

NIS Monitoring Liechtenstein

NIS Katasterrechnung und Messungen 2022

Impressum

Auftraggeber Kontaktperson Adresse	Liechtensteinische Landesverwaltung Maximilian Goldmann Gerberweg 5 9490 Vaduz
Datum Aktuelle Version Ältere Versionen	31.12.2022 Schlussbericht -
Projektnummer Datei	22_0160 NISKataster_Liechtenstein_2022_Bericht.docx
Erstellt durch Kontrolliert durch Genehmigt durch	Dr. Stefan Müller 02.02.2023 Jan Remund 02.02.2023 Michael Schmutz
Gewährleistung	Meteotest gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsbearbeitung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Zusammenfassung

Im Projekt NIS Monitoring Liechtenstein wurde eine Katasterrechnung der aktuellen NIS-Exposition anhand der Betriebsdaten von Mobil- und Rundfunk-Sendeanlagen durchgeführt. Die erstellten Feldstärkekarten zeigen die Belastung von nicht-ionisierender Strahlung (NIS) des gesamten Fürstentum Liechtensteins. Die modellierten Karten wurden mittels einer temporären Frequenz aufgelösten Messung validiert. Die Übereinstimmung von Modell und Messung ist gut. Ein Bias von -23% ist ersichtlich. Die Modellierung unterschätzt somit die Feldstärken leicht. Zwei Drittel der Messwerte liegen innerhalb eines Faktors 2 und 94% eines Faktors 4. Je höher die Feldstärken desto besser stimmen Modell und Messung überein. In den Siedlungsgebieten ist die Exposition generell etwas höher als auf dem freien Feld. Der Hotspot befindet sich jedoch direkt bei der abgelegenen Sendeanlage auf dem Kulm oberhalb von Steg und des Saminats.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Methodik	8
2.1	Modellrechnung	8
2.1.1	Modellgebiet	8
2.1.2	Geländemodell	9
2.1.3	Gebäudemodell	12
2.1.4	Datengrundlagen der Sendeanlagen	13
2.2	Messkampagne	13
2.2.1	Messgerät.....	14
2.2.2	Messgeräterauschen	15
2.2.3	Auswertungen	16
3	Auswertungen und Resultate.....	18
3.1	Sendeanlagen.....	18
3.2	Frequenzbänder und Funkdienste für Mobilfunk	19
3.3	Feldstärkekarten	19
4	Modell-Validierung	23
4.1	Ausgewählte Messbeispiele	23
4.2	Resultate der Validierung	27
5	Fazit und Ausblick	32
A	NISMap Software Setting	33
B	Literaturverzeichnis	35

Tabellen

Tabelle 1:	Frequenzbänder der Validierungsmessungen.	15
Tabelle 2:	Anzahl Sendeanlagen nach Typ.	19
Tabelle 3:	Anzahl Funkzellen mit ERP (effective radiated power) grösser als 6 W gemäss Betriebsdaten Mitte Jahr. Es sind Funkdienste der Mobiltelefonie (ohne GSM-R) in Liechtenstein gelistet. Ebenfalls angegeben ist das Total über alle Funkdienste.....	19
Tabelle 4:	Statistische Grössen für den Vergleich Modell – Messung aus den Validierungsmessungen 2022, für die wichtigsten Bänder und das Summenfeld (Summe über alle Bänder der Modellrechnung). F2 bzw. F4 sind die prozentualen Anteile der Punkte, an denen die Feldstärken aus Messung und Modellrechnung besser als ein Faktor zwei bzw. vier übereinstimmen. Das „Mittel der Messung“ ist der arithmetische Mittelwert (nicht RMS) über alle Messpunkte.	29

Abbildungen

Abbildung 1: Aufteilung des Modellgebietes in Kacheln für die Berechnung der Feldstärkekarten.....	9
Abbildung 2: Das zusammengesetzte digitale Höhenmodell (Graustufen-Layer) für Liechtenstein und Teile der Schweiz und Vorarlberg. Die gelben Punkte markieren Standorte mit verwendeten Rundfunksendeanlagen im In- und Ausland mit Einfluss auf das Modellgebiet in Liechtenstein. (© swisstopo und data.gv.at).....	11
Abbildung 3: Repräsentation der dreidimensionalen Dachflächen aus dem swissBUILDINGS3D Datensatz (© swisstopo). Die Darstellung zeigt das Schloss Vaduz. Links, die Visualisierung der swisstopo in map.geo.admin.ch und rechts, wie es in NISMap repräsentiert wird.....	12
Abbildung 4: Messpunktaufnahme bei Steg mit dem NARDA SRM-3006 Messgerät und mit interessierten Beobachtern.....	14
Abbildung 5: Berücksichtigte Sendeanlagen (grüne Punkte). Die Anlagen im Ausland sind Rundfunk oder Polycom zuzuordnen.....	18
Abbildung 6: Karte der Summenfeldstärke des hochfrequenten elektrischen Feldes für 2022. Räumliche Auflösung 5 m. Beschriftet sind die grösseren Ortschaften von Liechtenstein.....	20
Abbildung 7: Karte der Feldstärke verursacht durch Rundfunk (links) und Mobilfunk (rechts) für 2022. Auflösung 5 m. Beschriftet sind die grösseren Ortschaften von Liechtenstein.....	21
Abbildung 8: Diskontinuitäten in der Karte für Rundfunk. Rote Pfeile markieren zwei Diskontinuitäten an Kachelgrenzen.	22
Abbildung 9: Messpunkte der Validierungsmessungen 2022. (Hintergrundkarte: © swisstopo).....	23
Abbildung 10: Messung in Bendorf bei der Rheinbrücke. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weisse Gebiete sind Gebäude oder ausländisches Gebiet (Nordwesten).....	25
Abbildung 11: Vertikale Antennendiagramme der Antennen Kathrein 80010669 im 800 MHz Band (links) und 742215 im 2100 MHz Band (rechts).	26
Abbildung 12: Messung in Triesen beim Swarovski Gebäude. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weisse Gebiete sind Gebäude.	26
Abbildung 13: Messung in Balzers beim Oerlikon Gebäude. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen	

die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weisse Gebiete sind Gebäude.	27
Abbildung 14: Vergleich der Summenfeldstärke von Modell und Messung für die Validierungsmessungen 2022. Die schraffierten Linien bezeichnen Abweichungen zwischen Modell und Messung von jeweils einem Faktor zwei bzw. vier nach oben und unten. Die Farbcodierung entspricht den unterschiedlichen Messstandorten.	30
Abbildung 15: Vergleich von Modellrechnung und Validierungsmessung für die Beiträge der Rundfunk-Bänder.	30
Abbildung 16: Vergleich von Modellrechnung und Validierungsmessung für die Beiträge der Mobilfunk-Bänder 800/900/1800/2100/2600 MHz....	31

1 Einleitung

Dieser Bericht enthält die Auswertungen und technischen Details des Projektes NIS Monitoring Liechtenstein für das Jahr 2022. Ziel des NIS Monitorings ist es, die Exposition durch nicht-ionisierender Strahlung (NIS) von Sendeanlagen in Liechtenstein flächig zu erfassen. Dies geschieht durch eine flächendeckende Berechnung der hochfrequenten (HF) elektromagnetischen Felder (EMF). Zu Validierungszwecken wurde eine einmalige Messkampagne in vordefinierten Messregionen durchgeführt. Das Projektgebiet umfasst das Gebiet von Liechtenstein.

Das Projekt hat nicht das Ziel den Vollzug der NIS-Verordnung zu überprüfen, sondern ein realistisches Abbild der realen NIS Exposition durch Sendeanlagen räumlich hoch aufgelöst zu erfassen und wiederzugeben. Nicht berücksichtigt werden private Geräte wie Mobiltelefone, WLAN-Antennen oder Stromleitungen.

Das Zielpublikum dieses Berichts ist die NIS-Fachstelle des Amtes für Umwelt Liechtenstein.

2 Methodik

2.1 Modellrechnung

Die Modellierung berechnet die Summe der HF-NIS-Immissionen von Sendeanlagen von Mobilfunk und Rundfunk (UKW, DAB, DVB-T) flächendeckend für das Gebiet von Liechtenstein mit einer horizontalen Auflösung von 5 m x 5 m. Stichtag des Betriebszustandes für die Berechnung war der 1.7.2022. Weggelassen wurden Beiträge von drahtlosen Netzwerken wie WLAN, mobilen Endgeräten und drahtlosen Telefonen. Diese Quellen sind nicht systematisch erfasst und können deshalb nicht berücksichtigt werden.

Berechnet wurde die mittlere Exposition im effektiven Betrieb in 1.5 m über Grund ausserhalb von Gebäuden. Es existiert ein zusätzlicher Datensatz mit den Werten im obersten Stock von Gebäuden (1 m unter Dachhöhe). Die Resultate zeigen die aktuelle mittlere Exposition als Tagesmittel und nicht die maximal mögliche Exposition, wie das in den Bewilligungsverfahren evaluiert wird. Die Leistungen der Sendeanlagen wurden auch mit einem Auslastungsfaktor für die Zeit während des Tages (06:00 – 22:00) behaftet, da die Sendeleistung moderner Mobilfunk Sendeanlagen je nach Auslastung zeitlich stark variiert [1]. Während der Nachtstunden sind die Auslastungsfaktoren und die Exposition geringer. In diesem Projekt wurde nur der Tag betrachtet.

Grundlage für die Berechnung des elektrischen Feldes ist ein vereinfachtes Modell der Funkwellenausbreitung. Durchgeführt wurde die Berechnung mit der erweiterten Version der Software NISMap¹ in der Version 7.0. Details zu den Algorithmen sind dem Handbuch der Software zu entnehmen [2]. Details zur verwendeten Konfiguration sind in Anhang A zu finden. Das gleiche Ausbreitungsmodell wurde bereits im Projekt Qualifex im Rahmen des Forschungsprogramms NFP-57 «Nichtionisierende Strahlung – Umwelt und Gesundheit» ([3], [4]) und den beiden Projekten «Immissionskataster des Lufthygieneamtes beider Basel»² und «NIS Monitoring Zentralschweiz»³ von Umwelt Zentralschweiz verwendet und regelmässig validiert.

Abschattung sowie Beugung durch bzw. über Gebäuden und Gelände wurden berücksichtigt.

2.1.1 Modellgebiet

Das Modellgebiet umfasst das Gebiet des Fürstentums Liechtenstein. Aus rechen-technischen Gründen wurde dieses in Kacheln der Grösse 3 km x 3 km

¹ <https://nismap.ch/>

² <https://www.baselland.ch/politik-und-behorden/direktionen/bau-und-umweltschutzdirektion/lufthygiene/elektrosmog/immissionsueb/immissionskataster>

³ <https://esmog-gis.ch/>

respektive 3 km x 4 km eingeteilt (Abbildung 1). Dies ergibt ein total von 29 Kacheln. Benannt wurden diese nach dem Schema LI_<Zeile>_<Spalte>.

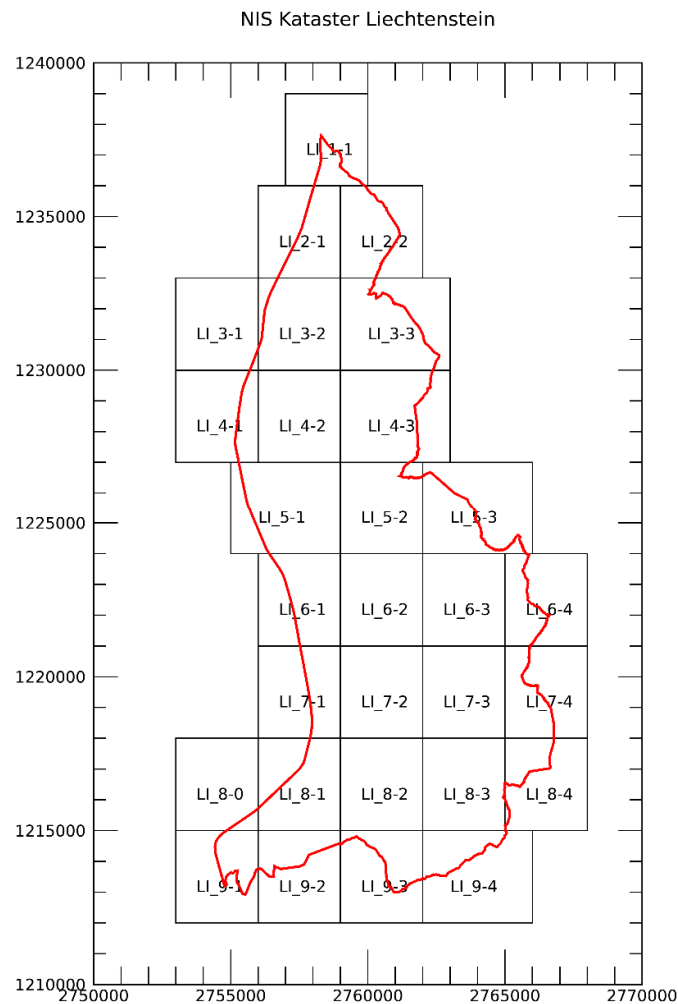


Abbildung 1: Aufteilung des Modellgebietes in Kacheln für die Berechnung der Feldstärkekarten.

2.1.2 Geländemodell

Da zusätzlich starke Rundfunksender aus den Nachbarländern, insbesondere die starken Sender auf dem Säntis und auf dem Pfänder bei Bregenz mit weit mehr als 100 kW Leistung, berücksichtigt wurden, umfasst das verwendete digitale Geländemodell zusätzliche Teile aus der Schweiz und Österreich.

Das digitale Geländemodell basiert auf dem Datensatz swissALTI3D⁴ des Bundesamtes für Landestopographie der Schweiz swisstopo in 0.5 m horizontaler Auflösung und auf dem digitalen Geländemodell (DGM) Österreichs⁵ mit 10 m horizontaler Auflösung. Beide Datensätze wurden zu einem digitalen Höhenmodell für die NIS Kataster Rechnung Liechtenstein mit horizontaler Auflösung von 5 m x 5 m zusammengeführt. Abbildung 2 zeigt das zusammengesetzte digitale Höhenmodell und dessen Ausdehnung. Es ist nötig, das Geländemodell bis zum Bodensee zu verwenden, auf Grund der hohen Sendeleistung der Anlage auf dem Pfänder Turm. Im Westen reicht die Ausdehnung bis zum Säntis.

⁴ © swisstopo

⁵ Datenquelle: data.gv.at

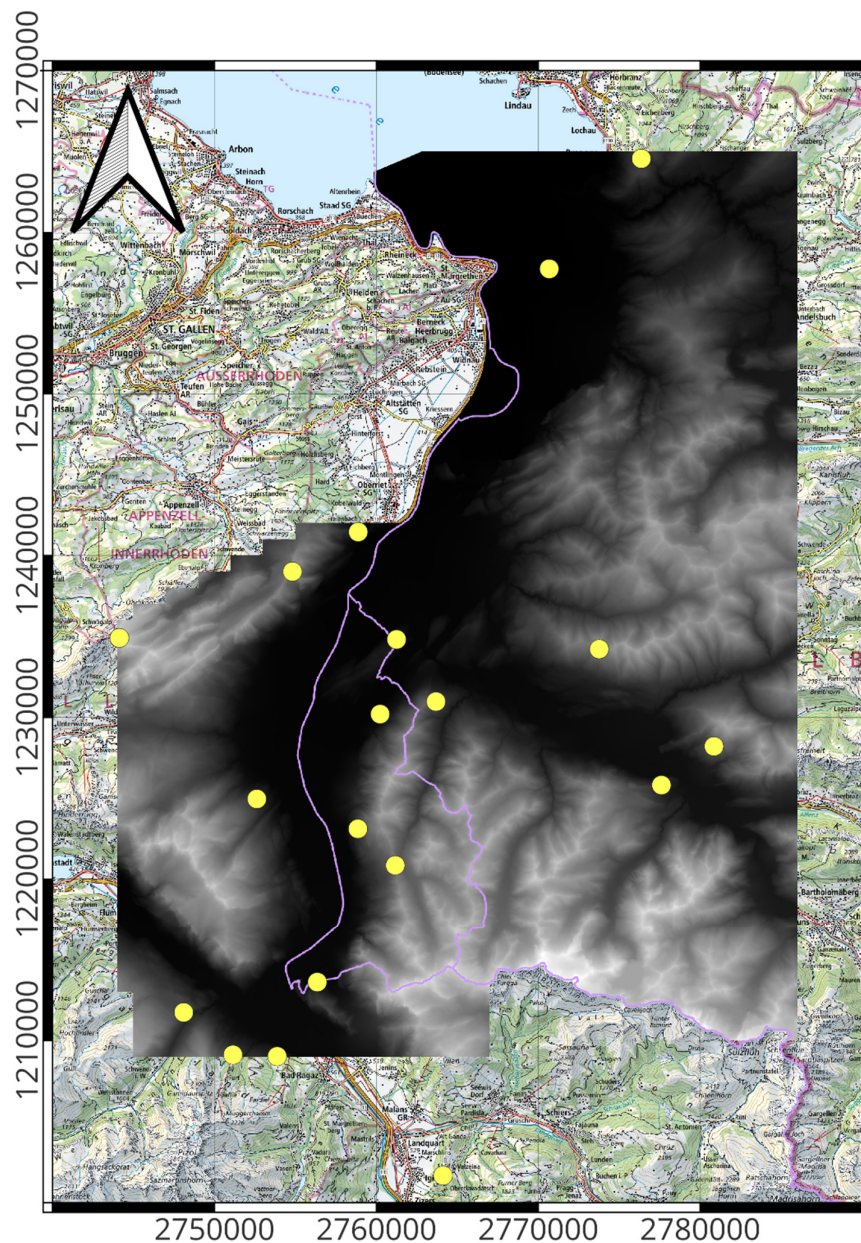


Abbildung 2: Das zusammengesetzte digitale Höhenmodell (Graustufen-Layer) für Liechtenstein und Teile der Schweiz und Vorarlberg. Die gelben Punkte markieren Standorte mit verwendeten Rundfunkseanlagen im In- und Ausland mit Einfluss auf das Modellgebiet in Liechtenstein. (© swisstopo und data.gv.at)

2.1.3 Gebäudemodell

Gebäude beeinflussen die Ausbreitung der Strahlung erheblich. Sie wirken dämpfend und werfen analog wie bei der Lichtausbreitung einen Schatten auf der von der Quelle abgewandten Seite. Als Basis für die Gebäuderepräsentation diente der Datensatz swissBUILDINGS3D in der Version 2.0⁶ des Bundesamtes für Landestopographie der Schweiz. Daraus wurden die Schrägdächer extrahiert und in NISMap abgelegt. Fassaden wurden von den Dachkanten vertikal nach unten gezogen. Als Beispiel, wie die Dachflächen in NISMap erfasst sind, wurde das Schloss Vaduz in Abbildung 3 dargestellt. Als Vergleich dient die Visualisierung von <https://map.geo.admin.ch/>.

Es wurde der gesamte swissBUILDINGS3D V2.0 Datensatz des Landes Liechtenstein – Stand der Daten 2019 – für NISMap aufbereitet und importiert. Total wurden 23'258 Gebäude erfasst.

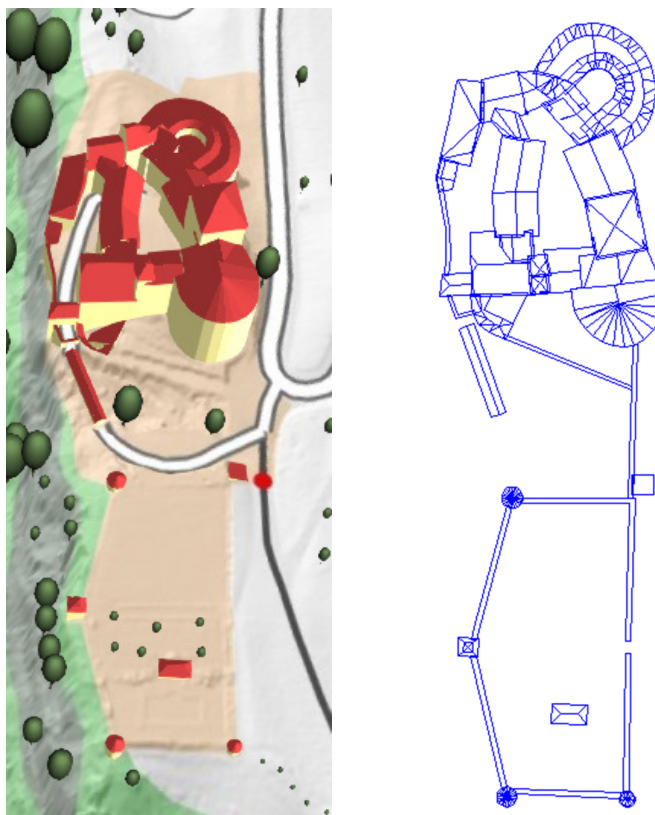


Abbildung 3: Repräsentation der dreidimensionalen Dachflächen aus dem swissBUILDINGS3D Datensatz (© swisstopo). Die Darstellung zeigt das Schloss Vaduz. Links, die Visualisierung der swisstopo in map.geo.admin.ch und rechts, wie es in NISMap repräsentiert wird.

⁶ © swisstopo

2.1.4 Datengrundlagen der Sendeanlagen

Das Modell berücksichtigt folgende Arten von Sendeanlagen und Funkeinrichtungen:

- Mobilfunk: Betriebsdaten der Sendeanlagen der Mobilfunknetzbetreiber in Liechtenstein sowie GSM-Rail mit Stand Juli 2022. (Datenquelle: Mobilfunkbetreiber)
- Rundfunk/Broadcast: Betriebsdaten der Radiosender analog (UKW) und digital (DAB), sowie Fernsehsender (DVB-T). DVB-T ist vor allem in Österreich in Betrieb. In der Schweiz wird einzig auf dem Berg «Hoher Kasten» ein DVB-T Sender betrieben, welcher aber Liechtenstein abgewandt ins Appenzellerland strahlt. (Datenquelle: BAKOM⁷ und RTR⁸)
- Polycom: nationales Funksystem der Behörden und Organisationen für Rettung und Sicherheit (BORS). Bekannt sind die bewilligten Leistungen, welche für die Modellierung verwendet wurden. Über das effektive Betriebskonzept ist nichts bekannt.
- Funkruf: Über allfällige Telepaging Sender sind keine Angaben vorhanden.

2.2 Messkampagne

Zur Überprüfung der Qualität des Modells, wurde eine temporäre Messkampagne durchgeführt. Während zwei Tagen wurde in mindestens einer Messregion pro Gemeinde ein Datensatz von 10 bis 15 Messpunkten entlang einer Messstrecke in Abständen von circa 10 m zwischen den einzelnen Punkten in 1.5 m über Boden aufgenommen. Die einzelnen Messungen wurden über rund 10 Sekunden gemittelt. Es wurde bei der Planung darauf geachtet, dass die einzelnen Messpunkte in unterschiedlicher Position zu den Sendeanlagen aufgenommen wurden, so dass diese möglichst unterschiedliche Expositionsbedingungen repräsentieren. Das bedeutet, dass sowohl Messpunkte mit direkter Sicht auf die Antenne (LOS: Line Of Sight), als auch in abgeschatteten Bereichen (non-LOS) aufgenommen wurden, so dass eine repräsentative Statistik an Messdaten zu Stande kommt. Die Messungen wurden in einer Region nach der anderen durchgeführt. Gemessen wurde tagsüber. Die Messkampagne dauerte total zwei Tage. Somit beinhaltet die Statistik Messinformation über den ganzen Tag verteilt.

Bei der Auswertung wird eine Punktmessung mit einem modellierten Tages-Mittelwert verglichen. Wegen der zeitlichen Adaption der Leistung der Mobilfunksendeanlagen je nach Auslastung führt dies automatisch zu einer Streuung in der Statistik. Um eine statistisch belastbare Aussage machen zu können, ist es

⁷ Bundesamt für Kommunikation der Schweiz

⁸ Rundfunk und Telekom Regulierungs-GmbH, Österreich

deshalb nötig, eine genügend grosse Stichprobe mit Messpunkten von verschiedenen Tageszeiten zu haben.

2.2.1 Messgerät

Die Messungen erfolgten mit einem NARDA SRM-3006 Messgerät (Abbildung 1Abbildung 4), im RMS-Modus, frequenzselektiv mit einer Auflösung von 200 kHz, jeweils integriert über die interessierenden Frequenzbänder. Die gemessenen Frequenzbänder sind in Tabelle 1 aufgelistet. Sämtliche in der Modellrechnung berücksichtigten Frequenzbänder werden auch in der Validierung gemessen. Das Messgerät wurde so konfiguriert, dass es auch die zukünftigen Frequenzbänder bei 700, 1'400 und 3'600 MHz abdeckt. Diese Frequenzbänder werden in Liechtenstein ab 2023 für die Betreiber freigegeben sein. Für DAB wird das ganze VHF III Band gemessen. Ebenso für DVB-T je im Band UHF IV und UHF V. WLAN bei 2.4 GHz wurde gemessen, wird aber nicht modelliert und deshalb auch nicht ausgewertet. Die Koordinaten der Messpunkte wurden mit GPS bestimmt und zur Nachvollziehbarkeit allfälliger Abweichungen photographisch dokumentiert. Die GPS-Koordinaten zeigten Unsicherheiten von 5-10 m.



Abbildung 4: Messpunktaufnahme bei Steg mit dem NARDA SRM-3006 Messgerät und mit interessierten Beobachtern.

Tabelle 1: Frequenzbänder der Validierungsmessungen.

Funkdienst, Frequenzband	Frequenzbereich [MHz]	Verwendung
UKW	87.5 – 108	Radio
TPS I+II	147 – 148	Funkruf
TPS III	169 – 170	Funkruf
DAB	174 – 230	Digitalradio (in VHF III)
Tetrapol	390 – 400	Polycom (Sicherheitsfunk)
UHF IV	470 – 582	DVB-T
UHF V	582 – 702	DVB-T
700 MHz	738 – 788	Mobilfunk Basisstationen ⁹
800 MHz	791 – 821	Mobilfunk Basisstationen ¹
GSM-R	921 – 925	GSM-Rail (Bahn)
900 MHz	925 – 960	Mobilfunk Basisstationen ¹
1'400 MHz	1'427 – 1'518	Mobilfunk Basisstationen ¹
1'800 MHz	1'805 – 1'880	Mobilfunk Basisstationen ¹
2'100 MHz	2'110 – 2'170	Mobilfunk Basisstationen ¹
WLAN ¹⁰	2'400 – 2'483.5	Drahtlose Computernetzwerke
2'600 MHz TDD	2'570 – 2'620	Mobilfunk Basisstationen ¹
2'600 MHz	2'620 – 2'690	Mobilfunk Basisstationen ¹
3'600 MHz	3'500 – 3'800	Mobilfunk Basisstationen ¹

2.2.2 Messgeräterauschen

In Gebieten mit schwachem Feld, meist an abgeschatteten Orten, sind die Rohwerte und das Eigenrauschen des Messgerätes in der gleichen Grössenordnung. Für die Auswertungen wurde das Rauschen $E_i(\text{Rauschen})$ vom Rohwert $E_i(\text{Rohwert})$ subtrahiert, um den wahren Messwert $E_i(\text{Messung})$ zu erhalten.

$$E_i(\text{Messung}) = \sqrt{E_i^2(\text{Rohwert}) - E_i^2(\text{Rauschen})} \quad (1)$$

Die Feldstärken werden quadratisch subtrahiert, da es sich um Effektivwerte (d.h. RMS-Mittelwerte) handelt. Wenn die Differenz unter der Wurzel in Gleichung (1) negativ ist, wird das Resultat auf null gesetzt, was bei sehr kleinen Messwerten

⁹ Gemessen (und modelliert) wird das Summenfeld für alle im jeweiligen Frequenzband verwendeten Technologien (GSM, UMTS, LTE, NR).

¹⁰ WLAN wird in der Modellierung nicht berechnet. Weitere Bänder für WLAN existieren bei 5.15-5.35 GHz und bei 5.47-5.72 GHz, werden aber im NIS Kataster Projekt weder gemessen noch berechnet.

gelegentlich vorkommt. Das Rauschen wird für jedes gemessene Band separat bestimmt. Es ist unter anderem abhängig von der Frequenz, der Bandbreite und dem eingestellten Messbereich.

Die Messung des Rauschens wurde in einem Raum mit vernachlässigbarem Einfluss von Mobil- und Rundfunk im Tiefenlabor der Universität Bern durchgeführt.

2.2.3 Auswertungen

Die Auswertung erfolgt nicht spezifisch für einzelne Punkte oder Orte, sondern global als Mittelung über alle Messpunkte.

Für die Validierung werden mit dem Berechnungsmodell die Feldstärken für die Koordinaten der Messpunkte berechnet und mit den gemessenen Werten verglichen. Die Güte der Übereinstimmung von Modell und Messung lässt sich nicht ganzheitlich durch ein einziges Mass bestimmen. Für die Beurteilung werden deshalb unter anderem die folgenden Grössen verwendet:

$$\delta_i = E_i(\text{Modell}) - E_i(\text{Messung}) \quad (2)$$

ist die Abweichung der Feldstärke von Modell und Messung am i -ten Messpunkt,

$$\langle \delta \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \delta_i \quad (3)$$

ist die mittlere Abweichung (Bias) für n Punkte,

$$\langle E_{\text{Messung}} \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i(\text{Messung}) \quad (4)$$

ist der Mittelwert der Messung. Der (relative) Offset ist

$$\Delta = \frac{\langle \delta \rangle}{\langle E(\text{Messung}) \rangle}, \quad (5)$$

berechnet als Quotient aus der mittleren Abweichung von Modell und Messung und dem Mittel der Messung.

$$\sigma_{\text{dB}} = \text{Standardabweichung von } \{P_i(\text{Modell}) - P_i(\text{Messung})\}, \quad (6)$$

wo

$$P_i = 20 \cdot \log \left(\frac{E_i}{1 \text{ V/m}} \right), \quad (7)$$

der in dB ausgedrückte Pegel der Feldstärke ist (vgl. [5], S. 36).

σ_{dB} ist ein Mass für die relative Abweichung von Modell und Messung.

Weitere Grössen sind:

- **F2**: Der Anteil der Punkte, wo Modell und Messung besser als einen Faktor 2 übereinstimmen (ausgedrückt in Prozent)
- **F4**: Der Anteil der Punkte, wo Modell und Messung besser als einen Faktor 4 übereinstimmen (ausgedrückt in Prozent)
- ρ_P : Der Pearson Korrelationskoeffizient
- ρ_S : Der Spearman Rank-Order-Korrelationskoeffizient.

Berechnet werden diese Grössen sowohl für das Summenfeld als auch für die einzelnen Frequenzbänder. Für das Summenfeld werden die Leistungsflussdichten aller Frequenzbänder der Modellierung aufaddiert.

3 Auswertungen und Resultate

3.1 Sendeanlagen

Abbildung 5 zeigt die räumliche Verteilung der Sendeanlagen. Im Ausland (Österreich, Schweiz) wurden nur die Rundfunksender, sowie eine Polycom Antenne in Sevelen berücksichtigt. Für Mobilfunk wurden nur Anlagen auf dem Gebiet des Fürstentums Liechtenstein berücksichtigt. Total sind es 84 berücksichtigte Sendeanlagen (Tabelle 2).

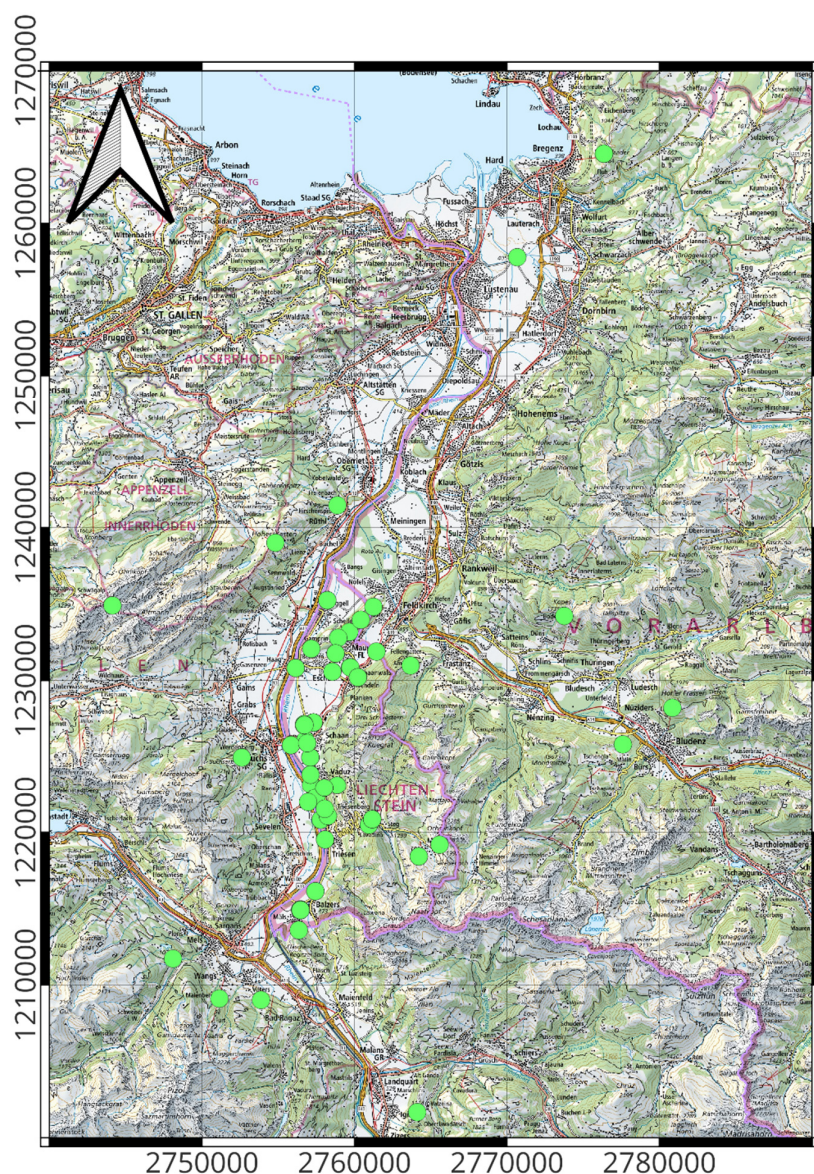


Abbildung 5: Berücksichtigte Sendeanlagen (grüne Punkte). Die Anlagen im Ausland sind Rundfunk oder Polycom zuzuordnen.

Tabelle 2: Anzahl Sendeanlagen nach Typ.

Typ	Anzahl Sendeanlagen
Mobilfunk (inkl. Mikrozellen und GSM-Rail)	59
Rundfunk	20
Polycom	5

3.2 Frequenzbänder und Funkdienste für Mobilfunk

Im Juli 2022 waren die Bänder bei 800 (791 – 821), 900 (925 – 960), 1'800 (1'805 – 1'880), 2'100 (2'110 – 2'170) und 2'600 (2'620 – 2'680) MHz mit den Technologien GSM (2G), UMTS (3G) und LTE (4G) konzessioniert. Die Frequenzbereichsangaben sind jeweils für den Downlink. Die Betreiber sind frei welche Technologie in welchen Frequenzbändern verwendet wird. Tabelle 3 listet die Anzahl Funkzellen auf. 53% der Funkzellen sind LTE, 39% UMTS und 8% GSM.

Für GSM-Rail für den Eisenbahnverkehr ist das Band 921 – 925 MHz reserviert.

Im Dezember 2022 wurden zusätzlich die Frequenzbänder bei 700 (738 – 753 und 758 – 788), 1'400 (1'427 – 1'517) und 3'600 (3'410 – 3'800) MHz konzessioniert und die NR (5G) Technologie freigegeben.

Tabelle 3: Anzahl Funkzellen mit ERP (effective radiated power) grösser als 6 W gemäss Betriebsdaten Mitte Jahr. Es sind Funkdienste der Mobiltelefonie (ohne GSM-R) in Liechtenstein gelistet. Ebenfalls angegeben ist das Total über alle Funkdienste.

Funkdienst	2022
GSM 900	44
UMTS 900	81
UMTS 2100	128
LTE 800	36
LTE 900	26
LTE 1800	104
LTE 2100	66
LTE 2600	49
Total	534

3.3 Feldstärkekarten

Im Sommer 2022 wurde die flächendeckende Modellrechnung der NIS-Belastung in Liechtenstein zum ersten Mal durchgeführt. Stichtag für die Mobilfunkdaten

war der 1.7.2022. Stand der Daten für Rundfunk Liechtenstein und Schweiz für UKW 1.4.2022, DAB 17.8.2022, für Österreich 19.8.2022.

Abbildung 6 zeigt die Karte der Summenfeldstärke des hochfrequenten elektrischen Feldes in 1.5 m über Boden. Der stärkst belastete Ort liegt lokal rund um den Sendemast auf dem Kulm auf dem Grat oberhalb von Steg ausserhalb des Siedlungsgebietes mit bis zu 16 V/m. Die Sendeanlage ist dafür ausgelegt, den Weiler Steg und das ganze Saminatal zu versorgen. Ansonsten lassen sich höhere Feldstärken in den Siedlungsgebieten der grösseren Ortschaften finden. Diese liegen allerdings in der Grössenordnung von 1 V/m in 1.5 m über Boden. Auf den Berggipfeln ist die Belastung sehr klein.

Elektrische Feldstärke 2022

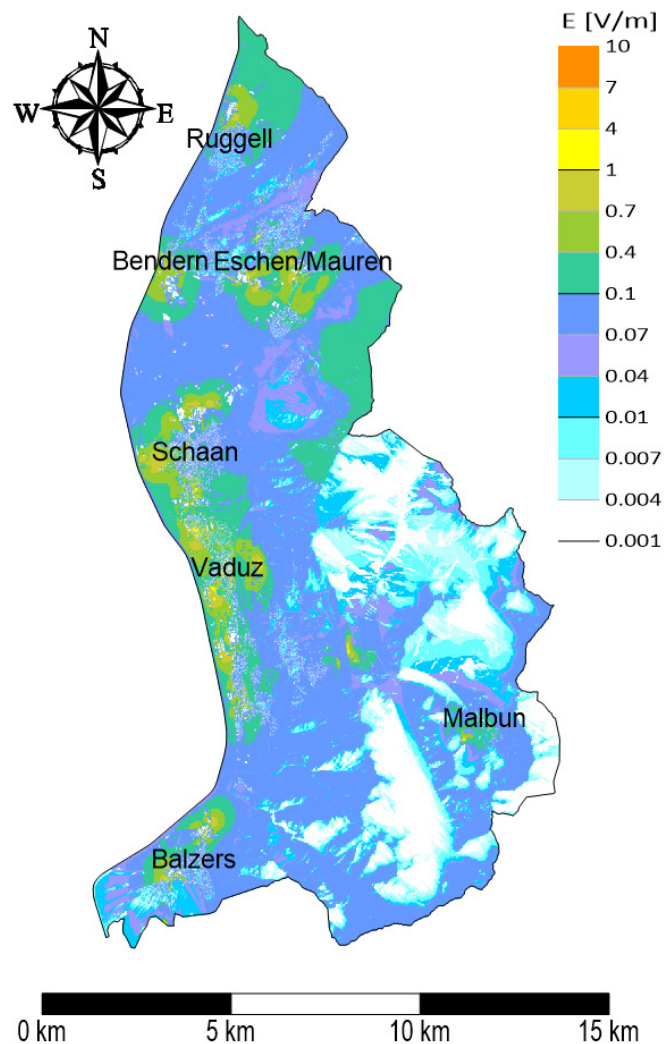


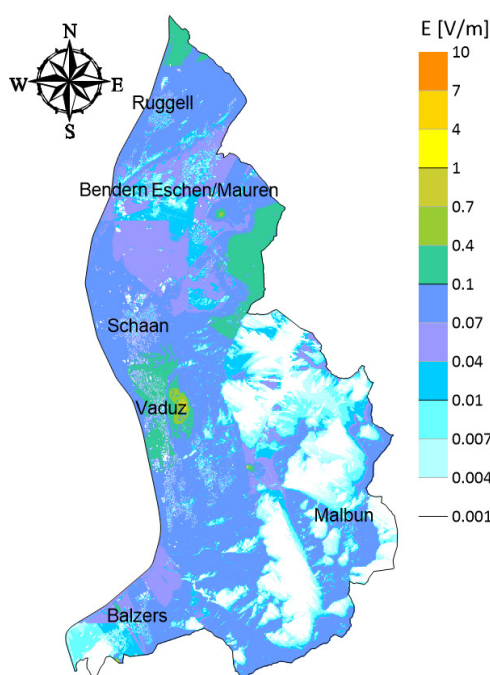
Abbildung 6: Karte der Summenfeldstärke des hochfrequenten elektrischen Feldes für 2022. Räumliche Auflösung 5 m. Beschriftet sind die grösseren Ortschaften von Liechtenstein.

Die Summenfeldstärke lässt sich auch spezifisch nach Sendeanlagentyp aufteilen. Abbildung 7 zeigt dieselbe Karte mit den Anteilen für Rundfunk sowie für Mobilfunk.

Für Rundfunk zeigt sich als einziger Hotspot der Sender bei Erbi oberhalb von Vaduz, der die ganze Region Vaduz mit Radio versorgt. Rundfunksender können grossflächig Einfluss haben. Dies zeigt sich am grünen Fleck bei den «Drei Schwestern» im Nordosten von Liechtenstein. Der über 2'000 m hohe Bergzug wird vom Radiosender auf dem Säntis in 19 km Entfernung angestrahlt. An der Nordspitze des Landes ist das Rundfunksignal von den österreichischen Sendeanlagen bemerkbar (grüner Fleck nördlich von Ruggell).

Der Anteil durch Mobilfunk ist vor allem im Siedlungsgebiet leicht erhöht, während im Berggebiet nur ganz schwache Feldanteile zu finden sind.

Elektrische Feldstärke Rundfunk 2022



Elektrische Feldstärke Mobilfunk 2022

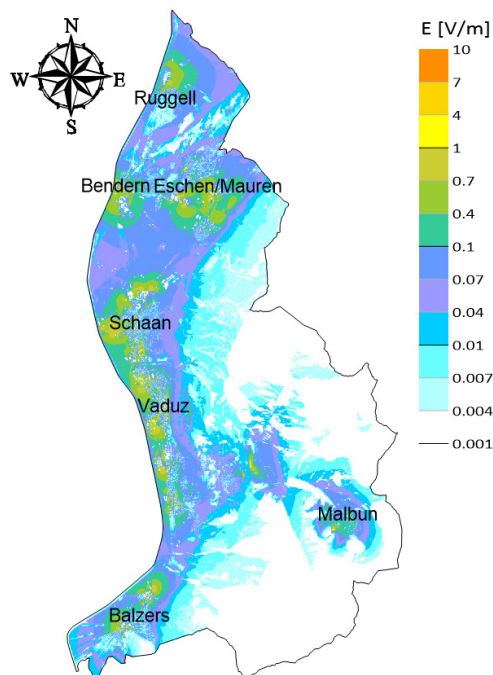


Abbildung 7: Karte der Feldstärke verursacht durch Rundfunk (links) und Mobilfunk (rechts) für 2022. Auflösung 5 m. Beschriftet sind die grösseren Ortschaften von Liechtenstein.

Auf der Karte für die Rundfunkanteile sind im Gebiet zwischen Schaan und Bendern/Eschen/Mauren zwei Diskontinuitäten erkennbar. Diese liegen an der Grenze der Kachel 4_2 zu 3_2 und 4_3. In letzteren beiden ist der Radiosender Buchs Hinterberg (Schweiz) nicht in der Liste der berücksichtigten Antennen enthalten. Diese Sendeanlage wurde auf Grund der Kriterien Distanz und

Leistungsbeitrag bei diesen Kacheln nicht berücksichtigt. Die dadurch entstehende Unsicherheit liegt im 10 mV/m Bereich.

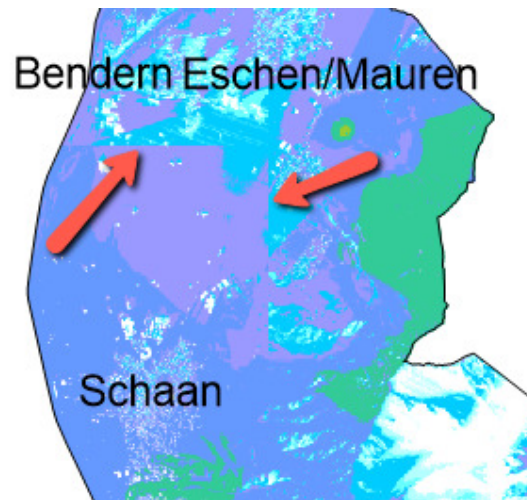


Abbildung 8: Diskontinuitäten in der Karte für Rundfunk. Rote Pfeile markieren zwei Diskontinuitäten an Kachelgrenzen.

Erstellt wurden zusätzlich Karten für die einzelnen Mobilfunkdienste, welche hier nicht abgebildet werden. Diese wurden separat geliefert.

4 Modell-Validierung

Bei der Messkampagne 2022 wurden total 200 Messpunkte aufgenommen. Die Lage der Messpunkte ist in Abbildung 9 ersichtlich. Gemessen wurde an den Orten Benden-Rheinbrücke, Gamprin, Ruggell, Schellenberg Nord und Süd, Mauren Nendeln, Planken, Schaan, Vaduz, Triesenberg, Steg, Malbun, Triesen und Balzers.

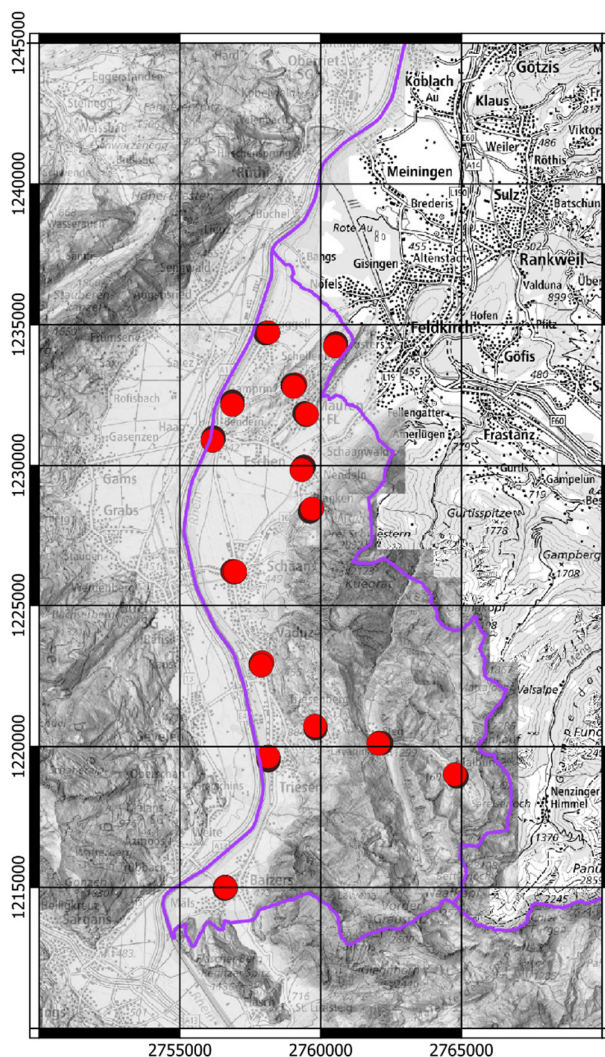


Abbildung 9: Messpunkte der Validierungsmessungen 2022. (Hintergrundkarte: © swisstopo).

4.1 Ausgewählte Messbeispiele

Abbildung 10, Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen die Messresultate von Benden, Triesen und Balzers im direkten Vergleich zur berechneten Feldstärkekarte. Die Mess- und Modellwerte liegen im Bereich von 0.0 – 0.5 V/m. Die

Beispiele zeigen interessante Effekte bezüglich Abschattung und Nebenkeulen. Die Messungen zeigen diese Effekte ebenfalls und stimmen in der Grössenordnung mit dem Modell überein.

- **Bendern** (Abbildung 10): Die Sendeanlage befindet auf einem freistehenden Mast südseitig der Rheinbrücke am Rheinufer. Die Messung wurde auf dem Uferweg entlang des Rheins durchgeführt. Das modellierte Feld zeigt einen Halbmond-förmiges gelbes Muster um den Mast, ein zweites kleines Maximum bei den drei grünen Messpunkten von 0.3-0.4 V/m und dann wieder ein stärkeres Maximum weiter nördlich (gelbes Muster im nördlichen Teil der Abbildung 10). Die Zu- und Abnahmen entlang des Messpfades sind auf die Nebenkeulen der Antennen (Abbildung 11) zurückzuführen. Die Nebenkeulen bei -30° vertikalem Tilt erzeugen das Halbmondmuster. Die Nebenkeule bei -12° Tilt das kleine Maximum bei den mittleren Messpunkten und die Hauptkeule das wiederum stärkere Signal (gelbe Farbe) beim nördlichsten Messpunkt. An diesem Standort wurde probenhalber auch das Band bei 3'600 MHz ausgemessen, da auf der anderen Seite des Rheins auf Schweizer Boden eine Antenne in diesem Band montiert ist. Die gemessenen Beiträge waren aber vernachlässigbar klein und in der Grössenordnung des Rauschsignals.
- **Triesen** (Abbildung 12): Die Sendeanlage steht auf dem Gebäude von Swarovski. Die Messung wurde entlang des Kanalweges durchgeführt. Zu Beginn mit direkter Sicht auf die Antenne, danach durch das Gebäude abgeschattet. Bei Eintritt in den Strahlungs-Schatten nahm die Feldstärke um Faktor zwei bis drei ab. Dies zeigte sich im Modell und in der Messung.
- **Balzers** (Abbildung 13): Die Sendeanlage steht auf dem Gebäude von Oerlikon Surface Solutions. Die Messung wurde entlang des grossen Parkplatzes südostseitig durchgeführt. Die Messpunkte waren von den Gebäuden abgeschattet. Auch die Modellierung zeigt den ganzen Parkplatz in Abschattung. Das modellierte Feld nimmt auf der Südseite des an den Parkplatz angrenzenden Baches zu, wo direkte Sicht auf die Antennen vorhanden ist.

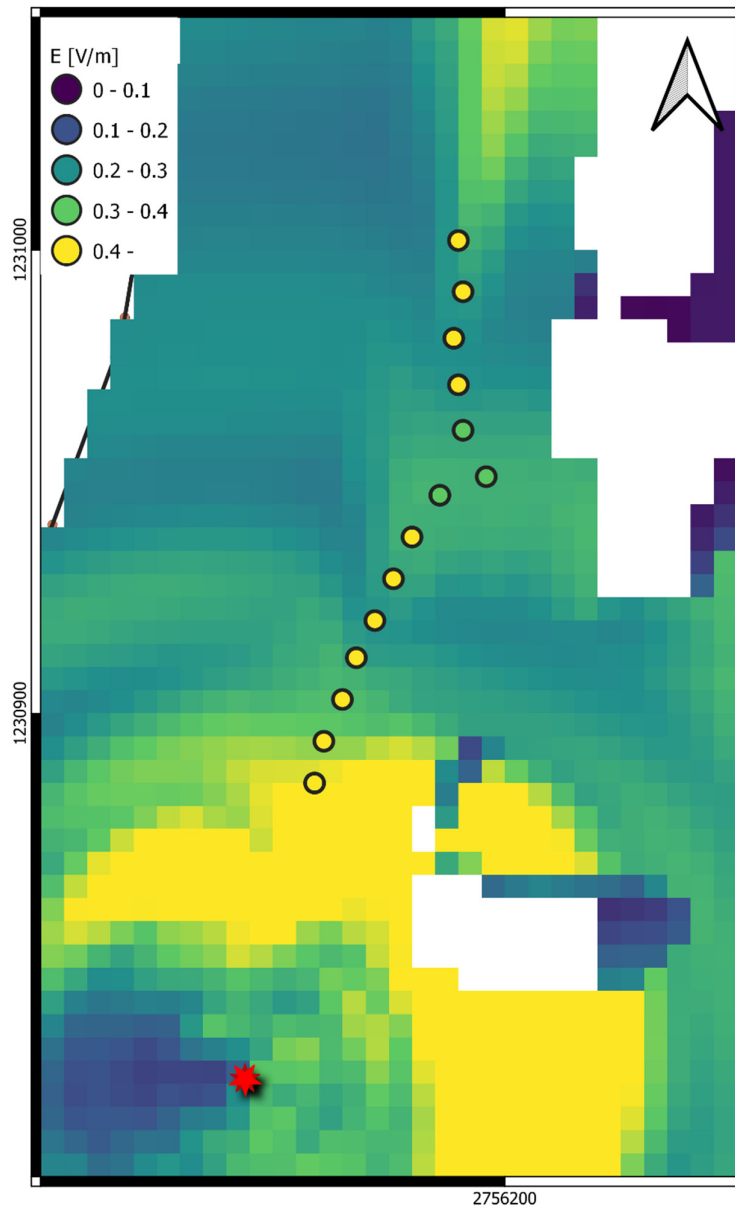


Abbildung 10: Messung in Bendorf bei der Rheinbrücke. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weiße Gebiete sind Gebäude oder ausländisches Gebiet (Nordwesten).

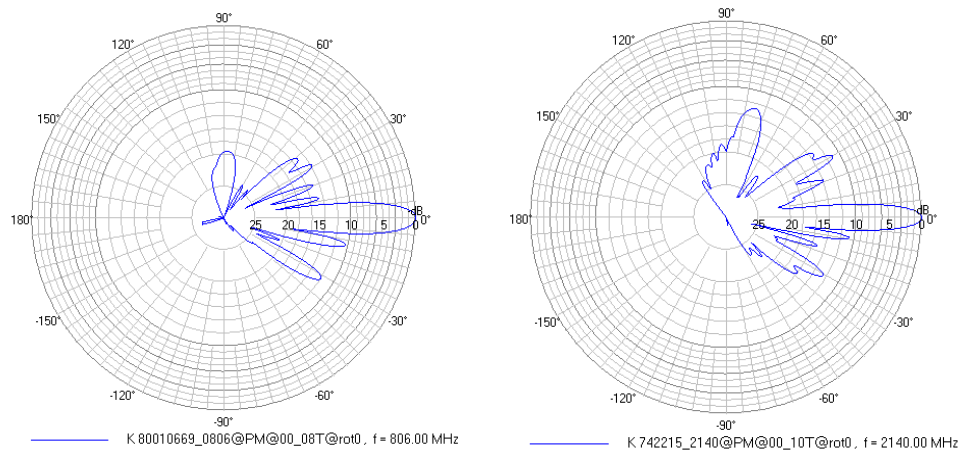


Abbildung 11: Vertikale Antennendiagramme der Antennen Kathrein 80010669 im 800 MHz Band (links) und 742215 im 2100 MHz Band (rechts).

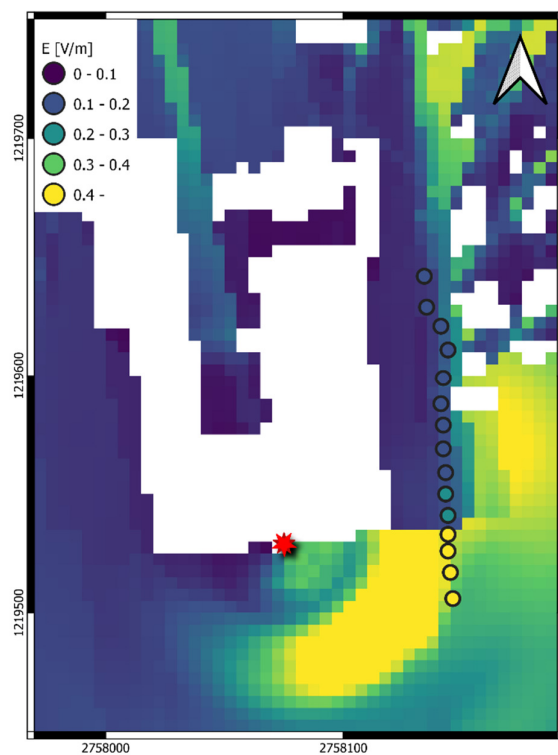


Abbildung 12: Messung in Triesen beim Swarovski Gebäude. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weisse Gebiete sind Gebäude.

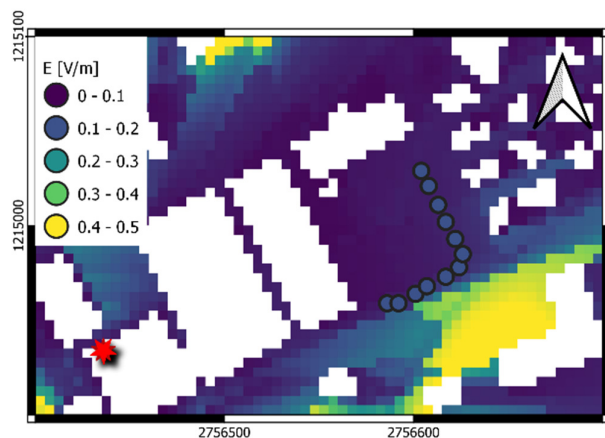


Abbildung 13: Messung in Balzers beim Oerlikon Gebäude. Rote Sterne bezeichnen Sendeanlagen. Der farbige Hintergrund ist die Feldstärkekarte des Summenfeldes. Die farbigen Punkte zeigen die Messpunkte in gleicher Farbskala. Weisse Gebiete sind Gebäude.

4.2 Resultate der Validierung

Die Resultate der Validierung sind in Tabelle 4 zusammengefasst. Die Summenfeldstärke ist leicht unterschätzt, liegt aber in der richtigen Grössenordnung. Die mittlere Abweichung (Bias) liegt im Jahr 2022 bei -23%. In 61% der Fälle stimmt das Modell mit der Messung um einen Faktor 2 überein, in 94% um einen Faktor 4 (Grössen F2 und F4 in Tabelle 4 oder auch Punkt innerhalb der gestrichelten Bändern im Scatterplot in Abbildung 14). Die Streuung σ_{dB} beträgt 3.25 dB, entsprechend einer Modellungenauigkeit um einen Faktor 1.45 (in der Feldstärke), bzw. im Bereich von -31% bis +45%. Die Korrelationskoeffizienten nach Pearson und Spearman für die Summenfeldstärke betragen 0.80, respektive 0.76.

Die grössten Beiträge zur (gemessenen) Feldstärke kommen von den Mobilfunkbändern 900 MHz (42%), 2100 MHz (20%), 1800 MHz (14%) und 800 MHz (11%). Rundfunk (UKW, DAB, DVB-T) trägt mit einem Anteil von 6% bei. Einen spürbaren Anteil von DVB-T-Frequenzen konnte nur in den Regionen von Ruggel, Gamprin, auf dem Schellenberg und in Planken ermittelt werden. Diese Signale stammen aus dem Vorarlberg.

Für die einzelnen Mobilfunkbänder (800/900/1800/2100/2600) gehen die Resultate in eine ähnliche Richtung, stimmen aber etwas weniger gut als für das Summenfeld. Die Beiträge der verschiedenen Bänder werden vom Modell relativ zur Messung verschieden stark unterschätzt (800 MHz: -55%, 900 MHz: -35%, 1800 MHz: -40%, 2100 MHz: -10%, 2600 MHz: -15%). Die Rundfunkbandanteile weichen im Mittel um +3.5% (UKW) und -18.9% (DAB) ab. Bei DVB-T ist es -55%. Hier gibt es aber bei der Messung des Rauschens eine grössere Unsicherheit, weswegen ein zu kleiner Wert abgezogen wurde.

Zur Über- bzw. Unterschätzung der Feldstärken für das Summenfeld und die Beiträge in den einzelnen Frequenzbändern ist zu bemerken, dass die Werte der Modellparameter nicht das Resultat einer Anpassung an die Validierungsmessung, sondern unabhängig davon jeweils so gut wie möglich abgeschätzt worden sind.

Abbildung 14 zeigt einen Scatterplot der Summenfeldstärke zwischen Modell und Messung. Eingezeichnet ist auch die Hauptdiagonale, wo der modellierte Wert mit dem Messwert übereinstimmt: Parallel dazu sind zwei gestrichelte Geraden eingezeichnet, welche die Abweichung des modellierten Wertes vom Messwert um die Faktoren 2 und 4 markieren. Pro Messstandortgruppe wurde für diese Abbildung eine Farbe gewählt. Dies hilft der Identifikation allfälliger kleinräumiger Modell- oder Messunsicherheiten. Die Mehrheit der Punkte liegt innerhalb dieser Bänder. Die Übereinstimmung bei höheren Feldstärken ist besser, bei tieferen ist die Streuung grösser. Insbesondere bei den ganz tiefen Werten ist die Messung tendenziell höher als das Modell. Da die Messwerte dort aber auch sehr nah am Eigenrauschen des Geräts liegen, kann das auch an einer Unterschätzung des Rauschens liegen.

Dasselbe Bild zeigt sich auch bei der analogen Grafik für die Rundfunkbänder (Abbildung 15). Bei DVB-T sind die gemessenen Werte bei 0.01 V/m «abgeschnitten». Das Rauschen für das Band wurde mit 0.004 V/m bestimmt. Da insbesondere im südlichen Teil Liechtensteins kein messbares DVB-T Signal zu erwarten ist, und ein grosser Teil dieser Werte aus dieser Region stammen, ist doch anzunehmen, dass das Rauschen eher bei 0.01 V/m liegen müsste.

Abbildung 16 zeigt dieselbe Grafik für die Mobilfunkbänder. Das gleiche Bild ist erkennbar. Bei höheren Feldstärken ist die Übereinstimmung besser und bei tieferen Werten streut es deutlich mehr. Auch hier zeigen sich mögliche Unsicherheiten beim Wert des Rauschens.

Generell gilt, dass grössere Feldstärken mit direkter Sicht zu Sendeanlagen zugeordnet werden können, während kleinere Feldstärken in der Regel in abgeschatteten Bereichen zu finden sind. Bei Messpunkten mit indirekter Sicht zur Antenne wird die Feldstärke durch Hindernisse wie Gebäude, Gelände oder Bäume gemindert, was schwieriger zu modellieren ist.

Tabelle 4: Statistische Grössen für den Vergleich Modell – Messung aus den Validierungsmessungen 2022, für die wichtigsten Bänder und das Summenfeld (Summe über alle Bänder der Modellrechnung). F2 bzw. F4 sind die prozentualen Anteile der Punkte, an denen die Feldstärken aus Messung und Modellrechnung besser als ein Faktor zwei bzw. vier übereinstimmen. Das „Mittel der Messung“ ist der arithmetische Mittelwert (nicht RMS) über alle Messpunkte.

	UKW	DAB	DVB-T	800 MHz	GSM-R	900 MHz	1800 MHz	2100 MHz	2600 MHz	Summenfeld ¹
Mittlere Differenz (Modell – Messung), V/m	0.001	-0.004	-0.01	-0.027	0.001	-0.035	-0.023	-0.007	-0.004	-0.042
Standardabweichung (Modell – Messung), V/m	0.016	0.012	0.014	0.04	0.066	0.072	0.061	0.063	0.026	0.114
Δ : Mittlere Differenz/Mittel der Messung, %	0.035	-0.189	-0.561	-0.551	0.064	-0.354	-0.399	-0.102	-0.153	-0.232
Standardabweichung/Mittel der Messung, %	0.561	0.581	0.765	0.819	3.518	0.738	1.071	0.932	0.907	0.629
Mittlere Differenz, dB	-0.007	-1.81	-15.158	-7.886	-16.486	-4.919	-5.368	-3.399	-8.165	-1.972
σ_{dB} : Standardabweichung (Modell – Messung), dB	2.458	3.05	20.466	10.127	18.642	6.615	8.326	6.612	13.127	3.253
F2: Anteil besser als Faktor 2 (in E), %	82	85	24	35	64	35	56	69	87	61
F4: Anteil besser als Faktor 4 (in E), %	98	100	42	50	69	63	82	93	94	94
ρ_P : Pearson Korrelationskoeffizient	0.82	0.72	0.73	0.89	0.83	0.8	0.64	0.73	0.84	0.80
ρ_S : Spearman Korrelationskoeffizient (Rank-Order)	0.64	0.85	0.87	0.85	0.61	0.88	0.85	0.85	0.84	0.76
$\langle E(\text{Messung}) \rangle$: Mittel der Messung, V/m	0.028	0.021	0.018	0.049	0.019	0.098	0.057	0.068	0.029	0.182
Standardabweichung Messung, V/m	0.027	0.016	0.013	0.059	0.091	0.104	0.073	0.077	0.046	0.166
Rauschen, V/m	0.016	0.017	0.004	0.006	0.002	0.007	0.01	0.013	0.019	
Signal/Rauschen (für Mittel)	1.8	1.3	4.6	8.4	9.3	15	5.6	5.1	1.5	
Beitrag zum Total der Messung ¹ , %	3	2	1	11	2	42	14	20	4	
Anzahl Messpunkte	200									

¹ Summiert über die Bänder der Modellrechnung, bezogen auf die Strahlungsflussdichte.

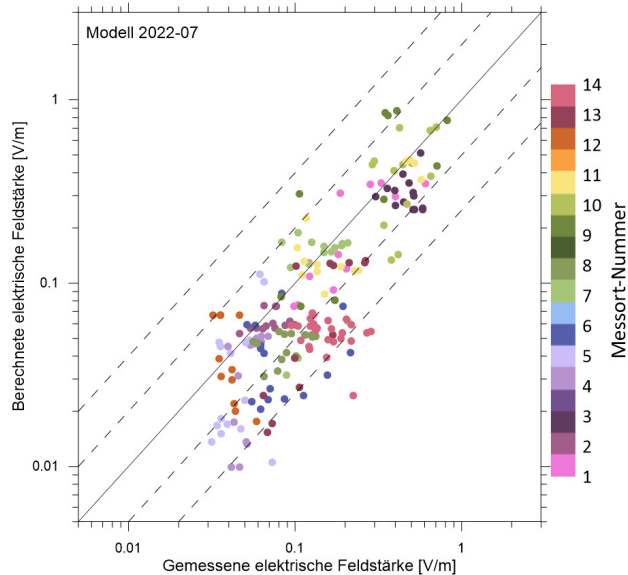


Abbildung 14: Vergleich der Summenfeldstärke von Modell und Messung für die Validierungsmessungen 2022. Die schraffierten Linien bezeichnen Abweichungen zwischen Modell und Messung von jeweils einem Faktor zwei bzw. vier nach oben und unten. Die Farbcodierung entspricht den unterschiedlichen Messstandorten.

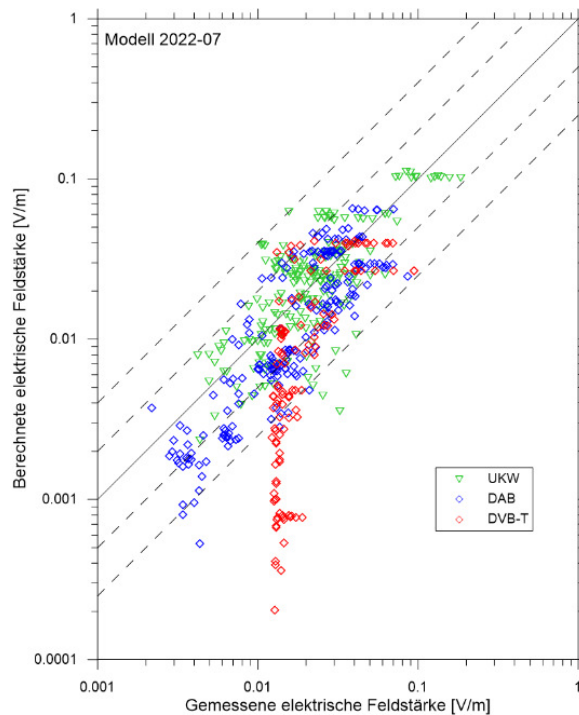


Abbildung 15: Vergleich von Modellrechnung und Validierungsmessung für die Beiträge der Rundfunk-Bänder.

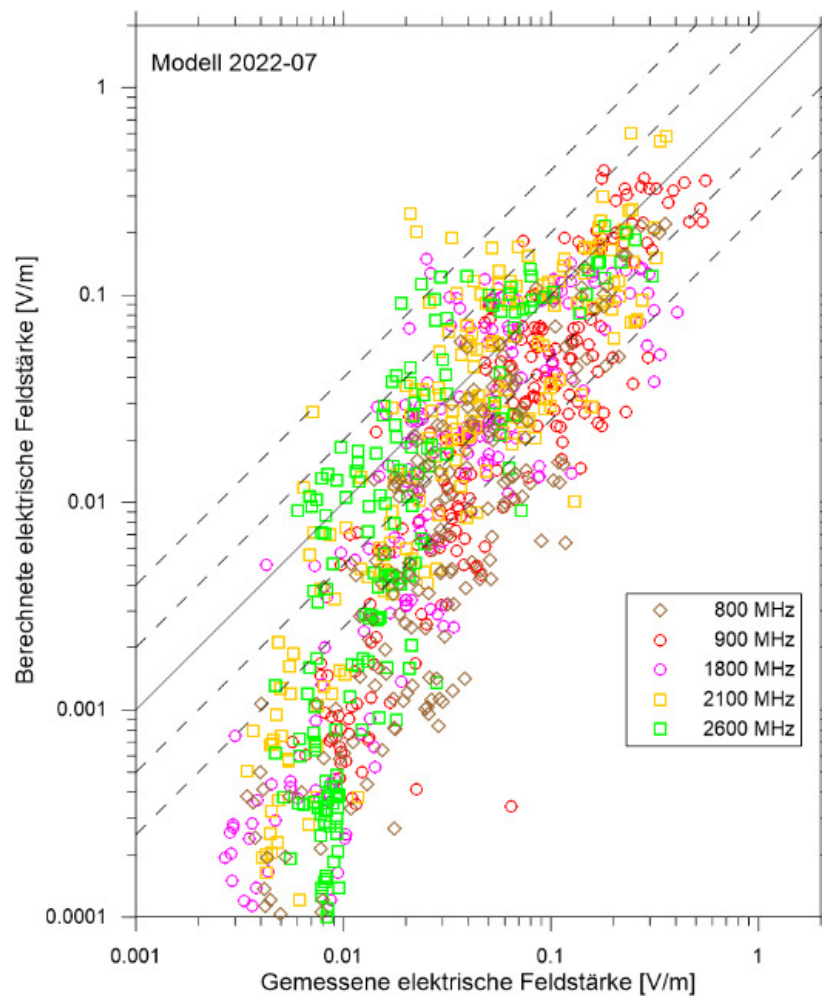


Abbildung 16: Vergleich von Modellrechnung und Validierungsmessung für die Beiträge der Mobilfunk-Bänder 800/900/1800/2100/2600 MHz.

5 Fazit und Ausblick

Zum ersten Mal wurde 2022 ein Kataster der NIS Exposition in Liechtenstein berechnet. Mit dem aktuellen Betriebszustand der Sendeanlagen für Mobil- und Rundfunk wurde in einer horizontalen Auflösung von 5 x 5 m frequenz aufgelöst die Beiträge der verschiedenen Bänder und Funkdienste berechnet. Ein digitales Höhenmodell und dreidimensionale Gebäudedaten wurden dem Modell hinterlegt. Die Sendeanlagen wurden in einer Datenbank erfasst. In einer zweitägigen Messkampagne wurde an 14 Orten das elektrische Feld frequenzselektiv ausgemessen und damit die Modellierung validiert. Die Übereinstimmung, insbesondere bei höheren Feldstärken ist sehr gut, bei tieferen Feldstärken gibt es Abweichungen, die messtechnischen Ursachen, namentlich in der Bestimmung des Geräteeigenrauschens, zuzuordnen sind. Trotzdem sei darauf hingewiesen, dass auch die Modellierung von kleinen Feldstärken in abgeschatteten Gebieten, durch Beugungs- und Dämpfungseffekte ebenfalls unsicherer ist. Es konnte auch der Einfluss von Rundfunksendern aus dem Ausland aufgezeigt werden.

Als Resultat ist ein Datensatz mit GIS-kompatiblen Karten der elektrischen Feldstärke für das Summenfeld, wie auch für einzelne Funkdienste und Frequenzbänder für die Gebiete ausserhalb von Gebäuden verfügbar. Zusätzlich existiert ein Datensatz mit Berechnungen im obersten Stock innerhalb von Gebäuden, auf den aber in diesem Bericht nicht weiter eingegangen wurde.

Mit der Konzessionierung der neuen Frequenzbänder bei 700, 1'400 und 3'600 MHz sowie der 5G Technologie per Anfang 2023, darf eine Veränderung in der Mobilfunklandschaft erwartet werden. Für geplante Aktualisierungen des Projekts wird deswegen das Augenmerk auch auf der zeitlichen Entwicklung liegen.

A NISMap Software Setting

Für die Modellierung wurde die NISMap Version 7.0.3 verwendet. Hier sind die Einstellungen in NISMap der Berechnungsmethoden abgelegt.

NISMap - Optionen

Allgemeines | Verzeichnisse | Berechnungsmethoden | Berechnungsmethoden (2) | Berechnungsmethoden (3) | Berechnungsmethoden (4) | Grafik | De |

Geländemodell:

☐ Ebene Topografie

☒ Geländemodell verwenden

☒ Interpolation?

Standardformat

ArcInfo ASCII Grid (m)

☐ Geländehöhe definieren auf m

Ausbreitungsmodell

☐ einfach (Freiraumbreitung)

☒ erweitert (weitere Modelle)

Beugung über Hindernisse

☐ Keine

☐ nur Haupthindernis

☒ Mehrfachbeugung

☒ Abbrechen mit ESC nur wenn Programm im Vordergrund

☒ Template file verwenden

template_LI.nis

als Standardeinstellungen speichern

Rechengitter:

Maschenweite (m):

Vertikal für Maximumsuche (m)

Höhe über Grund (m)

Höhe über Meer

Höhe für Berechnung / in Gebäuden

☐ feste Höhe über Grund

☐ feste Höhe über Meer

☐ für jedes Gebäude vorgeben

☐ oberster OMEN + OKA

☒ oberster OMEN

☐ Maximum im Gebäude

☐ Mittelwert im Gebäude

☐ 2D Worst Case

Maximale Abschwächung im Antennendiagramm

☒ unverändert

☐ wie Standortdatenblatt 2002 (15 dB)

☐ wie Standortdatenblatt 2013 (20 dB)

☐ Montagetoleranz verwenden (Rundfunk und Funkruf)

ERP für Berechnungen:

☐ bewilligte ERP

☒ ERP Betrieb (0 wenn leer)

☒ Antennentilt aus Betriebsdaten

Gebäudedämpfung

☒ in und hinter Gebäuden

☐ nur in Gebäuden

Maximum für Gebäudedämpfung

☐ Gebäudedämpfung begrenzen auf dB

Interpolation in Antennendiagrammen:

☐ nicht interpolieren

☒ linear interpolieren

☐ kubisch (oder linear) interpolieren

Wien Codes verwenden:

☒ nein

☐ nur wenn Antennendiagramm fehlt

☐ ja

OK

NISMap - Optionen

Allgemeines | Verzeichnisse | Berechnungsmethoden | Berechnungsmethoden (2) | Berechnungsmethoden (3) | Berechnungsmethoden (4) | Grafik | De |

Standard Ausbreitungsmodell

☐ Freiraumbreitung

☒ Doppeltes Potenzgesetz mit Breakpoint

(Default, verwendet wenn keines der folgenden Kriterien anwendbar ist)

Doppeltes Potenzgesetz

☒ Für Mobilfunk verwenden

☐ Radio/TV: mittlere Höhe wie für ITU 1546

☒ nur für Frequenzen > MHz

☒ d(hor.)/breakpoint verwenden

COST-Walfisch-Ikegami:

☐ COST-Walfisch-Ikegami verwenden

Frequenzbereich:

☐ 800 - 2000 MHz (nominell)

☐ UMTS auf 2000 MHz extrapolieren

☒ UMTS bis 2140 MHz extrapolieren

Formel Typ:

☐ Line-of-Sight (LOS)

☐ Non Line-of-Sight (NLOS)

☒ LOS oder NLOS

☒ für Distanzen > 5 km extrapolieren

ITU-Recommendation P.1546-5

☒ ITU-R P.1546-5 verwenden für f: 30 - 3000 MHz, d <= 1000 km

☒ nur für Radio und TV verwenden

ITU-Recommendation P.1411-2

☐ ITU-R P.1411-2 verwenden für f: 300 - 2000 MHz, d: 0 - 1 km

Frequenzbereich:

☐ 800 - 2000 MHz (nominell)

☐ UMTS auf 2000 MHz extrapolieren

☒ UMTS bis 2140 MHz extrapolieren

Formel Typ:

☐ Line-of-Sight (LOS)

☐ Non Line-of-Sight (NLOS)

☒ LOS oder NLOS

☒ für Distanzen > 1 km extrapolieren

Parameter:

☐ Gebäudehöhe aus Modell

Gebäudehöhe [m]

Strassenbreite [m]

Gebäudeabstand [m]

Länge bebautes Gebiet [m]

Umgebung / Bebauung

☐ ländlich

☒ Stadt

☐ Wohngebiet

☐ Zentrum Grossstadt

☐ Vorort

Modellgebiet

Antennen ausserhalb Berechnungsgebiet:

☒ feste Pufferzone

☒ abhängig von ERP

Pufferzone [m]

Möglicher Beitrag > [V/m]

als Standardeinstellungen speichern

OK

NISMap - Optionen

Allgemeines | Verzeichnisse | Berechnungsmethoden | Berechnungsmethoden (2) | Berechnungsmethoden (3) | Berechnungsmethoden (4) | Grafik | De

Standard Ausbreitungsmodell

☐ Freiraumausbreitung
☒ Doppeltes Potenzgesetz mit Breakpoint

(Default, verwendet wenn keines der folgenden Kriterien anwendbar ist)

Doppeltes Potenzgesetz

☒ Für Mobilfunk verwenden
☐ Radio/TV: mittlere Höhe wie für ITU 1546
☒ nur für Frequenzen > 30.00 MHz
☒ d(hor.)/breakpoint verwenden

ITU-Recommendation P. 1546-5

☒ ITU-R P. 1546-5 verwenden für f: 30 - 3000 MHz, d <= 1000 km
☒ nur für Radio und TV verwenden

Parameter:

☐ Gebäudehöhe aus Modell
 Gebäudehöhe: 10 [m]
 Strassenbreite: 15 [m]
 Gebäudeabstand: 30 [m]
 Länge bebautes Gebiet: 2000 [m]

Umgebung / Bebauung

☐ ländlich
☒ Stadt
☐ Wohngebiet
☐ Zentrum Grossstadt
☐ Vorort

COST-Walfisch-Ikagami:

☐ COST-Walfisch-Ikagami verwenden
Frequenzbereich:
☐ 800 - 2000 MHz (nominell)
☐ UMTS auf 2000 MHz extrapolieren
☒ UMTS bis 2140 MHz extrapolieren

Formel Typ:

☐ Line-of-Sight (LOS)
☐ Non Line-of-Sight (NLOS)
☒ LOS oder NLOS

☒ für Distanzen > 5 km extrapolieren

ITU-Recommendation P. 1411-2

☐ ITU-R P. 1411-2 verwenden für f: 300 - 2000 MHz, d: 0 - 1 km
Frequenzbereich:
☐ 800 - 2000 MHz (nominell)
☐ UMTS auf 2000 MHz extrapolieren
☒ UMTS bis 2140 MHz extrapolieren

Formel Typ:

☐ Line-of-Sight (LOS)
☐ Non Line-of-Sight (NLOS)
☒ LOS oder NLOS

☒ für Distanzen > 1 km extrapolieren

Modellgebiet

Antennen ausserhalb Berechnungsgebiet:

☒ feste Pufferzone
☒ abhängig von ERP

Pufferzone: 1000 [m]

Möglicher Beitrag > 5.0E-2 [V/m]

als Standardeinstellungen speichern

OK

NISMap - Optionen

Allgemeines | Verzeichnisse | Berechnungsmethoden | Berechnungsmethoden (2) | Berechnungsmethoden (3) | Berechnungsmethoden (4) | Grafik | De

Gebäude

Gebäudedämpfung

☐ Keine
☐ aus Datenbank
☒ mittlere Dämpfung:

Flachdächer: 6 [dB]
 andere Dächer: 3 [dB]
 Wände: 3 [dB]
 im Innern: 0.6 [dB/m]

☐ Frequenzabhängige Dämpfung

Frequenz f0: 1000 [MHz]
 Exponent alpha: 0.2

☒ keine Gebäudedämpfung für f < 30 MHz

☒ Pufferzone für Gebäude

200 [m]

☐ im Innern von Gebäuden nicht rechnen
☐ nur in Gebäuden rechnen
☒ Separate Dateien ohne Gebäude abspeichern
☐ Für indoor Antennen auch rechnen
☒ Gebäudeumrisse nicht exportieren

ERP Zeitmittelung

☐ Faktoren für Einzel-Antennen verwenden
☒ Faktoren für Funkdienste verwenden

Zeitmittel für

☒ Tag (6 - 22 h)
☐ Nacht (22 - 6 h)
☐ 24 h

Berechnungen für Einzelpunkte:

☒ Einzelpunkte (immer)
☒ Mittelwert innen (5.3 m)
☐ Mittelwert aussen (53 m)

Koordinaten/Vergleich mit Messdaten

☒ Eingabedatei mit Messdaten
 Exposimeter_out_2008-04-03.csv

Trennzeichen: Semikolon

Koordinaten: ☒ x, y, h ☐ x, y, h, z

Ausgabedatei

test_comp.csv

☒ Rauschen von der Messung subtrahieren
☐ Rauschen zum Modell addieren
☐ Daten zu Ausgabedatei hinzufügen
☐ Messpunkte sind in Gebäuden

Dateien

☒ Resultate für Frequenzbänder abspeichern
☒ Resultate für Funkdienste abspeichern

Berechnung auf Gitter:

☐ Datei für alle Daten
☐ Datei für Punkte im Freien
☐ Datei für Punkte in Gebäuden
☐ In Gebäuden alle Höhen ausgeben

Dateiname, alle Daten: Altdorf_all.csv

Dateiname, Punkte im Freien: Altdorf_out.csv

Dateiname, Punkte in Gebäuden: Altdorf_in.csv

als Standardeinstellungen speichern

OK

B Literaturverzeichnis

- [1] A. Bürgi, D. Scanferla und H. Lehmann, «Time averaged transmitter power and exposure to electromagnetic fields from mobile phone base stations,» *Int. J. Environmental Research and Public Health*, pp. 8025-8037, 7 8 2014.
- [2] A. Bürgi, NISMap – a Software for Calculation and Modelling of Non-Ionising Radiation from Radio Frequency Transmitters, User Manual Part II, Bern, 2016.
- [3] A. Bürgi, G. Theis, A. Siegenthaler und M. und Röösl, «Exposure modelling of high frequency electromagnetic fields,» *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol. Vol 18*, pp. 183-191, 2008.
- [4] A. Bürgi, P. Frei, G. Theis, E. Mohler, C. Braun-Fahrländer, J. Fröhlich, G. Neubauer, M. Egger und M. Röösl, «A model for radiofrequency electromagnetic field predictions at outdoor and indoor locations in the context of epidemiological research,» *Bioelectromagnetics*, 2010.
- [5] N. Geng und W. Wiesbeck, Planungsmethoden für die Mobilkommunikation, Berlin: Springer, 1998.