

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM03

B. Bucher¹, L. Rybach², G. Schwarz³

¹ Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit, Paul Scherrer Institut, CH-5232 Villigen PSI

² Institut für Geophysik, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich

³ Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, CH-5232 Villigen HSK

November 2004

Zusammenfassung

Der Schwerpunkt der Messflüge vom 23. bis 26. Juni 2003 bildet die Messübung mit der österreichischen Partnerorganisation der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Diese fand in der Nähe von Klagenfurt in Kärnten statt. Neben dieser Übung wurden turnusgemäss die Gebiete um die Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg aeroradiometrisch vermessen. Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM03 und standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (Nationale Alarmzentrale, NAZ).

Die im Rahmen der internationalen Messübung in Schottland 2002 aufgenommenen aerogammaspektrometrischen Daten konnten nun mit entsprechenden Messungen an Bodenproben und mit *in situ* Gammaskpektrometriemessungen verglichen werden. Die Vergleiche zeigten innerhalb der Messunsicherheiten eine recht gute Übereinstimmung. Die grössten Abweichungen wurden im Vergleich zu den ^{137}Cs -Messungen an Bodenproben festgestellt. Dies ist hauptsächlich auf die unterschiedliche Fläche zurückzuführen, von der das Messsignal stammt.

Innerhalb der internationalen Übung in Kärnten wurden in zwei Messgebieten je sechs Quellen mit Aktivitäten zwischen 120 MBq und 50.4 GBq ausgelegt, die aus der Luft lokalisiert werden sollten. Das österreichische Messteam verwendete einen grossvolumigen Geiger-Müller-Zähler und konnte jeweils drei der sechs Quellen lokalisieren. Dank der zusätzlichen Spektralinformation konnten mit der schweizerischen Aeroradiometrieausrüstung jeweils fünf Quellen bereits während des Messfluges lokalisiert und identifiziert werden. Die schwächste Quelle mit einer Aktivität von 120 MBq konnte nicht detektiert werden.

Im Rahmen der turnusmässigen Messungen über den Kernanlagen wurden die Gebiete um die Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg befliegen. Die Resultate zeigten ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse aus den letzten Jahren. Das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Das KKW Mühleberg (KKM) konnte hingegen aufgrund seiner reaktortypischen Direktstrahlung klar identifiziert werden. Zudem konnte in unmittelbarer Nähe zum Zwischenlager des KKM das Radionuklid ^{60}Co im Spektrum klar identifiziert werden.

Ausserhalb der Kernanlagen wurde keine künstliche Radioaktivität festgestellt, die nicht auf den Atomwaffen- und Tchernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte. Der Aktivitätspegel hat sich im Vergleich zu den letzten Jahren nicht verändert.

Abstract

The yearly measurement flights from 23. to 26. June 2003 were focused on the international exercise with the Austrian team of the Bundesministerium für Inneres (BMI). This exercise was held near Klagenfurt in Kärnten. Furtheron the periodically surveys in the environs of the nuclear power plants Gösgen and Mühleberg were carried out. The flights took place in the context of the exercise U ARM03 and were lead by Y. Lörtscher of the Swiss National Emergency Operations Centre (NAZ).

The results of the international exercise RESUME 2002 in Scotland are compared with measurements of soil samples and with *in situ* gamma spectrometry results. This comparison shows a good agreement within the uncertainties. Furtheron the ^{137}Cs results differ most from the measurements of soil samples. Mainly this is caused by the different size of the area from which the measured signal is coming and by the different depth distributions used in the calculations.

Within the international exercise in Kärnten six radioactive sources of activities between 120 MBq and 50.4 GBq should be localized by airborne measurements. Two areas with those six sources in each were measured. The Austrian team was using a high volume Geiger-Müller counter and could localize three sources in each area. Because of the additional spectral information the Swiss team could localize and identify five radioactive sources in each area. The weakest ^{60}Co source with an activity of 120 MBq could not be detected.

In the context of the regular measurements in the environs of the nuclear facilities in Switzerland the areas around the nuclear power plants Gösgen and Mühleberg were measured. The results were very similar to the results of earlier measurements in the last years. The nuclear power plant Gösgen couldn't be recognised on the activity maps. But the nuclear power plant Mühleberg could be identified by its direct radiation which is specific for this type of reactor (BWR). Furtheron the radiation of the radionuclide ^{60}Co could be identified in the immediate neighbourhood of the intermediate storage facility at the KKM site.

Outside the fenced areas of the nuclear facility sites no man-made radiation was detected which couldn't be traced back to the nuclear weapons test fallout and the Tchernobyl fallout. The overall level of activity didn't change in the last years.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	ii
1 Einleitung	1
1.1 Messgeräte	1
1.2 Messflüge	1
1.3 Auswertung.....	1
2 Internationale Vergleichsflüge (ECCOGMAGS): Vergleich mit Bodenmessungen	3
2.1 Einleitung.....	3
2.2 Resultate	3
2.3 Fazit.....	6
3 Messübung mit österreichischen Strahlenspürern	7
3.1 Einleitung.....	7
3.2 Messübung.....	7
3.3 Resultate	9
3.3.1 Nötsch im Gailtal	9
3.3.2 Althofen.....	9
3.4 Vergleiche	9
3.5 Modellierung der 120 MBq ⁶⁰ Co-Quelle	10
3.6 Fazit.....	12
4 Ergebnisse der wiederkehrenden Messungen im Jahre 2003	14
4.1 Messgebiet KKG	14
4.1.1 Beilagen Messgebiet KKG.....	14
4.2 Messgebiet KKM.....	15
4.2.1 Beilagen Messgebiet KKM.....	16
5 Internationales	17
6 Ausblick	18
7 Literaturhinweise	18
8 Beilagen	19

1 Einleitung

Die aeroradiometrischen Messungen in der Schweiz begannen 1986. Methodik und Software für Kalibrierung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Kartendarstellung wurde am Institut für Geophysik der ETH Zürich entwickelt. In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) jährlich aeroradiometrisch vermessen. Im Jahre 1994 ging man zu einem Zweijahresrhythmus über, wobei abwechslungsweise zwei bzw. drei Gebiete mit nuklearen Installationen vermessen werden.

Seit 1994 ist die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Satellitenabstürze im Vordergrund. Der operative Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

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

1.1 Messgeräte

Das Messsystem besteht aus einem NaI-Detektor mit 16.8 l Volumen. Das Spektrometer weist 256 Kanäle auf und besitzt einen automatischen Gain Control. Die Steuerung des Systems und die Erfassung und Speicherung der Daten erfolgt mit einem Industrie-PC. Für die Positionierung wird GPS (Global Positioning System) verwendet. Das Messsystem wurde 1992 am Institut für Geophysik der ETH Zürich gebaut. Gleichzeitig mit dem aufgenommen Spektrum und der Position werden Luftdruck, Aussentemperatur, Radarhöhe und Lagewinkel des Helikopters aufgezeichnet. 1999 wurde zum ersten Mal Differential-GPS eingesetzt.

Das ganze Messsystem wird bei den Messflügen in einen Super-Puma-Helikopter der Armee eingebaut. Dieser Helikoptertyp bietet sehr gute Navigationsmöglichkeiten und erlaubt durch seine Blindflugtauglichkeit auch Notfalleinsätze bei schlechtem Wetter.

1.2 Messflüge

Der Vorteil von gammaspektrometrischen Messungen liegt in der grossen Geschwindigkeit, in der ein grosses Messgebiet abgedeckt werden kann. Es ist mit der Aeroradiometrie auch möglich in unzugänglichen Gebieten Messungen durchzuführen.

Um das Messgebiet gleichmässig abzudecken, werden die Flüge in einem regelmässigen Raster durchgeführt. Das Raster besteht aus parallelen Fluglinien, die je nach Aufgabenstellung 100 – 500 m auseinander liegen. Die Flughöhe wird nach Möglichkeit konstant bei 90 m über Grund gehalten. Jede Sekunde wird ein Gammaskpektrum über 256 Kanäle gemessen.

1.3 Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgte bis 1999 mit dem Software-Paket 'Gamero'. Diesem liegt das in Schwarz (1991) beschriebene Auswerteverfahren für aeroradiometrische Daten zugrunde. Bei Vergleichen von aeroradiometrischen Messungen mit gammaspektrometrischen Bodenmessungen ist die unterschiedliche Auflösung der beiden Methoden zu beachten (Aeroradiometrie: Mittelwert über Gebiet von 300x300 m; Bodenmessung: abgedeckte Fläche ca. 10x10 m).

Im Jahre 2000 kam erstmals die in der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Institutes für Geophysik, ETHZ (Bucher, 2001) neu entwickelte Auswertesoftware (mit online Auswerteoption) zum Einsatz.

2 Internationale Vergleichsflüge (ECCOMAGS): Vergleich mit Bodenmessungen

2.1 Einleitung

Ende Mai 2002 fand im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS (European Calibration and Coordination of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry) eine internationale Messübung im Südwesten Schottlands (Dumfries & Galloway) statt (siehe dazu auch Bucher et al., 2003). Innerhalb dieser Übung wurde eine Reihe von Bodenmessungen durchgeführt, um diese mit den aeroradiometrischen Resultaten zu vergleichen. Dabei wurden Messungen mit *in situ* Gammasspektrometrie und mit Dosisleistungsmessgeräten durchgeführt. Zudem wurden an den Messpunkten Bodenproben erhoben, deren nuklidspezifische Aktivitäten im Labor mit hochauflösender Gammasspektrometrie bestimmt wurden.

Von den insgesamt 42 Bodenmesspunkten lagen 17 Punkte innerhalb von 500 m zu unserer Messlinie, die wir beim Rückflug in die Schweiz vermessen konnten. Die Messtechniken sowie die Ergebnisse der Bodenmessungen sind in Sanderson et al. (2003) detailliert beschrieben und werden deshalb hier nicht weiter ausgeführt.

2.2 Resultate

Abbildung 1 stellt die Vergleiche zwischen den Ergebnissen der Bodenmessungen und der Aeroradiometrie dar. Die Ergebnisse für ^{40}K weisen eine gute Übereinstimmung auf. Die Aktivitäten für die ^{238}U -Reihe werden von der Aeroradiometrie eher etwas überschätzt. Bei den ^{137}Cs -Aktivitäten sind die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Aeroradiometrie und denen der Labormessungen an Bodenproben am grössten. Die Übereinstimmung mit den *in situ* Messungen ist gut.

Die Messpunkte mit den grössten Abweichungen (^{137}Cs) liegen bei Wigton Merse in einem Marsch-Gebiet. Die ^{137}Cs -Ablagerungen in diesem Gebiet stammen hauptsächlich von Abgaben der Wiederaufbereitungsanlage in Sellafield. Wie die Messungen an Bodenprofilen zeigten, liegen die Maxima der Ablagerungen im oben erwähnten Marsch-Gebiet in sehr unterschiedlichen Tiefen (0-30 cm).

Im Gegensatz zu den *in situ* und aeroradiometrischen Messungen wurden die ^{137}Cs -Aktivitäten der Bodenproben mit Hilfe des gemessenen Bodenprofils bestimmt. Sowohl bei der Aeroradiometrie wie auch bei den *in situ* Messungen wurde eine Annahme über die vertikale Verteilung der Aktivitäten getroffen. Diese weicht vor allem im Gebiet Wigton Merse stark von der Realität ab. Die entsprechenden Punkte sind deshalb für einen Vergleich nicht geeignet.

Wie sich bei der Auswertung der Bodenmessungen zeigte, variierten die Ergebnisse der Bodenmessungen zwischen den Labors und den *in situ* Messteams zum Teil stark. Die *in situ* Resultate wurden deshalb normiert (Details siehe Sanderson et al., 2003). Wie bei den oben beschriebenen Vergleichen zwischen Aeroradiometrie und Bodenmessungen zeigte sich auch hier, dass bei den Messpunkten mit den höchsten ^{137}Cs -Aktivitäten die Unterschiede zwischen den Labormessungen und den *in situ* Messungen am grössten sind (Abbildung 2). Dies bekräftigt die obige Aussage, dass diese Punkte für einen Vergleich nicht geeignet sind. Die grössten Unterschiede liegen bei einem Faktor 2. Bei den natürlichen Radionukliden waren die Abweichungen wesentlich kleiner.

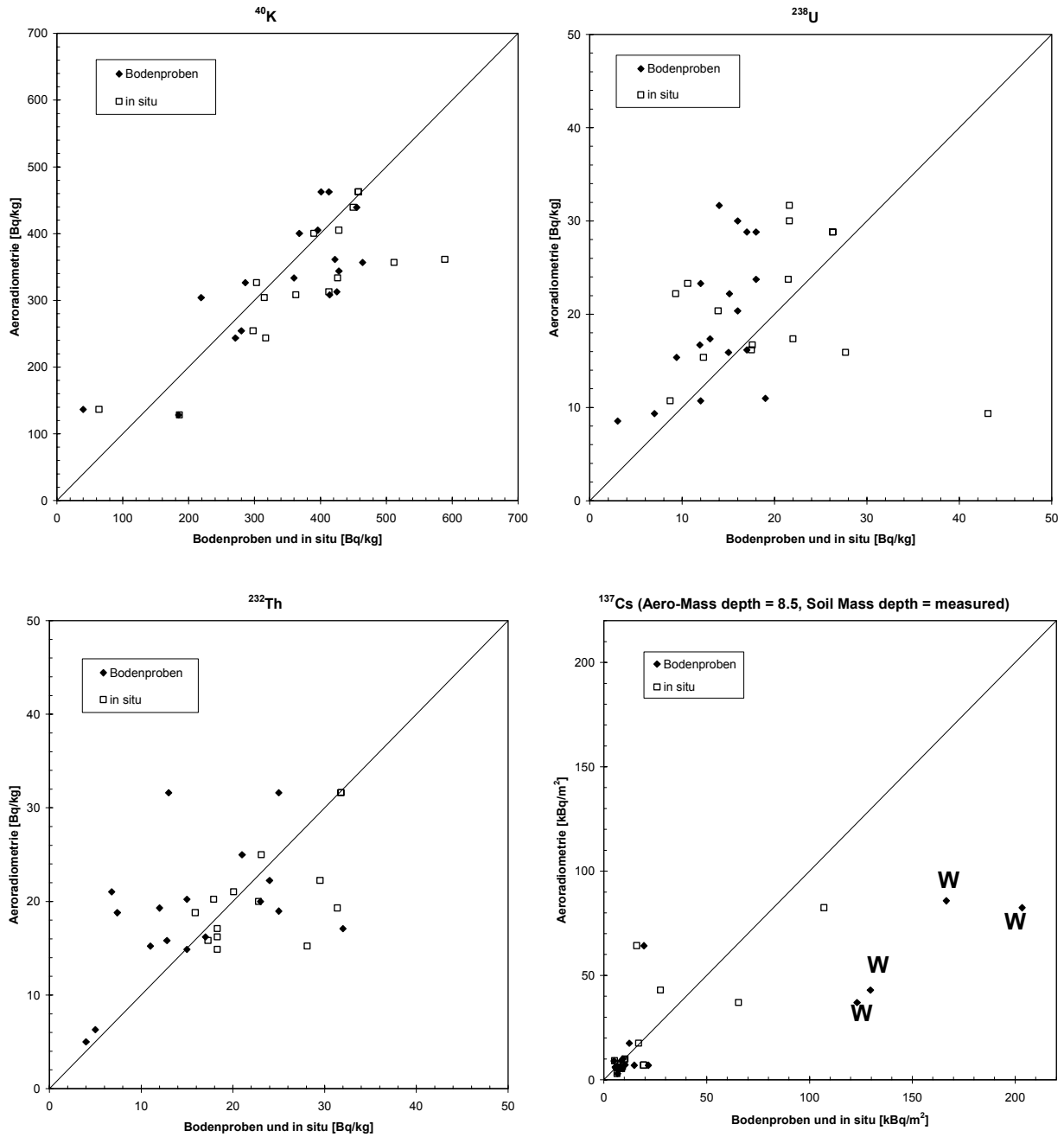


Abbildung 1: Vergleich der mit der Aeroradiometrie bestimmten nuklidspezifischen Aktivitäten mit den Resultaten der Bodenmessungen (Bodenproben und in situ Messungen). W: Messwerte im Marsch-Gebiet Wigton Merse.

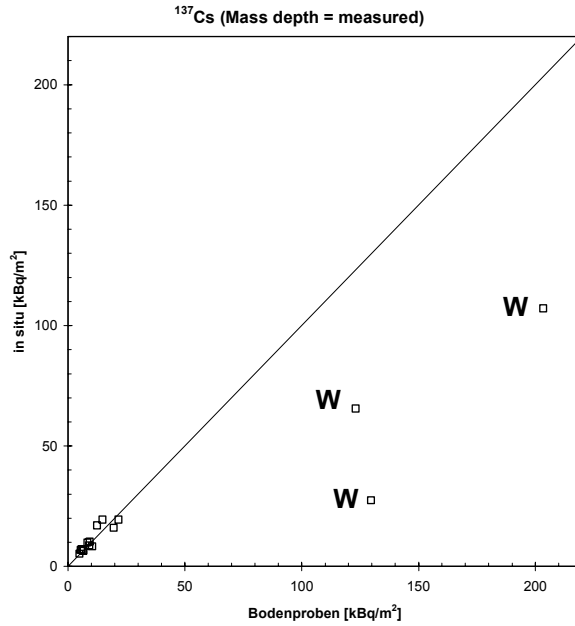


Abbildung 2: ¹³⁷Cs-Ergebnisse der Labor- und in situ Gammaskpektrometriemessungen im Vergleich. W: Messwerte im Marsch-Gebiet Wigton Merse.

Der in Abbildung 3 dargestellte Vergleich der terrestrischen Dosisleistung weist eine gute Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Messmethoden auf. Die Messwerte von Wigton Merse wurden dabei nicht berücksichtigt.

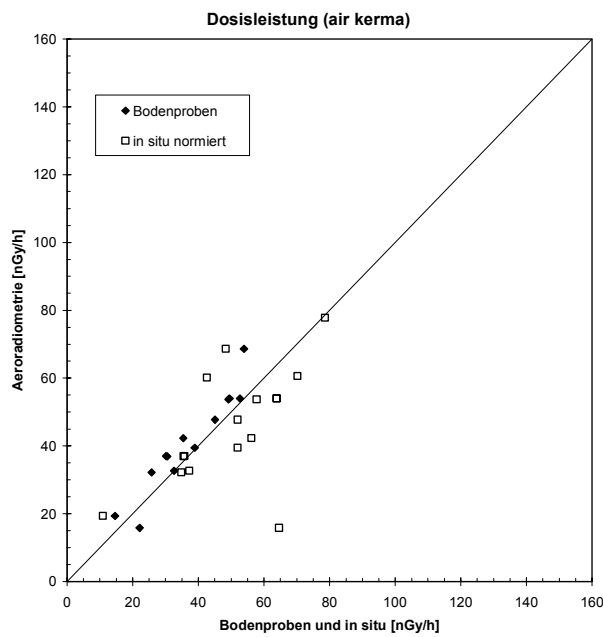


Abbildung 3: Vergleich des terrestrischen Anteils der Dosisleistung (air kerma) für die verschiedenen Messmethoden.

2.3 Fazit

Die Resultate der Aeroradiometrie zeigen für die überwiegende Mehrheit der Messpunkte eine gute Übereinstimmung mit den Resultaten der Bodenmessungen. Dies trotz Entfernungen zum Teil bis zu 500 m vom eigentlichen Messpunkt. Bei der ^{238}U - und der ^{232}Th -Reihe lässt sich keine abschliessende Beurteilung vornehmen, da alle gemessenen Werte in einem niedrigen und engen Wertebereich liegen (20-30 Bq/kg).

Der grösste Unterschied liegt zwischen den flächenhaften Messmethoden (*in situ* Gammasppektrometrie und Aeroradiometrie) und den punktuellen Messungen an Bodenproben. Dies ist hauptsächlich darauf zurückzuführen, dass bei Bodenproben eine Messung an einer sehr kleinen Materialmenge in einer klar definierten Geometrie unter Laborbedingungen vorgenommen wird. Bei *in situ* Messungen und auch bei der Aeroradiometrie stammt das gemessene Signal von einer Faktor 10'000 bzw. 6'250'000 mal grösseren Fläche (ca. 10 x 10 m bei *in situ* Messungen und ca. 250 x 250 m bei der Aeroradiometrie) und einer in der Tiefe nicht genau definierten Schicht des Bodens. Dazu kommen im Feld zusätzlich witterungsbedingte Einflüsse wie z.B. die Bodenfeuchte. Für die Auswertung werden zudem Annahmen über die vertikale Verteilung der Radionuklide im Boden getroffen. Bei den natürlichen Radionukliden fällt dies weniger ins Gewicht, da man üblicherweise eine homogenere Verteilung vorliegen hat als bei künstlichen Radionukliden. Wie aus den oben gezeigten Vergleichen hervorgeht, liegt der Hauptgrund für die Unterschiede zwischen flächenintegrierenden Methoden und Labormessungen in der inhomogenen Verteilung der Radionuklide im Boden. Für einen idealen Vergleich muss für jeden Messpunkt die Tiefenverteilung bestimmt und in der Bestimmung der Aktivitäten entsprechend berücksichtigt werden. Dies wird bei *in situ* Messungen üblicherweise durchgeführt. Bei aeroradiometrischen Messungen ist dies nicht der Fall, da es sehr aufwendig wäre die Tiefenverteilung flächendeckend zu bestimmen. Bei bekannter Tiefenverteilung kann diese bei der Bestimmung der Aktivitäten berücksichtigt werden, indem man die Kalibrationsfaktoren mit Hilfe von Modellrechnungen entsprechend anpasst.

3 Messübung mit österreichischen Strahlenspürern

3.1 Einleitung

Die Zusammenarbeit über Landesgrenzen hinweg ist bei grösseren radiologischen Ereignissen besonders wichtig. Um eine gute Zusammenarbeit im Krisenfall zu ermöglichen, ist es von Vorteil seine Partner zu kennen. Es ist deshalb wichtig, sich mit den ausländischen Partnern zu treffen und Erfahrungen auszutauschen. Unter diesem Blickwinkel fand auch die Messübung mit der österreichischen Partnerorganisation der Nationalen Alarmzentrale statt.

Die österreichischen Strahlenspürer des Bundesinnenministeriums verwenden für ihre Messungen im Unterschied zu unserem Spektrometer einen grossvolumigen Geiger-Müller-Zähler. Diese Systeme sind klein und kostengünstig, weisen aber eine geringe Empfindlichkeit auf und liefern keine Spektralinformationen.

3.2 Messübung

Die Messübung fand vom 23. – 25. Juni in der Umgebung von Klagenfurt im Bundesland Kärnten statt. Dabei wurden in zwei verschiedenen Messgebieten jeweils 6 Quellen verschiedener Aktivität ausgelegt (siehe dazu Tabelle 1, Abbildung 4 und Abbildung 5). Die beiden Messgebiete unterschieden sich vor allem in der ^{137}Cs Aktivität des Bodens, die vom Tchernobyl-Ereignis 1986 stammt. Im Messgebiet Nötsch im Gailtal lagen die entsprechenden Aktivitäten bedeutend höher als im Messgebiet Althofen.

Tabelle 1: Ausgelegte Quellen mit ihren Aktivitäten und Positionen in den beiden Messgebieten.

Nuklid	Aktivität (am 11.2.2002)	Messgebiet Nötsch im Gailtal		Messgebiet Althofen	
		Länge	Breite	Länge	Breite
^{137}Cs	50.4 GBq	13°39.902'	46°33.671'	14°27.214	46°50.935'
^{137}Cs	1.08 GBq	13°37.843'	46°34.885'	14°27.372	46°50.150'
^{60}Co	2.18 GBq	13°37.645'	46°34.501'	14°26.959'	46°50.580'
^{60}Co	6.74 GBq	13°39.460'	46°33.685'	14°27.689'	46°50.463'
^{60}Co	121 MBq	13°39.604'	46°34.308'	14°27.352'	46°50.018'
^{60}Co	490 MBq	13°38.970'	46°34.655'	14°27.343'	46°49.911'

Die Messgebiete wurden von den österreichischen Strahlenspürern und dem schweizerischen Messteam nacheinander vermessen. Beim österreichischen Team wurde die Flugroute dem Piloten überlassen. Die einzige Vorgabe war, das gegebene Messgebiet möglichst gleichmässig abzudecken. Dazu verwendeten sie eine Art Navigator, auf dem die Begrenzungen des Messgebietes und der aktuelle geflogene Flugpfad dargestellt werden. Das schweizerische Messteam beflog die beiden Messgebiete in parallelen Linien im Abstand von 125 m und einer Flughöhe von rund 60 m. Für die Navigation wurde die online Datenauswertungssoftware (Bucher, 2001) verwendet.

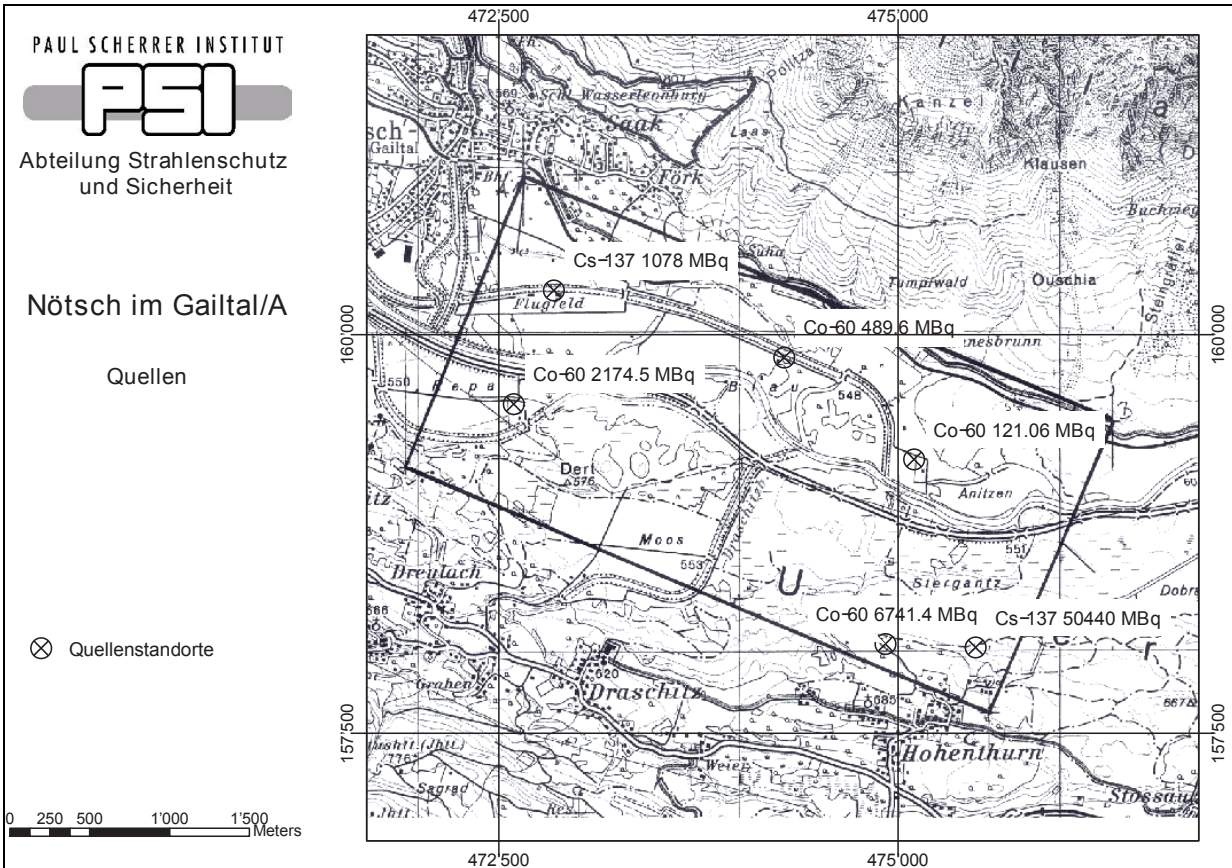


Abbildung 4: Lage der Quellen im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.

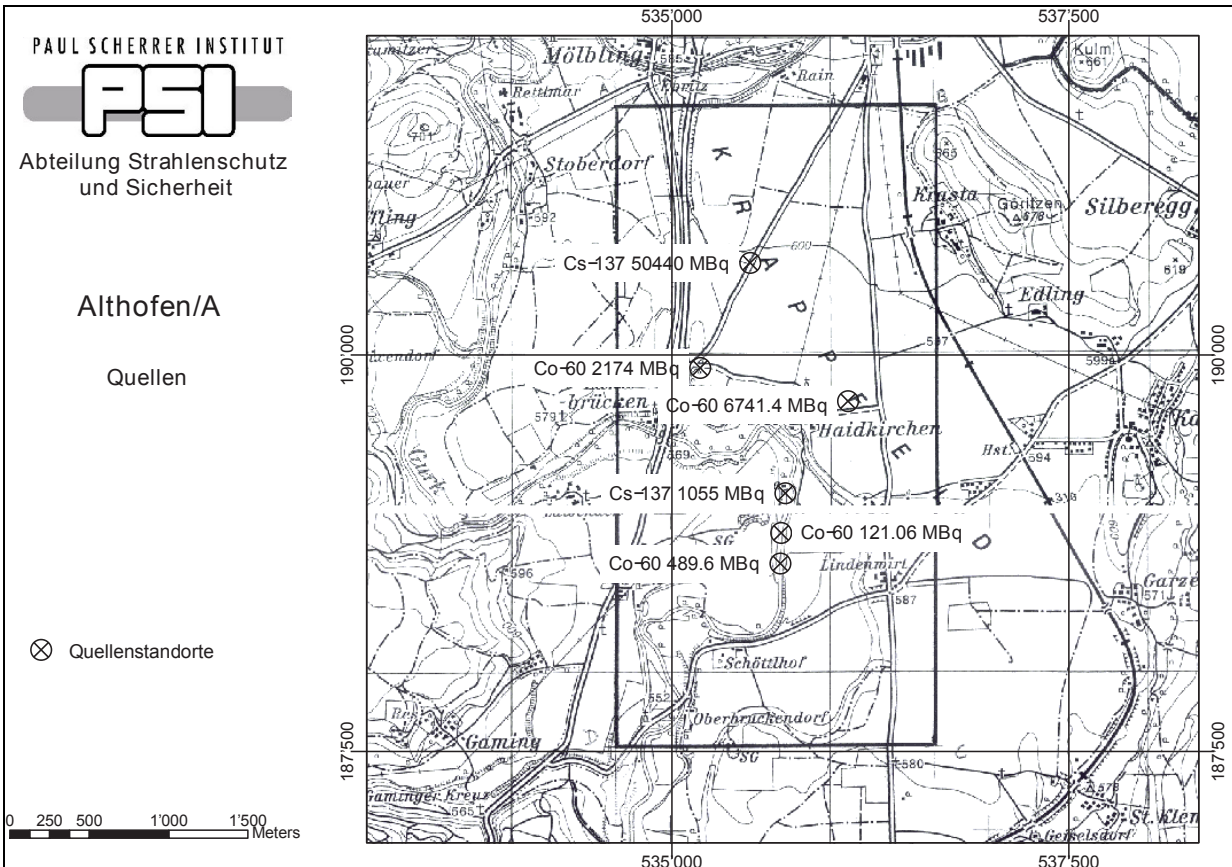


Abbildung 5: Lage der Quellen im Messgebiet Althofen/A.

3.3 Resultate

3.3.1 Nötsch im Gailtal

Die ODL-Karte zeigt drei Hot-Spots (siehe Beilage 1), die mit den Positionen der drei stärksten ausgelegten Quellen übereinstimmen. Die übrigen Quellen sind nicht eindeutig anhand der Dosisleistung auszumachen. Die Karte der ^{137}Cs -Aktivitäten (Beilage 2) zeigt grössere Gebiete mit erhöhten Aktivitäten. Vier der fünf höchsten Werte stimmen mit Standorten von Quellen überein. Bei zwei Quellen handelt es sich tatsächlich um Cäsium. Bei den anderen beiden handelt es sich um ^{60}Co -Quellen. Diese sind in der Cäsiumkarte sichtbar, da die Strippingkorrektur ungenügend ist. In der Beilage 3 sind die korrigierten Werte des ^{60}Co -Fensters in einer Karte dargestellt. Deutlich sind drei Hot-Spots zu erkennen, die auch mit den Standorten von drei ^{60}Co -Quellen übereinstimmen. In der Karte des MMGC-Ratio (Beilage 4) sind grosse Gebiete mit erhöhten Werten zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Gebiet Nötsch ein relativ grosser ^{137}Cs -„Background“ vorhanden ist. Dieses Cäsium stammt vom Tschernobylereignis. Anhand der MMGC-Karte, die normalerweise ausgezeichnet zur Lokalisierung von Quellen geeignet ist, können hier ohne zusätzliche Informationen nur die grössten Quellen mit einer Anpassung der Skala identifiziert werden.

Alle Quellen mit Ausnahme der schwächsten ^{60}Co -Quelle (121 MBq) konnten direkt während des Fluges anhand der Spektrumsdarstellung in der online Datenauswertung erkannt und identifiziert werden (siehe Beilage 5).

3.3.2 Althofen

Im Messgebiet Althofen sind drei Quellen deutlich und eine Quelle schwach in der Dosisleistungskarte (Beilage 6) zu erkennen. Die übrigen Quellen sind wie im Messgebiet Nötsch im Gailtal nicht eindeutig auszumachen. Die ^{137}Cs -Karte (Beilage 7) weist vier deutliche Hot-Spots auf, welche den Positionen von vier Quellen entsprechen. Auch hier handelt es sich an zwei Positionen um ^{60}Co -Quellen, die aufgrund ungenügender Stripping-Korrektur im Cäsium-Fenster zu sehen sind. Im restlichen Messgebiet sind deutlich tiefere ^{137}Cs -Aktivitäten anzutreffen als im Messgebiet Nötsch. Die Karte mit den korrigierten Zählraten des ^{60}Co -Fensters (Beilage 8) zeigt drei Hot-Spots, die mit den Positionen von drei ^{60}Co -Quellen übereinstimmen. Zusätzlich sind auch erhöhte Werte im Bereich der stärksten ^{137}Cs -Quelle (50.4 GBq) zu erkennen. Bei solch grossen Aktivitäten kommt es vor, dass durch das gleichzeitige Eintreffen von Gammaquanten erhöhte Zählraten auch im Bereich über der eigentlichen Peakenergie von ^{137}Cs auftreten. Da der ^{137}Cs -„Background“ in diesem Messgebiet deutlich tiefer war als im Messgebiet Nötsch, konnten mit der Karte des MMGC-Ratio (Beilage 9) schliesslich fünf der sechs ausgelegten Quellen lokalisiert werden. Auch hier konnte die schwächste ^{60}Co -Quelle nicht detektiert werden.

Die lokalisierten Quellen konnten bereits im Flug anhand der Spektren erkannt und identifiziert werden (Beilage 10).

3.4 Vergleiche

Wie bei der Einleitung erwähnt, messen die österreichischen Strahlenspürer nur die totale Zählrate mit einem grossvolumigen Geiger-Müller-Zähler. In der Beilage 11 ist die Zählratenkarte für das Messgebiet Nötsch abgebildet. Einerseits zeigt die Karte ein interpoliertes Grid der Messwerte, andererseits auch die Punktwerte. Deutlich sind drei Hot-Spots zu erkennen. Diese stimmen mit den Positionen der drei stärksten Quellen überein. Die restlichen drei Quellen können aufgrund dieser Ergebnisse nicht lokalisiert werden. Das Aktivitätsmuster stimmt sehr gut mit der ODL-Karte des schweizerischen Teams überein.

In der Beilage 12 sind die vom Team Austria gemessenen Zählraten des Messgebietes Althofen ebenfalls als interpoliertes Grid und als Punktwerte dargestellt. Auch hier sind drei Hot-Spots zu erkennen, die mit den Positionen der drei stärksten Quellen übereinstimmen. Die übrigen Quellen sind in den Messwerten nicht zu erkennen. Wiederum zeigen die Ergebnisse ähnliche Muster wie die ODL-Karte des schweizerischen Teams.

3.5 Modellierung der 120 MBq ^{60}Co -Quelle

Die ^{60}Co -Quelle mit einer Aktivität von 120 MBq konnte in beiden Messgebieten aus der Luft nicht detektiert werden. Um das „Nichtfinden“ der Quelle zu ergründen, wird das von der Quelle verursachte Signal im Detektor theoretisch nach Schwarz (1991) berechnet (Abbildung 6).

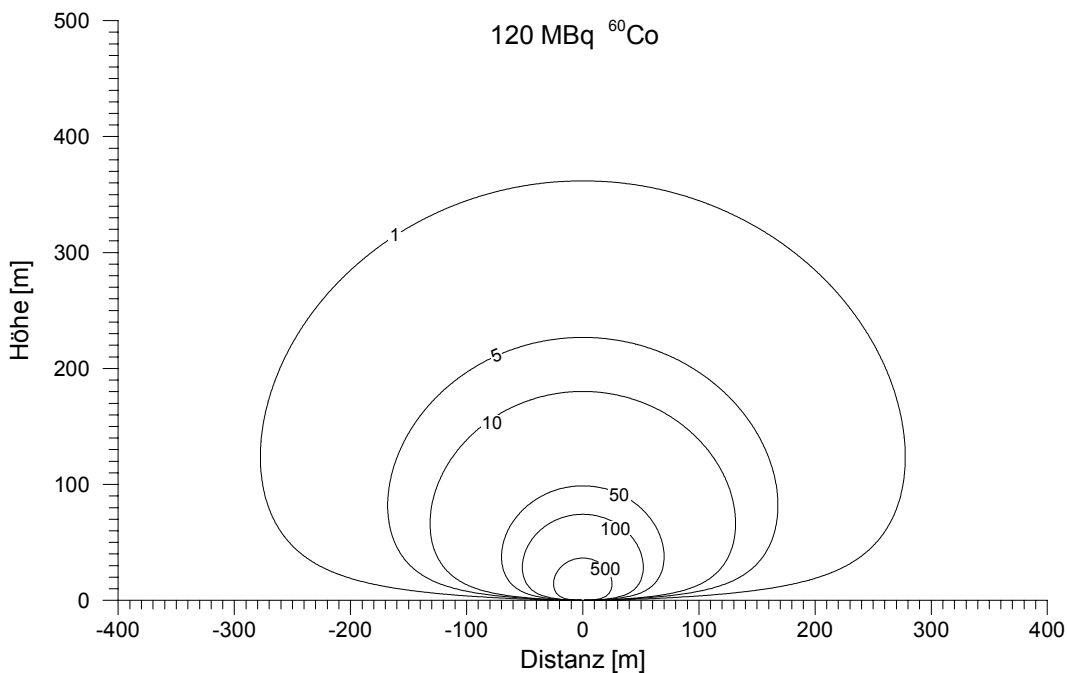


Abbildung 6: Modellierung der Detektorantwort bei einer ^{60}Co -Quelle mit einer Aktivität von 120 MBq. In der Graphik sind die Feldlinien für die Zählraten 1, 5, 10, 50, 100 und 500 s^{-1} aufgezeichnet.

Berechnet man die Nachweisgrenzen für die unmittelbare Umgebung der Quelle, müssen für das Messgebiet Nötsch die Nettozählraten für ^{60}Co über 86 s^{-1} und für das Messgebiet Althofen über 65 s^{-1} liegen. Daraus lässt sich aus Abbildung 6 bereits schliessen, dass die Quelle bei einer Flughöhe von 100 m nicht detektiert werden kann. Für die Flughöhe von 55 m liegt die für eine erfolgreiche Detektion maximale Entfernung nach Abbildung 7 bei rund 48 m (Nötsch) bzw. 58 m (Althofen).

Der nächste Messpunkt zur Quelle lag bei Nötsch in einer Entfernung von 35 m und bei Althofen von 23 m. Aufgrund dieser Entfernung und der daraus resultierenden modellierten Zählrate hätten wir die Quelle zumindest bei Althofen klar detektieren müssen, erwartet man doch eine Nettozählrate von rund 178 s^{-1} durch die Quelle. Die ^{60}Co -Fensterdaten ohne Korrekturen im entsprechenden Gebiet weisen aber nur Zählraten im Bereich von 100 s^{-1} bis 133 s^{-1} auf. Aufgrund der Entfernung der Fluglinie zur Quelle hätte diese aber mindestens an vier Messpunkten erkannt werden müssen.

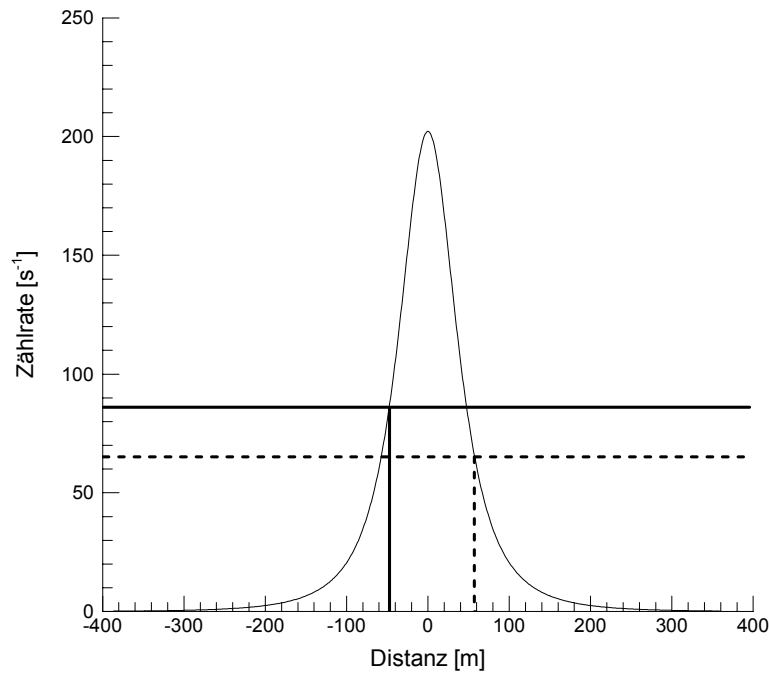


Abbildung 7: In dieser Graphik ist die durch eine ^{60}Co -Quelle mit einer Aktivität von 120 MBq im Detektor verursachte Zählrate in Abhängigkeit der horizontalen Distanz von der Quelle aufgetragen. Die Kurve gilt für eine Flughöhe von 55 m. Die ausgezogene Linie stellt die Nachweisgrenze im Messgebiet Nötsch, die gestrichelte Linie diejenige im Messgebiet Althofen dar.

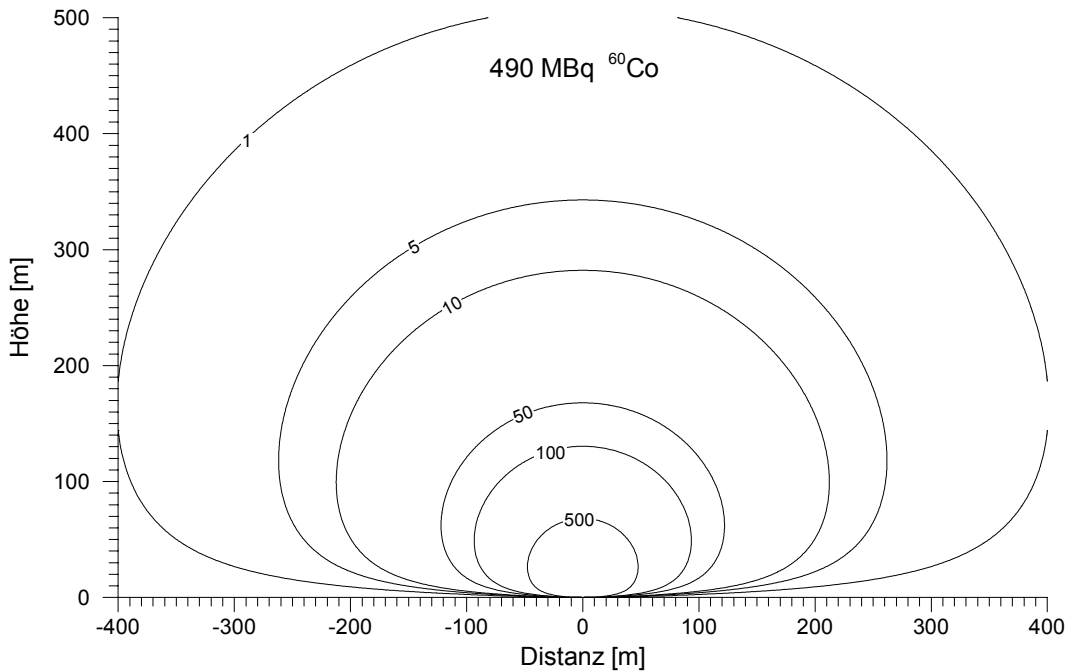


Abbildung 8: Modellierung der Detektorantwort bei einer ^{60}Co -Quelle mit einer Aktivität von 490 MBq. In der Graphik sind die Feldlinien für die Zählraten 1, 5, 10, 50, 100 und 500 s^{-1} aufgezeichnet.

Um zu überprüfen, ob die Modellierung korrekt ist, wird dasselbe Prozedere auch für die 490 MBq ^{60}Co -Quelle durchgeführt. In Abbildung 8 ist die Modellierung für die Quelle mit einer Aktivität von 490 MBq zu sehen. In Abbildung 9 ist die zugehörige Kurve für eine Flughöhe von 55 m dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass die Quelle im Umkreis von rund 100 m nachweisbar sein sollte. Bei den Messungen im Messgebiet Nötsch ist dies auch mit einer Ausnahme der Fall. Im Messgebiet Althofen weisen nicht alle Nettozählraten innerhalb eines Umkreises von 100 m um die Quelle Werte über der Nachweisgrenze aus. Die Maximalwerte der Messungen stimmen aber in beiden Messgebieten innerhalb der Unsicherheiten mit den modellierten Werten gut überein.

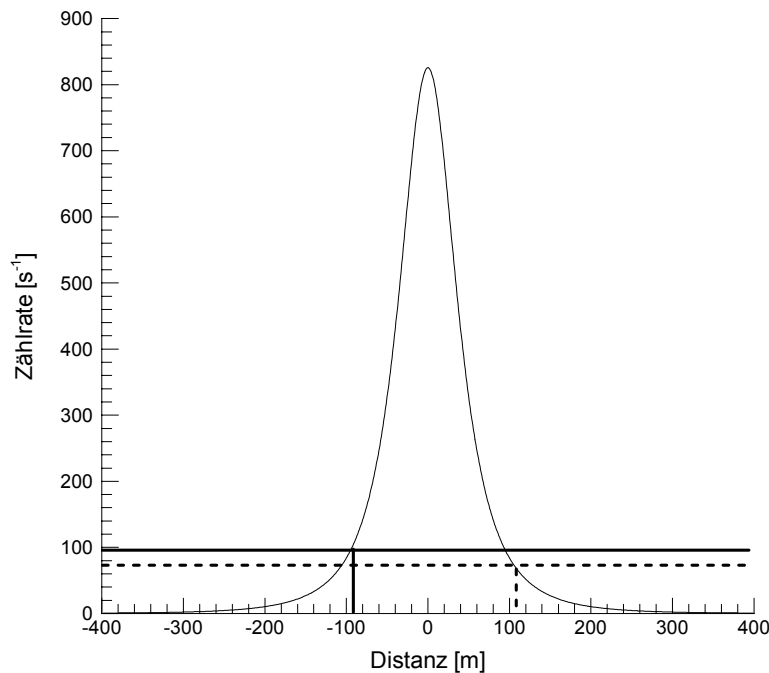


Abbildung 9: In dieser Graphik ist die durch eine ^{60}Co -Quelle mit einer Aktivität von 490 MBq im Detektor verursachte Zählrate in Abhängigkeit der horizontalen Distanz von der Quelle aufgetragen. Die Kurve gilt für eine Flughöhe von 55 m. Die ausgezogene Linie stellt die Nachweisgrenze im Messgebiet Nötsch, die gestrichelte Linie diejenige im Messgebiet Althofen dar.

Die oben dargestellten Ergebnisse lassen noch immer verschiedene Gründe für das Nichtdetektieren der 120 MBq Quelle zu. Am naheliegendsten ist eine gewisse Abschirmung der Quelle oder ein anisotropes Strahlungsfeld. Beides kann bei der vorhandenen Aktivität und den entsprechenden Nachweisgrenzen das Signal entscheidend abschwächen. Da nicht bekannt ist, wie die Quelle genau ausgelegt wurde, kann diese Hypothese weder bestätigt noch widerlegt werden. Eine tiefere Aktivität als angegeben ist eher unwahrscheinlich. Eine weit stärkere Winkelabhängigkeit des Detektors als angenommen ist grundsätzlich möglich, aber aufgrund der doch eher kleinen Distanzen zur Quelle unwahrscheinlich. Weitere Untersuchungen in diesem Bereich sollen aber erfolgen.

3.6 Fazit

Die Empfindlichkeit des österreichischen Messsystems ist deutlich geringer als die des schweizerischen. So konnte vom österreichischen Messsystem bereits die ^{137}Cs -Quelle mit 1.06 GBq nicht mehr lokalisiert werden. Zudem macht sich bei der Auswertung die fehlende spektrale Information bemerkbar, ohne die eine korrekte Interpretation der Zählraten schwierig ist.

Die natürliche Radioaktivität lässt sich so nicht von künstlicher Radioaktivität unterscheiden. Bei sehr starken Quellen mag dies nicht besonders ins Gewicht fallen, bei schwächeren Quellen ($< 1 \text{ GBq}$) ist dies jedoch entscheidend.

Der hohe ^{137}Cs -„Background“ im Messgebiet Nötsch erschwerte die Quellensuche und erhöhte die Nachweisgrenze für ^{137}Cs -Quellen. Der MMGC-Ratio konnte nicht mehr ohne weiteres zur Lokalisierung von Quellen verwendet werden. Informationen über den „natürlichen“ Background sind deshalb bei Quellensuchen von grossem Vorteil. Bei der Suche nach ^{60}Co -Quellen ist die Nachweisgrenze stark von der ^{40}K -Aktivität im Untergrund abhängig, da sich die entsprechenden Fenster überlappen.

Bei der online und offline Analyse der Daten stellt die Wasserfalldarstellung der Spektren ein ausgezeichnetes Werkzeug dar. Bereits kleine Änderungen in den Spektren werden visuell erkennbar. Sehr schnell lässt sich natürliche von künstlicher Radioaktivität unterscheiden. Dies ermöglicht eine sofortige Identifikation der Nuklide und kann auch zur Verifizierung von Hot-Spots in der Kartendarstellung genutzt werden.

Bei der Quellensuche sind die Flughöhe und der Linienabstand die entscheidenden Parameter. Schwächere Quellen wie z.B. $120 \text{ MBq } ^{60}\text{Co}$ ist wie oben gesehen nur bei einer Flughöhe von 55 m und einem Linienabstand von 100 m und weniger mit grösserer Wahrscheinlichkeit detektierbar. Dies stellt grosse Anforderung an die Navigation, sind doch nur minimale Abweichungen unter $\pm 30 \text{ m}$ von der Sollfluglinie erlaubt.

4 Ergebnisse der wiederkehrenden Messungen im Jahre 2003

Die Messungen des Jahres 2003 erfolgten mit einem Super Puma der Armee in der Zeit vom 23. bis zum 26. Juni 2003. Die Messflüge standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (NAZ).

Die Messflüge 2003 standen ganz im Zeichen der Übung mit der österreichischen Partnerorganisation der NAZ. Obwohl diese Übung rund zweieinhalb Tage in Anspruch nahm, konnten noch routinemässig die Umgebungen der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg befliegen werden. Die Daten über alle Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM03 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]	Fluggeschwin- digkeit [m/s]	Sample- Intervall [s]
KKG	250/500	51.7	100	90/270	30	1
Kärnten (Resultate siehe Kap. 3)	125	19.5	100	112/292	30	1
	125	17.9	100	0/180	30	1
KKM	250/500	56.8	100	45/225	30	1

Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM03.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKG	0301	23.6.03	6-20;22;24	4'601	204
Kärnten (Resultate siehe Kap. 3)	0302	24.6.03	1-17	3'667	169
	0303	24.6.03	1-17	4'252	123
KKM	5307	26.6.03	10-26;8;6	5'754	198

Im Folgenden wird nur noch auf die Flüge im Messgebiet KKG und KKM eingegangen, da die übrigen Messungen bereits in den vorangehenden Kapiteln genügend besprochen werden.

4.1 Messgebiet KKG

Aus zeitlichen Gründen wurden im Jahre 2003 nicht alle Linien des Standardprogrammes im Messgebiet KKG aeroradiometrisch vermessen. Die Messungen konzentrierten sich auf die nächsten Linien um das KKG und erfolgten während eines Fluges am 23. Juni. Die Daten wurden routinemässig ausgewertet und je eine Karte für die Ortsdosisleistung, die ¹³⁷Cs-Aktivität und den MMGC-Ratio erstellt.

Das Kernkraftwerk Gösgen war während den Messungen in Betrieb. Es konnte anhand der gammaspektrometrischen Messungen nicht detektiert werden. Auch die Bestrahlungsanlagen der Studer Kabelwerke AG konnten wie bereits 1999 und 2001 nicht detektiert werden. Die Resultate entsprechen innerhalb der Messunsicherheiten den Ergebnissen früherer Jahre.

4.1.1 Beilagen Messgebiet KKG

Beilage 13: Ortsdosisleistung im Messgebiet KKG mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage. Das Kernkraftwerkes Gösgen ist anhand der Dosisleistungen nicht zu erkennen. Es sind jedoch Muster zu sehen, die durch unterschiedliche Vegetation (Wiesen, Wald)

und Gewässer verursacht werden. Ausserhalb der umzäunten Areale sind ebenfalls keine erhöhten Dosisleistungen zu erkennen.

Beilage 14: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKG. In der Aktivitätskarte für Cäsium ist das KKG nicht zu erkennen.

Beilage 15: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKG (siehe Schwarz & Rybach, 1995). Das KKW Gösgen ist auch hier nicht zu erkennen. Der MMGC-Ratio weist im ganzen Messgebiet keine erhöhten Werte auf.

4.2 Messgebiet KKM

Vom Messgebiet KKM wurden aus zeitlichen Gründen im Jahre 2003 nur die nächsten Fluglinien zum Kernkraftwerk aeroradiometrisch vermessen. Die Messungen erfolgten während eines Fluges am 26. Juni. Die Daten wurden routinemässig ausgewertet. Es wurde je eine Karte für die Ortsdosisleistung, die ^{137}Cs -Aktivität und den MMGC-Ratio erstellt.

Das Kernkraftwerk Mühleberg war während den Messungen in Betrieb. Beim Kernkraftwerk Mühleberg kommt ein Siedewasserreaktor zum Einsatz. Deshalb konnte das Werk aufgrund der hochenergetischen ^{16}N -Strahlung identifiziert werden. Bei ^{16}N handelt es sich um ein Aktivierungsprodukt (Reaktion $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $T_{1/2}=7.3$ s; zwei Gammalinien bei 6.13 MeV und 7.11 MeV), das durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da dies nach oben nicht vollständig abgeschirmt ist, kann die ^{16}N -Strahlung aus der Luft detektiert werden. Die hochenergetische Strahlung wird dabei hauptsächlich im kosmischen Fenster registriert, wobei aber die Streustrahlung im ganzen Spektrum von 40-3000 keV festgestellt werden kann. Neben dieser Streustrahlung konnte in unmittelbarer Umgebung des KKM auch ^{60}Co im Spektrum identifiziert werden (Abbildung 10). Dieses stammt von radioaktiven Abfällen, die sich im örtlichen Zwischenlager befinden.

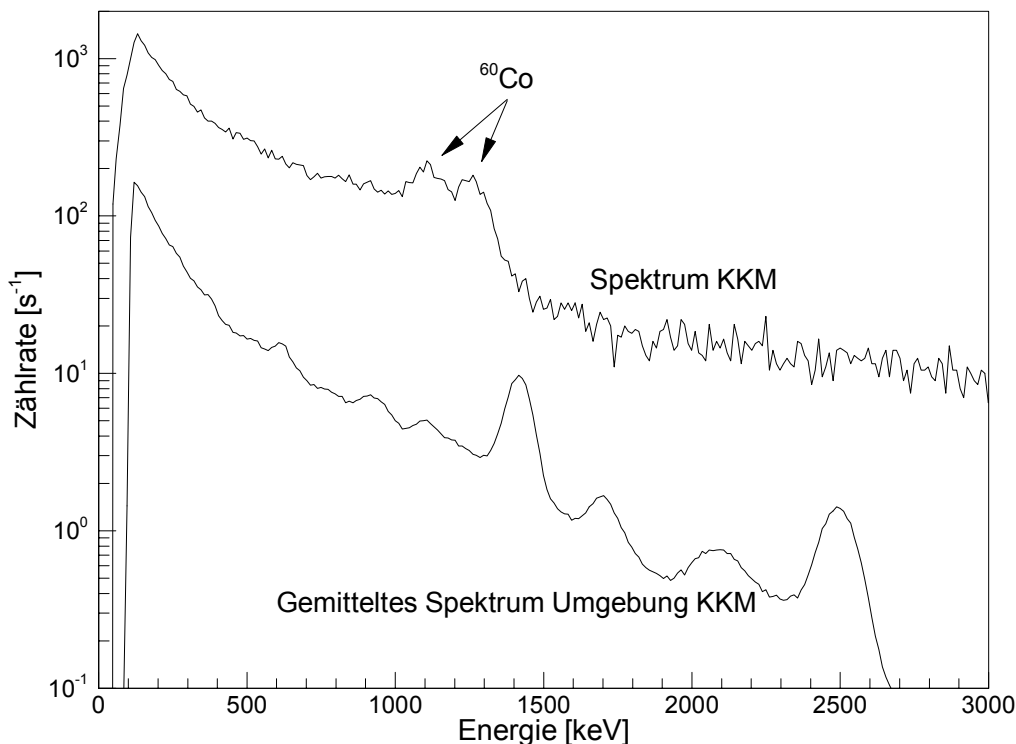


Abbildung 10: Gemitteltetes Spektrum in unmittelbarer Umgebung des KKM im Vergleich zu einem der weiteren Umgebung des KKM.

4.2.1 Beilagen Messgebiet KKM

Beilage 16: Ortsdosisleistung im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage. Deutlich ist der Standort des Kernkraftwerkes Mühleberg anhand erhöhter Dosisleistungen zu erkennen. Im weiteren sind Muster zu sehen, die durch unterschiedliche Vegetation (Wiesen, Wald) und Gewässer verursacht werden. Ausserhalb der umzäunten Areale sind keine wesentlich erhöhte Dosisleistungen zu erkennen.

Beilage 17: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKM. In der Aktivitätenkarte für Cäsium ist das KKM nicht zu erkennen.

Beilage 18: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM (siehe Schwarz & Rybach, 1995). Eindeutig ist wiederum das KKW Mühleberg zu erkennen. Ausserhalb der umzäunten Areale weist der modifizierte MMGC-Ratio keine erhöhten Werte auf.

5 Internationales

Im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS fand im Januar 2003 ein Meeting in Roiffé/F statt. Dort wurden die Resultate der internationalen Messübung, die im Jahre 2002 im Rahmen dieses Projektes in Schottland durchgeführt wurde, von den verschiedenen Messteams präsentiert und diskutiert. Zudem wurden Möglichkeiten für ein Folgeprojekt innerhalb des nächsten EU-Rahmenprogrammes besprochen. Leider konnte sich keines der Messteams entschliessen, die Federführung für ein Folgeprojekt zu übernehmen.

Im Juni 2003 wurde anlässlich eines Meetings in East Kilbride/UK, an dem Ludovic Guillot (CEMA/F), Alan Cresswell (SURRC/UK), Simon Karlsson (SSI/S) und Benno Bucher (PSI/CH) teilnahmen, ein Datenformat definiert, mit dem sowohl Roh- als auch ausgewertete Daten einfach ausgetauscht werden können. Das Datenformat basiert auf dem für die ECCOMAGS-Übung von R. Finck (SSI/S) erweiterten NKS-Format. Es wurde eine weitere Gruppe von Bezeichnern definiert, um die bei der Auswertung der Daten verwendeten Faktoren (Strippingkoeffizienten, Abschwächungskoeffizienten, etc.) integrieren zu können. Zudem wurden die Spektrumsdaten in das Datenformat integriert. Es wurde die Möglichkeit geschaffen, im selben Datensatz die Koordinaten in mehreren Koordinatensystemen anzugeben.

Ende 2003 erschien der Bericht (Sanderson et al., 2003) zur internationalen Messübung in Schottland, die im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS (European Coordination and Calibration of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry) durchgeführt wurde. Mit dem Jahre 2003 lief auch das EU-Projekt ECCOMAGS aus. Ein neues EU-Projekt wurde nicht eingereicht. Die bestehenden Kontakte sollen aber weiterhin gepflegt werden.

6 Ausblick

In der zweiten Jahreshälfte 2003 konnten die Komponenten für die Erneuerung der beiden Aeroradiometriesysteme evaluiert und gekauft werden. Ende des Jahres wurde mit der Erneuerung des Racks B begonnen. Im Jahre 2004 soll die Erneuerung der Messsysteme abgeschlossen werden. Es ist darauf zu achten, dass immer ein Messsystem einsatzbereit ist. Mit der Erneuerung der Messsystems gehen die Wartungsarbeiten komplett ans PSI über.

Für die Messflüge 2004 sind neben dem Routineprogramm in der Umgebung der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut und des Zwischenlagers ZWILAG ein weiteres Ost-West-Profil vorgesehen. Dies wird entlang der Linie Rhein-Rhone erfolgen. Nachdem nun die radioaktiven Abfälle des Versuchsreaktors Lucens ins ZWILAG überführt worden sind, wird eine Freimessung im entsprechenden Messgebiet erfolgen. Um die Einsatzmöglichkeiten über einer Stadt zu prüfen, ist ein Messflug über der Stadt Lausanne vorgesehen.

7 Literaturhinweise

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

BUCHER, B., RYBACH, L., SCHWARZ, G., BÄRLOCHER, CHR., 2003: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung UARM02. PSI Bericht Nr. 03-11. ISSN 1019-0643.

SANDERSON, D.C.W., CRESSWELL, LANG, J.J. (Editors), 2003: An International Comparison of Airborne and Ground Based Gamma Spectrometry, University of Glasgow Press.

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

SCHWARZ, G.F., RYBACH, L.: 1995: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1994 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

8 Beilagen

Beilage 1: Ortsdosisleistungskarte im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.

Beilage 2: ^{137}Cs -Aktivitätenkarte im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.

Beilage 3: Karte der korrigierten ^{60}Co -Zählrate im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.

Beilage 4: Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.

Beilage 5: Die Grafik zeigt, wie die fünf im Messgebiet Nötsch entdeckten Quellen im Regenbogenspektrum (oben links) in Erscheinung traten.

Beilage 6: Ortsdosisleistungskarte im Messgebiet Althofen/A.

Beilage 7: ^{137}Cs -Aktivitätenkarte im Messgebiet Althofen/A.

Beilage 8: Karte der korrigierten ^{60}Co -Zählrate im Messgebiet Althofen/A

Beilage 9: Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet Althofen/A

Beilage 10: Die Grafik zeigt, wie die fünf im Messgebiet Althofen entdeckten Quellen im Regenbogenspektrum (oben links) in Erscheinung traten.

Beilage 11: Zählraten im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A gemessen von den österreichischen Strahlenspürern.

Beilage 12: Zählraten im Messgebiet Althofen/A gemessen von den österreichischen Strahlenspürern.

Beilage 13: ODL-Karte mit Fluglinien und Standort des KKW im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.

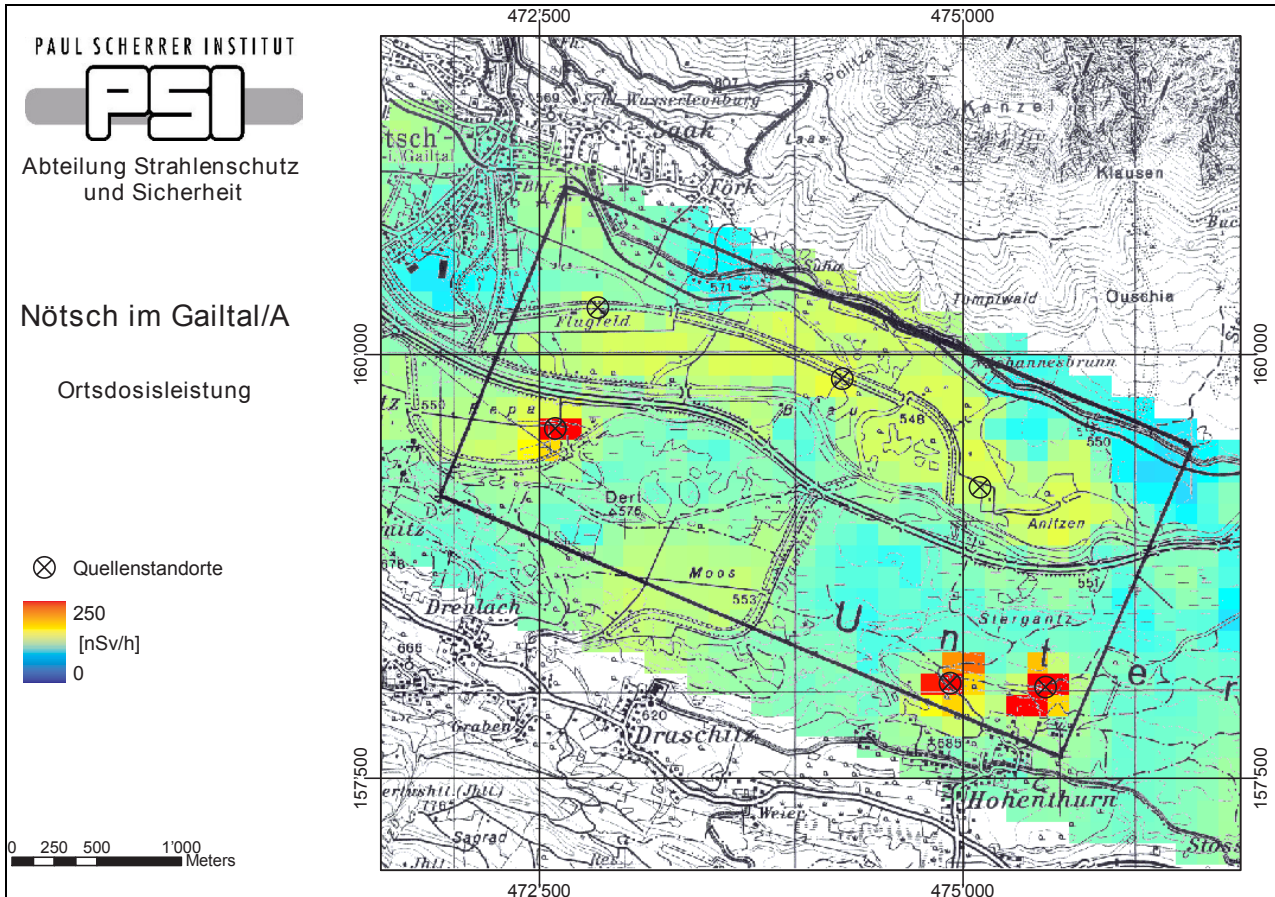
Beilage 14: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.

Beilage 15: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.

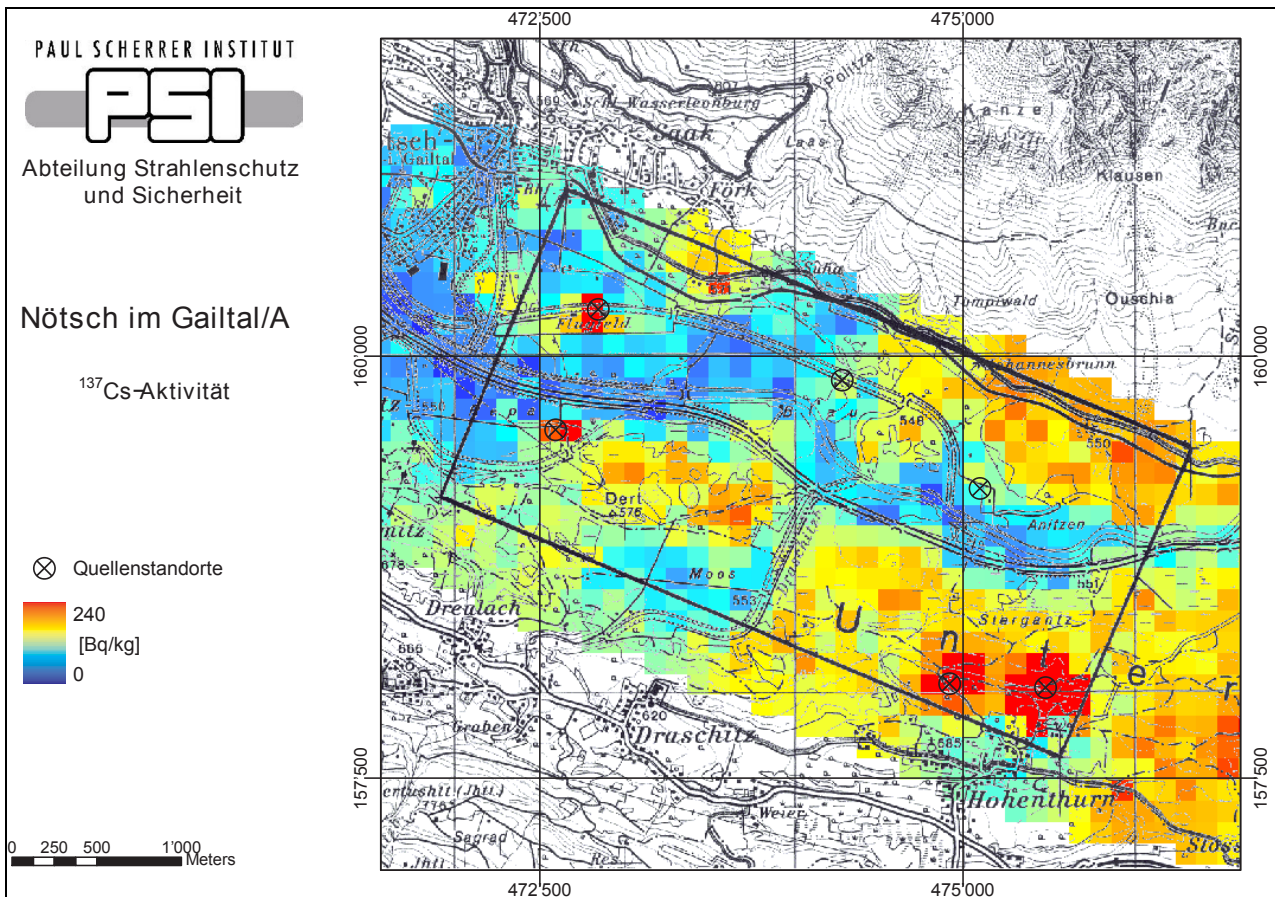
Beilage 16: ODL-Karte mit Fluglinien und Standort des Werkes im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.

Beilage 17: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.

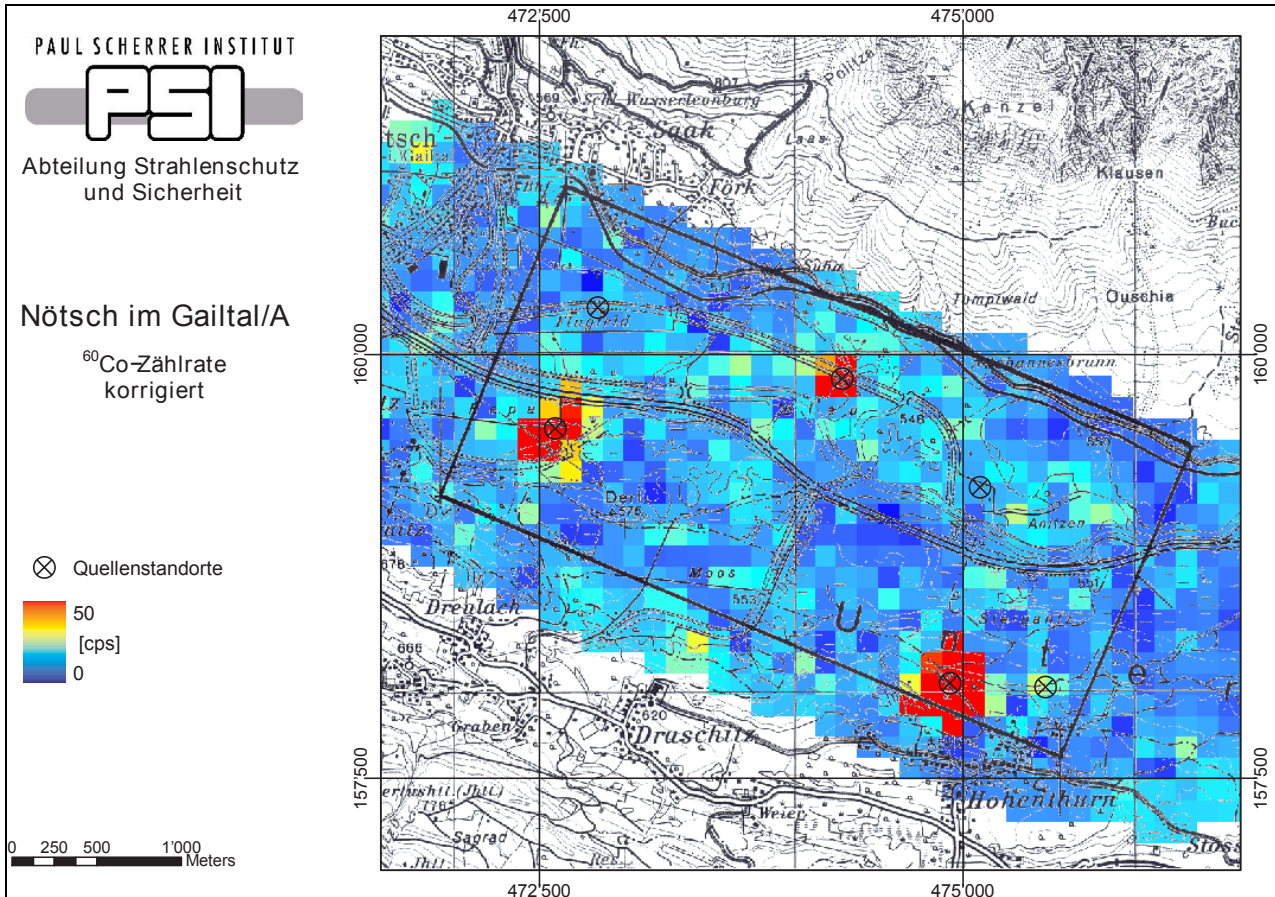
Beilage 18: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



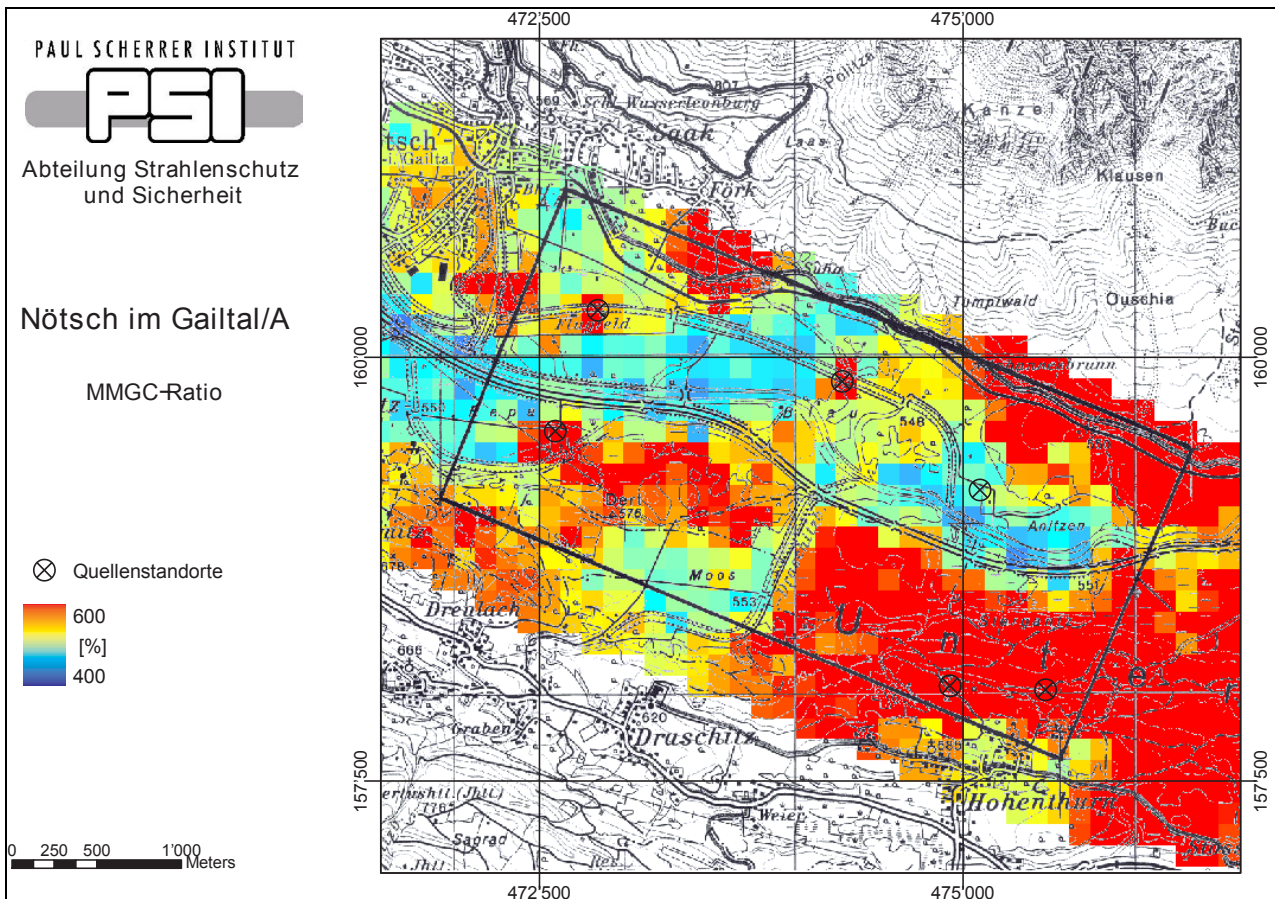
Beilage 1: Ortsdosisleistungskarte im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.



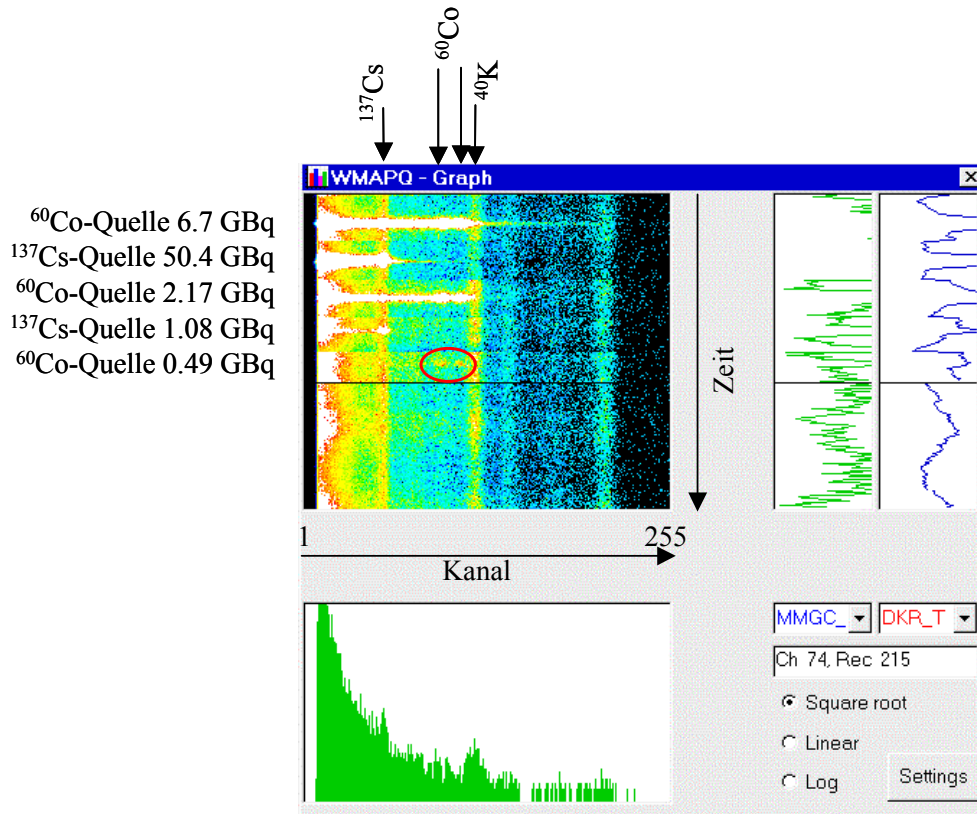
Beilage 2: ¹³⁷Cs-Aktivitätenkarte im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.



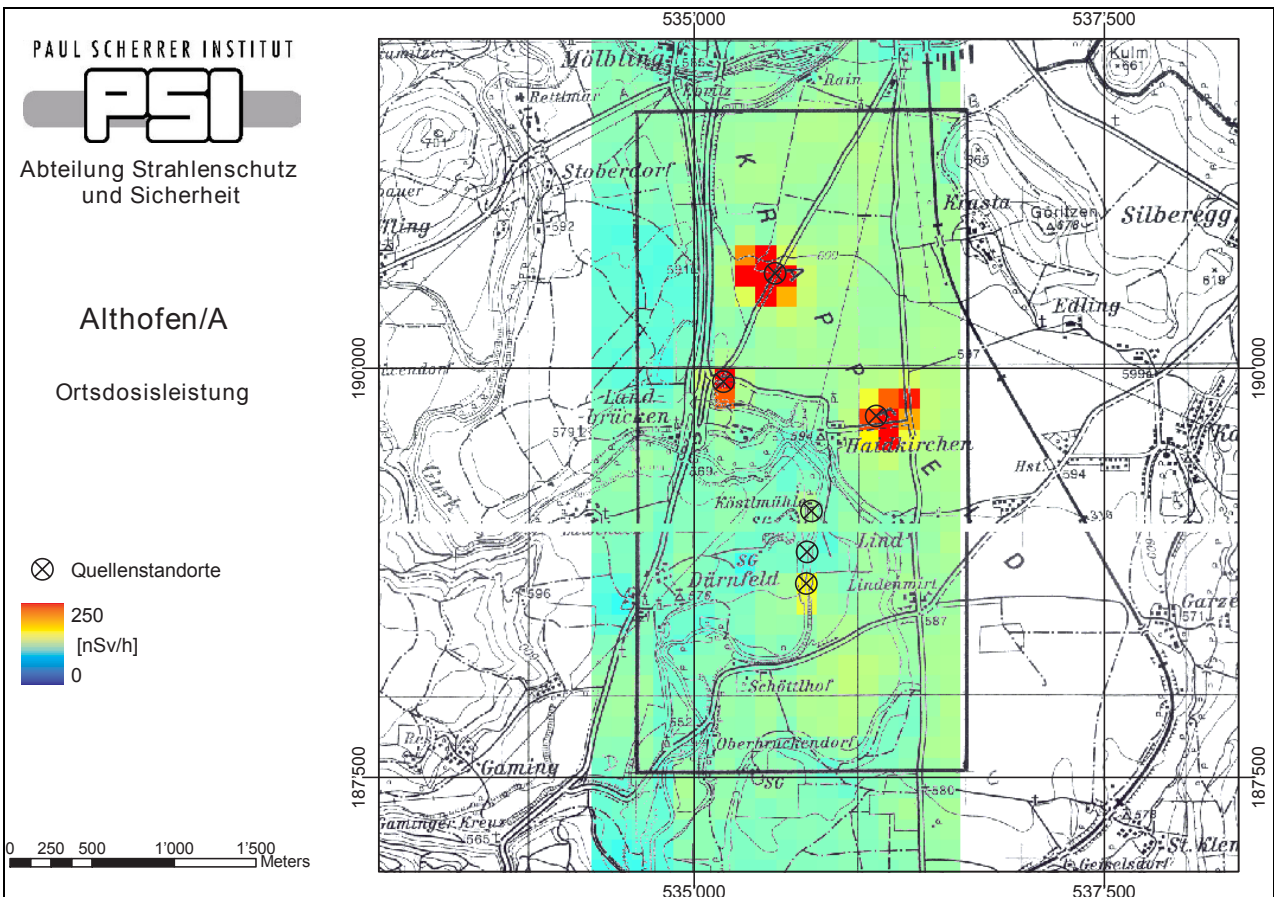
Beilage 3: Karte der korrigierten ⁶⁰Co-Zählrate im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.



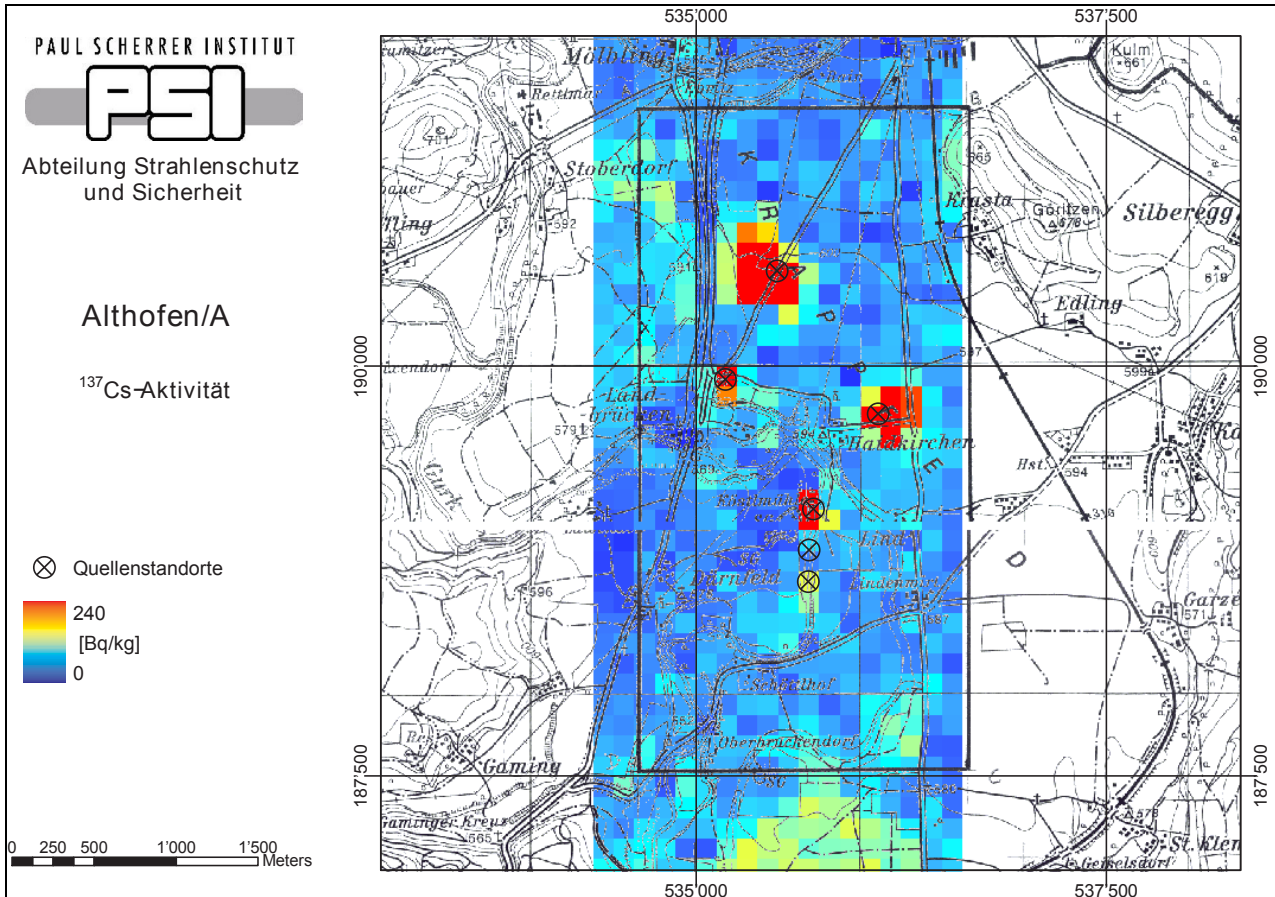
Beilage 4: Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A.



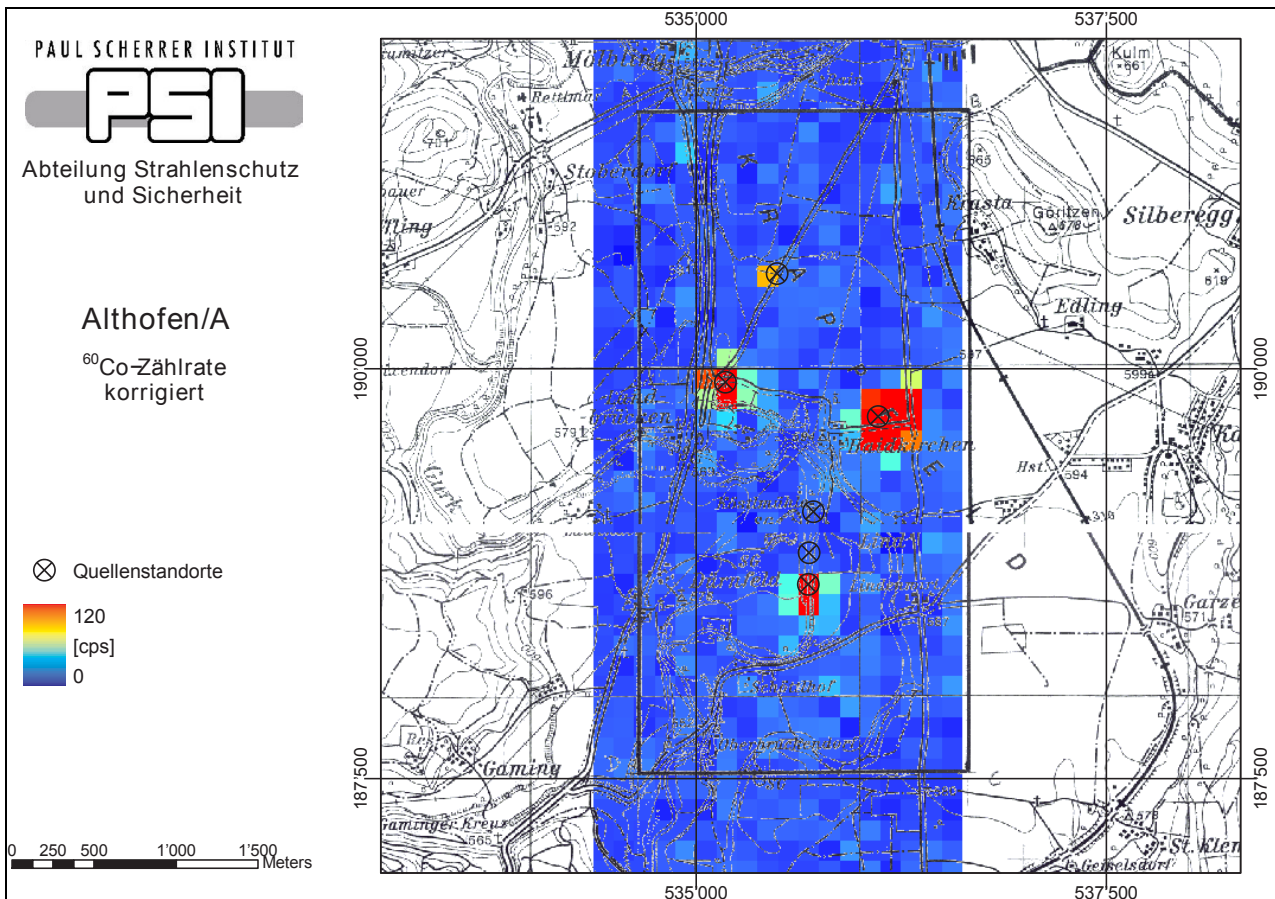
Beilage 5: Die Grafik zeigt, wie die 5 im Messgebiet Nötsch entdeckten Quellen im Regenbogenspektrum (oben links) in Erscheinung traten.



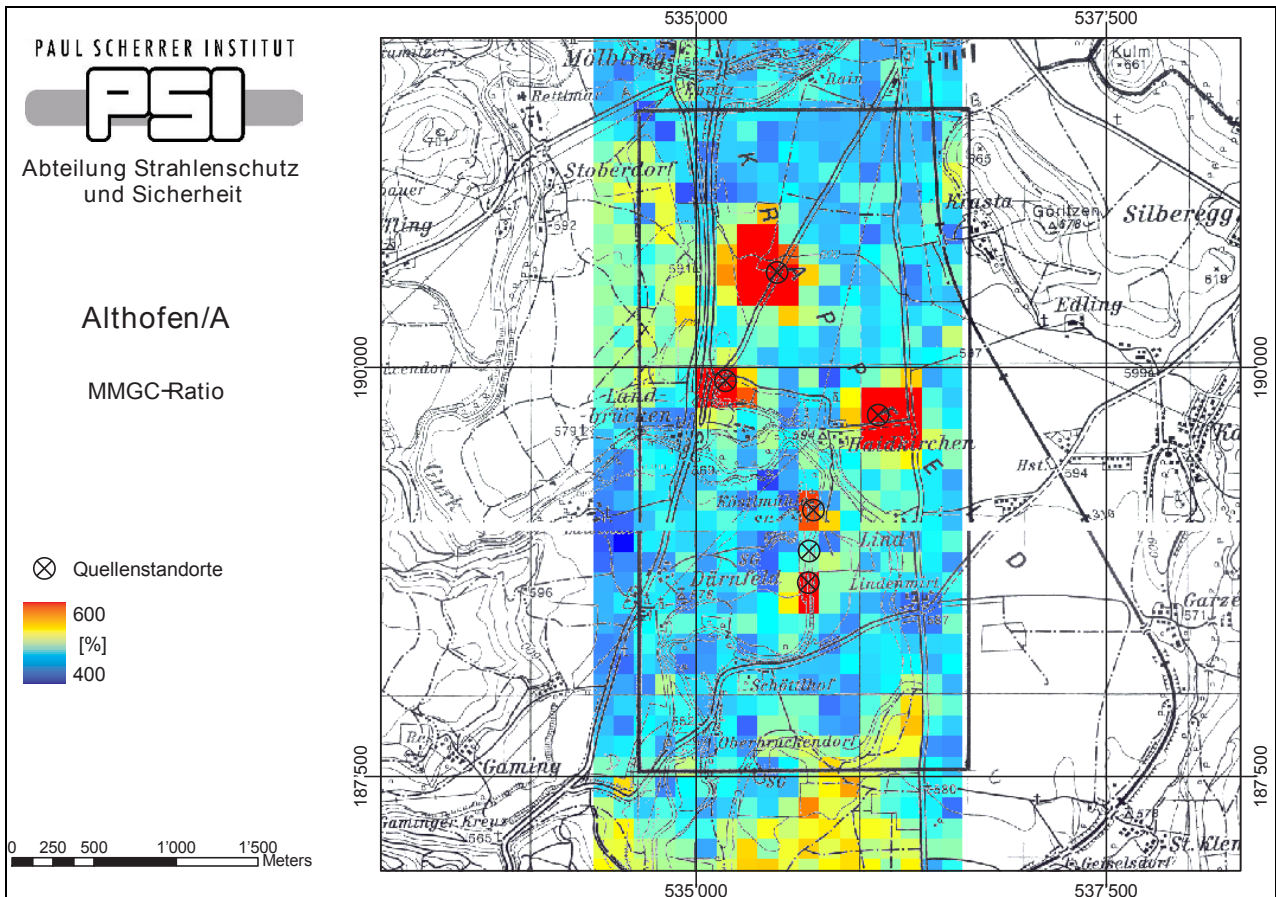
Beilage 6: Ortsdosisleistungskarte im Messgebiet Althofen/A.



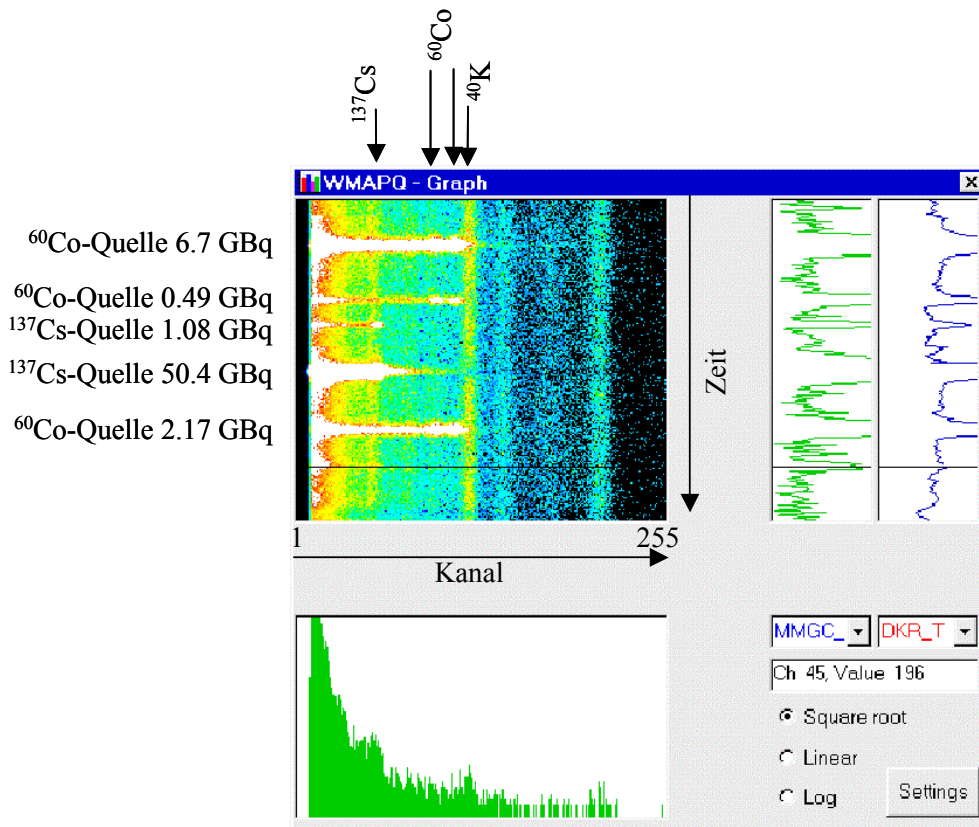
Beilage 7: ¹³⁷Cs-Aktivitätenkarte im Messgebiet Althofen/A.



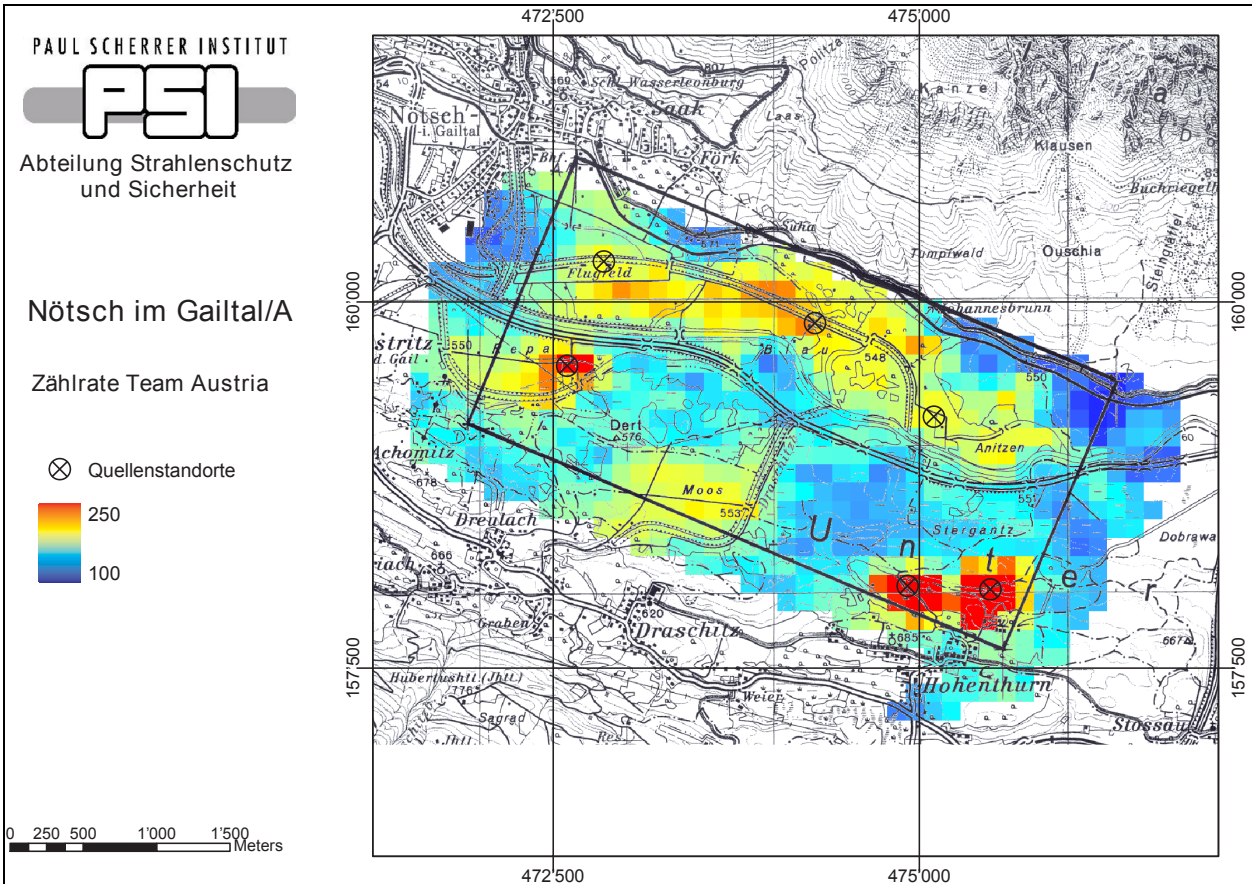
Beilage 8: Karte der korrigierten ⁶⁰Co-Zählrate im Messgebiet Althofen/A



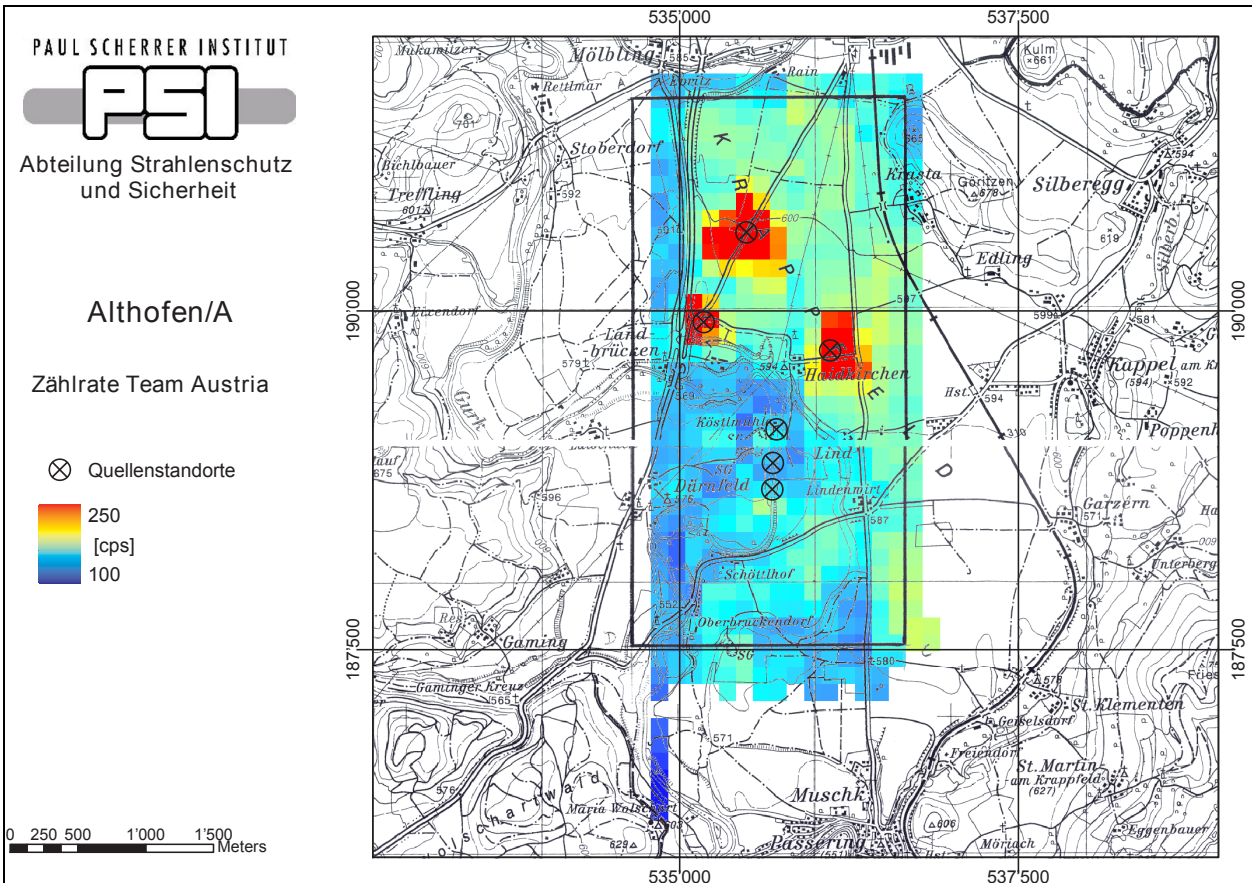
Beilage 9: Karte des MMGC-Ratio im Messgebiet Althofen/A



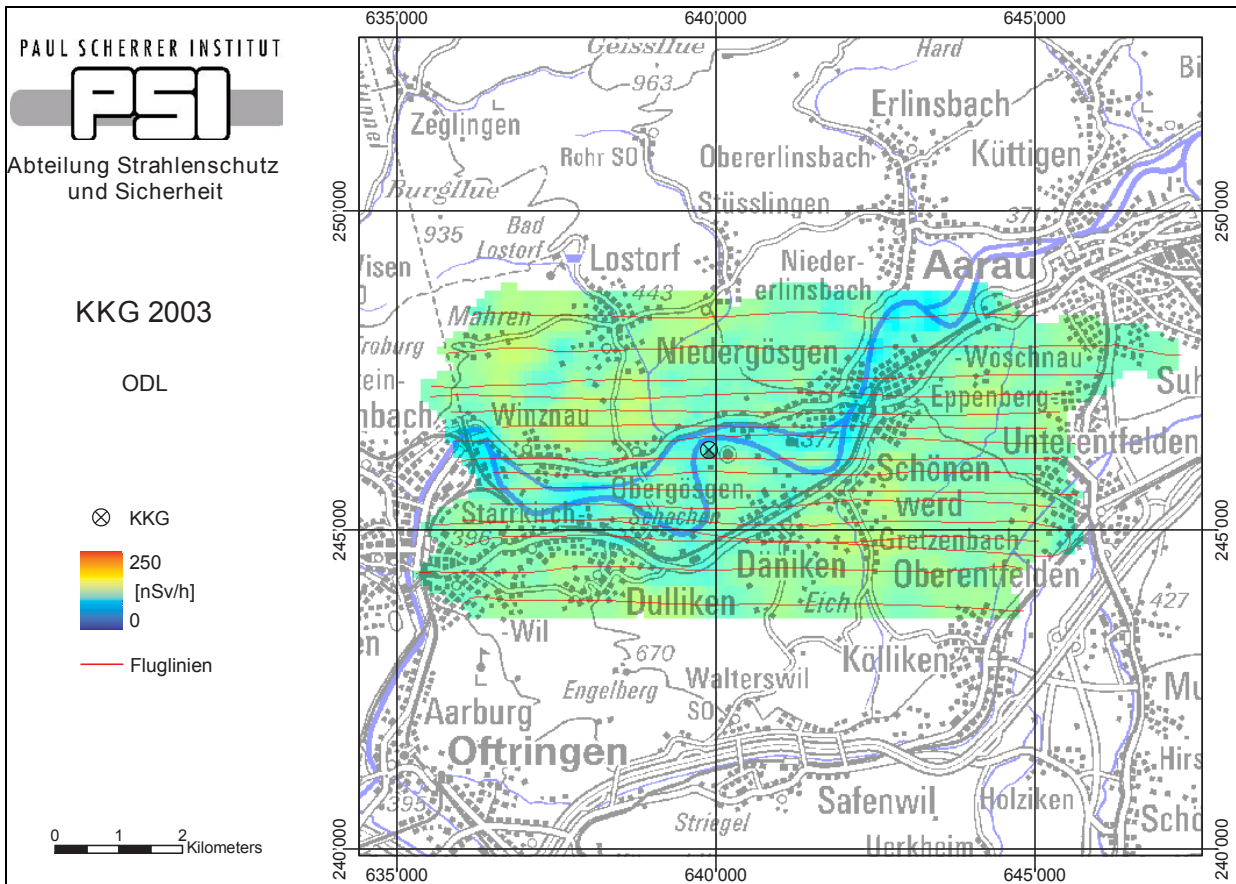
Beilage 10: Die Grafik zeigt, wie die 5 im Messgebiet Althofen entdeckten Quellen im Regenbogenspektrum (oben links) in Erscheinung traten.



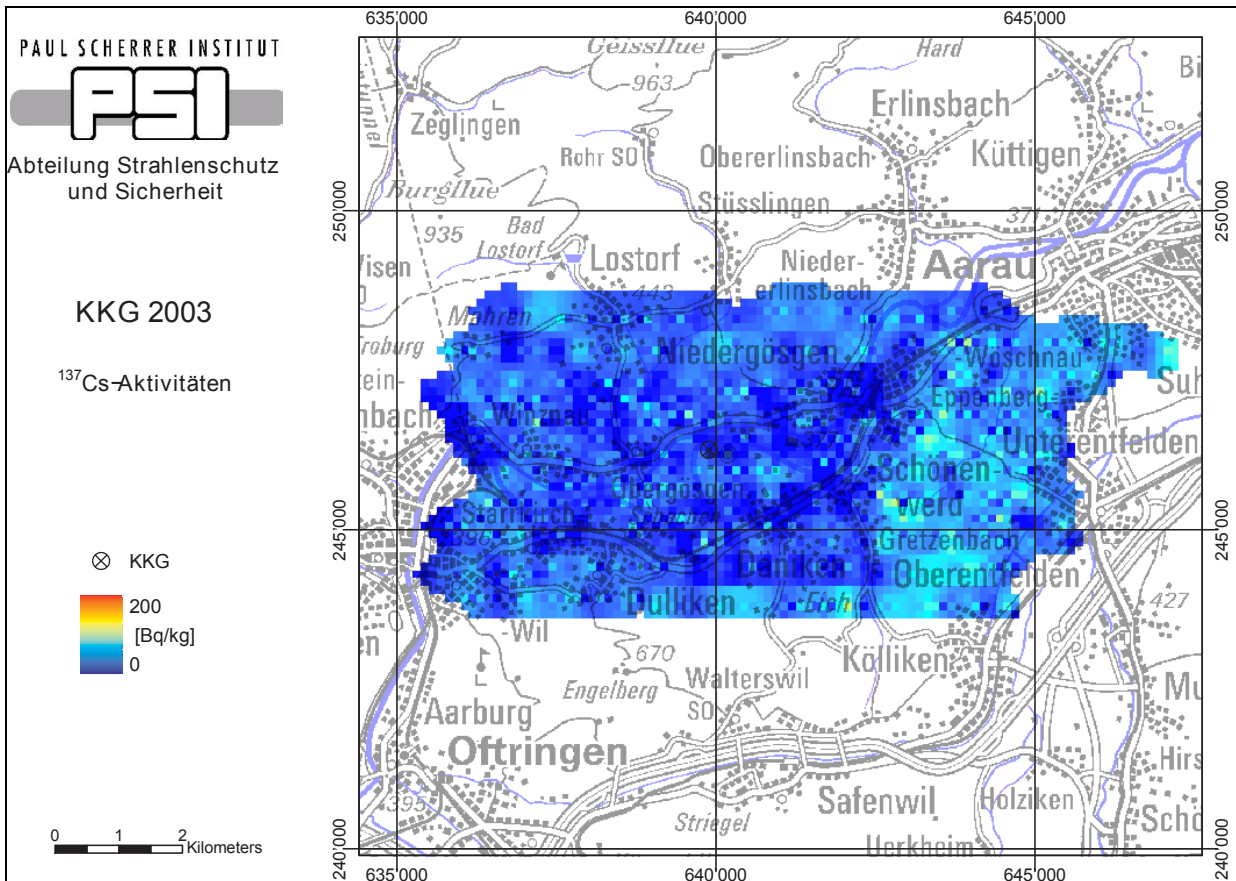
Beilage 11: Zählraten im Messgebiet Nötsch im Gailtal/A gemessen von den österreichischen Strahlenspürern.



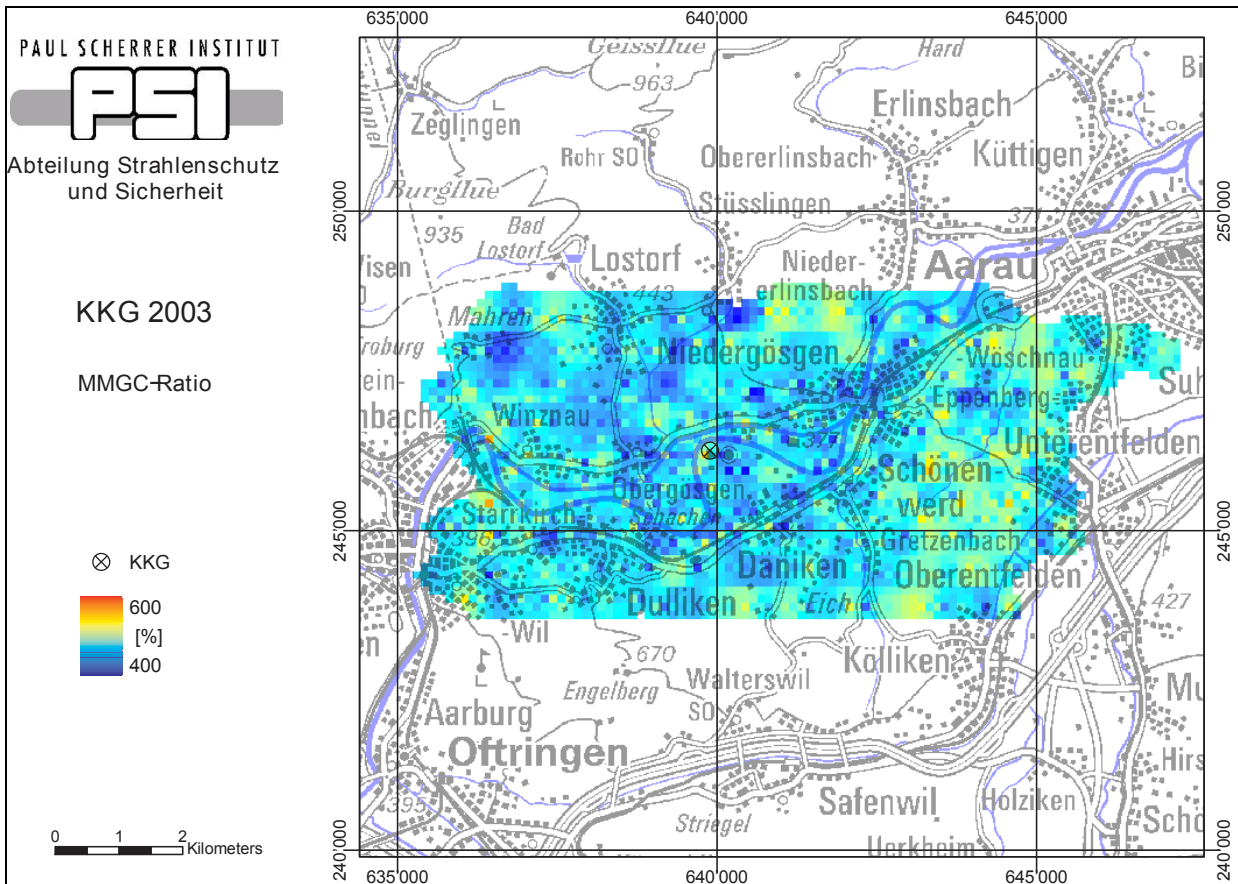
Beilage 12: Zählraten im Messgebiet Althofen/A gemessen von den österreichischen Strahlenspürern.



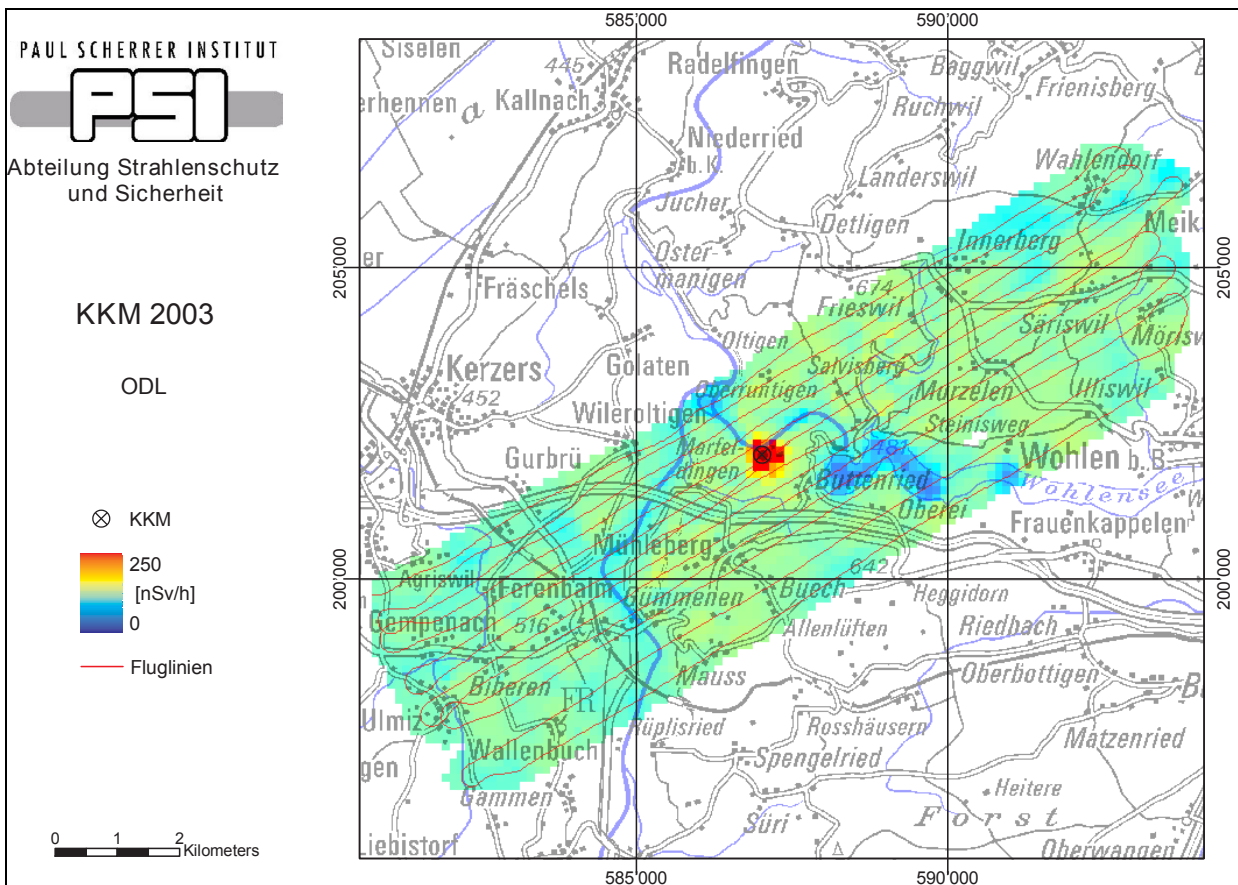
Beilage 13: ODL-Karte mit Fluglinien und Standort des KKW im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



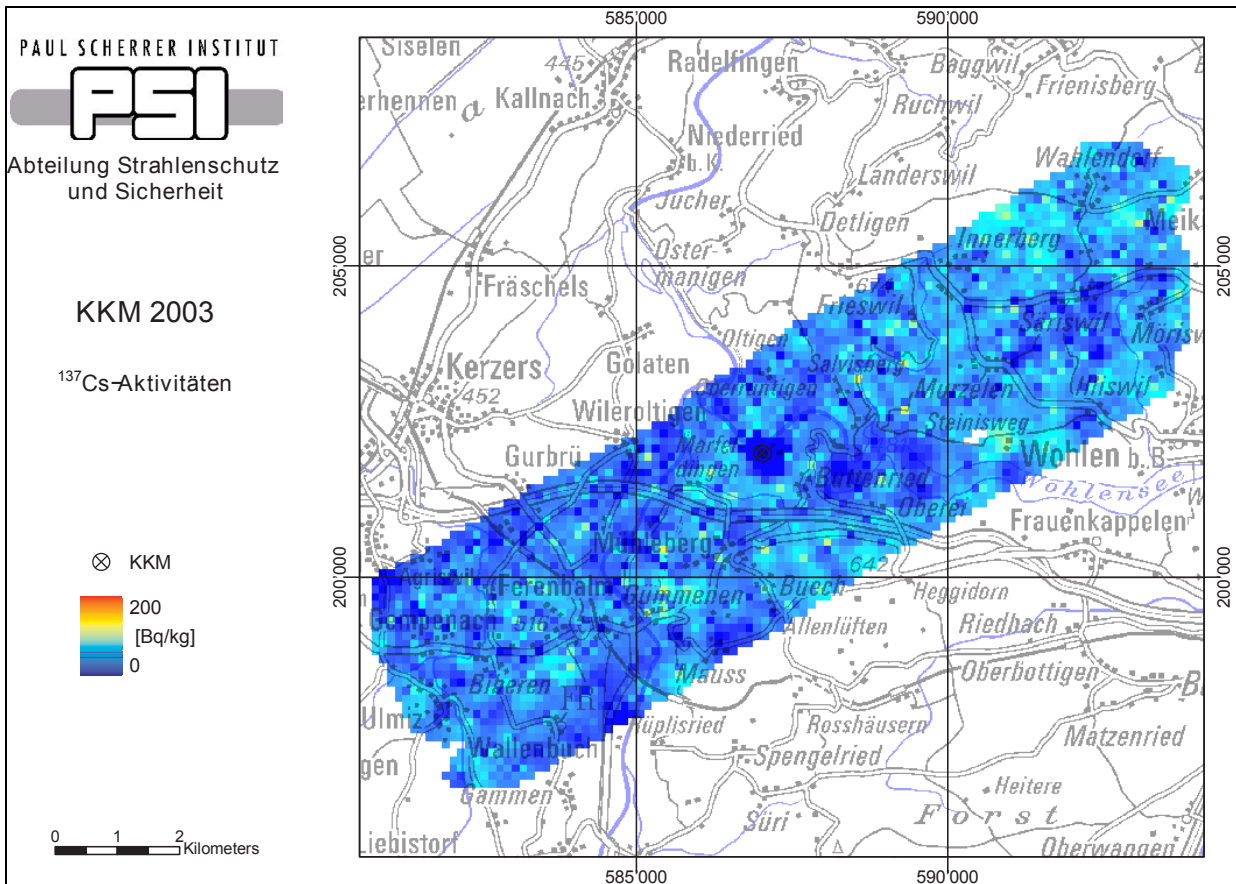
Beilage 14: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



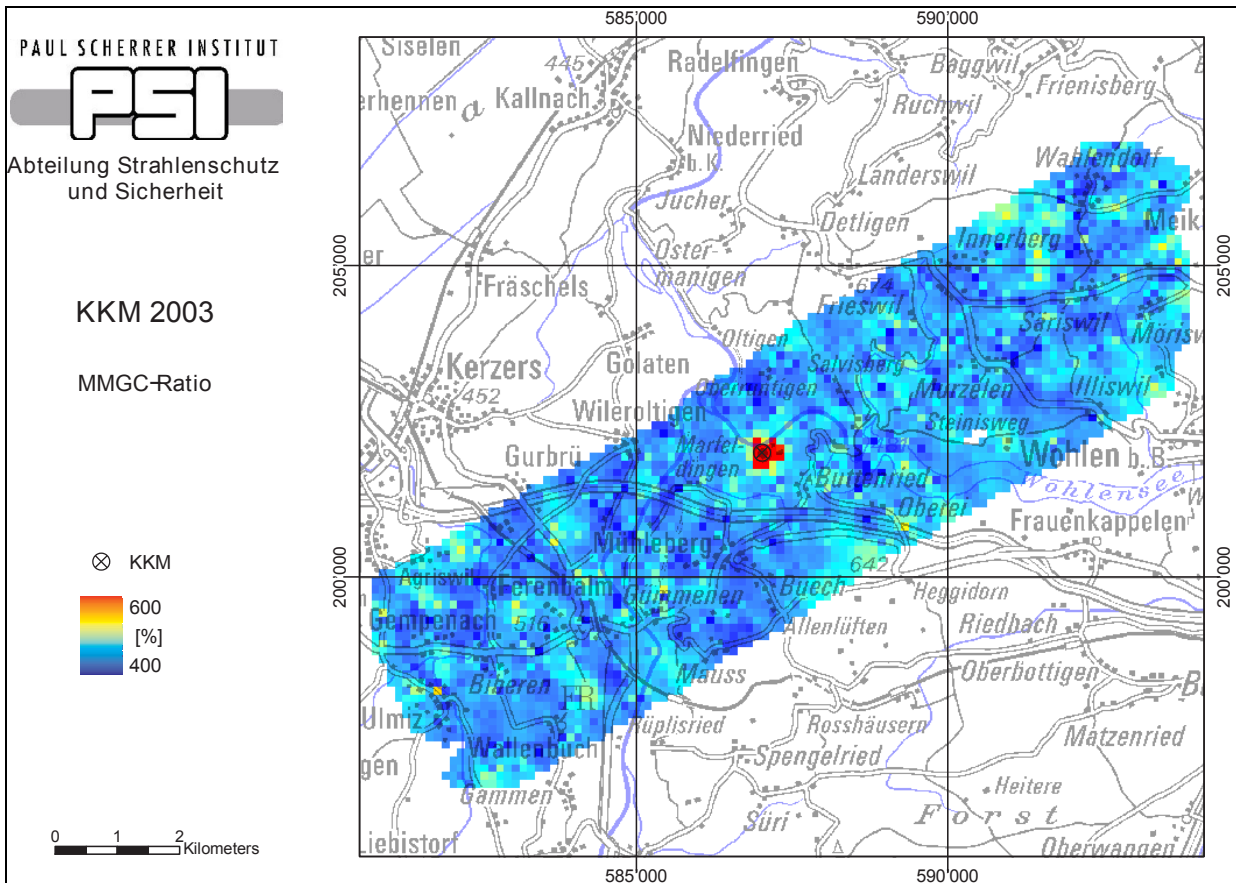
Beilage 15: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKG. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



Beilage 16: ODL-Karte mit Fluglinien und Standort des Werkes im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



Beilage 17: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.



Beilage 18: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM. Kartendaten: PK200© 2000 swisstopo.