

Fachbereich Logistik  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

## **Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM09**

Benno Bucher, Gernot Butterweck, Ladislaus Rybach,  
Georg Schwarz, Christopher Strobl



Fachbereich Logistik  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

## Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM09

**Benno Bucher<sup>1</sup>, Gernot Butterweck<sup>2</sup>, Ladislaus Rybach<sup>3</sup>,  
Georg Schwarz<sup>1</sup>, Christopher Strobl<sup>4</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

<sup>4</sup> Abteilung Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt, Bundesamt für Strahlenschutz,  
85764 Oberschleißheim, Deutschland

## **Zusammenfassung**

Die Messflüge im Rahmen der Übung ARM09 fanden vom 22. bis 26. Juni 2009 unter der Leitung von G. Scharding (Nationale Alarmzentrale, NAZ) und Koordination durch die Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) statt.

Turnusgemäss wurden die Kernkraftwerke Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) aeroradiometrisch vermessen. Die Messungen zeigten ähnliche Werte, wie sie bereits in vergangenen Jahren gemessen wurden.

Als Schwerpunkt der diesjährigen Übung nahm die Schweiz an einer trinationalen Übung in Deutschland teil. An dieser durch das deutsche Bundesamt für Strahlenschutz und die deutsche Bundespolizei organisierten Übung nahmen Aeroradiometrie-Teams aus Deutschland, Frankreich und der Schweiz teil. Die Übungsgebiete lagen in der Nähe von München und in der Oberpfalz.

Wie schon in der trinationalen Übung 2007 konnte das Schweizer Team wertvolle Erkenntnisse durch den Erfahrungsaustausch mit den deutschen und französischen Kollegen gewinnen. Trotz widriger Wetterverhältnisse beleuchtete die geschickte Wahl der Übungsaufgaben durch die Kollegen des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz wichtige Gesichtspunkte der aeroradiometrischen Messung. Eine praktische Übung zeigte die Schwierigkeit auf, mobile Quellen mit Hilfe der Aeroradiometrie aufzuspüren. Messungen in verschiedenen Höhen über dem Chiemsee lieferten offene Fragen bezüglich der Untergrundsbestimmung und Radonkompensation für das Schweizer Messsystem.

Die aufgrund der Ergebnisse der tri-nationalen Vergleichsmessung im Jahre 2007 überarbeitete Suchstrategie bewährte sich bei der diesjährigen Übung hervorragend.

## **Abstract**

The measurement flights of the exercise ARM09 were performed between 22<sup>nd</sup> and 26<sup>th</sup> of June 2009 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 Mühleberg (KKM) and Gösgen (KKG) were surveyed. The measurements showed similar results to those obtained in former years.

The participation of the Swiss team in the tri-national exercise in Germany was main focus of this years program. Teams from Germany, France and Switzerland participated in the exercise, which was organised by the German Office for Radiation Protection and the German Federal Police. The exercise areas were located in the vicinity of Munich and in the Upper Palatinate.

As during the tri-national exercise in 2007, the Swiss team could profit also this year from the experience of the German and French colleagues. In spite of inclement weather, important aspects of aerogammaspectrometric measurements were investigated, especially due to the proficient choice of exercise tasks by the German organisers. One exercise demonstrated practically the difficulties in tracking moving carborne radioactive sources with the help of aerogammaspectrometric measurements. Measurements in different altitudes above the Chiemsee presented for the Swiss measurement system open questions concerning the background and radon correction. The Swiss search strategy for hidden radioactive sources, revised according to the results of the 2007 tri-national exercise, performed well.

**INHALT**

1 EINLEITUNG .....	1
1.1 Messgeräte .....	1
1.2 Messflüge .....	2
1.3 Auswertung .....	2
2 ERGEBNISSE DER MESSFLÜGE IM RAHMEN DER ÜBUNG ARM09 .....	2
2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKG/KKM .....	3
2.2 Trinationale Übung in Bayern .....	5
2.2.1 Suche nach mobilen Quellen .....	6
2.2.2 Quellensuche .....	6
2.2.3 Messgebiet Neunburg .....	9
2.2.4 Messgebiet Chiemsee .....	11
3 SCHLUSSFOLGERUNGEN .....	12
4 LITERATUR .....	13

**TABELLEN**

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter. ....	3
Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM09. ....	3
Tabelle 3: Daten der durch das Schweizer Team identifizierten Quellen. ....	9
Tabelle 4: Daten der vom Veranstalter ausgelegten Quellen. ....	9
Tabelle 5: In-situ gammaspektrometrie Messwerte im Gebiet Neunburg. ....	11
Tabelle 6: Aeroradiometrische Messwerte im Gebiet Neunburg. ....	11

## FIGUREN

Abbildung 1: Vergleich der Spektren mit und ohne $^{16}\text{N}$ -Photonenemission. ....	4
Abbildung 2: Flughöhen während der Quellensuche. ....	7
Abbildung 3: Photonenspektrum im Umfeld der Quelle. ....	8
Abbildung 4: Nettozählrate über dem Chiemsee. ....	12
Abbildung 5: Fluglinien und Ortsdosisleistung in der Umgebung KKG. ....	15
Abbildung 6: MMGC-Ratio in der Umgebung KKG. ....	16
Abbildung 7: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG. ....	17
Abbildung 8: $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG. ....	18
Abbildung 9: $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG. ....	19
Abbildung 10: $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG. ....	20
Abbildung 11: Fluglinien und Ortsdosisleistung in der Umgebung KKM. ....	21
Abbildung 12: MMGC-Ratio in der Umgebung KKM. ....	22
Abbildung 13: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration der Umgebung KKM. ....	23
Abbildung 14: $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM. ....	24
Abbildung 15: $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM. ....	25
Abbildung 16: $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM. ....	26
Abbildung 17: Fluglinien der Suche nach mobilen Quellen. ....	27
Abbildung 18: MMGC-Ratio der Suche nach mobilen Quellen. ....	28
Abbildung 19: Fluglinien der Quellensuche. ....	29
Abbildung 20: Ortsdosisleistung der Quellensuche. ....	30
Abbildung 21: MMGC-Ratio der Quellensuche. ....	31
Abbildung 22: $^{137}\text{Cs}$ -Nettozählrate der Quellensuche. ....	32
Abbildung 23: $^{60}\text{Co}$ -Nettozählrate der Quellensuche. ....	33
Abbildung 24: Durch das Schweizer ARM-Team gemeldete Positionen, Radionuklide und abgeschätzte Aktivitäten der Quellen. ....	34
Abbildung 25: Durch den Veranstalter festgelegte Positionen, Radionuklide und Aktivitäten der Quellen. ....	35
Abbildung 26: Fluglinien und Ortsdosisleistung im Gebiet von Neunburg. ....	36
Abbildung 27: MMGC-Ratio im Gebiet von Neunburg. ....	37
Abbildung 28: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg. ....	38
Abbildung 29: $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg. ....	39
Abbildung 30: $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg. ....	40

Abbildung 31: $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg. ....	41
Abbildung 32: Geologische Situtation im Messgebiet. ....	42
Abbildung 33: Fluglinien der Untergrundsmessung über dem Chiemsee. ....	43
Abbildung 34: Fluglinien im Gebiet der Krautinsel im Chiemsee. ....	44
Abbildung 35: Terrestrische Dosisleistung im Gebiet der Krautinsel. ....	45
Abbildung 36: $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im im Gebiet der Krautinsel. ....	46



## **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, Kernkraftwerksstörfälle 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 1.1.2009 aus der HSK hervorging.

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 für die Kartierung nach Möglichkeit konstant bei 90 m über Grund gehalten. Während des Flugs wird ein Gammaspektrum pro Sekunde aufgenommen.

Die Suche nach einzelnen radioaktiven Quellen im Gelände kann abhängig von der erwarteten Aktivität der Quelle, der Grösse des Suchareals und dessen Eigenschaften sowohl durch eine geringere Flughöhe als auch einen geringeren Fluglinienabstand optimiert werden.

## **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 ARM09**

Die Messungen des Jahres 2009 erfolgten mit einem Super Puma Helikopter der Armee in der Zeit vom 22. bis zum 26. Juni 2009. Die Messflüge standen unter der Leitung von G. Scharding (NAZ). Das Personal des Stabs BR NAZ führte die komplette Übung eigenverantwortlich durch. Die Übung bestand aus der Teilnahme an einer trinationalen Übung (D, F, CH) in Deutschland in den ersten vier Tagen und Messflügen über die Kernkraftwerke Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) im Rahmen des Schweizer Routineprogramms. Die technische und wissenschaftliche Unterstützung erfolgte während der Messflüge in Deutschland vor Ort durch Personal von PSI und ENSI und während der Routine-Messflüge im Rahmen einer Rufbereitschaft. Die Daten aller im Rahmen der Übung ARM09 durchgeführten Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

**Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM09 verwendet wurden.**

<b>Messgebiet, Messaufgabe</b>	<b>Längslinien- abstand [m]</b>	<b>Fläche [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Flughöhe [m]</b>	<b>Flugrichtung [Grad]</b>
Mobile Quellen	-	14	100	-
Quellensuche	20 - 60	9	60	90/270
Chiemsee1	-	6	100, 300, 600	100/280
Chiemsee2	-	6	90	100/280 135/315
Neunburg	350	115	90	90/270
KKM	250	89	90	45/225
KKG	250	48	90	90/270

**Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM09.**

<b>Messgebiet Messaufgabe</b>	<b>Flug- Nummern</b>	<b>Datum</b>	<b>Eff. Messzeit [s]</b>	<b>Flugstrecke [km]</b>
Mobile Quellen	2009010	22.6.2009	1988	84
Quellensuche	2009011	22.6.2009	2732	123
Chiemsee1	2009012	22.6.2009	1005	45
Chiemsee2	2009013	22.6.2009	510	28
Neunburg	2009015	24.6.2009	6040	302
KKM	2009023	26.6.2009	7939	352
KKG	2009025	26.6.2009	4056	196

### **2.1 Wiederkehrendes Messgebiet KKG/KKM**

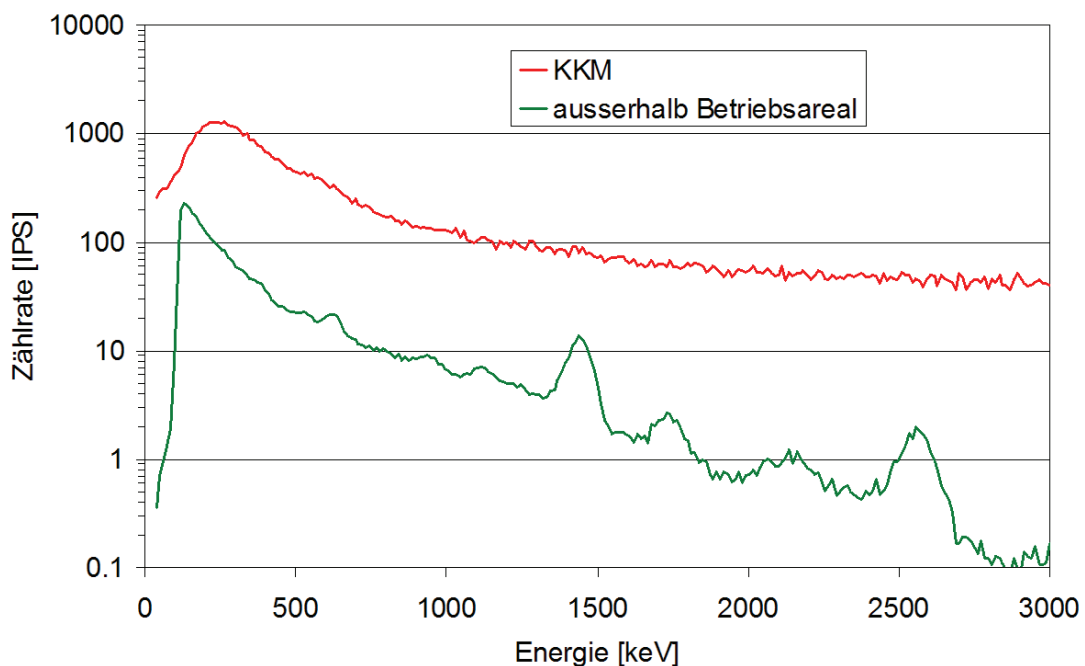
Im Jahre 2009 wurde turnusgemäss die Umgebung der Kernkraftwerke Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) aeroradiometrisch vermessen.

Die Karten in der Umgebung des KKG (Abb. 5 - 10) lassen keine erhöhten Messwerte erkennen.

Dagegen weist die gemessene Ortsdosisleistung direkt über dem Standort des KKM (Abb. 11) erhöhte Werte auf. Diese Erhöhung ist bei einem Siedewasserreaktor zu erwarten, weil Primärdampf aus dem Reaktorcontainment in das Ma-

schinnenhaus 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. 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 KKM 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 beim KKM 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 würde das 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.

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

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

$V_{MMGC}$	Modifizierter MMGC-Ratio
$MMGC1$	MMGC Tiefenergiefenster (200-1400 keV)
$MMGC2$	MMGC Hochenergiefenster (1400-3000 keV)
$C$	Messwerte im kosmischen Fenster (>3 MeV) [IPS]
$C_{mod}$	Modellwert für kosmisches Fenster
$H$	Barometrische Höhe [km]
$k$	Korrekturfaktor (0.28) [IPS <sup>-1</sup> ]

Abbildung 12 zeigt ein erhöhtes MMGC-Verhältnis direkt über dem KKM. Einzelne Punkte ausserhalb des KKM Betriebsareals mit erhöhtem MMGC-Verhältnis lassen sich auf ungewöhnlich niedrige Messwerte im hochenergetischen Fenster  $MMGC2$  zurückführen, welches ein Mass für die natürliche Strahlung darstellt.

Im Gegensatz zur <sup>137</sup>Cs-Karte (Abb. 13) weisen alle natürlichen Radionuklide direkt über dem KKM erhöhte Messwerte auf (Abb. 14 bis 16). Diese Erhöhungen sind Artefakte, welche durch die gestreute <sup>16</sup>N-Strahlung verursacht werden.

## 2.2 Trinationale Übung in Bayern

Auf Einladung des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) trafen sich die deutschen, französischen und schweizerischen Messequipen auf der Basis Oberschleissheim der deutschen Bundespolizei zur AGE09 (Aero Gamma Spectrometry Exercise 2009).

Die Ziele dieser trinationalen Übung waren, die Zusammenarbeit zu proben, einen Erfahrungsaustausch der Piloten und ARM-Spezialisten zu ermöglichen und die Austauschbarkeit der Daten zu testen. Gemeinsame Übungen ermöglichen es, in einem Einsatzfall die Messhelikopter aller drei Staaten rasch gemeinsam einsetzen zu können. Die Übung in Deutschland war eine Fortsetzung der trinationalen Übung 2007, welche von der NAZ organisiert wurde und in der Schweiz stattfand. Das Übungsprogramm umfasste die Suche nach mobilen Quellen, die Suche nach versteckten Quellen, Untergrundmessungen über Wasser und die Kartierung einer Referenzfläche zum Vergleich der Systeme. Aus Witterungsgründen musste ein weiterer geplanter Übungsteil, das Abfliegen einzelner Sektoren durch jeweils einen Helikopter und das Zusammenfügen der Messdaten zu einer gemeinsamen Karte, entfallen.

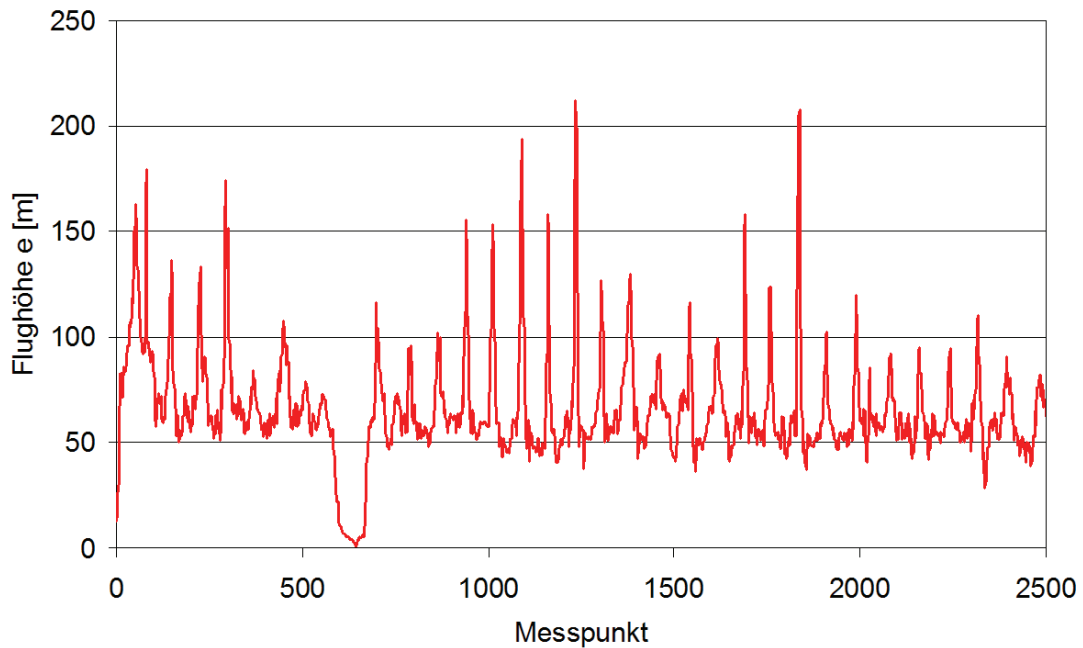
Als Koordinatensystem wurde von den deutschen Kollegen eine abgewandelte universale Mercator-Projektion (UTM) der Polarkoordinaten des WGS84 (world geodetic system) vorgegeben.

### 2.2.1 Suche nach mobilen Quellen

Dieser Übungsteil hatte zur Aufgabe, zwei in fahrenden Autos befindliche Quellen aufzuspüren. Dabei handelte es sich um je eine  $^{60}\text{Co}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle. Ziel war das Aufspüren und die Erkennung des jeweiligen Transportfahrzeugs. Die Suchflüge wurden von den deutschen und französischen Kollegen über Abschnitten der Autobahnen A8, A92 und A99 durchgeführt. Aufgrund der Grösse des Superpuma-Helikopters wurde vom Veranstalter das Unfallrisiko durch Ablenkung der Verkehrsteilnehmer auf der stark befahrenen Autobahn als zu hoch eingeschätzt. Daher wurde dem Schweizer Team ein Suchgebiet über Abschnitten der weniger befahrenen Staatsstrassen St2359, St2079 und St2092 sowie der Kreisstrasse Ro35 zugeteilt (Abb. 17). Aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens hatte hier das Schweizer Team einen Vorteil und konnte als einziges Team eines der Fahrzeuge identifizieren. Obwohl die Fahrzeuge mit den Quellen mehrere Male überflogen wurden (Abb. 18), gelang die eindeutige Identifizierung erst im Schwebeflug nach Überholen einer verdächtigen Fahrzeuggruppe.

### 2.2.2 Quellensuche

Die Suche nach im Gelände versteckten Quellen wurde in der direkten Umgebung des Flugfeldes der Bundespolizei in Oberschleissheim durchgeführt. Das Schweizer Team verwendete die in 2007 erfolgreich von den französischen Kollegen eingesetzte Suchstrategie. Zum einen wurde eine möglichst geringe Flughöhe (60 m) gewählt, zum anderen wurde angestrebt, zahlreiche dicht liegende Fluglinien in dem vorgegebenen Zeitintervall abzufliegen (Abb. 19). Das Suchgebiet war weitgehend eben, so dass mit vergleichsweise hoher mittlerer Geschwindigkeit von 180 km/h gesucht werden konnte. Die bei den engen Wendemanövern auftretenden Kräfte wurden durch die Piloten unterhalb von 2 g gehalten, was aber dennoch das quer zur Flugrichtung sitzende Messteam aussergewöhnlich belastete (Abb. 2). Für die Quellensuche wird eine geringere Zellgrösse zur Darstellung der Messergebnisse verwendet, um eine genaue Positionsbestimmung der Quellen zu erleichtern. Daher zeigen die entsprechenden Karten (Abb. 20 bis 23) lediglich Messresultate an, welche direkt unter dem Flugweg gelegen sind.

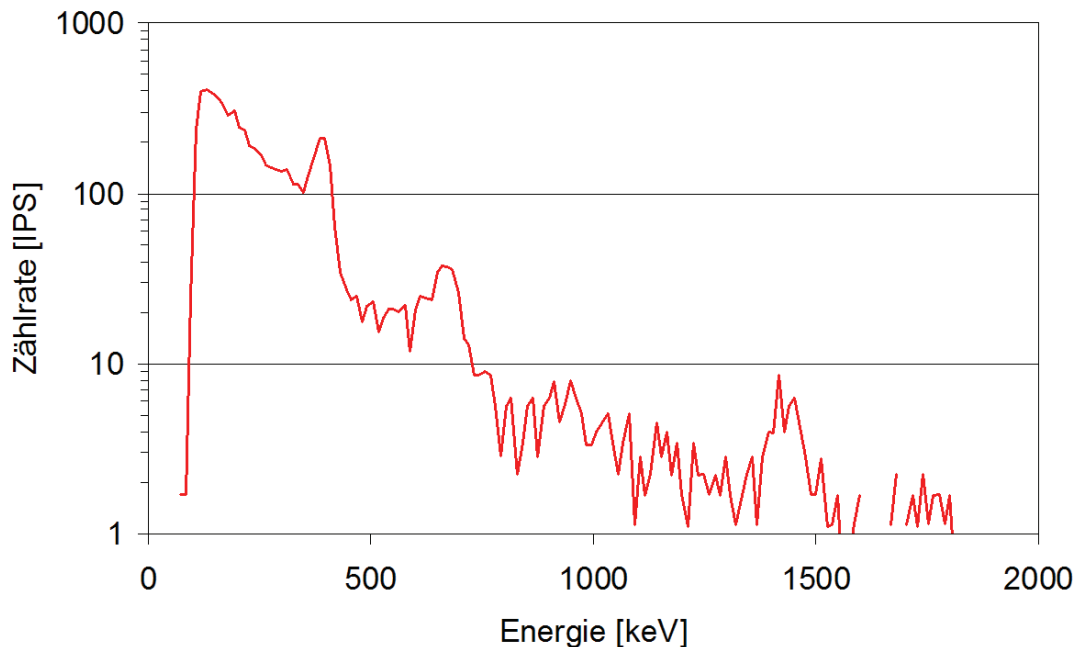


**Abbildung 2: Flughöhen während der Quellensuche.**

Das Messgebiet insgesamt zeigte eine leichte Erhöhung der Ortsdosisleistung (Abb. 20), die auf  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität aus dem Tschernobyl-Zwischenfall zurückzuführen ist (Abb. 22). Das MMGC-Ratio (Abb. 21) zeigt einen weiten Bereich in welchem mit künstlichen radioaktiven Quellen zu rechnen ist. Die Nettozählraten des  $^{137}\text{Cs}$ - und  $^{60}\text{Co}$ -Fensters lassen erste Mutmassungen über Ort und Radionuklid der Quellen zu. Die genaue Ortung der Quellen, Identifikation aller Radionuklide und eine Abschätzung der Aktivität konnte erst in einer detaillierten Auswertung nach Abschluss des Messflugs durchgeführt werden. Es wurden insgesamt 8 Quellen identifiziert. Mit einer Ausnahme konnten die Radionuklide der Quellen entweder als  $^{137}\text{Cs}$  oder  $^{60}\text{Co}$  identifiziert werden. Abbildung 3 zeigt das Photonenspektrum der Quelle, bei welcher das Radionuklid nicht eindeutig zugeordnet werden konnte. Aufgrund der Hauptlinie bei ca. 360 keV kamen sowohl  $^{133}\text{Ba}$  als auch  $^{131}\text{I}$  in Betracht. Ausgehend von den Photonenemissionen geringerer Intensität dieser beiden Nuklide im Vergleich zum Spektrum wurde  $^{131}\text{I}$  als wahrscheinlichste Lösung erachtet.

Tabelle 3 fasst die Daten der identifizierten Quellen zusammen, wie sie vom Schweizer Team an den Veranstalter der Übung gemeldet wurden. Die Positionen der Quellen sind in Abbildung 24 als Sterne eingetragen. Während des Quellensuchflugs wurde zufällig eines der heimkehrenden Fahrzeuge für die Suche nach mobilen Quellen überflogen. Diese Quelle ist in Abbildung 24 unter der Nummer 8 eingezeichnet. Die identifizierten Quellen stimmen weitgehend mit den vom Veranstalter zur Verfügung gestellten Daten und Positionen der ausgelegten Quellen überein (Tabelle 4 und Abbildung 25). Die Quellen wurden durch das Schweizer Team nummeriert bevor die Daten der ausgelegten Quellen mit

der Nummerierung durch den Veranstalter bekannt gegeben wurden. Diese beiden unabhängigen Nummerierungen werden auch hier weiter verwendet, um die Konsistenz der Ergebnisse zu erhalten. Die Zuordnung der Quellennummern wurde in Tabelle 4 aufgenommen. Die ausgelegten Quellen Nr. 4 und Nr. 5 wurden nicht erkannt. Diese beiden Quellen weisen die niedrigsten Aktivitäten auf, welche deutlich unter der Nachweisgrenze des Messsystems liegen. Der ausgelegten Quelle Nr. 6 wurden vom Schweizer Team zwei Quellen (Nr. 2 und Nr. 3) zugeordnet. Zudem identifizierte das Schweizer Team eine  $^{137}\text{Cs}$ -Quelle an einer Position, an der keine solche ausgelegt war. Diese Fehlinterpretation ist auf die hohe Grundbelastung des Messgebiets durch den Tschernobyl-Fallout zurückzuführen. Insgesamt werden durch das Schweizer Team die Quellaktivitäten überschätzt. Diese Überschätzung kann auf eine unzureichende Berücksichtigung der niedrigeren Flughöhe bei der 2007 eingeführten Suchstrategie zurückgeführt werden.



**Abbildung 3: Photonenspektrum im Umfeld der Quelle.**



**Tabelle 3: Daten der durch das Schweizer Team identifizierten Quellen.**

Nr	Breite	Länge	UTM x [m]	UTM y [m]	Nuklid	Aktivitäts-Bereich [GBq]
1	11° 33.1824'	48° 14.0480'	32689575	5345475	<sup>137</sup> Cs	0.35 - 0.9
2	11° 33.5538'	48° 14.1218'	32690030	5345627	<sup>60</sup> Co	0.1 - 0.4
3	11° 33.6157'	48° 14.1479'	32690105	5345678	<sup>60</sup> Co	0.1 - 0.4
4	11° 33.7322'	48° 14.0363'	32690256	5345476	<sup>60</sup> Co	0.1 - 0.4
5	11° 33.8832'	48° 13.9382'	32690450	5345270	<sup>131</sup> I; <sup>133</sup> Ba	1 - 2
6	11° 34.2493'	48° 14.3751'	32690875	5346125	<sup>137</sup> Cs	0.3 - 0.7
7	11° 33.8573'	48° 13.8089'	32690425	5345060	<sup>137</sup> Cs	0.6 - 1.5

**Tabelle 4: Daten der vom Veranstalter ausgelegten Quellen.**

Nr	Nr CH	Nuklid	Länge	Breite	Aktivität (22.6.2009) [MBq]
1	1	<sup>137</sup> Cs	48° 14.059'	11° 33.197'	192
2	7	<sup>137</sup> Cs	48° 13.792'	11° 33.860'	321
3	5	<sup>131</sup> I	48° 13.935'	11° 33.880'	1000
4	-	<sup>226</sup> Ra	48° 14.125'	11° 33.875'	5.46
5	-	<sup>137</sup> Cs	48° 14.242'	11° 33.942'	64
6	2+3	<sup>60</sup> Co	48° 14.134'	11° 33.579'	103
7	4	<sup>60</sup> Co	48° 14.045'	11° 33.771'	82

### 2.2.3 Messgebiet Neunburg

Als Messgebiet für den Vergleich aller drei Messsysteme wurde die Umgebung von Neunburg in der Oberpfalz durch die deutschen Kollegen ausgewählt. Abbildung 26 zeigt die vom Schweizer Team abgeflogenen Fluglinien sowie die Ortsdosisleistung im Messgebiet. Im Messgebiet liegen deutlich erhöhte Werte der

Ortsdosisleistung vor. Der Blick auf die Karte des MMGC-Verhältnisses (Abb. 27) legt nahe, dass es sich hierbei nicht um künstliche Radionuklide handelt. Sowohl die  $^{137}\text{Cs}$ -Karte (Abb. 28), die  $^{40}\text{K}$ -Karte (Abb. 29) und die  $^{238}\text{U}$ -Karte (Abb. 30) lassen keine ungewöhnlich hohen Werte erkennen. Erst die  $^{232}\text{Th}$ -Karte (Abb. 31) kann die Ursache der erhöhten Dosisleistungswerte erhellen. Deutlich ist die Übereinstimmung der Gebiete mit erhöhter Ortsdosisleistung und erhöhter  $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration zu erkennen. Die erhöhten  $^{232}\text{Th}$ -Werte wurden durch Bodenmessungen der deutschen Kollegen bestätigt. Die Messergebnisse der in-situ Gammaskopimetrie an den in Abbildung 31 mit schwarzen Sternen markierten Punkten sind in Tabelle 5 zusammengefasst. Der Vergleich mit den Messwerten der Aeroradiometrie (Tabelle 6) an den gleichen Punkten zeigt eine leichte Überschätzung der Ortsdosisleistung durch die Aeroradiometrie um 18%, während die Aktivitätskonzentrationen der auswertbaren Radionuklide durch die Aeroradiometrie zwischen 11% und 33% unterschätzt werden. Die erhöhten  $^{232}\text{Th}$ -Werte wurden in einem rund 10 km langen, ca. 2 km breiten Streifen nordöstlich von Neunburg vorm Wald festgestellt. Während die normalen Werte um 30-50 Bq/kg liegen, kommen im Streifen erhöhte Werte bis über 150 Bq/kg vor. Deshalb wurde die geologische Beschaffenheit des Untergrundes im fraglichen Gebiet abgeklärt. In der Geologie-Bibliothek der ETH Zürich wurde nach geeigneten geologischen Karten gesucht. Als Resultat wurde die Geologische Karte von Bayern, Blatt 6640 „Neunburg vorm Wald“ 1:25'000 (München, 1959) ausgeliehen und gescannt (Abb. 32). Gemäss der Karte bildet „Grobkörniger Granit“ den unmittelbaren Untergrund im Anomalie-Gebiet. Gemäss Literatur (Rohrmüller et al. 2000) gehört dieser Gesteinstyp zum „Ostbayrischen Moldanubikum“. Die Gesteine sind im Zuge der variszischen Gebirgsbildung vor rund 300 Millionen Jahren entstanden. Erhöhte Thorium-Gehalte sind in variszischen Graniten häufig, somit ist der Ursprung der Thorium-Anomalie fürs erste geklärt. Allerdings kommen „Grobkörnige Granite“ gemäss der geologischen Karte auch an etlichen weiteren Lokalitäten um Neunburg vorm Wald vor, ohne dass diese erhöhte Thorium-Werte aufweisen würden. Erst in der detaillierteren Darstellung nach Wiegand (1993) im unteren Abschnitt von Abbildung 32 wird ersichtlich, dass die erhöhten Thorium-Werte der Subspezies Thansteiner Granit zuzuordnen sind.

**Tabelle 5: In-situ gammaspektrometrie Messwerte der Ortsdosisleistung (ODL) und Aktivitätskonzentrationen bezogen auf das Feuchtgewicht an Messpunkten im Messgebiet Neunburg.**

Messpunkt	Länge [°]	Breite [°]	ODL [nSv/h]	Aktivitätskonzentration			
				Bi-214 [Bq/kg]	Th-232 [Bq/kg]	K-40 [Bq/kg]	Cs-137 [kBq/m <sup>2</sup> ]
1	12.460167	49.377617	242	63	220	930	4.6
2	12.441067	49.376133	311	65	291	1120	1.8
3	12.445583	49.401317	106	46	46	860	2.3
4	12.377600	49.365967	167	57	78	1080	2.1
5	12.419967	49.355183	144	40	60	970	3.7

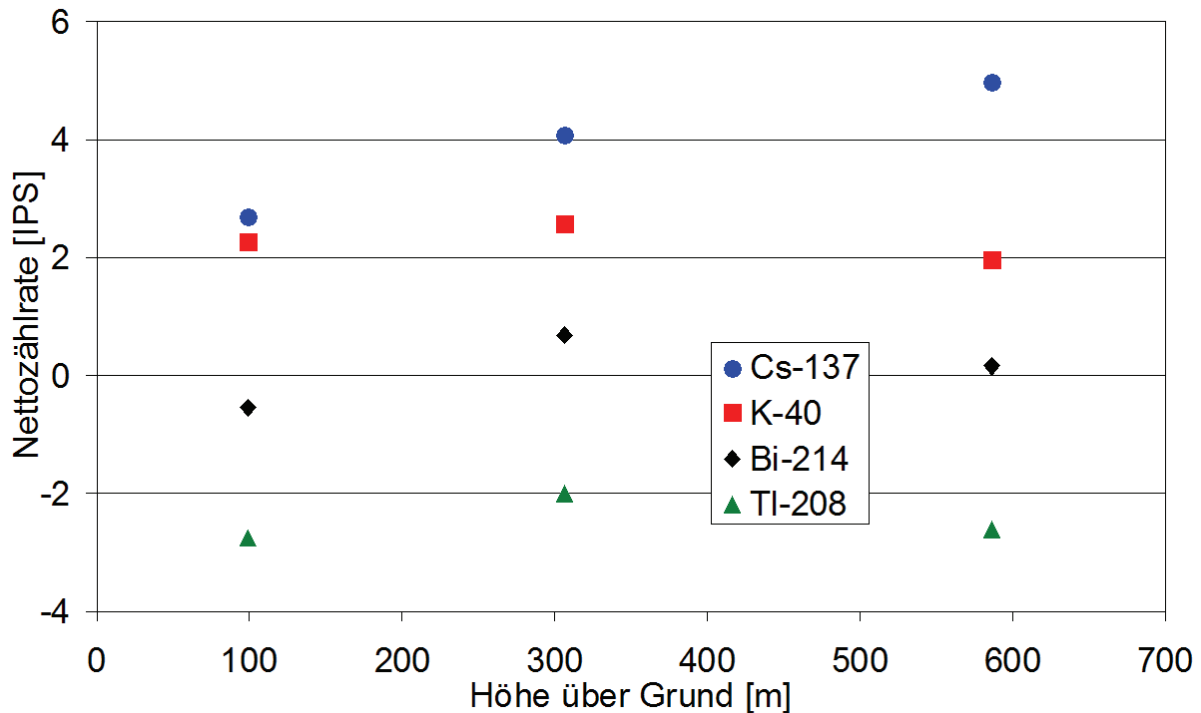
**Tabelle 6: Aeroradiometrische Messwerte der Ortsdosisleistung (ODL) und Aktivitätskonzentrationen bezogen auf das Feuchtgewicht an Messpunkten im Messgebiet Neunburg.**

Messpunkt	Länge [°]	Breite [°]	ODL [nSv/h]	Aktivitätskonzentration		
				Bi-214 [Bq/kg]	Th-232 [Bq/kg]	K-40 [Bq/kg]
1	12.460167	49.377617	342	40	178	844
2	12.441067	49.376133	312	52	161	857
3	12.445583	49.401317	131	50	31	544
4	12.377600	49.365967	177	45	55	770
5	12.419967	49.355183	180	55	46	764

#### 2.2.4 Messgebiet Chiemsee

Der erste Teil der Messflüge über dem Chiemsee hatte die Aufgabe, das Messsignal in verschiedenen Höhen über der Wasseroberfläche zu analysieren. Wegen der durch die Wassersäule abgeschirmten terrestrischen Strahlung können auf diese Weise Informationen über den Einfluss von Detektor und Helikopter sowie der kosmischen Strahlung auf das Messsignal näher untersucht werden. Wegen der widrigen Wetterverhältnisse konnten nicht alle geplanten Flughöhen angefliegen werden. Abbildung 33 zeigt die Lage der Fluglinien. Die in Abbildung 4 dargestellten Nettozählraten nach Berücksichtigung der kosmischen Strahlung und des Untergrunds zeigen offene Fragen bezüglich der aus einem Steigflug über dem Ärmelkanal im Jahr 2000 bestimmten Kor-

rekturfaktoren und der Radonkompensation auf. Die Suche nach Antworten auf diese offenen Fragen wird in die zukünftige Planung des Messprogramms einfließen.



**Abbildung 4: Nettozählrate nach Berücksichtigung der kosmischen Strahlung und des Untergrunds in drei Flughöhen über dem Chiemsee.**

Die zweite Aufgabe im Messgebiet Chiemsee untersuchte das Messsignal über der im Chiemsee gelegenen Krautinsel (Abb. 34). Bodenmessungen der deutschen Kollegen liessen ein erhöhtes Signal im Caesium-Fenster erwarten. Während die Krautinsel in der Karte der terrestrischen Dosisleistung klar erkennbar ist (Abb. 35), konnte eine signifikante Erhöhung in der  $^{137}\text{Cs}$ -Karte nicht beobachtet werden (Abb. 36).

### 3 SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wie schon in der trinationalen Übung 2007 konnte das Schweizer Team wertvolle Erkenntnisse durch den Erfahrungsaustausch mit den deutschen und französischen Kollegen gewinnen. Trotz widriger Wetterverhältnisse beleuchtete die geschickte Wahl der Übungsaufgaben durch die Kollegen des deutschen Bundesamtes für Strahlenschutz wichtige Gesichtspunkte der aeroradiometrischen Messung. Eine praktische Übung zeigte die Schwierigkeit auf, mobile Quellen mit Hilfe der Aeroradiometrie aufzuspüren. Messungen in verschiedenen Höhen über dem Chiemsee lieferten offene Fragen bezüglich der Untergrundsbestimmung und Radonkompensation für das Schweizer Messsystem.

Die aufgrund der Ergebnisse der tri-nationalen Vergleichsmessung im Jahre 2007 überarbeitete Suchstrategie bewährte sich bei der diesjährigen Übung hervorragend.

#### 4 LITERATUR

Geologische Karte von Bayern, Blatt 6640 „Neunburg vorm Wald“ 1:25'000, München, 1959.

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.

Wiegand, J. Geochemische und radiometrische Untersuchungen an den Graniten des Neunburg-Thansteiner Massivs (Oberpfalz), Bonner Geowissenschaftliche Schriften 10, Holos-Verlag, 1993.

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.

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.

Rohrmüller, J., Gebauer, D., Mielke, H.: Die Altersstellung des ostbayerischen Grundgebirges. Geologica Bavaria 105, 73 - 84, 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.

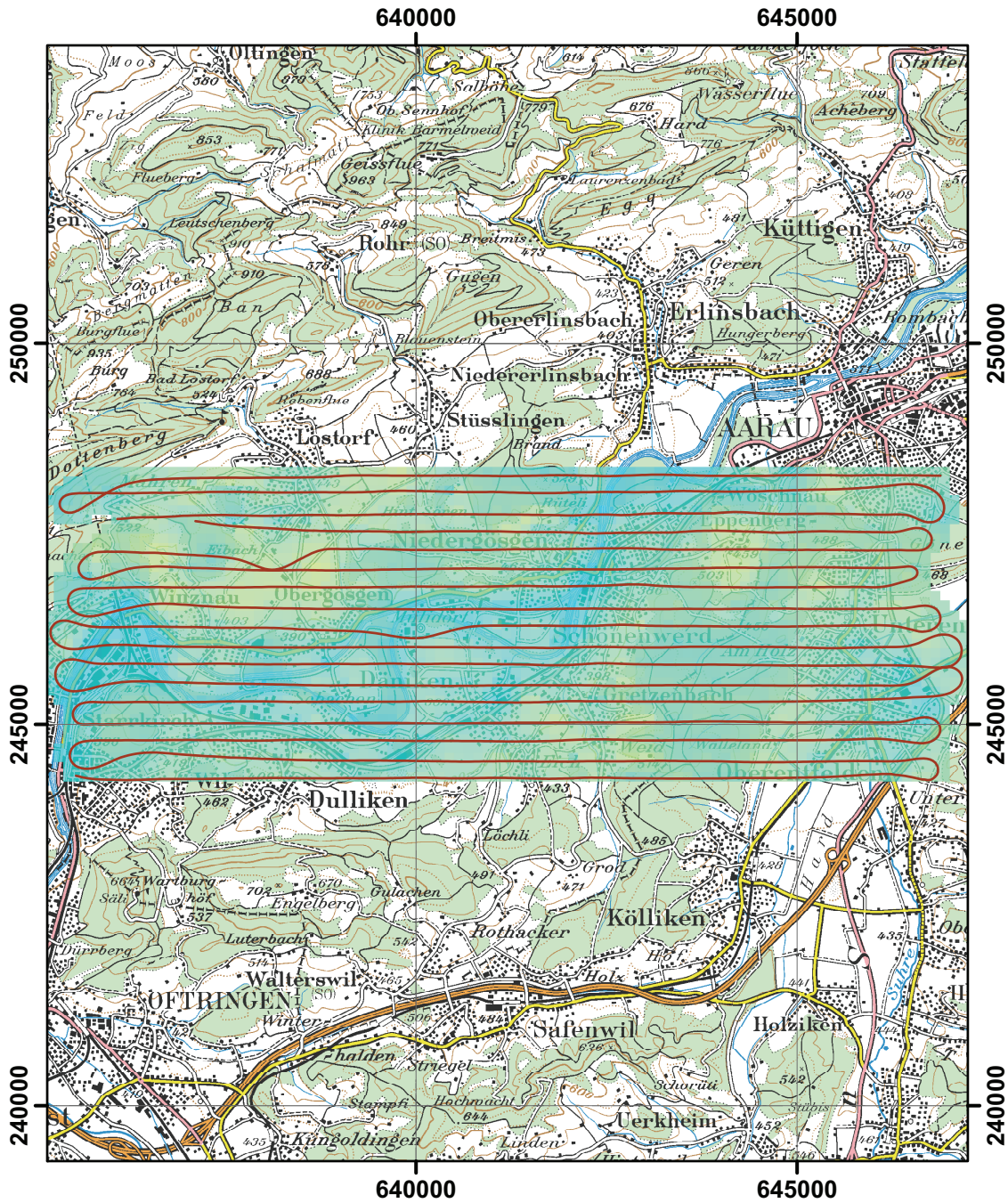
Bucher, B., Butterweck, G., Rybach, L., Schwarz, G.: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM04. PSI-Bericht 05-10, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2005.

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.

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 Gamaspectrometric Systems of Germany, France and Switzerland in the Framework of the Swiss Exercise ARM07. PSI-Bericht 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 09-02, ISSN 1019-0643, Paul Scherrer Institut, Villigen, Schweiz, 2009.



— Flugweg

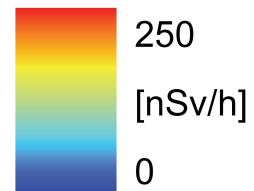


Abbildung 5: Fluglinien und Ortsdosisleistung in der Umgebung KKG.  
PK100©2003 swisstopo.

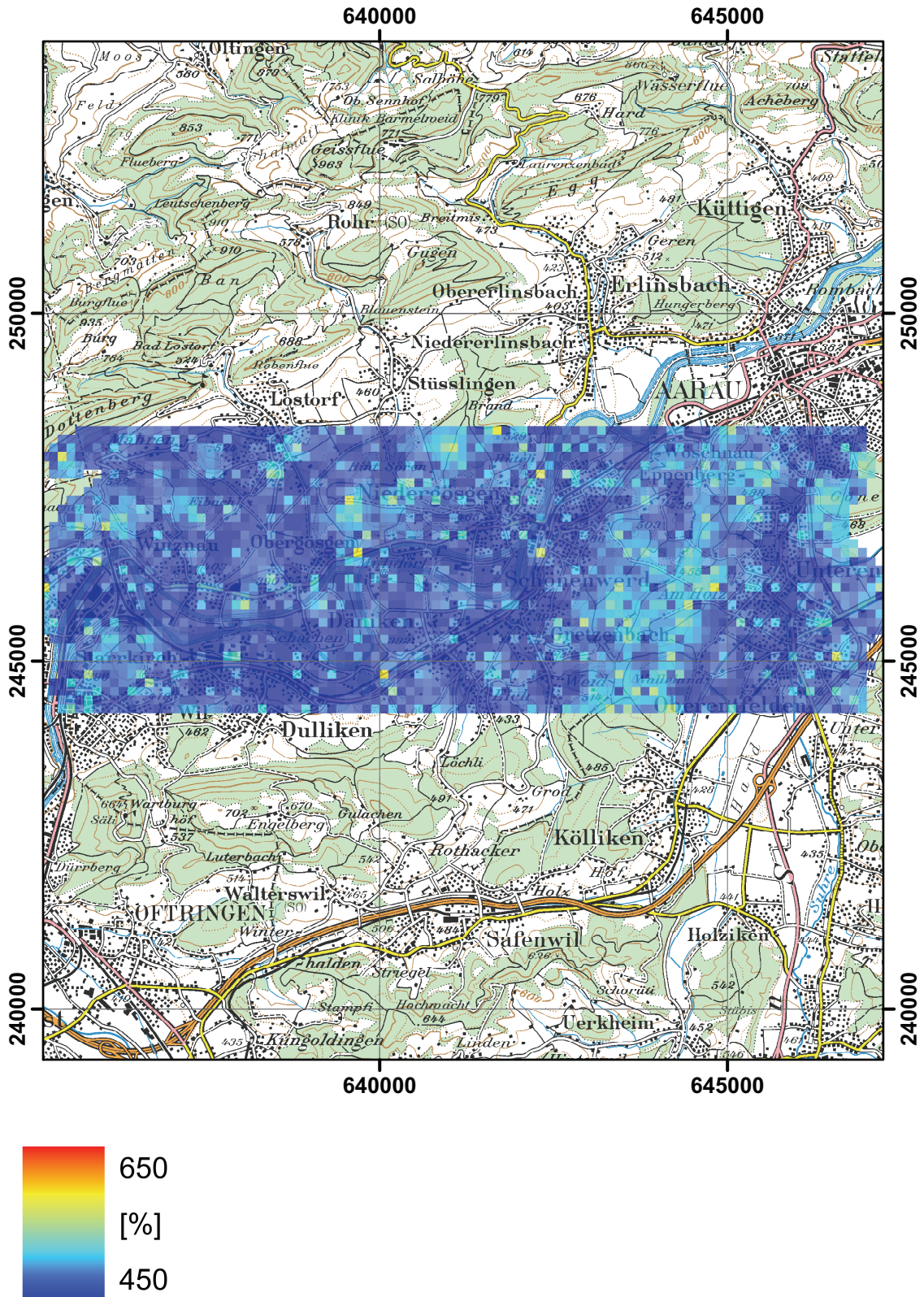


Abbildung 6: MMGC-Ratio in der Umgebung KKG. PK100©2003 swisstopo.



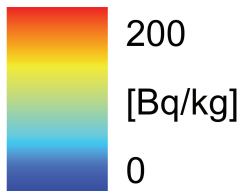
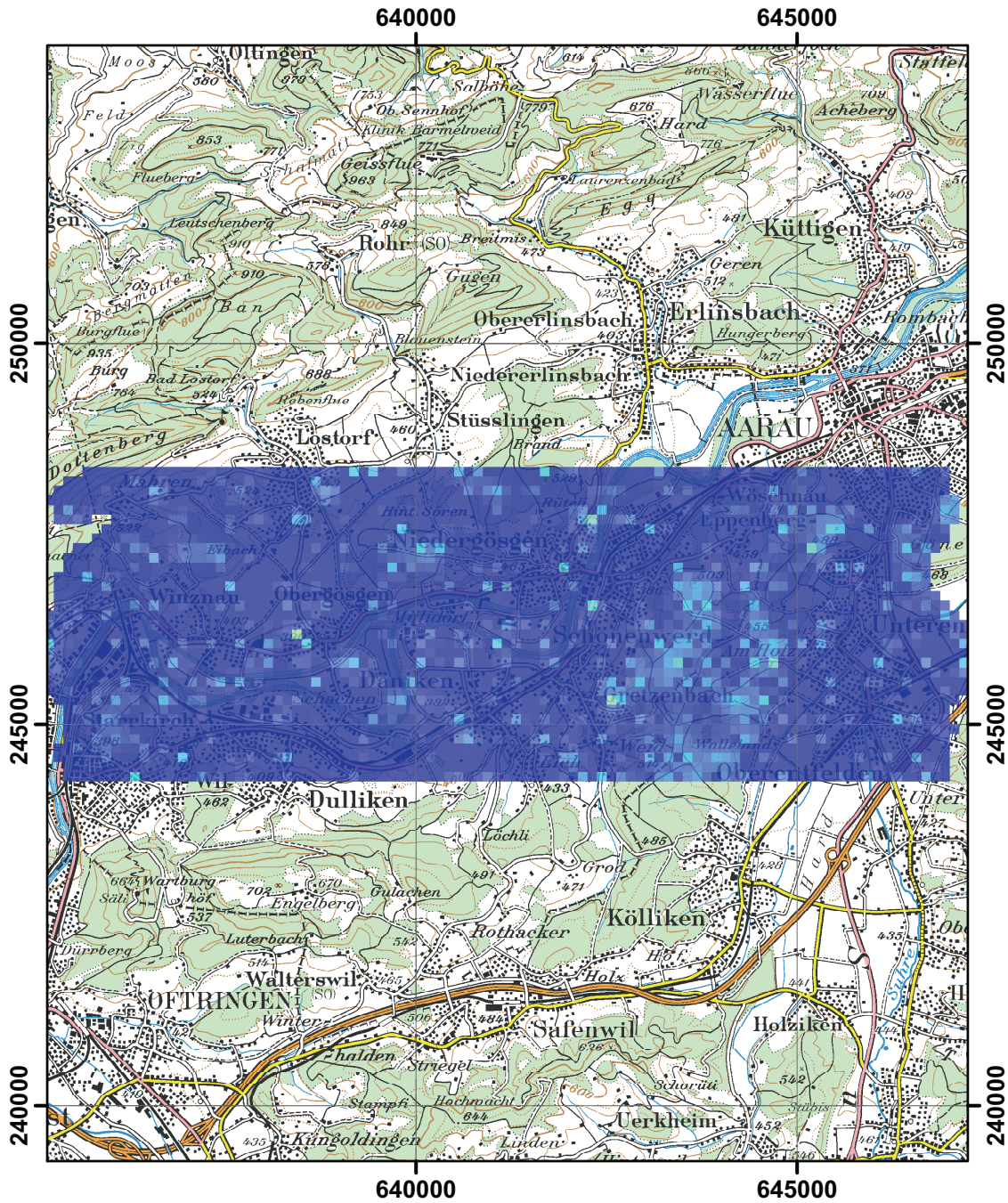


Abbildung 7:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG.  
PK100©2003 swisstopo.

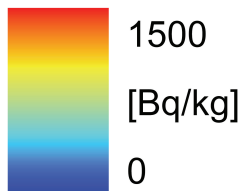
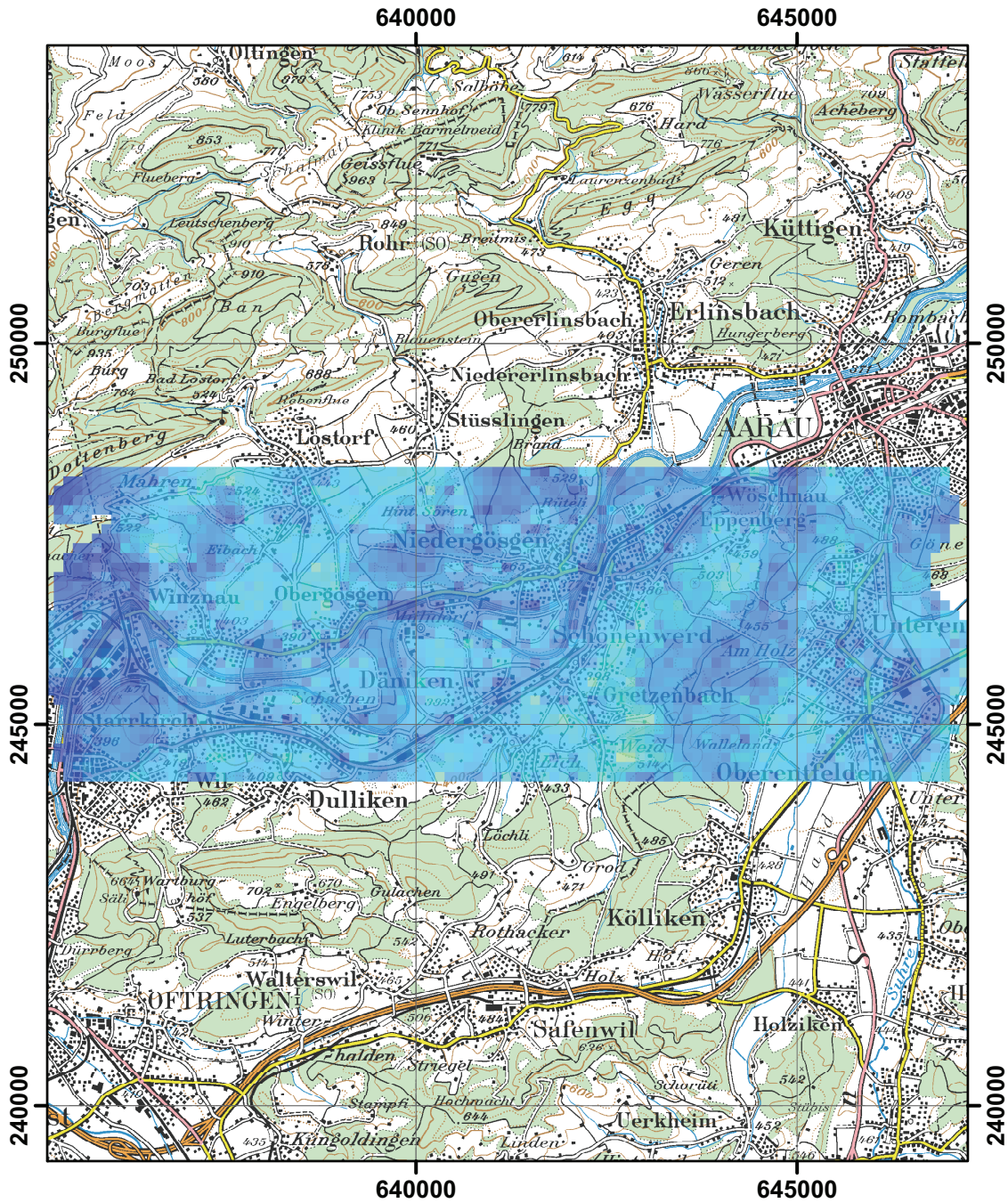


Abbildung 8:  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG.  
PK100©2003 swisstopo.

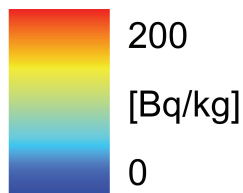
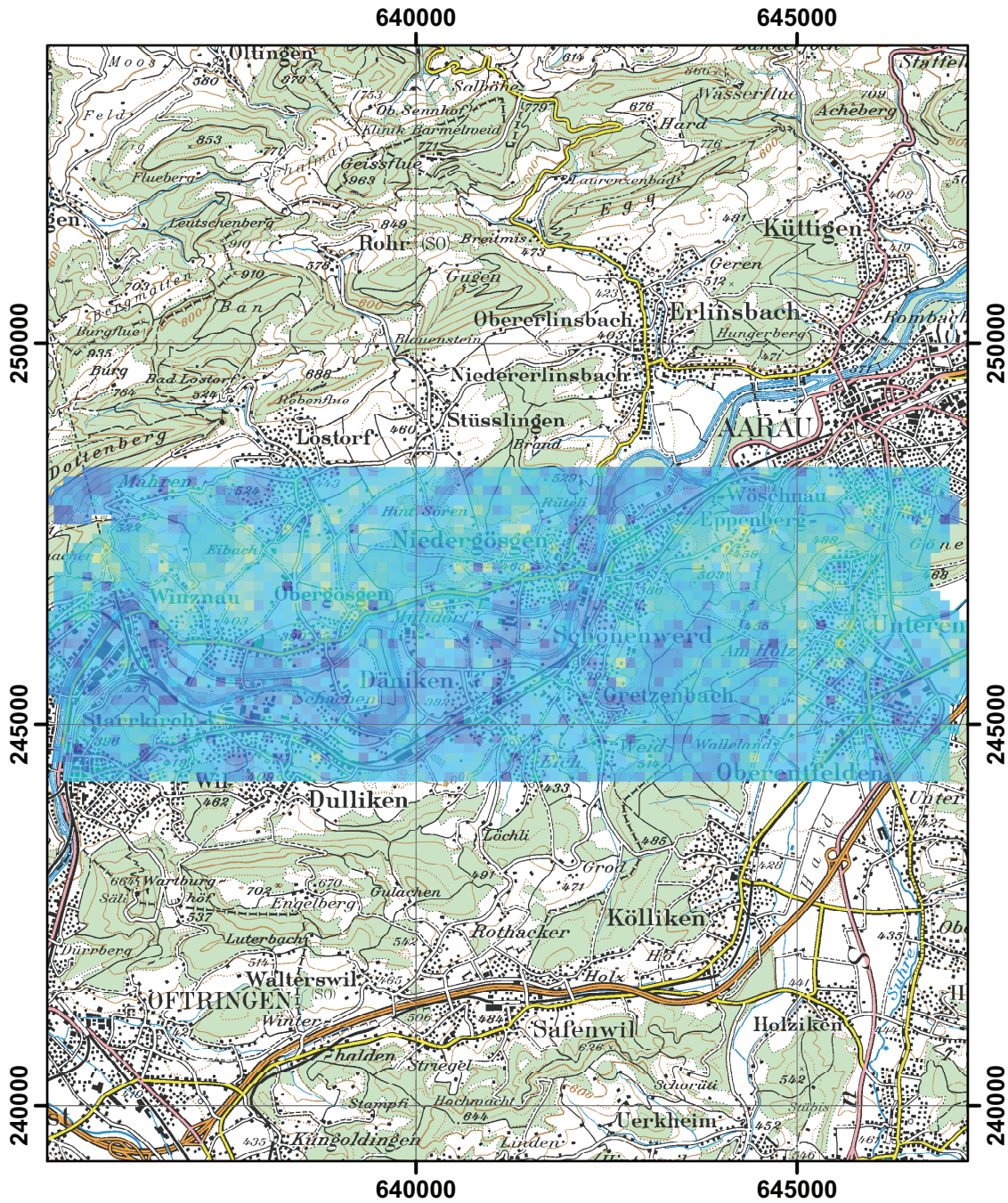


Abbildung 9:  $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG.  
PK100©2003 swisstopo.

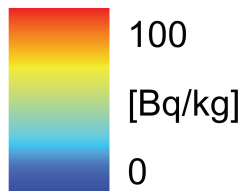
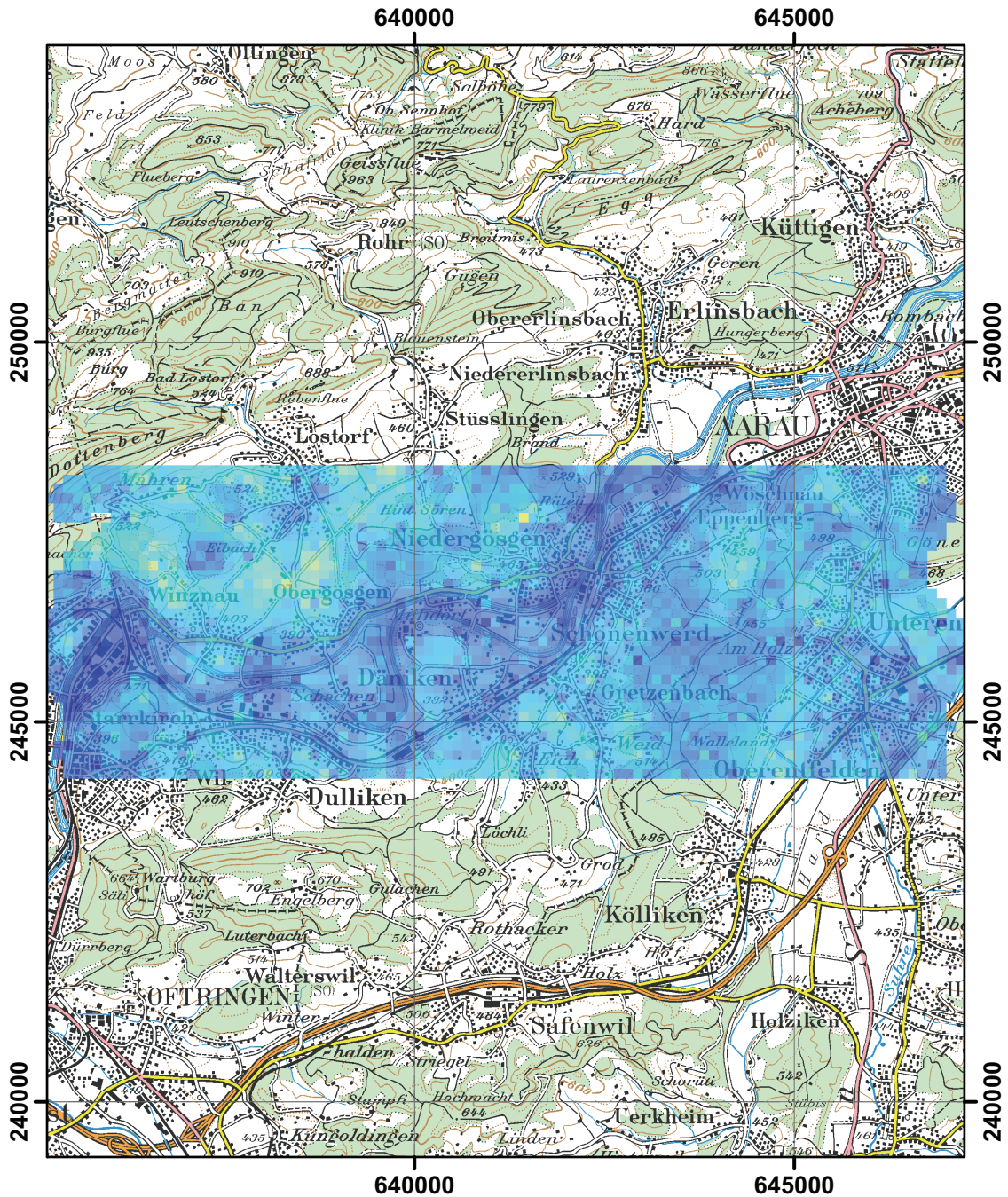
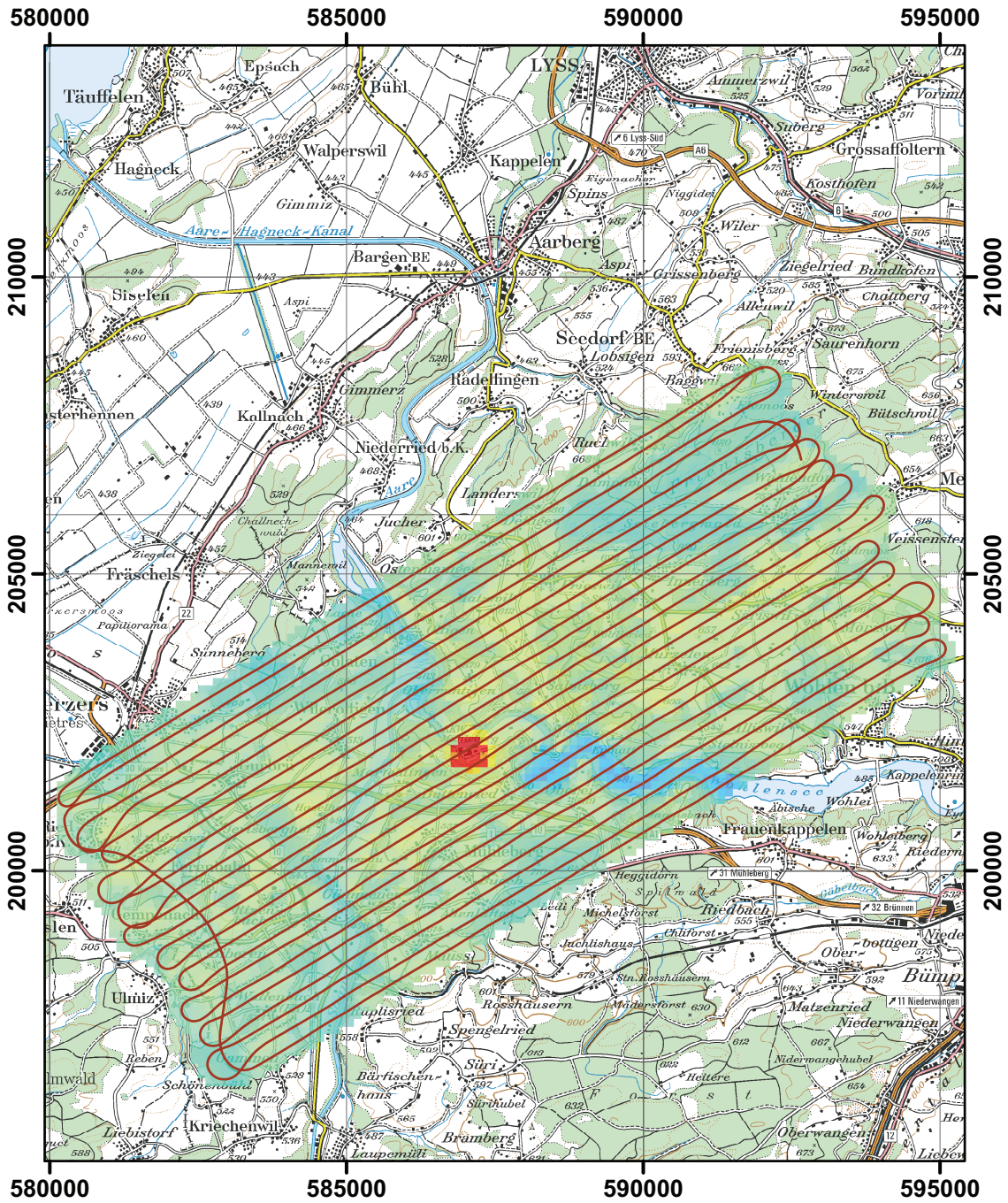


Abbildung 10:  $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKG.  
PK100©2003 swisstopo.



— Flugweg

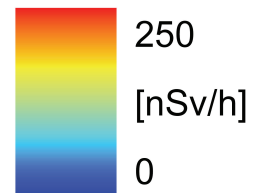


Abbildung 11: Fluglinien und Ortsdosisleistung in der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.

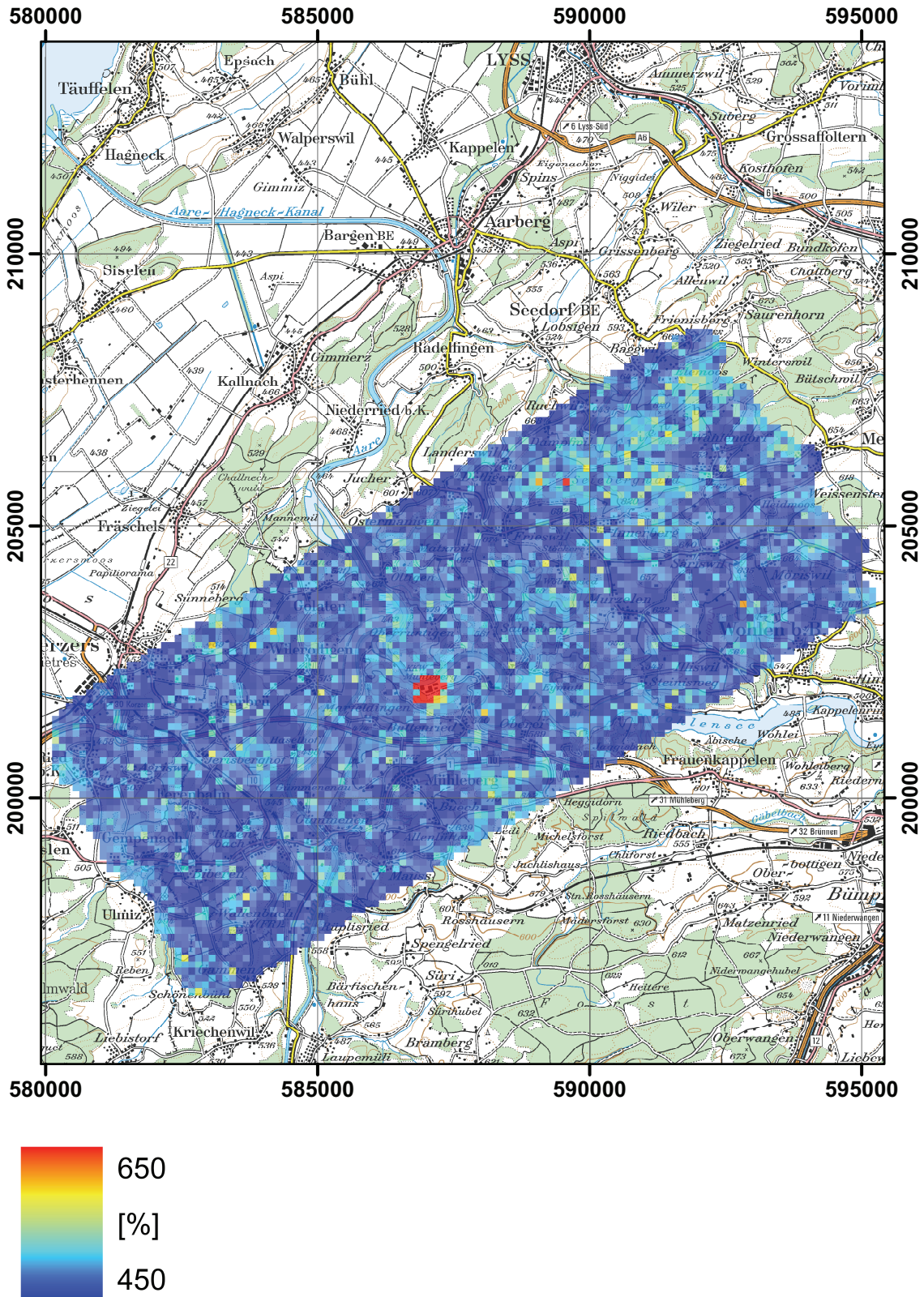


Abbildung 12: MMGC-Ratio in der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.

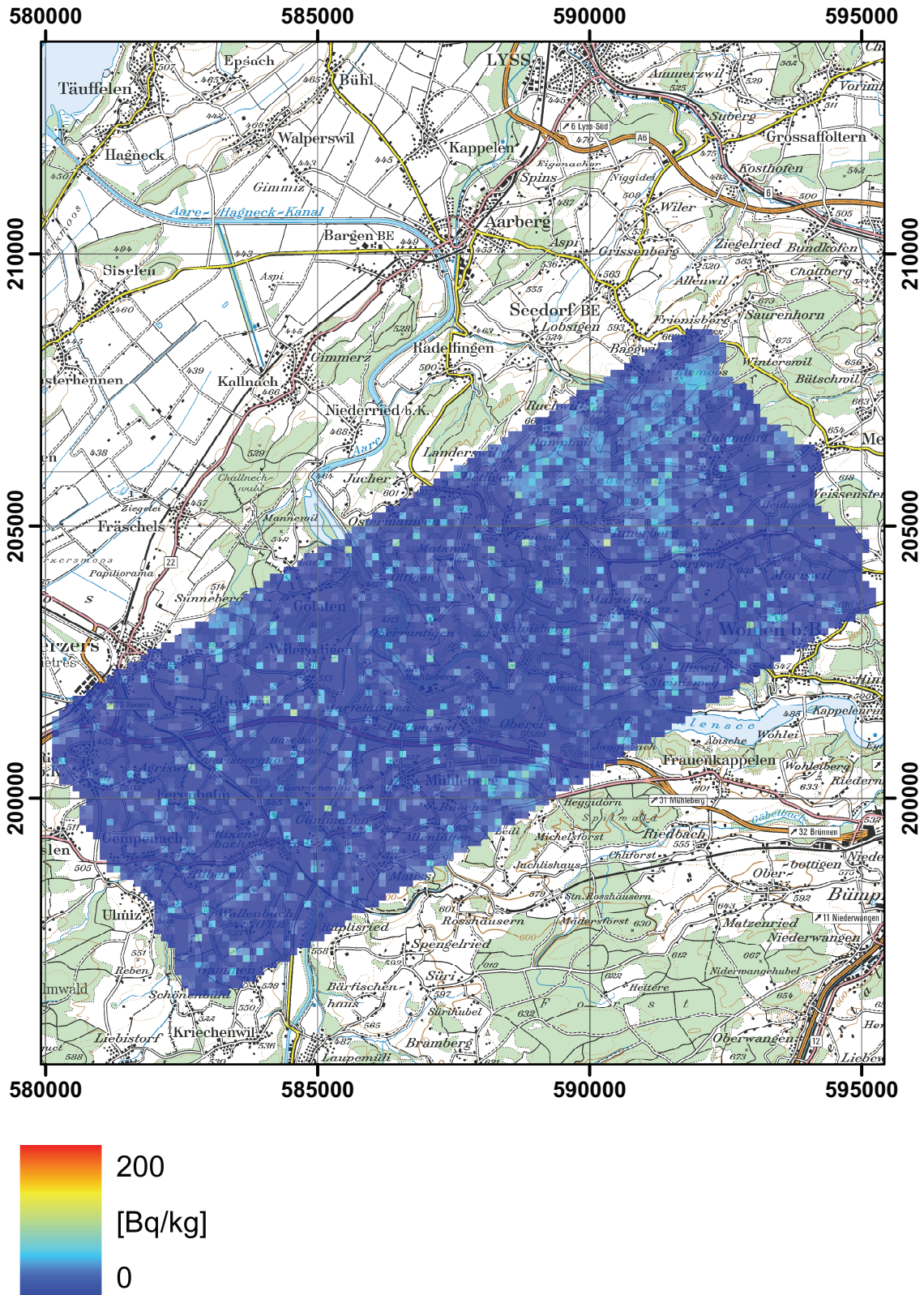


Abbildung 13:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.

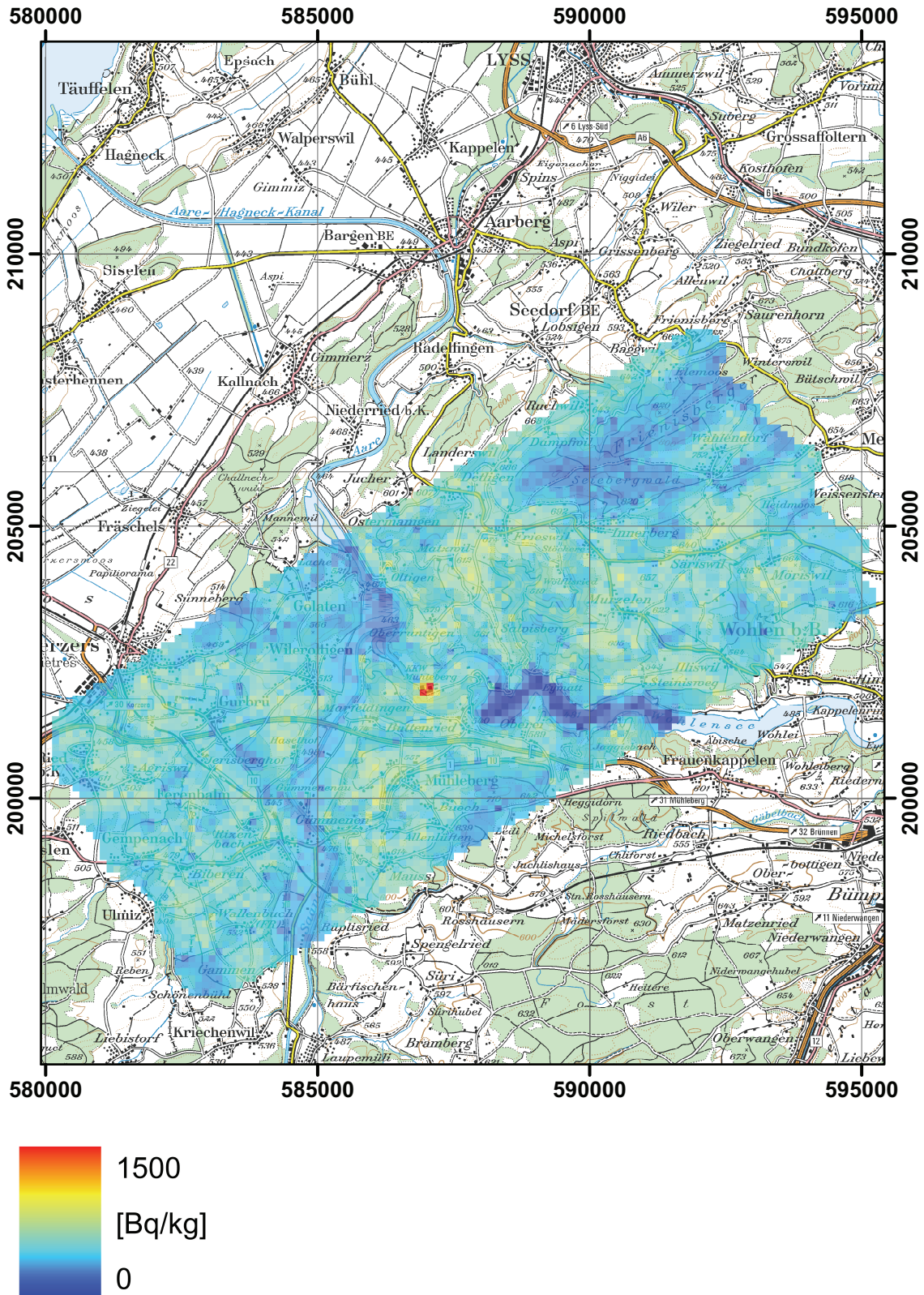


Abbildung 14:  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.



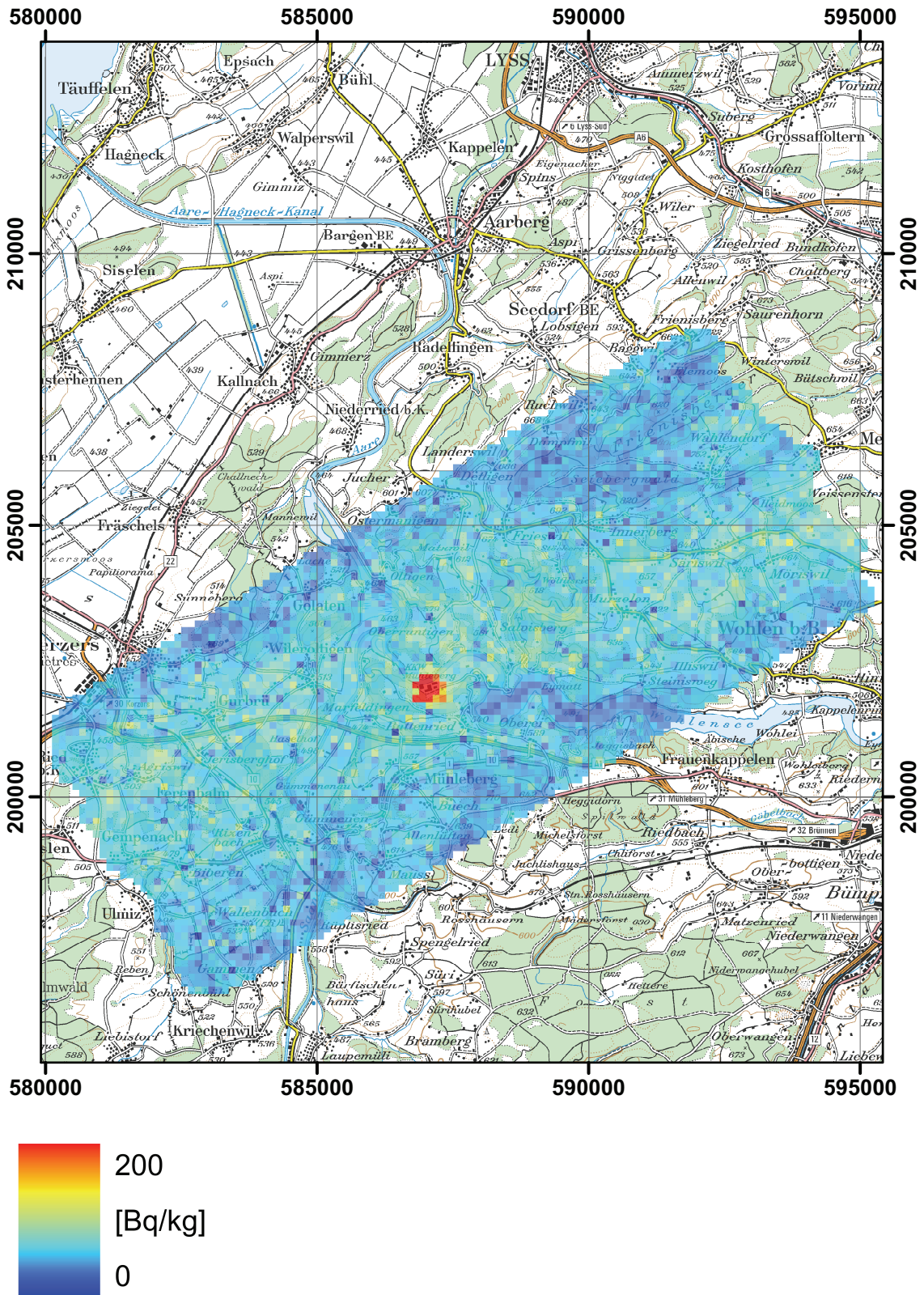


Abbildung 15:  $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.

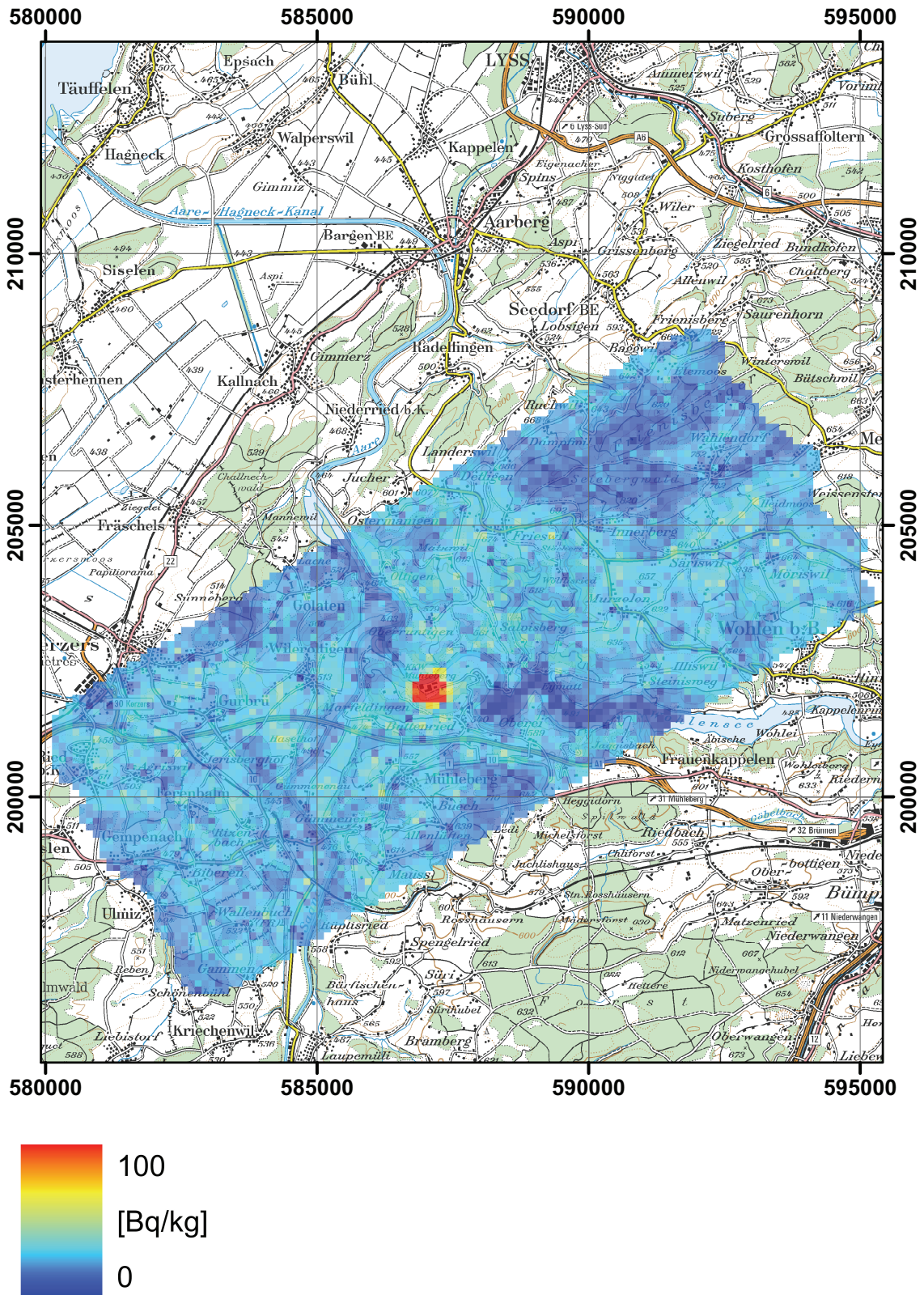
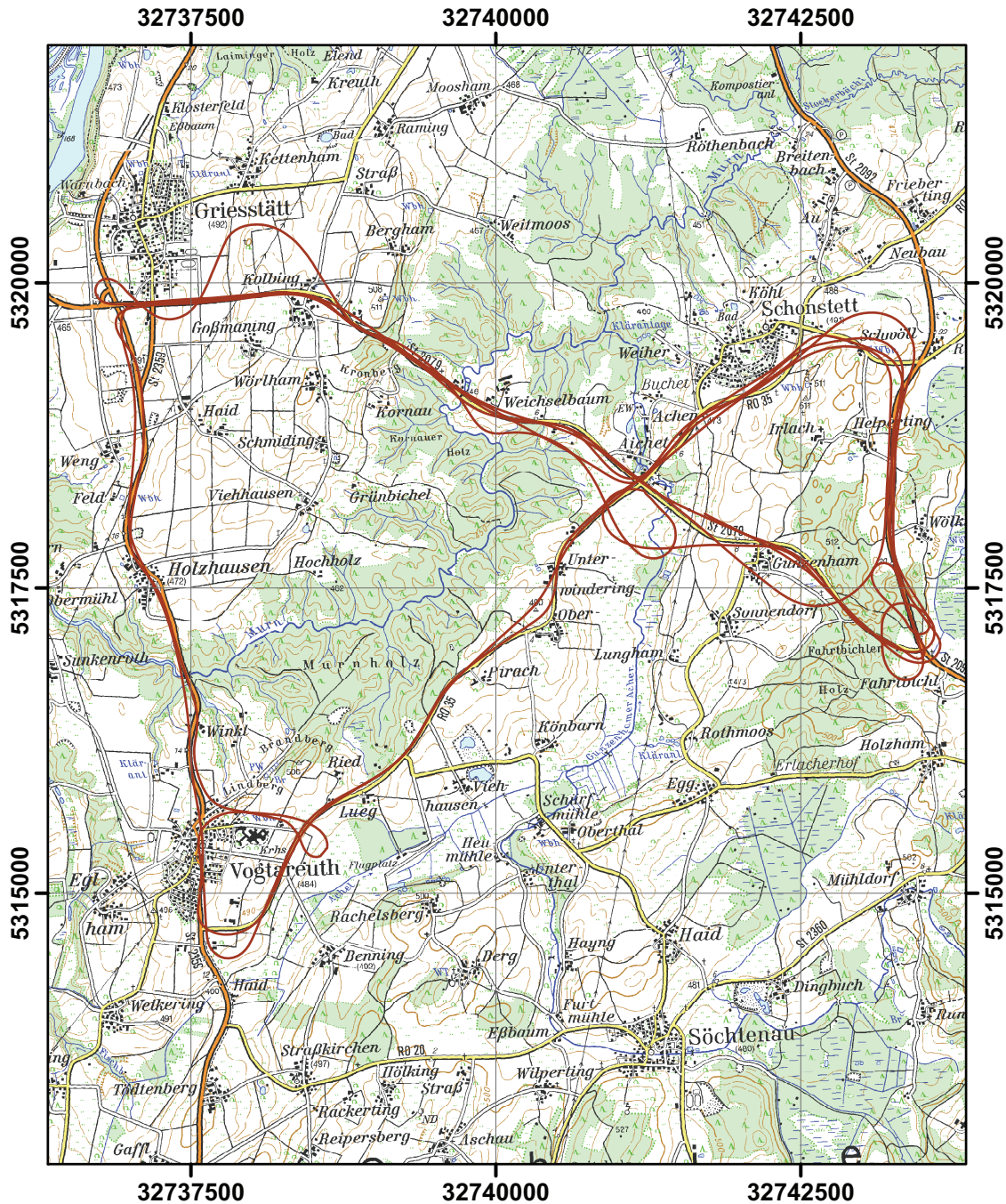


Abbildung 16:  $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration in der Umgebung KKM.  
PK100©2008 swisstopo.



— Flugweg

Abbildung 17: Fluglinien der Suche nach mobilen Quellen.  
 DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
 ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

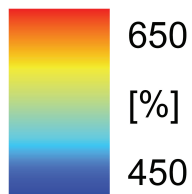
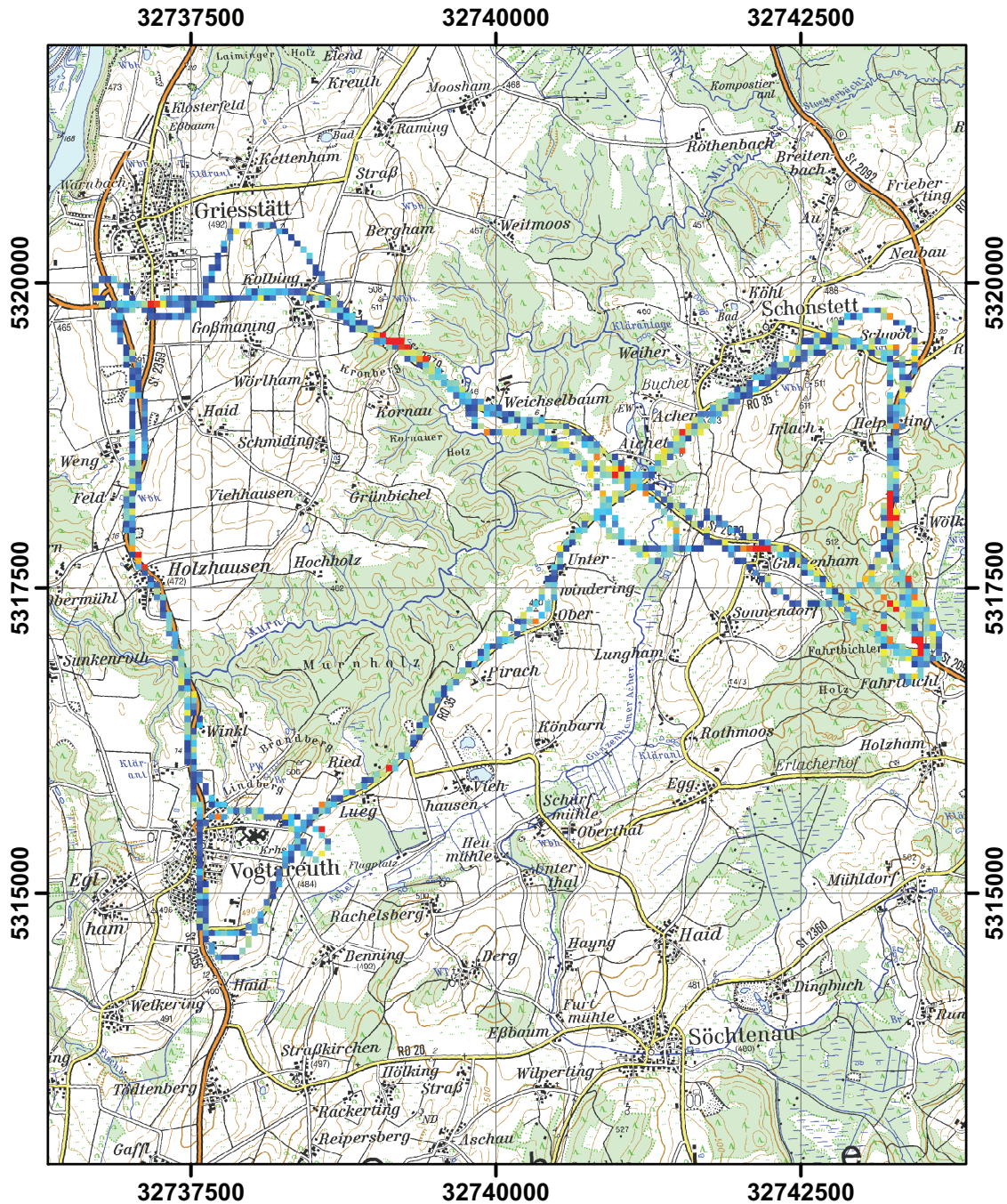
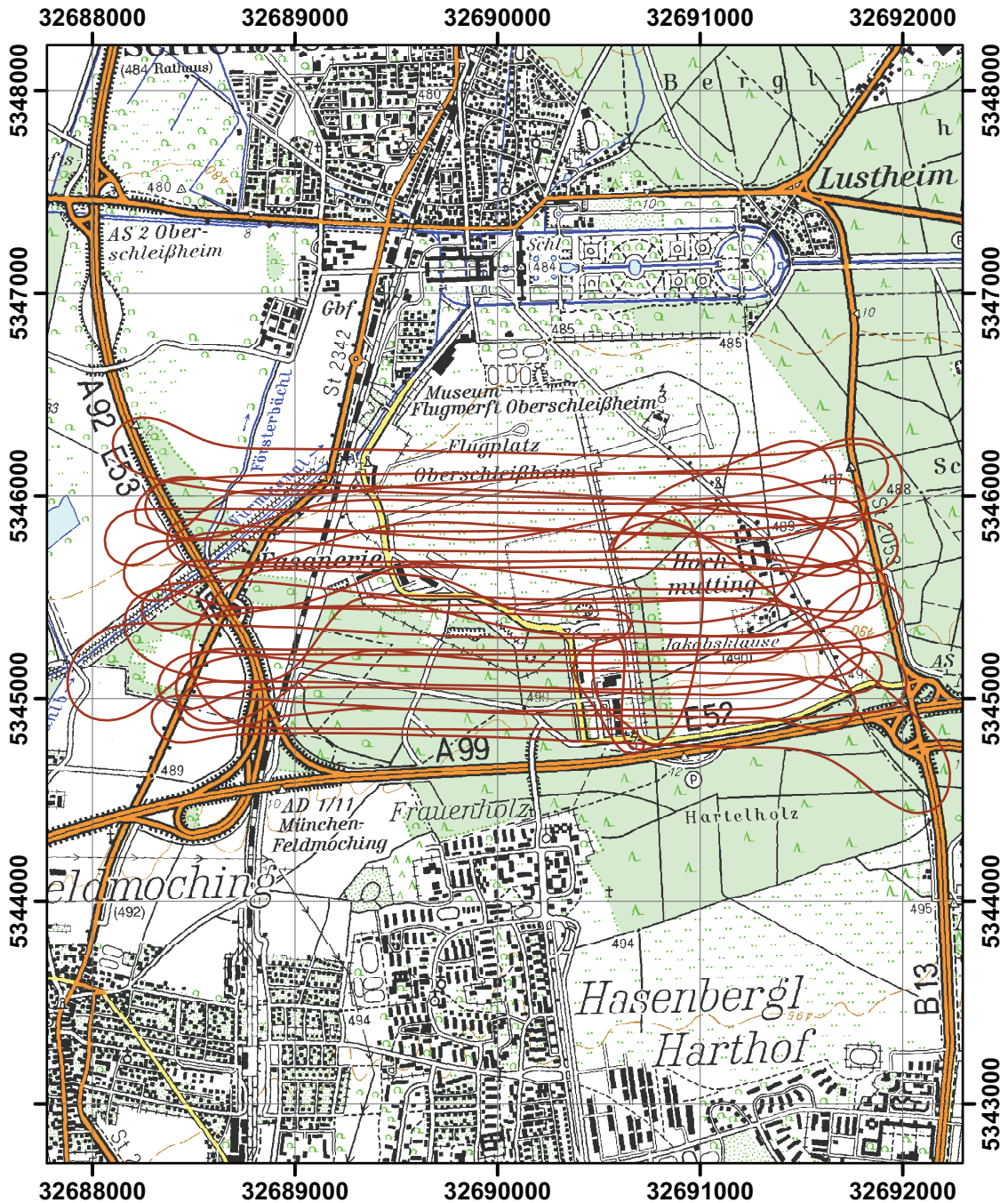


Abbildung 18: MMGC-Ratio der Suche nach mobilen Quellen.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
(www.bkg.bund.de).



— Flugweg

Abbildung 19: Fluglinien der Quellensuche.  
 DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
 (www.bkg.bund.de).

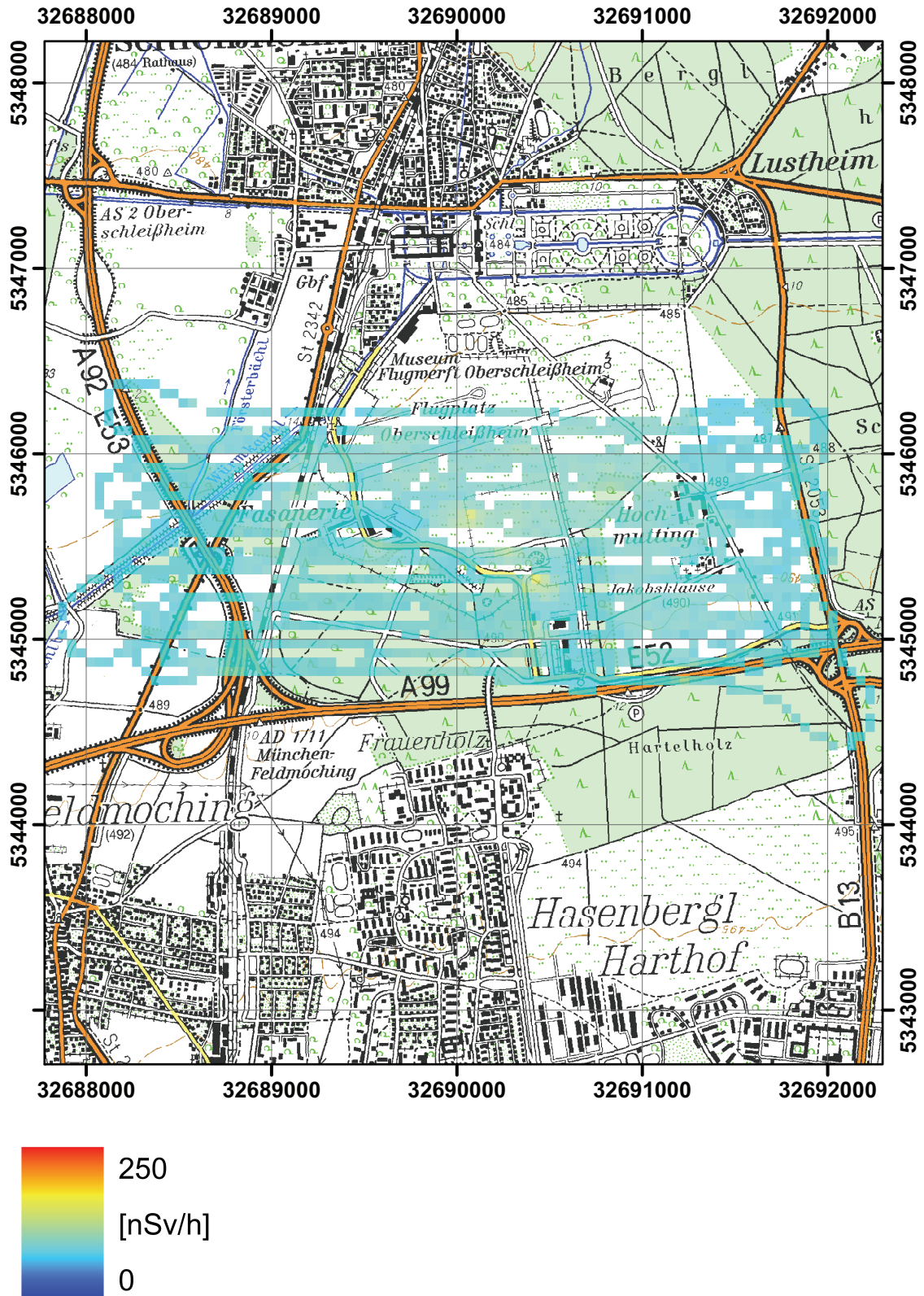


Abbildung 20: Ortsdosisleistung der Quellensuche.  
 DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
 ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

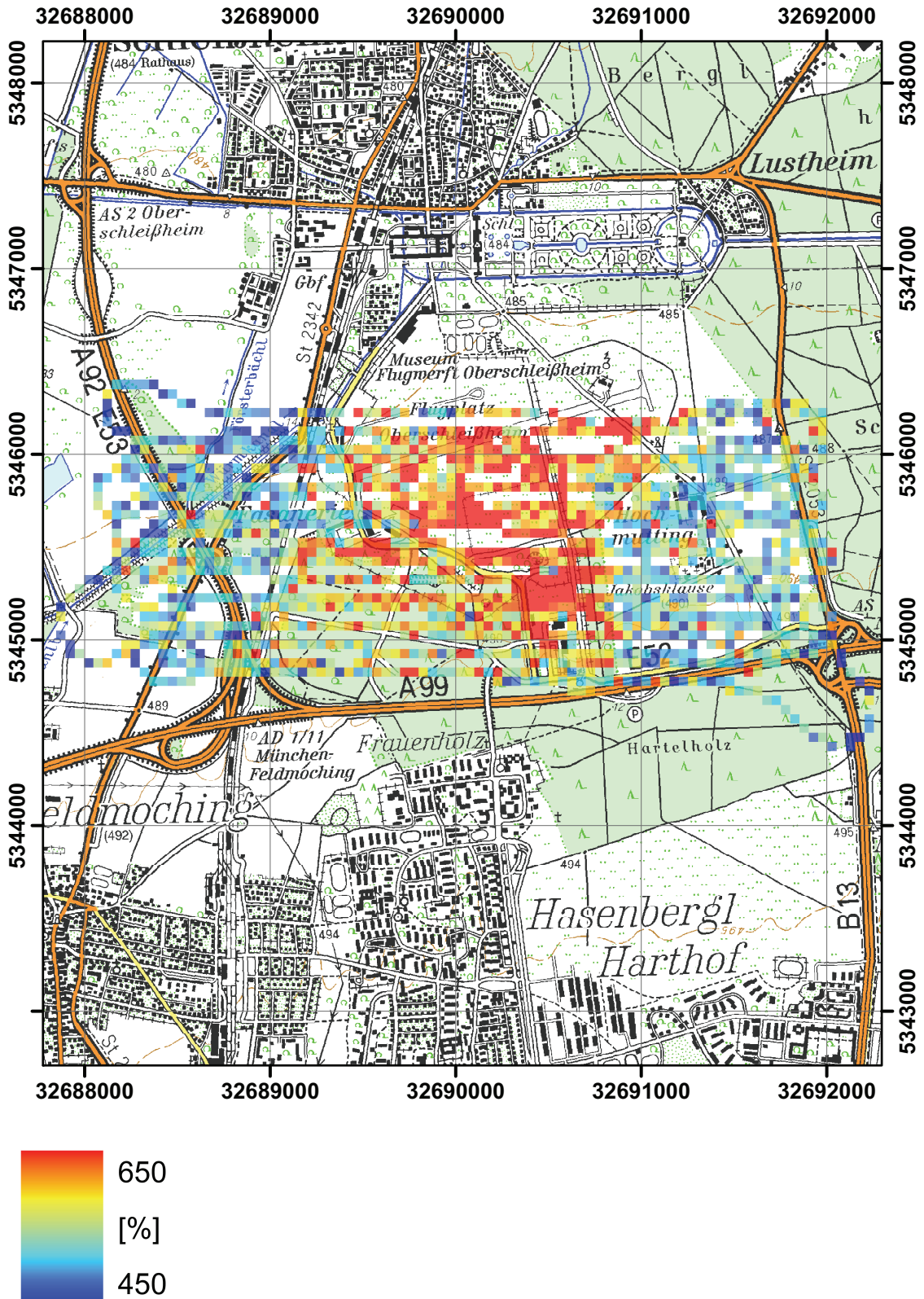


Abbildung 21: MMGC-Ratio der Quellensuche.  
 DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
 (www.bkg.bund.de).

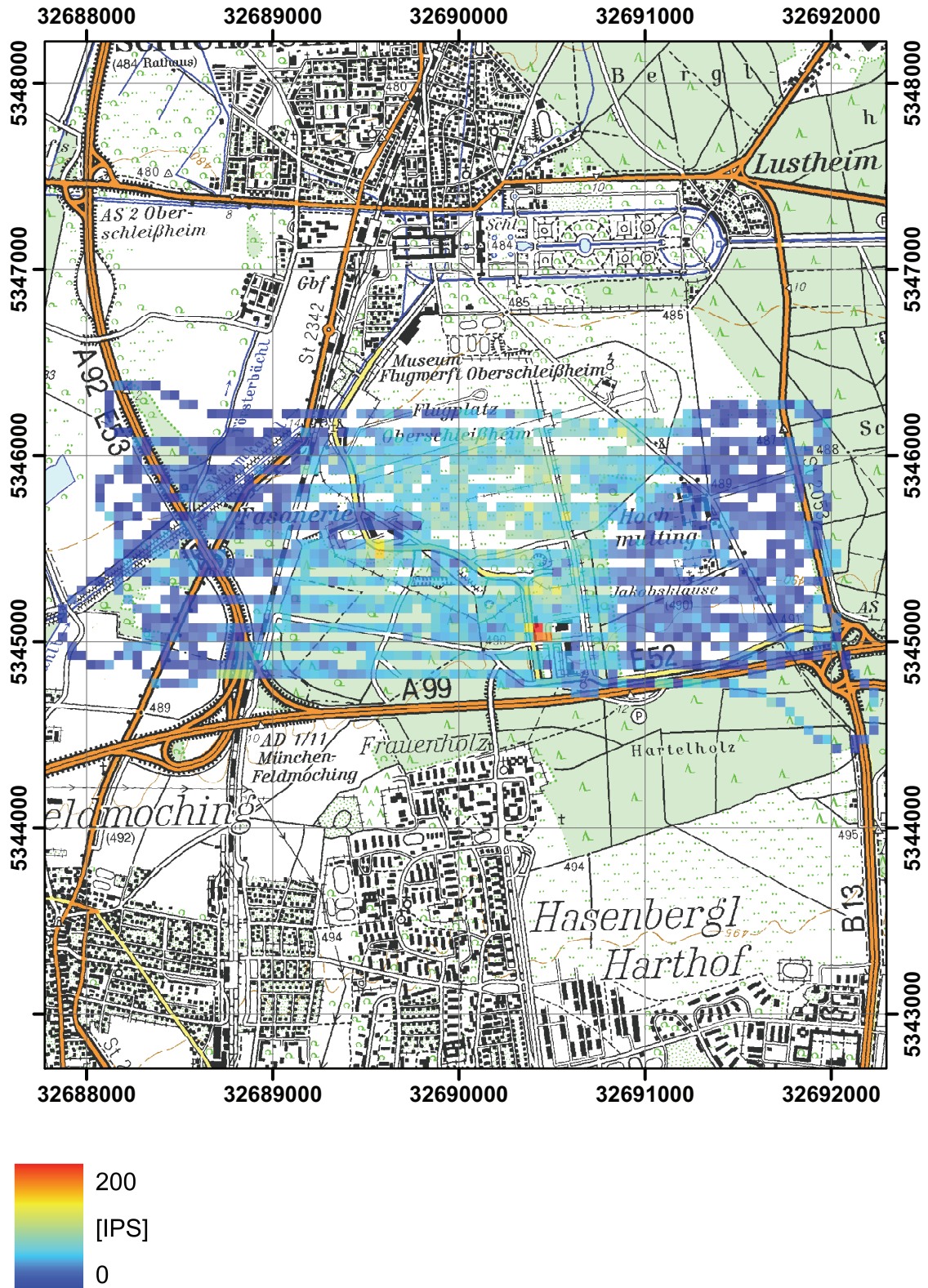


Abbildung 22:  $^{137}\text{Cs}$ -Nettozählrate der Quellensuche.  
 DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
 (www.bkg.bund.de).



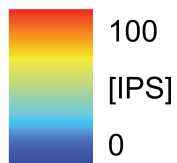
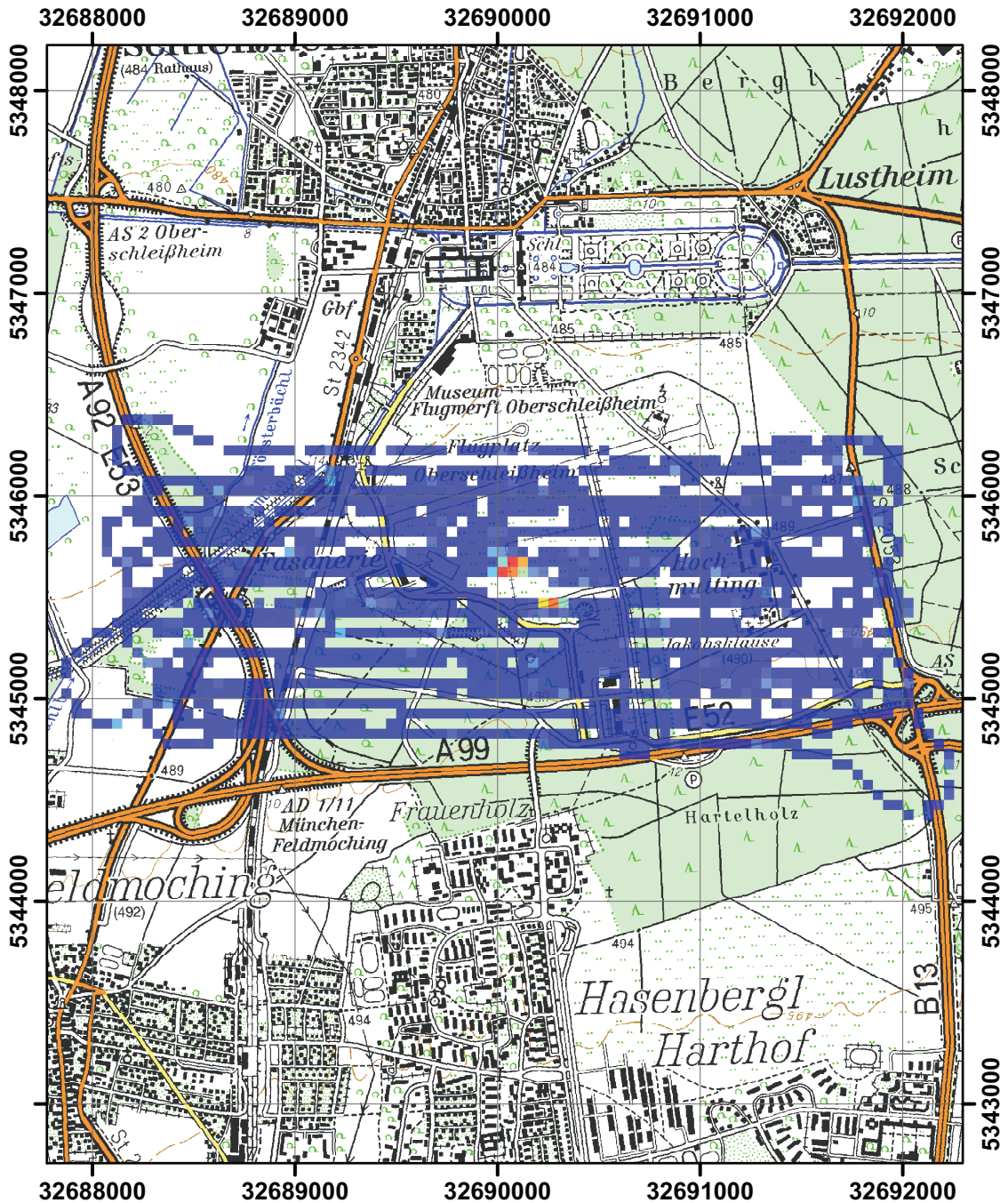


Abbildung 23:  $^{60}\text{Co}$ -Nettozählrate der Quellensuche.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

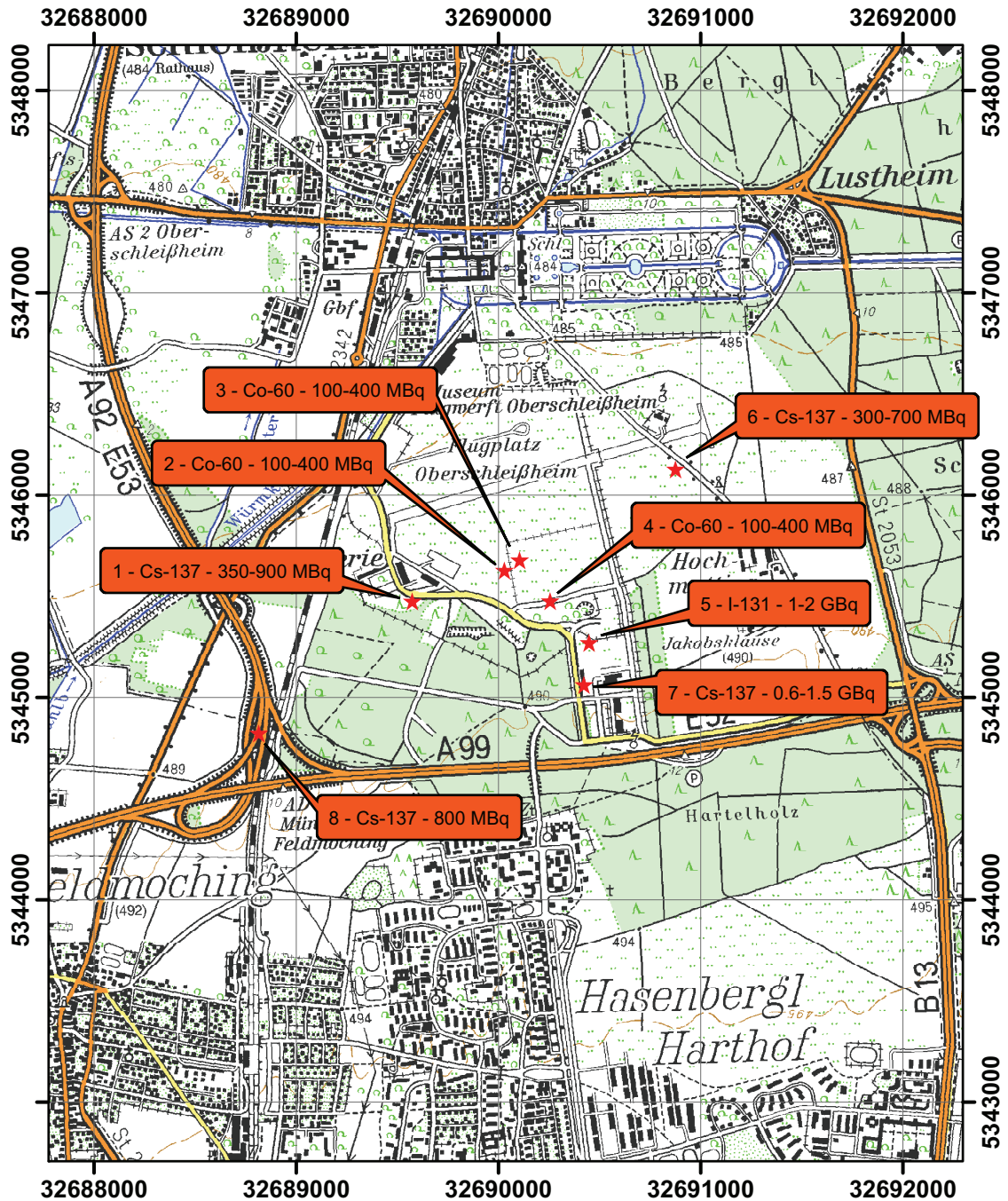


Abbildung 24: Durch das Schweizer ARM-Team gemeldete Positionen, Radionuklide und abgeschätzte Aktivitäten der Quellen.

DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

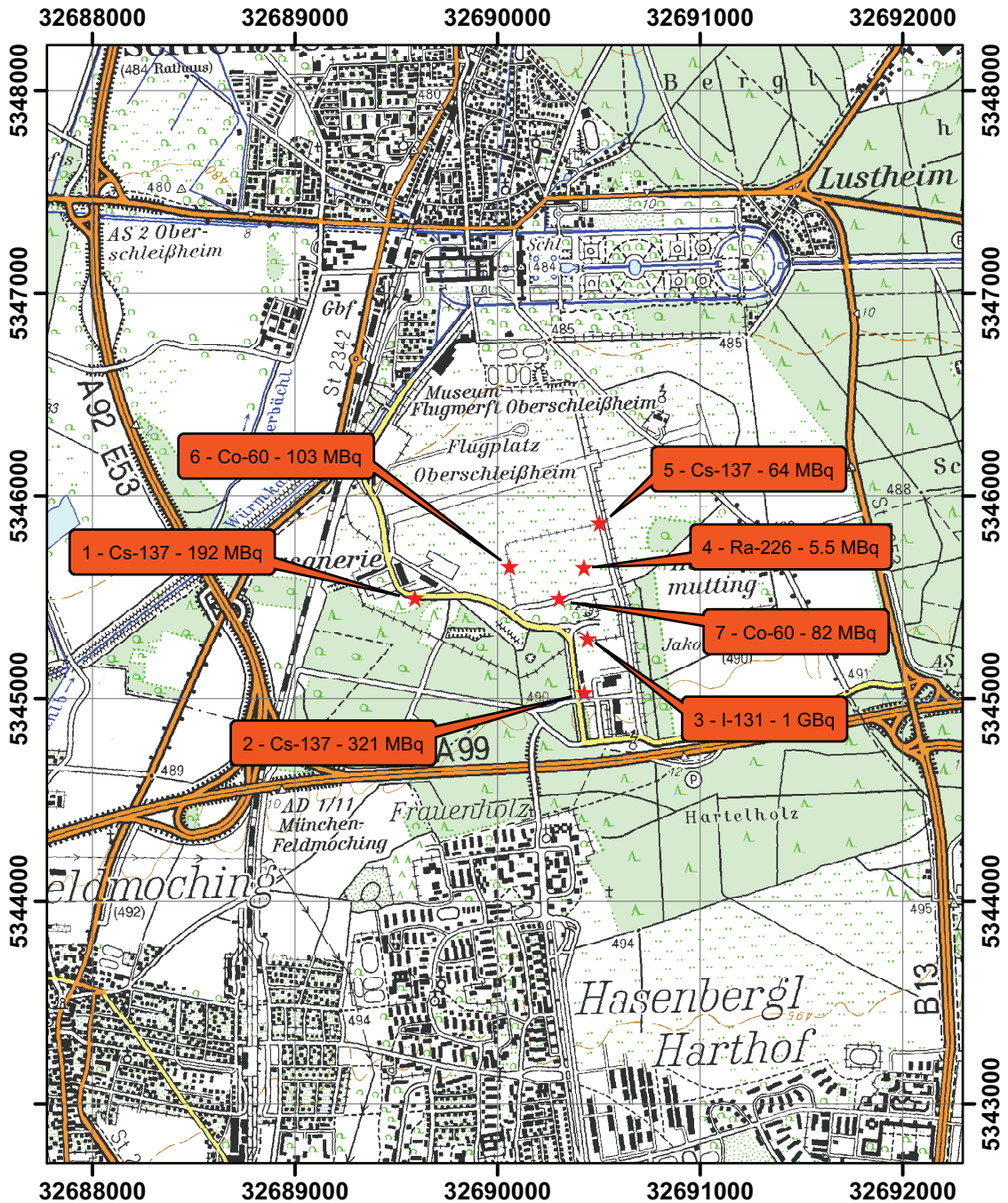
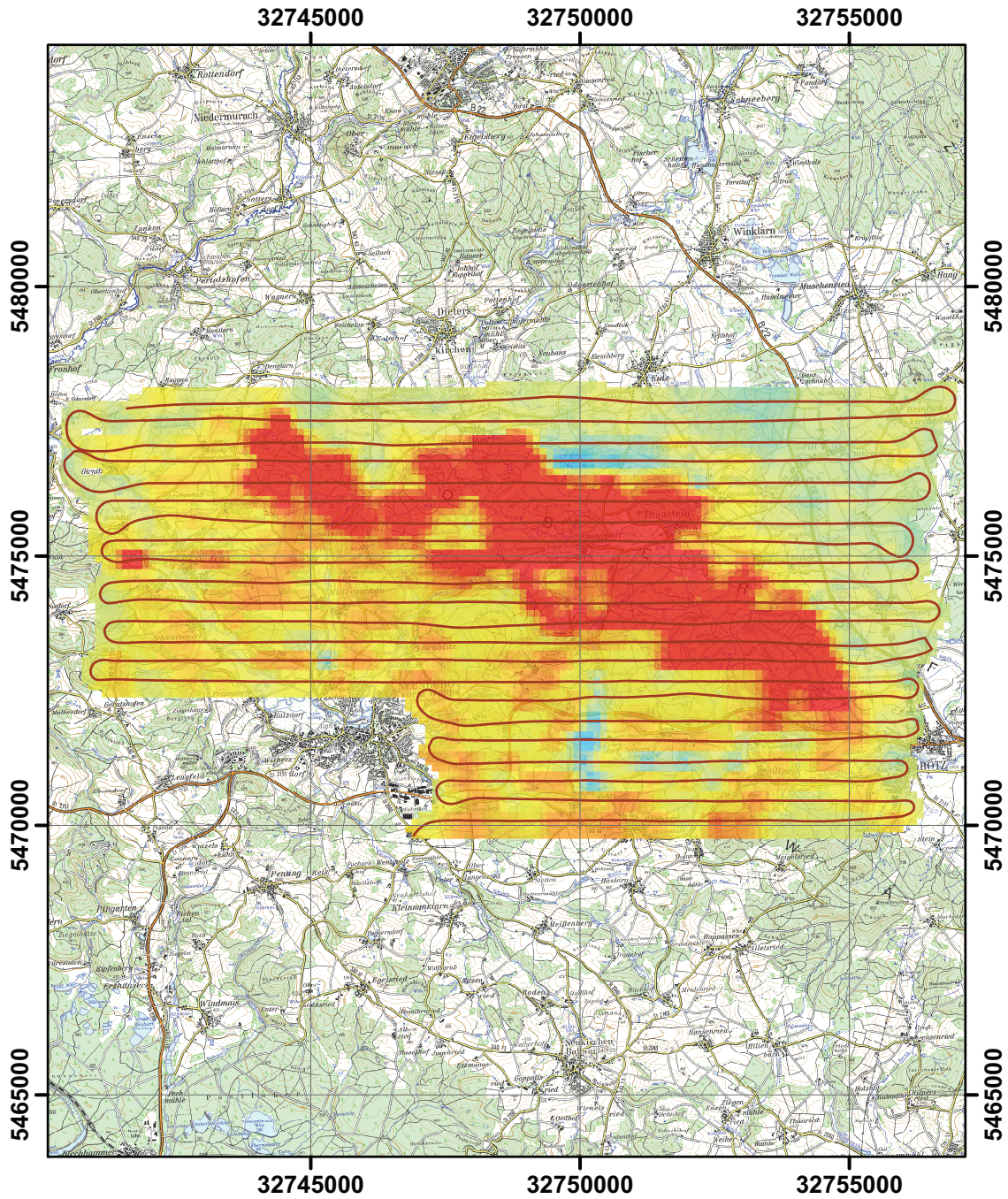
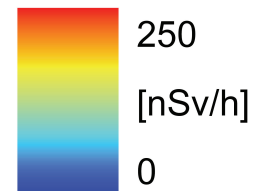


Abbildung 25: Durch den Veranstalter festgelegte Positionen, Radionuklide und Aktivitäten der Quellen.

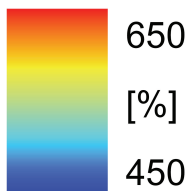
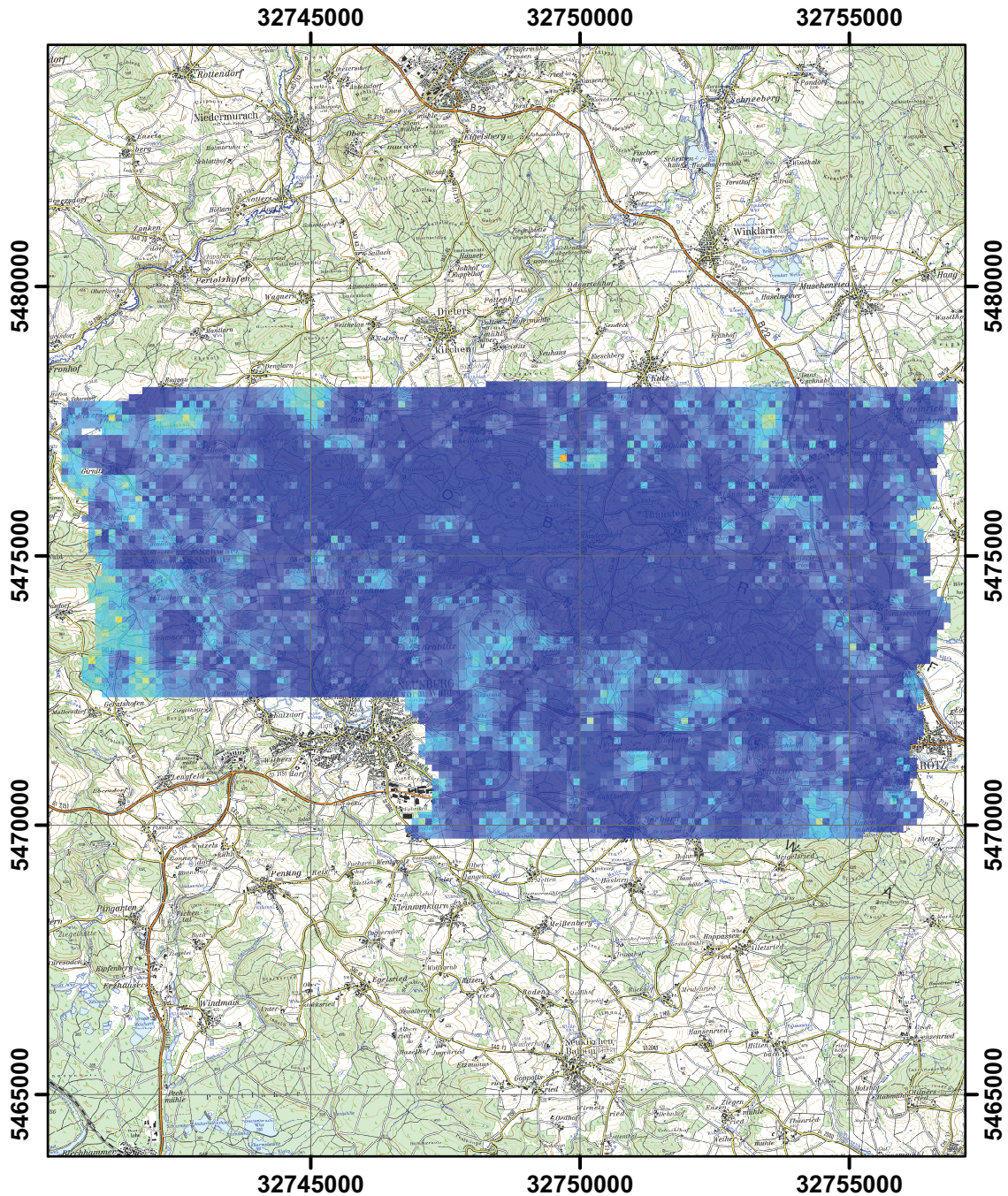
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).



— Flugweg



**Abbildung 26: Fluglinien und Ortsdosisleistung im Gebiet von Neunburg.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).**



**Abbildung 27: MMGC-Ratio im Gebiet von Neunburg.**  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

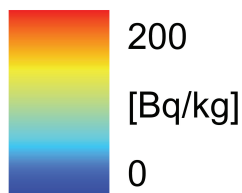
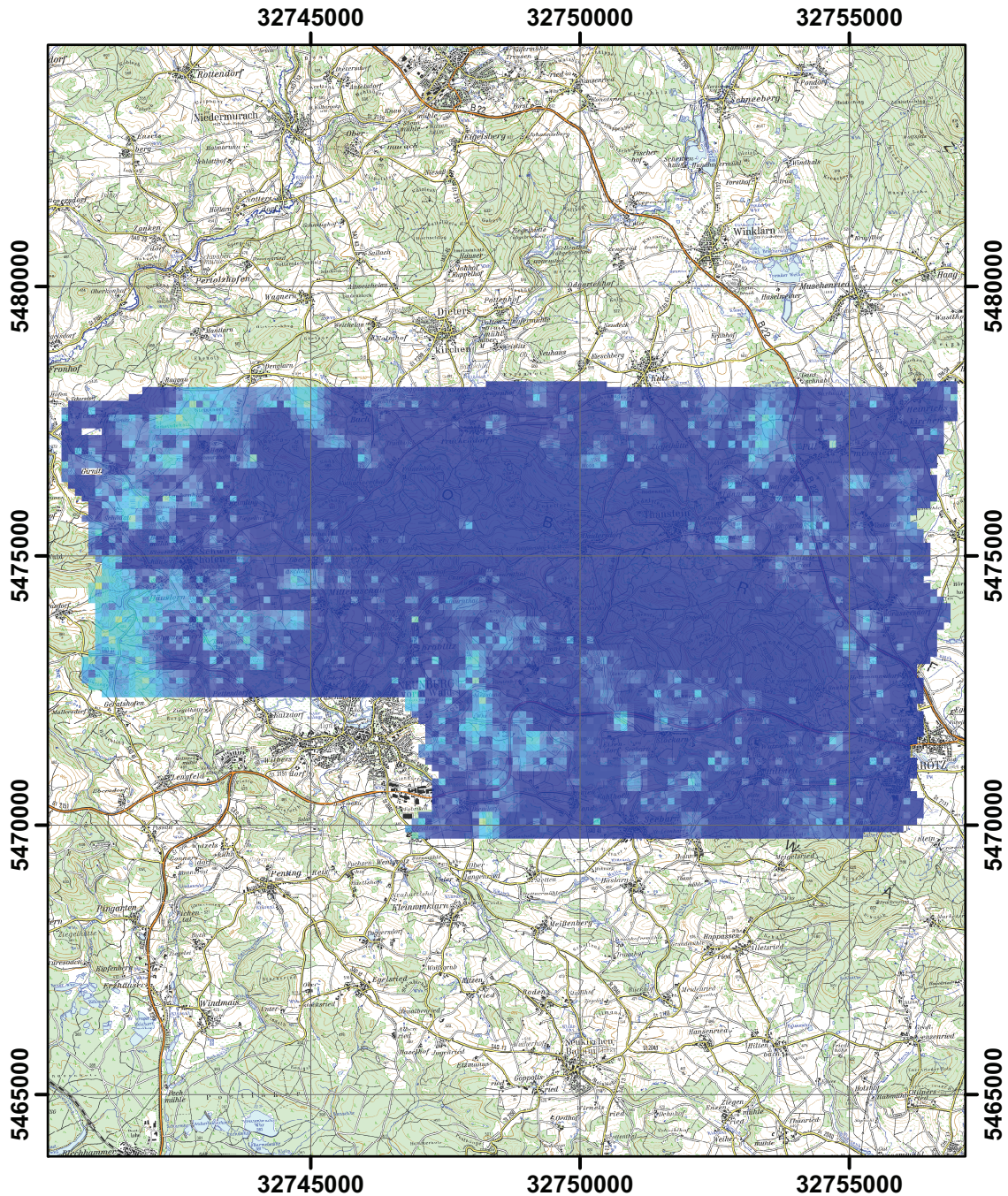


Abbildung 28:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

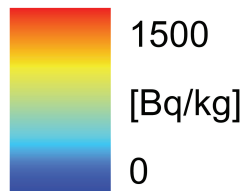
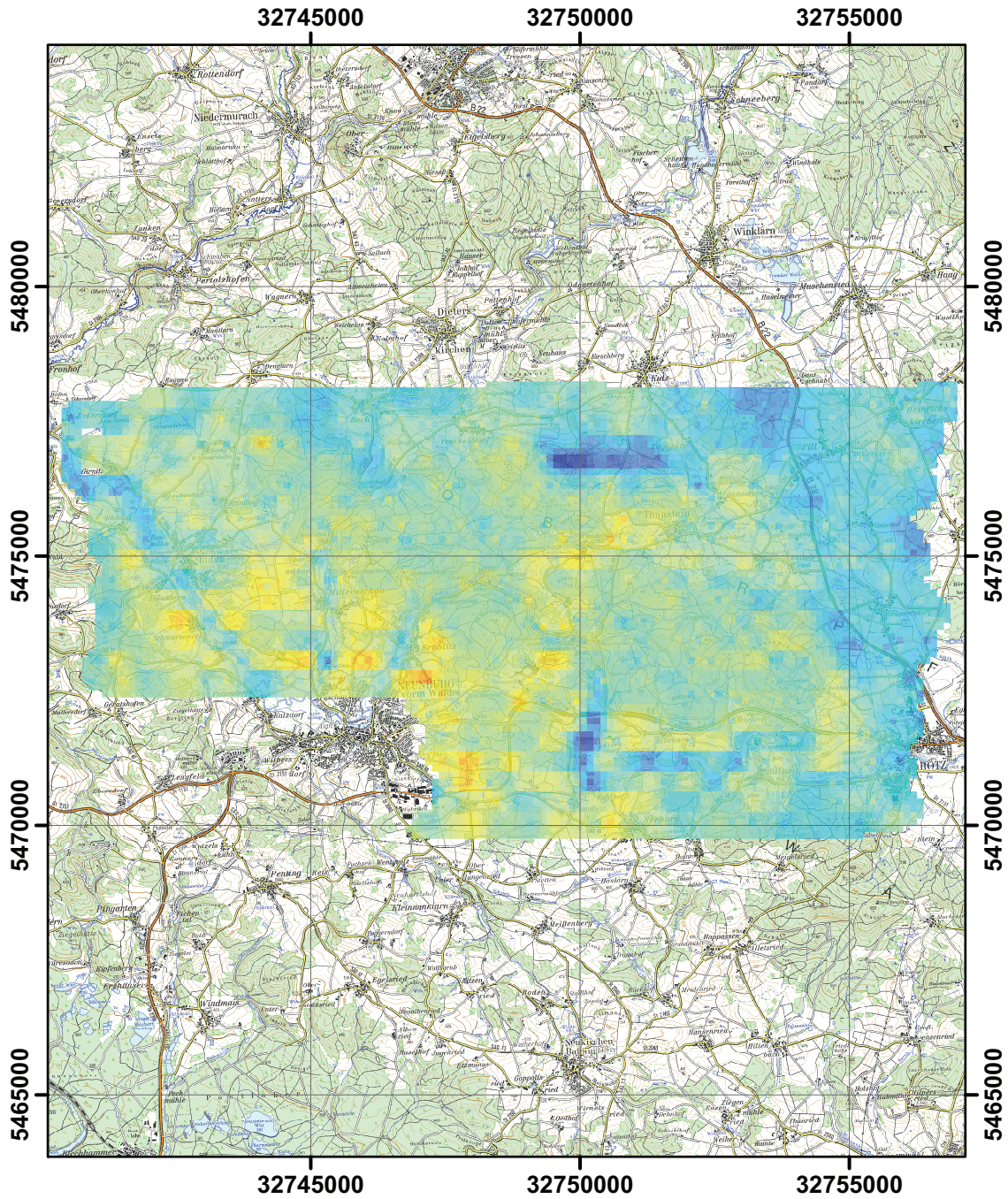


Abbildung 29:  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

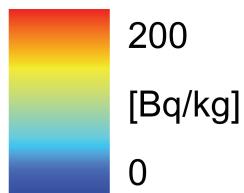
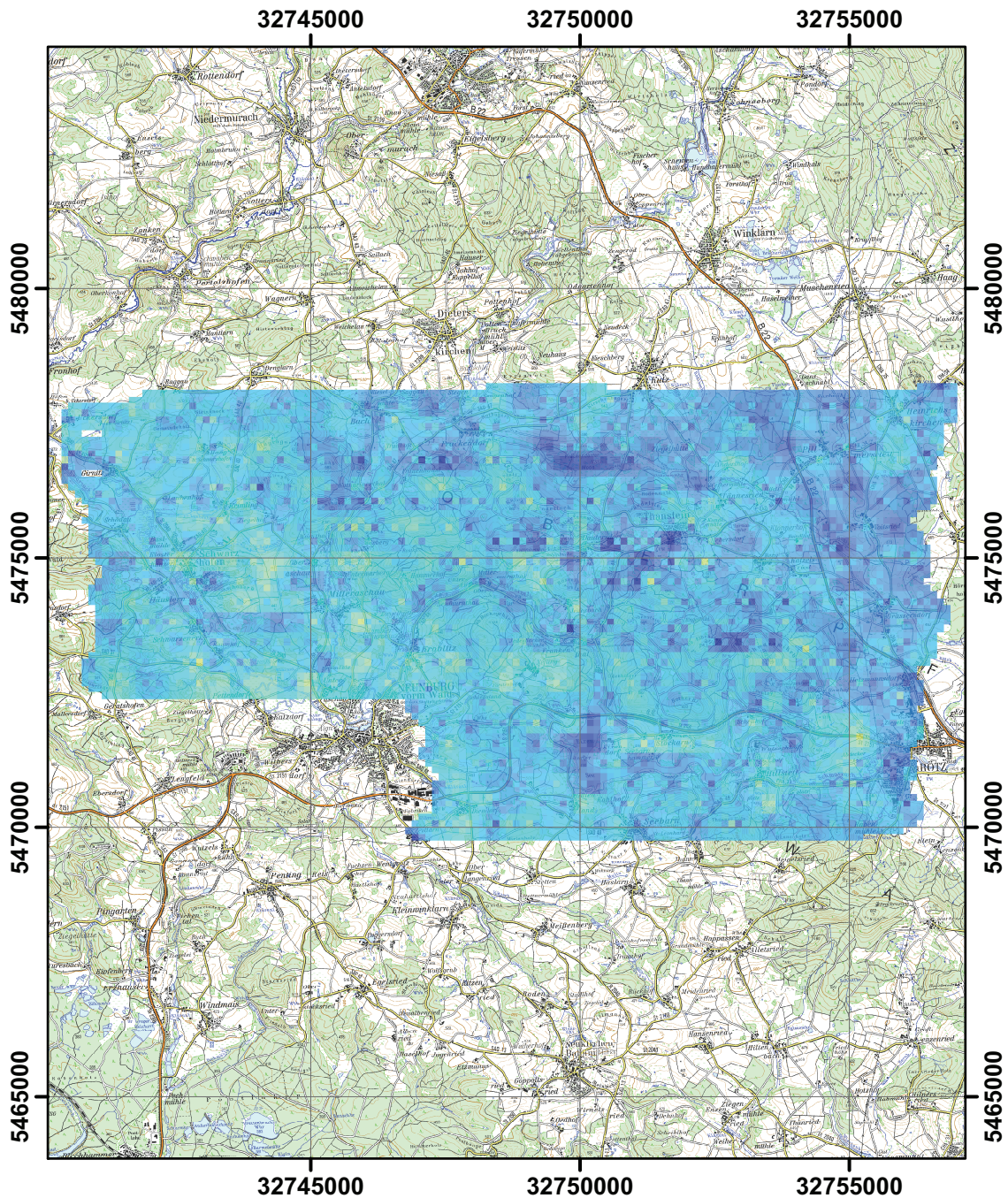


Abbildung 30:  $^{238}\text{U}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).



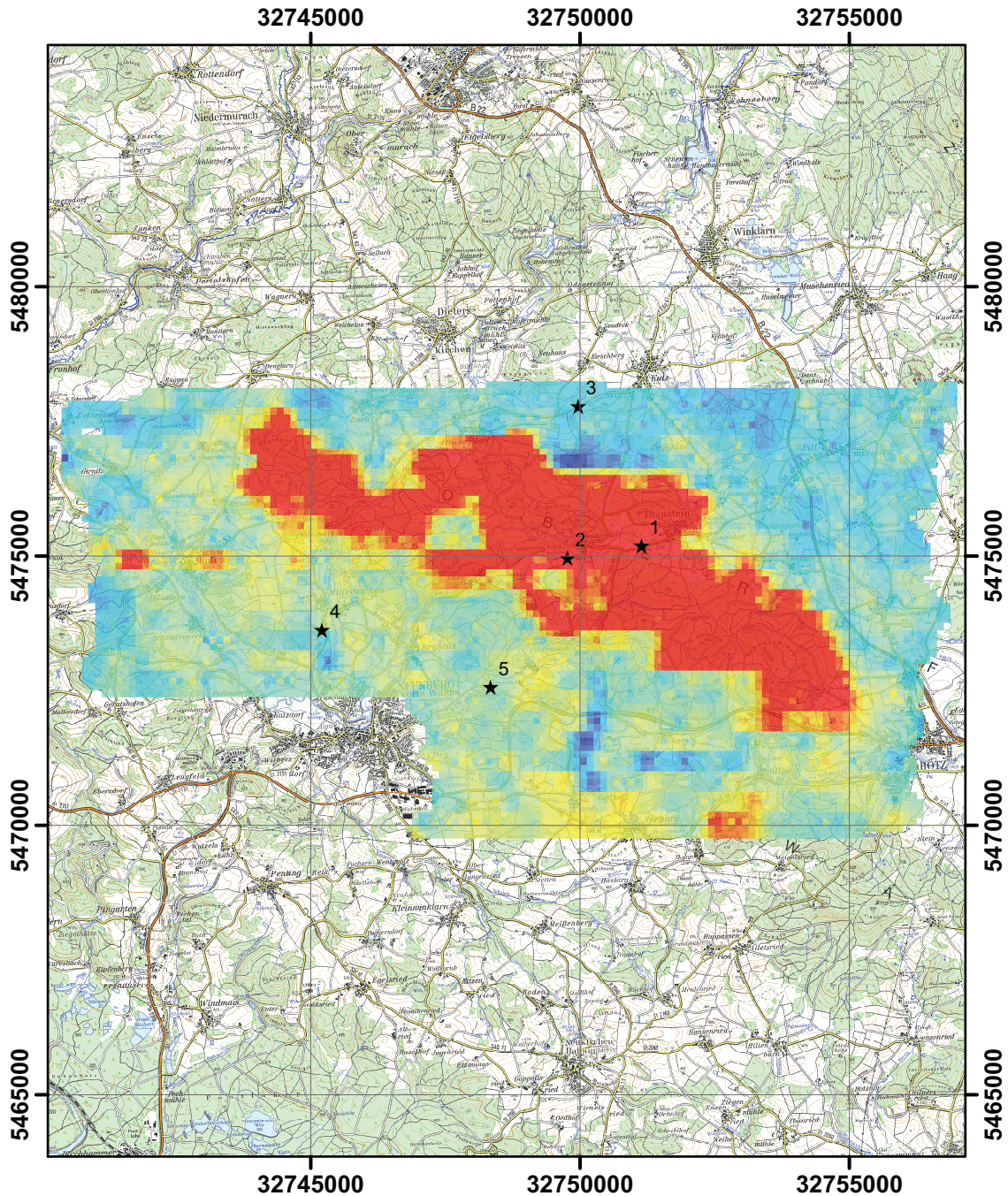
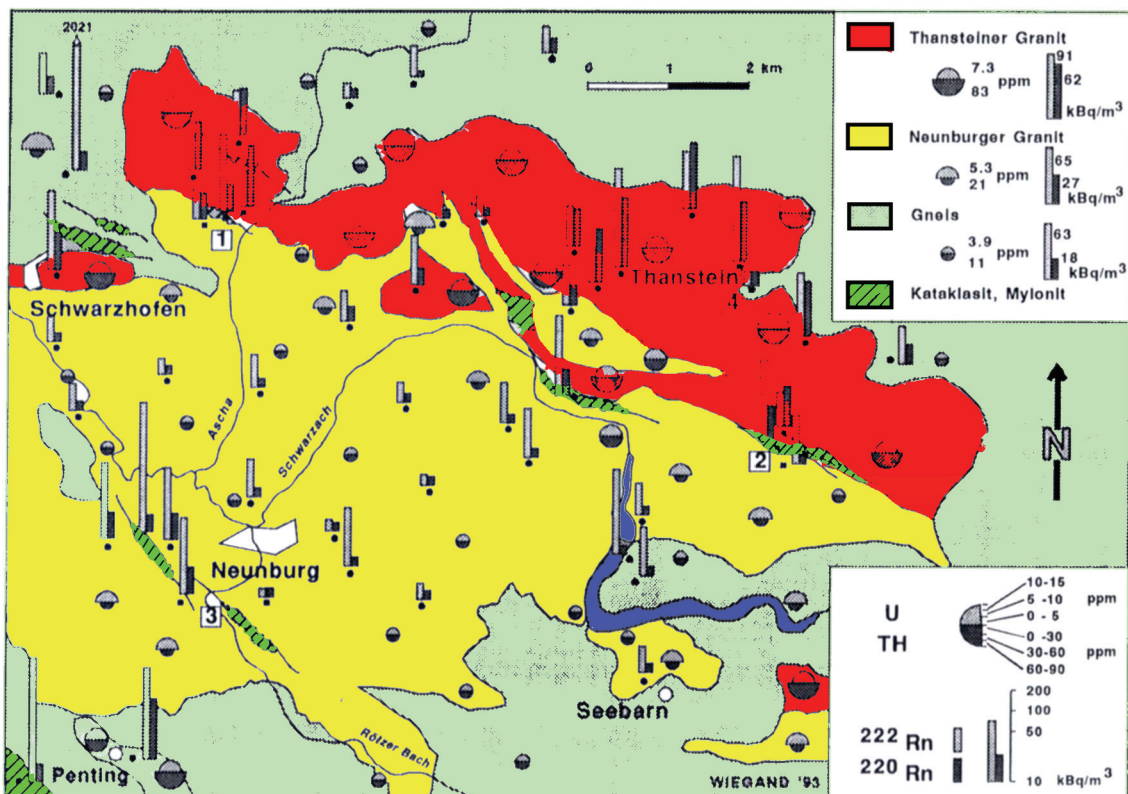
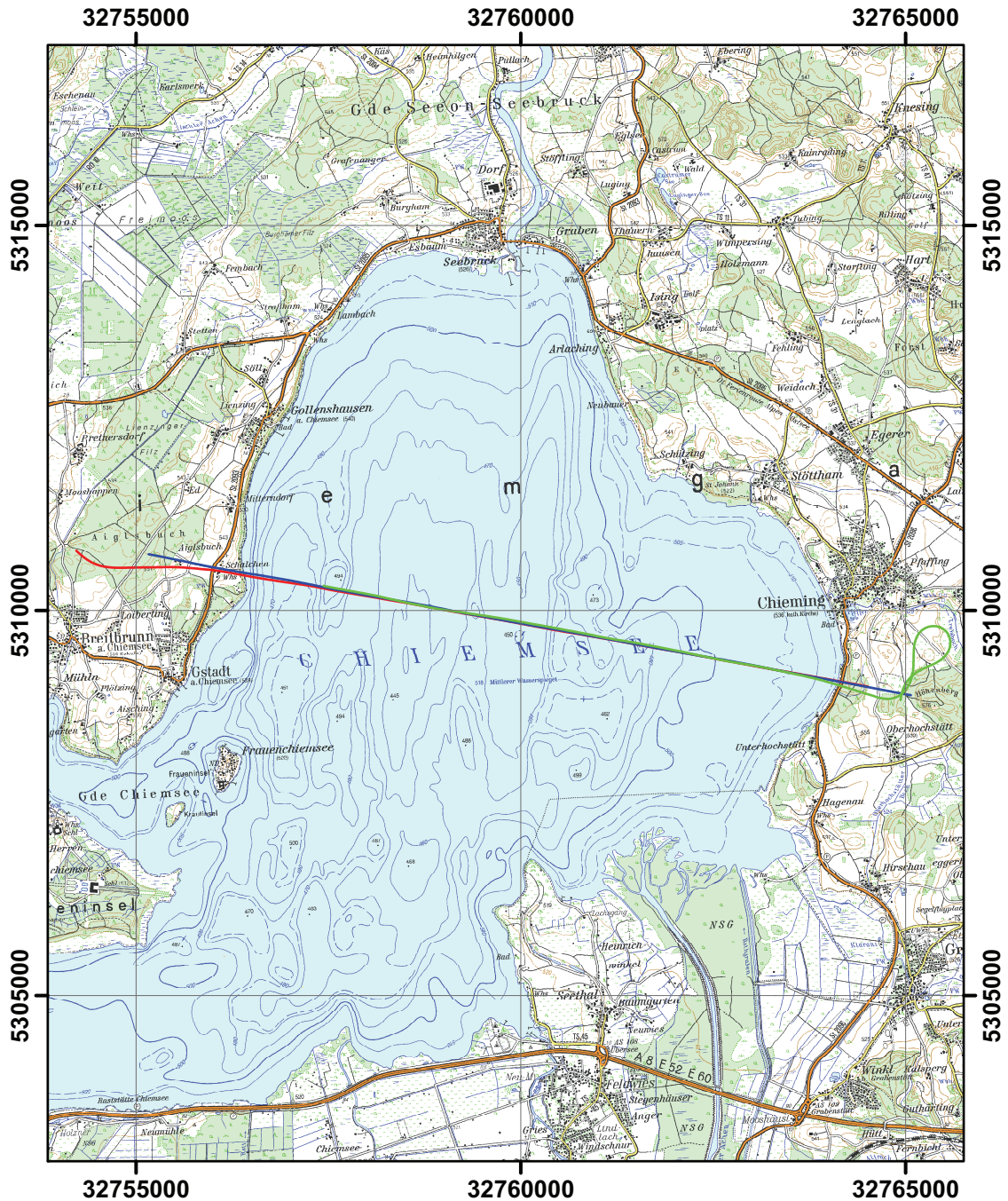


Abbildung 31:  $^{232}\text{Th}$ -Aktivitätskonzentration im Gebiet von Neunburg. Sterne markieren die In-Situ-Messpunkte.

DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

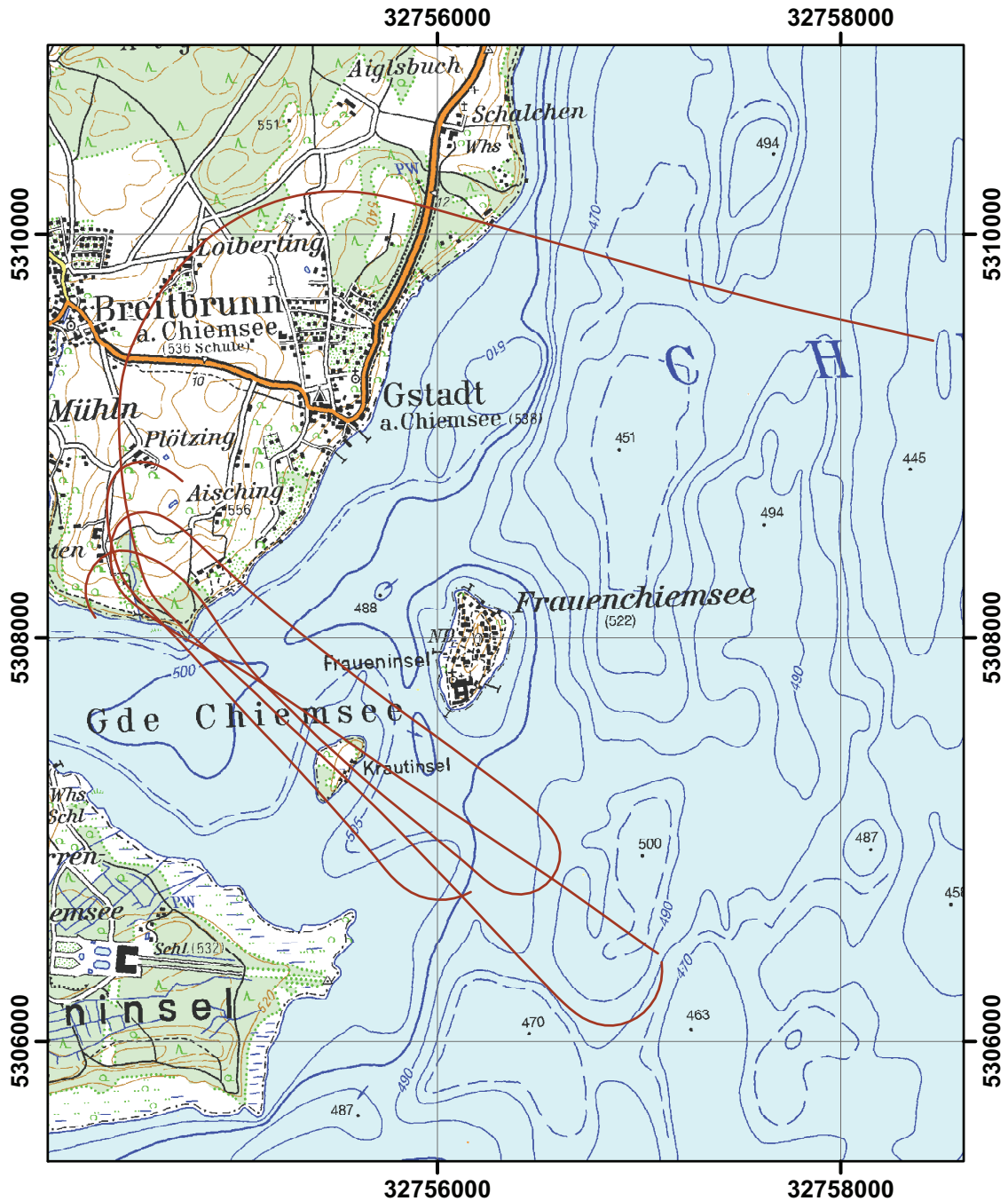


**Abbildung 32: Geologische Situation im Messgebiet.**  
 Oben: Ablichtung aus dem geologischen Kartenblatt „Neunburg vorm Wald“ (1959). Unten: Nach Wiegand (1993).



- Flugweg 2000 ft
- Flugweg 1000 ft
- Flugweg 300 ft

**Abbildung 33: Fluglinien der Untergrundsmessung über dem Chiemsee.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
(www.bkg.bund.de).**



— Flugweg

Abbildung 34: Fluglinien im Gebiet der Krautinsel im Chiemsee.  
DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG  
([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

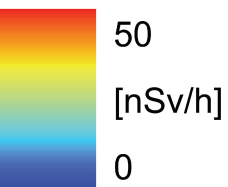
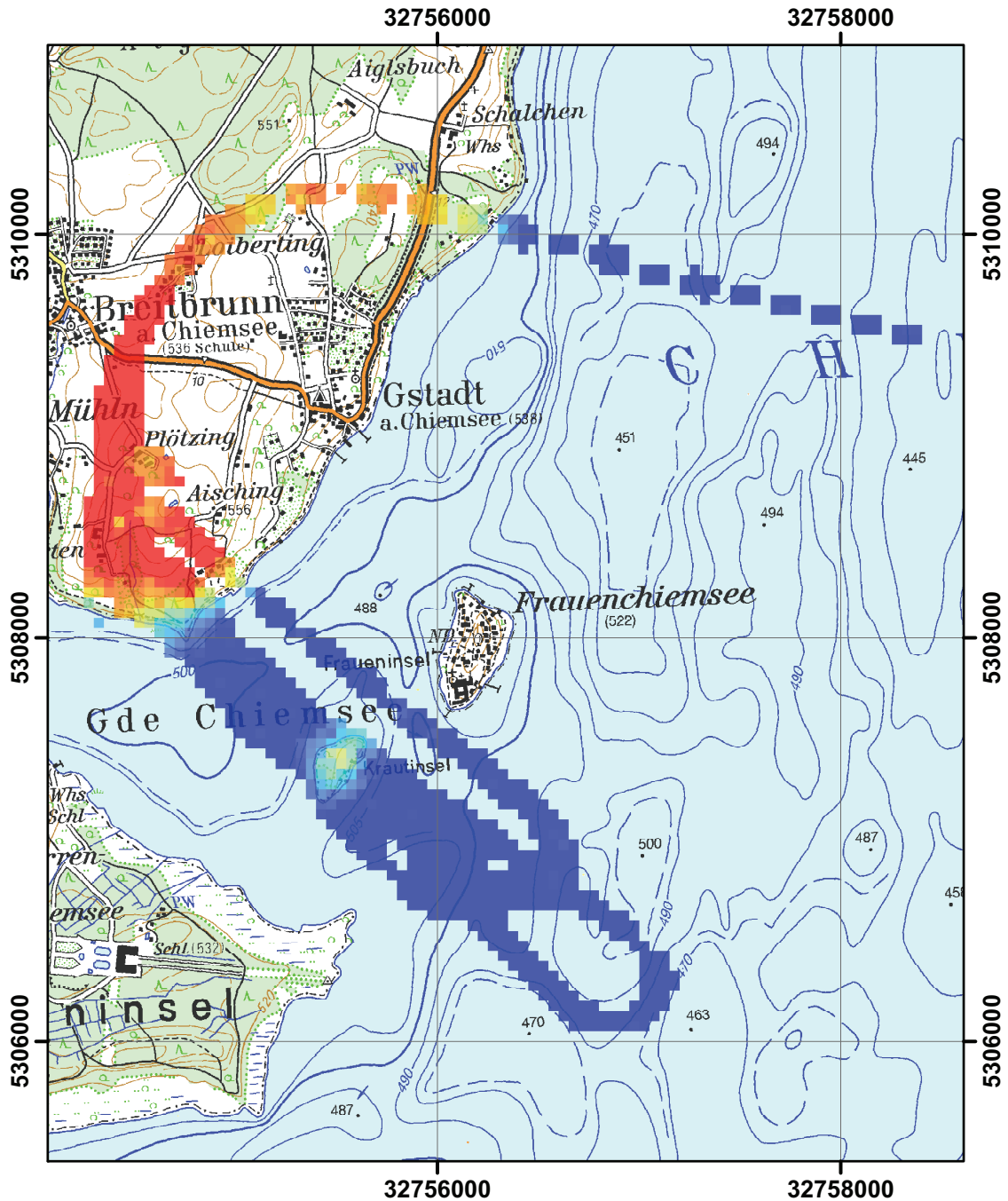


Abbildung 35: Terrestrische Dosisleistung im Gebiet der Krautinsel im Chiemsee. DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

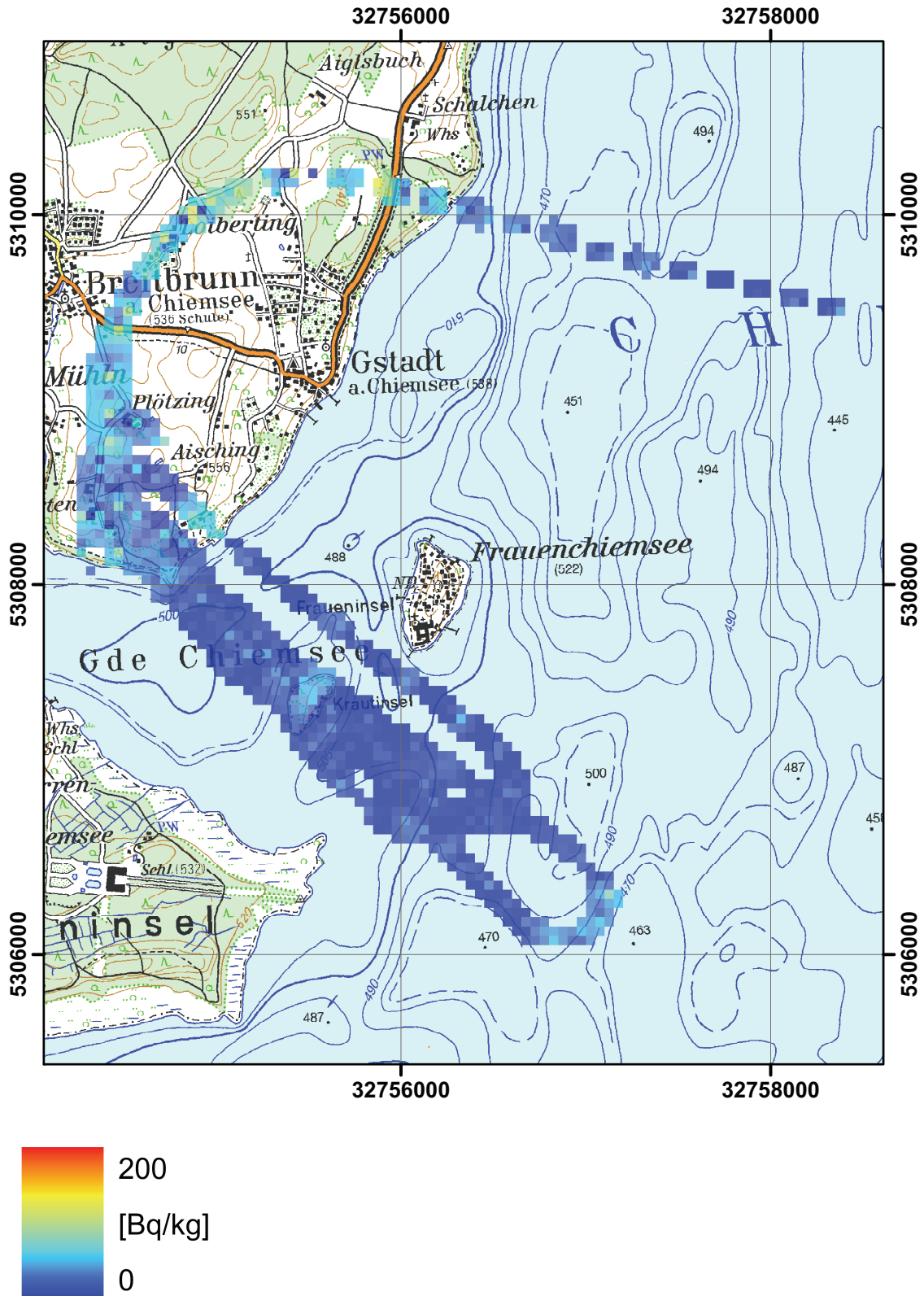


Abbildung 36:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration im im Gebiet der Krautinsel im Chiemsee. DTK-50©Vermessungsverwaltungen der Bundesländer und BKG ([www.bkg.bund.de](http://www.bkg.bund.de)).

---

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)