



VERWALTUNGSGERICHT DES KANTONS ZUG

VERWALTUNGSRECHTLICHE KAMMER

Mitwirkende Richter: Dr. iur. Aldo Elsener, Vorsitz
lic. iur. Jacqueline Iten-Staub, Dr. iur. Matthias Suter
lic. iur. Ivo Klingler und lic. iur. Adrian Willimann
Gerichtsschreiber: lic. iur. Peter Kottmann

URTEIL vom 15. Januar 2024 *[rechtskräftig]*

in Sachen

A. _____
Beschwerdeführerin
vertreten durch RA B. _____

gegen

1. C. _____
vertreten durch RA D. _____ u/o RA E. _____

2. Stadtrat von Zug

3. Regierungsrat des Kantons Zug

Beschwerdegegner

betreffend

Baubewilligung

(Antennenaustausch/-ergänzung an bestehender Mobilfunkanlage)

V 2023 25

A. Das mit einem Wohnhaus/Mehrzweckgebäude überbaute Grundstück Nr. G._____ (nachfolgend GS G._____) an der F._____strasse in Zug ist im Alleineigentum der H._____ und liegt in der Kernzone C sowie im Perimeter des Bebauungsplans Nr. 3657 "Baarerstrasse-Gubelstrasse-Industriestrasse-Metallstrasse". Mit Schreiben vom 14. Januar 2021 reichte die I._____ AG als Projektverfasserin der C._____ ein Baugesuch (SZ-2021-019) inklusive Standortdatenblatt für den Antennenaustausch bzw. eine Antennenergänzung an der bestehenden Mobilfunkanlage "M._____" auf dem GS G._____ ein. Geplant ist der Ersatz der bestehenden Sendeanennen durch sechs neue Sendeanennen auf zwei Ebenen mit drei Hauptstrahlrichtungen (35°, 165° und 285° Abweichungen von Nord), wobei die Sendeanennen 7, 8 und 9 über 32 Sub-Arrays verfügen und im Frequenzband um 3600 MHz adaptiv betrieben werden sollen. Ausserdem soll die Anlage um einen Blitzfangstab erweitert werden.

Aufgrund des vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) am 23. Februar 2021 veröffentlichten Nachtrags «Adaptive Antennen» zur Vollzugsempfehlung zur Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen ersuchte das Baudepartement der Stadt Zug die Bauherrin mit Schreiben vom 30. März 2021 um Nachreichung eines überarbeiteten Standortdatenblatts. Daraus sollte ersichtlich werden, welche Antennen adaptiv betrieben werden und wie viele Sub-Arrays die Antennen aufweisen.

Daraufhin reichte die I._____ AG namens der Bauherrin dem Baudepartement der Stadt Zug ein überarbeitetes Standortdatenblatt mit den Angaben zum adaptiven Betrieb ein. Mit Schreiben vom 29. April 2021 bestätigte das Amt für Umwelt des Kantons Zug (nachfolgend: AFU) die Einhaltung der gesetzlichen Grenzwerte und beurteilte das Baugesuch als bewilligungsfähig. In der Folge wurde das Baugesuch Nr. SZ-2021-019 am 14. Mai 2021 und 21. Mai 2021 im Amtsblatt publiziert sowie vom 14. Mai 2021 bis und mit 2. Juni 2021 öffentlich aufgelegt.

Gegen das Baugesuch erhoben A._____ und 12 weitere Personen am 31. Mai 2021 sowie J._____ und 29 weitere Personen mit Schreiben vom 2. Juni 2021 Einsprache mit dem Antrag auf Abweisung des Baugesuchs.

Mit Beschluss vom 2. November 2021 erteilte der Stadtrat von Zug die Baubewilligung für den Antennenaustausch bzw. eine Antennenergänzung an der bestehenden Mobilfunkanlage auf dem Flachdach des Wohn- und Mehrzweckgebäudes an der F._____strasse,

Zug, unter Auflagen und Bedingungen und wies gleichzeitig sämtliche Einsprachen ab, soweit er darauf eintrat.

Eine gegen diesen Entscheid von A. _____, vertreten durch Rechtsanwalt B. _____, am 24. November 2021 eingereichte Verwaltungsbeschwerde wies der Regierungsrat des Kantons Zug mit Beschluss vom 21. Februar 2023 ab.

B. Gegen den regierungsrätlichen Beschluss liess A. _____ am 22. März 2023 Verwaltungsgerichtsbeschwerde einreichen und folgende Anträge bzw. Verfahrensanträge stellen:

- "1. In Gutheissung der Beschwerde seien der Entscheid des Regierungsrats vom 21. Februar 2023 sowie die Baubewilligung Nr. 609.21 des Stadtrats Zug vom 2. November 2021 aufzuheben.
2. Unter den gesetzlichen Kosten- und Entschädigungsfolgen zu Lasten der Beschwerdegegnerin 1 und der Vorinstanzen.
3. Die Beschwerdegegnerin 1 sei zu verpflichten, Belege für ein funktionierendes Qualitätssicherungssystem, insbesondere in Bezug auf adaptive Antennen, einzureichen.
4. Es sei ein Amtsbericht oder ein unabhängiges Gutachten einzuholen zu den Fragen, ob bei adaptiven Antennen bereits Abnahmemessungen durchgeführt werden können und ob bereits erfolgte Abnahmemessungen von in Betrieb genommenen Anlagen den im Standortdatenblatt prognostizierten Werten entsprechen."

C. Den von ihr verlangten Kostenvorschuss von Fr. 5'000.– bezahlte die Beschwerdeführerin fristgerecht.

D. Mit Vernehmlassung vom 3. Mai 2023 stellte die Baudirektion des Kantons Zug im Auftrag des Regierungsrats den Antrag, die Verwaltungsgerichtsbeschwerde sei unter Kostenfolge zu Lasten der Beschwerdeführerin vollumfänglich abzuweisen.

E. Am 8. Mai 2023 liess die C. _____ beantragen, die Beschwerde sei vollumfänglich abzuweisen, soweit darauf einzutreten sei; alles unter Kosten- und Entschädigungsfolgen zzgl. der gesetzlichen Mehrwertsteuer zu Lasten der Beschwerdeführerin.

F. Am 7. Juni 2023 replizierte die Beschwerdeführerin, und am 22. Juni 2023 bzw. 4. Juli 2023 reichten die Baudirektion und die Beschwerdegegnerin 1 je eine Duplik ein.

G. Am 12. September 2023 machte K. _____, dessen Befragung die Beschwerdeführerin in ihrer Replik vom 7. Juni 2023 als Experte für Fragen in Zusammenhang mit Reflexionen und Abschirmungen beantragt hatte, eine unaufgeforderte Eingabe, welche das Gericht den Parteien zur Kenntnisnahme zustellte.

Das Verwaltungsgericht erwägt:

1.

1.1 Gemäss § 61 Abs. 1 Ziff. 2 des Verwaltungsrechtspflegegesetzes (VRG; BGS 162.1) ist gegen Verwaltungsentscheide des Regierungsrats die Beschwerde an das Verwaltungsgericht zulässig, soweit die Gesetzgebung den Weiterzug nicht ausnahmsweise ausschliesst. Ein solcher Ausschluss liegt hier nicht vor. Die Verwaltungsgerichtsbeschwerde wurde frist- und formgerecht eingereicht. Die Beschwerdeführerin hat schon an den Verfahren vor dem Stadtrat von Zug und dem Regierungsrat teilgenommen, ist als Adressatin des angefochtenen Regierungsratsbeschlusses und als Eigentümerin der Grundstücke Nrn. L. _____, alle Zug, welche vollständig im vorliegend massgebenden Einspracheperimeter von 536 m liegen, durch den Entscheid betreffend die Mobilfunkanlage "M. _____" auf dem GS G. _____ besonders berührt, hat ein schutzwürdiges Interesse an dessen Aufhebung und ist daher im Sinne von § 62 VRG zur Beschwerde berechtigt. Auf die Beschwerde ist einzutreten.

1.2 Sind Verwaltungsentscheide des Regierungsrats Beschwerdegegenstand, wie vorliegend, so können mit der Verwaltungsgerichtsbeschwerde gemäss § 63 Abs. 1 Ziff. 1–5 VRG nur Rechtsverletzungen gerügt werden. Eine Ermessensüberprüfung ist dem Gericht dagegen verwehrt (§ 63 Abs. 3 VRG e contrario).

2.

2.1 Zum Verständnis der nachstehenden Erwägungen ist es angezeigt, vorweg auf die Funktionsweise der adaptiven Antennen und deren Regelung in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV; SR 814.710) einzugehen.

2.2 Grundlage für die Prognose der Strahlung einer projektierten Mobilfunkanlage ist deren äquivalente Strahlungsleistung (ERP; Effective radiated power). Diese entspricht

gemäss Art. 3 Abs. 9 NISV der einer Antenne zugeführten Sendeleistung, multipliziert mit dem Antennengewinn in Hauptstrahlrichtung, bezogen auf den Halbwellendipol. Der Antennengewinn bezieht sich auf die Bündelung der Sendeleistung in eine Hauptstrahlrichtung. Er gibt an, mit wie viel weniger Leistung eine konkrete Antenne (mit Bündelung der Sendeleistung) angespiesen werden muss, damit sie in die Hauptstrahlrichtung in einem gegebenen Abstand die gleiche Feldstärke erzeugt wie eine Referenzantenne, welche die Strahlung nicht oder in geringem Mass bündelt. Als Referenzantenne kann eine Dipolantenne (Halbwellendipol) gewählt werden (vgl. Ziff. 1.160 des Radioreglements; SR 0.784.403.1).

Adaptiv betreibbare Antennen weisen eine Vielzahl (z.B. 64) von Elementarantennen resp. Antennenelementen auf, von denen jedes seinen eigenen Verstärker hat. Diese Elemente bilden eine als Antennen-Array bezeichnete Anordnung, die durch die physische Zusammenschaltung von Elementen in Sub-Arrays aufgeteilt werden kann (BAFU, Erläuterungen vom 23. Februar 2021 zu adaptiven Antennen und deren Beurteilung gemäss der NISV [nachstehend: BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen], S. 5 f. Ziff. 4.1; Hugo Lehmann, Adaptive Antennen für 5G, bulletin.ch, 18. Mai 2020, S. 2). Zudem sind adaptive Antennen mit leistungsfähigen Computern ausgestattet, welche die zu übertragenden Daten sehr schnell aufbereiten können (Bundesrat, Nachhaltiges Mobilfunknetz, Bericht des Bundesrats vom 14. April 2022 in Erfüllung des Postulates 19.4043, Häberli-Koller, 17. September 2019, S. 15 Ziff. 2.4.4). Diese Datenaufbereitung erlaubt es, verschiedene Antennenelemente unterschiedlich anzusteuern und damit durch Phasenverschiebungen die Hauptsenderichtung der Strahlung horizontal und vertikal zu bewegen und dieser eine Richtwirkung zu geben. Dabei gilt vereinfacht, dass mit steigender Zahl der unterschiedlich ansteuerbaren Antenneneinheiten die mögliche Richtwirkung der Strahlung und damit der Antennengewinn zunimmt (BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 5 ff. Ziff. 4.1, 4.2 und 4.4). Der Mobilfunkstandard der fünften Generation (5G) wird als New Radio (NR) bezeichnet. Er definiert namentlich die Frequenz-Zeit-Struktur der zu übertragenden Signale und erlaubt es, die maximale Zahl der unterschiedlich ansteuerbaren Antennenelemente im Vergleich zu früheren Standards des Mobilfunks stark zu erhöhen (Bundesamt für Kommunikation [BAKOM], Faktenblatt 5G, ein einleitender Überblick, Januar 2020 [nachstehend: BAKOM, Faktenblatt 5G], S. 8 Ziff. 3.3; BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 2 Ziff. 1). Auch herkömmliche Mobilfunkantennen können die Funksignale primär in eine bestimmte Hauptstrahlrichtung senden (BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 8 Ziff. 5.2). Bei diesen Antennen ist das räumliche dreidimensionale Abstrahlungsmuster, das als (horizontales und vertikales) Antennendiagramm mit "Strahlenkeu-

len" bzw. "Beams" in die Hauptstrahlrichtung dargestellt werden kann, jedoch immer das gleiche. Bei adaptiven Antennen hingegen können diese Antennendiagramme unterschiedliche räumliche Ausprägungen annehmen (BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 10 Ziff. 5.3; vgl. auch S. 5 f. Ziff. 4.2). Wählen adaptive Antennen die einzelnen Antennendiagramme aus einer Liste vorprogrammierter Diagramme aus, wird von einem Codebook basierten Beamforming gesprochen (BAKOM, Testkonzession und Messungen adaptive Antennen, Bericht vom 24. September 2020 [nachstehend: BAKOM, Testkonzession und Messungen], S. 7. Ziff. 2.1.5; Lehmann, a.a.O., S. 2). Beim sogenannten reziproken Beamforming werden keine vorprogrammierten Antennendiagramme ausgewählt, sondern diese von der Antenne unter Berücksichtigung der aktuellen Position der aktiven Endgeräte und der Reflektionen und Abschattungen laufend berechnet (BAKOM, Testkonzession und Messungen, S. 12; BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 11). Für adaptive Antennen werden sogenannte umhüllende Antennendiagramme erstellt, die für jede Senderichtung den maximal möglichen Antennengewinn berücksichtigen resp. alle Einzeldiagramme für die vorgesehenen Senderichtungen umhüllen bzw. einschliessen (BAKOM, Testkonzession und Messungen, S. 11; BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 10 ff. Ziff. 5.3).

2.3 Gemäss Ziff. 62 Abs. 6 Anhang 1 NISV gelten Sendeantennen als adaptiv, wenn sie so betrieben werden, dass ihre Senderichtung oder ihr Antennendiagramm automatisch in kurzen zeitlichen Abständen angepasst wird. Hinsichtlich des massgebenden Betriebszustands sah Ziff. 63 Anhang 1 NISV in der vom 1. Juni 2019 bis zum 31. Dezember 2021 geltenden Fassung vor, dass bei adaptiven Antennen die Variabilität der Senderichtungen und der Antennendiagramme berücksichtigt wird. Diese Berücksichtigung wurde mit der Änderung der NISV vom 17. Dezember 2021, in Kraft seit dem 1. Januar 2022 (AS 2021 901), in Ziff. 63 Anhang 1 NISV wie folgt definiert:

¹ Als massgebender Betriebszustand gilt der maximale Gesprächs- und Datenverkehr bei maximaler Sendeleistung.

² Bei adaptiven Sendeantennen mit 8 oder mehr separat ansteuerbaren Antenneneinheiten (Sub-Arrays) kann auf die maximale ERP ein Korrekturfaktor K_{AA} angewendet werden, wenn die Sendeantennen mit einer automatischen Leistungsbegrenzung ausgestattet werden. Diese muss sicherstellen, dass im Betrieb die über 6 Minuten gemittelte ERP die korrigierte ERP nicht überschreitet.

³ Es gelten folgende Korrekturfaktoren K_{AA} : [...]

⁴ [...]

Einen solchen Korrekturfaktor für adaptive Antennen sah das BAFU bereits im Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugshilfe zur NISV für Mobilfunk- und WLL-Basisstationen aus dem Jahr 2002 vor (S. 7 f. Ziff. 3.2 [nachstehend: BAFU, Nachtrag zur Vollzugsempfehlung NISV]).

3.

3.1 Der Immissionsschutz ist bundesrechtlich im Umweltschutzgesetz (USG; SR 814.01) und den gestützt darauf erlassenen Verordnungen geregelt. Gemäss Art. 11 Abs. 2 USG sind im Rahmen der Vorsorge Emissionen unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NIS), die beim Betrieb ortsfester Anlagen erzeugt wird, erliess der Bundesrat die NISV. Diese sieht zum Schutz vor den wissenschaftlich erhärteten thermischen Wirkungen Immissionsgrenzwerte vor, die von der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) übernommen wurden und überall eingehalten sein müssen, wo sich Menschen aufhalten können (Art. 13 Abs. 1 NISV; BGE 126 II 399 E. 3b). Zudem haben ortsfeste Mobilfunkanlagen für sich im massgebenden Betriebszustand an allen Orten mit empfindlicher Nutzung (sog. OMEN) den Anlagegrenzwert einzuhalten (vgl. Ziff. 64 und 65 Anhang 1 NISV). Als solche Orte gelten namentlich Räume in Gebäuden, in denen sich Personen regelmässig während längerer Zeit aufhalten (Art. 3 Abs. 3 lit. a NISV). Die Anlagegrenzwerte wurden vom Bundesrat zur Konkretisierung des Vorsorgeprinzips gemäss Art. 11 Abs. 2 USG ohne direkten Bezug zu nachgewiesenen Gesundheitsgefährdungen nach Massgabe der Kriterien der technischen und betrieblichen Möglichkeit sowie der wirtschaftlichen Tragbarkeit festgesetzt, um das Risiko schädlicher Wirkungen, die zum Teil erst vermutet werden und noch nicht absehbar sind, möglichst gering zu halten (BGE 126 II 399 E. 3b mit Hinweisen). Die Anlagegrenzwerte, welche die zulässigen Feldstärkewerte gegenüber den Immissionsgrenzwerten reduzieren, stellen in Bezug auf nachgewiesene Gesundheitsgefährdungen eine Sicherheitsmarge dar (BGE 128 II 378 E. 6.2.2; BGer 1C_527/2021 vom 13. Juli 2023 E. 4.1; 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.3.2 mit weiteren Hinweisen). Gemäss der Rechtsprechung darf daraus, dass bei der Festlegung der Anlagegrenzwerte auf wissenschaftliche Gewissheit verzichtet wird, nicht geschlossen werden, bei der konkreten Bestimmung dieser Grenzwerte könnten lediglich vorläufige wissenschaftliche oder erfahrungsbasierte Befunde den Massstab abgeben (BGer 1C_118/2010 vom 20. Oktober 2010 E. 4.2.3, in: URP 2010 S. 871 f.; 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.3.2 mit weiteren Hinweisen). Es ist in erster Linie Sache der zuständigen Fachbehörden, die internationale Forschung sowie die technische

Entwicklung betreffend die durch Mobilfunkanlagen erzeugte nichtionisierende Strahlung zu verfolgen und gegebenenfalls eine Anpassung der in der NISV geregelten Grenzwerte zu beantragen (BGer 1C_527/2021 vom 13. Juli 2023 E. 4.1; 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.3.3 mit Hinweisen). Das BAFU hat zur fachlichen Unterstützung im Jahr 2014 die Beratende Expertengruppe NIS (BERENIS) einberufen, welche die publizierten wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema NIS sichtet und diejenigen zur detaillierten Bewertung auswählt, die aus ihrer Sicht für den Schutz des Menschen von Bedeutung sind oder sein könnten. Die Evaluationen der BERENIS werden etwa viermal pro Jahr als Newsletter publiziert (BGer 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.4.1; vgl. auch BGer 1C_518/2018 vom 14. April 2020 E. 5.2; 1C_375/2020 vom 5. Mai 2021 E. 3.4.2).

3.2 Die Immissionsgrenzwerte gelten an allen Orten, wo sich Menschen normalerweise aufhalten können. Dies jedoch nicht permanent, sondern jeweils nur für kürzere Dauer (Art. 13 Abs. 1 NISV). Das gilt beispielsweise für Passanten auf Strassen oder bei einem Aufenthalt in Lagerräumen. Die Immissionsgrenzwerte basieren auf den Empfehlungen bzw. Richtlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO) sowie weiterer Fachgremien. Die Anlagegrenzwerte gehen erheblich über den Schutzzumfang der Immissionsgrenzwerte hinaus. Sie verlangen in Konkretisierung der Bestimmung von Art. 4 Abs. 1 NISV über die vorsorgliche Emissionsbegrenzung an OMEN, welche in Art. 3 Abs. 3 NISV definiert werden, durchschnittlich um den Faktor 10 tiefere elektrische Feldstärken. Als OMEN gelten nach dieser Bestimmung insbesondere Räume in Gebäuden, in denen sich Menschen regelmässig während längerer Zeit aufhalten (Wohn- und Schlafräume, permanente Arbeitsplätze etc.) oder raumplanungsrechtlich festgesetzte Kinderspielplätze. Die Anlagegrenzwerte bewegen sich frequenzabhängig im Bereich zwischen 4,0 und 6,0 V/m (vgl. zum Ganzen Baurekursgericht Kanton Zürich BRGE III Nr. 0038/2022 vom 16. März 2022 E. 3.2). Für die hier in Frage stehenden Sendeantennen 7, 8 und 9, welche im Frequenzband um 3600 MHz adaptiv betrieben werden sollen, gilt gemäss Ziffer 64 lit. c Anhang 1 NISV ein maximal zulässiger Anlagegrenzwert von 5,0 V/m.

4.

4.1 Die Beschwerdeführerin bringt vor, der hier bewilligte Korrekturfaktor führe zu einer unzulässigen Erhöhung der elektrischen Feldstärke an OMEN. Er sei daher rechtswidrig. Mit dem Nachtrag vom 23. Februar 2021 habe das BAFU mittels Vollzugshilfe eine Privilegierung adaptiver Antennen einführen wollen, indem ein Korrekturfaktor und eine über sechs Minuten gemittelte Sendeleistung zur Anwendung gelangen dürften. Konkret würde das bedeuten, dass bei einer adaptiven Sendeantenne mit 64 Sub-Arrays mit zeh-

facher Leistung gestrahlt werden dürfte und extreme, kurzzeitige Leistungsspitzen über einen Zeitraum von sechs Minuten gemittelt werden dürften. Das ergebe Spitzen vom x-Fachen des geltenden Anlagewerts, wenn auch nur zeitweise. Gemäss der neuen Vollzugshilfe des BAFU bzw. gestützt auf Anhang 1 Ziff. 63 Abs. 3 NISV bedeute dies bspw., dass bei 32 Sub-Arrays ein Korrekturfaktor von 0,13 beansprucht werden dürfe. Die adaptiven Antennen dürften damit 7,7 x so stark strahlen, als im Standortdatenblatt ausgewiesen. Eine derart massive Privilegierung lasse sich mit der spezifischen Sendecharakteristik adaptiver Antennen nicht rechtfertigen. Dem Anlagegrenzwert liege zu Grunde, dass der Wert (hier 5 V/m) zu jeder Zeit eingehalten werde und somit einen Maximalwert darstelle. Die Sicherheitsmarge zur Verhinderung von unerwünschten gesundheitlichen Beeinträchtigungen solle immer gelten, nicht nur zeitweise oder gemittelt über sechs Minuten. Die Vollzugshilfe (Nachtrag) vom 23. Februar 2021 höhle mit der Idee des Korrekturfaktors und der zeitlichen Mittelung den Gesundheitsschutz (weiter) aus und verletze das Vorsorgeprinzip zusätzlich. Gerade jetzt, wo gestützt auf den Stand der Wissenschaft der Anlagegrenzwert deutlich zu reduzieren wäre, stünde die Anwendung eines Korrekturfaktors und einer zeitlichen Mittelung diametral zu den Bestrebungen, dem Gesundheitsschutz in der NISV vermehrt Rechnung zu tragen. Die Privilegierung werde vom BAFU damit begründet, dass bei adaptiven Antennen die für eine Antenne verfügbare Sendeleistung aufgeteilt werde, wenn Signale in verschiedene Richtungen fokussiert würden und dass die Sendeleistungen ausserhalb dieser Richtungen während dieser Zeit zurückgingen. Diese Annahmen seien beide falsch. Denn sie missachteten, dass bei adaptiven Antennen, bspw. bei der Ericsson Antenne Air 6488, auch der am stärksten fokussierte Beam noch einen Streuwinkel zwischen 12° und 22° aufweise. Dies führe dazu, dass jede Strahlenkeule im Abstand von nur 100 m zur Antenne bereits rund 30 m breit sei. Im Abstand von 500 m sei sie bereits rund 150 m breit. Es würden deshalb auch im Falle von nur einem einzigen Nutzer je nach Ort Dutzende, Hunderte oder auch Tausende Personen mitbestrahlt. Es würden alle Personen mitbestrahlt, die sich zwischen dem Nutzer und der Antenne befänden, alle, die sich im Beam-Winkel neben dem Nutzer befänden, und alle, die sich in diesem Winkel befänden. Eine Reduktion der Strahlung sei bei realistischen Nutzungsszenarien im Siedlungsgebiet sehr unwahrscheinlich. Es stimme auch nicht, dass die maximal mögliche Sendeleistung nicht gleichzeitig in alle möglichen Richtungen, sondern zu einem bestimmten Zeitpunkt nur in eine Richtung abgestrahlt werden könne. Eine adaptive Antenne könne sehr wohl in mehrere Richtungen gleichzeitig mit maximaler Sendeleistung senden. Auch diese Begründung für die Privilegierung sei technisch falsch, solange die maximale bewilligte Sendeleistung nur einen Bruchteil der technisch möglichen Sendeleistung der Antenne betrage. Eine MIMO (Multiple Input, Multiple Output)-

Antenne sei genau dafür konzipiert, in mehrere Richtungen gleichzeitig zu senden. Das sei die Bedeutung der Bezeichnung "multiple Output". Massgeblich für die technischen Möglichkeiten der Antenne sei die thermische Belastungsgrenze, d.h. die Ausgangsleistung oder die einzelne Transmitterelement-Leistung, bei deren Überschreitung die Gefahr der Überhitzung der Antenne bestehe. Erst wenn diese Grenze erreicht werde, müsse die Antenne bei maximaler Sendeleistung in eine Richtung die Sendeleistung in andere Richtungen reduzieren. In Kapitel 6.3 zu den im Sommer 2020 durch das BAKOM durchgeführten Testmessungen finde sich die einzige Quelle für diese häufig wiederholte Aussage, die Sendeleistung werde aufgeteilt. Andere Quellen, die diese Aussage bestätigen würden, seien nicht ersichtlich. Das heisse, das BAKOM habe im Sommer 2020 festgestellt, dass in *einem* Test mit gerade mal zwei Antennen und jeweils zwei Mobiltelefonen die Sendeleistung aufgeteilt worden sei. Daraus werde nun geschlossen, das sei immer und bei allen Antennen der Fall, was bei genauer Betrachtung allerdings fragwürdig sei. Wenn sich der Regierungsrat in diesem Zusammenhang auf "Studien" und "Messungen" berufe, so handle es sich dabei um diesen einen Test mit lediglich zwei Antennen und zwei Telefonen. Das habe mit einer wissenschaftlichen Studie wenig bis nichts zu tun. In den Erläuterungen des BAFU zu adaptiven Antennen vom 23. Februar 2021 werde nämlich auf Seite 7 erklärt, dass die Aufteilung der Sendeleistung beim sogenannten "hybriden" Beamforming, also einer Kombination aus analogem und digitalem Beamforming, auftrete. Dieses hybride Beamforming werde – gemäss BAFU – durch die heute gebräuchlichen adaptiven Antennen oft eingesetzt. Demgegenüber gelte es festzuhalten, dass das *digitale* Beamforming keine solche Aufteilung bedinge. Gemäss BAFU-Erläuterungen (ebenfalls Seite 7) könnten mit "digitalem Beamforming gleichzeitig eine beliebige Anzahl Beams in beliebigen Ausrichtungen erzeugt werden, da jedem Antennenelement eine eigene Amplituden- und Phaseninformation zugeteilt werden kann" (a.a.O.). Dieses digitale Beamforming sei nicht abhängig vom Antennentyp, sondern von der eingesetzten Softwareversion. Es gebe also keinen guten Grund anzunehmen, dass die geplante Mobilfunkanlage dauerhaft nur "hybrides" Beamforming einsetzen werde. Softwareupdates führten auch offensichtlich zu keiner Baubewilligungspflicht.

Für die Einführung des Korrekturfaktors fehlten nachvollziehbare wissenschaftliche Erläuterungen. Es seien ausschliesslich technische Aspekte in Betracht gezogen worden. Im Endresultat hänge die Höhe des Korrekturfaktors, also die Höhe der erlaubten Grenzwertüberschreitung von der Anzahl Sub-Arrays einer Antenne ab. Das heisse mit anderen Worten, je fokussierter eine Antenne strahlen könne, desto stärker dürfe sie auch strahlen. Es fehlten jegliche, auch nur ansatzweise Überlegungen zu gesundheitlichen Auswirkungen.

gen. Die vom BAFU festgelegten Korrekturfaktoren lägen weit über den Korrekturfaktoren für realistische Nutzungsszenarios und seien somit willkürlich und unter Missachtung des Vorsorgeprinzips festgelegt worden. Das Schutzniveau müsse anhand der gesundheitlichen Auswirkungen auf die Bevölkerung gemessen werden und nicht rein theoretisch. Das BAFU verkenne insbesondere, dass – im Gegensatz zu den thermischen Effekten – bei den biologischen Effekten nicht die Durchschnittswerte, sondern die Spitzenwerte und die Signalform ausschlaggebend seien. Mehrere Berichte und Analysen zeigten Folgendes: Jede Erhöhung der möglichen Spitzenwerte führe per se zu einer Senkung des Schutzniveaus, auch wenn der bisherige Grenzwert im Durchschnitt eingehalten werde. Gepulste Funkstrahlung müsse durch schützende Grenzwerte reguliert werden, bei denen die chronische Exposition an Spitzenwerten, nicht an gemittelten Werten festgemacht werde. Die Variabilität eines Mobilfunksignals sei ein zentraler Parameter, der Emissionen bioaktiver, das heisst gefährlicher mache. Die vom BAFU im Zusammenhang mit dem Korrekturfaktor gegenüber dem Immissionsgrenzwert (IGW) geltend gemachte Sicherheitsmarge, so die Beschwerdeführerin weiter, sei ein Trugschluss, da die IGW nachweislich nicht vor biologischen Effekten schützten und es keinen Grund zur Annahme gebe, dass eine allfällige Schädlichkeitsgrenze bezüglich biologischer Effekte in irgendeiner Relation zu den IGW stehe. Die Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz (AefU) hätten bereits in Reaktion auf den Bericht Mobilfunk und Strahlung des Bundes jede indirekte Grenzerhöhung in Form temporärer Überschreitungen kategorisch abgelehnt. Einen Tag nach Veröffentlichung der Vollzugsempfehlung hätten die AefU diese vehement kritisiert, da der Erhalt des Schutzniveaus nicht sichergestellt sei. Mit den AefU sei davon auszugehen, dass die Einführung der Korrekturfaktoren auf nicht nachvollziehbaren Grundlagen beruhe, dass damit das Schutzniveau deutlich gesenkt werde und die Privilegierung adaptiver Antennen in keiner Weise gerechtfertigt sei.

4.2 Die Beschwerdegegnerin 1 führt zu den Vorbringen der Beschwerdeführerin in ihrer Vernehmlassung vom 8. Mai 2023 Folgendes aus: "Der Korrekturfaktor stellt sicher, dass die massgebende (korrigierte) Sendeleistung die realistisch auftretenden Maximalleistungen der adaptiven Antenne abbildet – nur seltene Leistungsspitzen können darüber hinausgehen. Zudem darf er nur angewendet werden, wenn die adaptive Antenne zusätzlich mit einer automatischen Leistungsbegrenzung versehen ist. Diese muss sicherstellen, dass im Betrieb die über sechs Minuten gemittelte abgestrahlte ERP die korrigierte abgestrahlte ERP nicht überschreitet. Damit ist gewährleistet, dass Leistungsspitzen oberhalb der korrigierten ERP tatsächlich nur während kurzer Zeit auftreten und statistisch von geringer Bedeutung bleiben." Damit fasst die Beschwerdegegnerin 1 im Wesentlichen die

Ausführungen des BAFU in seinen Erläuterungen vom 17. Dezember 2021 zur Änderung der NISV, S. 4 f., zusammen.

Die Beschwerdegegnerin 1 bringt weiter vor: "Das BAKOM hat von Herbst 2021 bis Frühling 2022 Messungen an drei Mobilfunkanlagen vorgenommen. Die entsprechenden Resultate zeigen auf, wie sich die erzeugten elektrischen Feldstärken von adaptiven Antennen, die mit Korrekturfaktor und automatischer Leistungsbegrenzung betrieben werden, im Vergleich zu konventionellen Antennen verhalten. Der Bericht des BAKOM vom 8. Dezember 2022 (BAKOM-Bericht, Elektrische Feldstärken im Wirkungsbereich adaptiver und konventioneller Mobilfunkantenne, Feldstärkemessungen mit der NIS-Messstation) ist unter folgendem Link abrufbar: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/telekommunikation/technologie/5g/elektrische-feldstaerken.html>. Die Grafiken im Bericht zeigen beispielhaft die von einer Messstation über mehrere Tage aufgezeichnete elektrische Feldstärke (in Volt pro Meter) von einer Mobilfunkanlage auf, die sowohl konventionelle als auch adaptive Antennen umfasst. Während die konventionellen Antennen einen ausgeprägten Tagesgang ausweisen, ist der Anteil der adaptiven Antennen grundsätzlich auf einem tiefen Niveau, abgesehen von kurzen Spitzen, wenn in der Nähe der Messstation Daten angefordert werden. Bei Anwendung des Korrekturfaktors mit der grössten Korrekturwirkung von 0,1 (für adaptive Antennen mit 64 und mehr Sub-Arrays) kann der Spitzenwert der Sendeleistung im Betrieb höchstens zehnmal höher sein als die im Standortdatenblatt deklarierte Sendeleistung. Das bedeutet gleichzeitig, dass die für einen OMEN berechnete Feldstärke, die von einer (einzelnen) adaptiven Antenne erzeugt wird, kurzfristig höchstens um das 3,16-Fache übertroffen werden kann. Bedenkt man, dass eine Mobilfunksendeanlage mit adaptiven Antennen in den meisten Fällen gleichzeitig auch mit konventionellen Antennen ausgerüstet ist – wie auch im vorliegenden Fall –, erhöht sich die Feldstärke der gesamten Anlage kurzfristig um einen kleineren Faktor. Die Intensität solcher kurzfristiger Leistungsspitzen liegt nach wie vor deutlich unter dem Wert, der dem Immissionsgrenzwert zugrunde liegt. Die Beurteilung von adaptiven Antennen gemäss Anhang 1 Ziffer 63 NISV stellt somit sicher, dass – ebenso wie bei konventionellen Antennen – die Langzeitbelastung der Bevölkerung im Sinne der Vorsorge tief gehalten und das bestehende Schutzniveau der NISV erhalten bleibt. Gemäss Ziffer 4.2 der Erläuterungen zur Änderung der NISV vom 17. Dezember 2021 ist die Anwendung des Korrekturfaktors so dann zwingend mit dem adaptiven Betrieb verknüpft. Es können zwar neu kurzzeitige Leistungsspitzen oberhalb der korrigierten Sendeleistung auftreten, die Strahlung wird aber dadurch begrenzt, dass die Sendeleistung für Signale, die in verschiedene Richtungen abgestrahlt werden, aufgeteilt wird. Durch die Ausrüstung der Antenne mit einer automati-

schen Leistungsbegrenzung wird, wie ausgeführt, zusätzlich sichergestellt, dass Leistungsspitzen oberhalb der korrigierten Sendeleistung tatsächlich nur während kurzer Zeit auftreten. Die Anwendung des Korrekturfaktors führt bei adaptiven Antennen somit insgesamt nicht zu einer Erhöhung der Strahlungsexposition in der Umgebung der Anlage. Auch wenn die Anwendung eines Korrekturfaktors bei adaptiven Antennen sehr kurzfristig dazu führen kann, dass sich eine Leistungsspitze geringfügig über der bewilligten Sendeleistung einstellt, gelten nach wie vor an allen OMEN die Anlagegrenzwerte. Sollten sich kurzfristige Leistungsspitzen über der bewilligten Sendeleistung einstellen, wird dies in einem laufenden 6-Minuten-Zeitfenster jederzeit dahingehend kompensiert, als dass für die ebensolche Zeitdauer und die entsprechende Feldstärkenüberhöhung die Sendeleistung der Anlage so heruntergeregelt wird, dass über 6 Minuten gemittelt jederzeit und überall die bewilligte Sendeleistung und damit auch der zulässige Anlagegrenzwert eingehalten werden. Dass ein Ort dauerhaft mit Feldstärken über dem Anlagegrenzwert exponiert wird, ist ausgeschlossen. Nicht unberücksichtigt darf ferner bleiben, dass eine adaptive Antenne nur dann mit dem Korrekturfaktor betrieben werden darf, wenn sie mit einer automatischen Leistungsbegrenzung versehen ist, welche sicherstellt, dass in einem laufenden Zeitfenster von 6 Minuten jederzeit die bewilligte Sendeleistung und in der Folge die Vorsorgewerte an den OMEN eingehalten bzw. jederzeit unterschritten werden (Anhang 1 Ziff. 63 Abs. 2 NISV). Die Anwendung des Korrekturfaktors führt somit insgesamt nicht zu einer Erhöhung der Strahlungsexposition in der Umgebung der Anlage (vgl. Erläuterungen zur Änderung der NISV vom 17. Dezember 2021, Ziff. 4.2). Generell gilt, dass je höher der Korrekturfaktor, desto kürzer die Zeitdauer innerhalb eines 6-Minuten-Zeitfensters, in welchem die um den Faktor korrigierte Sendeleistung auch genutzt werden darf. Das Verhältnis zwischen der korrigierten Leistung und dem erlaubten Anteil innerhalb des 6-Minuten-Zeitfensters ist umgekehrt proportional. Wird die Sendeleistung um den Faktor x korrigiert, ist diese korrigierte Leistung einzig während maximal $6/x$ Minuten zulässig. Anschliessend drosselt die automatische Leistungsbegrenzung die Sendeleistung zurück – und zwar bis auf 0. Würden bspw. Personen in den umliegenden Gebäuden derart viele Daten beziehen, dass die Antenne während einer Zeitdauer von 36 Sekunden die maximal bewilligte Sendeleistung um den Faktor 10 erhöhen dürfte, müssten sämtliche Personen im Versorgungsbereich der Antenne anschliessend während 5 Minuten und 24 Sekunden, d.h. dem Rest des laufenden 6-Minuten-Zeitfensters, auf sämtliche Datenübertragung verzichten. In der gesamten Funkzelle wäre kein Datenverkehr mehr möglich, da die Feldstärke der Antenne aufgrund der automatischen Leistungsbegrenzung für mehr als 5 Minuten 0 V/m beträgt. Es liegt auf der Hand, dass eine Mobilfunkbetreiberin kein Interesse an einem solchen Szenario haben kann, weil damit ein einzelner Nutzer die Nutzung aller anderen Nut-

zer massiv beeinträchtigen würde. Daher regelt die automatische Leistungsbegrenzung die Leistung bereits viel früher und vorausschauend, damit auch bei intensiver Nutzung über jedes 6-Minuten-Zeitfenster jederzeit Datenverkehr möglich ist. Die automatische Leistungsbegrenzung stellt somit jederzeit sicher, dass der 6-Minuten-Mittelwert unterhalb des geltenden Vorsorgewerts bzw. der bewilligten Sendeleistung liegt und zudem auch im Fall von adaptiv betriebenen Antennen, [bei denen] die jeweils durch die Anlage höchstexponierten OMEN im Standortdatenblatt so berücksichtigt werden müssen, dass an diesen Orten der Vorsorgewert eingehalten wird. Zu berücksichtigen ist ferner, dass die Immissionsgrenzwerte schon seit Erlass der NISV in den für den Mobilfunk massgebenden Frequenzen nicht jederzeit, sondern über sechs Minuten gemittelt eingehalten werden müssen (Anhang 2 Ziff. 11 Abs. 1 NISV). So ist es nur folgerichtig, dass nun auch die Anlagegrenzwerte neu einer über sechs Minuten ausgemittelten Berechnung zugeführt werden. Ferner ist unerheblich, ob und inwieweit die eingesetzten Antennen aus rein technischer Sicht und gemäss Herstellerangaben für höhere Sendeleistungen ausgelegt sind. Massgebend ist stets die deklarierte Sendeleistung und nicht die 'mögliche' Sendeleistung. Die Beschwerdegegnerin 1 hat selbstredend kein Interesse daran, bei der bestehenden Anlage neue Antennen anzubringen, welche sie nicht betreiben darf."

4.3 Die Prüfung der Vorbringen der Beschwerdegegnerin 1 ergibt, dass ihnen vollumfänglich zuzustimmen ist. Zu Recht weist die Beschwerdegegnerin 1 darauf hin, dass das BAKOM neben den vom Regierungsrat bereits erwähnten Messungen und Simulationen inzwischen weitere Messungen an drei Mobilfunkanlagen vorgenommen hat. Bereits die ersten Messungen und Simulationen im Sommer 2020 (siehe Bericht BAKOM vom 24. September 2020, Testkonzession und Messungen adaptive Antennen) hatten dabei insbesondere ergeben, dass bei adaptiven Antennen die gesamte Sendeleistung auf die aktuell vorhandenen Beams aufgeteilt wird, diese bei mehreren gleichzeitigen Beams also weniger Sendeleistung zur Verfügung haben, und die Exposition um die adaptiven Antennen geringer und ausgeglichener ist als um die herkömmlichen Sektorantennen. Die Messungen bestätigten zudem die Arbeitsweise der Power-Lock-Funktion (automatische Leistungsbegrenzung) auf eine mittlere Sendeleistung (Zusammenfassung, S. 1). In seinem Bericht "Elektrische Feldstärken im Wirkungsbereich adaptiver und konventioneller Mobilfunkantennen, Feldstärkemessungen mit der NIS-Messstation" vom 8. Dezember 2022 über seine Messkampagne von Herbst 2021 bis Frühling 2022 bei drei Mobilfunkanlagen von Swisscom, Sunrise und Salt führt das BAKOM nun aus, die Messungen hätten bei konventionellen Antennen bestätigt, dass sich während der Übertragung von Nutzdaten die Feldstärke im gesamten Wirkungsbereich der Antenne erhöhe, unabhängig davon, wo sich der Emp-

fänger befinde. Bei den adaptiven Antennen hingegen würden Funksignale nur beim Empfänger und in seiner unmittelbaren Umgebung festgestellt. Im übrigen Wirkungsbereich der adaptiven Antenne erhöhe sich die elektrische Feldstärke während der Datenübertragung nicht. Bei der Gesamtbetrachtung der drei Mobilfunkanlagen seien die gemessenen Funksignale der adaptiven Antennen im Mittel deutlich kleiner als diejenigen der konventionellen Antennen. Dies zeige sich durch tiefere Mittelwerte der Feldstärke bei den adaptiven Antennen im Vergleich mit konventionellen Antennen (Schlussfolgerungen, S. 45).

Damit wurde die Feststellung des Regierungsrats, dass eine adaptive Antenne nicht gleichzeitig mit maximaler Sendeleistung sendet bzw. dass bei adaptiven Antennen die für eine Antenne verfügbare Sendeleistung aufgeteilt wird, sofern Signale in verschiedene Richtungen fokussiert werden, und die Sendeleistungen in den anderen Richtungen während dieser Zeit zurückgehen, bestätigt. Nachvollziehbar und einleuchtend ist auch die Aussage der Beschwerdegegnerin 1, dass vor dem Hintergrund des 6-Minuten-Mittelwerts gemäss Ziff. 63 Abs. 2 Anhang 1 NISV die automatische Leistungsbegrenzung früh und vorausschauend die Leistung von adaptiv betriebenen Antennen regelt, damit auch bei intensiver Nutzung über jedes 6-Minuten-Zeitfenster jederzeit Datenverkehr möglich ist. Die automatische Leistungsbegrenzung stellt somit jederzeit sicher, dass der 6-Minuten-Mittelwert unterhalb des geltenden Vorsorgewerts bzw. der bewilligten Sendeleistung liegt.

Die Beschwerde erweist sich diesbezüglich als unbegründet. Insbesondere wurde die Behauptung der Beschwerdeführerin, die maximal mögliche Sendeleistung könne bei adaptiven Antennen sehr wohl gleichzeitig in alle möglichen Richtungen und zu einem bestimmten Zeitpunkt nicht nur in eine Richtung abgestrahlt werden, widerlegt. Entgegen der Ansicht der Beschwerdeführerin muss zudem bei adaptiv betriebenen Antennen der Anlagegrenzwert nicht zu jeder Zeit eingehalten werden. Unter Einhaltung des 6-Minuten-Mittelwerts ist eine kurzzeitige Überschreitung zulässig (wobei auch die Intensität solcher kurzfristiger Leistungsspitzen nach wie vor deutlich unter dem Wert liegt, der dem Immissionsgrenzwert zugrunde liegt).

5.

5.1 Die Beschwerdeführerin führt weiter aus, das BAFU [Erläuterungen zu adaptiven Antennen] rechtfertige die Einführung des Korrekturfaktors und damit die Überschreitung der Grenzwerte durch deren Einhaltung im 6-Minuten-Mittel. Dabei verkenne das BAFU einmal mehr die Relevanz der Reflexionen, die adaptive Antennen gezielt nutzen. Die Mitteilung, so wie sie vorgesehen sei, beziehe sich auf jedes Antennen-Panel einzeln. Da sich

die Senderichtungen horizontal überschneiden, könne es sein, dass z.B. ein OMEN abwechselungsweise direkt vom 1. Panel, dann indirekt über Reflexionen vom 2. Panel und wieder direkt vom 1. Panel bestrahlt werde. Jedes Panel könne dabei während einer bestimmten Zeit die maximale Leistung inklusive Korrekturfaktor verwenden. Dies habe zur Folge, dass an einem OMEN der Grenzwert auch im 6-Minuten-Mittel überschritten werden könne, besonders dann, wenn die Feldstärke am OMEN bereits nach Standortdatenblatt fast den Grenzwert erreiche. Die drei vorliegend geplanten adaptiven Antennen deckten je einen Sektor von mehr als 120° ab (siehe Antennendiagramm). Ihre Sendebereiche überschneiden sich folglich an den Rändern. Angenommen, ein Nutzer zwischen diesen beiden Senderichtungen verlange nach Daten, dann sende zuerst das Panel A Daten in Richtung des Nutzers. Habe es die Leistung voll ausgeschöpft und würde es auch im Mittel über 6 Minuten den Anlagegrenzwert überschreiten, übernehme das Panel der Senderichtung B. Damit werde der OMEN zwischen den Senderichtungen während längerer Zeit mit grösserer Leistung als bewilligt bestrahlt. Problematisch sei hierbei, dass der OMEN doppelt so lange mit Feldstärken oberhalb der Anlagegrenzwerte bestrahlt werde, als eigentlich bei Anwendung des Korrekturfaktors vorgesehen wäre. Noch vielmehr treffe dies auf OMEN zu, die durch das Panel A direkt und durch das Panel B indirekt via Reflexion bestrahlt würden. Speziell im vorliegenden Fall habe das nicht zu unterschätzende Auswirkungen. Mit den Reflexionen an den Fassaden der Gebäude vis-à-vis über die Lauriedstrasse könnten unbeteiligte Passanten in sehr viel kürzeren Distanzen als ein Enduser befeldert werden. Wie der Regierungsrat im strittigen Entscheid zum Ergebnis habe kommen können, es sei nicht davon auszugehen, dass sich die Möglichkeit von Reflexionen dahingehend auswirken könnte, dass an einem bestimmten Ort höhere Feldstärken als die aufgrund der direkten Sichtverbindung modellierten resultieren würden, sei nicht nachvollziehbar. Dazu komme, dass an solchen Orten bei Anwendung der bisherigen Prognosemethoden oft keine Abnahmemessung durchgeführt werde, weil die Strahlenbelastung durch die Direktbestrahlung voraussichtlich bei vielleicht 4 V/m liege und damit der OMEN nicht zu den drei am stärksten belasteten OMEN zähle [gemäss Art. 11 Abs. 2 lit. c Ziff. 2 NISV müssen die drei höchstbelasteten OMEN identifiziert und deren NIS-Belastung im Standortdatenblatt angegeben werden]. Es könne aber sein, dass der OMEN bei "worst case"-Betrieb ohne Korrekturfaktor aufgrund einer Totalreflexion mit $5,6 \text{ V/m}$ belastet sei (quadratische Summe von $2 \times 4 \text{ V/m}$). Bei Anwendung des Korrekturfaktors werde dieser OMEN zuerst durch das Panel A direkt bestrahlt und anschliessend durch das Panel B oder sogar im ständigen Wechsel. Dabei werde der Korrekturfaktor vollständig ausgeschöpft. Im schlimmsten Fall und bei vollständiger Reflexion könne die Strahlung von beiden Seiten her $12,8 \text{ V/m}$ betragen (Faktor auf die elektrische Feldstärke bei Korrekturfak-

tor 10: 3,2). Damit sei dann im Mittel der Anlagegrenzwert stark überschritten, obwohl der OMEN im ersten Augenblick gar nicht als für Grenzwertüberschreitungen gefährdet angesehen würde. Angenommen, in der Nähe dieses OMENs würde eine zweite Mobilfunkanlage platziert: Es käme ebenfalls zu Reflexionen, was in bestimmten Quartieren und insbesondere zwischen Gewerbe- und Industriegebäuden gar nicht so selten sei. In einem solchen Fall steige die elektrische Feldstärke weiter an. Bei doppelter Belastung von 4 V/m von beiden Antennen, doppelten Reflexionen und Anwendung des Korrekturfaktors käme es im schlimmsten Moment zu $4 \times 12,8 \text{ V/m} = 25,6 \text{ V/m}$, und im Mittel wäre der Anlagewert ebenfalls deutlich überschritten. Im Vergleich zum Betrieb einer Anlage ohne Anwendung des Korrekturfaktors steige die maximale mittlere Belastung bei Anwendung des Korrekturfaktors an einem doppelt bestrahlten OMEN somit deutlich an. Die Anwendung des Korrekturfaktors habe damit einen Einfluss auf OMEN, insbesondere auf solche, die sich zwischen zwei Senderichtungen oder im Einfluss reflektierter Strahlung befänden.

5.2 In seinem Verfahren 1C_100/2021 hatte das Bundesgericht das BAFU u.a. eingeladen, eine Vernehmlassung zu Fragen betreffend Reflexionen bei adaptiven Antennen einzureichen. In seiner Antwort vom 21. Oktober 2022 hielt das BAFU insbesondere Folgendes fest: Reflexion bezeichne in der Physik das Zurückwerfen von (elektromagnetischen) Wellen resp. (elektromagnetischer) Strahlung an einer Oberfläche. In der Regel werde bei der Reflexion nur ein Teil der Energie der einfallenden Strahlung reflektiert (sog. partielle oder teilweise Reflexion). Wie viel reflektiert und wie viel Strahlung von einem Material absorbiert werde oder dieses durchdringe, hänge vom Material ab, auf das die Strahlung auftreffe, sowie vom Auftreffwinkel. Ein Spezialfall der Reflexion sei die Totalreflexion, bei der die Strahlung beim Einfall auf ein Medium vollständig an der Oberfläche reflektiert werde (bei elektromagnetischer Strahlung sei dies zum Beispiel bei Metalloberflächen der Fall). Die Strahlung werde mit demselben Winkel von der Oberfläche wegreflektiert, mit dem sie auf die Oberfläche auftreffe (Einfallswinkel = Ausfallwinkel).

Die Strahlung von adaptiven und konventionellen Antennen werde genau gleich an Oberflächen reflektiert; vorausgesetzt, sie treffe aus derselben Richtung auf die Oberfläche auf und habe auch sonst dieselben Eigenschaften (Frequenz, Polarisierung). Eine konventionelle Antenne strahle dauerhaft – ihrem Antennendiagramm entsprechend – in die Umgebung. Demzufolge seien auch Reflexionen dauerhaft vorhanden. Eine adaptive Antenne hingegen erzeuge nur dann eine Reflexion an dieser Oberfläche, wenn einer ihrer Beams auf diese auftreffe. Sowohl bei konventionellen als auch bei adaptiven Antennen könne es sein, dass das beste Signal via eine Reflexion zu einem Endgerät (oder einem OMEN) ge-

langen und nicht auf gerader Linie direkt von der Antenne. Letzteres wäre ohnehin nur bei Sichtkontakt zur Antenne der Fall. Der einzige diesbezügliche Unterschied zwischen konventionellen und adaptiven Antennen sei der, dass eine adaptive Antenne ihr Abstrahlungsmuster auf die beste Signalübertragung – auch unter Ausnutzung von Reflexionen – ausrichten könne. Solche Reflexionen liessen sich aber nicht voraussehen und berechnen. Es seien höchstens statistische Aussagen aus wissenschaftlichen Modellen möglich, worauf letztlich der Korrekturfaktor für adaptive Antennen basiere (BGer 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 7.2.1)

Die Frage, ob den Reflexionen bei adaptiven Antennen im Rahmen der rechnerischen Prognose Rechnung getragen werde, verneinte das BAFU. Das bei der Berechnung verwendete einfache Freiraumausbreitungsmodell berücksichtige Reflexionen an Strukturoberflächen in der Umgebung einer Antenne nicht. Solche Strukturen seien sehr vielfältig. Um beurteilen zu können, welcher Anteil der elektromagnetischen Strahlung einer Antenne von einer Oberfläche reflektiert und welcher von der Oberfläche absorbiert werde, müssten deren dielektrischen (= elektrisch schwach oder nicht leitend) Eigenschaften bekannt sein. Zudem seien viele Oberflächen auch zeitlich variabel, die Vegetation ändere sich über die Jahreszeiten und die Reflexionseigenschaften von Strassen, Dächern und der Landschaft etc. seien auch witterungsabhängig. Fein strukturierte Oberflächen streuten die Strahlung gar in verschiedene Richtungen. All diese Einflüsse könnten nicht mit verhältnismässigem Aufwand für jede projektierte Anlage realistisch erfasst werden. Das Freiraumausbreitungsmodell berücksichtige – abgesehen von Gebäudedämpfungen – nur, in welcher Charakteristik eine Antenne die Signale abstrahle, also in welche Richtung wieviel Strahlung abgegeben werde. Was mit der Strahlung nach der Emission durch die Antenne geschehe, wenn sie mit Oberflächen in der Umgebung in Wechselwirkung trete, werde – abgesehen von der Dämpfung durch Gebäude – nicht berücksichtigt.

Das BAFU sei sich bewusst, dass die Aussagekraft des bei der Berechnung verwendeten einfachen Freiraumausbreitungsmodells limitiert sei. Aus diesem Grund würden Abnahmemessungen empfohlen, wenn bei der Berechnung der Anlagegrenzwert über eine bestimmte Schwelle (80 %) ausgeschöpft werde. Die entsprechende Empfehlung sei nun seit gut 20 Jahren in Kraft, und die Praxiserfahrung zeige, dass sie durchaus tauglich sei. Eine systematische Auswertung der Abweichungen zwischen berechneten elektrischen Feldstärken an OMEN und Beurteilungswerten von Abnahmemessungen liege bisher nicht vor.

Es erachte das Freiraumausbreitungsmodell als geeignet, die Belastung in der Umgebung einer Mobilfunkanlage mit verhältnismässigem Aufwand zu berechnen, und die Schwelle von 80 % für die Durchführung von Abnahmemessungen als angemessen (E. 7.2.2).

5.3 Dem Fehlen der Berücksichtigung der Reflexionen im Freiraumausbreitungsmodell bzw. dessen Schwächen wird somit durch die Abnahmemessungen Rechnung getragen. Dadurch wird sichergestellt, dass trotz der genannten Schwächen die Anlagegrenzwerte eingehalten werden. Demgemäss erweist sich die Immissionsprognose zusammen mit den Abnahmemessungen als genügend. Die Beschwerdeführerin verkennt mit ihren Ausführungen den Umstand, dass bei weniger guten Funkverbindungen eine adaptive Antenne den gleichen Datenstrom auf verschiedenen Wegen, z.B. über Reflexionen an umliegenden Strukturen wie Hausfassaden oder Geländeerhebungen, zum Mobilgerät schicken und die Strahlung in Richtung anderer Nutzerinnen und Nutzer reduzieren kann (BAFU, Erläuterungen zu adaptiven Antennen, S. 7 Ziff. 4.3). Somit wird bei einer direkten Sichtverbindung das Signal einer adaptiven Antenne immer den kürzesten – und damit effizientesten – Weg zurücklegen. Jede andere Variante wäre mit einem höheren Energieaufwand verbunden und damit ineffizient. Das – insbesondere im Gegensatz zu konventionellen Antennen – effiziente Nutzen von Reflexionen von adaptiven Antennen hat namentlich zur Folge, dass, insbesondere auch bei einem Vorliegen von Hindernissen, die mildeste, d.h. die strahlenärmste Variante gewählt wird. Im Falle von (Mehrweg-)Verbindungen über Reflexionen fallen zudem sämtliche denkbaren Ausbreitungswege länger aus als der zur Berechnung der elektrischen Feldstärken herangezogene direkte Abstand zwischen Mobilfunkanlage und OMEN bzw. OKA (Orte für den kurzfristigen Aufenthalt; Art. 13 Abs. 1 NISV), wobei eine Verlängerung des Wegs zu einer zusätzlichen Dämpfung des Signals führt. Die gleiche Meinung vertritt das Verwaltungsgericht des Kantons Zürich in seinem Urteil VB.2022.00481 vom 31. August 2023 E. 6.2.3, in welchem es zusätzlich darauf hinweist, dass Reflexionen in der Regel nur einen Teil der Strahlung betreffen und bei einer Immission, welche über Reflexionen erfolgt, der Weg länger und damit auch die Abschwächung aufgrund der Distanz höher ist als bei einer direkten Verbindung, wie dies im Freiraumausbreitungsmodell der Fall ist. Sofern die Antenne über mehrere Ausbreitungswege sendet, so das Verwaltungsgericht des Kantons Zürich, muss sie die maximale Sendeleistung auf verschiedene Ausbreitungswege aufteilen.

Die Rüge der Beschwerdeführerin betreffend Reflexionen erweist sich somit als unbegründet.

5.4

5.4.1 In ihrer Replik vom 7. Juni 2023 stellt die Beschwerdeführerin den Antrag, K._____, Dipl. HTL, Elektroingenieur, sei als Experte für Fragen in Zusammenhang mit Reflexionen und Abschirmungen zu befragen. Eventualiter sei er zu einer schriftlichen Stellungnahme aufzufordern. Die Beschwerdeführerin begründet diesen Verfahrens Antrag damit, sie sei sich bewusst, dass die Materie für das Verwaltungsgericht komplex sei. Auch das Bundesgericht habe im Fall Steffisburg (1C_100/2021) fachliche Unterstützung anfordern müssen. K._____ sei Experte für Computer-Hardware-Entwicklung mit Erfahrung von Reflexionen und Abschirmung. Er könne dem Gericht die offenen Fragen beantworten und zur Ermittlung des Sachverhalts beitragen.

5.4.2 Das Gericht hat jedoch bezüglich Reflexionen und Abschirmung keine offenen Fragen, und der Sachverhalt stellt sich dem Spruchkörper ausreichend klar dar. Die in diesem Urteil aufgeführten Dokumente des BAKOM und des BAFU, darunter insbesondere die in BGer 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 7.2.1 f. dargelegten Ausführungen des BAFU betreffend Reflexionen bei adaptiven Antennen, sind auch für Nicht-Fachleute durchaus verständlich und nachvollziehbar. Auf die Befragung des von der Beschwerdeführerin angebotenen Experten kann daher in antizipierter Beweiswürdigung (BGE 136 I 229 E. 5.3; 122 V 157 E. 1d) verzichtet werden.

6.

6.1 Nach Art. 12 Abs. 1 NISV überwacht die zuständige Behörde die Einhaltung der Emissionsbegrenzungen. 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 (BAFU) empfiehlt geeignete Mess- und Berechnungsmethoden (Art. 12 Abs. 2 NISV). Die Anwohner von Mobilfunkanlagen haben ein schutzwürdiges Interesse, dass die Einhaltung der Grenzwerte der NISV durch objektive und überprüfbare bauliche Vorkehrungen gewährleistet wird. Als alternative Kontrollmöglichkeit können die Mobilfunkanbieter ein Qualitätssicherungssystem implementieren (vgl. BGer 1C_97/2018 vom 3. September 2019 E. 6.2).

6.2 Betreffend Qualitätssicherung bei Mobilfunkanlagen kann BGer 1C_527/2021 vom 13. Juli 2023 E. 7.1 Folgendes entnommen werden: Gemäss der Rechtsprechung muss die Einhaltung der äquivalenten Strahlungsleistung im Sinne von Art. 3 Abs. 9 NISV von der Baubewilligungsbehörde überprüft werden (BGE 128 II 378 E. 4). Bezüglich des maximalen Antennengewinns wird auf die Angaben des Herstellers der Antenne zum ent-

sprechenden Antennentyp abgestellt (vgl. BGE 128 II 378 E. 4.2; BGer 1A.160/2004 vom 10. März 2005 E. 3.3). Bereits bei nicht adaptiven Mobilfunkantennen konnte die ihnen zugeführte Leistung vom Netzbetreiber mittels Fernsteuerung reguliert werden (BGE 128 II 378 E. 4.2; BGer 1A.160/2004 vom 10. März 2005 E. 3.3; vgl. auch BAKOM, Expertise, Kontrolle der abgestrahlten Leistung [ERP] von Mobilfunk-Basisstationen, 30. September 2005, S. 5). Namentlich zur Kontrolle der ferngesteuert eingestellten Sendeleistung einer Mobilfunkanlage veröffentlichte das BAFU das Rundschreiben "Qualitätssicherung zur Einhaltung der Grenzwerte der NISV bei Basisstationen für Mobilfunk und drahtlose Teilnehmeranschlüsse" vom 16. Januar 2006 (nachstehend: BAFU, Rundschreiben QS-System). Dieses Rundschreiben verlangt, dass jede Netzbetreiberin eine oder mehrere Qualitätssicherungs- bzw. QS-Datenbanken schafft, in denen für jede Sendeanlage sämtliche Hardware-Komponenten und Geräteeinstellungen, welche die äquivalente Sendeleistung (ERP) oder die Senderichtungen beeinflussen, erfasst und laufend aktualisiert werden. Diese Datensammlung soll namentlich Angaben bezüglich der ferngesteuerten Einstellung der Verstärker Ausgangsleistung enthalten. Zudem hat das QS-System über eine automatisierte Überprüfungsroutine zu verfügen, die einmal pro Arbeitstag die effektiv eingestellten Sendeleistungen und Senderichtungen sämtlicher Antennen des betreffenden Netzes mit den bewilligten Werten bzw. Winkelbereichen vergleicht. Stellt das QS-System Überschreitungen fest, ist automatisch ein Fehlerprotokoll zu erzeugen. Die Fehlerprotokolle sind der Vollzugsbehörde alle zwei Monate unaufgefordert zuzustellen und mindestens 12 Monate aufzubewahren. Für die ferngesteuerte und manuelle Veränderung von Einstellungen sowie den Ersatz von für die nichtionisierende Strahlung relevanten Hardware-Komponenten sind Prozesse zu definieren, die sicherstellen, dass die geänderten Einstellungen/Spezifikationen erfasst und unverzüglich in die QS-Datenbank übernommen werden (BAFU, Rundschreiben QS-System, S. 2 f. Ziff. 3). Der Stand der Implementierung und das ordnungsgemässe Funktionieren des QS-Systems sollen periodisch, erstmals Ende 2006, kontrolliert werden (BAFU, Rundschreiben QS-System, S. 4 Ziff. 6).

Gemäss dem Nachtrag des BAFU vom 23. Februar 2021 zur Vollzugsempfehlung zur NISV (S. 13 Ziff. 5) sind die QS-Systeme für adaptive Antennen mit folgenden zusätzlichen Parametern zu ergänzen:

- " • Status, ob die Antenne adaptiv betrieben wird
- Korrekturfaktor K_{AA}

- Angabe des Betriebsmodus (eingestelltes Antennendiagramm, resp. 'Coverage Szenario'); stimmt der Betriebsmodus mit dem umhüllenden Diagramm überein? (Wird die Antenne also derart betrieben, dass alle möglichen Antennendiagramme innerhalb des umhüllenden Antennendiagramms liegen?)
- Kontrolle, ob die automatische Leistungsbegrenzung aktiviert ist
- Zeitintervall, über welches die Sendeleistung bei der automatischen Leistungsbegrenzung gemittelt wird (6 Minuten)
- Angabe des Duty Cycle, wenn die Antenne mit TDD betrieben wird."

6.3 Gemäss der Beschwerdeführerin überzeugen die Ausführungen des Regierungsrats, wonach die vorliegend streitbetroffenen adaptiven Antennen vom QS-System der Bauherrin und der Datenbank des BAKOM korrekt erfasst werden könnten, nicht. Es gebe nach wie vor kein taugliches QS-System, das in der Lage sei, alle Senderichtungen der vorgesehenen Antennen zu kontrollieren. Die vom BAFU empfohlenen Vollzugsmethoden berücksichtigten die Komplexität insbesondere der adaptiven Antennen mit Korrekturfaktor nicht annähernd ausreichend. Das aktuelle QS-System der Beschwerdegegnerin 1 könne die Einhaltung der Grenzwerte nicht gewährleisten. Es sei lediglich ein System der Selbstkontrolle. Die Vollzugsbehörden könnten nicht unabhängig überprüfen, ob die Einträge in die QS-Datenbank der Realität entsprechen oder nicht. Namentlich die Sendeleistung werde nicht überwacht. Bei adaptiven Antennen und ihrer Softwaresteuerung sei eine Manipulation der Software zur Erkennung von Prüfsituationen ohne weiteres möglich und denkbar. Es bestehe keine elektronische Verbindung zwischen den QS-Systemen und den produktiven Systemen, welche eine Echtzeitübernahme der Daten sicherstelle. Dadurch erfolgten auch keine Echtzeit-Überwachung und keine Alarmierung bei Abweichungen. Wie die Daten vom operativen Netzwerksystem im Detail ins QS-System gelangten, sei nicht klar. Das bestehende QS-System überwache keine tatsächlich abgestrahlte Sendeleistung und andere relevante Systemparameter. Im Vollzug werde nicht überprüft, ob die Antennendiagramme im Betrieb den bewilligten Antennendiagrammen entsprechen. Eine Änderung der Konfiguration durch die Mobilfunkbetreiberin sei also unbemerkt möglich und könne Grenzwertüberschreitungen zur Folge haben, die durch das QS-System nicht erkannt werden könnten. Es fänden kein Vollzug und keine Qualitätssicherung statt bzw. diese würden einzig in die Hände der Betreiber gelegt, welche aus offensichtlichen Gründen kein Interesse daran hätten, dass die Vollzugsbehörden Zugriff auf das QS-System erhielten und Abweichungen von den bewilligten Werten feststellten.

6.4 In seinem Urteil 1C_527/2021 vom 13. Juli 2023 E. 7.5 sowie E. 7.7 – 7.9 wies das Bundesgericht darauf hin, dass es sich mit der Argumentation, wie sie hiervor in E. 6.3

dargelegt wurde, bereits im Urteil 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 befasst habe. Es habe dazu sinngemäss ausgeführt, zwar werde die maximale Sendeleistung für jede Antenne von der Steuerzentrale der Mobilfunkbetreiberinnen aus ferngesteuert eingestellt. Diese Einstellungen würden jedoch nur alle paar Monate oder noch seltener verändert, weshalb nicht anzunehmen sei, die Steuerzentralen würden höhere Sendeleistungen nur während einigen Stunden oder Minuten gewähren. Bei adaptiven Antennen, die mit einem umhüllenden Antennendiagramm bewilligt worden seien, decke dieses sämtliche Ausprägungen der möglichen einzelnen Antennendiagramme bzw. Beams ab (zitiertes Urteil 1C_100/2021 E. 9.5.1 – 9.5.3).

Damit sei berücksichtigt worden, dass bei adaptiven Antennen nicht nur die maximale Sendeleistung, sondern auch die möglichen Antennendiagramme softwaremässig mitbestimmt würden. So habe das QS-System Prozesse zu definieren, die sicherstellten, dass Änderungen der softwaremässigen Einstellungen, namentlich bezüglich der ferngesteuerten Beschränkung der Sendeleistung einer Antenne, erfasst und unverzüglich in die QS-Datenbank übertragen würden. Damit könnten Abweichungen vom bewilligten Zustand auch dann festgestellt werden, wenn mit dem BAFU angenommen werde, die möglichen Antennendiagramme adaptiver Antennen könnten durch neue Software bzw. Software-Updates so erweitert werden, dass sie vom vormaligen umhüllenden Antennendiagramm nicht mehr erfasst würden (BAFU, Nachtrag zur Vollzugsempfehlung NISV, S. 11 Ziff. 3.3.5 und S. 13 Ziff. 4). Demnach sei grundsätzlich vom Funktionieren der QS-Systeme auszugehen.

Jedoch sei zu beachten, dass – wie das BAFU in seiner Stellungnahme [an das Bundesgericht] einräume – die Kontrolle durch die QS-Systeme durch unrichtige Angaben der Mobilfunkbetreiberinnen verfälscht werden könne. So sei bei Stichproben im Kanton Schwyz festgestellt worden, dass bei mehreren Antennen ihre Höhe oder Ausrichtung nicht zutreffend in die QS-Datenbank übertragen worden seien (BGer 1C_97/2018 vom 3. September 2019 E. 8.1). Da insoweit Klärungsbedarf bestanden habe, habe das Bundesgericht das BAFU im Jahr 2019 aufgefordert, erneut eine schweizweite Kontrolle des ordnungsgemässen Funktionierens der QS-Systeme durchführen zu lassen oder zu koordinieren, bei der neu auch der Datenfluss bzw. die Datenübertragung von der realen Anlage in die QS-Datenbank vor Ort überprüft werde (BGer 1C_97/2018 vom 3. September 2019 E. 8.3).

Das BAFU habe in seiner Vernehmlassung ausgeführt, es habe gemäss der Aufforderung des Bundesgerichts die Arbeiten für eine erneute schweizweite Kontrolle der QS-Systeme aufgenommen und dazu in einem ersten Schritt im zweiten Halbjahr 2020 mittels einer schriftlichen Umfrage den Stand der Überprüfung der QS-Systeme durch die Kantone und deren Erfahrungen zusammengetragen. Die Rückmeldungen hätten gezeigt, dass gewisse Kantone bereits Vor-Ort-Kontrollen durchgeführt hätten. Eine Begleitgruppe für die Überprüfung der QS-Systeme befinde sich im Austausch mit Messfirmen, die solche Kontrollen durchgeführt hätten, um die wichtigsten Anforderungen an solche Kontrollen zu erheben und Messtoleranzen festzulegen. Zudem sollte die anstehende schweizweite Kontrolle der QS-Systeme die Parameter mitberücksichtigen, die für adaptive Antennen gemäss dem Nachtrag vom 23. Februar 2021 zur Vollzugshilfe zur NISV neu zu integrieren seien. Gemäss diesen Ausführungen sei das BAFU nach der bundesgerichtlichen Aufforderung zur Durchführung einer erneuten periodischen Überprüfung des Funktionierens der QS-Systeme nicht untätig gewesen, sondern habe mit der Vorbereitung ihrer Durchführung begonnen. Demnach könne daraus, dass das BAFU diese Überprüfung nach über drei Jahren noch nicht durchgeführt habe, nicht geschlossen werden, es sei dazu nicht in der Lage. Indessen sei zu berücksichtigen, dass bezüglich der korrekten Übertragung der hardwaremässig eingestellten Höhen und Ausrichtungen der Antennen in die QS-Datenbanken nicht nur im Kanton Schwyz, sondern auch in anderen Kantonen Mängel festgestellt worden seien. So hätten die Kantone gemäss einem vom BAFU auf seiner Webseite veröffentlichten Informationsschreiben in den Jahren 2012 – 2021 jährlich insgesamt minimal 24 und maximal 40 Vor-Ort-Kontrollen durchgeführt, bei denen in den Jahren 2012, 2014–2016, 2019 und 2020 bei über 20 % der kontrollierten Anlagen mindestens ein Mangel, insbesondere bezüglich der bewilligten Höhe und Ausrichtung der Antennen, festgestellt worden sei (BAFU, Qualitätssicherungssysteme für Mobilfunkanlagen: Zwischenstand Überprüfung und Vor-Ort-Kontrollen, 14. Oktober 2022, S. 3 f. Ziff. 3). Namentlich zur Klärung des Umfangs solcher Abweichungen vom bewilligten Zustand und ihrer Bedeutung für die Einhaltung der Grenzwerte der NISV sei die vom Bundesgericht bereits im Jahr 2019 verlangte gesamtschweizerische Überprüfung der QS-Systeme nun rasch durchzuführen. Ohne eine solche Überprüfung müsste die Tauglichkeit der QS-Systeme hinsichtlich der Erfassung von NIS-relevanten Hardware-Einstellungen grundsätzlich in Frage gestellt und daher geprüft werden, ob diese Einstellungen durch bauliche Begrenzungen, wie Plombierungen, zu sichern seien. Dafür spreche, dass in der Schweiz über 19'000 Mobilfunkbasisstationen errichtet worden seien, deren Einstellungen die Behörden nicht dauernd überwachen könnten (vgl. BGer 1C_97/2018 vom 3. September 2019 E. 8.3; 1C_282/2008 vom 7. April 2009 E. 3.3 und 3.4; 1A.264/2000 vom 24.

September 2002 E. 8.3, nicht publ. in BGE 128 II 378; 1A.160/2004 vom 10. März 2005 E. 3.3; VGer LU V 04 374_1 vom 18. August 2005 E. 9).

6.5 Auch wenn das Bundesgericht in seinem Urteil 1C_527/2021 vom 13. Juli 2023 erwogen hat, dass die von ihm bereits im Jahr verlangte gesamtschweizerische Überprüfung der QS-Systeme nun rasch durchzuführen sei – und dies nach dem Wissensstand des Verwaltungsgerichts noch nicht erfolgt ist –, weil sonst die Tauglichkeit der QS-Systeme hinsichtlich der Erfassung von NIS-relevanten Hardware-Einstellungen grundsätzlich in Frage gestellt werden müsste, ist im heutigen Zeitpunkt, in welchem dieses Urteil nicht weit zurück liegt, in Übereinstimmung mit dem Bundesgericht weiterhin grundsätzlich vom Funktionieren der QS-Systeme für adaptive Antennen auszugehen, wie dies auch der Regierungsrat festgestellt hat. Das Bundesgericht hat zudem seine diesbezügliche Rechtsprechung in den Urteilen 1C_45/2022 vom 9. Oktober 2023 E. 5 und 1C_251/2022 vom 13. Oktober 2023 E. 4 bestätigt. Die Rüge der Beschwerdeführerin erweist sich als unbegründet, weshalb diesbezüglich die Beschwerde abzuweisen ist. Folglich ist auch dem Verfahrensantrag der Beschwerdeführerin, wonach die Beschwerdegegnerin 1 zu verpflichten sei, Belege für ein funktionierendes Qualitätssicherungssystem, insbesondere in Bezug auf adaptive Antennen, einzureichen, nicht stattzugeben. Dies gilt auch insoweit, als die Beschwerdeführerin um Einholen eines Amtsberichts oder eines Gutachtens ersucht zu den Fragen, ob bei adaptiven Antennen bereits Abnahmemessungen durchgeführt werden können und ob bereits erfolgte Abnahmemessungen von in Betrieb genommenen Anlagen den im Standortdatenblatt prognostizierten Werten entsprechen. Letzteres umso mehr, als der Regierungsrat in Entsprechung eines gleichlautenden Verfahrensantrags in der Verwaltungsbeschwerde beim Amt für Umwelt des Kantons Zug (AFU) einen Amtsbericht zu den Fragen, ob bei adaptiven Antennen bereits Abnahmemessungen durchgeführt werden können und ob bereits erfolgte Abnahmemessungen von in Betrieb genommenen Anlagen den im Standortdatenblatt prognostizierten Werten entsprechen, eingeholt hat (Amtsbericht AFU vom 25. März 2022). Das AFU hielt dabei explizit fest, dass mit der Publikation des technischen Berichts des Eidgenössischen Instituts für Metrologie (METAS) Abnahmemessungen bei adaptiven Antennen möglich seien. Zudem fügte das AFU an, dass die Abnahmemessungen heute sowohl nach der frequenzselektiven als auch nach der codeselektiven Messmethode erfolgen könnten, da zwischenzeitlich auch (serienmässig produzierte) codeselektive Messgeräte für 5G-Signale erhältlich seien (Amtsbericht AFU, S. 3). Es stünden somit offenkundig von der Fachbehörde des Bundes empfohlene Verfahren für die Durchführungen von Abnahmemessungen bei adaptiven Antennen zur Verfügung. Im Zusammenhang mit Abnahmemessungen seien

erst wenige, im Kanton Zug sogar keine Erfahrungsberichte vorhanden. Bei den in anderen Kantonen bereits durchgeführten Abnahmemessungen habe festgestellt werden können, dass ungefähr 10–20 % der geprüften OMEN eine Grenzwertüberschreitung aufgewiesen hätten. Dies sei ohne Weiteres mit den Erfahrungswerten des Kantons Zug im Zusammenhang mit Abnahmemessungen bei konventionellen Antennen vergleichbar (Amtsbericht AFU, S. 4). Somit steht auch für die kantonale Fachbehörde fest, dass für adaptive Antennen Abnahmemessungen durchgeführt werden können. Die Anzahl Grenzwertüberschreitungen liegt dabei in derselben Grössenordnung wie bei konventionellen Antennen im Kanton Zug.

6.6 Das Verwaltungsgericht gibt der Hoffnung Ausdruck, dass das BAFU nun bald in der Lage ist, die vom Bundesgericht bereits im Jahr 2019 verlangte gesamtschweizerische Überprüfung der QS-Systeme durchzuführen. Ansonsten müsste wohl irgendwann die Tauglichkeit der QS-Systeme tatsächlich in Frage gestellt werden. Immerhin hat das Bundesgericht angetönt, diesfalls mögliche bauliche Begrenzungen, wie Plombierungen, ins Auge zu fassen.

7.

7.1 Abschliessend bestreitet die Beschwerdeführerin die Aussage des Regierungsrats, das Verordnungsrecht (Grenzwerte der NISV) trage dem gegenwärtigen wissenschaftlichen Kenntnisstand über die von Mobilfunkantennen ausgehende Gesundheitsgefährdung ausreichend Rechnung und die in der NISV festgelegten Grenzwerte hinsichtlich des dem Bundesrat zustehenden Ermessensspielraums seien nicht zu beanstanden. Die Beschwerdeführerin ist der Meinung, die geltenden Immissions- und Anlagegrenzwerte der NISV seien gesetzes- und verfassungswidrig.

7.2 Gemäss Art. 11 Abs. 1 USG werden Luftverunreinigungen, Lärm, Erschütterungen und Strahlen durch Massnahmen bei der Quelle begrenzt (Emissionsbegrenzungen). Unabhängig von der bestehenden Umweltbelastung sind Emissionen im Rahmen der Vorsorge so weit zu begrenzen, als dies technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar ist. Die Emissionsbegrenzungen werden verschärft, wenn feststeht oder zu erwarten ist, dass die Einwirkungen unter Berücksichtigung der bestehenden Umweltbelastung schädlich oder lästig werden (Art. 11 Abs. 2 und 3 USG).

7.3 Die NISV soll Menschen vor schädlicher oder lästiger nichtionisierender Strahlung schützen (Art. 1 NISV). Die für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung in der NISV

festgelegten Grenzwerte beruhen auf wissenschaftlich erhärteten Erkenntnissen über die von Mobilfunkantennen ausgehende Gesundheitsgefährdung. Der Bundesrat bzw. seine Fachbehörde, das BAFU, verfolgt die wissenschaftliche Entwicklung permanent mit einer beratenden Expertengruppe (BERENIS) und hat die Grenzwerte dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung anzupassen (vgl. Art. 14 USG). Gemäss dem Bundesgericht ist das BAFU dieser Aufgabe bisher nachgekommen (vgl. BGer 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.3.3; 1C_375/2020 vom 5. Mai 2021 E. 3.2.5; 1C_518/2018 vom 14. April 2020 E. 5.1.1; 1C_348/2017 vom 21. Februar 2018 E. 4.5). Das Bundesgericht hat bis anhin die in der NISV festgelegten Grenzwerte verschiedentlich als verfassungs- und gesetzeskonform beurteilt (BGer 1C_518/2018 vom 14. April 2020 E. 5.1.1; 1C_348/2017 vom 21. Februar 2018 E. 4.3; 1C_323/2017 vom 15. Januar 2018 E. 2.5). In BGer 1C_100/2021 vom 14. Februar 2023 E. 5.7 hat das Bundesgericht insbesondere eine Verletzung des Vorsorgeprinzips verneint, da keine hinreichenden Erkenntnisse vorlägen, welche eine Anpassung der geltenden Immissions- und Anlagegrenzwerte der NISV erfordern würden. Das Bundesgericht hat zudem seine diesbezügliche Rechtsprechung in den Urteilen 1C_45/2022 vom 9. Oktober 2023 E. 7 und 1C_251/2022 vom 13. Oktober 2023 E. 6 bestätigt.

7.4 Das Verwaltungsgericht sieht keinen Grund, von diesen Feststellungen des Bundesgerichts abzuweichen, weshalb die Rüge der Beschwerdeführerin, die geltenden Immissions- und Anlagegrenzwerte der NISV seien gesetzes- und verfassungswidrig, als unbegründet zu qualifizieren ist.

8. Zusammenfassend erweist sich die Verwaltungsgerichtsbeschwerde als unbegründet, weshalb sie abzuweisen ist.

9.

9.1 Bei diesem Verfahrensausgang sind die die Gerichtskosten von Fr. 5'000.– der Beschwerdeführerin aufzuerlegen (§ 23 Abs. 1 Ziff. 3 VRG) und mit dem geleisteten Kostenvorschuss zu verrechnen.

9.2 Im Rechtsmittelverfahren ist der ganz oder teilweise obsiegenden Partei zulasten der unterliegenden Partei eine Parteientschädigung nach Massgabe ihres Obsiegens zuzusprechen (§ 28 Abs. 2 VRG). Das Gericht erachtet im vorliegenden Fall Fr. 5'500.– (inkl. MWST) als angemessene Entschädigung für das Honorar und die notwendigen Barauslagen der berufsmässigen Vertretung der obsiegenden Beschwerdegegnerin 1. Sie ist von

der Beschwerdeführerin zu bezahlen. Als unterliegende Partei hat die Beschwerdeführerin keinen Anspruch auf eine Parteientschädigung.

Demnach erkennt das Verwaltungsgericht:

1. Die Beschwerde wird abgewiesen.
2. Der Beschwerdeführerin wird eine Spruchgebühr von Fr. 5'000.– auferlegt, welche mit dem geleisteten Kostenvorschuss verrechnet wird.
3. Die Beschwerdeführerin hat der Beschwerdegegnerin 1 eine Parteientschädigung von Fr. 5'500.– (inkl. MWST und Barauslagen) zu bezahlen.
4. Gegen diesen Entscheid kann innert 30 Tagen seit der schriftlichen Eröffnung beim Schweizerischen Bundesgericht in Lausanne Beschwerde in öffentlich-rechtlichen Angelegenheiten eingereicht werden.
5. Mitteilung an den Rechtsvertreter der Beschwerdeführerin (im Doppel), an die Rechtsvertreter der Beschwerdegegnerin 1 (im Doppel), an den Regierungsrat des Kantons Zug (dreifach), an den Stadtrat von Zug, an das Bundesamt für Umwelt sowie zum Vollzug von Ziffer 2 an die Finanzverwaltung des Kantons Zug (nur Dispositiv).

Zug, 15. Januar 2024

Im Namen der
VERWALTUNGSRECHTLICHEN KAMMER
Der Vorsitzende

Der Gerichtsschreiber

versandt am