



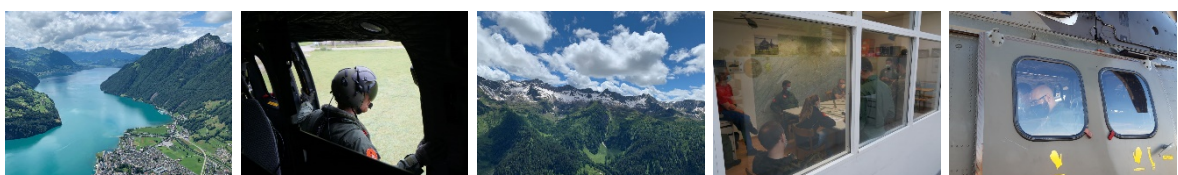
Cristina Poretti, Adrian Hess, Gerald Scharding

2. Juli 2021 (Rev. 20. Juli 2021)

Übung Aeroradiometrie 2021

vom 28. Juni bis 2. Juli 2021

Übungsbericht und Messresultate



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Übung Aeroradiometrie 2021	4
2.1	Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen (Standardmessprogramm)	4
2.2	Messflüge in der Grossumgebung der Schweizer Kernanlagen	4
2.3	Städtemessung Lugano, Wil und Frauenfeld	4
2.4	Vergleichsmessung kleine Gebiete im Kanton Tessin	4
2.5	Transversalflug über Mittelland (Genfer- / Zürichsee)	5
2.6	Steigflug über dem Neuenburgersee	5
2.7	Weitere Ziele des Aeroradiometrieteams	6
2.8	Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden	6
2.9	Wissenschaftlicher Bericht.....	6
2.10	Beteiligte Partnerorganisationen	6
3	Resultate der Übung Aeroradiometrie 2021	8
3.1	Standardmessprogramme um die Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen	8
3.2	Grossumgebung des Kernkraftwerks Gösgen.....	12
3.3	Städte Lugano, Wil und Frauenfeld.....	14
3.4	Kleine Gebiete im Kanton Tessin	19
3.5	Transversalflug über Mittelland (Genfer- / Zürichsee)	27
4	Erkenntnisse Messübung Aeroradiometrie 2021	28
Anhang A:	Aeroradiometrie allgemein	29

1 Zusammenfassung

Am ersten Tag der jährlichen aeroradiometrischen Messkampagne der Nationalen Alarmzentrale NAZ wurde das Standardmessprogramm über der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM) geflogen, zum ersten Mal nach dessen Ausserbetriebnahme im Dezember 2019. Zudem wurde über dem Neuenburgersee ein kontinuierlicher Steigflug zur Erstellung eines Höhenprofils durchgeführt. Am 29. Juni wurde das Standardmessprogramm in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen KKG absolviert und am Nachmittag durch ein Teilgebiet in südöstlicher Richtung in der Grossumgebung des KKG ergänzt. Mitte Woche, am 30. Juni, wurden die Stadt Lugano und weitere kleine Gebiete im Kanton Tessin vermessen. Am 1. Juli wurden Referenzmessungen der Städte Wil und Frauenfeld vorgenommen. Als topografische Herausforderung wurden zwei gerade Transversallinien am südlichen Rand des Schweizer Mittellandes zwischen dem Zürich- und dem Genfersee geflogen.

Die wichtigsten Ergebnisse der Übung Aeroradiometrie 2021:

1. Für alle Messgebiete konnten radiologische Messkarten erstellt werden, welche die normale Radioaktivität abbilden. Es wurden keine ungewöhnlichen Werte festgestellt.
2. Die Kontrollmessungen in Zusammenarbeit mit dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI in der Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen konnten durchgeführt werden. Es wurde ausserhalb der Betriebsareale keine gegenüber dem natürlichen Untergrund erhöhte Radioaktivität festgestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten der Vorjahre wurden keine Veränderungen beobachtet.
3. Für die Grossumgebung des KKW Gösgen sind jetzt Referenzwerte bis ca. 50 km Entfernung in südöstlicher Richtung vorhanden.
4. Im Rahmen des Städtemessprogramms konnten die Referenzmessungen in Lugano, Frauenfeld und Wil vorgenommen werden. Damit sind für die 15 grössten Schweizer Städte und weitere Gemeinden aeroradiometrische Messdaten vorhanden.
5. Die in Absprache mit dem Kanton Tessin definierten Vergleichsmessungen konnten durchgeführt werden. Der Vergleich der Resultate aus Boden- und aeroradiometrischen Messungen deutet auf ähnliche Ergebnisse hin.
6. Dank der Messflüge und intensiven und gezielten Übungen am Boden, und trotz der COVID-19-bedingten Einschränkungen, konnte das ARM-Team (inkl. einem neuen Kandidaten) Erfahrungen sammeln und Kenntnisse erweitern und festigen. Die Handhabung des Messsystems sowie die Auswertung am Boden geschehen mit spürbar zunehmender Routine.
7. Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

2 Übung Aeroradiometrie 2021

Die diesjährigen Messflüge fanden vom 28. Juni bis 2. Juli 2021 statt. Start- und Landebasis für die Flüge waren die Flugplätze Dübendorf, Payerne, Magadino und das militärische Feldlager in Bettwil.

2.1 Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen (Standardmessprogramm)

Alle Schweizer Kernanlagen werden im Auftrag des ENSI im Zweijahresrhythmus aeroradiometrisch untersucht. Turnusgemäss wurde dieses Jahr die Umgebung der Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen vermessen.

2.2 Messflüge in der Grossumgebung der Schweizer Kernanlagen

Ein mittelfristiges Ziel ist zudem, auch die Notfallschutzzone 2 (Radius ca. 20 km) der Kernkraftwerke und darüber hinaus (bis ca. 50 km Entfernung) mit geringerer Auflösung (Fluglinienabstand 1 km) zu vermessen, um im Bedarfsfall Referenzwerte zur Verfügung zu haben. Die zuvor nicht vermessenen Reste der Notfallschutzzone 2 des KKG waren 2019 vervollständigt worden. Nach den diesjährigen Messflügen sind jetzt in südöstlicher Richtung des KKG Untergrunddaten bis zu einer Entfernung von ca. 50 km vorhanden.

2.3 Städtemessung Lugano, Wil und Frauenfeld

Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtemessprogramm mit dem Ziel, Nullmessungen von Schweizer Städten und grösseren Gemeinden zu erhalten. Diese Messdaten werden vorsorglich erhoben für den Fall, dass nach einem Ereignis der Verdacht auf erhöhte Radioaktivität besteht und deswegen Messflüge durchgeführt werden. Durch den Vergleich der nach dem Ereignis erhobenen Messdaten mit der Referenzmessung können Abweichungen einfacher erkannt werden. Mit der Vermessung von Lugano verfügt die NAZ inzwischen über Messkarten vieler Schweizer Gemeinden, inklusive der 15 grössten Städte.

2.4 Vergleichsmessung kleine Gebiete im Kanton Tessin

In Absprache mit dem Bundesamt für Gesundheit BAG und dem Kanton Tessin wurden radiologisch interessante Gebiete festgelegt.

Das BAG ist die Koordinationsstelle des Bundes für das nationale Überwachungsprogramm der Radioaktivität in der Umwelt. Dafür gibt es einen [Probenahmeplan](#) zur Überwachung der Umweltradioaktivität. An vordefinierten Standorten werden regelmässig Proben erhoben und im Labor gemessen und Messungen vor Ort durchgeführt. Diese Standorte sind über die ganze Schweiz verteilt, verdichtet in der näheren Umgebung der Kernkraftwerke. Die langfristigen Auswirkungen der ¹³⁷Cs-Ablagerungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl werden vor allem im Tessin überwacht. Einer dieser Standorte befindet sich in Stabio. In Absprache mit dem BAG wurde entschieden, diesen Punkt aeroradiometrisch zu vermessen. Die Resultate der in den vergangenen Jahren erfolgten radiologischen Messungen sind auf der Plattform [Radenviro](#) publiziert.

Auf Anfrage der NAZ hat der Kanton Tessin (Sezione protezione aria, acqua e suolo, SPAAS) Interesse an der Vermessung von zwei alten, ausser Betrieb befindlichen Deponien bekundet. Es handelt sich um kleine Gebiete, die manuell mit wenigen kurzen Linien gemessen werden können. Zusätzlich meldete der Kanton Tessin der NAZ eine interessante Studie aus dem Jahr 2016 ([30 Jahre nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl](#)), bei der in allen Bezirken des Kantons Waldbodenproben genommen und im Labor ausgewertet wurden. Die NAZ beurteilte

die Ergebnisse und definierte fünf Gebiete, die sich für eine aeroradiometrische Messung eignen, in denen keine Gefahr besteht, dass aufgrund des starken Gefälles die Messwerte verfälscht würden.

Bei den genannten kleinen Messgebieten im Tessin wurden keine im Vorfeld programmierten Fluglinien abgeflogen, sondern den Piloten nur die Koordinaten (Point of Interest) mitgeteilt. Die Gebiete wurden somit manuell vermessen und jeder Messpunkt wurde einige Male kreuzweise überflogen. Im Falle von Auffälligkeiten hätten die Operatoren an Bord die Möglichkeit gehabt, ad-hoc einige kurze Fluglinien zu definieren, um das Gebiet genauer zu untersuchen. Dies ist möglich, weil die ARM-Operatoren bei solchen Messflügen die Flugstrategie dynamisch definieren und die Piloten entsprechend instruieren, den Flug manuell durchzuführen. Hierzu können die ARM-Operateure auf einem Bildschirm im Cockpit Karten einblenden und den Piloten über die Bordkommunikation mündliche Anweisungen erteilen. Dieses Einsatzverfahren wird regelmässig trainiert, weil im Ereignisfall situativ reagiert werden muss, um z.B. Zielgebiete bei der Suche radioaktiver Quellen einzugrenzen oder kontaminiertes Gelände genauer zu lokalisieren.

2.5 Transversalflug über Mittelland (Genfer- / Zürichsee)

Ein weiteres Element der jährlichen Aeroradiometrie-Kampagne sind Transversalen. Bei diesen Messungen wird in der Regel einer Verkehrsachse gefolgt. Dieses Jahr wurden hingegen zwei lange parallele Fluglinien von nördlich des oberen Zürichsees bis nördlich des oberen Genfersees und im Abstand von 5 km zurück gemessen. Einer solchen Linie wurde schon im Jahr 2010 gefolgt und ein weiteres mittelfristiges Ziel ist es, das ganze Mittelland mit einer deutlich geringeren Auflösung zu vermessen, als für die Standard- und Städtmessprogramme üblich, nämlich mit Fluglinienabstand 5 km statt 250 m. Die so ermittelten Messdaten geben einen guten Grobübersicht der radiologischen Situation, und diese Flüge bieten eine gute Ausbildungs- und Trainingsmöglichkeit für die Piloten, da in topographisch anspruchsvollem Gebiete immer die Flughöhe möglichst konstant gehalten werden soll. Auch aus wissenschaftlicher Sicht sind diese Messergebnisse interessant, da verschiedene Anteile der Radioaktivität (kosmische und terrestrische Strahlung) gut untersucht werden können.

2.6 Steigflug über dem Neuenburgersee

Um aus den effektiv gemessenen Bruttowerten den Anteil der Strahlung zu bestimmen, der vom Boden und aus den zwischen Boden und Helikopter befindlichen Luftschichten stammt, müssen Korrekturfaktoren ermittelt werden. Die dafür benötigten Kennzahlen werden regelmässig im Rahmen von Steigflügen über Seen bestimmt, wo das Wasser die natürliche Radioaktivität aus dem Boden abschirmt und somit der kosmische Anteil der natürlichen Strahlung in verschiedenen Höhen gemessen wird. Am Montag wurde ein solcher Steigflug über dem Neuenburgersee durchgeführt. Im Rahmen der letztjährigen ARM-Flugwoche waren über dem Thunersee zwei verschiedene Vorgehensweisen für die Messung eines Höhenprofils verglichen worden. Dabei hatte sich gezeigt, dass sich die Messwerte, welche während eines kontinuierlichen Steigfluges mit 200–250 ft/min (= 60–80 m/min) über mindestens 2000 m Höhenunterschied aufgezeichnet werden, sich besser für die Erstellung des Höhenprofils eignen als wenn wie bisher in verschiedenen Stufen bei jeweils konstanter Höhe gemessen wird. Dieses Höhenprofil der kosmischen Strahlung, welches dieses Jahr erstmals nur noch mit einem kontinuierlichen Steigflug ermittelt wurde, dient zudem der jährlichen Charakterisierung der Detektoren.

2.7 Weitere Ziele des Aeroradiometrieteams

Folgende weitere Ziele sollten in der Messwoche erreicht werden:

- Zeitgerechter Einbau und zeitgerechtes Erstellen der Einsatzbereitschaft des Messsystems.
- Training der für einen Einsatz notwendigen Kenntnisse bezüglich:
 - Vorbereitung eines Einsatzes
 - Bedienung der Geräte im Einsatz
 - Auswertung und Interpretation der Resultate vor Ort
 - Training der Piloten für den Aeroradiometrie-Einsatz
- Training der Kommunikation zwischen Piloten und Messequipe (bspw. Instruktion der Piloten durch die Operatoren).
- Darstellung der Messresultate: Zusammenstellung und Interpretation der Resultate innert 2 Stunden nach dem Messflug.
- Verbesserung und Festigung der Kenntnisse für den Betrieb des durch die NAZ eingesetzten ARM-Systems.
- Finalisierung des Ausbildungsprogrammes für neue ARM-Operatoren.
- Überprüfung und Aktualisierung der Einsatzdokumentation.

2.8 Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden

Aufgrund der Lärmemissionen des Messhelikopters wurde Wert auf eine umfassende Vorabinformation der Bevölkerung gelegt. Dazu wurden die Behörden aller betroffenen Schweizer Gemeinden sowie die Kantonspolizei aller betroffenen Kantone schriftlich über die bevorstehenden Flüge orientiert und gebeten, bei allfälligen Fragen aus der Bevölkerung auf die NAZ zu verweisen.

In einer Medienmitteilung wurden am 24. Juni die Messflüge angekündigt, parallel dazu wurde am 28. Juni ein [Blog-Beitrag](#) publiziert. Partner und Behörden wurden vorab aktiv informiert. Während der Messwoche wurden Informationsmeldungen über die [Alertswiss](#)-Kanäle des BABS abgesetzt und via Social Media begleitet. Der Flugplan wurde zudem auf der NAZ-Website aufgeschaltet.

Diverse Anfragen von Behörden, Medien und aus der Bevölkerung wurden vor und während der Messwoche beantwortet.

2.9 Wissenschaftlicher Bericht

Das Paul Scherrer Institut (PSI) wird voraussichtlich bis Ende Jahr einen detaillierten wissenschaftlichen Bericht publizieren.

2.10 Beteiligte Partnerorganisationen

Folgende Organisationen waren in die Vorbereitung und Durchführung der Übung "Aeroradiometrie 2021" involviert:

- Nationale Alarmzentrale (NAZ) und Stab BR NAZ
- Kompetenzzentrum ABC-KAMIR
- Schweizer Luftwaffe (LW)

- Paul Scherrer Institut (PSI)
- Bundesamt für Gesundheit (BAG)
- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)
- ABC-Koordinatoren der Kantone AG, LU, SG, TG, TI, ZG und ZH.

Die NAZ und das Aeroradiometrieteam danken allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.



3 Resultate der Übung Aeroradiometrie 2021

3.1 Standardmessprogramme um die Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen

Turnusgemäss wurden dieses Jahr die Kernkraftwerke Mühleberg und Gösgen aeroradiometrisch vermessen.

Zum ersten Mal seit der endgültigen Einstellung seines Leistungsbetriebs im Dezember 2019 wurde das Kernkraftwerk Mühleberg KKM aeroradiometrisch vermessen. Seit Ende März 2020 befinden sich alle Brennelemente im Lagerbecken im Reaktorgebäude, um dort mehrere Jahre lang abzukühlen. Aus dem Maschinenhaus wurden zahlreiche Systeme entfernt und damit Platz für die Reinigung von radioaktivem Material geschaffen.

Das KKW Gösgen war während der ARM-Woche 2021 in Betrieb.

3.1.1 KKW Mühleberg: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	28.06.2021, 09:34 – 11:50 h
Fluglinien:	Linienabstand 250 m, 29 Linien
Flugdauer:	2h 16min
Fluggebiet:	ca. 87 km ²
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

3.1.2 KKW Mühleberg: Ortsdosisleistung

Ausserhalb der Betriebsareale der Kernanlagen:

Die Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in Abbildung 1 zeigt keine Auffälligkeiten ausserhalb der Betriebsareale des Kernkraftwerks Mühleberg. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen.

Deutlich sichtbar ist der Wohlensee mit tiefen Werten, aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser.

Der Vergleich mit den Resultaten aus früheren Messungen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Mühleberg zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Innerhalb des Betriebsareales:

Das Kernkraftwerk Mühleberg ist auf der Karte klar zu erkennen. Die erhöhte Ortsdosisleistung über dem Betriebsareal ist zu erwarten, da an dessen südöstlichem Ende Material zwischengestapelt ist (roter Punkt), bis es weiterverarbeitet werden kann. Dieses Material enthält aktiviertes Kobalt (⁶⁰Co). Wie zu erwarten, wurde diese Strahlenquelle von den Messgeräten deutlich erkannt. Die gesetzlichen Grenzwerte werden eingehalten.

Standardmessprogramm KKM

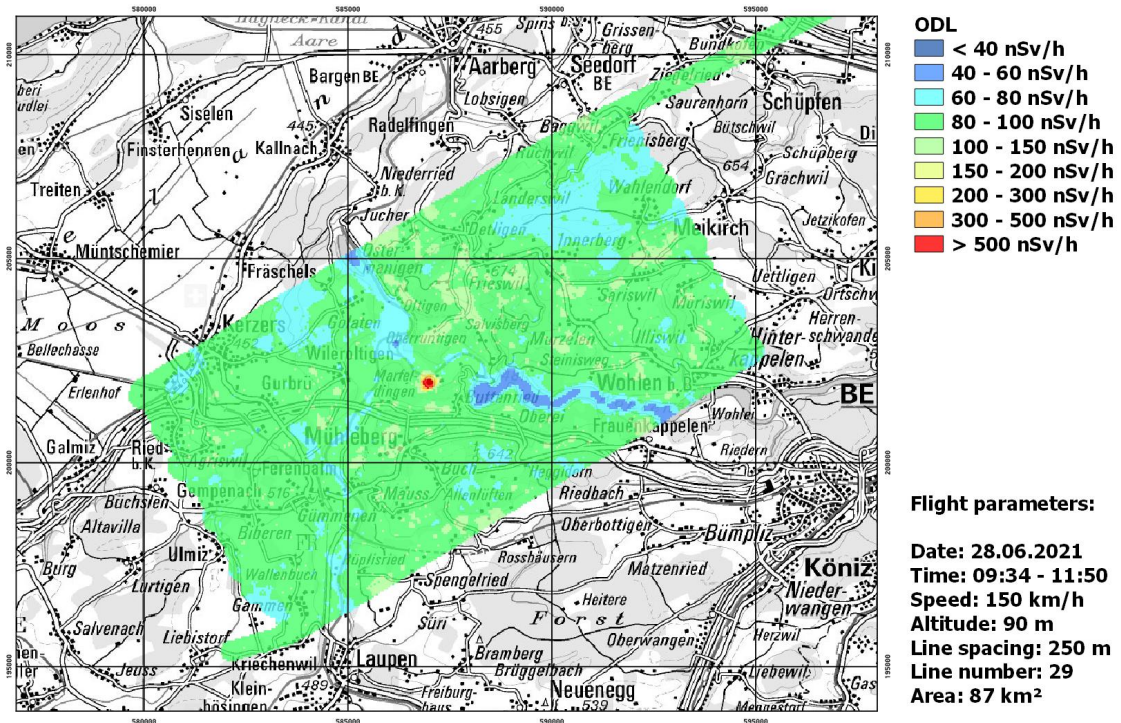


Abbildung 1: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg.

3.1.3 KKW Mühleberg: MMGC-Verhältnis

In der Karte in Abbildung 2 wird das Verhältnis vom niederenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Strahlen-Spektrums dargestellt. Weil die künstlich erzeugten Radioisotope meist nur γ -Strahlung niedriger Energie aussenden, entspricht dieses Verhältnis ungefähr demjenigen von künstlicher zu natürlicher Strahlung und wird als "Man made gross count (MMGC)" bezeichnet.

Das oben besprochene Material, welches aktiviertes ^{60}Co enthält und auf dem Areal zwischengestapelt ist, führt erwartungsgemäss auch auf dieser Karte zu einem erhöhten Wert. Ausserhalb des Betriebsareals des Kernkraftwerks Mühleberg wurden keine Auffälligkeiten festgestellt, die auf Ablagerungen künstlicher Radioaktivität hinweisen.

Abbildung 3 zeigt in Blau das Energiespektrum, das durch die Detektoren an der Stelle mit dem stärksten ^{60}Co -Signal über dem Kernkraftwerk Mühleberg registriert wurde. Die violett punktierten Linien markieren die typischen ^{60}Co -Energien 1173 und 1332 keV, auf denen die zu erwartenden Energiepeaks klar zu erkennen sind. Die rote Kurve zeigt zum Vergleich das Hintergrundsignal, welches ausserhalb des Werksareals aufgezeichnet wurde.

Standardmessprogramm KKM

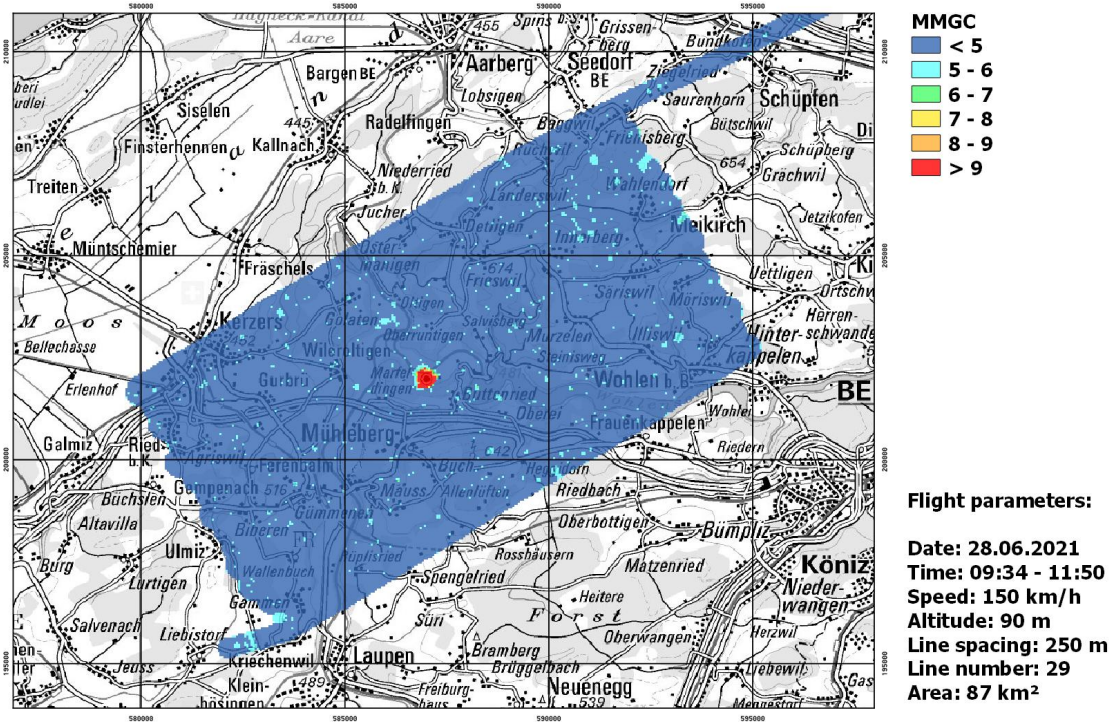


Abbildung 2: Karte des MMGC-Verhältnisses in der Umgebung des Kernkraftwerks Mühleberg.

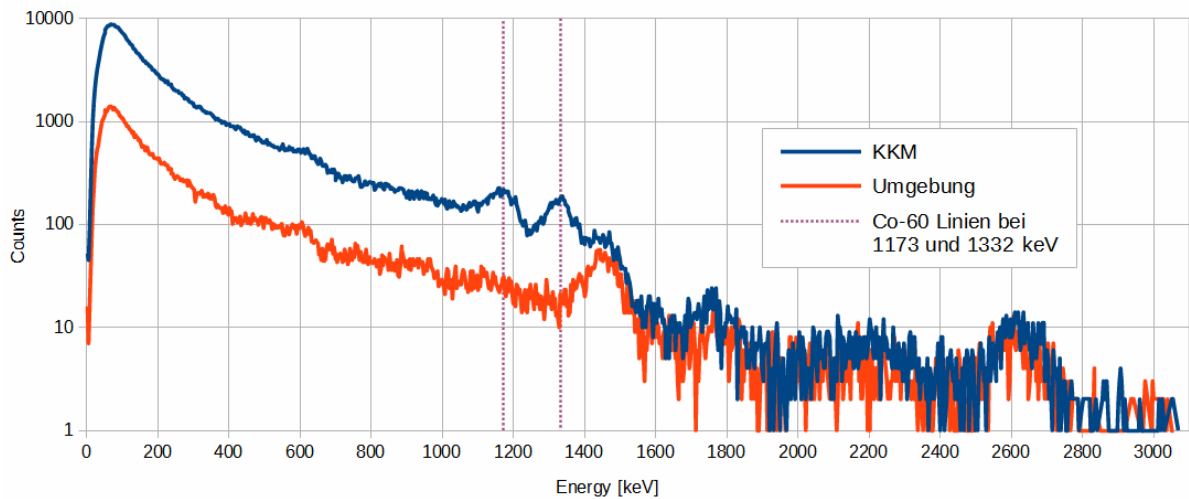


Abbildung 3: Energiespektrum an der Stelle des stärksten ^{60}Co -Signals (blau) mit den typischen ^{60}Co -Peaks bei 1173 und bei 1332 keV. Zum Vergleich dazu das natürliche Untergrundspektrum (rot), gemessen in der Umgebung des Werkes, ausserhalb des Areals.

3.1.4 KKW Gösgen: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 29.06.2021, 08:38 – 10:26 h
Fluglinien: Linienabstand 250 m, 29 Linien
Flugdauer: 1h 48min
Fluggebiet: ca. 70 km²
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.1.5 KKW Gösgen: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in Abbildung 4 zeigt keine Auffälligkeiten ausserhalb der Betriebsareale des Kernkraftwerks Gösgen. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen. Aufgrund der Abschirmung der terrestrischen Strahlung durch das Wasser fallen die Messwerte direkt über der Aare niedriger aus.

Der Vergleich mit den Resultaten aus früheren Messungen in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen zeigt keine signifikanten Unterschiede.

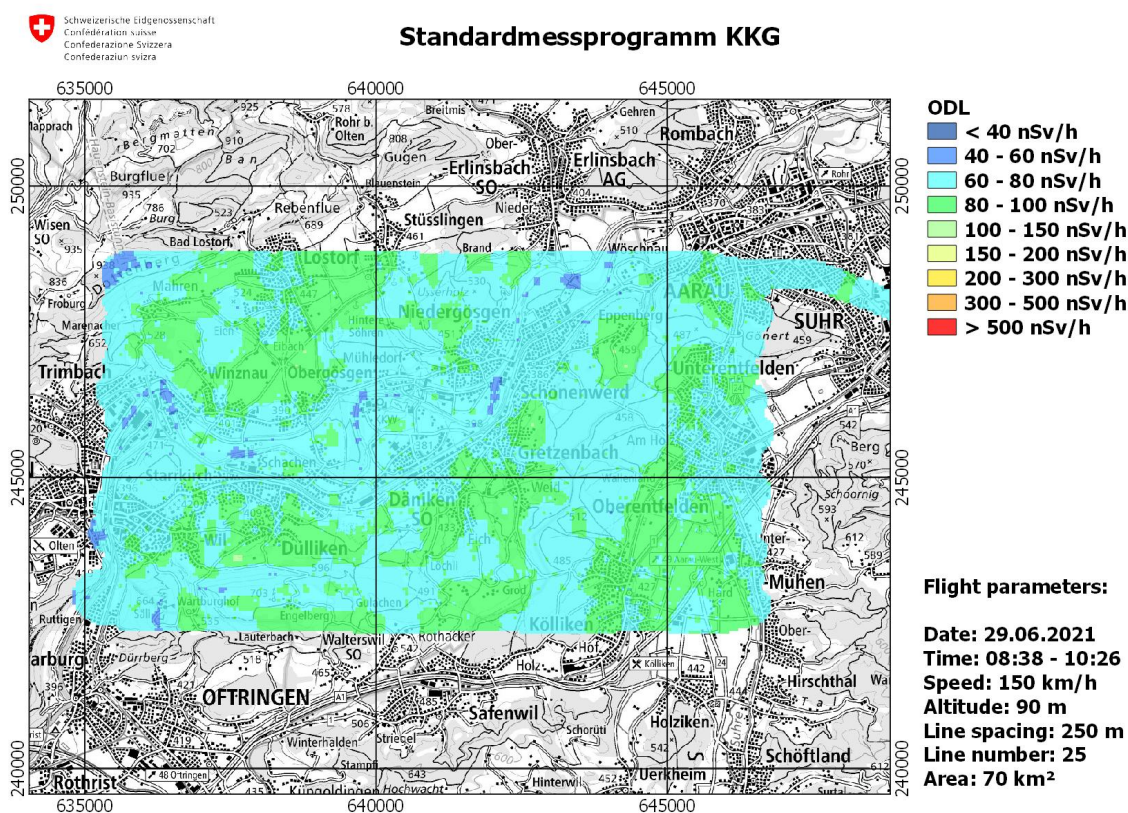


Abbildung 4: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen.

3.1.6 KKW Gösgen: MMGC-Verhältnis

Die Karte in Abbildung 5 zeigt, dass ausserhalb des Betriebsareals des Kernkraftwerkes Gösgen keine Auffälligkeiten festgestellt wurden, die aufgrund des MMGC-Verhältnisses auf künstliche Ablagerungen radioaktiven Materials hinweisen.

Standardmessprogramm KKG

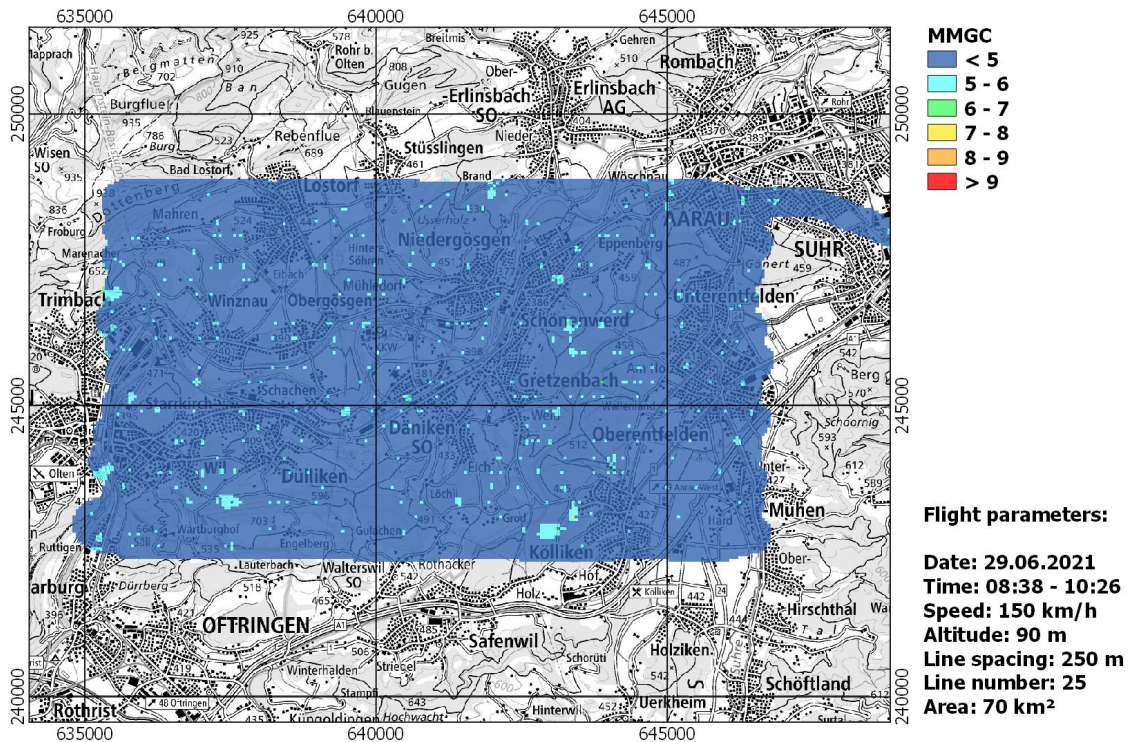


Abbildung 5: Karte des MMGC-Verhältnisses in der Umgebung des Kernkraftwerkes Gösgen.

3.2 Grossumgebung des Kernkraftwerkes Gösgen

Ein mittelfristiges Ziel ist es, zusätzlich zum Standardmessprogramm auch die Notfallschutzzone 2 (Radius ca. 20 km) der Kernkraftwerke und darüber hinaus (bis ca. 50 km Entfernung) mit geringerer Auflösung (Fluglinienabstand 1 km) zu vermessen, um im Bedarfsfall Referenzwerte zur Verfügung zu haben. Im Jahr 2019 war die Notfallschutzzone 2 des KKG (bis ca. 20 km) vervollständigt worden. Dieses Jahr wurde ein Messgebiet ergänzt, womit nun in südöstlicher Richtung bis zu einer Entfernung von ca. 50 km Untergrunddaten vorhanden sind.

3.2.1 Grossumgebung KKG in südöstlicher Richtung: Angaben Messflüge

Datum / Zeit: 29.06.2021, 10:36 – 11:38 h und 01.07.2021, 13:48 – 15:49 h
 Fluglinien: Linienabstand 1'000 m, 19 Linien
 Flugdauer: 3h 03min
 Fluggebiet: ca. 560 km²
 Flughöhe über Grund: ca. 150 m

3.2.2 Grossumgebung KKG in südöstlicher Richtung: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 6 zeigt überall normale Werte. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen. Auch die Karten zu spezifischen Nukliden sowie zum MMGC enthalten keine Auffälligkeiten und werden daher im aktuellen Kurzbericht nicht dargestellt.

S-O Grossumgebung KKG

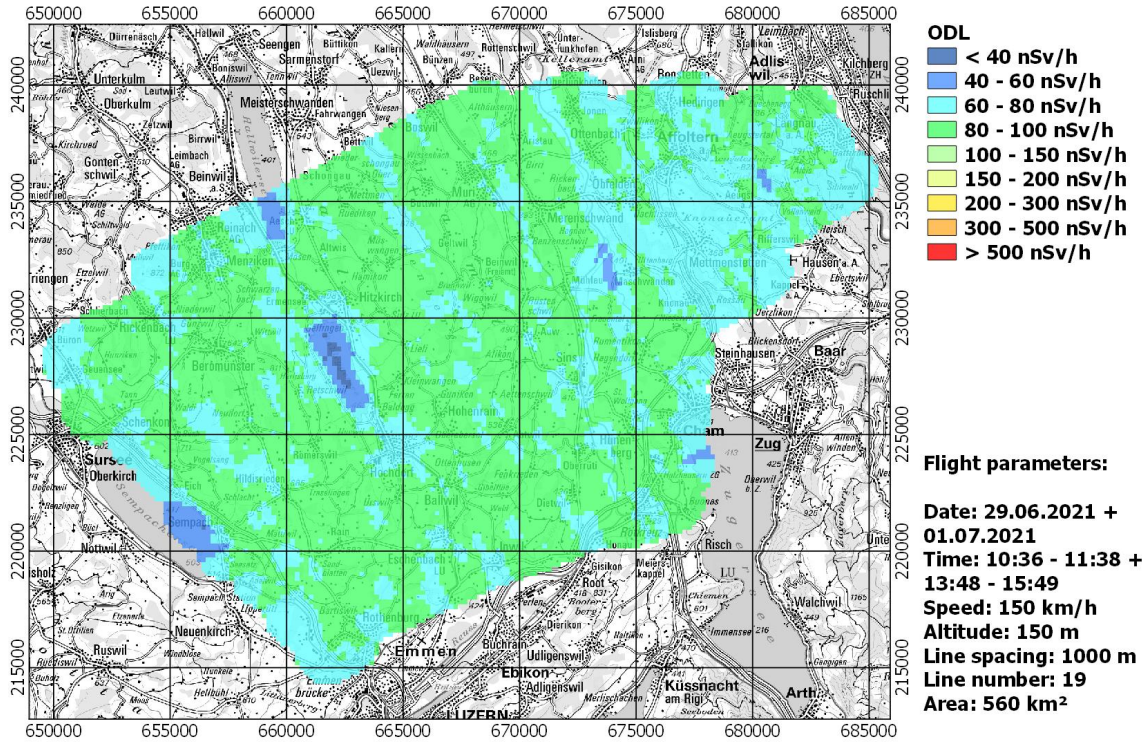


Abbildung 6: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) in der Grossumgebung des Kernkraftwerkes Gösgen in südöstlicher Richtung.

3.3 Städte Lugano, Wil und Frauenfeld

Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtemessprogramm mit dem Ziel, Referenzmessungen von allen grösseren Schweizer Städten und Gemeinden zu erhalten. Diese Messwerte können für Vergleichszwecke hinzugezogen werden, wenn nach einem Ereignis der Verdacht auf erhöhte Radioaktivität besteht.

Ursprünglich war die Messung der Stadt Lugano für das Jahr 2019 geplant gewesen, musste aber infolge ungünstiger Wetterbedingungen abgesagt werden. Dieses Jahr wurde daher diese Städtemessung erneut eingeplant und auch durchgeführt. Dank dieser Messung verfügt die NAZ inzwischen über Messkarten zahlreicher Schweizer Gemeinden, darunter die 15 grössten Städte.

Im Jahr 2017 waren Wil und Frauenfeld im Rahmen einer internationalen Messkampagne aeroradiometrisch vermessen worden. Dies erfolgte nicht durch ein Schweizer Messteam, zudem war das Ziel nicht die Dokumentation des Normalzustandes, sondern eine Quellensuche und der Vergleich der an der Übung beteiligten Systeme, und die Messungen erfolgten nicht mit den Standard-Messparametern. Aus diesem Grund wurde entschieden, die Städte Wil und Frauenfeld dieses Jahr mit Standardkonfiguration (250 m Fluglinienabstand und 90 m Flughöhe) erneut zu überfliegen.

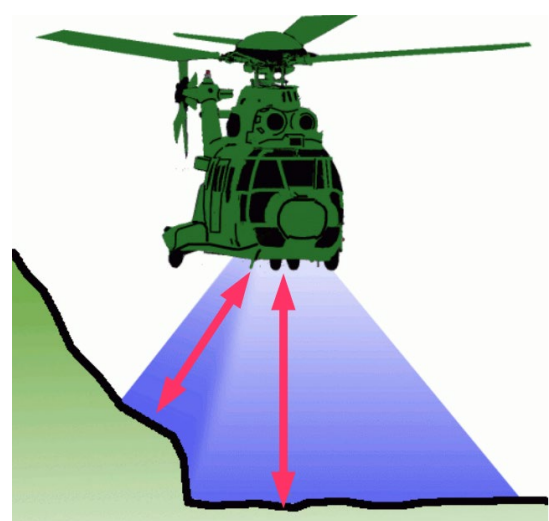
3.3.1 Stadt Lugano: Angaben Messflug

Datum / Zeit:	30.06.2021, 09:45 – 11:24 h
Fluglinien:	Linienabstand 250 m, 19 Linien
Flugzeit:	1h 39 min
Flugstrecke:	ca. 60 km ²
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

3.3.2 Stadt Lugano: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung (ODL) zeigt durchwegs normale Werte. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen. Erwartungsgemäss trat am Rand des Talbodens ein Topographieeffekt auf.

Aufgrund der speziellen Topographie mussten einige Fluglinien manuell geflogen werden. In dem zu vermessendem Gebiet wurden Zonen definiert, die aufgrund der schwierigen Topographie zu vermeiden sind. Berghänge haben einen Einfluss auf das Messsignal, da steil aufragende Bergflanken im Vergleich zum Talboden näher am Messgerät liegen. Dadurch kommt es zu Fehlinterpretationen der Auswertesoftware, welche die berechneten Werte für die Ortsdosisleistung sowie die Radionuklidkonzentrationen überschätzen (Topographieeffekt).



Lugano

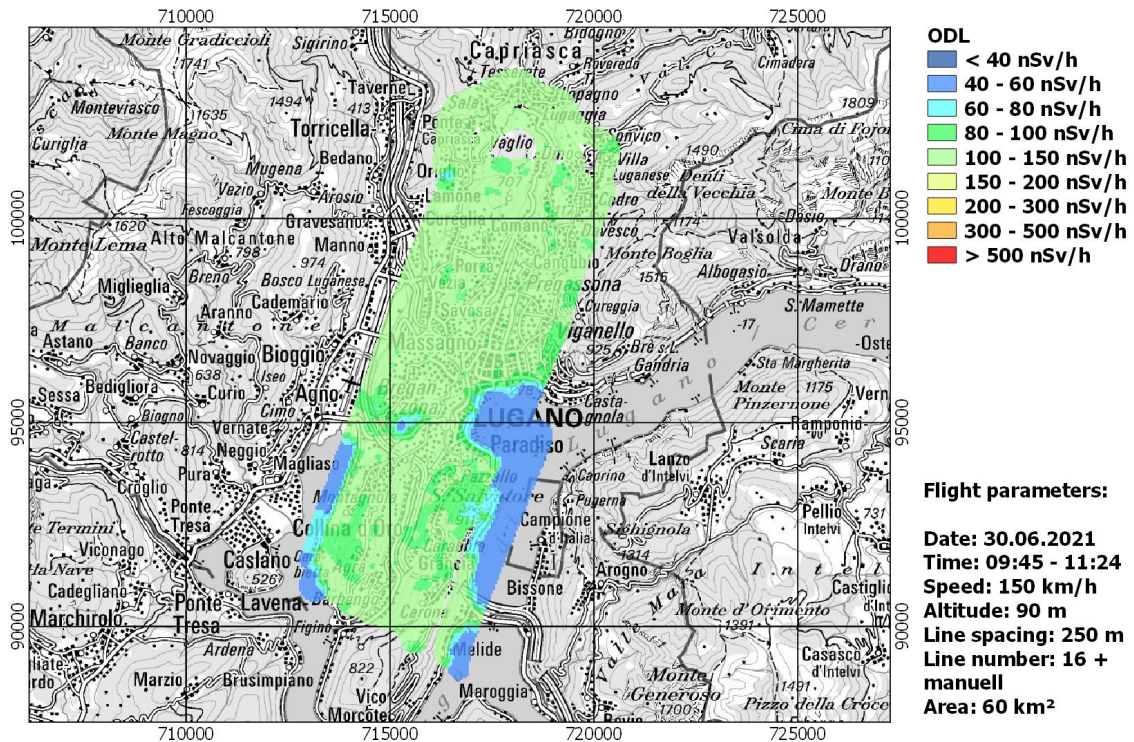


Abbildung 7: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der Stadt Lugano.

3.3.3 Stadt Lugano: Cäsium ^{137}Cs

Die Karte der ^{137}Cs -Aktivität in Abbildung 8 zeigt leichte Variationen, vor allem in den Teilgebieten um den Lago Origgio (Norden des Messgebietes) und um Carona (Süden des Messgebietes). Diese sind auf Depositionen zurückzuführen, die nach der Katastrophe in Tschernobyl 1986 stattgefunden haben. Die Messwerte liegen in dem für die Südalpen erwarteten Bereich.

Die Abbildung 9 zeigt das Energiespektrum von drei Teilgebieten, nämlich der Umgebungen des Lago Origgio, um Carona und Lugano Zentrum. Der typische Energiepeak von ^{137}Cs bei 662 keV, ist vor allem in den Umgebungen von Carona und Origgio zu erkennen. In Lugano Zentrum ist das Signal hingegen deutlich schwächer, weil von überbauten Fläche die original deponierte ^{137}Cs -Aktivität in den 35 Jahren seit dem Tschernobyl-Unfall grösstenteils abgewaschen wurde.

Lugano

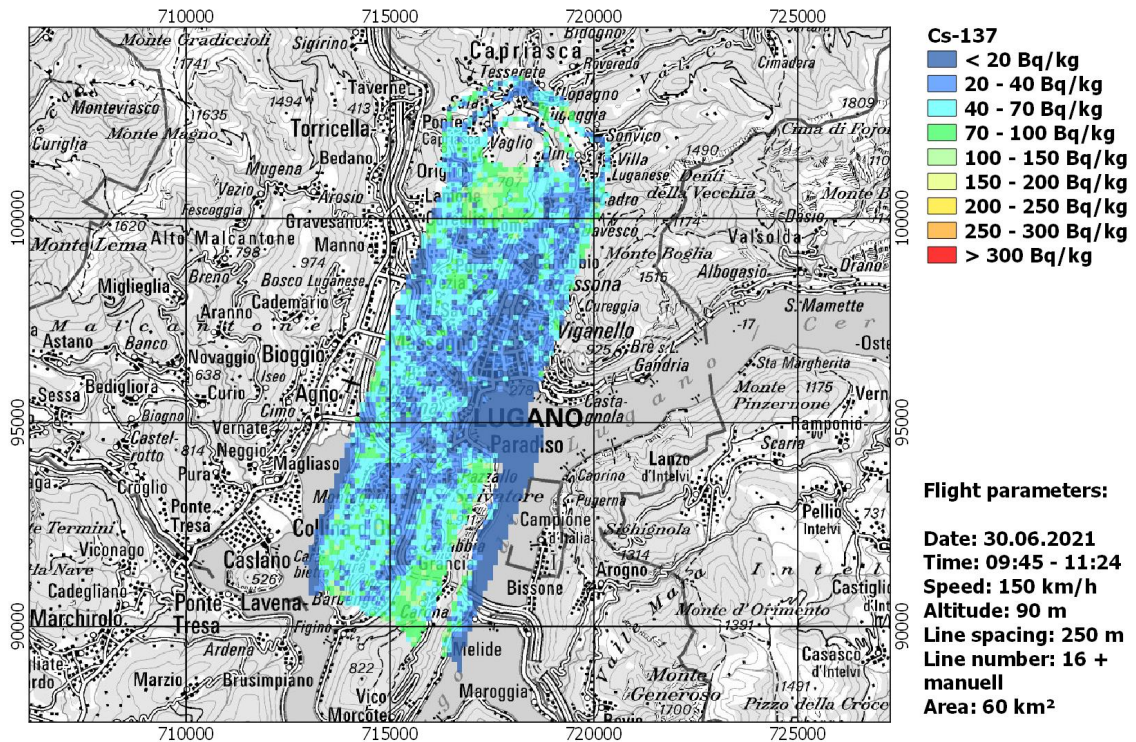


Abbildung 8: ¹³⁷Cs-Karte der Stadt Lugano.

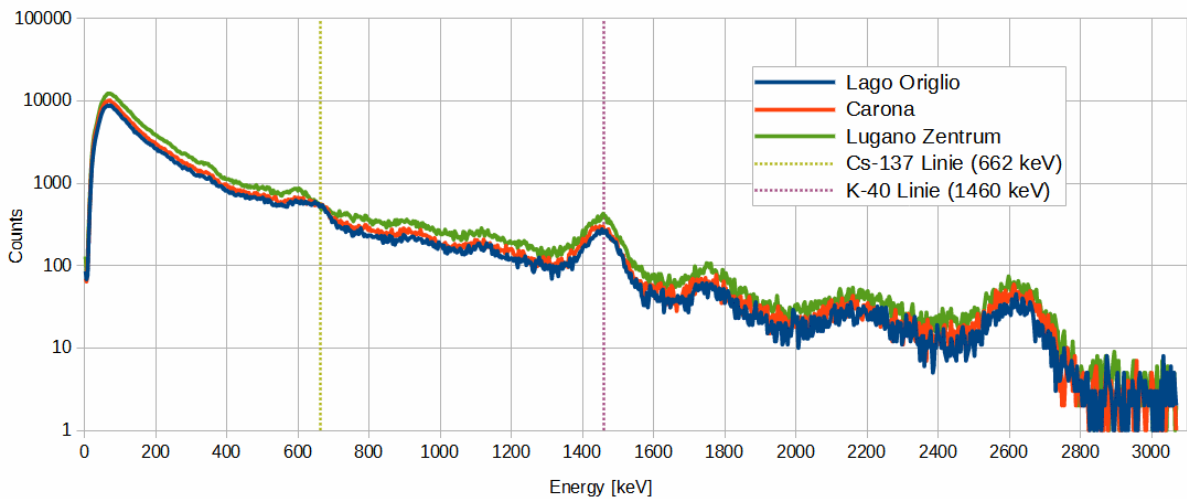


Abbildung 9: Vergleich der Energiespektren in drei Gebiete in Lugano. Deutlich erkennbar sind die Energiepeaks von ⁴⁰K (1460 keV) und ¹³⁷Cs (662 keV).

3.3.4 Stadt Wil: Angaben Messflug

Datum / Zeit: 01.07.2021, 08:56 – 09:31 h
 Fluglinien: Linienabstand 250 m, 15 Linien
 Flugdauer: 35 min
 Flugstrecke: ca. 21 km²
 Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.3.5 Stadt Wil: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 10 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

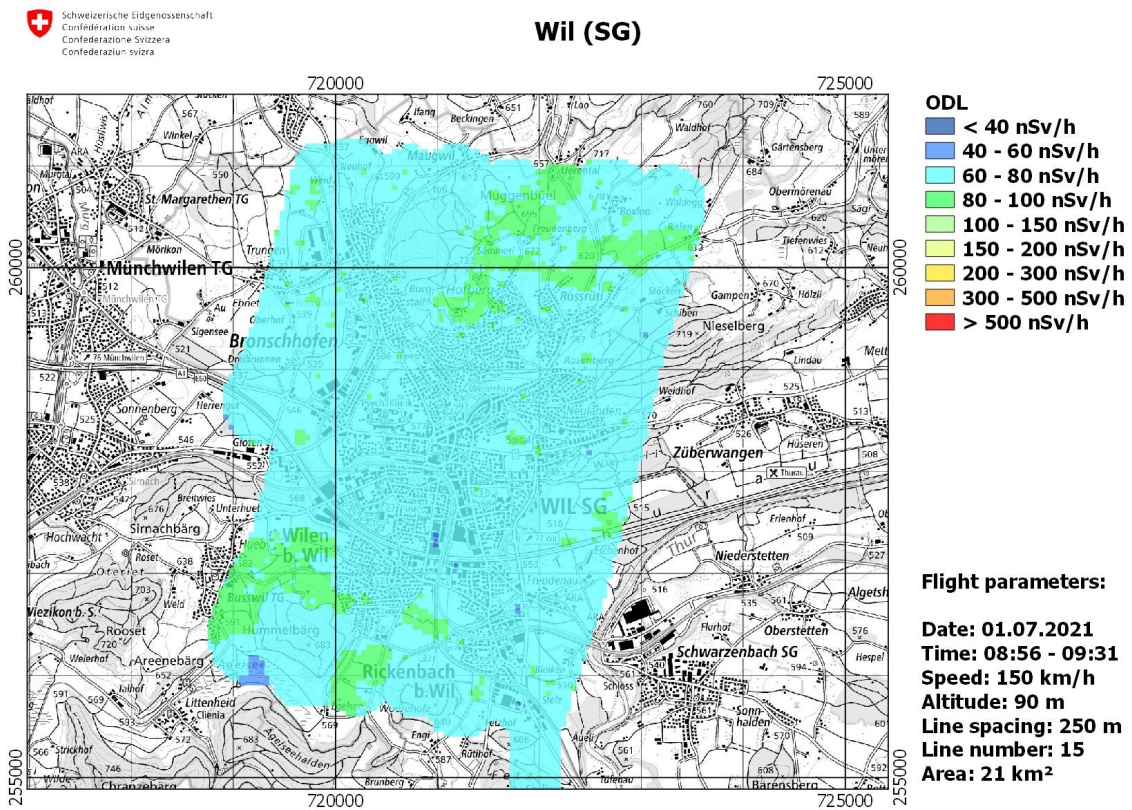


Abbildung 10: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der Stadt Wil.

3.3.6 Stadt Frauenfeld: Angaben Messflug

Datum: 01.07.2021, 09:35 – 10:02 h
Fluglinien: Linienabstand 250 m, 15 Linien
Flugzeit: 27 min
Flugstrecke: ca. 17 km²
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.3.7 Stadt Frauenfeld: Ortsdosisleistung

Die Karte der Ortsdosisleistung in Abbildung 11 zeigt keine Auffälligkeiten. Wie bei der Stadt Wil, sind die beobachteten Variationen im Messgebiet vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen. Aus diesem Grund wurden auf dem Stadtgebiet leicht tiefere Werte gemessen als am Stadtrand.

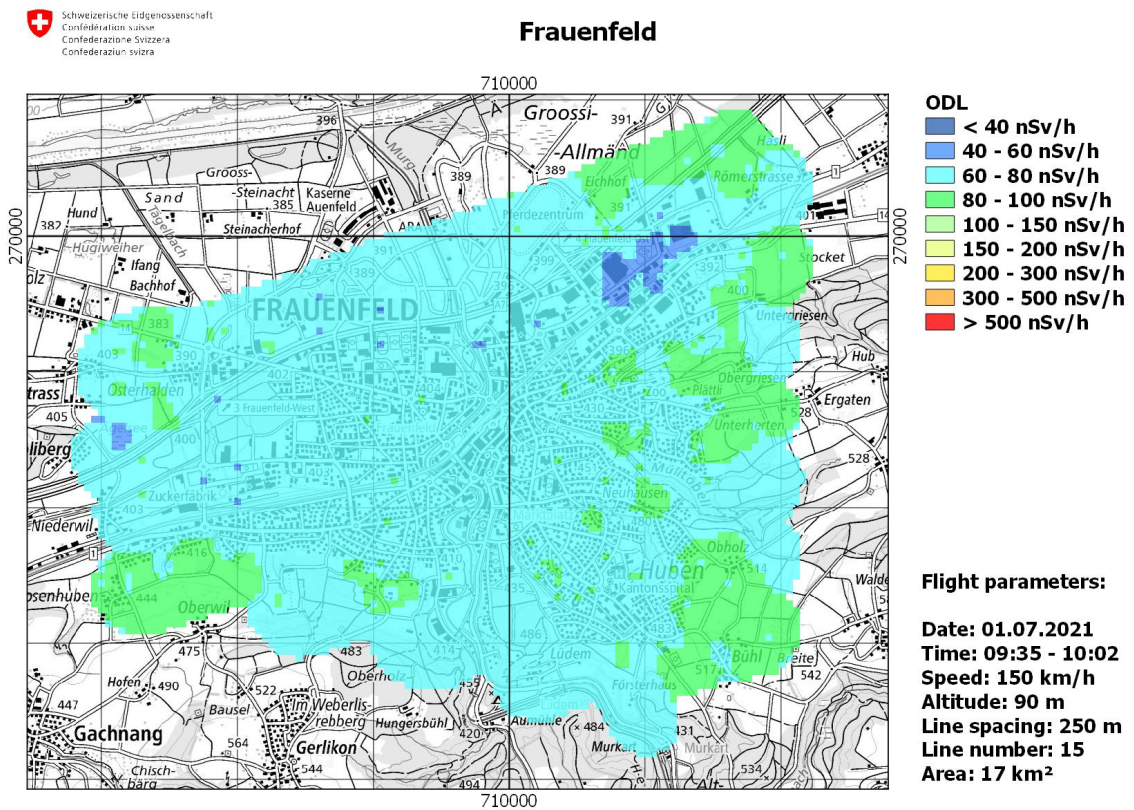


Abbildung 11: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der Stadt Frauenfeld.

3.4 Kleine Gebiete im Kanton Tessin

In Absprache mit dem BAG und dem Kanton Tessin wurden radiologisch interessante Gebiete definiert.

Das BAG beobachtet die langfristigen Auswirkungen der ^{137}Cs -Ablagerungen als Folge des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Einer dieser Standorte befindet sich in Stabio. Jährlich werden Messungen vor Ort durchgeführt und Umweltproben erhoben und im Labor analysiert.

In Absprache mit dem Kanton Tessin wurde entschieden, zwei alte Deponien in Demanio (Magadino-Ebene) und Canobbio sowie vier kleine Messgebiete, die zur Studie «[30 Jahre nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl](#)» von 2016 gehört haben, aeroradiometrisch zu vermessen. Bei diesen Standorten hat der Kanton Waldbodenproben erhoben und anschliessend im Labor analysiert.

3.4.1 Referenzstandort Stabio: Angaben Messflug

Datum / Zeit:	30.06.2021, 09:24 – 09:32 h
Fluglinien:	manuell geflogen
Flugdauer:	8 min
Flugstrecke:	ca. 2 km ²
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

3.4.2 Referenzstandort Stabio: Ortsdosisleistung

Die in Abbildung 12 dargestellte, in Stabio gemessene Ortsdosisleistung liegt im erwarteten Bereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

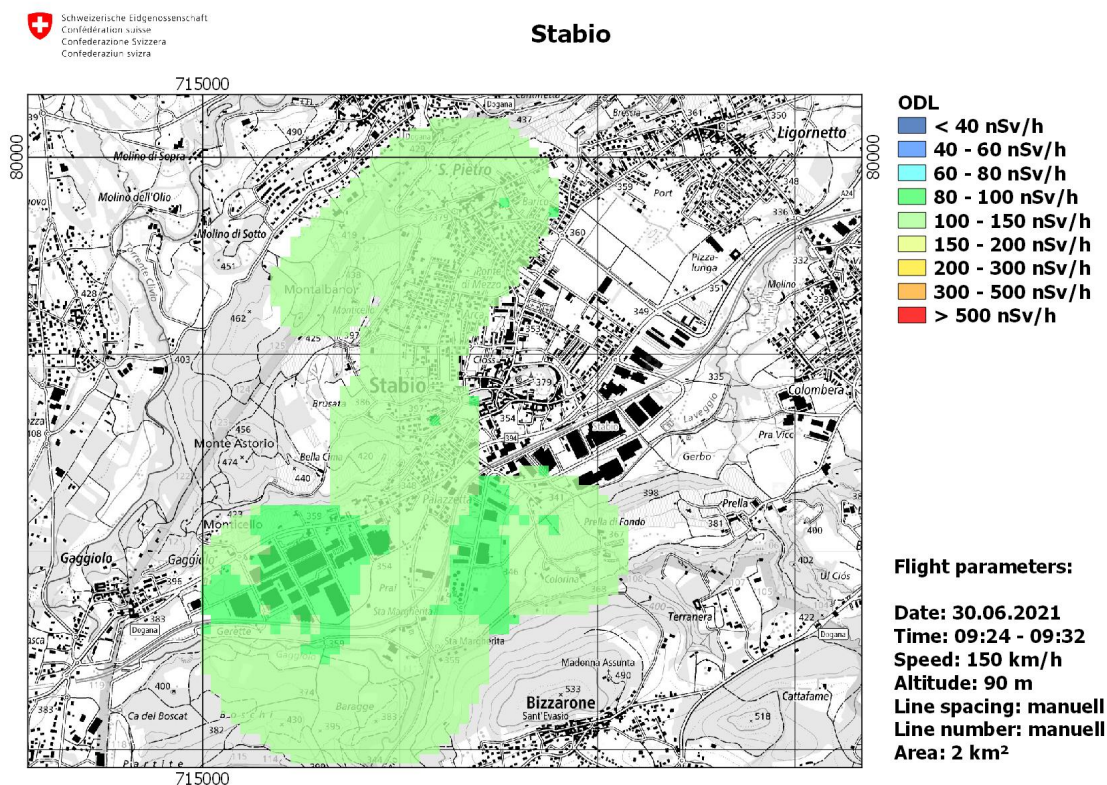


Abbildung 12: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) des Referenzstandortes Stabio.

3.4.3 Referenzstandort Stabio: Cäsium ^{137}Cs

Die ^{137}Cs Karte in Abbildung 13 zeigt leicht erhöhte Werte, insbesondere am südlichen Rand des Messgebietes, und der Vergleich zweier Energiespektren in Abbildung 14 zeigt einen deutlicheren ^{137}Cs -Peak bei 662 keV über Waldgebiet am Südrand von Stabio als über bebautem Gebiet. Dies ist auf Ablagerungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 zurückzuführen. Die Messwerte liegen in dem für die Südalpen erwarteten Bereich.

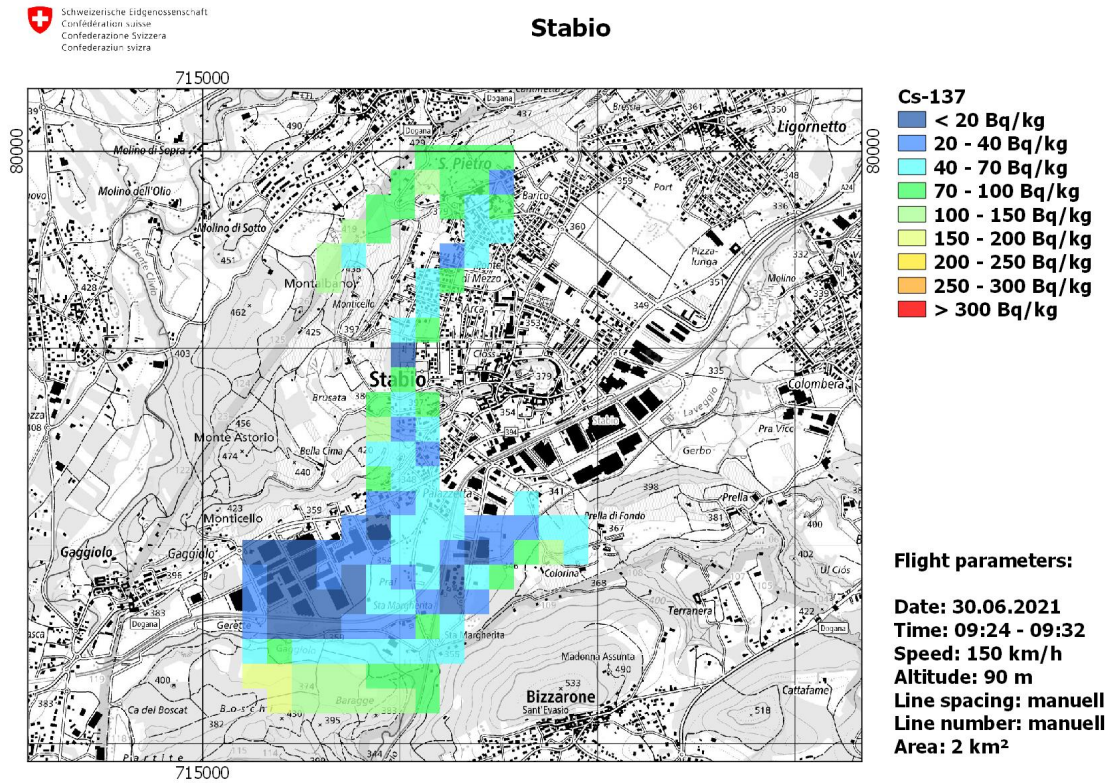


Abbildung 13: ^{137}Cs -Karte des Referenzstandortes Stabio.

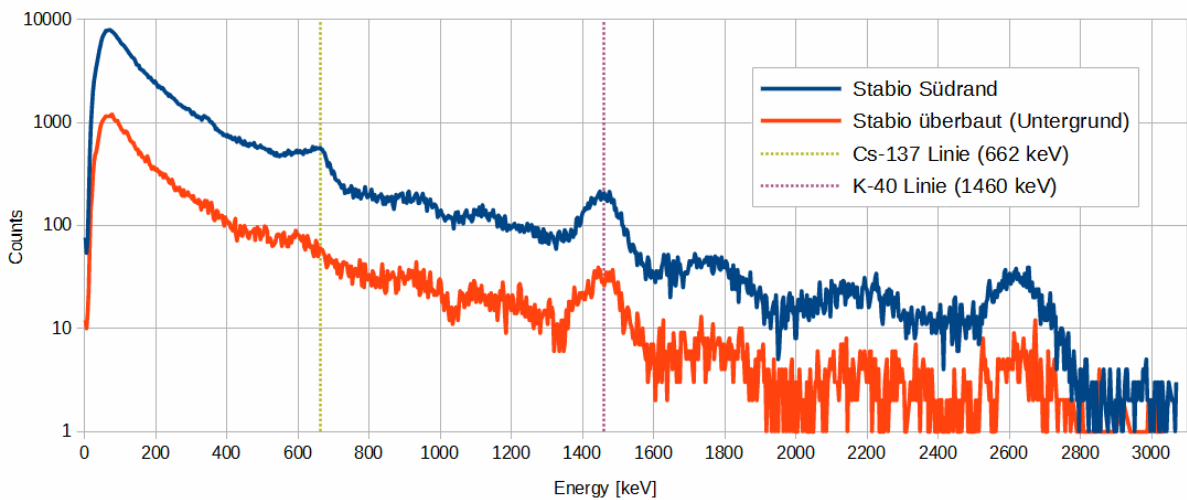


Abbildung 14: Vergleich der Energiespektren im südlichen Messgebiet von Stabio (blau) und des Untergrundes in Stabio überbaute Gebiet (rot). Deutlich erkennbar sind die Energiepeaks von ^{40}K (1460 keV) und ^{137}Cs (662 keV).

3.4.4 Alte Deponie Demanio: Angaben Messflug

Datum / Zeit: 30.06.2021, 13:49 – 13:56 h
Fluglinien: manuell geflogen
Flugdauer: 7 min
Flugstrecke: ca. 3 km²
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.4.5 Alte Deponie Demanio: Ortsdosisleistung

Die in Abbildung 15 dargestellte, in Demanio gemessene Ortsdosisleistung liegt im erwarteten Bereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

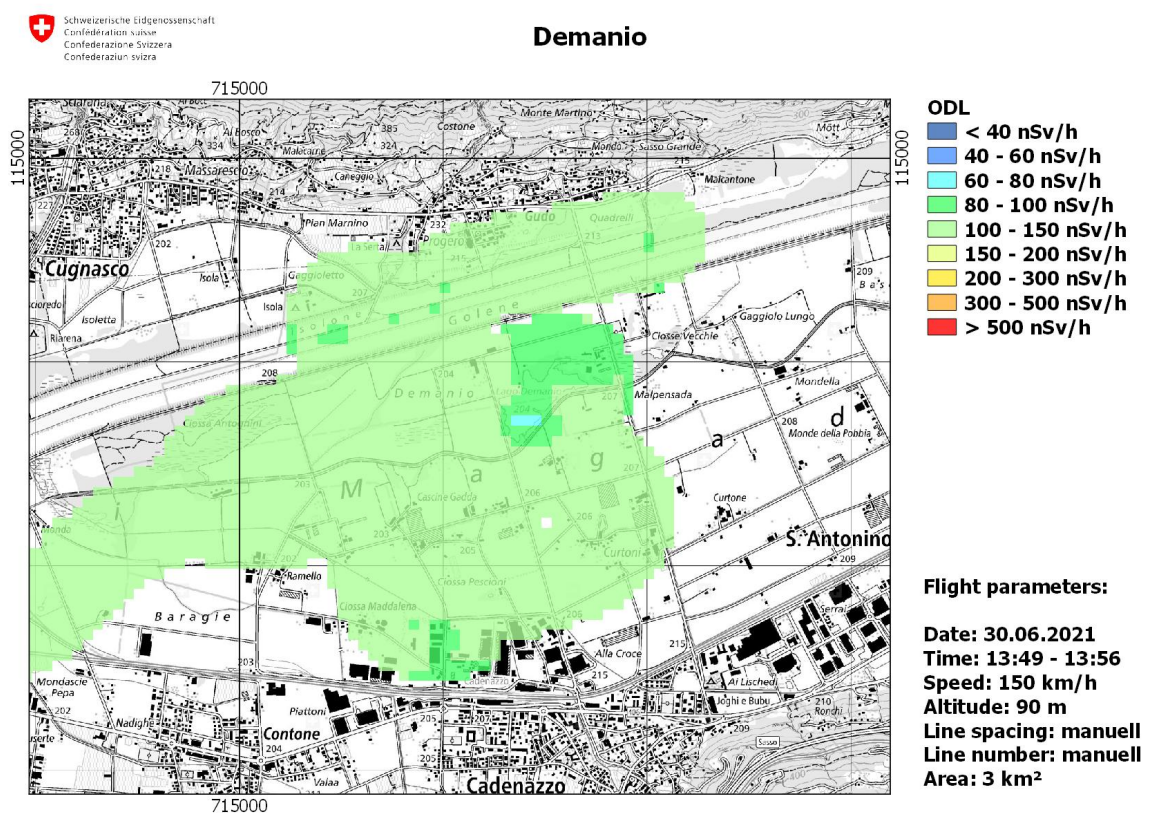


Abbildung 15: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der alten Deponie Demanio.

3.4.6 Alte Deponie Demanio: MMGC

Die Karte in Abbildung 16 zeigt keine Auffälligkeiten, die aufgrund des MMGC-Verhältnisses auf künstliche Ablagerungen radioaktiven Materials hinweisen.

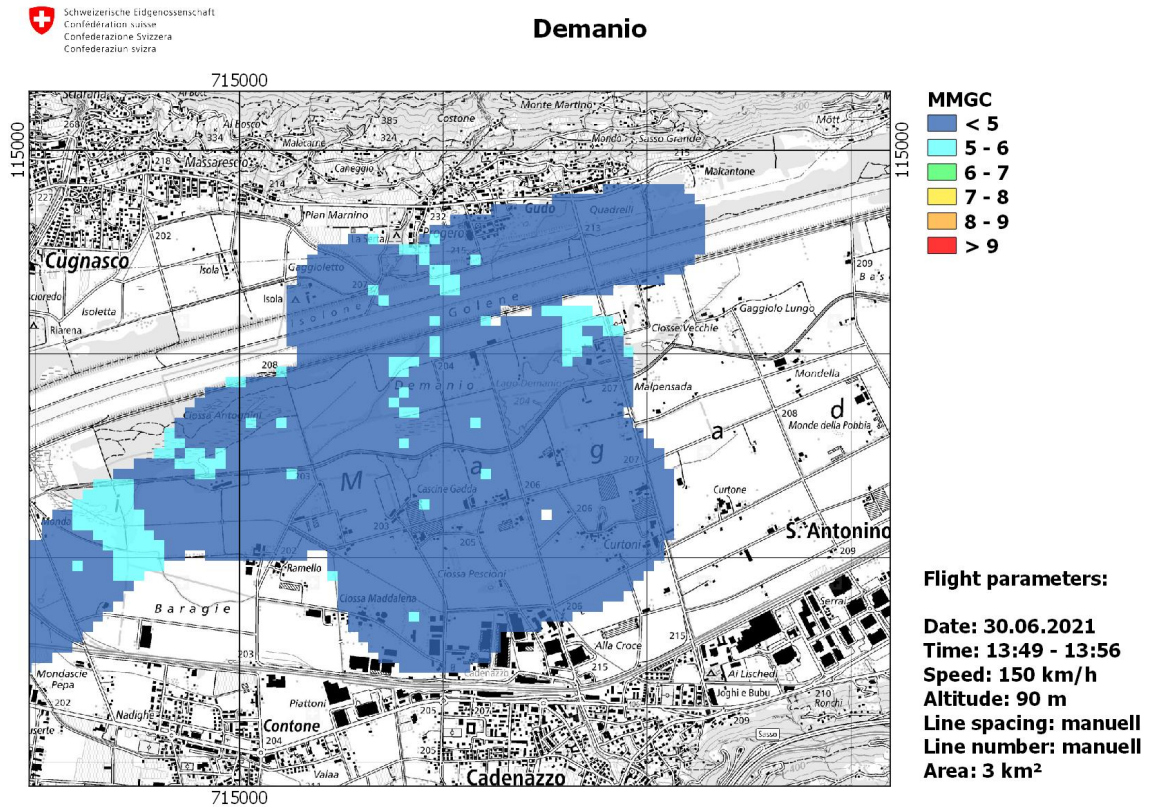


Abbildung 16: MMGC-Karte der alten Deponie Demanio.

3.4.7 Alte Deponie Canobbio: Angaben Messflug

Datum / Zeit: 30.06.2021, Teil des Fluges über dem Messgebiet Lugano
Fluglinien: manuell geflogen
Flugdauer: siehe Messgebiet Lugano
Flugstrecke: siehe Messgebiet Lugano
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.4.8 Alte Deponie Canobbio: Ortsdosisleistung

Die bei der alten Deponie in Canobbio gemessene Ortsdosisleistung ist in Abbildung 17 dargestellt und liegt in den erwarteten Bereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind vor allem auf Einflüsse der Geologie, der alpinen Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

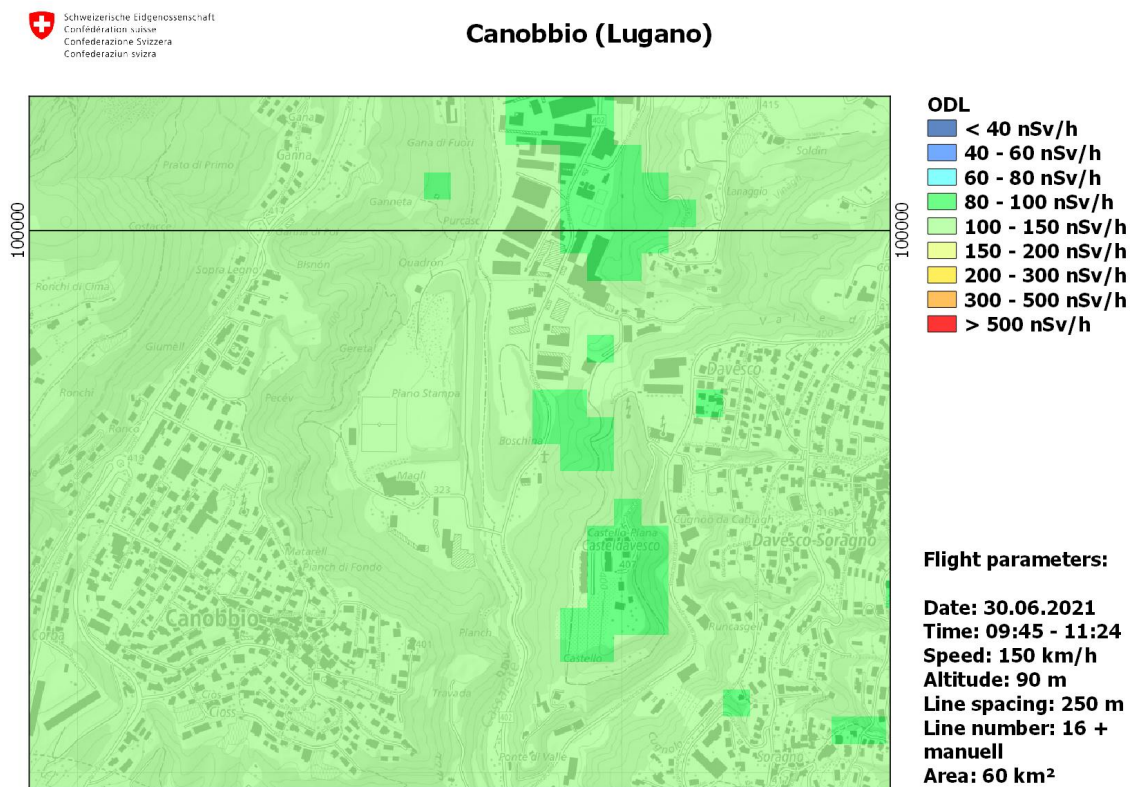


Abbildung 17: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der alten Deponie Canobbio

3.4.9 Alte Deponie Canobbio: MMGC

Auch die Karte in Abbildung 18 zeigt keine Auffälligkeiten bei der alten Deponie Canobbio, die aufgrund des MMGC-Verhältnisses auf künstliche Ablagerungen radioaktiven Materials hinweisen.

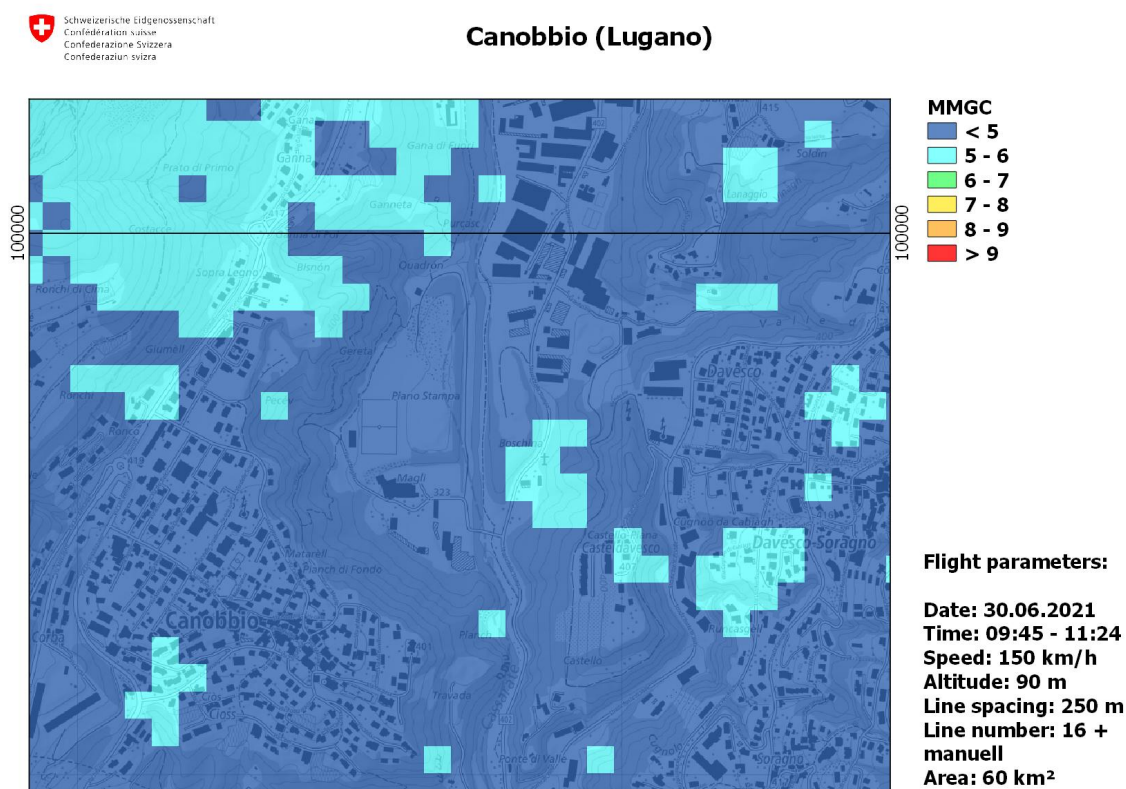


Abbildung 18: MMGC-Karte der alten Deponie Canobbio.

3.4.10 Mehrere kleine Gebiete: Angaben Messflug

Am Mittwoch 30.06.2021 wurden fünf kleine Gebiete vermessen, die zur Studie «[30 Jahre nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl](#)» von 2016 gehört haben. Einer der Messstandorte lag im Messgebiet um Lugano. Die Messkarten und Erkenntnisse für die anderen vier Standorte sind nachfolgend beschrieben:

Datum / Zeit:	30.06.2021, Balerna: 09:32 – 09:41 h, Ronchini: 13:43 – 13:56 h Monti di Paudò: 13:58 – 14:04 h, Lodrino: 14:08 – 14:14 h
Fluglinien:	manuell geflogen
Flugdauer:	Balerna: 9 min, Ronchini: 13 min, Monti di Paudò: 6 min, Lodrino: 6 min
Flugstrecke:	Balerna: 4 km², Ronchini: 1.5 km², Monti di Paudò: 1.5 km², Lodrino: 2 km²
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

3.4.11 Mehrere kleine Gebiete: Ortsdosisleistung

Die Karten der in den vier kleinen Gebieten gemessenen Ortsdosisleistung (ODL) sind in Abbildung 19 dargestellt. Sie zeigen durchwegs normale Werte. Die beobachteten Variationen sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen.

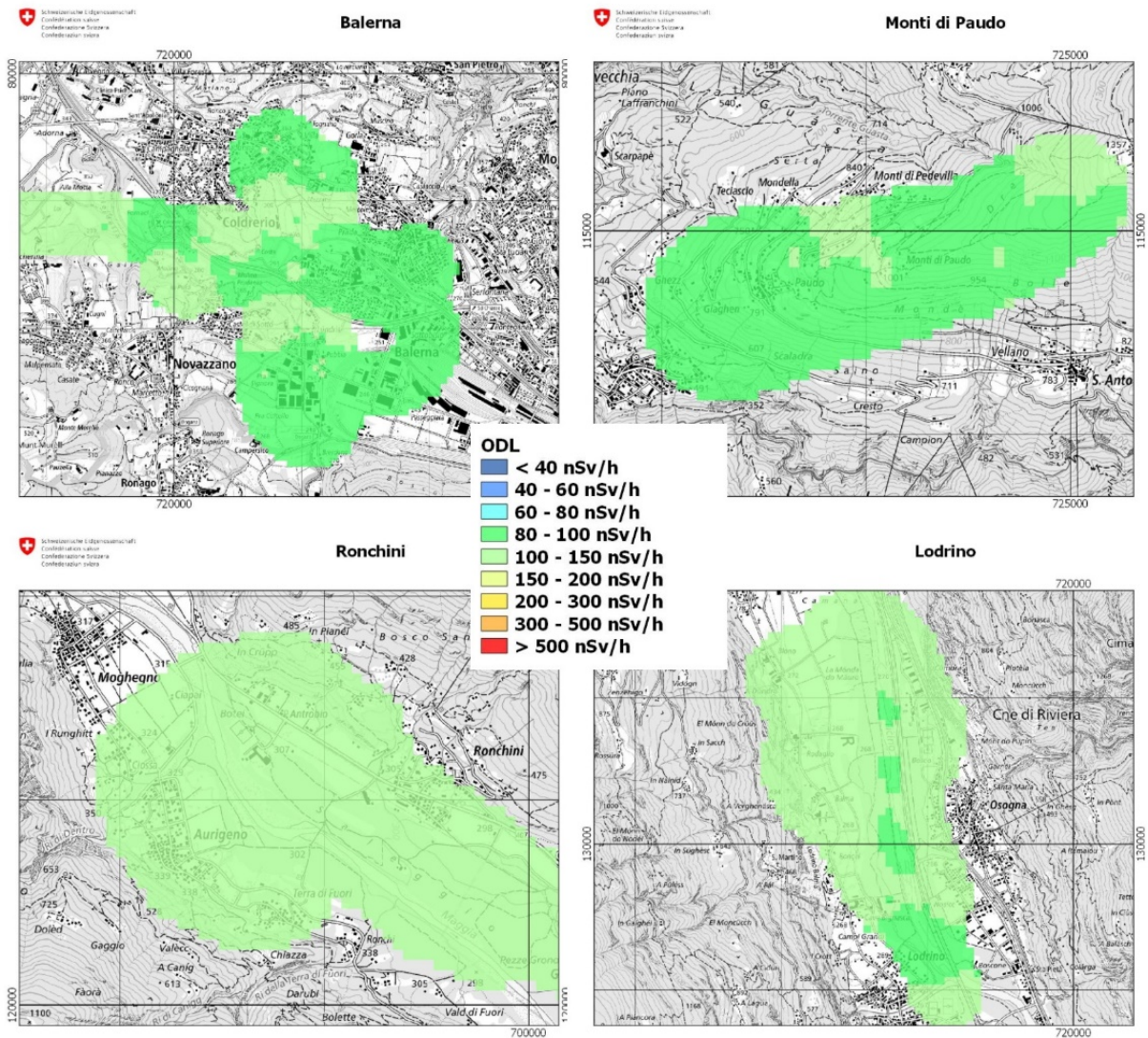


Abbildung 19: Karte der Ortsdosisleistung (ODL) der kleinen Gebieten im Tessin.

3.4.12 Mehrere kleine Gebiete: Cäsium ¹³⁷Cs

Die ¹³⁷Cs-Karten in Abbildung 20 zeigen leicht erhöhte Werte. Diese sind auf ¹³⁷Cs-Ablagerungen nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl 1986 zurückzuführen. Die Messwerte liegen in dem für die Südalpen zu erwartenden Bereich. Auf den Monti di Paudò wurden die höchsten ¹³⁷Cs-Konzentrationen gemessen, was mit einer Studie des Kantons Tessin übereinstimmt.

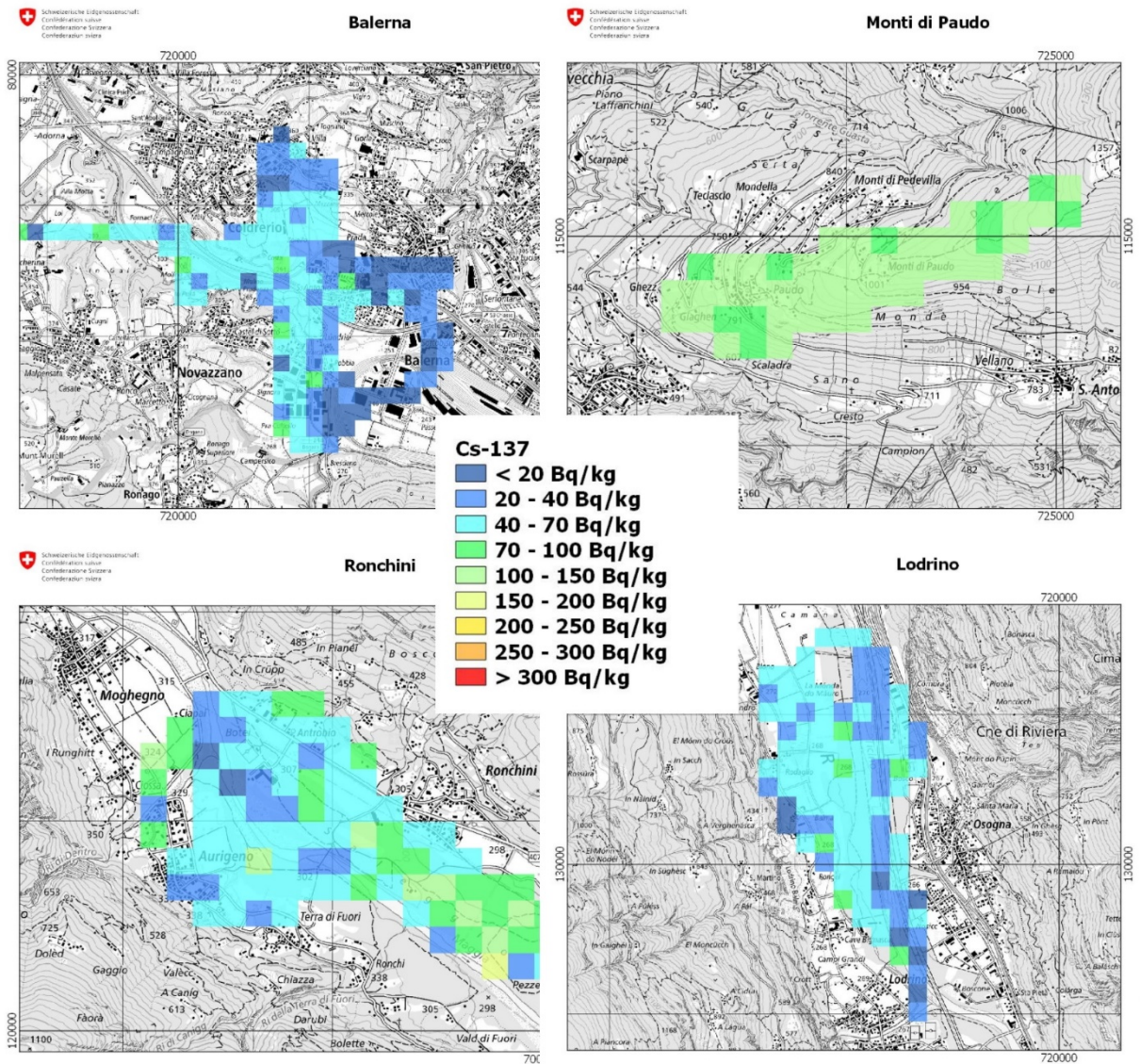


Abbildung 20: ¹³⁷Cs-Karte der kleinen Gebiete im Tessin. Punktuell sind die Werte etwas höher auf unbebautem Gebiet. Die höchsten ¹³⁷Cs-Konzentrationen wurden auf den Monti di Pauto gemessen.

3.5 Transversalflug über Mittelland (Genfer- / Zürichsee)

3.5.1 Transversalflug: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 02.07.2021, 09:09 – 11:39
Fluglinien: Linienabstand 5km, 2 Linien
Flugdauer: 2h 30min
Flugstrecke: ca. 2 x 104 km
Flughöhe über Grund: ca. 90 m

3.5.2 Transversalflug: Natürliche terrestrische Dosisleistung

Die Ortsdosisleistung setzt sich aus einer kosmischen und einer terrestrischen Komponente zusammen. Die kosmische Komponente ist von der Höhe über dem Meeresspiegel abhängig. Diese Höhe unterliegt entlang der geflogenen Transversale aufgrund der Topographie starken Schwankungen. Die terrestrische Dosisleistung wird durch im Boden vorhandene natürliche Radionuklide verursacht und zeigt nur den durch diesen verursachten Anteil. Aus diesem Grund wurde entschieden lediglich die Karte der natürlichen terrestrischen Dosisleistung darzustellen.

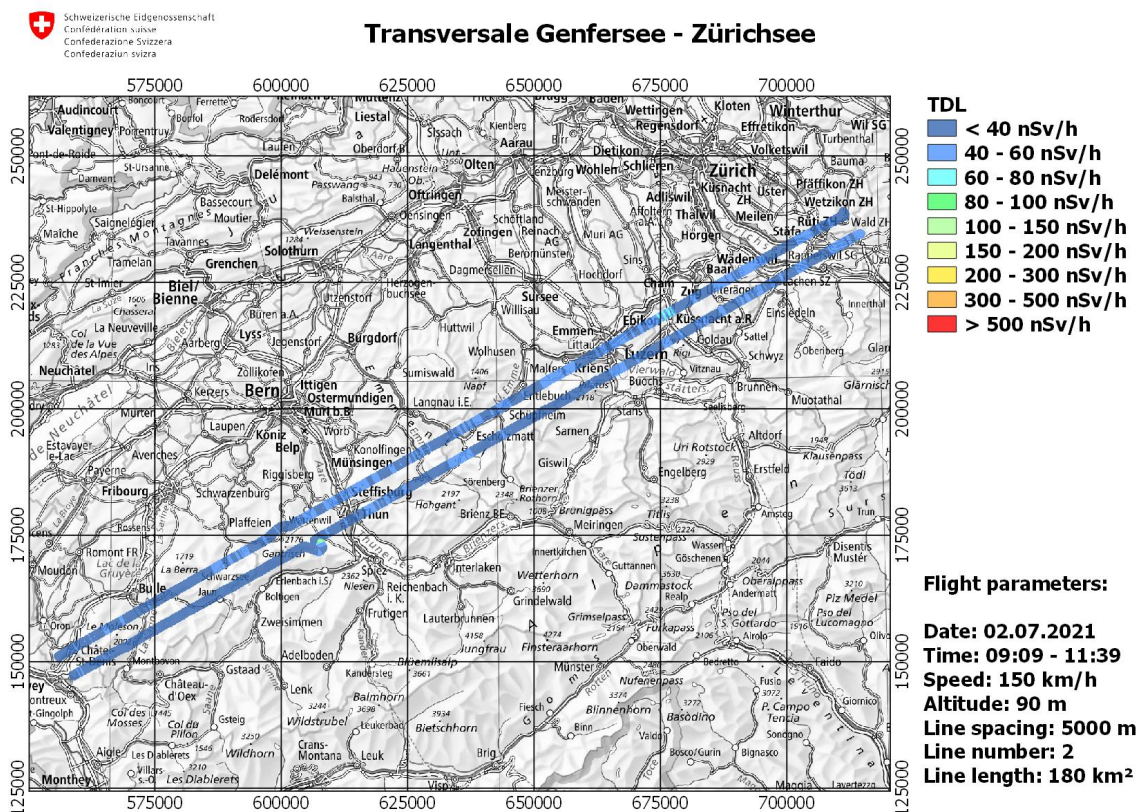


Abbildung 21: Karte der natürlichen terrestrischen Dosisleistung (Terr. DL) entlang der Transversalflugstrecke.

4 Erkenntnisse Messübung Aeroradiometrie 2021

- Die Ziele der Aeroradiometrie-Messwoche 2021 wurden erreicht. Dank der Flexibilität aller beteiligten Stellen konnte auf schwierige Wettersituationen reagiert und alle geplanten Gebiete vermessen werden.
- Aufgrund der topographischen Verhältnisse und des teilweise kleinräumig definierten Messprogrammes mussten aussergewöhnlich viele Flüge manuell durchgeführt werden. Dabei hat sich bewährt, dass die Operatoren den Piloten über ein Display die für den Flug benötigten Informationen anzeigen können. Es hat sich auch gezeigt, dass die Kommunikation über den Sprachkanal noch optimiert werden kann.
- Erstmals seit Einführung des neuen Messsystems 2018 wurde ausschliesslich mit der neuen Software gearbeitet. Die Erfahrungen aus den letzten Jahren flossen dabei in die Optimierung und teilweise Automatisierung der Datenauswertung ein.
- Ein neuer ARM-Operator wurde an der Konsole ausgebildet und konnte bereits für Messflüge eingesetzt werden. Gleichzeitig wurden drei erfahrene Operatoren nach Erfüllung ihrer militärischen Dienstpflicht entlassen.
- Die Einsatzdokumentation wurde an die neuen Prozesse angepasst und anhand der Schulung der Operatoren erfolgreich erprobt. Die Dokumentation ist für den Ernstfall geeignet und bereit.
- Bereits zum zweiten Mal wurde die ARM-Woche des Stabs BR NAZ in zwei Schichten durchgeführt (Mo-Mi und Mi-Fr). So konnten die erfahrenen Mitglieder die Zeit besser einteilen, um die jüngeren Operatoren auszubilden. Es wurden keine negativen Effekte bezüglich Arbeitspensum festgestellt und durch die geringere Anzahl der Leute im Back Office konnte COVID-19 Situation gerecht werden.
- Mit Unterstützung des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR konnten weitere wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse gesammelt werden. Die Prozeduren rund um das ARM-System wurden optimiert (bspw. Konfiguration, Datenspeicherung).
- Um den Operatoren noch mehr Trainingsmöglichkeiten bezüglich der Standardabläufe anzubieten, wurde wiederum eine zweite Messkonsole auf der Flugbasis aufgestellt, Ausbildungssequenzen definiert und durch die Operatoren trainingshalber absolviert.
- Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

Anhang A: Aeroradiometrie allgemein

Wie funktioniert die Aeroradiometrie?

Eine ausführliche Beschreibung des Messverfahrens und der eingesetzten Ausrüstung findet sich in diesem [Factsheet](#).

Auswertung aeroradiometrischer Daten

Das Auswerteverfahren für aeroradiometrische Daten ist beschrieben in: SCHWARZ, G.F., 1991: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie (Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr. 23, Schweizerische Geophysikalische Kommission).

Für die Praxis wird oft eine einfache Methode benötigt, um die aeroradiometrisch gemessenen Werte direkt im Feld auswerten zu können. Dafür haben sich zwei Methoden bewährt:

1. MMGC-Ratio: Dabei wird das Verhältnis vom tieferenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Spektrums gebildet. Weil die künstlich erzeugten Radioisotope meist nur γ -Strahlung niedriger Energie aussenden, entspricht dieses Verhältnis ungefähr dem Verhältnis von künstlicher zu natürlicher Strahlung.
2. Abschätzung der Ortsdosisleistung: Die Summe der Produkte von Zählrate und Kanalenergie über alle Kanäle des Energiespektrums ist proportional zur Dosisleistung am Ort des Detektors. Von dieser Dosisleistung wird der Detektoruntergrund (ca. 2 nSv/h) und die Dosisleistung aus der kosmischen Strahlung (gemessen über einen speziellen Zählkanal für hochenergetische Photonen) abgezogen, was die terrestrische Dosisleistung am Ort des Detektors ergibt. Über eine exponentielle Korrektur von der Flughöhe auf einen Meter über Grund wird anschliessend die terrestrische Ortsdosisleistung berechnet. Die Abschätzung der gesamten Ortsdosisleistung erfolgt durch Addition der kosmischen Dosisleistung in einem Meter über Grund, welche über die kosmische Höhenformel berechnet wird.

Bei der Interpretation von aeroradiometrischen Karten ist zu beachten, dass die Messungen aus der Luft immer einen Mittelwert über ein Gebiet von 300 m x 300 m (90'000 m²) für eine Flughöhe von 90 m über Boden darstellen. Zum Vergleich: Bodenmessungen decken nur eine Fläche von rund 80 m² ab.

Messergebnisse in der Umgebung der Kernanlagen

Mit Ausnahme der KKW Beznau und Gösgen (Druckwasserreaktoren) können sämtliche schweizerischen Kernanlagen mit aeroradiometrischen Messungen anhand ihrer Direktstrahlung nachgewiesen werden. Das Strahlungsfeld beschränkt sich auf die Areale der Kernanlagen. In der Umgebung ist keine erhöhte künstliche Radioaktivität nachweisbar.

Beim PSI wird die durch die Beschleunigeranlage induzierte Streustrahlung (PSI-West) resp. die Strahlung von radioaktiven Abfällen (Bundeszwischenlager) am Standort (PSI-Ost) erfasst.

Bei Siedewasserreaktoren (KKM und KKL) gelangt im Betrieb durch die Frischdampfleitung das Aktivierungsprodukt ¹⁶N ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, wird Gammastrahlung des ¹⁶N aus der Luft gut detektiert. KKW mit Druckwasserreaktoren (KKG und KKB) weisen eine sehr geringe Gesamtstrahlung auf und sind in der Regel nicht erkennbar.

Ausserhalb der umzäunten Areale der Kernanlagen wurde keine erhöhte künstliche Radioaktivität festgestellt, die nicht durch den Reaktorunfall in Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann. Der Aktivitätspegel in der Umgebung ist über die letzten 15 Jahre konstant geblieben.