in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung, entsprechend Gleichung (6). Dieses Verhältnis ist grösser als 1 und kann mitunter auch in dB als $20 \cdot \log_{10} \left(A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) \right)$ ausgedrückt werden.
- $A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i)$ Dämpfung der Strahlungscharakteristik des Gesamtsignals von Zelle i in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung. Das Gesamtstrahlungsdiagramm entspricht dem Bereich aller Worst-Case-Strahlungsdiagramme im bewilligten Betriebszustand. Diese Dämpfung ist als «Spannungsverhältnis» (im Vergleich zum «Leistungsverhältnis») von grösser 1 festgelegt und kann mitunter auch in dB als $20 \cdot \log_{10} \left(A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) \right)$ ausgedrückt werden.
- $P_{i,\text{bewilligt}}$ Maximal bewilligte ERP in W unter Berücksichtigung des Signals aller Antennenports der Zelle i : PSDCH, PBCH und PDCCH.
- $P_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ «Summiertes SSS-ERP-Strahlungsdiagramm», errechnet aus der Summierung der ERP-Sendeleistung pro Resource-Element aller SS/PBCH-Strahlungskeulen, wie in Gleichung (6) definiert.
- $P_i^{\text{SSS(RE)}}$ Aktuelle ERP pro Resource-Element des SSS des SS/PBCH-Blocks von Zelle i in W, wie in Gleichung (5) definiert.

4.2 Kommentar

Der Antennenkorrekturfaktor $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ berücksichtigt die Differenz aus dem Antennendiagramm des SS/PBCH-Signals von Zelle i und dem Antennendiagramm des Gesamtsignals.

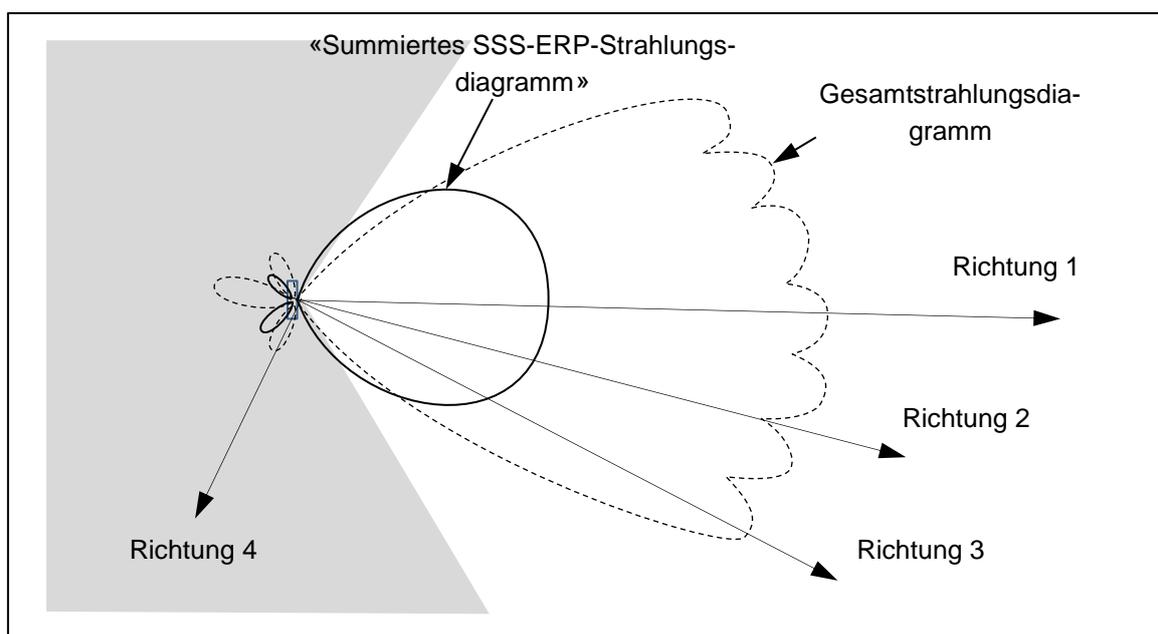


Abbildung 2: Schematische Darstellung (von oben) des horizontalen Strahlungsdiagramms einer Zelle der NR-Basisstation.

Gleichung (7) kann durch Abbildung 2 erklärt werden:

- In Richtung 1 haben wir ungefähr $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) \cong 1$ (0 dB) und $A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) \cong 1$ (0 dB). In diesem Fall ist der erste Teil von Gleichung (7) anzuwenden: $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) = 1$.
- In Richtung 2 nehmen wir an, dass $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) = 1$ (0 dB) und $A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) = 1,1$ (0,83 dB) ist. Hier ist der erste Teil von Gleichung (7) anzuwenden: $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) = 1$. Dies bedeutet, dass kein Reduktionsfaktor angewandt wird, obwohl die insgesamt abgestrahlte Keule in Richtung 2 stärker gedämpft wird als die SS/PBCH-Strahlungskeule in dieser Richtung.
- In Richtung 3 nehmen wir an, dass $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) = 1,25$ (1,94 dB) und $A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) = 1,1$ (0,83 dB) ist. Hier gilt der zweite Teil von Gleichung (7): $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) = 1,14$. Dies bedeutet, dass ein Hochrechnungsfaktor angewandt wird, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die SS/PBCH-Strahlungskeule in dieser Richtung stärker gedämpft wird als die insgesamt abgestrahlte Keule.
- In Richtung 4 befinden wir uns hinter der Sendeantenne. Das Strahlungsdiagramm verschwindet nicht völlig, aber die Strahlung hier ist verglichen mit derjenigen in der vorderen Richtung gering. Bei $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) = 25$ (27,96 dB) und $A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i) = 5,0$ (13,98 dB). In diesem Fall ist der dritte Teil von Gleichung (7) anzuwenden: $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) = K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}}$. Der Wert $K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}}$ ist der Höchstwert von $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ in allen Richtungen, in denen die SS/PBCH-Strahlungskeule ausreichend stark ist ($A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i) < 10$). Dieser Bereich wird in Abbildung 2 weiss dargestellt, wohingegen der Bereich, in dem diese Bedingung nicht erfüllt ist, hellgrau dargestellt ist. Nachdem der Worst-Case-Antennenkorrekturfaktor in Richtung 3 annähernd vorliegt, haben wir: $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) \cong 1,14$.

Dieses Beispiel ist eine didaktische Darstellung von Gleichung (7) für einen horizontalen Schnitt der Antennendiagramme, wie in Abbildung 2 gezeigt. Gleichung (7) ist jedoch allgemeiner und berücksichtigt zudem die Elevation θ_i .

Die Antennenkorrekturfaktoren $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ hängen von Art und Ausrichtung der Antenne ab. Diese Faktoren müssen, beispielsweise in einer Datenbank, zur Verfügung stehen oder vom Antennenhersteller bereitgestellt werden.

4.3 Vereinfachungen

Zu praktischen Zwecken können die richtungsabhängigen Antennenkorrekturfaktoren $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ auf einen Wert $K_{i,\text{max}}^{\text{antenna}}$ vereinfacht werden, wie in Gleichung (9) vorgegeben. Diese Vereinfachung ist absolut akzeptabel, um den Beurteilungswert zu ermitteln. Sie birgt jedoch die Gefahr einer wesentlichen Überschätzung des Signals aus Betreibersicht. Für diesen Fall gibt es verschiedene Strategien:

- Wie in Abbildung 1 dargestellt, sollte die Differenz zwischen der PDSCH-Strahlungskeule und der SS/PBCH-Strahlungskeule geringfügig sein, wenn nur der Azimut berücksichtigt wird. Um dies zu erreichen, könnte der Antennenkorrekturfaktor einfach wie folgt vereinfacht werden:

$$K_i^{\text{antenna}}(\theta_i) = \max_{\varphi_i} K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i) \quad (10)$$

- Der Antennenkorrekturfaktor hängt somit lediglich von der Elevation θ_i ab.
- In Abbildung 3 wird eine typische Elevationsdifferenz (vertikaler Schnitt) zwischen der PDSCH-Strahlungskeule und der SS/PBCH-Strahlungskeule dargestellt.

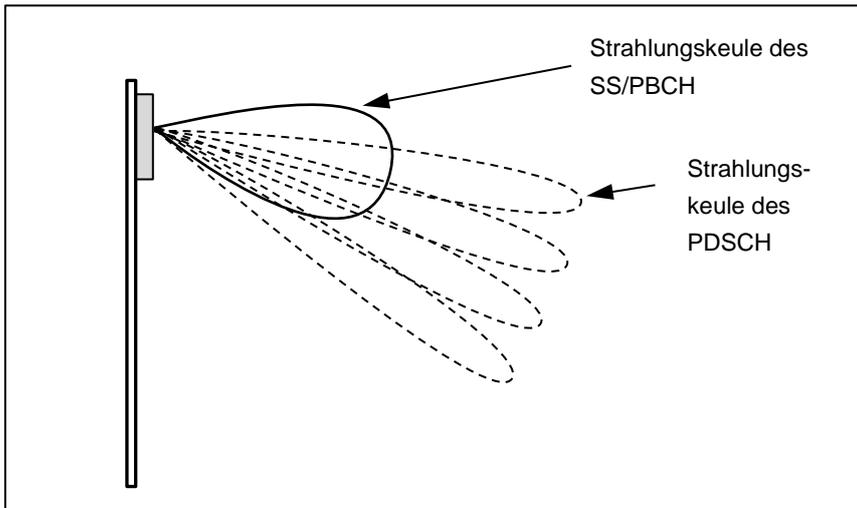


Abbildung 3: Schematische Darstellung (Seitenansicht) des vertikalen Strahlungsdiagramms einer Zelle einer NR-Basisstation.

Wie in Abbildung 3 gezeigt, ist der Antennenkorrekturfaktor $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$ für Messorte in der Nähe der Basisstation am grössten. Der Betreiber könnte die Leistung des PDSCH für diese Orte reduzieren, wie in Abbildung 4 dargestellt. Nach einer solchen Reduktion der Strahlungskeule, ist die Gefahr der Überschätzung als Folge der Verwendung eines Werts K_i^{antenna} für alle Richtungen gemäss Gleichung (9) erheblich niedriger.

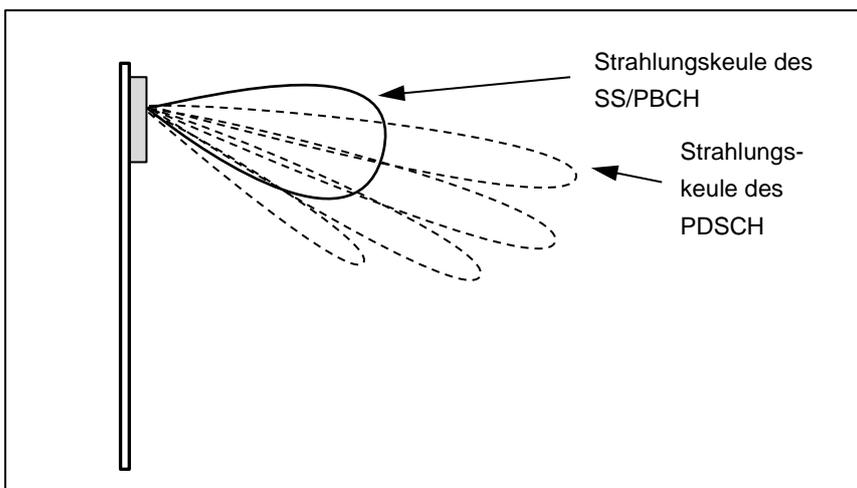


Abbildung 4: Schematische Darstellung (Seitenansicht) des vertikalen Strahlungsdiagramms einer Zelle einer NR-Basisstation mit reduzierter PDSCH-Strahlungskeule für Nutzer mit Standort in Antennennähe.

5 Keulenstatistischer Faktor

Für jede NR-Zelle i der Basisstation (bzw. Anlage) wird ein statistischer Faktor K_i^{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^{stat} wird derzeit noch untersucht. Gegenwärtig wird der folgende konservative Wert herangezogen:

$$K_i^{\text{stat}} = 1 \quad (11)$$

6 Duplexfaktor

Der Duplexfaktor K^{duplex} wird definiert als:

$$K^{\text{duplex}} = \begin{cases} \sqrt{r_{\text{DL}}} & \text{für TDD} \\ 1 & \text{für TDD with unknown } r_{\text{DL}} \\ 1 & \text{für FDD} \end{cases} \quad (12)$$

wobei r_{DL} das maximale Verhältnis der Downlink-Übertragungszeit in einem Zeitintervall bezeichnet. Diese Wahl wird durch die Interpretation der Grenzen des E-Feldes als quadratisches Zeitmittel der elektrischen Feldstärke bestimmt.

7 Summierung aller Zellen und Technologien

Anschliessend werden alle hochgerechneten elektrischen Feldstärken von NR-Zellen wie folgt summiert:

$$E_h = \sqrt{\sum_{i=1}^n E_{i,h}^2} \quad (13)$$

Dabei bedeuten

E_h	Hochgerechnete elektrische Feldstärke von einer NR-Basisstation in einem gegebenen Netz, in V/m.
$E_{i,h}$	Hochgerechneter Messwert der elektrischen Feldstärke von Zelle i , in V/m.
n	Anzahl Zellen der Basisstation bzw. der Anlage.

Abschliessend erhält man den Beurteilungswert E_B durch Summierung der einzelnen Beiträge $E_{\text{Netzwerk}_{k,h}}$ aller Netzwerke einer gleichen Anlage:

$$E_B = \sqrt{E_{\text{Netzwerk}_{1,h}}^2 + E_{\text{Netzwerk}_{2,h}}^2 + \dots} \quad (14)$$

Beispiele für die Berechnung finden sich in Anhang B.

Bei Basisstationen, die neben NR gleichzeitig GSM-, UMTS- oder LTE-Dienste betreiben, sind sämtliche dieser Signale zu berücksichtigen. E_B wird gemäss [5] (Kapitel 9) berechnet.

7.1 Konformitätsbewertung

Die Konformität oder Nichtkonformität einer Anlage lässt sich eindeutig nachweisen:

- $E_B \leq E_{\text{limit}}$: Die Anlage erfüllt die Anforderungen.
- $E_B > E_{\text{limit}}$: Die Anlage erfüllt die Anforderungen nicht.

Die erweiterte Messunsicherheit U ($k=2$) wird für die Konformitätsbewertung nicht direkt berücksichtigt (sogenanntes «geteiltes Risiko» oder «einfache Abnahme» gemäss [13]). Die

Messunsicherheit U muss

- einen Anteil von $\pm 15\%$ ($k=1$) für die Probenahme des Messvolumens beinhalten,
- darf jedoch den Wert von $\pm 45\%$ ($k=2$) nicht überschreiten.

8 Die frequenzselektive Messung

8.1 Messwert

Die frequenzselektive Messung beruht auf der in Gleichung (1) beschriebenen code-selektiven Messung sowie auf den Messungen des sekundären Synchronisierungssignals (SSS). Zur frequenzselektiven Messung der Synchronisierungssignale ist ein Spektrumanalysator mit einem «True RMS»-Detektor, einer minimalen Auflösungsbandbreite der SSS-Bandbreite ($127 \cdot \Delta f$) und einer Maximum-Hold-Funktion erforderlich. Die Messungen werden im «Zero Span»-Modus vorgenommen, wobei die Sweep-Zeit so zu wählen ist, dass die Messzeit pro Wert geringer ist als die Hälfte der Dauer eines SSS-OFDM-Symbols. Je nach verwendeter Numerologie (15 kHz oder 30 kHz), beträgt die Dauer des OFDM-Symbols ohne Präfix $1/15 \text{ kHz} \cong 66 \mu\text{s}$ für die 15-kHz-Numerologie und $1/30 \text{ kHz} \cong 33 \mu\text{s}$ für die 30-kHz-Numerologie.

Das räumliche Maximum der Synchronisierungssignale muss gemessen werden, wie zuvor in Abschnitt 2.1 erwähnt.

8.2 Beurteilungswert

Der Wert von $E_{i,\max}^{\text{SSS(RE)}}$ kann nicht direkt mit einem frequenzselektiven Messinstrument gemessen werden, da hierfür die Signale der verschiedenen SS/PBCH-Strahlungskeulen quadratisch addiert werden müssen. Auf der Grundlage realistischer Schätzungen wird folgender Ausdruck verwendet:

$$E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}} \quad (15)$$

Dabei bedeuten

$E_{i,\max}^{\text{measured}}$	Max- und Hold-Werte der elektrischen Feldstärke, die über die gesamte Bandbreite (mindestens die des SSS) des Spektrumanalysators gemessen worden sind.
$\sqrt{1/127}$	Reduktionsfaktor zur Ermittlung der Feldstärke pro Resource-Element.
K_i^{FSM}	Faktor der frequenzselektiven Methode (FSM), definiert als $K_i^{\text{FSM}} = \sqrt{2}$, wenn die Zelle i mehr als eine SS/PBCH-Strahlungskeule aufweist, und als $K_i^{\text{FSM}} = 1$, wenn die Zelle i nur eine SS/PBCH-Strahlungskeule aufweist. Hierbei wird die Tatsache berücksichtigt, dass das von einzelnen Strahlungskeulen produzierte elektrische Feld nicht gemessen und somit nicht quadratisch addiert werden kann.

Die gemessene elektrische Feldstärke muss für den massgebenden Betriebszustand hochgerechnet werden:

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

Dabei bedeutet

n Anzahl Zellen der Basisstation bzw. der Anlage.

Es sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Mittenfrequenz des Messinstruments muss auf die Mittenfrequenz des SS/PBCH-Blocks eingestellt werden, die in der Regel nicht mit der Mittenfrequenz des Downlink-NR-Kanals übereinstimmt. Die Mittenfrequenz des SSS ist vom Betreiber vorzugeben.
- Da der Spektrumanalysator in einem TDD-Übertragungsschema nicht zwischen Uplink und Downlink unterscheiden kann, muss jedes Mobiltelefon in der Nähe des Messsystems abgeschaltet werden.

Schliesslich wird der Beurteilungswert E_B durch Summierung der Beiträge aller Netzbetreiber und Netzwerkdienste ermittelt, wie im vorherigen Abschnitt beschrieben (Anhang B).

8.3 Konformitätsbewertung

Bei dieser Methode sind Überschätzungen sehr wahrscheinlich. Aus diesem Grund kann zwar die Konformität einer Anlage beurteilt, nicht aber die Nichtkonformität nachgewiesen werden.

- $E_B \leq E_{\text{limit}}$: Die Anlage erfüllt die Anforderungen.
- $E_B > E_{\text{limit}}$: Keine Beurteilung möglich. Zur Klärung ist eine code-selektive Messung erforderlich.

9 Literatur

1. «Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV)» (Dokument Nr. 814.710), Dezember 1999. Verfügbar auf [Deutsch](#), [Französisch](#), [Italienisch](#).
2. ICNIRP-Kommission: «Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)» [*Richtlinien für die Begrenzung der Exposition durch zeitvariable elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (bis zu 300 GHz)*] Health Physics Band 74, Nr. 4, Seiten 494–522, 1998.
3. Messempfehlung für GSM: «Nichtionisierende Strahlung: Mobilfunk-Basisstationen (GSM) – Messempfehlung», 2002. Verfügbar auf www.bafu.admin.ch/elektrosmog.
4. Messempfehlung für GSM mit Edge: «NIS-Abnahmemessung bei GSM-Basisstationen mit EDGE-Betrieb», Entwurf vom 28.11.2005, November 2011. Verfügbar auf www.bafu.admin.ch/elektrosmog.
5. Messempfehlung für UMTS: «Nichtionisierende Strahlung: Mobilfunk-Basisstationen (UMTS – FDD), Entwurf vom 17.9.2003», September 2003. Verfügbar auf www.bafu.admin.ch/elektrosmog.
6. Messempfehlung für Rundfunk und Funkruf: «Nichtionisierende Strahlung: Rundfunk- und Funkrufsendeanlagen, Vollzugsempfehlung zur NISV, Entwurf vom 6.7.2005», Juli 2005. Verfügbar auf www.bafu.admin.ch/elektrosmog.
7. METAS-Bericht 2012-218-808: «Technischer Bericht: Messmethode für LTE-Basisstationen», deutsche Übersetzung, Januar 2014, verfügbar auf www.metas.ch.
8. ETSI TS 138 104: «5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 15.3.0 Release 15)» [*5G; Funkübertragung und -empfang von Basisstationen (BS) (3GPP TS 38.104 Version 15.3.0 Release 15)*], Oktober 2018.
9. ETSI TS 138 211: «5G; NR; Physical channels and modulation (3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15)» [*5G; NR; Physische Kanäle und Modulation (3GPP TS 38.211 Version 15.2.0 Release 15)*], Juli 2018.
10. ETSI TS 138 213: «5G; NR; Physical layer procedures for control (3GPP TS 38.213 version 15.6.0 Release 15)» [*Physikalische Schicht-Verfahren für die Steuerung (3GPP TS 38.213 Version 15.6.0 Release 15)*], Juli 2019.
11. ETSI TS 138 214: «5G; NR; Physical layer procedures for data (3GPP TS 38.214 version 15.3.0 Release 15)» [*Physikalische Schicht-Verfahren für Daten (3GPP TS 38.214 Version 15.3.0 Release 15)*], Oktober 2018.
12. H. Keller: «On The Assessment of Human Exposure to Electromagnetic Fields Transmitted by 5G NR Base Stations» [*Zur Bewertung der Exposition von Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern, die von 5G-NR-Basisstationen ausgestrahlt werden*], Health Physics, 23. April 2019.
13. JCGM 106: «Evaluation of measurement data – The role of measurement uncertainty in conformity assessment» [*Bewertung von Messdaten – Die Rolle der Messunsicherheit in der Konformitätsbewertung*], Mai 2009.

10 Anhang A: Grundlagen von NR (zur Information)

10.1 SS/PBCH-Blockstruktur gemäss [9]

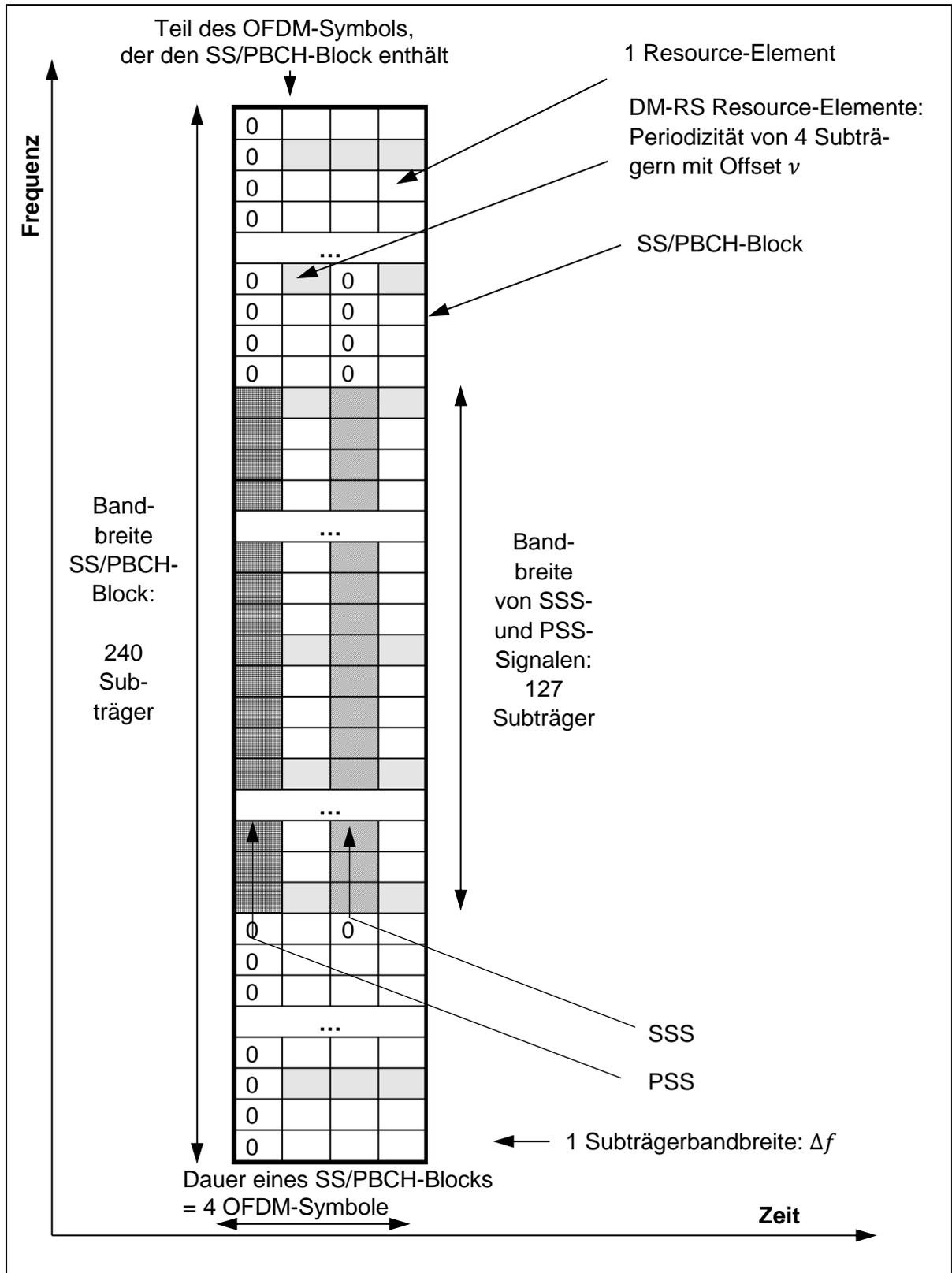


Abbildung A.1: NR-Downlink SS/PBCH-Block (dargestellt nach [9]).

10.2 Zeitmessung der SS/PBCH-Blöcke gemäss [10]

Die Position des SS/PBCH-Blocks innerhalb des NR-Zeit-/Frequenzrasters könnte wie folgt dargestellt werden. Die exakte Position des SS/PBCH-Blocks ist im Standard definiert:

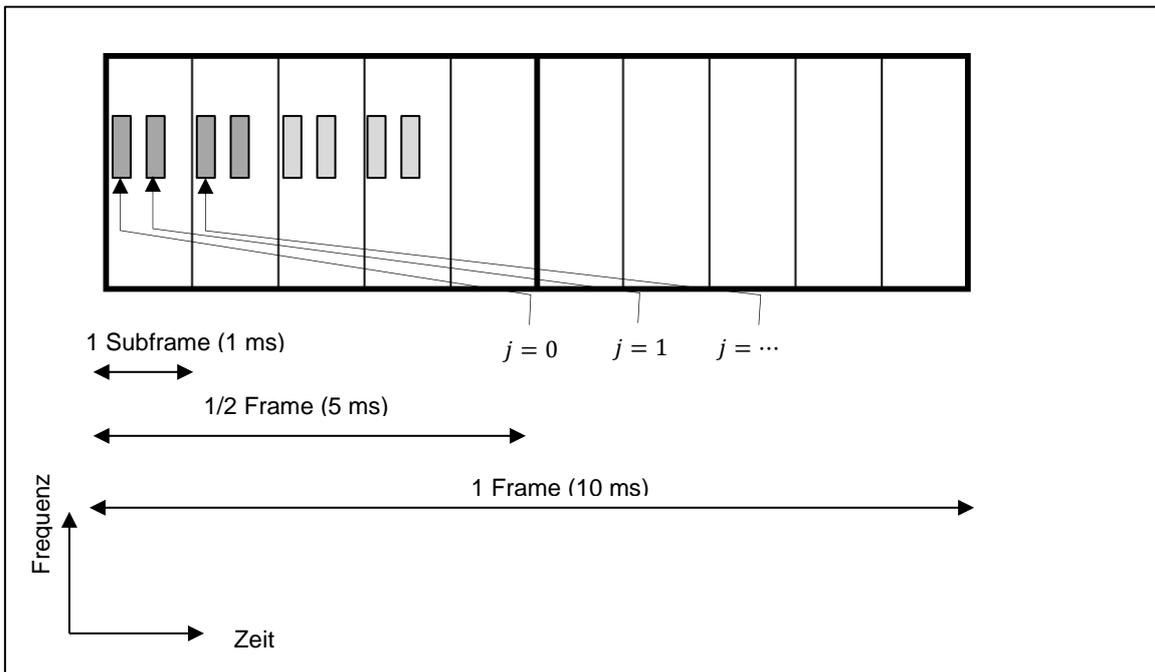


Abbildung A.2: Position der SS/PBCH-Blöcke im NR-Signal gemäss [10] für einen SS/PBCH-Subträgerabstand von 15 kHz. Bis zu 4 Blöcke (dunkelgrau) werden für $L_{\max} = 4$ Strahlungskeulen genutzt. Bis zu 8 Blöcke werden für $L_{\max} = 8$ Strahlungskeulen genutzt.

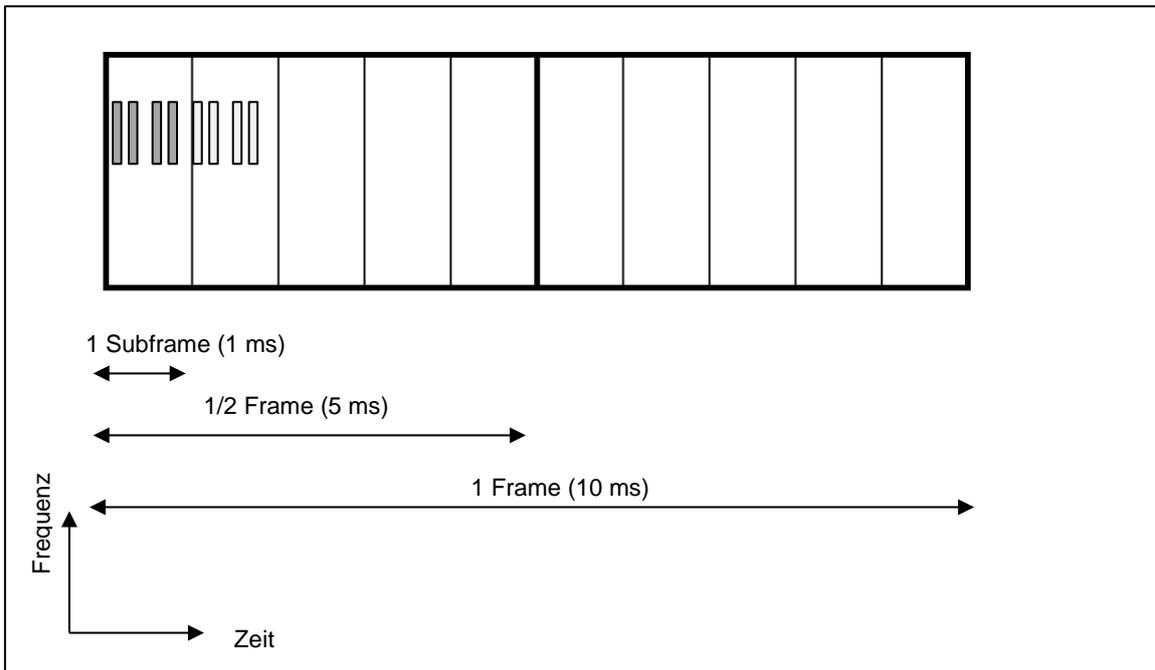


Abbildung A.3: Position der SS/PBCH-Blöcke im NR-Signal gemäss [10] für einen SS/PBCH-Subträgerabstand von 30 kHz. Bis zu 4 Blöcke (dunkelgrau) werden für $L_{\max} = 4$ Strahlungskeulen genutzt. Bis zu 8 Blöcke werden für $L_{\max} = 8$ Strahlungskeulen genutzt.

11 Anhang B: Beispiele

Ein Netzbetreiber bietet mit drei Antennen auf einem Funkmast NR-Dienste an. Alle drei Zellen senden im Band von 3500 MHz. Die Hauptstrahlungskeulen der Antenne stehen wie in Abbildung B.1 gezeigt in einem Abstand von 120 Grad. Die technischen Daten der Anlage sind in Tabelle B.1 aufgeführt. Gemäss NISV gilt für die Anlage ein Anlagegrenzwert von 6 V/m.

Zellen-ID	214	215	216
Antenne	A1	A2	A3
Richtung Hauptstrahlungskeule (Azimut)	30°	150°	270°
Richtung Hauptstrahlungskeule (Elevation)	-10°	-12°	-12°
Anzahl PBCH-Strahlungskeulen	1	4	4
Dienst	NR-3500		
Mittenfrequenz	3515 MHz		
Mittenfrequenz des PBCH	3509 MHz		
Bandbreite	30 MHz		
Numerologie	30 kHz		
Aktueller ERP des SSS pro Resource-Element $P_i^{SSS(RE)}$	200 mW	120 mW	120 mW
Insgesamt bewilligtes ERP $P_{i,bewilligt}$	400 W	200 W	200 W

Tabelle B.1: Technische Daten der Anlage.

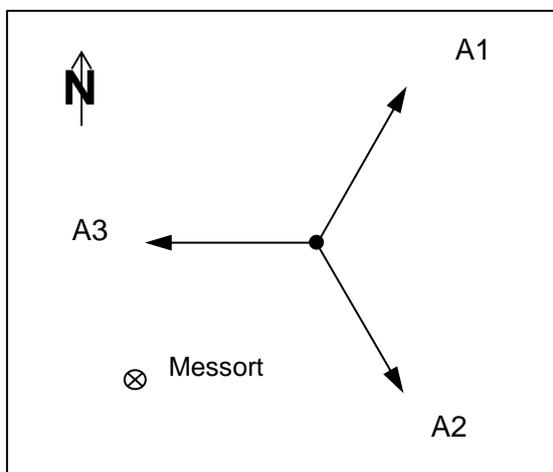


Abbildung B.1: Plan der Anlage mit den drei Antennen und der Lage des Messortes.

11.1 Die code-selektive Messung

Mit der code-selektiven Messeinrichtung kann die elektrische Feldstärke jeder Zelle separat gemessen werden. Es wird die örtlich höchste Feldstärke $E_{i,max}^{SSS(RE)}$ innerhalb des Messvolumens erfasst. Das Hochrechnungsverfahren wird in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

Zellen-ID	214	215	216
Antenne	A1	A2	A3
Richtung Hauptstrahlungskeule (Azimut)	30°	150°	270°
Richtung Hauptstrahlungskeule (Elevation)	-10°	-12°	-11°
Anzahl PBCH-Strahlungskeulen	1	4	4
Dienst			
NR-3500			
Mittenfrequenz			
3515 MHz			
Mittenfrequenz des PBCH			
3509 MHz			
Bandbreite			
30 MHz			
Aktueller ERP des SSS pro Resource-Element $P_i^{SSS(RE)}$	200 mW	120 mW	120 mW
Insgesamt bewilligtes ERP $P_{i,bewilligt}$	400 W	200 W	200 W
Hochrechnungsfaktor für das SSS $K_i^{SSS(RE)}$	44,72	40,82	40,82

Messort-spezifische Korrektur

Horizontalwinkel der OMEN in Bezug auf die Hauptstrahlungskeule	-160°	80°	-40°
Vertikalwinkel der OMEN in Bezug auf die Hauptstrahlungskeule	-15°	-13°	-14°
Dämpfung der SS/PBCH-Strahlungskeule in Richtung der OMEN $A_i^{SSS(RE)}(\varphi_i, \theta_i)$	14,13 (23 dB)	7,94 (18 dB)	1,78 (5 dB)
Dämpfung der Gesamtstrahlungskeule in Richtung der OMEN $A_i^{total}(\varphi_i, \theta_i)$	31,62 (30 dB)	12,59 (22 dB)	1,41 (3 dB)
Antennenkorrekturfaktor $K_i^{antenna}(\varphi_i, \theta_i)$	1,80	1,00	1,26

Sonstige Korrekturen

Statistischer Faktor K_i^{stat}	1	1	1
Duplexfaktor K^{duplex}	1	1	1

Allgemeiner Faktor

Allgemeiner Faktor $K_i(\varphi_i, \theta_i)$	80,50	40,82	51,40
---	-------	-------	-------

Messungen

Messwert $E_{i,max}^{SSS(RE)}$	4,30 mV/m	7,20 mV/m	88,00 mV/m
Hochgerechneter Wert $E_{i,h}$	0,35 V/m	0,29 V/m	4,52 V/m

Tabelle B.2: Beispiel des Hochrechnungsverfahrens. Für diese Berechnung sind wir davon ausgegangen, dass das von Gleichung (9) definierte maximale Verhältnis $K_{i,max}^{antenna}$ 1,8 beträgt. Zellen mit Werten in Kursivschrift können aus den Werten anderer Zellen berechnet werden.

Der Wert der für den massgebenden Betriebszustand hochgerechneten elektrischen Feldstärke beträgt

$$E_B = E_h = \sqrt{\sum_i E_{i,h}^2} = \sqrt{0,35^2 + 0,29^2 + 4,52^2} = 4,54 \text{ V/m}$$

Dieser Wert liegt unter dem Grenzwert von 6 V/m. Die Anlage gilt somit als konform.

11.2 Frequenzselektive Messung

Der mit einem Spektrumanalysator gemessene räumliche Höchstwert der elektrischen Feldstärke bei einer Auflösungsbandbreite von 5 MHz ergibt $E_{i,\max}^{\text{measured}} = 1,05 \text{ V/m}$. Als Auflösungsbandbreite wurde die nächsthöhere verfügbare Auflösung über der Bandbreite des SSS gewählt: $127 \cdot 30 \text{ kHz} = 3,810 \text{ MHz}$. Nachdem mindestens eine der Zellen mehr als eine PBCH-Strahlungskeule aufweist, ist der Faktor der frequenzselektiven Methode $K_i^{\text{FSM}} = \sqrt{2}$. Das elektrische Feld pro Resource-Element errechnet sich wie folgt:

$$E_{i,\max}^{\text{measured}} \cdot \sqrt{\frac{1}{127}} \cdot K_i^{\text{FSM}} = 0,131 \text{ V/m}$$

Der Hochrechnungsfaktor ist der Maximalwert aller Hochrechnungsfaktoren $K_i(\varphi_i, \theta_i)$ von Tabelle 1, in unserem Beispiel: 80,50. Die hochgerechnete Feldstärke beträgt somit

$$E_B = E_h = 0,131 \text{ V/m} \cdot 80,50 = 10,60 \text{ V/m}$$

Der Hochrechnungswert der elektrischen Feldstärke für den massgebenden Betriebszustand ist über dem Grenzwert von 6 V/m. Die Konformität der Anlage kann nicht bewertet werden. Eine code-selektive Messung ist erforderlich.

12 Anhang C: Definitionen, Symbole und Abkürzungen

DM-RS	Demodulation reference signals [<i>Demodulations-Referenzsignale</i>]
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution [<i>Erhöhung der Datenübertragungsrate in GSM-Mobilfunknetzen</i>]
ERP	Effective Radiated Power [<i>Effektive Strahlungsleistung</i>]
FDD	Frequency Division Duplex [<i>Frequenz-Duplex</i>]
FSM	Frequency Selective Method [<i>Frequenzselektive Methode</i>]
GSM	Global System for Mobile Communication [<i>Globales System für mobile Kommunikation</i>]
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection [<i>Internationale Kommission für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung</i>]
LTE	Long Term Evolution [<i>langfristige Entwicklung</i>]
NR	New Radio
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing [<i>Orthogonales Frequenzmultiplexverfahren</i>]
NISV	Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung
PBCH	Physical Broadcast Channel [<i>Physikalischer Rundfunk-Kanal</i>]
PDSCH	Physical Downlink Shared Channel
PSS	Primary Synchronization Signal [<i>Primäres Synchronisierungssignal</i>]
SS/PBCH	Synchronisierungssignal und PBCH
SSS	Secondary Synchronization Signal [<i>Sekundäres Synchronisierungssignal</i>]
TDD	Time Division Duplex [<i>Zeitduplex</i>]
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System [<i>Universales Mobiles Telekommunikationssystem</i>]
$A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$	Dämpfung des SS/PBCH-Signals von Zelle i in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung
$A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i)$	Dämpfung des summierten Signals von Zelle i in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung
E_B	Akzeptanzwert für die Anlage in V/m
E_{limit}	Feldstärke-Grenzwert in V/m

E_h	Hochgerechnete Feldstärke von einer NR-Basisstation, in V/m
$E_{i,h}$	Hochgerechneter Messwert der Feldstärke von Zelle i , in V/m
$E_{i,\max}^{\text{measured}}$	Über die gesamte Bandbreite des Spektrumanalysators gemessener Max- und Hold-Wert der elektrischen Feldstärke
$E_{i,\max}^{\text{SSS(RE)}}$	Räumliches Maximum im Messvolumen der Quadratsumme der elektrischen Feldstärke des SSS $E_{i,j}^{\text{SSS(RE)}}$
$E_{i,j}^{\text{SSS(RE)}}$	Elektrische Feldstärke (in V/m) pro Resource-Element (RE) des SSS der Zelle i und SS/PBCH-Blockindex j
$E_{\text{Netzwerk } k,h}$	Hochgerechneter Feldstärkemesswert für Netzwerk k
i	Identifikationsnummer der Zelle der Basisstation
j	Identifikationsnummer des SS/PBCH-Blockindex
k	Identifikationsnummer des Netzwerks
$K_i(\varphi_i, \theta_i)$	Allgemeiner Hochrechnungsfaktor für Zelle i . Der Faktor ist Messort-spezifisch
$K_{i,\max}^{\text{antenna}}$	Maximalwert des Verhältnisses $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)/A_i^{\text{total}}(\varphi_i, \theta_i)$, wobei das Maximum auf alle Richtungen angewandt wird, für welche die Dämpfung $A_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ der SS/PBCH-Strahlungskeule weniger als 10 beträgt (entspricht 20 dB)
$K_i^{\text{antenna}}(\theta_i)$	Antennenkorrekturfaktor für Zelle i , definiert als Worst Case (von allen Azimuts φ_i) des Antennenkorrekturfaktors $K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$
$K_i^{\text{antenna}}(\varphi_i, \theta_i)$	Antennenkorrekturfaktor, unter Berücksichtigung der Differenz aus dem Antennendiagramm des SS/PBCH-Signals von Zelle i und dem Antennendiagramm des Gesamtsignals im maximal erlaubten Betriebszustand
$K_i^{\text{SSS(RE)}}$	SSS-Hochrechnungsfaktor für Zelle i
K_i^{FSM}	Faktor der frequenzselektiven Methode
K_i^{stat}	Statistischer Faktor für Zelle i
K^{duplex}	Duplexfaktor
n	Anzahl der Zellen der Basisstation bzw. der Anlage
$P_{i,\text{bewilligt}}$	Maximal bewilligte ERP in W unter Berücksichtigung des Signals aller Antennenports der Zelle i : PSDCH, PBCH und PDCCH
$P_i^{\text{SSS(RE)}}$	Aktuelle ERP pro Resource-Element des SSS des SS/PBCH-Blocks von

Zelle i in W

$P_i^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ «Summiertes SSS-ERP-Strahlungsdiagramm», errechnet aus der Summierung der ERP-Sendeleistung pro Resource-Element aller SS/PBCH-Strahlungskeulen

$P_{i,j}^{\text{SSS(RE)}}(\varphi_i, \theta_i)$ Aktuelle «effektive Sendeleistung» in W pro Resource-Element des SSS des SS/PBCH-Blocks von Zelle i und Index j in der vom Azimut φ_i und der Elevation θ_i vorgegebenen Richtung

r_{DL} Maximales Verhältnis der Downlink-Übertragungszeit in einem Zeitintervall

Δf Subträgerabstand des SS/PBCH-Blocks

φ_i Azimut (definiert als Horizontalwinkel in einem Kugelkoordinatensystem) des Messorts in Bezug auf die Sendeantenne von Zelle i

θ_i Elevation (definiert als Vertikalwinkel in einem Kugelkoordinatensystem) des Messorts in Bezug auf die Sendeantenne von Zelle i