

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM06

Benno Bucher¹, Gernot Butterweck², Ladislaus Rybach³, Georg Schwarz¹

¹ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, 5232 Villigen HSK, Schweiz

² Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen
PSI, Schweiz

³ Institut für Geophysik, ETH Höggerberg, 8093 Zürich, Schweiz

Februar 2007

Zusammenfassung

Die Messflüge im Rahmen der Übung ARM06 fanden vom 19. bis 22. Juni 2006 unter der Leitung von Y. Lörtscher (Nationale Alarmzentrale, NAZ) und Koordination durch die Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) statt.

Turnusgemäss wurden die Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie das Paul Scherrer Institut (PSI) und die Anlagen der Zwischenlager AG (ZWILAG) in Würenlingen aeroradiometrisch vermessen. Die Messflüge zeigten ähnliche Resultate wie in den früheren Jahren. Während dieser Flüge wurde zusätzlich ein als Leihgabe des Kompetenzzentrums ABC in Spiez zur Verfügung gestellter Neutronendetektor eingesetzt. Mit diesem konnte die vom Protonenbeschleuniger des PSI nach oben emittierte Neutronenstrahlung nachgewiesen werden. KKB, KKL und ZWILAG waren in der Zählrate des Neutronendetektors nicht erkennbar.

Mit Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds wurde die Reihe der Flüge über Stadtgebiet fortgesetzt. Die Westschweiz wurde im Vergleich zu anderen Kantonen weitgehend vom Tschernobyl-Fallout verschont, was auch in den Resultaten der aeroradiometrischen Messungen zum Ausdruck kommt.

Das Training des Personals des Stabs BR NAZ wurde mit zwei Einsatzübungen in der Nähe von Unteriberg (SZ) und Rothenthurm (SZ) in diesem Jahr verstärkt fortgesetzt. Wie in den vorangehenden Jahren wurde eine Quellensuchübung in Zusammenarbeit mit kantonalen Behörden in der Nähe von Le Cerneux-Péquinot (NE) durchgeführt.

Die Qualität der Kalibrierung des Messsystems wurde durch einen Vergleich mit Bodenmessungen mit In-Situ-Gammaspektrometrie und Dosisleistungsmessgeräten des Labors Spiez, des Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA), der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SueR) des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) und der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) in der Nähe von Biaufond (NE, JU) überprüft.

Auf Anfrage der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) wurde die Bahnstrecke Bern - Zürich aeroradiometrisch vermessen.

Abstract

The measurement flights of the exercise ARM06 were performed between 19th and 22nd of June 2006 under the direction of Y. Lörtscher of the National Emergency Operations Centre (NAZ) and coordination by the Expert Group for Aeroradiometrics (FAR). According to the alternating schedule of the annual ARM exercises, the environs of the nuclear power plants Beznau (KKB) and Leibstadt (KKL), of the Paul Scherrer Institut (PSI) research facility and of the Intermediate Storage Facility for Nuclear Waste (ZWILAG) were inspected. The measurements showed similar results to those obtained in former years. Additionally, a neutron detector provided by the Kompetenzzentrum ABC Spiez was employed during these flights. With this detector, the neutron radiation of the proton accelerator of PSI was detected, whereas the nuclear power plants and ZWILAG showed no increase of neutron count rate.

The measurements above cities were continued with the cities of Neuchâtel and La Chaux-de-Fonds. Western Switzerland was largely spared from Chernobyl fallout, a fact which was reflected in the results of the airborne gammaspectroscopic (ARM) measurements.

Training of the measuring teams was intensified with two dedicated training flights in the vicinity of Unteriberg (SZ) and Rothenthurm (SZ). A training search for radioactive sources was performed together with the local emergency response forces in the vicinity of Le Cerneux-Péquinot (NE).

The calibration of the ARM equipment was checked with in-situ gammaspectroscopic and ambient dose equivalent rate measurements performed near Biaufond (NE, JU) by teams from Spiez Laboratory, Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA), Sektion Überwachung der Radioaktivität (SueR) of the Federal Office of Public Health (FOPH) and the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (HSK).

The railway line between Berne and Zurich was inspected with airborne gammaspectroscopy due to a request from the Swiss National Railways (SBB).

INHALT

1 EINLEITUNG	1
1.1 Messgeräte	1
1.2 Messflüge	2
1.3 Auswertung	2
2 VERGLEICHSMESSUNGEN BODEN - LUFT	2
3 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM06	5
3.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG	6
3.2 Einsatzübung	11
3.3 Stadtgebiete Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds.....	11
3.4 Übung zur Quellensuche	12
3.5 Bahnstecke Bern - Zürich	13
4 LITERATUR	13

TABELLEN

Tabelle 1: Messresultate der In-Situ-Gammaspektrometrie.	3
Tabelle 2: Ortsdosisleistungen am Vergleichspunkt.	4
Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugparameter.	5
Tabelle 4: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM06.	5

FIGUREN

Abbildung 1: Photonenspektren inner- und ausserhalb des Werkareals KKL.	7
Abbildung 2: Photonenspektrum direkt am Fortluftkamin PSI-West.	8
Abbildung 3: Aus dem Windfeld berechnete Form der Abluffahne PSI-West. .	8
Abbildung 4: Photonenspektrum in der Abluffahne Fortluftkamin PSI-West.	9
Abbildung 5: Photonenspektrum im Bereich BZL, Betriebsgebäude radioaktive Abfälle und Hotlabor.	10
Abbildung 6: Photonenspektrum über dem ehemaligen Forschungsreaktor DIORIT.	10
Abbildung 7: Ortsdosisleistung in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	15
Abbildung 8: MMGC-Ratio in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	16
Abbildung 9: ^{137}Cs -Aktivität in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	17
Abbildung 10: MMGC-Ratio über den Anlagen PSI-Ost.	18
Abbildung 11: Zählrate des Neutronendetektors in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	19
Abbildung 12: Ortsdosisleistung im Gebiet der Einsatzübung.	20
Abbildung 13: MMGC-Ratio im Gebiet der Einsatzübung.	21
Abbildung 14: ^{137}Cs -Aktivität im Gebiet der Einsatzübung.	22
Abbildung 15: Ortsdosisleistung im Stadtgebiet von Neuchâtel.	23
Abbildung 16: MMGC-Ratio im Stadtgebiet von Neuchâtel.	24
Abbildung 17: ^{137}Cs -Aktivität im Stadtgebiet von Neuchâtel.	25
Abbildung 18: Ortsdosisleistung im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds.	26
Abbildung 19: MMGC-Ratio im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds.	27
Abbildung 20: ^{137}Cs -Aktivität im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds.	28
Abbildung 21: MMGC-Ratio im Gebiet der Quellensuche.	29
Abbildung 22: MMGC-Ratio im Bereich der ausgelegten Quellen.	30
Abbildung 23: ^{137}Cs -Aktivität im Bereich der ausgelegten Quellen.	31
Abbildung 24: Ortsdosisleistung entlang der Bahnlinie Bern - Zürich.	32
Abbildung 25: MMGC-Ratio entlang der Bahnlinie Bern - Zürich.	33
Abbildung 26: ^{137}Cs -Aktivität entlang der Bahnlinie Bern - Zürich.	34

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 wurde zu einem Zweijahresrhythmus gewechselt, wobei abwechselnd 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 Paul Scherrer Institut (PSI) übernommen. Die wissenschaftliche Betreuung und die laufende Weiterentwicklung der Aeroradiometrie erfolgen ebenfalls durch die Sektion Messwesen des PSI in Zusammenarbeit mit der HSK.

Die übergeordnete wissenschaftliche Koordination sowie die Planung der Messflüge erfolgt durch die Fachgruppe Aeroradiometrie Schweiz (FAR). Die FAR wurde 1992 als beratendes Gremium der NAZ und der HSK als eigenständige Gruppe gegründet. Sie umfasst die in der Schweiz in Aeroradiometrie tätigen Stellen. Die FAR ist im Bereich A der KomABC als Arbeitsgruppe Aeroradiometrie eingegliedert.

Weitere Einzelheiten sind auf <http://www.far.hsk.ch/> zu finden.

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. Parallel zur Messung wird auf einem zweiten Industrie-PC die Auswertung und kartografische Darstellung der Daten in Echtzeit durchgeführt. 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 regelmässigen Raster durchgeführt. Das Raster besteht aus parallelen Fluglinien, die je nach Aufgabenstellung 100 m bis 500 m auseinander liegen. Die Flughöhe wird nach Möglichkeit konstant bei 90 m über Grund gehalten. Während des Flugs wird ein Gammaspektrum pro Sekunde aufgenommen.

1.3 Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgt nach dem in Schwarz (1991) beschriebenen Auswerteverfahren für aeroradiometrische Messdaten. Seit dem Jahr 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 300 m x 300 m darstellt, wird bei der In-Situ Bodenmessung lediglich eine Fläche von ca. 10 m x 10 m abgedeckt.

2 VERGLEICHSMESSUNGEN BODEN - LUFT

In einem Ereignisfall werden die Ergebnisse von In-Situ-Gammasspektrometrie, Dosisleistungsmessungen und aeroradiometrischen Messungen zusammengeführt. Zur Überprüfung der Vergleichbarkeit dieser verschiedenen Messmethoden wurden im Rahmen der Übung ARM06 in der Nähe von Biaufond (NE, JU) im Auftrag der Eidgenössische Kommission für Strahlenschutz und Überwachung der Radioaktivität (KSR) Vergleichsmessungen durchgeführt.

Auf einem Areal von 100 m x 100 m in der Nähe von Biaufond wurden von Messequipen des Labors Spiez, des Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA), der Sektion Überwachung der Radioaktivität (SUEr) des BAG und der HSK gammaspektrometrische In-Situ-Messungen durchgeführt. Im Areal wurden insgesamt neun gleichmässig verteilte Punkte vermessen. Jede Equipe führte Messungen an drei Punkten durch, wobei stets der Mittelpunkt des Areals enthalten war. Zusätzlich wurde ein einzelner Messpunkt in der Nähe des Flugplatzes Les Eplatures (La Chaux-de-Fonds, NE) vermessen. Auf beiden Arealen wurden auch von allen Messequipen Ortsdosisleistungsmessungen durchgeführt. Über dem Zentrum des Messareals Biaufond erfolgte mit der Aeroradiometrieausrüstung ein

Steigflug.

Der geplante Messpunkt in der Nähe von Les Eplatures konnte von den Bodenteams wegen einer Baustelle nicht erreicht werden. Daher lag der real ausgemessene Punkt ca. 170 m von den Vorgabekoordinaten, die auch für den Steigflug der Aeroradiometrie verwendet wurden, entfernt. Dieser Punkt wurde nicht zur Vergleichsauswertung herangezogen.

Ein relativer Vergleich der In-Situ-Messungen an den neun Punkten des Messgebiets zeigte keine signifikanten Abweichungen von den Messwerten am Zentralpunkt. In der weiteren Auswertung werden die Messwerte des Zentralpunktes verwendet.

Mit Ausnahme der ^{214}Bi -Aktivität stimmen die mit Hilfe der In-Situ-Gammaspektrometrie und der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten innerhalb der Unsicherheiten ($\pm 2\sigma$) überein (siehe Tabelle 1). Die durch die Aeroradiometrie zu hoch bestimmte ^{214}Bi -Aktivität ist auf luftgetragene Radonzerfallsprodukte zurückzuführen. Bei den angegebenen Aktivitäten von ^{208}Tl wurde für den besseren Vergleich mit den anderen Nukliden der Zerfallsreihe das Verzweigungsverhältnis des Zerfalls von ^{212}Bi einbezogen.

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 von der Aeroradiometrie überschätzte Aktivität von ^{214}Bi führt zu einer leichten Erhöhung der aus den Aktivitäten berechneten Ortsdosisleistung.

Tabelle 1: Messresultate der In-Situ-Gammaspektrometrie sowie die Ergebnisse aus der Aeroradiometrie (ARM).

	Labor Spiez	IRA	SUeR	HSK	ARM
Nuklid	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]
^{40}K	227 ± 50	240 ± 15	251 ± 22	208 ± 22	188 ± 42
^{214}Bi (609 keV)	36.1 ± 4.4	37.4 ± 3.0	36.5 ± 3.6	30.6 ± 3.3	

Tabelle 1: Messresultate der In-Situ-Gammaspektrometrie sowie die Ergebnisse aus der Aeroradiometrie (ARM). (Forts.)

	Labor Spiez	IRA	SUeR	HSK	ARM
Nuklid	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]	Messwert [Bq/kg]
^{214}Bi (1765 keV)					83 ± 11
^{214}Pb (352 keV)	36.4 ± 5.8	39.7 ± 3.2	38.3 ± 4.2	30.8 ± 3.6	
Mittelwert ^{238}U	36.3 ± 5.2	38.6 ± 3.1	37.4 ± 3.9	30.7 ± 3.5	83 ± 11
^{212}Pb	25.5 ± 5.6	31.1 ± 2.6	29.3 ± 3.1	25.8 ± 3.3	
^{212}Bi		35.8 ± 7.9	38 ± 9	31.6 ± 6.9	
^{228}Ac	28.8 ± 4.6	28.4 ± 3.0	28.2 ± 3.7	27.3 ± 3.2	
^{208}Tl	26.8 ± 6.1	28.9 ± 3.0	30.2 ± 3.7	27.6 ± 3.3	24 ± 5
Mittelwert ^{232}Th	27.0 ± 5.5	31.1 ± 4.7	31.4 ± 5.4	28.1 ± 4.5	24 ± 5
^{134}Cs	< 1.4	< 1	< 1	< 0.9	
^{137}Cs	17.5 ± 3.8	21.7 ± 1.7	21.1 ± 2.0	20.5 ± 2.3	< 51

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

	Labor Spiez	IRA	SUeR	HSK	ARM
ODL [nSv/h] (über Aktivitäten)	105	111	111	110	125 ± 7
ODL [nSv/h] Reuter Stokes	97	116	110	107	
ODL [nSv/h] SDI-Methode					118 ± 6

3 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM06

Die Messungen des Jahres 2006 erfolgten mit einem Super Puma Helikopter der Armee in der Zeit vom 19. bis zum 22. Juni 2006. Die Messflüge standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (NAZ).

Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM06 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	250	92	90	45/225
Einsatzübung Rothenthurm/ Unteriberg	125, 250	58	90	90/270 115/295
Quellensuche	100	4	90	25/205
La Chaux-de-Fonds	250	72	90	35/215
Neuchâtel	250	32	90	25/205
SBB-Linie Bern-Zürich	-	-	90	40

Die Daten aller im Rahmen der Übung ARM06 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 Zählintervall von 1 s aufgenommen.

Tabelle 4: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM06.

Messgebiet	Flug- Nummern	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	2006009 2006010 2006011	19.6.2006	21292	719
Einsatzübung Rothenthurm/ Unteriberg	2006017 2006019	20.6.2006	7650	245
Quellensuche	2006024	21.6.2006	1874	39

Tabelle 4: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM06. (Forts.)

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
La Chaux-de-Fonds	2006022 2006023 2006025	21.6.2006	7736	265
Neuchâtel	2006020	21.6.2006	3467	118
SBB-Linie Bern-Zürich	2006034	22.6.2006	2206	81

3.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG

Im Jahre 2006 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie des Forschungsinstituts Paul Scherrer Institut (PSI) und des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG) aeroradiometrisch vermessen. Die gemessenen Ortsdosisleistungen (Abbildung 7) zeigten erhöhte Werte beim KKL, dem PSI Ost und beim PSI West. Weitere erhöhte Ortsdosisleistungen sind nicht zu erkennen. Deutlich sind in der Karte Strukturen auszumachen, die auf Einflüsse der Geologie, der Topographie, der Wasserläufe sowie der Vegetation zurückzuführen sind.

Beim MMGC-Ratio (Abbildung 8) sind KKL, PSI-West und PSI-Ost deutlich zu erkennen.

In der ^{137}Cs -Karte (Abbildung 9) ist nur eine Erhöhung am Standort des BZL zu erkennen. An den übrigen Anlagenstandorten wurden keine wesentlich erhöhten Werte registriert.

Die ZWILAG wurde auch dieses Jahr aeroradiometrisch nicht erkannt. Über dem KKB wurden ebenfalls keine Anomalien festgestellt. Ausserhalb der umzäunten Areale sind keine Werte zu messen, welche nicht auf Tschernobyl- bzw. Bombentest-Fallout zurückzuführen sind.

Wie in früheren Jahren konnte das KKL anhand der Streustrahlung des Aktivierungsprodukts ^{16}N klar erkannt werden (Abbildung 1).

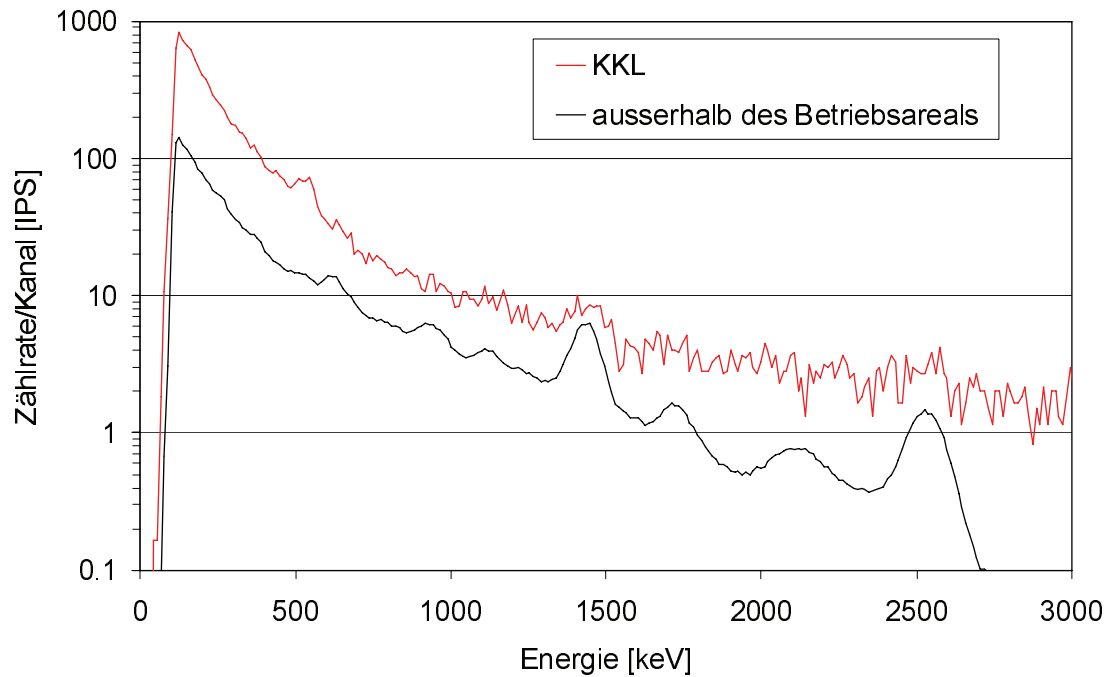


Abbildung 1: Photonenspektren inner- und ausserhalb des Werkareals KKL.

Im Bereich des Fortluftkamins des PSI West wurde deutlich Annihilationsstrahlung bei 511 keV sowie das Aktivierungsprodukt ^{41}Ar bei 1294 keV registriert (Abbildung 2).

Über dem PSI-West deutet das MMGC-Ratio zudem auf eine Abluffahne ausgehend vom Fortluftkamin in westlicher Richtung hin (Abbildung 8).

Die Form und Richtung der Abluffahne stimmt mit aus den meteorologischen Bedingungen während des Überflugs abgeleiteten Erwartungswerten überein (Abbildung 3).

In der beobachteten Abluffahne kann die Photonenemission bei 511 keV weiterhin gemessen werden (Abbildung 4).

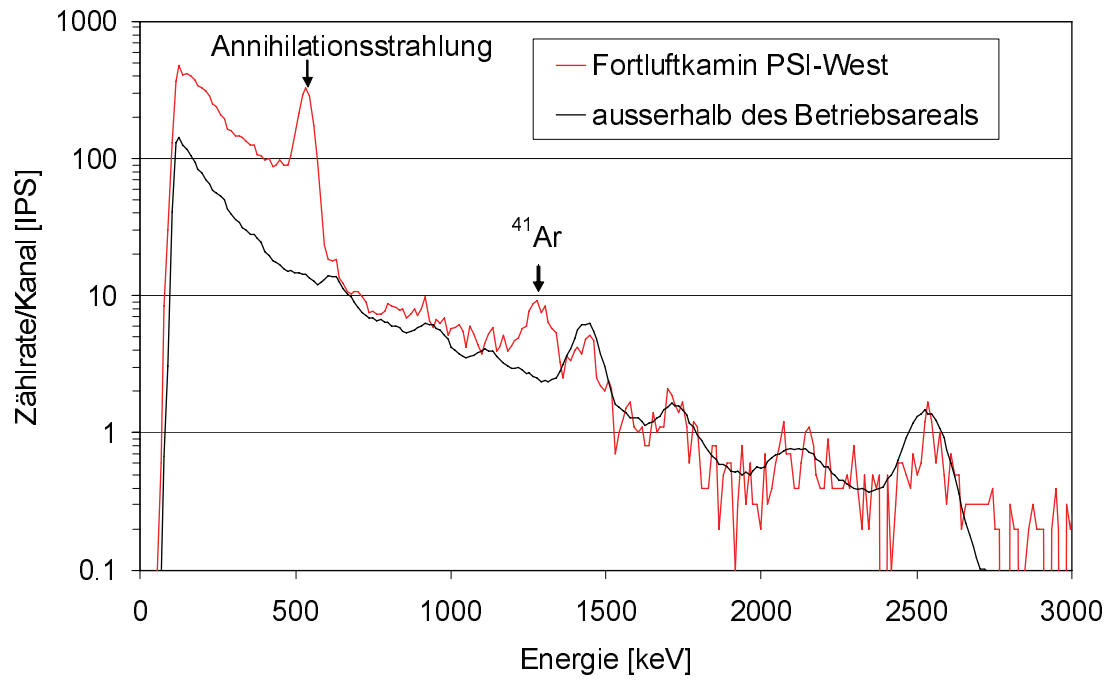


Abbildung 2: Photonenspektrum direkt am Fortluftkamin PSI-West im Vergleich zum Untergrund.

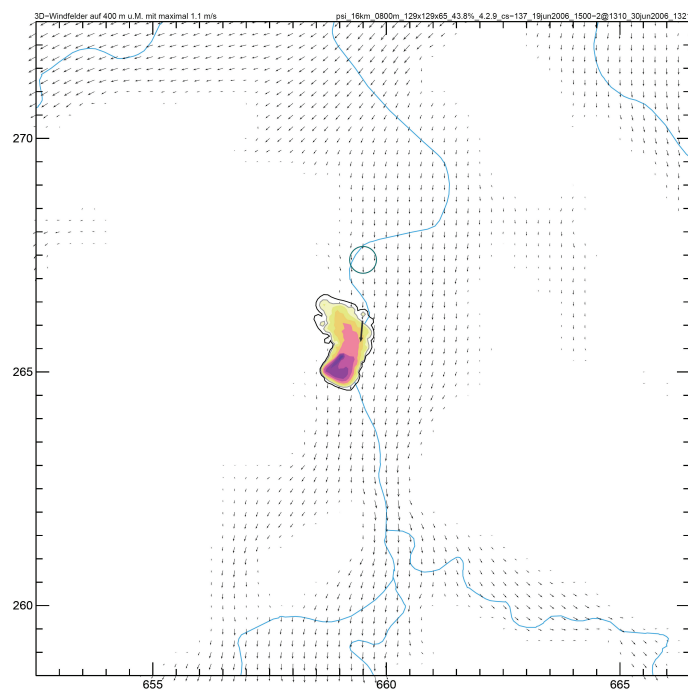


Abbildung 3: Aus dem Windfeld 19.6.2006 13:40 MESZ berechnete Form der Ablufffahne PSI-West.

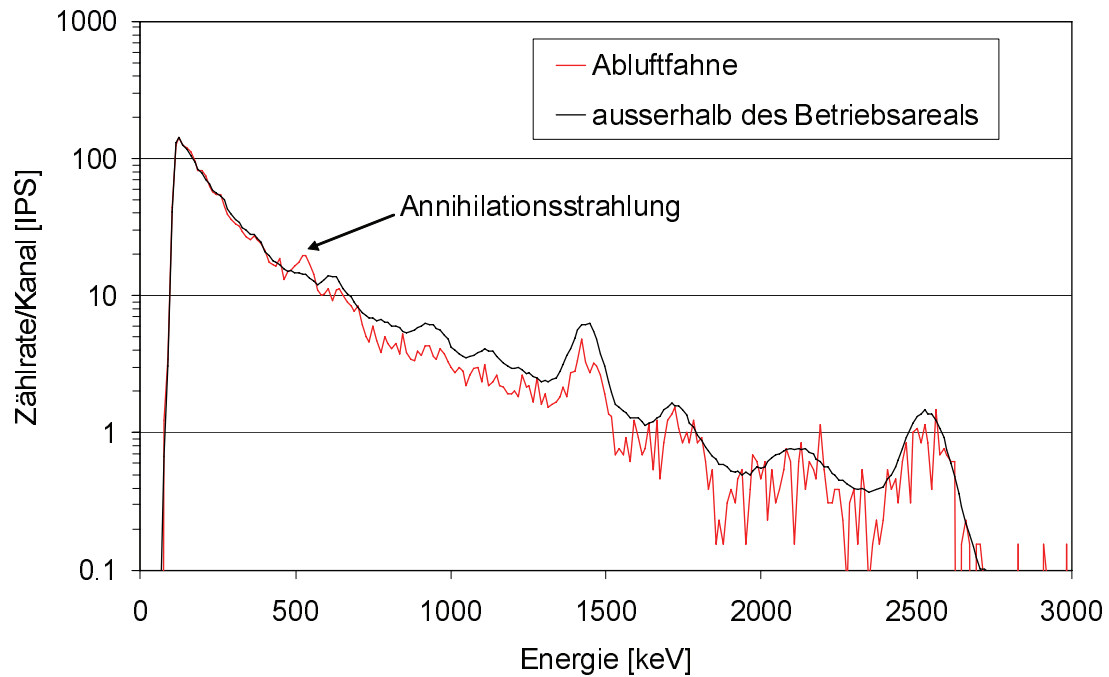


Abbildung 4: Photonenspektrum in der Abluffahne Fortluftkamin PSI-West im Vergleich zum Untergrund.

Zudem konnten im Bereich zwischen dem Bundeszwischenlager (BZL), dem Betriebsgebäude radioaktive Abfälle und dem Hotlabor auf dem Gelände des PSI Ost die Gammalinien von ^{60}Co gemessen werden (Abbildung 5).

Neben der bereits aus den vergangenen Jahren bekannten Erhöhung im Bereich BZL - Hotlabor konnte im MMGC-Ratio ein zweiter erhöhter Wert beim ehemaligen Forschungsreaktor Diorit registriert werden (Abbildung 10). Das Photonenspektrum in diesem Bereich liess auf eine ^{60}Co -Quelle schliessen (Abbildung 6). Eine Nachfrage beim Betriebsstrahlenschutz des PSI ergab, dass während des Überflugs im Diorit-Gebäude Container mit aktivierten Abfällen aus dem ehemaligen Forschungsreaktor Saphir zur Befüllung mit Graphitbeton geöffnet wurden.

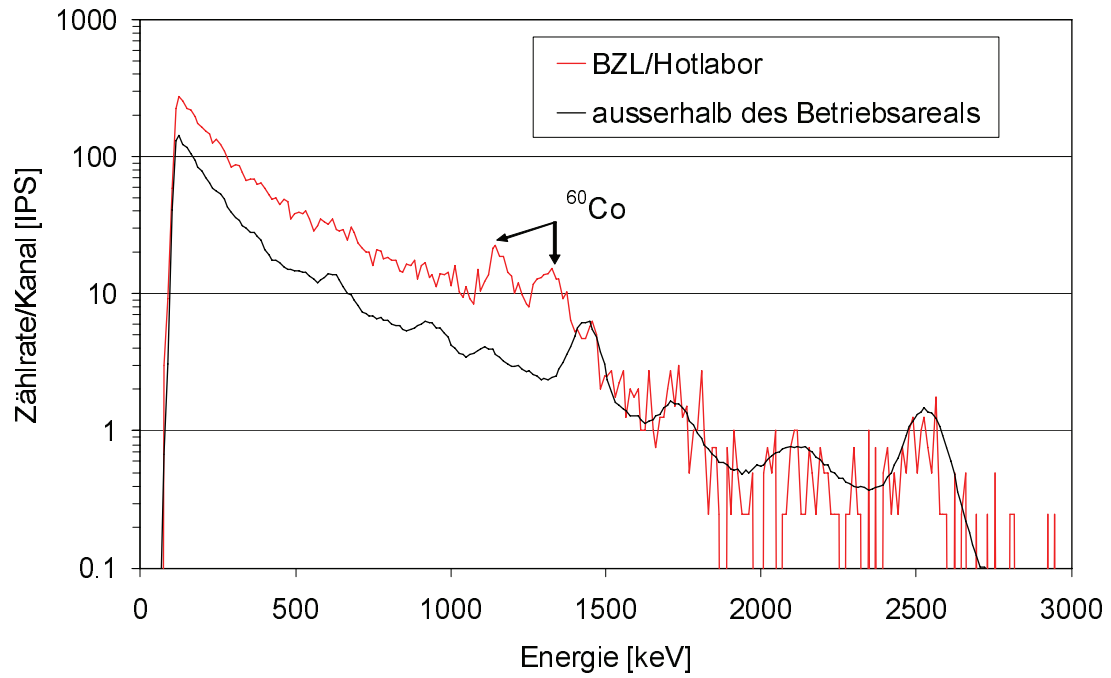


Abbildung 5: Photonenspektrum im Bereich BZL, Betriebsgebäude radioaktive Abfälle und Hotlabor im Vergleich zum Untergrund.

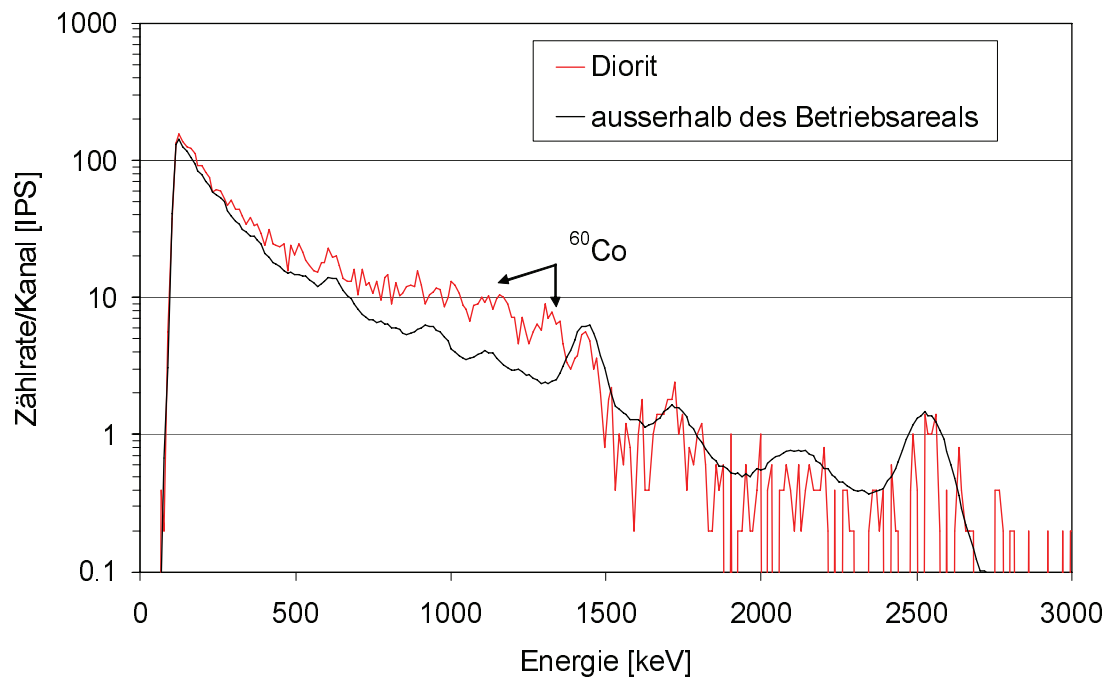


Abbildung 6: Photonenspektrum über dem ehemaligen Forschungsreaktor DIORIT im Vergleich zum Untergrund.

Für die diesjährige Übung wurde im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG ein vom Kompetenzzentrum ABC Spiez zur Verfügung gestellter Neutronendetektor eingesetzt. Diese Messungen sollten der Evaluation des Detektors und seiner Eignung als Ergänzung der luftgestützten Photonenmessung dienen. Der Detektor (Exploranium) besteht aus drei ^3He -Proportionalzählrohren von einem Meter Länge. Der Detektor besitzt nach Herstellerangaben eine Empfindlichkeit von 200 lps bei einem Neutronenfluss von einem Neutron pro Sekunde und Quadratzentimeter. Ein Vergleich mit einem kalibrierten Neutronenmessgerät zeigte für die Americium/Berillium-Neutronenquelle der PSI-Eichstelle eine Empfindlichkeit von 0.6 lps pro nSv/h.

Die Zähl elektronik des Detektors zeigte Sättigungseffekte oberhalb von 250 lps, was einer Dosisleistung von ca 400 nSv/h entspricht. Ebenfalls konnte eine Querempfindlichkeit des Detektors für Photonenstrahlung (Röntgenstrahlung der Strahlenqualität N-300) mit einer Empfindlichkeit grösser als 0.002 lps pro nSv/h nachgewiesen werden. Im Messgebiet war insbesondere die Region über dem PSI-Protonenbeschleuniger von Interesse, da dort oberhalb der Abschirmung Dosisleistungen von 150 - 250 $\mu\text{Sv/h}$ herrschen. Die Karte der Zählrate des Neutronendetektors (Abbildung 11) zeigt in diesem Bereich die höchste Zählrate von 16 lps an. Dieser Wert entspräche einer Dosisleistung von 26 nSv/h in Flughöhe. Es muss aber berücksichtigt werden, dass dieser Messwert nahe an der Nachweisgrenze des Messsystems liegt.

Dagegen konnte weder über den Kernkraftwerken KKL und KKB noch über der ZWILAG eine erhöhte Neutronendosisleistung gemessen werden.

Zusammenfassend lässt sich aus den ermittelten Daten ableiten, dass der aeroradiometrische Einsatz des Neutronendetektors prinzipiell möglich ist. Dieser Einsatz ist im Vergleich zur reinen Photonenmessung aber nur dann sinnvoll, wenn der höchst unwahrscheinliche Fall einer Suche nach einer Neutronenquelle mit vernachlässigbarer Photonenemission eintritt.

3.2 Einsatzübung

Bei der Einsatzübung wurden zwei Messgebiete bei Unteriberg (SZ) und Sattel/Rothenthurm (SZ) aeroradiometrisch vermessen. Das Hauptziel der Einsatzübung lag im organisatorischen Bereich. Die Messteams führten die Vorbereitung (Messlinien, Briefing der Piloten), Messung und Auswertung dieser Messflüge selbstständig durch.

Erwartungsgemäss wiesen die Messresultate keine unerwarteten Anomalien auf. Die Ortsdosisleistung (Abbildung 12) zeigt Variationen, die auf topographische und geologische Unterschiede zurückzuführen sind. Die überflogenen Seen sind anhand der niedrigeren Ortsdosisleistungswerte zu erkennen.

Ein ähnliches Bild zeigen die ^{137}Cs -Aktivitäten (Abbildung 14). Auch hier sind keine Werte zu erkennen, welche nicht auf den Tschernobyl- bzw. Bombentest-Fallout zurückgeführt werden können. Das MMGC-Ratio (Abbildung 13) bestätigt diese Aussagen.

3.3 Stadtgebiete Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds

Mit Neuchâtel und La Chaux-de-Fonds wurden zwei weitere Stadtgebiete aeroradio-

metrisch vermessen. Aufgrund der höheren Lage von La Chaux-de-Fonds und dem damit verbundenen grösseren Beitrag der kosmischen Strahlung an die Ortsdosisleistung liegen die Ortsdosisleistungen im Messgebiet La Chaux-de-Fonds (Abbildung 18) etwas höher als im Messgebiet Neuchâtel (Abbildung 15). Die Ortsdosisleistungen liegen im Bereich, der aufgrund der geographischen Lage und den geologischen Verhältnissen zu erwarten ist.

Beide Gebiete weisen tiefe ^{137}Cs -Aktivitäten auf (Abbildungen 20 und 17). Auch das MMGC-Ratio (Abbildungen 19 und 16) zeigt keine Anomalien, die auf künstliche Radioaktivität zurückzuführen wären.

3.4 Übung zur Quellensuche

In einer gemeinsamen Übung mit den örtlichen Einsatzkräften der Polizei, der Feuerwehr und des Zivilschutzes wurde südlich von Le Cerneux-Péquignot (NE) die Quellensuche geübt. Dazu wurden durch das Institut Universitaire de Radiophysique Appliquée (IRA) drei radioaktive Quellen mit je 2.6 GBq ^{137}Cs an den Koordinaten (541530, 206919: Quelle 1), (541486, 206938: Quelle 2) und (541354, 206960: Quelle 3) ausgelegt. Quelle 1 war zudem in einer Abschirmung untergebracht, welche die Photonenemission auf etwa ein Viertel des un abgeschirmten Wertes reduzierte. Die Abstände der Quellen voneinander lagen bei 48 m, 134 m und 181 m. Abbildung 21 zeigt das MMGC-Ratio als Kenngrösse für künstliche Radionuklide im Gebiet der Quellensuche. In dieser Abbildung wurde die Zellgrösse mit 20 m so gewählt, dass jedes gemessene Spektrum einem Punkt entlang der Fluglinie entspricht. Es kann klar eine Verdachtsfläche (eingekreist) im untersuchten Messgebiet identifiziert werden. Eine vergrösserte Darstellung der Verdachtsfläche (Abbildung 22) zeigt Hinweise auf die Einzelquellen. Die Karte der ^{137}Cs -Aktivität (Abbildung 23) zeigt ein zur MMGC-Ratio-Karte praktisch identisches Muster, woraus geschlossen werden kann, dass ^{137}Cs Aktivität vorliegt. Die aeroradiometrischen Daten deuten aufgrund der lokalen Maxima und der räumlichen Ausdehnung der erhöhten Werte auf drei ^{137}Cs -Quellen hin. Zwei Quellen (1 und 2) liegen sehr nahe beieinander und wurden mit einer Messlinie und einem anschliessenden Schwebeflug praktisch überflogen. Eine dritte Quelle (3) liegt zwischen zwei Fluglinien. Aufgrund der gemessenen Zählraten können die Aktivitäten der Punktquellen grob geschätzt werden. Für Quellen 1 und 2, welche vermutlich direkt überflogen wurden, wurden Aktivitäten von 2.5 GBq bis 3 GBq ermittelt. Die Aktivität der dritten Quelle, welche nicht direkt überflogen wurde, aber zu ähnlich hohen Zählraten führte wie die Quellen 1 und 2, wird zu rund 6 GBq abgeschätzt.

Bei einer Flughöhe von 90 m liegen die Entfernungen der Quellen in der Nähe des örtlichen Auflösungsvermögens der Aeroradiometrie, was die nicht optimale Interpretation der Aktivitäten anhand der Messdaten erklären kann.

In einem Fall wie der vorliegenden Quellenkonfiguration sind Suchstrategie und Feineinstellung der Auswerteparameter entscheidende Grössen für den Sucherfolg.

Anpassungen der Suchstrategie durch dichtere Fluglinien über Verdachtsflächen mit gleichzeitiger Reduktion der Flughöhe sowie eine durch die Software unterstützte Wahl von optimalen Auswerteparametern werden in die nächstjährige Übung einfließen.

3.5 Bahnstecke Bern - Zürich

In Absprache mit den Schweizerischen Bundesbahnen (SBB) wurde die Bahnstrecke Bern-Zürich von Mattstetten bis zum Heitersbergtunnel aeroradiometrisch vermessen. Die berechneten Ortsdosisleistungen (Abbildung 24) zeigten durchwegs für das schweizerische Mittelland übliche Werte. Gleiches gilt auch für die Resultate der ^{137}Cs -Aktivitäten (Abbildung 26) und des MMGC-Ratios (Abbildung 25). Es wurden keine Anomalien registriert.

4 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 dose rate 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., I/2004, p. 61-73, ISSN-Nr. 0934-6554, 2004.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM05. PSI-Bericht 06-06, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2006.

Estier, S., Beuret, P., Byrde, F., Röllin, S., Schibli, M., Bucher, B., Buchillier, T., Froidevaux, P.: Mesures d'intercomparaison en spectrométrie gamma in situ dans la région de La Chaux-de-Fonds 2006, Interner Bericht SUeR BAG, 2006.

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

KKB/KKL/PSI/ZWILAG
2006

Ortsdosisleistung

— Flugweg

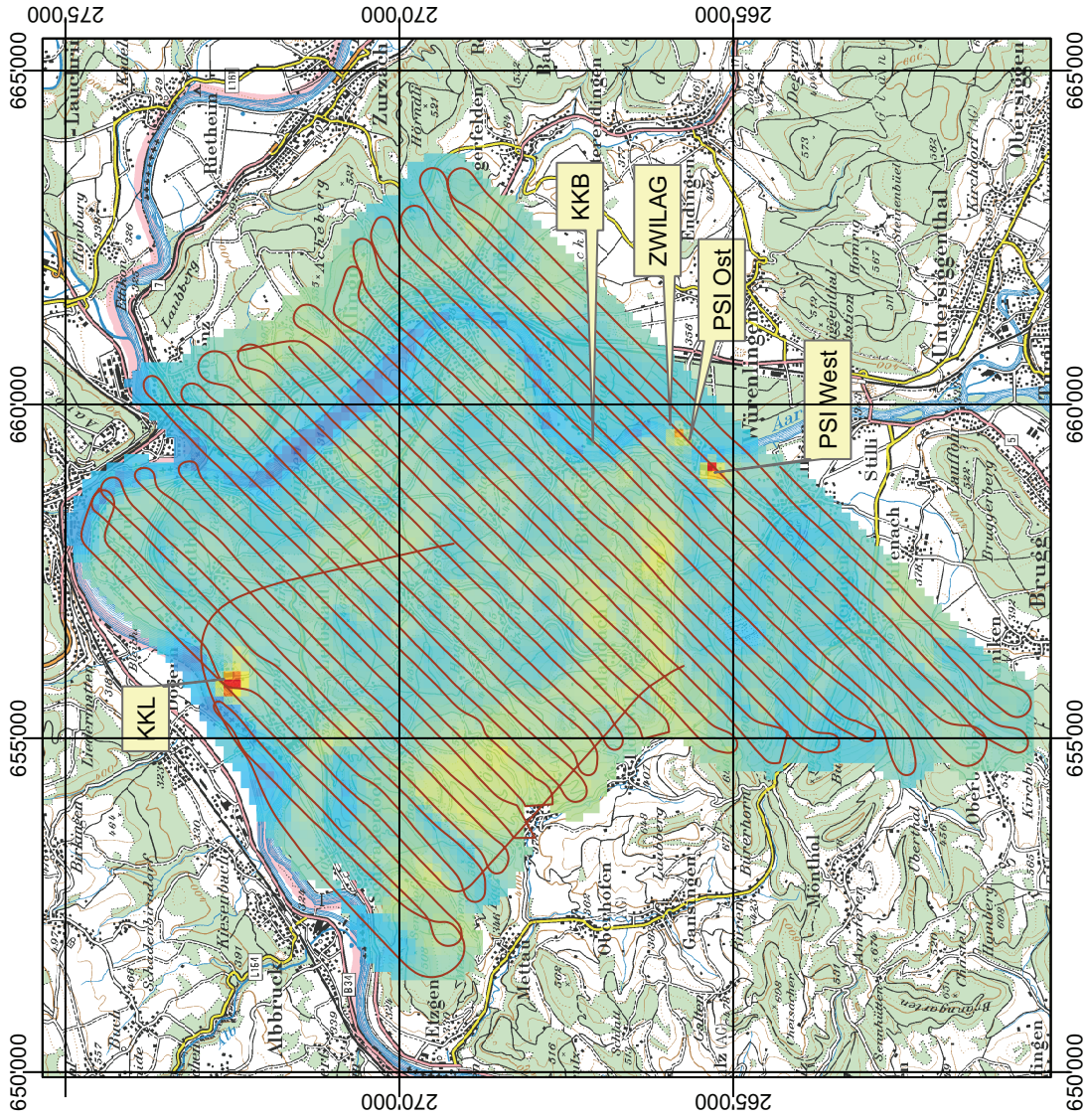
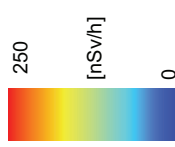


Abbildung 7: Ortsdosisleistung in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

KKB/KKL/PSI/ZWILAG
2006

¹³⁷Cs-Aktivität

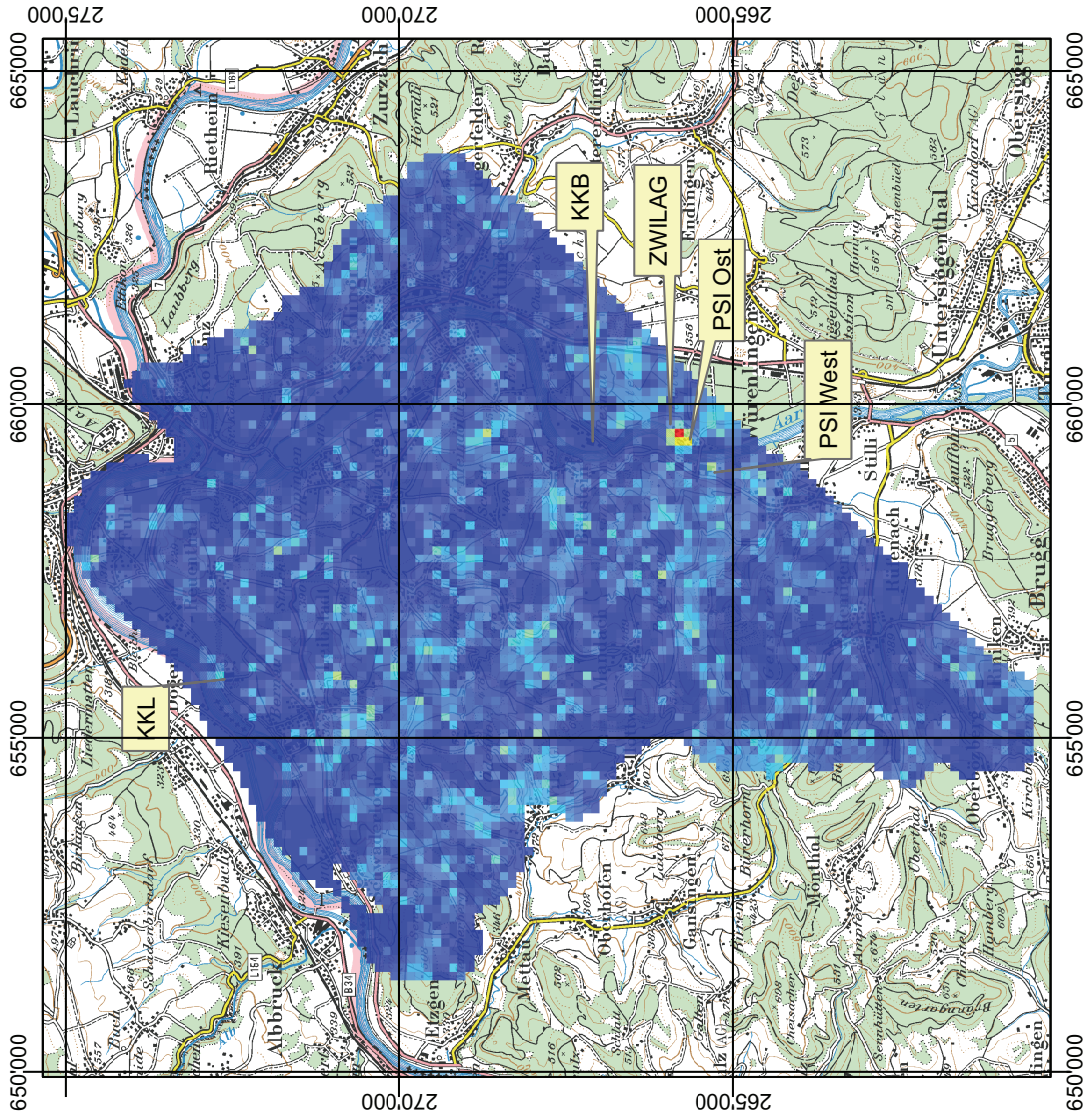
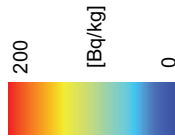


Abbildung 9: ¹³⁷Cs-Aktivität in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

KKB/KKL/PSI/ZWILAG
2006

MMGC-Ratio

— Flugweg

316 - 500

501 - 600

601 - 700

701 - 800

801 - 5000

0 25 50 75 100 Meter

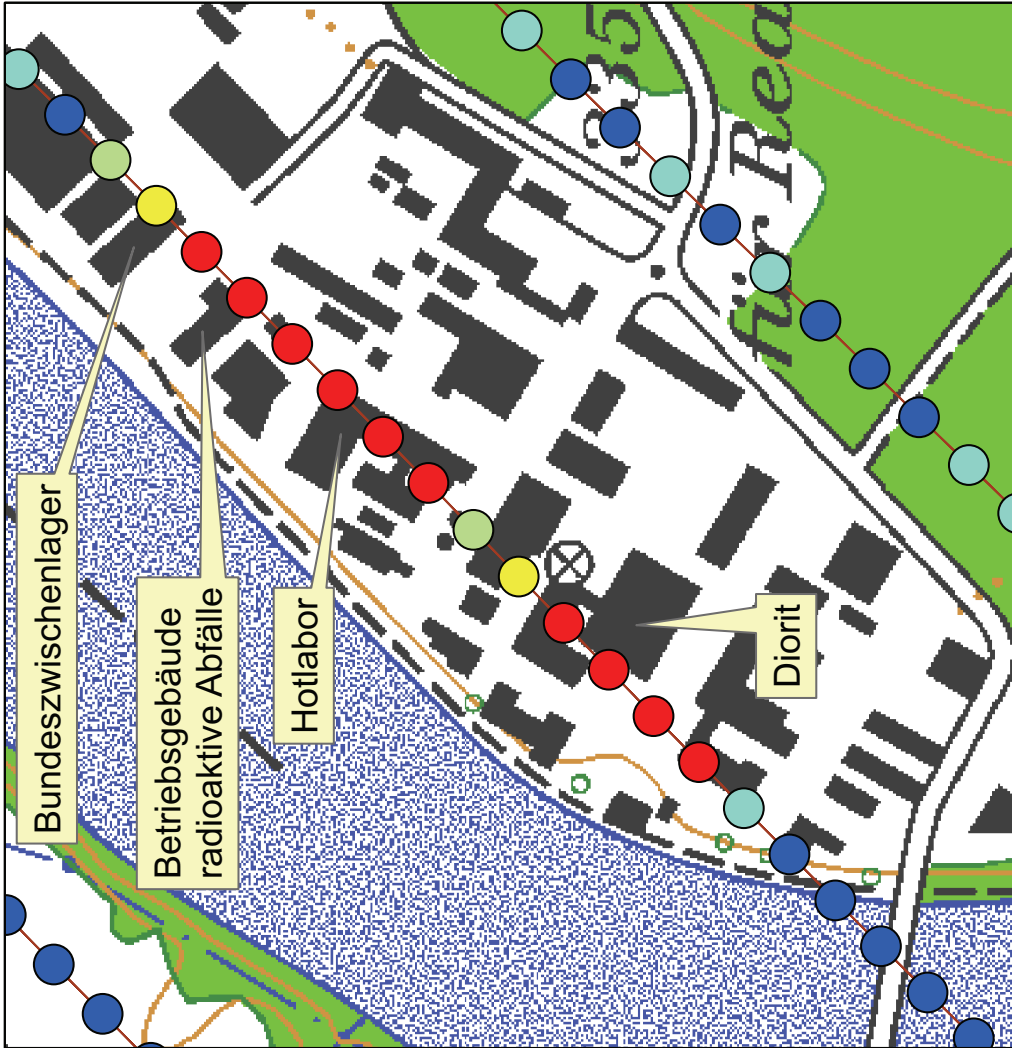


Abbildung 10: MMGC-Ratio über den Anlagen PSI-Ost. PK25©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

KKB/KKL/PSI/ZWILAG
2006

Zählrate Neutronendetektor

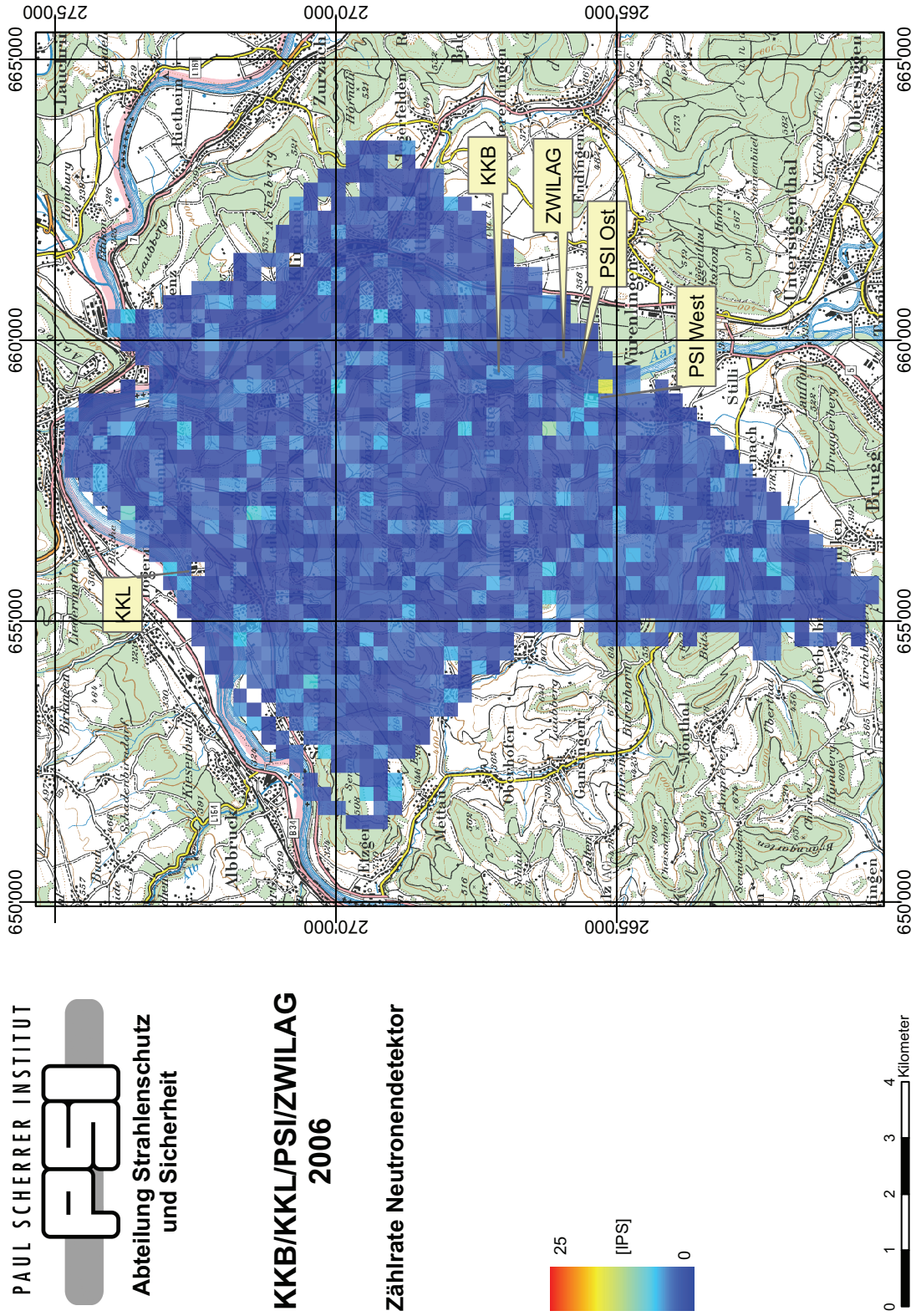


Abbildung 11: Zählrate des Neutronendetektors in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo

Einsatzübung 2006

Ortsdosisleistung

— Flugweg

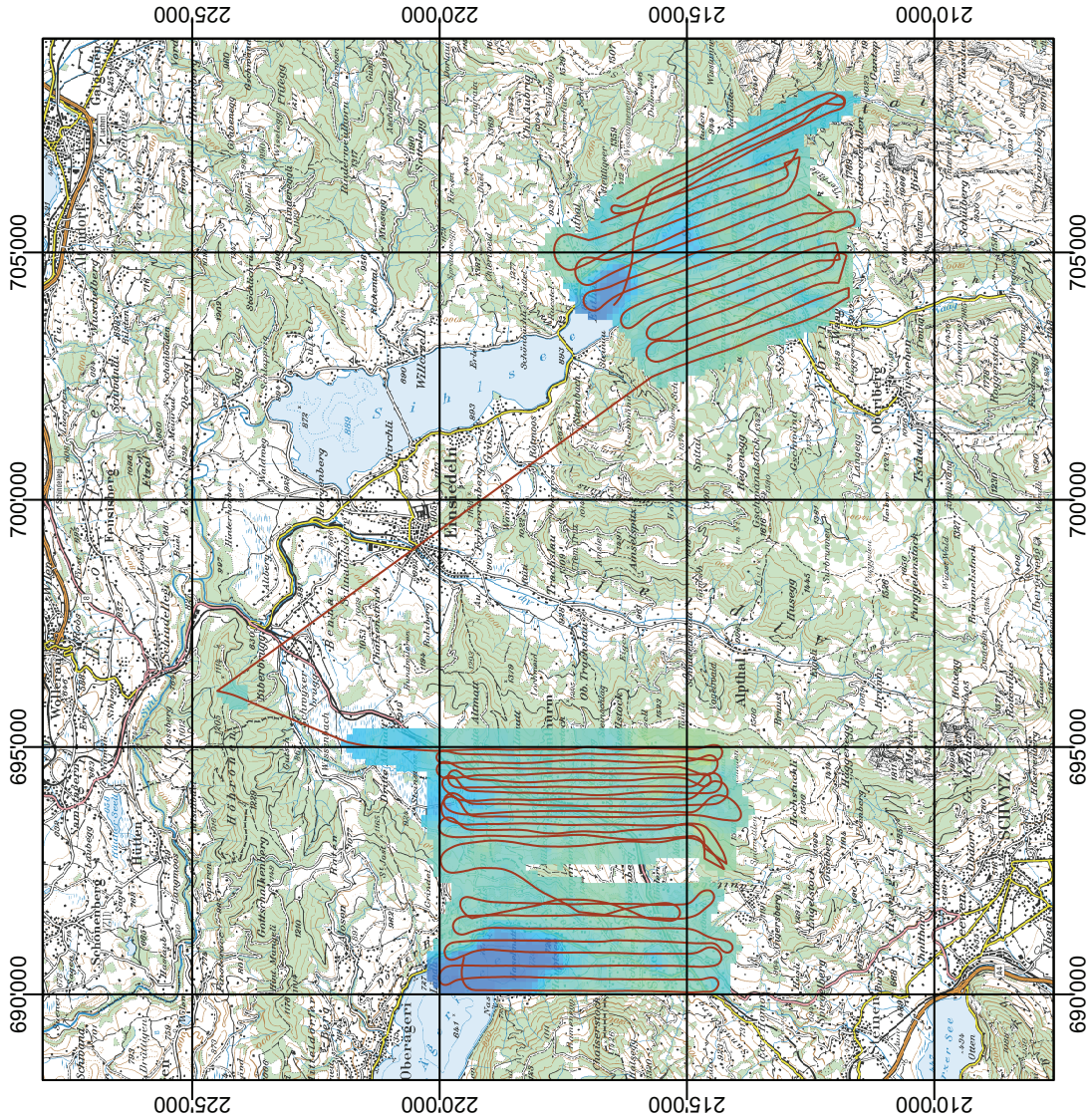
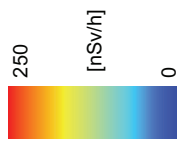


Abbildung 12: Ortsdosisleistung im Gebiet der Einsatzübung. PK100©2003 swiss topo

Einsatzübung 2006

MMGC-Ratio

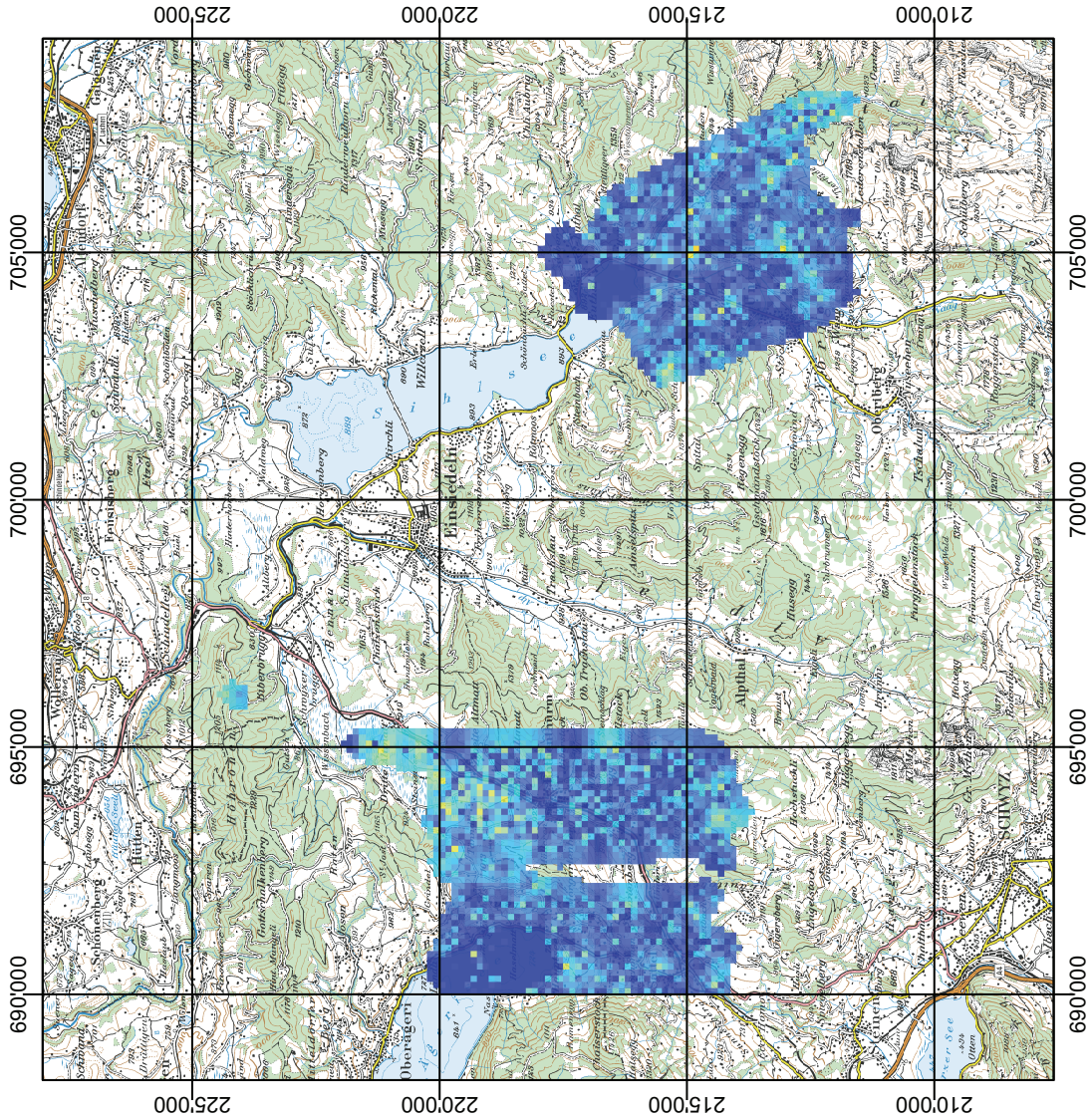
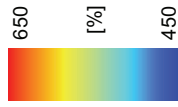


Abbildung 13: MMGC-Ratio im Gebiet der Einsatzübung. PK100©2003 swisstopo

Einsatzübung 2006

¹³⁷Cs-Aktivität

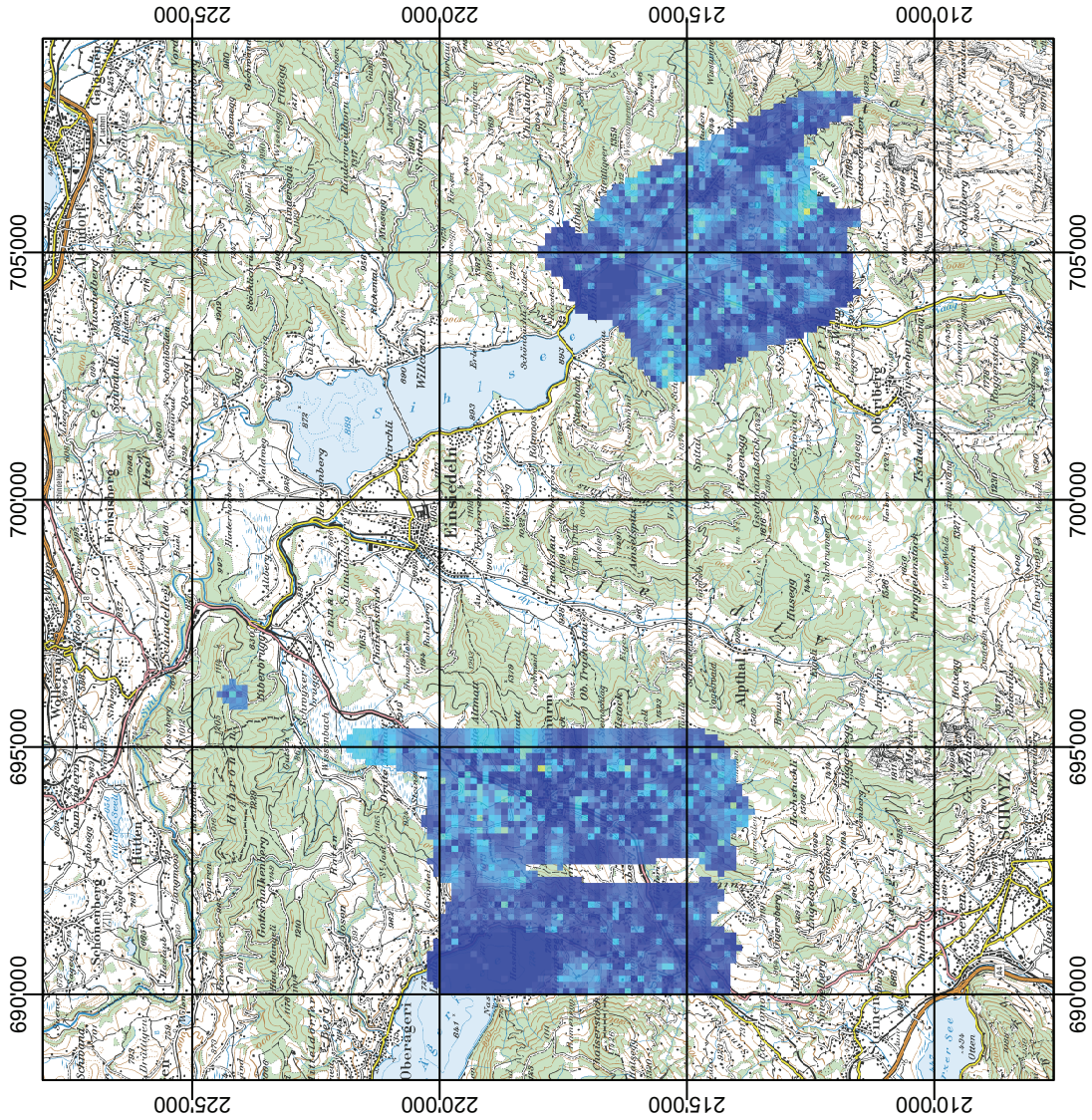
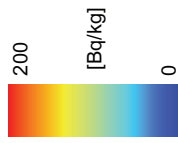


Abbildung 14: ¹³⁷Cs-Aktivität im Gebiet der Einsatzübung. PK100©2003 swisstopo

Neuchâtel 2006

Ortsdosisleistung

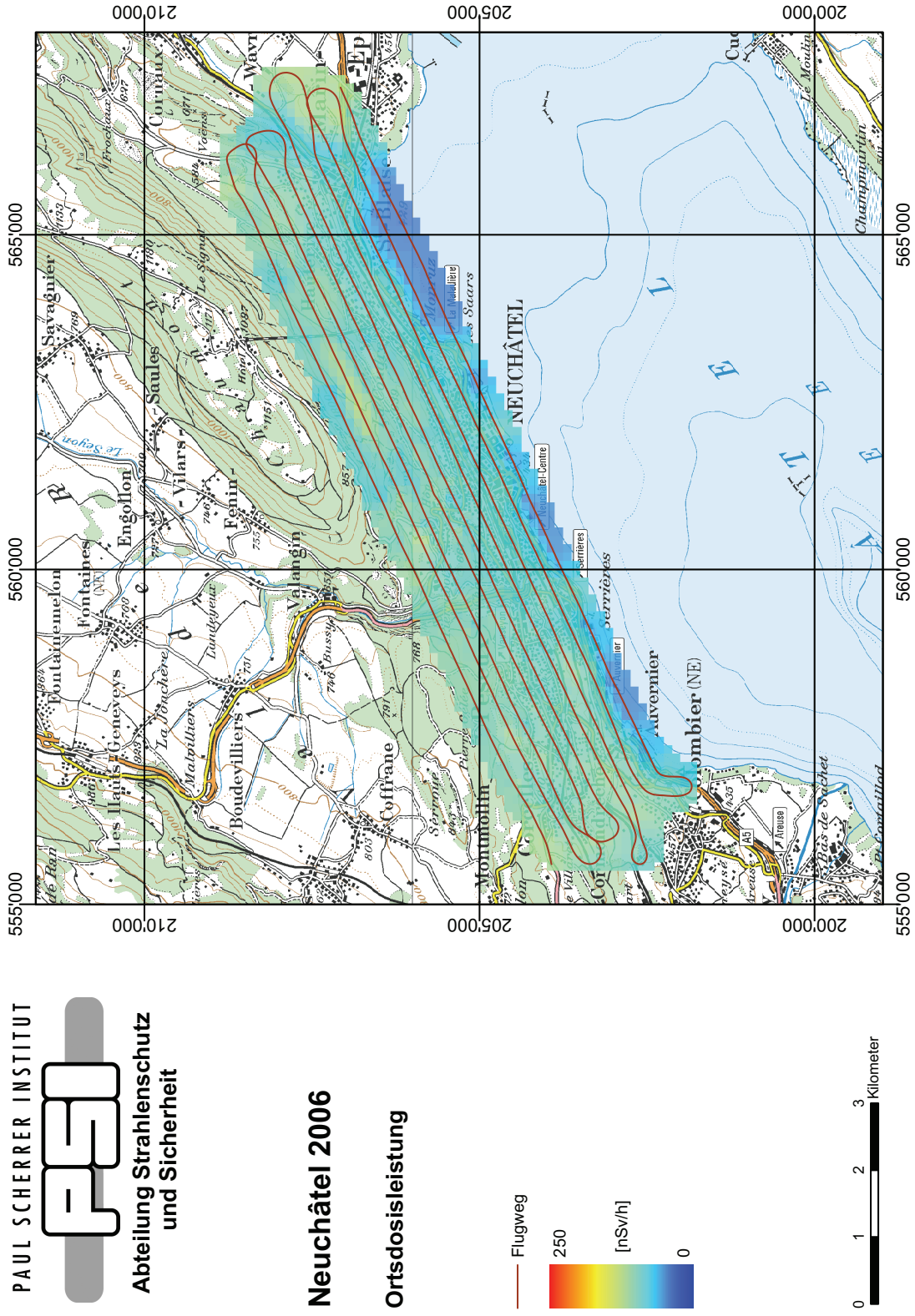


Abbildung 15: Ortsdosisleistung im Stadtgebiet von Neuchâtel. PK100©2003 swisstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

Neuchâtel 2006

MMGC-Ratio

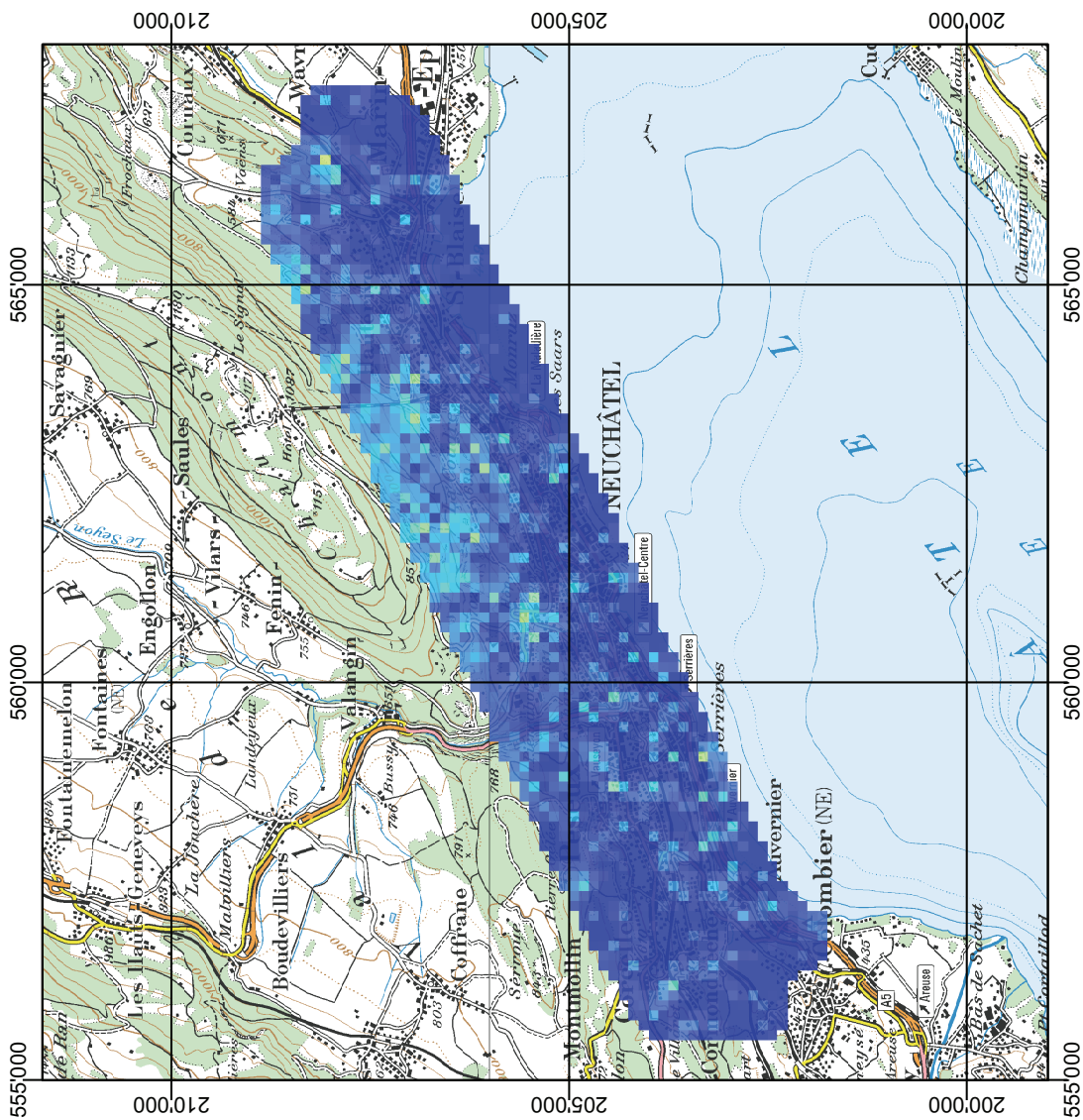
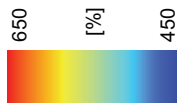


Abbildung 16: MMGC-Ratio im Stadtgebiet von Neuchâtel. PK100©2003 swiss topo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Neuchâtel 2006

¹³⁷Cs-Aktivität

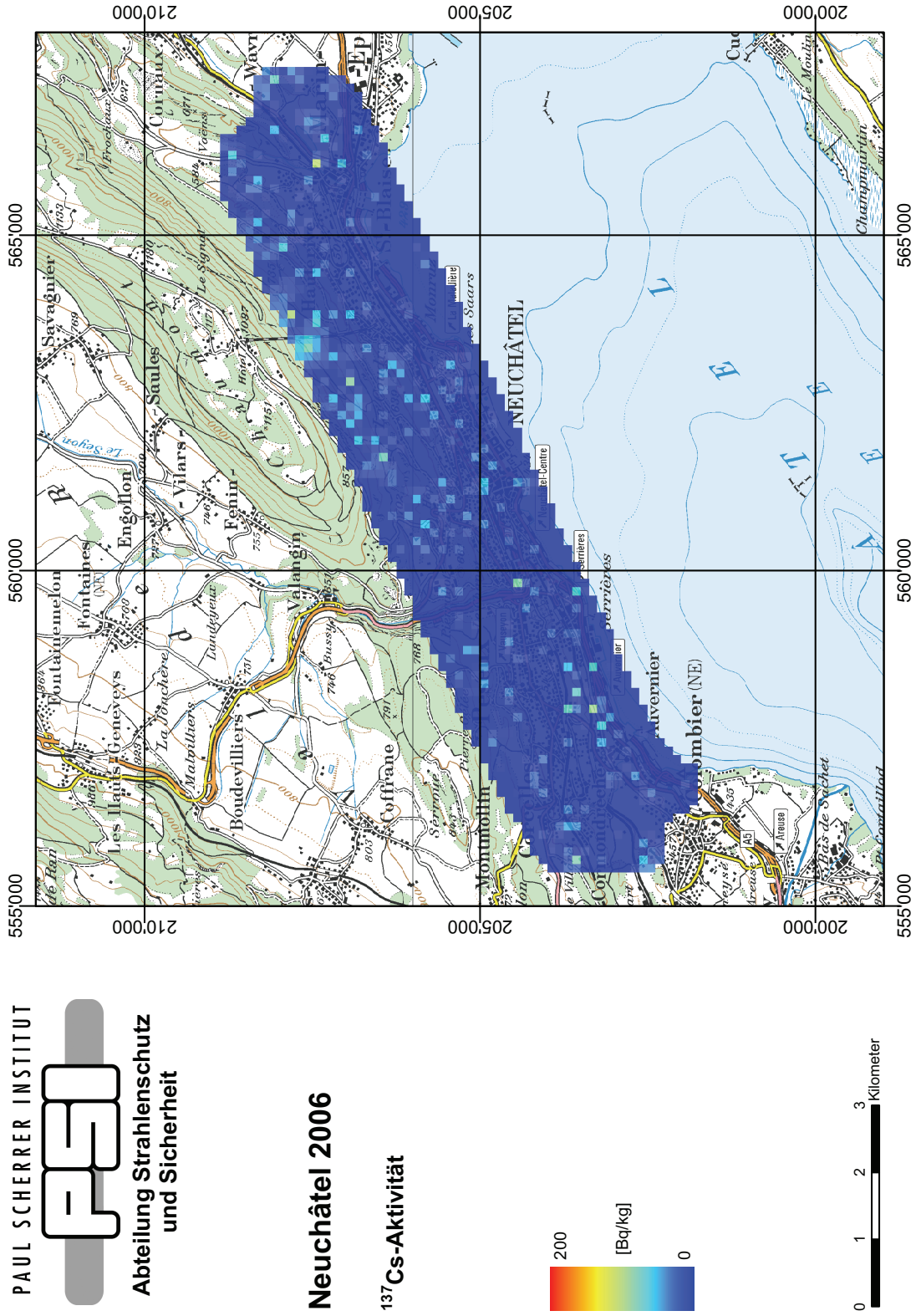


Abbildung 17: ¹³⁷Cs-Aktivität im Stadtgebiet von Neuchâtel. PK100©2003 swiss topo

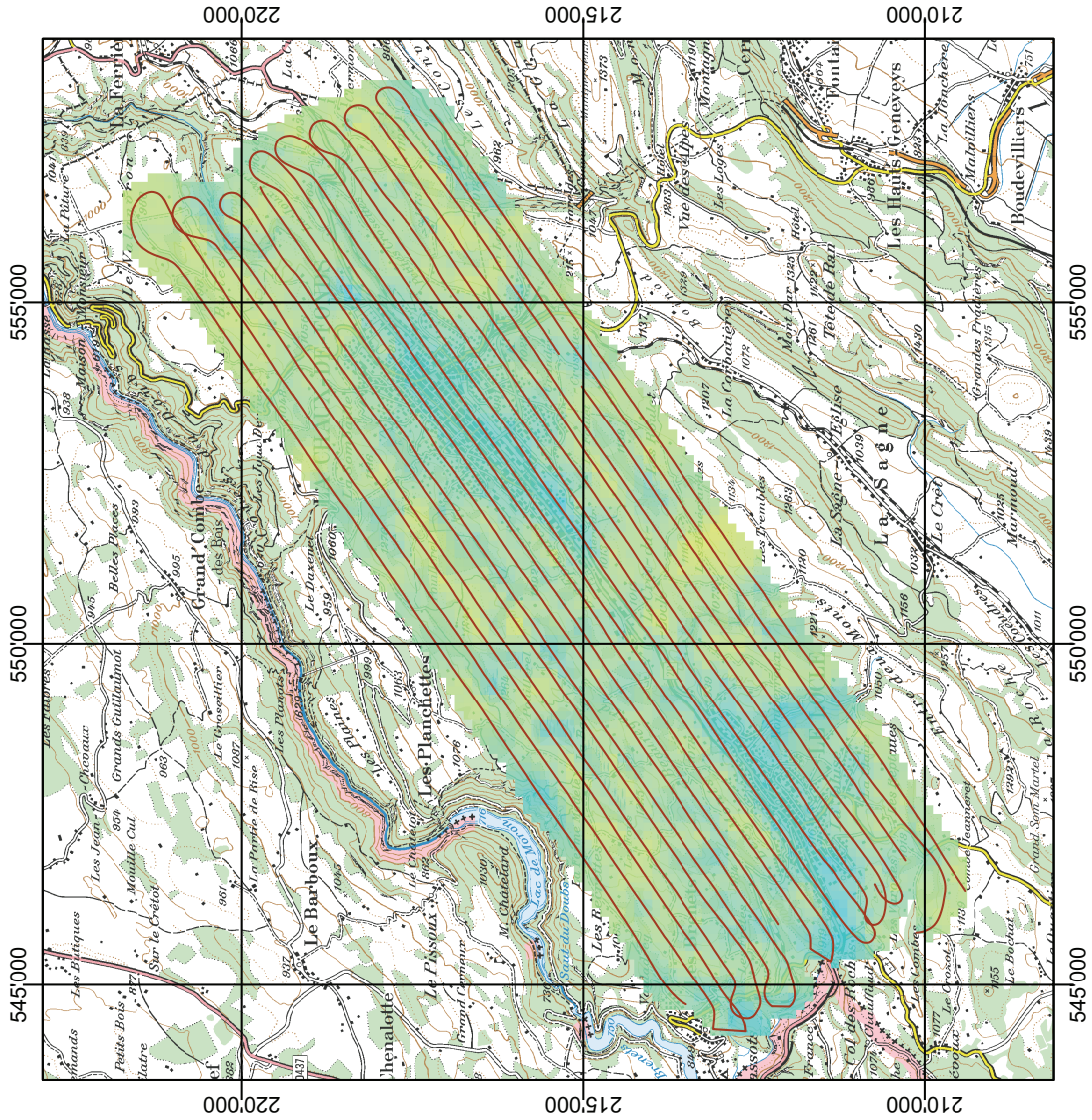
PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

La Chaux-de-Fonds 2006

Ortsdosisleistung



— Flugweg

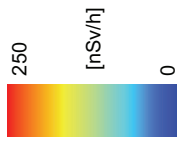


Abbildung 18: Ortsdosisleistung im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds. PK100©2003 swissstopo

PAUL SCHERRER INSTITUT



Abteilung Strahlenschutz
und Sicherheit

La Chaux-de-Fonds 2006

MMGC-Ratio

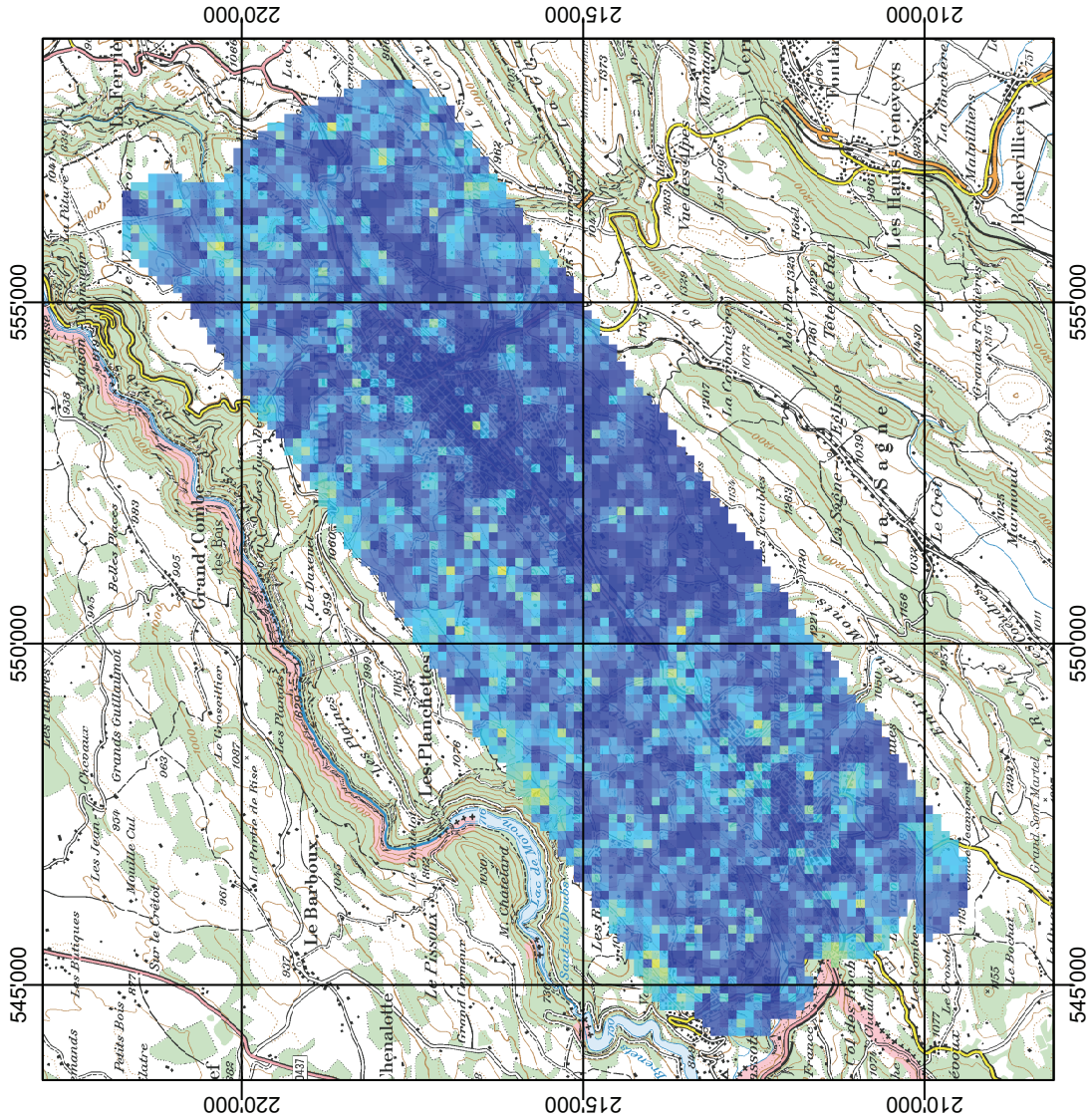
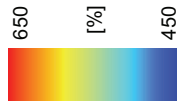


Abbildung 19: MMGC-Ratio im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds. PK100©2003 swisstopo

La Chaux-de-Fonds 2006

¹³⁷Cs-Aktivität

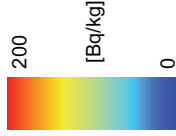
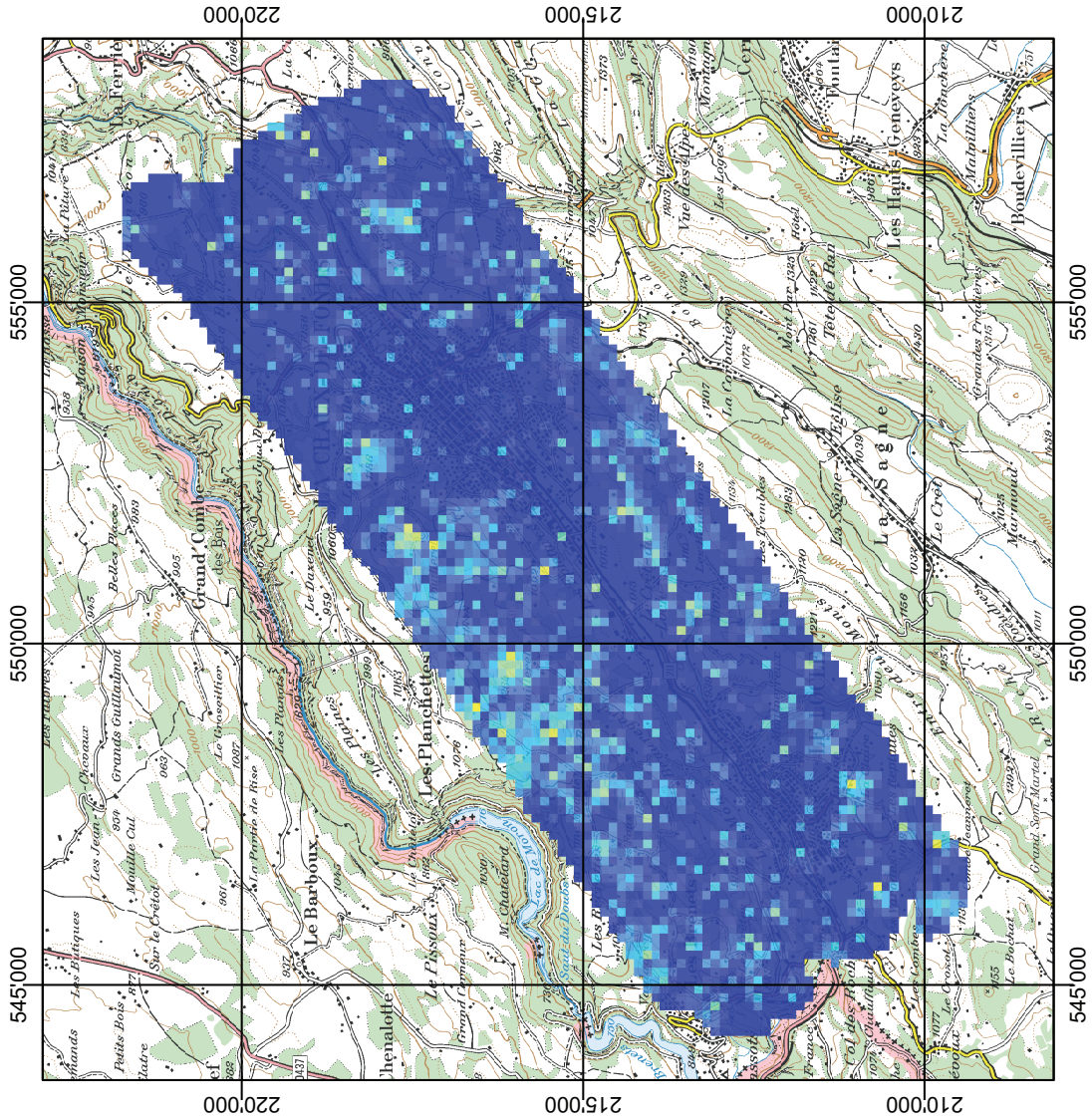


Abbildung 20: ¹³⁷Cs-Aktivität im Stadtgebiet von La Chaux-de-Fonds. PK100©2003 swissstopo

Quellensuche 2006

MMGC-Ratio

— Flugweg

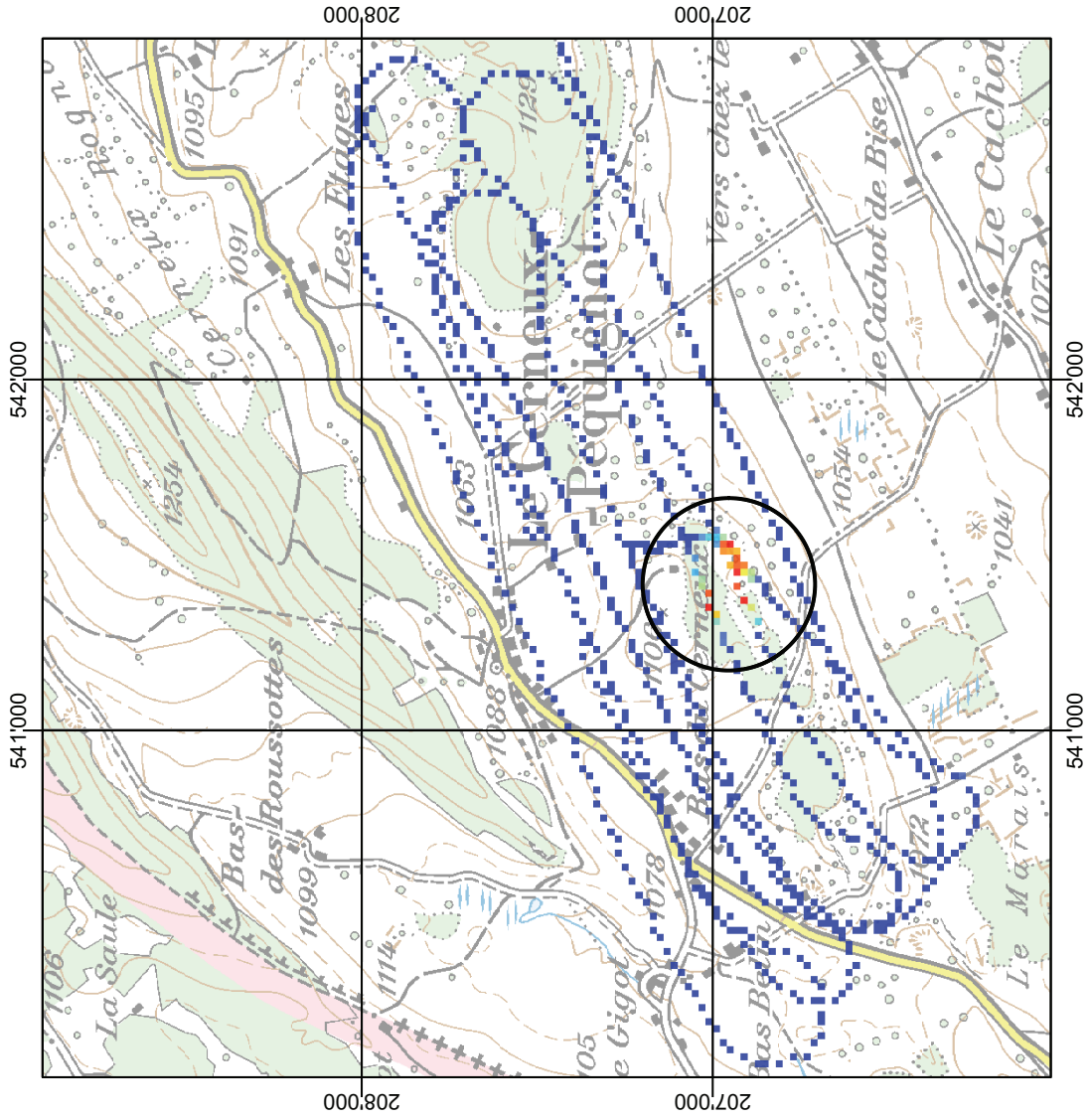


Abbildung 21: MMGC-Ratio im Gebiet der Quellensuche. PK50©2003 swisstopo

Quellensuche 2006

MMGC-Ratio

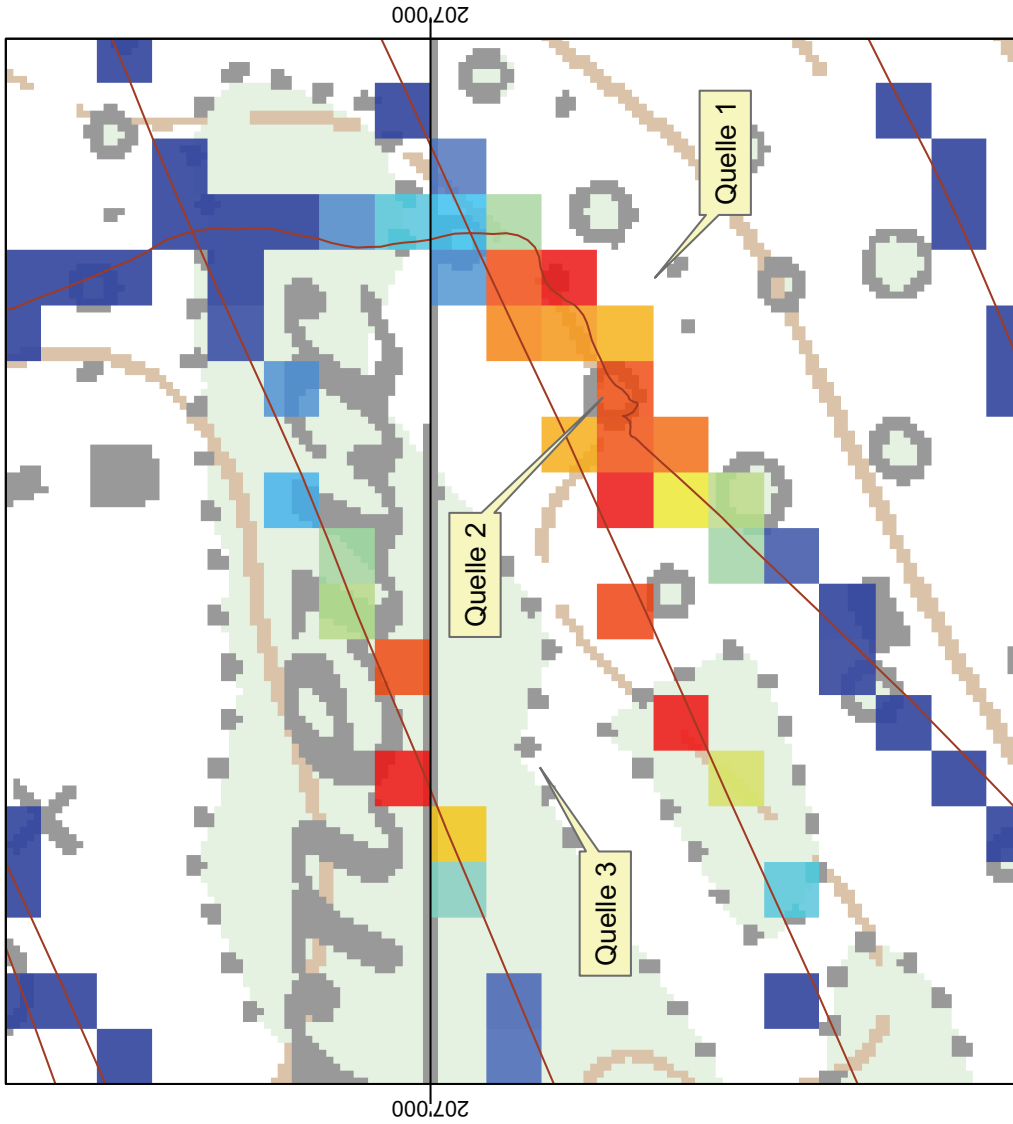
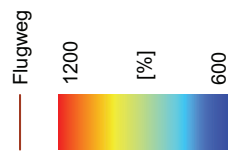


Abbildung 22: MMGC-Ratio im Bereich der ausgelegten Quellen. PK50©2003 swisstopo

Quellensuche 2006

¹³⁷Cs-Aktivität

— Flugweg

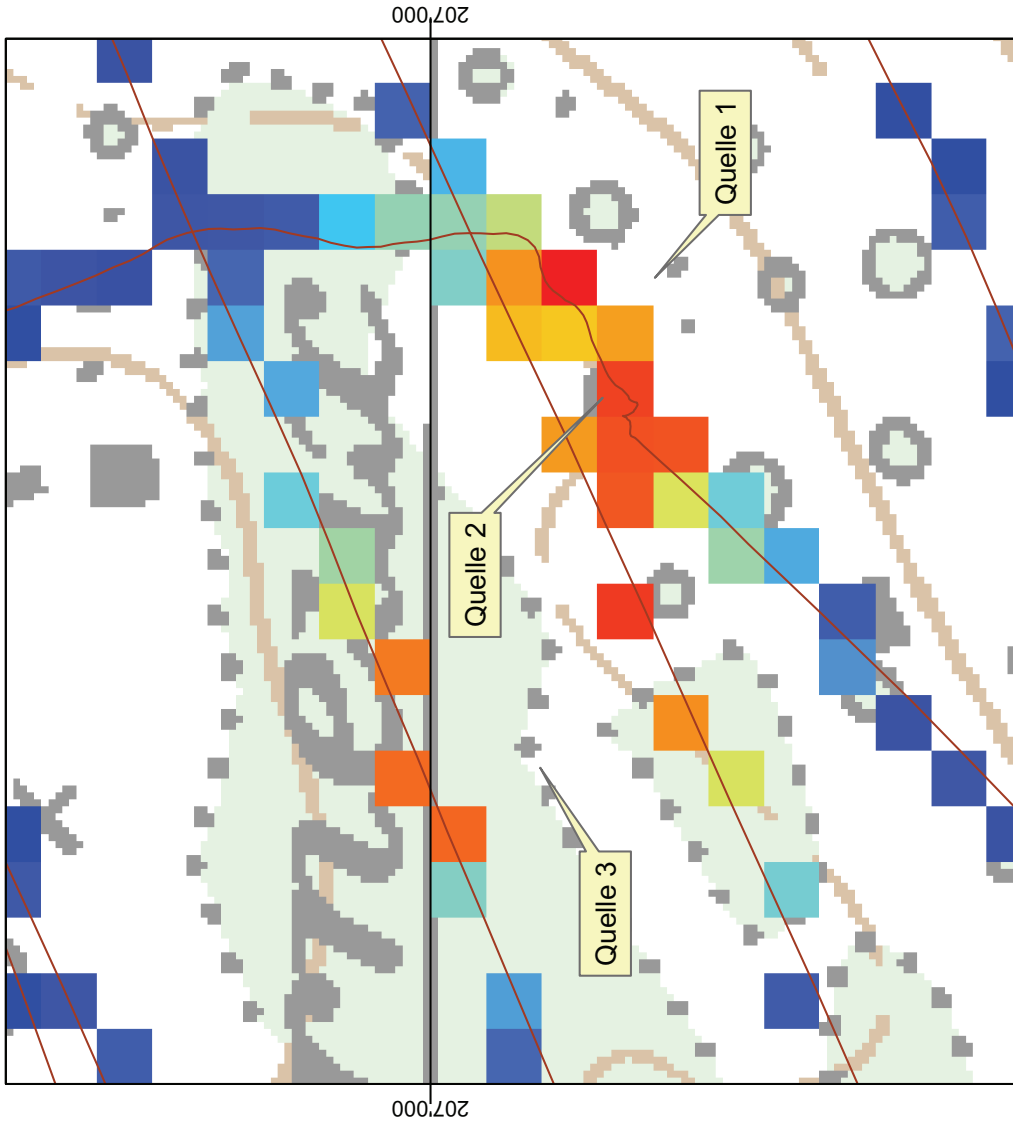
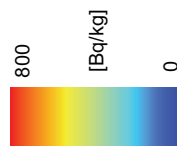


Abbildung 23: ¹³⁷Cs-Aktivität im Bereich der ausgelegten Quellen. PK50©2003 swissstopo

Bahnstrecke Bern - Zürich 2006

Ortsdosisleistung

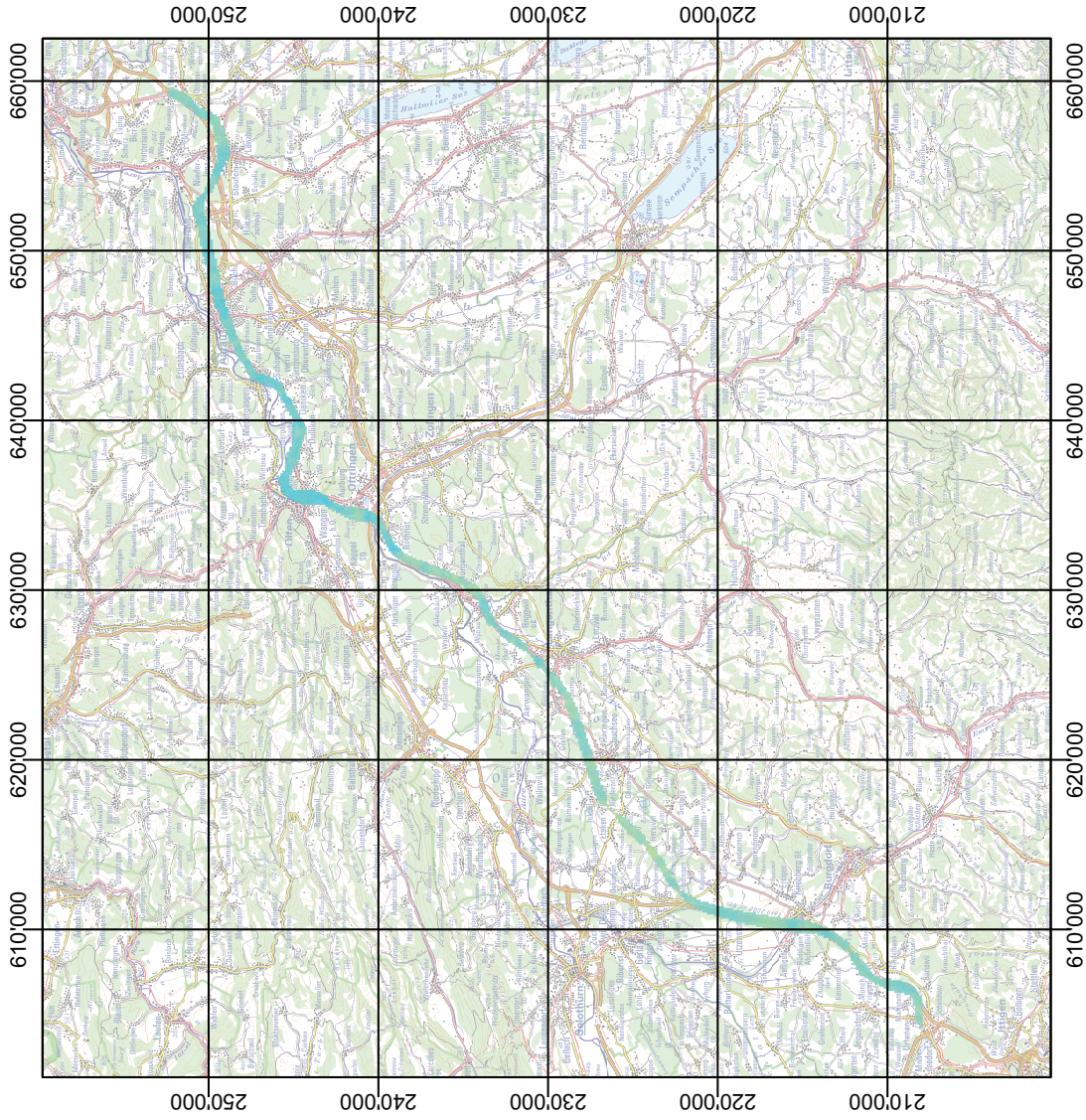
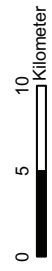
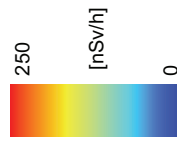


Abbildung 24: Ortsdosisleistung entlang der Bahnlinie Bern - Zürich. PK200©2003 swisstopo

**Bahnstrecke
Bern - Zürich 2006**

MMGC-Ratio

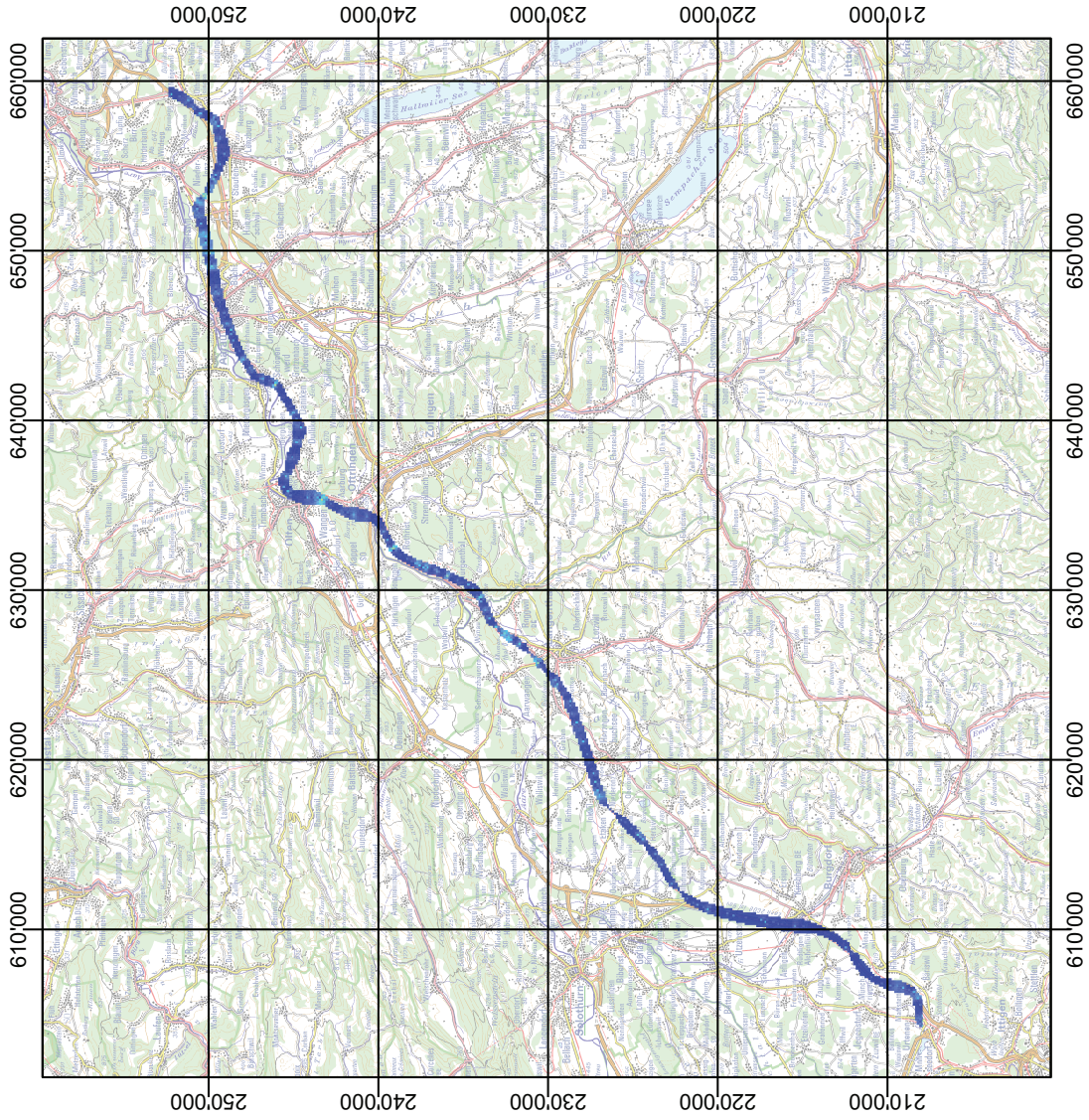
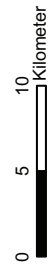


Abbildung 25: MMGC-Ratio entlang der Bahnlinie Bern - Zürich. PK200©2003 swisstopo

**Bahnstrecke
Bern - Zürich 2006**

¹³⁷Cs-Aktivität

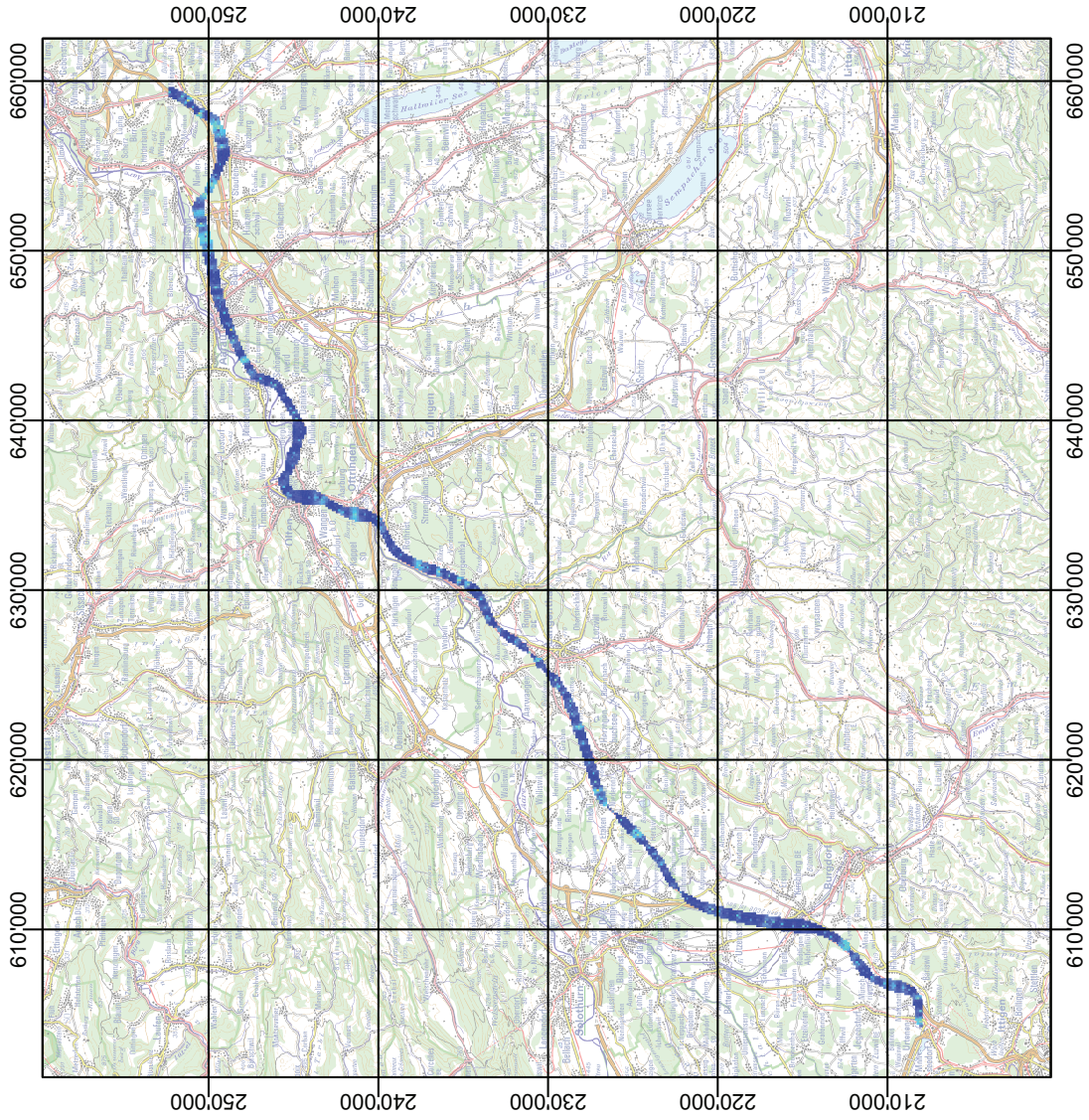
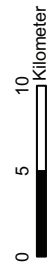
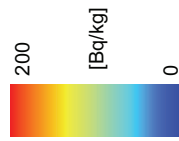


Abbildung 26: ¹³⁷Cs-Aktivität entlang der Bahnlinie Bern - Zürich. PK200©2003 swisstopo