

Herausforderung Beamforming

5G aus Sicht der Messtechnik

Holger Schwarz
Thomas Jungmann

5G ist der Mobilfunkstandard der kommenden Jahre. Die fünfte Generation steht für Datenkommunikation in Echtzeit. Mit Frequenzen bis hoch zu 88 GHz und einer Übertragungsrate von 10 Gbit/s in der Spitze hat sie über die Mobilfunkanbieter hinaus längst großes Interesse seitens der Industrie geweckt. Messtechnisch gesehen gelten alle Fragen rund um den neuen Standard als gelöst. Bis auf eine: die normenkonforme Immissionsbewertung elektromagnetischer Felder in Verbindung mit Beamforming.



Deutschland und zahlreiche weitere europäische und außereuropäische Nationen fordern etwa bei Genehmigungsverfahren neuer Sendeanlagen eine Immissionsbewertung für elektromagnetische Felder (EMF), die den maximalen Anlagenzustand zugrunde legt. Ziel ist es, immer den „Worst Case“, den Maximalwert, das heißt, die größtmögliche Feldstärke zu ermitteln, der Personen ausgesetzt sein können. Denn liegt diese unterhalb der jeweils gültigen Grenzwerte, kann die Anlage sicher und in jedem Fall ohne Bedenken genehmigt und auch betrieben werden.

Theorie und Praxis

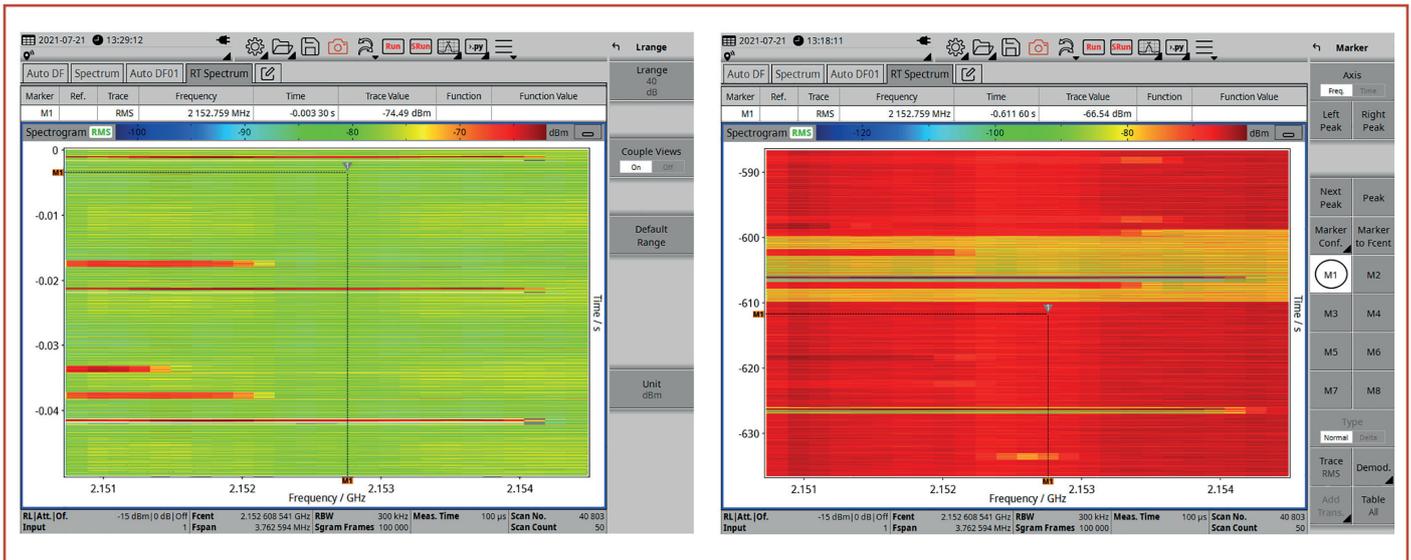
Das hieße aber auch theoretisch, dass der Anlagenbetreiber, bei einer neu zu genehmigenden Basisstation z.B., diese für den gesamten Zeitraum der EMF-Messung (alle Sendeeinheiten aktiv) unter Maximallast fahren müsste. Das ist jedoch in der Praxis

problematisch. Der Netzbetreiber müsste seine Anlage aus dem Wirkbetrieb nehmen, quasi stilllegen und ausschließlich für den Testbetrieb unter Volllast fahren. Das kann eine Behörde zum einen nur schwerlich von ihm verlangen und zum anderen würde das im Widerspruch zu einer unabhängigen, unangekündigten externen Kontrolle stehen.

Die Extrapolation

Die Verordnung – in Deutschland die 26. BImSchV – schreibt vor, dass für die Immissionsauswirkung einer Anlage die elektrische und magnetische Feldstärke bei „höchster betrieblicher Auslastung“ zu ermitteln ist. Für den Fall, dass während der Messung der maximale Zustand nicht eingestellt werden kann, muss geeignet auf diesen hochgerechnet, also extrapoliert werden. Und genau hier trennt sich bei diesen Messungen die Spreu vom Weizen. Denn aus dem Signalgemisch, das solch eine Anlage aussendet, müssen zunächst die

Holger Schwarz arbeitet als Produkt Marketing Manager bei Narda STS in Pfullingen, Thomas Jungmann ist als Journalist/Fachredakteur Inhaber der Texterei Jungmann in Wangen



Anteile ausselektiert werden, die unabhängig vom aktuellen Verkehrsaufkommen mit konstanter Leistung gesendet werden. Das ist exakt jene Signalisierung, die auch ein Mobiltelefon verwenden würde, um sich auf das betreffende Netz zu synchronisieren. Die Bandbreite des Systems und die der Signalisierung sind dabei fest eingestellte Werte.

Mit den Daten aus der Signalisierung steht dem Messtechniker die Basisgröße für die Hochrechnung zur Verfügung. Für die Berechnung der maximal möglichen Emission der Basisstation muss er berücksichtigen, dass diese nicht von der Signalisierung, sondern von Traffic abgestrahlt wird. Für Traffic und Signalisierung besitzt eine Beamforming-Antenne jedoch unterschiedliche Antennengewinne, jeweils dargestellt im sog. Antenna Pattern. Die beiden Antenna-Pattern-Diagramme, die der Betreiber zur Verfügung stellt, werden übereinandergelegt und die Differenz für den Messort ermittelt. Mit diesem Delta wird das Ergebnis der Signalisierungsmessung beaufschlagt und so die maximale Emission des Traffics ermittelt, also die maximal mögliche Emission der Basisstation.

Der Korrekturfaktor „Antenna Pattern“ allerdings kommt hierbei lediglich in Verbindung mit Beamforming, einer

speziellen Antennentechnik ins Spiel, die erst im oberen Frequenzband ab 3,5 GHz eingesetzt wird. Dieses Hochrechnen auf die maximale Bandbreite bzw. Extrapolieren geht losgelöst vom jeweiligen Messinstrument über einen einfachen Dreisatz beispielsweise in einer Excel-Tabelle vonstatten.

Frequenzselektiv vs. codeselektiv

Der Knackpunkt geräteseitig ist, dass das verwendete Messgerät in der Lage sein muss, den erforderlichen Signalisierungsanteil automatisch aus dem Gesamtsignal „herauszufischen“. Noch bei GSM waren diese Signalisierungskanäle sogar im Frequenzbereich separierbar. Der Techniker stellte lediglich bestimmte Frequenzen ein, von denen er wusste, hier ausschließlich Signalisierung als Basis für seine Hochrechnung aufzuzeichnen.

Doch bereits ab UMTS waren Signalisierung und Traffic-Signale nicht mehr über die Frequenz trennbar, sondern nur noch über den sog. Codebereich. Ein Umstand, der Signalarten für frequenzselektive Messgeräte nicht mehr unterscheidbar macht. Im Codebereich hingegen transportiert ein Signal u.a. spezifische Informationen, die es einer bestimmten Funkzelle eindeutig zuordnen. An diesem Punkt wurde bei EMF-Messungen die Ablösung der frequenzselektiven Mess-

Für Traffic und Signalisierung besitzt eine Beamforming-Antenne unterschiedliche Antennengewinne, jeweils dargestellt im sogenannten Antenna Pattern

technik durch die codeselektive initiiert, die sich nach einhelliger Überzeugung von renommierten Wissenschaftlern auch bei 5G durchsetzen wird.

5G-geeignetes Mess-Equipment

Diese Messtechnik beherrschte der SRM-3006 (Selective Radiation Meter) der Firma Narda STS von Beginn an für UMTS und dann auch LTE. Der SRM-3006 steht für normenkonforme Messungen nach nationalen und internationalen Standards mit prozentualer Anzeige bezogen auf den jeweils zulässigen Grenzwert. Heute wird es daher zur sicheren und richtungsunabhängigen Erfassung von Feldern und ihren Quellen im Frequenzbereich zwischen 9 kHz und 6 GHz eingesetzt. Bevorzugt auch von Regulierungsbehörden für ihre präzisen und zuverlässigen Immissionsbewertungen. Es besitzt eine eigens entwickelte Messoption für die codeselektive EMF-Messung von 5G-Signalen im Frequenzbereich 1, der für die Hochrechnung auf die maximale Exposition erforderlich ist.

Im Ergebnis kann der SRM in der Betriebsart „5G NR“ schon gleich mit

der Messung beginnen. Der Messtechniker muss dazu lediglich die Mittenfrequenz der Signalisierung und den Subträgerabstand (SCS – Subcarrier Spacing) eingeben. Das Gerät erkennt sofort die entscheidenden Parameter wie die Cell ID. Es erstellt automatisch eine Liste mit exakt jenen Daten, die der Messtechniker zu seiner Auswertung braucht. Der tragbare Signalanalysator beschränkt sich auf das, was für die Messungen rund um Sicherheit und Personenschutz erforderlich ist. Das Gerät verfügt über eine isotrope Antenne, mit der Messtechniker richtungsunabhängig messen können. Und während noch zu GSM-Zeiten eine spektrale Darstellung genügte, musste es für UMTS und LTE schon die codeselektive Messung sein. Diese liefert das gewünschte Ergebnis mit der geringsten Unsicherheit.

Die Entwickler des SRM verfolgten mit ihrem Fokus ausschließlich jene Features, die für EMF-Messungen rund um Sicherheit und Personenschutz in der Praxis tatsächlich erforderlich sind, beispielsweise der bewusste Verzicht auf einen Touchscreen. In der Normung zu Personenschutz am Arbeitsplatz ist festgeschrieben, dass sich Beschäftigte hochfrequenten elektrischen Feldstärken von bis zu 140 V/m aussetzen dürfen. Und während Hersteller herkömmlicher Analyzer ein Funktionieren der Geräte lediglich bis zu 10 V/m garantieren, hält der SRM problemlos 200 V/m aus. Touchscreens allerdings funktionieren bei Feldstärken von 100 oder 200 V/m schon lange nicht mehr.

Fit für 5G

Nach einem aktuellen Softwareupdate ist der SRM-3006 nun fit für 5G. Der Techniker braucht weiterhin für alle kommenden EMF-Messungen nur ein Gerät. Zumal 5G in zwei Stufen ausgerollt wird. Aktuell, in der ersten Stufe, die sich Non Stand alone (NSA) nennt, ist die Station aufgrund besonderer technischer Rahmen-



Der Narda SRM-3006 für die frequenzselektive Messung hochfrequenter elektromagnetischer Felder. Der SRM-3006 steht für normenkonforme Messungen mit prozentualer Anzeige bezogen auf den jeweils zulässigen Grenzwert

bedingungen noch auf ein vorhandenes 4G-Netz auf derselben Station angewiesen. Erst in Zukunft wird sich nach und nach die Stand-alone-Technik etablieren, mit der eine 5G-Anlage isoliert auch „mitten in der Landschaft auf der grünen Wiese“ errichtet werden kann, ohne dass auf demselben Mast zwingend auch eine 4G-Anlage installiert sein muss.

Mit zunehmendem Ausbaugrad, d.h., je mehr dieser Stationen aufgebaut werden, und vor allem, je mehr diese auch ausgelastet sind, desto schneller werden codeselektive Methoden unverzichtbar. Messtechniker sind nur mit ihrer Hilfe in der Lage, z.B. die jeweiligen Immissionen zweier unterschiedlicher Anlagen ein und desselben Anlagenbetreibers zu unterscheiden. Im Unterschied zur frequenzselektiven Messtechnik, die lediglich einen Wert als Summation aller in der Luft befindlichen Signale misst, kann die codeselektive Methode einzelne Sektoren eines Basisstationsstandortes differenziert erfassen. Denn jede der typischerweise drei Zellen einer Basisstation hat ihren unverwechselbaren, eindeutigen Code, Physical Cell ID (PCI) genannt.

Eine Frage der Frequenz

Niedrigere Frequenzen von 700, 800 oder 900 MHz werden aufgrund ihrer besseren Ausbreitungseigenschaften vornehmlich in ländlich geprägten Gebieten eingesetzt. Die Anlagenbetreiber erzielen dadurch höhere Reichweiten. In der Regel kommt es auf dem Land eher zu Coverage-Problemen; es gibt die sog. Funklöcher. In einem ländlichen Umfeld entscheidet demnach nicht so sehr der Datendurchsatz, da die Datenkapazität hier seltener an ihre Grenzen stößt. Dieses Problem herrscht vornehmlich in den Ballungszentren, etwa in Innenstädten und Messezentren, also überall dort, wo sich viele Menschen aufhalten und hohe Datenvolumina hin- und herschickt werden. Genau da kommt der 3,6-GHz-Bereich ins Spiel, in dem zwar eher geringe Reichweiten möglich sind, die hohe verfügbare Bandbreite, z.B. 90 MHz, jedoch eine signifikant höhere Datenkapazität mit sich bringt.

Messtechnisch betrachtet macht es einen deutlichen Unterschied, ob eine 5G-Anlage etwa bei 700, 800 MHz, bei 1.800, 1.900 MHz bzw. 2,1 GHz gemessen wird, oder gar bei 3,4 bis 3,8 GHz. Und das hängt mit der ab diesem Bereich eingesetz-

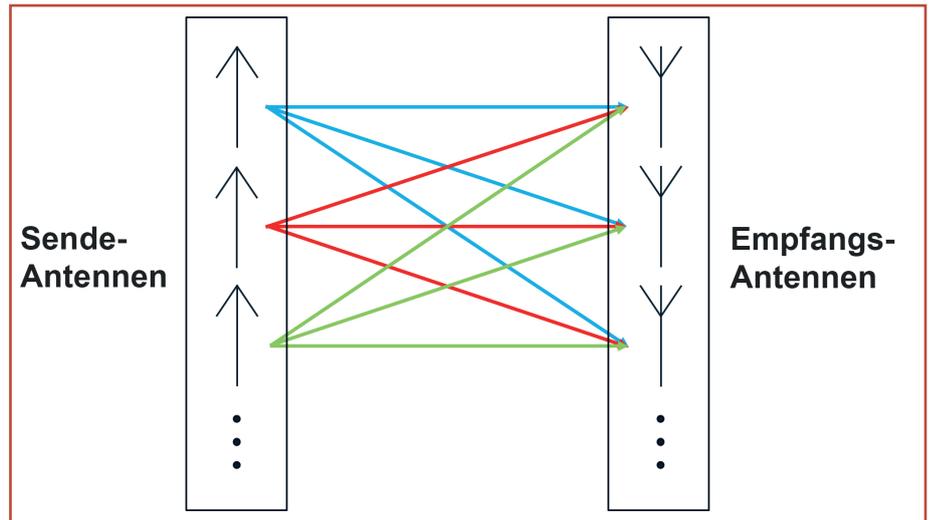
ten Antennentechnik zusammen, mit der zusätzliche Herausforderungen auftreten. Denn ab 3,4 GHz wird über das reine neue 5G-Signal hinaus eine spezielle Antennen-Abstrahltechnik eingesetzt, die sich Massive MIMO (Multiple Input Multiple Output) nennt. Das ist ein Mehrantennensystem, das an jeder Basisstation Antennen-Arrays aus 128 bis 1.024 sende- und empfangsseitig aktiven Antennen-Elementen hat. Von besonderem Interesse ist Massive MIMO für 5G sowie für hochbitratige WLANs, da es die Sendeleistung bündelt und so Energieeffizienz und Datendurchsatz erhöht.

Beamforming und Beamsteering

Die Steigerung der Energieeffizienz geht auf Massive MIMO zurück, wobei die Sendeleistung mittels Multi-User Beamforming (MUBF) gezielt auf die einzelnen Mobilfunkgeräte ausgerichtet wird (Bild 3). Dabei muss unterschieden werden: Per Definition meint Beamforming das Ausgestalten (Formen) der Antennenkeule per Software in ihre Geometrie, während unter Beamsteering das gezielte elektronische Ausrichten (Steuern) dieser Keule zu verstehen ist. Eine Technik, die erst jetzt im Zusammenhang mit 5G verstärkt eingesetzt werden soll. Denn Beamforming erhöht die Reichweite und reduziert Interferenzen zwischen den Funkzellen. Ferner kommt es zu einer gesteigerten Fokussierung der Sendeleistung, was ebenfalls zur Effizienzsteigerung beiträgt. Durch den Einsatz von Massive MIMO können auch kleinere Raumsegmente funktechnisch optimal „ausgeleuchtet“ werden.

Durch Beamforming erreicht der Anlagenbetreiber, dass er nicht mehr mit einem relativ ungerichteten Strahl (Beam) eine ganze Zelle versorgen muss, d.h. den gesamten Sektor auf einer Breite von 120° (Bild 4).

Dass eine Basisstation genau weiß, wohin sie den Beam idealerweise richten muss, hängt damit zusammen, dass die



Die Steigerung der Energieeffizienz geht auf Massive MIMO zurück, wobei die Sendeleistung mittels Multi-User Beamforming (MUBF) gezielt auf die einzelnen Mobilfunkgeräte ausgerichtet wird

Anlage ihren Signalisierungsstrahl je nach Anbieter z.B. in sieben unterschiedlichen horizontalen Ausrichtungen ausstrahlt à ca. 17° (120° : 7). Die Basisstation schaltet diese Signalisierungsstrahle der Reihe nach durch und das Mobiltelefon misst einen nach dem anderen. Anschließend meldet es der Station zurück, welchen von den sieben es am besten in puncto Signalqualität und Pegelstärke empfangen hat. Jetzt „weiß“ die Basisstation, in welche Richtung der Traffic-Beam für diesen speziellen Nutzer am besten ausgerichtet sein muss.

Im Frequenzbereich von 3,4 bis 3,8 GHz wurden mittlerweile entsprechende Antennen entwickelt, die Beamforming können und von den Abmessungen her vergleichsweise brauchbar kompakt sind (80 mm x 80 mm oder 90 mm x 90 mm). Antennen mit diesen Dimensionen können auch noch problemlos auf einem Dach montiert werden. Hintergrund ist, dass die Abmessungen einer solchen Antenne eng mit der entsprechenden Wellenlänge verbunden sind. Bei den Antennen hat die Größe auch viel mit dem Abstand der einzelnen Dipole untereinander zu tun. Dieser sollte immer eine halbe Wellenlänge betragen. Das bedeutet, bei 900 MHz müsste die Antenne schon 3 m x 3 m groß sein. In diesem Bereich erscheint Beamforming

also nicht gerade zielführend. Das ist es nur im oberen Frequenzband. Die Antennen sind einfacher zu handlen, weil sie sehr viel kompakter sind.

Die zuvor erwähnte messtechnische Herausforderung erwächst nun aus der Unsicherheit des Messtechnikers, dem nicht genau weiß, ob er gerade während einer Messung von einem Strahl angepeilt ist oder eben nicht. Vor dieser Kulisse sind derzeit verschiedene Techniken erforderlich und im Versuchsstadium, wie eben nicht nur von der Signalisierung auf den maximalen Anlagenzustand hochgerechnet, sondern auch dem Problem der schmalen schwenkenden Keulen begegnet werden kann. An dieser Stelle bleibt festzuhalten, dass nicht die messtechnische Erfassung von 5G insgesamt Schwierigkeiten macht. Mit einem SRM können unabhängig vom Beamforming-Aspekt zumindest Frequenzen von 700, 800 MHz und von 2,1 GHz problemlos normgerecht gemessen und vergleichsweise einfach hochgerechnet werden. Nur bei 3,4- bis 3,8-GHz-Anlagen, die mit dieser Strahlformung operieren, kommt noch eine zusätzliche Herausforderung hinzu.

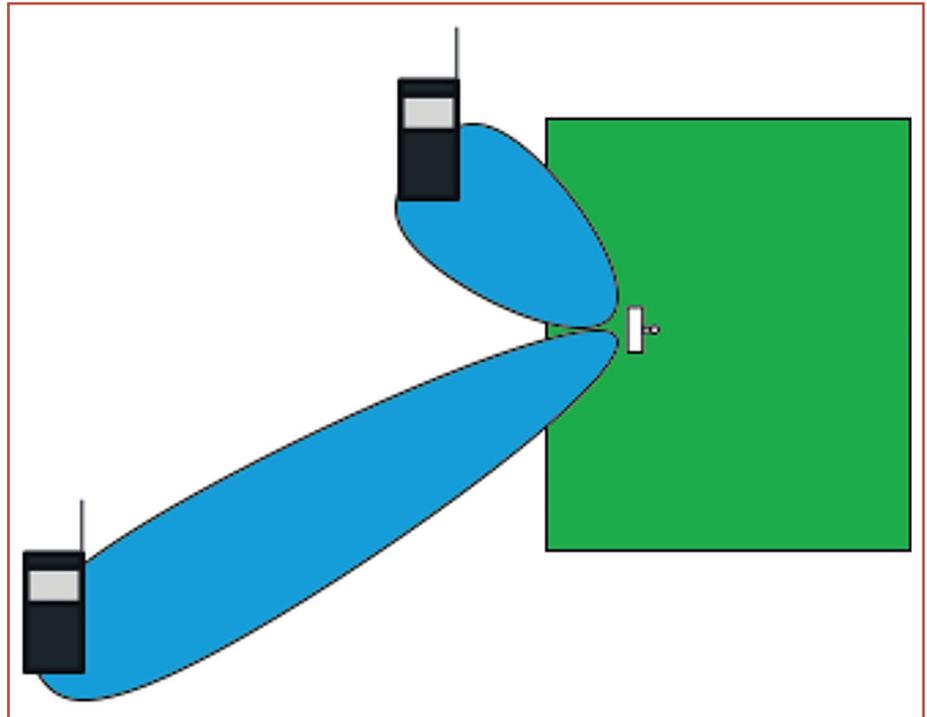
Ohne Beamforming also bedeutet die Immissionsbestimmung von 5G NR einfach die Messung der Signalisierung einer Station und das anschließende Hoch-

rechnen auf die gesamte Bandbreite. Mit Beamforming hingegen kommt zu dieser Verfahrensweise noch der Beamforming-Faktor hinzu. Und letzterer ist abhängig von der Position des Messtechnikers relativ zur gemessenen Sendeantenne. Hierzu ermittelt er den Extrapolationsfaktor für Beamforming aus der Differenz der beiden Antenna Pattern von Signalisierung und Traffic-Signal für seine jeweilige Messposition.

Dem schließt sich eine zweite Möglichkeit zum Messen mit Beamforming an. Und zwar eine recht simple. Der Messtechniker kann einen Beam in seine Richtung „erzwingen“, indem er ein spezielles Endgerät einsetzt, das einen massiven Daten-Download vollzieht und auf diese Art dafür sorgt, dass die Sendeanlage einen Beam mit voller Leistung auf ihn richtet. Theoretisch misst er dann tatsächlich die maximal mögliche Feldstärke. Die Methode kann natürlich nur dann funktionieren, wenn er zu diesem Zeitpunkt in „seiner Zelle“ allein ist. Sobald sich auch nur ein weiterer Nutzer in derselben Zelle befindet, wird sofort eine zweite Keule ausgebildet, die seine Worst-Case-Messung verfälscht. Daher eignet sich diese Methode nicht für eine Zelle im Wirkbetrieb, weil immer damit gerechnet werden muss, dass andere Nutzer Leistung für sich beanspruchen. Auch aus diesem Grund funktioniert das Verfahren mit dem erzwungenen Beam nicht bei unabhängigen und unangekündigten Messungen.

Lösungsansätze

Wie bereits erwähnt wird die Signalisierung (Broadcast-Beam) beim Einsatz von Beamforming-Antennen über eine andere Antennencharakteristik abgestrahlt als die für die Immission verantwortlichen Traffic-Signale. Der Messtechniker misst diesen Broadcast-Beam, der an seinem Messpunkt erzeugt wird. Anschließend wird mit dem Beamforming-Faktor, der je nach Messposition zu ermitteln ist, auf eine Feldstärke hochgerechnet, die vorherrschen



würde, wenn der Traffic-Beam voll auf ihn gerichtet wäre.

So weit, so gut. Nach Lage der Dinge besteht die eigentliche Kunst nun darin, diesen speziellen Faktor aus den jeweiligen Antennendiagrammen vom Broadcast- und vom Traffic-Beam korrekt herzuleiten. Die zugehörigen Daten der Antennendiagramme stellen die Hersteller oder Betreiber zur Verfügung. Zudem ist die Standortfrage entscheidend. Der Messtechniker muss aufgrund des schwenkenden Beams genau wissen, wo er sich gerade befindet und in welcher Richtung er zur gemessenen Anlage steht. Das wird altmodisch aus Landkarten mit Kompass, Entfernung- und Winkelmessern ermittelt. Anschließend entnimmt der Messtechniker mithilfe dieser Daten (Entfernung, Richtung, Azimut, Elevation) den Antennendiagrammen vom Broadcast- und Traffic-Beam, welchen Gewinn beide in diese Richtung haben. Der Gewinnunterschied macht dann den Immissionsunterschied aus.

Fazit

Die aktuelle Situation rund um 5G NR unter Messtechnikaspekten betrachtet unterscheidet sich nicht großartig von der bereits

Durch Beamforming erreicht der Anlagenbetreiber, dass er nicht mehr mit einem relativ ungerichteten Strahl (Beam) eine ganze Zelle versorgen muss, dass heißt den gesamten Sektor auf einer Breite von 120°

etablierter Funkdienste wie GSM, UMTS und LTE. Die messtechnische Bestimmung der Momentanmission elektromagnetischer Felder ist ausnahmslos in allen Fällen vergleichsweise einfach und fertig entwickelt. Anspruchsvoll in der Messpraxis wird diese Disziplin erst durch die Forderung, allen Immissionsbewertungen immer den maximalen Anlagenzustand zugrunde zu legen. Hier kommt die Notwendigkeit ins Spiel, tatsächlich gemessene Feldstärken auf die maximal möglichen hochzurechnen, also zu extrapolieren. Eine Aufgabe, die nur durch die codeselektive Messtechnik auch für 5G technisch bereits gelöst ist. Bei 5G sind für das Hochrechnungsverfahren mehr Faktoren zu berücksichtigen als noch bei LTE, z. B. durch Beamforming, das hier in höheren Frequenzbereichen ab 3,4 GHz aus Gründen höchstmöglicher Datenraten ins Spiel kommt. Derzeit werden für dieses neue Verfahren in mehreren Ländern die offiziellen Messvorschriften final ausgearbeitet.