

# Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM05

Benno Bucher<sup>1</sup>, Gernot Butterweck<sup>2</sup>, Ladislaus Rybach<sup>3</sup>, Georg Schwarz<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen HSK, Schweiz

<sup>2</sup> Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen  
PSI, Schweiz

<sup>3</sup> Institut für Geophysik, ETH Höggerberg, 8093 Zürich, Schweiz

August 2006

## Zusammenfassung

Bei der jährlichen Messübung des Stabs BR NAZ vom 20. bis 23. Juni 2005 wurde mit Bellinzona erneut ein Stadtgebiet befliegen. Dabei wurden entlang der Talhänge leicht erhöhte  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten registriert. Messungen bei Coglio/TI und Monte Laura/TI weisen ebenfalls auf lokale Erhöhungen in den  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten hin, die vermutlich auf Tschernobyl-Fallout zurückzuführen sind. Bei einer Deponie in der Magadinoebene und einem Industrieareal bei Bodio wurden keine erhöhten Messwerte festgestellt. In Zusammenarbeit mit den Tessiner Einsatzkräften von Polizei, Feuerwehr und Zivilschutz wurde eine Quellensuchübung durchgeführt. Dabei konnten zwei ausgelegte  $^{137}\text{Cs}$  Quellen aus der Luft lokalisiert und identifiziert werden. In der Nähe des Flugplatzes von Locarno durchgeführte Bodenmessungen mit In-Situ-Gammaspektrometrie (Labor Spiez und Institut de Radiophysique Appliquée (IRA)) und Dosisleistungsmessgeräten (Labor Spiez, IRA, SueR, HSK) bestätigten die gute Kalibration des Aeroradiometriesystems. Als Ergänzung zu Profilen früherer Jahre erfolgte ein Messflug durch die Schweiz von der Ajoie zum Mattmark-Stausee. Die Resultate der aeroradiometrischen Messung zeigten durch Geologie und Topographie verursachte Variationen. Die tiefsten Werte wurden über dem Bielersee, dem Schwarzgletscher beim Balmhorn und dem Mattmark-Stausee registriert. Bei einer Messung im Zusammenhang mit der Gesamtnotfallübung KRONOS II wurden an einer Stelle nordwestlich von Winterthur lokal erhöhte  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten registriert.

Im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) wurde die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg aeroradiometrisch vermessen. Wie in früheren Jahren konnte in der Umgebung des Kernkraftwerks Gösgen mit Ausnahme von Tschernobyl-Fallout keine durch Menschen verursachte Radioaktivität festgestellt werden. Das Kernkraftwerk Mühleberg wurde wie erwartet anhand der Strahlung des Aktivierungsproduktes  $^{16}\text{N}$  detektiert. Ausserhalb der Werkareale wurde wie in früheren Jahren keine erhöhte Radioaktivität gemessen.

## Abstract

The airborne gamma spectrometry (AGS) equipment was employed during the annual exercise of the Swiss national emergency operations centre (NAZ) during June 20<sup>th</sup> to 23<sup>rd</sup>, 2005.

Following the measurement over the towns of Davos and Lausanne in 2004, the town of Bellinzona was surveyed during this year's exercise. Elevated <sup>137</sup>Cs-activity was observed at the slopes of the surrounding mountains compared to the activity values measured in the valley of Bellinzona.

In the vicinity of the villages of Coglio and Monte Laura, also located in canton Ticino, <sup>137</sup>Cs-hot spots were observed. With a high probability, this Cesium was deposited during the Fallout after the Chernobyl accident.

Measurements over a waste disposal site in the Magadino plateau and an industrial area near Bodio showed no indication of artificial radionuclides.

The localisation and recovery of radioactive sources was trained together with emergency response teams of canton Ticino.

Intercomparison measurements with ground-level in-situ gamma spectrometry and dose rate measurements at the airport of Locarno confirmed the calibration of the AGS equipment.

A measuring flight was performed on a profile from the Ajoie to the Mattmark reservoir, supplementing profiles of the previous years. The measurement results mirrored clearly geological and topographical variations along the profile. Lowest dose rates were found over the Bieler lake, the Schwarz glacier near the Balmhorn and the Mattmark reservoir.

Measurements in connection with the large scale emergency exercise Kronos II showed a <sup>137</sup>Cs hot-spot northwest of the town Winterthur.

The vicinity of the nuclear power plants Gösgen (KKG) and Mühleberg (KKM) was surveyed on behalf of the Swiss federal nuclear safety inspectorate (HSK). As found in previous years, KKG was not detectable from the air, whereas KKM showed a significant signal due to <sup>16</sup>N activity. No elevated signals were measured outside of the plant premises.

**INHALT**

1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Messgeräte .....	1
1.2 Messflüge .....	1
1.3 Auswertung .....	2
2 VERGLEICHSMESSUNGEN BODEN - LUFT .....	2
2.1 Messresultate .....	2
3 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM05 .....	4
3.1 Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM).....	5
3.2 Stadtgebiet Bellinzona .....	7
3.3 Weitere Messgebiete im Tessin.....	7
3.4 Übung zur Quellensuche .....	8
3.5 Gesamt-Notfallübung KRONOS II .....	8
3.6 Profil Mattmark - Ajoie .....	9
4 VERGLEICHSFLUG MIT DEM KOMPETENZZENTRUM ABC DER ARMEE .....	10
5 LITERATUR .....	11

## FIGUREN

Abbildung 1: Gemittelte Spektren innerhalb und ausserhalb des Werkareals KKG.....	6
Abbildung 2: Gemittelte Spektren innerhalb und ausserhalb des Werkareals KKM. ....	6
Abbildung 3: Gemittelte Spektren entlang der Talhänge und des Talbodens im Stadtgebiet von Bellinzona. ....	7
Abbildung 4: Gemitteltes Spektrum im Bereich der Anomalie nordwestlich von Winterthur.....	9
Abbildung 5: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils vom Mattmark-Stausee zur Ajoie. ....	10
Abbildung 6: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) in der Umgebung des KKG. ...	13
Abbildung 7: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung des KKG. ....	14
Abbildung 8: MMGC-Ratio in der Umgebung des KKG. ....	15
Abbildung 9: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) in der Umgebung des KKM. ...	16
Abbildung 10: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung des KKM. ....	17
Abbildung 11: MMGC-Ratio in der Umgebung des KKM. ....	18
Abbildung 12: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) im Stadtgebiet Bellinzona. ...	19
Abbildung 13: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) im Stadtgebiet Bellinzona. ....	20
Abbildung 14: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität im Stadtgebiet Bellinzona.....	21
Abbildung 15: MMGC-Ratio im Stadtgebiet Bellinzona.....	22
Abbildung 16: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Bodio. ....	23
Abbildung 17: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung von Bodio.....	24
Abbildung 18: MMGC-Ratio in der Umgebung von Bodio.....	25
Abbildung 19: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Coglio. ...	26
Abbildung 20: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung von Coglio. ....	27
Abbildung 21: MMGC-Ratio in der Umgebung von Coglio.....	28
Abbildung 22: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Monte Laura. ....	29
Abbildung 23: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung von Monte Laura.....	30
Abbildung 24: MMGC Ratio in der Umgebung von Monte Laura.....	31
Abbildung 25: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) bei einer Deponie in der Magadino-Ebene.....	32

Abbildung 26: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität bei einer Deponie in der Magadino-Ebene.....	33
Abbildung 27: MMGC-Ratio bei einer Deponie in der Magadino-Ebene.....	34
Abbildung 28: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in dem Areal der Quellensuche.....	35
Abbildung 29: Ortsdosisleistung (SDI Methode) im Gebiet der Übung Kronos II. ....	36
Abbildung 30: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität im Gebiet der Übung Kronos II.....	37
Abbildung 31: MMGC-Ratio im Gebiet der Übung Kronos II.....	38
Abbildung 32: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) entlang eines Profils Mattmark - Ajoie. ....	39
Abbildung 33: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität entlang eines Profils Mattmark - Ajoie.....	40
Abbildung 34: MMGC-Ratio entlang eines Profils Mattmark - Ajoie.....	41
Abbildung 35: Vergleichsflug NAZ - Komp. Zen. ABC. Ortsdosisleistung NAZ. ....	42
Abbildung 36: Vergleichsflug NAZ - Komp. Zen. ABC. Ortsdosisleistung Komp. Zen. ABC.....	43

**TABELLEN**

Tabelle 1: Messresultate der In-Situ-Gammaspektrometrie und der Aeroradiometrie (ARM). .....	3
Tabelle 2: Ortsdosisleistungen am Vergleichspunkt. ....	4
Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugparameter der Übung ARM05. ....	4
Tabelle 4: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM05. ....	5





## 1 EINLEITUNG

Die aeroradiometrischen Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurden am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt.

In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechslungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit nuklearen Installationen vermessen werden. Seit 1994 ist die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Satellitenabstürze im Vordergrund. Der operative Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Die Arbeiten für Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems wurden im Jahre 2003 von der Sektion Messwesen am PSI übernommen. Die wissenschaftliche Betreuung und die laufende Weiterentwicklung der Aeroradiometrie erfolgen ebenfalls durch die Sektion Messwesen des PSI in Zusammenarbeit mit der HSK.

### 1.1 Messgeräte

Das Messsystem besteht aus vier NaI-Detektoren mit insgesamt 16.8 l Volumen. Das zugehörige Spektrometer verfügt über einen Vielkanalanalysator mit 256 Kanälen und einer automatischen Verstärkungsjustierung. Die Steuerung des Systems, sowie die Erfassung und Speicherung der Daten, erfolgt mit Hilfe eines Industrie-PCs. Die in 2004 begonnene Erneuerung der Elektronik des Messsystems wurde in 2005 erfolgreich abgeschlossen. Im Zuge dieser Erneuerung wurde parallel zur Messung auf einem zweiten Industrie-PC die komplette Auswertung der Daten in Echtzeit ermöglicht. Für die Positionierung wird GPS (Global Positioning System) im EGNOS-Modus verwendet. Gleichzeitig mit dem aufgenommenen Spektrum und der Position werden Luftdruck, Aussentemperatur und Radarhöhe aufgezeichnet.

Das Messsystem wird für die Messflüge in einen Super-Puma-Helikopter der Schweizer Armee eingebaut. Dieser Helikoptertyp bietet sehr gute Navigationsmöglichkeiten und erlaubt durch seine Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter und in der Nacht.

### 1.2 Messflüge

Der Vorteil von aeroradiometrischen Messungen liegt in der grossen Geschwindigkeit, mit der ein grosses Messgebiet abgedeckt werden kann. Messungen sind auch über unwegsamem Gelände möglich.

Um das Messgebiet gleichmässig abzudecken, werden die Flüge in einem regel-

mässigen Raster durchgeführt. Das Raster besteht aus parallelen Fluglinien, die je nach Aufgabenstellung 100 - 500 m auseinander liegen. Die Flughöhe wird nach Möglichkeit konstant bei 90 m über Grund gehalten. Während des Flugs wird ein Gammaskpektrum pro Sekunde aufgenommen.

### 1.3 Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgt nach dem in Schwarz (1991) beschriebenen Auswerteverfahren für aeroradiometrische Messdaten. Seit dem Jahre 2000 kommt dabei die in der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Instituts für Geophysik an der ETH Zürich entwickelte Auswertesoftware (Bucher, 2001) mit on-line Auswerteoption zum Einsatz.

Bei Vergleichen von aeroradiometrischen Messungen mit gammaspektrometrischen In-Situ Bodenmessungen ist die unterschiedliche Ortsauflösung der beiden Methoden zu beachten. Während der Messwert der Aeroradiometrie den Mittelwert über ein Gebiet von 300x300 m darstellt, wird bei der In-Situ Bodenmessung lediglich eine Fläche von ca. 10x10 m abgedeckt.

## 2 VERGLEICHSMESSUNGEN BODEN - LUFT

In einem Ereignisfall werden die Ergebnisse von In-Situ-Gammaskpektrometrie, Dosisleistungsmessungen und aeroradiometrischen Messungen zusammengeführt. Daher wurden beim Flugplatz Locarno Vergleichsmessungen der verschiedenen Methoden durchgeführt.

### 2.1 Messresultate

Auf einem Areal von 100 m x 100 m in der Nähe des Flugplatzes Locarno wurden von Messequipen des Labors Spiez und des Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) neun einzelne In-Situ-Messungen gleichmässig verteilt durchgeführt. Auf diesem Areal wurden auch von beiden Messequipen, der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUEr) und der HSK Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt. Über dieser Fläche erfolgte mit der Aeroradiometrieausrüstung ein Steigflug. Alle mit Hilfe der In-Situ-Gammaskpektrometrie und der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten stimmen innerhalb der Unsicherheiten ( $\pm 2\sigma$ ) gut überein (siehe Tabelle 1).

Bei der Bestimmung der Ortsdosisleistung (ODL) aus spektrometrischen Messungen kommen verschiedene Methoden zur Anwendung. Einerseits kann die ODL über die Nuklidaktivitäten und die entsprechenden Anteile an der Messgrösse Kerma in Luft (ICRU Report 53) berechnet werden. Für die Umrechnung von Kerma in Luft [nGy/h] nach  $H^*(10)$  [nSv/h] wurde jeweils ein Umrechnungsfaktor 1.20

(siehe ISO 4037-3:1999) verwendet. Andererseits lässt sich die ODL auch über die "Spectrum Dose Index (SDI) Methode" (siehe Bucher, 2001) abschätzen. Dabei wird das Produkt von Zählrate und Kanalnummer über das Spektrum integriert, was ein Mass für die im Detektor deponierte Energie liefert. Die mit den verschiedenen Geräten gemessenen Ortsdosisleistungen (Tabelle 2) stimmen innerhalb der Unsicherheiten überein. Die Ergebnisse des IRA liegen im Vergleich mit den anderen Boden-Messungen und der Aeroradiometrie leicht erhöht.

**Tabelle 1: Messresultate der In-Situ-Gammaspektrometrie der Messequipen vom Labor Spiez und der IRA sowie die Ergebnisse aus der Aeroradiometrie (ARM).**

	Labor Spiez	IRA	ARM
Nuklid	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]
<b>K-40</b>	<b>548.8 ± 33.2</b>	<b>618.2 ± 35.8</b>	<b>480 ± 162</b>
Bi-214 (609 keV)	45.4 ± 6.0	49.3 ± 4.6	
Bi-214 (1120 keV)		48.4 ± 5.8	
Bi-214 (1765 keV)		42.5 ± 5.7	50 ± 44
Pa-234m	< 300	< 220	
Pb-214 (295 keV)	47.2 ± 4.8	43.5 ± 7.8	
Pb-214 (352 keV)		49.7 ± 3.3	
Pb-210	< 400		
<b>Mittelwert U-238</b>	<b>46.3 ± 4.8</b>	<b>46.7 ± 1.6</b>	<b>50 ± 44</b>
Pb-212	41.3 ± 4.7	54.2 ± 8.5	
Bi-212	50.1 ± 39.1	49.6 ± 14.7	
Ac-228 (338 keV)	45.4 ± 5.4	50.2 ± 4.6	
Ac-228 (911 keV)		47.7 ± 9.4	
Tl-208	16.2 ± 2.7	49.9 ± 14.0	38 ± 17
<b>Mittelwert Th-232</b>	<b>44.9 ± 6.1</b>	<b>50.3 ± 4.7</b>	<b>38 ± 17</b>
Cs-134	< 2.0	< 2.0	
<b>Cs-137</b>	<b>118.1 ± 19.2</b>	<b>135.4 ± 14.2</b>	<b>117 ± 84</b>

**Tabelle 2: Ortsdosisleistungen am Vergleichspunkt, die mit verschiedenen Messgeräten und Methoden bestimmt wurden.**

	Labor Spiez	IRA	SUER	HSK	ARM
ODL [nSv/h] (über Aktivitäten)	140 ± 8	151 ± 6			145 ± 26
ODL [nSv/h] Reuter Stokes		158 ± 3	146 ± 10	145 ± 4	
ODL [nSv/h] SDI-Methode					139 ± 7

### 3 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM05

Die Messungen des Jahres 2005 erfolgten mit einem Super Puma Helikopter der Armee in der Zeit vom 20. bis zum 23. Juni 2005. Die Messflüge standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (NAZ).

**Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM05 verwendet wurden.**

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]
KKG	250	57	90	90/270
KKM	250	65	90	45/225
Kronos II	250-5000	149	90	-
Bellinzona	250	26	90	45/225
Quellensuche	125	6	90	-
Monte Laura	250	4	90	90/270
Coglio	250	4	90	135/315
Deponie Magadino	250	5	90	135/315
Industrie Bodio	250	5	90	90/270
Profil Mattmark - Ajoie	-	-	120	

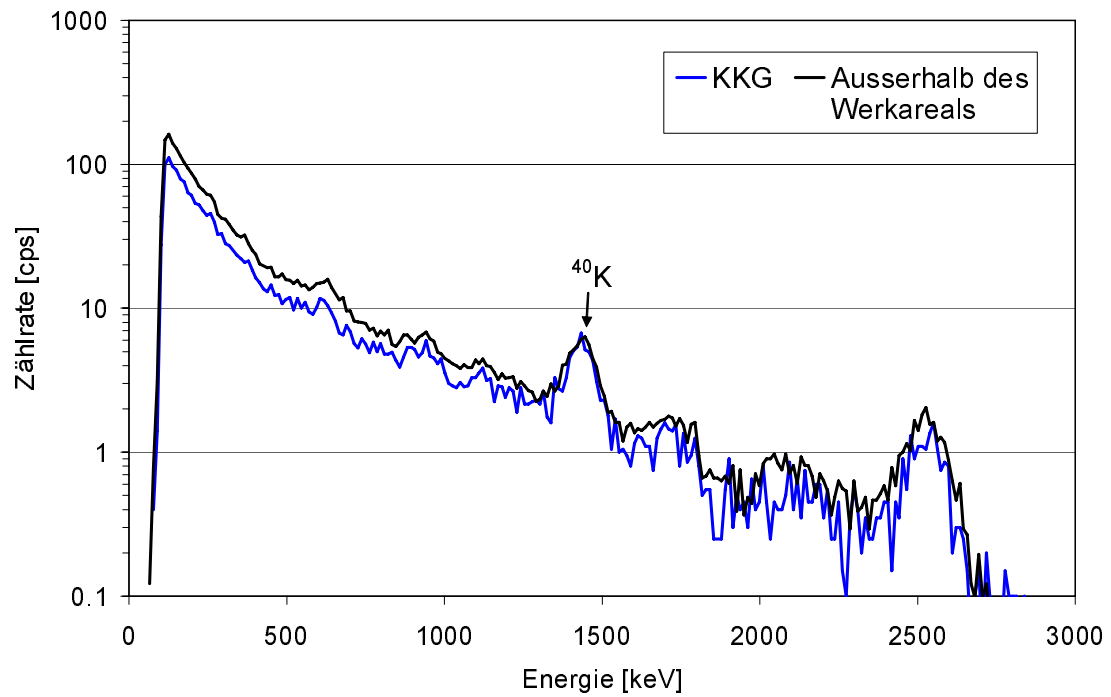
Die Daten aller im Rahmen der Übung ARM05 durchgeführten Flüge sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst. Die Fluggeschwindigkeit lag für alle Messflüge bei ca. 30 m/s. Die Spektren wurden während aller Flüge mit einem Sampling-Intervall von 1 s aufgenommen.

**Tabelle 4: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM05.**

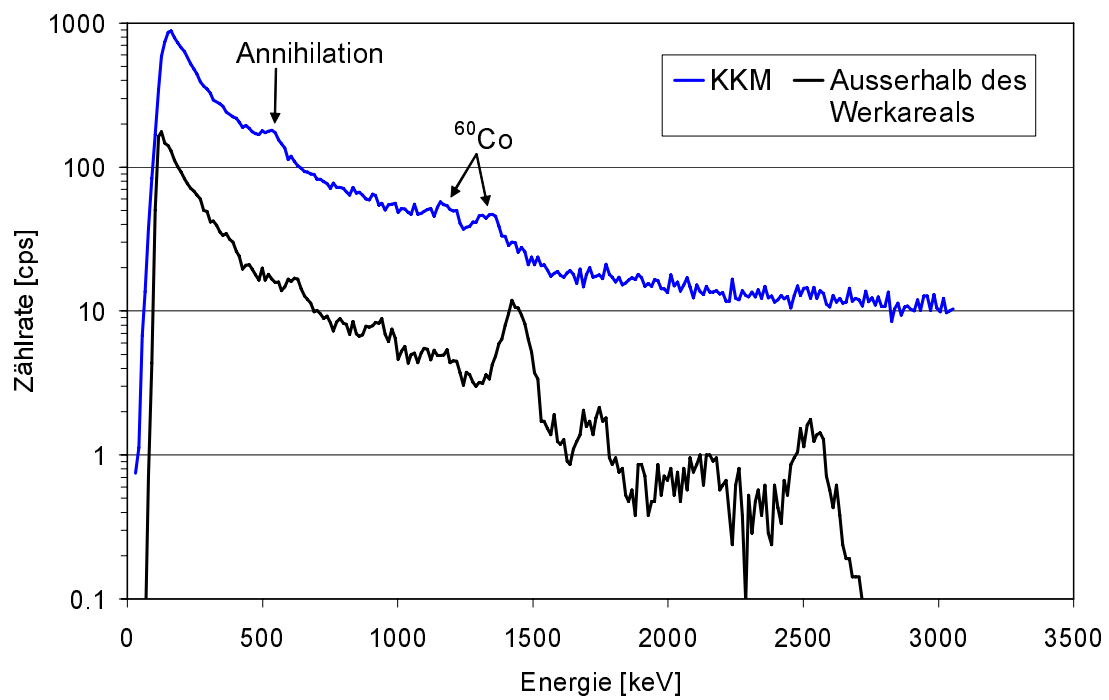
Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKG	2005026	20.6.2005	5777	198
KKM	2005019	20.6.2005	7559	248
Kronos II	2005037	21.6.2005	7501	270
Bellinzona	2005042	22.6.2005	1778	55
	2005044	22.6.2005	1095	34
Quellensuche	2005043	22.6.2005	1137	40
Monte Laura	2005039	22.6.2005	777	15
Coglio	2005040	22.6.2005	1157	23
Deponie Magadino	2005041	22.6.2005	409	13
Industrie Bodio	2005038	22.6.2005	599	19
	2005048	23.6.2005	721	8
Profil Mattmark - Ajoie	2005036	21.6.2005	5'083	156

### 3.1 Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM)

Turnusgemäss wurden die Umgebungen der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) aeroradiometrisch vermessen. Wie bereits in früheren Jahren konnte das KKG aeroradiometrisch nicht detektiert werden (Abbildungen 1 und 6 bis 8). Das KKM zeigte erhöhte Signale im gesamten Spektrum, die auf gestreute, hochenergetische Photonenstrahlung des Aktivierungsproduktes  $^{16}\text{N}$  zurückzuführen sind (Abbildung 2). Dieses gelangt bei Siedewasserreaktoren durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise gering abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des  $^{16}\text{N}$  aus der Luft gut detektiert werden. In Abbildung 11 ist das nach Schwarz et al. (1991) modifizierte MMGC-Ratio im Gebiet KKM dargestellt, in welchem deutlich das KKM erkannt werden kann.



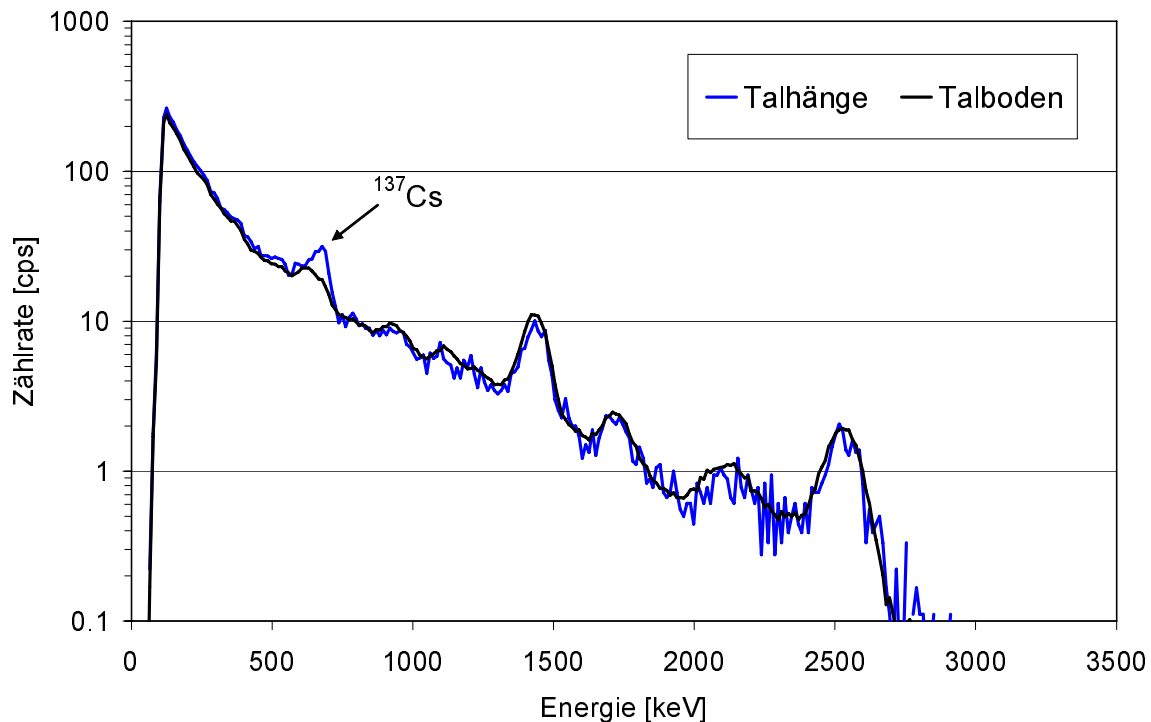
**Abbildung 1: Gemittelte Spektren innerhalb und ausserhalb des Werkareals KKG.**



**Abbildung 2: Gemittelte Spektren innerhalb und ausserhalb des Werkareals KKM.**

### 3.2 Stadtgebiet Bellinzona

Nachdem 2004 mit Davos und Lausanne erstmals Stadtgebiete aeroradiometrisch vermessen wurden, erfolgte 2005 die Vermessung der Stadt Bellinzona. Dabei zeigten sich vor allem entlang der Talhänge erhöhte  $^{137}\text{Cs}$  Aktivitäten, die einerseits im Spektrum (Abbildung 3), wie auch im modifizierten MMGC-Ratio (Abbildung 15) deutlich erkannt werden konnten. In den besiedelten und bebauten Gebieten wurden die tiefsten Werte innerhalb des überflogenen Gebietes gemessen. Das gemessene  $^{137}\text{Cs}$  an den Talhängen stammt mit grösster Wahrscheinlichkeit vom Tschernobyl-Fallout.



**Abbildung 3: Gemittelte Spektren entlang der Talhänge und des Talbodens im Stadtgebiet von Bellinzona.**

### 3.3 Weitere Messgebiete im Tessin

Innerhalb des Industrieareals der Monteforno in Bodio wurden keine erhöhten  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten registriert. Auch ausserhalb des Areals wurden keine für das Tessin ausserordentlichen Aktivitäten gemessen (Abbildungen 16 - 18).

Im Messgebiet Coglio im Maggital wurden im Bereich des Maggia-Flussbettes tiefe  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten gemessen. Die höchsten Werte wurden an den Talhängen sowie südlich von Someo registriert (Abbildungen 19 - 21).  $^{137}\text{Cs}$  liess sich eindeutig in den Spektren anhand seiner Gammalinie bei 662 keV erkennen.

Das räumlich sehr beschränkte Gebiet um Monte Laura zeigte einige Punkte mit erhöhten  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten (Abbildungen 22 - 24). Die Resultate weisen aufgrund der stark ändernden Topographie eine grosse Unsicherheit auf. Trotzdem konnte  $^{137}\text{Cs}$  in den Spek-

tren eindeutig nachgewiesen werden.

Auf dem Betriebsgelände der Deponie in der Magadinoebene wurden keine erhöhten  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten registriert. Hingegen konnten ausserhalb der Deponie diverse  $^{137}\text{Cs}$  Hot-Spots in der Magadinoebene erkannt werden (Abbildungen 25 - 27). Die in verschiedenen Gebieten im Tessin erhöhten  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten sind hauptsächlich auf den Tschernobyl-Fallout zurückzuführen.

### 3.4 Übung zur Quellensuche

In einer gemeinsamen Übung mit den örtlichen Einsatzkräften der Polizei, der Feuerwehr und des Zivilschutzes wurde in der Magadinoebene/TI die Quellensuche geübt. Dazu wurden durch das Institut de Radiophysique Appliquée (IRA) zwei  $^{137}\text{Cs}$ -Quellen mit Aktivitäten von je 2 GBq im Feld ausgelegt.

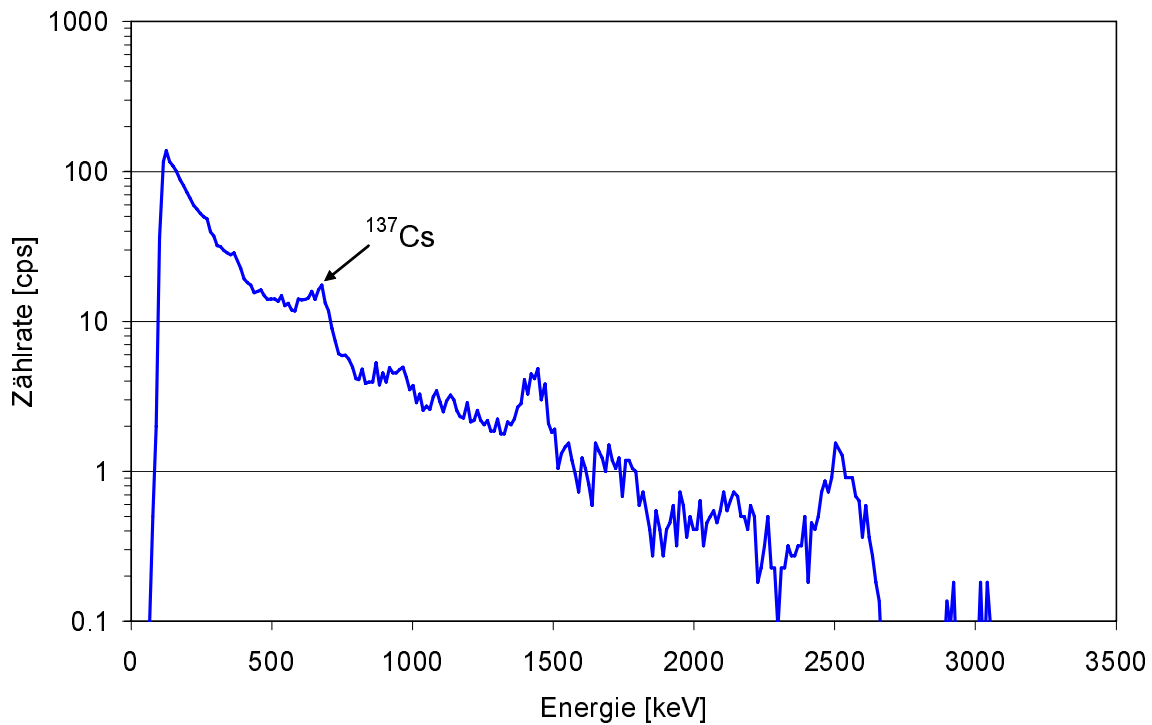
Die Quellen wurden während des Fluges erkannt und aufgrund der Spektrumsinformation als  $^{137}\text{Cs}$  identifiziert (Abbildung 28). Während des Fluges wurde jedoch vom Operator eine falsche Position der Quelle an die Bodenequipen weitergegeben, da irrtümlich die momentane Position des Helikopters und nicht diejenige des tatsächlichen Hotspots abgelesen wurde. Nach erfolgloser Suche der Bodenequipen und entsprechender Rückmeldung wurde die Quelle nochmals überflogen und diesmal die korrekte Position weitergegeben. Das Signal der beiden Quellen konnte während des Fluges nicht räumlich aufgetrennt werden, da deren Entfernung voneinander für die voreingestellten Auswerteparameter (Zellgrösse 125 m x 125 m) zu gering war.

Bei einer anschliessenden Nachauswertung konnten die beiden Quellen mit Hilfe kleinerer Zellgrössen und angepasster Farbniveaus optisch herausgehoben werden. Die entsprechenden Positionen entsprachen innerhalb der Unsicherheiten den Koordinaten der beiden Quellen (Quelle 1: 717'125/113'810; Quelle 2: 717'200/113'950). Aus den ermittelten Messresultaten für  $^{137}\text{Cs}$  lassen sich die Aktivitäten der beiden Quellen zu 1.9 GBq und 2.5 GBq abschätzen.

### 3.5 Gesamt-Notfallübung KRONOS II

Im Zusammenhang mit der Gesamtnotfallübung KRONOS II wurde ein Flugverfahren getestet, mit dem in der Bodenphase in kurzer Zeit die räumliche Ausdehnung der grössten Kontaminationen eingegrenzt werden können. Da mit wachsendem Abstand vom Abgabeort geringere räumliche Variationen zu erwarten sind, wurden die Abstände zwischen den Fluglinien schrittweise von 250 m nahe beim KKB auf 5 km östlich von Winterthur erhöht. Die Resultate dieses Messfluges wiesen nordwestlich von Winterthur zwischen Freienstein-Teufen und Buch am Irchel auf erhöhte  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten hin (Abbildung 4 und Abbildung 31). Eine Bestätigung durch Bodenmessungen steht noch aus.

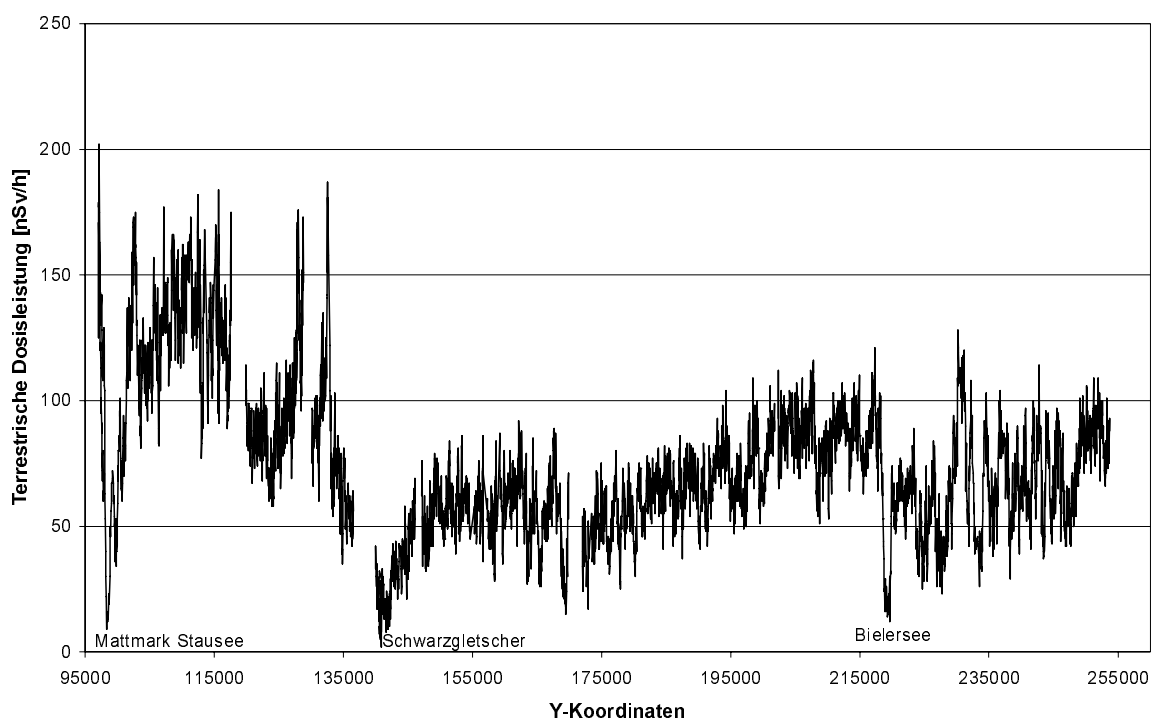




**Abbildung 4: Gemittelttes Spektrum im Bereich der Anomalie nordwestlich von Winterthur.**

### 3.6 Profil Mattmark - Ajoie

Im Jahre 2005 wurde ergänzend zu Messprofilen früherer Jahre ein weiteres Profil durch die Schweiz aeroradiometrisch vermessen. Die Resultate entlang der Linie vom Mattmark-Stausee zur Ajoie spiegelten vor allem die geologischen Verhältnisse wider. Bei den terrestrischen Dosisleistungen, welche nur den Beitrag des Untergrundes zur Dosisleistung berücksichtigen, wurden die höchsten Werte im Saasertal bestimmt. Diese werden durch höhere Aktivitäten der natürlichen Radionuklide ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ - und  $^{232}\text{Th}$ -Reihe) in Gneisen der kristallinen Deckenkerne des Penninikums verursacht. Die tiefsten terrestrischen Dosisleistungen wurden über dem Bielersee, dem Schwarzgletscher beim Balmhorn und dem Mattmark-Stausee gemessen (Abbildung 5). Messpunkte mit Flughöhen grösser 250 m über Grund wurden nicht berücksichtigt. Über das ganze Profil wurden keine erhöhten  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten festgestellt.



**Abbildung 5: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils vom Mattmark-Stausee zur Ajoie.**

#### 4 VERGLEICHSFLUG MIT DEM KOMPETENZZENTRUM ABC DER ARMEE

Die Armee befindet sich im Beschaffungsprozess eines Ersatzgerätes für das Spürgerät "DOM". In diesem Zusammenhang wurde zu Versuchszwecken ein Messgerät GR-460 der kanadischen Firma Exploranium beschafft, das mit bis zu zwei NaI-Detektoren mit je 4 Liter Volumen oder einem Neutronendetektor betrieben werden kann. Die NaI-Detektoren entsprechen dem kleinen Detektor der Aeroradiometrieausrüstung. Diese Messgeräte sind hauptsächlich für den Landeinsatz vorgesehen, wofür sie in ein Fahrzeug eingebaut werden. Als Ablösung des DOM-Gerätes sind sie jedoch auch als Spüreinrichtung in einem Helikopter geeignet.

Im Dezember 2005 wurde das Gerät mit zwei 4 Liter Detektoren versuchsweise in einem Super Puma Helikopter der Armee eingebaut. Die Detektoren wurden auf Halterungen ausserhalb des Helikopters rechts und links montiert. Gleichzeitig erfolgte der Einbau des zweiten Aeroradiometriesystems NAZ mit dem kleinen Detektor (4 Liter Volumen) für die Abnahme durch die Armasuisse. Um die Tauglichkeit des neuen Gerätes GR-460 zu prüfen, wurde ein Vergleichsflug mit den beiden Messeinrichtungen am Bodensee durchgeführt.

Die Auswertung der Daten des Messgerätes GR-460 wurde mit der für die Aeroradiometrieausrüstung NAZ verwendeten Software durchgeführt. Um die Daten des Messgerätes GR-460 möglichst einfach in diese Software einspeisen zu können, wurde ein entsprechender Datenkonverter integriert. Die Parameter für die Auswertung wurden von den bestehenden Systemen übernommen und entsprechend auf das Detektorvo-

lumen angepasst. Dabei wurde in Kauf genommen, dass sich die Parameter aufgrund der unterschiedlichen Geometrien und Positionierung der Detektoren in Wirklichkeit unterscheiden können.

Die Resultate der beiden Messsysteme stimmten innerhalb der Unsicherheiten sehr gut überein. Der Mittelwert über das gesamte Messgebiet unterscheidet sich bei der Ortsdosisleistung lediglich um 2 nSv/h (Abbildungen 35 und 36).

## 5 LITERATUR

Schwarz, G. F.: Methodische Entwicklungen zur Aerogammaspektrometrie. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.23, Schweizerische Geophysikalische Kommission, 1991.

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1991 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1991.

International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU): ICRU-Report 53, Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ISBN 0-913394-52-1, 1994.

Schwarz, G. F., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM94. Bericht für das Jahr 1994 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1995.

Schwarz, G. F., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM95. Bericht für das Jahr 1995 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1996.

Schwarz, G. F., Rybach, L., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM96. Bericht für das Jahr 1996 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1997.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM97. Bericht für das Jahr 1997 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1998.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM98. Bericht für das Jahr 1998 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1999.

International Organization for Standardization (ISO): X and gamma reference radiation for calibrating dosimeters and doserate meters and for determining their response as a function of photon energy - Part 3: Calibration of area and personal dosimeters and

the measurement of their response as a function of energy and angle of incidence, ISO 4037-3:1999(E), 1999.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM99. Bericht für das Jahr 1999 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 2000.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM00. Bericht für das Jahr 2000 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 2001.

Bucher, B.: Methodische Weiterentwicklungen in der Aeroradiometrie. Dissertation Nr. 13973, ETH Zürich, 2001.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM01. Bericht für das Jahr 2001 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2002.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G., Bärlocher, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM02. Bericht für das Jahr 2002 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2003.

Bucher, B., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM03. PSI-Bericht 04-14, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2004.

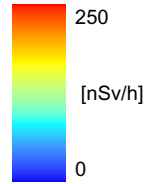
Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM04. PSI-Bericht 05-10, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2005.

Rybach, L., Schwarz, G., Bucher, B.: Aero-Gammaspektrometrie – Methodik und neue Anwendungen. Sonderband "DGG-Kolloquium AeroGeophysik", Deutsche Geophysikalische Gesellschaft e.V., 1/2004, p. 61-73, ISSN-Nr. 0934-6554, 2004.

### KKG 2005

#### Ortsdosisleistung

— Flugweg



⊗ KKG

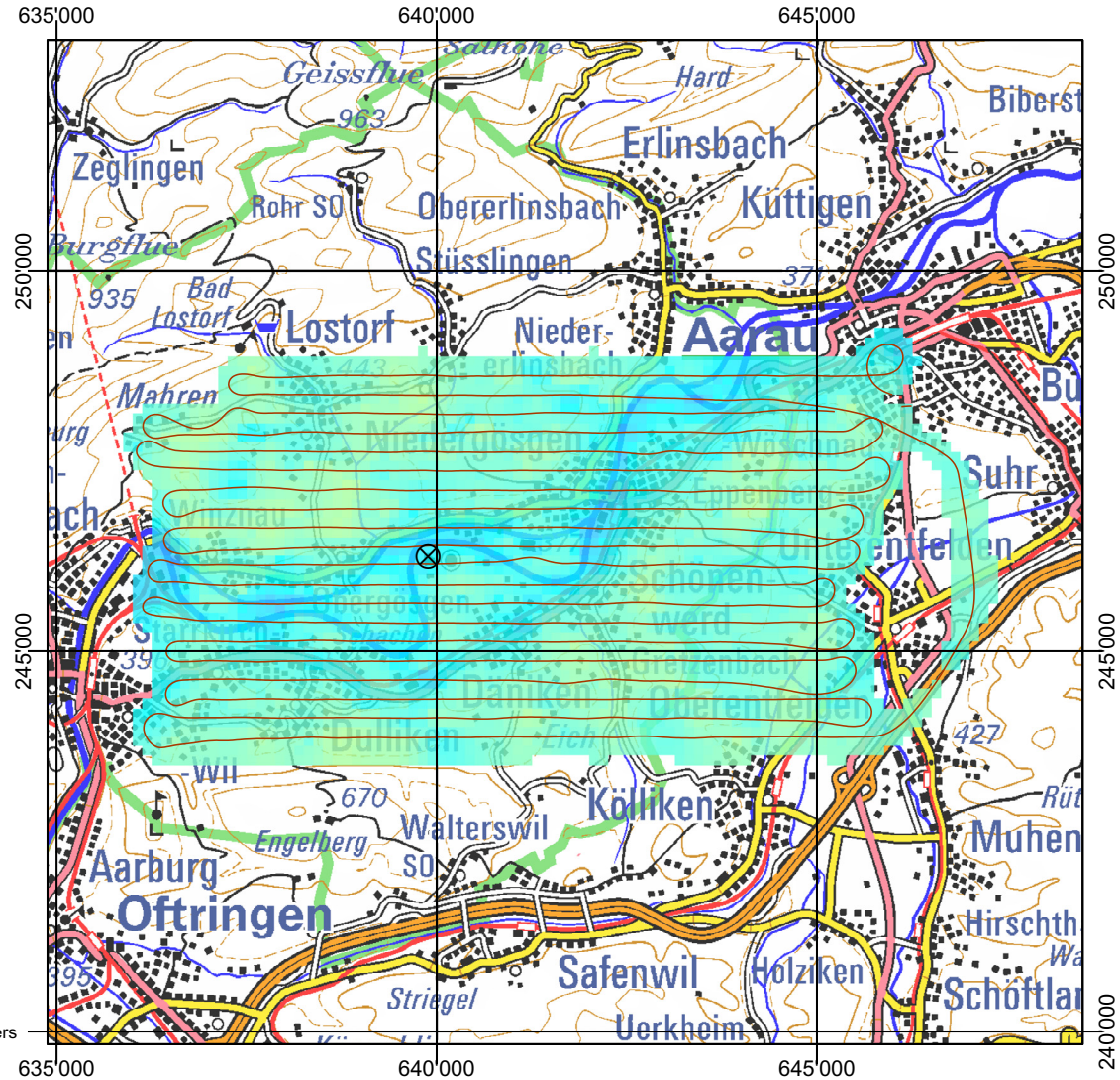
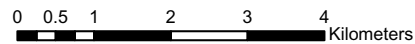


Abbildung 6: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) in der Umgebung des KKG. PK200©2003 swisstopo

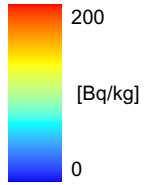
PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

KKG 2005

<sup>137</sup>Cs-Aktivität



⊗ KKG

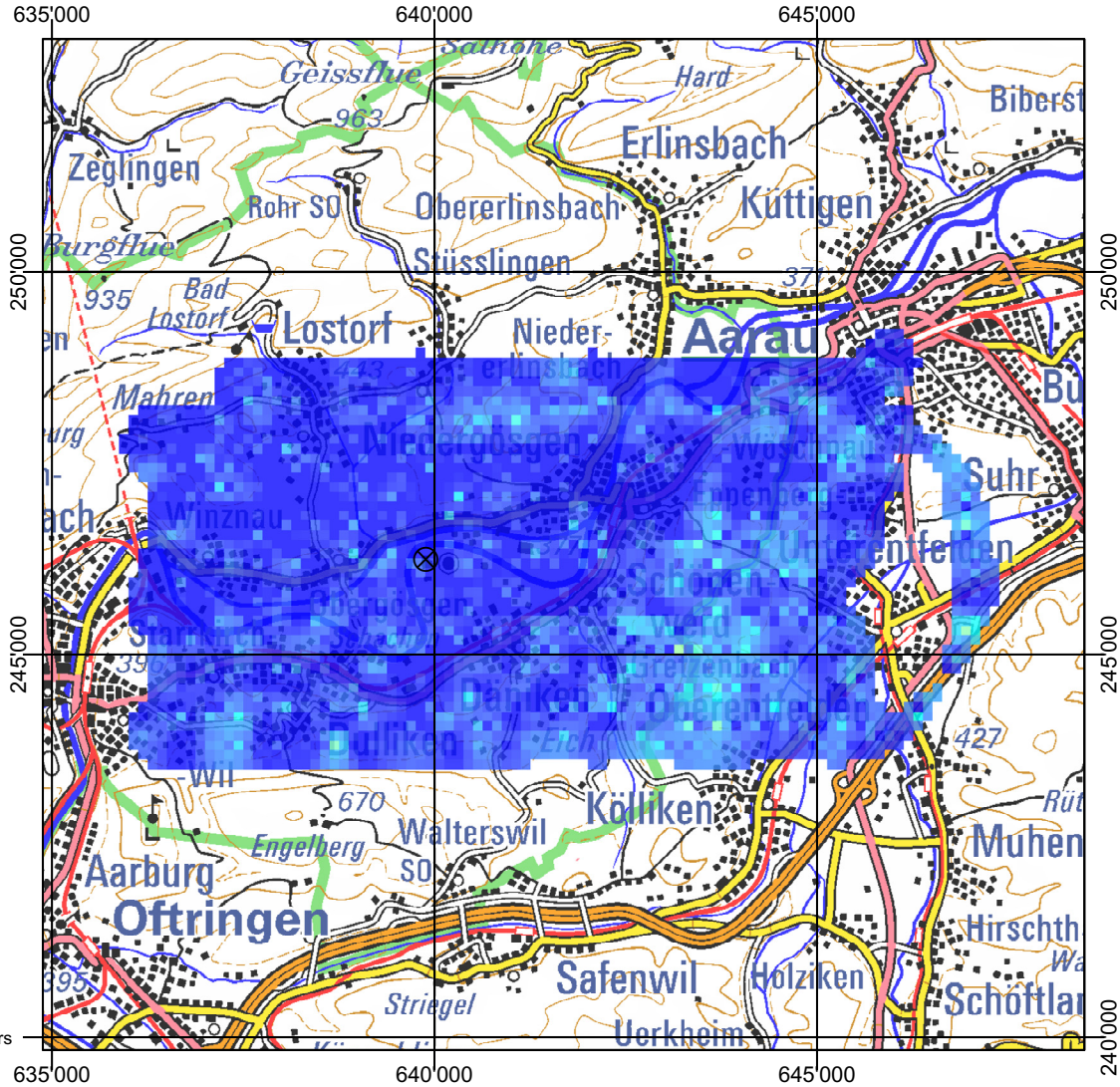
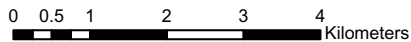


Abbildung 7: <sup>137</sup>Cs-Aktivität in der Umgebung des KKG. PK200©2003 swisstopo

**KKG 2005**

**MMGC-Ratio**

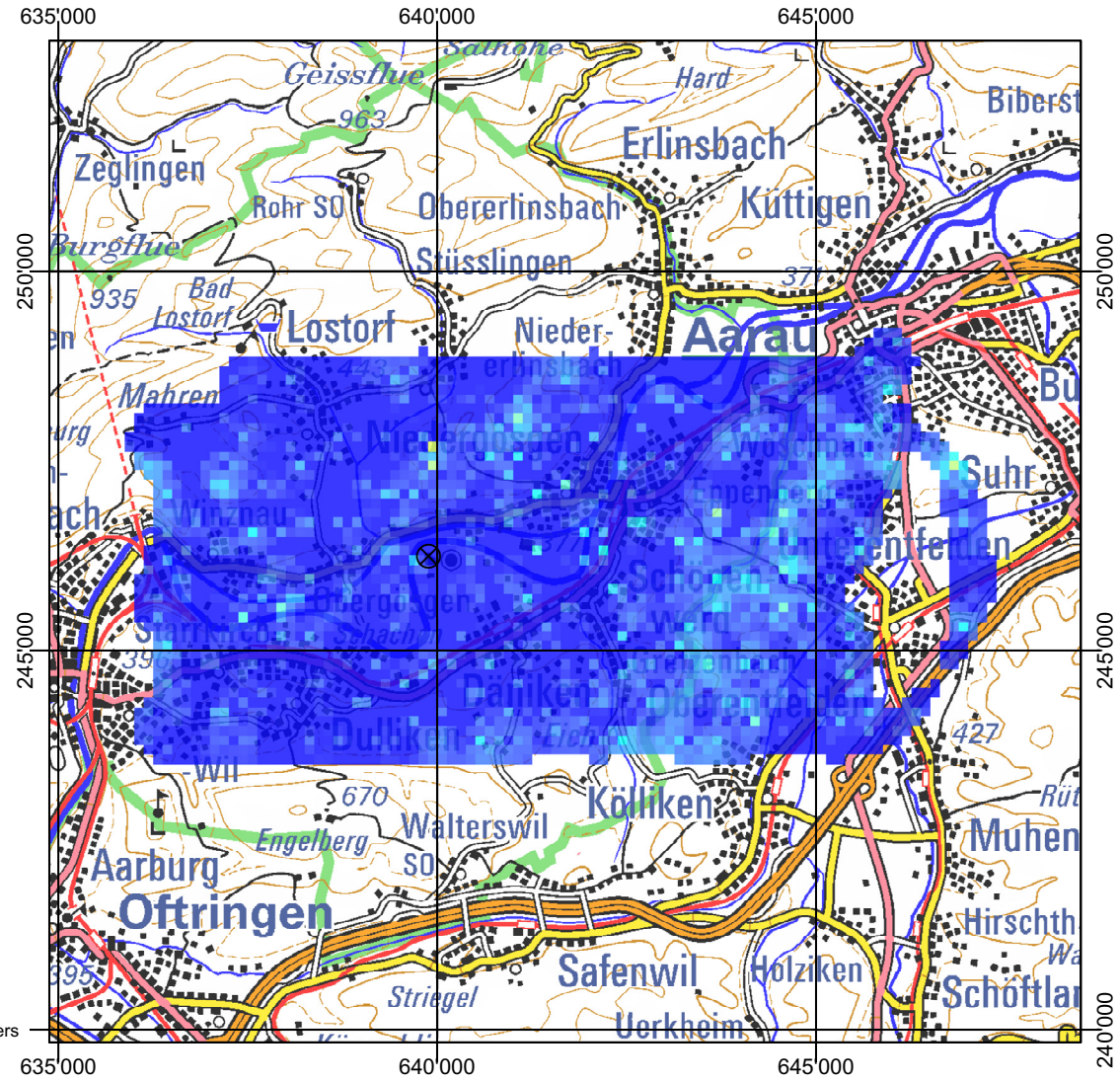
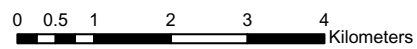
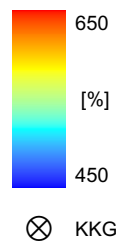


Abbildung 8: MMGC-Ratio in der Umgebung des KKG. PK200©2003 swisstopo

KKM 2005

Ortsdosisleistung

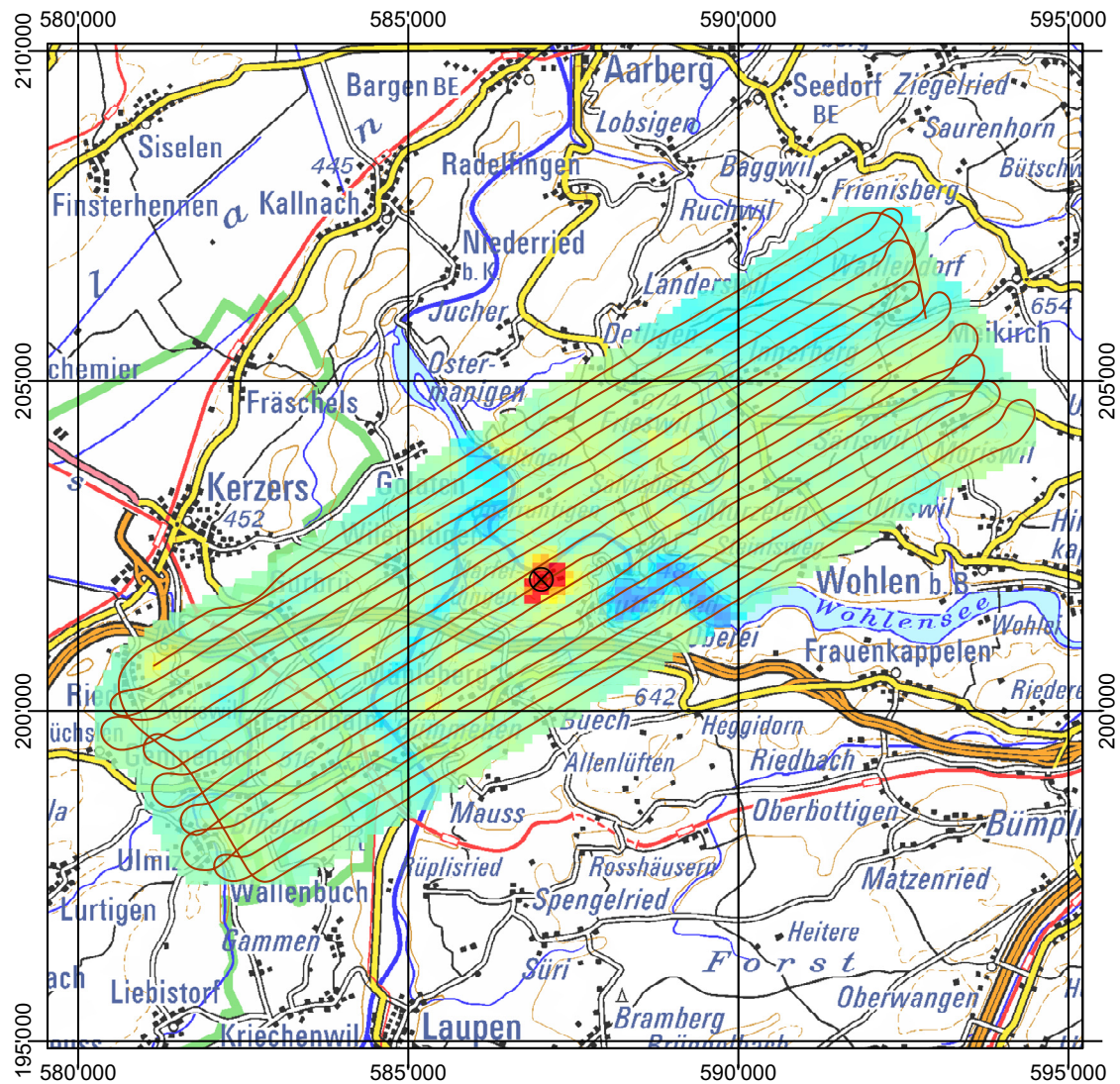
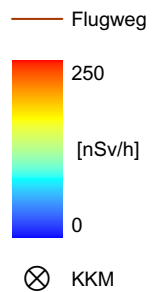
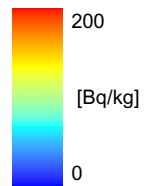


Abbildung 9: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) in der Umgebung des KKM. PK200©2003 swisstopo



KKM 2005

$^{137}\text{Cs}$ -Aktivität



⊗ KKM

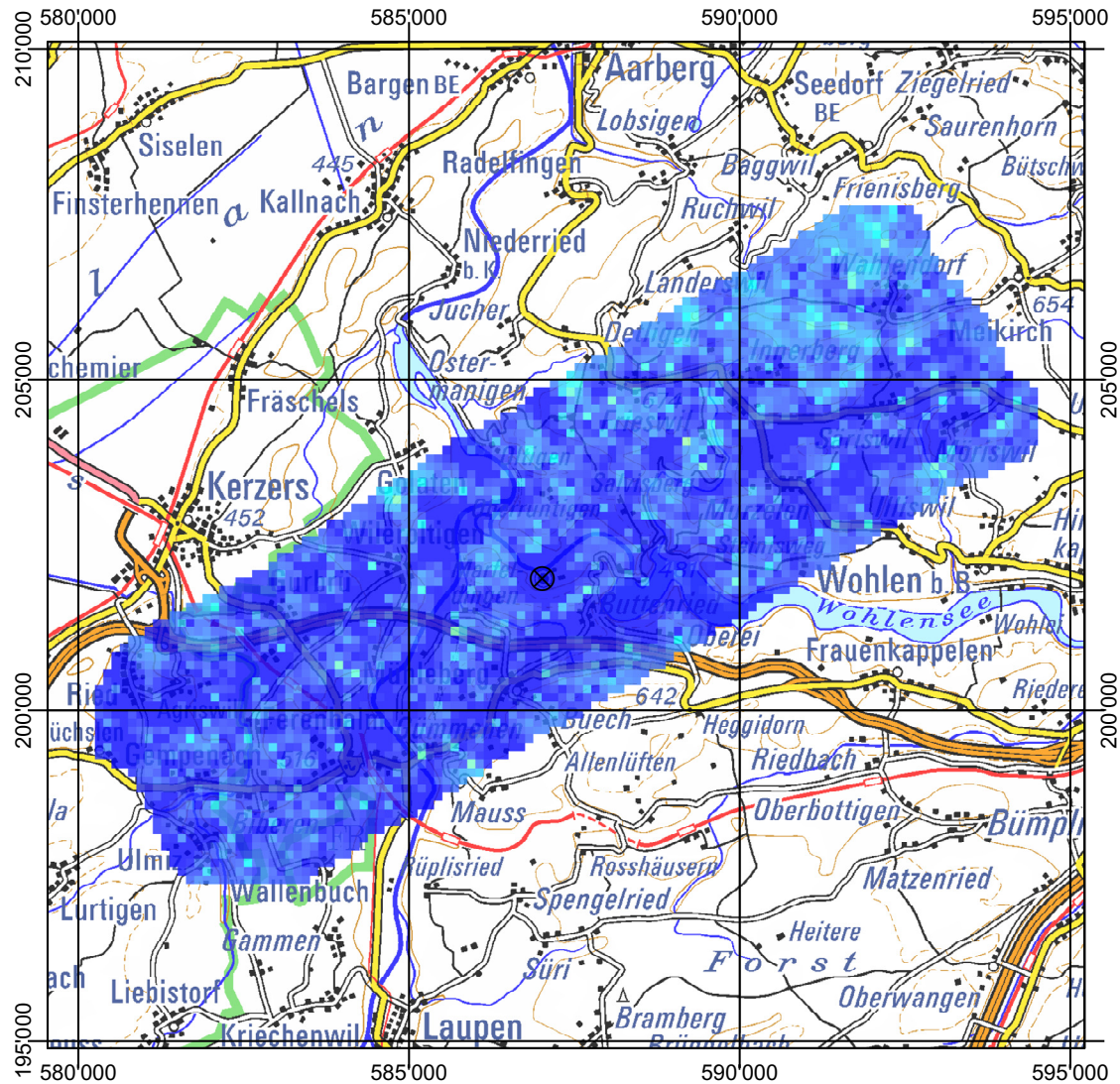


Abbildung 10:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung des KKM. PK200©2003 swisstopo

KKM 2005

MMGC-Ratio

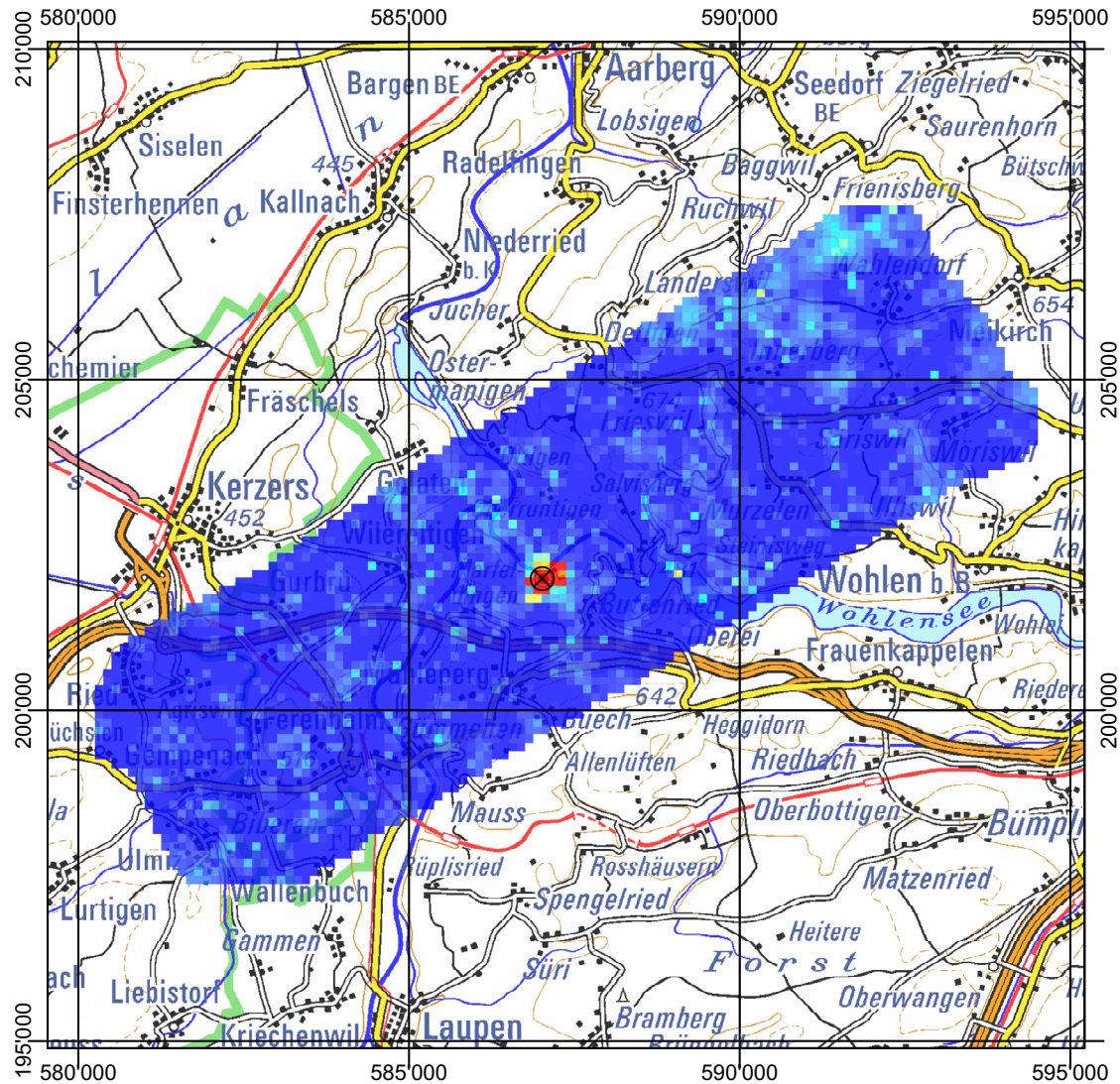
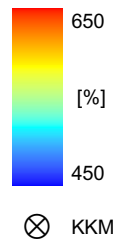


Abbildung 11: MMGC-Ratio in der Umgebung des KKM. PK200©2003 swisstopo

**Bellinzona 2005**

**Ortsdosisleistung**

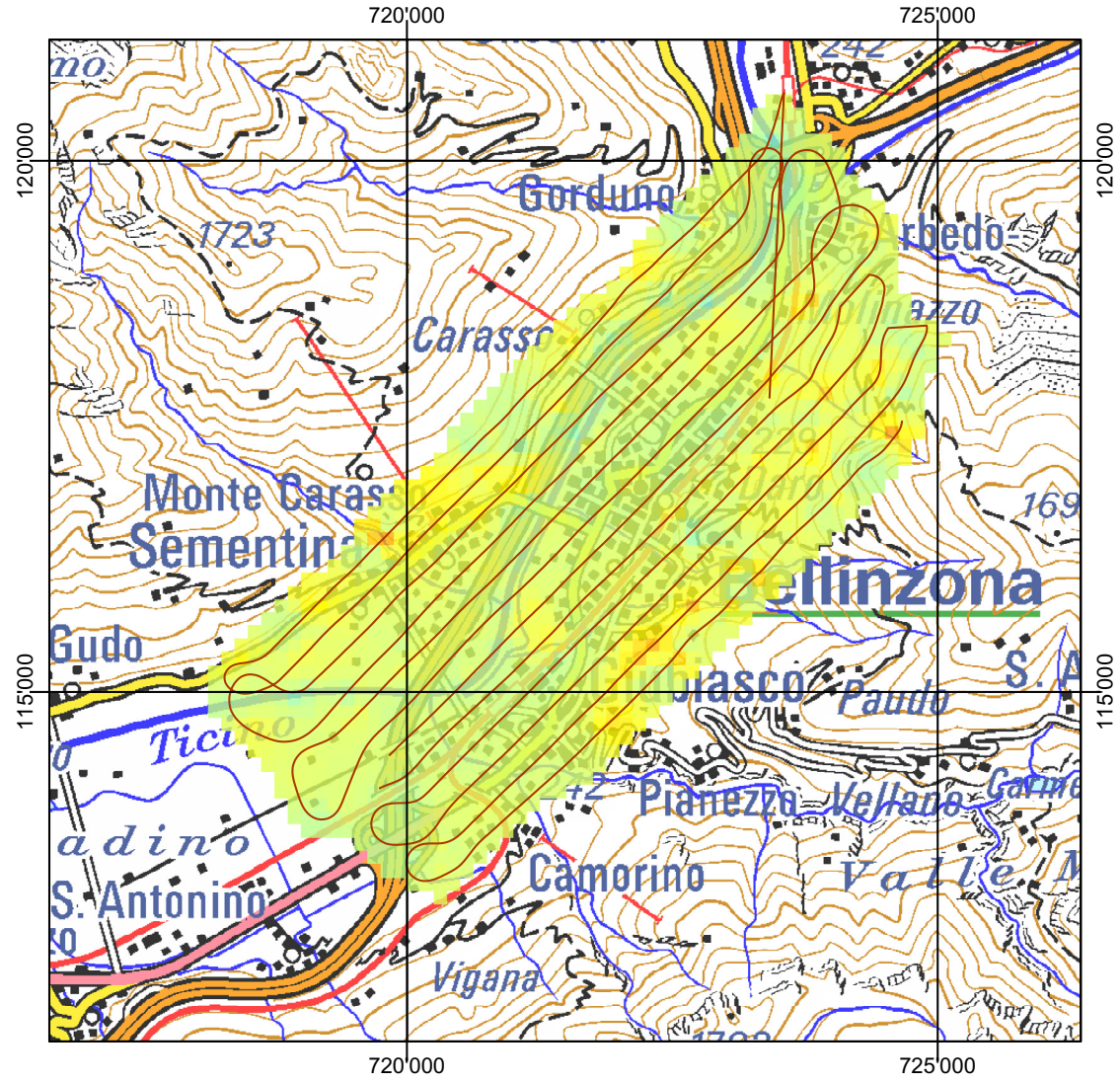
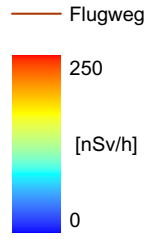


Abbildung 12: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) im Stadtgebiet Bellinzona. PK200©2003 swisstopo

**Bellinzona 2005**

**Ortsdosisleistung**

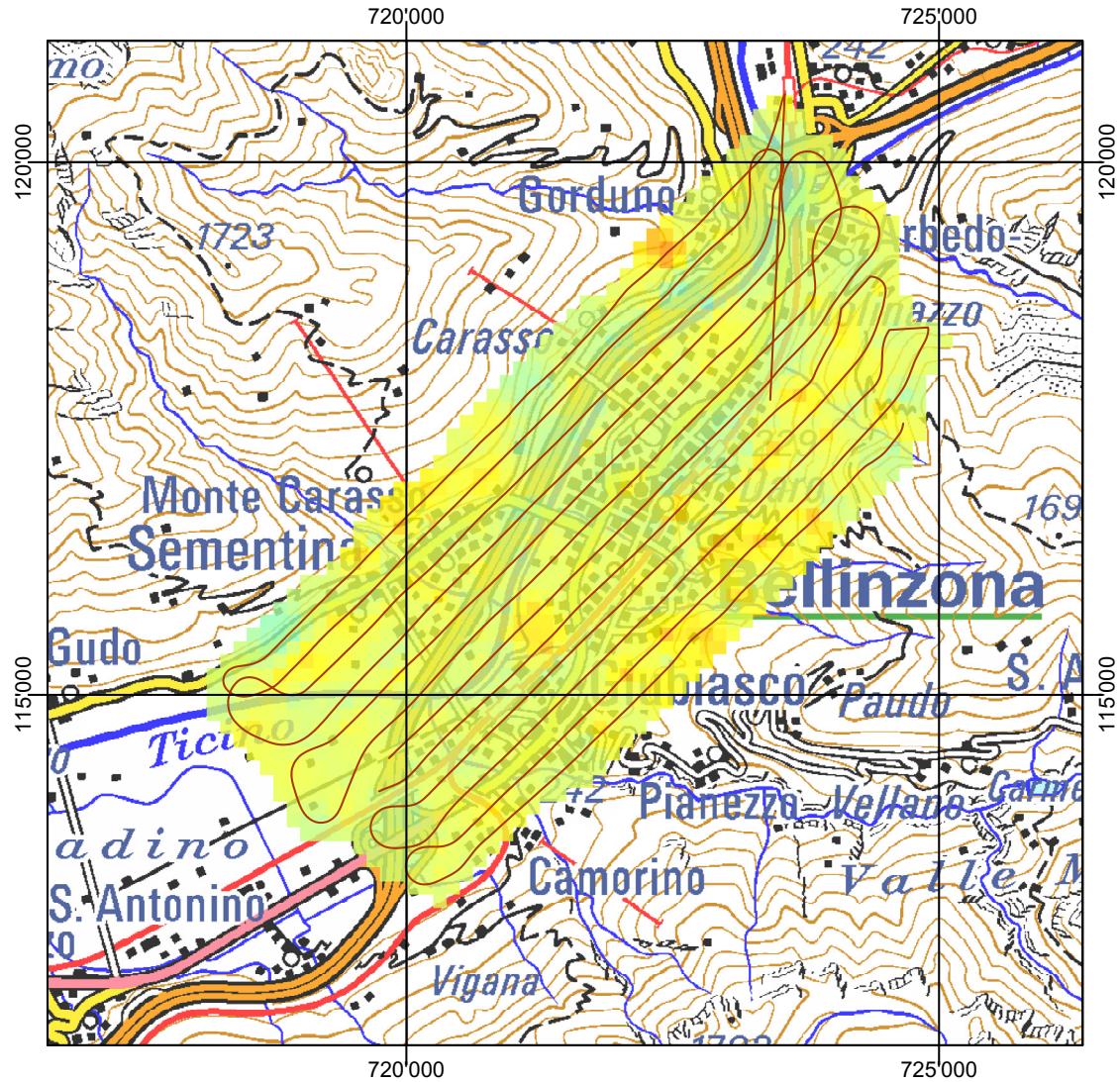
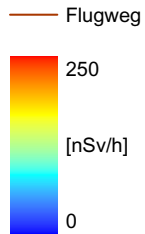


Abbildung 13: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) im Stadtgebiet Bellinzona. PK200©2003 swisstopo

**Bellinzona 2005**

<sup>137</sup>Cs-Aktivität

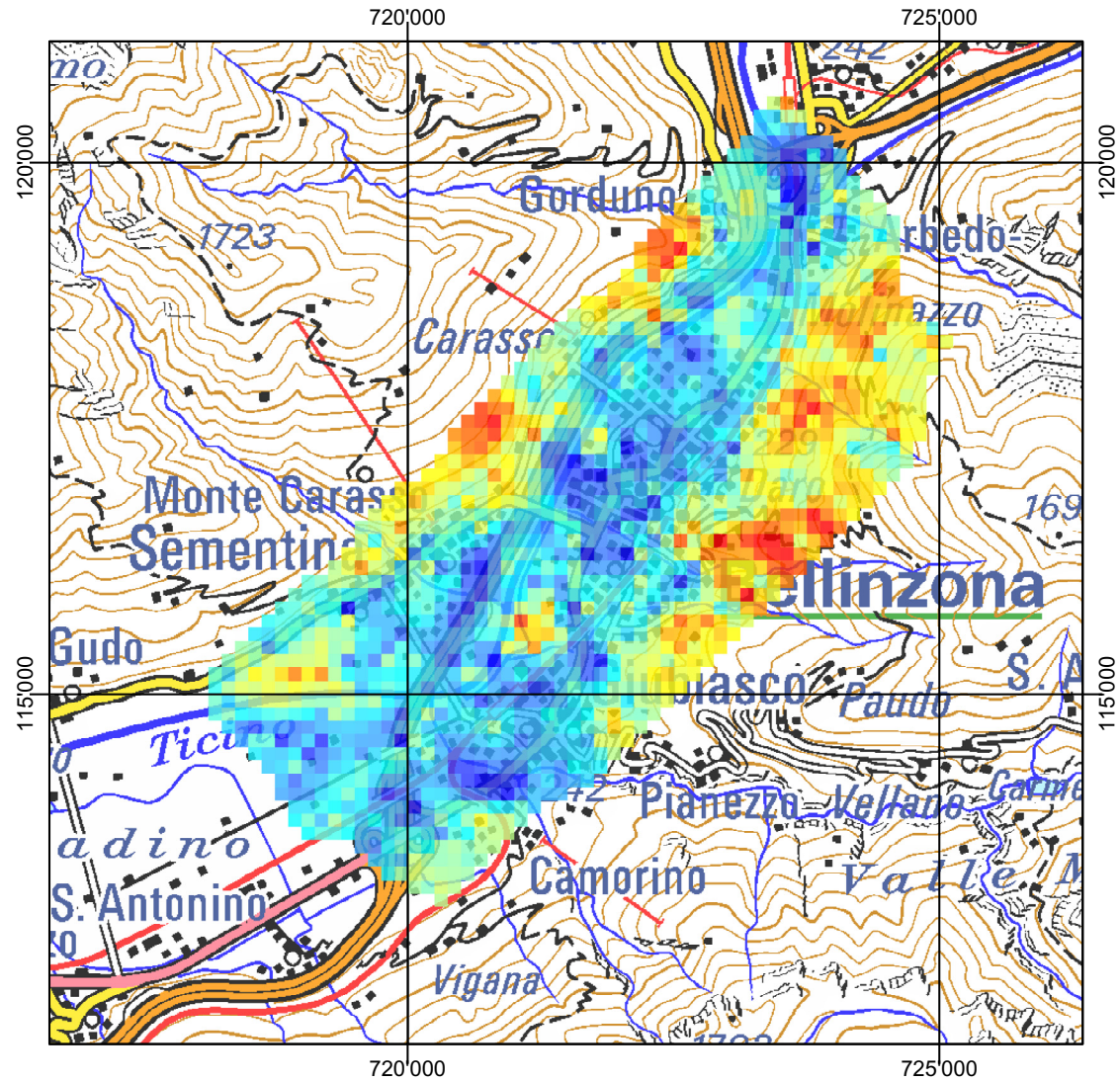
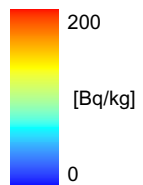
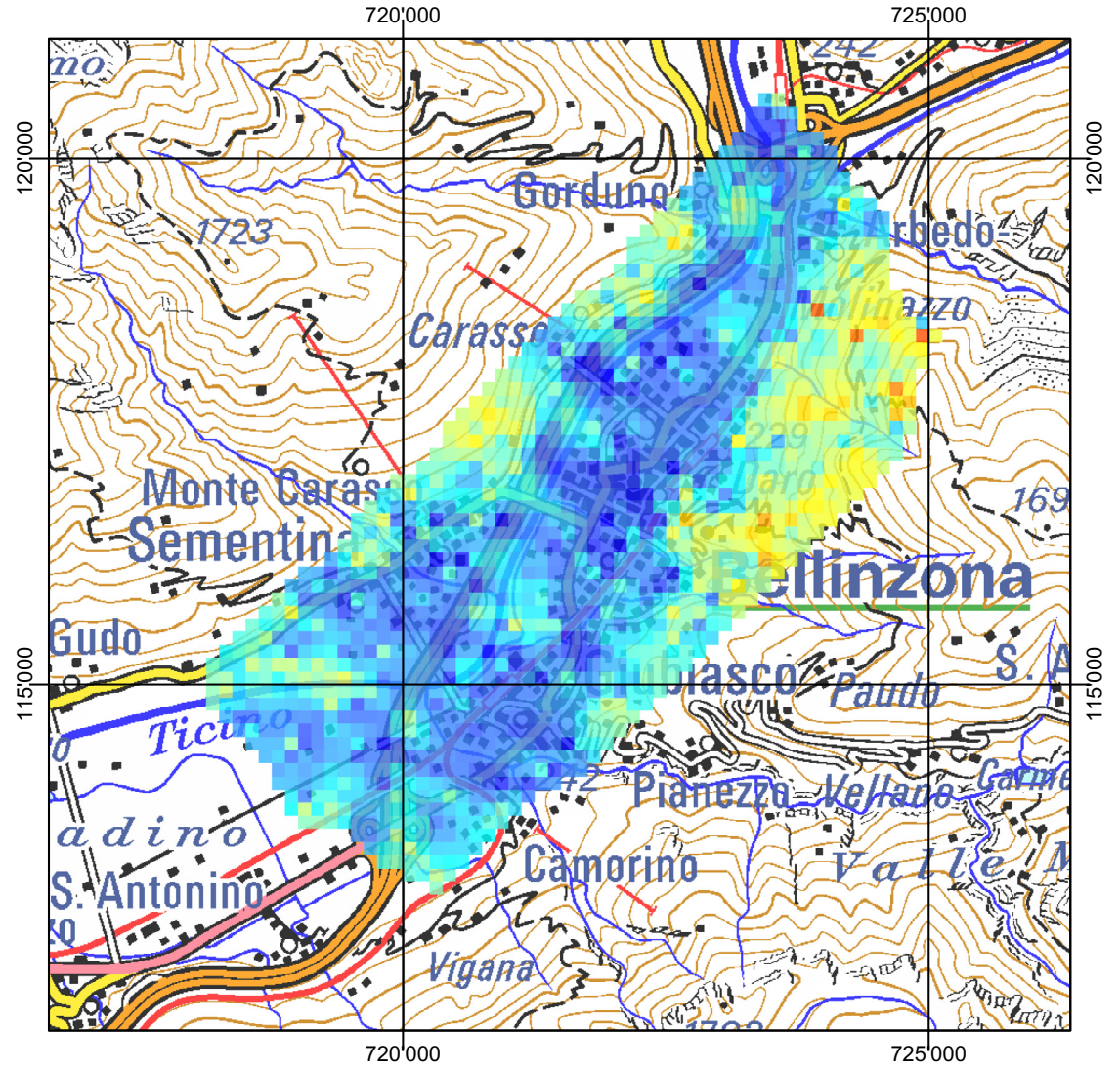


Abbildung 14: <sup>137</sup>Cs-Aktivität im Stadtgebiet Bellinzona. PK200©2003 swisstopo

**Bellinzona 2005**

**MMGC-Ratio**



**Abbildung 15: MMGC-Ratio im Stadtgebiet Bellinzona. PK200©2003 swisstopo**

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

### Bodio 2005

#### Ortsdosisleistung

— Flugweg

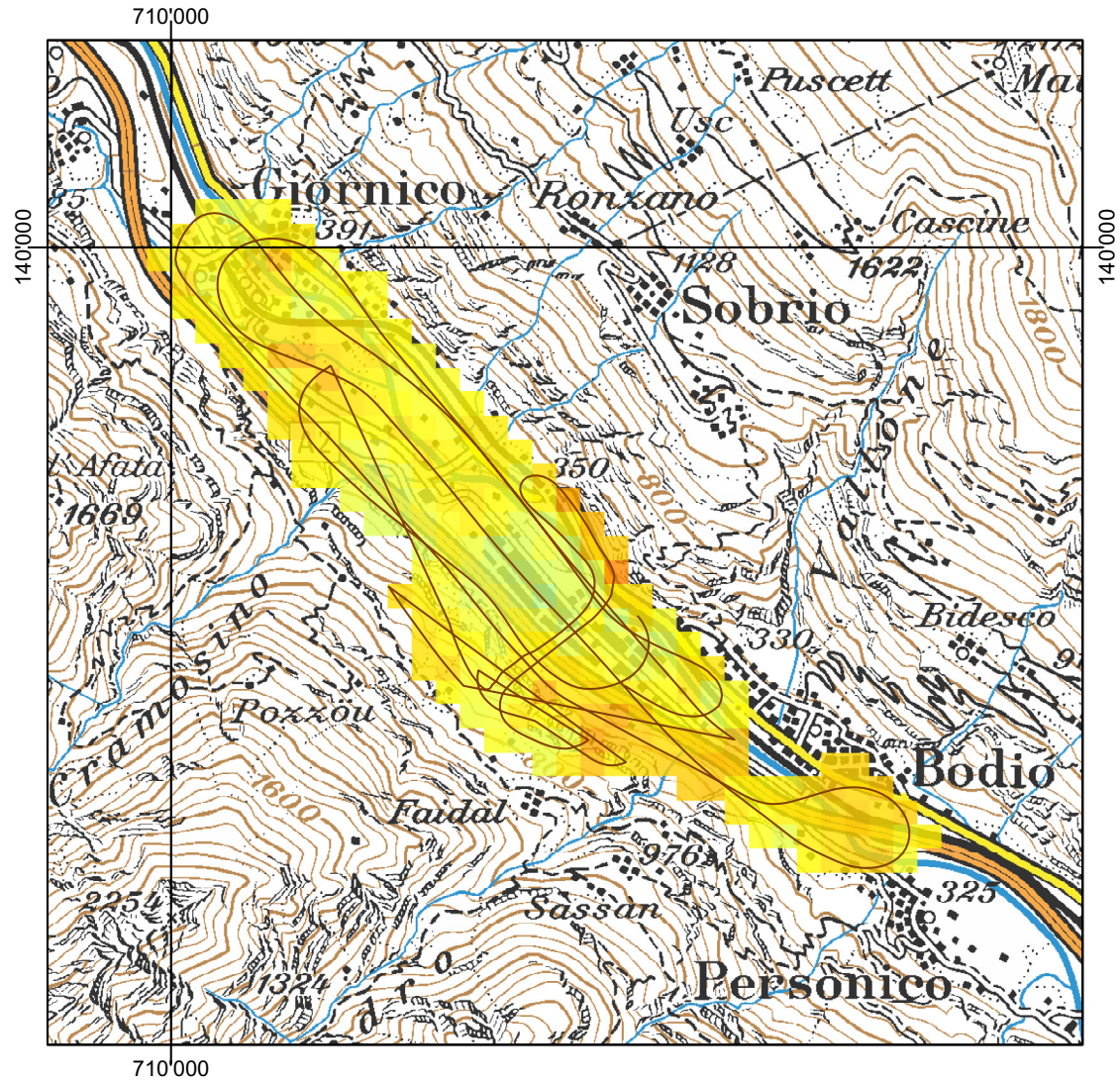
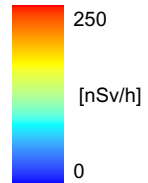


Abbildung 16: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Bodio. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

**Bodio 2005**

<sup>137</sup>Cs-Aktivität

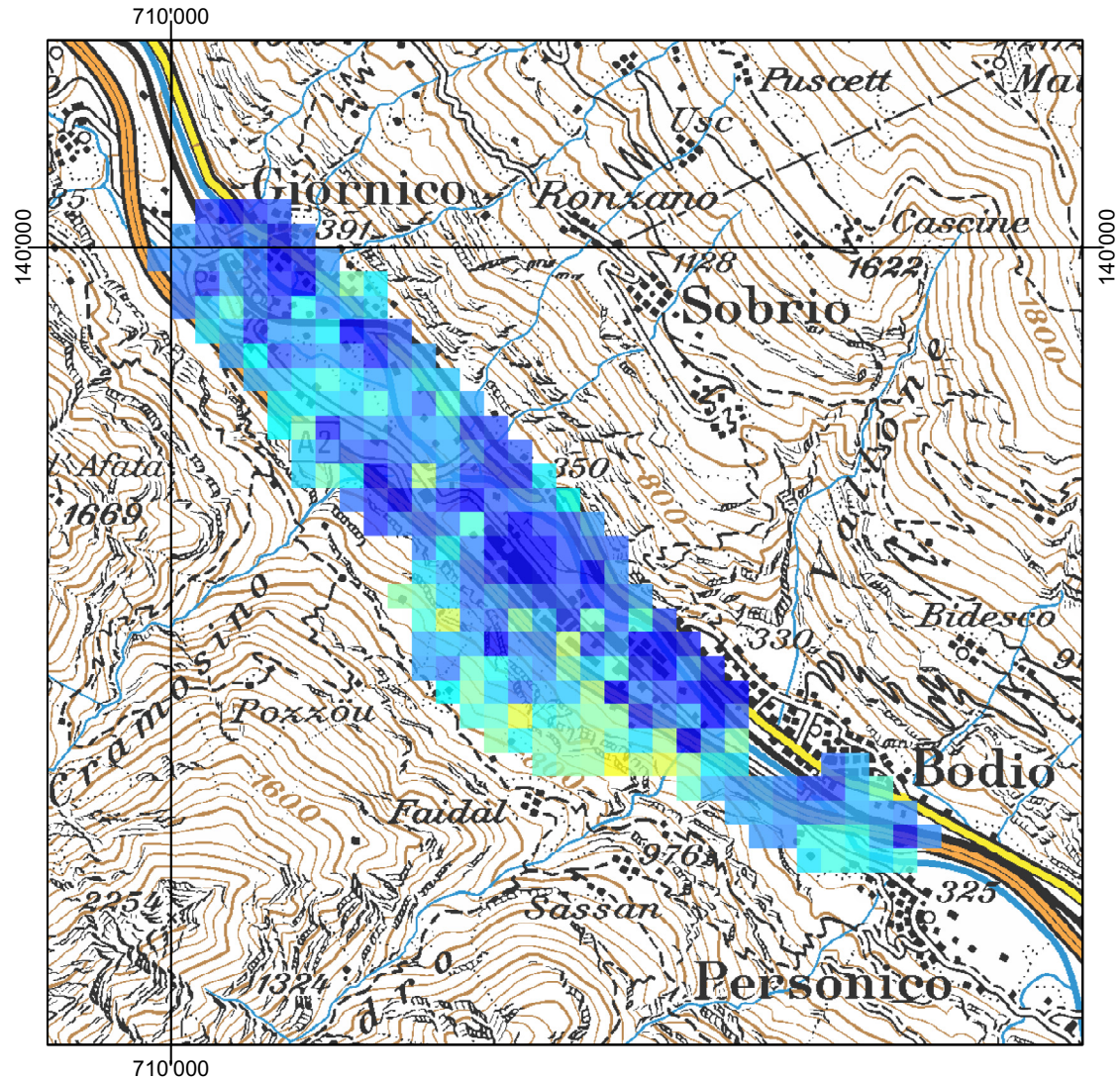
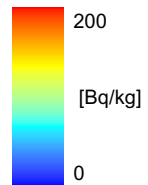


Abbildung 17: <sup>137</sup>Cs-Aktivität in der Umgebung von Bodio. PK100©2003 swisstopo



PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Bodio 2005

MMGC-Ratio

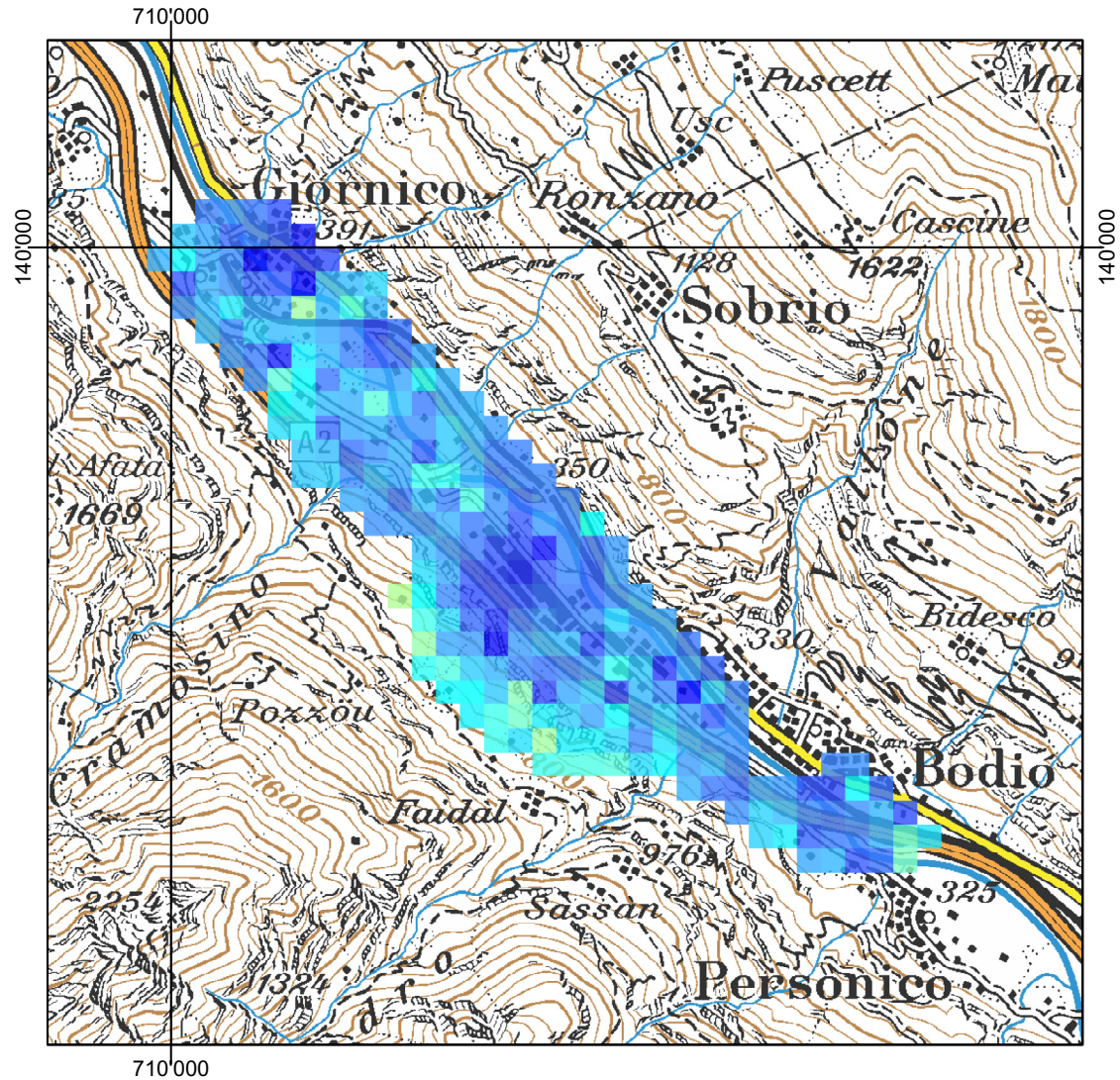
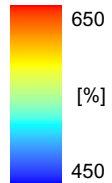


Abbildung 18: MMGC-Ratio in der Umgebung von Bodio. PK100©2003 swisstopo

### Coglio 2005

#### Ortsdosisleistung

— Flugweg

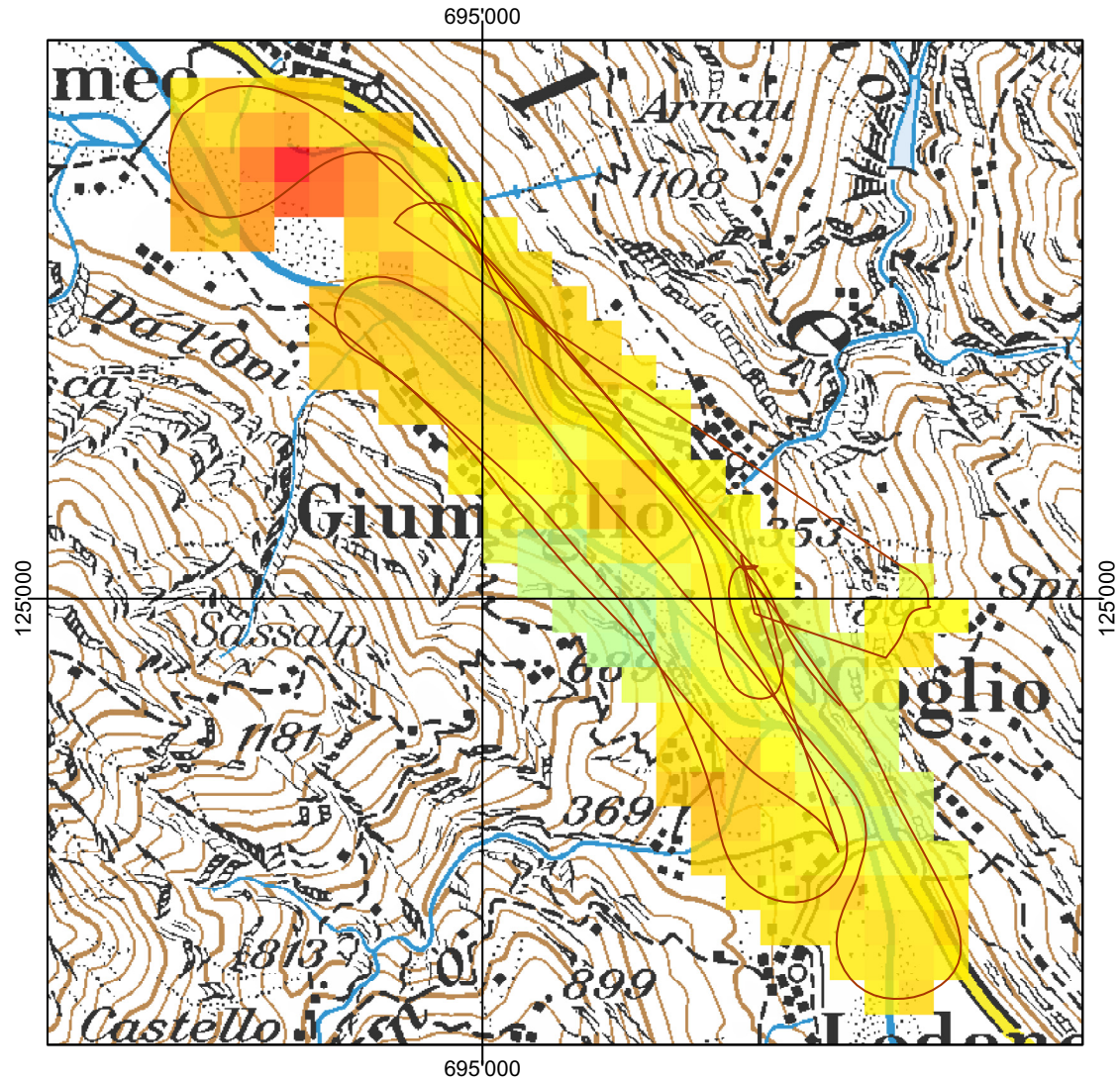
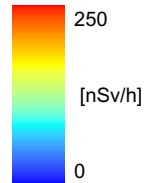


Abbildung 19: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Coglio. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Coglio 2005

$^{137}\text{Cs}$ -Aktivität

— Flugweg

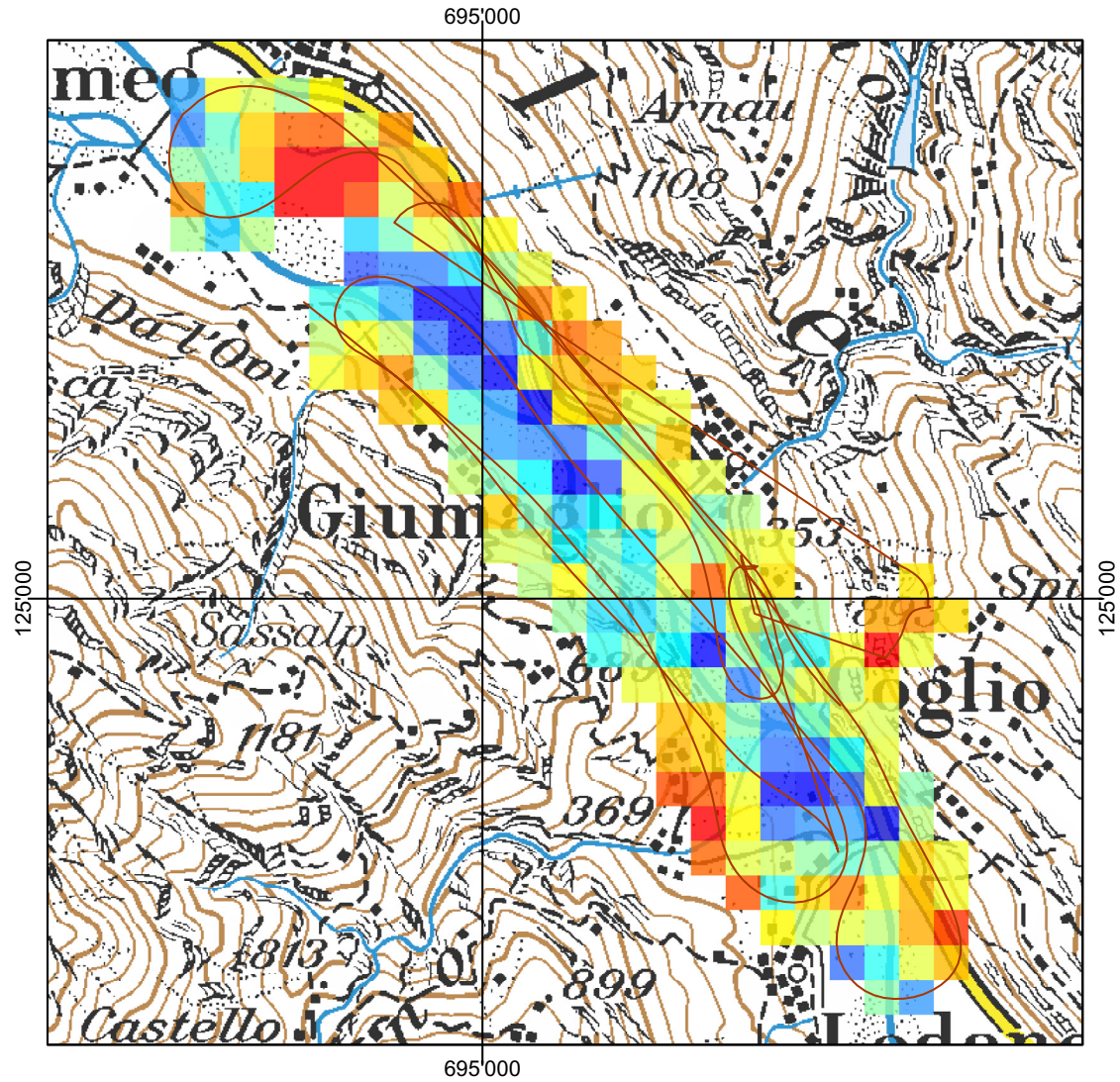
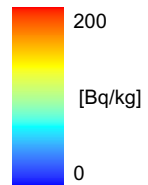


Abbildung 20:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in der Umgebung von Coglio. PK100©2003 swisstopo

**Coglio 2005**

**MMGC-Ratio**

— Flugweg

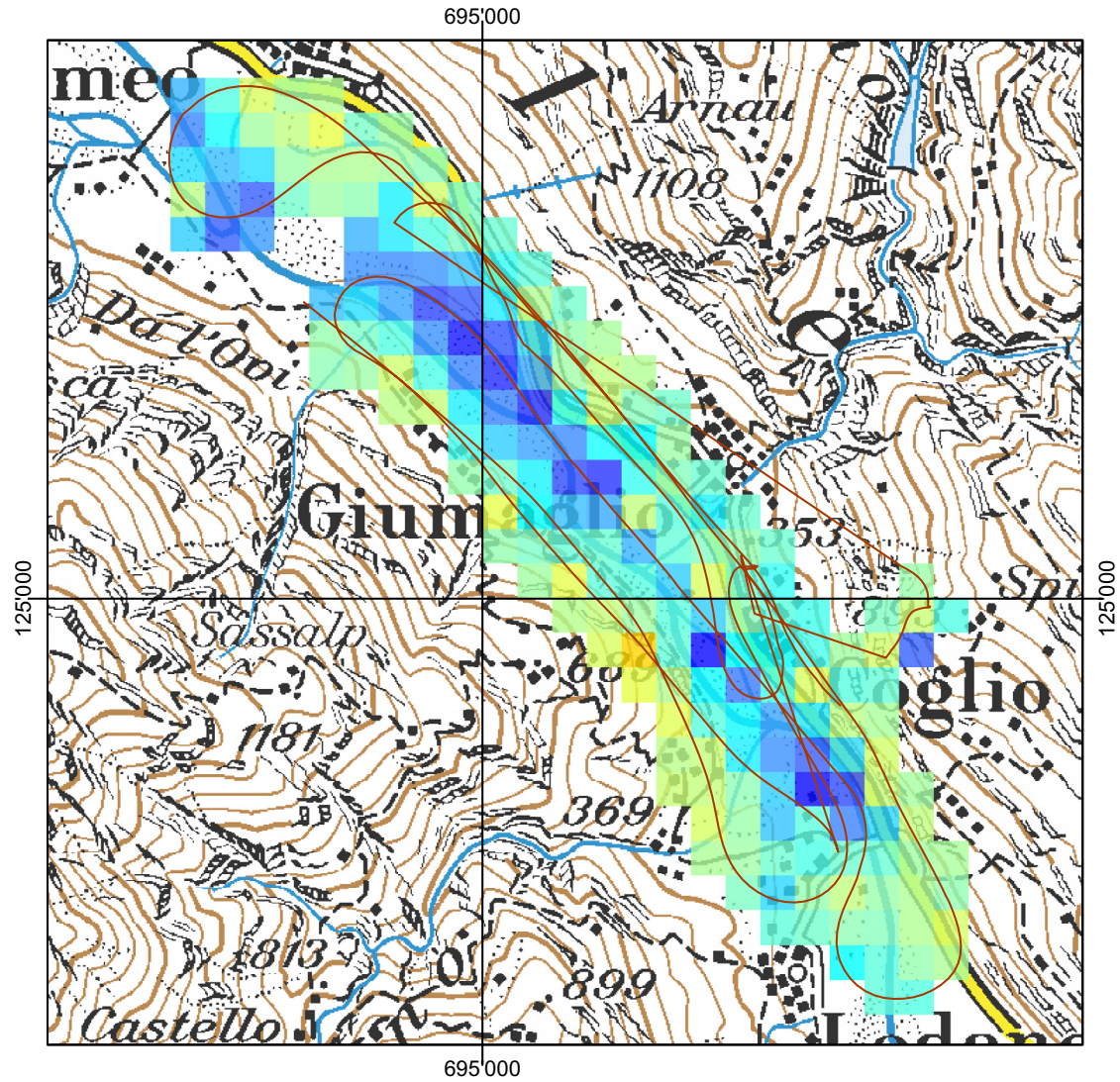
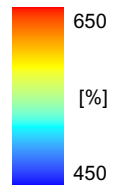


Abbildung 21: MMGC-Ratio in der Umgebung von Coglio. PK100©2003 swisstopo

### Monte Laura 2005

#### Ortsdosisleistung

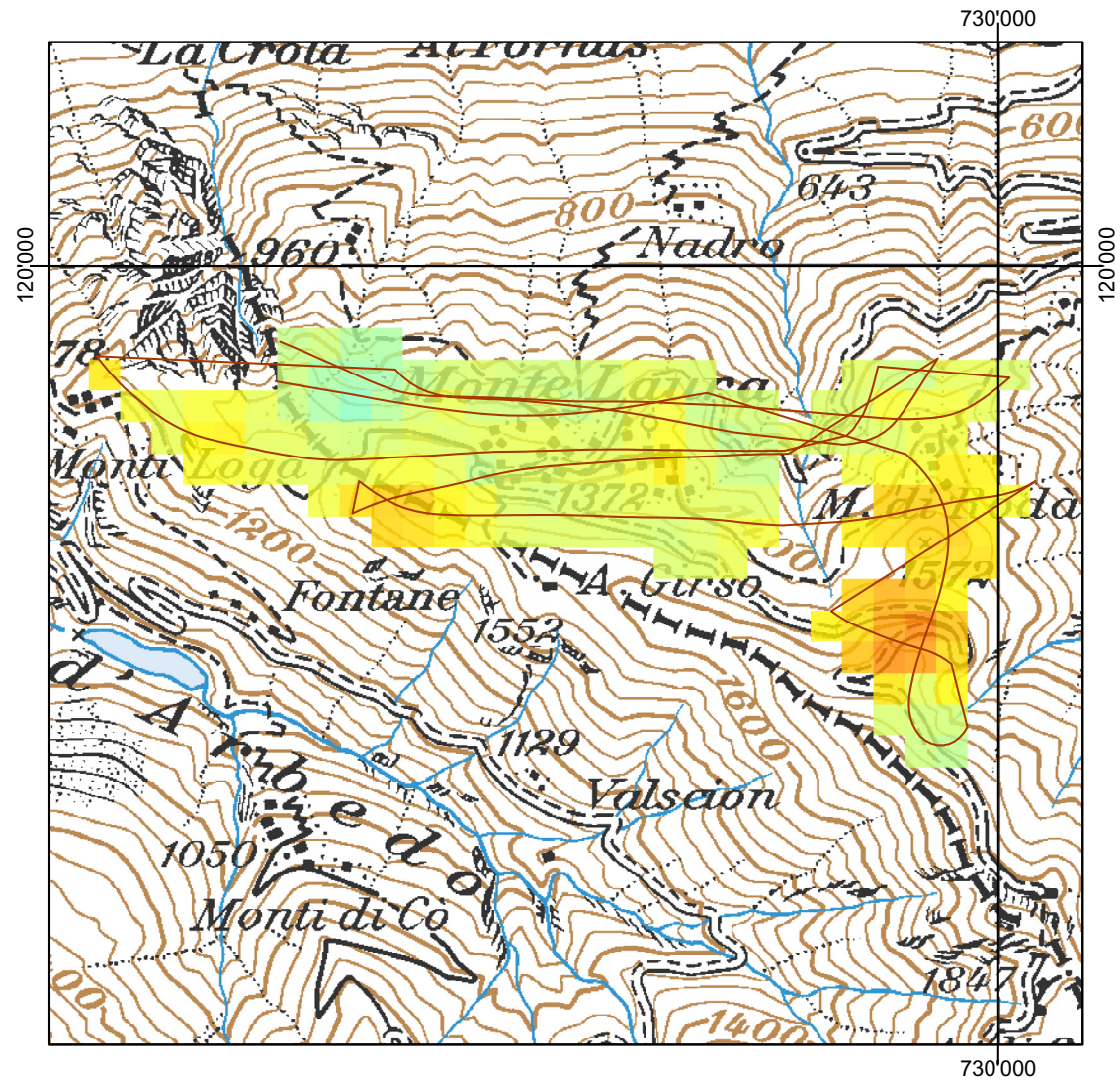
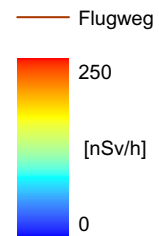


Abbildung 22: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) in der Umgebung von Monte Laura. PK100©2003 swisstopo

### Monte Laura 2005

<sup>137</sup>Cs-Aktivität

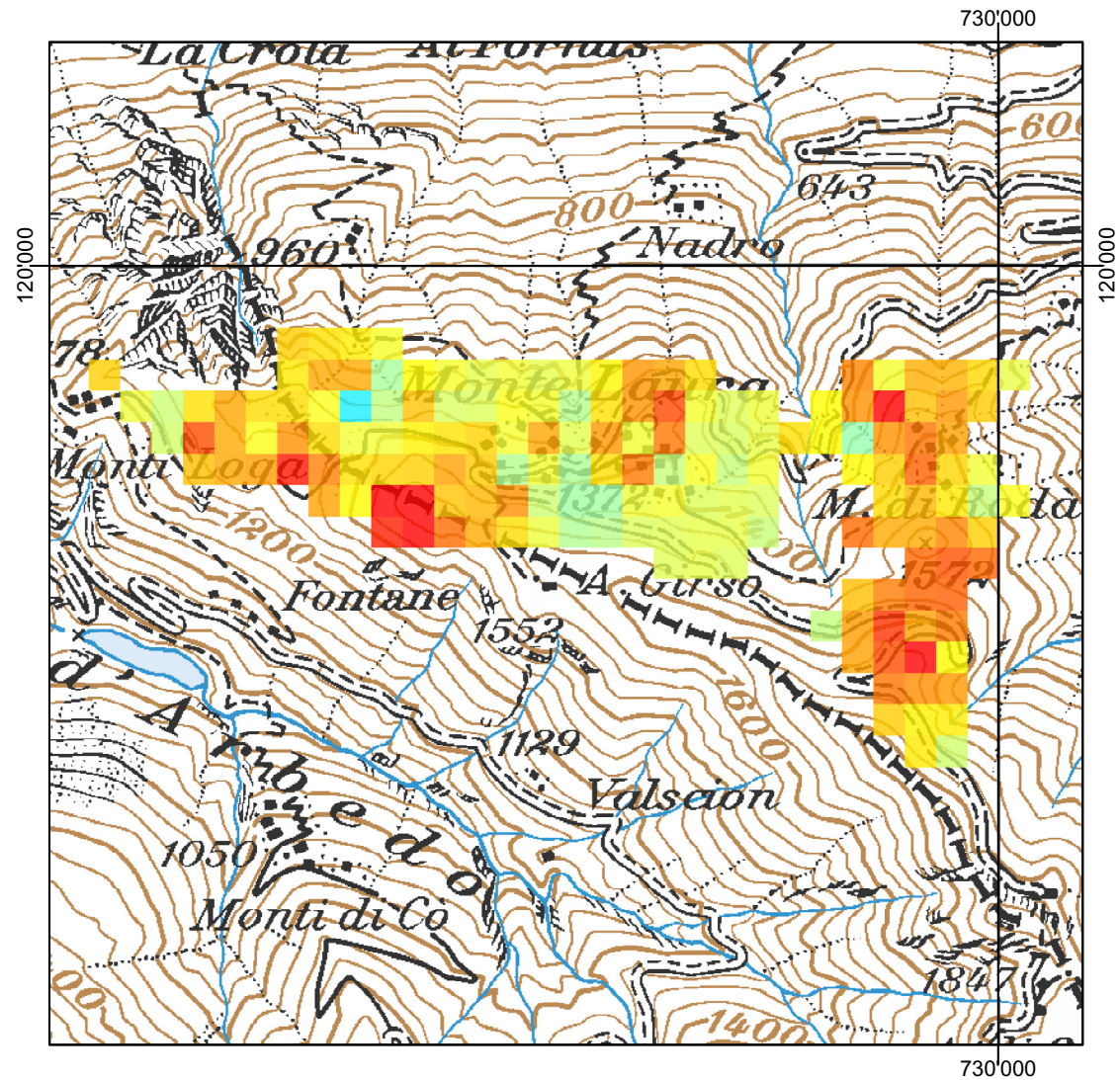
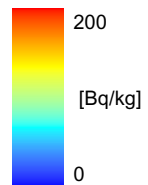


Abbildung 23: <sup>137</sup>Cs-Aktivität in der Umgebung von Monte Laura. PK100©2003 swisstopo

### Monte Laura 2005

MMGC-Ratio

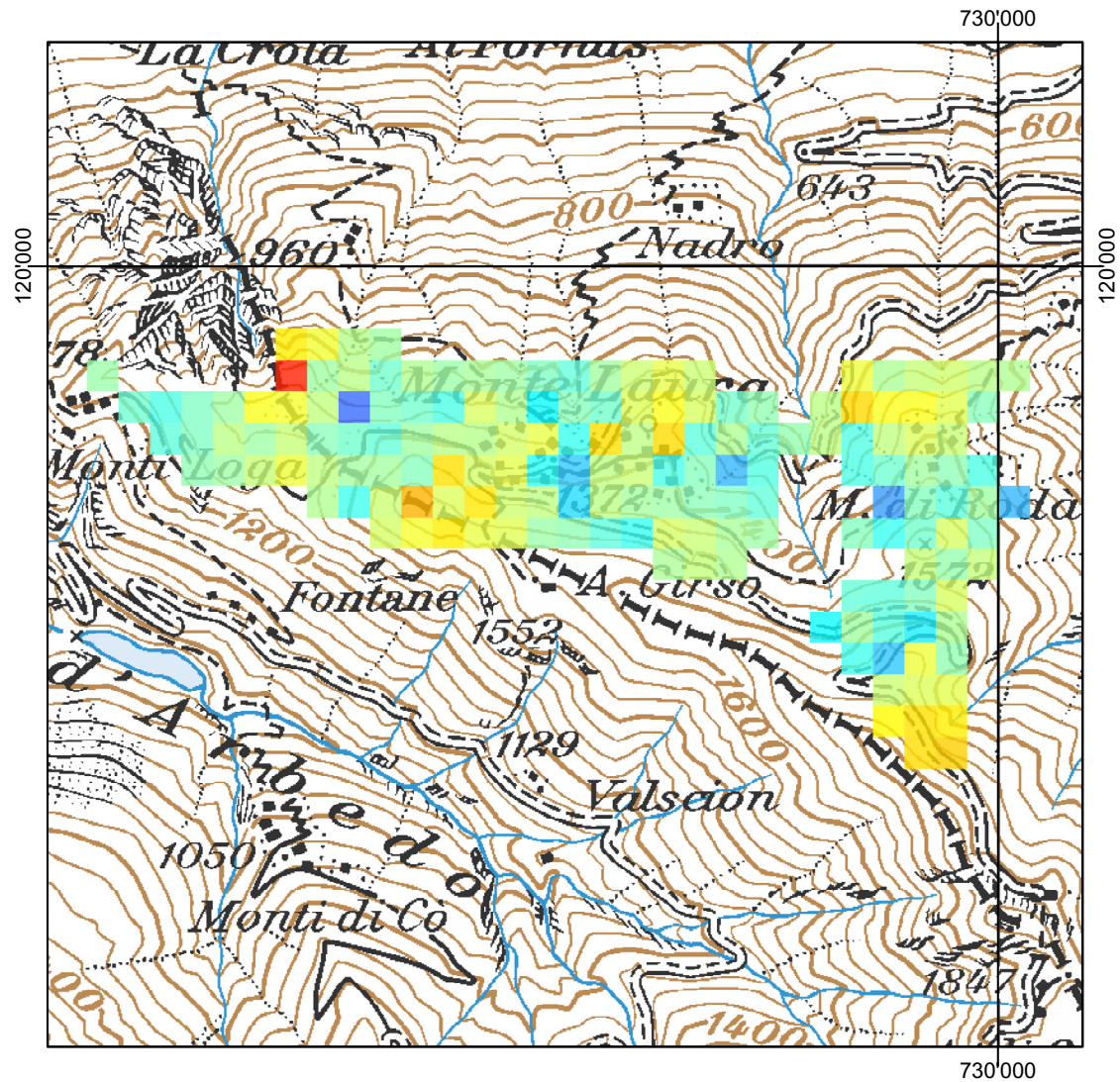
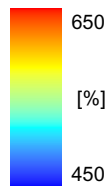


Abbildung 24: MMGC Ratio in der Umgebung von Monte Laura. PK100©2003 swisstopo

**Deponie Magadino  
 2005**

**Ortsdosisleistung**

— Flugweg

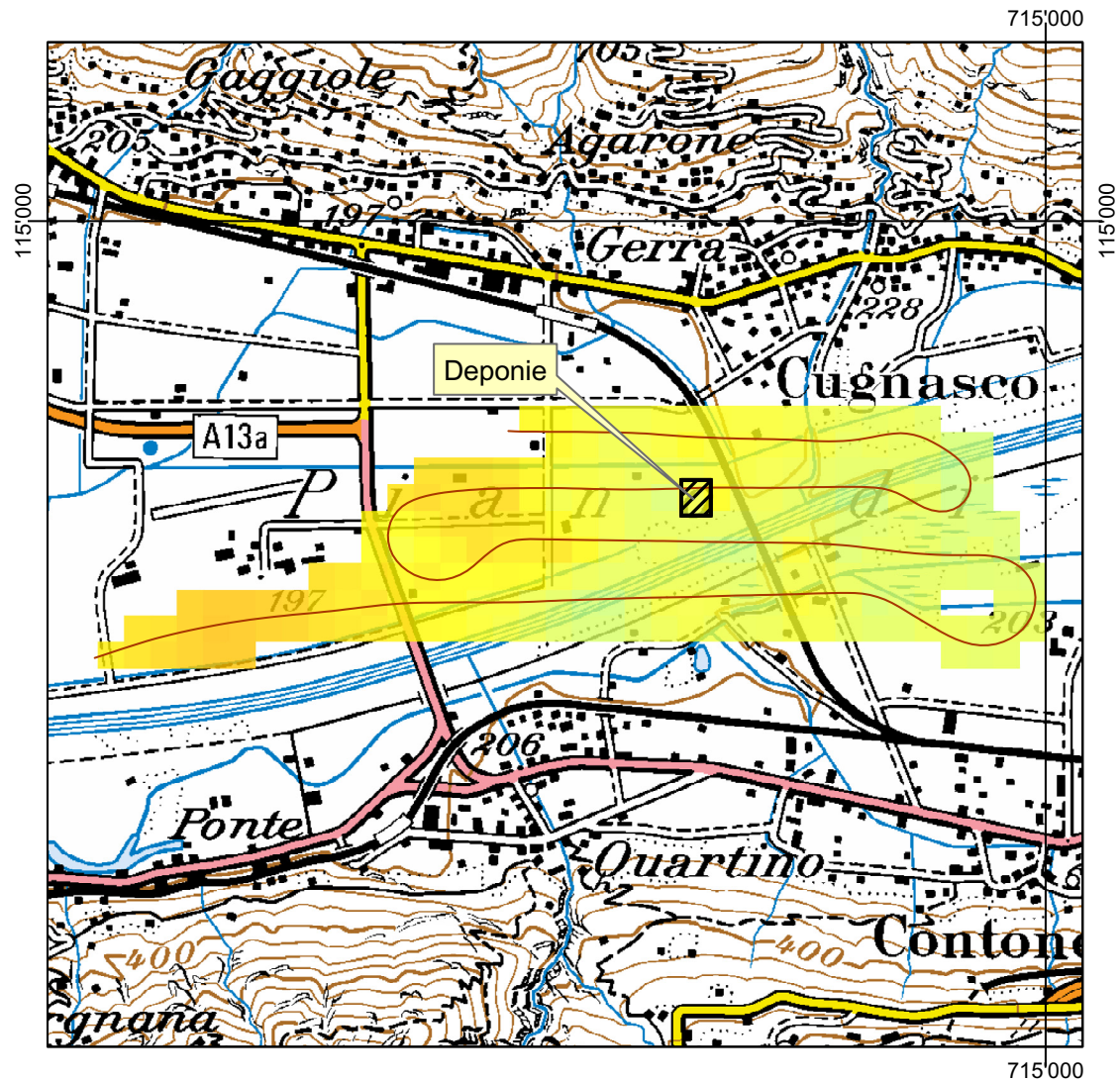
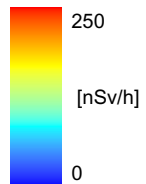


Abbildung 25: Ortsdosisleistung (SDI-Methode) bei einer Deponie in der Magadino-Ebene. PK100©2003 swisstopo



PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Deponie Magadino  
2005

$^{137}\text{Cs}$ -Aktivität

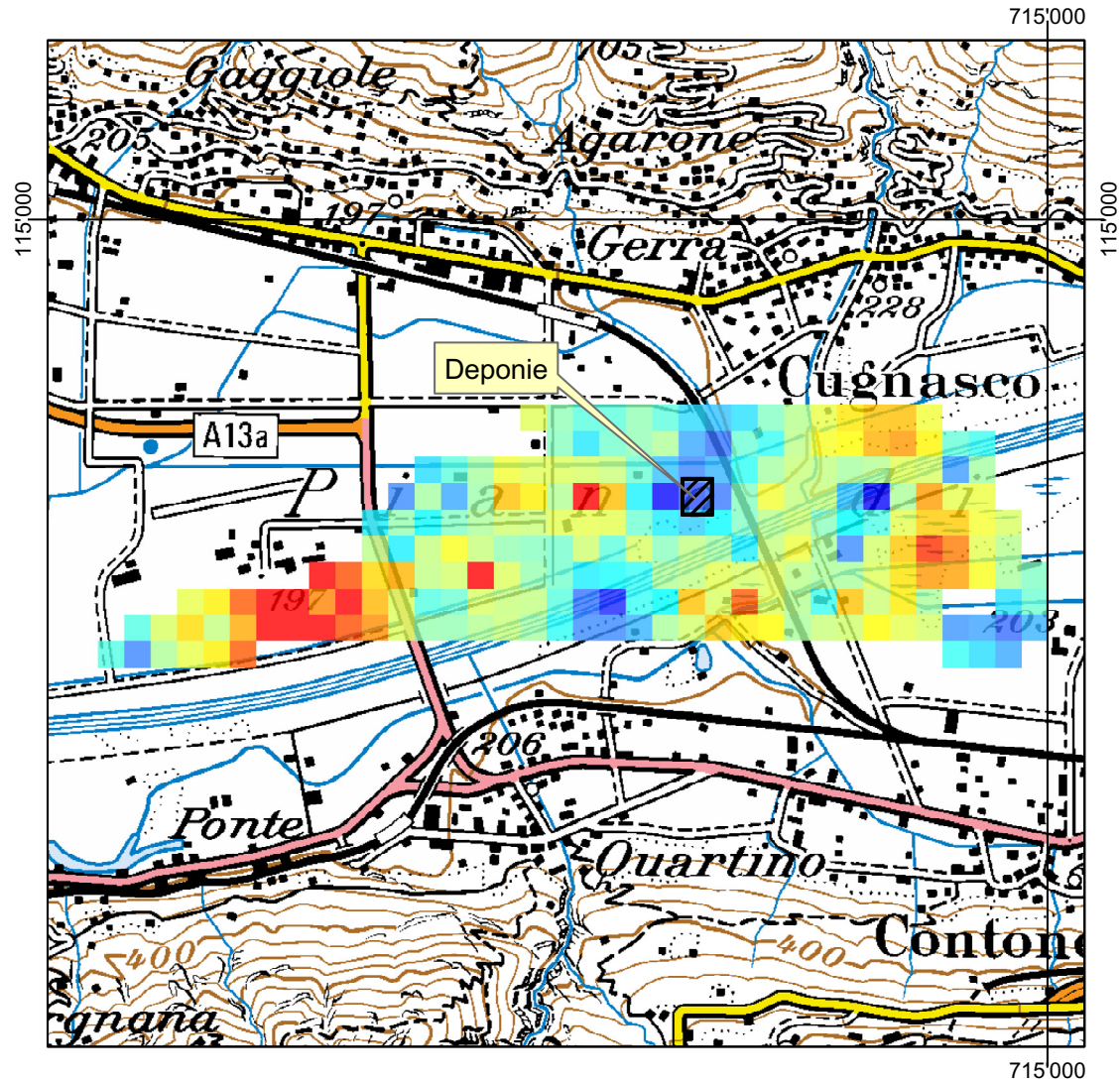
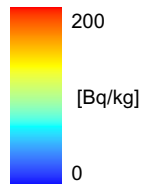


Abbildung 26:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität bei einer Deponie in der Magadino-Ebene. PK100©2003 swisstopo

Deponie Magadino  
2005

MMGC-Ratio

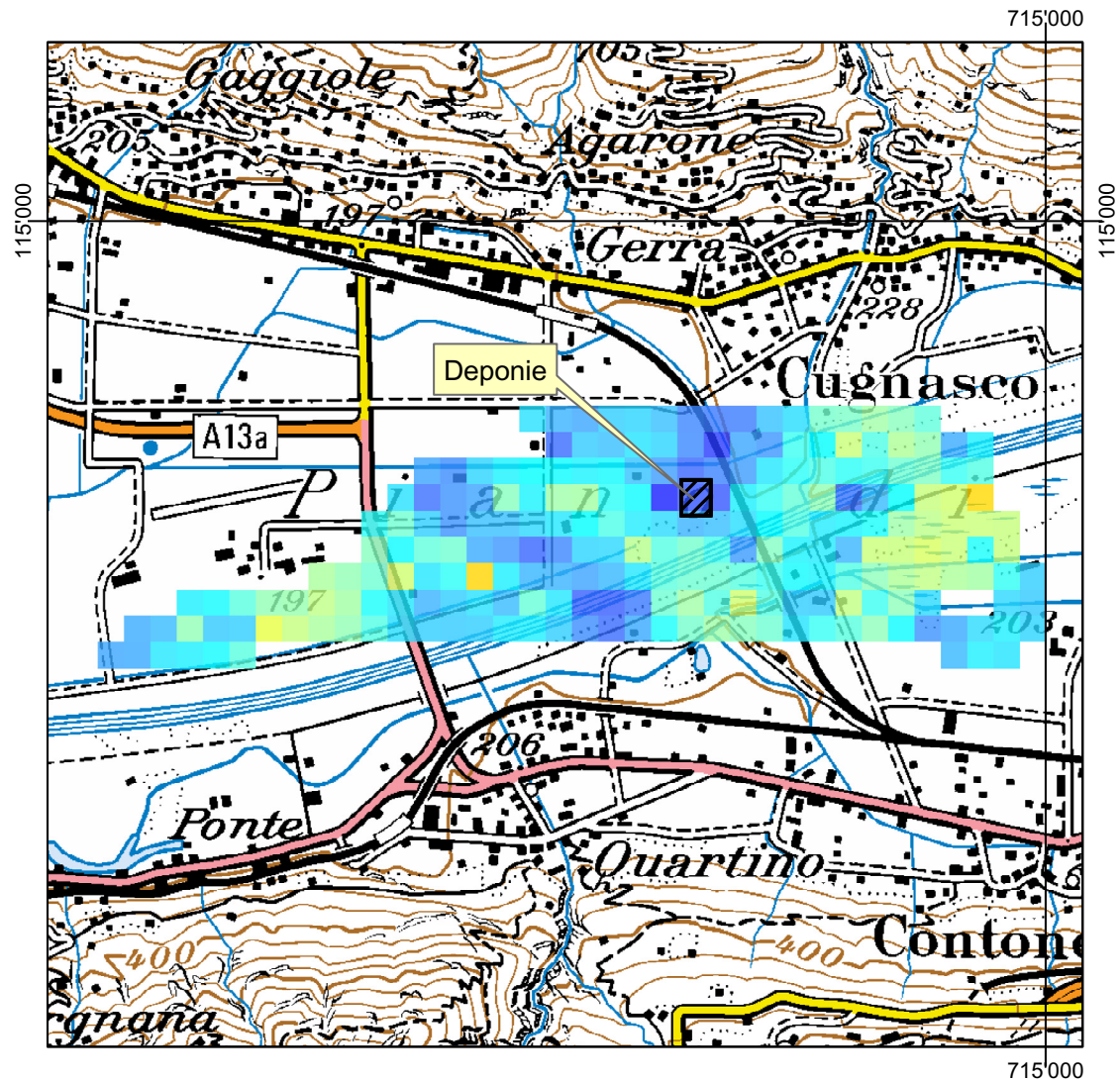
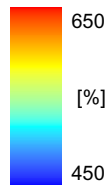


Abbildung 27: MMGC-Ratio bei einer Deponie in der Magadino-Ebene PK100©2003 swisstopo

### Quellensuche 2005

<sup>137</sup>Cs-Aktivität

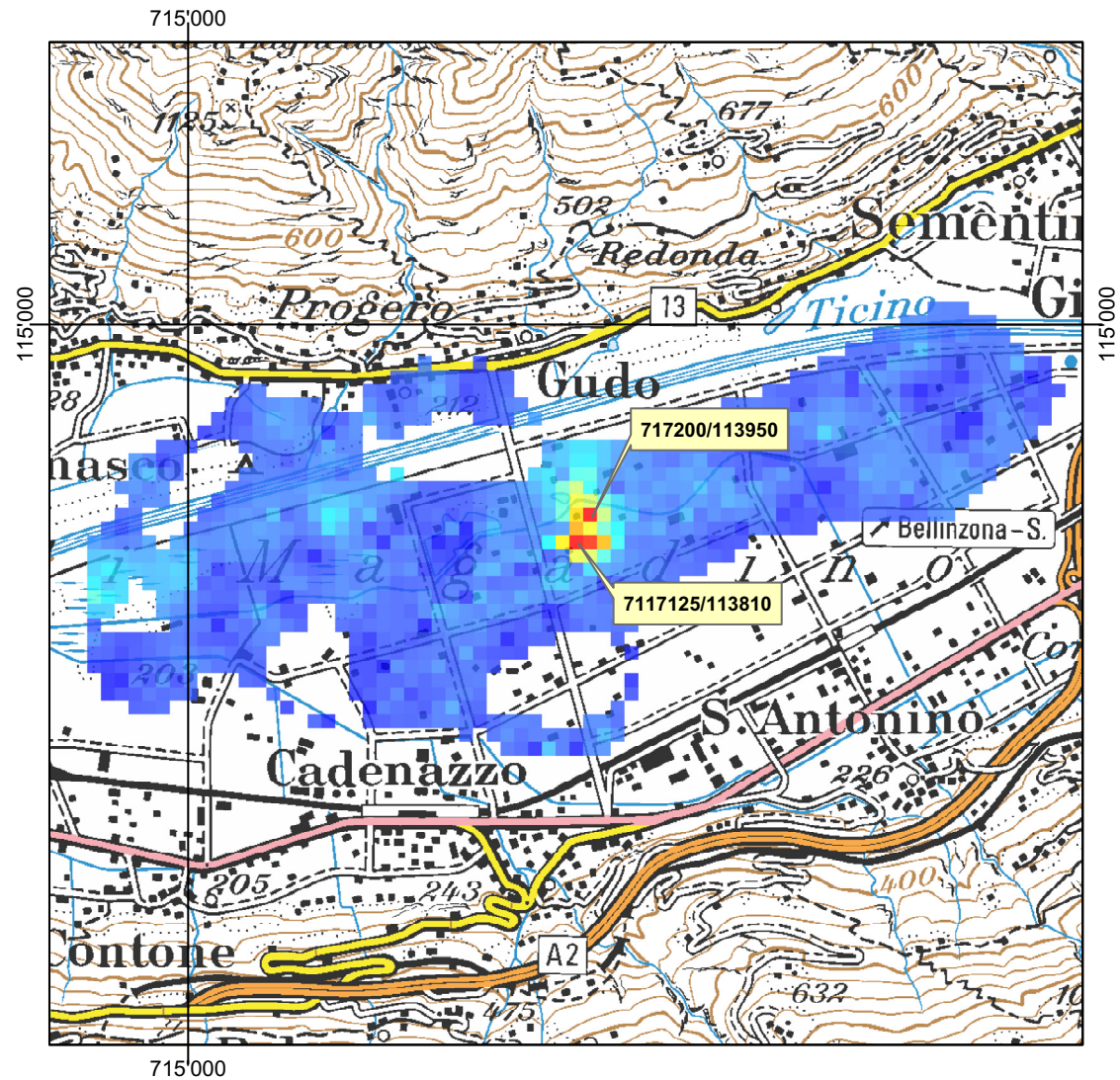
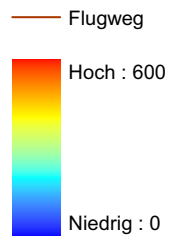


Abbildung 28: <sup>137</sup>Cs-Aktivität in dem Areal der Quellensuche. PK100©2003 swisstopo

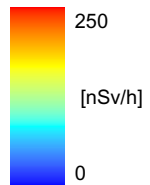


Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Kronos II 2005

Ortsdosisleistung

— Flugweg



0 1 2 4 6 8 10  
Kilometers

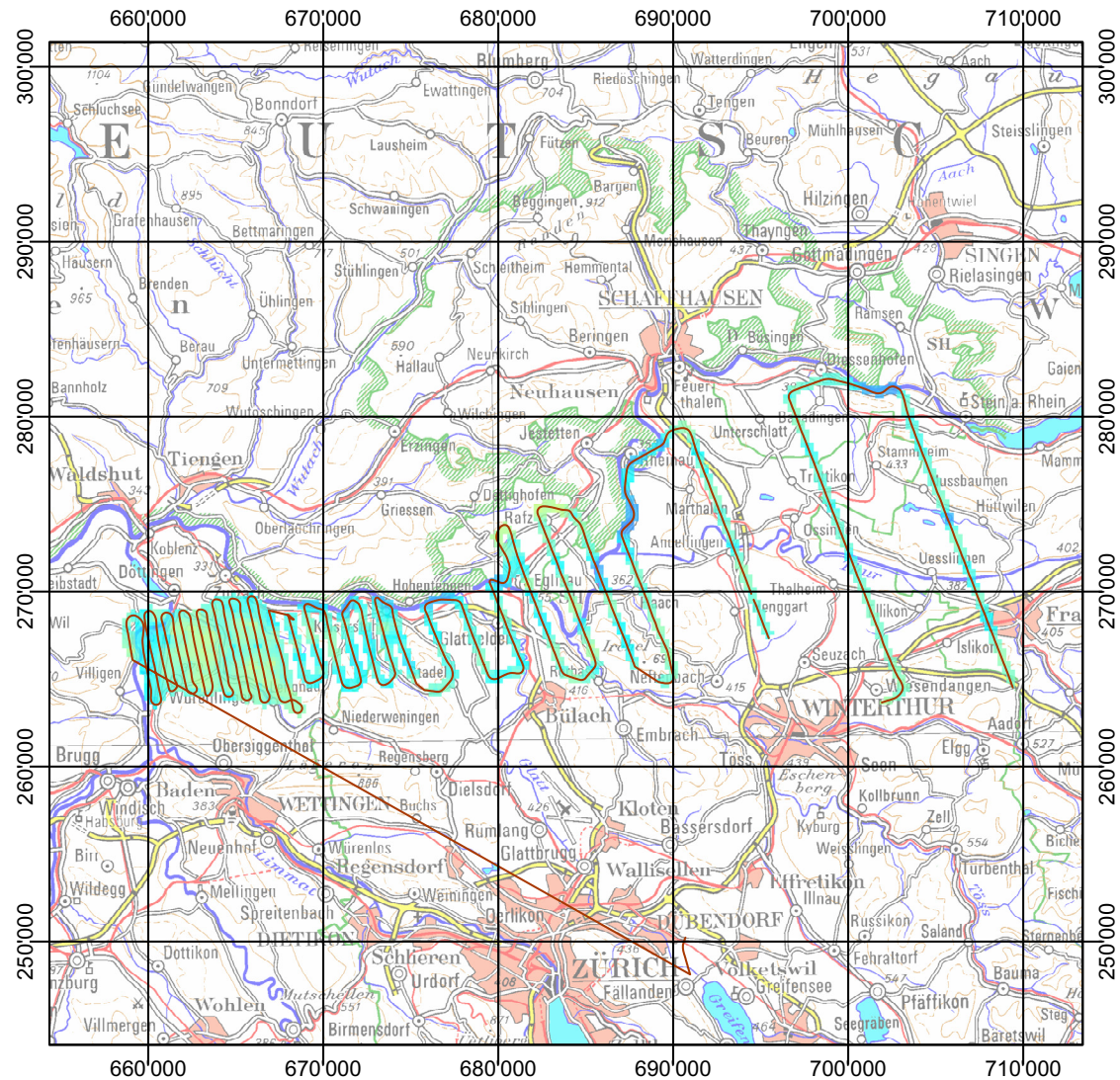


Abbildung 29: Ortsdosisleistung (SDI Methode) im Gebiet der Übung Kronos II. PK500©2003 swisstopo



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Kronos II 2005

$^{137}\text{Cs}$ -Aktivität

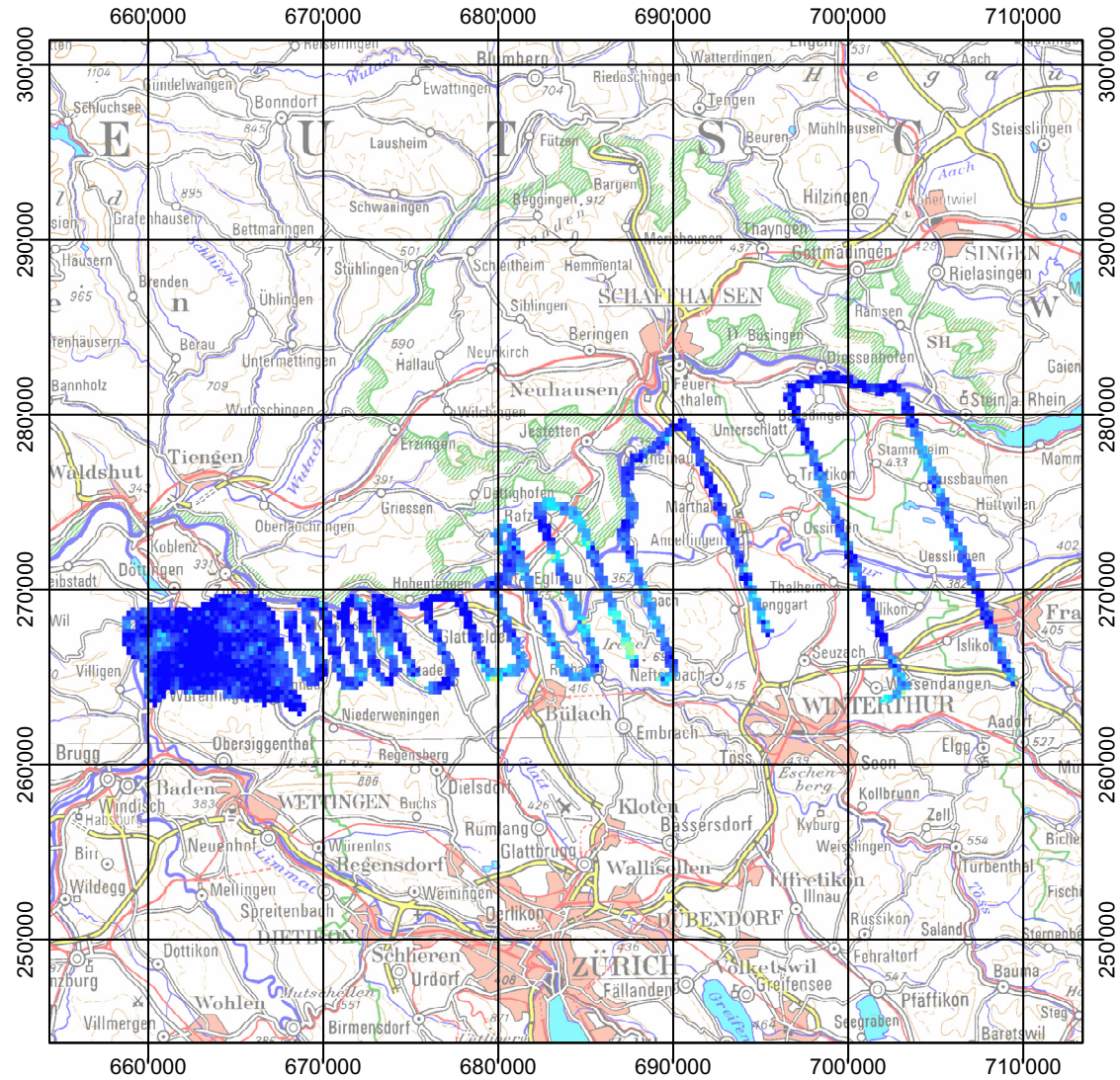
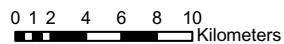
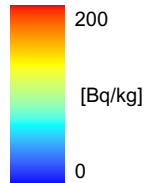


Abbildung 30:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität im Gebiet der Übung Kronos II. PK500©2003 swisstopo

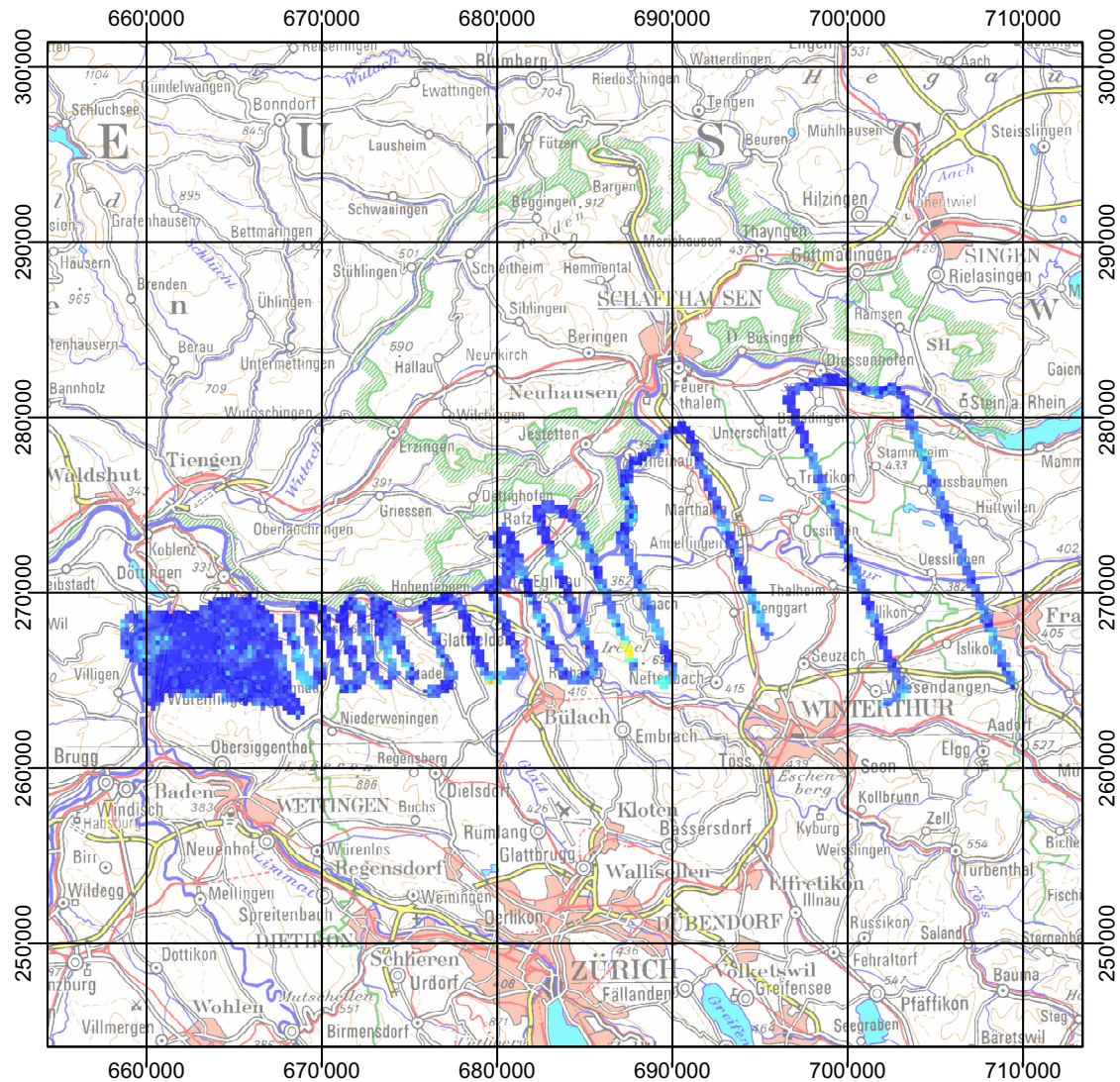
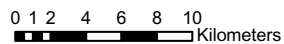
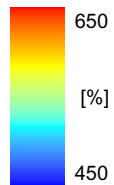


Abbildung 31: MMGC-Ratio im Gebiet der Übung Kronos II. PK500©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Profil 2005  
Ajoie - Mattmark

Ortsdosisleistung

Flugweg

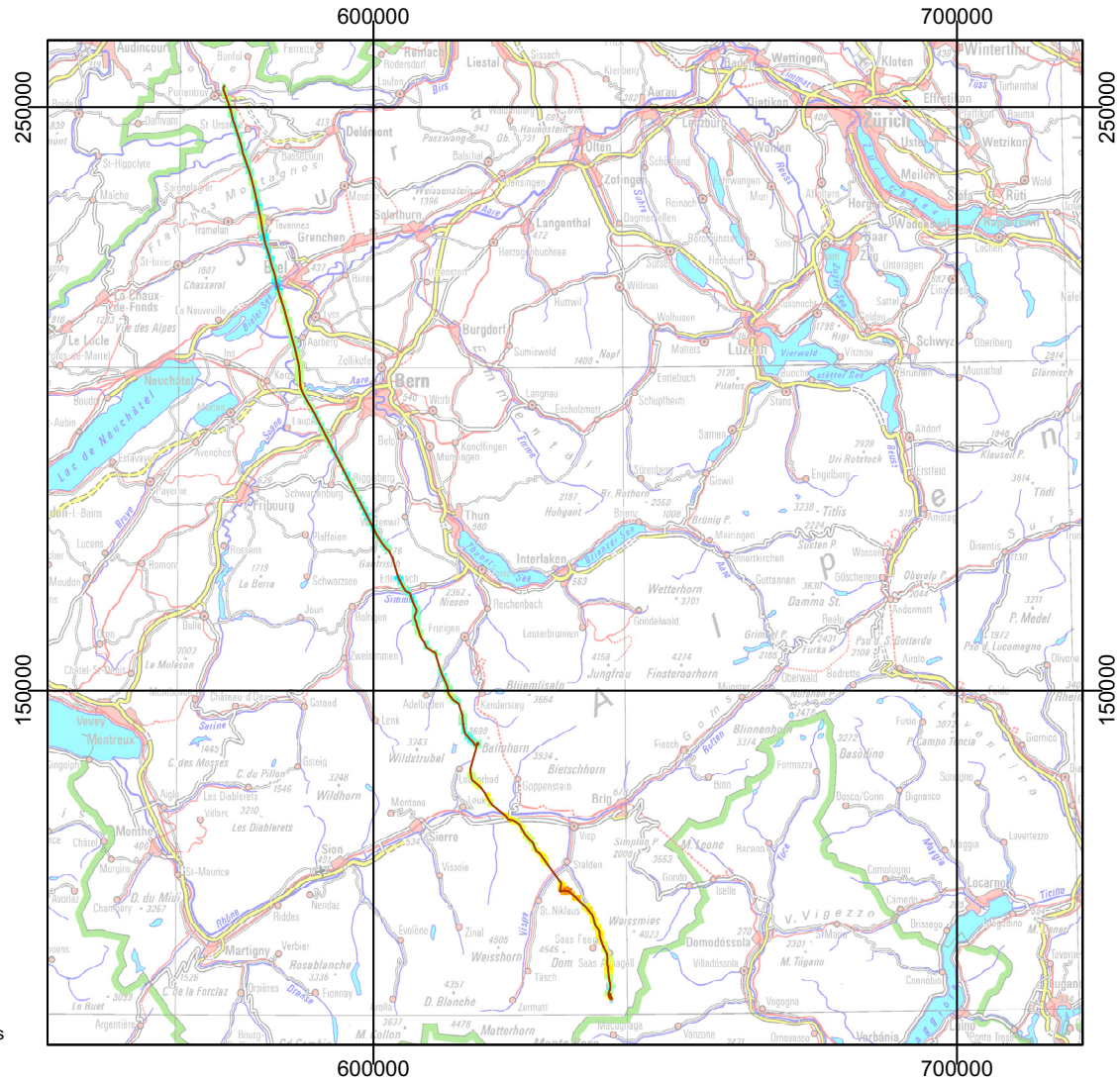
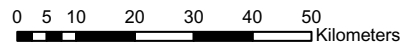
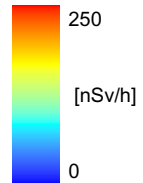


Abbildung 32: Ortsdosisleistung (Aktivitäten) entlang eines Profils Mattmark - Ajoie. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Profil 2005  
Ajoie - Mattmark

$^{137}\text{Cs}$ -Aktivität

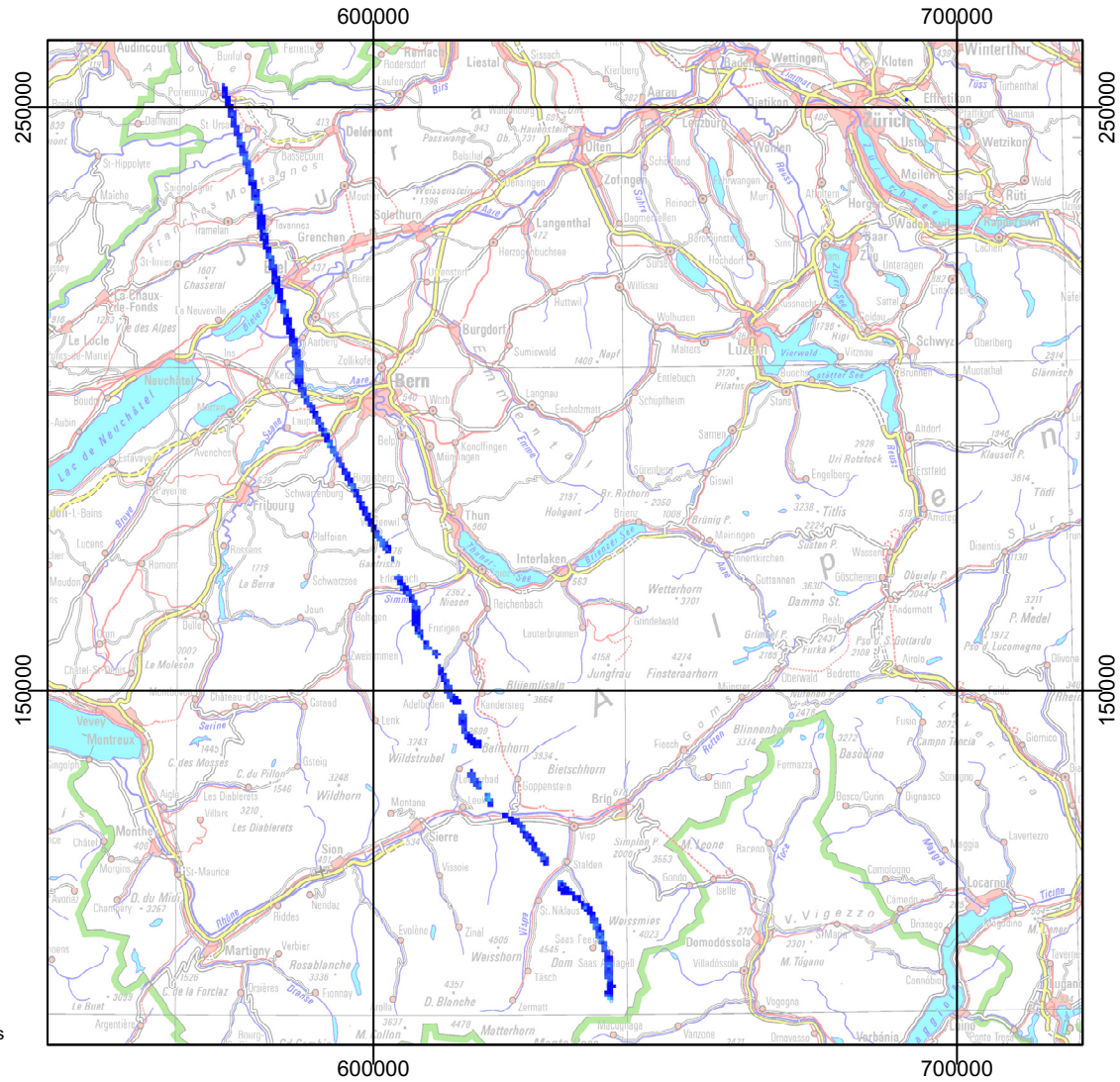
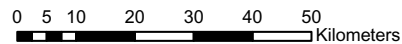
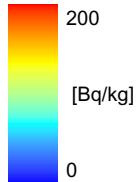


Abbildung 33:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität entlang eines Profils Mattmark - Ajoie. PK100©2003 swisstopo



PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

Profil 2005  
Ajoie - Mattmark

MMGC-Ratio

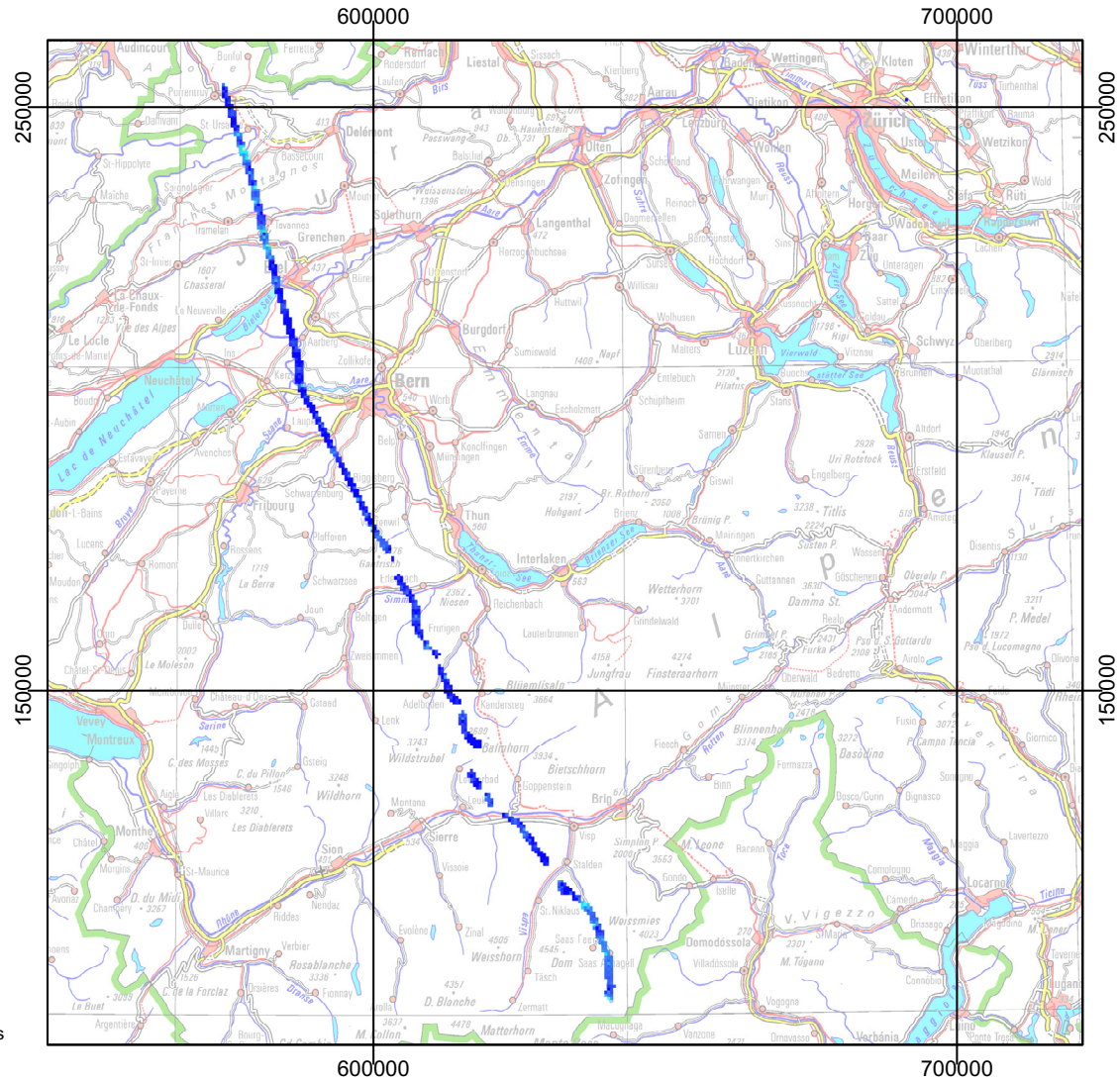
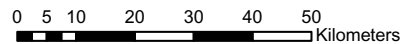
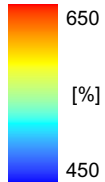


Abbildung 34: MMGC-Ratio entlang eines Profils Mattmark - Ajoie. PK1000©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

### Vergleichsmessung Komp. Zen. ABC 2005

Ortsdosisleistung

Flugweg

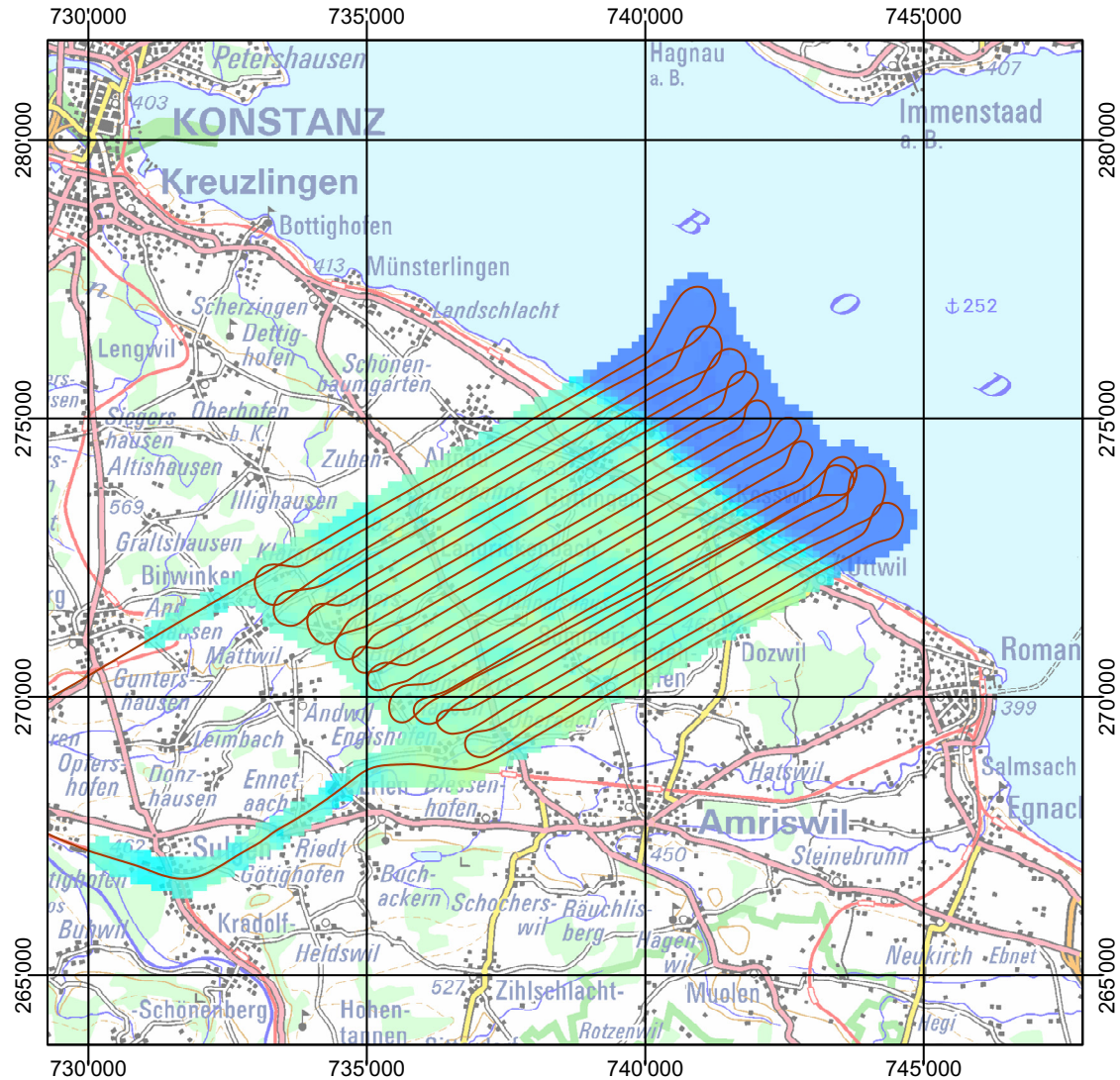
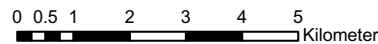
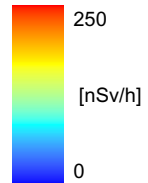


Abbildung 35: Vergleichsflug NAZ - Komp. Zen. ABC. Ortsdosisleistung NAZ. PK200©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz  
und Sicherheit

### Vergleichsmessung Komp. Zen. ABC 2005

Ortsdosisleistung

— Flugweg

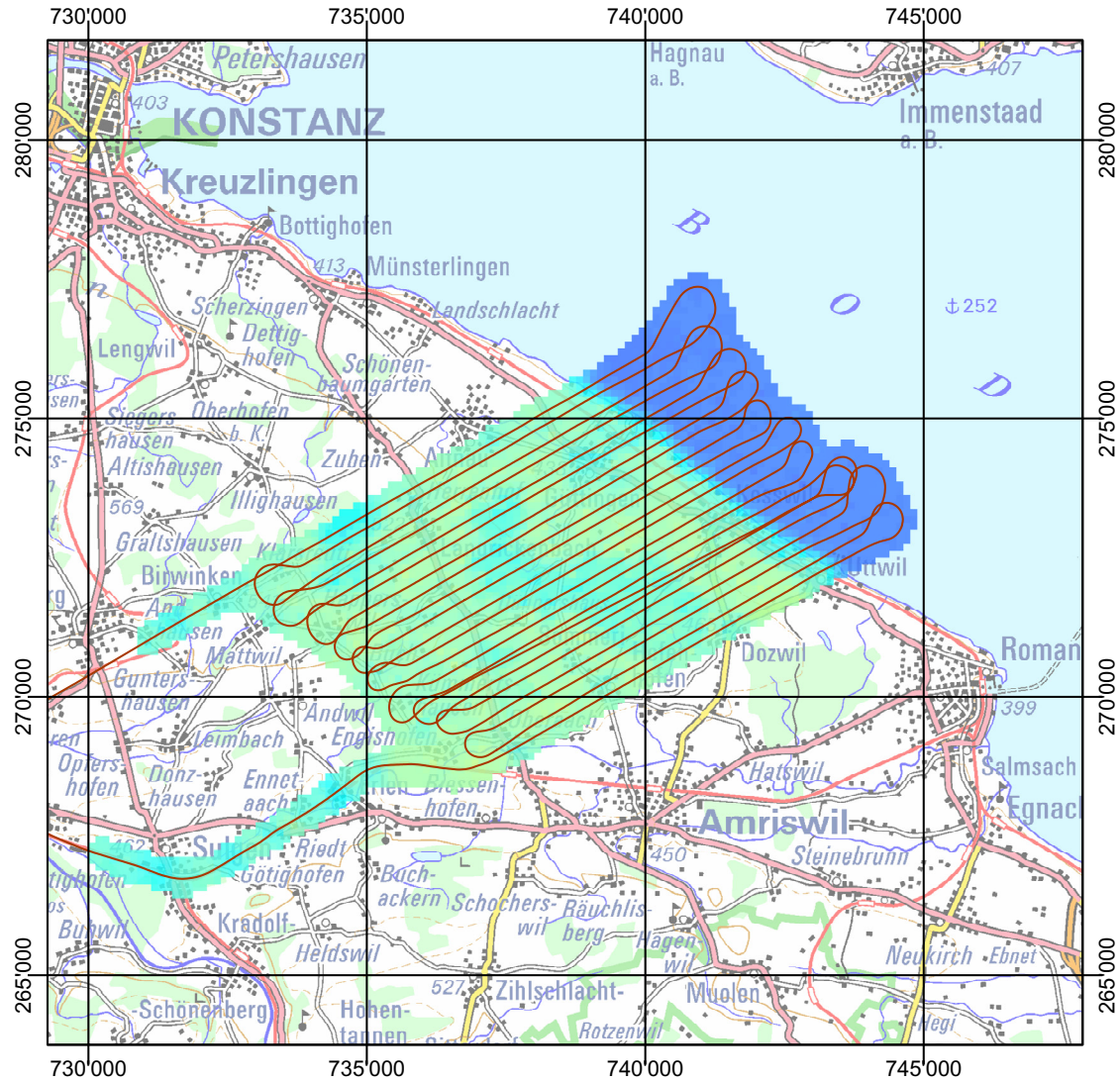
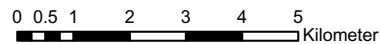
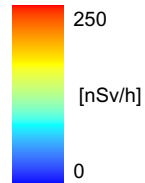


Abbildung 36: Vergleichsflug NAZ - Komp. Zen. ABC. Ortsdosisleistung Komp. Zen. ABC. PK200©2003 swisstopo