



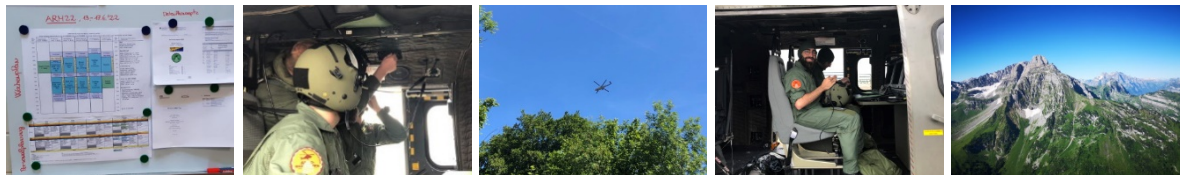
Cristina Poretti, Adrian Hess, Gerald Scharding

17. Juni 2022

Übung Aeroradiometrie 2022

vom 13. bis 17. Juni 2022

Übungsbericht und Messresultate



Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Übung Aeroradiometrie 2022	4
2.1	Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen.....	4
2.2	Städtemessung Chur, nördliche und nordöstliche Umgebung des Flughafens Zürich, sowie nordwestlicher Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette	4
2.3	Wissenschaftlich interessante Gebiete in den Kantonen St. Gallen und Graubünden.....	4
2.4	Testflüge im Rahmen einer Übung mit dem Paul Scherrer Institut PSI.....	5
2.5	Allgemeine Ziele des Aeroradiometrie-Teams	5
2.6	Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden	5
2.7	Wissenschaftlicher Bericht.....	6
2.8	Beteiligte Partnerorganisationen	6
3	Messresultate	8
3.1	Standardmessprogramm um die Kernanlagen KKL, KKB, PSI und ZWILAG	8
3.2	Natürlicher Hotspot Weisstannental	12
3.3	Rheinwald und Bündner Südtäler Misox und Calancatal.....	14
3.4	Städtemessung Chur	17
3.5	Region nordöstlich vom Flughafen Zürich und nördlicher Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette.....	20
3.6	Testflüge im Rahmen einer Übung mit dem Paul Scherrer Institut PSI.....	25
4	Erkenntnisse	30
Anhang A:	Aeroradiometrie allgemein	31

1 Zusammenfassung

Am ersten Tag der jährlichen Aeroradiometrie-Messkampagne der Nationalen Alarmzentrale (NAZ) wurde das Standardmessprogramm in der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) geflogen. Am zweiten Tag wurden die Stadt Chur sowie das Misox und das Calancatal als wissenschaftlich interessante Gebiete vermessen. Mitte Woche wurde im Rahmen des langjährigen Messprogrammes dichtbesiedelter Gebiete und der Umgebung kritischer Infrastrukturen die Region nordöstlich des Flughafens Zürich und die Umgebung der Orte Witikon, Zollikerberg und Zumikon östlich des Zürichsees überflogen. Am Ende der Messwoche fand in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) eine ganztägige Übung auf dem Waffenplatz in Thun statt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Übung Aeroradiometrie 2022:

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 Beznau und Leibstadt konnten durchgeführt werden. Es wurde weder auf den Betriebsarealen noch ausserhalb gegenüber dem natürlichen Untergrund erhöhte Radioaktivität festgestellt. Im Vergleich mit den Messresultaten der Vorjahre wurden keine Veränderungen beobachtet.
3. Im Rahmen des Städtemessprogramms konnten die Referenzmessungen in Chur, der Region nordöstlich des Flughafens Zürich und das Gebiet um die Orte Witikon, Zollikerberg und Zumikon vorgenommen werden.
4. Im Misox und Calancatal liegen die Messwerte im erwarteten Bereich für die Alpentäler. Spuren des Cäsium-Isotops Cs-137 wurden bei der detaillierten Analyse der gemessenen Energiespektren knapp erkannt. Diese Cäsium-Ablagerungen sind auf die Verfrachtung von radioaktivem Material nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 zurückzuführen.
5. In Zusammenarbeit mit dem PSI wurden während einer Übung auf dem Waffenplatz in Thun wertvolle Messdaten generiert, die der Entwicklung einer neuen numerischen Kalibrierung des Aeroradiometrie-Systems im Rahmen einer Doktorarbeit dienen.
6. Dank der Messflüge sowie der intensiven und gezielten Übungen am Boden konnte das Aeroradiometrie-Team Kenntnisse erweitern und festigen. Die Handhabung des Messsystems sowie die Auswertung am Boden erfolgen mit zunehmender Routine.
7. Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

2 Übung Aeroradiometrie 2022

Die diesjährigen Messflüge fanden vom 13. bis 17. Juni statt. Start- und Landebasis für die meisten Flüge war der Flugplatz Dübendorf, am Dienstag 14. Juni wurde in Magadino und am Donnerstag 16. Juni in Thun zwischengelandet.

2.1 Messflüge in der Umgebung der Schweizer Kernanlagen

Alle Schweizer Kernanlagen werden im Auftrag des ENSI im Zweijahresrhythmus aeroradiometrisch untersucht. Turnusgemäss wurde dieses Jahr die Umgebung der Anlagen KKB, KKL, PSI und ZWILAG vermessen.

2.2 Städtemessung Chur, nördliche und nordöstliche Umgebung des Flughafens Zürich, sowie nordwestlicher Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette

Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtemessprogramm, in dessen Rahmen die grössten Schweizer Städte und Gemeinden überflogen werden, sowie ein Messprogramm dichtbesiedelter Gebiete und der Umgebung kritischer Infrastrukturen. Im Rahmen dieser Programme werden Nullmessungen 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 Chur verfügt die NAZ inzwischen über Messkarten vieler Schweizer Gemeinden, inklusive der 17 grössten Städte. Zudem wurde die Karte mit bereits aeroradiometrisch vermessenen Gebieten ergänzt um die Region nördlich und nordöstlich des Flughafens Zürich-Kloten von den Gemeinden Bassersdorf und Bülach bis zur nördlichen Landesgrenze zwischen Rheinau und Eglisau, einschliesslich des Rafzerfeldes, und um den nördlichen Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette mit den Ortschaften Zumikon, Zollikerberg und Witikon.

2.3 Wissenschaftlich interessante Gebiete in den Kantonen St. Gallen und Graubünden

Im Weisstannental im Kanton St. Gallen ist ein natürlicher Hotspot in Form einer punktförmigen Uran-Anomalie bekannt. Dieser Hotspot war zu Fuss schon mehrmals untersucht und auch Bodenproben waren entnommen worden. 1997 war zudem das Gebiet schon einmal aeroradiometrisch vermessen worden. Diese Messung wurde in der diesjährigen Flugwoche mit dem 2018 eingeführten neuen Messsystem mit deutlich niedriger Flughöhe wiederholt. Der Messflug erfolgte manuell und die Piloten flogen nach Anweisung der Aeroradiometrie-Operatoren, was Gelegenheit bot, auch diese Art der Zusammenarbeit zu trainieren.

Anschliessend wurde eine interessante Begebenheit in den Bündner Südtälern untersucht. Im Nachgang der Nuklearkatastrophe in Tschernobyl waren kontaminierte Luftmassen in Richtung Schweiz verfrachtet worden. Insbesondere im Kanton Tessin und den Bündner Südtälern erfolgten Niederschläge, welche zur Deposition von Teilen dieser Radionuklide am Boden führten. Auch 36 Jahre später sind noch Reste dieser Kontamination messbar. Das Alkalimetall Cäsium akkumuliert sich unter anderem in Hirschtrüffeln, die wiederum saisonal von Wildschweinen bevorzugt gefressen werden. Der Kanton Tessin untersucht seit 2013 und der Kanton Graubünden seit 2019 sämtliche erlegten und für den Verzehr bestimmten Wildschweine auf das radioaktive Cäsium-Isotop ^{137}Cs . Als Ergänzung zu der Erkenntnis, dass bei diesen Proben regelmässig Grenzwerte überschritten werden, hat die NAZ entschieden, dieses Jahr das Misox und das Calancatal aeroradiometrisch zu vermessen.

Aufgrund der komplizierten Topographie wurde auch dieser Messflug manuell durchgeführt und die Messung wurde ad-hoc dort verdichtet, wo es die topographischen Verhältnisse zulassen. Das Schwergewicht lag bei diesem Flug auf unbebauten und primär bewaldeten Gebieten.

2.4 Testflüge im Rahmen einer Übung mit dem Paul Scherrer Institut PSI

Im Rahmen einer Doktorarbeit wird am PSI eine Kalibriermethode speziell für die Schweizer Aeroradiometrie-Messsysteme entwickelt, mit der die Qualität der Ergebnisse bei gleichzeitiger Erweiterung der Messmöglichkeiten verbessert werden soll. Mithilfe der numerischen Modelle kann in Zukunft eine breitere Palette an Radionukliden identifiziert und quantifiziert werden. Insbesondere erlaubt diese Kalibration die verbesserte Identifikation künstlicher Radionuklide aus den Bereichen Medizin, Industrie und Forschung, welche im Falle radiologischer Zwischenfälle freigesetzt werden könnten.

Die Korrektheit des entwickelten numerischen Modells muss durch Messungen überprüft werden. Solche Überprüfungsmessungen wurden am 16. Juni auf dem Waffenplatz Thun mit am Boden ausgelegten radioaktiven Quellen durchgeführt (insgesamt 13 verschiedene Missionen). Die an diesem Tag gesammelten Messdaten werden nachträglich am PSI im Detail analysiert.

2.5 Allgemeine Ziele des Aeroradiometrie-Teams

Folgende grundsätzlichen 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 zwei Stunden nach dem Messflug.
- Verbesserung und Festigung der Kenntnisse für den Betrieb des durch die NAZ eingesetzten Aeroradiometrie-Systems.
- Finalisierung des Ausbildungsprogrammes für neue Aeroradiometrie-Operatoren.
- Überprüfung und Aktualisierung der Einsatzdokumentation.

2.6 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 der 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 9. Juni die Messflüge angekündigt, parallel dazu wurde am 10. Juni ein Blog-Beitrag publiziert. Partner und Behörden wurden vorab aktiv informiert. Während der Messwoche wurden täglich 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.

2.7 Wissenschaftlicher Bericht

Das PSI wird voraussichtlich bis Ende Jahr einen detaillierten wissenschaftlichen Bericht publizieren.

2.8 Beteiligte Partnerorganisationen

Folgende Organisationen waren in die Vorbereitung und Durchführung der Übung «Aeroradiometrie 2022» involviert:

- Nationale Alarmzentrale (NAZ) und Stab Bundesrat NAZ
- Kompetenzzentrum ABC-KAMIR
- Schweizer Luftwaffe (LW)
- Paul Scherrer Institut (PSI)
- Bundesamt für Gesundheit (BAG)
- Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI)
- ABC-Koordinatoren der Kantone AG, BE, GR, SH und ZH
- Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit des Kantons GR

Die NAZ und das Aeroradiometrie-Team danken allen Beteiligten für die gute Zusammenarbeit.



3 Messresultate

3.1 Standardmessprogramm um die Kernanlagen KKL, KKB, PSI und ZWILAG

Turnusgemäss wurde dieses Jahr die Umgebung der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau und der Kernanlagen PSI und ZWILAG aeroradiometrisch vermessen. Seit dem Jahr 2018 wurde das Standardmessprogramm im Auftrag der Deutsch-Schweizerischen Kommission für die Sicherheit kerntechnischer Einrichtungen (DSK) um einen grenznahen Streifen auf deutschem Boden erweitert und seit 2020 um das Gebiet auf Schweizer Seite um Bad Zurzach, Rietheim und Koblenz bis zur Landesgrenze. Dieses Jahr wurden erstmals die Fluglinien auf deutscher Seite in nordöstlicher Richtung bis über die Stadtteil Waldshut von Waldshut-Tiengen verlängert.

Die Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau I und befanden sich während des Messfluges in der jährlichen Revision. Das Kernkraftwerk Beznau II war während der Aeroradiometrie-Flugwoche in Betrieb, ebenso die Anlagen SLS und SwissFEL des PSI.

3.1.1 KKL, KKB, PSI und ZWILAG: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	13.06.2022, 09:52 – 11:52 h und 13:54 – 16:15 h
Fluglinien:	Linienabstand 250 m, 55 Linien
Flugdauer:	4h 21min
Fluggebiet:	ca. 180 km ² in der Umgebung von KKL, KKB, PSI und ZWILAG
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

3.1.2 KKL, KKB, PSI und ZWILAG: Ortsdosisleistung

Ausserhalb der Betriebsareale der Kernanlagen:

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

In der Umgebung von Mandach gibt es eine bekannte natürliche Thorium-Anomalie. Die Thoriumkonzentration im Boden liegt dort über dem Schweizer Durchschnitt. Der Beitrag der aus diesem Thorium stammenden Strahlung zur Ortsdosisleistung ist sehr klein und auf der ODL-Karte (Abbildung 1) knapp zu erkennen.

Der Vergleich mit den Resultaten aus früheren Messungen in der Umgebung der Kernanlagen KKB, KKL, PSI und ZWILAG zeigte keine signifikanten Unterschiede.

Innerhalb des Betriebsareales:

Das Kernkraftwerk Leibstadt befand sich während des Messfluges in Revision, somit ist auch dessen Dampfleitung zwischen Reaktor- und Maschinengebäude auf der Messkarte nicht zu erkennen. Aus den Kernreaktoren aller Werke ist aufgrund der dicken Schutzhülle keine Gammastrahlung messbar. Vergleichbare Werte wurden bereits in den vergangenen Jahren beobachtet.

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

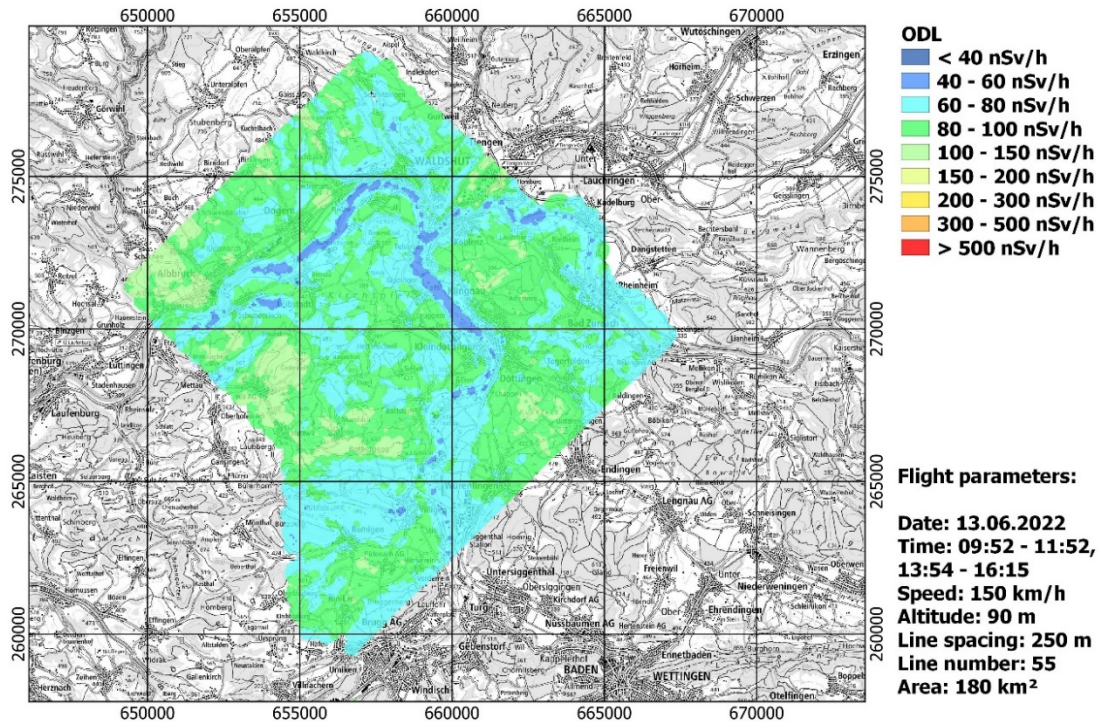


Abbildung 1: Karte der ODL in der Umgebung der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau und der Kernanlagen PSI und ZWILAG.

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

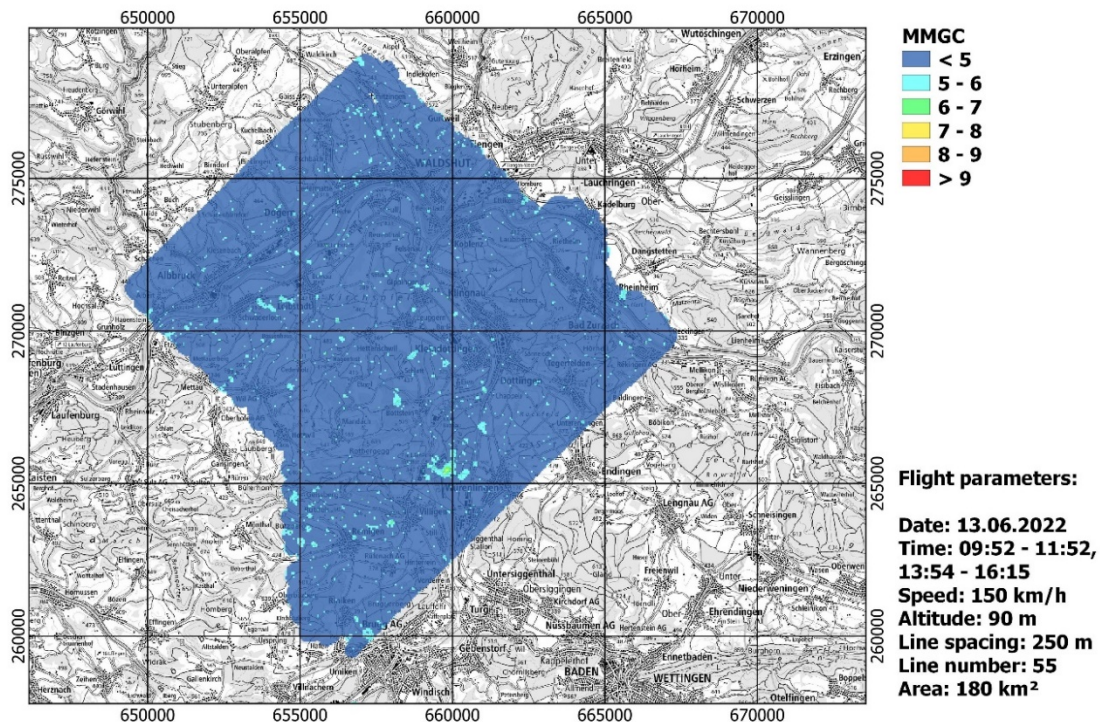


Abbildung 2: Karte des MMGC-Verhältnisses in der Umgebung der Kernanlagen KKB, KKL, PSI und ZWILAG.

3.1.1 KKL, KKB, PSI und ZWILAG: MMGC-Verhältnis

In der Karte in Abbildung 2 wird das Verhältnis vom niederenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Strahlenspektrums 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.

Weder innerhalb der Betriebsareale noch in den direkten Umgebungen der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau wurden Auffälligkeiten festgestellt, die auf künstliche Radioaktivität hinweisen. Einige 100 m östlich des PSI-Areals wurden einige Messpunkte mit einem MMGC-Verhältnis über 7 und damit dem ungefähr 1.5-fachen Untergrundes festgestellt. Für die bessere Sichtbarkeit dieses Bereichs mit dem höheren MMGC-Verhältnis ist in Abbildung 3 ein Kartenausschnitt mit kleinerem Massstab dargestellt. Eine Analyse des Energiespektrums, das in Abbildung 4 dargestellt ist, hat ergeben, dass die gemessene Strahlung bei 511 kV liegt und es sich somit um Annihilationsstrahlung handelt. Diese Annihilationsstrahlung entsteht beim Zerfall aktivierter Luftbestandteile in der Abluft der Beschleunigeranlage im PSI West.

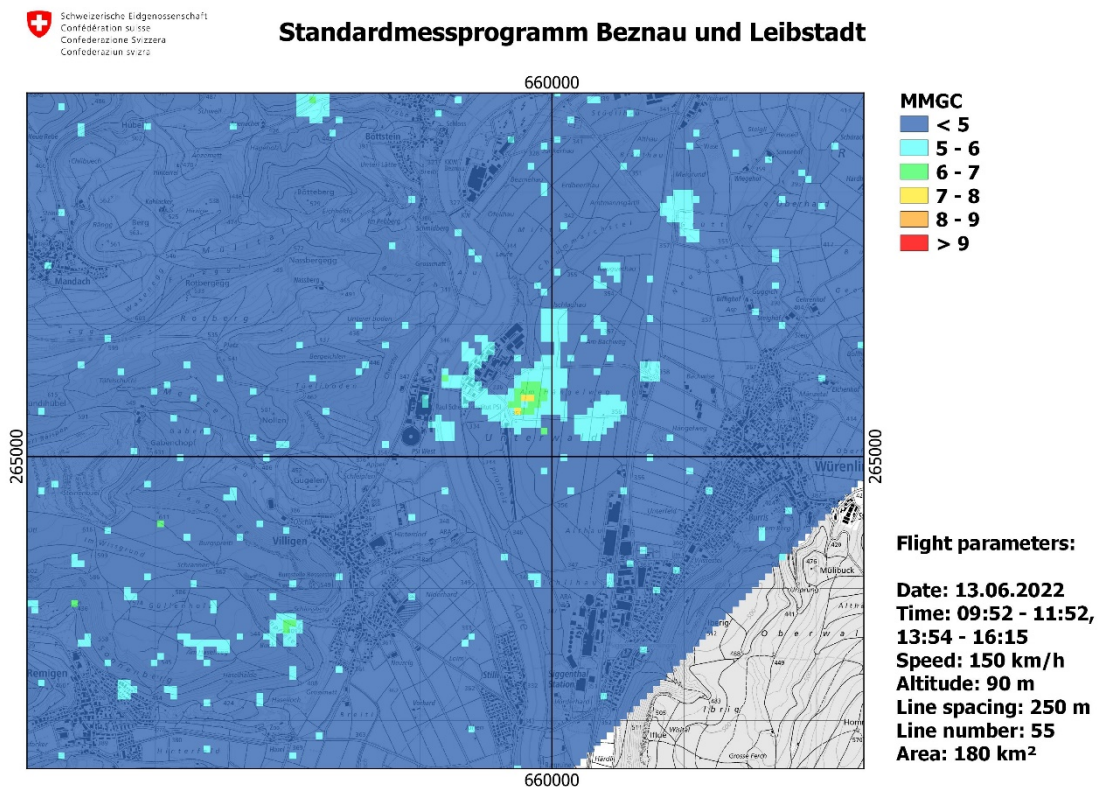


Abbildung 3: MMGC-Verhältnis in der Nähe des PSI, Ausschnitt mit kleinerem Kartenmassstab.

Die Freisetzung dieser aktivierten Luftbestandteile ist bewilligt, wird überwacht und bilanziert, und die Beobachtung des erhöhten MMGC-Verhältnisses westlich des PSI deckt sich mit der Windmessung von MeteoSchweiz auf der Wetterstation im PSI: Zum Zeitpunkt des Messfluges herrschte leichter Wind mit Richtung 270°, also eine Windströmung von Westen nach Osten.

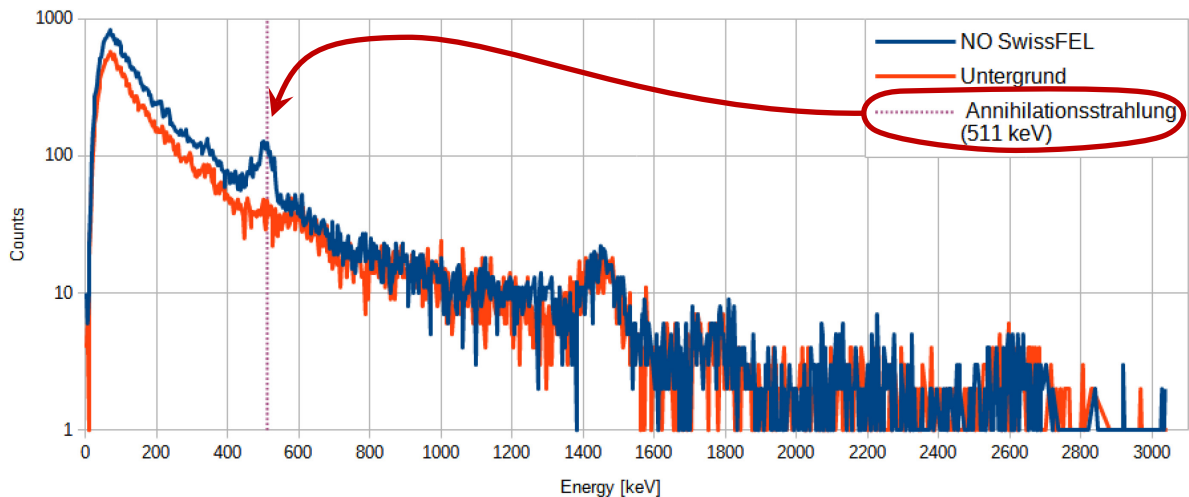


Abbildung 4: Gammaspektrum des Punktes mit dem höchsten MMGC-Verhältnis aus der Abluftwolke der PSI-Beschleunigeranlage.

Erklärung: Annihilationsstrahlung aus der Abluft PSI West

In der Beschleunigeranlage des PSI West werden Teile der Umgebungsluft durch die vorhandene Neutronenstrahlung aktiviert. Diese Luft wird über die Lüftungsanlage in 30 m Höhe in die Umgebung abgegeben und zerfällt innerhalb von Minuten wieder in die ursprünglichen Bestandteile. Bei diesem Vorgang entsteht Annihilationsstrahlung.

Das Aeroradiometrie-Messsystem ist für am Boden befindliche Aktivität kalibriert. Wenn der Helikopter eine Wolke mit radioaktiven Bestandteilen durchfliegt, liegt die Quelle der Photonenstrahlung viel näher am Detektor. Dadurch wird die auf Bodenstrahlung hochgerechnete Aktivität stark überschätzt.



3.1.2 KKL, KKB, PSI und ZWILAG: Thorium-232

Das nuklidspezifische Signal des Thorium-Isotopes Th-232 ist auf der Karte in Abbildung 5 dargestellt. Die in Abschnitt 3.1.2 erwähnte natürliche Thorium-Anomalie führt zu der türkisfarbenen Fläche und den hellgrünen Flecken in der Umgebung von Mandach, südwestlich von Böttstein. Typische Werte für die Th-232-Konzentration liegen in der Schweiz bei 20 bis 30 Bq/kg, in der Umgebung von Mandach erreicht sie Werte bis 75 Bq/kg (vgl. Wissenschaftlicher Bericht: PSI Bericht Nr. 15-02, ISSN 1019-0643, Seiten 8-11 und 20-23).

Standardmessprogramm Beznau und Leibstadt

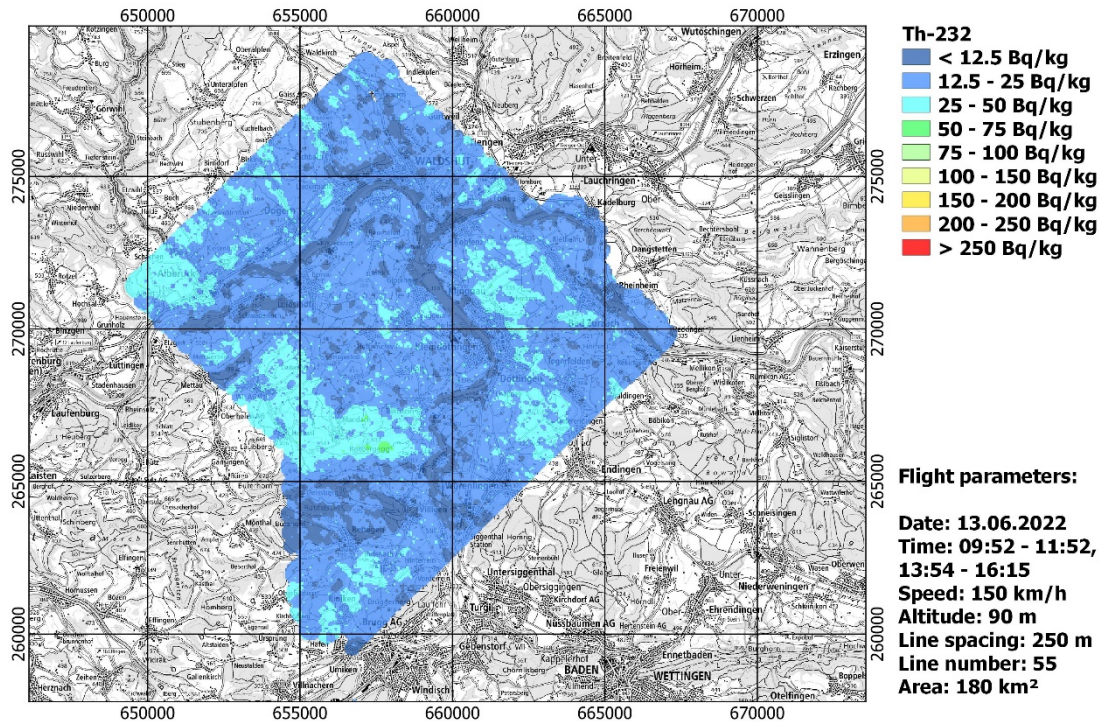


Abbildung 5: Th 232-Karte in der Umgebung der Kernanlagen KKB, KKL, PSI und ZWILAG.

3.2 Natürlicher Hotspot Weisstannental

In einer 2008 publizierten Studie¹ wurde eine natürliche punktförmige Uran-Anomalie im Weisstannental im Kanton St. Gallen erwähnt, 1 km östlich des Risetenhorens. Dieser Hotspot wurde in der aktuellen Aeroradiometrie-Flugwoche überflogen. Dieser Messflug erfolgte manuell. Dies bedeutet, die Piloten flogen nach Anweisung der Aeroradiometrie-Operatoren in verschiedenen Flughöhen und Richtungen über das betreffende Gebiet.

3.2.1 Natürlicher Hotspot Weisstannental: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	14.06.2022, 09:08 – 09:19 h
Fluglinien:	Suchmuster / Quellensuche
Flugdauer:	11min
Flughöhe über Grund:	mehrheitlich 50 m, eine Linie 30 m

¹ Bützer, Peter. Ein radioaktiver «Hotspot» im Verrucano des Weisstannentals. Berichte der St.-Gallischen naturwissensch. Gesellschaft, Band 91, 2008 (<http://doi.org/10.5169/seals-832615>)

3.2.2 Hotspot Weisstannental: Ortsdosisleistung

Die Karte der ODL in Abbildung 6 zeigt normale Werte. Wie in dieser Region zu erwarten, wurden ODL-Werte bis knapp über 200 nSv/h gemessen. Deutlich erhöhte Messpunkte sind nicht zu erkennen. Die dunkelgelb markierten Pixel sind zudem kritisch zu betrachten, da das Messsystem für ebenen Grund kalibriert ist und daher in steilem Gelände Messartefakte in Form erhöhter Werte detektiert werden können.

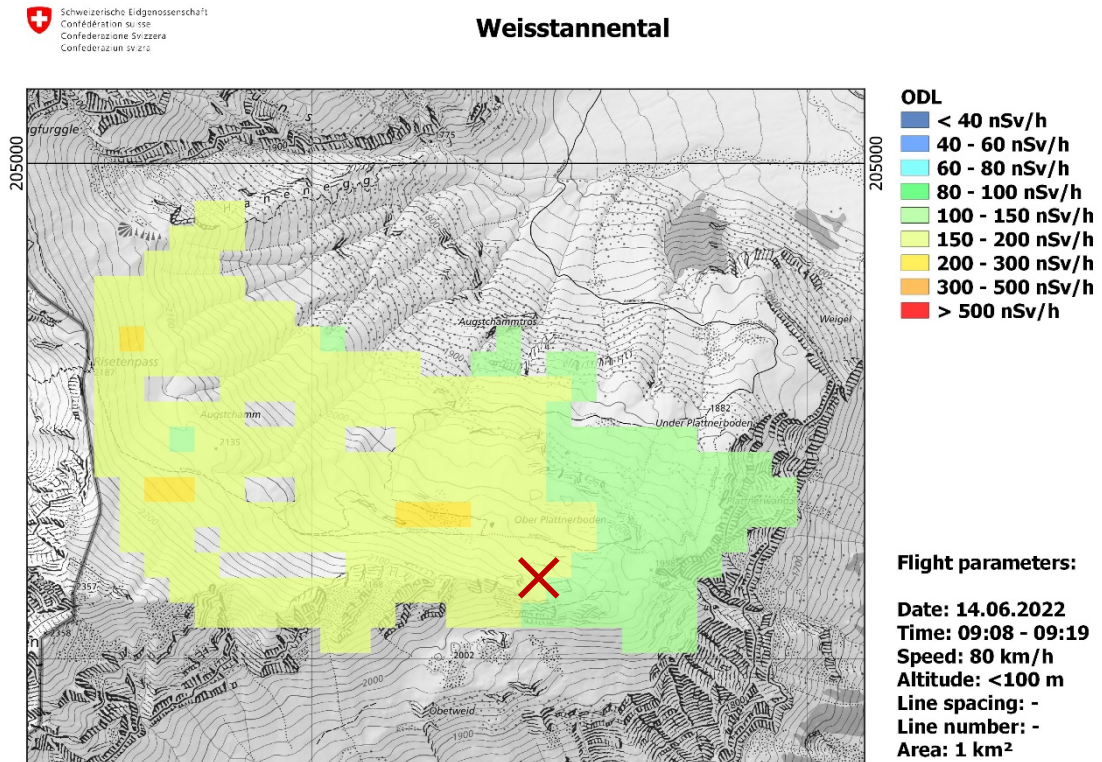


Abbildung 6: Messkarte der ODL in der Umgebung des Hotspots im Weisstannental. Der Standort der bekannten punktförmigen Uran-Anomalie ist mit einem roten Kreuz markiert.

3.2.1 Hotspot Weisstannental: Uran

Auch in der Uran-Messkarte (U-238) in Abbildung 7 sind keine signifikant erhöhten Werte zu erkennen.

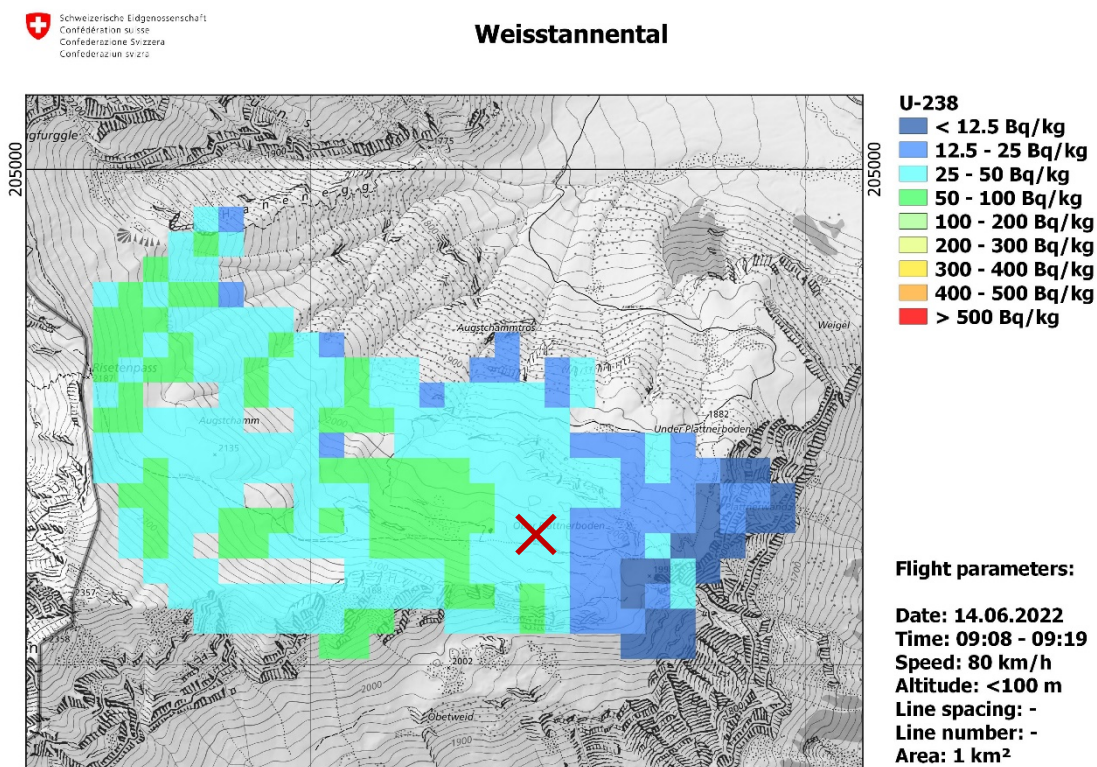


Abbildung 7: Messkarte des Uran-Isotopes U-238 in der Umgebung des Hotspots im Weisstannental. Der Standort der bekannten Uran-Anomalie ist mit einem roten Kreuz markiert.

3.3 Rheinwald und Bündner Südtäler MisoX und Calancatal

Ein Messflug führte von Ander dem Rheinwald entlang über den San Bernardino, durch das MisoX und schliesslich durch das Calancatal. Dieser Messflug erfolgte manuell. Das heisst, die Piloten flogen nach Anweisung der Aeroradiometrie-Operatoren. Wo es die Topographie zulies, wurden ad-hoc zusätzliche Messlinien eingeschoben und so die Dichte an verfügbaren Messwerten erhöht.

3.3.1 Rheinwald, MisoX und Calancatal: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 14.06.2022, 09:32 – 11:36 h
Fluglinien: Manueller Flug unter Anweisung der Aeroradiometrie-Operatoren
Flugdauer: 2h 04min
Flughöhe über Grund: 90 m

3.3.2 Rheinwald, Misox und Calancatal: Ortsdosisleistung

Die Karte der ODL im Rheinwald und den Bündner Südtälern Misox und Calancatal in Abbildung 8 zeigt keine Auffälligkeiten. Werte bis 200 nSv/h liegen für die Alpentäler im erwarteten Bereich.

3.3.3 Rheinwald, Misox und Calancatal: MMGC-Verhältnis

Auch die Karte mit dem Verhältnis vom niederenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Strahlenspektrums Abbildung 9 enthält keine Werte, die auf einen deutlich erhöhten Anteil an künstlicher Radioaktivität schliessen lassen. Das MMGC-Verhältnis ist aber tendenziell in den Südtälern etwas höher als nördlich des San Bernardino.

3.3.4 Rheinwald, Misox und Calancatal: Cäsium

Auf der Cs-137-Messkarte in Abbildung 10 sind etwas höhere Werte im Misox und im Calancatal zu erkennen. Im Rheinwald liegen die gemessenen Werte zwischen 20 und 50 Bq/kg, nur geringfügig höher als beispielsweise in der Stadt Chur oder im Mittelland. Im Misox und Calancatal wurden Cs-137-Werte bis ca. 150 Bq/kg detektiert, also ungefähr das Dreifache, ohne dass dabei deutliche lokale Maxima erkannt wurden.

Diese Werte sind auf Ablagerungen nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl 1986 zurückzuführen. Die Messwerte liegen in dem für die Südalpen erwarteten Bereich und sind den im letzten Jahr in Lugano gemessenen Werten sehr ähnlich.

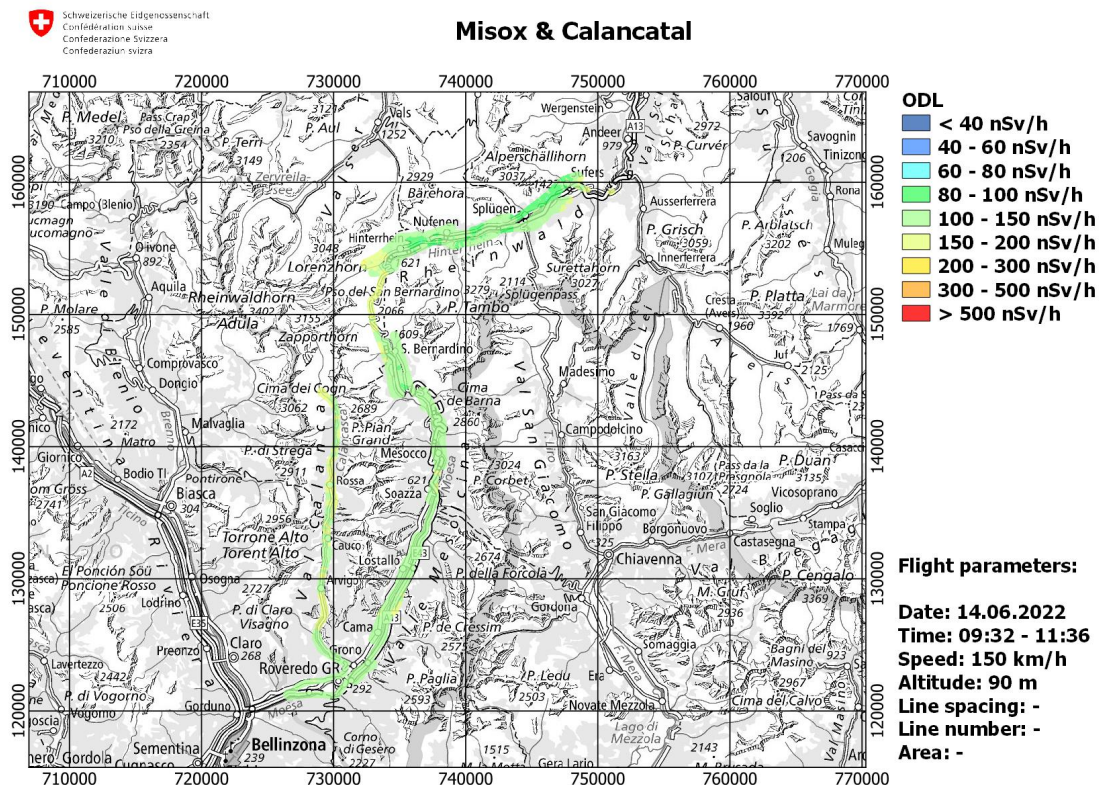


Abbildung 8: ODL im Rheinwald und den Bündner Südtälern Misox und Calancatal.

Misox & Calancatal

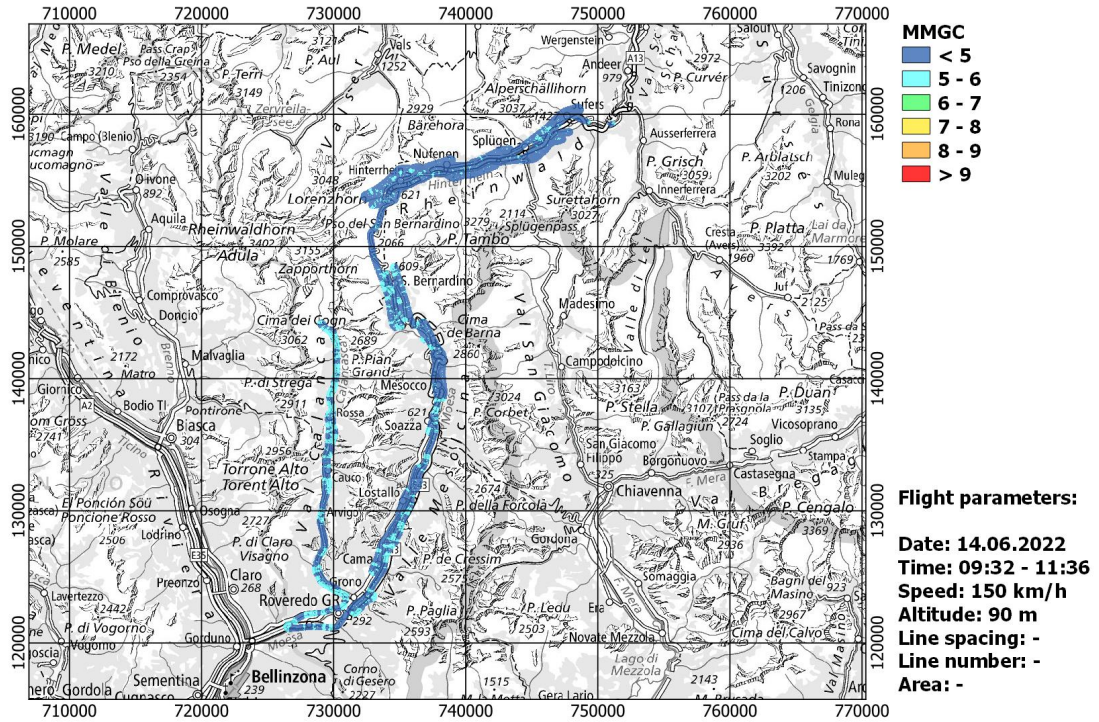


Abbildung 9: MMGC-Verhältnis im Rheinwald und den Bündner Südtälern Misox und Calancatal.

Misox & Calancatal

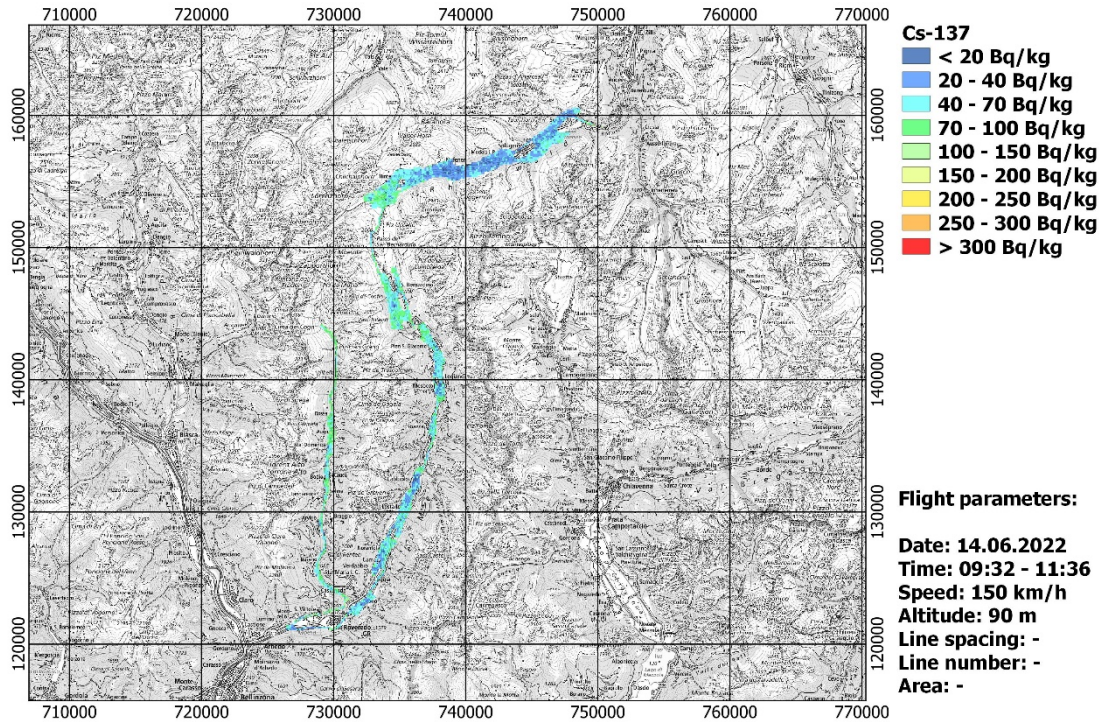


Abbildung 10: Cs-137 im Rheinwald und den Bündner Südtälern Misox und Calancatal.

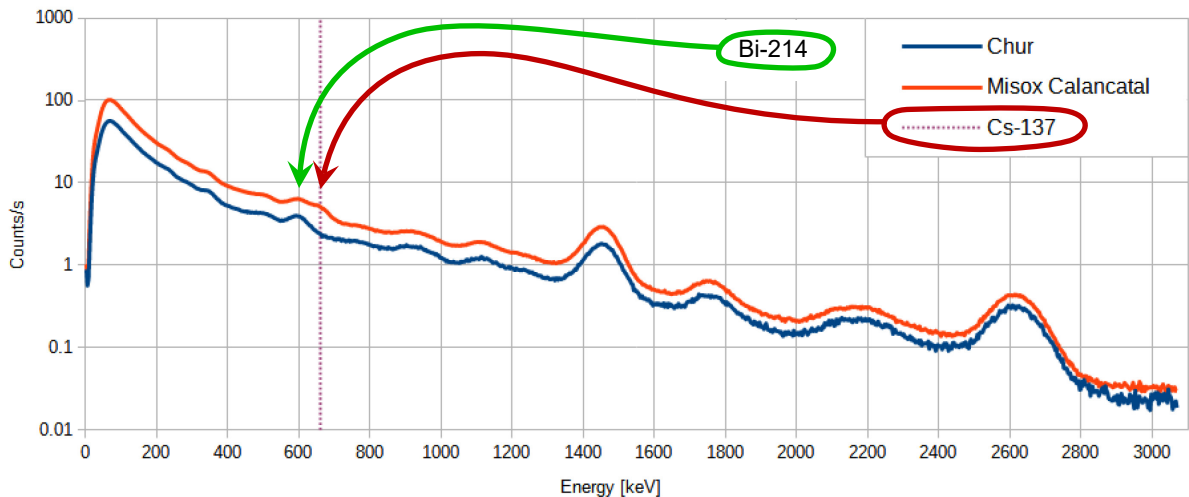


Abbildung 11: Gamma-Summenspektren des Messfluges über der Stadt Chur (blau) und desjenigen im Misox und Calancatal (orange). In beiden Kurven ist der Energiepeak von Bi-214 (Wismut) bei 609 keV zu sehen. In der Kurve der Südtäler ist rechts dieses Peaks zudem eine durch das Cs-137 bedingte Schulter bei 660 keV knapp zu erkennen.

Der Vergleich des Gamma-Summenspektrums aus der gesamten Messung des Misox und des Calancatals mit demjenigen der Stadt Chur in Abbildung 11 zeigt einen feinen Unterschied: Bei 660 keV ist ein Cs-137-Signal zu erkennen, als Schulter gerade rechts des Bi-214 (Wismut)-Peaks bei 609 keV.

3.4 Städtemessung Chur

Im Rahmen des langjährigen Städtemessprogramms wurde dieses Jahr die Stadt Chur inklusive der Nachbarorte Felsberg und Domat/Ems aeroradiometrisch vermessen. Damit stehen der NAZ nun neben vielen kleineren Ortschaften Referenzwerte der 17 grössten Schweizer Städte zur Verfügung.

3.4.1 Chur, Felsberg, Domat/Ems: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	14.06.2022, 13:51 – 14:33 h
Fluglinien:	10 Linien, Abstand 250 m
Flugdauer:	42min
Fluggebiet:	ca. 28 km ² von der Stadt Chur bis nach Domat/Ems
Flughöhe über Grund:	90 m

3.4.2 Chur, Felsberg, Domat/Ems: Ortsdosisleistung

In Abbildung 12 ist die Karte der ODL von Chur dargestellt. In der Karte ist ein Fleck mit tieferen Werten nördlich von Felsberg zu erkennen. Hier ist nach einem Felssturz kaum Vegetation vorhanden und die Beschaffung des Bodens ist anders als in der Umgebung. Zudem musste aufgrund der steil ins Gelände ragenden Felsformationen sehr dynamisch von der festgelegten Flughöhe abgewichen werden, was in der Auswertung schwer zu korrigieren ist.

3.4.3 Chur, Felsberg, Domat/Ems: Cs-137

Wie aus Abbildung 13 ersichtlich, sind in der Region von Chur bis Domat/Ems sehr tiefe Cs-137-Werte zu erkennen, wie es für Orte nördlich der Alpen zu erwarten ist. Die Cs-137-Konzentrationen sind signifikant tiefer als im Calancatal und Misox, die Unterschiede zum Rheinwald sind erwartungsgemäss gering (vgl. Abschnitt 3.3.4).

3.4.4 Chur, Felsberg, Domat/Ems: K-40

In der K-40-Karte in Abbildung 14 ist zu erkennen, dass nordwestlich von Felsberg karges Gestein die Oberfläche dominiert und aufgrund der kaum vorhandenen Vegetation auch deutlich weniger Kalium vorhanden und entsprechend tiefe Konzentrationen des Isotopes K-40 detektiert wurden. Ansonsten ist die Kalium-Karte unauffällig, mit etwas tieferen Werten in überbauten Gebieten als in Zonen mit viel Vegetation.

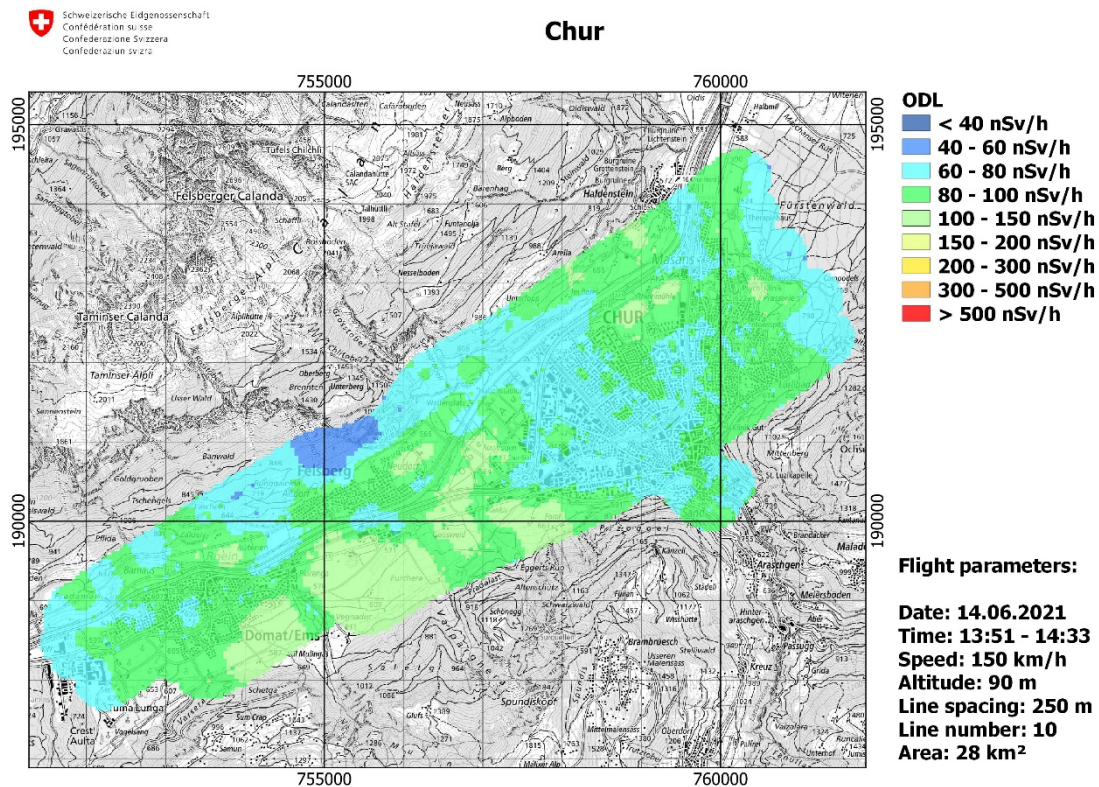


Abbildung 12: ODL der Städtemessung Chur bis Domat/Ems

Chur

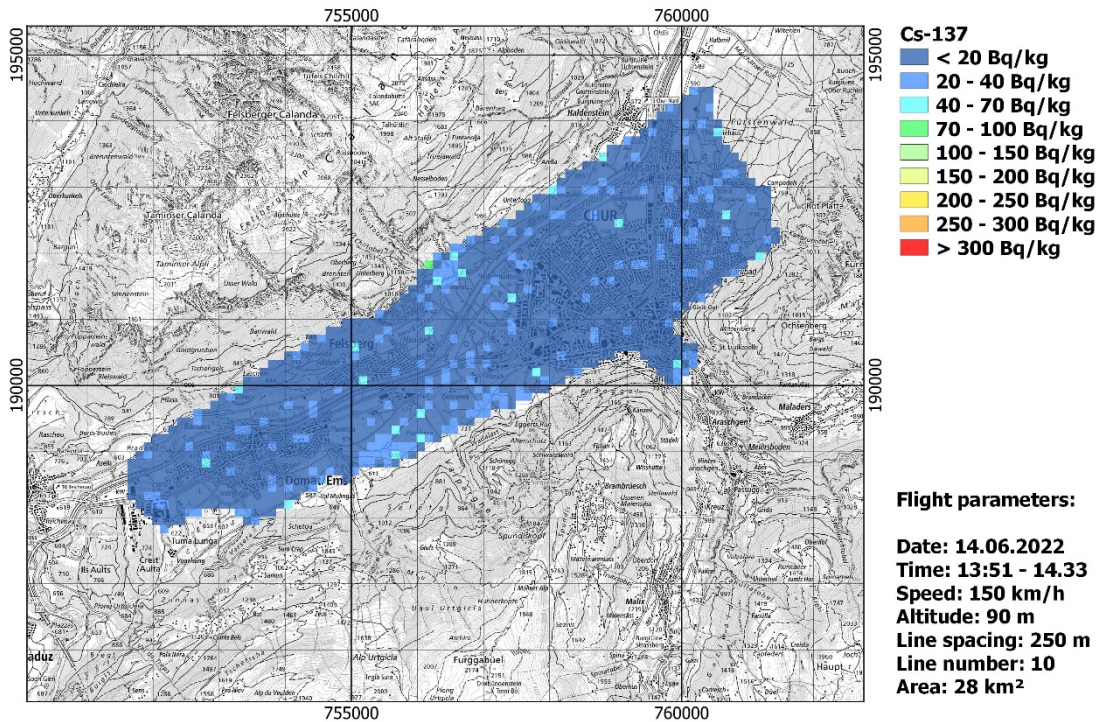


Abbildung 13: In der Cs-137-Karte von Chur bis Domat/Ems sind keine signifikant erhöhte Cs-137-Werte zu erkennen

Chur

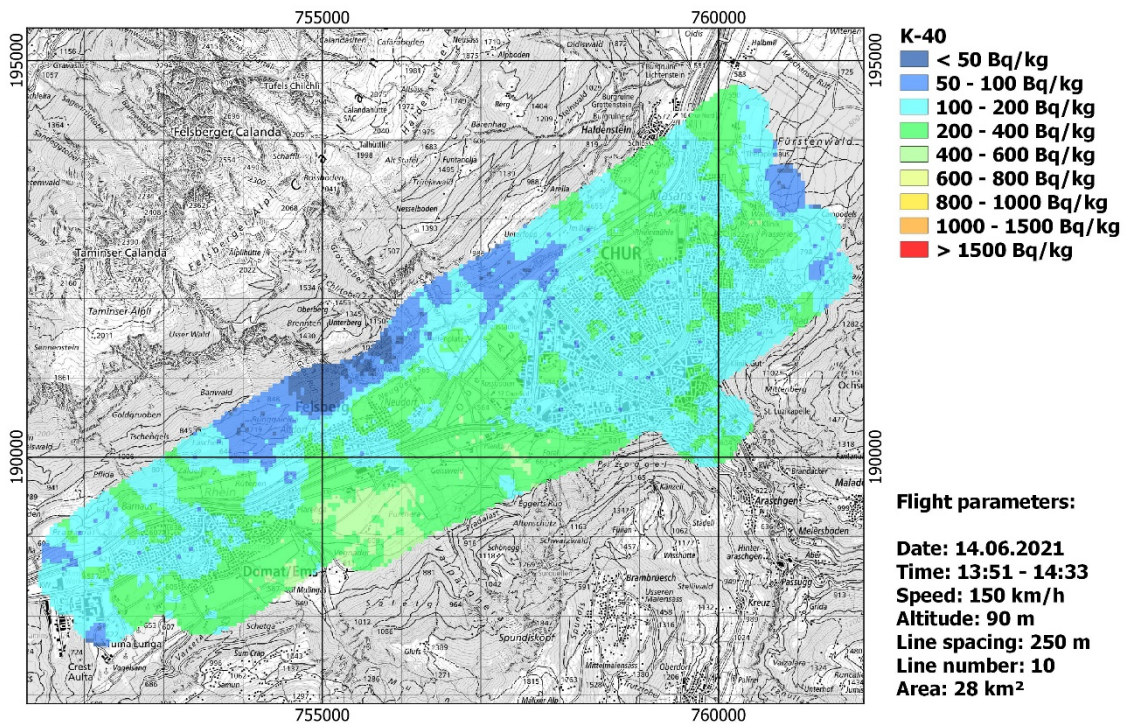


Abbildung 14: Nordwestlich von Felsberg ist die Oberfläche nach einem Felssturz durch kaum bewachsenes Gestein dominiert und die Konzentration von K-40 liegt sehr tief.

3.5 Region nordöstlich vom Flughafen Zürich und nördlicher Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette

Im Rahmen des Messprogramms dichtbesiedelter Gebiete und der Umgebung kritischer Infrastrukturen wurden dieses Jahr die Region nördlich und nordöstlich des Flughafens Zürich-Kloten von den Gemeinden Bassersdorf und Bülach bis zur nördlichen Landesgrenze zwischen Rheinau und Eglisau, einschliesslich des Rafzerfeldes, und der nördliche Teil der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette mit den Ortschaften Zumikon, Zollikerberg und Witikon überflogen.

3.5.1 Messgebiet Bülach-Bassersdorf

Am Messtag musste aufgrund eines Problems bei der Flugsicherung Skyguide der Flugbetrieb um den Flughafen Zürich und Genf eingestellt werden. Dadurch bot sich der Aeroradiometrie-Crew die Möglichkeit, das Messgebiet um 5 zusätzliche Linien näher beim Flughafen zu erweitern. Nach der Wiederaufnahme des regulären Flugbetriebs wurde mit dem geplanten Messprogramm fortgefahren. Die Kommunikation und Koordination zwischen dem Flughafen Zürich, dem Aeroradiometrie-Helikopter und Skyguide funktionierte laut den Feedbacks aller Beteiligten hervorragend.

Bülach-Bassersdorf: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	15.06.2022, 08:32 – 11:25 h
Fluglinien:	25 Linien, Abstand 250 m
Flugdauer:	2h 53min
Fluggebiet:	ca. 115 km ² in der Umgebung Bülach, Bassersdorf, Eglisau
Flughöhe über Grund:	90 m

Bülach-Bassersdorf: Ortsdosisleistung

Die ODL-Karte in Abbildung 15 zeigt normale Werte. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen.

Bülach-Bassersdorf: Kalium-Isotop K-40

Der Hauptgrund für die leichten Schwankungen der ODL liegt in variierenden Konzentrationen natürlicherweise vorkommender Radionuklide. Als Beispiel hierfür ist in Abbildung 16 die Karte des Kalium-Isotopes K-40 dargestellt. Beim direkten Vergleich mit der ODL-Karte in Abbildung 15 ist diese Korrelation gut zu erkennen.

Bülach

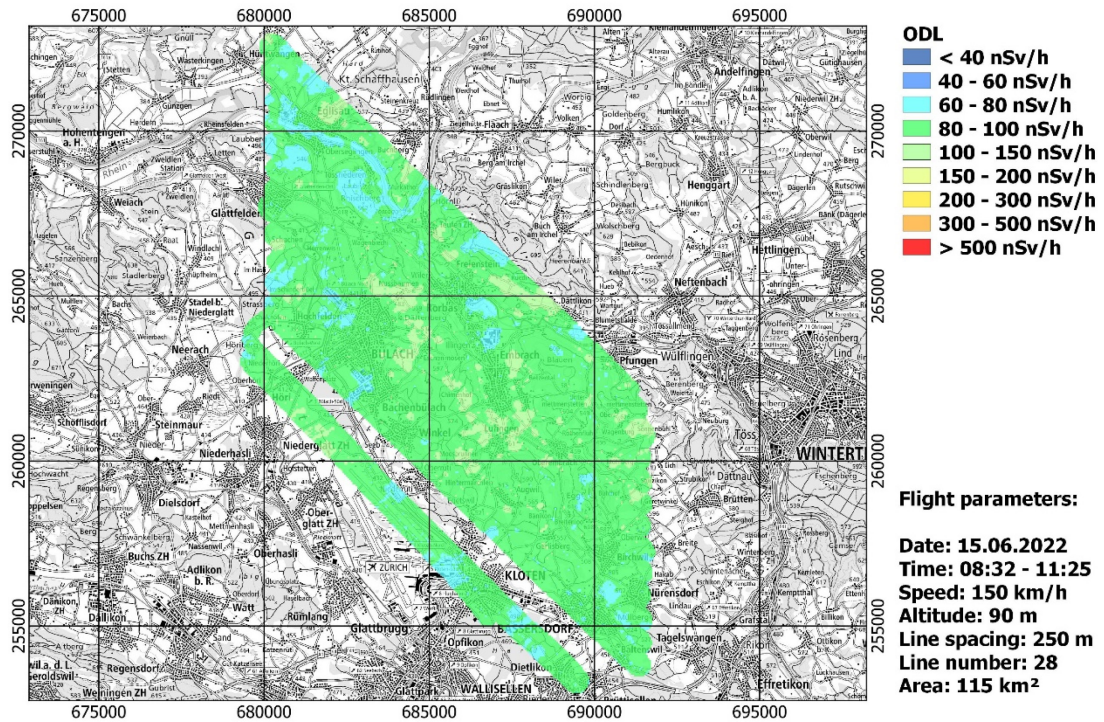


Abbildung 15: ODL des Messgebietes Bülach-Bassersdorf

Bülach

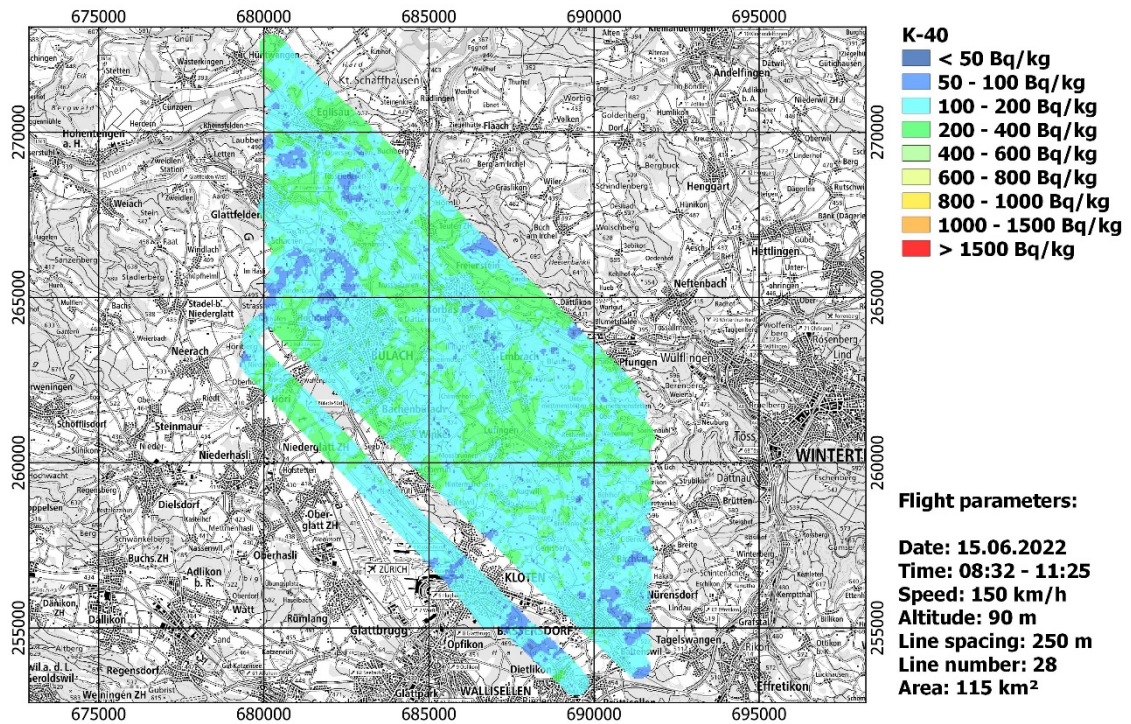


Abbildung 16: Messkarte des Kalium-Isotopes K-40 des Messgebietes Bülach-Bassersdorf

3.5.2 Messgebiet Flaach

Flaach: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit: 15.06.2022, 13:53 – 15:11 h
Fluglinien: 20 Linien, Abstand 500 m
Flugdauer: 1h 18min
Fluggebiet: ca. 100 km² rund um die Gemeinde Flaach
Flughöhe über Grund: 150 m

Flaach: Ortsdosisleistung

Die ODL-Karte in Abbildung 17 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen.

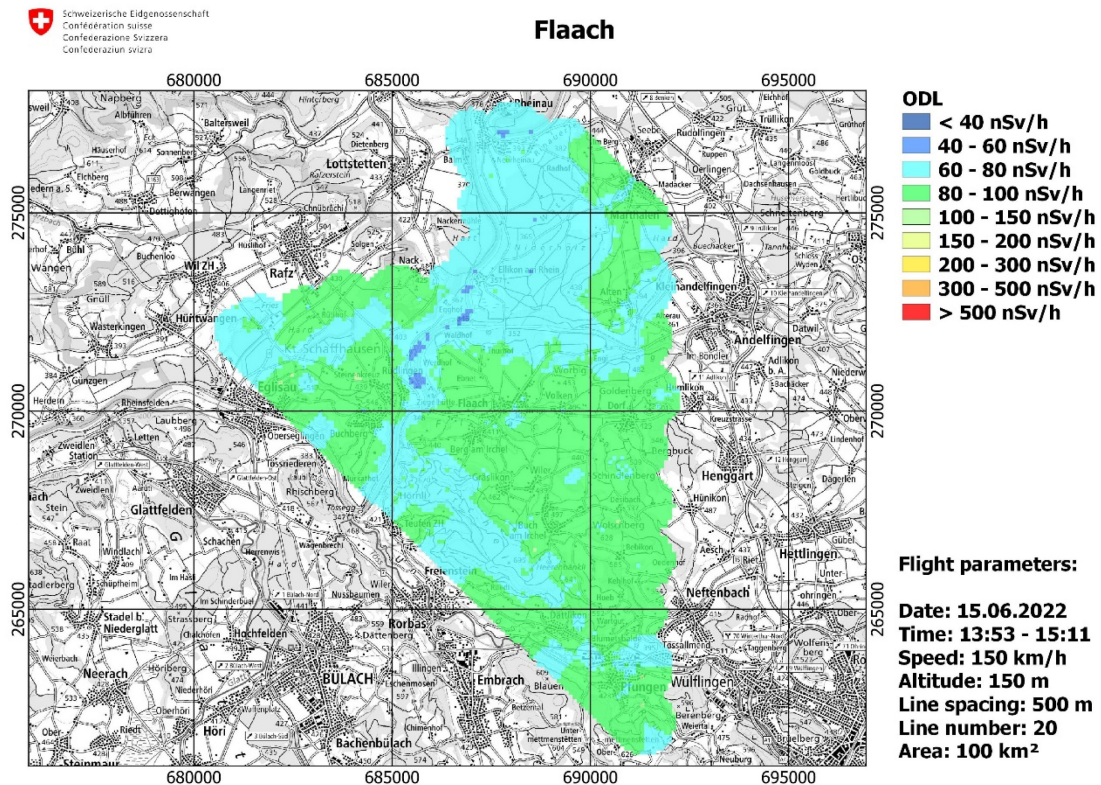


Abbildung 17: ODL des Messgebietes Flaach

3.5.1 Messgebiet Rafz

Rafz: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	15.06.2022, 15:15 – 16:08 h
Fluglinien:	15 Linien, Abstand 200 m
Flugdauer:	53min
Fluggebiet:	ca. 33 km ² : Rafzerfeld, an der nördlichen Landesgrenze
Flughöhe über Grund:	90 m

Rafz: Ortsdosisleistung

Auch die ODL-Karte des Rafzerfeldes in Abbildung 18 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. 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.

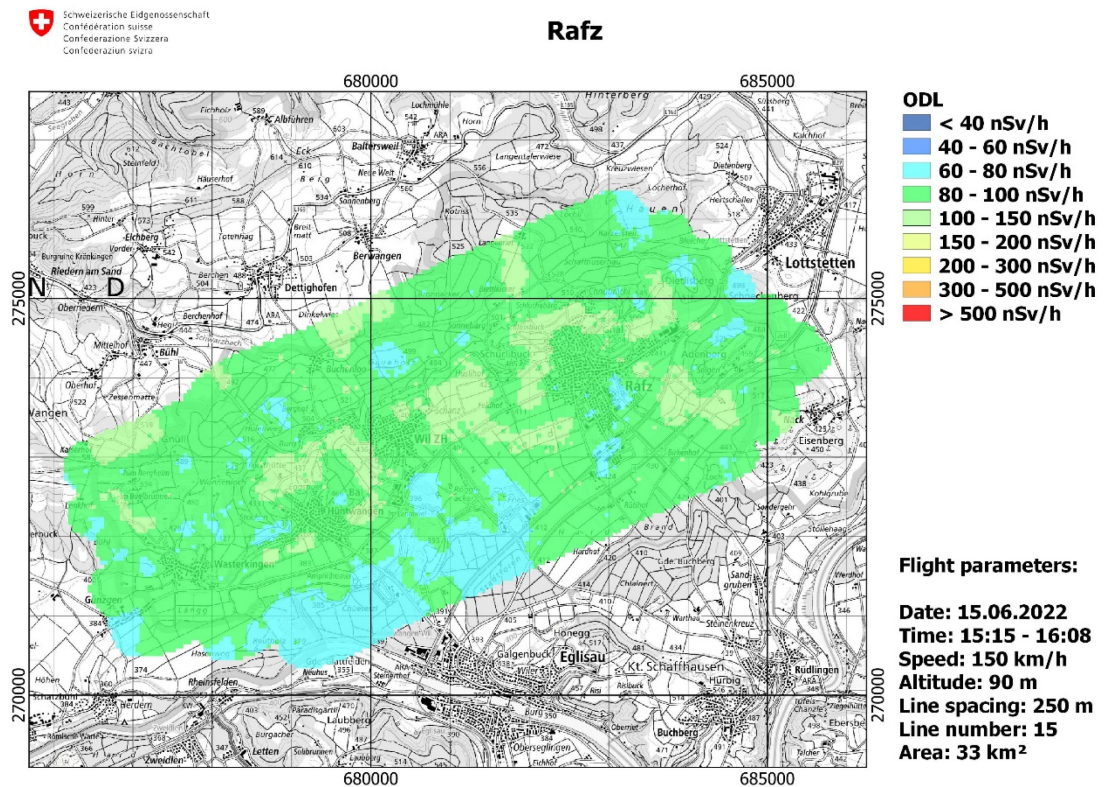


Abbildung 18: ODL des Messgebietes Rafz

3.5.1 Messgebiet Nördliche Pfannenstiel-Zürichberg-Kette

Pfannenstiel-Zürichberg-Kette: Angaben zum Messflug

Datum / Zeit:	14.06.2022, 14:57 – 15:54 h
Fluglinien:	17 Linien, Abstand 200 m
Flugdauer:	57min
Fluggebiet:	ca. 36 km ² : Nördliches Ende der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette um die Ortschaften Witikon, Zollikerberg und Zumikon
Flughöhe über Grund:	90 m

Pfannenstiel-Zürichberg-Kette: Ortsdosisleistung

Die ODL-Karte des nördlichen Teils der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette in Abbildung 19 zeigt keine Auffälligkeiten. Die Werte liegen im normalen Schwankungsbereich. 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.

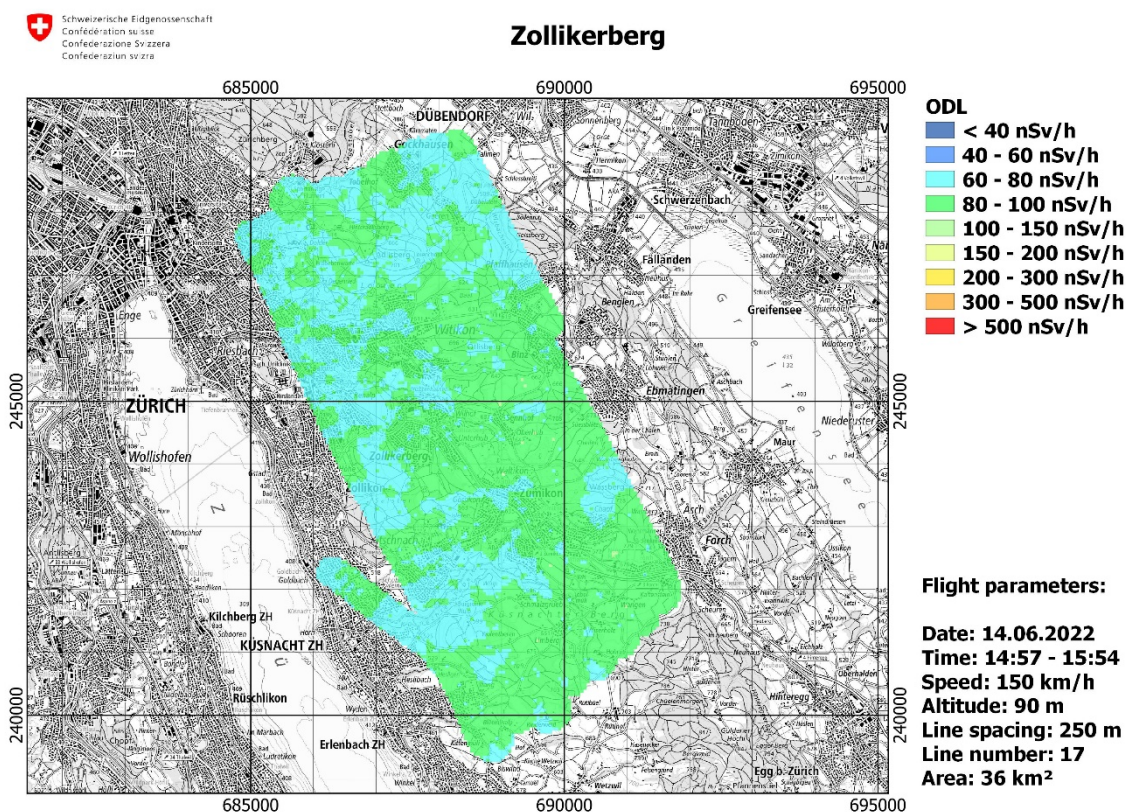


Abbildung 19: ODL des nördlichen Teils der Pfannenstiel-Zürichberg-Kette

3.6 Testflüge im Rahmen einer Übung mit dem Paul Scherrer Institut PSI

Im Rahmen einer Doktorarbeit wird am PSI eine Kalibriermethode speziell für die Schweizer Aeroradiometrie-Messsysteme entwickelt, mit der die Qualität der Ergebnisse bei gleichzeitiger Erweiterung der Messmöglichkeiten verbessert werden soll. Mithilfe der numerischen Modelle kann in Zukunft eine breitere Palette an Radionukliden identifiziert und quantifiziert werden.

Die Korrektheit des entwickelten numerischen Modells muss durch Messungen überprüft werden. Die dafür notwendigen Testflüge fanden am 16. Juni auf dem Waffenplatz Thun mit drei verschiedenen am Boden ausgelegten radioaktiven Quellen stattgefunden:

- 0.75 GBq Cs-137
- 8.85 GBq Cs-137
- 0.44 GBq Ba-133

Insgesamt wurden 11 verschiedene Missionen (Linienflüge, Schwebeflüge, Bodenmessungen) mit und ohne radioaktive Quellen absolviert. Die an diesem Tag gesammelten Messdaten werden in der Doktorarbeit von David Breitenmoser am PSI im Detail analysiert.

Der Umstand, dass echte Quellen für die Charakterisierung des Systems ausgelegt waren, wurde zusätzlich genutzt, um Erfahrungen mit dem technisch aufgerüsteten Radiometrie-Fahrzeug des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee zu sammeln. Daraus ergab sich einerseits für die Aeroradiometrie-Operatoren die Gelegenheit, das eng verwandte Messsystem für den Einsatz am Boden kennenzulernen, andererseits Einblicke in das Software-Release zu gewinnen, das mittelfristig auch beim Aeroradiometrie-System eingeführt werden wird.

Einige Impressionen dieses Messtages werden im aktuellen Bericht geteilt.

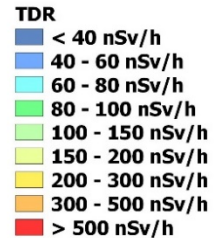
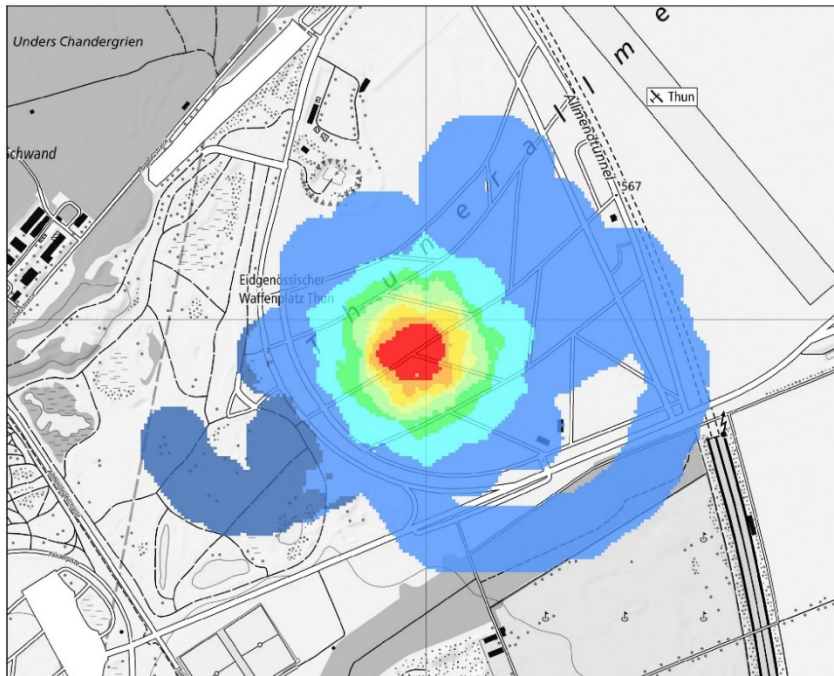


Boden- und Aeroradiometriesysteme gleichzeitig im Einsatz.



*Quellenhalterung in der Mitte der Markierung:
Das farbige Kreuz wurde für die Orientierung der Helikopter-Crew gemacht, damit der Detektor sich so bestmöglich über der Quelle schweben konnte. Die Quellehalterung wurde von PSI konstruiert und einige Tagen vor der Messübung auf ihre Stabilität getestet, wenn sich der Helikopter im Schwebeflug in geringer Höhe über der Halterung befindet.*

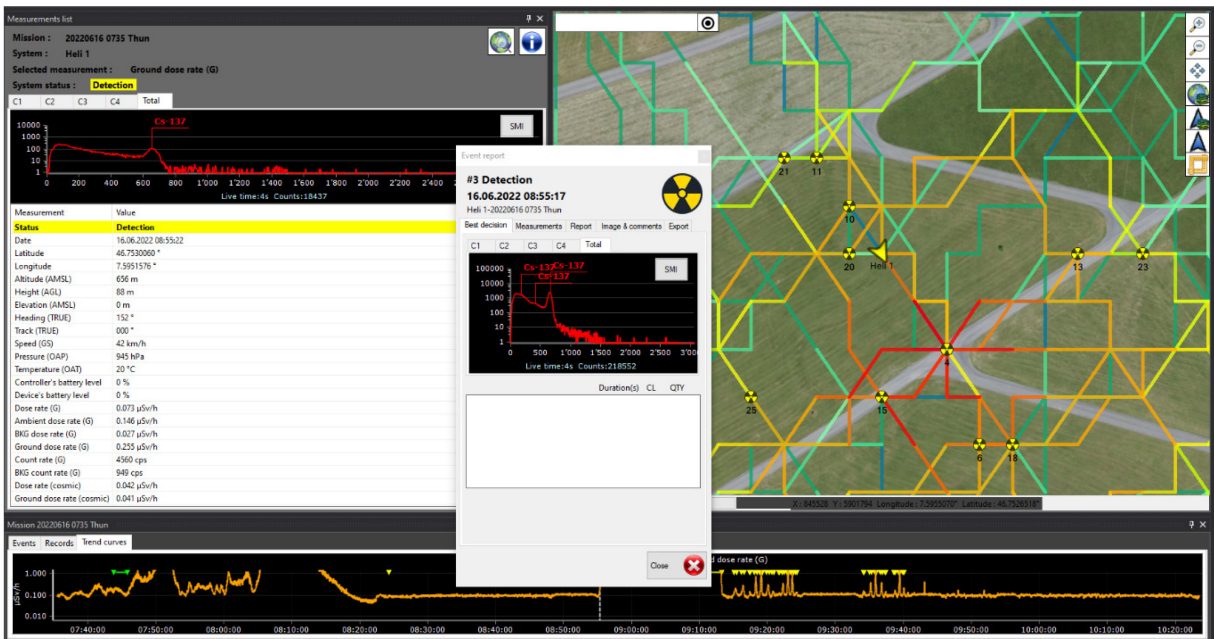
Testflüge Waffenplatz Thun



Flight parameters:

Date: 16.06.2022
Time: 09:17 - 09:25
Speed: 50 km/h
Altitude: 30 m
Line spacing: 40 m
Line number: 5
Area: 0.04 km²

Helikopter: Terrestrische Strahlung der Mission 4 (Linienflug mit der 8.85 GBq Cs-137-Quelle)



Helikopter: Die Quelle wurde auch im Helikopter deutlich erkannt und sofort identifiziert.



Radiometrie-Fahrzeug: Visualisierte Dosisleistungskarte im Fahrzeug



Um sicherzustellen, dass alle Missionen in der zur Verfügung stehenden Zeit durchgeführt werden konnten, war eine intensive Koordination zwischen dem Helikopter, der Basisstation (Ground Base) und der für die Platzierung der Strahlenquellen zuständigen Person nötig. Die Kommunikation zwischen den drei Stationen erfolgte über Funk



Das wissenschaftliche Team vom PSI während der Bodenmessung (Mission 6).



Das Auswertungsteam bei der Basisstation bei der Auswertung und Koordination.



Bei der Mission 6 fanden die Messungen mit und ohne Quellen und mit verschiedenen Tankfüllungen statt. Aus diesem Grund wurde eine Zisterne von Flughafen Belp ausgeliehen und der Helikopter im Feld betankt.



Gruppenbild am Ende eines anstrengenden aber erfolgreichen Messtages.

4 Erkenntnisse

- Die Ziele der Aeroradiometrie-Messwoche 2022 wurden erreicht. Alle geplanten Messgebiete wurden erfolgreich wie geplant vermessen. Auch die Messungen des PSI wurden am Donnerstag erfolgreich durchgeführt: Dank der Koordination und gegenseitiger Unterstützung aller Beteiligten konnte das dichte Messprogramm ohne Schwierigkeiten und Zeitdruck abgearbeitet werden.
- Insbesondere die Messflüge in den Gebieten MisoX, Calancatal, Umgebung des Flughafens Zürich-Kloten und die Testflüge auf dem Waffenplatz Thun boten viel Gelegenheit, die Sprachkommunikation zwischen den Aeroradiometrie-Operatoren und den Piloten während der Missionen zu trainieren. Eine Verbesserung der Koordination im Laufe der Messwoche war deutlich spürbar.
- Die erst seit kurzer Zeit zum Team gehörigen Operatoren konnten zusätzliche Erfahrungen gewinnen.
- Es wurden kleine Anpassungen am Briefing-Prozess betreffend Kommunikation und eine Optimierung betreffend die Signalisierung von POI (Points of Interest) auf demjenigen Bildschirm vorgenommen, der im Cockpit der Piloten gespiegelt wird.
- Klare Checkprozeduren für die Schnellerkennung und Behebung von Problemen wurden definiert. Diese müssen aber in den nächsten Messkampagnen weiter gefestigt werden.
- Erste Tests in Hinblick auf ein Software-Update wurden durchgeführt und der Einsatz des Bodenradiometrie-Fahrzeuges ermöglichte Einblicke in die kommende Software-Version.
- Die Prozesse für die Darstellung der Messresultate wurden überprüft, trainiert und optimiert.
- Wie es sich in den letzten Jahren bewährt hat, wurde die zweite Konsole im Hangar aufgestellt. Dies erlaubte den Operateuren, zu Üben und weitere Funktionen des Systems kennenzulernen.
- 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 tiefeenergetischen 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.