



2. April 2024

Qualitätssicherungssystem für Mobilfunkanlagen: Pilotprojekt Vor-Ort-Kontrollen 2022

Aktenzeichen: BAFU-322.3-48364/1/4/1/4/2

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
2	Durchführung der Vor-Ort-Kontrollen: Stichprobe und geprüfte Parameter	2
3	Ergebnisse der Kontrollen	3
4	Auswirkung der Fehler auf die Belastung durch Mobilfunkstrahlung	4
5	Weitere Erkenntnisse	8
6	Zusammenfassung und Empfehlungen	8

1 Ausgangslage

In seinem Entscheid 1C_97/2018 vom 3. September 2019 hat das Bundesgericht das Bundesamt für Umwelt (BAFU) aufgefordert, im Rahmen seiner Aufsichtspflicht eine schweizweite Kontrolle des ordnungsgemässen Funktionierens der Qualitätssicherungssysteme (QS-Systeme) für Mobilfunkantennen durchzuführen oder zu koordinieren. Zusätzlich zur letzten derartigen Kontrolle in den Jahren 2010/2011 sollen auch Vor-Ort-Kontrollen an den Anlagen durchgeführt werden.

Das QS-System sieht pro Netzbetreiber eine QS-Datenbank, definierte Abläufe (Prozesse) und deren Auditierung durch eine unabhängige Prüfstelle vor. Die Datenbank ist in den Steuerzentralen der Netzbetreiber implementiert. Sie überprüft mindestens einmal pro Arbeitstag die tatsächlich eingestellten Parameter sämtlicher Antennen des betreffenden Netzes und vergleicht sie mit den bewilligten Werten. Einige der Parameter wie die Sendeleistung (Verstärkerleistungsleistung) oder der elektrische Tilt können per Fernsteuerung eingestellt werden. Allfällige Abweichungen von den bewilligten Werten werden durch die automatisierte Überprüfungsroutine erfasst.

Andere Parameter wie die Antennenhöhe oder der Antennentyp, die direkt aus dem bewilligten Standortdatenblatt der Anlage in die QS-Datenbank übertragen werden, sind hingegen statisch. Sie lassen sich in der Regel lediglich im Rahmen einer Baukontrolle vor Ort an der Anlage auf Übereinstimmung mit den bewilligten Werten vergleichen. Abweichungen von den bewilligten Werten können theoretisch auftreten, wenn die Mobilfunkanlage bei der Erstellung nicht korrekt installiert wurde oder wenn es im Laufe der Zeit aufgrund von Arbeiten an der Anlage oder durch Witterungseinflüsse zu Montageabweichungen kommt.



In einem ersten Schritt hat das BAFU die Erfahrungen und Entwicklungen im Bereich der Vor-Ort-Kontrollen von Mobilfunkanlagen aus einigen Kantonen aus den Jahren 2012 bis 2021 sowie Informationen zur Weiterentwicklung der QS-Systeme für den Betrieb von Mobilfunkanlagen in einem [Faktenblatt](#) vom Oktober 2022 zusammengefasst. Anschliessend hat das BAFU im Rahmen eines Pilotprojekts Vor-Ort-Kontrollen an 20 Mobilfunkanlagen in Auftrag gegeben. Zudem wurden die Kontrollen in fünf Kantonen einbezogen. Insgesamt haben die kantonalen Fachstellen für nichtionisierende Strahlung (NIS-Fachstellen) 56 Anlagen kontrollieren lassen. Im Rahmen des Pilotprojektes führte das BAFU zudem verschiedene Gespräche mit Messfirmen, Netzbetreibern sowie kantonalen und städtischen NIS-Fachstellen durch.

Nachfolgend findet sich eine Übersicht über die Ergebnisse und Erkenntnisse der 76 Vor-Ort-Kontrollen im Rahmen des Pilotprojekts.

2 Durchführung der Vor-Ort-Kontrollen: Stichprobe und geprüfte Parameter

Das BAFU hat im Herbst 2022 Kontrollen an 20 Mobilfunkanlagen in Auftrag gegeben. Die Hälfte davon befand sich in der Romandie, die andere Hälfte in der Deutschschweiz. Die Standorte für diese Kontrollen wurde von der NIS-Fachstelle des jeweiligen Kantons spezifisch ausgewählt. Die Auswahl erfolgte also nicht zufällig, sondern komplexe Anlagen und Situationen waren im Sinne einer «Worst-Case»-Betrachtung übervertreten. Zudem haben fünf weitere kantonale NIS-Fachstellen im Jahr 2022 Vor-Ort-Kontrollen an insgesamt 56 Mobilfunkanlagen durchgeführt, deren Ergebnisse in der vorliegenden Auswertung mitberücksichtigt werden. Die Kontrollen bezogen sich auf die folgenden baulichen Parameter:

- Höhe der Antennen
- Azimut: mechanisch eingestellte horizontale Senderichtung
- Mechanischer Neigungswinkel (Elevation / Tilt): mechanisch eingestellte vertikale Senderichtung
- Antennentyp: Es wurde überprüft, ob der installierte Antennentyp demjenigen aus dem Standortdatenblatt entspricht.

Bei der Überprüfung wurden die in Tabelle 1 genannten Toleranzen berücksichtigt.

Tabelle 1: Messtoleranzen der kontrollierten baulichen Parameter

Antennenhöhe	$\pm 20 \text{ cm}$
Azimut	$\pm 2.5^\circ$
Mechanischer Neigungswinkel (Elevation / Tilt)	$\pm 0.5^\circ$

Die Kontrollen an den Anlagen vor Ort erfolgten durch beauftragte Messfirmen und fanden in der Regel in Anwesenheit der für die kontrollierte Anlage zuständigen NIS-Fachstelle und des Anlageinhabers statt. Die NIS-Fachstellen stellten den Messfirmen die Standortdatenblätter der zu kontrollierenden Anlagen zur Verfügung. Die Standortdatenblätter enthalten Angaben zu den bewilligten Parametern der Anlagen. Die Betreiber erhielten zwei Wochen vor dem Kontrolltermin Kenntnis, welche Anlagen überprüft werden sollten. Falls bei der Überprüfung festgestellt wurde, dass bei einer Mobilfunkanlage der falsche Antennentyp installiert war oder eine Abweichung ausserhalb der in Tabelle 1 festgelegten Toleranzen auftrat, wurde die Anlage als «fehlerhaft» eingestuft.

In einem weiteren Schritt wurde untersucht, wie sich diese Abweichungen auf die NIS-Exposition an den Orten mit empfindlicher Nutzung (OMEN) in der Umgebung der Anlagen auswirken. Zu diesem Zweck hat das BAFU von den Betreibern neue NIS-Berechnungen für die vor Ort festgestellte Situation

(mit den Abweichungen) verlangt und diese mit der bewilligten Situation verglichen. Insgesamt wurde die Belastung an 178 OMEN neu berechnet.

Unabhängig von diesen Berechnungen mussten die Mobilfunkbetreiber die bei den Vor-Ort-Kontrollen festgestellten Abweichungen korrigieren, so dass die Anlage wieder dem bewilligten Betrieb entsprach. Die entsprechenden Anordnungen erfolgten jeweils über die zuständige kantonale NIS-Fachstelle.

3 Ergebnisse der Kontrollen

Im Rahmen dieses Projekts wurden insgesamt 76 Mobilfunkanlagen kontrolliert und ausgewertet. 56 davon waren sogenannte «Site Sharing»-Anlagen, also Anlagen, die aus Basisstationen von mehr als einem Mobilfunkbetreiber (Salt, Sunrise und/oder Swisscom) bestehen. Insgesamt umfassten die 76 Anlagen 108 Basisstationen. Es wurden bei 37 % der kontrollierten Anlagen und 26 % der Basisstationen Fehler festgestellt. Aufgeteilt auf die Basisstationen der einzelnen Betreiber ergibt sich folgendes Bild: 10 % der Basisstationen von Salt, 43 % der Basisstationen von Sunrise und 21 % der Basisstationen von Swisscom wiesen Fehler auf (siehe Abbildung 1).

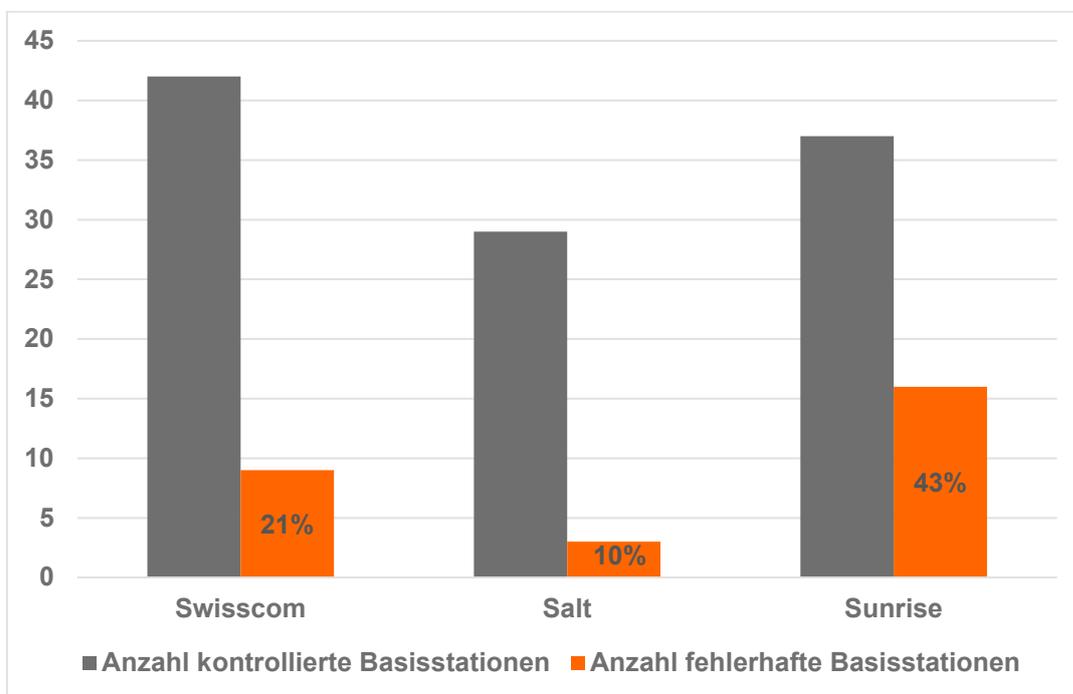


Abbildung 1: Anteil Basisstationen mit Fehlern

Die bei den Vor-Ort-Kontrollen festgestellten Abweichungen über die festgelegten Toleranzen hinaus traten bei sämtlichen untersuchten Parametern auf. Besonders häufig traten Fehler im Azimut (insgesamt elfmal) und in der Höhe (ebenfalls elfmal) auf. In Bezug auf die mechanische Elevation wurden bei fünf der untersuchten Basisstationen Fehler festgestellt. Des Weiteren stimmte in zwei Fällen der installierte Antennentyp nicht mit demjenigen überein, der zuvor im Standortdatenblatt genehmigt worden war. Abbildung 2 zeigt die Verteilung der verschiedenen Fehlertypen pro Betreiber.

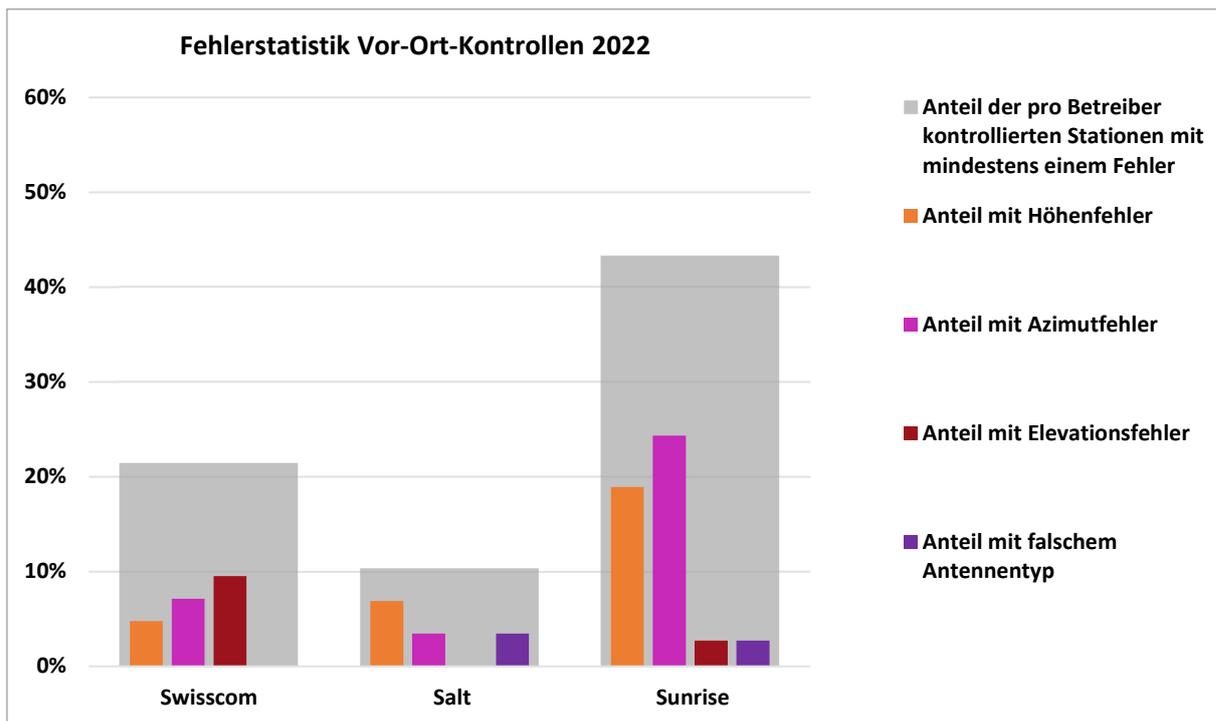


Abbildung 2: Anteile der Fehlertypen pro Betreiber

4 Auswirkung der Fehler auf die Belastung durch Mobilfunkstrahlung

Um die konkreten Auswirkungen der festgestellten Abweichungen auf die Exposition der OMEN zu analysieren, wurde eine neue Berechnung der NIS-Exposition mit den abweichenden Parametern durchgeführt. OMEN mit grossen Abständen zur Sendeanlage, bei denen eine bedeutsame Veränderung der Exposition ausgeschlossen werden konnte, wurden bei der Neuberechnung nicht berücksichtigt. Insgesamt wurde für 22 Anlagen eine neue NIS-Berechnung erstellt. In Tabelle 2 ist dargelegt, bei wie vielen Anlagen welcher Fehler festgestellt wurde.

Tabelle 2: Anzahl und Fehlertyp bei den Anlagen, für die eine neue NIS-Berechnung durchgeführt wurde

Anzahl Anlagen	Fehlertyp
9	Azimut
5	Höhe
5	mech. Neigungswinkel (Elevation)
2	Höhe und Azimut
1	Antennentyp

Die Grundlagen für die NIS-Berechnungen bildeten das gültige respektive bewilligte Standortdatenblatt der jeweiligen Anlage sowie die bei der Vor-Ort-Kontrolle festgestellten Abweichungen. Die NIS-Exposition an den OMEN wurde sowohl mit, als auch ohne die festgestellten Abweichungen berechnet und miteinander verglichen. Zusätzlich wurde überprüft, ob aufgrund der Abweichungen neue OMEN in die Liste der am stärksten belasteten OMEN hätten aufgenommen werden müssen. Der Vergleich der Exposition an den drei am stärksten belasteten OMEN pro Anlage (insgesamt 66 OMEN) lieferte folgende Ergebnisse:

- bei 21 OMEN (31.8 %) nahm die Belastung zu
- bei 19 OMEN (28.7 %) nahm die Belastung ab
- bei 26 OMEN (39.3 %) blieb die Belastung gleich

Abbildung 3 veranschaulicht die maximale Zunahme der Exposition an den Standorten, bei denen eine neue NIS-Berechnung durchgeführt wurde. Bei 16 Standorten wurde eine Zunahme von weniger als 0,1 V/m festgestellt. An zwei weiteren Standorten betrug die Zunahme an den OMEN zwischen 0,1 V/m und 0,2 V/m. An den Standorten 18, 19 und 21 wurde eine Erhöhung der elektrischen Feldstärke um 0,3 V/m, 0,49 V/m bzw. 0,63 V/m festgestellt. Wichtig ist festzuhalten, dass dabei nirgends eine Überschreitung des Anlagegrenzwertes der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) festgestellt wurde.

Die Erhöhung des elektrischen Feldes am Standort Nr. 18 um 0,3 V/m im Vergleich zum genehmigten Zustand resultierte aus einer Abweichung in der installierten Antennenhöhe von -58 cm. Am Standort Nr. 19 wurde eine Erhöhung der elektrischen Feldstärke von 0,49 V/m verzeichnet, was auf Abweichungen im Azimut von -20° sowie in der Höhe von -23 cm zurückzuführen ist. Am Standort Nr. 21 ergab sich die maximale Erhöhung der elektrischen Feldstärke von 0,63 V/m, bedingt durch Abweichungen im Azimut bei zwei Antennen von 5,2° und 4,5°.

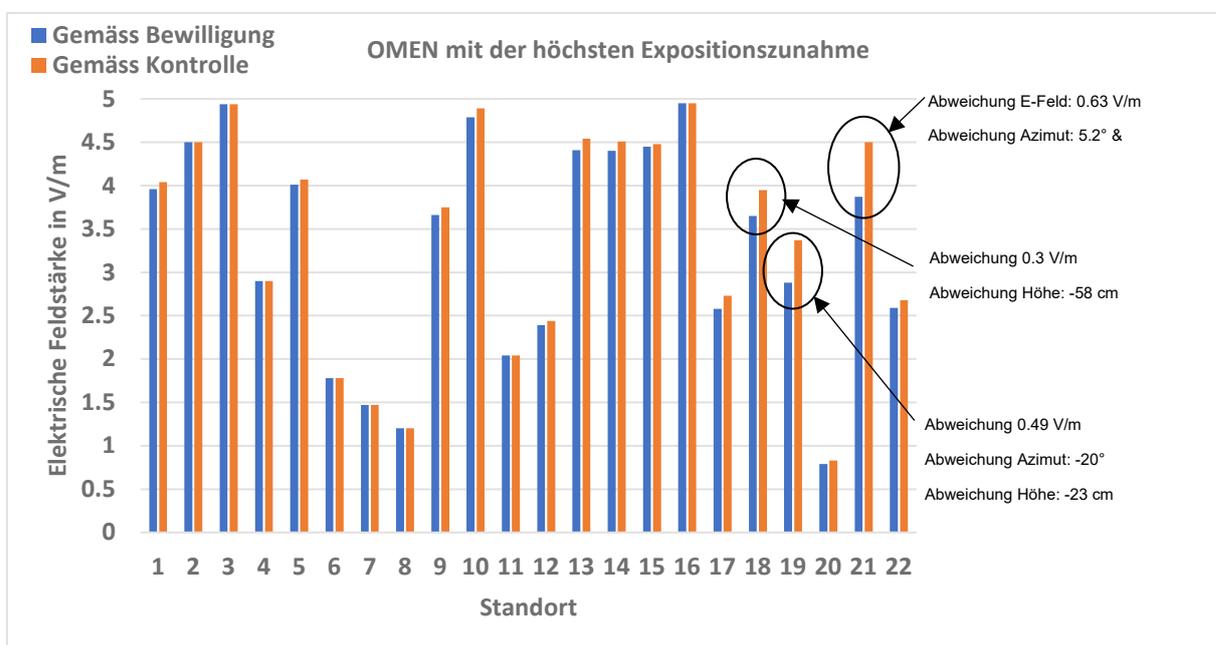


Abbildung 3: Höchste Expositionszunahme an den 22 Standorten, an welchen neue NIS-Berechnungen durchgeführt wurden.

Die Auswirkungen der festgestellten Abweichungen auf die Exposition werden nachfolgend in den Abbildungen 4–6 dargestellt. Insbesondere wird die Streuung zwischen maximaler Erhöhung sowie maximaler Reduktion der elektrischen Feldstärke an den höchstbelasteten OMEN aufgrund der Abweichungen dargestellt.

Die Ergebnisse in Abbildung 4 verdeutlichen, dass Abweichungen im Azimut von mehr als 2,5° zu Veränderungen in der Exposition geführt haben. Diese Veränderungen können sowohl zu einer Erhöhung als auch zu einer Verringerung der elektrischen Feldstärke an den OMEN führen. Quantitativ gesehen blieben die Abweichungen der Exposition in der Regel unterhalb von 0,2 V/m, überschritten jedoch in zwei Fällen den Wert von 0,6 V/m. Solche Zunahmen könnten unter Umständen zu einer Überschreitung des Anlagegrenzwertes führen. Vorliegend war dies aber nicht der Fall.

Die Ergebnisse in Abbildung 5 zeigen wie erwartet, dass bei höher installierten Antennen in der Regel eine Verringerung der Exposition an den OMEN festgestellt wurde, da in diesen Fällen der Abstand zu den OMEN zunimmt. Umgekehrt wurden bei zu tief installierten Antennen zum Teil Erhöhungen der elektrischen Feldstärke von bis zu 0,45 V/m an den OMEN registriert.

Die Ergebnisse in Abbildung 6 zeigen, dass bei Antennen mit einer positiven Abweichung bei der mechanischen Elevation (nach oben geneigt) entweder keine Veränderung oder eine Verringerung der Exposition an den OMEN festgestellt wurde. Bei Antennen mit einer negativen Abweichung der mechanischen Elevation (nach unten geneigt) wurden hingegen Erhöhungen in der elektrischen Feldstärke an den OMEN verzeichnet. Diese Erhöhungen blieben jedoch unterhalb von 0,1 V/m.

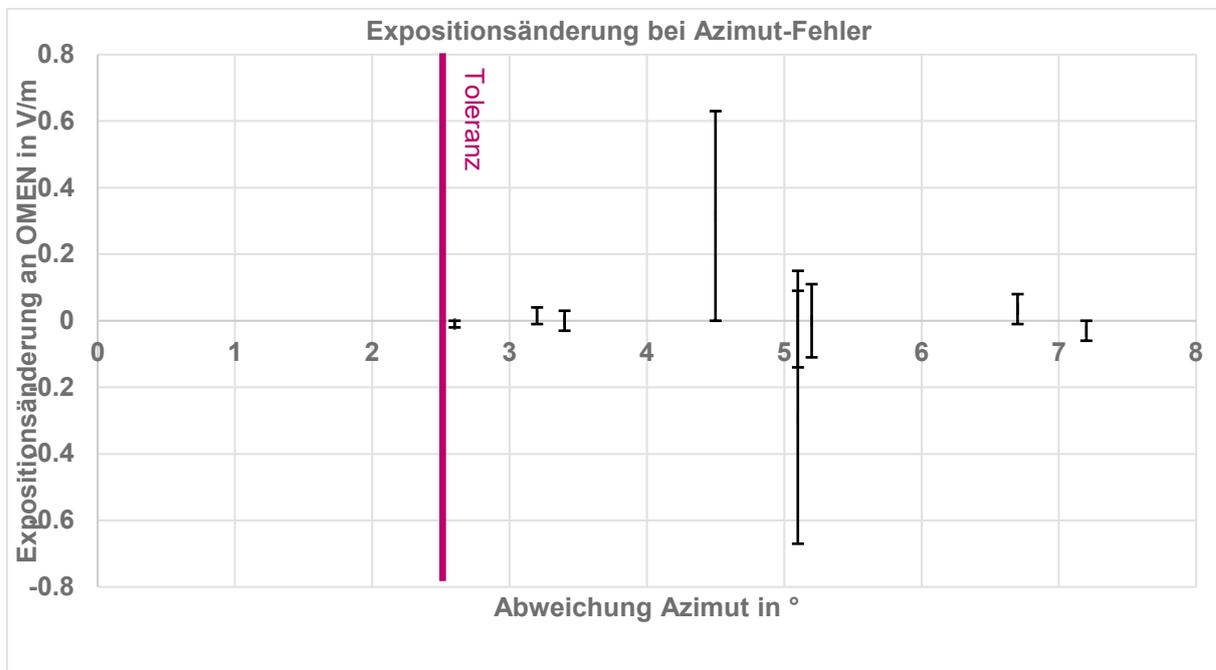


Abbildung 4: Höchste Abweichung in der Exposition an den OMEN für die 9 Anlagen mit Azimut-Fehler. Pro Anlage ist jeweils die grösste Zunahme und Abnahme der Exposition als Spanne dargestellt.

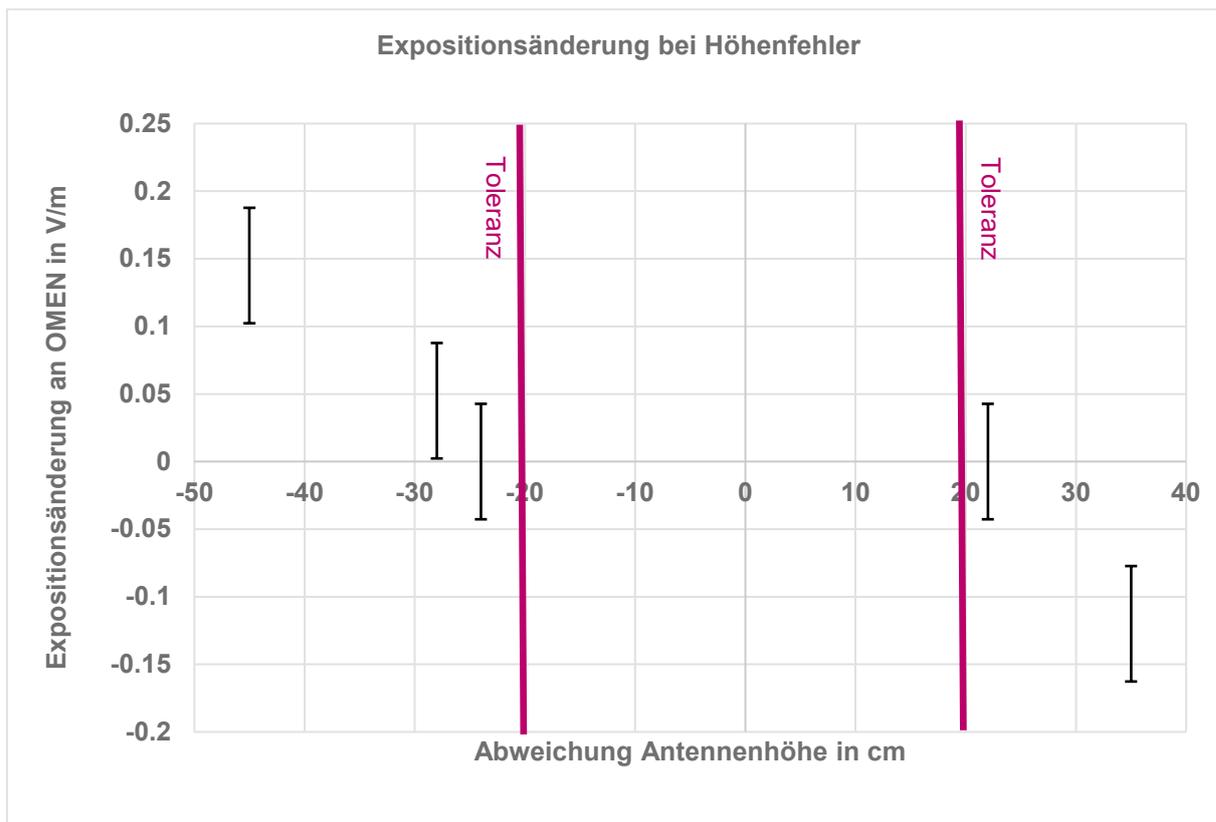


Abbildung 5: Höchste Abweichung in der Exposition an den OMEN für die 5 Anlagen mit Höhen-Fehler. Pro Anlage ist jeweils die grösste Zunahme und Abnahme der Exposition als Spanne dargestellt.

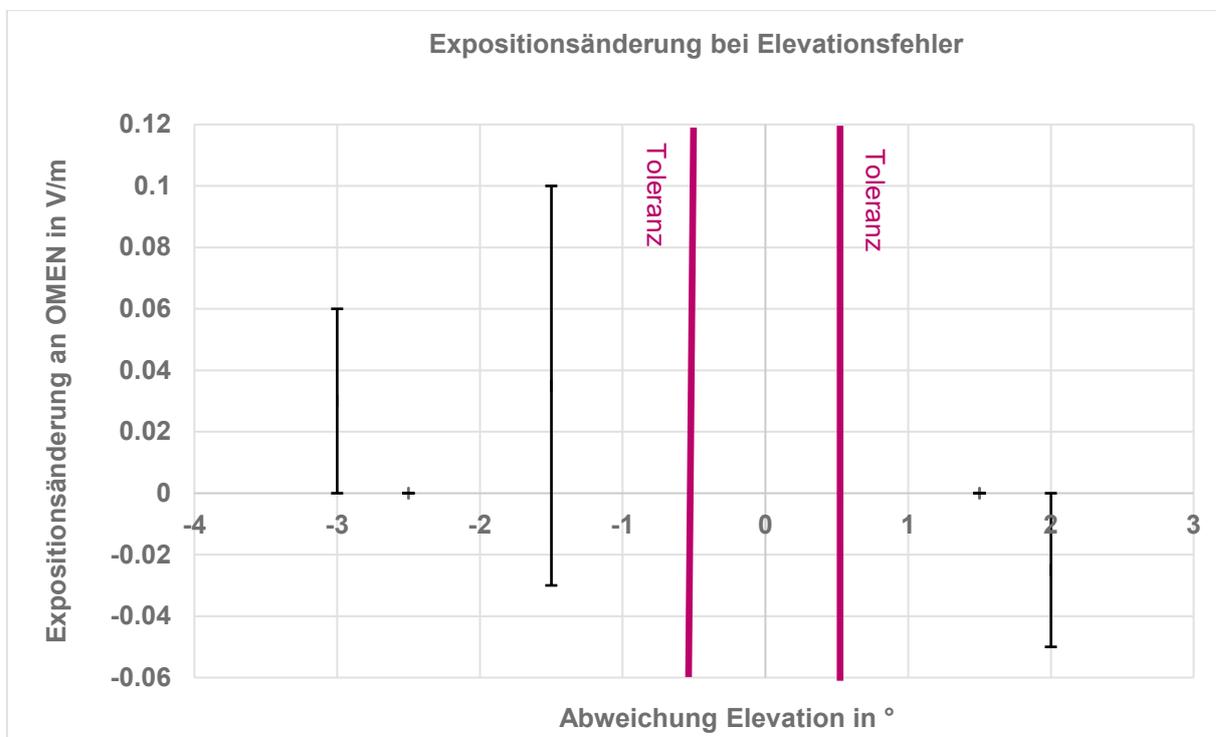


Abbildung 6: Höchste Abweichung in der Exposition an den OMEN für die 5 Anlagen mit Elevationsfehler (mechanischer Neigungswinkel). Pro Anlage ist jeweils die grösste Zunahme und Abnahme der Exposition als Spanne dargestellt.

5 Weitere Erkenntnisse

In den letzten Jahren haben Baukontrollen von Mobilfunkanlagen sowohl bei den Behörden als auch bei den Mobilfunkbetreibern zunehmend an Bedeutung gewonnen. Sämtliche Mobilfunkbetreiber führen bei jedem Neubau und jeder Änderung einer Anlage eine Baukontrolle durch und legen – verglichen mit früher – strengere Vorschriften gegenüber ihren Installationsfirmen fest. Festgestellte Abweichungen ausserhalb der Toleranz werden im Rahmen der Baukontrolle korrigiert, so dass die Anlage dem bewilligten Zustand entspricht. Die Prozesse und Abnahmeprotokolle der Baukontrollen sind bei allen drei Betreibern Teil des QS-Systems. Ein Betreiber überträgt das Resultat zudem in die QS-Datenbank mit der automatischen Prüfroutine. Da es sich dabei um statische Werte handelt, die im Rahmen der Baukontrollen kontrolliert und wenn nötig korrigiert wurden, bringt der Eintrag in die QS-Datenbank mit der automatisierten Prüfroutine jedoch keinen Mehrwert im Hinblick auf die Feststellung von allfälligen Fehlern.

Die Kontrollen der letzten Jahre haben gezeigt, dass Betreiber, die ihre Anlagen regelmässig auch während des laufenden Betriebs überprüfen, tendenziell weniger Fehler aufweisen. Ausserdem werden Änderungen an Anlagen mit mehreren Betreibern («Site Sharing») besser abgestimmt und die Arbeiten besser koordiniert als früher, um falsche beziehungsweise nicht aktuelle Angaben in den Datenbanken der Betreiber und Behörden zu vermeiden.

Die Messfirmen haben darauf hingewiesen, dass vor den Inspektionen vor Ort die Unterlagen für die Genehmigung (Standortdatenblätter, Lagepläne, Höhenangaben) auf ihre Aktualität überprüft werden sollten; dies um beispielsweise sicherzustellen, dass in der Zwischenzeit keine neuen OMEN entstanden sind. Während den Inspektionen ist auf potenzielle Störfaktoren zu achten, welche die Messgeräte beeinflussen könnten. Es wird empfohlen, die Mobilfunkanlage während der Kontrolle auszuschalten, um elektromagnetische Interferenzen mit den Messgeräten zu minimieren. Gleichzeitig sollten mögliche Störungen durch externe Quellen wie Hochspannungsleitungen und Eisenbahninfrastrukturen oder aufgrund des Funkbetriebs in der Nähe von Flughäfen berücksichtigt werden. Diese Massnahmen tragen dazu bei, die Präzision und Zuverlässigkeit der Inspektionsergebnisse zu gewährleisten.

6 Zusammenfassung und Empfehlungen

Als Pilotprojekt wurden Vor-Ort-Kontrollen an 76 Mobilfunkanlagen durchgeführt. Die Auswahl der Stichprobe erfolgte dabei nicht zufällig; vielmehr waren komplexe Anlagen und Situationen im Sinne einer «Worst-Case»-Betrachtung überrepräsentiert. Im Rahmen dieses Pilotprojekts wurde speziell untersucht, wie festgestellte Abweichungen die Exposition beeinflussen. Der Schwerpunkt lag ebenfalls darauf, die Schwierigkeiten und Herausforderungen bei diesen Kontrollen zu identifizieren und zu verstehen. Zu diesem Zweck führte das BAFU verschiedene Gespräche mit Messfirmen, Netzbetreibern sowie kantonalen und städtischen NIS-Fachstellen durch.

Die Untersuchungen des BAFU haben gezeigt, dass die Datenübertragung der Bewilligungsdaten in das QS-System in der Regel korrekt funktioniert. Aufgrund von Montagefehlern weichen in einigen Fällen die tatsächlichen statischen Parameter von Antennen, wie Azimut, Antennenhöhe und mechanische Elevation, von den bewilligten Daten oder den im QS-System hinterlegten Daten ab. Im Gegensatz zu den ferngesteuerten Einstellungen, wie beispielsweise der Verstärkerleistungsleistung oder dem elektrischen Tilt, können die statischen Parameter nicht mit vernünftigem Aufwand durch eine automatisierte Prüfroutine kontrolliert werden. Vielmehr müssen diese Parameter durch Baukontrollen überwacht werden, die idealerweise unter Anwendung standardisierter Toleranzen und Messvorschriften ablaufen.

Bei der Überprüfung der baulichen Parameter der insgesamt 76 Mobilfunkanlagen wurden bei 37 % der Anlagen Abweichungen ausserhalb der Toleranz festgestellt. Am häufigsten traten Abweichungen vom bewilligten Azimut und der bewilligten Antennenhöhe auf. Bei Abweichungen ausserhalb der Toleranz wurde für die betroffenen Anlagen eine neue NIS-Beurteilung (Berechnung gemäss Standortdatenblatt) durchgeführt, um die Veränderung der Exposition der OMEN im Vergleich zum genehmigten

Zustand zu ermitteln. Die NIS-Berechnungen zeigten, dass die Belastung aufgrund der festgestellten Fehler an 32 % der OMEN zunahm, an 29 % abnahm und an 39 % gleichblieb. Die Abweichungen führten bei keiner der untersuchten Anlagen zu einer Überschreitung der Anlagegrenzwerte der NISV. Eine Erhöhung der elektrischen Feldstärke an den OMEN wurde in der Regel dann beobachtet, wenn die Antennen entweder zu niedrig montiert waren oder eine falsche Ausrichtung (Azimut) aufwiesen. Die Erhöhung der elektrischen Feldstärke betrug in den meisten Fällen 0,1 V/m oder weniger. Lediglich in vereinzelt Fällen kam es zu einer Zunahme um 0,3 V/m bis 0,6 V/m. Ob eine Abweichung zu einer Erhöhung der Exposition führt, hängt insbesondere von der Position der OMEN sowie vom Abstand zwischen den OMEN und den Antennen ab.

Für eine gute und effiziente Durchführung der Vor-Ort-Kontrollen hat es sich als wichtig und nützlich erwiesen, die Genehmigungsunterlagen (Standortdatenblätter, Lagepläne, Höhenangaben) vorgängig auf ihre Aktualität zu prüfen, dies um beispielsweise sicherzustellen, dass in der Zwischenzeit keine neuen OMEN entstanden sind. Während den Inspektionen ist zudem auf potenzielle Störfaktoren zu achten. Um elektromagnetische Interferenzen mit den Messgeräten zu minimieren, sollte die Mobilfunkanlage während der Kontrolle abgeschaltet werden. Gleichzeitig sind mögliche Störungen durch externe Quellen wie Hochspannungsleitungen und Eisenbahnfahrleitungen oder durch den Funkbetrieb in der Nähe von Flughäfen zu berücksichtigen. Dies gewährleistet präzise und zuverlässige Inspektionsergebnisse. Abschliessend hat sich die Durchführung einer neuen NIS-Berechnung, unter Einbezug der identifizierten Abweichungen, als hilfreich herausgestellt, um bei festgestellten Fehlern die Relevanz in Bezug auf die Grenzwerte bewerten zu können.

Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse dieses Pilotprojekts die Wichtigkeit von Kontrollen der baulichen Parameter von Mobilfunkanlagen. Die Einbindung von Vor-Ort-Kontrollen in die Qualitätssicherung ist von essenzieller Bedeutung, um sicherzustellen, dass der Bau und Betrieb von Sendeanlagen im Einklang mit der erteilten Bewilligung erfolgt und, dass die Grenzwerte der NISV jederzeit eingehalten werden.