

PAUL SCHERRER INSTITUT



PSI Bericht Nr. 11-02

Juni 2011

ISSN 1019-0643

Fachbereich Logistik
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM10

Benno Bucher, Gernot Butterweck, Ladislaus Rybach,
Georg Schwarz und Sabine Mayer



Fachbereich Logistik
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM10

**Benno Bucher¹, Gernot Butterweck², Ladislaus Rybach³,
Georg Schwarz¹, Sabine Mayer²**

¹ Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Industriestrasse 19, 5200 Brugg, Schweiz

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

³ Institut für Geophysik, ETH Zürich, 8092 Zürich, Schweiz

Zusammenfassung

Die Messflüge im Rahmen der Übung ARM10 fanden vom 5. bis 8. Juli 2010 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. In Zusammenarbeit mit deutschen Behörden wurde das Messgebiet um ein Areal nördlich des Rheins erweitert. Die Messwerte über den Betriebsarealen KKL, KKB, ZWILAG und PSI entsprachen den Messwerten der vorangegangenen Jahre.

Auf Anfrage des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) wurden Flächen bei Posieux, Güttingen, Cadenazzo und Affoltern/ZH überflogen. Es ist geplant, diese Standorte als Referenzflächen für die radiologische Umweltüberwachung des BAG einzusetzen.

In Vorbereitung einer für 2011 geplanten internationalen Vergleichsmessung der in-situ Gammaskpektrometrie wurde ein Gebiet im Dischmatal aeroradiometrisch vermessen.

Abschliessend wurden durch Messflüge entlang dreier Profile bisher nicht durch aeroradiometrische Messungen abgedeckte Gebiete der Schweiz erschlossen.

Abstract

The measurement flights of the exercise ARM10 were performed between 5th and 8th of July 2010 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 Institute (PSI) research facility and of the Intermediate Storage Facility for Nuclear Waste (ZWILAG) were inspected. In cooperation with German authorities the measuring area was extended with a region north of the Rhine river. The values measured over the premises of KKB, KKL, ZWILAG and PSI matched with the results obtained in previous years.

On request by the Federal Office of Public Health (FOPH) areas near Posieux, Güttingen, Cadenazzo and Affoltern/ZH were inspected. These locations are intended as reference areas for the radiological surveillance of the environment by FOPH.

In preparation of an international intercomparison exercise scheduled for 2011 in the field of in-situ gamma-spectrometry, an area located in the Dischma Valley was measured with airborne gamma-spectrometry.

Measuring flights along three profiles supplemented aeroradiometric data in Swiss regions which were not covered before by airborne gamma-spectrometry.

INHALT

1 EINLEITUNG	1
1.1 Messgeräte	1
1.2 Messflüge	2
1.3 Auswertung	2
2 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM10	3
2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG	4
2.2 Messgebiete bei Posieux, Göttingen, Affoltern/ZH und Cadenazzo..	14
2.3 Messgebiet Dischmatal	15
2.4 Profile von Wil nach Poschiavo, von Martina nach Castasegna und von Montreux nach St. Margrethen	16
3 ZUSAMMENFASSUNG	23
4 LITERATUR	23
5 BISHERIGE BERICHTE	23

TABELLEN

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter.	3
Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM10.	4
Tabelle 3: Vergleich der Messergebnisse der Aeroradiometrie mit Bodenmessungen an der Rotbergegg.	9
Tabelle 4: Vergleich der Messergebnisse der Aeroradiometrie mit Bodenmessungen im Dischmatal.	15

FIGUREN

Abbildung 1: X/Y-Diagramm der gemessenen Ortsdosisleistungen.	5
Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Ortsdosisleistungen.	6
Abbildung 3: Mittelwerte und Streuung der Ortsdosisleistung im gleichen Streckenabschnitt.	7
Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der terrestrischen Dosisleistungen.....	7
Abbildung 5: Vergleich der Spektren mit und ohne ^{16}N -Photonenemission im Messgebiet KKL.	8
Abbildung 6: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des KKB.....	10
Abbildung 7: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des PSI Ost.	10
Abbildung 8: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des PSI-West.....	11
Abbildung 9: Vergleich des gemessenen MMGC-Verhältnisses mit Ausbreitungsrechnungen.	12
Abbildung 10: Vergleich des gemessenen MMGC-Verhältnisses mit Ausbreitungsrechnungen.	13
Abbildung 11: Statistische Verteilung der Ergebnisse in den vier Referenzflächen des BAG.....	14
Abbildung 12: Flughöhen entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.	17
Abbildung 13: Abhängigkeit der berechneten ^{40}K -Aktivitätskonzentration von der Höhe über Grund.	17
Abbildung 14: Gemittelte Spektren auf dem gemessenen Profil von Montreux nach St. Margrethen.....	18
Abbildung 15: Photonenspektren in verschiedenen Abschnitten des Profils Wil - Poschiavo.	18
Abbildung 16: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.	19
Abbildung 17: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.	19
Abbildung 18: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Martina nach Castasegna.	20

Abbildung 19: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Martina nach Castasegna.	20
Abbildung 20: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Montreux nach Thun.	21
Abbildung 21: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Montreux nach Thun.	21
Abbildung 22: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Thun nach St. Margrethen.	22
Abbildung 23: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Thun nach St. Margrethen.	22
Abbildung 24: Ortsdosisleistung und Routen der ABC-Erkundungskraftwagen in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	26
Abbildung 25: MMGC-Ratio in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	27
Abbildung 26: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	28
Abbildung 27: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	29
Abbildung 28: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.	30
Abbildung 29: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Posieux.	31
Abbildung 30: MMGC-Ratio in der Umgebung von Posieux.	32
Abbildung 31: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux. ...	33
Abbildung 32: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux.	34
Abbildung 33: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux. ...	35
Abbildung 34: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Güttingen.	36
Abbildung 35: MMGC-Ratio in der Umgebung von Güttingen.	37
Abbildung 36: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen. ...	38
Abbildung 37: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen. ...	39
Abbildung 38: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen. ...	40
Abbildung 39: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Affoltern/ZH.	41
Abbildung 40: MMGC-Ratio in der Umgebung von Affoltern/ZH.	42
Abbildung 41: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH.	43

Abbildung 42: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH.	44
Abbildung 43: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH.	45
Abbildung 44: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Cadenazzo.	46
Abbildung 45: MMGC-Ratio in der Umgebung von Cadenazzo.	47
Abbildung 46: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo.	48
Abbildung 47: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo.	49
Abbildung 48: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo.	50
Abbildung 49: Ortsdosisleistung im Dischmatal.	51
Abbildung 50: Terrestrische Dosisleistung im Dischmatal.	52
Abbildung 51: MMGC-Ratio im Dischmatal.	53
Abbildung 52: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.	54
Abbildung 53: ^{40}K -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.	55
Abbildung 54: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.	56
Abbildung 55: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo.	57
Abbildung 56: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo.	58
Abbildung 57: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo.	59
Abbildung 58: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo.	60
Abbildung 59: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Nähe des Piz Albris.	61
Abbildung 60: Flugweg und geologische Karte in der Nähe des Piz Albris. ...	62
Abbildung 61: ^{40}K -Aktivitätskonzentration und geologische Karte in der Nähe von Wiesen (GR).	63
Abbildung 62: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Martina nach Castasegna.	64

Abbildung 63: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna.	65
Abbildung 64: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna.	66
Abbildung 65: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna.	67
Abbildung 66: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Montreux nach Thun.	68
Abbildung 67: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun.	69
Abbildung 68: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun.	70
Abbildung 69: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun.	71
Abbildung 70: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen.	72
Abbildung 71: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen.	73
Abbildung 72: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen.	74
Abbildung 73: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen.	75

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 erfolgt 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 Auswerteooption zum Einsatz.

2 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM10

Die Messungen des Jahres 2010 erfolgten mit einem Super-Puma-Helikopter der Armee in der Zeit vom 5. bis zum 8. Juli 2010. 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 das ENSI wurde im Rahmen einer Rufbereitschaft realisiert.

Die Daten aller im Rahmen der Übung ARM10 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 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM10 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	250	137	90	45/225
PSI	125	16	90	30/210 120/300
Posieux	125	4	90	90/270
Güttingen	125	10	90	90/270
Affoltern/ZH	125	4	90	90/270
Cadenazzo	125	4	90	90/270
Dischma	125	17	90	150/330
Wil - Poschiavo	-	-	90	160
Martina - Castasegna	-	-	90	45
Montreux - Thun	-	-	90	67
Thun - St. Margrethen	-	-	90	67

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM10.

Messgebiet	Flug- Nummern	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKL/KKB/PSI/ ZWILAG	2010006 2010008	5.7.2010	11425	520
PSI	2010019 2010020	8.7.2010	2934	112
Posieux	2010015	7.7.2010	852	31
Güttingen	2010018	8.7.2010	1054	47
Affoltern/ZH	2010017	8.7.2010	758	30
Cadenazzo	2010013	6.7.2010	745	28
Dischma	2010010	6.7.2010	2314	103
Wil - Poschiavo	2010009	6.7.2010	4416	168
Martina - Castasegna	2010011	6.7.2010	3393	149
Montreux - Thun	2010014	7.7.2010	1762	73
Thun - St. Margrethen	2010016	7.7.2010	3953	168

2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKB/KKL/PSI/ZWILAG

Im Jahre 2010 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie des Paul Scherrer Instituts (PSI) und des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG) aeroradiometrisch vermessen. In Zusammenarbeit mit deutschen Behörden wurde das Messgebiet um ein Areal nördlich des Rheins erweitert (Abb. 24). Gleichzeitig wurden durch ABC-Erkundungskraftwagen des deutschen Bundesamtes für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe auf den in Abbildung 24 rot eingezeichneten Routen Messungen der Ortsdosisleistung und der terrestrischen Dosisleistung durchgeführt.

Zum direkten Vergleich zwischen Aeroradiometrie und ABC-Erkundungskraftwagen wurden Messpunkte verwendet, welche Messwerte beider Messsysteme mit einem Abstand von weniger als 125 m aufwiesen. In einer direkten x/y-Darstellung der Resultate an diesen gemeinsamen Messpunkten ist keine augenfällige Korrelation der gemessenen Ortsdosisleistungen erkennbar (Abb. 1). Diese Beobach-

tung wiederholt sich für die hier nicht dargestellten terrestrischen Dosisleistungen. Die fehlende Korrelation der Messergebnisse legt den Schluss nahe, dass die Variation der Messergebnisse hauptsächlich durch statistische Schwankungen verursacht wird.

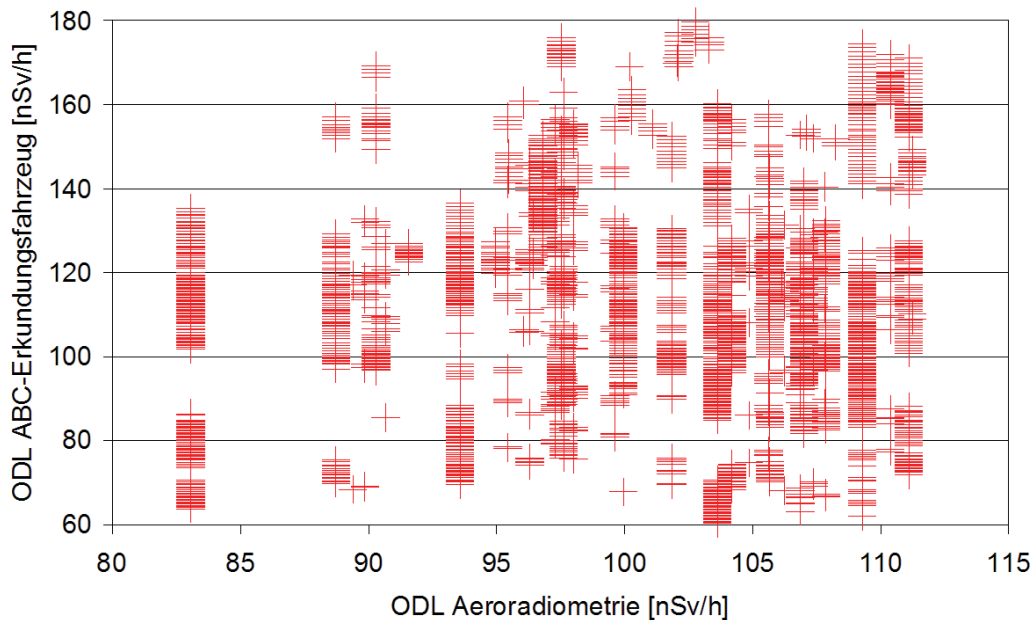


Abbildung 1: X/Y-Diagramm der gemessenen Ortsdosisleistungen.

In einem weiteren Schritt werden die Häufigkeitsverteilungen der Messwerte an den gemeinsamen Punkten betrachtet (Abb. 2). Die Mittelwerte von 116 nSv/h für die ABC-Erkundungskraftwagen und 100 nSv/h für die Aeroradiometrie zeigen keinen signifikanten Unterschied. Die Streuung der Messwerte, also die Breite der Verteilungen, ist hingegen mit 9% für die Aeroradiometrie und 25% für die ABC-Erkundungskraftwagen deutlich unterschiedlich. Dieser Trend ist aus mehreren Gründen zu erwarten. Das Sichtfeld (field of view) der Aeroradiometrie ist deutlich grösser, wodurch lokale Inhomogenitäten der Dosisleistung ausgeglichen werden. Die Messwerte der ABC-Erkundungskraftwagen wurden mit sieben verschiedenen Fahrzeugen ermittelt, wodurch Unterschiede in der Kalibrierung der verwendeten Messgeräte die Streuung der gesamten Verteilung vergrössern. Diese Hypothese wurde anhand eines Streckenabschnitts getestet, welcher von sechs der sieben Fahrzeuge vermessen wurde. Abbildung 3 zeigt die Mittelwerte und Streuung der Ortsdosisleistungsmesswerte der verschiedenen ABC-Erkundungskraftwagen. Die maximale relative Abweichung des Mittelwerts der Ortsdosisleistungsmesswerte zweier ABC-Erkundungskraftwagen beträgt für den betrachteten Streckenabschnitt 26%. In den ABC-Erkundungskraftwagen wird ein Thermo-Fisher FHT 1376 MobiSys Messsystem eingesetzt. Die Ortsdosisleistungsmessung dieses Messsystems erfolgt hierbei mit einem Thermo-Fisher FH 40 GL- Ω Dosisleistungsmessgerät, welches mit einem Dosisleistungsmessbe-

reich zwischen 500 nSv/h bis 100 mSv/h eher für Ereignisse mit hohen Ortsdosisleistungen geeignet ist. Während der Übung wurde dieses Messgerät unterhalb der unteren Messbereichsgrenze betrieben, wodurch eine vergleichsweise schlechte Zählstatistik zu erwarten war. Als zweiten Detektor verwendet das MobiSys-Messsystem einen 5 Liter NBR Plastikszintillationsdetektor. Das Messsignal dieses Detektors ist für die Bestimmung der Dosisleistung von künstlichen Radionukliden optimiert. Sowohl die kosmische Komponente als auch der Einfluss natürlicher Radionuklide werden über ein proprietäres Verfahren (NBR-rejection) der Firma Thermo Scientific kompensiert, wobei die energetische Signatur von natürlichen und künstlichen Signalkomponenten ausgewertet wird. Verglichen mit der über die Aeroradiometrie gemessenen terrestrischen Dosisleistung ist der Messwert der ABC-Erkundungskraftwagen daher deutlich niedriger (Abb. 4).

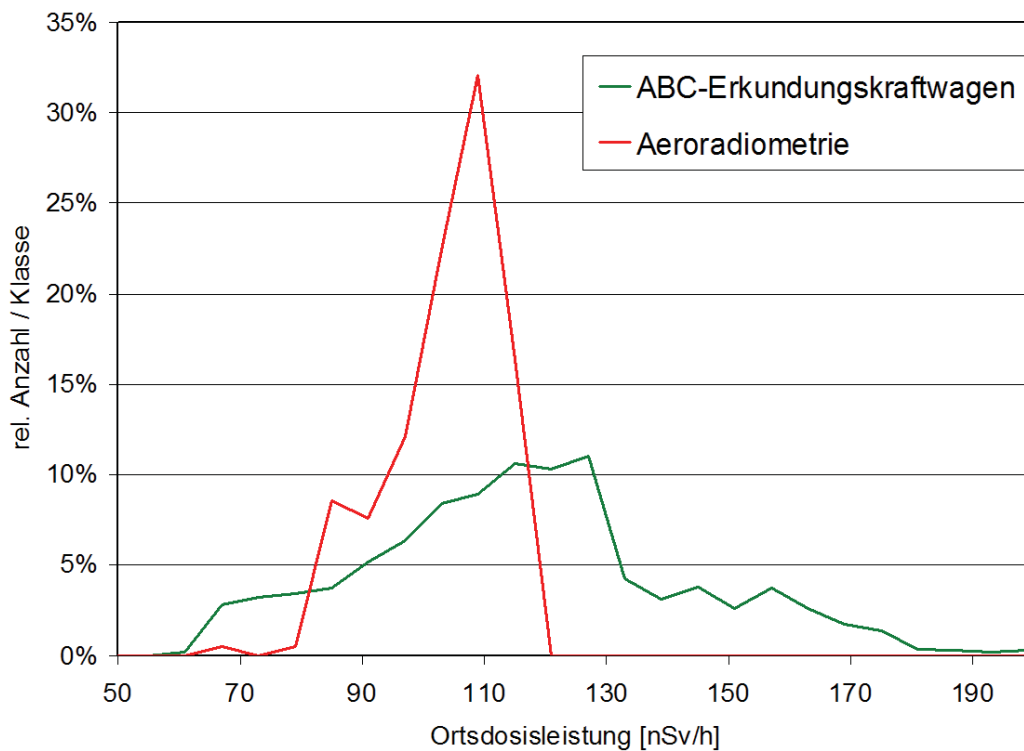


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der gemessenen Ortsdosisleistungen.

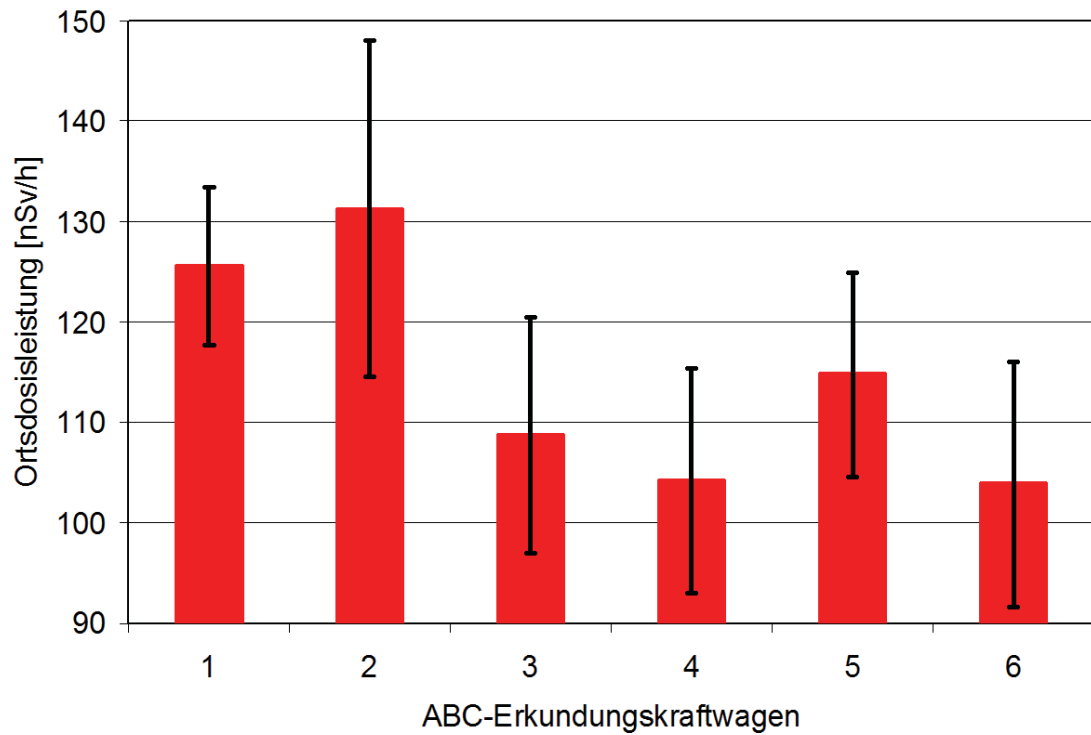


Abbildung 3: Mittelwerte und Streuung der Ortsdosisleistung im gleichen Streckenabschnitt.

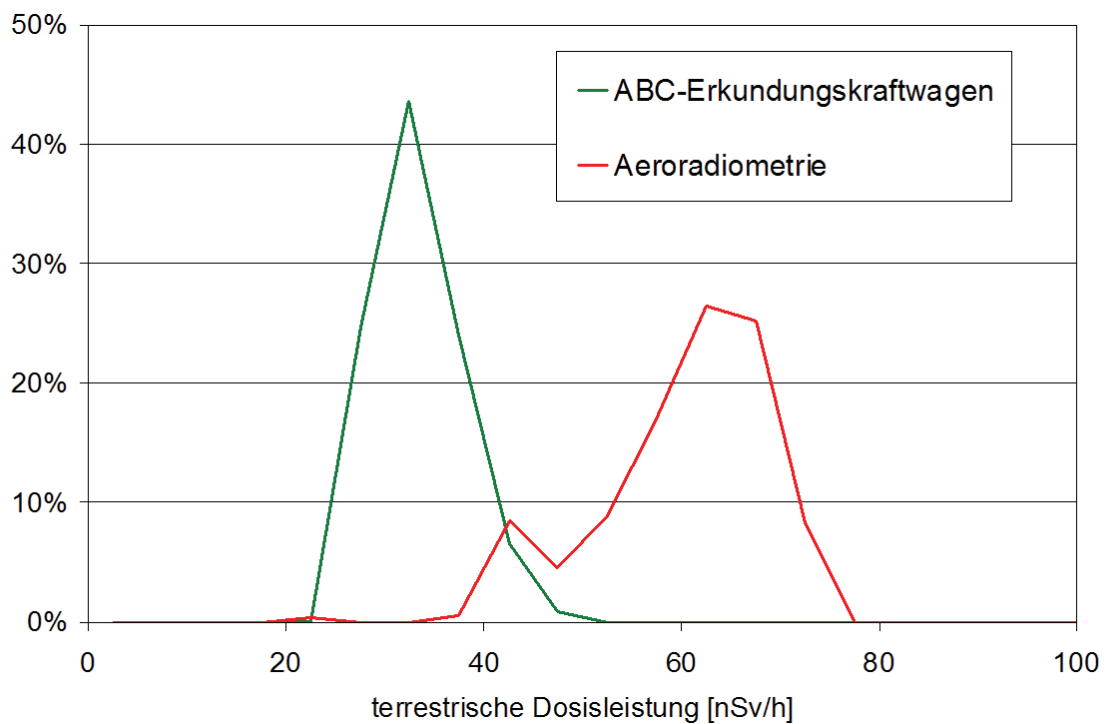


Abbildung 4: Häufigkeitsverteilung der terrestrischen Dosisleistungen.

Die aeroradiometrisch gemessene Ortsdosisleistung (Abb. 24) zeigt erhöhte Werte beim KKL. Diese Erhöhung ist bei einem Siedewasserreaktor zu erwarten, weil Primärdampf aus dem Reaktorcontainment in das Maschinenhaus geleitet wird, dessen Dach eine geringere Abschirmung aufweist. Die erhöhte Ortsdosisleistung wurde bereits in den vergangenen Jahren beobachtet. Ausserhalb des Betriebsareals liegen die Messwerte im für die Schweiz üblichen Bereich.

Die Dosisleistung über dem Maschinenhaus des KKL wird durch hochenergetische Photonenstrahlung des Aktivierungsproduktes ^{16}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. 5). Die über das gesamte Energiespektrum verteilten Photonen des ^{16}N führen zu einer Überschätzung der ^{232}Th -Aktivitäten über dem Betriebsgelände des KKL (Abb. 28).

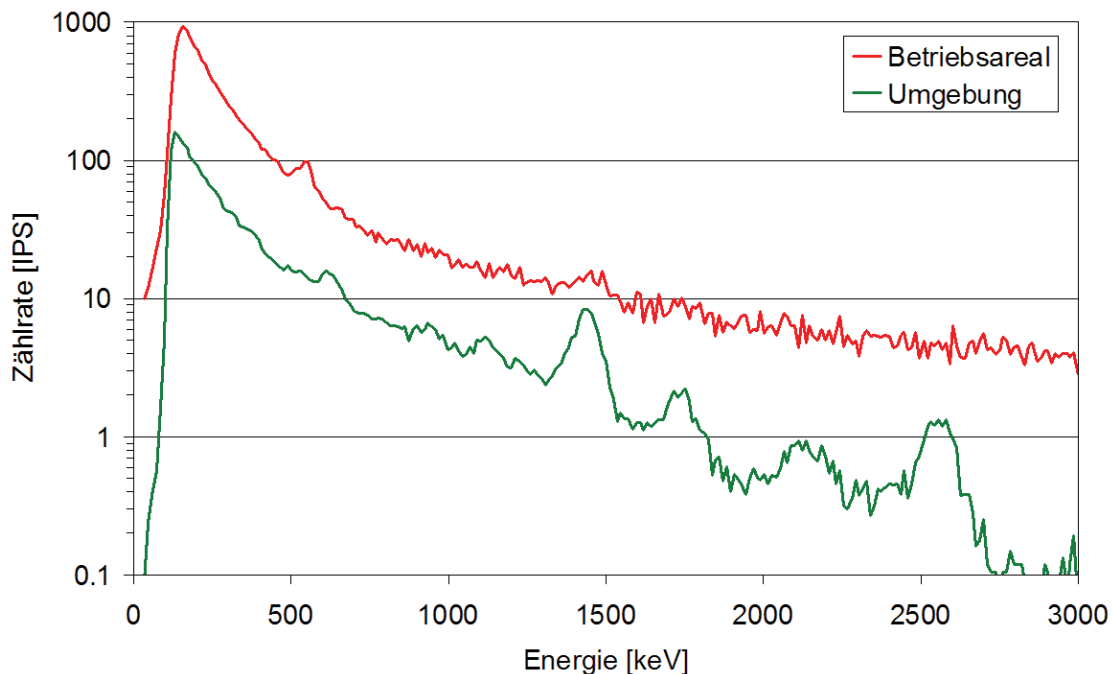


Abbildung 5: Vergleich der Spektren mit und ohne ^{16}N -Photonenemission im Messgebiet KKL.

In der ^{232}Th -Karte (Abb. 28) ist die im Bericht über die Aeroradiometrieübung 2008 beschriebene Thorium-Anomalie zwischen Rotbergegg und Nassberg ($x=657700$, $y=266100$) wiederum deutlich zu erkennen. Die Maximalwerte liegen bei rund 80 Bq/kg, was deutlich über dem sonstigen Durchschnitt von 20-30 Bq/kg liegt. Am 29.6.2010 wurden hier in-situ-gammaspektrometrische Messungen am Boden durchgeführt. Tabelle 3 zeigt den Vergleich der Messresultate zwischen Bodenmessungen und Aeroradiometrie an den beiden in-situ-Messpunkten. Alle Ergebnisse stimmen im Rahmen der Messunsicherheiten überein. Die Messwerte der Ortsdosisleistung und der ^{232}Th -Aktivitätskonzentration der Aeroradiometrie zeigen einen Trend zu niedrigeren Werten im Vergleich zu den Bodenmessungen.

Dieser Trend ist zu erwarten, da das Sichtfeld (ca. 300 m x 300 m) des Aeroradiometrie-Detektors deutlich grösser als dasjenige der Bodenmessungen ist und die beiden Bodenmesspunkte am Maximum der Anomalie lokalisiert waren. In der ^{40}K -Karte (Abb. 27) sind vor allem die Wasserläufe deutlich zu erkennen, welche die aus dem unterliegenden Gestein emittierten Photonen abschwächen.

Tabelle 3: Vergleich der Messergebnisse der Aeroradiometrie mit Bodenmessungen an der Rotbergegg.

	Messpunkt 1	Messpunkt 2
x-Koordinate	657679	657666
y-Koordinate	266191	266211
Ortsdosisleistung in-situ [nSv/h]	152 ± 9	159 ± 9
Ortsdosisleistung Ionisationskammer [nSv/h]	144 ± 14	150 ± 15
Ortsdosisleistung Aeroradiometrie [nSv/h]	145 ± 20	141 ± 20
^{232}Th Aktivitätskonzentration in-situ [Bq/kg]	88 ± 16	97 ± 17
^{232}Th Aktivitätskonzentration Aeroradiometrie [Bq/kg]	77 ± 39	72 ± 38

Das MMGC-Verhältnis (Abb. 25) in der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie des Paul Scherrer Instituts (PSI) und des Zwischenlagers für radioaktive Abfälle (ZWILAG) zeigt weitere Strukturen, welche nicht mit einer signifikanten Erhöhung der Ortsdosisleistung verbunden sind. Die ZWILAG wurde auch dieses Jahr aeroradiometrisch nicht erkannt.

Die MMGC-Ratio steht für das Verhältnis der Anzahl niederenergetischer zur Anzahl hochenergetischer Photonen und ist ein sehr empfindliches Mass zur Eingrenzung von Gebieten, in welchen sich eine detaillierte Analyse der Daten empfiehlt. Neben dem Areal PSI-West und dem Bundeszwischenlager (BZL) auf dem Gelände PSI-Ost ist auch das Betriebsareal des KKB erkennbar. Die Analyse der Spektren (Abb. 6) in diesem Bereich zeigt auf, dass die Erhöhung des MMGC-Verhältnisses durch eine Kombination von wenigen Photonen aus dem Zerfall von ^{60}Co und einem äusserst geringen Untergrund im Bereich der KKB-Insel verursacht wird. Während des Überflugs befand sich Block I des KKB in Revision. Im Laufe der Revisionsarbeiten wurden an den Kernumfassungsblechen im Innern des Reaktordruckbehälters mit fernbedienten Werkzeugen unter Wasser fast 200 Schrauben sowie die Führungsbolzen an den Regelstab-Führungsrohren ersetzt. Das ausgebaute Material wurde während des Überflugs auf dem Betriebsgelände gelagert. Der geringe Untergrund in der direkten Umgebung des KKB zeigt den abschwächenden Einfluss der Aare, während weiter in Richtung Böttstein dieser

durch natürliche Radionuklide (^{40}K und Radonzerfallsprodukte) deutlich höhere Zählraten aufweist. Ausserhalb der umzäunten Areale sind keine Werte zu messen, welche nicht auf Tschernobyl- bzw. Bombentest-Fallout zurückzuführen sind.

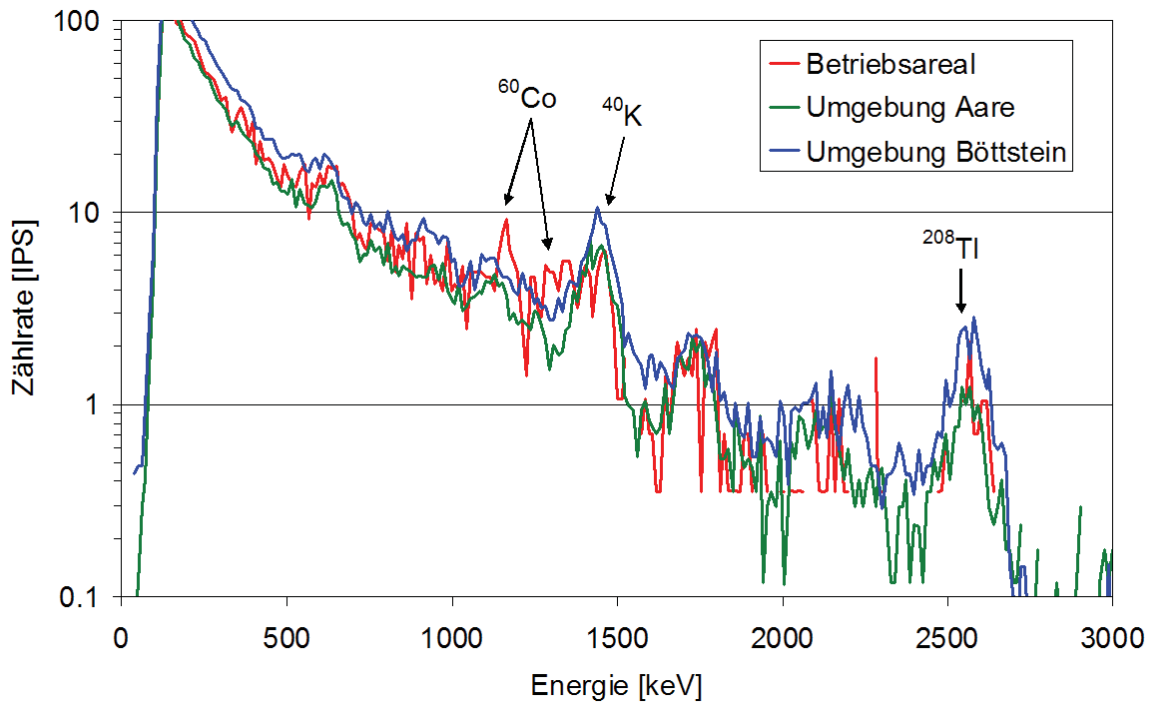


Abbildung 6: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des KKB.

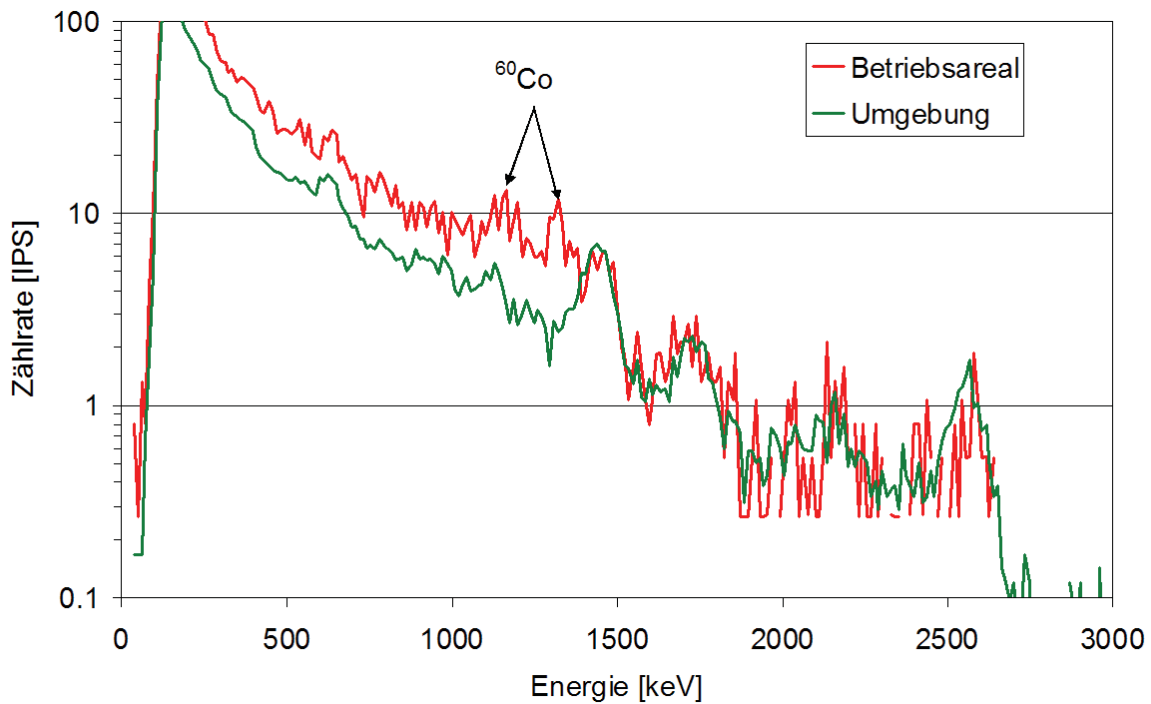


Abbildung 7: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des PSI-Ost.

Im Vergleich zum Spektrum über dem Betriebsareal des KKB (Abb. 6) zeigt das Spektrum über dem Areal des PSI-Ost eine deutlichere Erhöhung der Anzahl von Photonen unterhalb von 1400 keV (Abb. 7), welche auf Emissionen von ^{137}Cs - und ^{60}Co -Quellen im Bundeszwischenlager (BZL) zurückzuführen ist. So ist das BZL auch auf der ^{137}Cs -Karte (Abb. 26) schwach zu erkennen.

Die MMGC-Karte (Abb. 25) zeigt einen auffälligen Bereich in der Umgebung des Fortluftkamins auf dem PSI-West-Areal. Wie schon in 2006 ist deutlich die Fortluftfahne zu erkennen. Das Spektrum (Abb. 8) zeigt einen ausgeprägten Annihilationspeak bei 511 keV und die Emission von ^{41}Ar bei 1291 keV. Dieser wird durch kurzlebige gasförmige Positronenstrahler wie ^{15}O , ^{13}N und ^{11}C erzeugt, welche die Hauptkomponente der normalen und bilanzierten Fortluft des PSI-West ausmachen. Aufgrund der Nähe des Helikopters zur Fortluftfahne werden deren Photonenemissionen im Aeroradiometrie-Detektor mit grösserer Empfindlichkeit registriert als dies für eine am Boden befindliche Quelle der Fall wäre.

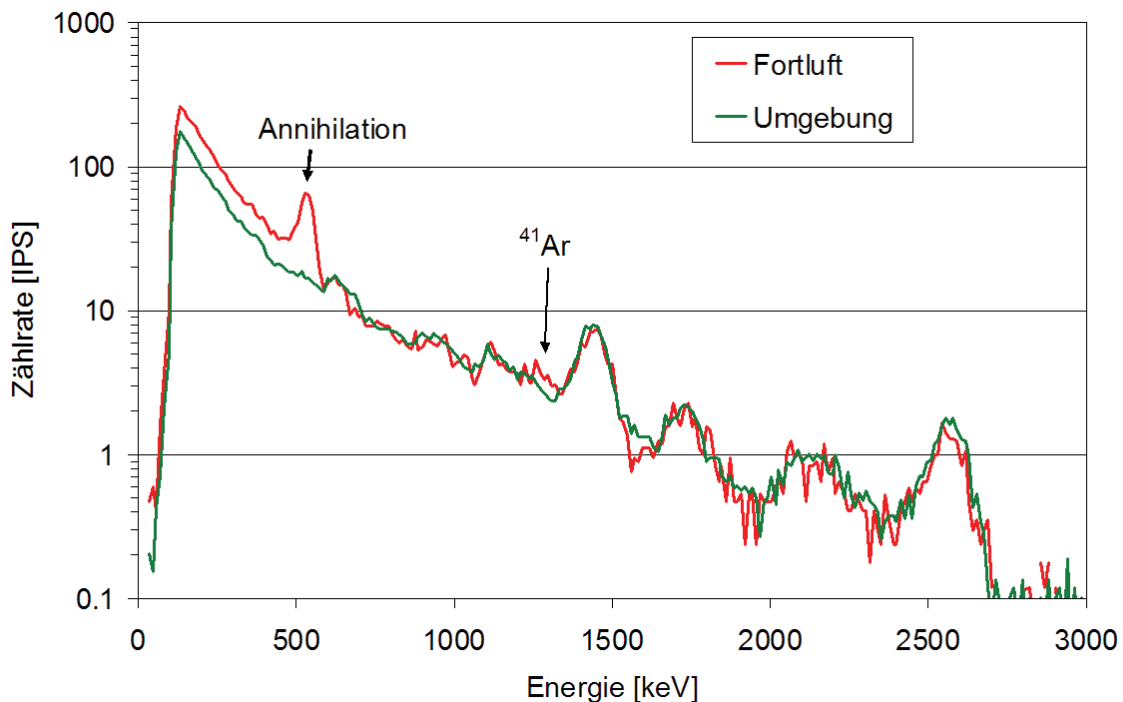
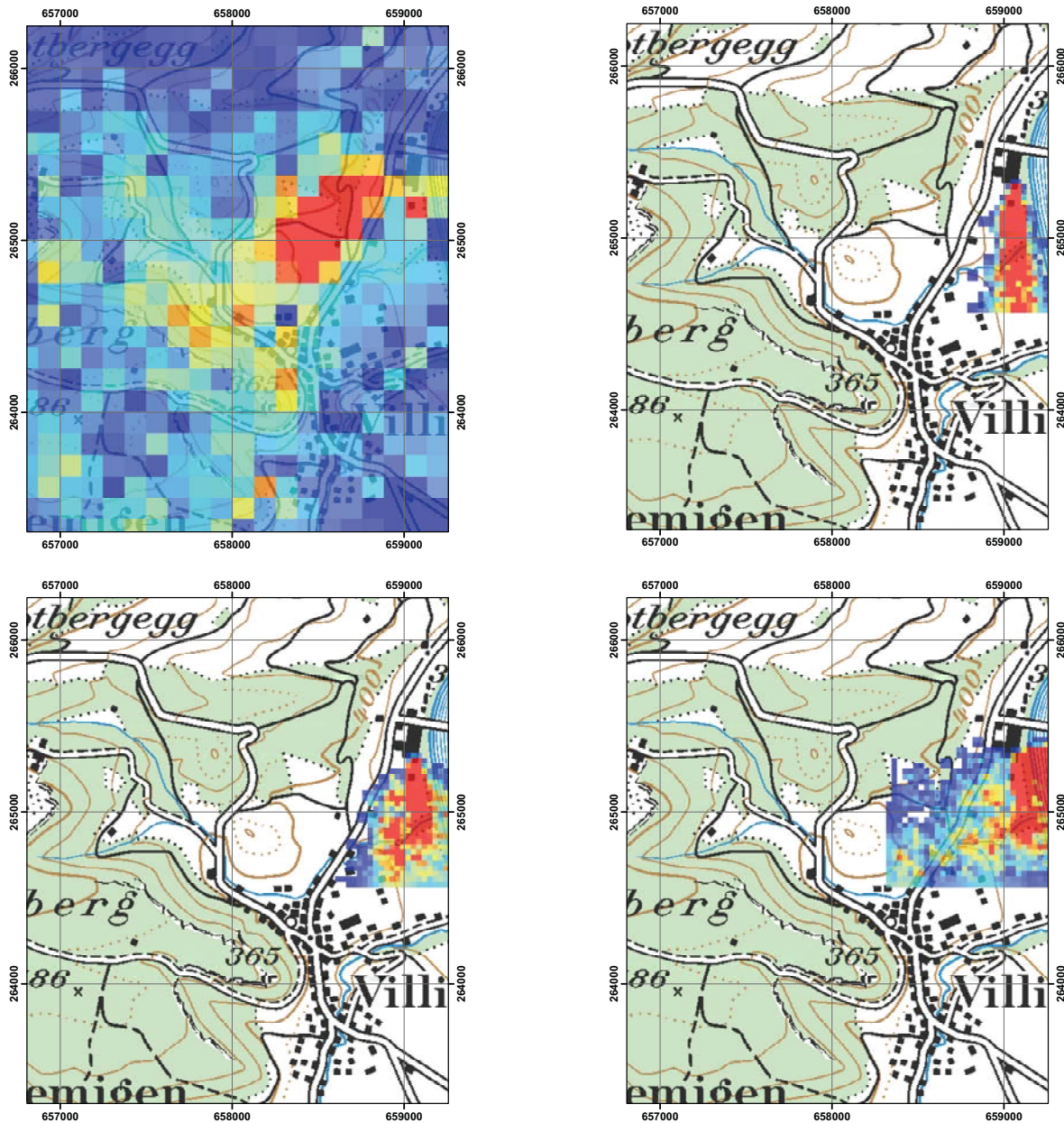


Abbildung 8: Photonenspektren über dem Betriebsareal und in der Umgebung des PSI-West.

In diesem Jahr wehte während der Messflüge nur ein geringer Wind mit Windgeschwindigkeiten bis zu 1.5 m/s in 70 m Höhe. Daher bieten die Messergebnisse eine ideale Voraussetzung, um Vergleiche mit Ausbreitungsrechnungen während einer austauscharmen Wetterlage zu ziehen. Am 8.7. wurde ein zusätzlicher Überflug der Umgebung des PSI-West durchgeführt, so dass ein weiterer Datensatz zum Vergleich mit den Modellrechnungen zur Verfügung steht. Abbildung 9 zeigt den Vergleich zwischen dem gemessenen MMGC-Verhältnis und der berechneten Konzentrationsverteilung von emittierten Positronenstrahlern. Hierbei geht es um einen rein qualitativen Vergleich

zweier unterschiedlicher Messgrößen. Die Farbskalen wurden willkürlich gewählt. Die dargestellten Raster haben eine unterschiedliche Auflösung (Pixelgrösse). Für die Aero-radiometrie wird die sinnvolle Auflösung aufgrund der Flughöhe und der damit verbundene Mittelungsfläche (field of view) definiert. Für Ausbreitungsrechnungen wird die Auflösung aus der Grösse des betrachteten Areals (Domäne) und der Rechenkapazität abgeleitet.



**Abbildung 9: Vergleich des gemessenen MMGC-Verhältnisses (oben links) mit Ausbreitungsrechnungen (oben rechts 7:00 UTC, unten links 8:00 UTC, unten rechts 9:00 UTC). Farbskala willkürlich gewählt.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).**

Am 5. 7. wurden die Messflüge zwischen 7 und 10 Uhr UTC durchgeführt. Das MMGC-Verhältnis zeigt eine Ausbreitung in südwestlicher Richtung. Hingegen lassen die Aus-

breitungsrechnungen zu den Zeitpunkten 7 Uhr, 8 Uhr und 9 Uhr UTC eher eine Ausbreitung in direkt südlicher Richtung erwarten. Die Karte des MMGC-Verhältnisses der zusätzlichen Messung am 8.7. (Abb. 10) zeigt ebenfalls eine Ausbreitung in südwestlicher Richtung, welche mit den Modellrechnungen qualitativ besser übereinstimmt.

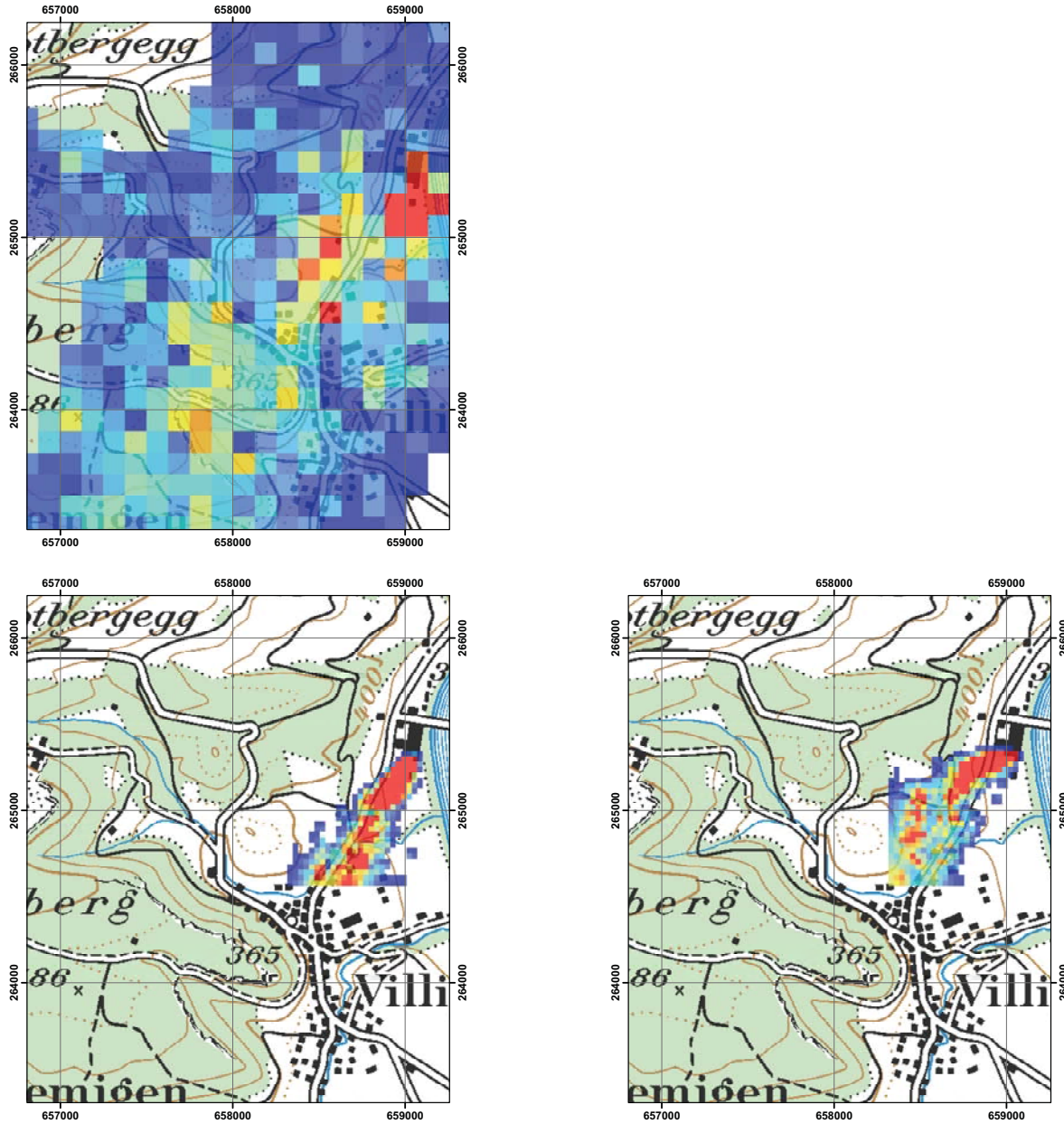


Abbildung 10: Vergleich des gemessenen MMGC-Verhältnisses (oben links) mit Ausbreitungsrechnungen (unten links 9:00 UTC, unten rechts 10:00 UTC).

Farbskala willkürlich gewählt.

PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

2.2 Messgebiete bei Posieux, Güttingen, Affoltern/ZH und Cadenazzo

Auf Wunsch des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) wurde die Aeroradiometrieübung ARM10 genutzt, um das radiologische Umfeld von geplanten Referenzflächen für die radiologische Umweltüberwachung näher zu untersuchen. Mit Ausnahme des Areals bei Cadenazzo zeigen alle Flächen weder räumliche Inhomogenitäten noch erhöhte Messwerte, welche einer Verwendung als Referenzfläche entgegenstehen würden (Abbildungen 29 bis 48). In einem nordwestlich gelegenen Waldstück des Messgebiets bei Cadenazzo kann eine erhöhte ^{137}Cs -Konzentration beobachtet werden. Das Tessin war das am stärksten in der Schweiz betroffene Gebiet des Tschernobyl-Unfalls. Die damals abgelagerte Aktivität kann heute vor allem in Arealen nachgewiesen werden, deren oberste Bodenschicht weitgehend unbeeinflusst blieb, wie zum Beispiel in Waldgebieten. In der Karte des MMGC-Verhältnisses bei Güttingen (Abb. 35) kann an einem Rasterpunkt ein erhöhter Wert beobachtet werden. Eine genauere Analyse zeigte, dass es sich hier um einen Artefakt handelt, welcher durch ein Spektrum mit ungewöhnlich geringer Zählrate im hochenergetischen Energiebereich verursacht wird (siehe auch Abschnitt 2.1). In Abbildung 11 ist die statistische Verteilung für die verschiedenen Referenzflächen und die verschiedenen Aktivitäten bzw. Ortsdosisleistungen dargestellt. Die drei Gebiete bei Affoltern/ZH, Güttingen und Posieux zeigen sehr ähnliche Werte. Das Gebiet in Cadenazzo zeigt im Vergleich durchwegs etwas höhere Werte, insbesondere die Kalium- und Cäsiumaktivitäten sind deutlich höher als in den anderen Gebieten. Die Cäsium-Werte der Einzelmessungen in den drei Gebieten nördlich der Alpen liegen alle unterhalb der Nachweisgrenze des Messsystems.

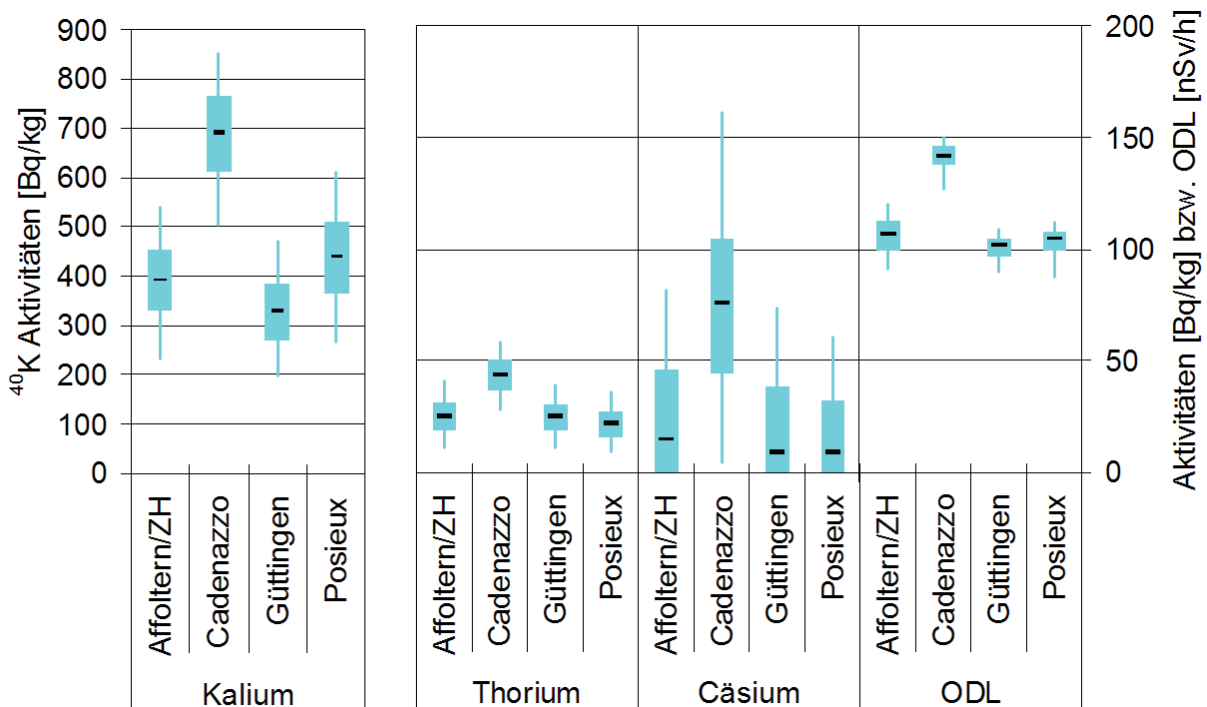


Abbildung 11: Statistische Verteilung der Ergebnisse in den vier Referenzflächen des BAG. Dargestellt sind die 5%- und 95%-Quantile, das erste und dritte Quartil (Box) und der Medianwert für die Aktivitäten von ^{40}K , der Thorium-Reihe und ^{137}Cs sowie für die Ortsdosisleistung (ODL).

2.3 Messgebiet Dischmatal

In Vorbereitung einer für 2011 durch BAG, Labor Spiez und ENSI geplanten internationalen Vergleichsmessung der in-situ-Gammaspektrometrie wurde das Dischmatal aeroradiometrisch vermessen.

Tabelle 4: Vergleich der Messergebnisse der Aeroradiometrie mit Bodenmessungen im Dischmatal.

	Messpunkt		
	6	8	8A
x-Koordinate	789871	786672	786340
y-Koordinate	177301	182696	183326
Ortsdosisleistung [nSv/h]			
in-situ	138 - 142	138 - 159	112 - 146
Aeroradiometrie	147 ± 21	150 ± 30	150 ± 20
⁴⁰ K-Aktivitätskonzentration [Bq/kg]			
in-situ	317 - 343	329 - 581	484 - 565
Aeroradiometrie	600 ± 400	500 ± 300	500 ± 300
¹³⁷ Cs-Aktivitätskonzentration [Bq/kg]			
in-situ	38 - 40	12 - 16	13 - 17
Aeroradiometrie	60 ± 50	20 ± 40	20 ± 40
²³⁸ U-Aktivitätskonzentration [Bq/kg]			
in-situ	54 - 61	34 - 50	25 - 36
Aeroradiometrie	40 ± 70	40 ± 70	50 ± 70
²³² Th-Aktivitätskonzentration [Bq/kg]			
in-situ	19	10 - 27	26 - 39
Aeroradiometrie	30 ± 30	30 ± 30	20 ± 30

Tabelle 4 zeigt die Messergebnisse der Aeroradiometrie an drei durch die in-situ-Gammaspektrometrie vermessenen Punkten im Vergleich zu deren Messresultaten. Die angegebenen Messwerte der Aeroradiometrie entsprechen dem Mittelwert über alle Punkte innerhalb eines Kreises von 125 m um den Messpunkt. Die Unsicherheiten wurden gemäss der in Bucher (2001) beschriebenen Abschätzungen angegeben. Die in-situ-Messungen wurden gleichzeitig mit bis zu sieben verschiedenen Messgeräten durchgeführt. Die Streuung zwischen den Messgeräten zeigte sich grösser als die angegebenen Unsicherheiten der einzelnen Messsysteme. Daher wird in Tabelle 4 der

Bereich zwischen dem niedrigsten und dem höchsten Messwert angegeben. Die Messwerte der Ortsdosisleistung von in-situ-Messung und Aeroradiometrie stimmen gut überein. Die über die Aeroradiometrie gemessenen Aktivitätskonzentrationen liegen nahe und teilweise unter deren Nachweisgrenze, decken sich aber im Rahmen der berechneten Unsicherheiten mit den Ergebnissen der in-situ-Messung.

2.4 Profile von Wil nach Poschiavo, von Martina nach Castasegna und von Montreux nach St. Margrethen

Um die aeroradiometrische Abdeckung der Schweiz zu verbessern, wurden drei Profile in Gebieten ohne bisherige aeroradiometrische Messungen ausgemessen (Fluglinien siehe Abbildungen 55, 62 und 66). Die anspruchsvolle Topografie entlang dieser Profile erschwert die präzise Einhaltung der Flughöhe von 90 m über Grund (Abb. 12). Im Falle von erheblichen Überschreitungen der Sollflughöhe treten vermehrt Fehlauswertungen der Messdaten auf. Abbildung 13 zeigt exemplarisch, in welchem Mass unrealistische Aktivitätskonzentrationen von ^{40}K auftreten können, wenn die Sollflughöhe deutlich überschritten wird. Daher werden generell in allen Karten Werte an Punkten mit Höhen über Grund grösser als 200 m nicht dargestellt. Hierdurch entstehen entlang der Profile Datenlücken, obwohl der Bereich überflogen wurde.

Die entlang der Flugstrecken gemessenen terrestrischen Dosisleistungen (Abb. 16, 18, 20, 22, 55, 62, 66 und 70) zeigen vor allem die Abschwächung der vom Boden ausgehenden Photonenstrahlung durch Wasserflächen als markante Absenkung der terrestrischen Dosisleistung auf.

Die entlang der Profile gemessene ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration (Abb. 17, 19, 21, 23, 56, 63, 67 und 71) spiegelt das Ablagerungsmuster der durch den Tschernobyl-Unfall emittierten Radionuklide mit erhöhten Werten in der Ost- und Südschweiz wider. Im Gebiet vom Toggenburg und Appenzell hin zum Rheintal wurden höhere Cäsium-Aktivitäten registriert als in der Westschweiz und im Mittelland. Die Aktivitäten erreichen Werte zwischen 30 und 50 Bq/kg. Vergleicht man gemittelte Spektren aus den beiden Gebieten, treten neben Unterschieden bei den natürlichen Radionukliden auch klar Unterschiede für ^{137}Cs hervor (Abb. 14).

Das Profil von Wil nach Poschiavo weist bei den Messwerten der terrestrischen Dosisleistung (Abb. 16 und 55) eine Erhöhung südwestlich des Piz Albris auf. Alle Karten der natürlichen Radionuklide (Abb. 57 bis 58) zeigen in diesem Bereich erhöhte Werte, welche in der ^{232}Th -Karte (Abb. 58 und 59) besonders ausgeprägt sind. Eine genauere Analyse des über den entsprechenden Profilabschnitt gemittelten Photonenspektrums (blaue Kurve in Abbildung 15) zeigt deutlich im Vergleich zur Umgebung erhöhte Zählraten von Photonenemissionen der ^{232}Th -Zerfallsprodukte ^{208}Tl und ^{228}Ac , sowie eine leichte Erhöhung der Zählraten von ^{40}K und dem ^{238}U -Zerfallsprodukt ^{214}Bi . Der Blick auf die geologische Karte (Abb. 60) zeigt, dass die erhöhten Thoriumwerte mit maximal 120 Bq/kg über dem Alkalifeldspatgranit oder dem zugeordneten Schuttkegel auftreten. Ein lediglich in der ^{40}K -Karte auffälliger Abschnitt südöstlich von Wiesen (GR) zeigt eine deutlicher Erhöhung der Zählrate bei 1460 keV und eine geringfügige Erhöhung der ^{232}Th -Zerfallsprodukte (rote Kurve in Abbildung 15). Für dieses Areal liegt der digitale geologische Atlas der Schweiz noch nicht im Massstab 1:25'000 vor, daher wurde auf die elektronische geologische Karte 1:500'000 zurückgegriffen. Abbildung

61 zeigt die erhöhte Kalium-Konzentration über einem granitischen Gneis (Metagranitoid), welcher von Perm- und Trias-Schichten umgeben ist.

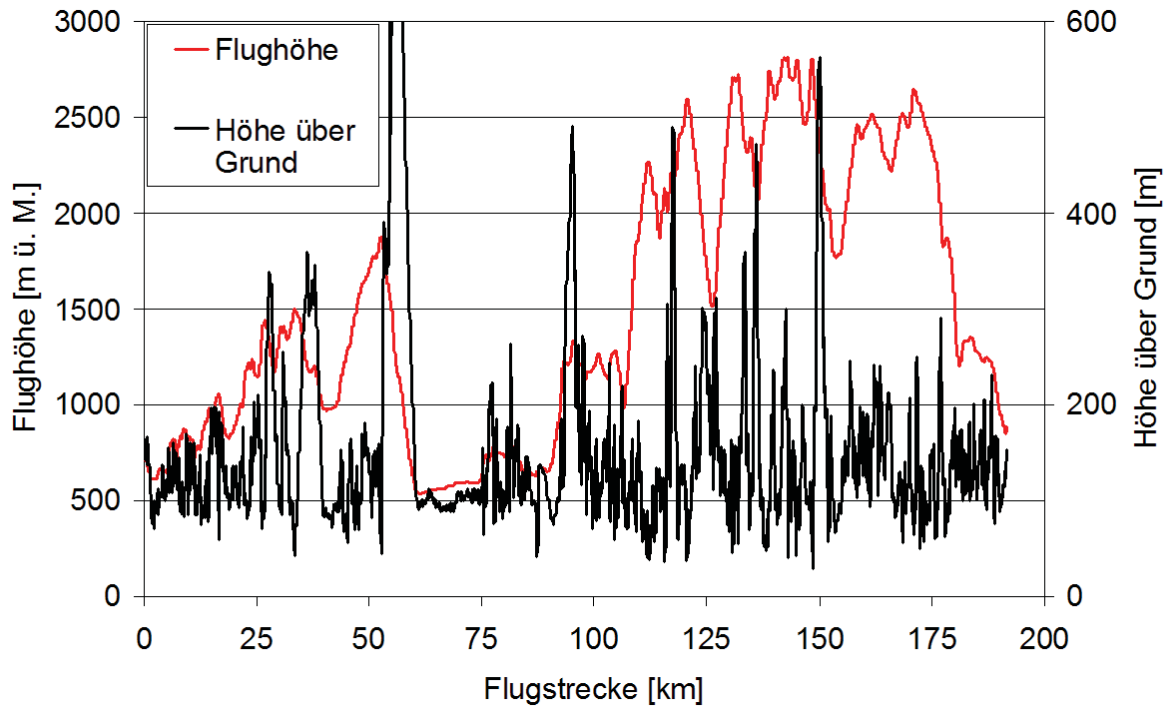


Abbildung 12: Flughöhen entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.

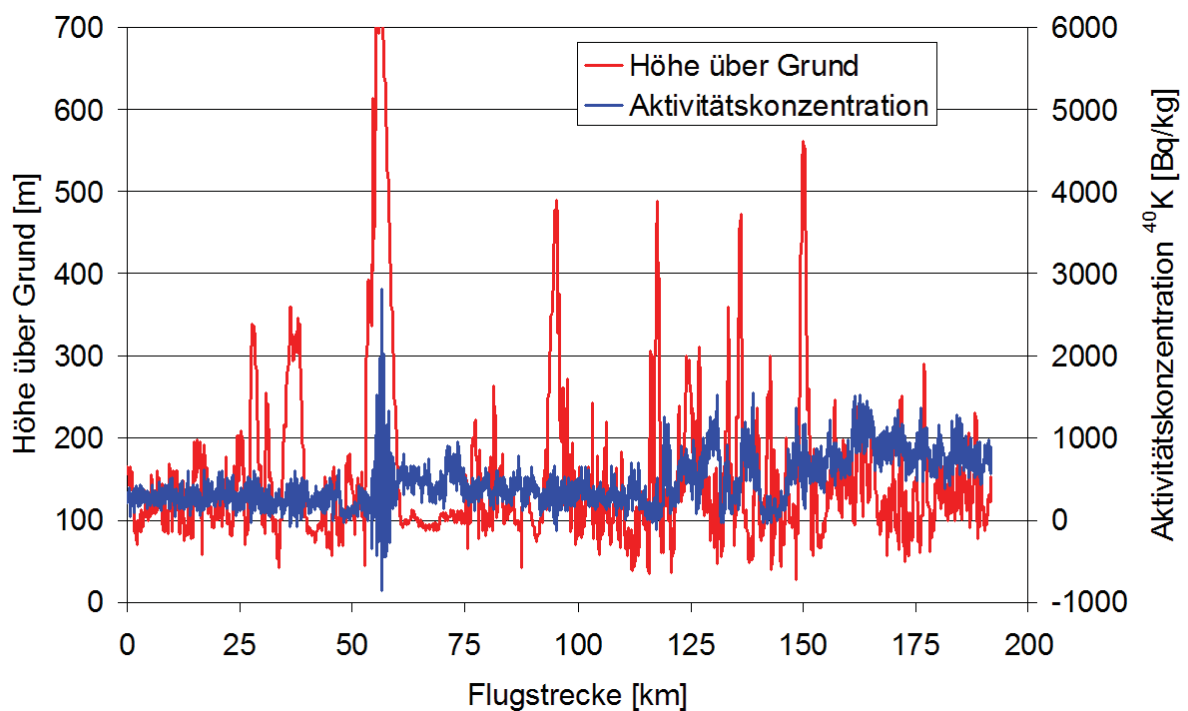


Abbildung 13: Abhängigkeit der berechneten ^{40}K -Aktivitätskonzentration von der Höhe über Grund.

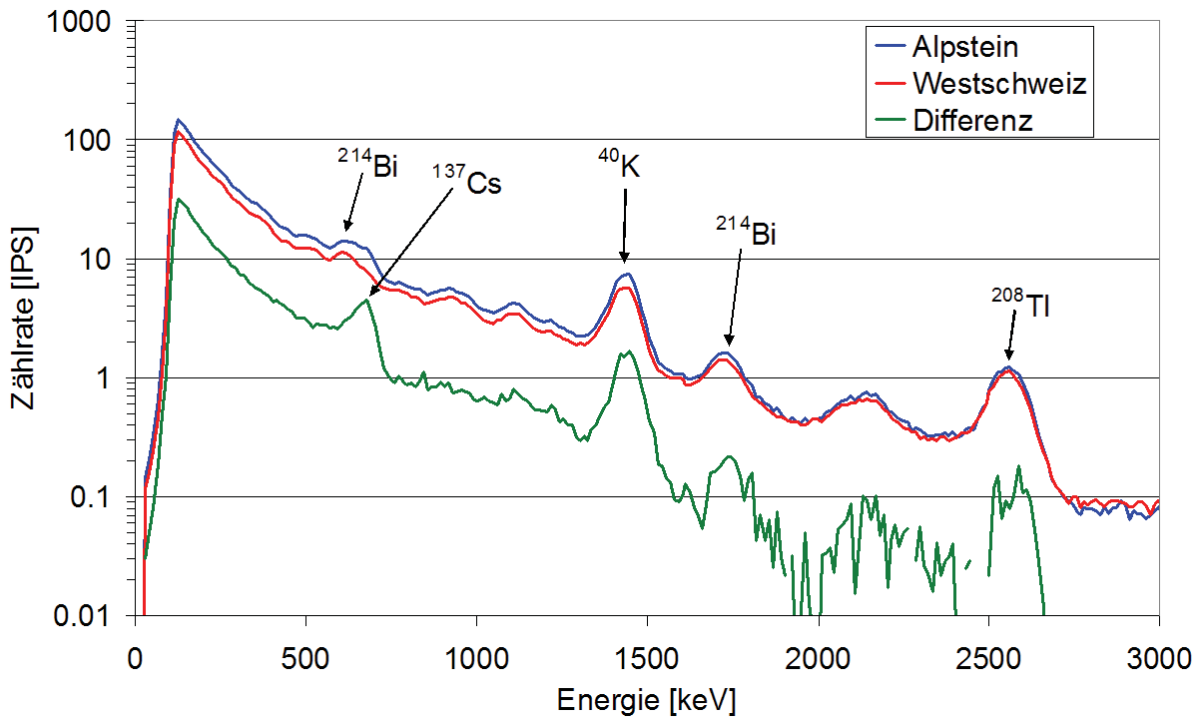


Abbildung 14: Gemittelte Spektren auf dem gemessenen Profil von Montreux nach St. Margrethen aus der Westschweiz und dem Alpsteingebiet im Vergleich. Grün ist die Differenz zwischen den beiden Spektren dargestellt.

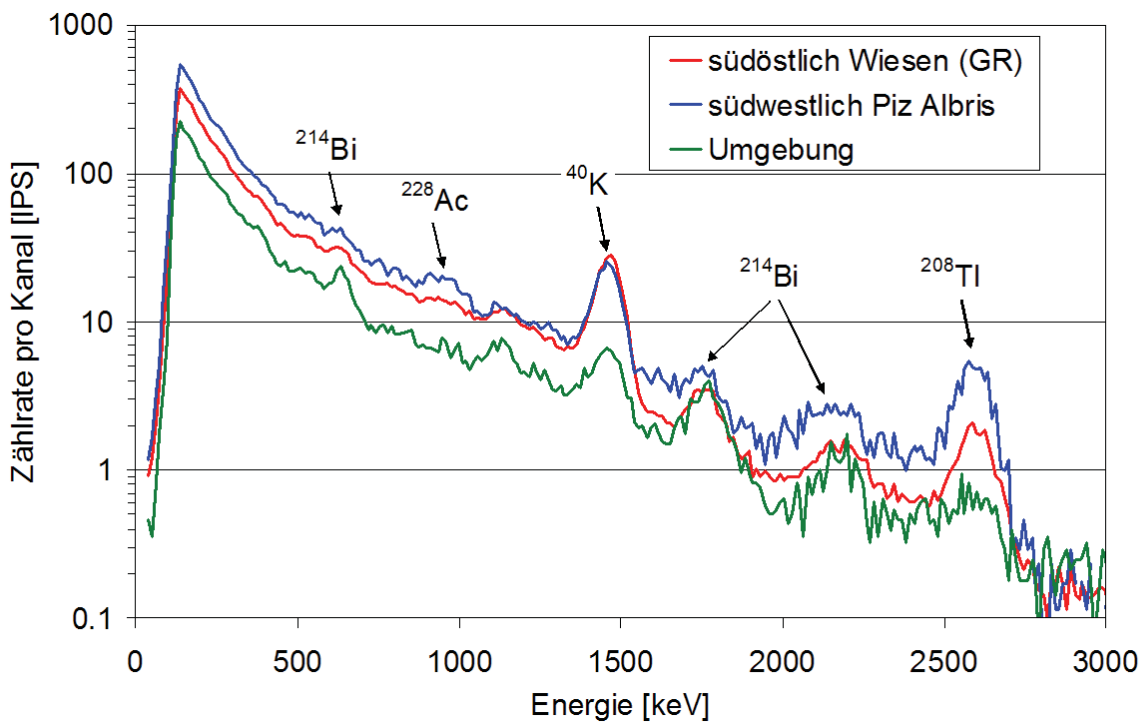


Abbildung 15: Photonenspektren in verschiedenen Abschnitten des Profils Wil - Poschiavo.

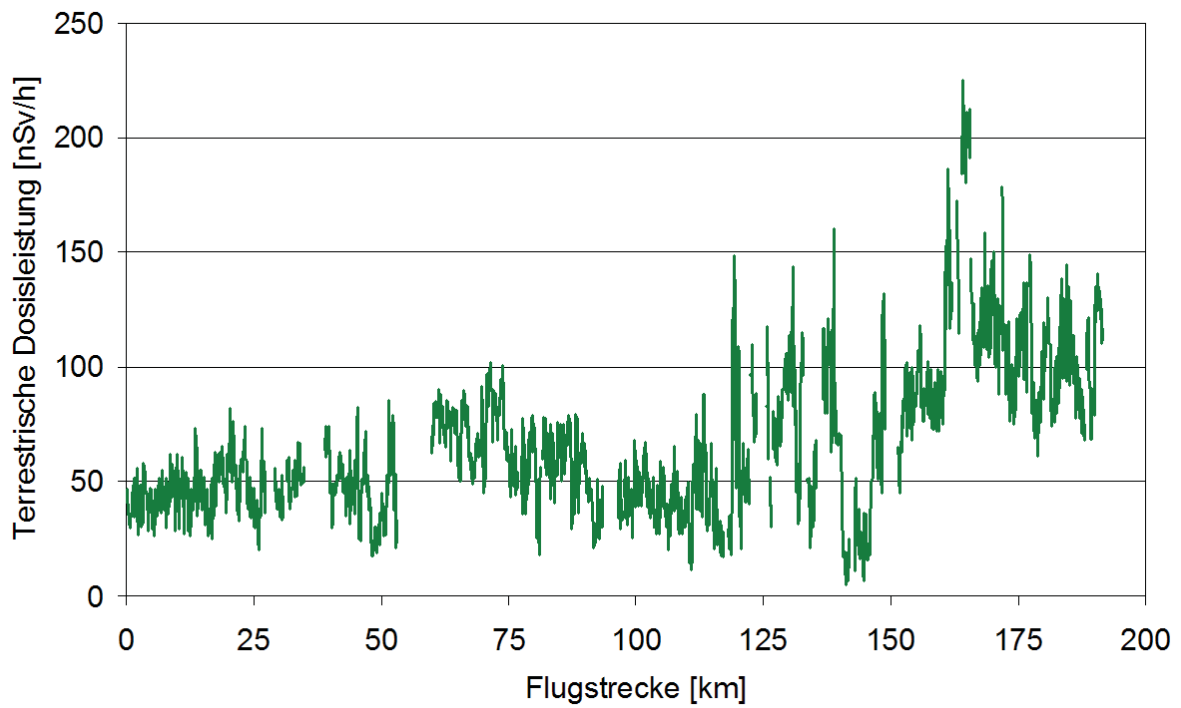


Abbildung 16: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.

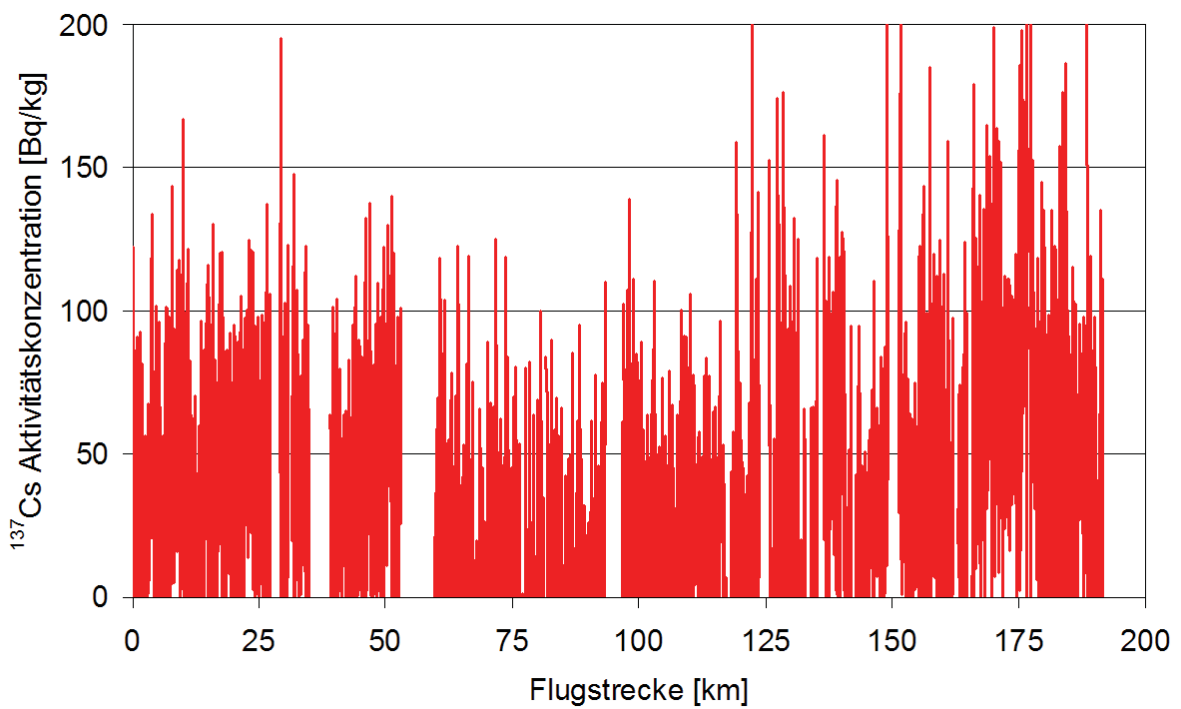


Abbildung 17: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Wil nach Poschiavo.

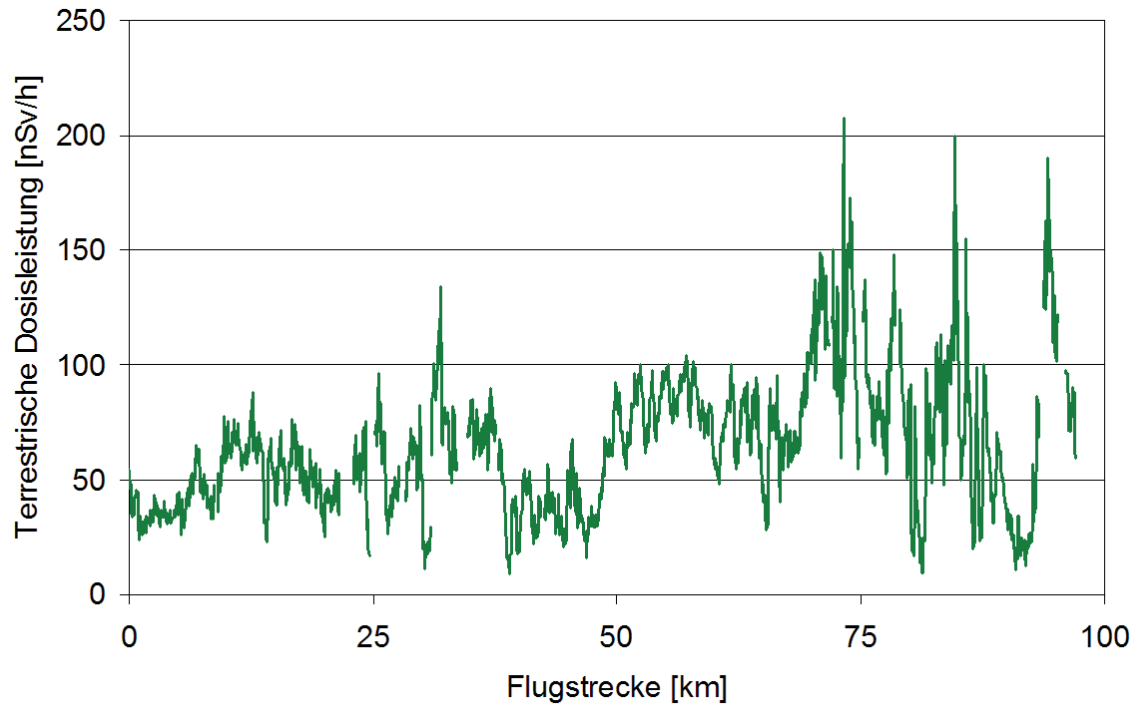


Abbildung 18: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Martina nach Castasegna.

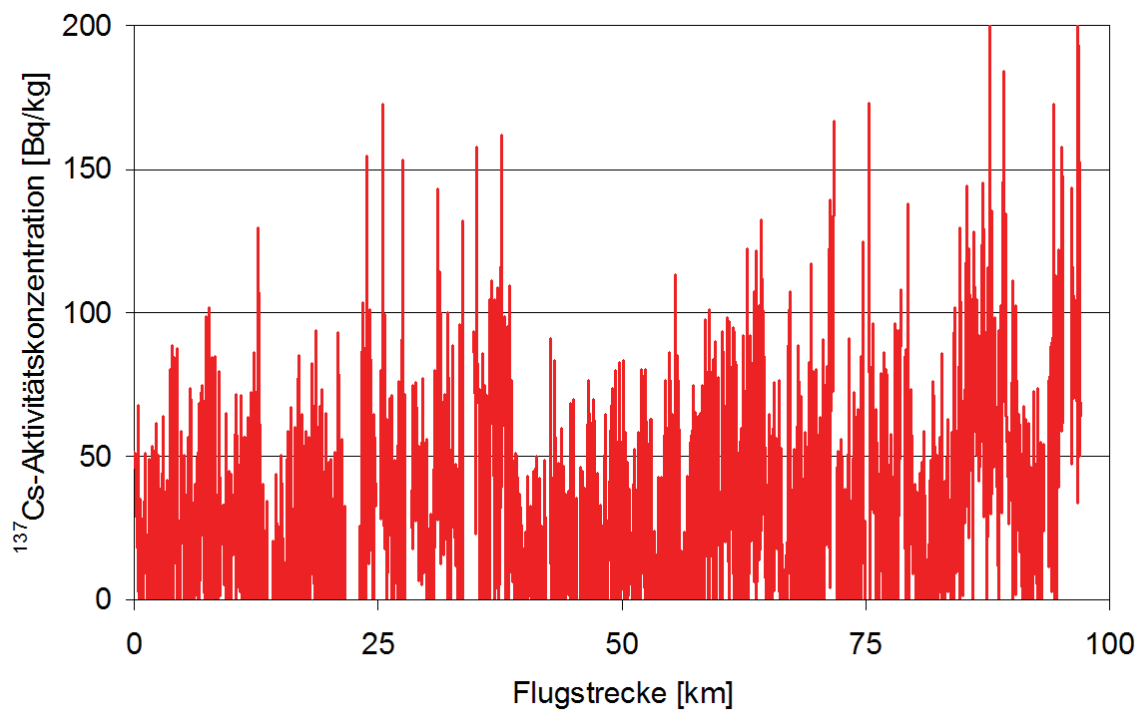


Abbildung 19: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Martina nach Castasegna.

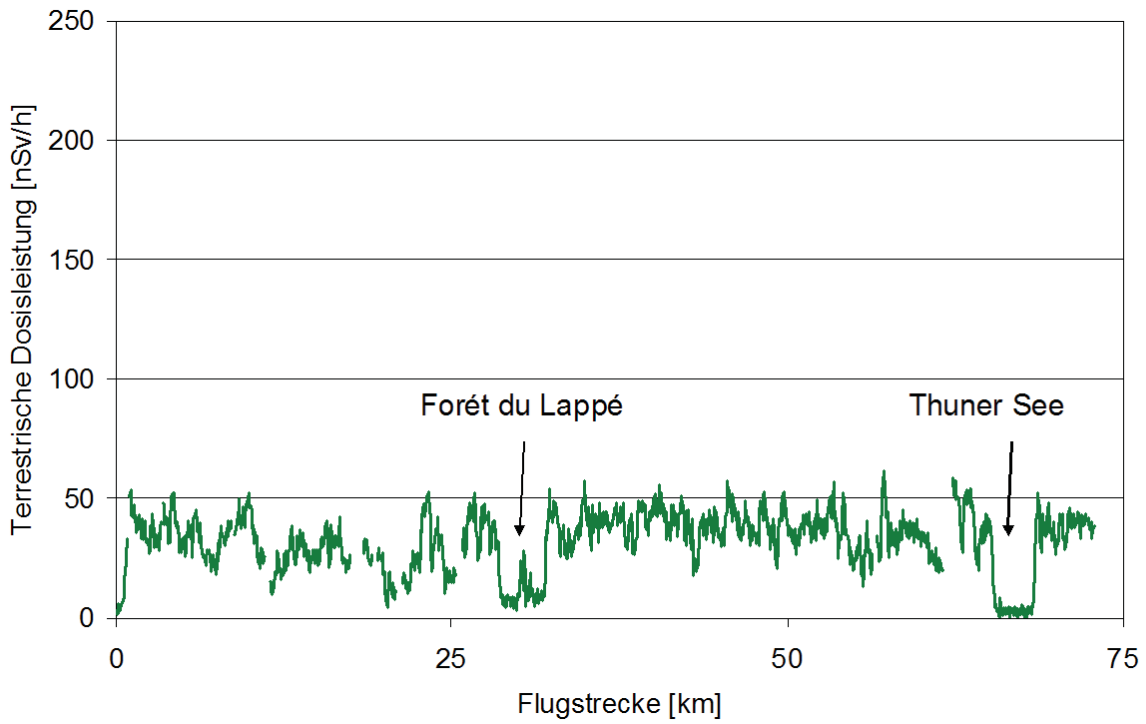


Abbildung 20: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Montreux nach Thun.

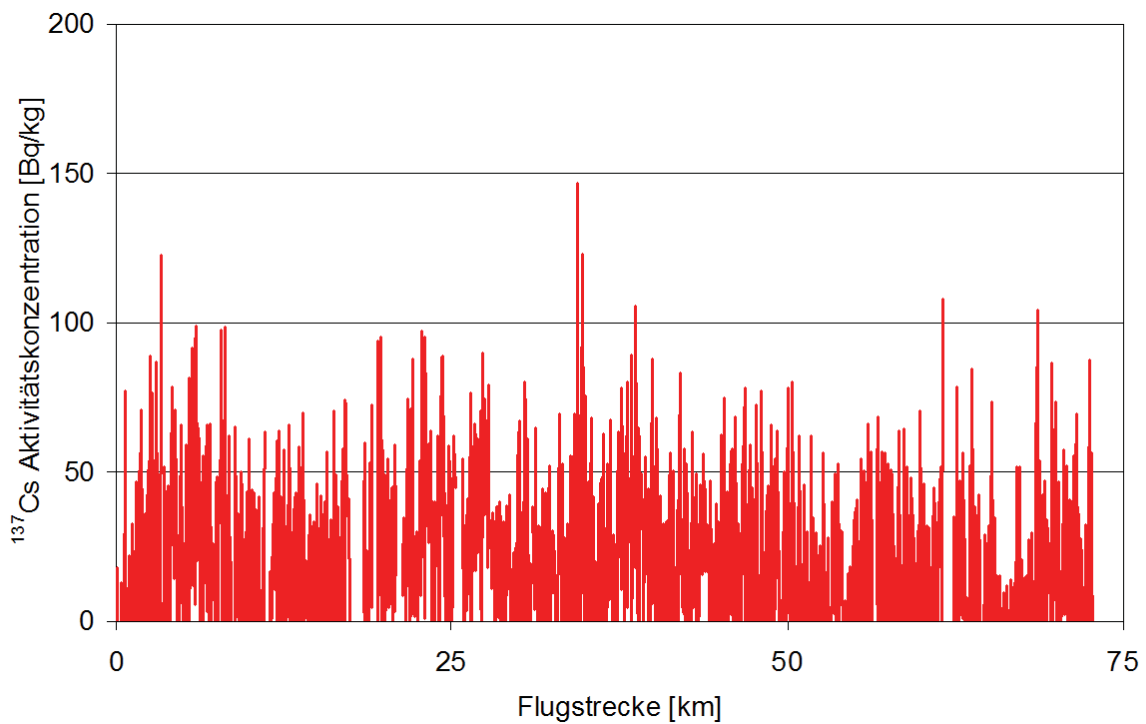


Abbildung 21: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Montreux nach Thun.

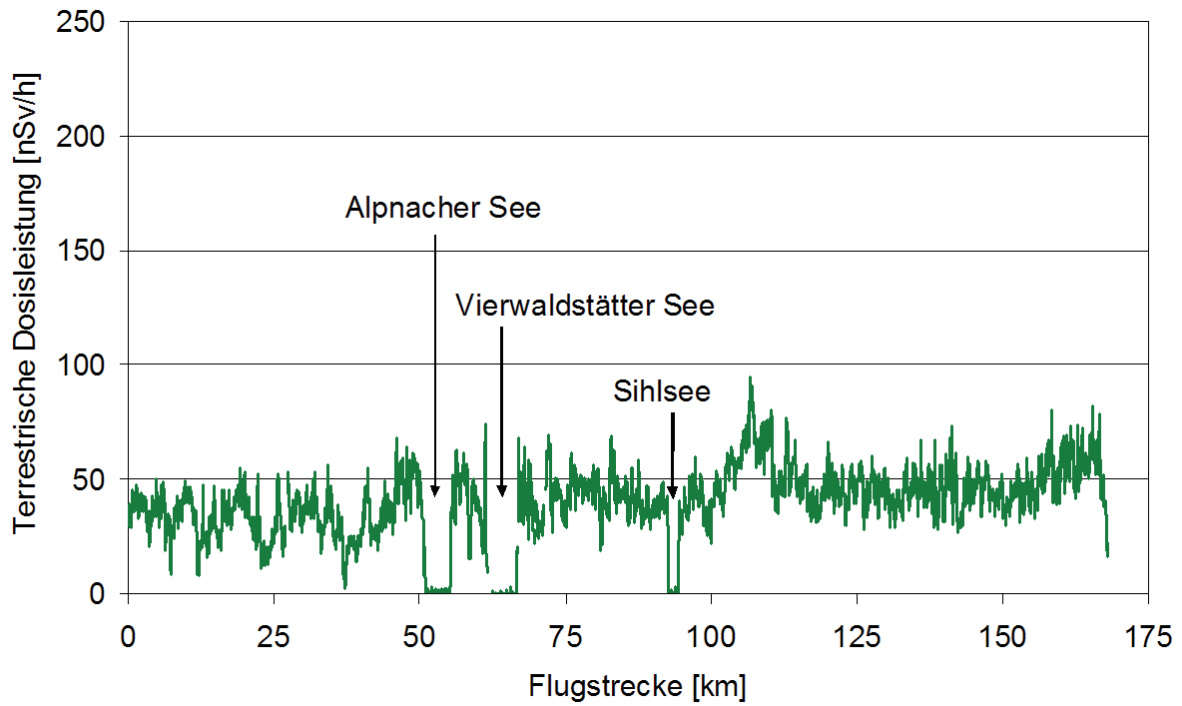


Abbildung 22: Terrestrische Dosisleistung entlang des Profils von Thun nach St. Margrethen.

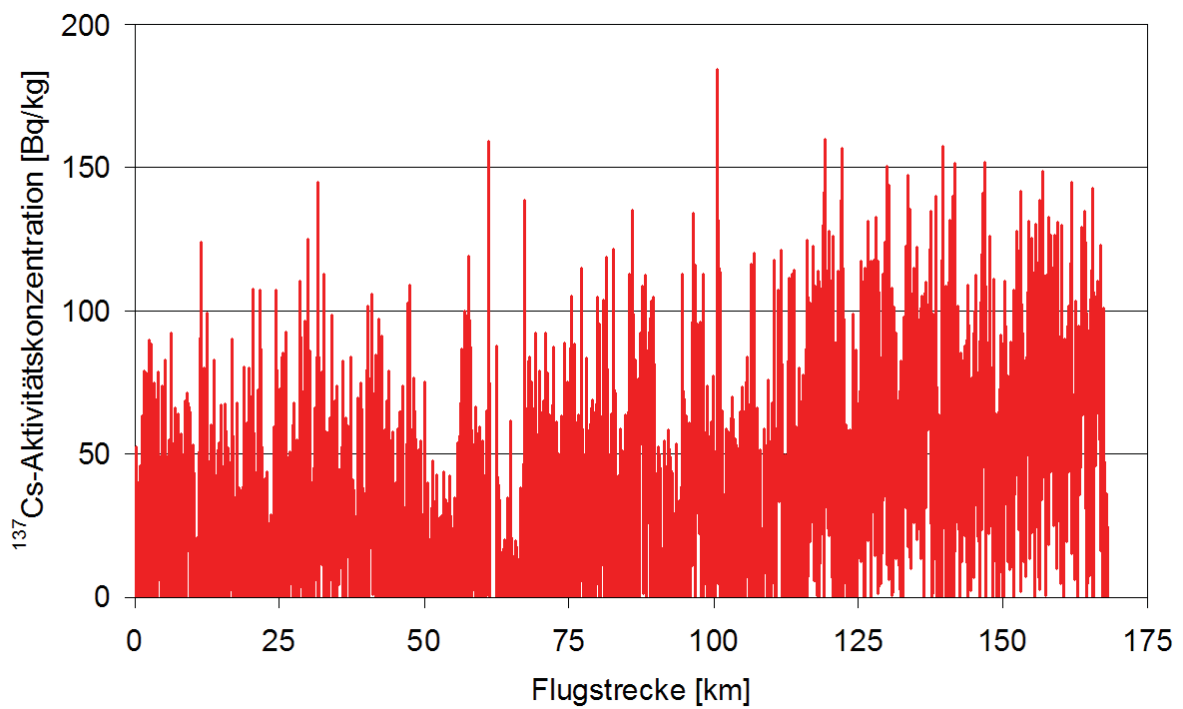


Abbildung 23: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang des Profils von Thun nach St. Margrethen.

3 ZUSAMMENFASSUNG

Obwohl die Mittelwerte der durch Aeroradiometrie und ABC-Erkundungskraftwagen im gemeinsamen Messgebiet gemessenen Ortsdosisleistung im Rahmen der Messunsicherheit übereinstimmen, konnten die Messwerte an einzelnen Punkten nicht korreliert werden.

In-situ-gammaspektrometrische Messungen in der Nähe der Rotbergegg ($x=657700$, $y=266100$) bestätigten eine durch die Aeroradiometrie beobachtete Thoriumanomalie. Die Messwerte über den Betriebsarealen KKL, KKB, ZWILAG und PSI Ost entsprachen den Messwerten der vorangegangenen Jahre. Ausserhalb der Betriebsareale sind keine Werte zu messen, welche nicht auf Tschernobyl- bzw. Bombentest-Fallout zurückzuführen sind.

In der Nähe des PSI-Areals West konnte in diesem Jahr aufgrund der ausgeprägten Schwachwind-Wetterlage während der Messflüge die Ausbreitung der Fortluft aus der zentralen Fortluft PSI-West weitergehend untersucht werden.

Im Auftrag des BAG überflogene Messflächen zeigten mit Ausnahme des im Tessin gelegenen Areals geringe und homogene Aktivitätskonzentrationen.

Ein Vergleich mit in-situ-Messungen im Dischmatal ergab Übereinstimmung im Rahmen der Messunsicherheiten.

Lediglich das überflogene Profil von Wil nach Poschiavo zeigte im Bündnerland teilweise erhöhte Messwerte natürlicher Radionuklide. Die Abschnitte des Profils mit erhöhten ^{232}Th - bzw. ^{40}K -Aktivitätskonzentrationen konnten klar geologischen Formationen zugeordnet werden.

4 LITERATUR

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

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

5 BISHERIGE BERICHTE

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1989 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1990.

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1990 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 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, 1992.

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1992 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 1993.

Schwarz, G. F., Klingelé, E. E., Rybach, L.: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen. Bericht für das Jahr 1993 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich, 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.

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., 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.

Bucher, B., Guillot, L., Strobl, C., Butterweck, G., Gutierrez, S., Thomas, M., Hohmann, C., Krol, I., Rybach, L., Schwarz, G.: International Intercomparison Exercise of Airborne Gamma-spectrometric Systems of Germany, France and Switzerland in the Framework of the Swiss Exercise ARM07. PSI-Bericht Nr. 09-07, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2009.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM08. PSI-Bericht Nr. 09-02, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2009.

Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G., Strobl, C.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM09. PSI-Bericht Nr. 10-01, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2010.

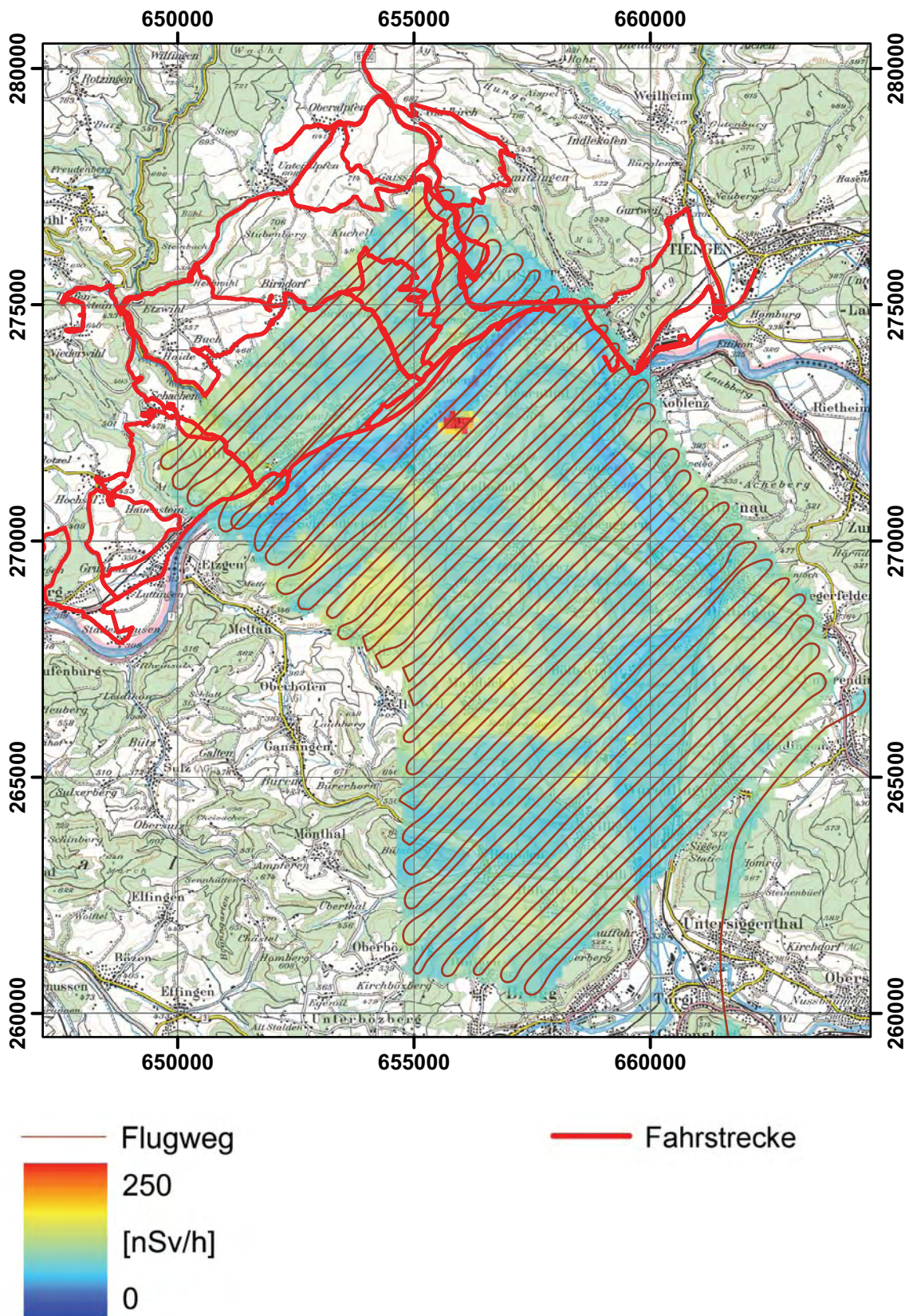


Abbildung 24: Ortsdosisleistung und Routen der ABC-Erkundungskraftwagen in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

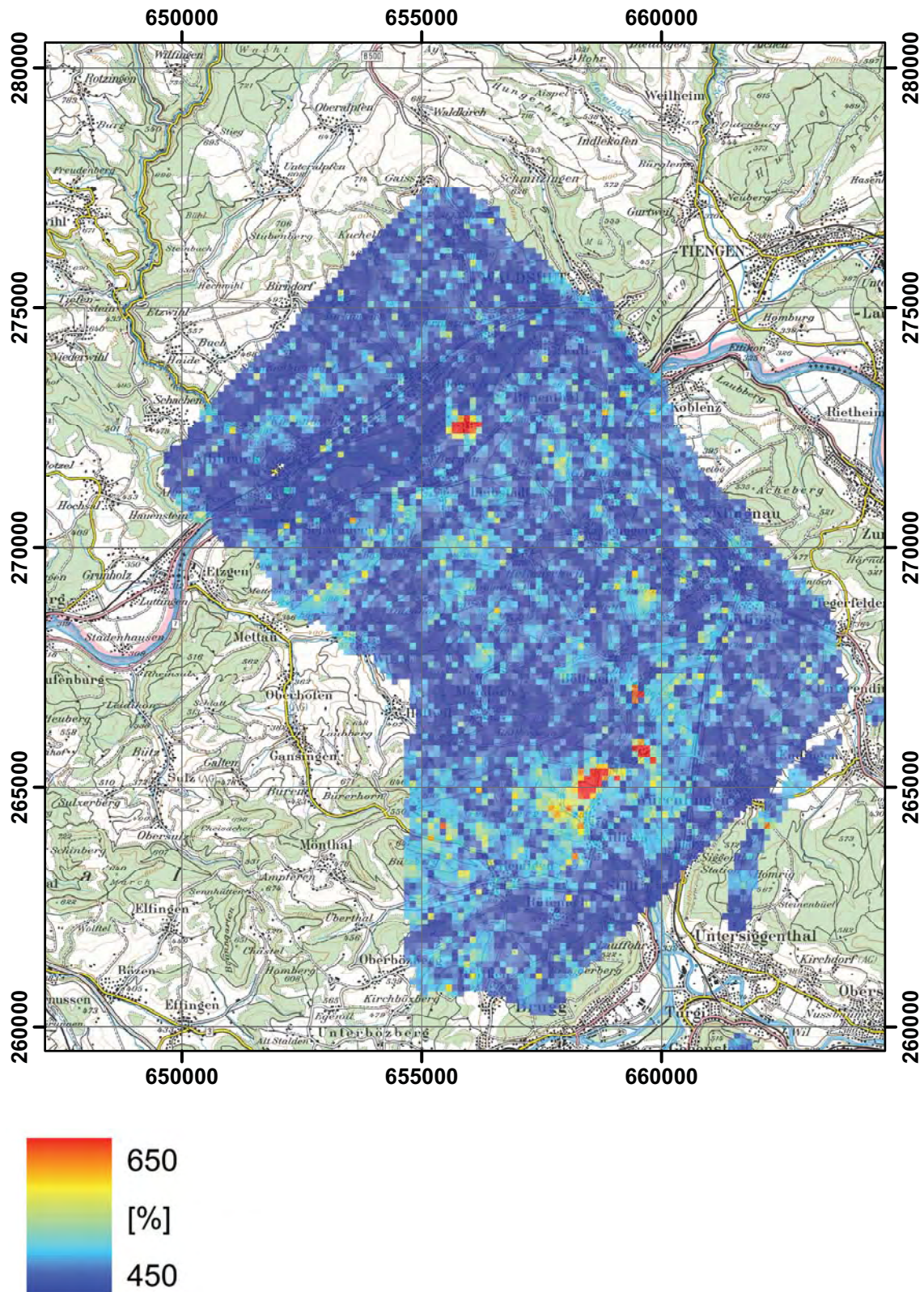


Abbildung 25: MMGC-Ratio in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

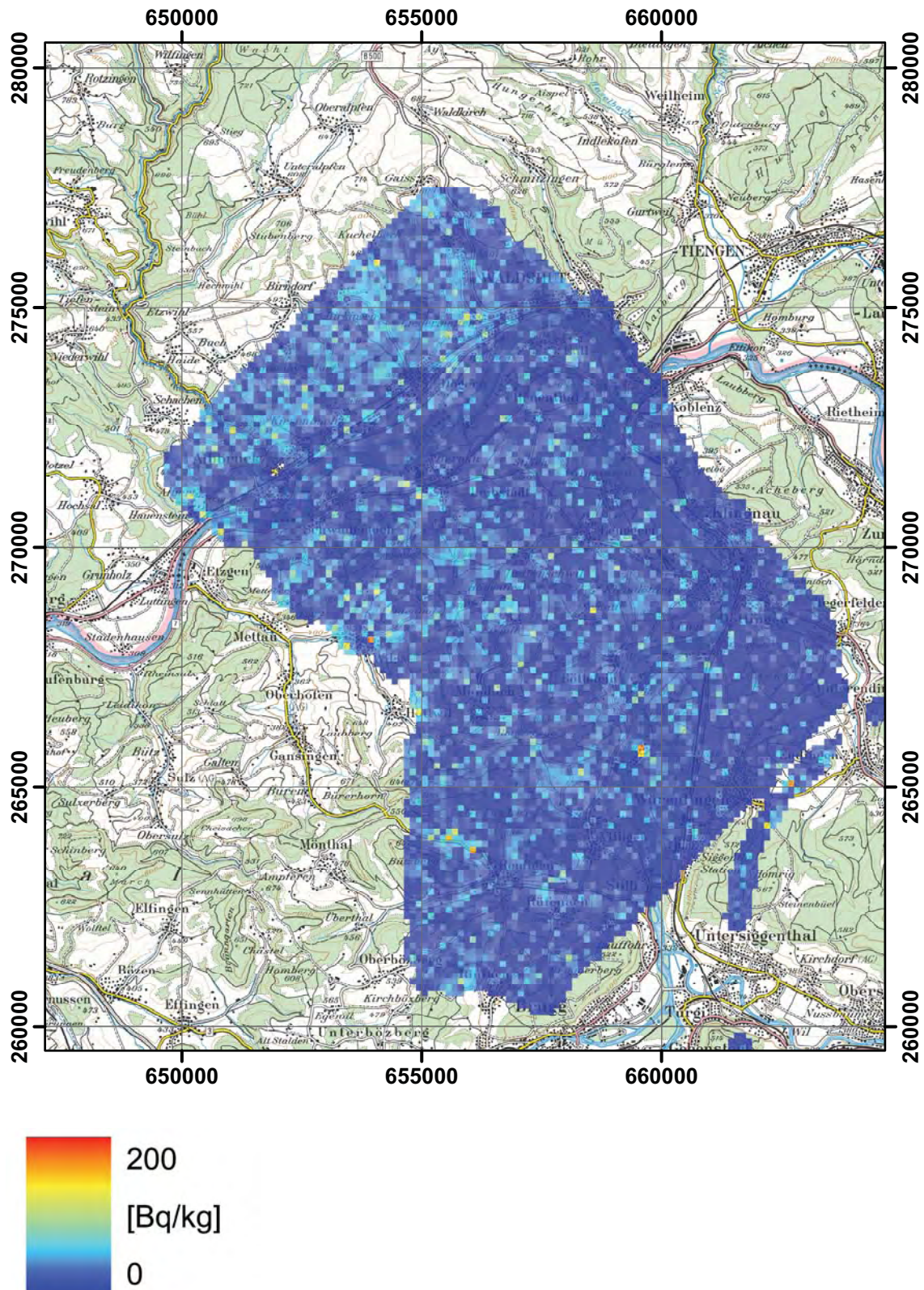


Abbildung 26: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

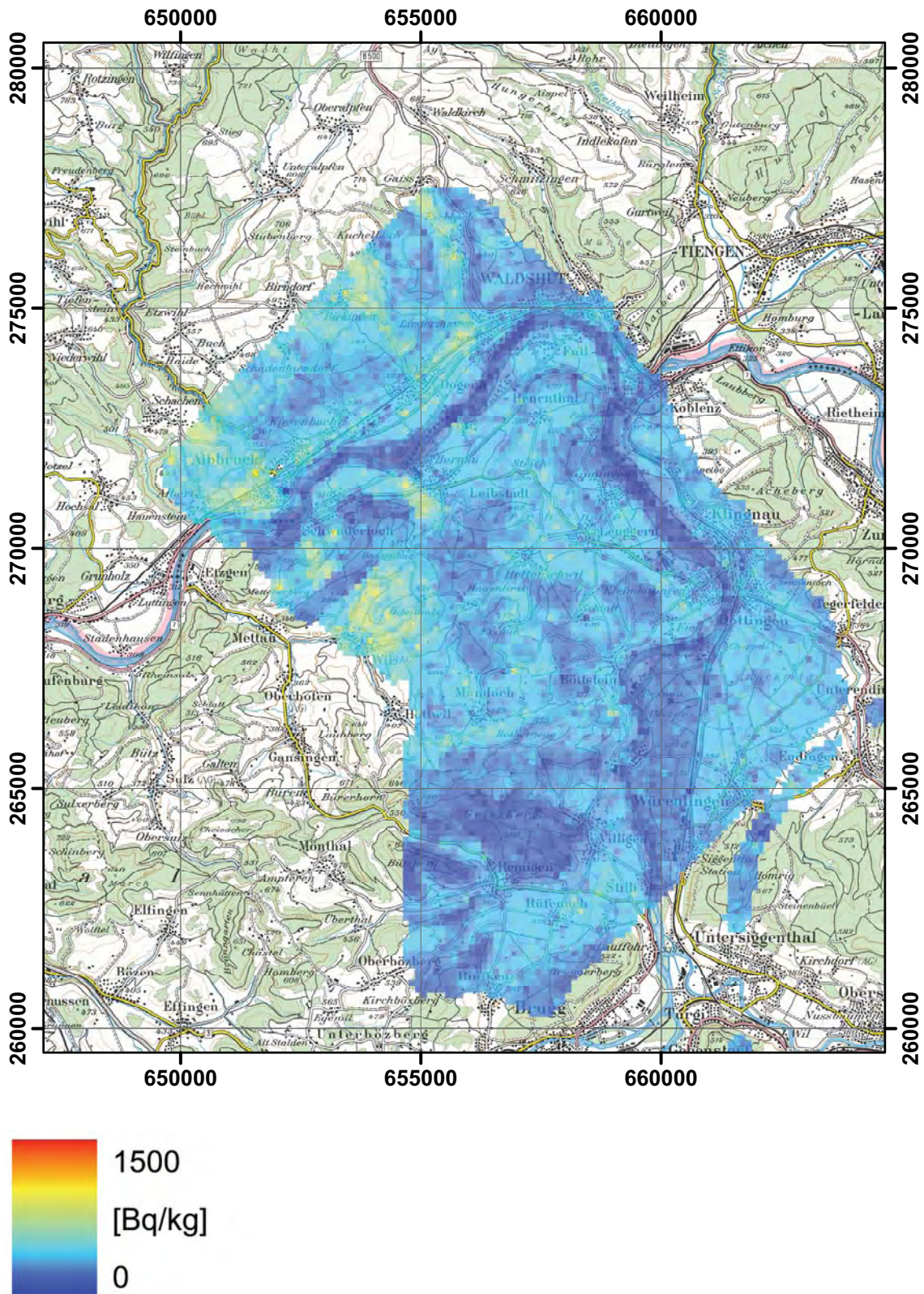


Abbildung 27: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

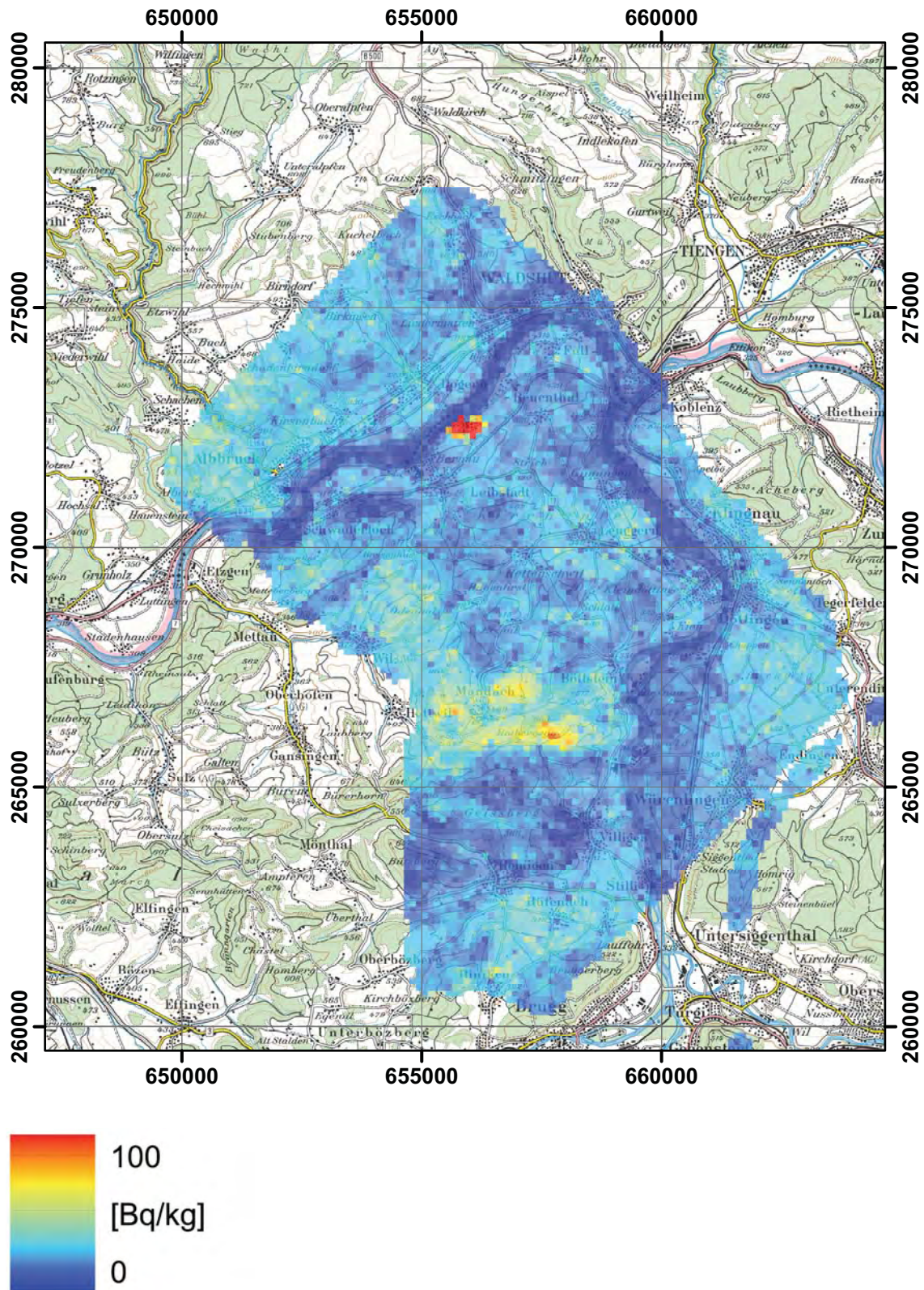


Abbildung 28: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKL/KKB/PSI/ZWILAG. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043) (siehe Seite 8).

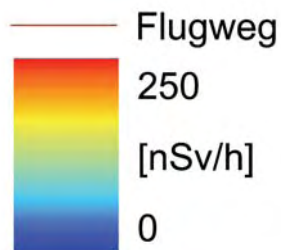
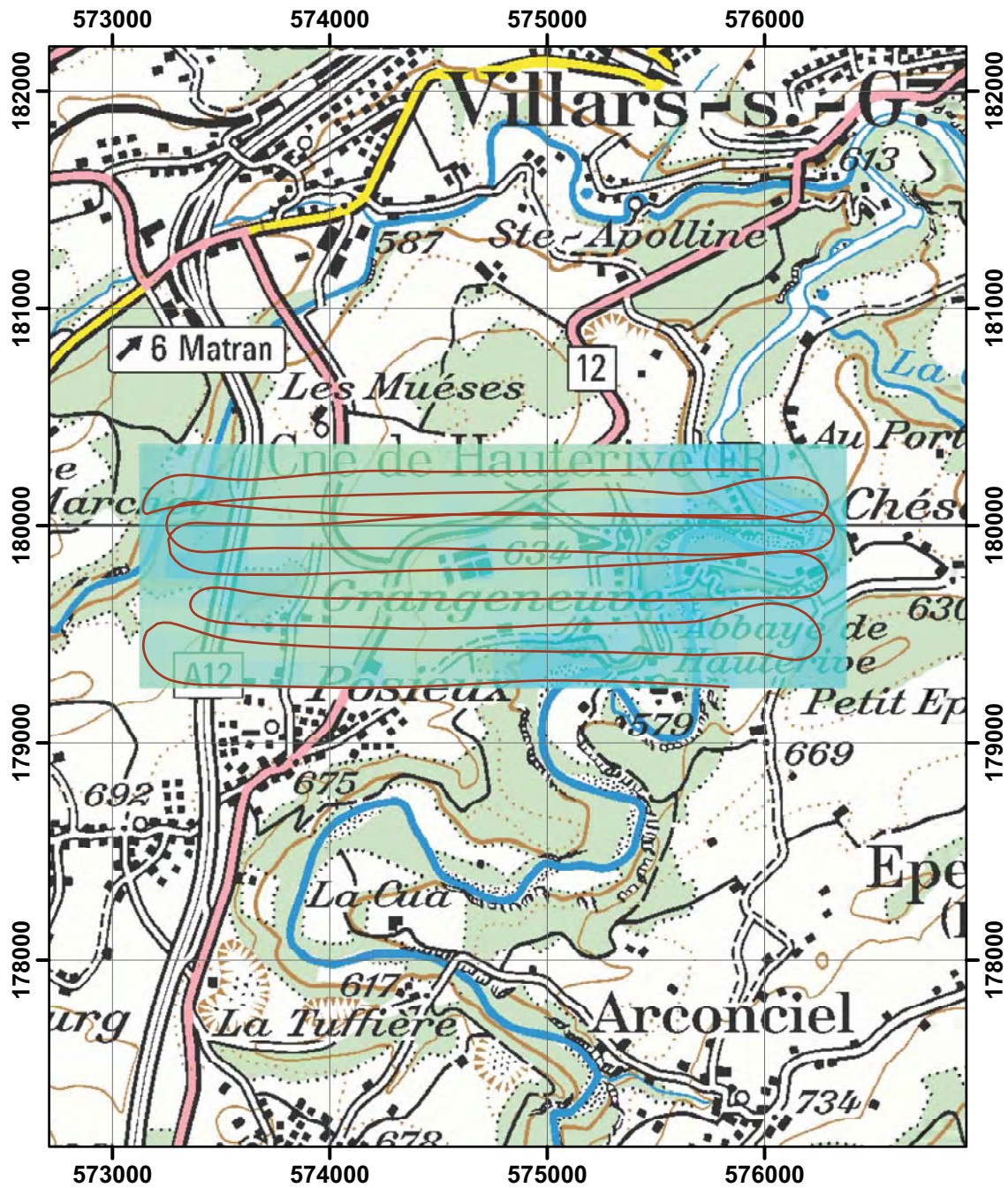


Abbildung 29: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Posieux.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

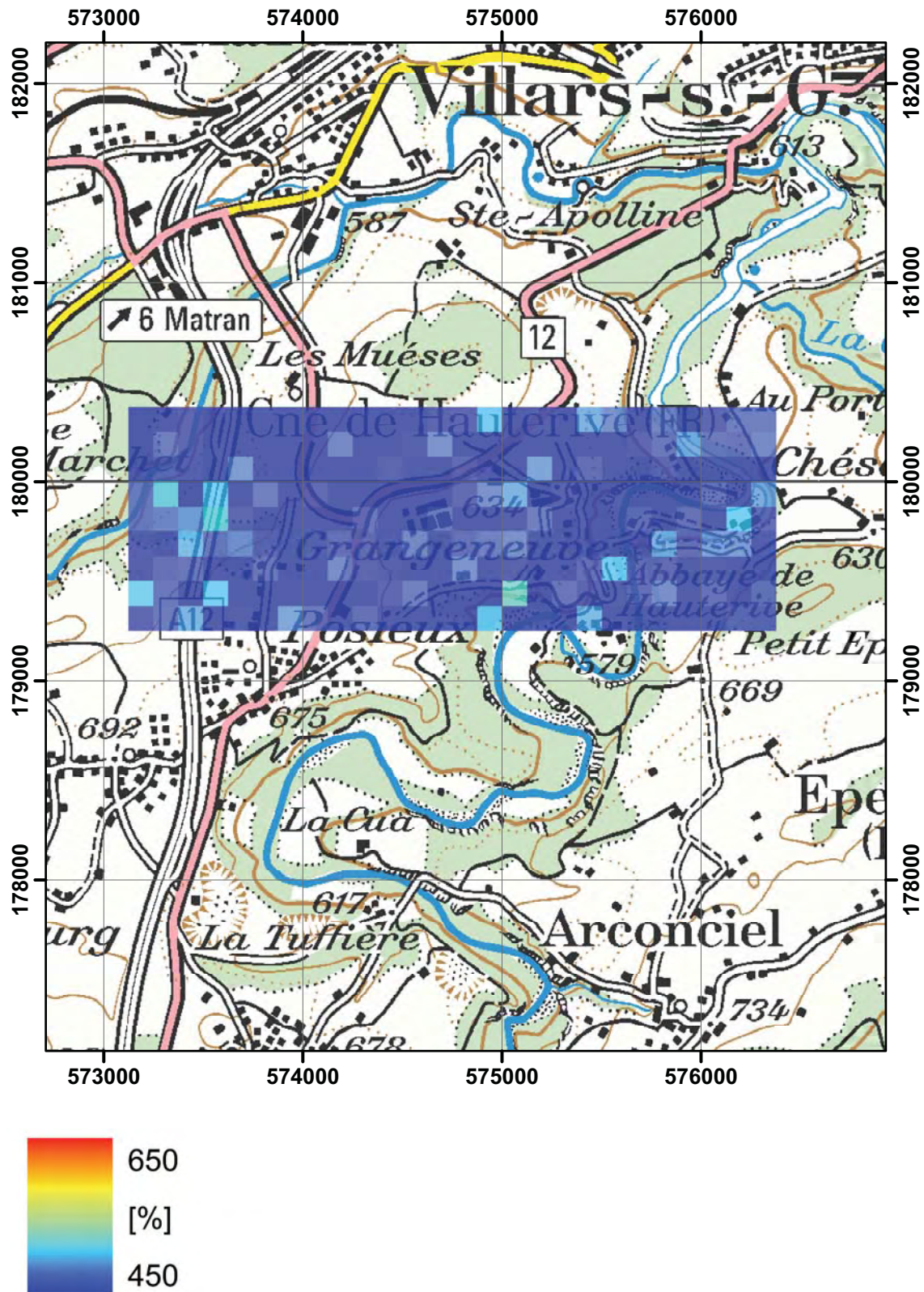


Abbildung 30: MMGC-Ratio in der Umgebung von Posieux.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

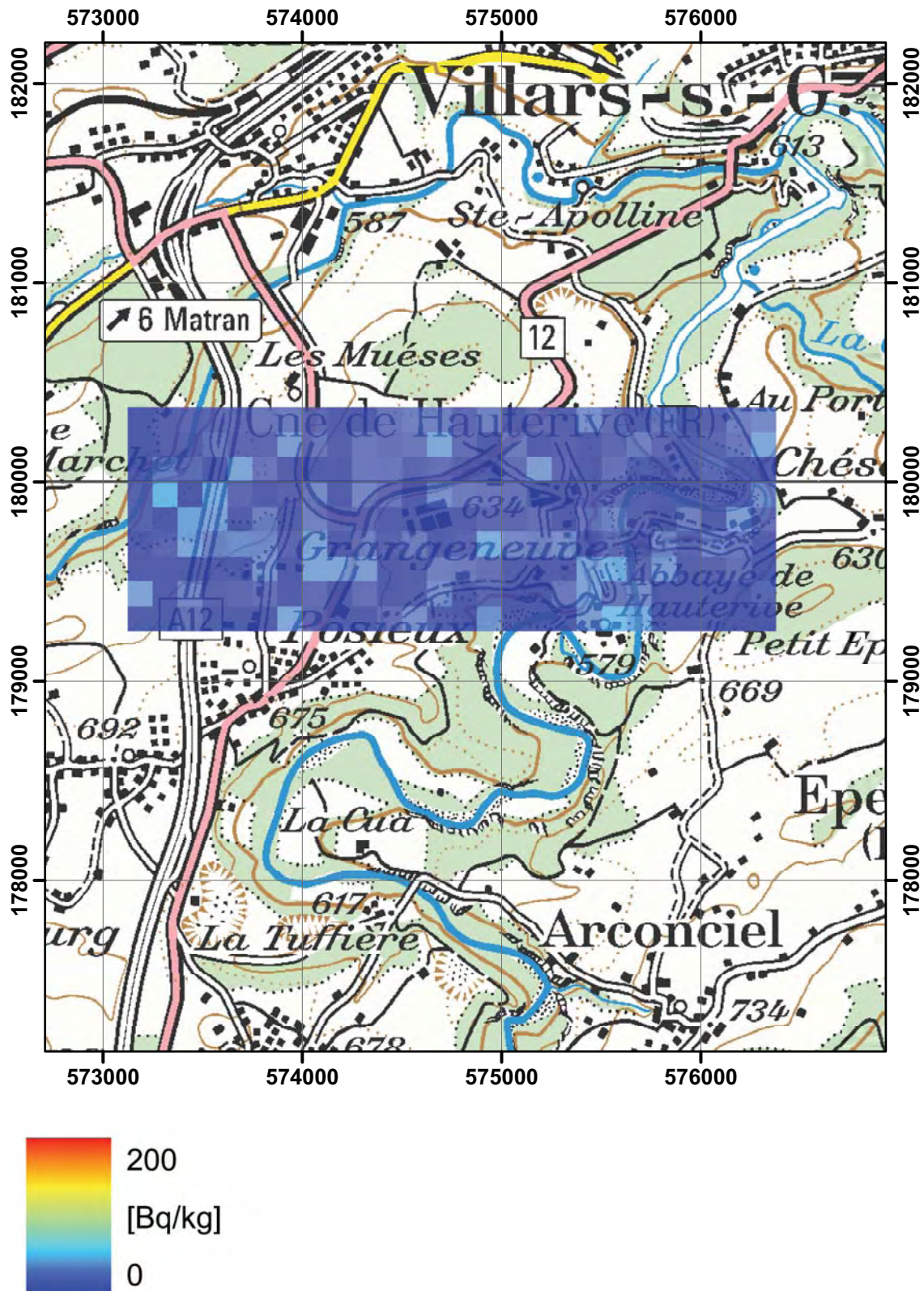


Abbildung 31: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

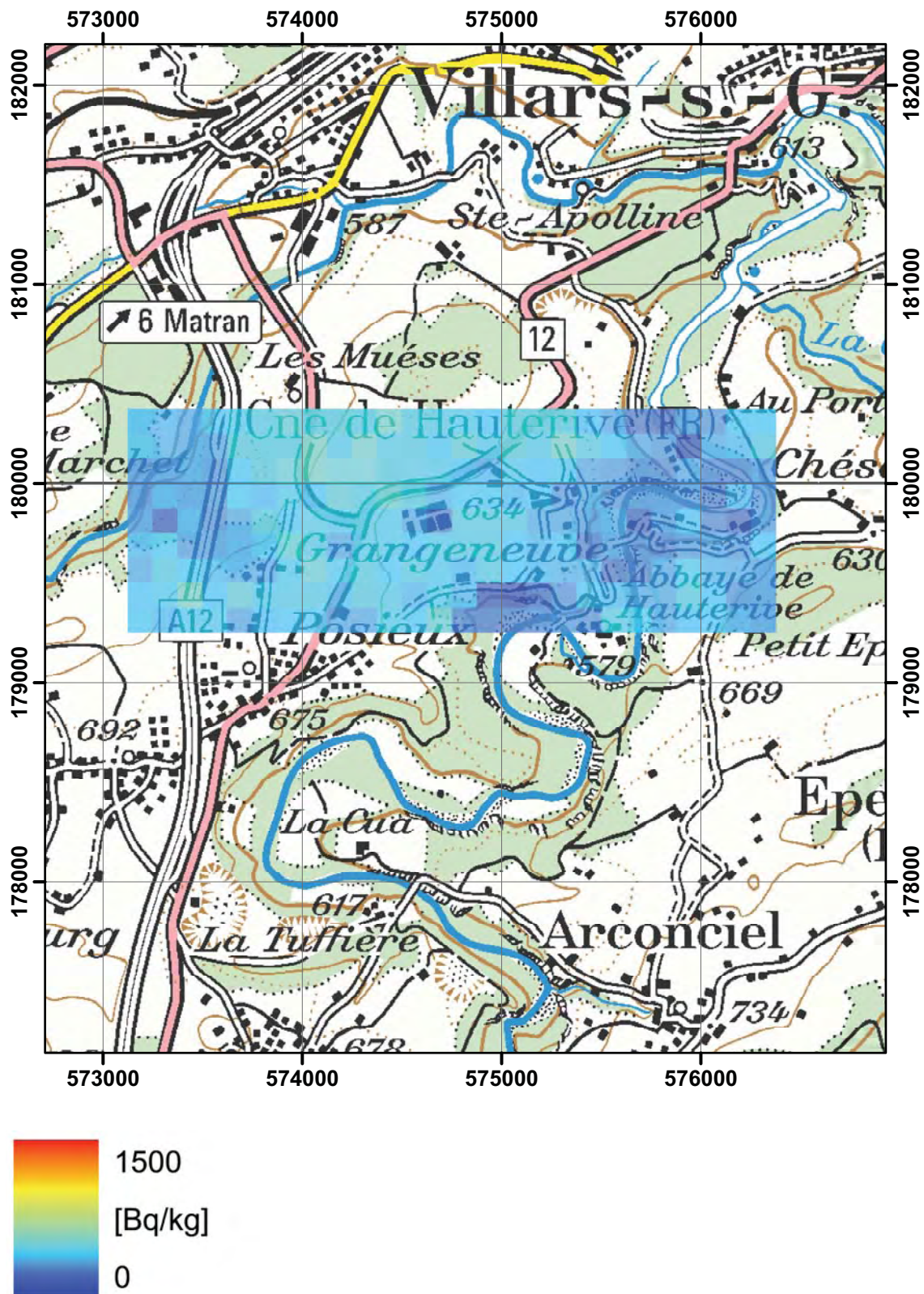


Abbildung 32: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

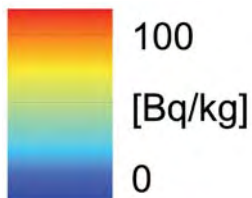
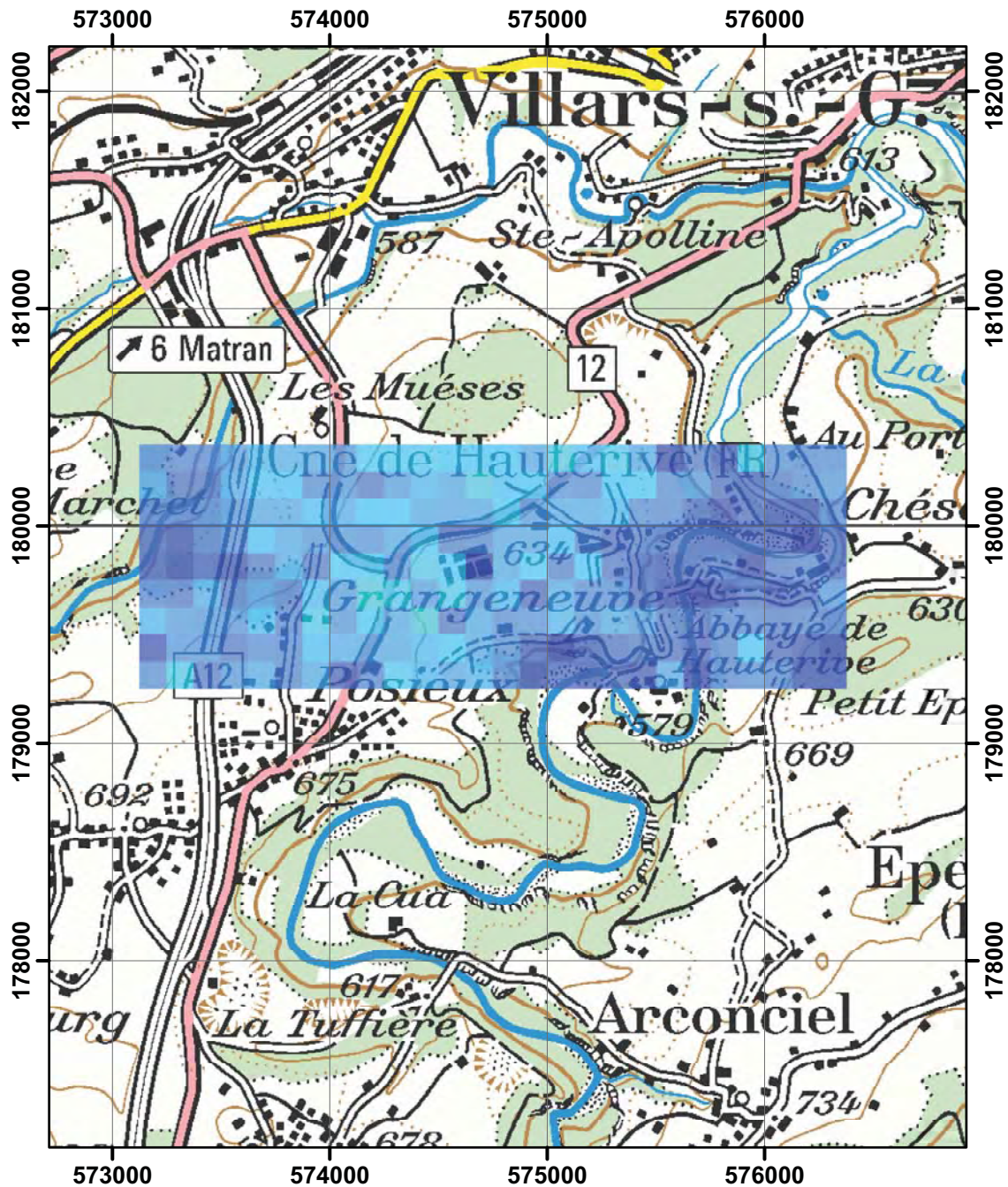


Abbildung 33: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Posieux.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

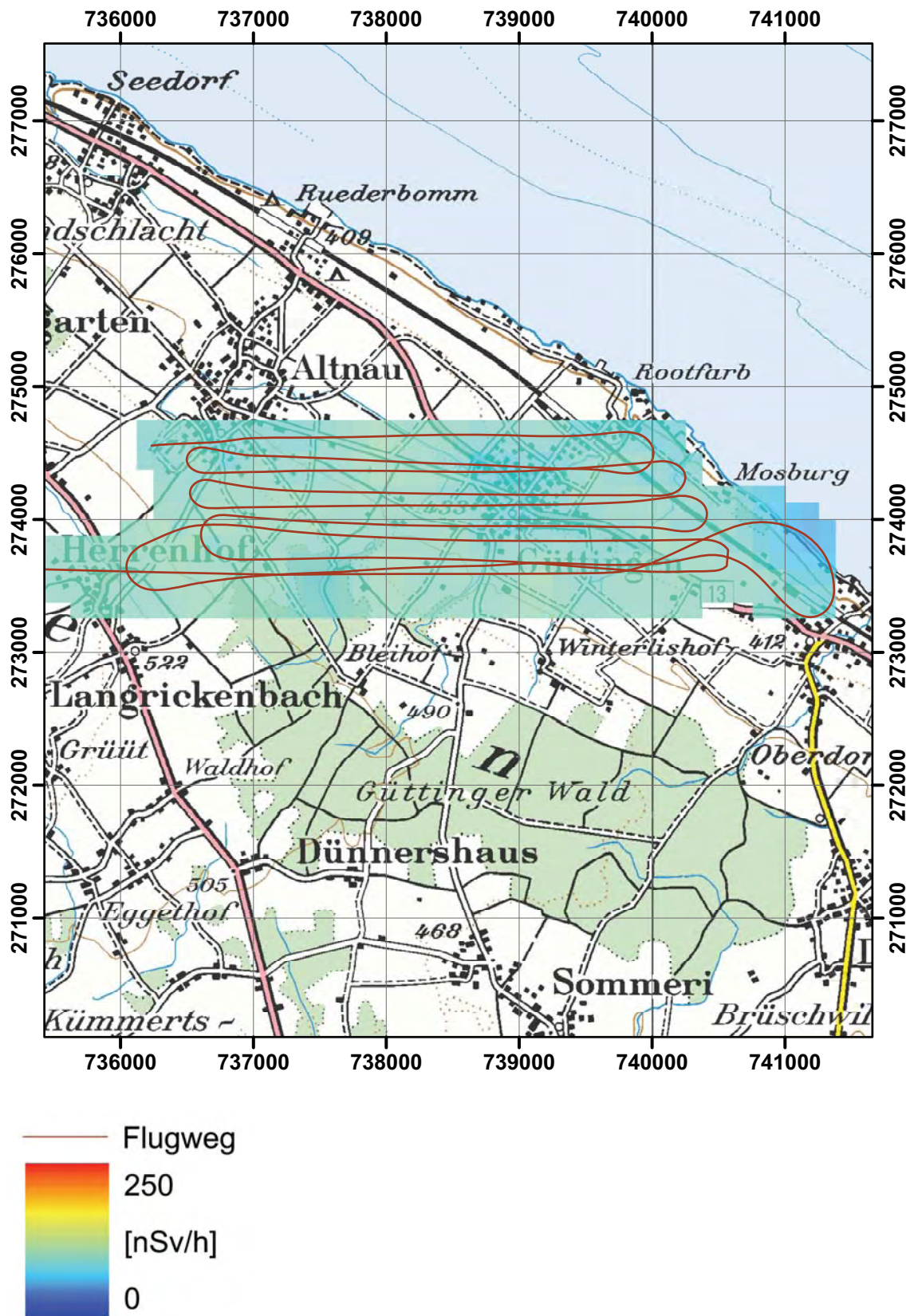


Abbildung 34: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Göttingen.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

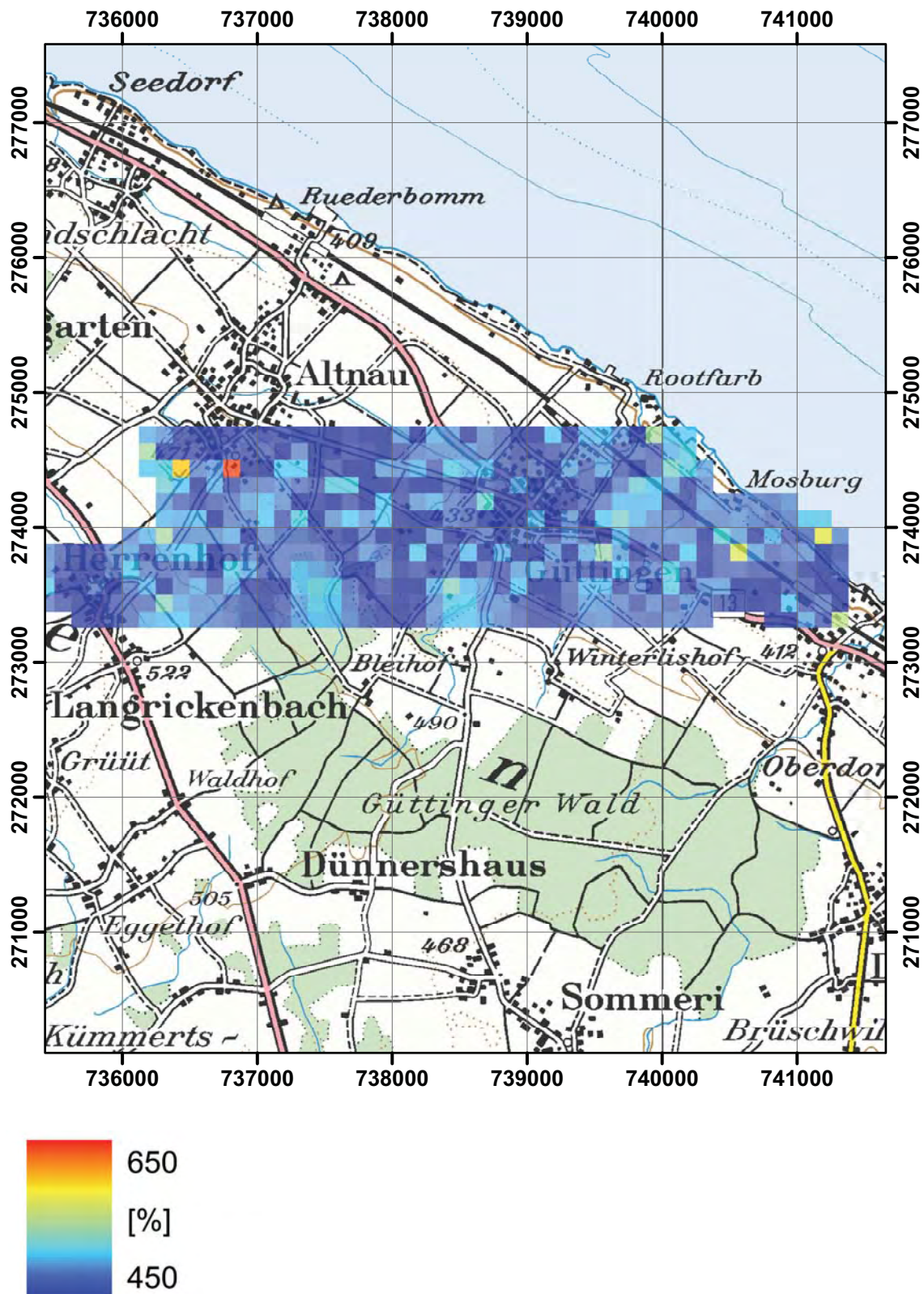


Abbildung 35: MMGC-Ratio in der Umgebung von Güttingen.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

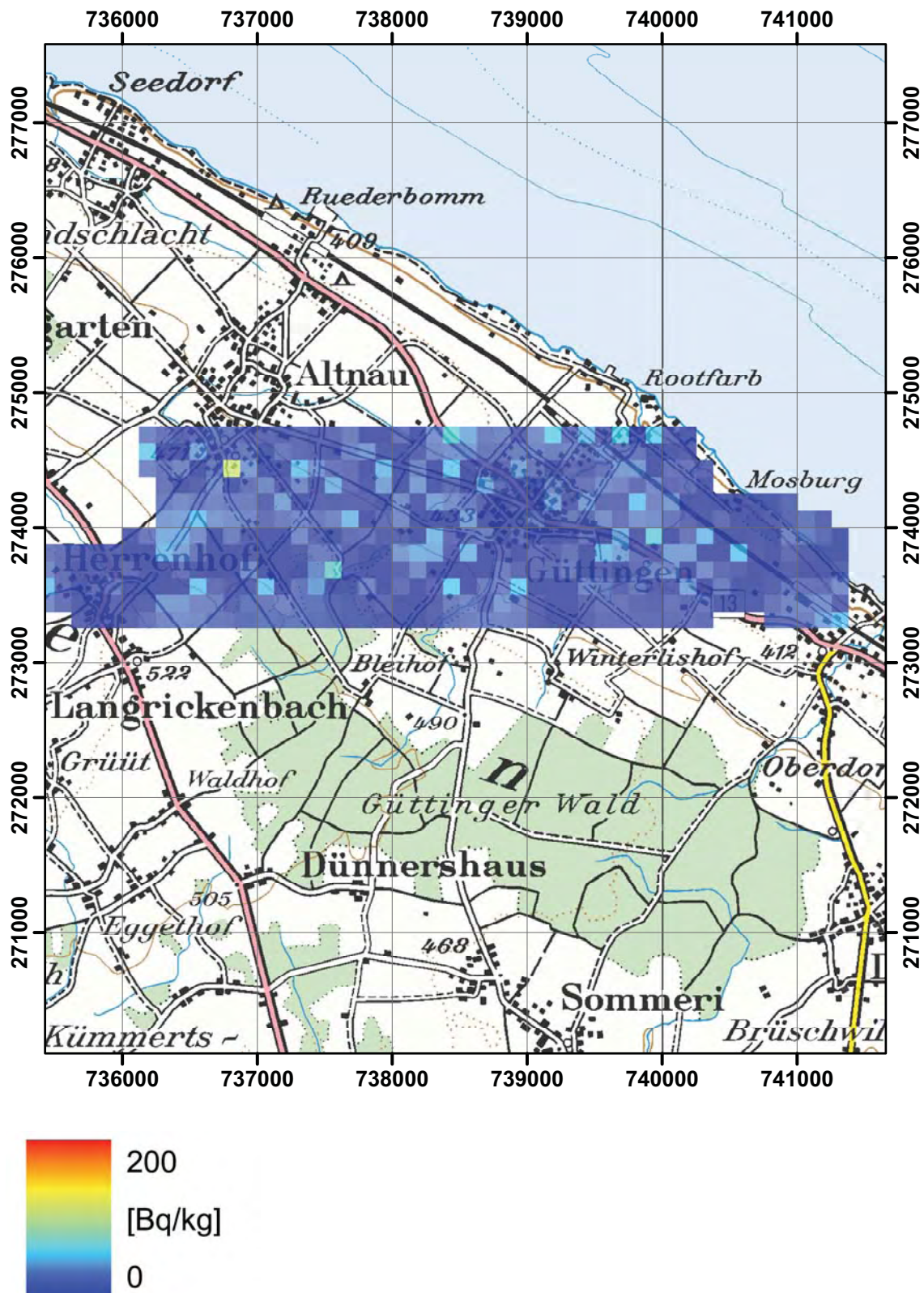


Abbildung 36: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

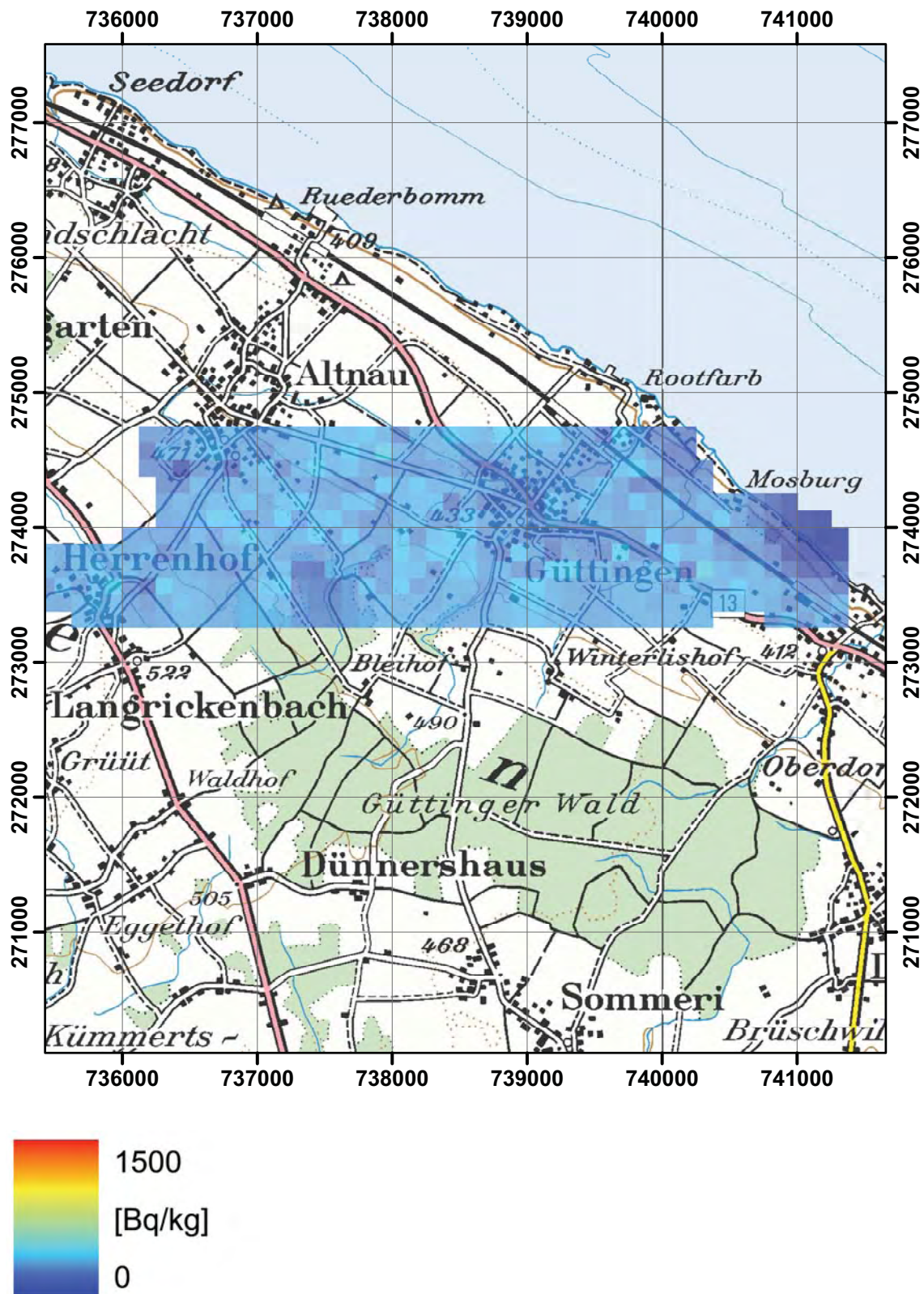


Abbildung 37: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

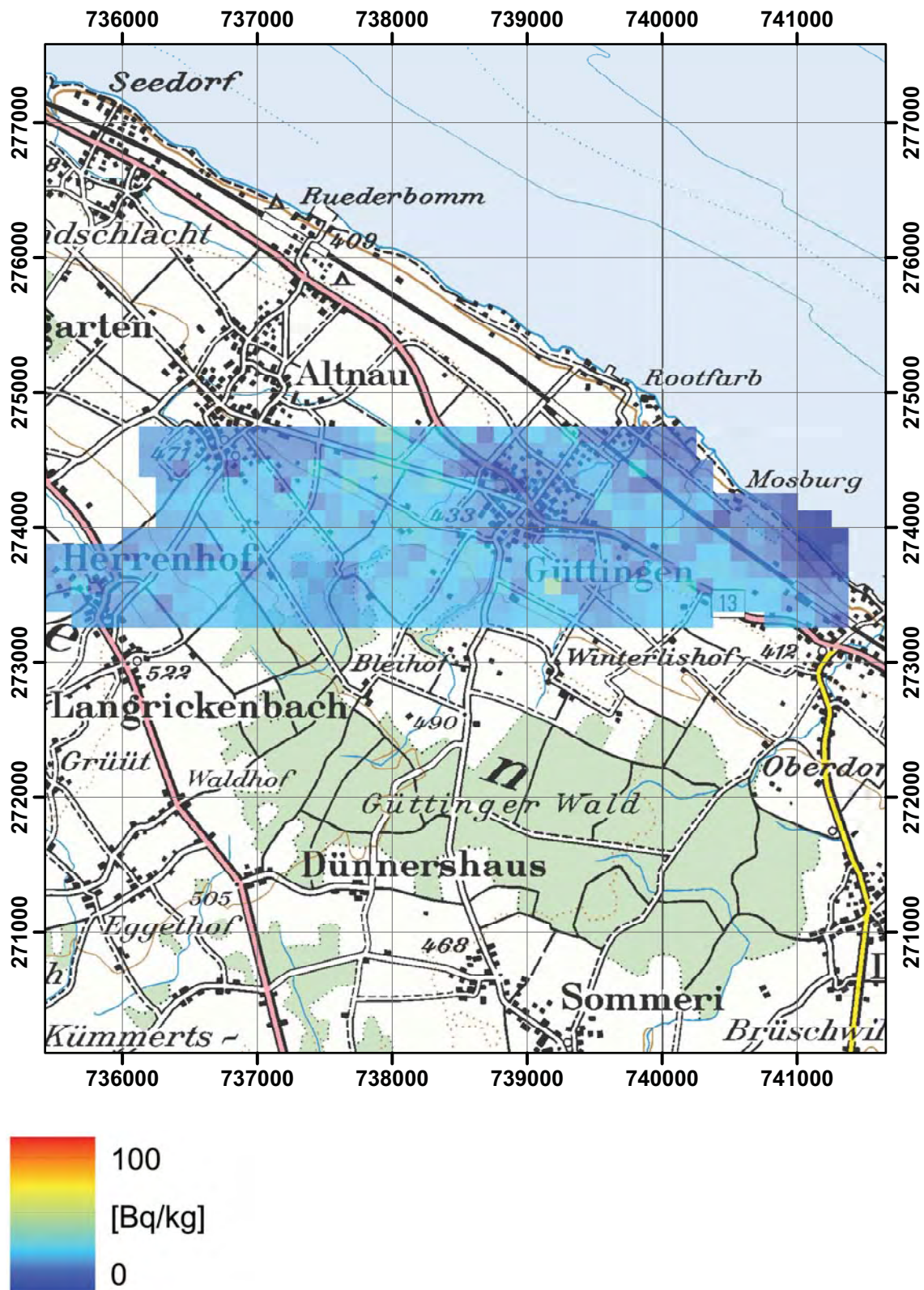


Abbildung 38: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Güttingen. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

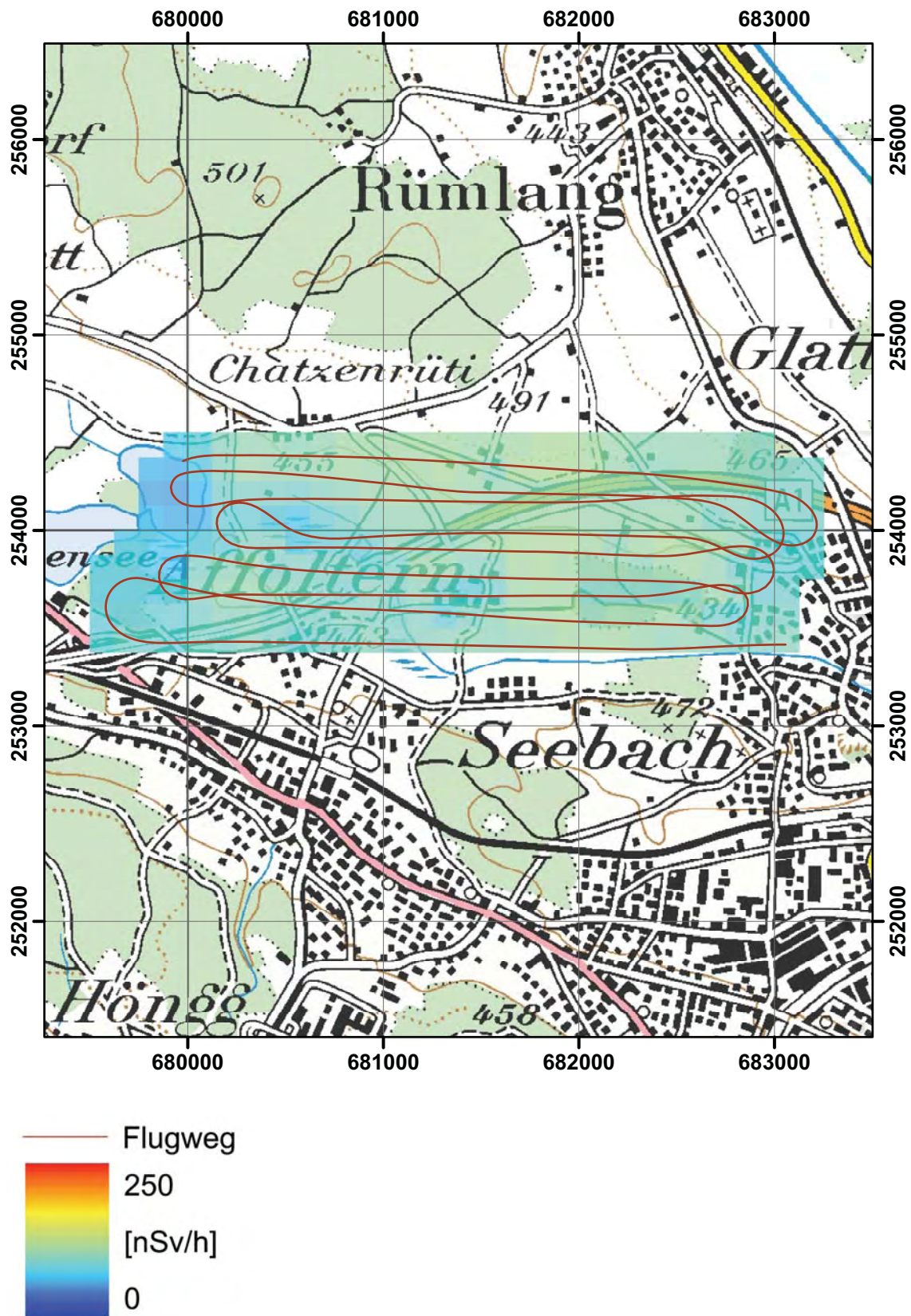


Abbildung 39: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Affoltern/ZH.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

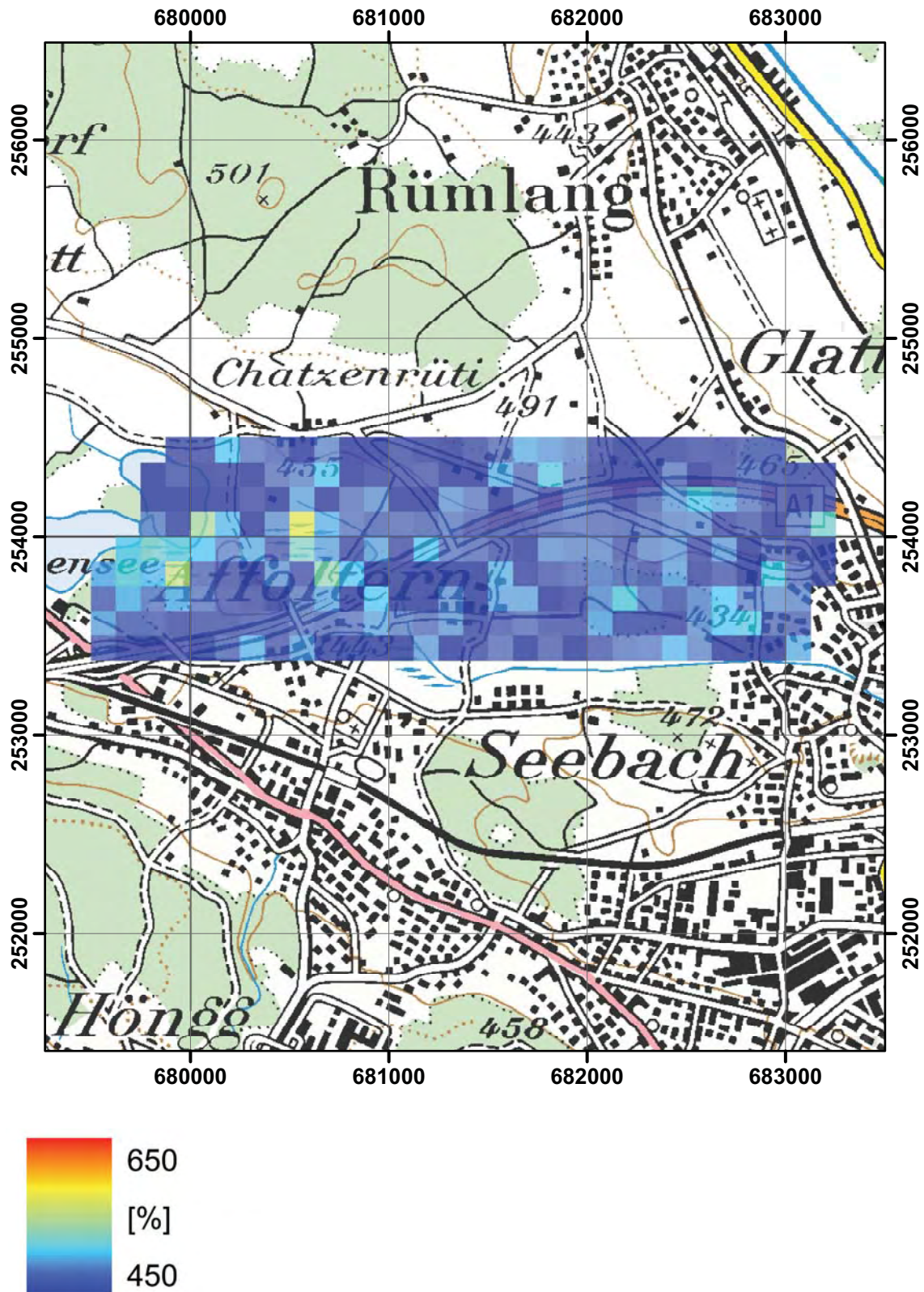


Abbildung 40: MMGC-Ratio in der Umgebung von Affoltern/ZH.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

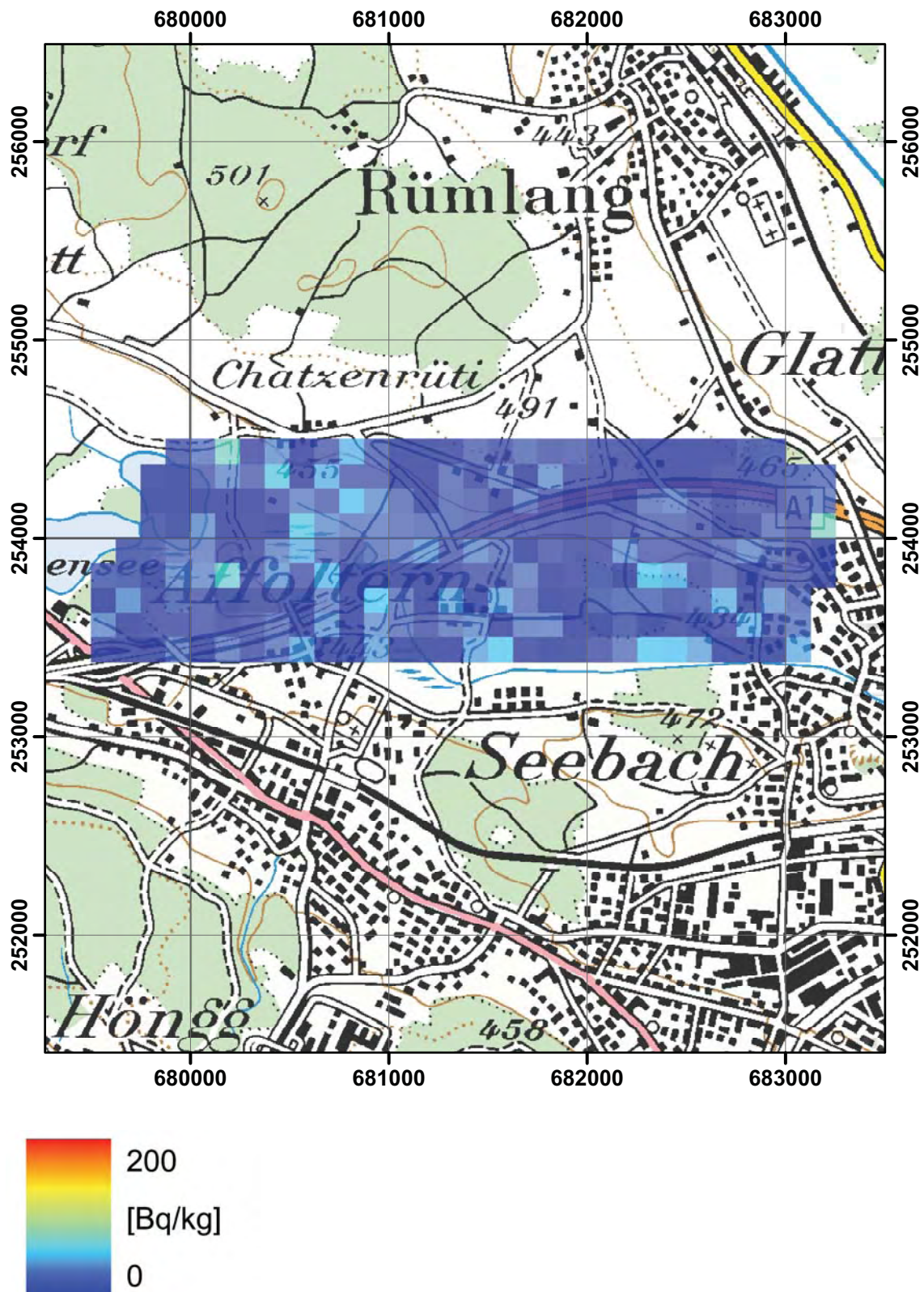


Abbildung 41: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

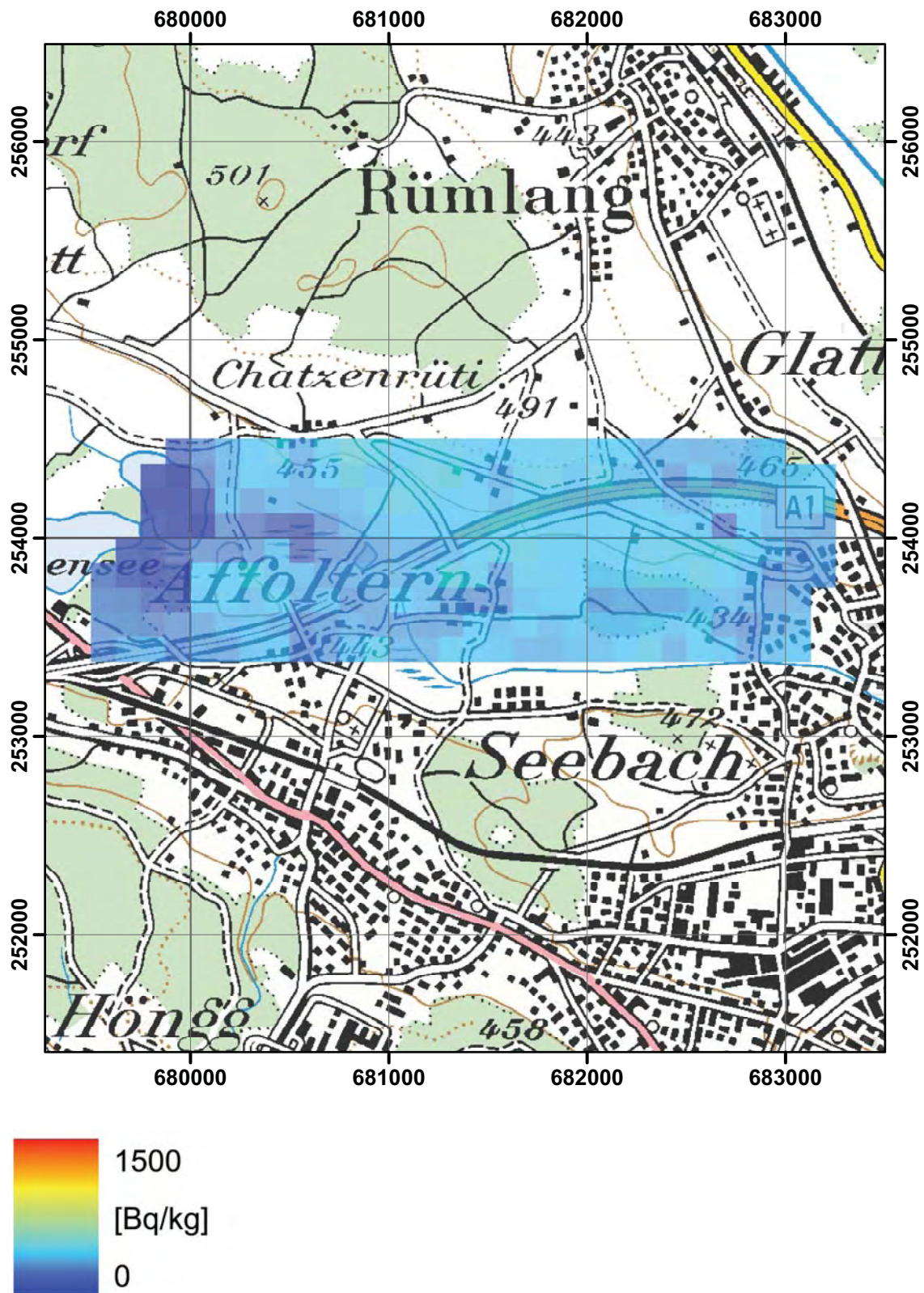


Abbildung 42: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

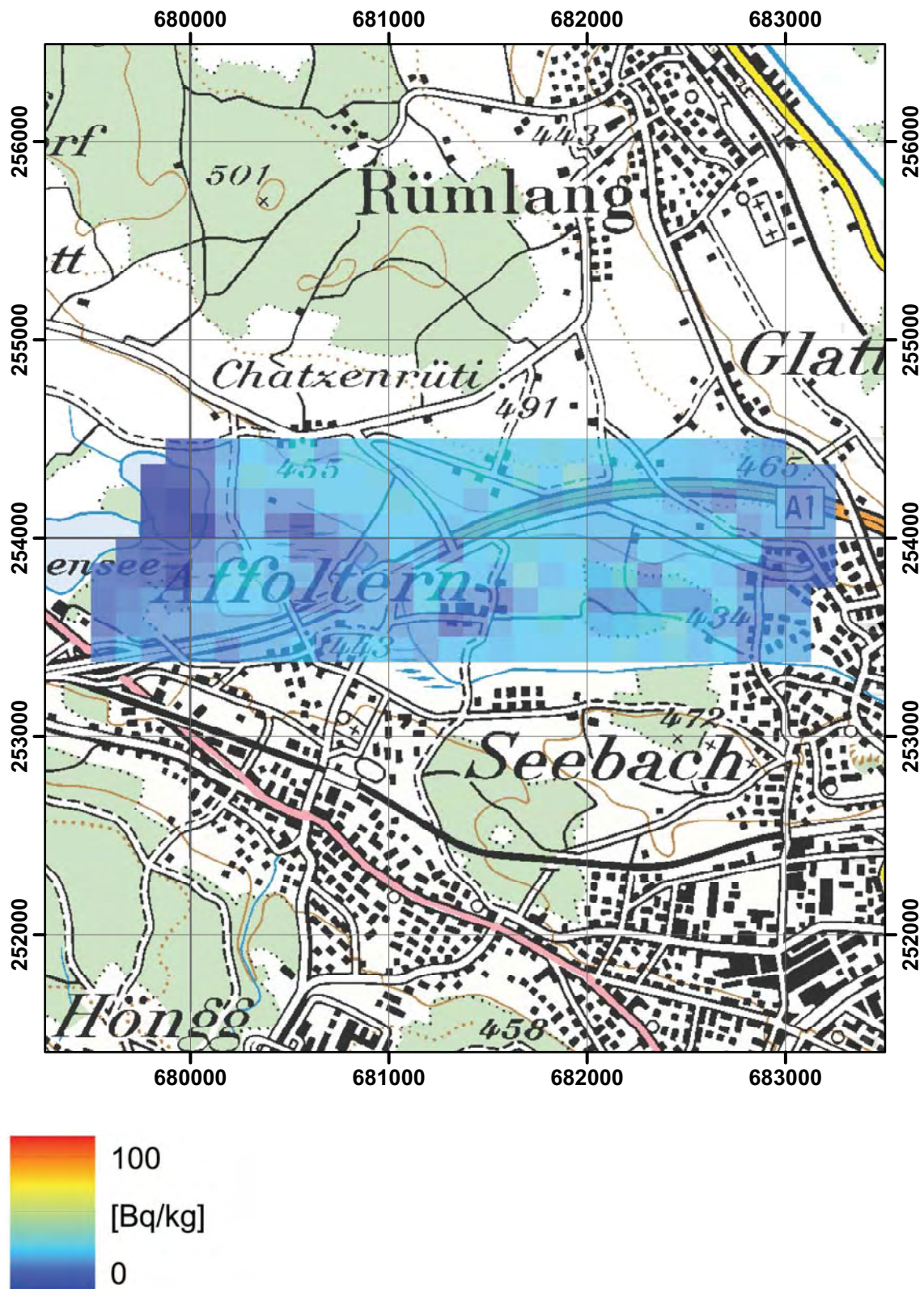


Abbildung 43: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Affoltern/ZH. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

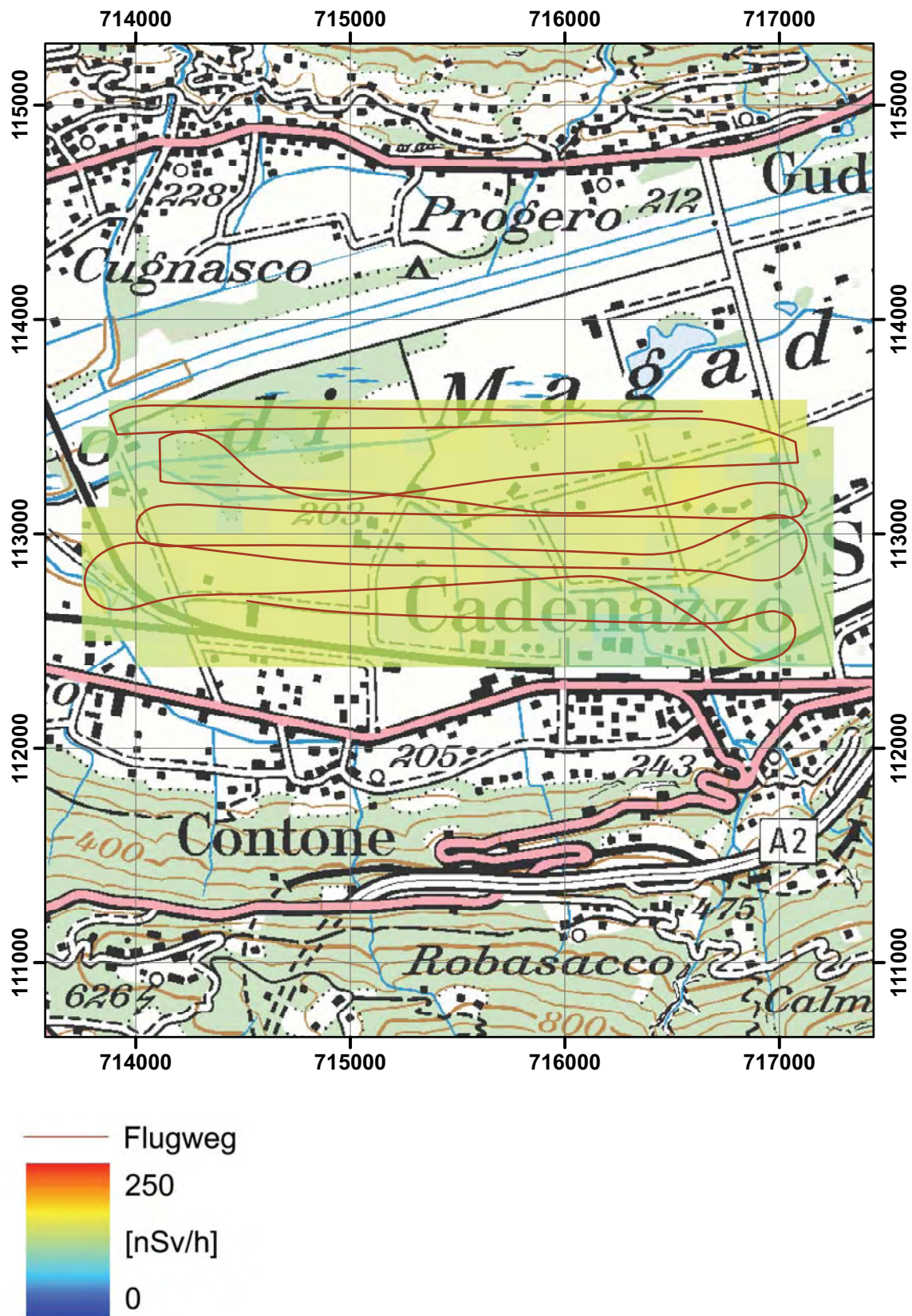


Abbildung 44: Ortsdosisleistung in der Umgebung von Cadenazzo.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

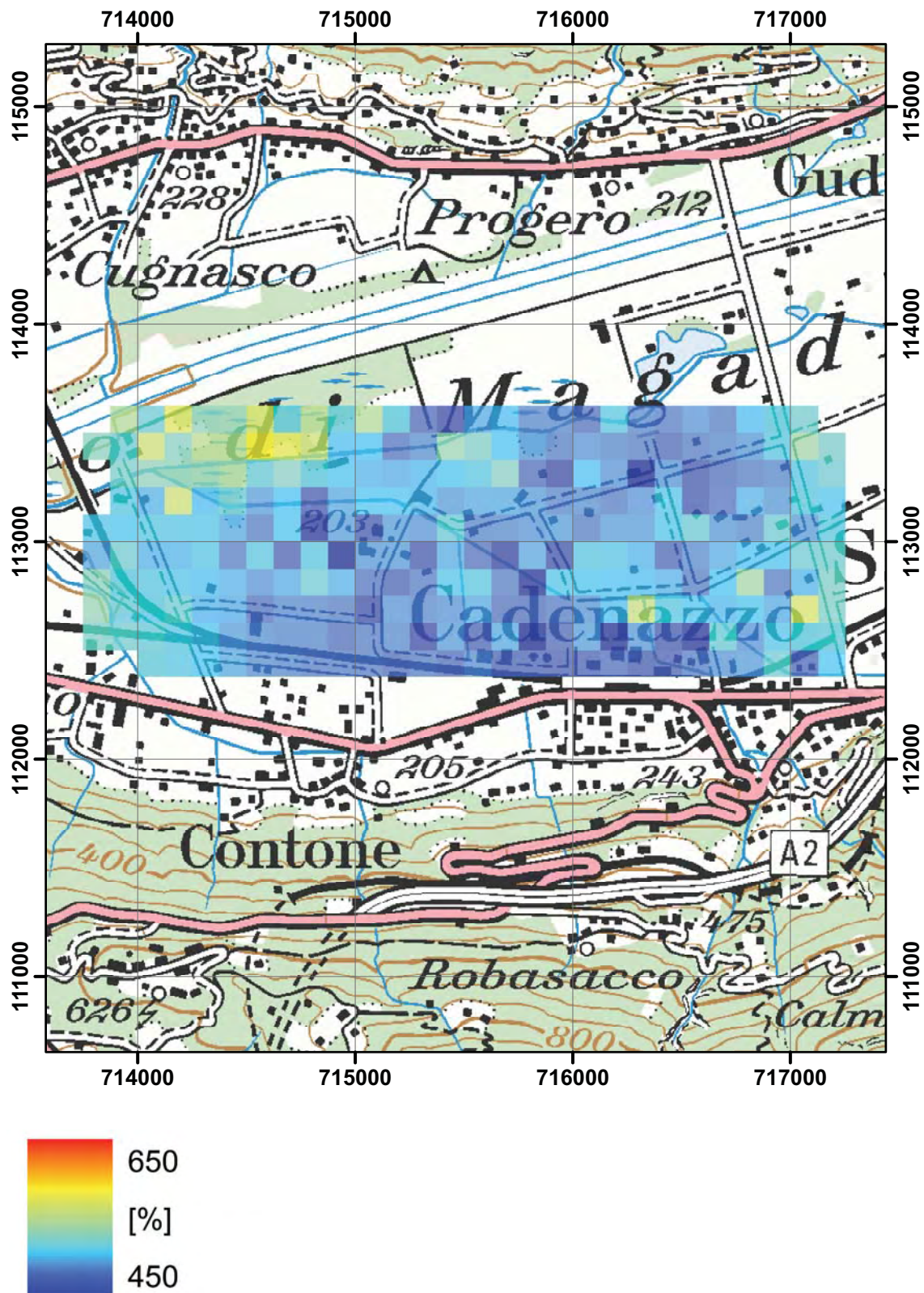


Abbildung 45: MMGC-Ratio in der Umgebung von Cadenazzo.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

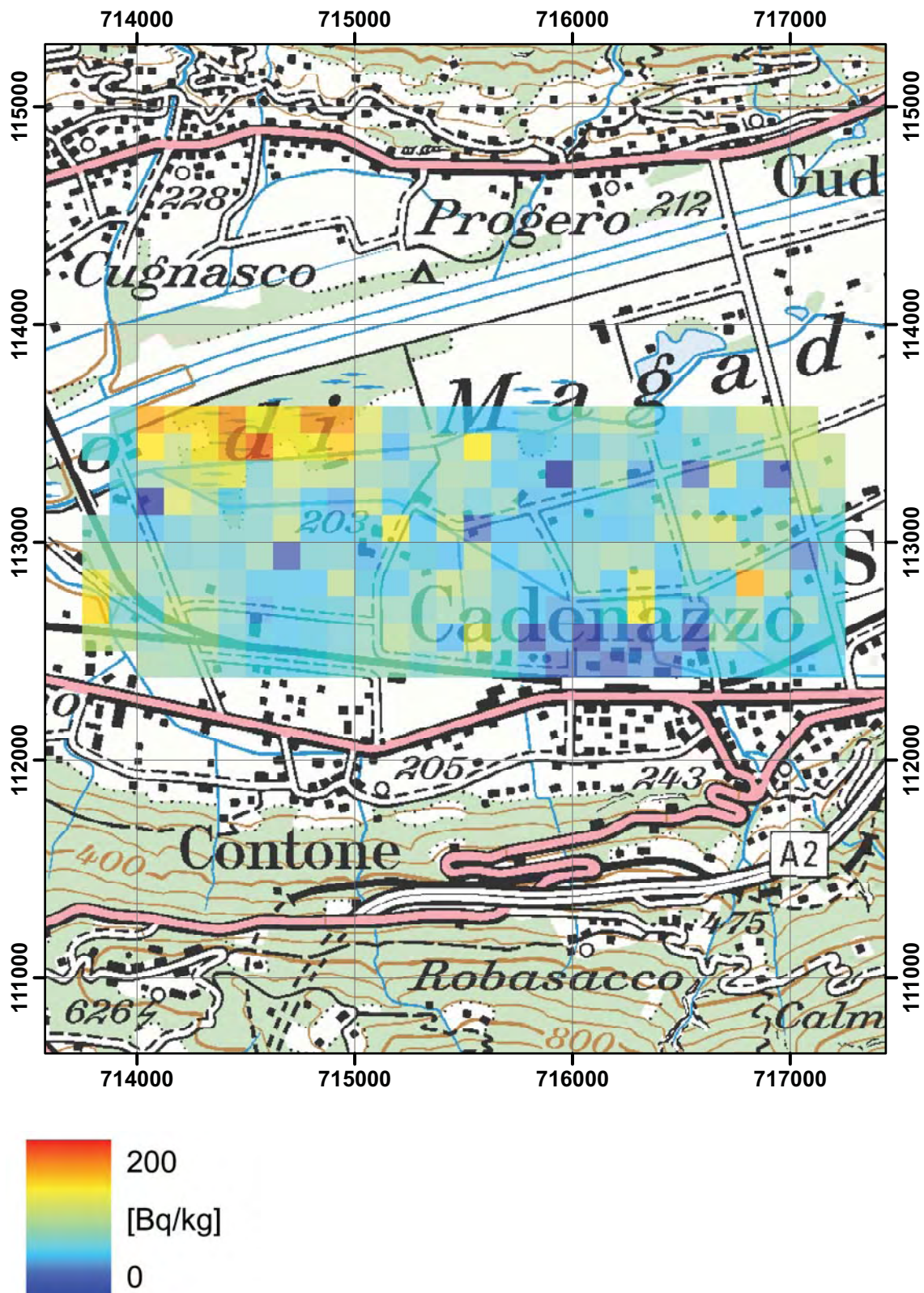


Abbildung 46: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

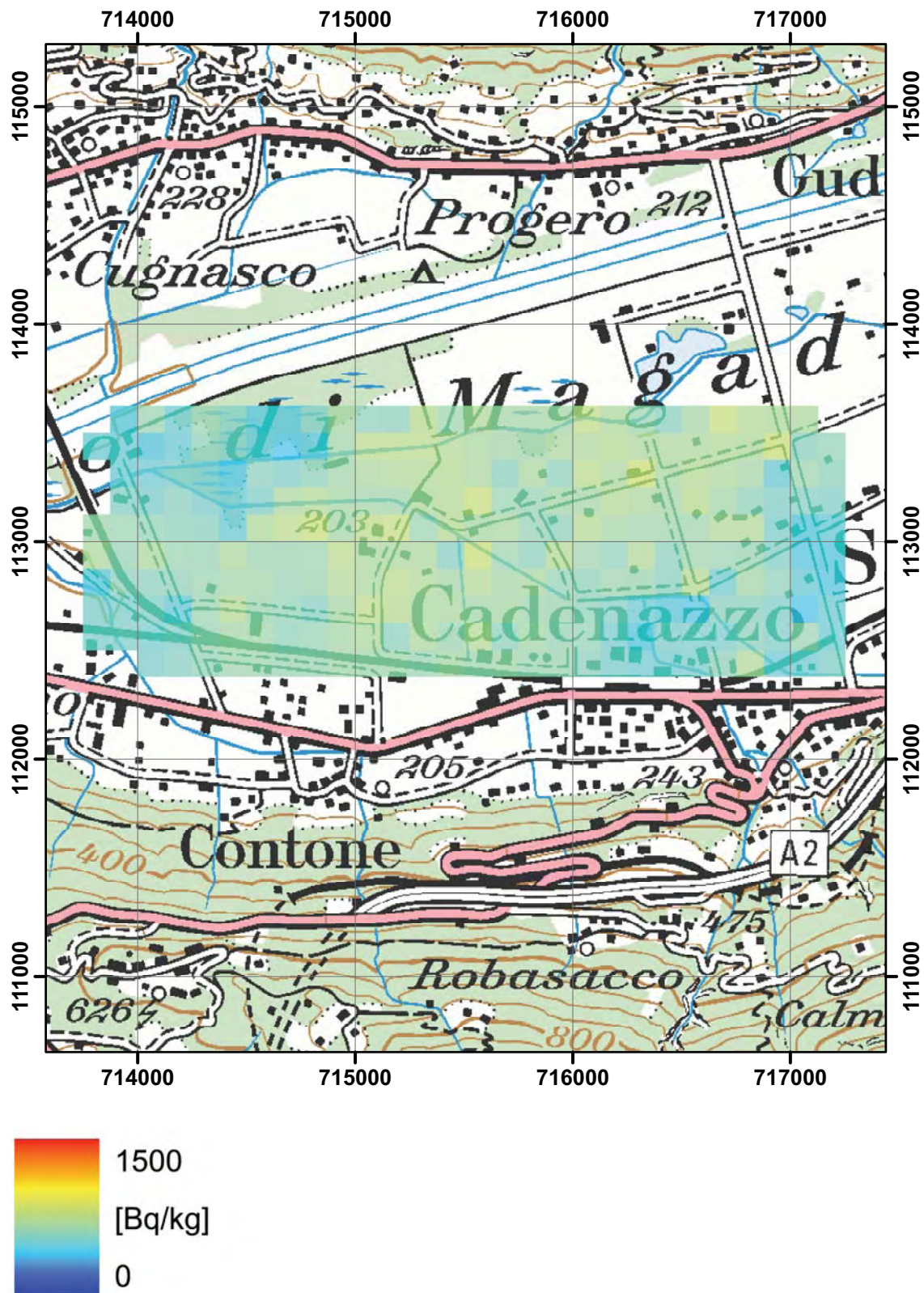


Abbildung 47: ^{40}K -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

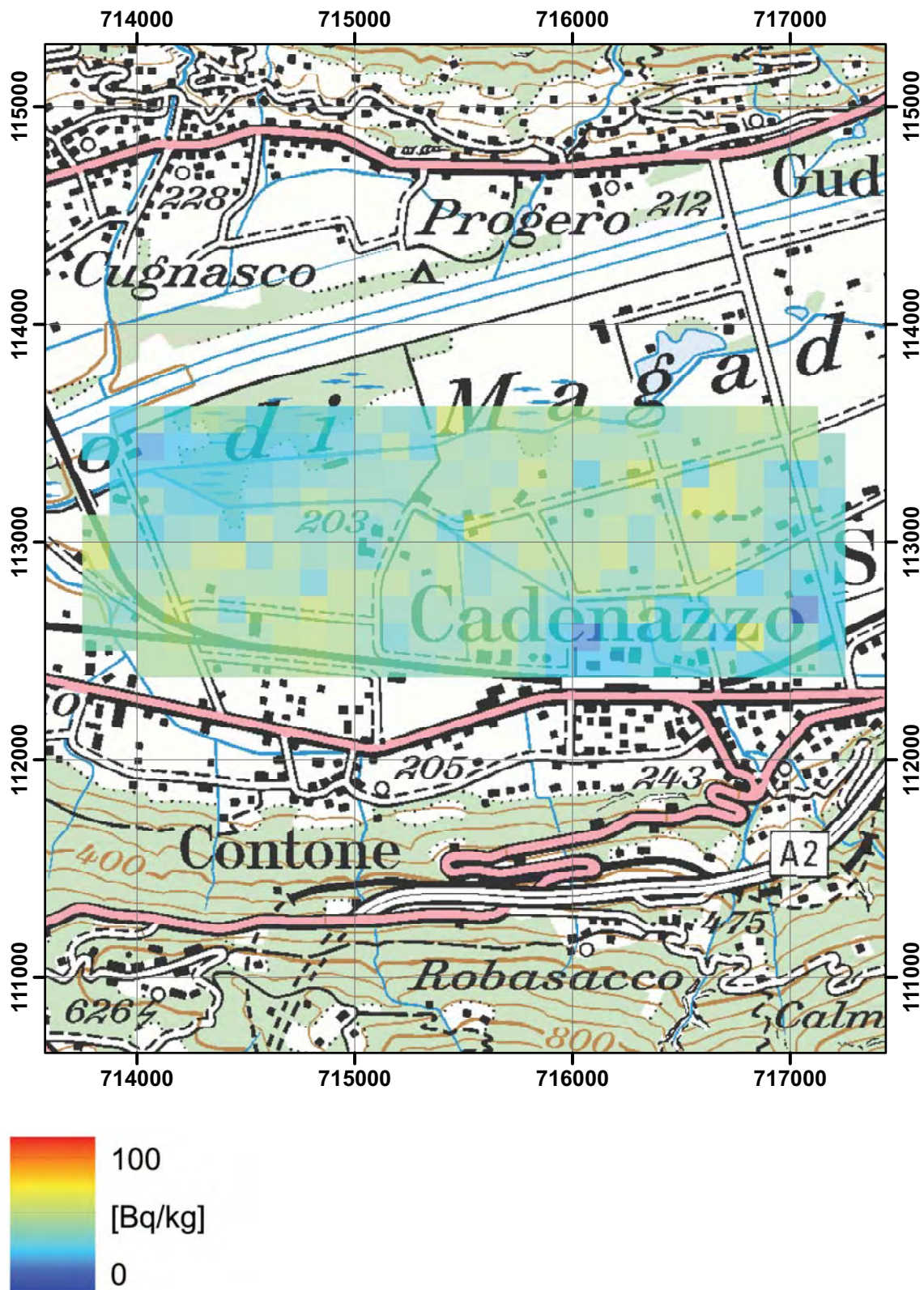


Abbildung 48: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Umgebung von Cadenazzo. PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

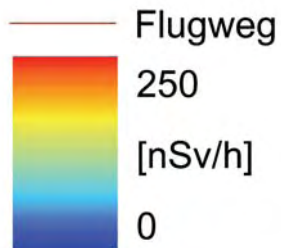
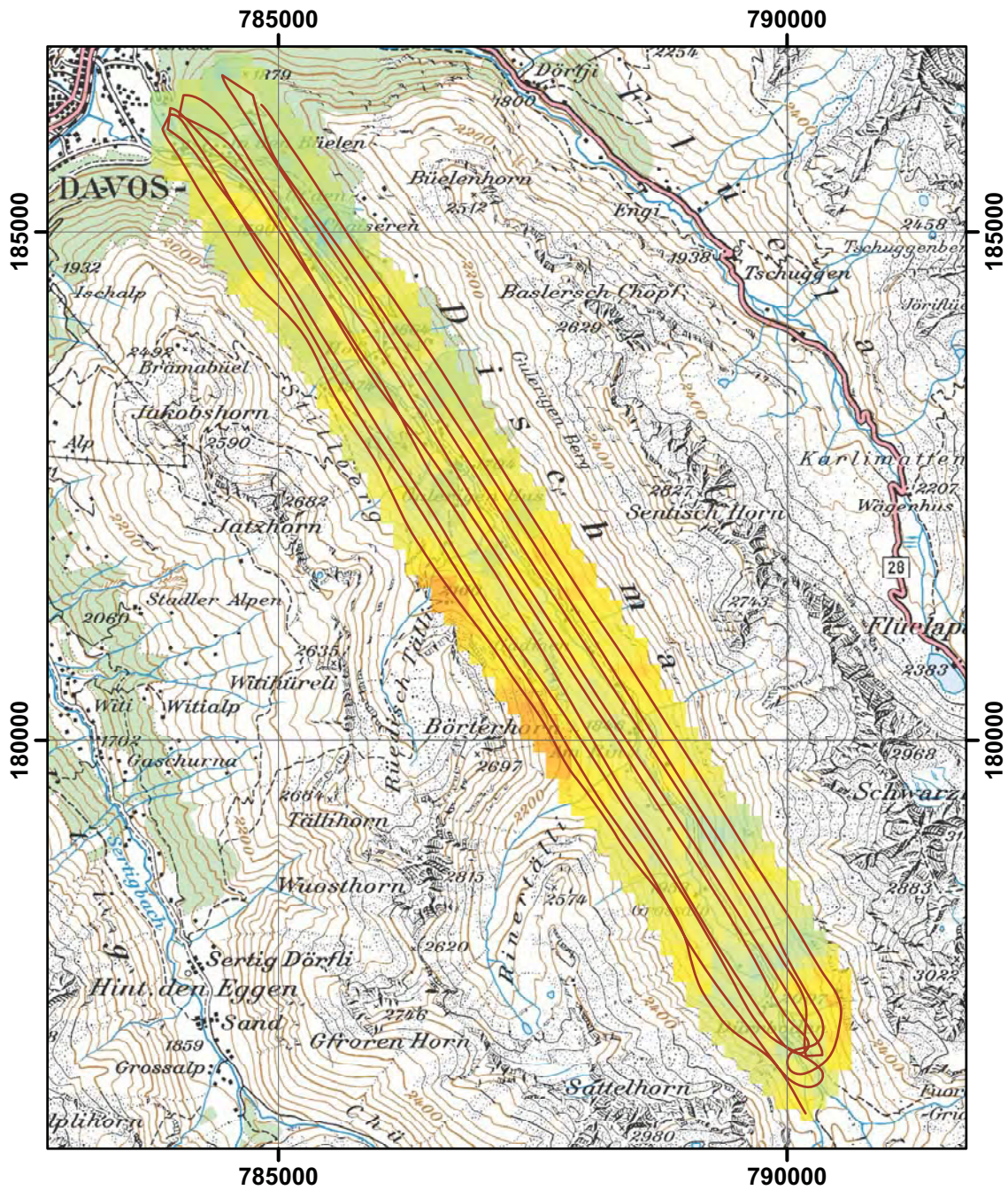


Abbildung 49: Ortsdosisleistung im Dischmatal.
 PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

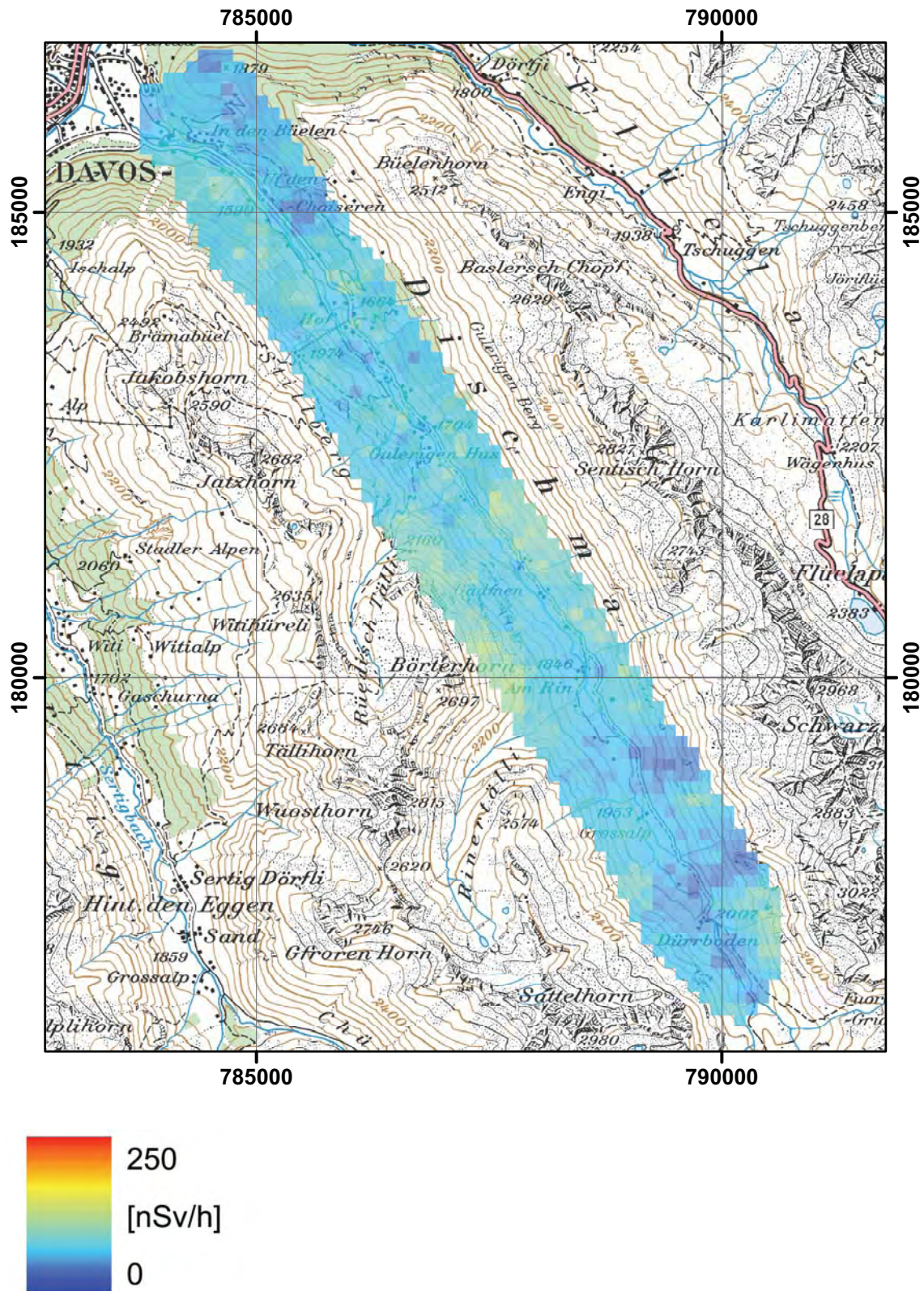


Abbildung 50: Terrestrische Dosisleistung im Dischmatal.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

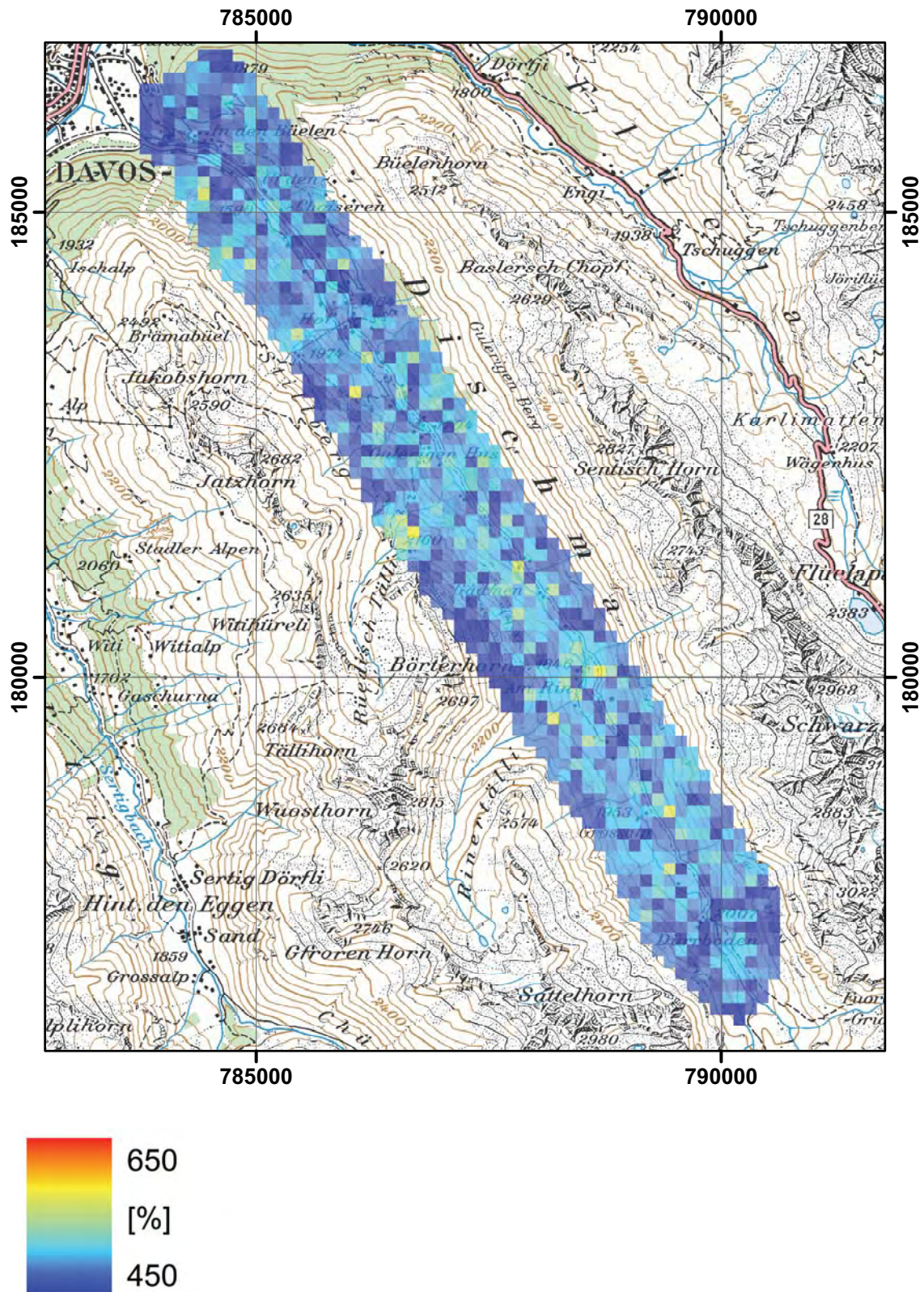


Abbildung 51: MMGC-Ratio im Dischmatal.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

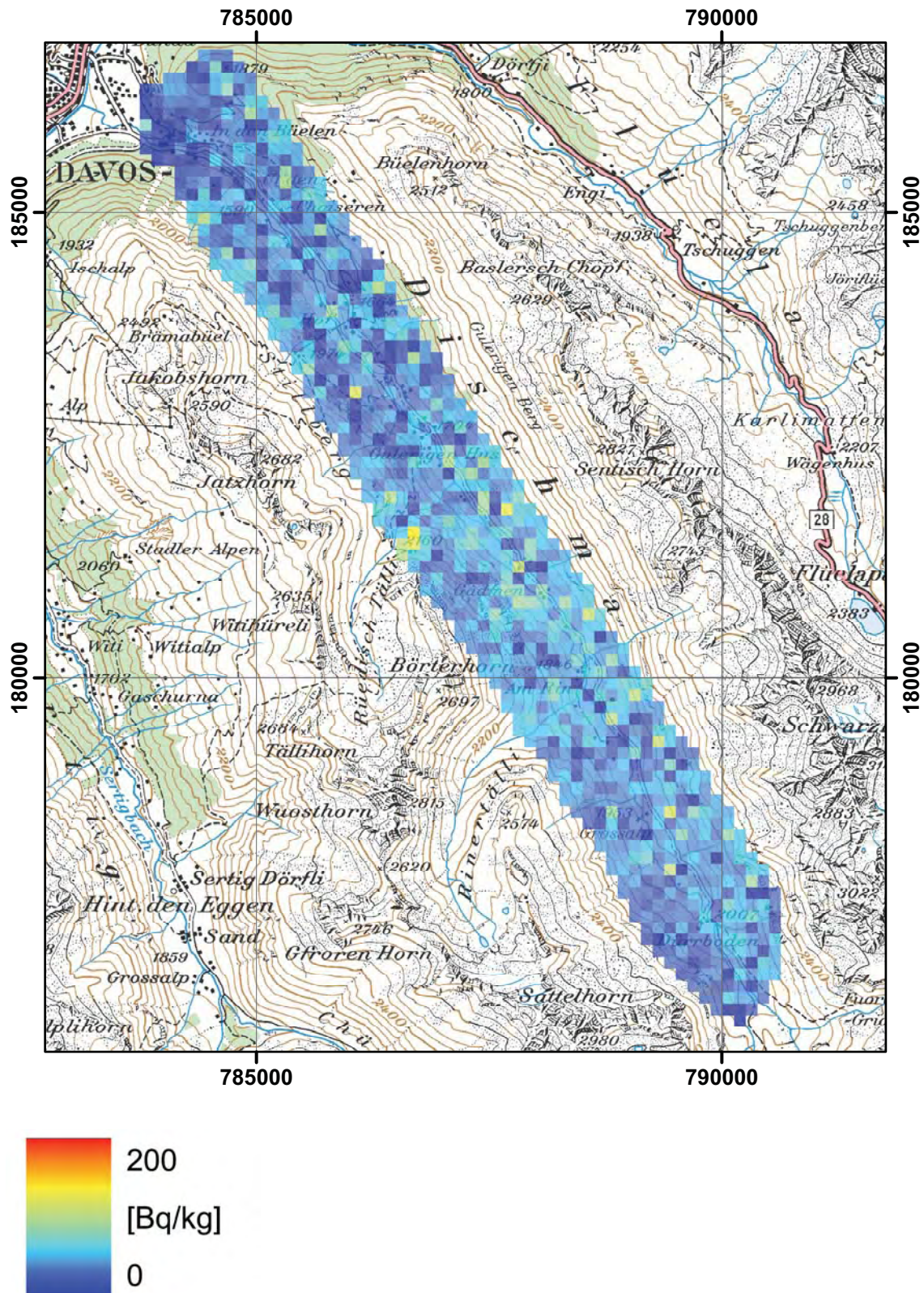


Abbildung 52: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

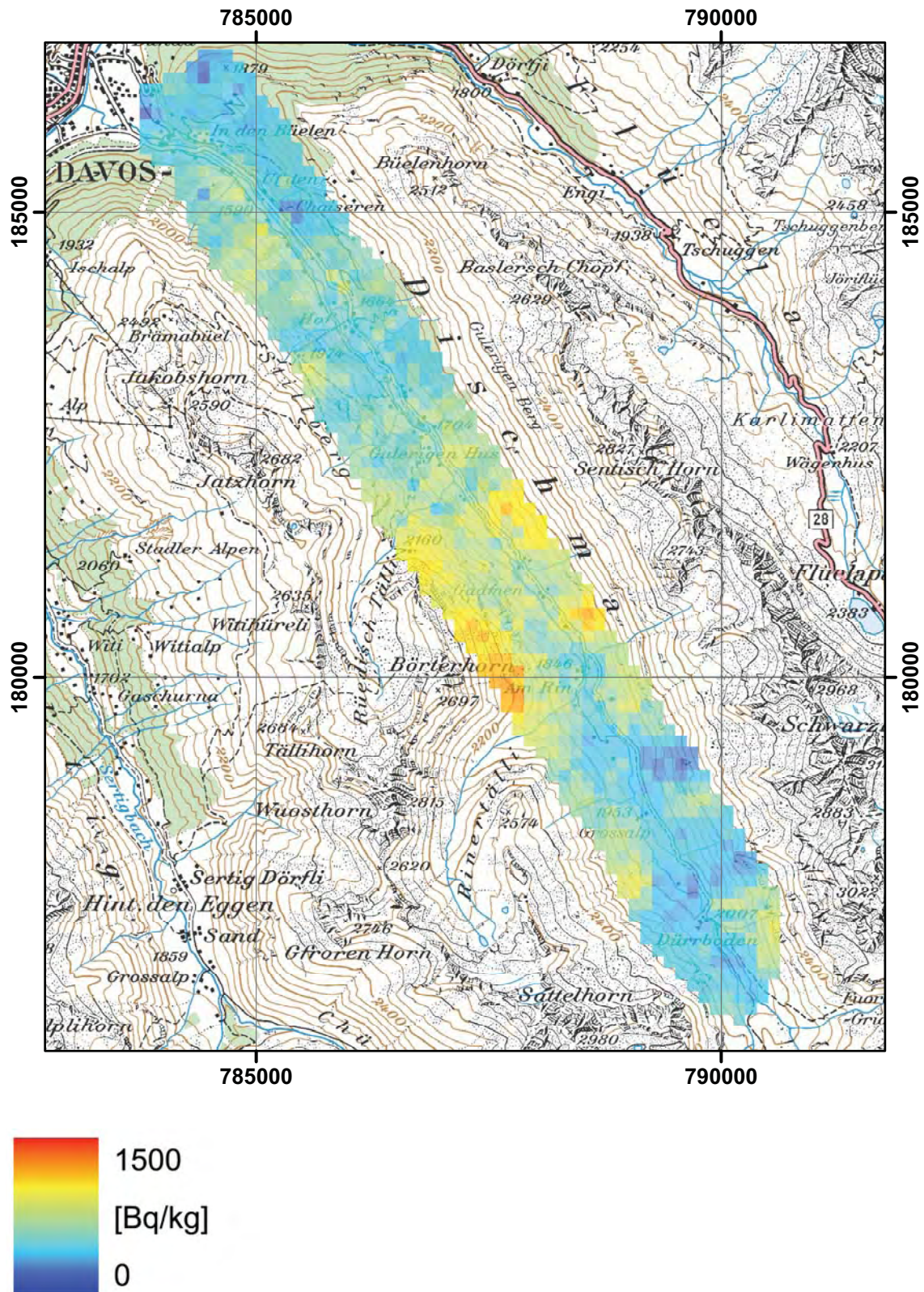


Abbildung 53: ^{40}K -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

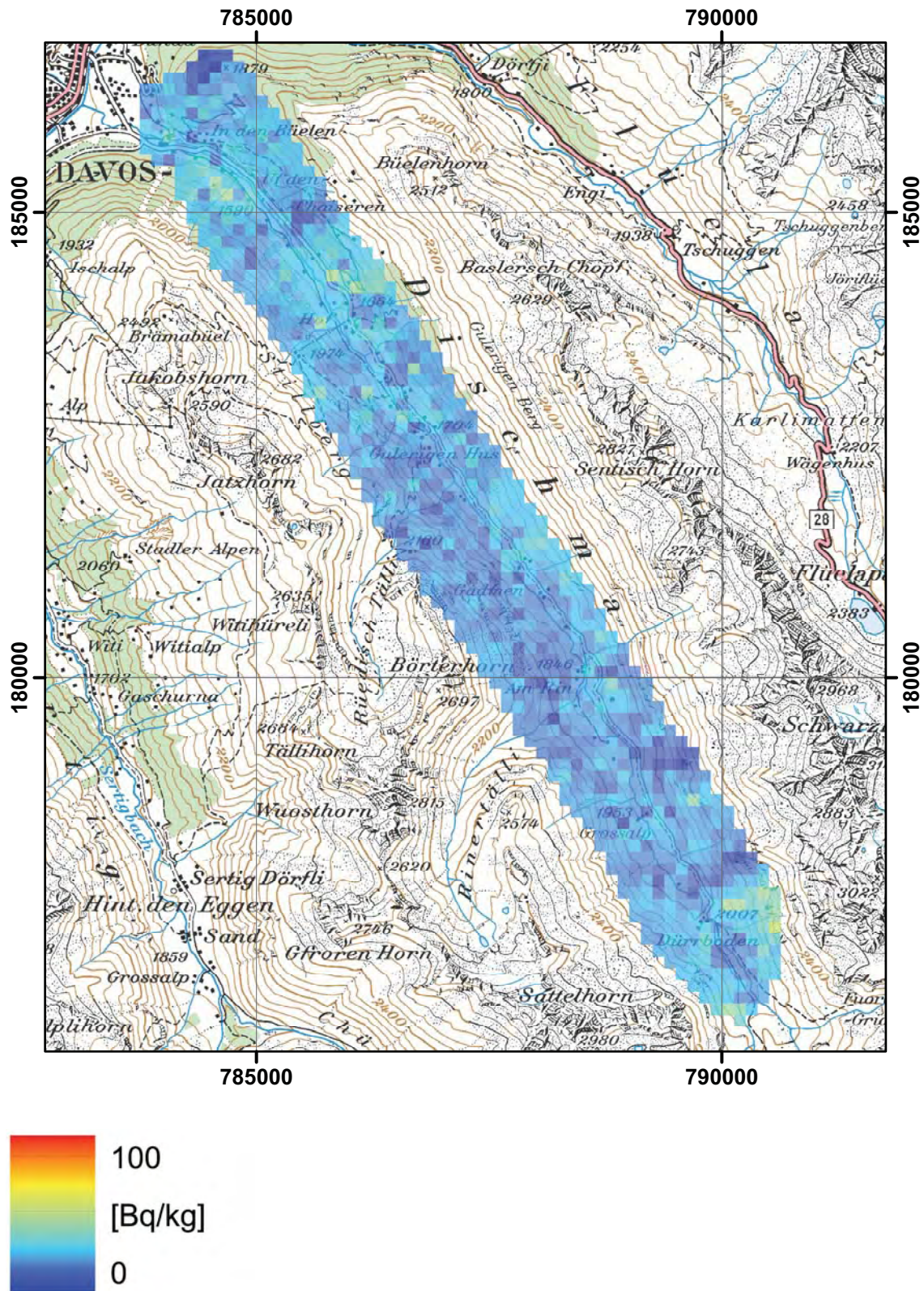


Abbildung 54: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration im Dischmatal.
PK100 © 2011 swisstopo (JD100043).

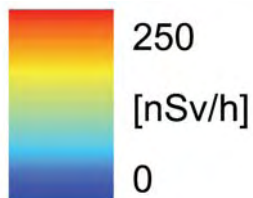
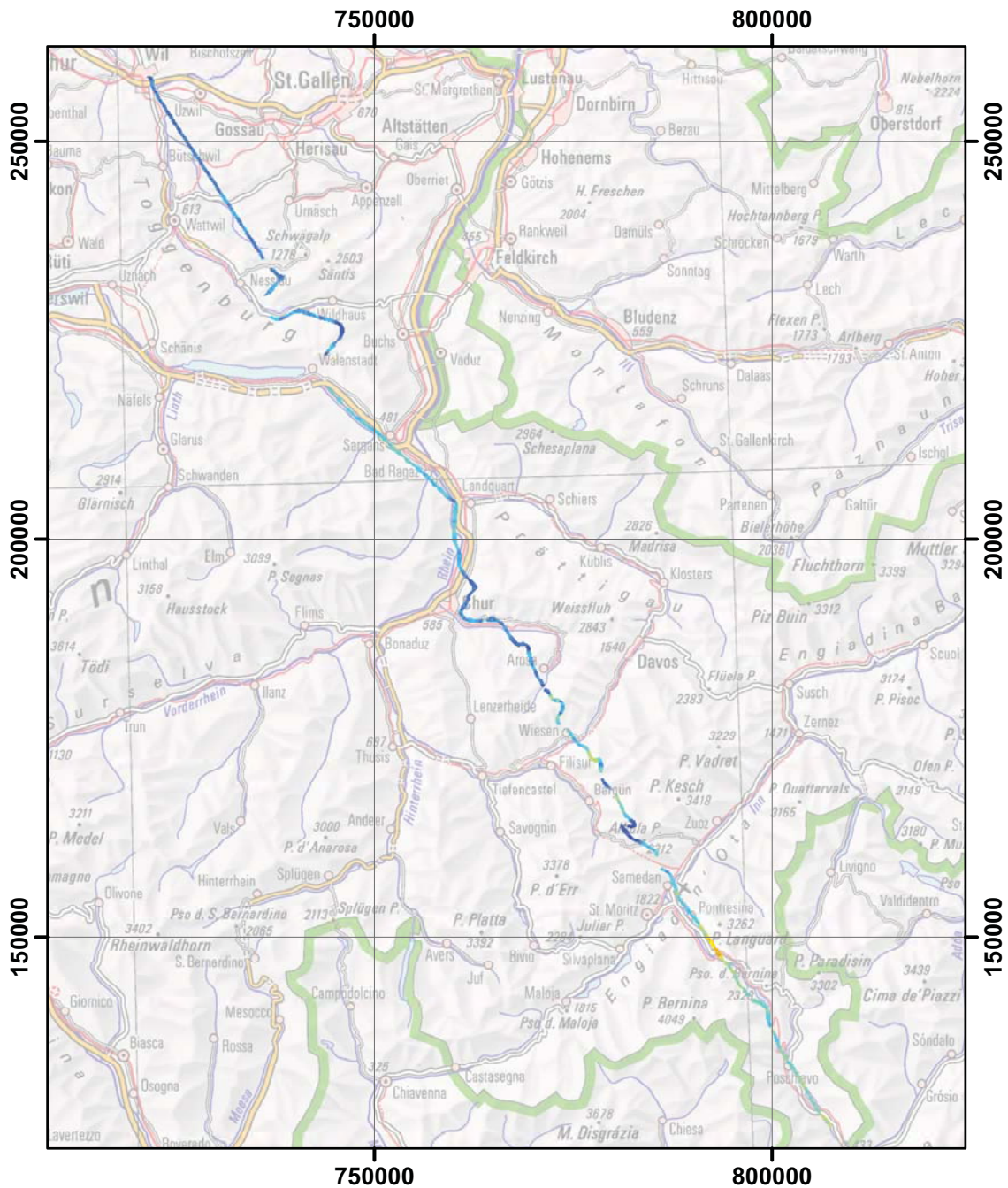


Abbildung 55: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

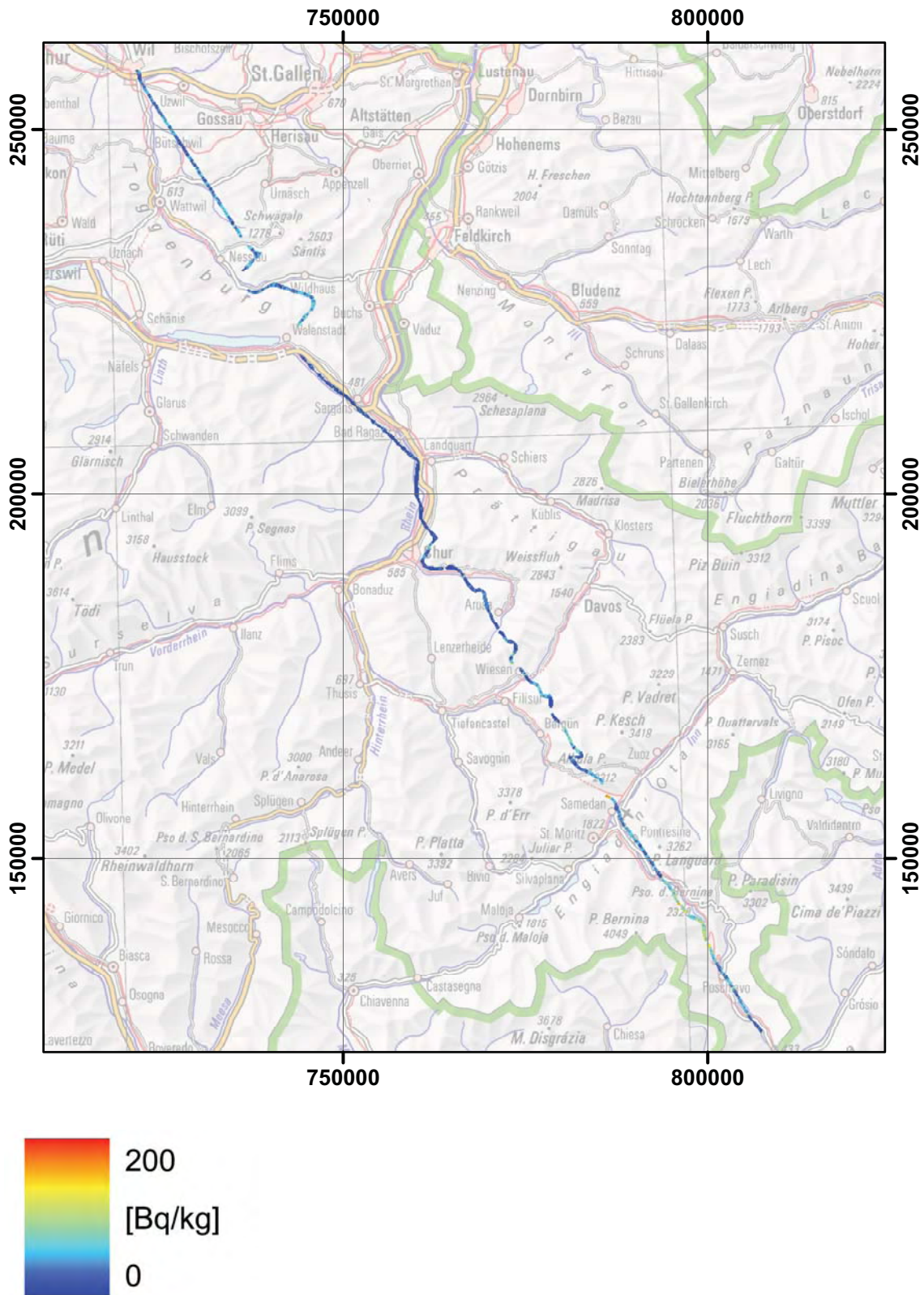


Abbildung 56: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

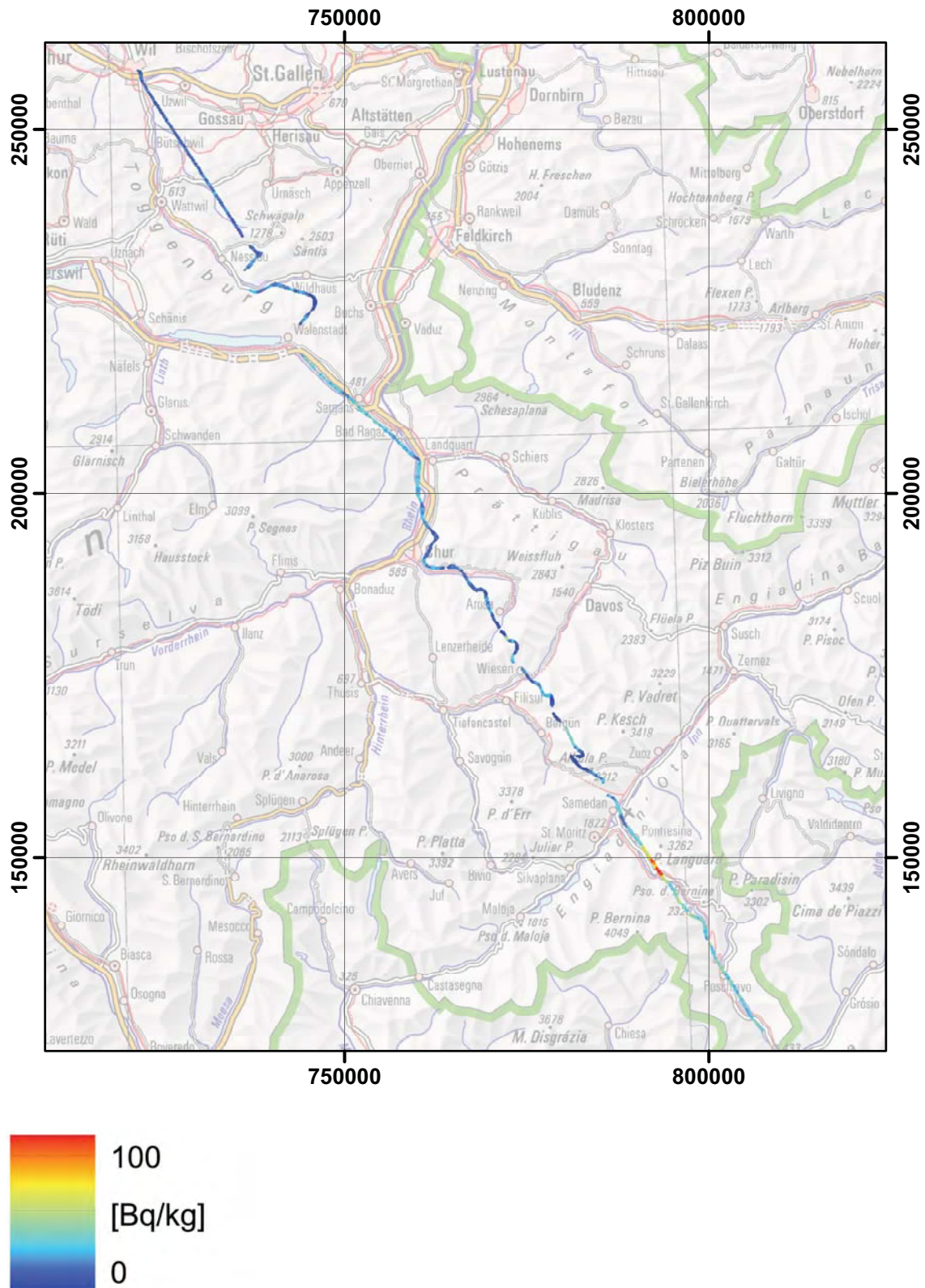


Abbildung 58: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Wil nach Poschiavo. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

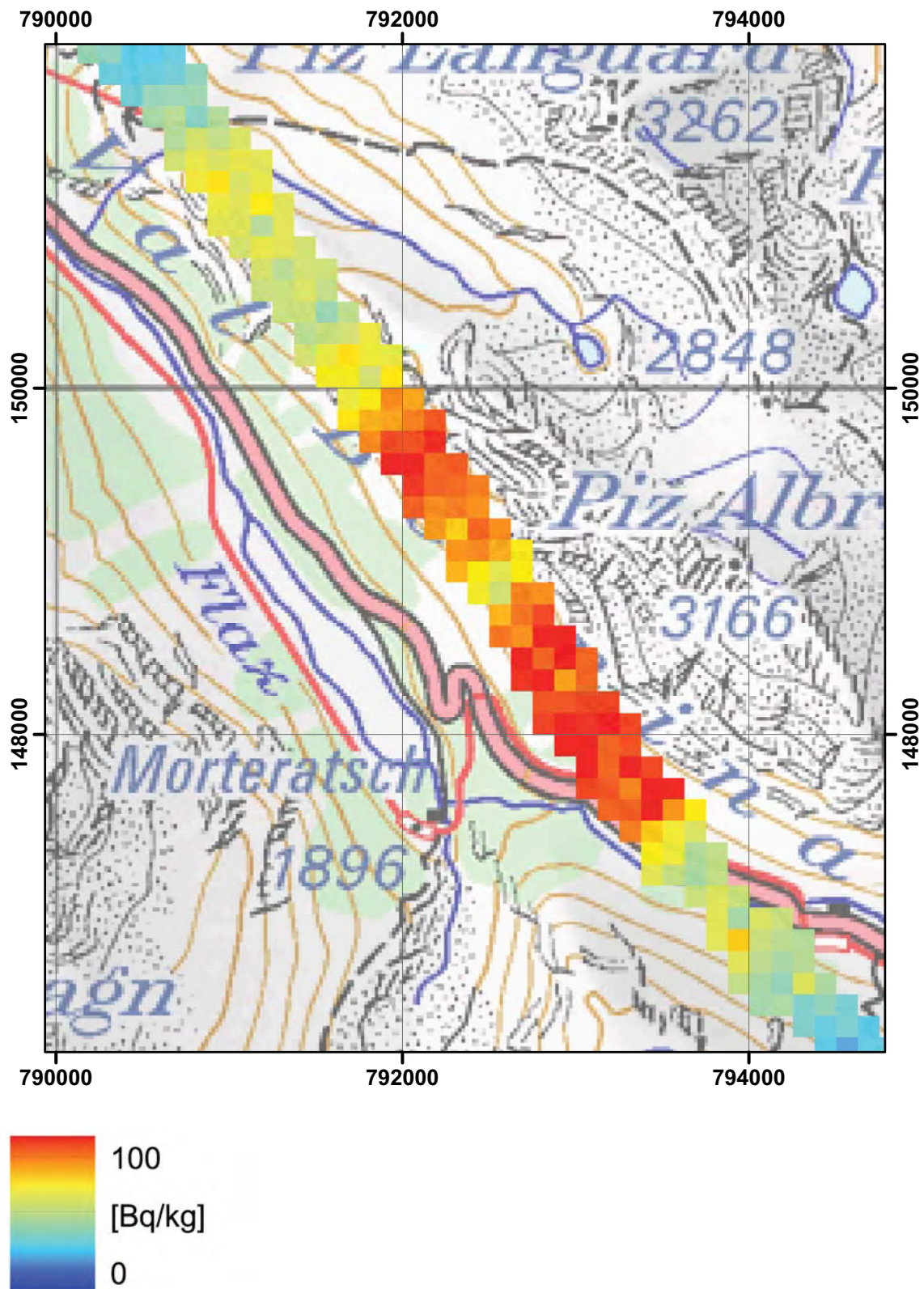


Abbildung 59: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration in der Nähe des Piz Albris.
PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

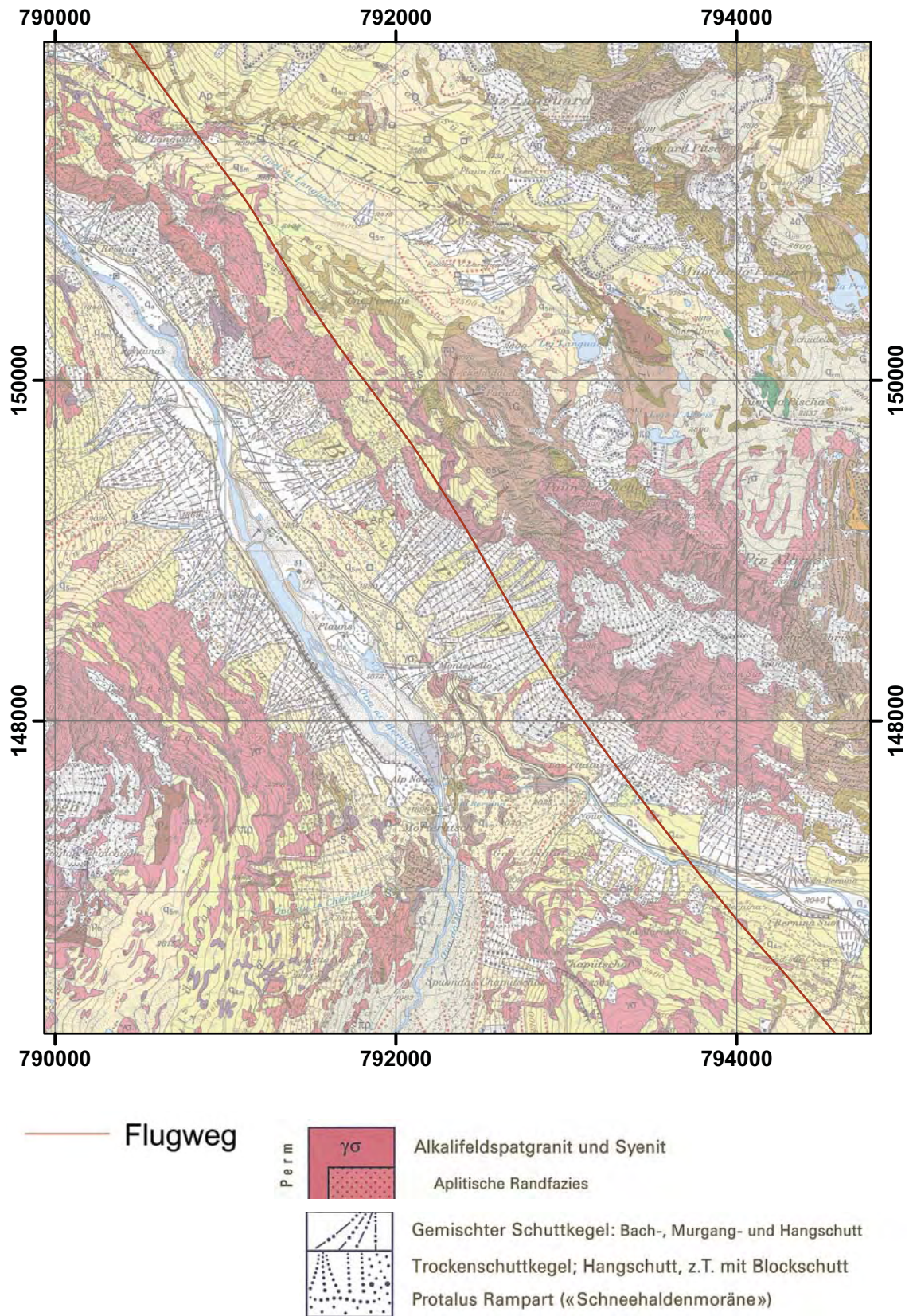


Abbildung 60: Flugweg und geologische Karte in der Nähe des Piz Albris. Geologischer Atlas der Schweiz 1:25000 © 2011 swisstopo (JD100043).

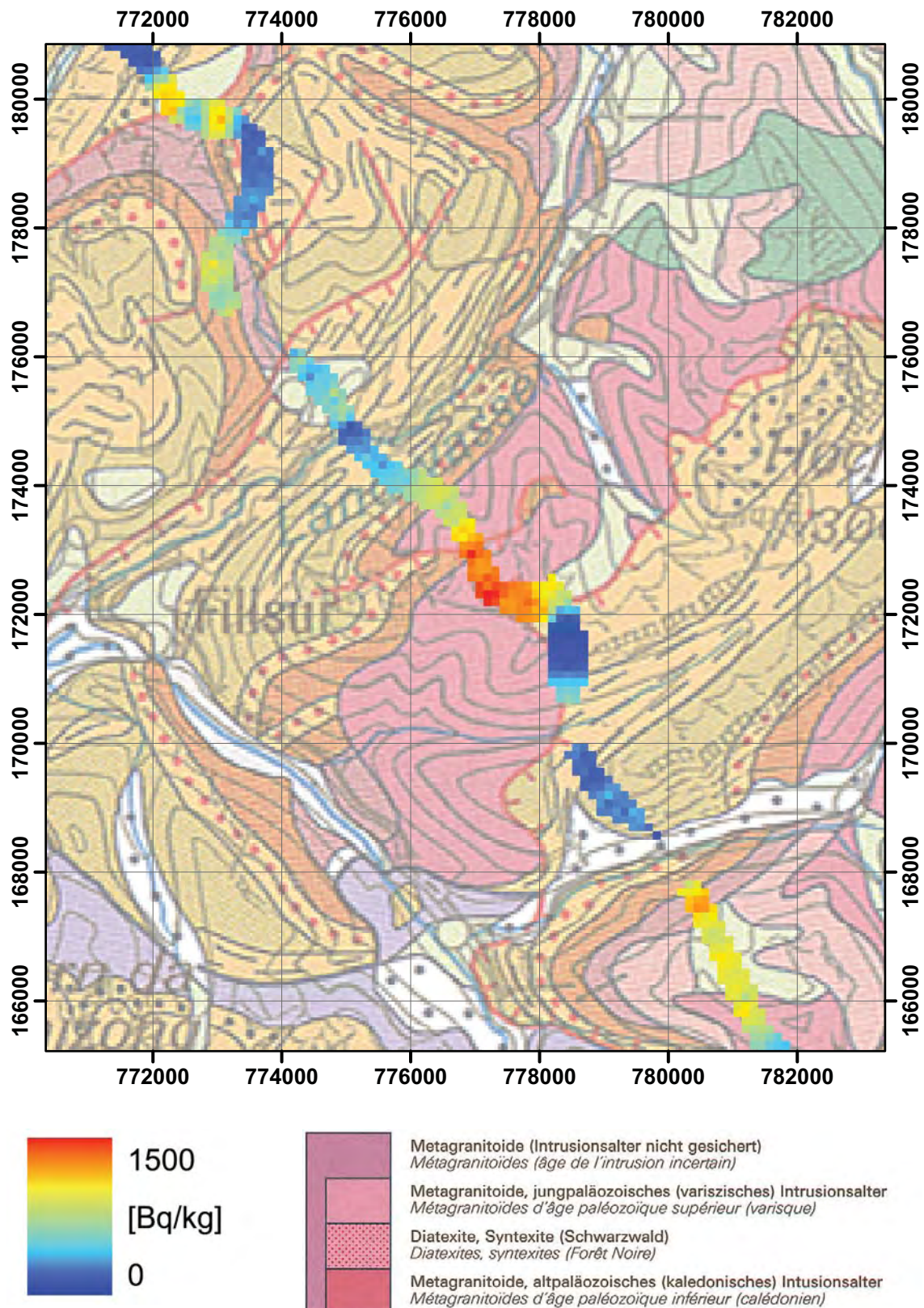


Abbildung 61: ^{40}K -Aktivitätskonzentration und geologische Karte in der Nähe von Wiesen (GR). Geologische Karte der Schweiz 1:500000 © 2011 swisstopo (JD100043).

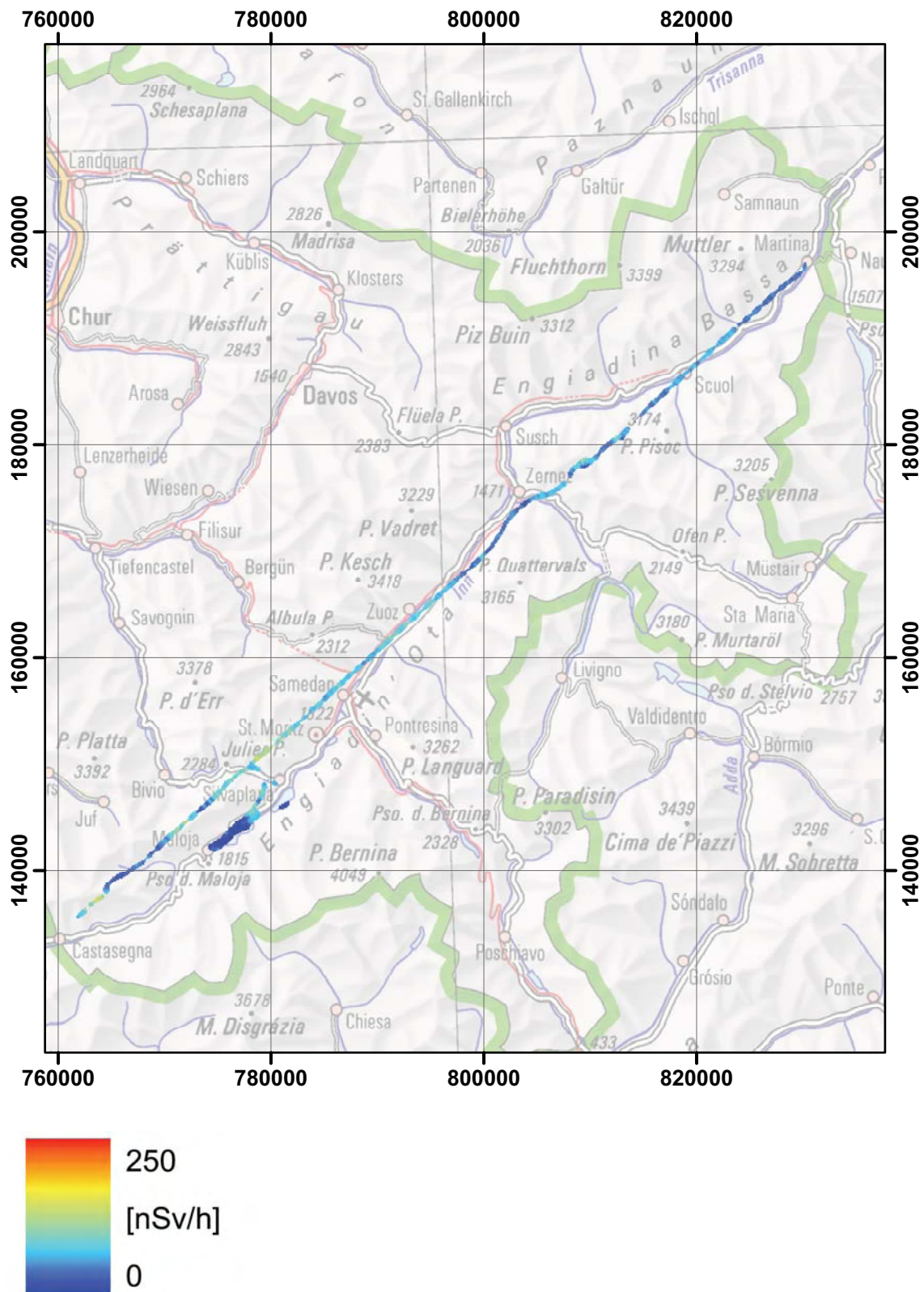


Abbildung 62: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Martina nach Castasegna. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

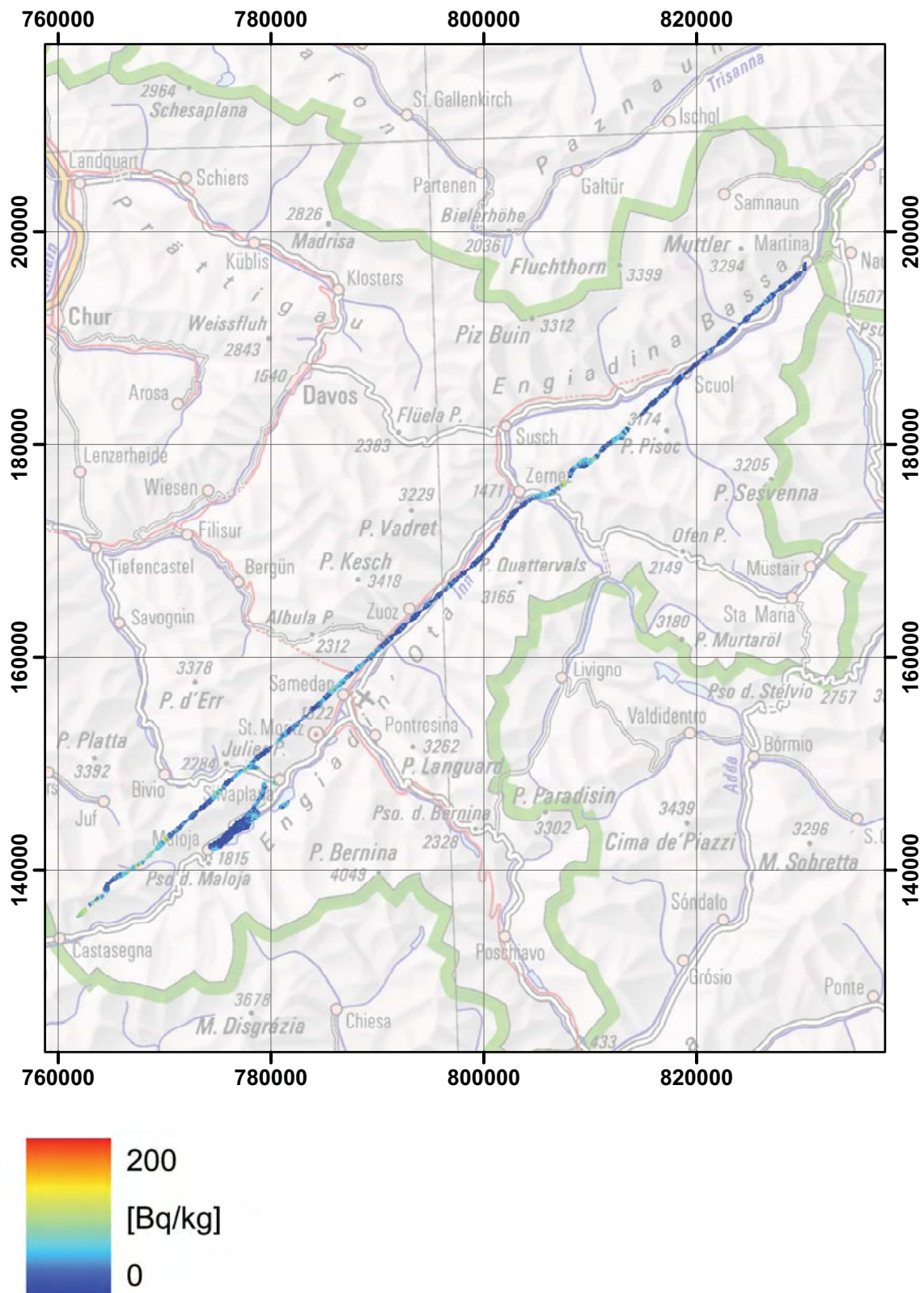


Abbildung 63: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

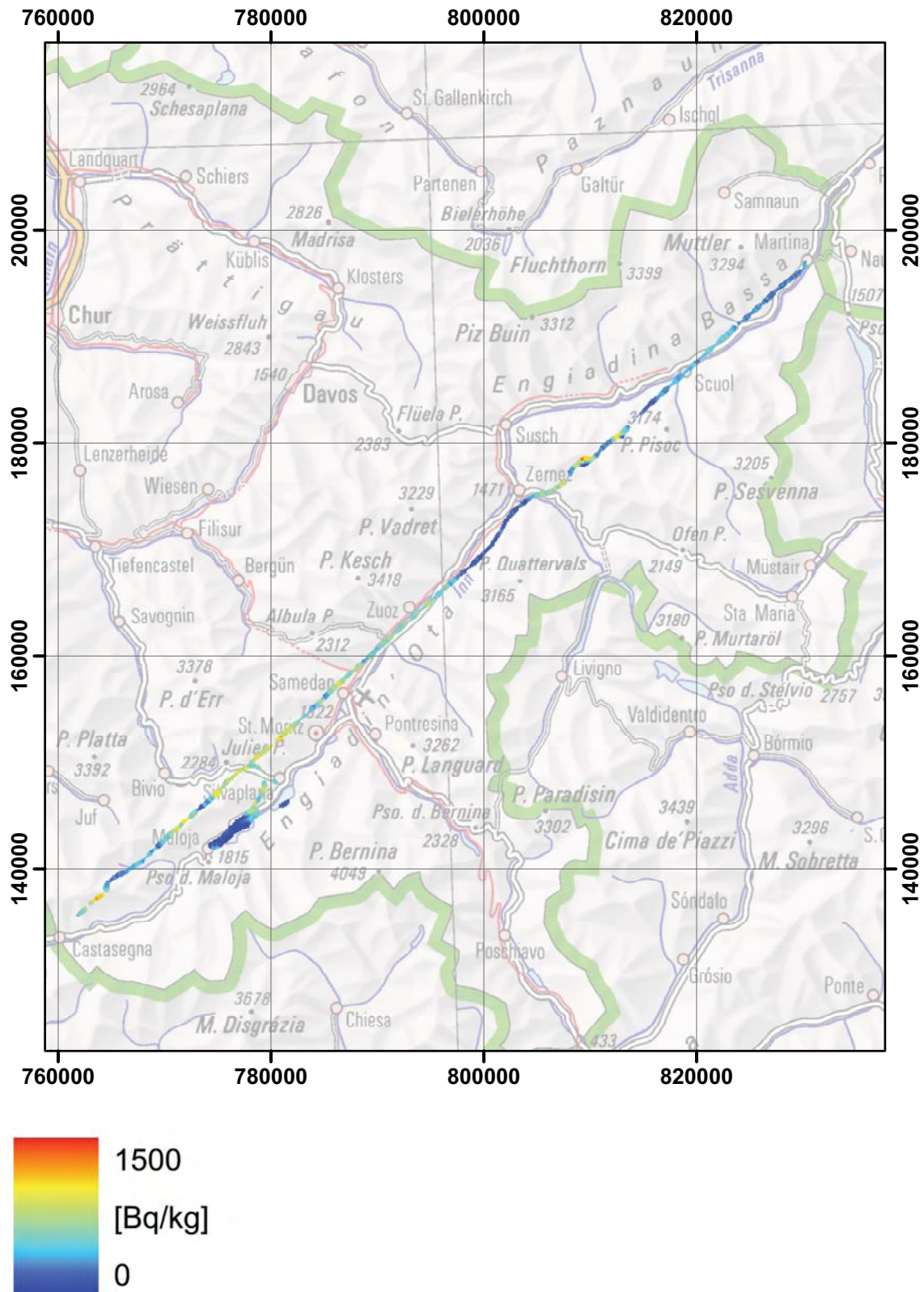


Abbildung 64: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

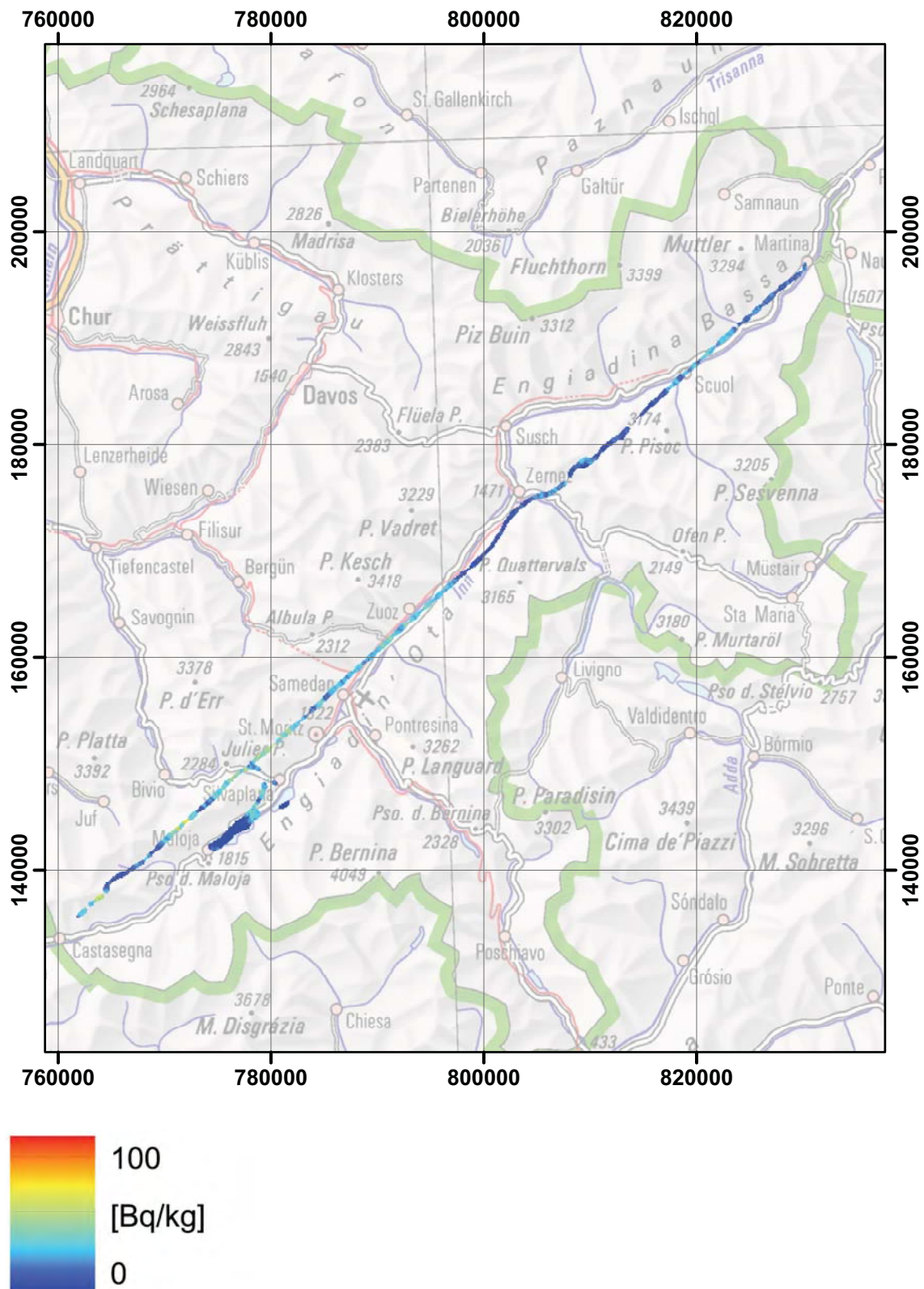


Abbildung 65: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Martina nach Castasegna. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

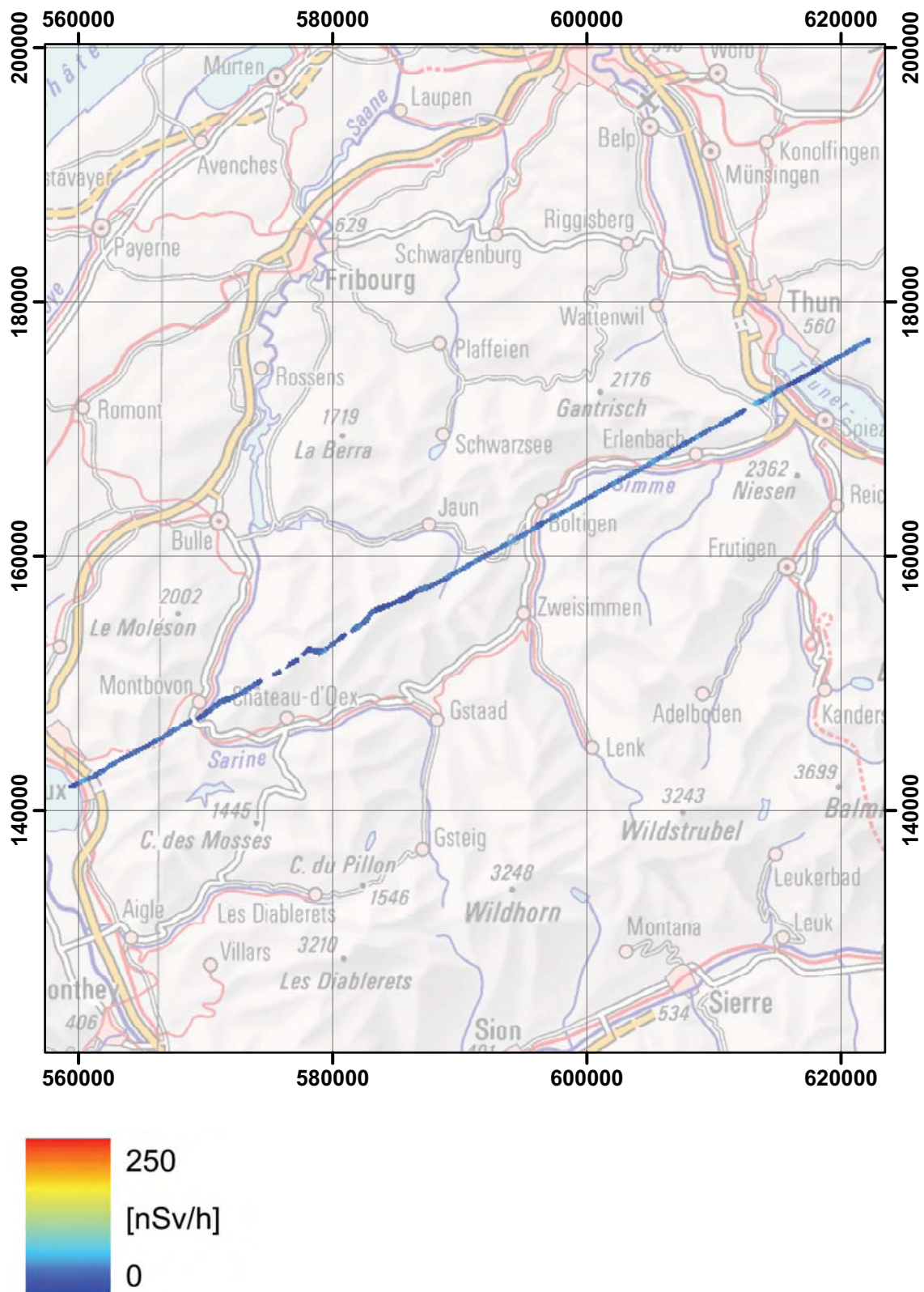


Abbildung 66: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Montreux nach Thun. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

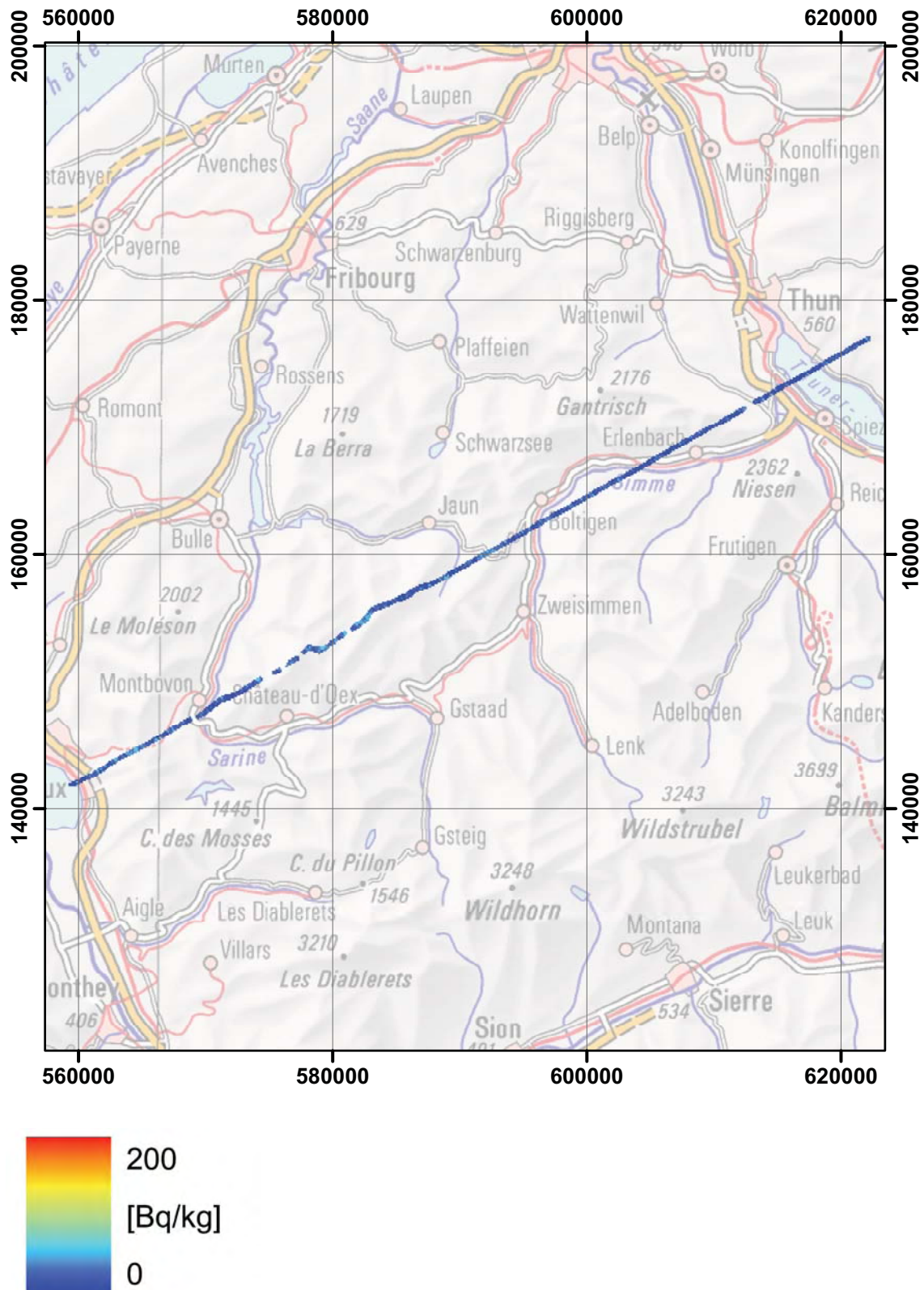


Abbildung 67: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

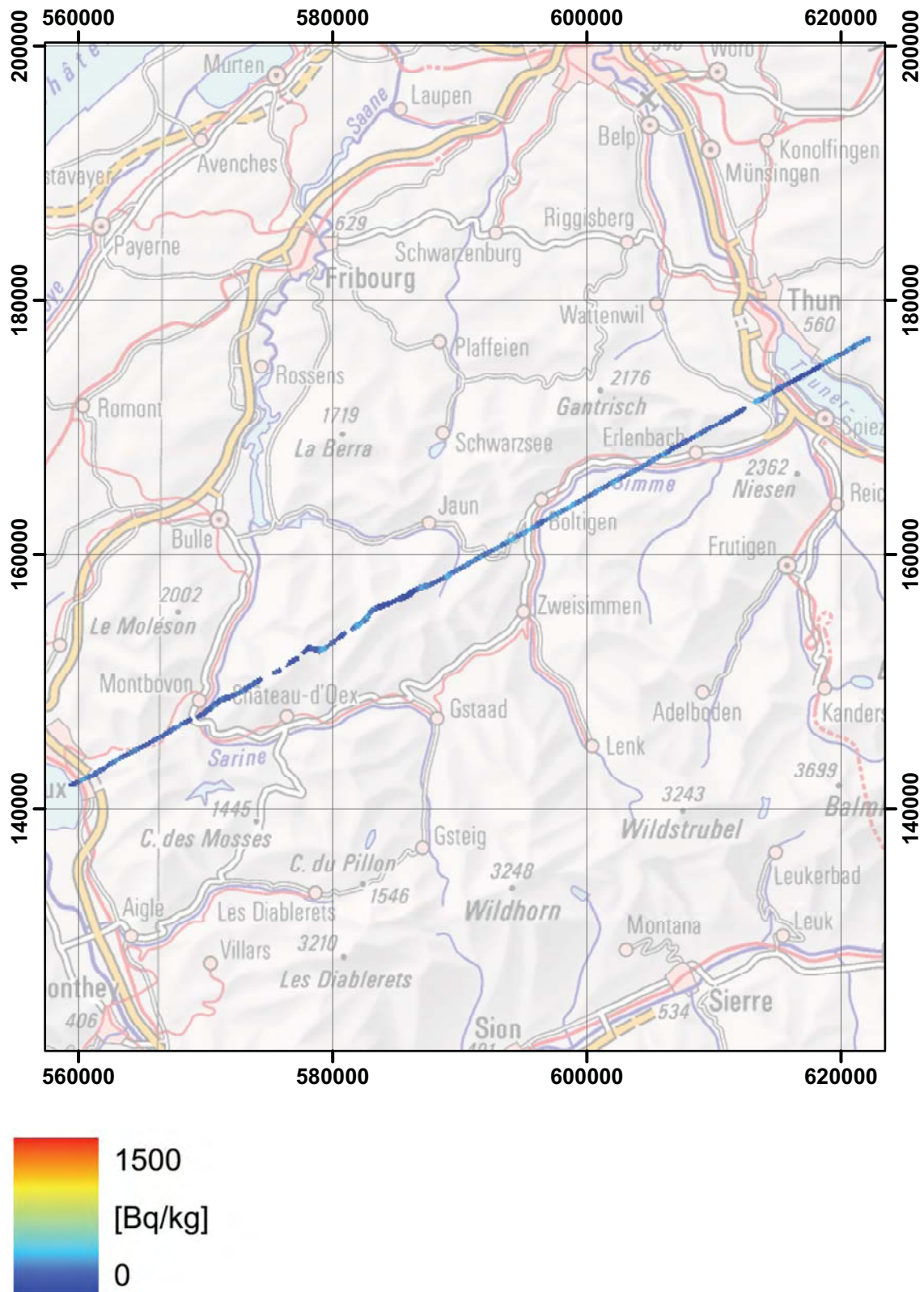


Abbildung 68: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

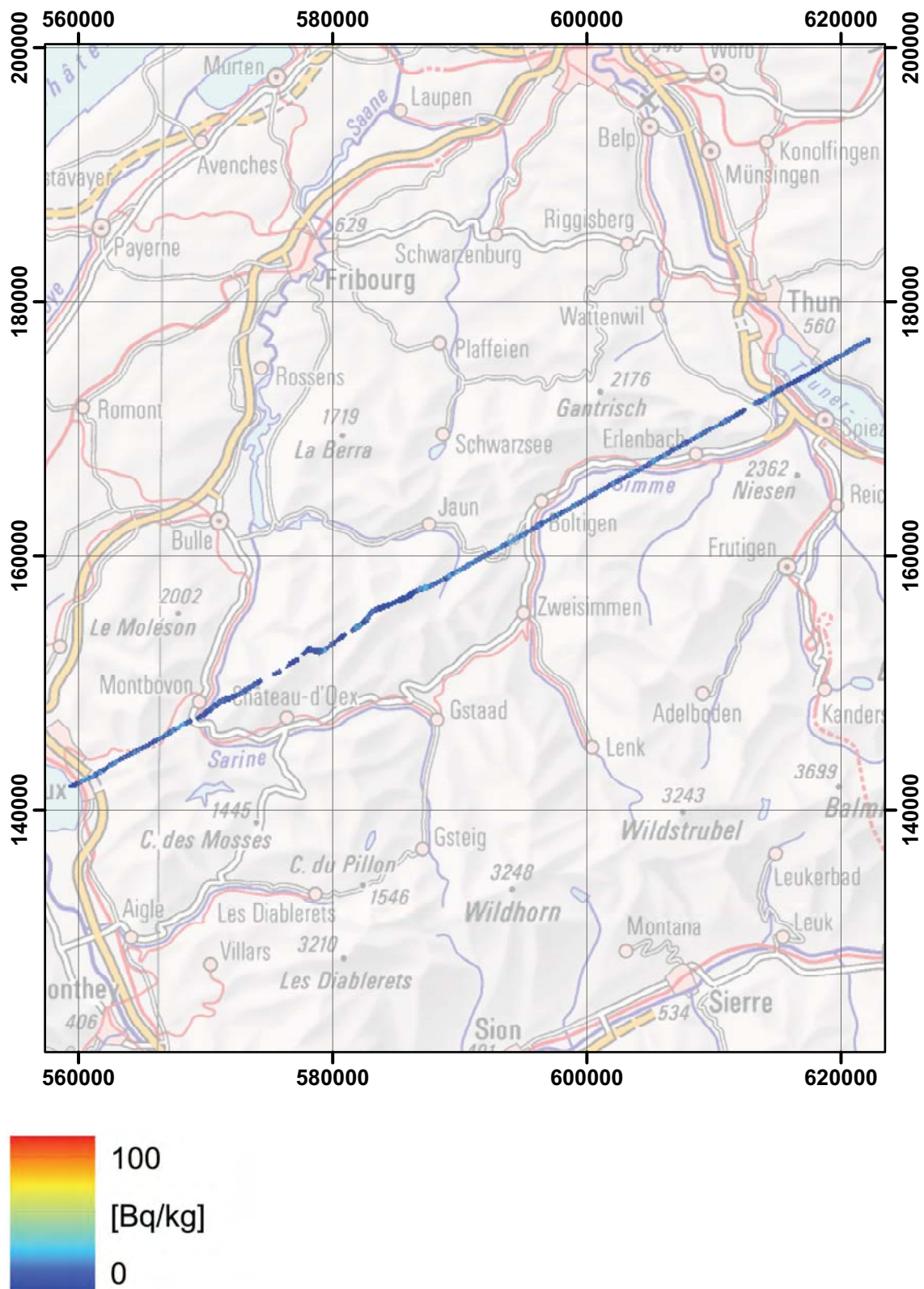


Abbildung 69: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Montreux nach Thun. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

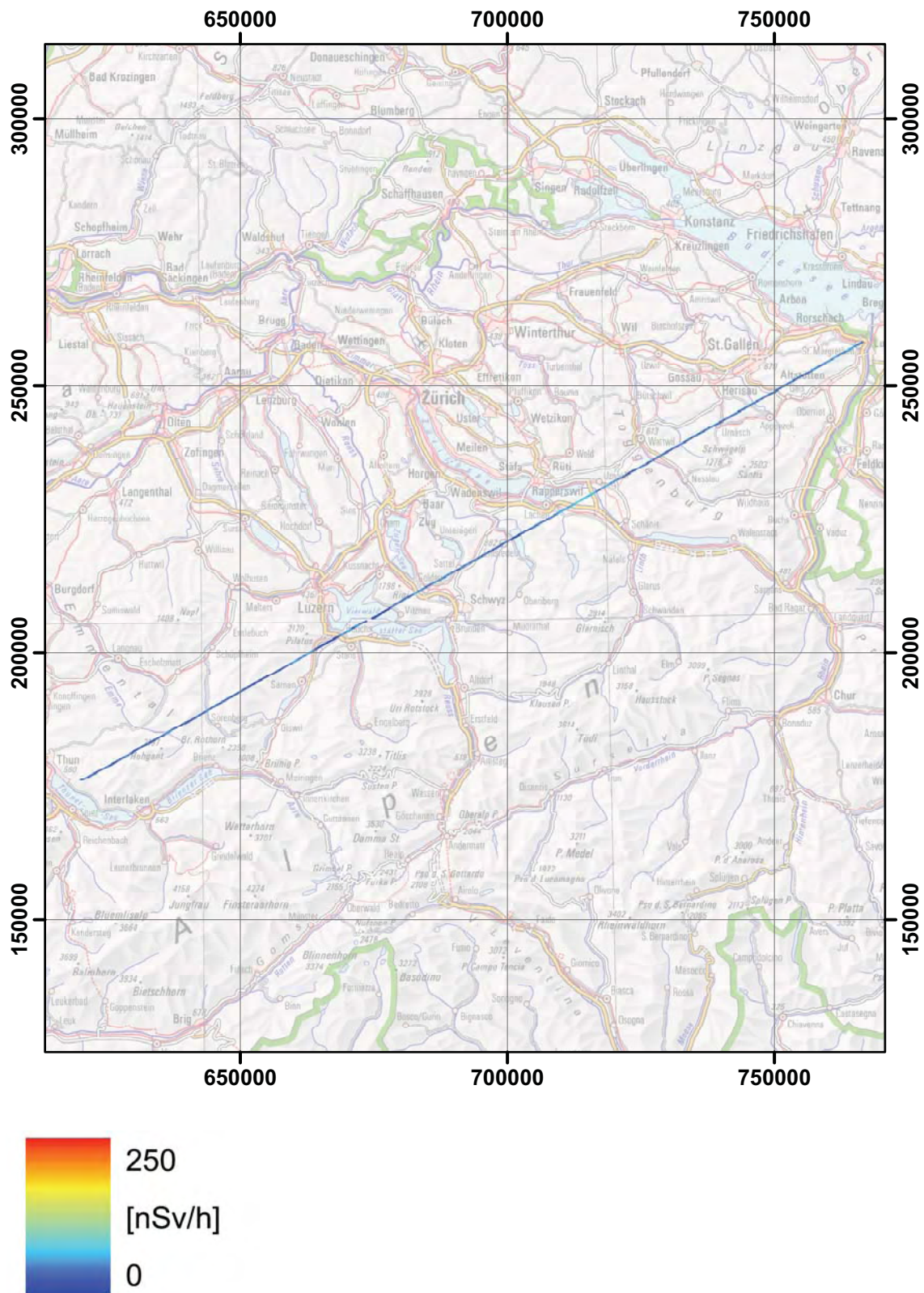


Abbildung 70: Terrestrische Dosisleistung entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

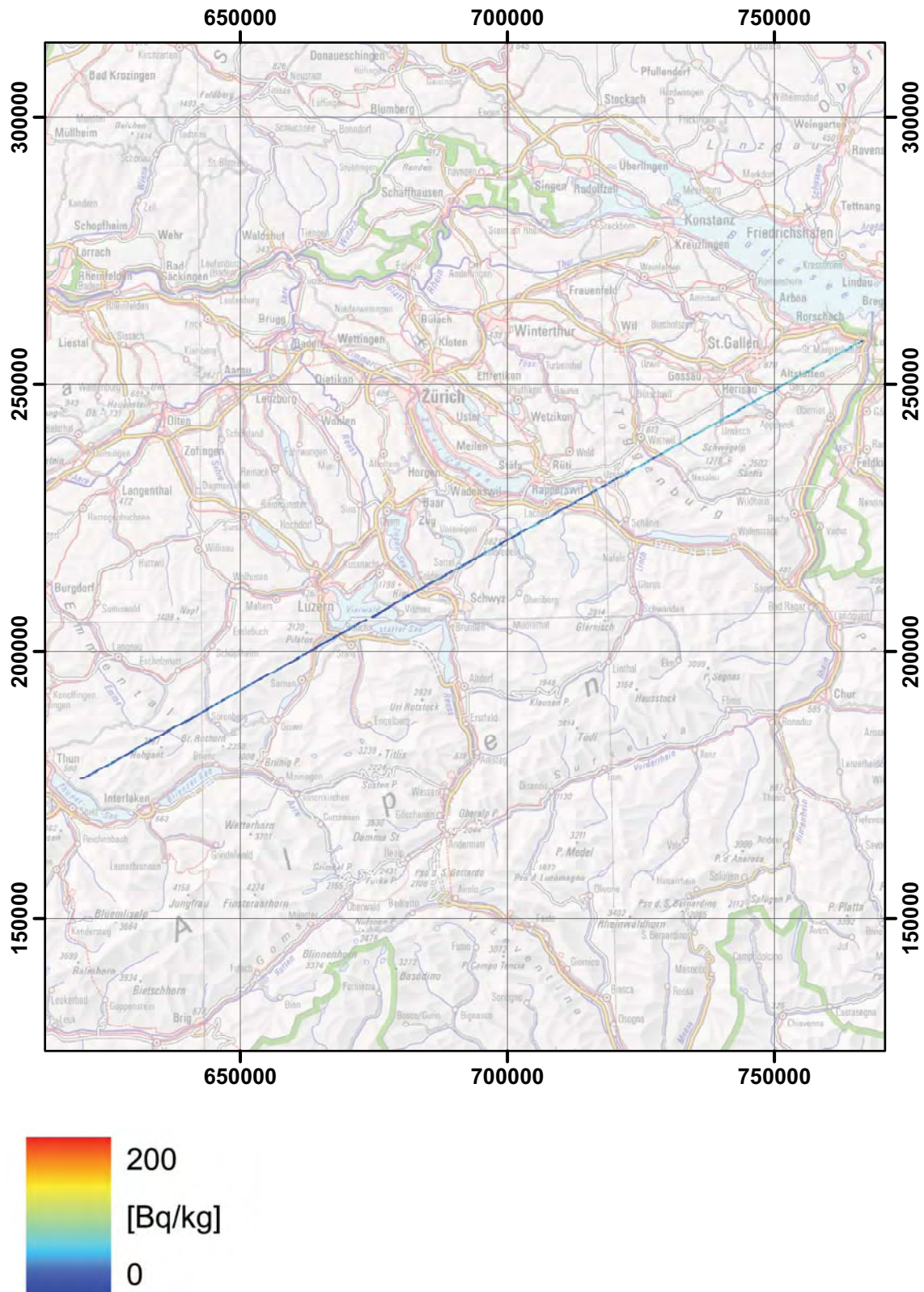


Abbildung 71: ^{137}Cs -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

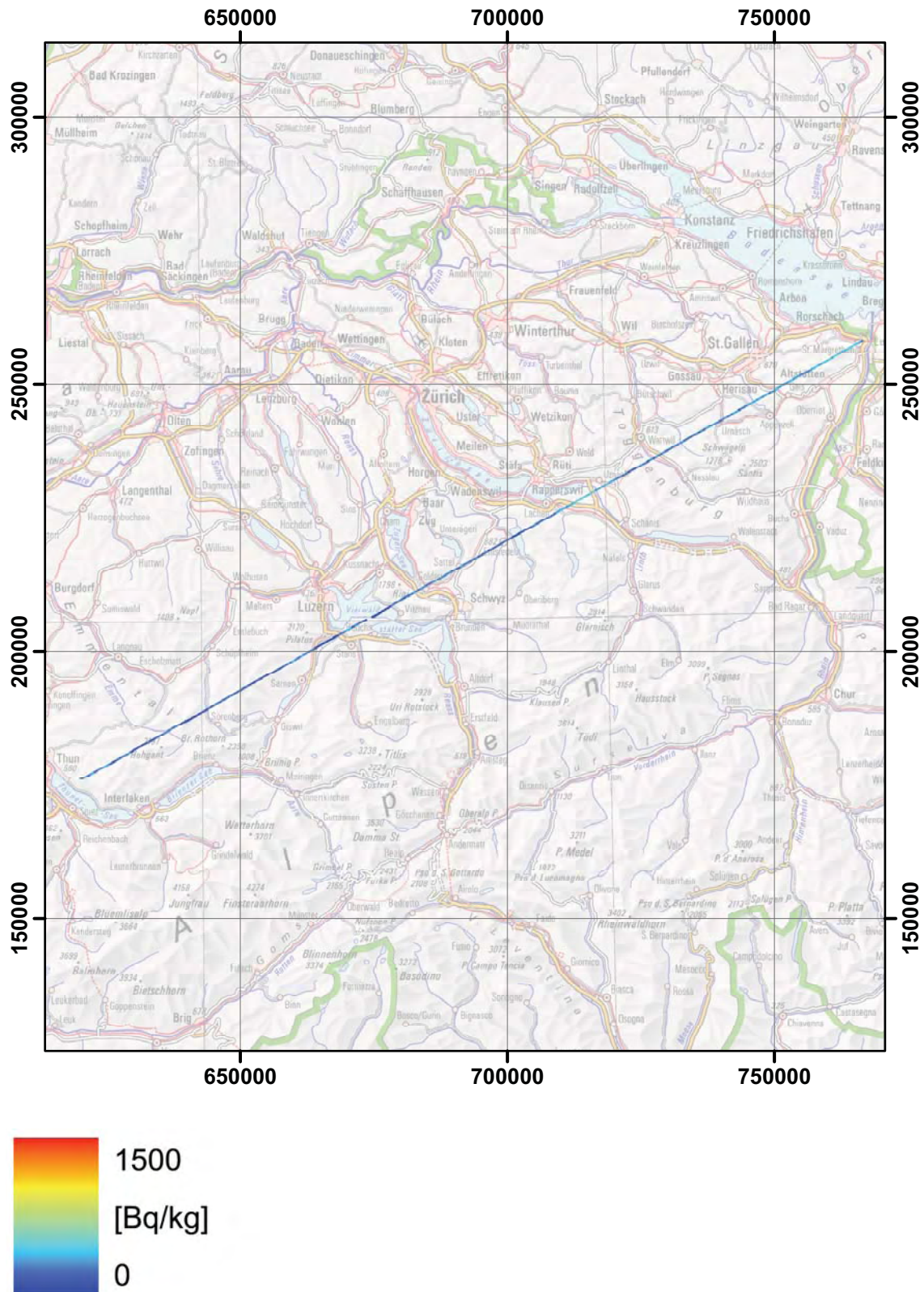


Abbildung 72: ^{40}K -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

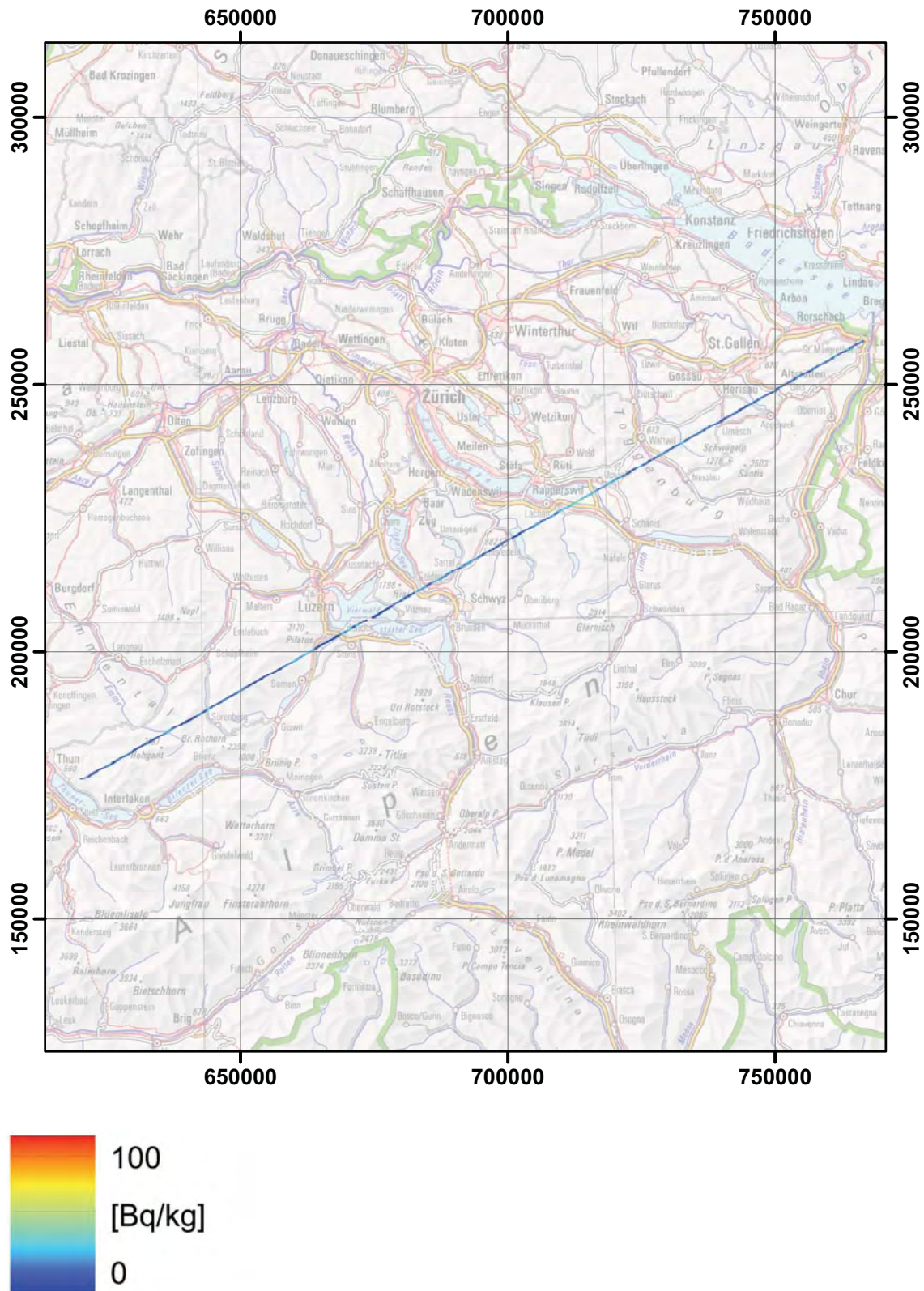


Abbildung 73: ^{232}Th -Aktivitätskonzentration entlang eines Profils von Thun nach St. Margrethen. PK1000 © 2011 swisstopo (JD100043).

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