



01.07.2016

## Übung Aeroradiometrie 2016 vom 27.06. - 01.07.2016

### Übungsbericht und Messresultate



Dieser Bericht ist unter [www.naz.ch](http://www.naz.ch) erhältlich.

# Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	3
2. Übung "Aeroradiometrie 2016".....	4
2.1. Messflüge im Auftrag des ENSI.....	4
2.2. Geologisch interessante Gebiete um Vicosoprano.....	4
2.3. Städtemessungen Luzern und Zug.....	4
2.4. Einsatzübung mit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz und weiteren Einsatzkräften	4
2.5. Vergleichsmessungen mit den Systemen der NAZ und des Kompetenzzentrums ABC- KAMIR der Armee.....	5
2.6. Weitere Ziele des Aeroradiometrietteams.....	5
2.7. Information der Bevölkerung, der Medien und der Behörden.....	5
2.8. Beteiligte Partnerorganisationen.....	6
3. Resultate der Übung ARM 16.....	7
3.1. Messresultate Region Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, ZWILAG und PSI.....	7
3.2. Vergleichsmessungen mit den Systemen der NAZ und des Kompetenzzentrums ABC- KAMIR der Armee.....	10
3.3. Messresultate des geologisch interessanten Gebiets um Vicosoprano (GR) sowie ent- lang zweier A13-Strassenabschnitte.....	16
3.4. Messresultate des Städtemessprogramms.....	20
3.5. Messresultate der Einsatzübung „Laura“.....	24
3.6. Erkenntnisse Messübung Aeroradiometrie 16.....	29
4. Aeroradiometrie allgemein.....	30
4.1. Wie funktioniert die Aeroradiometrie?.....	30
4.2. Auswertung aeroradiometrischer Daten.....	30
4.3. Messergebnisse in der Umgebung der Kernanlagen.....	30

## 1. Zusammenfassung

Im Rahmen des Messprogramms Aeroradiometrie (ARM) 2016 wurden verschiedene Ziele verfolgt. Wichtigster Programmpunkt waren Flüge in der Zentralschweiz, darunter eine Übung in Emmen in Zusammenarbeit mit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz und der Feuerwehr der Stadt Luzern, sowie die Kartierung der Städte Luzern und Zug mit Umgebung.

Daneben wurden verschiedene Einzelmessungen von geologisch interessanten Gebieten (Vicosoprano), Verkehrswegen (zwei Teilabschnitte entlang der Autobahn A13) und das Standardmessprogramm um die Kernkraftwerke Beznau (KKB), Leibstadt (KKL), um das Paul Scherrer Institut (PSI) und um die Zwischenlager Würenlingen AG (ZWILAG) absolviert.

Zur Validierung eines neuen Messsystems, das in den nächsten Jahren die heute eingesetzte Ausrüstung der NAZ ersetzen soll, wurden in Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee Vergleichsflüge durchgeführt. Steigflüge über dem Neuenburgersee und die Messung von ausgelegten künstlichen Strahlenquellen beim Paul Scherrer Institut (PSI) dienten zur Überprüfung der Kalibrierung beider Systeme. In Gebieten um das Kernkraftwerk Leibstadt, bei Vicosoprano und um die Stadt Zug fand mit zwei unterschiedlich ausgerüsteten Helikoptern ein direkter Messvergleich der Systeme statt.

### Die wichtigsten Ergebnisse der Übung Aeroradiometrie 2016:

1. Für das Gebiet der Städte Luzern (und Umgebung) und Zug (und Umgebung) sowie für die Autobahn A13 von St. Margrethen nach Sargans und von Cazis nach San Bernadino konnten Messkarten erstellt werden, welche die normale Radioaktivität abbilden. Es wurden keine ungewöhnlichen Werte festgestellt.
2. Die Zusammenarbeit mit Einsatzkräften der Strahlenwehr Region Zentralschweiz und der Feuerwehr der Stadt Luzern anlässlich der Einsatzübung „Laura“ in Emmen funktionierte sehr gut.
3. In der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt, des Paul Scherrer Instituts und des Zwischenlagers ZWILAG konnte ausserhalb der Betriebsareale keine Ablagerung von künstlicher Radioaktivität festgestellt werden. Es wurden keine Änderungen gegenüber den Messresultaten der Vorjahre registriert.
4. Die bei Vicosoprano fix installierte NADAM-Station der NAZ zeigt eine erhöhte Dosisleistung. Der Messflug bestätigte diese Messwerte und konnte die Dosisleistungserhöhung auf eine geologisch bedingte erhöhte Konzentration der natürlichen Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen zurückführen.
5. Vergleichsmessungen der Messsysteme der NAZ und des Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee zeigten eine befriedigende Übereinstimmung beider Messsysteme.
6. Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch.

## 2. Übung “Aeroradiometrie 2016”

Die diesjährigen Messflüge fanden vom 27. Juni bis 01. Juli 2016 vor allem in der Zentralschweiz statt. Start- und Landebasis für die Flüge waren die Flugplätze Dübendorf und Emmen.

### 2.1. Messflüge im Auftrag des ENSI

Alle Schweizer Kernanlagen werden im Auftrag des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorats (ENSI) im Zweijahresrhythmus ausgemessen. Turnusgemäss wurden dieses Jahr die Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie das Paul Scherrer Institut (PSI) und das Zwischenlager Würenlingen (ZWILAG) aeroradiometrisch vermessen.

### 2.2. Geologisch interessante Gebiete um Vicosoprano

Nach Möglichkeit führt die NAZ auch Messflüge in geologisch interessanten Gebieten durch. Die Vorbereitung und Umsetzung der Messstrategie (manuell geflogene und ad-hoc definierte Flugroute) dient dabei auch der Ausbildung der Messequipe. Dieses Jahr wurde eine Messung in der Umgebung von Vicosoprano durchgeführt, wo aufgrund der Zusammensetzung des felsigen Untergrundes eine überdurchschnittliche natürliche Radioaktivität erwartet wurde. Die Messung in Vicosoprano war auch topographisch anspruchsvoll, da der Helikopter auch in gebirgigem Gelände eine konstante Distanz über Boden von rund 90 m einhalten muss. Der Messflug in Vicosoprano war in den letzten Jahren mehrmals geplant worden, musste aufgrund der Wetterbedingungen aber jeweils verschoben werden. In Vicosoprano steht zudem eine der [NADAM-Sonden](#), mit denen die NAZ ständig schweizweit die Radioaktivität misst.

Auf dem Flug von Dübendorf nach Vicosoprano wurden zusätzlich Messungen entlang der A13 auf den beiden Abschnitten St. Margrethen - Sargans und Cazis - St. Bernardino durchgeführt. Damit erweiterte die NAZ ihren Messkartensatz von wichtigen Verkehrsachsen.

### 2.3. Städtmessungen Luzern und Zug

Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtmessprogramm mit dem Ziel, Nullmessungen von Schweizer Städten und grösseren Gemeinden zu erhalten. Nullmessungen werden dann benötigt, wenn nach einem Ereignis ein Verdacht auf erhöhte Radioaktivität besteht. Durch den Vergleich der Messung mit der Nullmessung können Abweichungen einfacher erkannt werden. Im Rahmen dieses Messprogramms wurden dieses Jahr Zug (mit Baar und Cham) sowie Luzern (mit Emmen, Kriens und Horw) überflogen. Die NAZ verfügt inzwischen über Messkarten zahlreicher Schweizer Städte.

### 2.4. Einsatzübung mit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz und weiteren Einsatzkräften

Für die NAZ ist die Zusammenarbeit mit den Kantonen und kantonalen Einsatzorganisationen zentral. Aus diesem Grund werden regelmässig Übungen mit kantonalen Einsatzkräften organisiert. Dabei sollen sich die verschiedenen Partner gegenseitig kennenlernen, die Kenntnisse und die Vorbereitungen der verschiedenen Organisationen bei einem Ereignis mit radioaktiven Substanzen überprüft und die gemeinsame Ereignisbewältigung trainiert werden. Aufgabe der diesjährigen Übung war das Orten und Bergen von radioaktiven Quellen nach einem fingierten Flugzeugabsturz. Neben der Aeroradiometrie-Equipe stammten die beteiligten Einsatzkräfte von der Strahlenwehr Region Zentralschweiz, dem Paul Scherrer Institut und der Feuerwehr der Stadt Luzern.

Die Aeroradiometrie-Equipe nutzt diese Übungen auch, um ihre Einsatzverfahren zu trainieren und zu verfeinern. In die diesjährige Übung flossen Erfahrungen von Einsatzübungen im Tessin (2011) und im Kanton Thurgau (2014) ein.

## **2.5. Vergleichsmessungen mit den Systemen der NAZ und des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee**

Das Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee ist daran, die ausgemusterten A Spürhelikopter der Armee mit einem neuen System für die Messung der Radioaktivität aus der Luft zu ersetzen. Dieses neue System soll auch das heutige System der NAZ ablösen. In diesem Jahr haben deshalb die NAZ und das Kompetenzzentrum ABC-KAMIR der Armee verschiedene Messungen mit zwei Helikoptern durchgeführt, um die Messwerte des bestehenden und des neuen Systems zu vergleichen. Zusätzlich wurden zwei Flüge absolviert, um die beiden Systeme unter definierten Bedingungen zu vergleichen und damit die Kalibrierung des neuen Systems zu verbessern:

- Ein Steigflug über dem Neuenburgersee. Da der See die natürliche Radioaktivität aus dem Boden abschirmt, kann mit diesem Verfahren der Einfluss der kosmischen Strahlung (aus dem All) auf beide Detektoren in verschiedenen Höhen verglichen werden.
- Die Ausmessung künstlicher radioaktiver Quellen auf dem Gelände des Paul Scherrer Instituts. Auf dem Betriebsgelände des Paul Scherrer Instituts wurden durch den Betriebsstrahlenschutz zwei radioaktive Quellen ausgelegt. Damit konnte auch das Verhalten der Detektoren beim Messen radioaktiver Quellen verglichen werden.

## **2.6. Weitere Ziele des Aeroradiometrieteams**

Folgende weitere Ziele sollten in der Messwoche erreicht werden:

- Zeitgerechter Einbau und Herstellung der Einsatzbereitschaft des Messgeräts.
- Training der für einen Einsatz notwendigen Kenntnisse bezüglich: Vorbereitung eines Einsatzes, Bedienung der Geräte im Einsatz, Auswertung und Interpretation der Resultate vor Ort, Piloten-Training.
- Training der Kommunikation zwischen Piloten und Messequipe (bspw. Führung des Fluges durch den Operator).
- Darstellung der Messresultate: Eine Zusammenstellung und Interpretation der Resultate liegt innert 2 Stunden nach dem letzten Flug vor.
- Überprüfung und Aktualisierung der Einsatzdokumentation.
- Training bezüglich Operationen von ausserhalb der Heimatbasis Dübendorf.

## **2.7. 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 Gemeinden sowie die Kantonspolizei aller betroffenen Kantone per Brief über die bevorstehenden Flüge orientiert und gebeten, bei allfälligen Fragen aus der Bevölkerung auf die NAZ zu verweisen.

In einer Medienmitteilung vom 23.06.2016 wurden die Messflüge angekündigt. Lokalmedien in den betroffenen Gebieten, wurden zusätzlich auf die entsprechenden Daten aufmerksam gemacht. Partner und Behörden wurden aktiv informiert.

In Zusammenarbeit mit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz und der RUAG (Militärflugplatz Emmen) wurde ein Point de Presse zur Einsatzübung in Emmen veranstaltet. Dabei fand eine Übungsbegehung mit dem Übungsleiter statt; Medienvertreter konnten an einem Kurzmessflug über dem Übungsgelände teilnehmen und anschliessend verschiedene Exponenten nach Bedarf interviewen.

## 2.8. Beteiligte Partnerorganisationen

Folgende Organisationen waren in der Vorbereitung und Durchführung der Übung „Aeroradiometrie 2016“ involviert:

- NAZ und Stab BR NAZ
- Schweizer Luftwaffe
- ENSI
- Paul Scherrer Institut
- Strahlenwehr Region Zentralschweiz
- Feuerwehr der Stadt Luzern
- RUAG, Betriebsfeuerwehr, Militärflugplatz Emmen

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



### 3. Resultate der Übung ARM 16

#### 3.1. Messresultate Region Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, ZWILAG und PSI

Turnusgemäss wurden dieses Jahr die Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, ZWILAG und PSI aeroradiometrisch gemessen.

Bemerkung: Das Kernkraftwerk Leibstadt und die Beschleunigeranlage beim PSI waren in Betrieb. Beide Blöcke des Kernkraftwerks Beznau waren in einem Wartungsstillstand.

#### Angaben zum Messflug Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, ZWILAG und PSI:

Datum:	27.06.2016
Fluglinien:	Abstand 250 m, 42 Linien
Flugzeit:	3.5 h
Fluggebiet:	Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, ZWILAG und PSI; ca. 110 km <sup>2</sup>
Flughöhe über Grund:	ca. 90 m

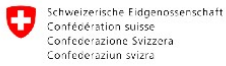
#### Karte der Ortsdosisleistung

##### Ausserhalb der Betriebsareale der Nuklearanlagen:

Die Karte der Ortsdosisleistung zeigt keine Auffälligkeiten ausserhalb der Betriebsareale der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt. Die beobachteten Variationen im Messgebiet sind auf Einflüsse der Geologie und Topographie, der Wasserläufe sowie auf die Vegetation zurückzuführen. Zum Beispiel ist in der Umgebung von Mandach eine leichte Erhöhung infolge einer natürlichen Thorium-Anomalie im Boden zu erkennen. Diese wurde schon in den vorherigen Jahren gemessen (normale Thoriumkonzentration in der Schweiz 20-30 Bq/kg, Umgebung Mandach bis ca. 75 Bq/kg; vgl. Wissenschaftlicher Bericht, PSI Bericht Nr. 15-02, ISSN 1019-0643, Seiten 8-11 und 20-23).

##### Innerhalb des Betriebsareals des Kernkraftwerks Leibstadt:

Das Kernkraftwerk Leibstadt ist auf der Karte klar zu erkennen. Die Erhöhung der Ortsdosisleistung direkt über dem Kernkraftwerk Leibstadt ist zu erwarten, da bei Siedewasserreaktoren wie Mühleberg und Leibstadt Frischdampf mit Stickstoff N-16 aus dem Reaktor in das Maschinenhaus geleitet wird. Die Gammastrahlung des Stickstoffisotops N-16 kann somit unmittelbar über dem Maschinenhaus infolge geringerer Dachabschirmung aus der Luft gut detektiert werden. Aus dem Reaktor selber ist aufgrund der dicken Schutzhülle keine Gammastrahlung messbar. Diese Werte wurden bereits in den vergangenen Jahren beobachtet. Ausserhalb des umzäunten Areals konnten keine erhöhten Werte festgestellt werden.



### Messflug Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau

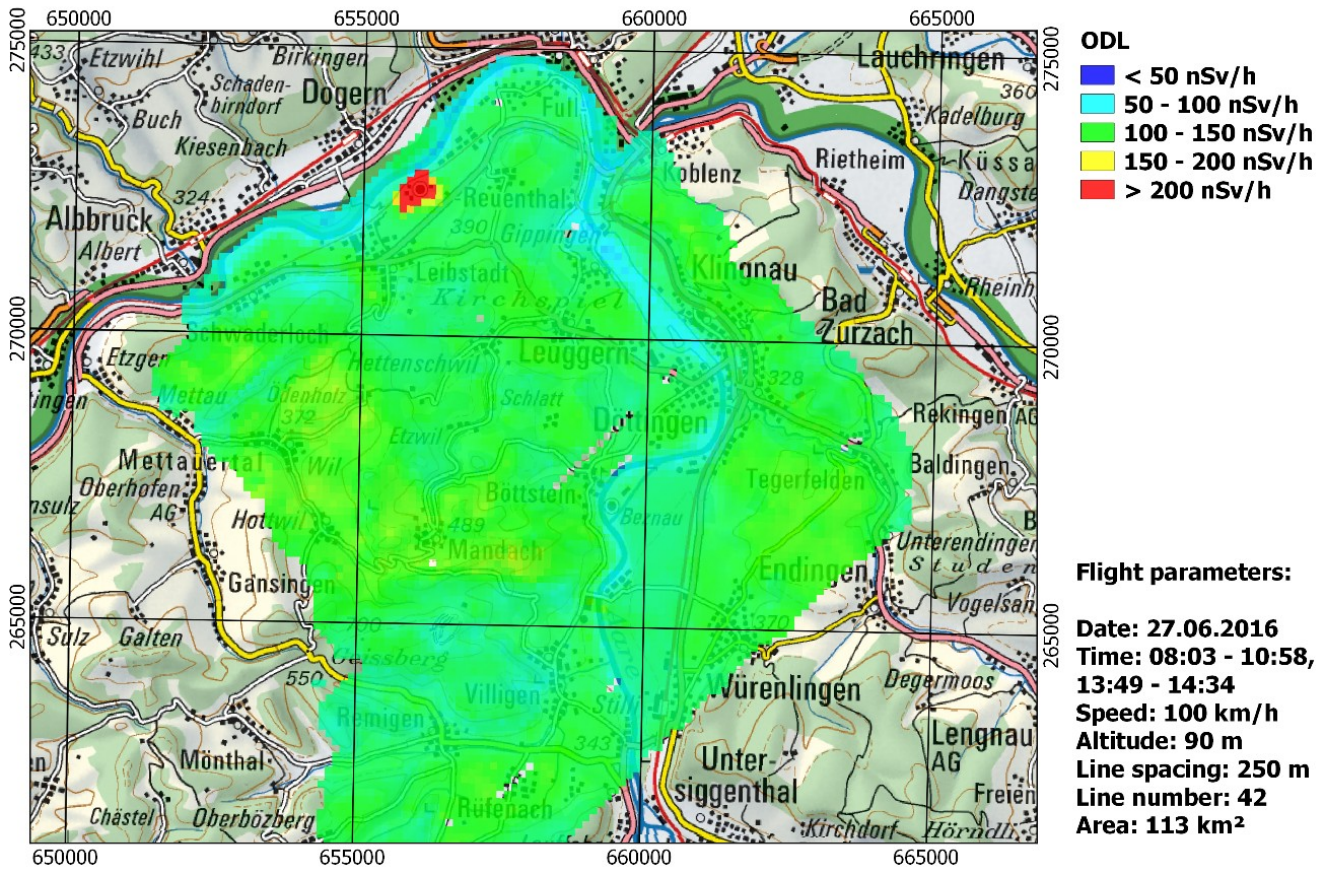


Abbildung 1: Karte der Ortsdosisleistung in der Umgebung der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau.



**Cäsium-Karte (Cs-137)**

Auf der Cs-137-Karte wurden keine Auffälligkeiten festgestellt, die auf künstliche Ablagerungen von Cäsium hinweisen.

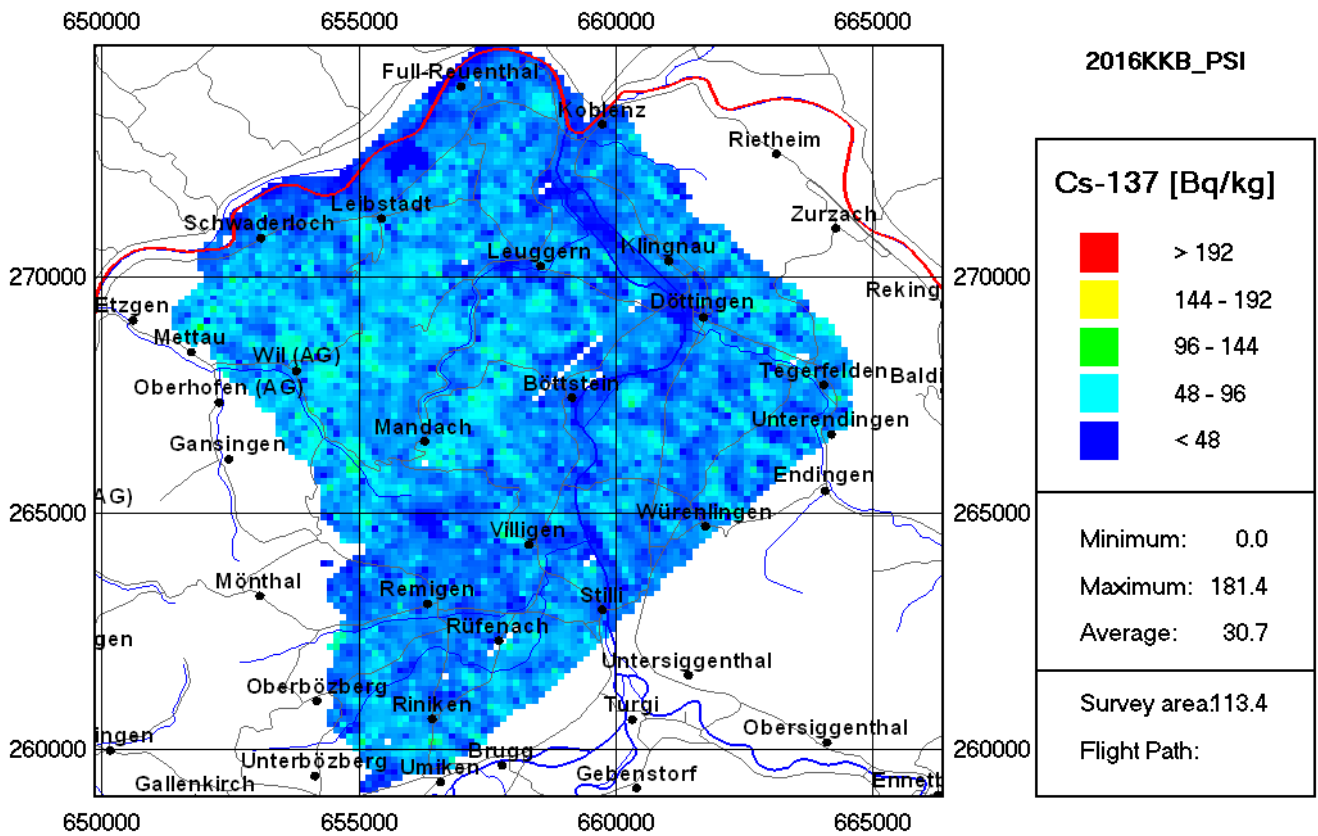


Abbildung 2: Cs-137 Karte in der Umgebung der Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau.

### 3.2. Vergleichsmessungen mit den Systemen der NAZ und des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee

Für den Vergleich des Messsystems der NAZ (ARM Detektor D; Hersteller: Radiation Solutions, Kanada) mit jenem des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee (RLL07; Hersteller: Mirion, Frankreich) wurden künstliche radioaktive Quellen auf einem abgesperrten Gebiet des Paul Scherrer Instituts ausgelegt und aeroradiometrisch ausgemessen.

#### Angaben zum Messflug PSI, Quellensuche:

Datum: 27.06.2016  
 Fluglinien: Abstand 125 m, 30 Linien  
 Flugzeit: 60 min  
 Fluggebiet: ca. 12.6 km<sup>2</sup>  
 Flughöhe über Grund: ca. 90 m

#### Karte der Ortsdosisleistung der NAZ

Die Karte der Ortsdosisleistung zeigt eine klare Erhöhung auf dem Gelände des PSI.

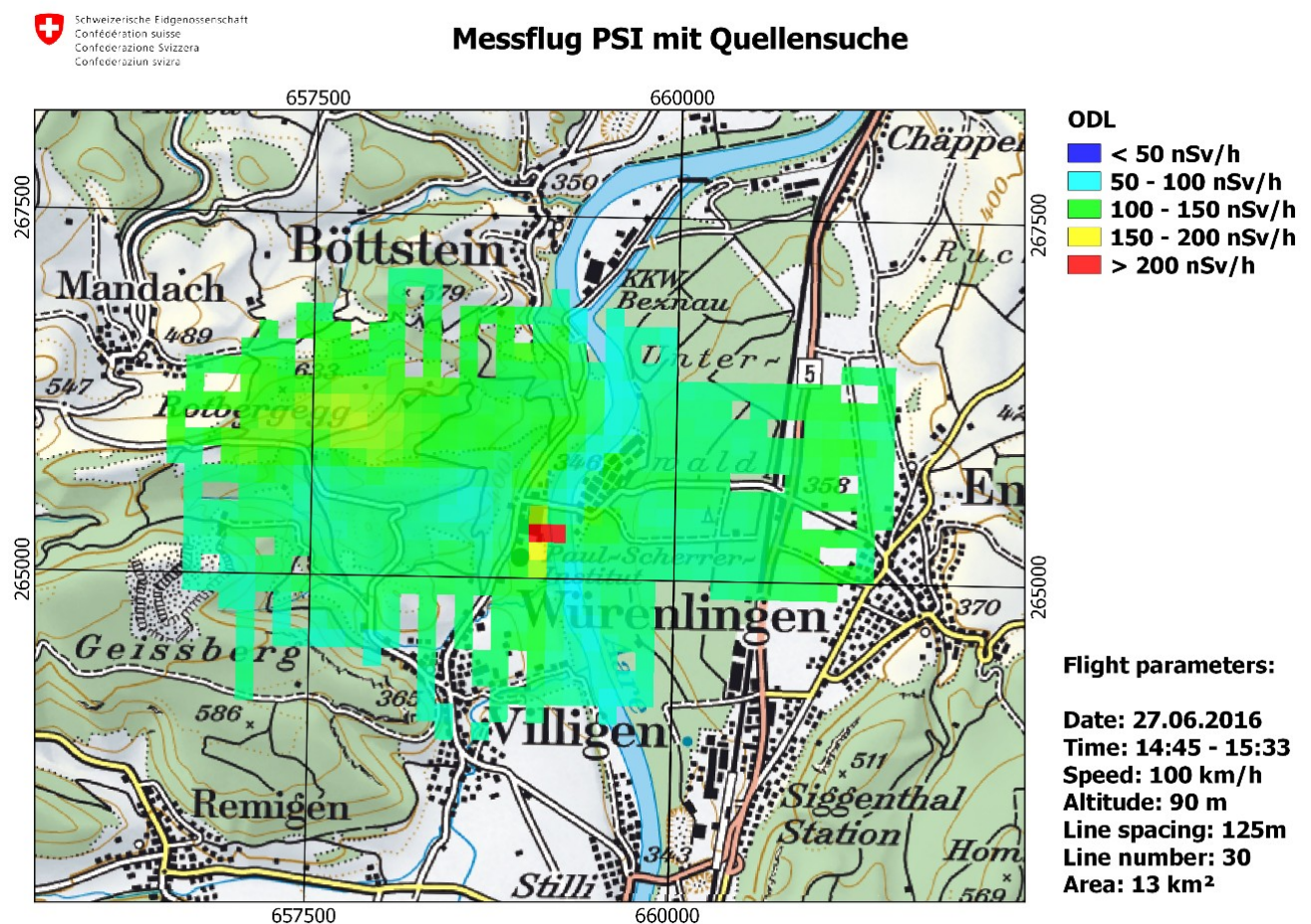


Abbildung 3: Karte der Ortsdosisleistung des Messflugs der NAZ beim PSI, während künstliche Quellen ausgelegt waren.

Für eine Lokalisierung und Identifikation von Punktquellen genügt oft eine Dosisleistungskarte alleine nicht, weshalb spezialisierte Analysemethoden eingesetzt werden müssen.

**Cobalt-Karte (Co-60) der NAZ**

Mittels einer Co-60-Karte konnten drei potenzielle Quellen ermittelt werden.

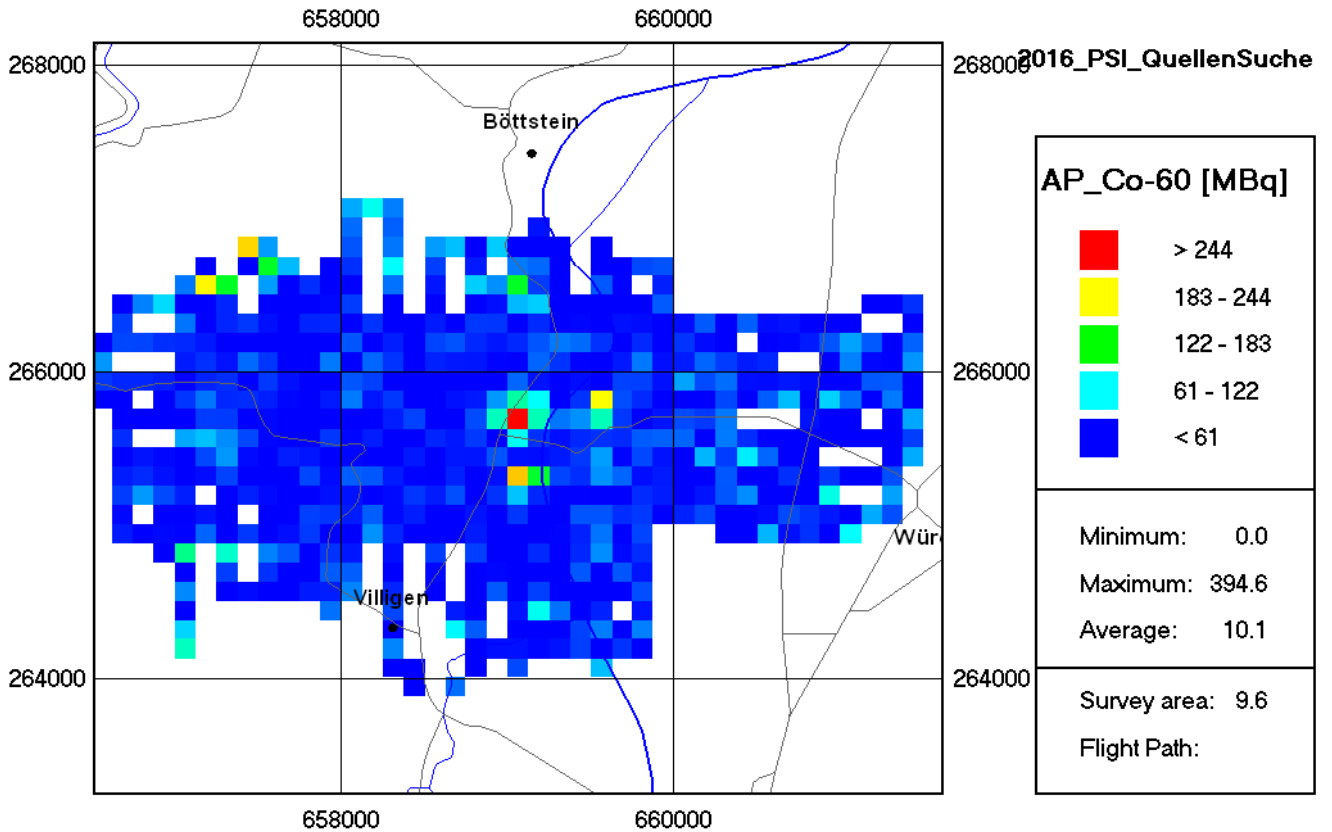


Abbildung 4: Co-60 Karte des Messflugs der NAZ beim PSI, während künstliche Quellen ausgelegt waren. Erhöhte Messwerte an den Rändern des Fluggebietes sind Messartefakte, welche beim Wenden des Helikopters auftreten.

Die Analyse der Energiespektren der drei Punkte zeigte jedoch, dass wahrscheinlich nur der rote Punkt eine ausgelegte Co-60 Quelle ist.

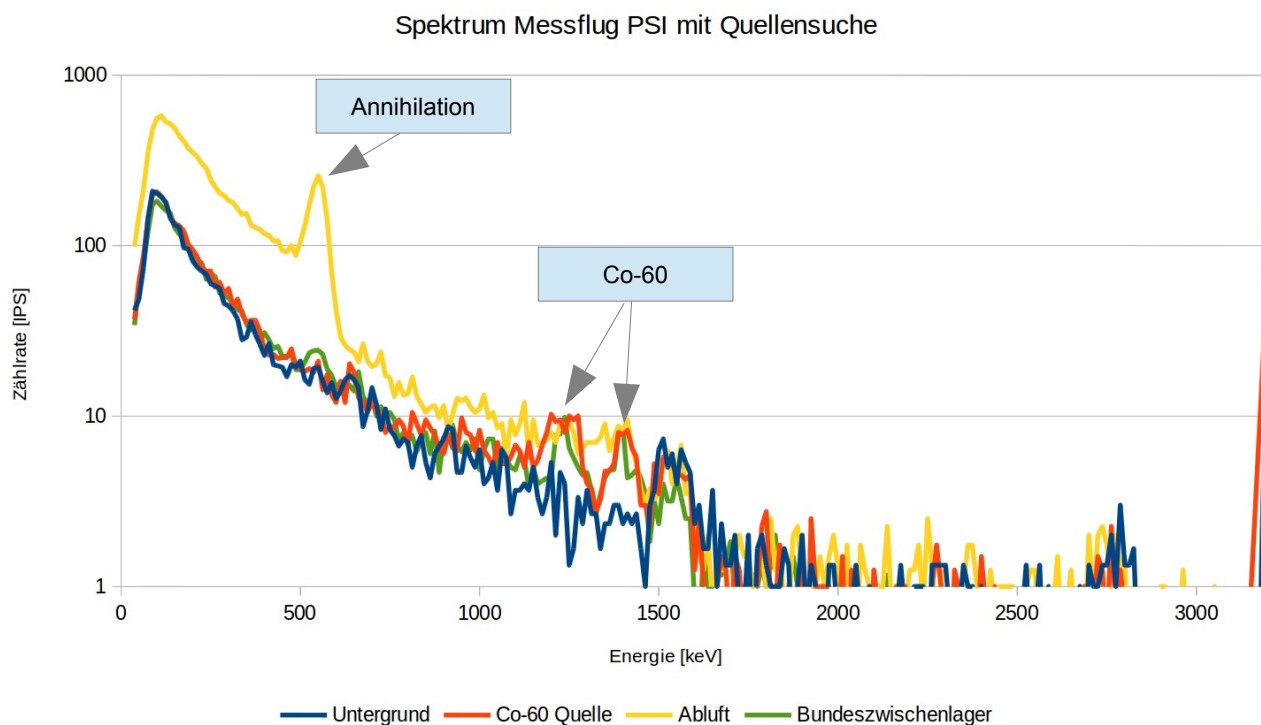


Abbildung 5: Energiespektren der drei erhöhten Messpunkte im Vergleich zum Untergrund (blaue Kurve).

In einem Ereignisfall werden mögliche mittels ARM identifizierte Quellen durch Bodenmessequipen verifiziert und gesichert.

Die anderen beiden erhöhten Messpunkte wurden wie folgt identifiziert:

- Material des Bundeszwischenlagers (gelber Punkt auf der Karte resp. grüne Kurve) und
- Die genehmigte, überwachte und bilanzierte Abluft der Beschleunigeranlage im PSI-West (orange-farbiger Punkt auf der Karte resp. gelbe Kurve mit der Annihilationsstrahlung bei 511 keV)



**Erklärung:**

Das Messsystem ist für am Boden befindliche Aktivität kalibriert. Wenn der Helikopter eine Wolke mit radioaktiven Substanzen durchfliegt, liegt die Quelle der Photonenstrahlung viel näher am Messgerät. Dadurch wird die auf Bodenstrahlung hochgerechnete Aktivität bei weitem überschätzt.

### Cäsium-Karte (Cs-137) der NAZ

Weiter konnte der Verdacht auf eine ausgelegte Cs-137-Quelle mittels des Energiespektrums bestätigt werden.

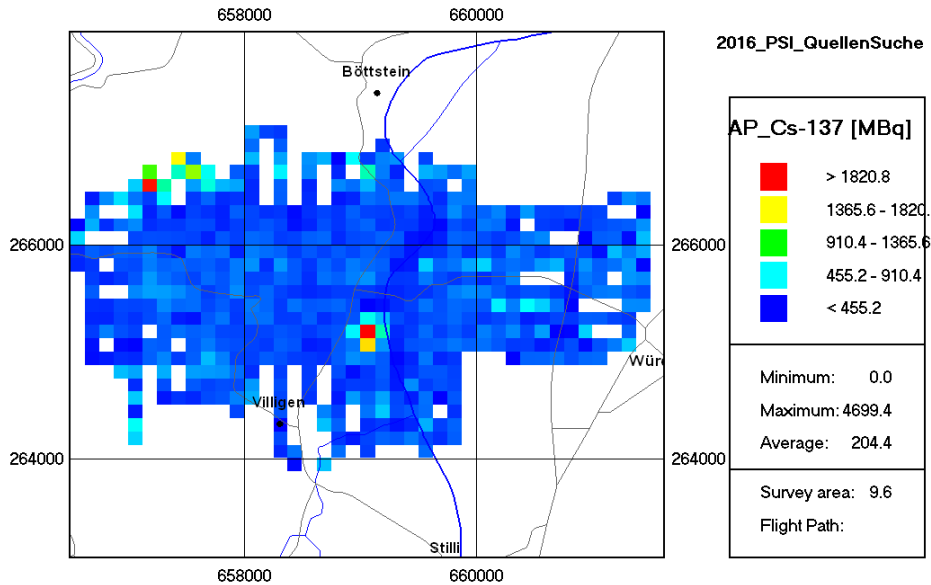


Abbildung 6: Cs-137 Karte des Messflugs der NAZ beim PSI, während künstliche Quellen ausgelegt waren. Erhöhte Messwerte an den Rändern des Fluggebietes sind Messartefakte, welche beim Wenden des Helikopters auftreten.

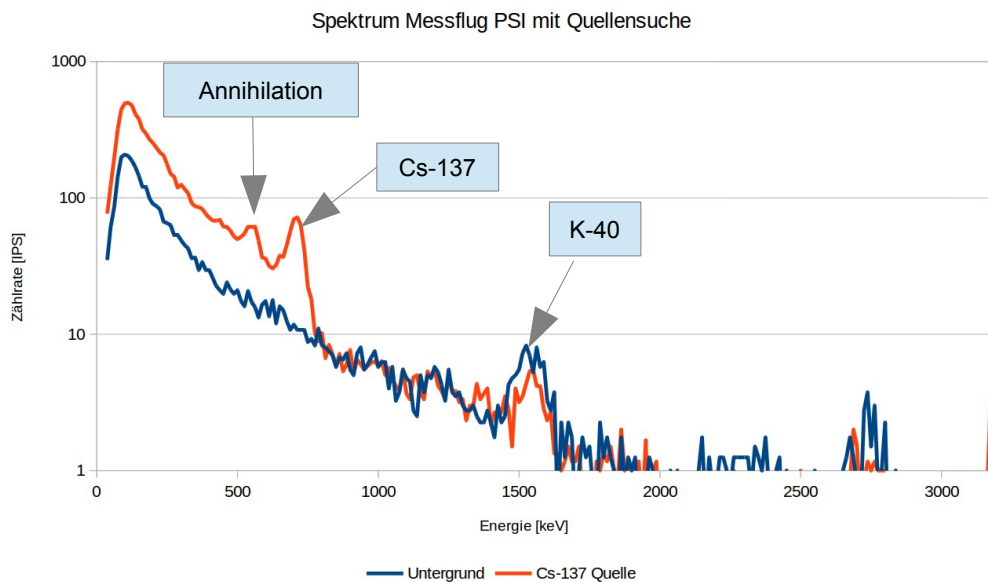
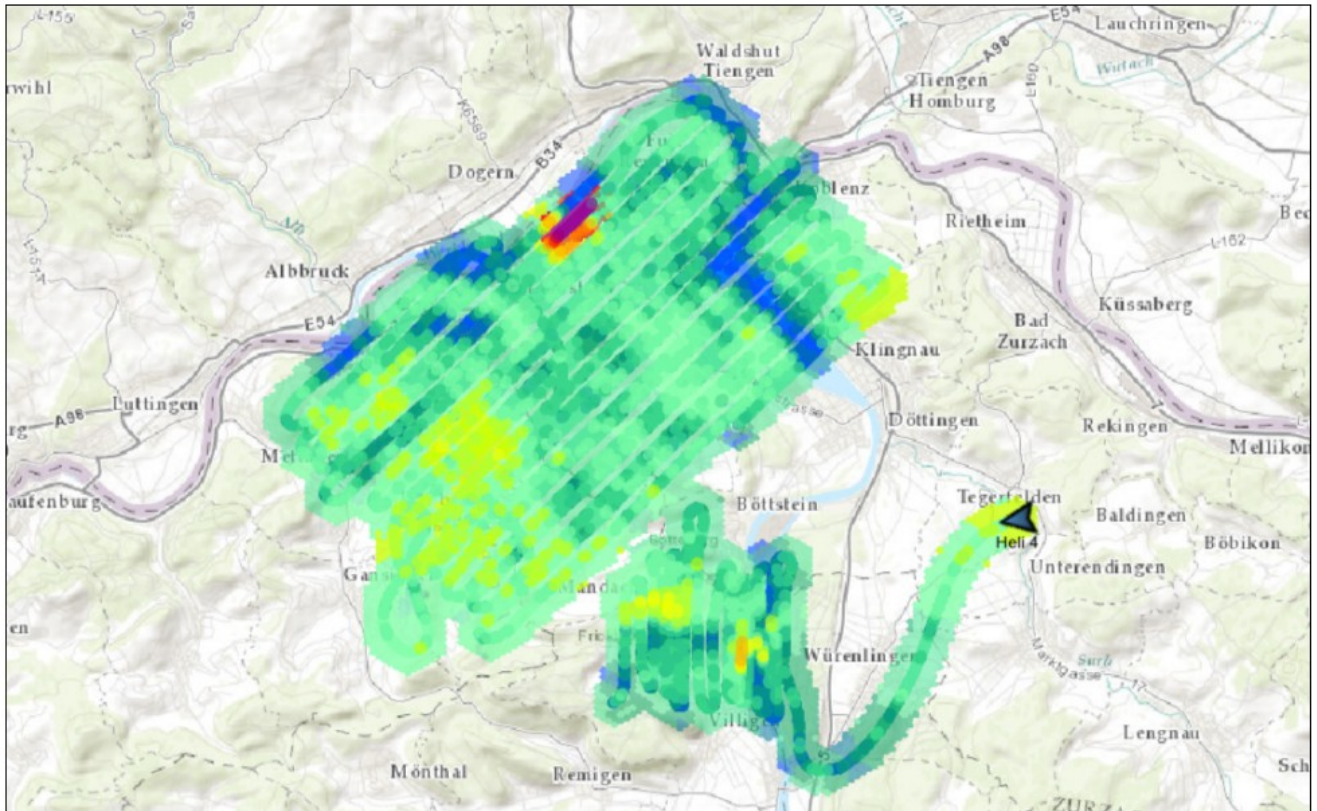


Abbildung 7: Energiespektrum des erhöhten Messpunktes im Vergleich zum Untergrund (blaue Kurve). Neben dem Cs-137 Peak sieht man auch die 511 keV Annihilationsstrahlung der Abluft aus dem Beschleuniger im PSI-West und der Peak des natürlich vorhandenen K-40.

**Karte der Ortsdosisleistung des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee**

Auch die mit dem RLL07-System erstellte Karte der Ortsdosisleistung zeigt eine Erhöhung auf dem Gelände des PSI.

Weiter können auch - wie in Abbildung 1 mit dem NAZ-System detektiert - die natürlich bedingte Thoriumanomalie im Gebiet nördlich von Mandach sowie die künstliche N-16 Erhöhung auf dem Betriebsareal des Kernkraftwerks Leibstadt klar erkannt werden.

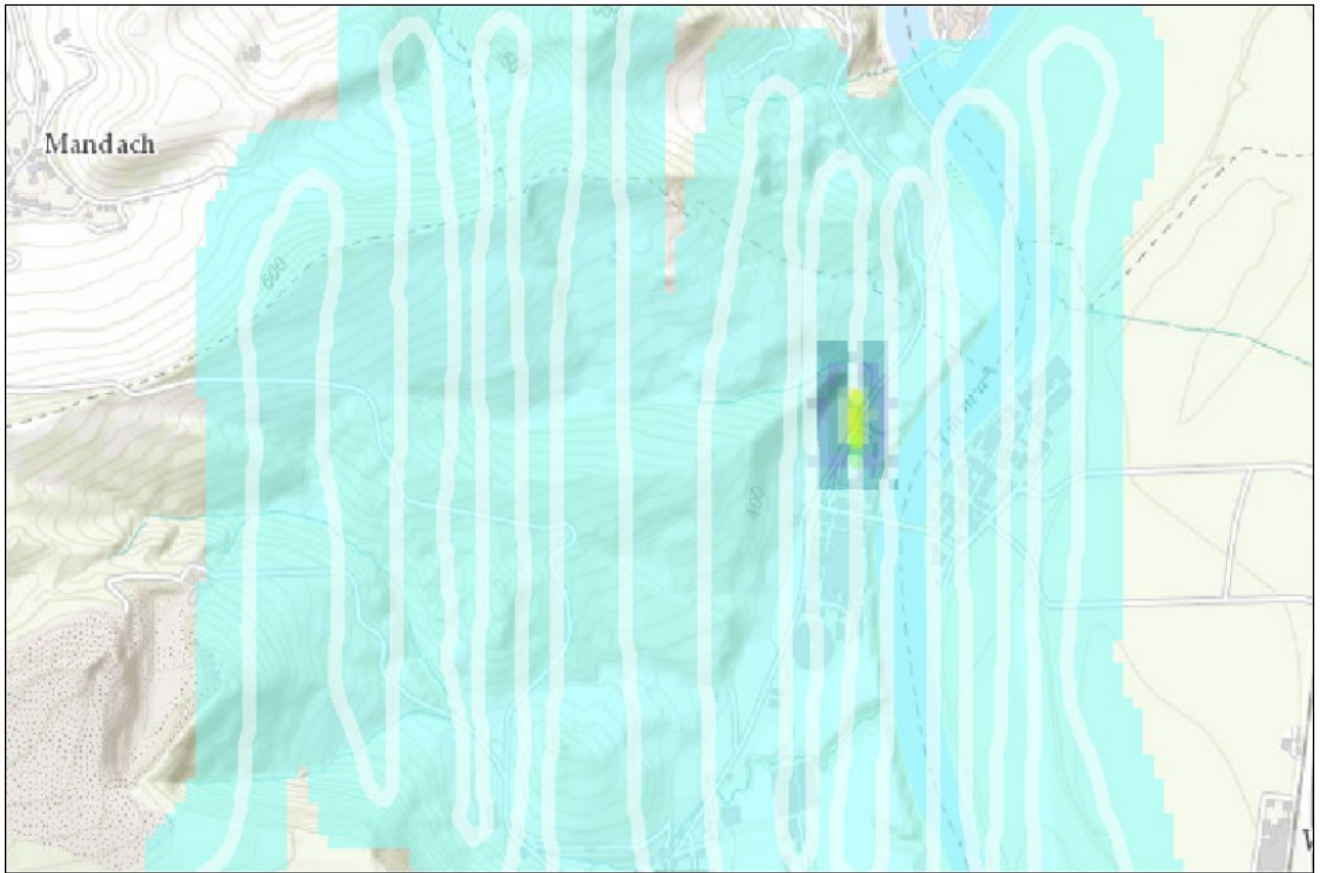


Ground dose rate (G)( $\mu\text{Sv/h}$ )																	
Invalid	0.040	0.048	0.056	0.064	0.072	0.080	0.096	0.112	0.128	0.144	0.160	0.400	0.800	1.600	4.000	8.000	40.000

Abbildung 8: Karte der Ortsdosisleistung des Messflugs des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee in der Umgebung des Kernkraftwerks Leibstadt und des PSI, während künstliche Quellen ausgelegt waren.

**Cobalt-Karte (Co-60) des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee**

Mittels des RLL07-Systems konnte die Co-60 Quelle problemlos identifiziert und lokalisiert werden.



Co-60 Pct. CT(MBq)																	
Invalid	1	5	10	20	40	60	80	100	125	150	200	250	300	400	500	1000	5000

Abbildung 9: Co-60 Karte des Messflugs des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee beim PSI, während künstliche Quellen ausgelegt waren.

Die vorliegenden Messwerte der beiden Systeme werden zu einem späteren Zeitpunkt detailliert ausgewertet und verglichen. Die Resultate werden in einem separaten Bericht des PSI veröffentlicht.

### 3.3. Messresultate des geologisch interessanten Gebiets um Vicosoprano (GR) sowie entlang zweier A13-Strassenabschnitte

Wegen seiner interessanten Geologie und seiner anspruchsvollen Topographie wurde das Gebiet um Vicosoprano aeroradiometrisch vermessen.

#### Hintergrund

Hintergrund für die Wahl dieses Gebiets waren die für schweizerische Verhältnisse permanent hohen Ortsdosisleistungen (ODL), die von der NADAM-Sonde der NAZ bei Vicosoprano gemessen werden (siehe auch: <https://www.naz.ch/de/aktuell/zeitverlaeuft.html>)

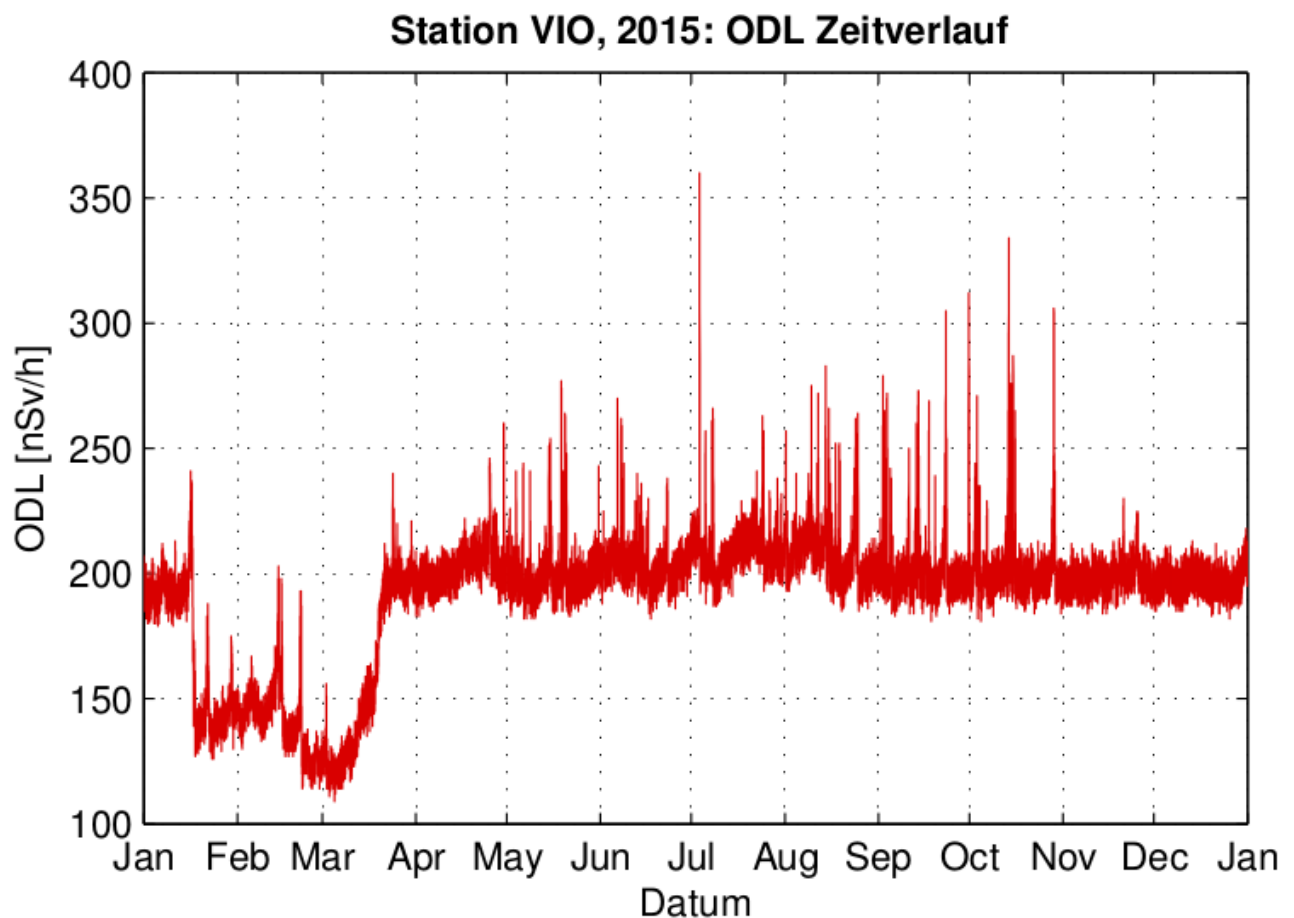


Abbildung 10: Zeitverlauf der Ortsdosisleistung der NADAM-Sonde Vicosoprano 2015. Im Winterhalbjahr werden aufgrund des schneebedeckten Untergrunds kleinere Werte gemessen. Niederschläge führen aufgrund von atmosphärischen Auswascheffekten von natürlichen Radionukliden zu kurzzeitig erhöhten Messwerten.

Die aeroradiometrischen Messresultate bestätigen die relativ hohen ODL-Messwerte bei Vicosoprano und führen deren Ursache auf die relativ hohen Anteile an natürlich vorhandenem Thorium und Uran in den örtlichen Gesteinen zurück:



**Angaben zum Messflug in der Umgebung um Vicosoprano**

Datum: 28.06.2016  
 Fluglinien: 6 Linien; manuelle Flugleitung  
 Flugzeit: 35 min  
 Fluggebiet: ca. 21 km<sup>2</sup>  
 Flughöhe über Grund: ca. 90 m

**Karte der natürlichen terrestrischen Strahlung**

Anhand der Darstellung der natürlichen terrestrischen Strahlung erkennt man klar die erhöhten ODL-Werte im Süden und Südosten von Vicosoprano sowie die leicht erhöhten Werte bei Bondo und Castasegna.

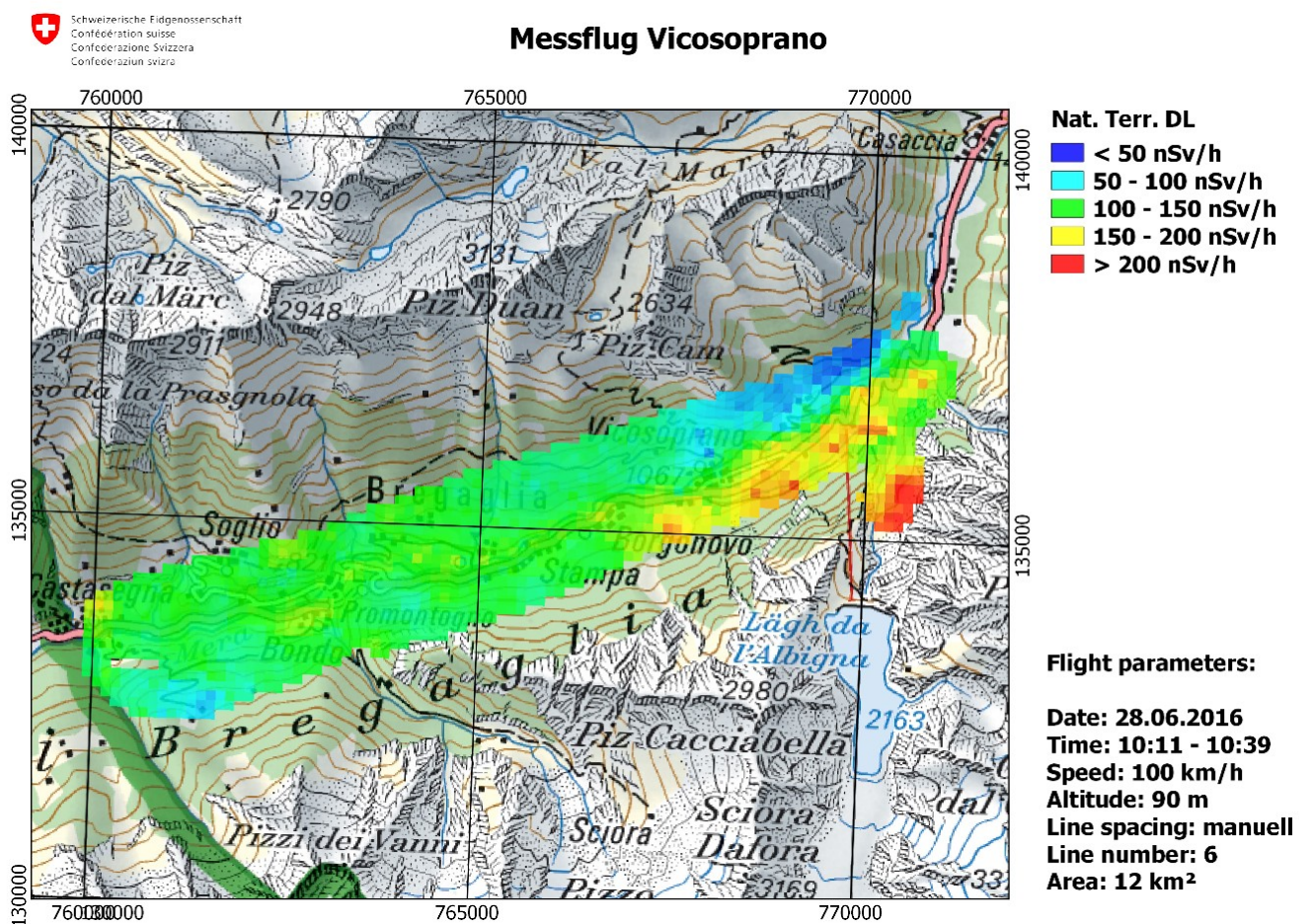


Abbildung 11: Karte der natürlichen terrestrischen Strahlung des Messfluges in der Umgebung von Vicosoprano.

Grund für die erhöhte terrestrische Strahlung ist der relativ hohe Uran- und Thoriumanteil in den örtlichen Gesteinen:

**Uran-Karte (U-238)**

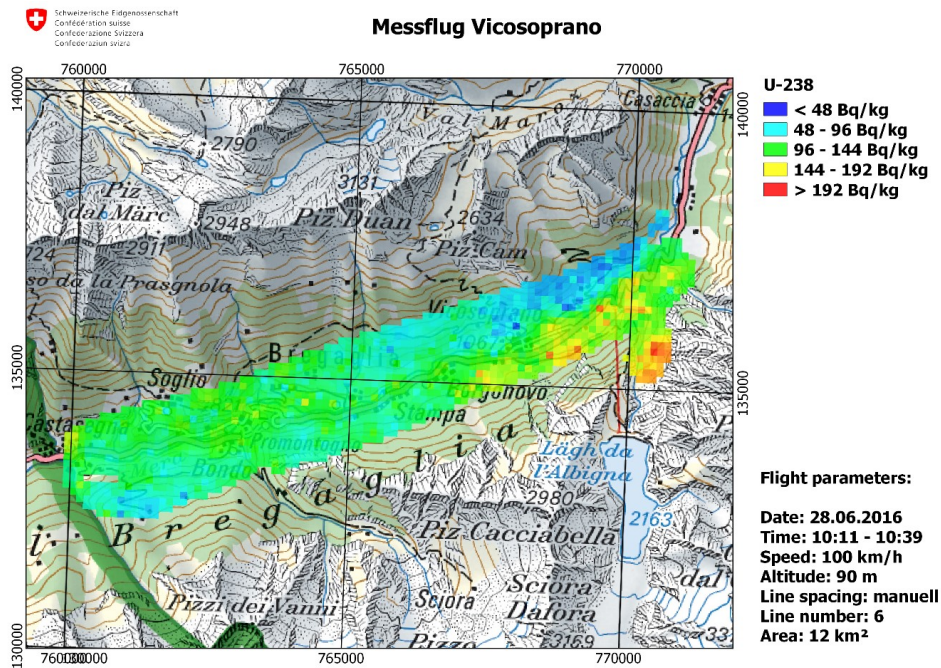


Abbildung 12: U-238 Karte in der Umgebung von Vicosoprano.

**Thorium-Karte (Th-232)**

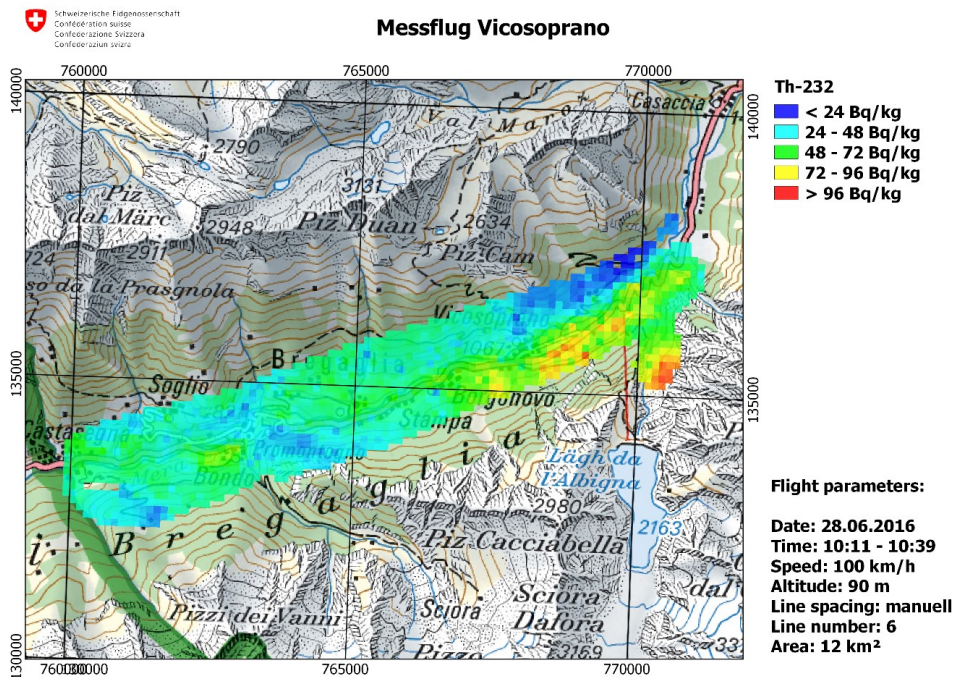


Abbildung 13: Th-232 Karte in der Umgebung von Vicosoprano.

Auf dem Flug von Dübendorf nach Vicosoprano wurden zusätzlich noch Messungen entlang der A13 auf den beiden Abschnitten St. Margrethen - Sargans und Cazis - St. Bernardino durchgeführt. Die Messwerte zeigen normale Messwerte:

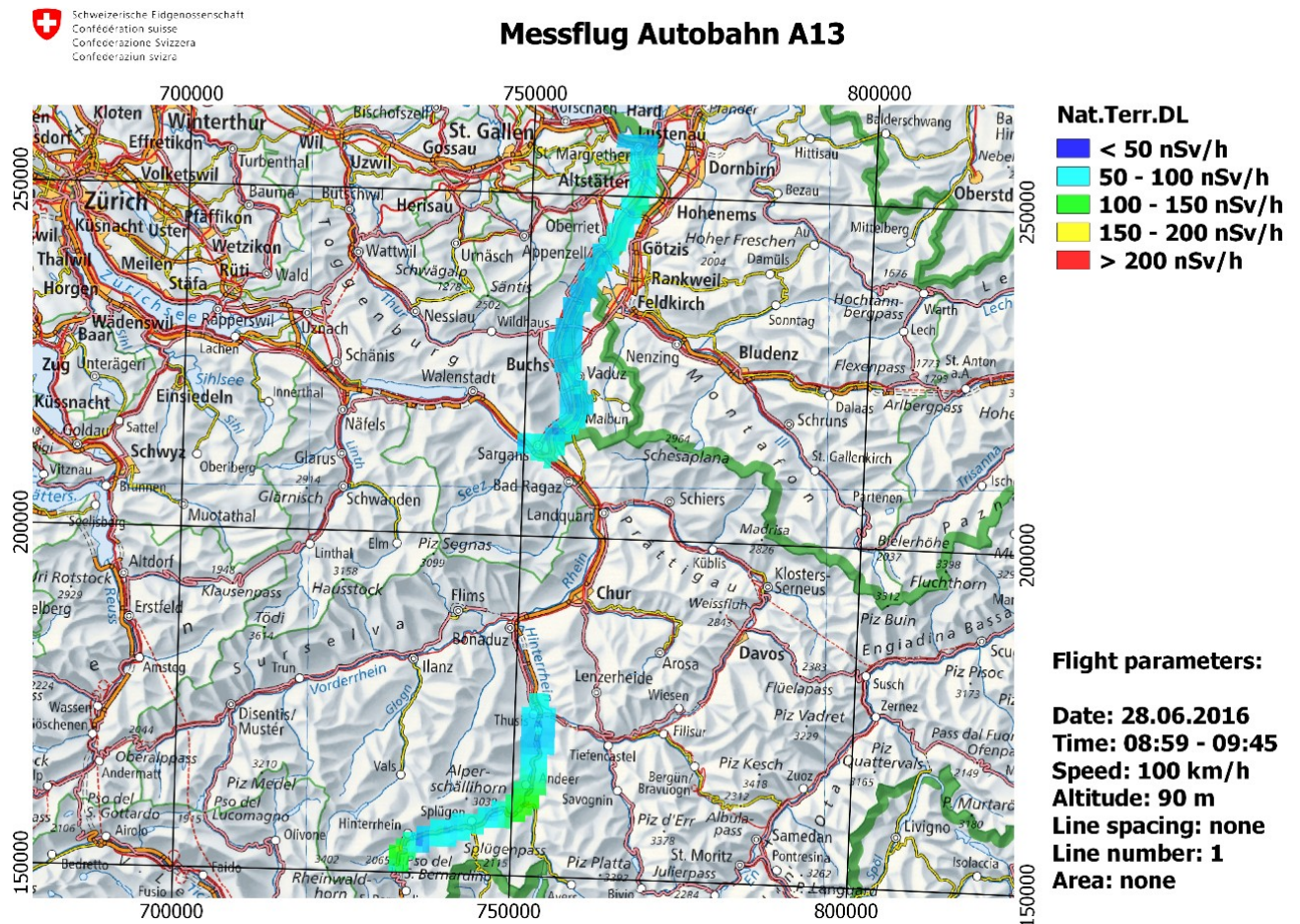


Abbildung 14: Messkarte der natürlichen terrestrischen Strahlung entlang der A13.

### 3.4. Messresultate des Städtemessprogramms

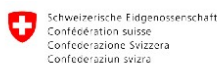
Seit mehreren Jahren verfolgt die NAZ ein Städtemessprogramm mit dem Ziel, Nullmessungen von allen Schweizer Städten und grösseren Gemeinden zu erhalten. Nullmessungen können zugezogen werden, wenn nach einem Ereignis ein Verdacht auf erhöhte Radioaktivität besteht. Dieses Jahr wurden die beiden zentralschweizerischen Stadtgebiete von Zug und Luzern ausgemessen.

#### Angaben zum Messflug über Zug und Umgebung

Datum: 28.06.2016  
 Fluglinien: Abstand 250 m, 31 Linien  
 Flugzeit: 1 h 30 min  
 Fluggebiet: ca. 62 km<sup>2</sup>  
 Flughöhe über Grund: ca. 90 m

#### Karte der Ortsdosisleistung

Die Karte zeigt keine erhöhten Messwerte. Gut sichtbar sind die geringeren ODL-Messwerte über dem Zugersee, da dort die terrestrische Strahlung durch das Wasser abgeschirmt wird.



#### Messflug Städte Zug, Baar & Cham

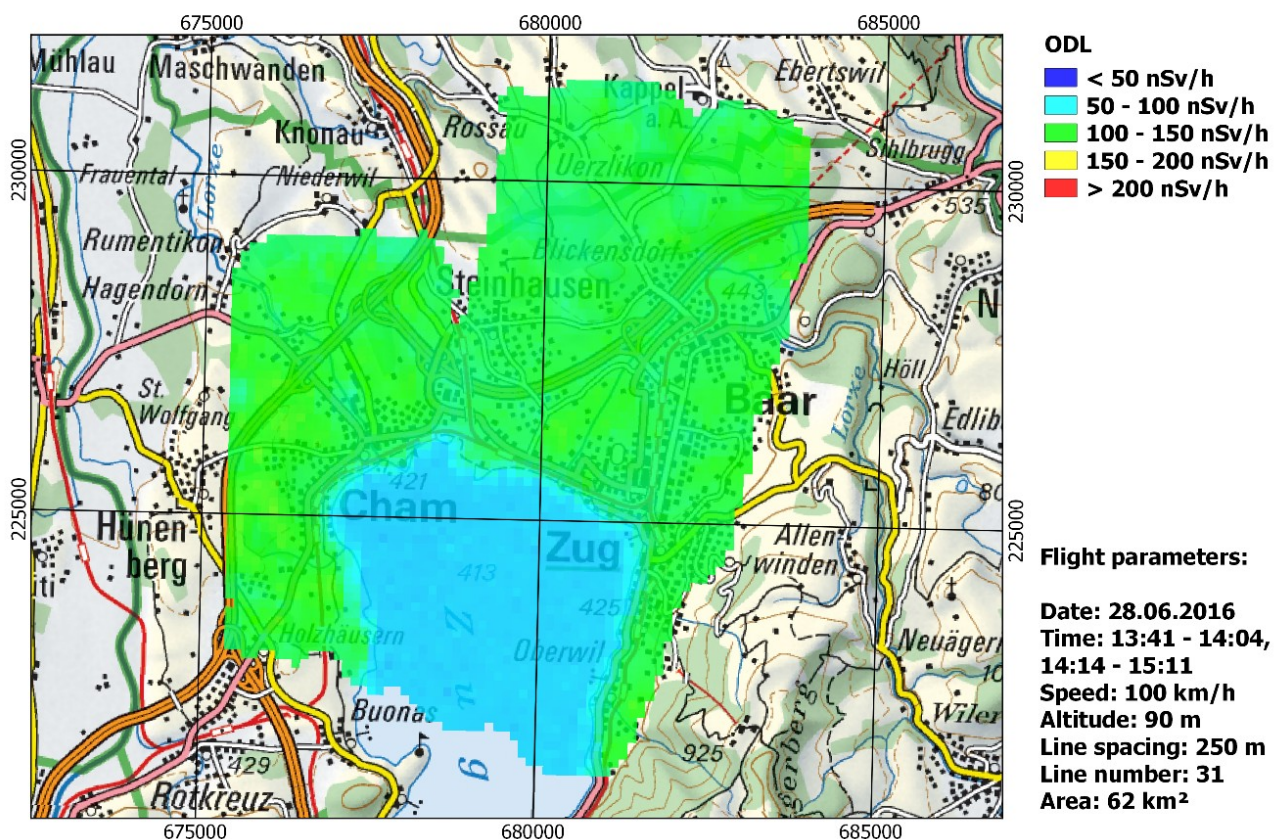
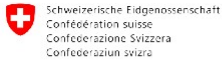


Abbildung 15: Karte der Ortsdosisleistung der Stadt Zug und Umgebung.

**Cäsium-Karte (Cs-137)**

Die Karte der Cs-137-Aktivität zeigt analog zur ODL-Karte keine Auffälligkeiten, welche auf ein Vorkommen von radioaktivem Cäsium hinweisen würde.



**Messflug Städte Zug, Baar & Cham**

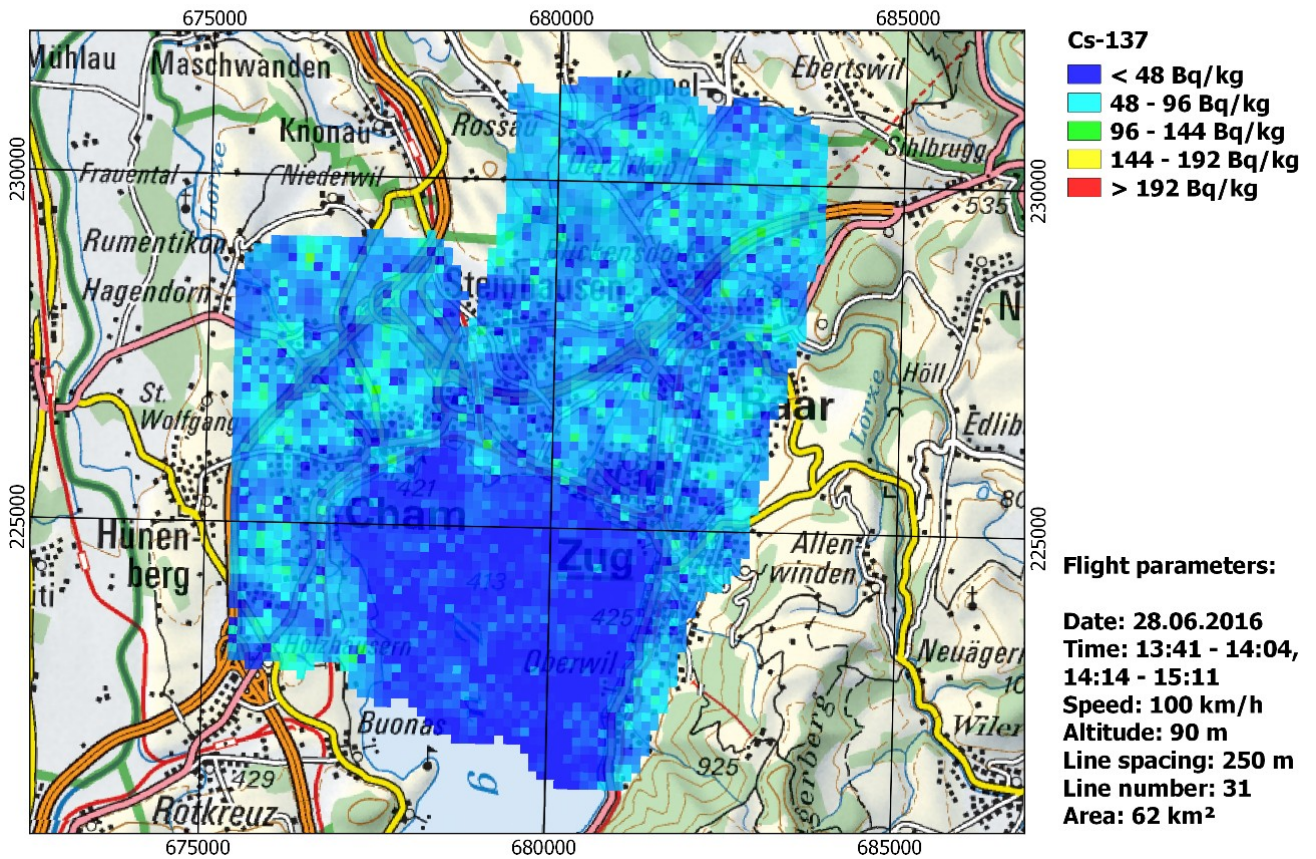


Abbildung 16: Cs-137 Karte der Stadt Zug und Umgebung.

**Angaben zum Messflug über Luzern und Umgebung**

Datum: 30.06.2016  
 Fluglinien: Abstand 250 m, 42 Linien  
 Flugzeit: 1 h 55 min  
 Fluggebiet: Luzern, Kriens, Emmen  
 Gemessene Fläche: ca. 96 km<sup>2</sup>  
 Flughöhe über Grund: ca. 90 m

**Karte der Ortsdosisleistung**

Die Karte zeigt keine erhöhten Messwerte. Gut sichtbar sind die geringeren ODL-Messwerte über dem Vierwaldstädtersee, da dort die terrestrische Strahlung durch das Wasser abgeschirmt wird.

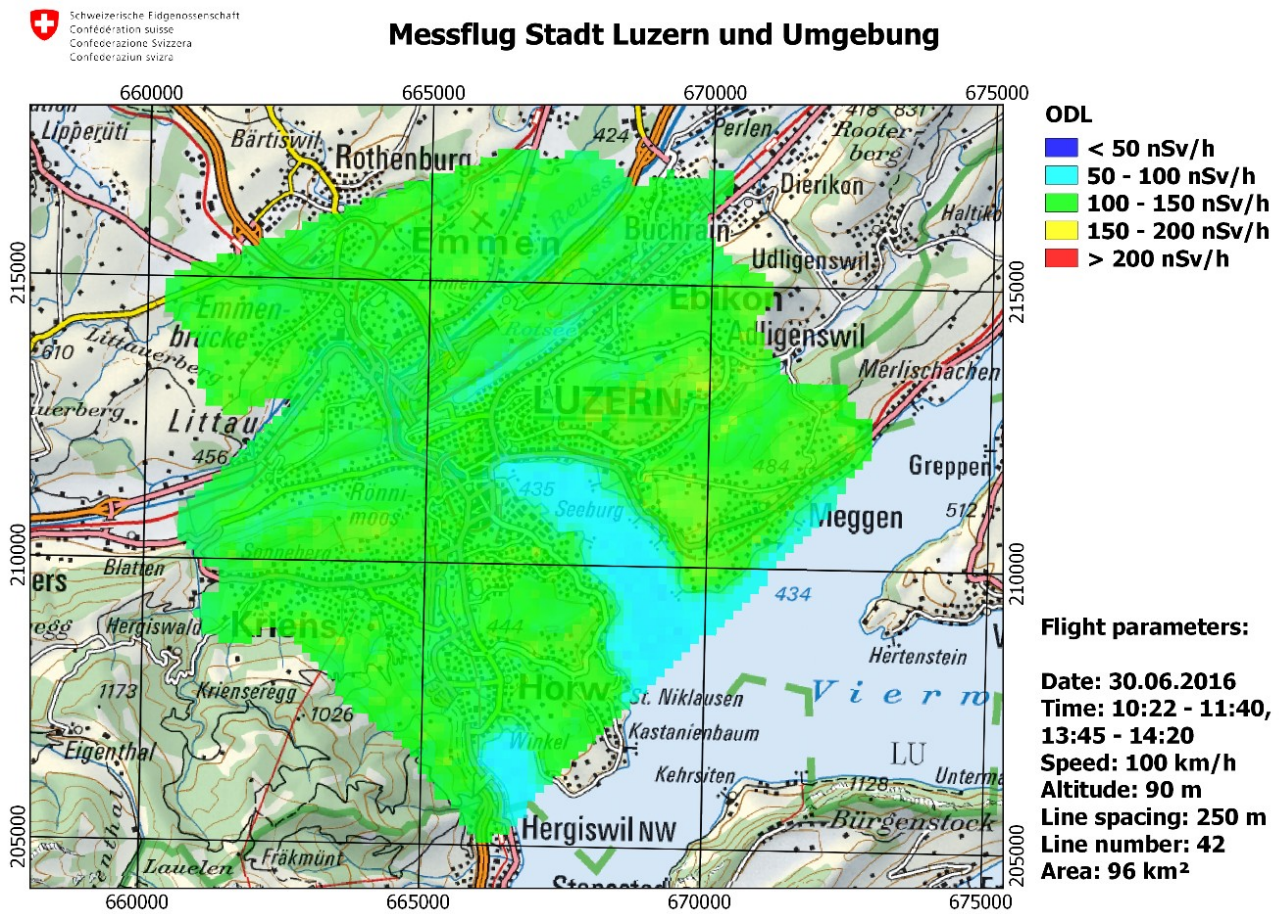


Abbildung 17: Karte der Ortsdosisleistung der Stadt Luzern und Umgebung.

**Cäsium-Karte (Cs-137)**

Die Karte der Cs-137-Aktivität zeigt analog zur ODL-Karte keine Auffälligkeiten, welche auf ein Vorkommen von radioaktivem Cäsium hinweisen würde.

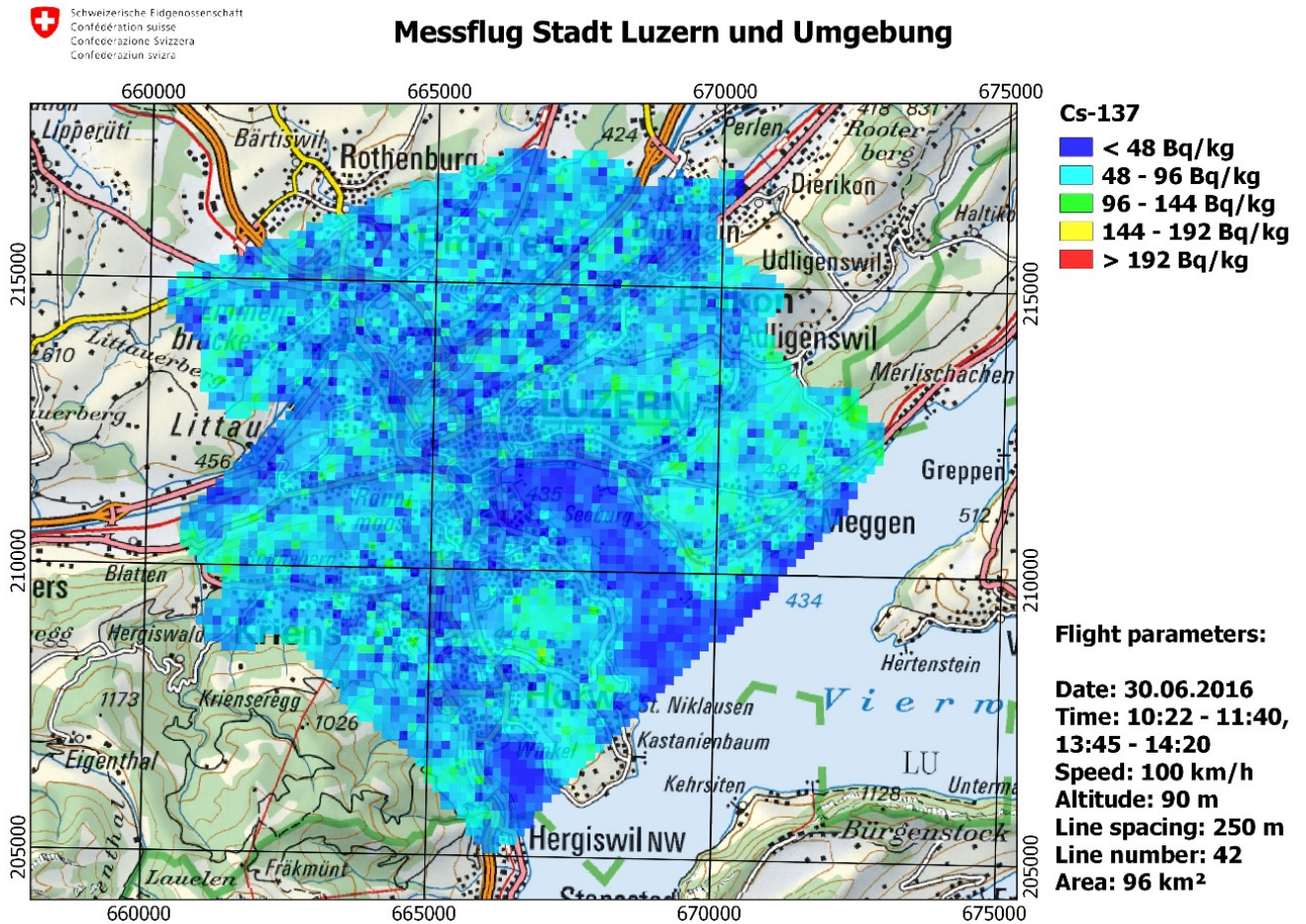


Abbildung 18: Cs-137 Karte der Stadt Luzern und Umgebung.

### 3.5. Messresultate der Einsatzübung „Laura“

Das in Zusammenarbeit mit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz, der Feuerwehr der Stadt Luzern, dem PSI und der NAZ erarbeitete Szenario der Einsatzübung „Laura“ ging vom Absturz eines Flugzeugs mit radioaktiven Quellen an Bord aus. Es wurde angenommen, dass die Transportbehälter dieser Quellen beim Aufprall auf das Fluggelände im Flugplatz Emmen beschädigt wurden. Die Ersteinsatzkräfte (Feuerwehr der Stadt Luzern) mussten bei ihrem Einsatz die radiologische Gefährdung erkennen und die entsprechenden Fachkräfte aufbieten. Schliesslich standen die Feuerwehr der Stadt Luzern, die Strahlenwehr Region Zentralschweiz, das Strahlenschutzpikett des PSI und die Aeroradiometrie der NAZ im Einsatz.

Die Aeroradiometrie-Equipe landete vor Ort, liess sich durch den Einsatzleiter informieren, baute ihren Auswertungsstandort auf und absolvierte einen Messflug, um einen ersten Überblick über die radiologische Situation im Schadensgebiet zu erlangen. Die erste Auswertung zeigte, dass Cäsium- und Cobalt-Quellen auf dem Gelände verstreut waren. Die Resultate wurden dem Einsatzleiter vorgestellt, der die Ortungs- und Bergungsteams der Strahlenwehr und der Feuerwehr zum Einsatz brachte. Diese massen das Gebiet detailliert aus, orteten, bargen und sicherten die Quellen.

Die Zusammenarbeit der verschiedenen Stellen funktionierte sehr gut und zeitgerecht. Die Ziele der Übungsleitung wurden erreicht.

Die radioaktiven Quellen waren in abgesperrtem Gelände ausgelegt und ständig überwacht.



Abbildung 19: Einsatzübung "Laura": Simuliertes Trümmerfeld mit ausgelegten radioaktiven Quellen.





*Abbildung 20: Einsatzübung „Laura“: Lagerbericht mit dem Einsatzleiter (Feuerwehr), der Strahlenwehr, dem Strahlenschutz des PSI und der ARM der NAZ/Stab BR NAZ.*



*Abbildung 21: Einsatzübung „Laura“: ARM und Strahlenwehr im Einsatz.*

**Karte der Ortsdosisleistung**

Die Karte der Ortsdosisleistung zeigt eine Erhöhung im Bereich des angenommen Unfallorts.

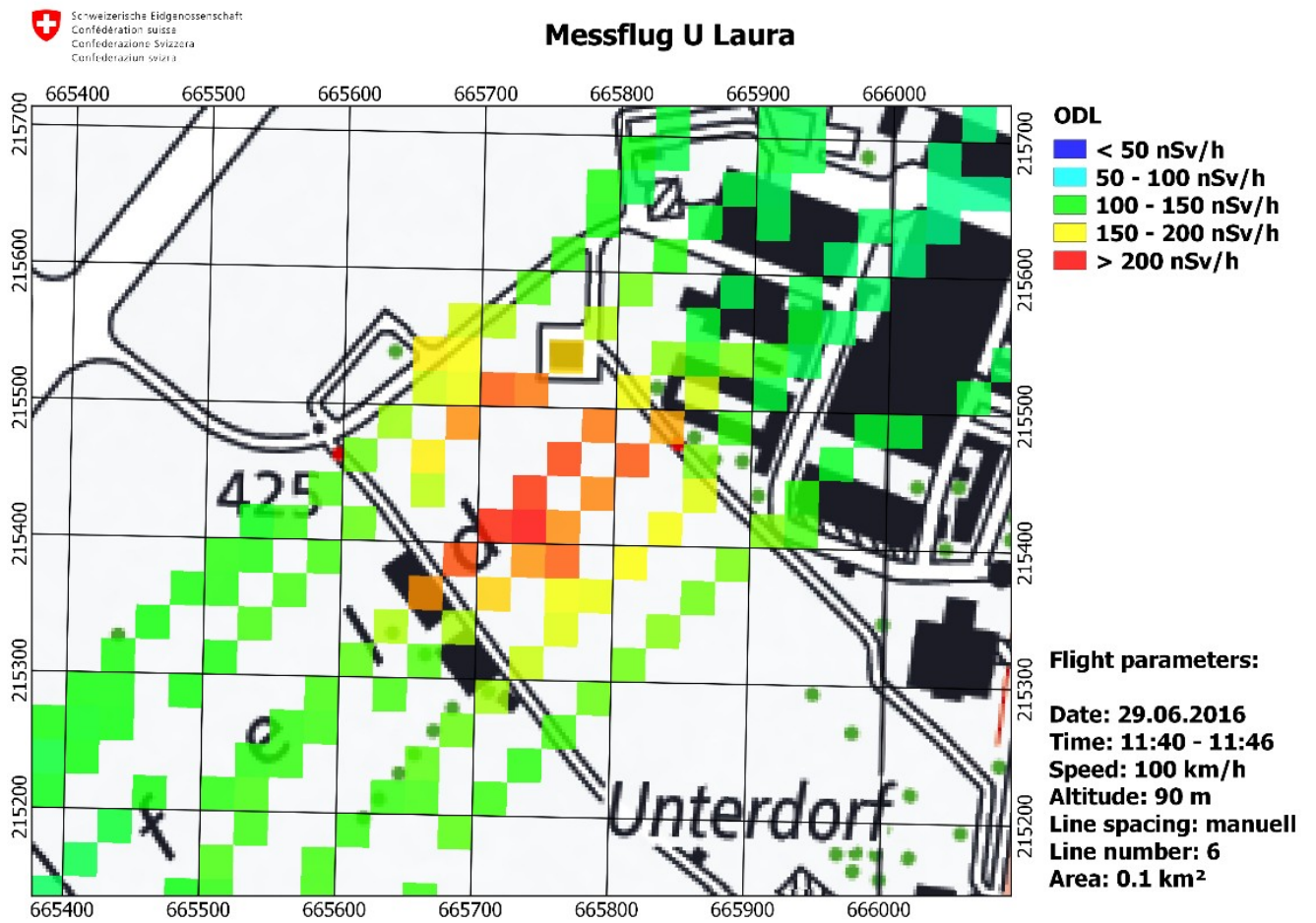


Abbildung 22: Karte der Ortsdosisleistung bei der Einsatzübung "Laura" auf dem Militärflugplatz in Emmen.

### MMGC-Karte

Auf der MMGC-Karte, die das Verhältnis von hoch- zu niederenergetischer Strahlung aufzeigt, ist ebenfalls eine klare Erhöhung zu erkennen. Dies weist auf die Präsenz von künstlichen Radionukliden hin.

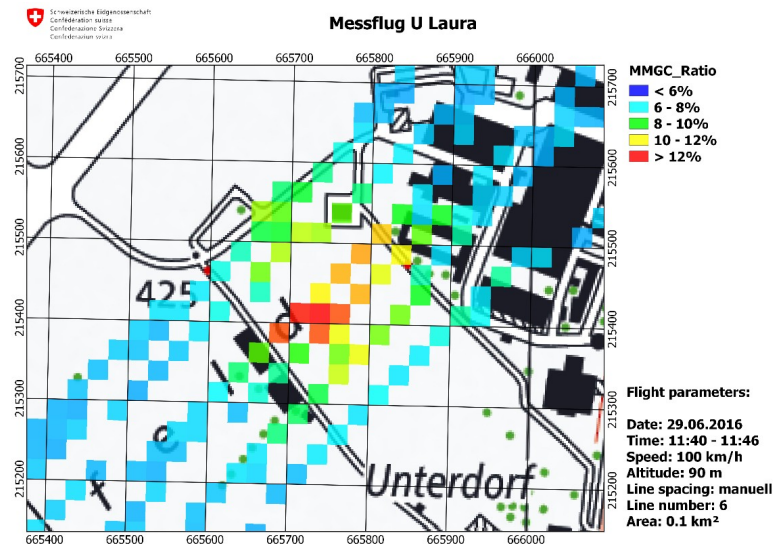


Abbildung 23: MMGC-Karte bei der Einsatzübung "Laura" auf dem Militärflugplatz in Emmen.

### Cäsium-Karte (Cs-137) und Cobalt-Karte (Co-60)

Die Präsenz von Cs-137 und Co-60 konnten mittels ARM bestätigt und grob lokalisiert werden.

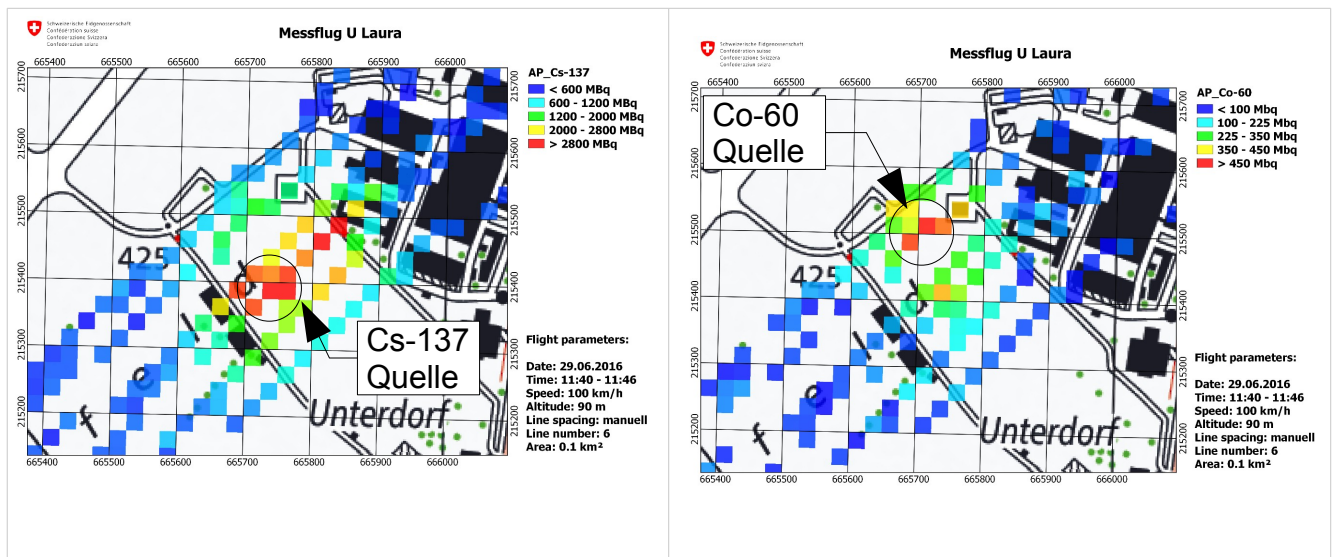


Abbildung 24: Mögliche Positionen der Cs-137 und Co-60 Quellen bei der Einsatzübung "Laura".

## Spektrum U Laura: Flugzeugabsturz mit Quellensuche

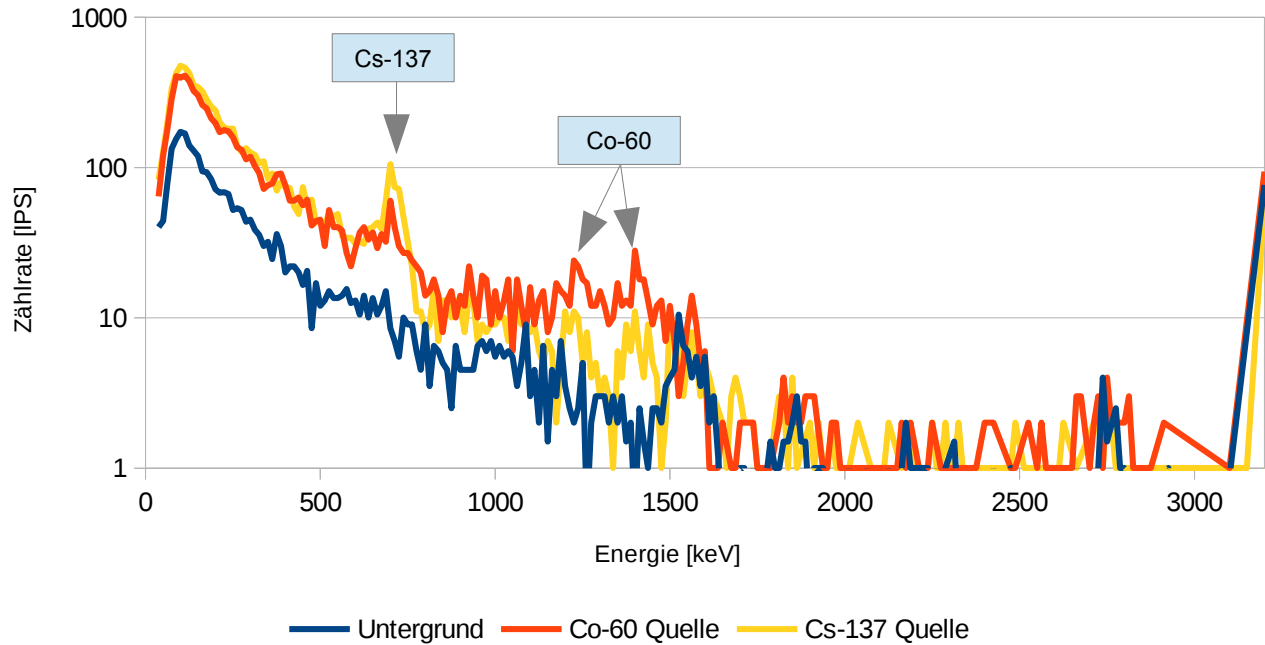


Abbildung 25: Energiespektren bei drei Messpunkten:

- Untergrund (blaue Kurve),
- Cs-137 Quelle (gelbe Kurve, mit einem Peak bei 662 keV)
- Co-60 Quelle (rote Linie, mit Peaks bei 1173 und 1332 keV)

Aufgrund des Sichtfeldes des Detektors (ca. 300 m) und der geringen Distanz der beiden Quellen (ca. 180 m), werden beide Quellenmesspunktspektren durch die jeweils andere Quelle beeinflusst. Man erkennt damit auch im Co-60-Spektrum (rote Linie) den Cs-137-Peak bei 662 keV und umgekehrt die beiden Co-60-Peaks im Cs-137-Spektrum (gelbe Linie).

### 3.6. Erkenntnisse Messübung Aeroradiometrie 16

Die Ziele der Aeroradiometrie-Messwoche 2016 wurden vollumfänglich erreicht.

Die Routineflüge über den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt, dem Paul Scherrer Institut (PSI) und dem ZWILAG, sowie die Nullmessungen über den Stadtgebieten von Zug und Luzern und den beiden Strassenabschnitten der A13 konnten problemlos durchgeführt werden. Es wurden keine ungewöhnlichen Werte gemessen.

Die bei Vicosoprano bekannten hohen Ortsdosisleistungen konnten mittels der Messflüge bestätigt und auf die hohen Uran- und Thoriumgehalte in den örtlichen Gesteinen zurückgeführt werden. Bei diesem - topographisch bedingten - anspruchsvollen Messflug konnten die Piloten ihr fliegerisches Können erneut belegen.

Die Einsatzübung „Laura“ auf dem Militärflugplatz Emmen ergab folgende Erkenntnisse:

- Die Zusammenarbeit der Strahlenwehr Region Zentralschweiz, der Feuerwehr der Stadt Luzern, des Strahlenschutz-Piketts des PSI und der ARM der NAZ funktionierte sehr gut.
- Die Einsatzdoktrin für Quellensuche (ARM landet zuerst beim Schadenplatz, hält einen Abspracherapport mit dem Einsatzleiter vor Ort ab und führt erst anschliessend einen Messflug durch, wobei das Auswerteteam bei der örtlichen Einsatzleitung bleibt) hat sich bewährt.
- Jedoch fehlt ein ARM-Portfolio, welches dem örtlichen Einsatzleiter schnell und einfach die Produkte der ARM präsentiert.
- Es muss dem Einsatzleiter zudem klar kommuniziert werden, wo die Grenzen der ARM liegen.
- Ein Vertreter vor Ort, der die Belange der NAZ abdeckt, wäre wünschenswert.

Die Validierungs- und Vergleichsmessungen des ARM-Systems der NAZ mit dem System des Kompetenzzentrums ABC-KAMIR der Armee konnten erfolgreich durchgeführt werden. Erste Analysen lieferten zufriedenstellende Ergebnisse. Weitere vertiefte Offline-Analysen werden in den kommenden Wochen durchgeführt.

Der Ausbildungs- und Trainingsstand der Messspezialisten, Techniker und Piloten der Aeroradiometrie-Equipe ist hoch. Die Einsatzdokumentation wurde überprüft und aktualisiert. Eine erste Darstellung der Resultate konnte jeweils innerhalb einer Stunde nach Ende der jeweiligen Messflüge fertiggestellt werden.

## 4. Aeroradiometrie allgemein

### 4.1. Wie funktioniert die Aeroradiometrie?

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

### 4.2. Auswertung aeroradiometrischer Daten

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

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:

- MMGC-Ratio: Dabei wird das Verhältnis vom tiefenergetischen zum hochenergetischen Anteil des Spektrums gebildet. Weil die künstlich erzeugten Radioisotope meist nur  $\gamma$ -Strahlung niedriger Energie aussenden, entspricht dieses Verhältnis ungefähr dem Verhältnis von künstlicher zu natürlicher Strahlung.
- Abschätzung der Ortsdosisleistung: Mit Hilfe des gesamten Spektrums wird die Dosisleistung 1 m über Boden abgeschätzt. Dabei werden die Counts in den einzelnen Kanälen mit der Kanalnummer gewichtet, für Background, kosmische Strahlung und schwankende Flughöhe über Grund korrigiert und anschliessend mit Hilfe eines Kalibrationsfaktors in Dosisleistung umgerechnet. Für die Ortsdosisleistung wird noch die kosmische Dosisleistung addiert, die aufgrund der kosmischen Höhenformel für den Messpunkt 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 m<sup>2</sup>) darstellen. Zum Vergleich: Bodenmessungen decken nur eine Fläche von rund 80 m<sup>2</sup> ab.

### 4.3. 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 Paul Scherrer Institut wird die durch die Beschleunigeranlage induzierte Streustrahlung (PSI-West) resp. die Strahlung von radioaktiven Abfällen (Bundeszwischenlager (BZL), PSI-Ost) erfasst.

Bei Siedewasserreaktoren (KKM und KKL) gelangt im Betrieb durch die Frischdampfleistung das Aktivierungsprodukt N-16 ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die Gammastrahlung des N-16 aus der Luft sehr gut detektiert werden. 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 kann keine erhöhte künstliche Radioaktivität, die nicht durch Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann, nachgewiesen werden. Der Aktivitätspegel in der Umgebung ist über die letzten 15 Jahren konstant geblieben.