

PAUL SCHERRER INSTITUT



PSI Bericht Nr. 09-02

Januar 2009

ISSN 1019-0643

Fachbereich Logistik  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

## **Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM08**

Benno Bucher, Gernot Butterweck, Ladislaus Rybach,  
Georg Schwarz



Fachbereich Logistik  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

## Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM08

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

<sup>1</sup> Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, 5232 Villigen-ENSI, Schweiz

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

<sup>3</sup> Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich, Schweiz



## **Zusammenfassung**

Die Messflüge im Rahmen der Übung ARM08 fanden vom 26. bis 29. Mai 2008 unter der Leitung von G. Scharding (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.

Mit Basel, Bern und Genf 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 Personal des Stabs BR NAZ führte die komplette Übung eigenverantwortlich durch. Die technische und wissenschaftliche Unterstützung durch PSI und das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) wurde erstmals im Rahmen einer Rufbereitschaft realisiert.

## **Abstract**

The measurement flights of the exercise ARM08 were performed between 26<sup>th</sup> and 29<sup>th</sup> of May 2008 under the direction of G. Scharding 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 (ZWI-LAG) were inspected. The measurements showed similar results to those obtained in former years.

The measurements above cities were continued with the cities of Basel, Berne and Geneva. Western Switzerland was largely spared from Chernobyl fallout, a fact which was reflected in the results of the airborne gamma spectroscopic (ARM) measurements. The military measuring teams performed the exercise completely autonomous. For the first time, technical and scientific support was supplied by PSI and the Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate (ENSI) as on-call service.

**INHALT**

1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Messgeräte .....	1
1.2 Messflüge .....	2
1.3 Auswertung .....	2
2 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM08 .....	3
2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG .....	4
2.2 Stadtgebiete Basel, Bern und Genf .....	7
3 LITERATUR .....	9

**TABELLEN**

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter. .... 3

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM08. .... 3

## FIGUREN

Abbildung 1: Vergleich der Spektren mit und ohne $^{16}\text{N}$ -Photonenemission. ....	4
Abbildung 2: Für den Kurzbericht ARM 2008 erstellte Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG. ....	6
Abbildung 3: Thoriumaktivitäten im Bereich der Anomalie für die Messflüge 2002, 2004, 2006 und 2008. ....	7
Abbildung 4: Vergleich des Spektrums der Anomalie bei Ostermundigen zum gesamten Messgebiet Bern. ....	8
Abbildung 5: Vergleich des Spektrums der Anomalie bei Liestal zum gesamten Messgebiet Liestal/Bubendorf. ....	9
Abbildung 6: Fluglinien in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	12
Abbildung 7: Ortsdosisleistung in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	13
Abbildung 8: MMGC-Ratio in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	14
Abbildung 9: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	15
Abbildung 10: $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	16
Abbildung 11: $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. ....	17
Abbildung 12: Fluglinien im Gebiet von Basel. ....	18
Abbildung 13: Ortsdosisleistung im Gebiet von Basel. ....	19
Abbildung 14: MMGC-Ratio im Gebiet von Basel. ....	20
Abbildung 15: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Basel. ....	21
Abbildung 16: Fluglinien im Gebiet von Bern. ....	22
Abbildung 17: Ortsdosisleistung im Gebiet von Bern. ....	23
Abbildung 18: MMGC-Ratio im Gebiet von Bern. ....	24
Abbildung 19: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Bern. ....	25
Abbildung 20: Fluglinien im Gebiet von Genf. ....	26
Abbildung 21: Ortsdosisleistung im Gebiet von Genf. ....	27
Abbildung 22: MMGC-Ratio im Gebiet von Genf. ....	28
Abbildung 23: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Genf. ....	29



## 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 dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI), welches am 1. Januar 2009 seine Tätigkeit als Nachfolgeorganisation der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) aufgenommen hat.

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 war im Bereich A der KomABC als Arbeitsgruppe Aeroradiometrie eingegliedert und wird seit 2008 durch die NAZ als Arbeitsgruppe weitergeführt.

Weitere Einzelheiten sind auf <http://www.far.ensi.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 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 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.



## 2 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM08

Die Messungen des Jahres 2008 erfolgten mit einem Super Puma Helikopter der Armee in der Zeit vom 26. bis zum 29. Mai 2008. Die Messflüge standen unter der Leitung von G. Scharding (NAZ). Das Personal des Stabs BR NAZ führte die komplette Übung eigenverantwortlich durch. Die technische und wissenschaftliche Unterstützung durch das PSI und die HSK wurde erstmals im Rahmen einer Rufbereitschaft realisiert.

**Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM08 verwendet wurden.**

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	250	106	90	45/225
Bern	125	62	90	135/315
Genf	125	68	90	45/225
Basel	125/250	23	90	60/240 0/180 90/270

Die Daten aller im Rahmen der Übung ARM08 durchgeführten Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 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 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM08.**

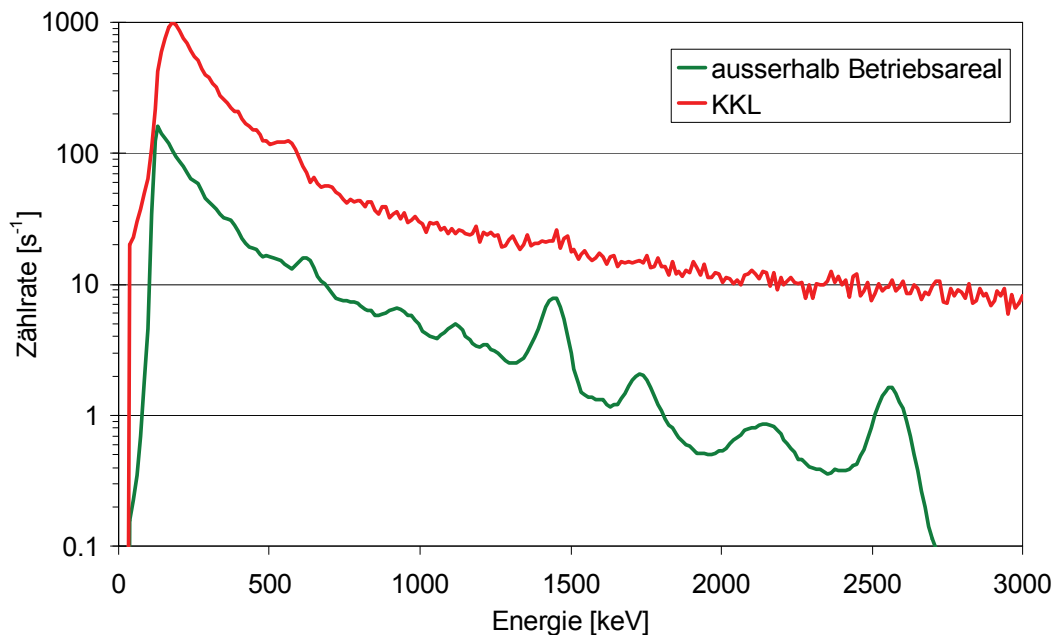
Messgebiet	Flug- Nummern	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	2008005 2008007	26.5.2008	12383	404
Bern	2008010 2008013 2008019	27.5.2008  29.5.2008	11994	411
Genf	2008015 2008016	28.5.2008	12259	430
Basel	2008017 2008018	29.5.2008	3737	122

## 2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG

Im Jahre 2008 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie des Forschungsinstituts Paul Scherrer Institut (PSI) und des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG) aeroradiometrisch vermessen.

Die gemessene Ortsdosisleistung (Abb. 7) zeigt erhöhte Werte beim KKL, 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.

Ein Anteil der Dosisleistung über dem Betriebsgelände des KKL wird durch hochenergetische Photonenstrahlung des Radionuklids  $^{16}\text{N}$  erzeugt. Durch Compton-Streuung in der Atmosphäre und im Detektor verlieren diese Photonen Energie, so dass eine Erhöhung der Zählrate im gesamten Spektrum im Vergleich zum Untergrundspektrum beobachtet wird (Abb. 1).



**Abbildung 1: Vergleich der Spektren mit und ohne  $^{16}\text{N}$ -Photonenemission.**

Die bei KKL im Betrieb vorhandene hochenergetische  $^{16}\text{N}$ -Strahlung führt durch Streustrahlung zu erhöhten Zählraten im gesamten Spektrum zwischen 0 MeV und 3 MeV. Dadurch wird auch das Verhältnis zwischen hochenergetischer und niedrigenergetischer Strahlung im Spektrum beeinflusst. Ohne Korrektur wird der MMGC-Ratio kleiner als beim natürlichen Hintergrund, da der Beitrag der Streustrahlung im hochenergetischen Bereich verhältnismässig höher ist als im niedrigenergetischen Bereich. Dieser Effekt lässt sich über eine Korrektur (Schwarz et al., 1991) eliminieren, die auf der Zählrate im kosmischen Fenster (Energie

>3 MeV) beruht. Diese Korrektur wird seit 1991 standardmässig in der Auswertung angewendet.

$$V_{\text{MMGC}} = \frac{\text{MMGC1}}{\text{MMGC2}} \cdot 100 + k(C - C_{\text{mod}})$$

$$C_{\text{mod}} = 9 \cdot e^{0.0006 \cdot H}$$

$V_{\text{MMGC}}$	Modifizierter MMGC-Ratio
MMGC1	MMGC Tiefenergiefenster (200-1400 keV)
MMGC2	MMGC Hochenergiefenster (1400-3000 keV)
C	Messwerte im kosmischen Fenster (>3 MeV)
$C_{\text{mod}}$	Modellwert für kosmisches Fenster
H	Barometrische Höhe
k	Korrekturfaktor (0.28)

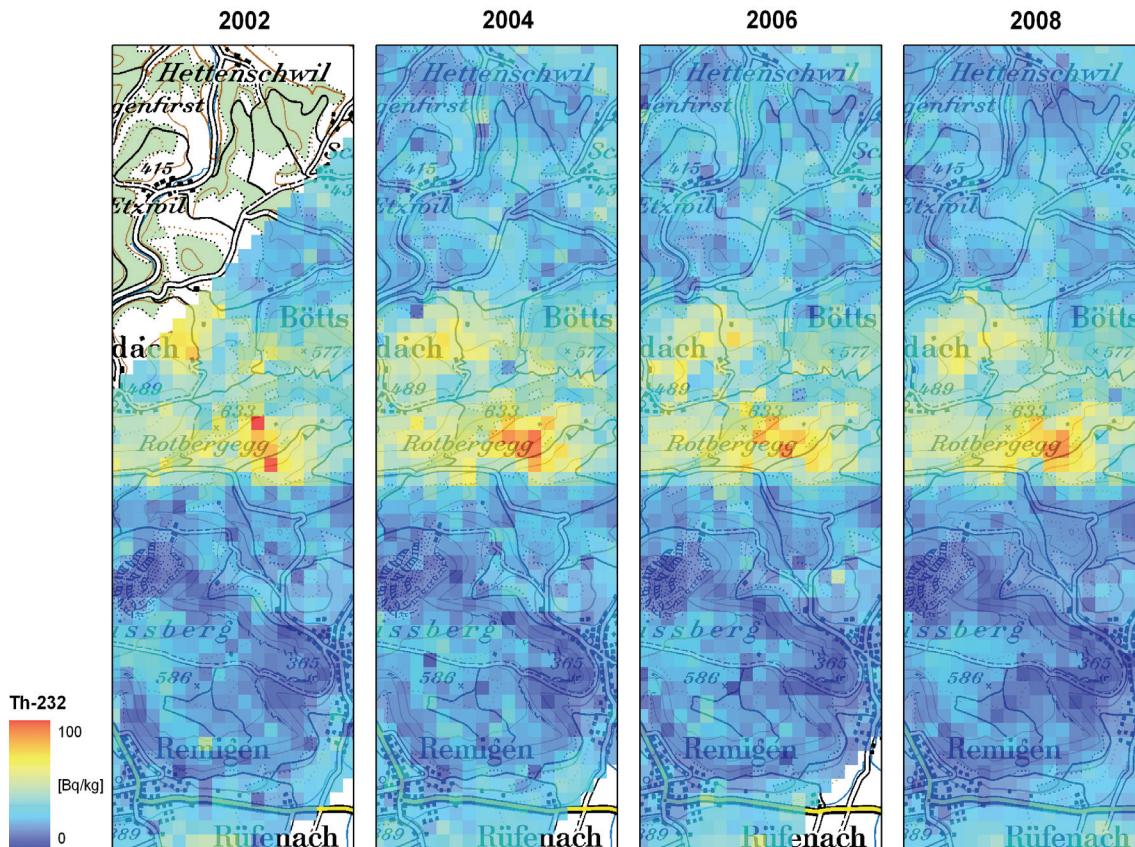
Für die trinationale Messübung ARM07 wurde diese Korrektur für hochenergetische Photonenstrahlung des Nuklids  $^{16}\text{N}$  durch Anpassung einer Konfigurationsdatei deaktiviert. Aufgrund dieser modifizierten Konfigurationsdatei wurde auch bei der Auswertung direkt im Anschluss an die Übung für die Erstellung des Kurzberichts der ARM08 beim MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG keine Korrektur eingerechnet. Der Kurzbericht ARM08 zeigt dadurch im Gegensatz zu den Messergebnissen aus früheren Jahren über dem Betriebsgelände des KKL keine Erhöhung des MMGC-Ratios (Abb. 2).

Für die detaillierte Analyse der Daten in diesem Bericht wurde die korrekte Konfiguration wiederhergestellt und alle Auswertungen mit der Korrektur durchgeführt. Neben dem Areal PSI West und dem Bundeszwischenlager (BZL) auf dem Gelände PSI Ost ist deshalb im MMGC-Ratio nun auch das KKL deutlich erkennbar (Abb. 8). Eine Auswertung der jeweiligen Spektren zeigte, dass die Erhöhung des MMGC-Ratios über dem Areal PSI West auf die 511 keV Annihilationsstrahlung und weitere Photonenemissionen von  $^{41}\text{Ar}$  und über dem BZL auf die Photonenemissionen von  $^{60}\text{Co}$  zurückzuführen ist.

Der verfälschende Einfluss der  $^{16}\text{N}$ -Strahlung über dem Betriebsgelände des KKL ist auch bei der Auswertung anderer Radionuklide mittels der Fenster-Methode nach Schwarz (1991) zu beobachten. Der Einfluss von jeweils höherenergetischen Photonenemissionen auf die Energiefenster wird mit einer Stripping-Korrektur berücksichtigt. In Anwesenheit von gestreuter  $^{16}\text{N}$ -Photonenstrahlung wird jedoch das  $^{137}\text{Cs}$ -Energiefenster überkorrigiert, was zu einer Unterschätzung der Aktivitätskonzentration führt (Abb. 9). Im Gegensatz hierzu werden die bei höheren Photonenenergien angesiedelten Fenster von  $^{40}\text{K}$  (Abb. 10) und  $^{232}\text{Th}$  (Abb. 11) unterkorrigiert, was eine Überschätzung der Aktivitätskonzentration dieser Nuklide über dem Betriebsareal des KKL zur Folge hat.



Thoriumaktivitäten vorhanden sind und die Anomalie nicht auf eine Fehlinterpretation der Spektreninformation zurückzuführen ist. Diese potentielle Erhöhung der Thoriumaktivität ist geologisch bedingt. Eine weiterführende Bestätigung dieser Anomalie könnte durch gammaspektrometrische In-Situ-Messungen und gamma-spektrometrische Labormessung an Boden- und Gesteinsproben realisiert werden.



**Abbildung 3: Thoriumaktivitäten im Bereich der Anomalie für die Messflüge 2002, 2004, 2006 und 2008. PK100©2003 swisstopo.**

## 2.2 Stadtgebiete Basel, Bern und Genf

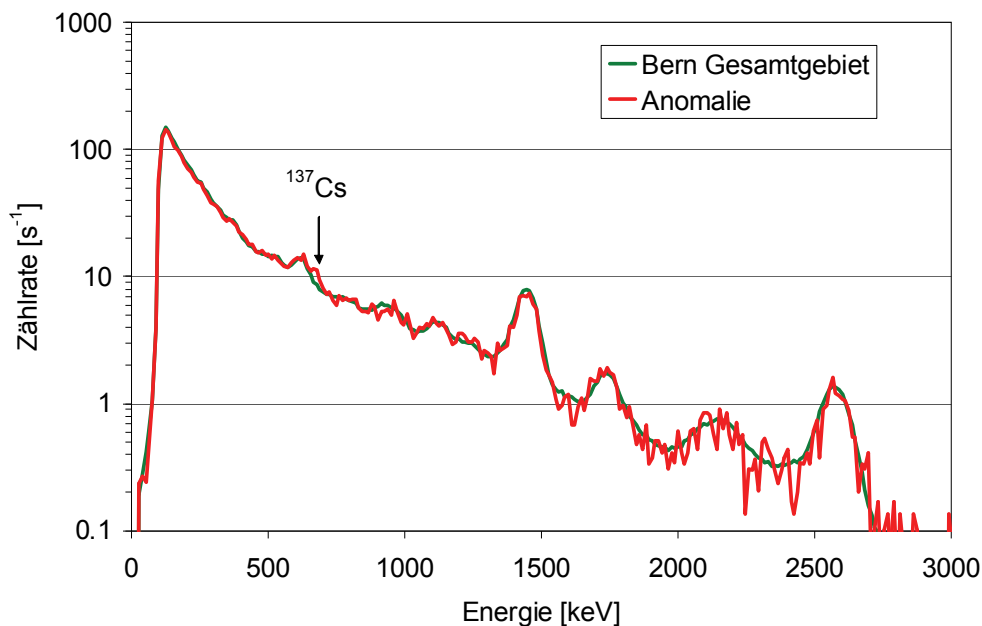
Die Übung ARM08 führte die Serie von Messungen über dem Gebiet von Schweizer Städten fort. In diesem Jahr lag der Schwerpunkt auf den Austragungsorten der EURO08, um eine Einschätzung der üblicherweise vorhandenen radiologischen Lage dieser Gebiete zu gewinnen.

Die Westschweiz wurde weitgehend von radioaktivem Niederschlag durch den Tschernobyl-Unfall verschont. Sowohl die Ortsdosisleistung (Abbildungen 13, 17 und 21), das MMGC-Ratio (Abbildungen 14, 18 und 22) und die spezifische Aktivität von  $^{137}\text{Cs}$  (Abbildungen 15, 19 und 23) zeigen durchweg geringe Werte über allen drei Städten. Die beobachteten Unterschiede in den Karten sind hauptsächlich

lich auf topografische Effekte (Flüsse, Seen) zurückzuführen.

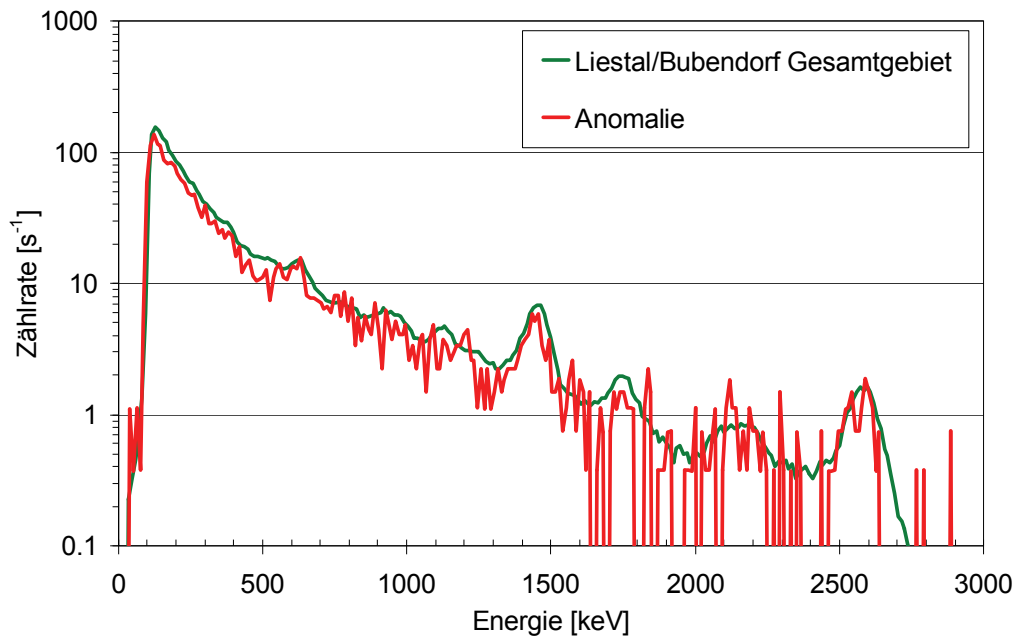
Die Messwerte sind bei den beobachteten geringen Zählraten in allen drei Messgebieten mit einer vergleichsweise grossen statistischen Unsicherheit behaftet. Einzelne auffällige Punkte, wie sie zum Beispiel in der MMGC-Karte von Bern (Abb. 18) südlich von Ostermundigen und in der  $^{137}\text{Cs}$ -Karte von Basel (Abb. 15) südlich von Liestal zu sehen sind, sind daher mit grosser Wahrscheinlichkeit statistische Artefakte der Auswertung. In beiden Messgebieten werden keine ungewöhnlichen Erhöhungen der Aktivitätskonzentrationen erwartet.

Dennoch werden diese auffälligen Punkte selbstverständlich einer genauen Analyse unterzogen und die dort aufgenommenen Photonen-Spektren quantitativ bewertet. Aus den Spektren südlich Ostermundigen (Abb. 4) lässt sich eine geringfügige Erhöhung der  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität im Bereich der Anomalie ableiten. Die Auswertung des Spektrums der Anomalie südlich von Liestal (Abb. 5) zeigte eine Unterkorrektur der  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentration aufgrund von ungewöhnlich niedrigen Zählraten bei höheren Photonenenergien auf. Diese Anomalie ist daher als Artefakt der Auswertung zu bewerten.



**Abbildung 4: Vergleich des Spektrums der Anomalie bei Ostermundigen zum gesamten Messgebiet Bern.**





**Abbildung 5: Vergleich des Spektrums der Anomalie bei Liestal zum gesamten Messgebiet Liestal/Bubendorf.**

### 3 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.

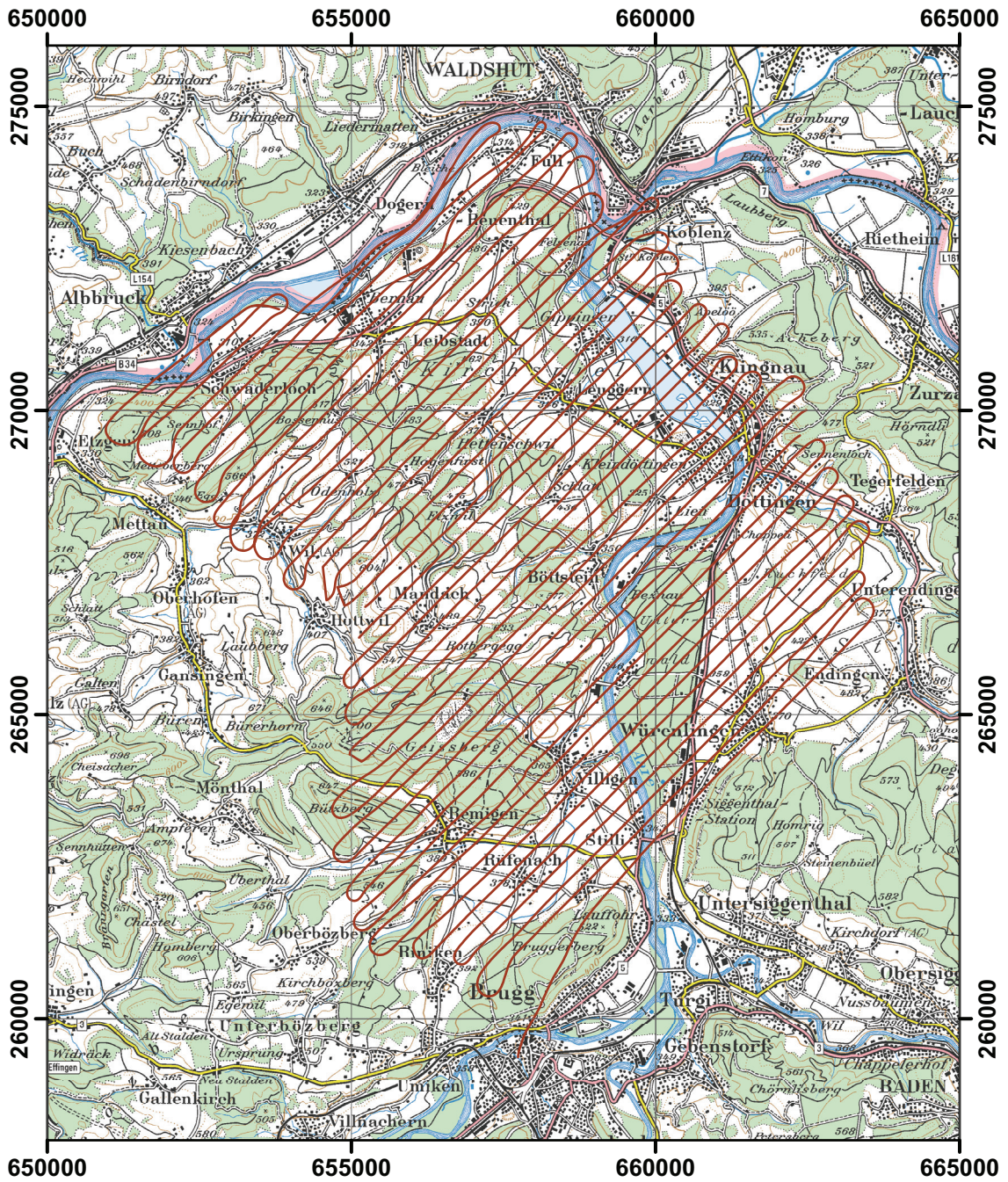


Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM04. PSI-Bericht 05-10, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2005.

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.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM06. PSI-Bericht 07-02, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2007.

Nationale Alarmzentrale (NAZ): Kurzbericht zur Übung ARM08, [http://www.far.ensi.ch/reports/uarm2008/ARM08\\_Kursbericht.pdf](http://www.far.ensi.ch/reports/uarm2008/ARM08_Kursbericht.pdf), Zürich, Schweiz, 2008.



— Flugweg

Abbildung 6: Fluglinien in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.  
PK100©2003 swisstopo.



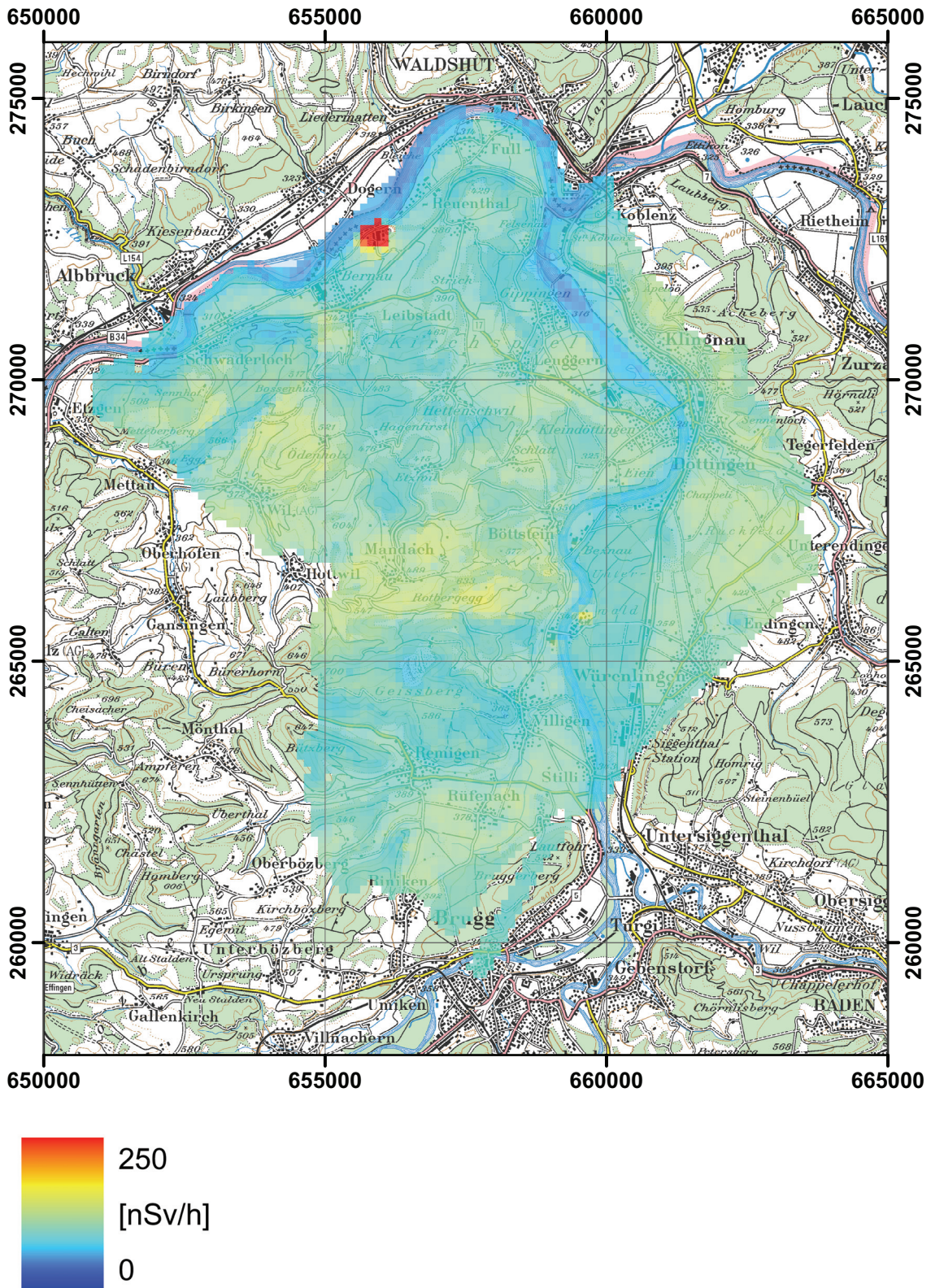


Abbildung 7: Ortsdosisleistung in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.  
 PK100©2003 swisstopo.



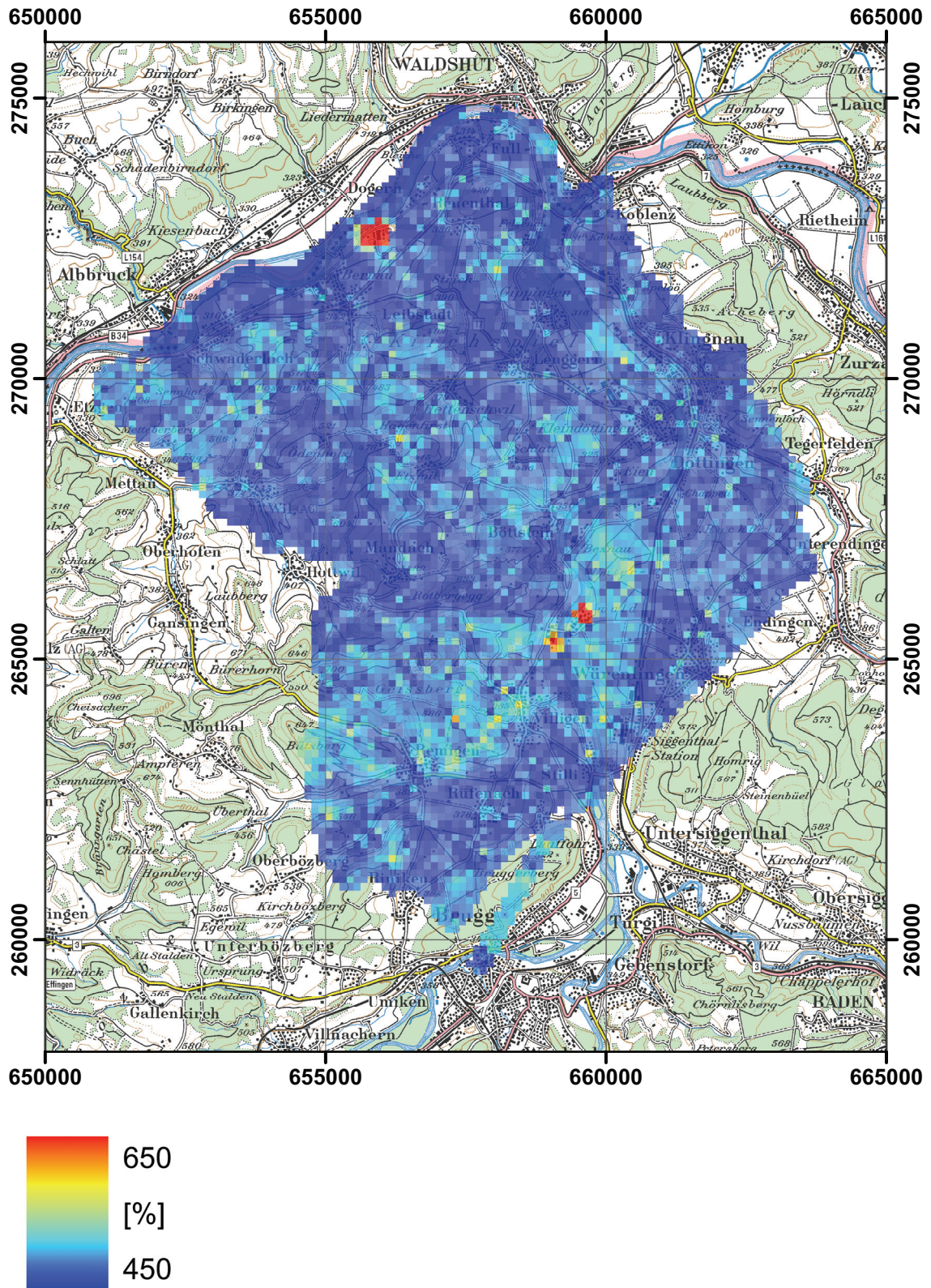


Abbildung 8: MMGC-Ratio in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.  
PK100©2003 swisstopo.



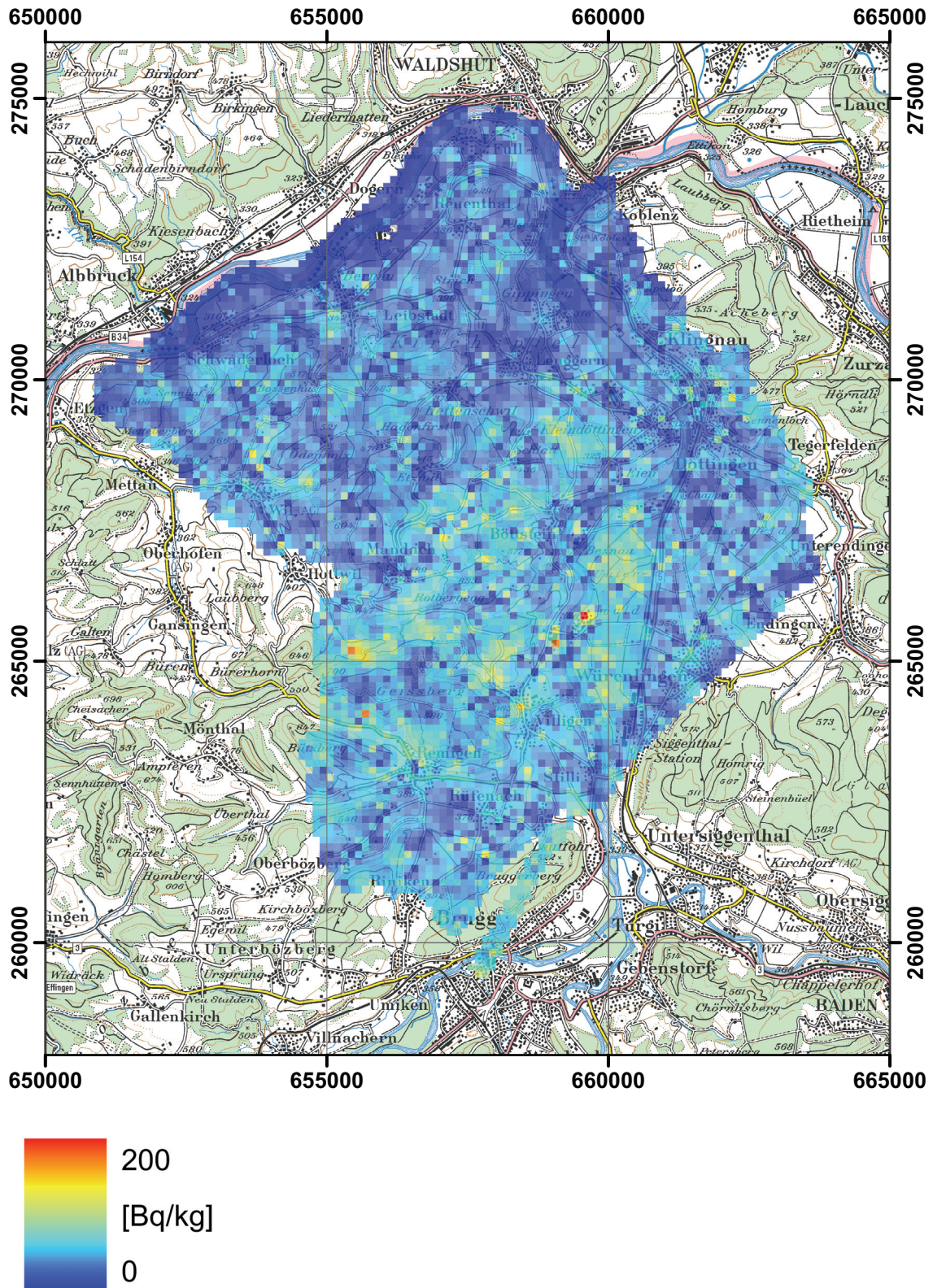


Abbildung 9:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo.



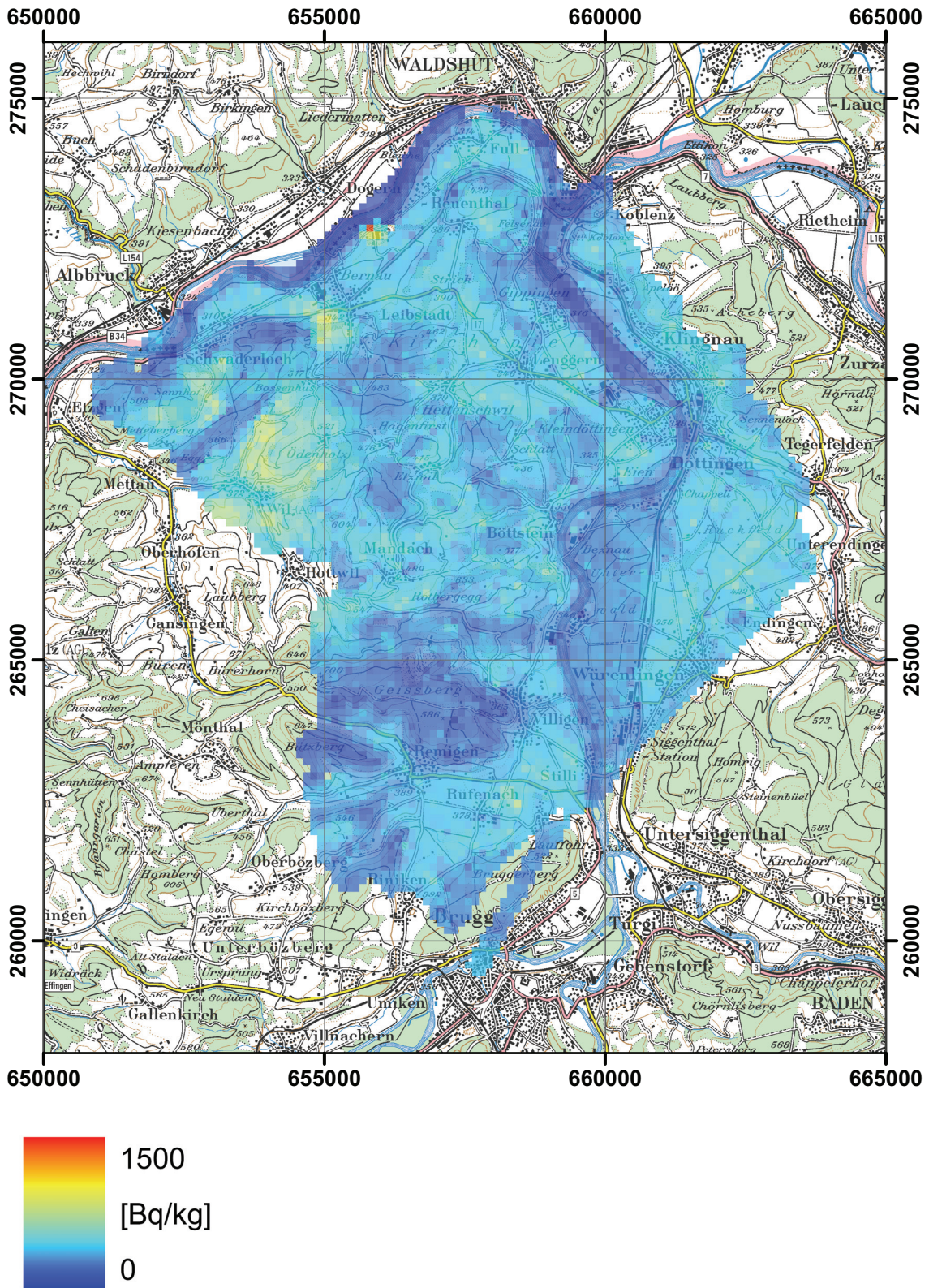


Abbildung 10:  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo.



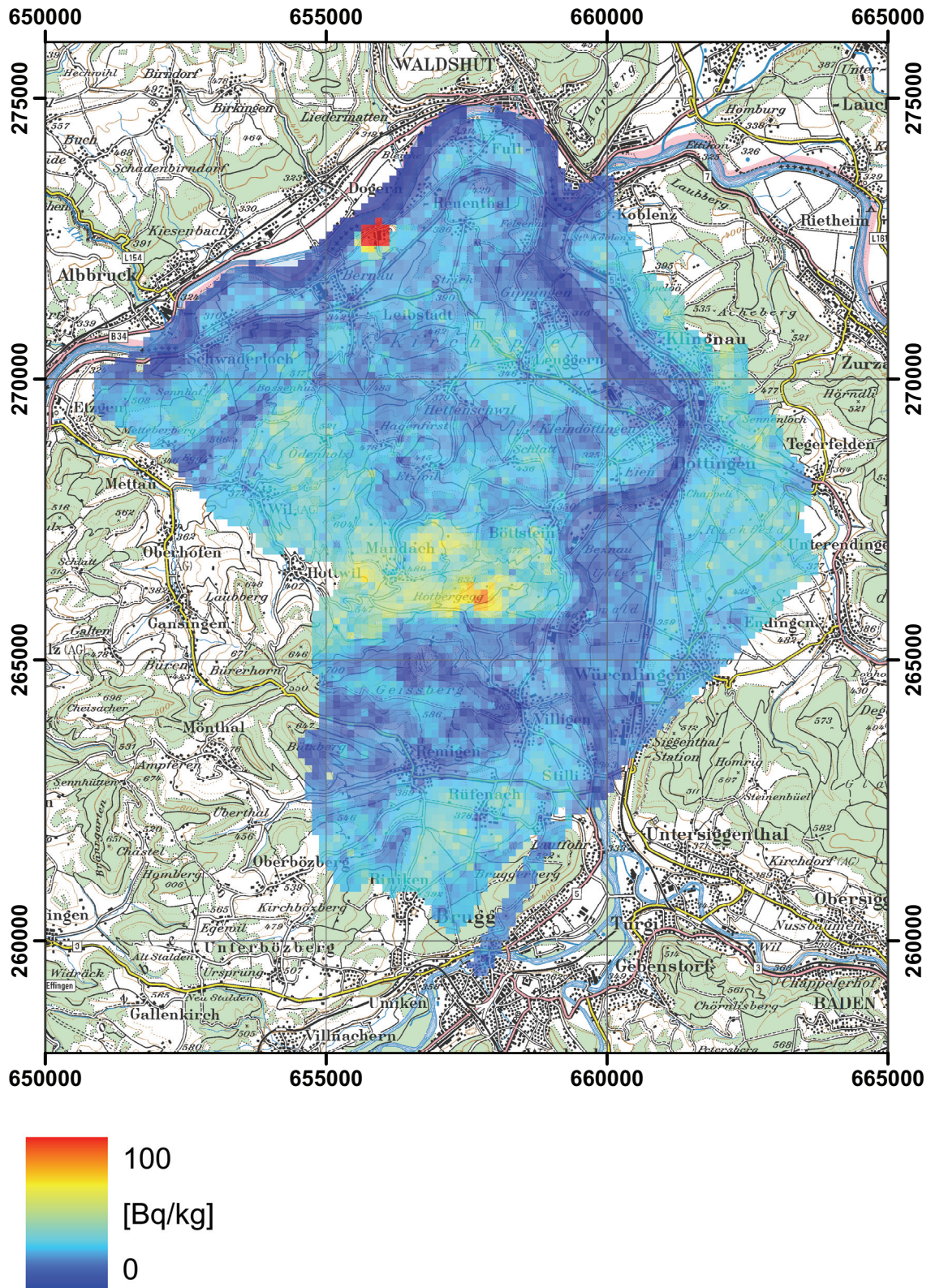
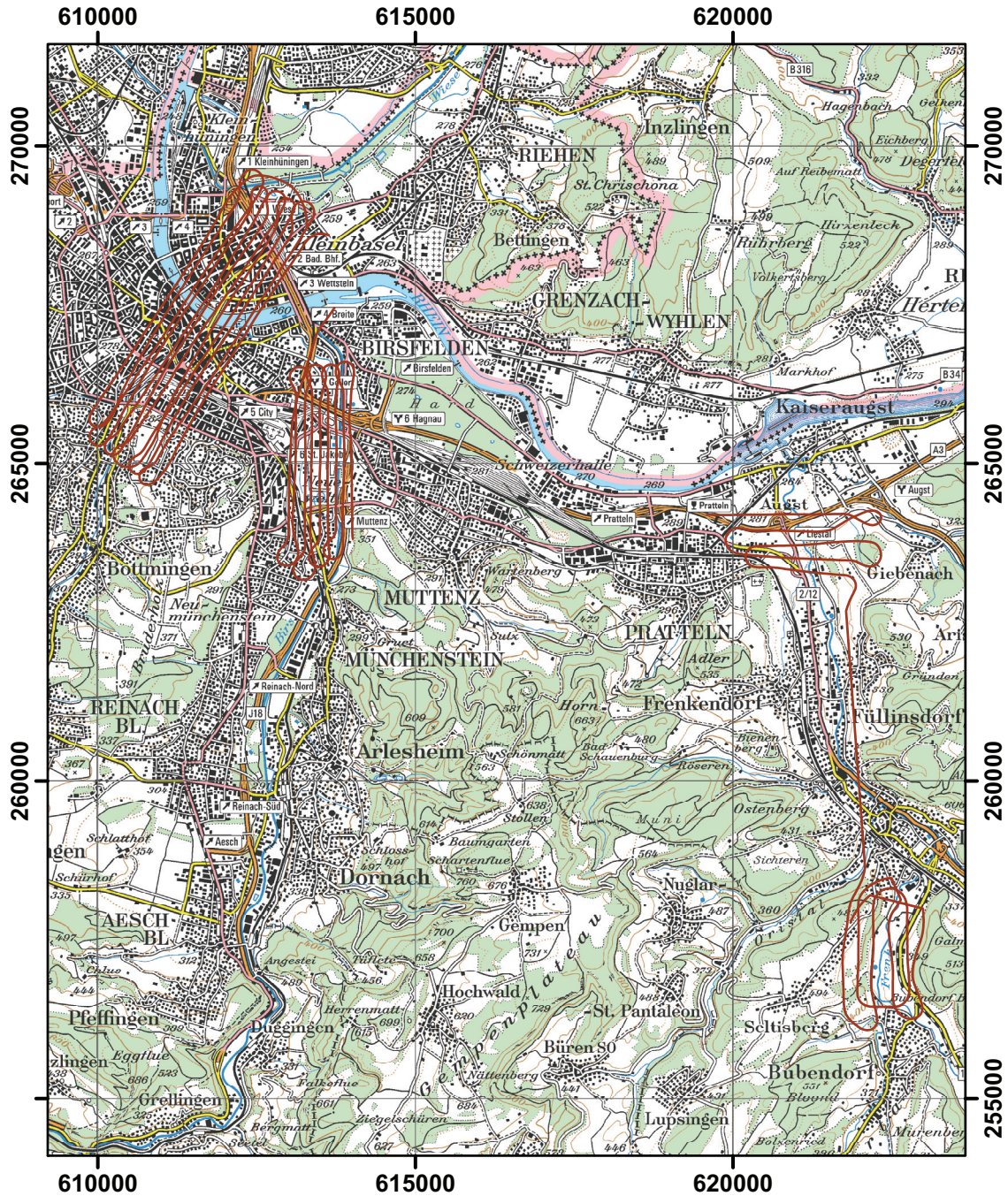


Abbildung 11:  $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100©2003 swisstopo.





— Flugweg

Abbildung 12: Fluglinien im Gebiet von Basel.  
PK100©2008 swisstopo.







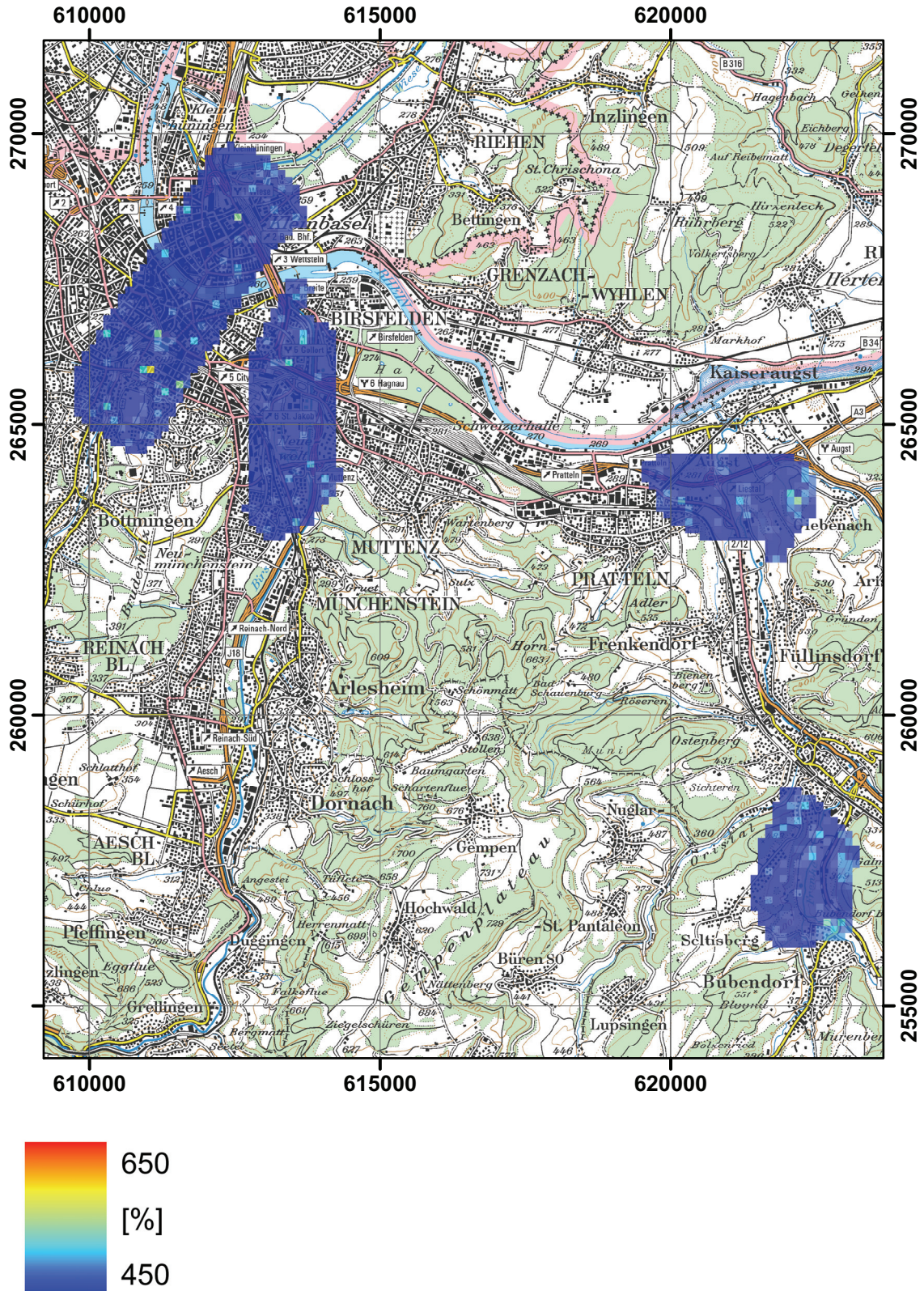


Abbildung 14: MMGC-Ratio im Gebiet von Basel.  
PK100©2008 swisstopo.



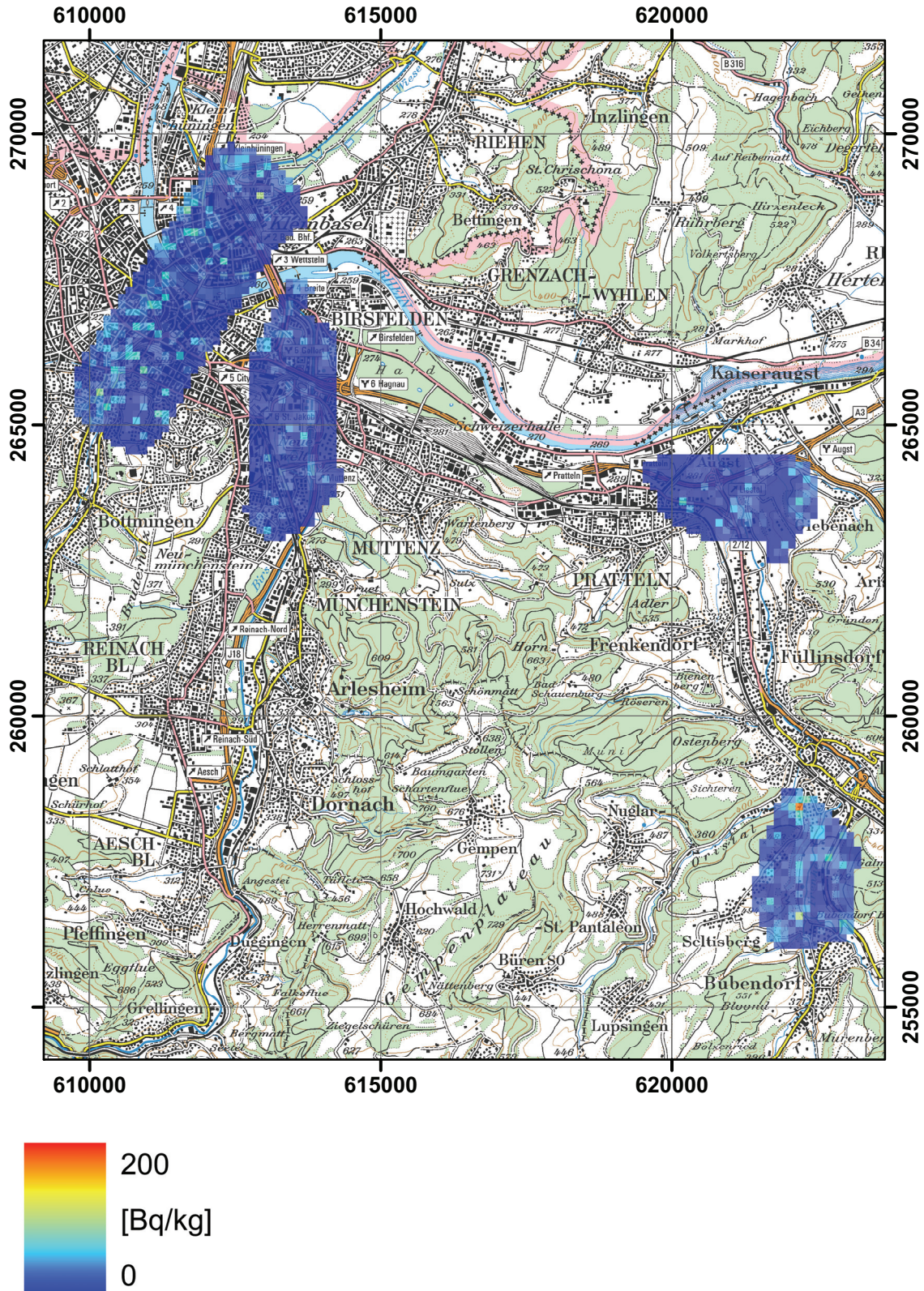
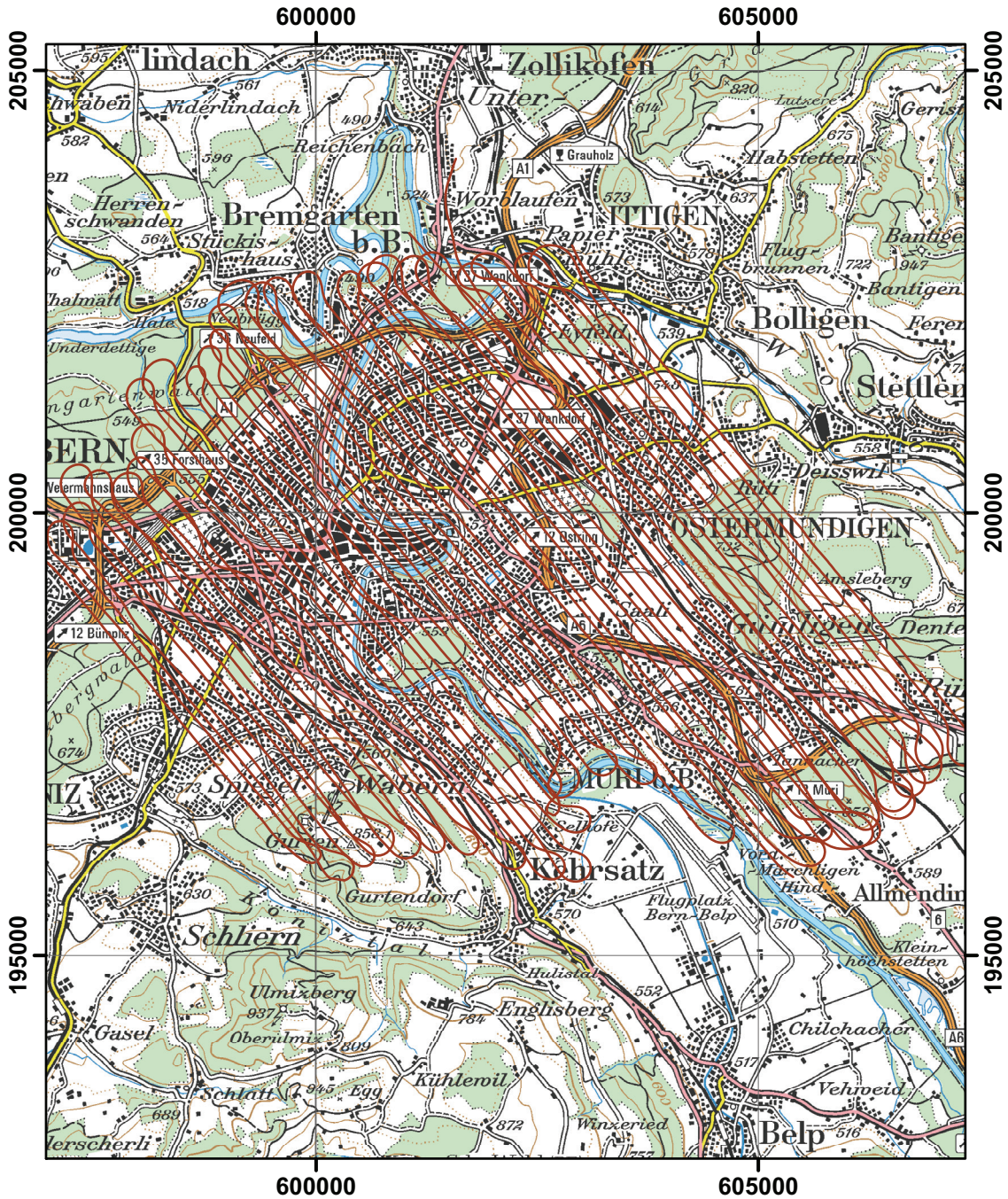


Abbildung 15:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Basel.  
PK100©2008 swisstopo.





— Flugweg

Abbildung 16: Fluglinien im Gebiet von Bern.  
PK100©2007 swisstopo.



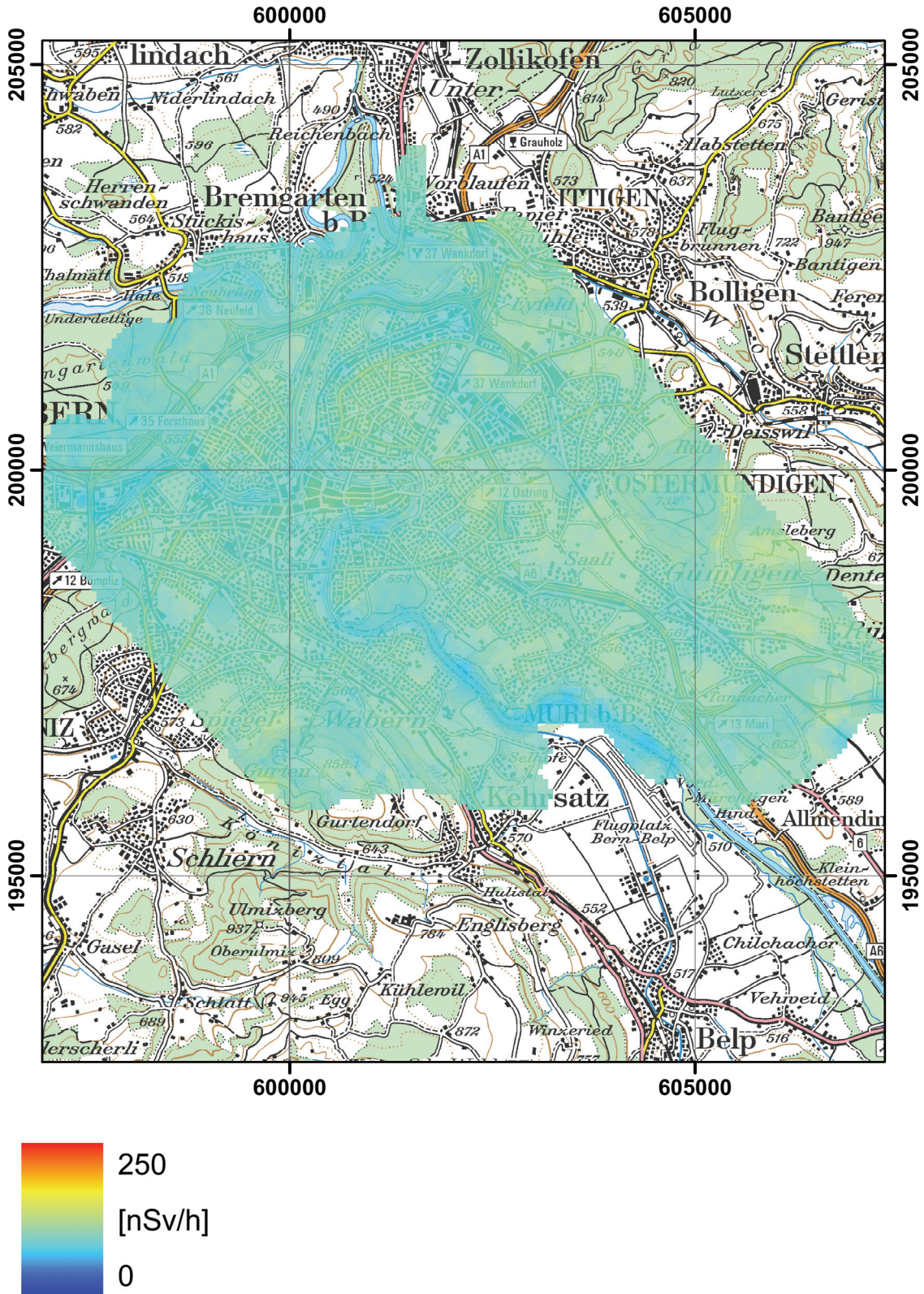


Abbildung 17: Ortsdosisleistung im Gebiet von Bern.  
PK100©2007 swisstopo.



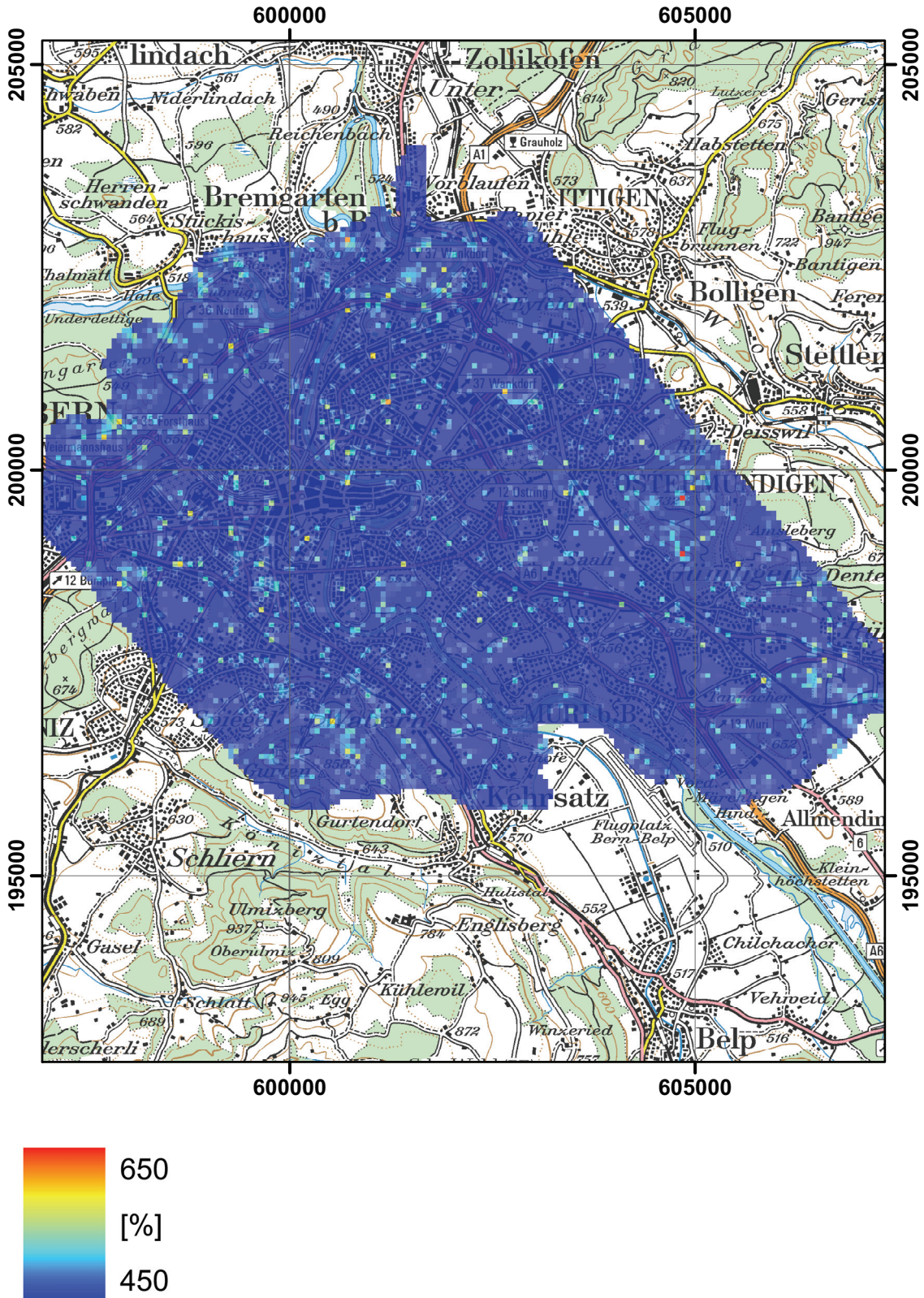


Abbildung 18: MMGC-Ratio im Gebiet von Bern.  
PK100©2007 swisstopo.



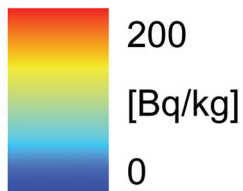
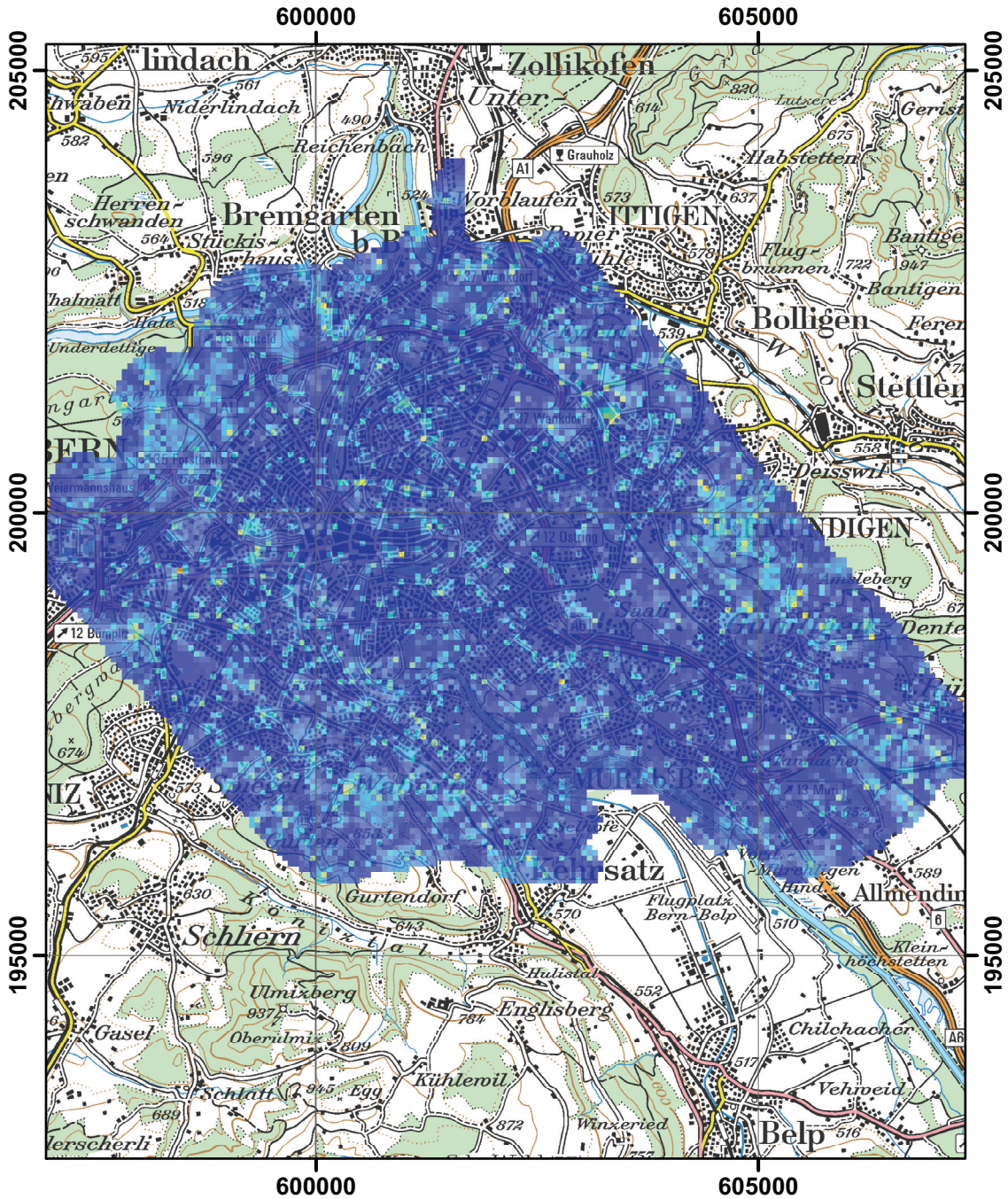
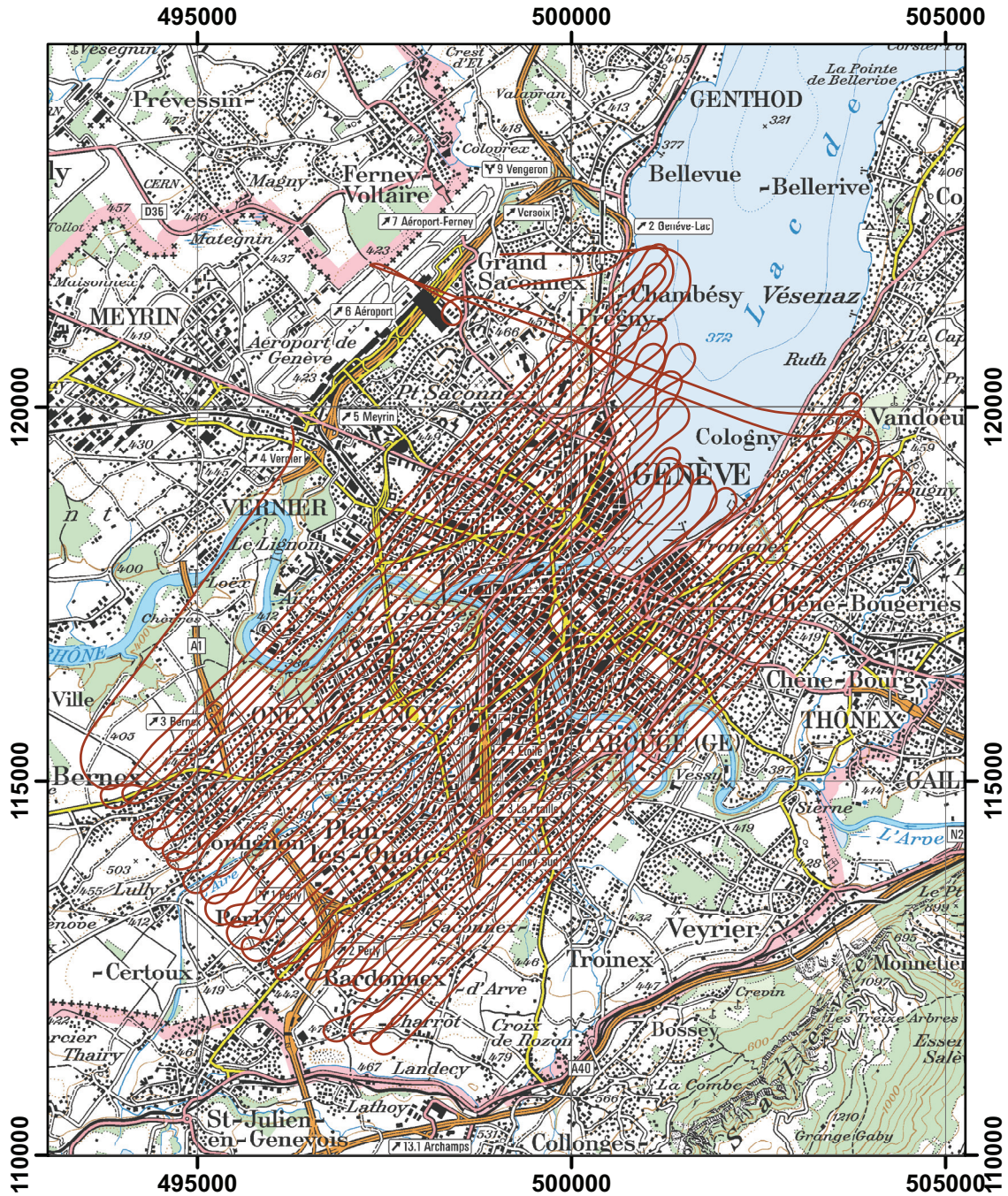


Abbildung 19:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Bern.  
PK100©2007 swisstopo.





— Flugweg

Abbildung 20: Fluglinien im Gebiet von Genf.  
PK100©2007 swisstopo.



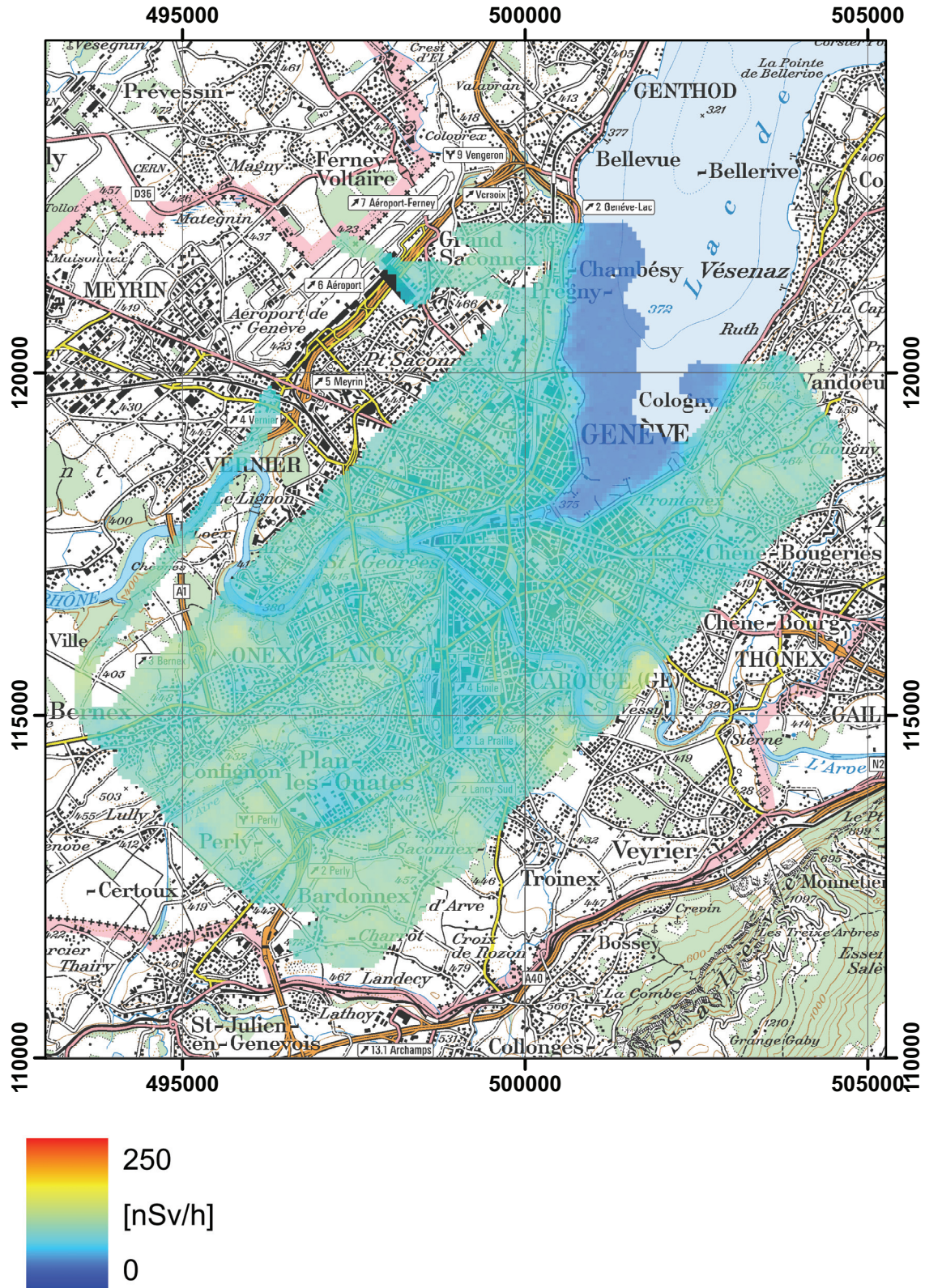


Abbildung 21: Ortsdosisleistung im Gebiet von Genf.  
PK100©2007 swisstopo.



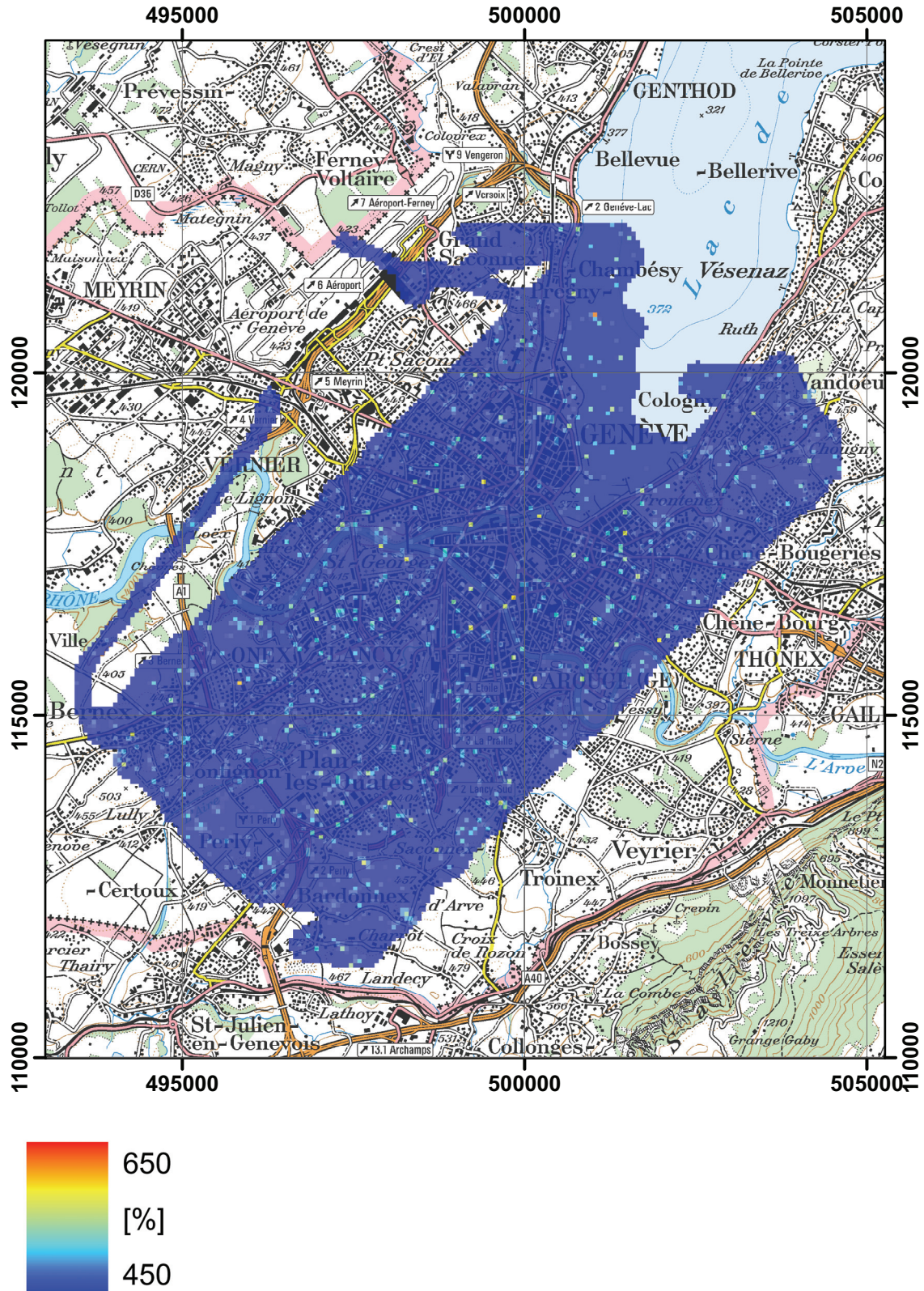


Abbildung 22: MMGC-Ratio im Gebiet von Genf.  
PK100©2007 swisstopo.



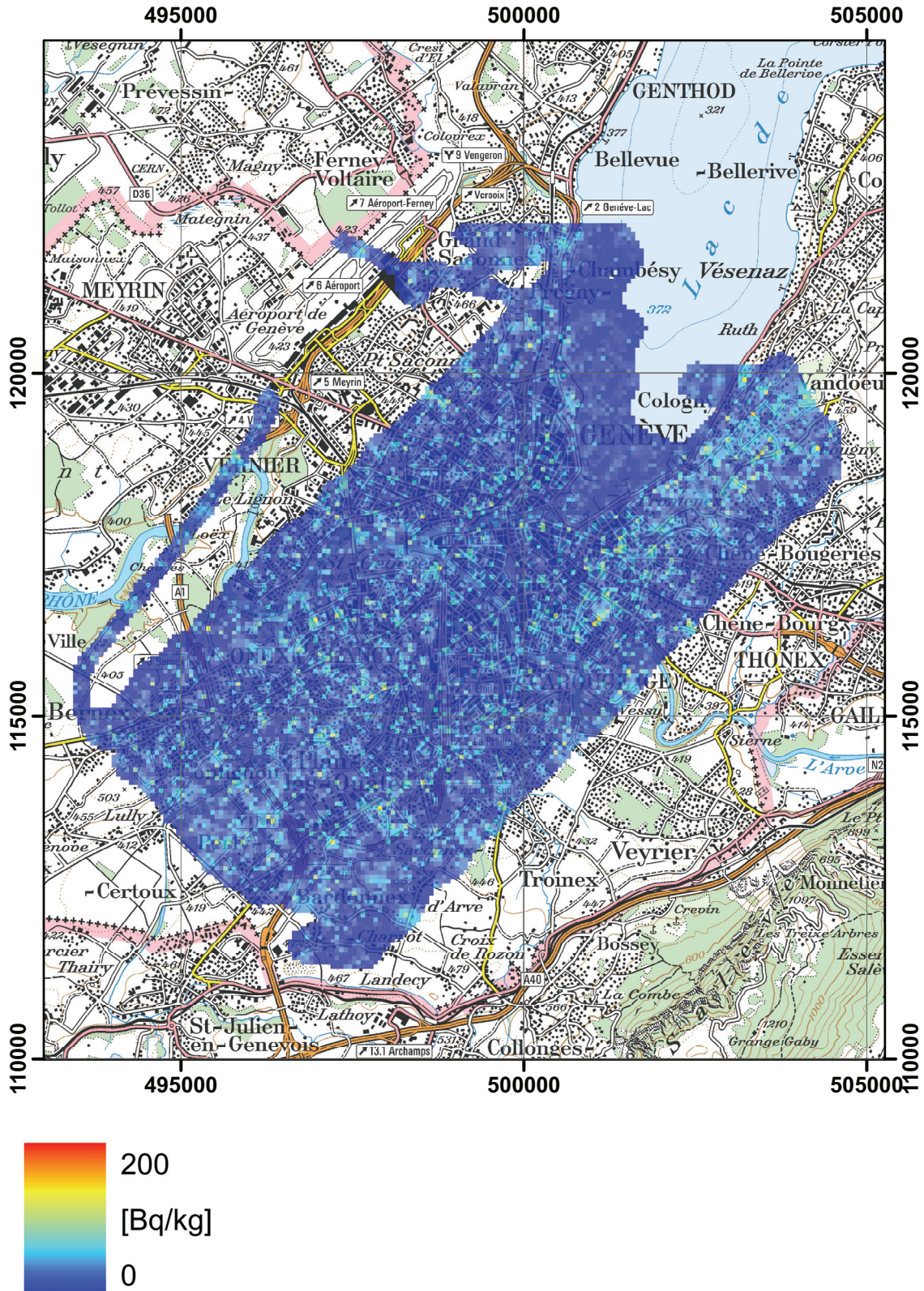


Abbildung 23:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Genf.  
PK100©2007 swisstopo.

---

PAUL SCHERRER INSTITUT



Paul Scherrer Institut, 5232 Villigen PSI, Switzerland  
Tel. +41 (0)56 310 21 11, Fax +41 (0)56 310 21 99  
[www.psi.ch](http://www.psi.ch)