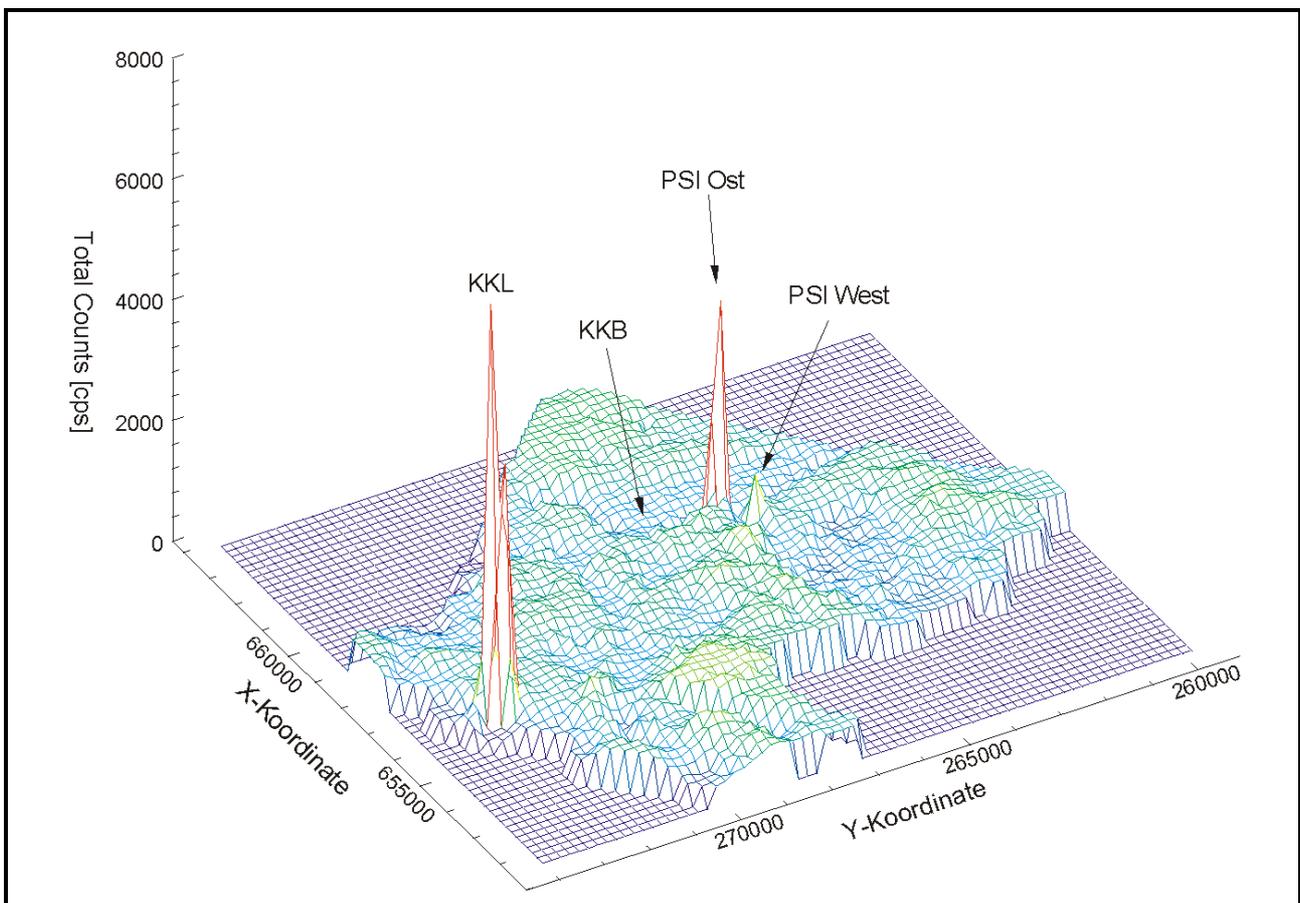


B. Bucher, L. Rybach, G. Schwarz, Chr. Bärlocher

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM98

Bericht für das Jahr 1998 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie
(FAR)



März 1999

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG	1
2 EINLEITUNG	2
3 VERGLEICHE GEMEINSAMER MESSFLUG A - CH (ARM97)	3
3.1 Koordinaten	3
3.2 Flughöhen und Geländemodelle	4
3.3 Radon	6
3.4 Spektren	7
4 GEOGRAPHISCHES INFORMATIONSSYSTEM (GIS) IN DER AERORADIOMETRIE	9
5 BESTIMMUNG DER DOSISLEISTUNG	10
6 ERGEBNISSE	15
6.1 Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, Paul Scherrer Institut	16
6.2 Piz Giuv	17
6.3 Centovalli	20
6.4 Wallis	21
6.4.1 Bietschtal	22
6.4.2 Sembrancher/Bovernier	22
6.4.3 Vernayaz/Salvan/Les Marécottes	23
6.4.4 Saillon/Mazembroz/Fully	24
6.5 Hombrechtikon	24
7 FAZIT	26
8 AUSBLICK	26
9 LITERATURHINWEISE	27
10 BEILAGEN	28

1 Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 29. Juni - 3. Juli 1998 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau und Leibstadt Messflüge über dem Piz Giuv (höchste natürliche Radioaktivität in der Schweiz), im Centovalli (erhöhte Cäsium-Werte) und in verschiedenen Gebieten des Wallis (Grenzen zwischen Kristallin und Sedimentdecken) zum Inhalt. Zusätzlich wurde ein Messflug im gleichen Gebiet mit und ohne das Mitführen einer Cäsium-Quelle durchgeführt, um zu prüfen, ob eine Quelle zur Kalibration beim Messflug mitgeführt werden kann. Daneben wurde auch der Ausbildungsstand des Messteams gefestigt. Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM98 und standen unter der Leitung der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Im Rahmen der turnusmässigen Messungen über den Kernanlagen wurden dieses Jahr die Gebiete der Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt vermessen. Die Resultate zeigen das gleiche Bild wie die Ergebnisse aus den letzten vier Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Beznau auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Das KKW Leibstadt hingegen konnte aufgrund der hochenergetischen ^{16}N Strahlung klar identifiziert werden. Auch das Areal des PSI in Würenlingen wies wie in früheren Jahren höhere Zählraten als die Umgebung auf. Ausserhalb der Kern- und Forschungsanlagen wurde jedoch keine erhöhte Radioaktivität festgestellt, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte. Der Aktivitätspegel hat sich im Vergleich zu den letzten Jahren kaum verändert.

Im Messgebiet des Piz Giuv musste teilweise wegen Wolken grössere Flughöhen in Kauf genommen werden. Trotzdem konnte der Syenit, der erhöhte Konzentrationen an Uran und Thorium aufweist, grösstenteils erkannt werden. Im Centovalli wurden durch die aeroradiometrischen Messungen die erhöhten Cäsium-Konzentrationen bestätigt, die aus früheren gammaspektrometrischen InSitu-Messungen bekannt werden. Bei den diversen Messflügen im Wallis konnten die Grenzen zwischen kristallinen Massiven und ihren Sedimentdecken identifiziert werden. Die Vergleichsflüge mit und ohne Cäsium-Quelle im Heck des Helikopters zeigen keine nennenswerten Unterschiede. Dies lässt den Schluss zu, dass eine Cäsium-Quelle zur Kalibration an einem anderen Ort im Helikopter mitgeführt werden kann, ohne dass negative Auswirkungen auf die Messresultate befürchtet werden müssen.

Detailliertere Vergleiche der Messresultate vom gemeinsamen Flug mit dem österreichischen Team (ARM97) führten zu Erkenntnissen, die für zukünftige Vergleichsflüge mit ausländischen Teams nützlich sein können. Es zeigten sich auch verschiedene Probleme bei den Messsystemen, die korrigiert oder verbessert werden sollen.

2 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 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 Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und die Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen.

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 verwendet. Das Messsystem wurde 1992 am Institut für Geophysik gebaut. Gleichzeitig mit dem aufgenommen Spektrum und der Position werden Luftdruck, Aussentemperatur, Radarhöhe und Lagewinkel des Helikopters aufgezeichnet.

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.

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.

Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgt mit dem Software-Paket 'Gamero'. Ihm 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).

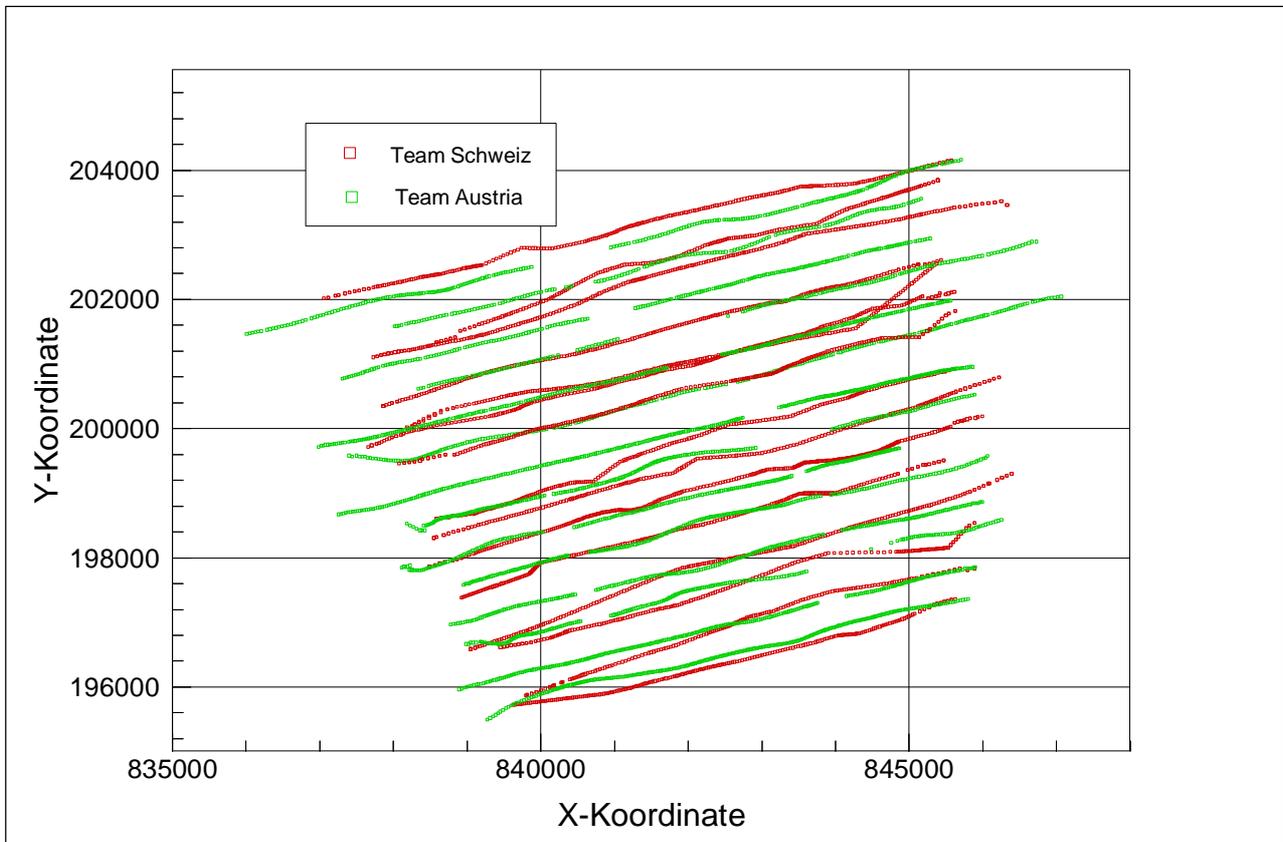
3 Vergleiche gemeinsamer Messflug A - CH (ARM97)

Da die Daten der österreichischen Kollegen erst spät in digitaler Form eintrafen, konnten detailliertere Auswertungen und Vergleiche im Bericht zur Übung ARM97 nicht mehr aufgenommen werden. Leider wurde seitens des österreichischen Teams auf den Steigflug im Inntal und auf den Flug über dem Gepatschstausee verzichtet, so dass in dieser Hinsicht keine Vergleiche möglich sind. Trotzdem konnten aus den erhaltenen, digitalen Daten verschiedene Schlüsse gezogen werden, die im folgenden beschrieben werden.

3.1 Koordinaten

Ein Hauptproblem beim Vergleich der schweizerischen und österreichischen Daten stellten die unterschiedlichen Koordinatensysteme dar, die von den beiden Ländern verwendet werden. Obwohl beide Teams das Global Positioning System (GPS) zur Positionsbestimmung verwenden, werden die Koordinaten der Messpunkte in Schweizer Landeskoordinaten oder in Koordinaten des österreichischen Bundesmeldenetzes (BMN) angegeben. Für eine exakte Umrechnung von einem Koordinatensystem ins andere sind mehrere Schritte nötig, die zum Teil komplexe Transformationen beinhalten. Für die mit GPS erhaltene Genauigkeit der Positionen reicht jedoch eine vereinfachte Umrechnung aus. Dabei wurden 3 markante topographische Punkte in der österreichischen und schweizerischen Karte bezeichnet und deren Koordinaten aus der Karte herausgelesen. Daraus wurde dann die Transformationsfunktion abgeleitet.

In Figur 1 sind die Fluglinien der beiden Teams zu sehen. Die Fluglinien des österreichischen Teams entsprechen ziemlich genau den geplanten Linien, während die Flugwege des Schweizer Teams zum Teil grosse Abweichungen aufweisen. Ein Teil der Abweichungen des Schweizer



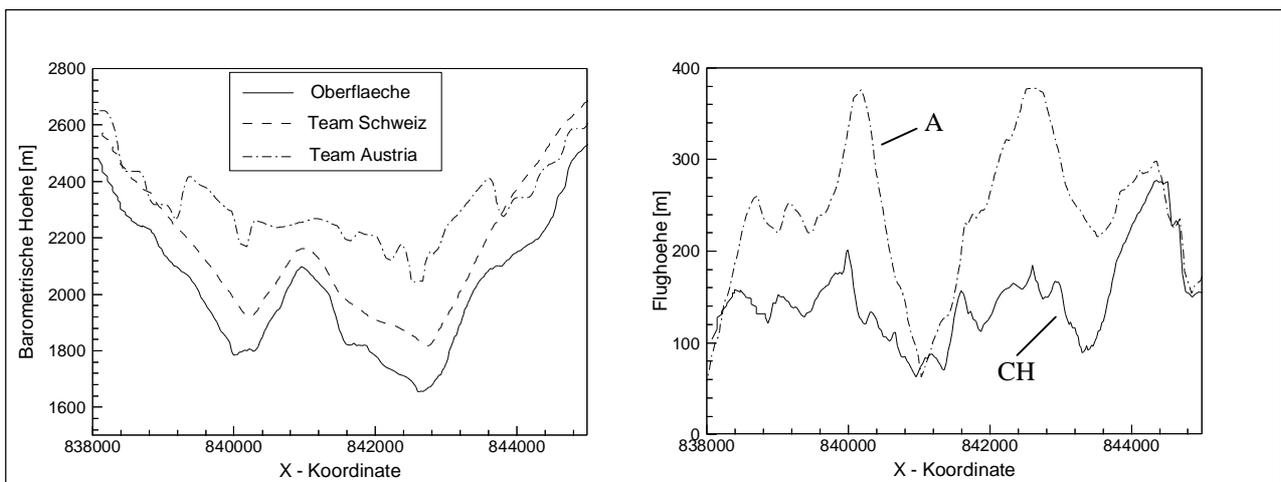
Figur 1: Fluglinien des österreichischen und des schweizerischen Aeroradiometrie-Teams im gemeinsamen Messgebiet Radurschtal. Die Koordinaten entsprechen Schweizer Landeskoordinaten.

Teams lässt sich auf GPS-Probleme zurückführen. Wie sich bei verschiedenen Messungen in den letzten Jahren gezeigt hat, sind Probleme bei der Positionierung in alpinem Gelände keine Seltenheit. Sprünge in den Koordinaten von einem Messpunkt zum nächsten von bis zu 500 m werden durch Konstellationsänderungen der zur Verfügung stehenden Satelliten verursacht (Bucher et al. 1998). Die Verwendung von Differential GPS könnte hier zu Verbesserungen führen. In den österreichischen Daten fehlen zum Teil die Messpositionen über den beiden Haupttälern. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass diese Messpunkte aufgrund der sehr grossen Flughöhen herausgeschnitten wurden.

Bei länderübergreifenden Messungen stellen die verschiedenen Koordinatensysteme immer ein gewisses Problem dar. Deshalb sollten bei Standardisierungen, wie sie auch innerhalb des EU-Projektes ECEAGS angestrebt werden, auch die Koordinatensysteme miteinbezogen werden. Da die meisten Messteams GPS zur Positionierung verwenden, wäre das WGS84 als Standard-Referenzsystem ideal. Die Position sollte dann in den Rohdaten als WGS84-Koordinaten abgespeichert werden. Mit entsprechenden Standardroutinen liessen sich die Positionen dann in ein beliebiges nationales oder internationales Koordinatensystem transformieren.

3.2 Flughöhen und Geländemodelle

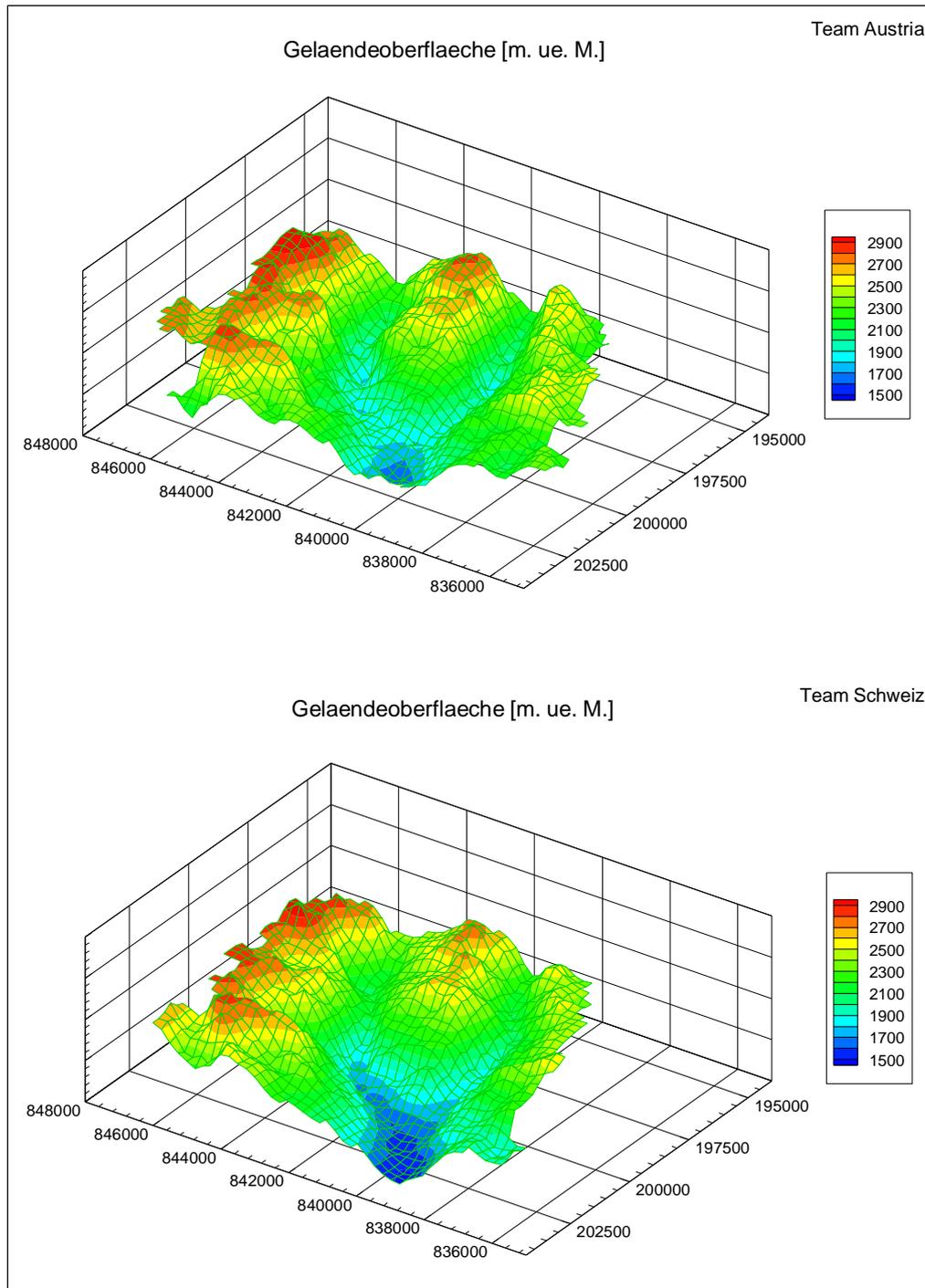
Aufgrund der starken Topographie mit tiefen Tälern und Bergkämmen mit Höhen über 3000 m ü. M. war es unmöglich die Sollflughöhe von 100 m über Grund einzuhalten. Die Flughöhen variierten sehr stark, da die eingesetzten Helikopter an ihre Leistungsgrenzen stiessen und der Sicherheit grösste Beachtung geschenkt wurde. Beim Vergleich der Flughöhen der beiden Messteams konnte festgestellt werden, dass das Schweizer Messteam vor allem in den Tälern die Flughöhen etwas besser einhalten konnte (Figuren 2). Trotzdem waren in den Tälern Flughöhen über 200 m keine Ausnahme. Zu grosse Flughöhen können zu enormen Fehlern in den Resultaten der Datenauswertung führen. Bei starker Topographie können diese Fehler noch verstärkt werden. Dies ist vorallem in engen Tälern der Fall, wo bei grossen Flughöhen die Talflanken in ähnlicher Distanz liegen wie der Talgrund und so einen grösseren Anteil zu den gemessenen Counts liefern. In Figur 2 auch unruhige Muster in den österreichischen Barometerdaten zu erkennen, die nicht rein durch Helikoptermanöver erklärt werden können.



Figur 2: Vergleich von barometrischer Höhe und Flughöhe der beiden Teams entlang der Messlinie 9. Bei den barometrischen Höhen fallen die treppenartigen und teilweise sprunghaften Änderungen und die grösseren Höhen über den Tälern auf. Bei den Flughöhen sind ebenfalls die Täler mit grösseren Werten zu erkennen.

Für die Korrektur der topographischen Effekte verwenden beide Teams ein Höhenmodell, das aus Flughöhe und barometrischer Höhe generiert wird. Normalerweise reicht seine Genauigkeit völlig

aus. Sie ist jedoch stark von der Eichung des Barometers und der daraus berechneten barometrischen Höhe abhängig. Der Höhenbereich der auf diese Weise berechneten Modelle stimmt relativ gut mit den Angaben auf topographischen Karten überein. Es gibt jedoch einzelne Bereiche, wo die Höhen im Modell über- oder unterschätzt werden. Beim Vergleich der Höhenmodelle der beiden Teams erkennt man eine gute Übereinstimmung in den topographischen Merkmalen. Die Täler in den zwei Modellen weisen jedoch teilweise verschiedene Höhen auf,



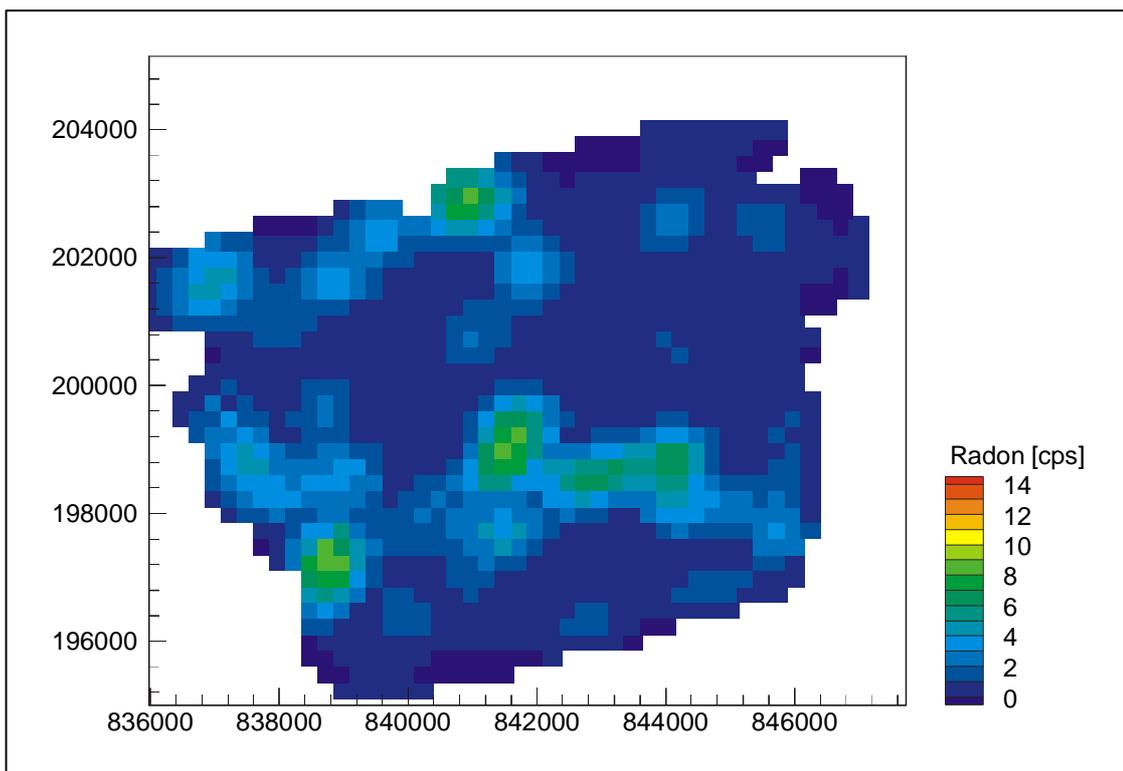
Figur 3: Geländemodelle der beiden Teams berechnet aus barometrischen Höhen und Flughöhen. Oben ist das Modell des österreichischen Teams, unten das des Schweizer Teams dargestellt. Die Blickrichtung ist von Nordwest nach Südost.

wobei die Werte im österreichischen Modell für die höher gelegenen Teile der Täler zu tief sind.

Wird eine Topographiekorrektur mit Hilfe eines Geländemodells durchgeführt, können Ungenauigkeiten im Modell den Fehler in den Resultaten erhöhen. Vor allem bei grossen Flughöhen treten häufig Überkorrekturen auf. Deshalb wäre es in einem Gebiet mit starker Topographie von Vorteil, zusätzliche Fluglinien entlang der Talsohlen zu fliegen. So wäre es möglich, auch im Talgrund zuverlässige Messdaten zu erhalten.

3.3 Radon

Das österreichische Messteam verwendet bei ihren Messungen einen zusätzlichen Detektor, der die Strahlung von oben misst (sogenannter Up-Looking Detektor). Die damit erhaltenen Werte werden bei der Background - Korrektur verwendet, im besonderen für die Korrektur des Radon - Töchter Backgrounds. Rauhe Topographie kann jedoch diese Messwerte stark beeinflussen. Denn entlang von Bergkämmen oder Talflanken kann auch höhergelegenes Gelände in den Up-Looking Detektor einstrahlen. Dies führt zu erhöhten Zählraten, die dann eine zu hohe Korrektur verursachen. Die aus diesen Messwerten abgeleitete Karte für die Korrektur des Radon - Töchter Backgrounds zeigt grösstenteils Werte zwischen null und vier Counts pro Sekunde (Figur 4). Vereinzelt sind jedoch Hot - Spots zu erkennen. Eine Systematik für die höheren Werte kann nicht eruiert werden. Sie liegen jedoch grösstenteils in der Nähe von Bergkämmen und steilen Talflanken. Die vom schweizerischen Team verwendete Radonkorrektur von 8 cps, die mit Hilfe der Messlinie über dem Gepatsch - Stausee bestimmt wurde, liegt im Wertebereich des



Figur 4: Gefilterte Radonkarte des österreichischen Teams, hergeleitet aus Messwerten des Up - Looking Detektors. Im grössten Teil des Messgebietes liegen die Werte zwischen 0 und 4 cps.

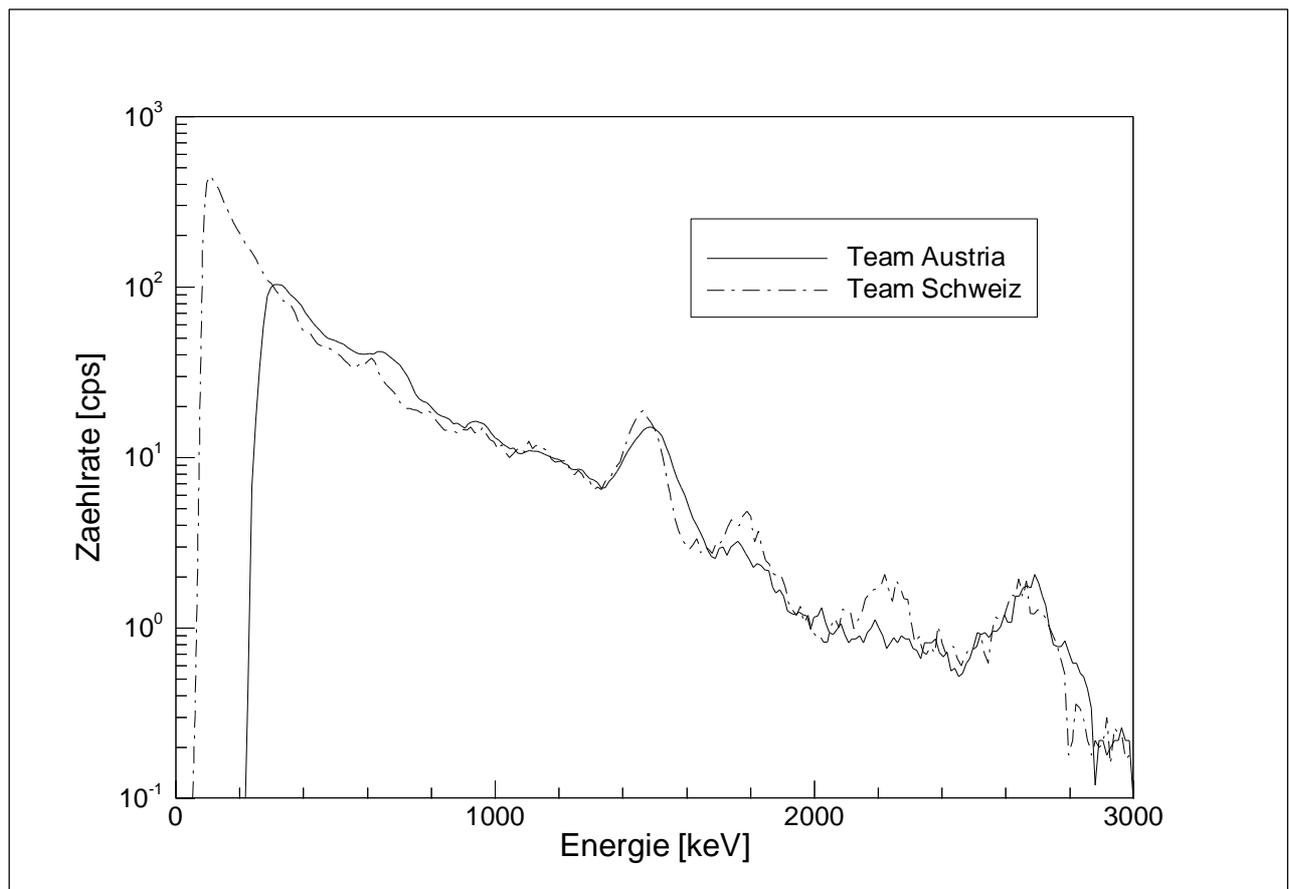
österreichischen Teams. Es ist jedoch schwierig, über die Zuverlässigkeit dieser Werte eine definitive Aussage zu machen, da es das österreichische Team leider verpasst hatte, ein Messlinie über dem Gepatsch - Stausee zu fliegen. Dies hätte wertvolle Aufschlüsse liefern können. Es ist jedoch anzufügen, dass diverse Effekte die Radonkonzentration und somit die entsprechende Korrektur beeinflussen. Den grössten Einfluss auf die zeitliche und räumliche Änderung der

Radonkonzentration in der Atmosphäre haben die meteorologischen Verhältnisse. Auch Geologie, Bodenbeschaffenheit und Topographie sind wichtige Faktoren. Weitergehende Untersuchungen über das Verhalten des Radons in der Atmosphäre wären von grossem Interesse, um vor allem bei geologischen Anwendungen der Aeroradiometrie genauere Resultate zu erhalten.

Vergleicht man die schweizerischen Rohdaten im Uranfenster mit der Radonkarte des österreichischen Teams, kann keine eigentliche Korrelation erkannt werden. Beim gleichen Vergleich mit den österreichischen Rohdaten kann eine gewisse Korrelation zwischen den höheren Werten in den beiden Karten festgestellt werden. Falls die höheren Zählraten im Uranfenster des schweizerischen Teams im Osten des Messgebietes durch Radon und seine Tochterisotope verursacht werden, muss sich die Radonkonzentration in diesem Gebiet zwischen den beiden Messungen drastisch verändert haben. Dies ist jedoch aufgrund der kurzen Zeitspanne zwischen den beiden Messungen (innerhalb einer Stunde) unmöglich.

3.4 Spektren

Vergleicht man die Karten der Rohdaten der beiden Teams, erkennt man, dass sich die Zählraten ungefähr auf dem gleichen Wertenniveau bewegen. Dies ist jedoch eher erstaunlich, da das österreichische System einen Detektor mit 32.3 l Volumen beinhaltet. Diese Tatsache wird auch durch den Vergleich von Summenspektren bestätigt (Figur 5). Beim Summenspektrum handelt es



Figur 5: Vergleich von Summenspektren (ungefähr 50 Sekunden) des österreichischen und des schweizerischen Teams.

sich um ein über ein längeres Messintervall gemitteltes Spektrum ohne Korrekturen. Es fällt auf, dass der Kalium-Peak im österreichischen Spektrum wesentlich breiter ist als der des Schweizer Spektrums. Auffallend ist auch der schlechte ^{214}Bi -Peak bei 1.76 MeV und der nicht vorhandene

Mischpeak aus ^{214}Bi -Peak bei 2.2 MeV und Escape-Peak bei 2.1 MeV (^{208}Tl) im österreichischen Spektrum. Der ^{208}Tl -Peak bei 2.6 MeV stimmt hingegen wieder sehr gut überein und weist auch in etwa das selbe Wertenniveau auf. Die Zählraten im niedrigenergetischen Bereich liegen im österreichischen Spektrum höher, im hochenergetischen Teil des Spektrums aber auf gleicher Höhe. Die unterschiedlichen Wertenniveaus im tief- und hochenergetischen Spektrumsbereich können durch die unterschiedliche Positionierung des Detektors im österreichischen (in der Passagierkabine) und schweizerischen Messsystem und der dadurch grösseren Streustrahlung beim österreichischen System erklärt werden. Die Unterschiede in den Peaks müssen jedoch auf Probleme bei der Kalibration und Stabilisierung des Spektrometers zurückgeführt werden.

4 Geographisches Informationssystem (GIS) in der Aeroradiometrie

Geographische Informationssysteme dienen als Werkzeuge, mit denen man Raumdaten darstellen und analysieren kann. Mit ihrer Hilfe lassen sich verschieden Arten von Daten in einer Karte arrangieren. Auch in der Aeroradiometrie lässt sich dieses Werkzeug nutzen. Zur Zeit werden im Rahmen einer Diplomarbeit am Institut für Geophysik der ETH Zürich die Möglichkeiten und Grenzen von GIS in der Aeroradiometrie untersucht. In erster Linie soll der Weg der Daten von der Messung bis zur Darstellung im GIS beschrieben und mit einigen Beispielen illustriert werden. Da zur Zeit noch sehr wenig Erfahrung auf diesem Gebiet vorhanden ist, wird diese Arbeit auch Informationen über den zeitlichen, materiellen sowie finanziellen Aufwand für den Aufbau eines GIS in der Aeroradiometrie liefern.

Ein GIS beinhaltet auch immer eine Datenbank, die den Bedürfnissen entsprechend aufgebaut werden muss. Bei einer Aeroradiometrie-Datenbank sollten von allen bisher geflogenen Surveys sowohl die Rohdaten als Punktdaten als auch die bereits ausgewerteten Daten als Grid-Files integriert werden. Eine solche Datenbank vereinfacht und beschleunigt den Zugriff auf die vorhandenen Daten. In Verbindung mit einem GIS ist auch eine schnelle Darstellung der Daten sowie schnelle Analysen möglich. Die Verknüpfung mit geographischen und topographischen Daten erlaubt auch spezielle Analysen.

Nach Möglichkeit soll die Auswertung der Daten so erfolgen, dass die Daten auf einfache Art und Weise in ein GIS integriert und dargestellt werden können. Eine Möglichkeit bestände auch darin, das GIS gerade in die Auswertesoftware zu integrieren. Bei einer Online-Datenauswertung wäre eine Darstellung mit hinterlegter Karte sehr zu begrüßen, da der Operator gleich gewisse topographische Hintergrundinformationen vorliegend hat.

5 Bestimmung der Dosisleistung

Zur Zeit kommen in der schweizerischen Aeroradiometrie zwei verschiedene Methoden zur Berechnung der Dosisleistung zur Anwendung (Schwarz et al., 1997). Die eine verwendet die Total Counts der Rohdaten ohne jegliche Korrekturen, die andere die aus den korrigierten Fensterdaten erstellten Aktivitätskarten für die verschiedenen, radioaktiven Isotope. Diese Methoden liefern zuverlässige Resultate. Innerhalb der nationalen Teams, die aeroradiometrische Messungen durchführen und am EU-Projekt ECEAGS beteiligt sind, werden auch andere Verfahren angewandt.

Die Methode, welche im folgenden näher untersucht und mit unseren Methoden verglichen werden soll, ist die Spectrum Dose Index (SDI) Methode. Der SDI ist definiert als die Summe aller Kanal-Zählraten multipliziert mit der entsprechenden Kanalnummer (Formel (1)). Für die Bestimmung der Dosisleistung wird der SDI noch für den Background des Helikopters und der kosmischen Strahlung korrigiert (Formel (2)). Die SDI Methode wird von verschiedenen Teams zum Teil in leicht abgeänderter Form eingesetzt. Der Hauptunterschied liegt in der Höhenkorrektur. Die einen verwenden 1 m über Grund als Referenzhöhe, die anderen 100 m bevor mit Hilfe eines Konversionsfaktors (α) die Dosisleistung 1 m über Grund berechnet wird.

$$SDI = \sum_k ZR_k \cdot k \quad (1)$$

wobei k der Kanalnummer und ZR_k der Zählrate im entsprechenden Kanal entspricht.

$$SDI_{Korr} = SDI - SDI_{Back} - SDI_{Cosmic} \quad (2)$$

wobei SDI_{Back} den Anteil des Helikopter-Backgrounds und SDI_{Cosmic} den kosmischen Anteil am SDI darstellt.

Eine Höhenkorrektur auf 1 m über Grund ist nicht unbedingt sinnvoll, da durch den exponentiellen Zusammenhang schon bei kleinem Fehler im Abschwächungskoeffizienten grosse absolute Fehler in die Dosisleistung einfließen können. Für einen Vergleich der Methoden wird deshalb eine Referenzhöhe von 100 m gewählt.

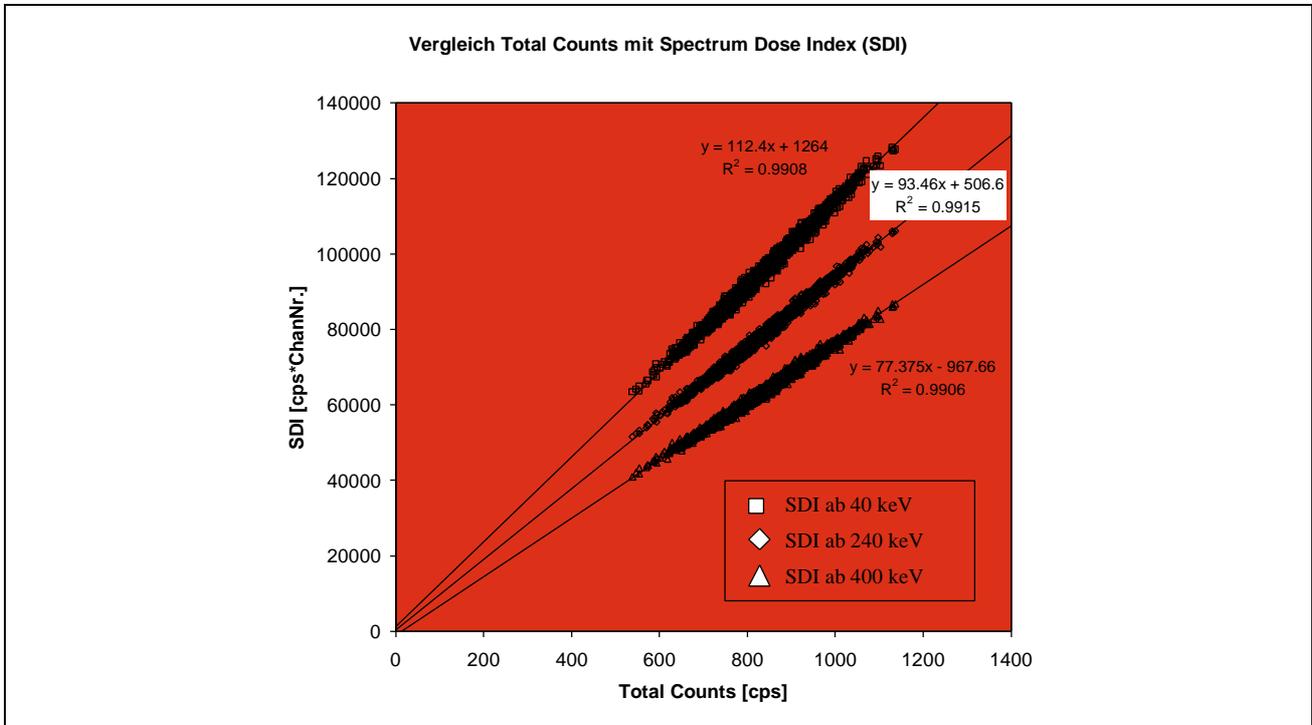
In der Dosisleistung, die am Boden mit Hilfe von Ionisationskammern gemessen wird, ist auch der kosmische Anteil enthalten. Da solche Messungen für die Kalibration und somit die Bestimmung des Umrechnungsfaktors α verwendet werden sollen, muss der kosmische Anteil nach der Höhenkorrektur wieder addiert werden. Schliesslich lässt sich die Dosisleistung berechnen (Formel (3)).

$$Dosis = \alpha \cdot (\exp(\mu_{air} \cdot (Flughöhe - Referenzhöhe)) \cdot SDI_{Korr} + SDI_{Cosmic}) \quad (3)$$

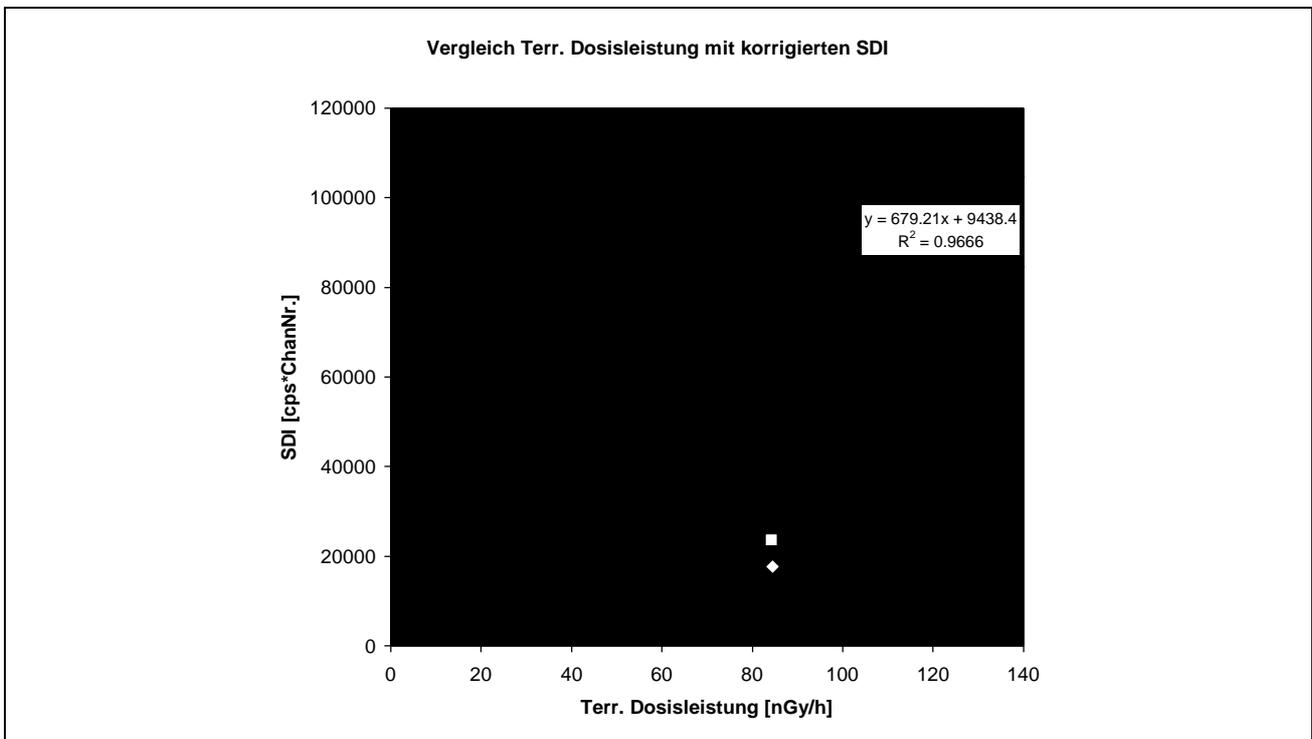
wobei α den Konversionsfaktor, μ_{air} den Abschwächungskoeffizienten und Dosis die Dosisleistung darstellt. SDI_{Korr} ist der für Background und kosmische Strahlung korrigierte Spectrum Dose Index, und SDI_{Cosmic} ist der kosmische Anteil am SDI.

Zum Teil werden auch verschiedene untere Grenzen bei der Berechnung des SDI verwendet, da der tiefenergetische Bereich am stärksten durch die Quellengeometrie beeinflusst wird. Während das Schottische Team SURRC 40 keV als untere Energiegrenze einsetzt, verwendet das Dänische Team einen Schwellenwert von 240 keV. Das Dänische Team begründet diesen höheren Schwellenwert mit einer besseren Korrelation mit den gemessenen Dosisleistungen bei verschiedenen Quellengeometrien. In unserer üblichen Datenauswertung verwenden wir für das

"Total Counts" - Fenster einen unteren Standardgrenzwert von 400 keV, was eine weitere Möglichkeit für einen unteren Schwellenwert darstellt. Vergleicht man die Total Counts mit dem unkorrigierten SDI für die verschiedenen, oben erwähnten unteren Limiten für den Survey KKG97, kann man immer eine sehr gute Korrelation erkennen (Figur 6). Bei einer guten Kalibration liefert also die von uns eingesetzte Methode mit Verwendung der Total Counts ab 400 keV sicher ähnliche Resultate für die Ortsdosisleistung wie die SDI Methode.



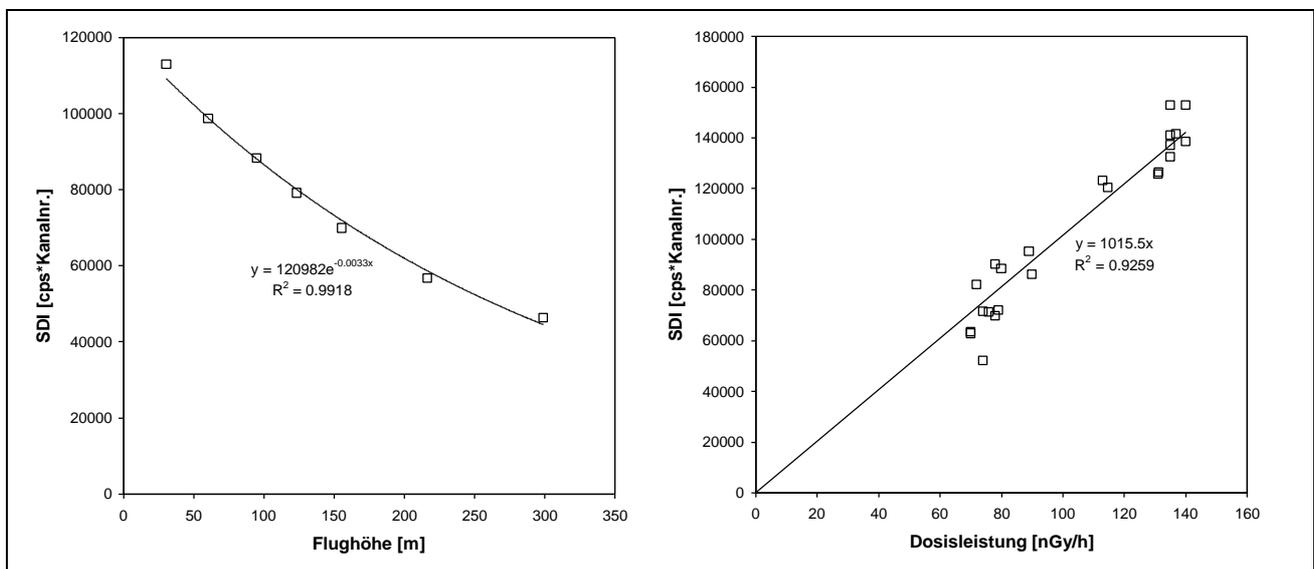
Figur 6: Vergleich der Total Counts mit dem Spectrum Dose Index (SDI) für verschiedene untere Schwellenwerte (Daten vom Survey KKG97). Für alle gewählten Schwellenwerte erhält man eine sehr gute Korrelation.



Figur 7: Vergleich der terrestrischen Dosisleistung, berechnet aus den Aktivitäten der einzelnen Radioisotope, mit dem Background und Cosmic korrigierten SDI für verschieden untere Schwellenwerte. Auch hier ist eine sehr gute Korrelation zu erkennen. Die Güte der Korrelation ist aber unabhängig von der Höhe des unteren Schwellenwertes.

Die kosmischen und Background Korrekturen für den SDI lassen sich aus Steigflügen über Seen in grossen Höhen bestimmen. Vergleicht man den SDI, korrigiert für Background und kosmischen Anteil, mit der terrestrischen Dosisleistung, die aus den Aktivitäten der verschiedenen Radioisotope (Kalium, Thorium, Uran und Cäsium-137) berechnet wurde, erkennt man ebenfalls eine sehr gute Korrelation (Figur 7). Bei der Wahl unterschiedlicher, unterer Schwellenwerte ändert sich die Korrelation nur geringfügig. Die Steigung und der Offset vom Nullpunkt sind jedoch stark von der gewählten unteren Grenze abhängig. Der untere Schwellenwert von 400 keV liefert zwar die beste Auflösung, ist aber gleichzeitig auch am empfindlichsten auf statistische Schwankungen.

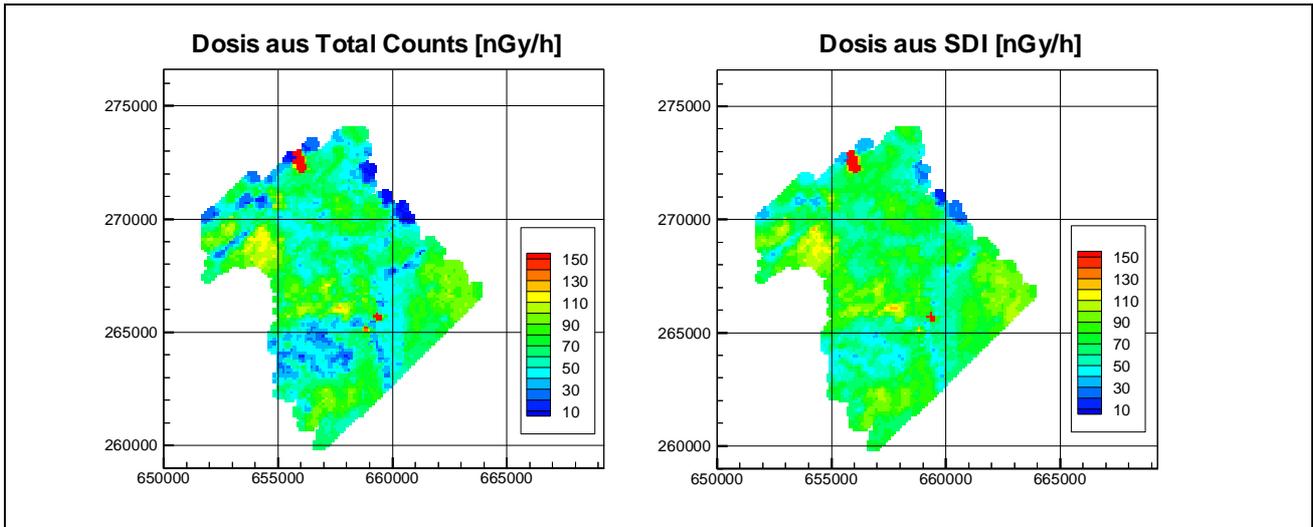
Um noch eine Höhenkorrektur am SDI durchführen und die Werte auf eine Referenzhöhe korrigieren zu können, wird ein entsprechender Abschwächungskoeffizient benötigt. Zur Bestimmung dieses Koeffizienten wurde ein Steigflug aus dem Jahre 1994 verwendet. Dabei wurde ein einfacher, exponentieller Ansatz gewählt (Figur 8). Aus dieser Auswertung ergab sich für den Abschwächungskoeffizienten ein Wert von 0.0033 m^{-1} .



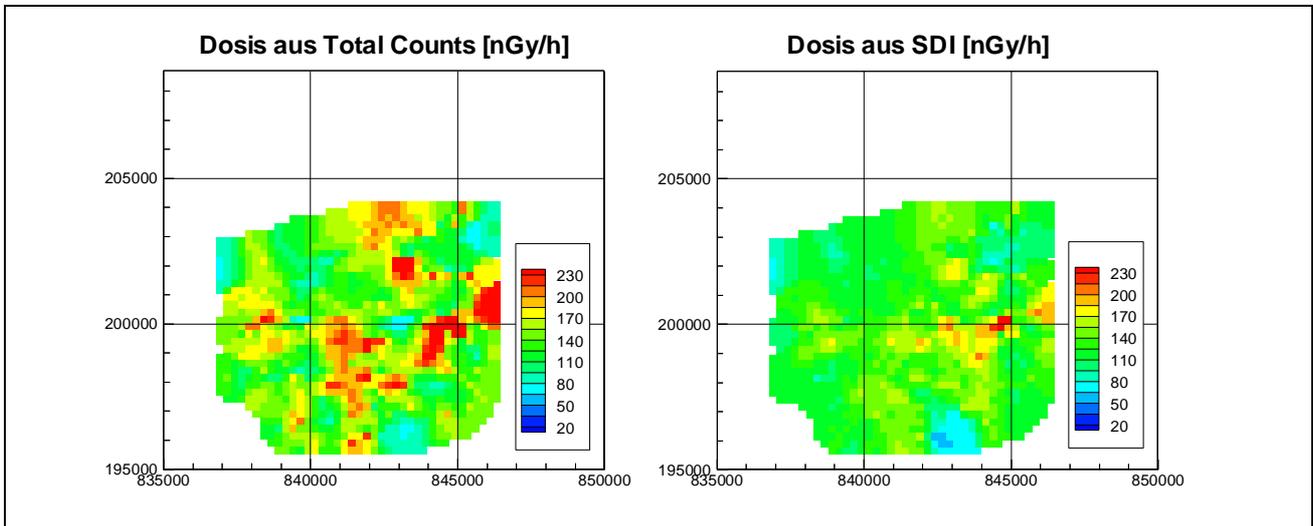
Figur 8: Links sind die Daten eines Steigfluges zur Bestimmung des Abschwächungskoeffizienten zu sehen. Rechts sind höhenkorrigierter SDI gegen die am Boden gemessene Dosisleistung aufgetragen, um den Umrechnungsfaktor α zu bestimmen. (Verwendeter unterer Schwellenwert: 40 keV)

Für die Kalibration der SDI Methode wurden Bodenmessungen der Jahre 1996, 1997 und 1998 in Gebieten des Tessins, der österreichischen Alpen und der Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen, Beznau und Leibstadt verwendet. Bei den Werten der Bodenmessungen handelt es sich um Dosisleistungen, die mit Ionisationskammern bestimmt wurden. Da bei Messungen mit Ionisationskammern auch der kosmische Anteil in die Werte einfließt, wurde bei der Berechnung des SDI der kosmische Anteil vor der Höhenkorrektur abgezogen und danach wieder addiert. Trägt man den SDI gegen die Dosisleistungen auf, erhält man eine sehr gute Korrelation (Figur 8). Aus den Koeffizienten der Regressionsgeraden lässt sich der Konvertierungsfaktor α leicht berechnen. Er hat für den SDI ab 40 keV den Wert $0.000985 \text{ nGy/h pro cps*KanalNr.}$

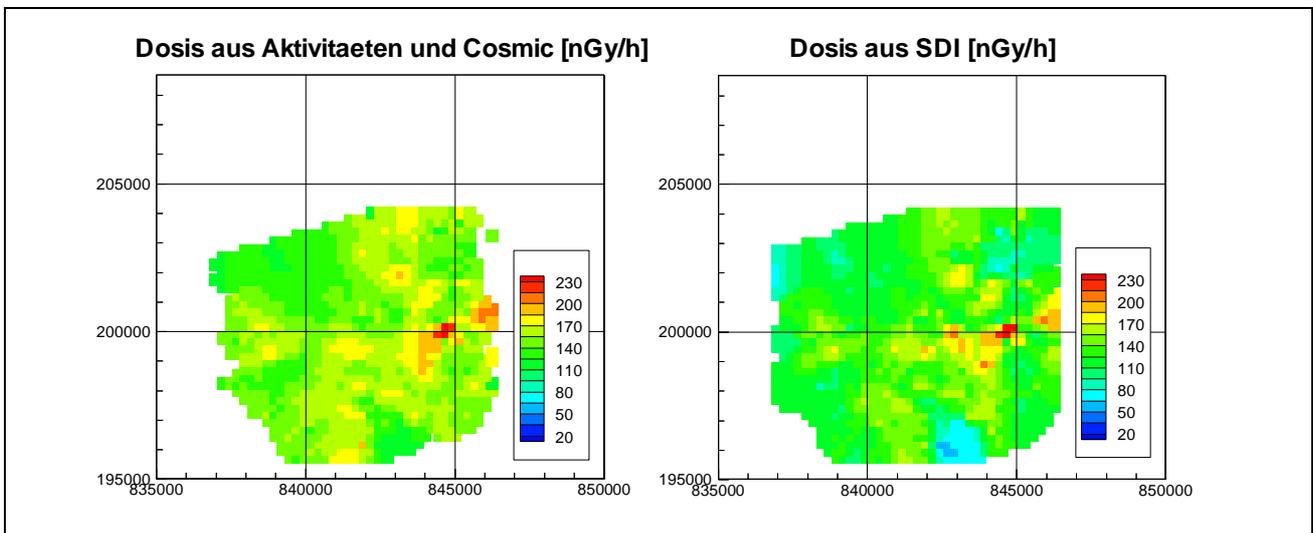
Vergleicht man die aus Total Counts einerseits und SDI andererseits berechneten Dosisleistungen, erkennt man eine relativ gute Übereinstimmung (Figur 9). Die mit Hilfe der SDI Methode berechneten Dosisleistungen liegen etwas höher als die aus den Total Counts bestimmten. Die Abweichungen liegen im Bereich von 10-20 %. Dies ist aufgrund der möglichen Fehlerquellen bei der Kalibration der beiden Methoden ein beachtlicher Erfolg. Begünstigt wird dieses positive Resultat vor allem durch die geringe Topographie, die zu relativ gleichmässigen Flughöhen führt und so wenig Höhenkorrekturen bei der SDI Methode verursacht. Bei Messungen in Gelände mit



Figur 9: Dosisleistungskarten für das Messgebiet KKB/KKL/PSI. Links ist die Dosisleistungskarte dargestellt, die mit Hilfe der einfachen Total Counts Methode berechnet wurde. Rechts ist die mit der SDI Methode berechnete Dosisleistungskarte zu sehen.



Figur 10: Dosisleistungskarten für das Messgebiet Radurschltal (ARM97). Links ist die Dosisleistungskarte dargestellt, die mit Hilfe der einfachen Total Counts Methode berechnet wurde. Rechts ist die mit der SDI Methode berechnete Dosisleistungskarte zu sehen.



Figur 11: Dosisleistungskarten für das Messgebiet Radurschltal. Links ist die aus Isotopenaktivitäten und kosmischer Strahlung berechnete Karte dargestellt, rechts die mit der SDI Methode berechnete Dosisleistungskarte.

stärkerer Topographie, wie z. B. beim gemeinsamen Survey 1997 mit dem österreichischen Messteam in den österreichischen Alpen, sind die Unterschiede zwischen den beiden Methoden doch einiges grösser (Figur 10). Die Total Counts Methode ist stark von der Flughöhe über Grund abhängig, während bei der SDI Methode die Effekte durch ändernde Flughöhen grösstenteils korrigiert werden können. Die Topographie kann bei der SDI Methode trotzdem eine wesentliche Rolle spielen, da nur eine Höhenkorrektur und nicht eine 3D Topographiekorrektur durchgeführt wird.

Vergleicht man die Ergebnisse, die die SDI Methode liefert, mit denen, die aus den Isotopenaktivitäten und der kosmischen Strahlung berechnet werden (Figur 11), lässt sich eine sehr gute Übereinstimmung erkennen. Das Wertenniveau ist bei der SDI Methode zwar etwas tiefer, die Muster stimmen aber sehr gut überein.

Die Total Counts Methode liefert bei wenig schwankenden Flughöhen genügend gute Resultate. In Gebieten mit stärkerer Topographie, welche häufig stärker schwankende Flughöhen verursacht, führt die SDI Methode mit den diversen Korrekturen zu besseren Ergebnissen.

6 Ergebnisse

Die Messungen von 1998 erfolgten mit einem Super-Puma der Armee in der Zeit vom 29. 6. 1998 bis zum 2. 7. 1998. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Im Auftrag der HSK wurden das Messgebiet KKB/KKL/PSI bereits mehrmals vermessen. Im Jahre 1998 wurden jedoch zum Teil andere Flugparameter gewählt, da die Piloten erstmals ein portables GPS - Gerät zur Navigation verwendeten. Dies hatte vor allem Auswirkungen auf den Linienabstand und die Flugrichtung (Tabelle 1). Neben diesem Routinemessgebiet wurde der Syenit im Gebiet des Piz Giuv vermessen, der die höchste natürliche Radioaktivität in der Schweiz aufweist. Im Centovalli wurde eine Talflanke vermessen, wo aufgrund gammaspektrometrischen Bodenmessungen Cäsium Hot-Spots vermutet wurden. Im weiteren wurden diverse Gebiete im Wallis aeroradiometrisch vermessen, wo geologisch bedingte Unterschiede in der Strahlungsaktivität zu sehen sind. Schliesslich wurde noch ein Messflug mit und ohne Cäsium-Quelle an Bord des Helikopters im Gebiet Hombrechtikon durchgeführt, um zu testen, ob eine mitgeführte Kalibrationsquelle die Messungen beeinträchtigen würde. Die Daten über diese Flüge sind in der (Tabelle 2) zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM98 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]	Fluggeschwin- digkeit [m/s]	Sample- Intervall [s]
Leibstadt	235	40	100	45/225	30	1
Beznau/PSI	235	30	100	45/225	30	1
Piz Giuv	176	33	100	45/225	30	1
Centovalli	250	11	100	90/270	30	1
Bietschtal (VS)	250	26	100	0/180	30	1
Les Marécôttés (VS)	353	14	100	45/225	30	1
Fully (VS)	273	25	100	58/238	30	1
Bovernier (VS)	250	18	100	90/270	30	1
Hombrechtikon	250	4	100	135/315	30	1

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM98.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
Leibstadt	9801	29.6.98	1-24	4590	202
	9803	29.6.98	25-30	1367	
Beznau/PSI	9808	1.7.98	29-46	4960	170
Piz Giuv	9802	29.6.98	1-3	3615	142
Centovalli	9804	30.6.98	1-9	1023	32
Bietschtal	9805	30.6.98	1-19	2801	71
Les Marécôttés (VS)	9806	30.6.98	1-5	1005	31
Fully (VS)	9806	30.6.98	1-7	1947	56
Bovernier (VS)	9806	30.6.98	1-9	1446	49
Hombrechtikon	9809	1.7.98	1-3	419	15

6.1 Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau, Paul Scherrer Institut (PSI)

Das Gebiet wurde 1998 in drei Flügen an zwei verschiedenen Tagen vermessen. Die Auswertung der Daten wurde jedoch in einem Survey zusammengefasst. Für das ganze Gebiet wurde eine Ortsdosisleistungskarte, eine Karte der ^{137}Cs Aktivität sowie eine Karte des MMGC-Ratios (MMGC: Man Made Gross Count, vgl. Schwarz 1991) erstellt. Die Kartendarstellung der Resultate erfolgten in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125x125m. Ausser für die Flugwegkarten, wird für die Darstellung der gemessenen bzw. berechneten Werte eine lineare 25-stufige Farbskala verwendet (blau-cyan-grün-gelb-rot (zunehmende Werte)). Die Wertebereiche der Grundfarben sind in der Kartenlegende angegeben. Ferner wird in den Kartenlegenden der Mittelwert, dessen Standardabweichung sowie Minimum und Maximum aller Daten im Messgebiet aufgeführt.

Die Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau waren während der Messungen in Betrieb. Beim Kernkraftwerk Beznau handelt es sich um einen Siedewasserreaktor, während das KKW Leibstadt einen Druckwasserreaktor besitzt. Das KKW Beznau konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Das KKW Leibstadt konnte jedoch aufgrund der hochenergetischen ^{16}N -Strahlung identifiziert werden. Bei ^{16}N handelt es sich um ein Aktivierungsprodukt (Reaktion $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $T_{1/2}=7.3\text{ s}$; 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.

Die hochenergetische Stickstoffstrahlung ist bei der Auswertung der Daten störend. Weil nicht dieselben Strippingfaktoren wie für die kosmische Strahlung gelten, werden alle Fenster beeinflusst. Während in den Hochenergetischen- und Summen-Fenstern zu hohe Werte auftreten, ergeben sich im Cäsiumfenster durch die Strippingkorrektur zu niedrige Werte. Am stärksten wird der MMGC-Ratio beeinflusst. Der MMGC-Ratio kann mit einer Korrektur modifiziert werden (Schwarz et al. 1991b), um die tatsächlichen Verhältnisse darstellen zu können. Bei der Darstellung des korrigierten MMGC-Ratio ist das KKW Leibstadt sehr deutlich zu erkennen (Beilage 5). Das KKW Beznau ist auch im MMGC-Ratio nicht zu erkennen.

Das PSI konnte auch dieses Jahr aus der Luft detektiert werden, wobei aber die Zählraten über dem PSI West eher tiefer waren als in den vergangenen Jahren. In der Ortsdosisleistungskarte kann das PSI West nicht identifiziert werden. In der Cäsium - Aktivitätskarte und im MMGC-Ratio konnte das PSI West jedoch eindeutig an höheren Werten erkannt werden. Das PSI Ost ist in allen Karten deutlich zu erkennen.

Wie in den vergangenen Jahren können topographische Merkmale in der Dosisleistungskarte erkannt werden. So sind über Flüssen und Wäldern eher tiefere Werte bestimmt worden als über Wiesen und Ackerland. Das Wertenniveau der Messungen 1998 liegt innerhalb der Fehlergrenzen im gleichen Bereich wie in den früheren Jahren. Die Dosisleistungen beim KKW Leibstadt sind nur eine grobe Näherung an den tatsächlichen Wert, da weder die Quellgeometrie noch der grosse Anteil an hochenergetischer Strahlung berücksichtigt wurde.

Beilagen KKL, KKB und PSI

Beilage1: Flugwege im Messgebiet KKL/KKB/PSI. Die Lage des KKL ist in der Karte mit einem Dreieck bezeichnet, die des KKB mit einem gefüllten Dreieck, die des PSI Ost mit einem Viereck und die des PSI West mit einem gefüllten Viereck.

Beilage 2: Dosisleistung [nSv/h] ohne kosmischen Anteil im Messgebiet KKL/KKB/PSI.

Deutlich sind KKL und das PSI Ost zu erkennen. Ebenfalls korrelieren Flüsse und Wälder mit eher tiefen Werten und Wiesen und Ackerland mit höheren Werten. Dies ist auf die grössere Absorption und Abschwächung der Bodenstrahlung durch Biomasse bzw. Wasser zurückzuführen.

Beilage 3: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg]. Deutlich sind PSI Ost und West anhand der höheren Werte zu erkennen. Die Kernkraftwerke KKL und KKB sind auf dieser Karte nicht zu erkennen.

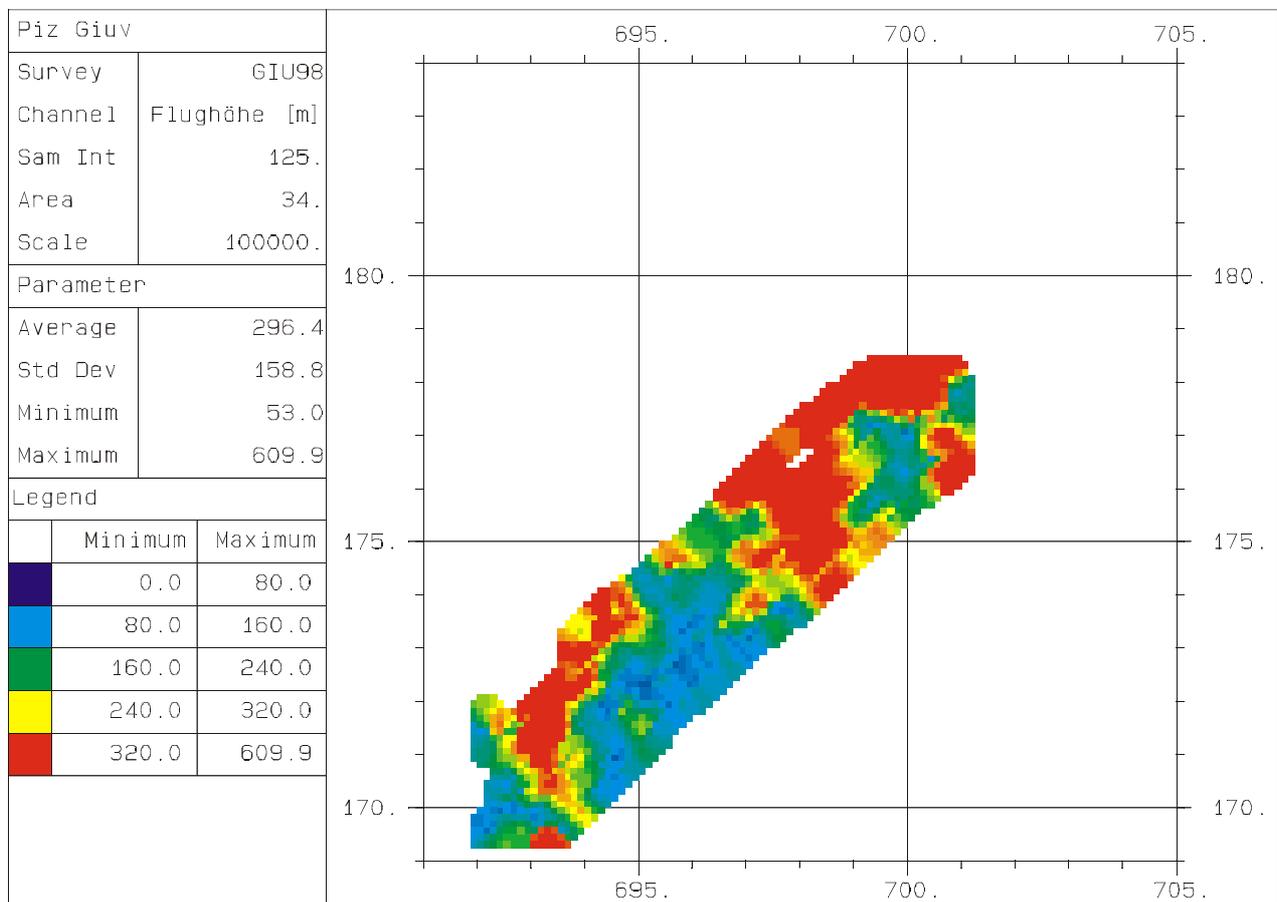
Beilage 4: MMGC-Ratio [%] im Gebiet KKL/KKB/PSI. In dieser Karte sind ebenfalls die beiden PSI deutlich an den höheren Werten als die Umgebung zu erkennen. Aufgrund der Überkorrektur im tieferenergetischen Bereich (verursacht durch hohe Zählraten im kosmischen Fenster, die von der hochenergetischen ^{16}N - Strahlung stammen) kann man das KKL anhand eines Minimums in der MMGC-Karte identifizieren.

Beilage 5: Modifizierter MMGC-Ratio [%] im Messgebiet KKL/KKB/PSI. In dieser Karte sind sowohl die beiden PSI als auch das KKL aufgrund der hohen Werte zu erkennen.

6.2 Piz Giuv

Dieses Gebiet wurde aufgrund der bekannten, hohen natürlichen Radioaktivität des Giuvsyenit ausgewählt. Die Sollflughöhe betrug 100 m und der Messlinienabstand 176 m. Die Messlinien waren in Richtung Südwest nach Nordost angelegt.

Beim Giuvsyenit handelt es sich um eines der radioaktivsten Gesteine der Schweiz, das bereits durch Messungen am Boden untersucht wurde (Labhart & Rybach, 1971). Ziel des Messfluges war einerseits die Kartierung des Giuvsyenites und andererseits der Vergleich zwischen früheren Bodenmessungen, Labormessungen an Gesteinsproben und den aeroradiometrischen Messungen.



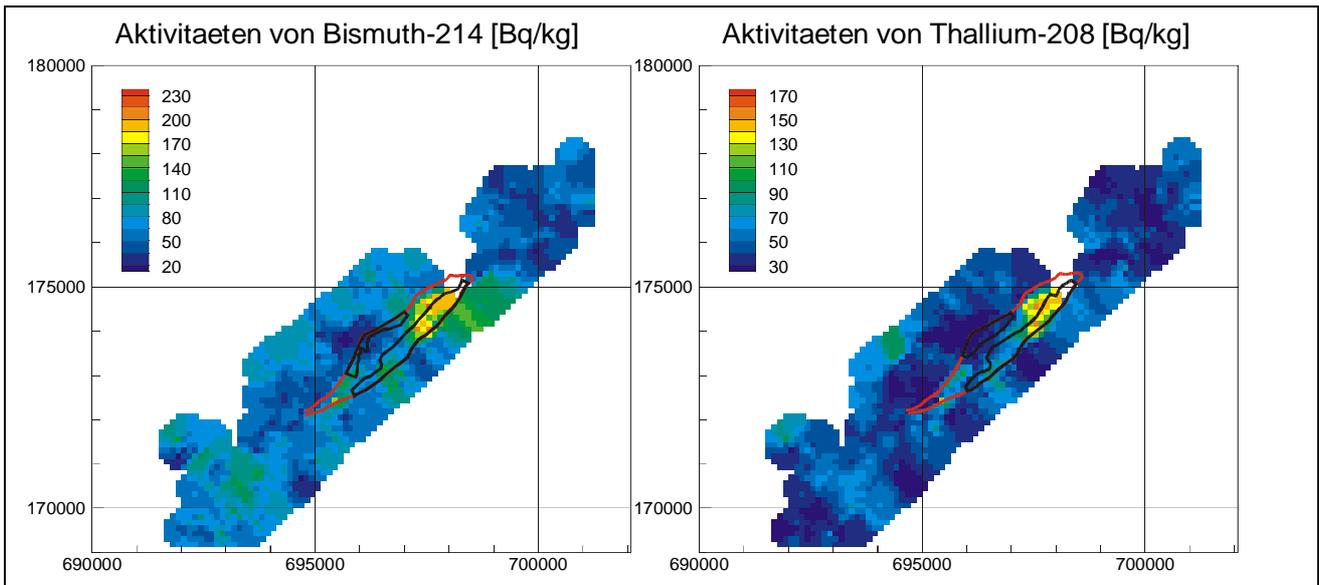
Figur 12: Flughöhen im Messgebiet Piz Giuv. In rund der Hälfte des Messgebietes liegen die Flughöhen über 300 m.

Der Messflug wurde durch eine hochalpine Topographie und stellenweise durch eine Nebeldecke am Messtag erheblich erschwert. Die Sollflughöhe von 100 m konnte somit des öfteren nicht eingehalten werden, was sich zum Teil negativ auf die Messergebnisse auswirkte. In einem beträchtlichen Teil des Messgebietes mussten aufgrund der Nebeldecke sehr grosse Flughöhen (>300 m) in Kauf genommen werden (Figur 12). Dies führte zu statistisch schlechten Messergebnissen, die auch mit Hilfe der diversen Korrekturen nicht verbessert werden konnten.

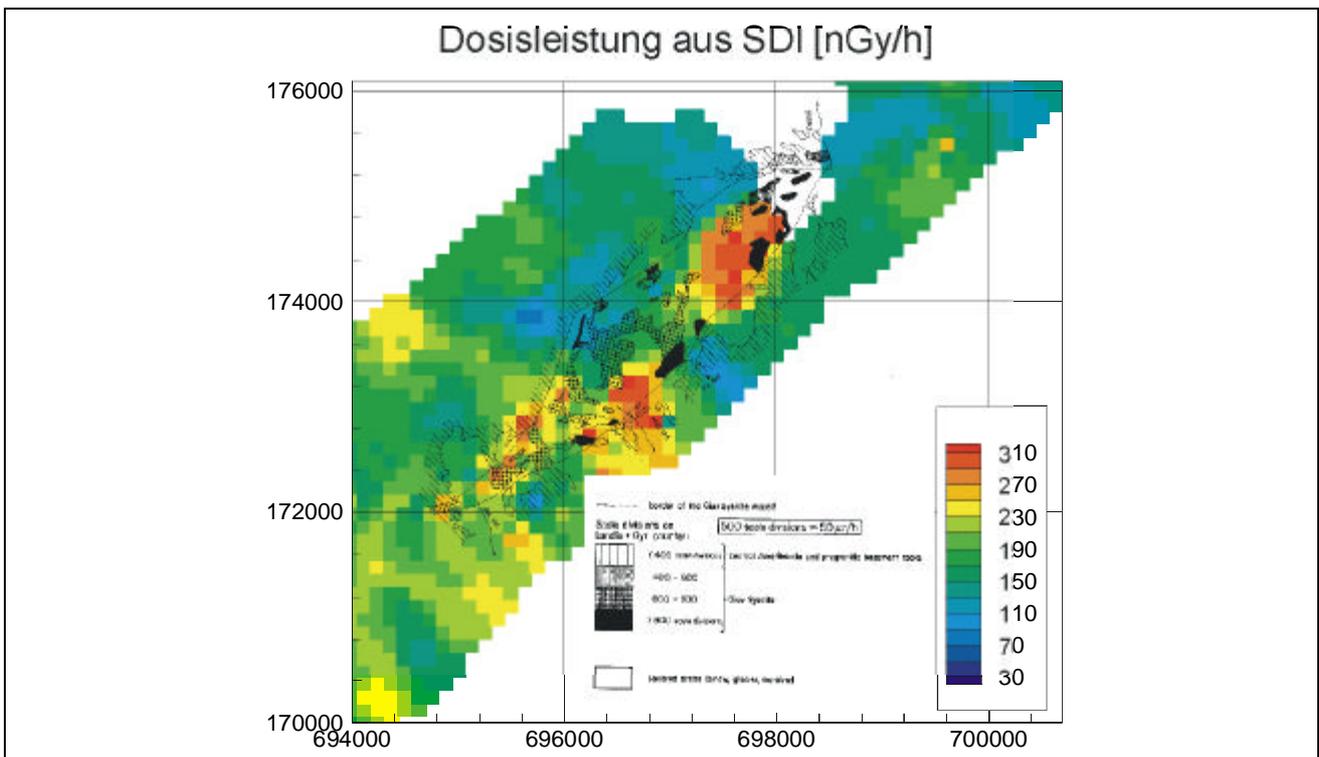
In Figur 13 sind die Aktivitätskarten für ^{214}Bi und ^{208}Tl abgebildet. Zusätzlich sind rot die Grenzen des Giuv Syenit eingezeichnet. Die schwarzen Linien begrenzen die Gebiete des Syenit, die aufgrund von gammaspektrometrischen Messungen an Gesteinsproben (Labhart & Rybach, 1971) mehr als 20 ppm (~240 Bq/kg) Uran bzw. 60 ppm (~240 Bq/kg) Thorium enthalten sollen. Die maximalen Werte in den Aktivitätskarten liegen unter diesen Konzentrationen. Die höchsten Aktivitäten liegen jedoch im Gebiet des Syenit. Figur 14 zeigt die Dosisleistungskarte für einen Ausschnitt des Messgebietes Giuv, die mit der SDI-Methode berechnet wurde. In der selben Figur ist eine Karte aus Labhart & Rybach (1971) dargestellt, die Ergebnisse von Messungen mit einem Landis und Gyr Zähler abbildet. Die schwarzen Flecken sind die Gebiete mit der höchsten Strahlung, die weissen bzw. transparenten Gebiete sind durch Schnee, Eis oder Moränenmaterial bedeckt. Die Zonen mit erhöhter Strahlung in beiden Karten stimmen ziemlich gut überein. Für die Abweichungen der aeroradiometrischen Resultate von den Bodenmessungen gibt es diverse Gründe, die im folgenden näher erläutert werden.

Um eine einigermaßen flächendeckende Karte zu erhalten, mussten Messwerte mit Flughöhen bis 350 m in die Datenauswertung miteinbezogen werden. Hinzu kommt, dass der Syenit teilweise mit Schnee, Eis oder Moränenmaterial bedeckt ist, was aufgrund von Abschirmungseffekten oder tieferen Radionuklidkonzentrationen zu abgeschwächten Strahlungsfeldern führt. Die oft grossen Flughöhen vergrössern auch den Einflussbereich der Messungen (Schwarz, 1991). So lagen bei diesem Messflug bei den meisten Messungen Flächen mit erhöhter Strahlung des Syenites und gleichzeitig Flächen mit abgeschwächter Strahlung (bei Überdeckung) im Einflussbereich. Dies führte zu einem Mischwert der unter den Maxima aus den Bodenmessungen bzw. Labormessungen liegt. Dies bedeutet auch, dass Vergleiche von Resultaten aus Bodenmessungen und aeroradiometrischen Messungen nur bei bestimmten Voraussetzungen möglich sind. Kleinräumige Änderungen in der Konzentration von Radionukliden können mit der Aeroradiometrie nicht aufgelöst werden. In den Bergen können vor allem Schnee und Eis sowie mit Schutt oder Moränen bedeckter Fels kleinräumige, markante Änderungen im Strahlungsfeld verursachen.

Beim Survey AAR91 im Jahre 1991, der innerhalb des Projektes für eine Kartierung des Kristallin im Zentralmassiv erfolgte, wurde das Gebiet um den Piz Giuv und somit des Syenits bereits einmal befliegen. Dabei wurden andere Flugparameter und ein anderer Helikoptertyp (Ecureuil) eingesetzt. Die Fluglinien wurden in Nord-Süd Richtung in einem Abstand von 500 m geflogen. Die Flughöhen konnten damals besser eingehalten werden. Die Ergebnisse des Surveys AAR91 stimmen ziemlich gut mit den diesjährigen Resultaten überein. In beiden Surveys kann man ein Gebiet mit erhöhten Aktivitätswerten von ^{214}Bi und ^{208}Tl erkennen, die örtlich gut übereinstimmen. Die Maximalwerte für die Aktivitäten liegen jedoch etwas auseinander. Für den Survey AAR91 ergeben sich Spitzenwerte von 337 Bq/kg (^{214}Bi) und 189 Bq/kg (^{208}Tl), für GIU98 222 Bq/kg (^{214}Bi) und 156 Bq/kg (^{208}Tl). Diese Unterschiede erscheinen gross, sind jedoch in Anbetracht der grossen Flughöhen, dem statistischen Fehler und der diversen Unsicherheiten der Auswerteparameter durchaus akzeptabel.



Figur 13: Aktivitätskarten für ^{214}Bi und ^{208}Tl im Messgebiet Piz Giuv. Die Ausdehnung des Syenits ist als rote Linie angegeben. Schwarz umrandet sind Gebiete mit erhöhter Uran (Bild links) und Thorium (Bild rechts) Konzentrationen über ~ 240 Bq/kg.



Figur 14: Ausschnitt aus der Dosisleistungskarte im Messgebiet Piz Giuv, die mit der SDI-Methode berechnet wurde. Überlagert ist die Karte von radiometrischen Feldmessungen mit einem Landis und Gyr Zähler (Labhart & Rybach, 1971).

Beilagen Messgebiet Piz Giuv

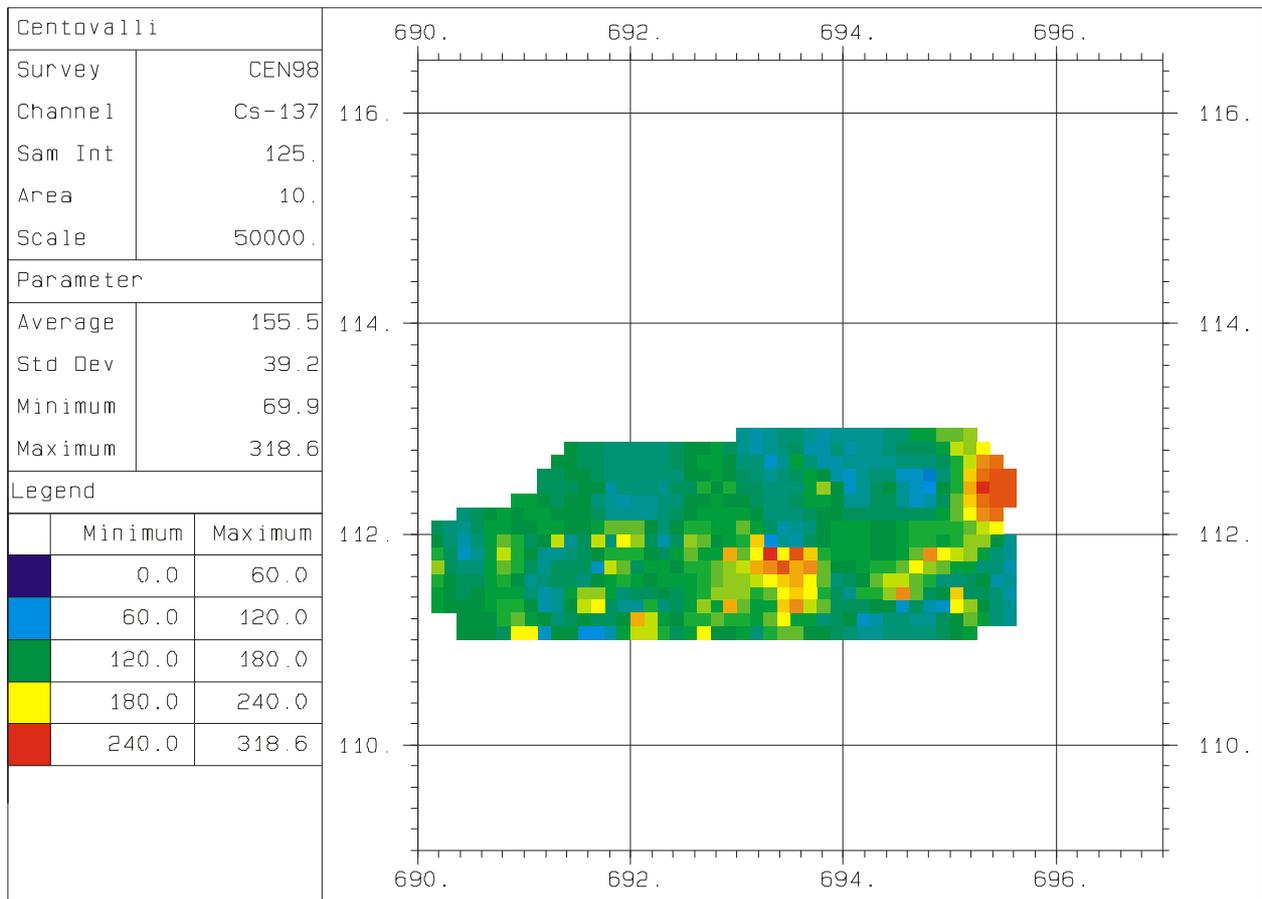
Beilage 6: Flugwege im Gebiet des Piz Giuv.

Beilage 7: Vergleiche der Messergebnisse aus den Surveys GIU98 und AAR91. Die Karten stellen die Aktivitäten von ^{214}Bi (oben) und ^{208}Tl (unten) in Bq/kg dar. In beiden Surveys sind im selben Gebiet stark erhöhte Werte zu erkennen.

6.3 Centovalli

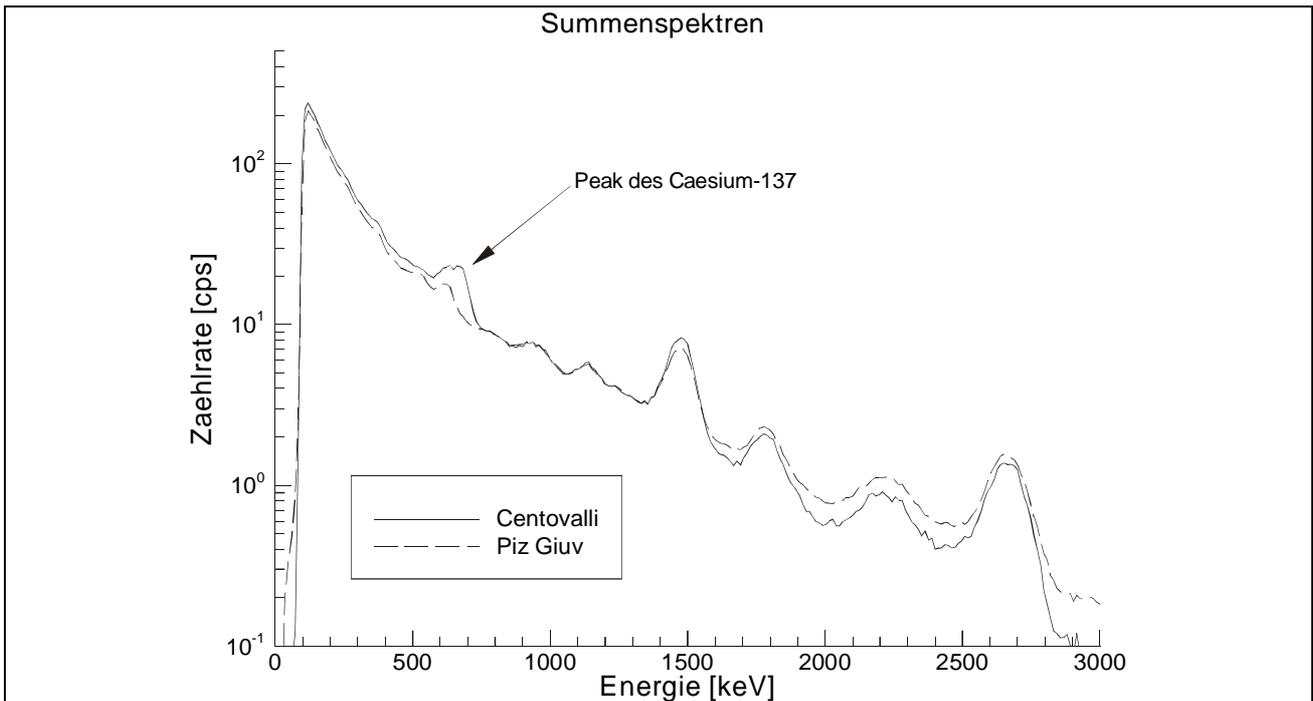
Da im Centovalli bei gammaspektrometrischen Bodenmessungen stark erhöhte Caesiumaktivitäten gemessen wurden, erfolgte dieser Messflug, um weitere mögliche Caesium Hot Spots aufzuspüren. Aufgrund starker Topographie und diverser, gespannter Kabel wurde der Messflug erschwert. Die Piloten hatten auch Probleme beim Navigieren, so dass die Fluglinien schlecht eingehalten werden konnten. Leider wurde während des Messfluges wegen eines Missverständnisses für kurze Zeit das Spektrometer ausgeschaltet. Dies führte zu einem rund 40 Sekunden dauernden Datenausfall. Es wurden 9 Linien im Abstand von 250 m vermessen. Die Flugrichtung war von West nach Ost, d.h. parallel zum Hang.

Die Resultate aus den aeroradiometrischen Messungen zeigen für die natürlichen Radionuklide keine erhöhten Aktivitäten. Es gibt zwar einige Unterschiede, die aber nicht sonderlich ausgeprägt sind. Die Aktivitäten von ^{40}K befinden sich in etwa auf dem Niveau, das man auch in anderen Gebieten der Schweiz (z.B. KKB) findet. Nur in sehr wenigen Gebieten steigt die Aktivität auf über 600 Bq/kg (rund 2 % Kaliumgehalt). Auch die Aktivitätskarten der übrigen natürlichen Radionuklide ^{214}Bi und ^{208}Tl zeigen keine Extremwerte.



Figur 15: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet Centovalli (Einheit: Bq/kg). Es sind hauptsächlich zwei Gebiete mit erhöhten Aktivitäten zu erkennen.

Im Gegensatz zu den natürlichen Radionukliden zeigen die Aktivitäten von ^{137}Cs erhöhte Werte (Figur 15) im Vergleich mit Gebieten aus der Nordschweiz. Dass es sich dabei nicht bloss um einen Artefakt handelt, zeigt ein über alle Messungen gemittelte Spektrum für das Messgebiet Centovalli (Figur 16). Im Spektrum lässt sich der ^{137}Cs -Peak bei 662 keV eindeutig identifizieren.



Figur 16: Summenspektren der Messgebiete Centovalli und Piz Giuv. Im Summenspektrum Centovalli lässt sich einfach der ^{137}Cs -Peak erkennen, der jedoch teilweise vom ^{214}Bi -Peak bei 612 keV überlagert wird.

Die höchsten Werte für die Cäsiumaktivität treten im Gebiet von Bordei (693300/111500) auf. Das andere Gebiet mit erhöhter Aktivität liegt im Nordosten des Messgebietes. Im August 1998 wurde in Camedo (690500/112200), das knapp ausserhalb des Messgebietes liegt, eine gammaspektrometrische Bodenmessung durch eine Equipe der SUER durchgeführt. Die Messung ergab eine Aktivität für ^{137}Cs von rund 125 Bq/kg. Dies entspricht in etwa den Ergebnissen aus der Aeroradiometrie in den benachbarten Gebieten. Für weitere Kontrollmessungen am Boden würde sich das Gebiet von Bordei eignen, da es nach den Ergebnissen der Aeroradiometrie hohe Cäsiumwerte aufweist und per Strasse zu erreichen ist.

Aufgrund der oben erwähnten Navigationsprobleme soll das Messgebiet Centovalli bei Gelegenheit nochmals befliegen werden.

Beilagen Messgebiet Centovalli

Beilage 8: Flugwege im Gebiet des Centovalli.

Beilage 9: Aktivitätskarten für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl im Messgebiet Centovalli (Einheit: Bq/kg).

6.4 Wallis

Im Jahre 1998 wurden diverse Gebiete im Wallis vermessen, in denen im selben Jahr Ortsdosisleistungsmessungen durch Angehörige des A Lab Z (Wallis) im Rahmen der Übung U NARVS durchgeführt werden. Bei den Messgebieten handelt es sich vorwiegend um Areale, die aufgrund geologischer Formationsgrenzen radiometrische Kontraste aufweisen. Die einzelnen Gebiete besitzen sehr verschiedene Topographien von ziemlich flach im Rhonetal bis zu stark zerklüftet im Bietschtal. Dies stellte denn auch eine weitere Herausforderung an Piloten und Messequipe dar. Die Flugparameter wurden den Gebieten angepasst.

6.4.1 Bietschtal

Das Bietschtal wies von allen Messgebieten im Wallis die stärkste Topographie auf. Die 19 Fluglinien verliefen in Nord-Süd Richtung und waren im Abstand von 250 m angelegt. Die Sollflughöhe betrug wie immer 100 m.

Die Resultate der Messungen zeigten höhere Werte im Nordosten des Messgebietes. Der Bereich höherer Werte zieht sich über rund 2 km nach Südwesten und leicht nach Süden. Die tiefsten Werte findet man zum Rhonetal hin. Im Süden lässt sich eine klare Grenze zwischen höheren und tieferen Werten erkennen. Diese fällt ziemlich genau mit dem Verlauf des Bietsch Baches zusammen, der dort in einer tiefen Schlucht zum Ausgang des Tales fliesst. Eine beinahe senkrecht abfallende Felswand von mehreren hundert Metern verläuft dort entlang dem Bach. Diese führte in diesem Bereich des Messgebietes zu sehr grossen Flughöhen über Grund. Diese klare Grenze in den Messresultaten könnte deshalb auf topographische Effekte zurückzuführen sein, die trotz Topographiekorrektur nicht vollständig eliminiert werden konnten.

Die Muster in der Aktivitätsverteilung von ^{214}Bi und ^{208}Tl sind sehr ähnlich und weisen die höchsten Werte im Nordosten des Messgebietes aus. Die Maximalwerte liegen bei 266 Bq/kg (^{214}Bi) und 152 Bq/kg (^{208}Tl) (Aaregranit). Die Aktivitätskarte für ^{40}K unterscheidet sich von denen der anderen natürlichen Radionuklide dadurch, dass sich höhere Werte im Talgrund weiter gegen Süden erstrecken. Alle natürlichen Radionuklide weisen gegen das Rhonetal hin die geringsten Aktivitäten auf.

Im Jahre 1986 wurde der grösste Teil des Gebietes BIE98 bereits einmal aeroradiometrisch vermessen. Dies erfolgte innerhalb des gleichen Projektes, das bereits beim Messgebiet Giuv erwähnt wurde. Die Fluglinien wurden auch damals in Nord-Süd Richtung vermessen. Der Linienabstand betrug jedoch 500 m. Die Resultate für die natürlichen Radionuklide weisen für beide Surveys ziemlich ähnliche Muster auf. Für ^{214}Bi und ^{208}Tl wurden 1986 ebenfalls die höchsten Werte im Nordosten des Gebietes und beim ^{40}K eine erhöhte Aktivität entlang dem Talgrund ermittelt. Auch der Niveaunterschied im Süden wurde schon damals abgebildet. Die Maximalwerte für ^{214}Bi von 1986 liegen jedoch deutlich unter denen aus dem Jahre 1998. Bei der Aktivität des Thalliums ist die Differenz jedoch nicht ganz so gross. Die Unterschiede liegen jedoch innerhalb des Fehlerbereichs der beiden Messungen.

Beilagen Messgebiet Bietschtal

Beilage 10: Flugwege im Messgebiet Bietschtal, VS.

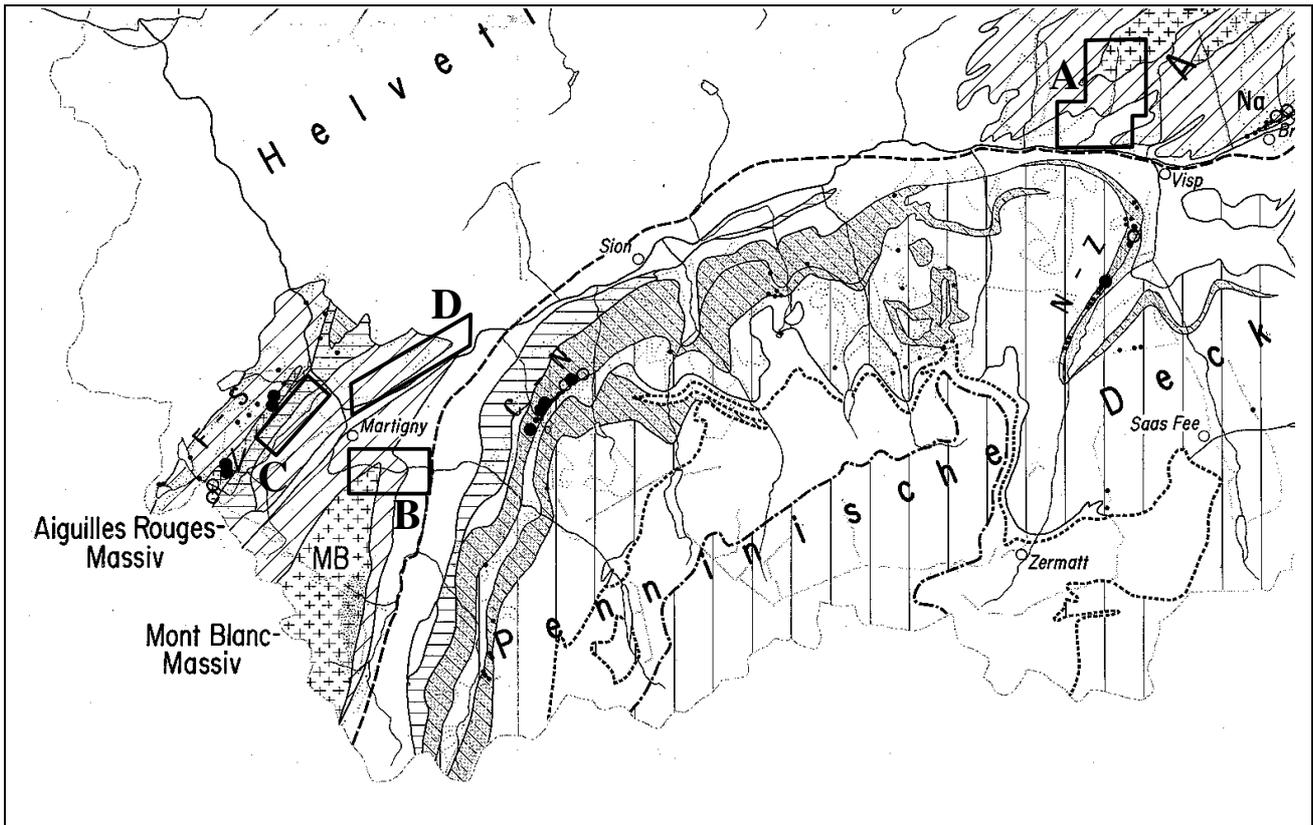
Beilage 11: Aktivitätskarten (in Bq/kg) der natürlichen Radionuklide im Messgebiet Bietschtal, VS.

6.4.2 Sembrancher/Bovernier

Das in diesem Survey vermessene Gebiet liegt südöstlich von Martigny. Die Fluglinien wurden von Westen nach Osten vermessen. Sie lagen 250 m auseinander. Das vermessene Gebiet wies auch eine starke Topographie auf, die jedoch nicht so extrem war wie im Bietschtal. Die Sollflughöhe von 100 m konnte nicht immer eingehalten werden. Auch hier war es das Ziel, Grenzen zwischen geologischen Einheiten zu kartieren.

Die Aktivitätskarten für die natürlichen Radionuklide zeigen alle ein ähnliches Muster. Ein Gebiet mit höheren Aktivitäten zieht sich von der südwestlichen Ecke des Messgebietes nach Nordosten. Sehr tiefe Werte, wie normalerweise über Seen oder breiten Flüssen, erhielt man im Osten des Messgebietes. Die Aktivitäten von ^{137}Cs sind gering.

Vergleicht man die Aktivitätskarten mit einer geologischen Karte (Figur 17), kann man erkennen, dass die erhöhten Werte im Südwesten in etwa mit der Formation des Mont Blanc Massives in diesem Gebiet übereinstimmen.



Figur 17: Ausschnitt aus der Übersichtskarte 1:500'000 in „Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen“ (Gilliéron, 1988). Eingezeichnet sind die Messgebiete im Wallis: A: Bietschtal; B: Sembrancher/Bovernier; C: Vernayaz/Salvan/Les Marécottes; D: Saillon/ Mazembroz/Branson/Fully. Gebiete mit „+“ entsprechen granitischen Gesteinen, schräg schraffierte Gebiete dem Altkristallin der Zentralmassive sowie dem Insubrischen Kristallin. Horizontal schraffierte Gebiete entsprechen Gesteinen des Karbon und weisse Gebiete postpermischen Sedimenten.

Beilagen Messgebiet Sembrancher/Bovernier

Beilage 12: Flugwege im Gebiet Sembrancher/Bovernier.

Beilage 13: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl in Bq/kg.

6.4.3 Vernayaz/Salvan/Les Marécottes

Das Gebiet Vernayaz/Salvan/Les Marécottes wurde bereits 1986 einmal befliegen, jedoch mit anderen Flugparametern. Während damals in Nord-Süd Richtung mit einem Linienabstand von 500 m gemessen wurde, erfolgte der Messflug 1998 unter einem Winkel von 45° und einem Fluglinienabstand von 353 m. Dieser etwas seltsam anmutende Linienabstand ist auf das von den Piloten verwendete, portable GPS-System zurückzuführen, das zur Navigation verwendet wurde. Die topographischen Schwierigkeiten liegen in diesem Messgebiet hauptsächlich im Nordosten zum Rhonetal hin und im Osten beim Tal des Flusses Le Trient.

Im Rahmen der Uranprospektion in den Schweizer Alpen zwischen 1966 und 1984 wurden diverse Explorationsprojekte im Gebiet La Creusa in der Nähe von Les Marécottes durchgeführt. Dabei wurden gewisse Uranvererzungen gefunden, die sich jedoch nicht zum Abbau lohnten. Das entsprechende Gebiet mit den Uranvererzungen liegt westlich knapp ausserhalb des Messgebietes. Im Messgebiet liegen ebenfalls Grenzen von geologischen Formationen, die detektiert werden sollten. Die Ergebnisse von 1998 stimmen gut mit denen aus dem Jahre 1986 überein. Grössere Unterschiede in den Resultaten ergaben sich nur im Uranfenster.

Die Grenzen der geologischen Einheiten sind teilweise zu erkennen. Drei geologische Einheiten decken das Messgebiet ab (Figur 17). Am westlichen Rand des Messgebietes befindet sich der

Vallorcín-Granit, in der Mitte eine Einheit aus dem Karbon und am östlichen Rand Altkristallin. Die geologischen Einheiten verlaufen in etwa parallel zu den Fluglinien. Leider liegt das Uranexplorationsgebiet La Creusa oberhalb von Les Marécottes ausserhalb des Messgebietes. In der Aktivitätskarte für ^{40}K sind die Foramtionsgrenzen am deutlichsten zu sehen.

Beilagen Messgebiet Vernayaz/Salvan/Les Marécottes

Beilage 14: Flugwege im Gebiet von Vernayaz/Salvan/Les Marécottes.

Beilage 15: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl in Bq/kg.

6.4.4 Saillon/Mazembroz/Fully

Das Messgebiet Saillon/Mazembroz/Fully liegt im Rhonetal nordöstlich von Martigny. Die sieben Fluglinien wurden im Abstand von 273 m und einem Winkel von 58° angelegt. Von der Topographie her betrachtet war dies der einfachste Messflug im Wallis. Einzig entlang der Talflanke waren Topographie bedingte Flugmanöver notwendig.

Die Aktivitätskarten für ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl zeigen sehr ähnliche Muster. Auffallend sind einerseits die vereinzelt Gebiete mit erhöhten Aktivitäten, andererseits die eher tiefen Werte im Nordosten des Messgebietes. Die tiefen Werte sind wahrscheinlich auf die Geologie zurückzuführen, zeigt sich doch in der Karte in Figur 17 ein Wechsel der geologischen Einheit in diesem Gebiet. Die erhöhten Werte in der Mitte des Messgebietes stimmen sehr gut mit Felsabbrüchen (Topographische Landeskarte) überein. Anhand der Aktivitäten kann nicht zwischen Rhonetal und Talflanke unterschieden werden.

Beilagen Messgebiet Saillon/Mazembroz/Fully

Beilage 16: Flugwege im Messgebiet Saillon/Mazembroz/Fully.

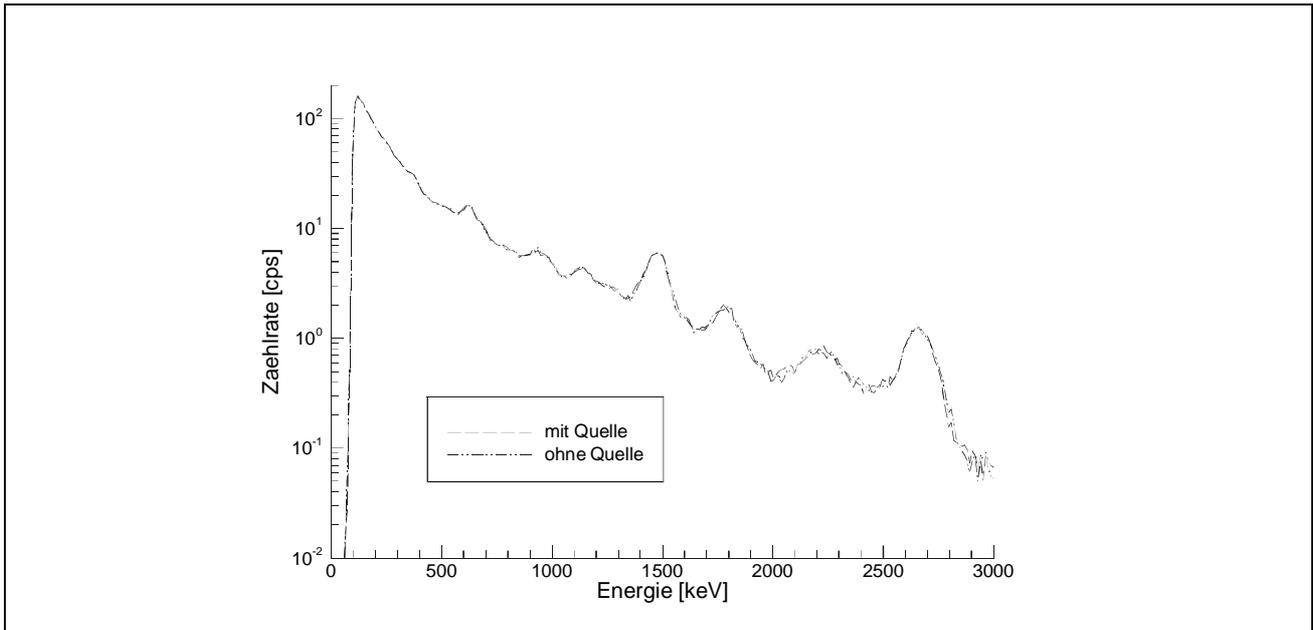
Beilage 17: Aktivitätskarten für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl in Bq/kg.

6.5 Hombrechtikon

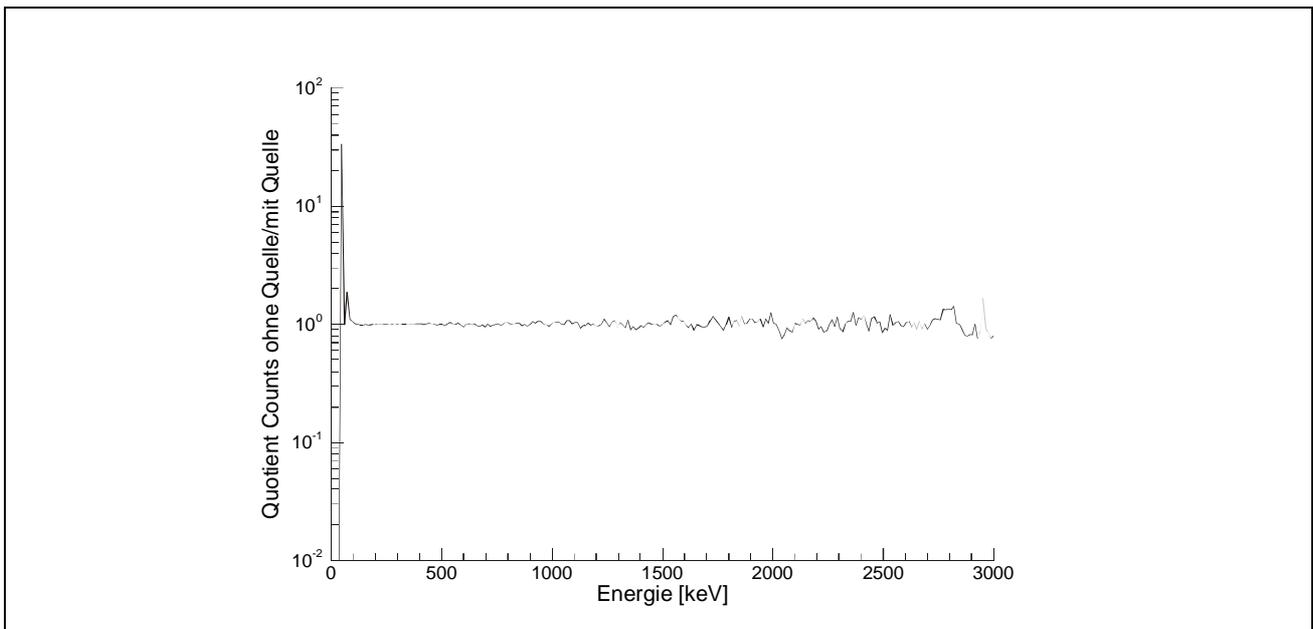
Die Messflüge im Raum Hombrechtikon dienten Testzwecken. Es sollte überprüft werden, ob das mitführen einer Cäsium-Eichquelle an Board des Helikopters die Messresultate wesentlich beeinflusst. Deshalb wurden über dem selben Gebiet eine Messung mit und eine ohne Quelle durchgeführt. Die Cäsium-Quelle (370 kBq, im Abschirmungsgehäuse) wurde zuhinterst im Heck deponiert, wobei sie sich im Bleibehälter befand, in dem sie auch üblicherweise aufbewahrt wird. Es wurden drei Linien im Abstand von 250 m vermessen.

Während bei zwei Fluglinien die Positionen bei beiden Flügen sehr gut übereinstimmen, wurden bei der dritten Fluglinie sehr unterschiedliche Positionen gemessen. Eine Differenz von nahezu 500 m kann bei topographisch unproblematischem Gelände nicht durch schlechtes Manövrieren der Piloten erklärt werden. Viel eher sind diese Unterschiede auf den GPS-System zurückzuführen. Aufgrund von sehr wenigen, zur Messzeit zur Verfügung stehenden Satelliten und Änderungen in der Satellitenzusammenstellung verschlechterte sich die Genauigkeit der Positionsbestimmung enorm.

Die Resultate der beiden Messflüge zeigten keine wesentlichen Unterschiede. Sowohl für die Dosisleistungen als auch für die Cäsium-Aktivitäten stimmen die Resultate innerhalb der Fehlergrenzen sehr gut überein. Auch ein Vergleich der Summenspektren beider Flüge zeigte keine wesentlichen Unterschiede (Figur 18). Besonders anschaulich wird die Übereinstimmung der Resultate beim Quotienten der Zählraten ohne Quelle und der Zählraten mit Quelle (Figur 19). Der Quotient liegt abgesehen von den untersten Kanälen praktisch bei eins. Bei den höheren Kanälen nehmen die Schwankungen zu, was aber auf die zunehmend schlechtere Statistik zurückzuführen ist.



Figur 18: Vergleich der Summenspektren der beiden Messflüge mit und ohne Cäsiumquelle an Board des Helikopters im Gebiet Hombrechtikon.



Figur 19: Das Verhältnis zwischen der Zählrate des Fluges ohne Cäsium-Quelle und der Zählrate des Fluges mit Cäsium-Quelle ist gegen die Energie aufgetragen.

Es ist also durchaus möglich, auf die oben beschriebene Weise eine Cäsium-Quelle bei den Messungen im Helikopter mitzuführen. Die Messungen werden dadurch nicht beeinflusst.

Beilagen Messgebiet Hombrechtikon

Beilage 18: Flugwege im Messgebiet Hombrechtikon.

Beilage 19: Aktivitätskarten für Cäsium in Bq/kg. Oben ist die Karte für den Messflug ohne Cäsium-Quelle an Board des Helikopters abgebildet, unten diejenige für den Messflug mit Cäsium-Quelle.

7 Fazit

Wie bei den vorangegangenen Messungen im Gebiet der KKW Leibstadt und Beznau sowie der beiden PSI konnten auch dieses Jahr das KKW Leibstadt anhand der ^{16}N -Strahlung und die beiden PSI anhand der Strahlung der gelagerten radioaktiven Abfälle aus der Luft klar detektiert werden. Das KKW Beznau konnte auch dieses Jahr aus der Luft nicht erkannt werden. Das PSI West war in diesem Jahr anhand der Total Counts nur schwer zu identifizieren. In den Karten für die Cäsiumaktivität und den MMGC-Ratio war es jedoch klar zu erkennen. Ausserhalb der Areale der Kernanlagen blieb die Dosisleistung auf dem Niveau der früheren Jahre.

Aufgrund der grösstenteils sehr grossen Flughöhen im Messgebiet des Piz Giuv, konnte der Giuv-Syenit nicht detaillierter kartiert werden. Die bei Boden- und Labormessungen festgestellten Spitzenwerte der Uran- und Thoriumaktivitäten sind sehr wahrscheinlich von zu geringer Ausdehnung, um durch die Aeroradiometrie zuverlässig kartiert werden zu können. Die diesjährigen Ergebnisse des Messfluges stimmen jedoch sehr gut mit früheren aeroradiometrischen Messungen in diesem Gebiet überein. Ein Hauptproblem bei der Auswertung stellten die grossen Flughöhen dar. Rund die Hälfte des Messgebietes wurde in einer Flughöhen von über 300 m über Grund vermessen.

Im Centovalli konnten mit den aeroradiometrischen Messungen eindeutig die erhöhten Cäsiumaktivitäten nachgewiesen werden. Aufgrund von Navigationsproblemen soll dieser Flug bei Gelegenheit wiederholt werden.

Die verschiedenen Messungen im Wallis stellen schöne Beispiele für geologische Kartierung mit Hilfe der Aeroradiometrie dar. Die erzielten Ergebnisse stimmen grösstenteils mit der Geologie in den entsprechenden Gebieten überein.

Der Testflug mit und ohne Cäsium-Quelle im Helikopter zeigte auf, dass ein Eichquelle ohne Einfluss auf die Messungen mitgeführt werden kann.

Die SDI-Methode, die bereits von anderen Messteams in Europa zur Dosisleistungsbestimmung eingesetzt wird, erwies sich ebenfalls für eine schnelle Bestimmung der Dosisleistung als geeignet. Gegenüber der Total Counts Methode verfügt sie in Gebieten mit starker Topographie über Vorteile, die auf die Höhenkorrektur zurückzuführen ist. Für die anstehende Online-Auswertung könnte die SDI-Methode durchaus ein geeignetes Werkzeug sein.

Der Einsatz von GIS in der Aeroradiometrie ermöglicht neue Möglichkeiten von der reinen Datendarstellung bis zu diversen Datenanalysen. Bei einer neuen Auswertungssoftware könnte direkt ein Fileformat gewählt werden, das ohne weitere Umformatierungen durch die GIS-Software verarbeitet werden kann.

8 Ausblick

Im Rahmen der Entwicklung einer Online-Datenauswertung wurde eine Zusammenarbeit mit Hans Mellander vom Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) vereinbart. Dabei sollen vor allem die bereits vorhandenen Erfahrungen von Mellander integriert werden können. Das Ziel ist, im Verlaufe des Jahres 1999 die Online-Datenauswertung zu realisieren.

Im Jahre 1999 muss auch die Jahr 2000 Kompatibilität unseres Messsystems überprüft werden. Nur bei einer vollständigen Kompatibilität kann eine kontinuierliche Notfallbereitschaft gewährleistet werden.

Die Erfahrungen mit GIS, die im Rahmen einer Diplomarbeit gemacht wurden, sollen nach Möglichkeit erhalten bleiben und in die weitere Entwicklung der Aeroradiometrie einfließen. Es ist von Interesse, dass bei einer Online-Datenauswertung oder einer allfälligen neuen Auswertungssoftware die Datenformate so gewählt werden, dass die Daten leicht in einem GIS eingebunden werden können. Es bestände sogar die Möglichkeit, eine GIS-Software zur

Darstellung der Daten zu verwenden. Dies würde unter anderem auch ermöglichen, andere geographische Strukturen gleichzeitig darzustellen.

Bei den jährlichen Messflügen im Juni 1999 ist ein gemeinsamer Messflug mit dem deutschen Aeroradiometrieteam im Schwarzwald geplant. Wie beim gemeinsamen Messflug in den österreichischen Alpen 1997 sollen auch dieses Mal gleichzeitig gammaspektrometrische Bodenmessungen durchgeführt werden.

9 Literaturhinweise

BUCHER, B., RYBACH, L., SCHWARZ, G., BAERLOCHER, CHR., 1998: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM97. Bericht für das Jahr 1997 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

GILLIERON, F., 1988: Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie, Lieferung 77, Schweizerische Geotechnische Kommission.

LABHART, T. P., RYBACH, L., 1971: Untersuchungen über radioaktive Mineralien und Gesteine in der Schweiz; Abundance and Distribution of Uranium and Thorium in the Syenite of Piz Giuv (Aar-Massif, Switzerland). Beiträge zur Geologie der Schweiz, Kleinere Mitteilungen Nr. 55

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

SCHWARZ, G.F., KLINGELE, E.E., RYBACH, L.: 1989, 1990, 1991b, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Berichte für die Jahre 1989-1996 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interne Berichte, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

10 Beilagen

Beilage 1: Flugwege im Messgebiet KKL/KKB/PSI.

Beilage 2: Dosisleistung [nSv/h] ohne kosmischen Anteil im Messgebiet KKL/KKB/PSI.

Beilage 3: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg] im Messgebiet KKL/KKB/PSI.

Beilage 4: MMGC-Ratio [%] im Gebiet KKL/KKB/PSI.

Beilage 5: Modifizierter MMGC-Ratio [%] im Messgebiet KKL/KKB/PSI.

Beilage 6: Flugwege im Gebiet des Piz Giuv.

Beilage 7: Vergleiche der Messergebnisse aus den Surveys GIU98 und AAR91.

Beilage 8: Flugwege im Gebiet des Centovalli.

Beilage 9: Aktivitätskarten für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl im Messgebiet Centovalli [Bq/kg].

Beilage 10: Flugwege im Messgebiet Bietschtal, VS.

Beilage 11: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide [Bq/kg] im Messgebiet Bietschtal, VS.

Beilage 12: Flugwege im Gebiet Sembrancher/Bovernier.

Beilage 13: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].

Beilage 14: Flugwege im Gebiet von Vernayaz/Salvan/Les Marécottes.

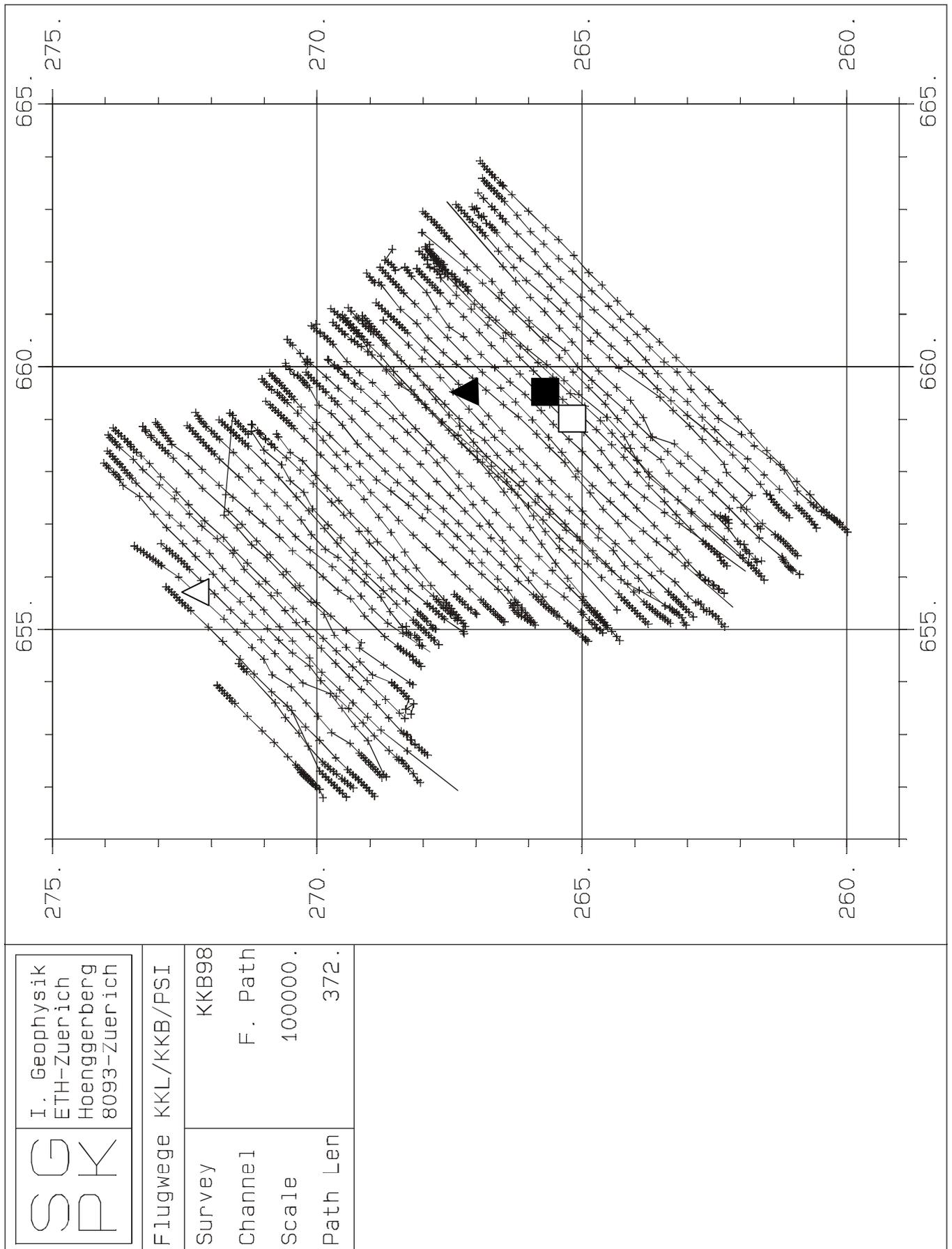
Beilage 15: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].

Beilage 16: Flugwege im Messgebiet Saillon/Mazembroz/Fully.

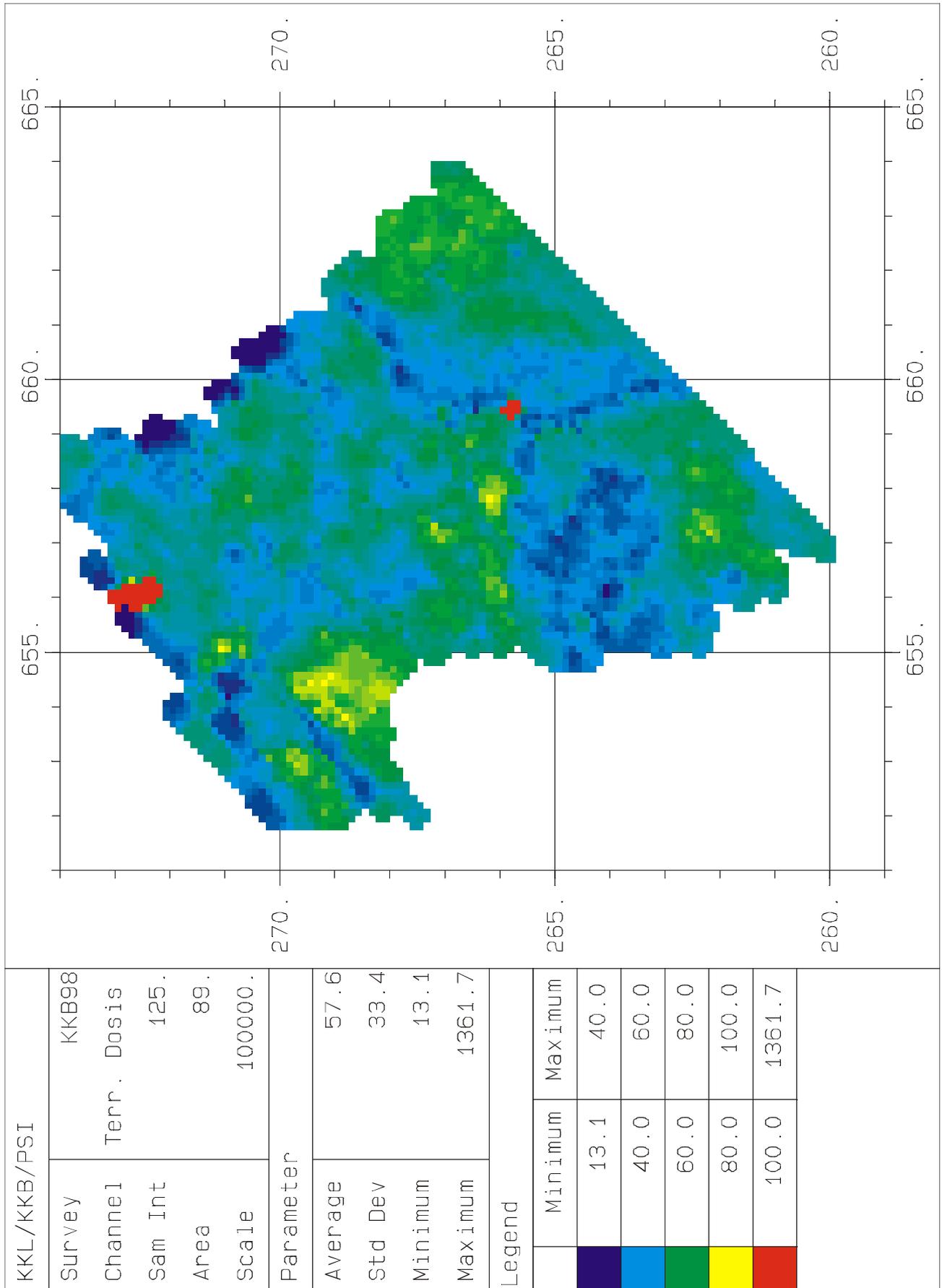
Beilage 17: Aktivitätskarten für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].

Beilage 18: Flugwege im Messgebiet Hombrechtikon.

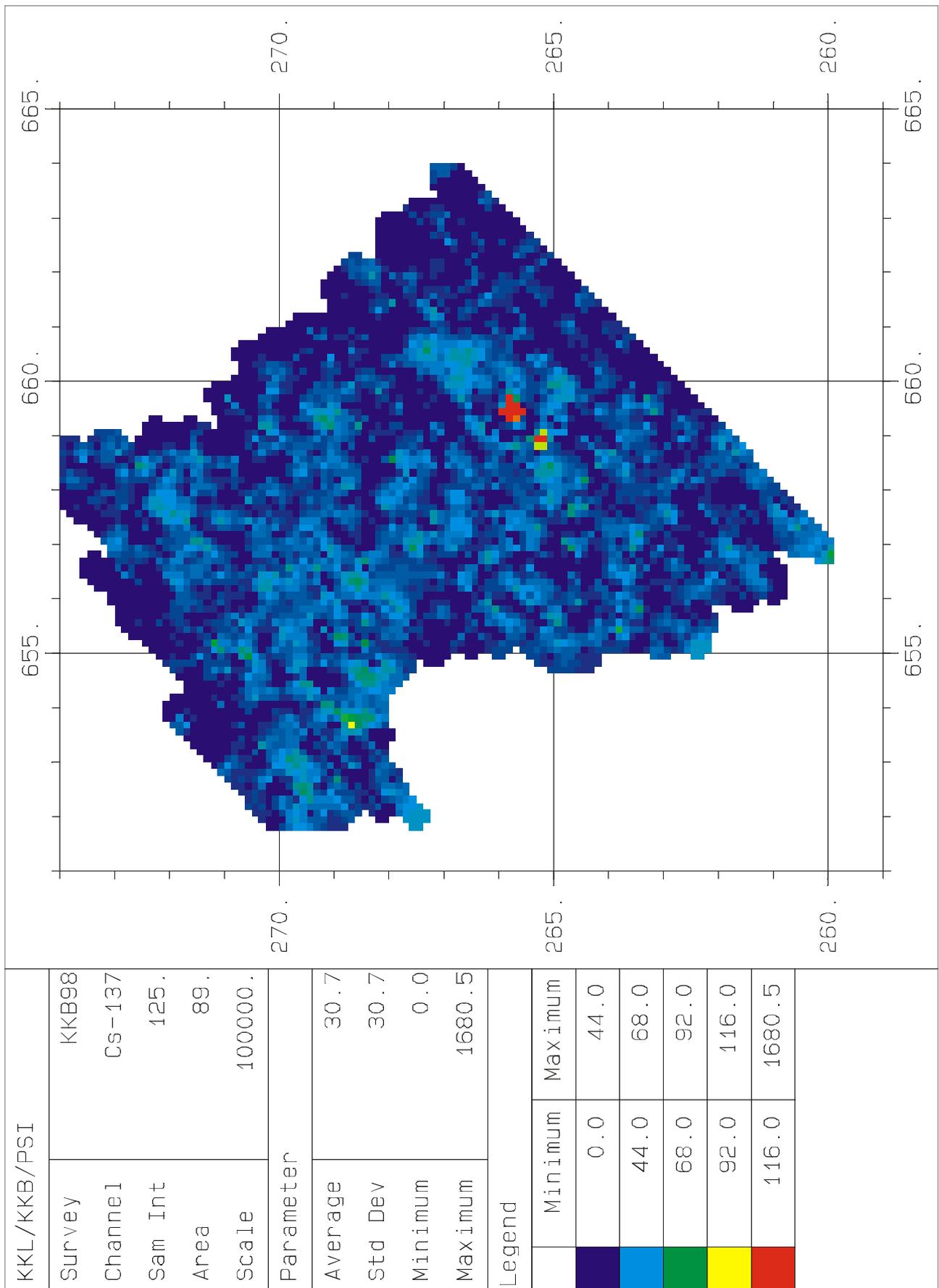
Beilage 19: Aktivitätskarten für ^{137}Cs [Bq/kg].



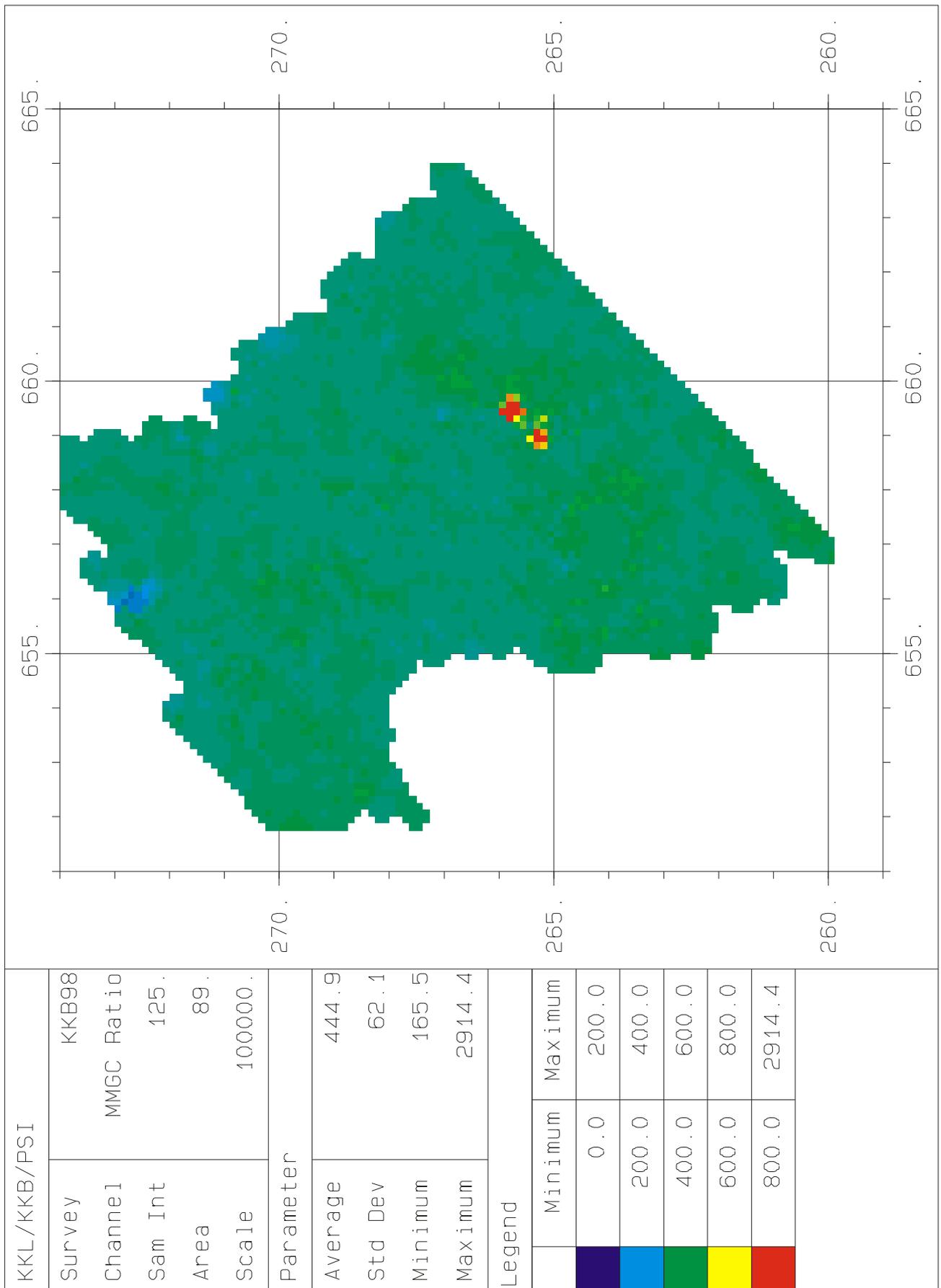
Beilage1: Flugwege im Messgebiet KKL/KKB/PSI. Die Dreiecke bezeichnen die Lage der Kernkraftwerke Beznau (schwarz ausgefüllt) und Leibstadt (weiss ausgefüllt), die Vierecke die Lage des PSI Ost (schwarz ausgefüllt) und des PSI West (weiss ausgefüllt).



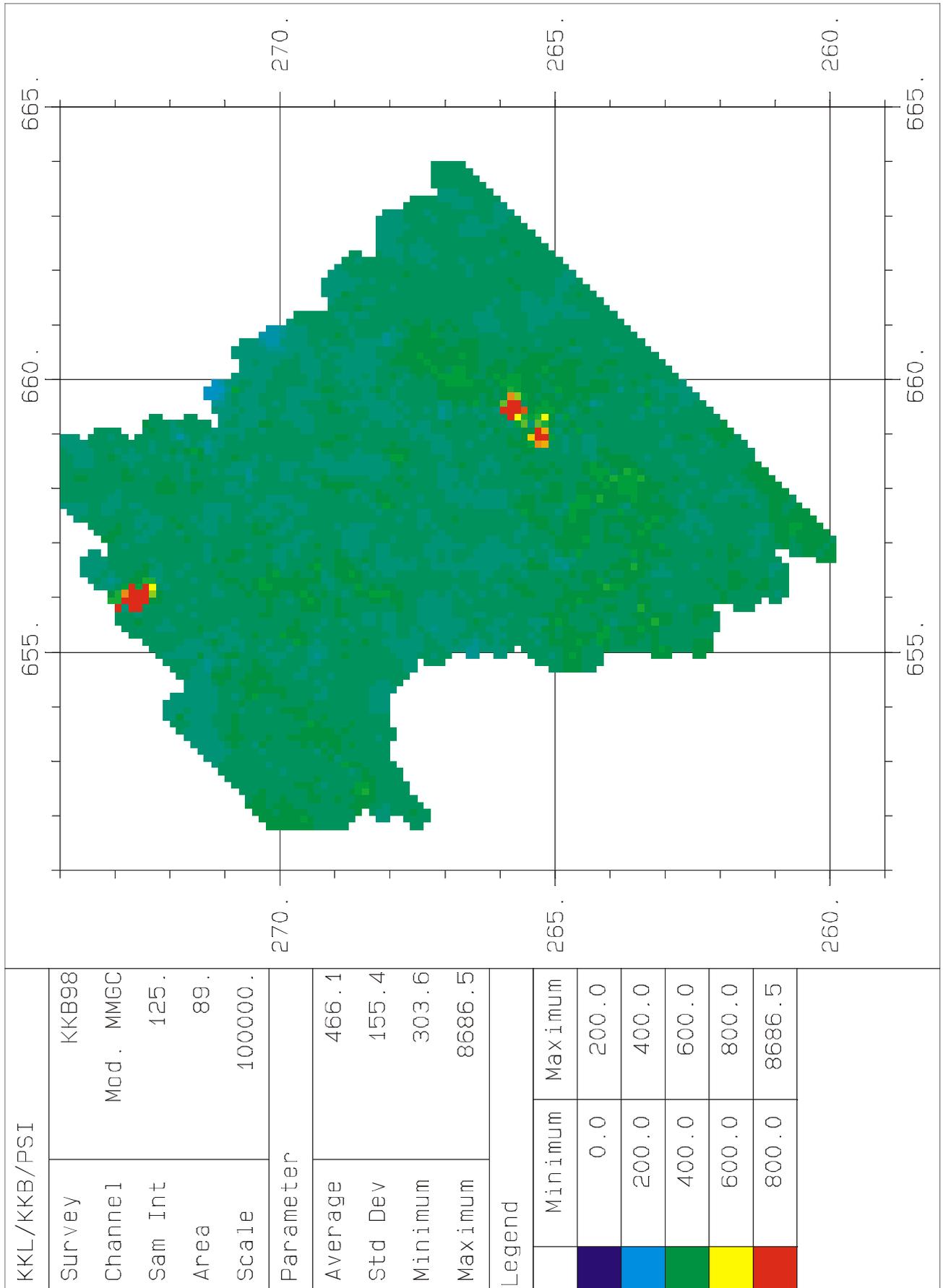
Beilage 2: Dosisleistung [nSv/h] ohne kosmischen Anteil im Messgebiet KKL/KKB/PSI.



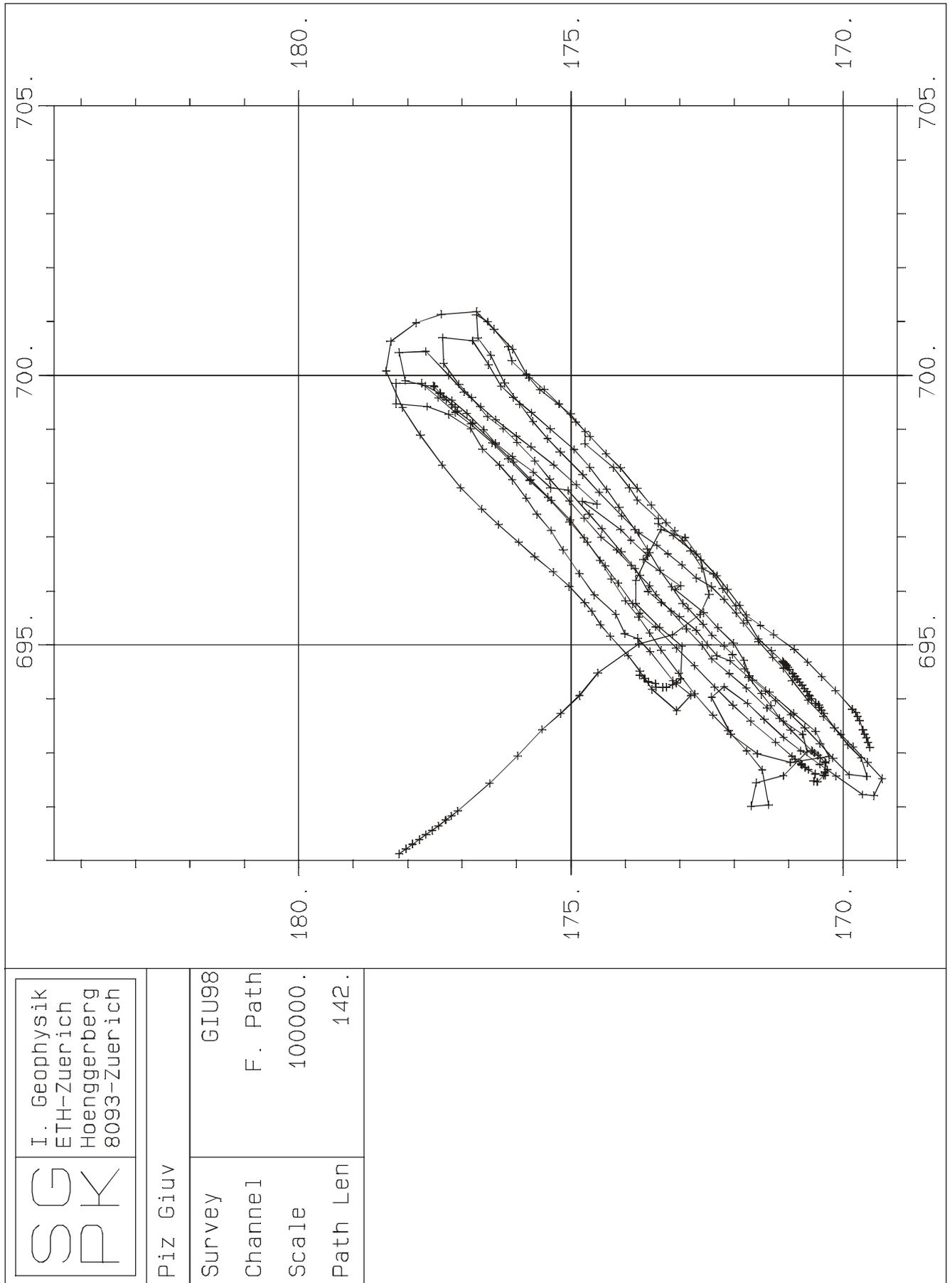
Beilage 3: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg] im Messgebiet KKL/KKB/PSI.



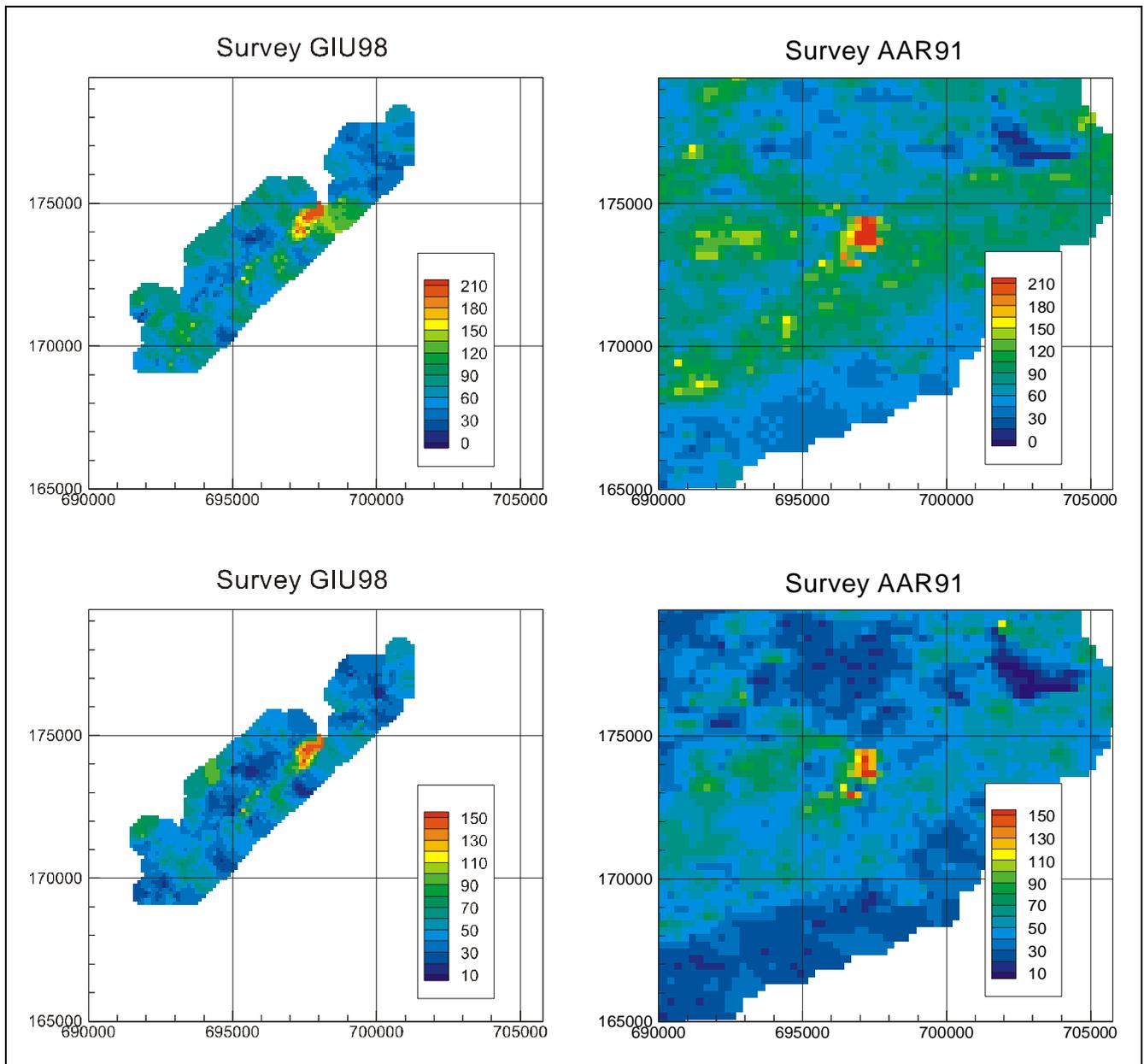
Beilage 4: MMGC-Ratio [%] im Gebiet KKL/KKB/PSI.



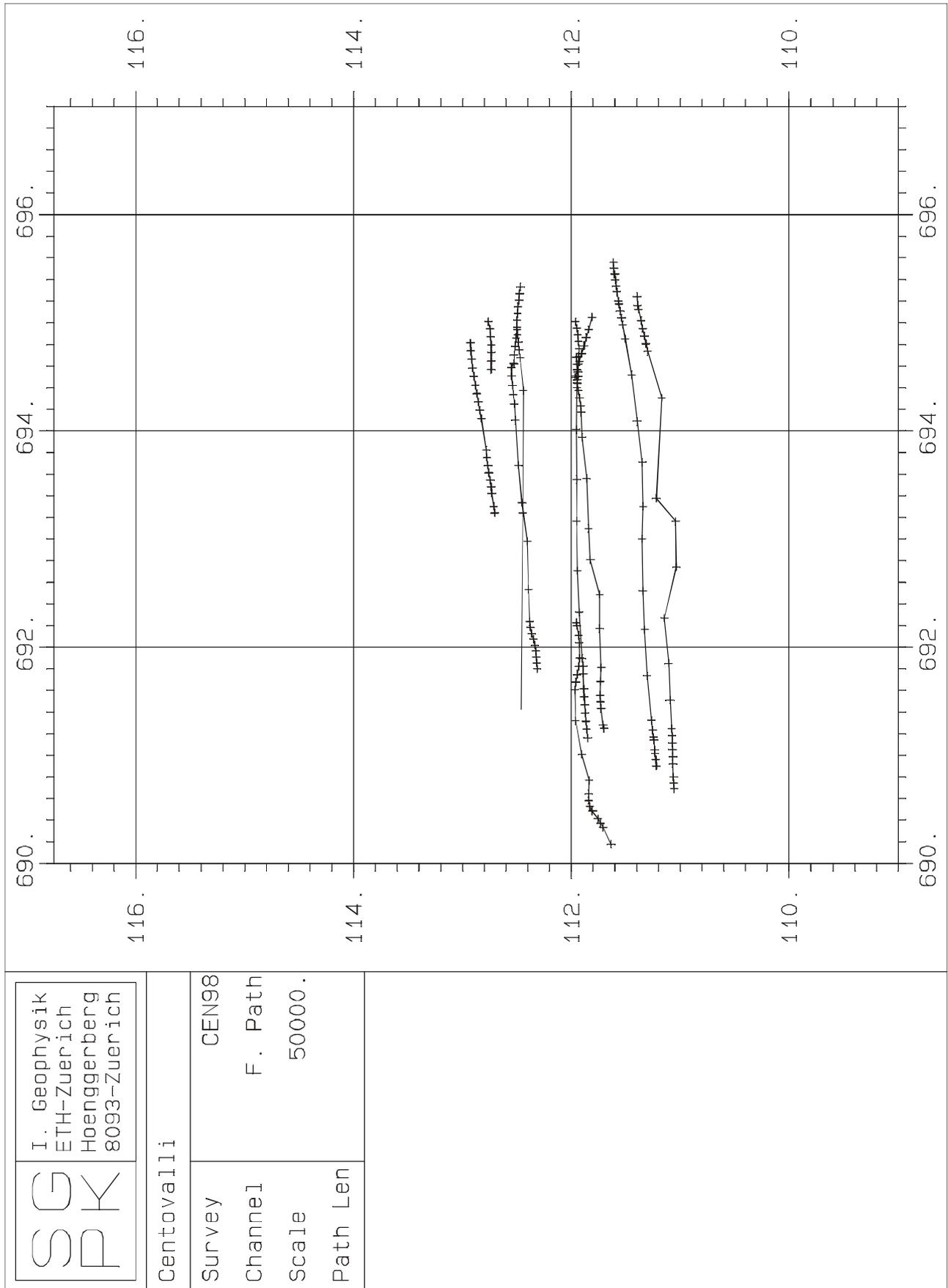
Beilage 5: Modifizierter MMGC-Ratio [%] im Messgebiet KKL/KKB/PSI.



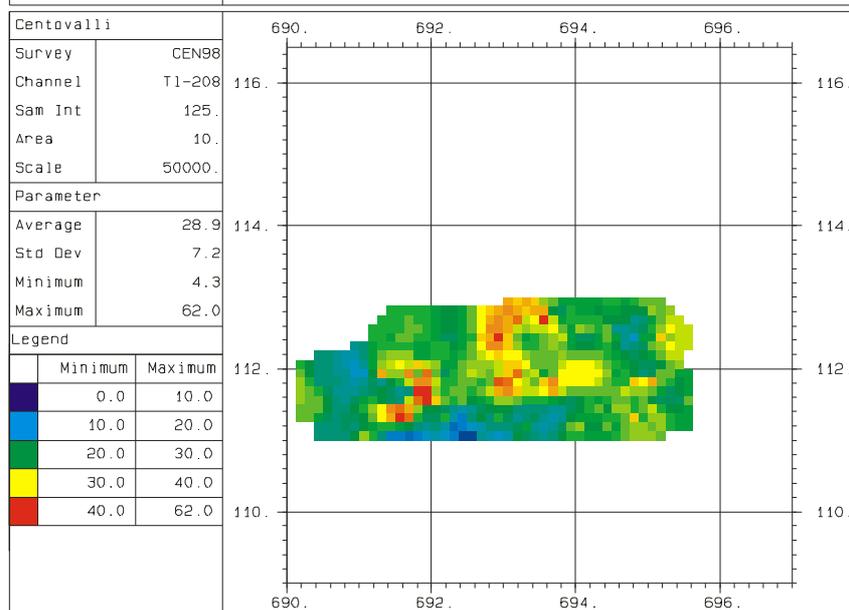
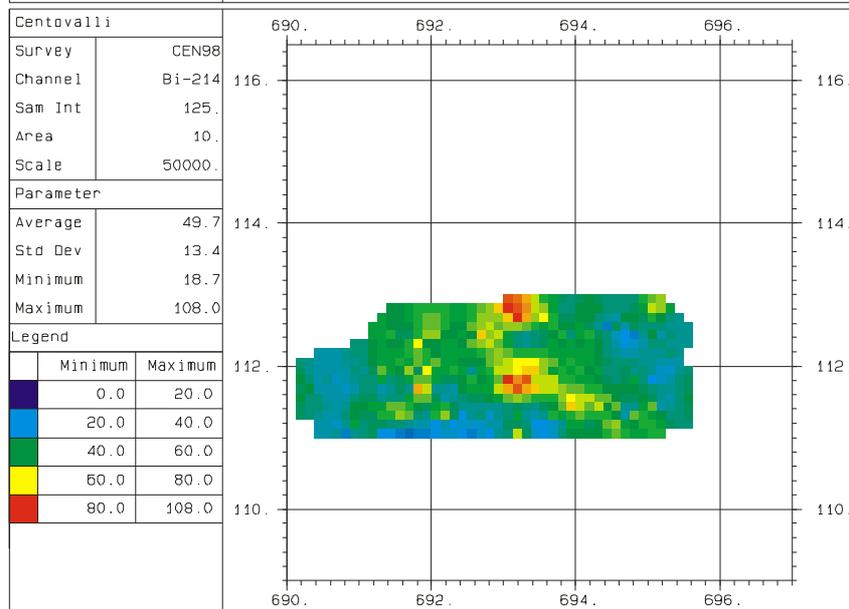
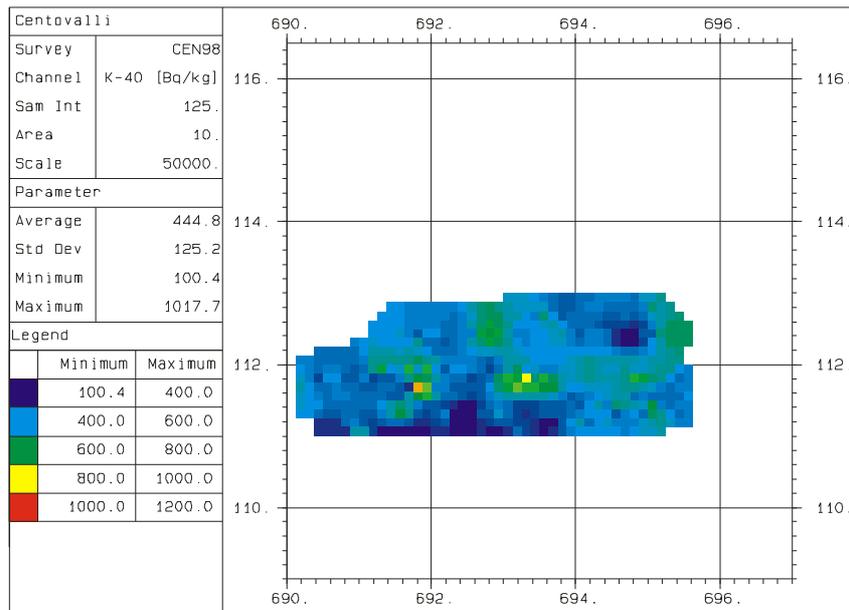
Beilage 6: Flugwege im Gebiet des Piz Giuv.



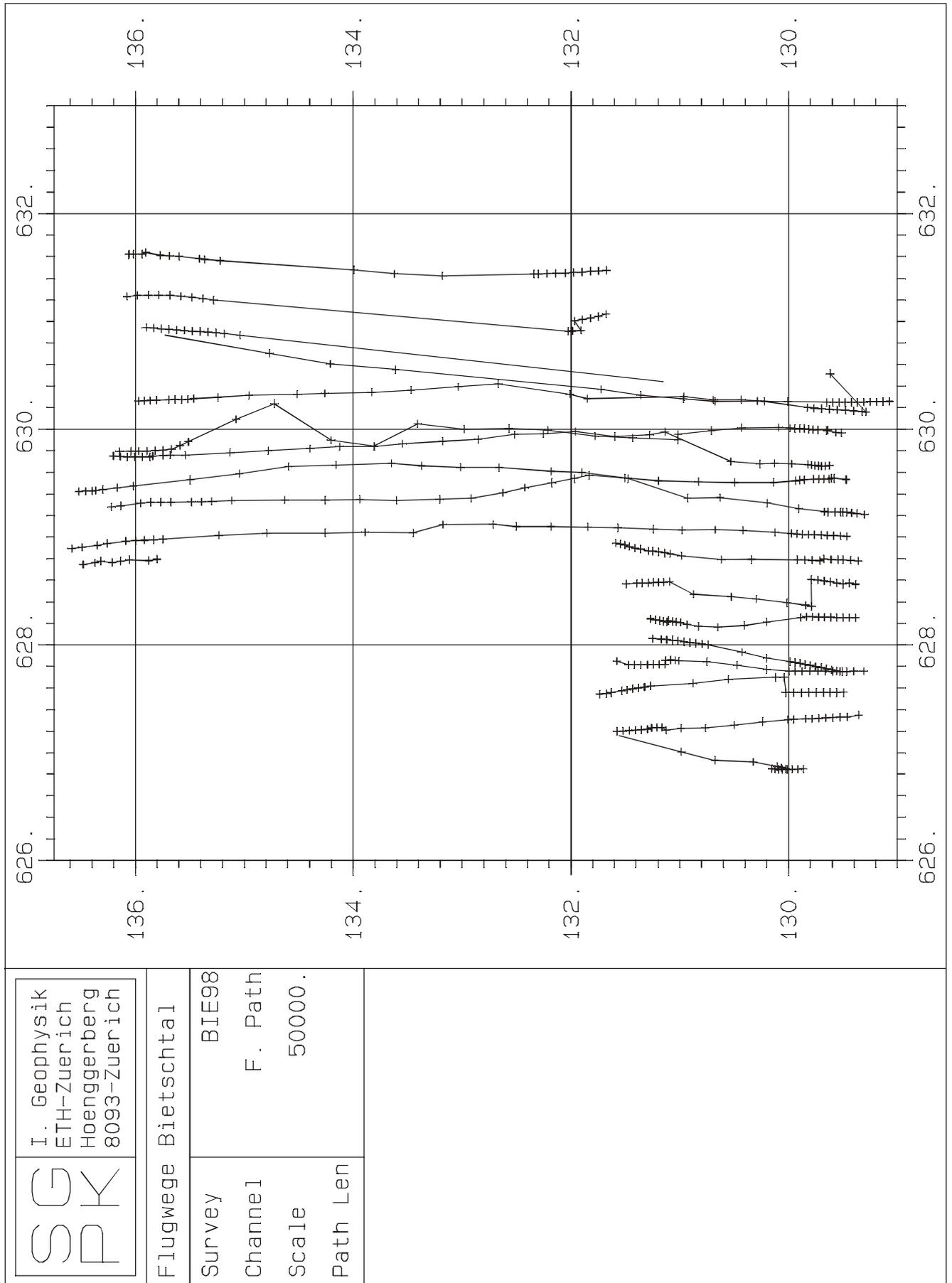
Beilage 7: Vergleiche der Messergebnisse aus den Surveys GIU98 und AAR91. Die Karten stellen die Aktivitäten von ^{214}Bi (oben) und ^{208}Tl (unten) in Bq/kg dar. In beiden Surveys sind im selben Gebiet stark erhöhte Werte zu erkennen.



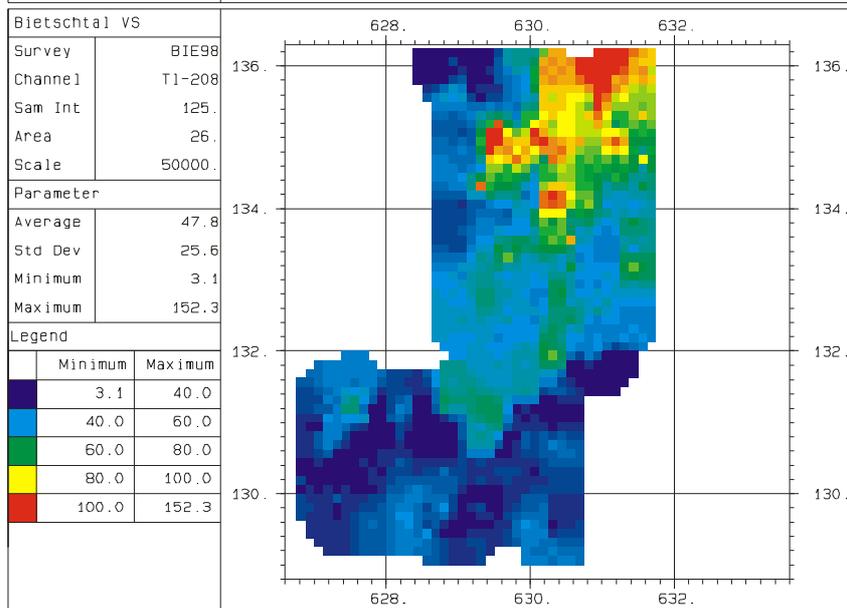
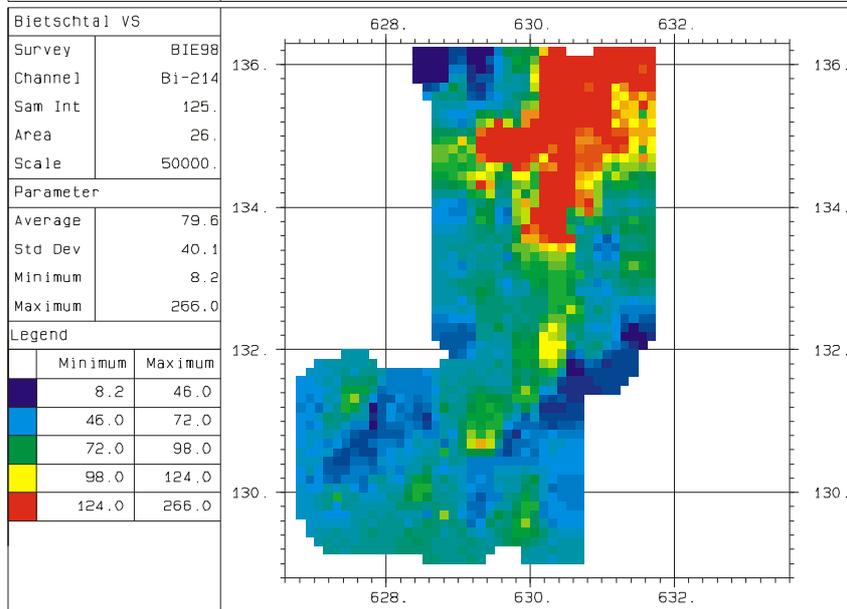
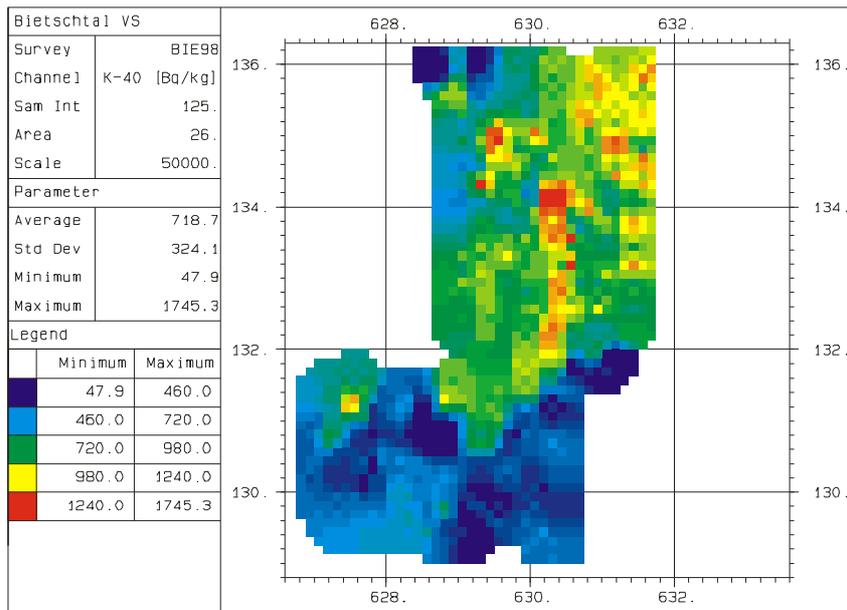
Beilage 8: Flugwege im Gebiet des Centovalli.



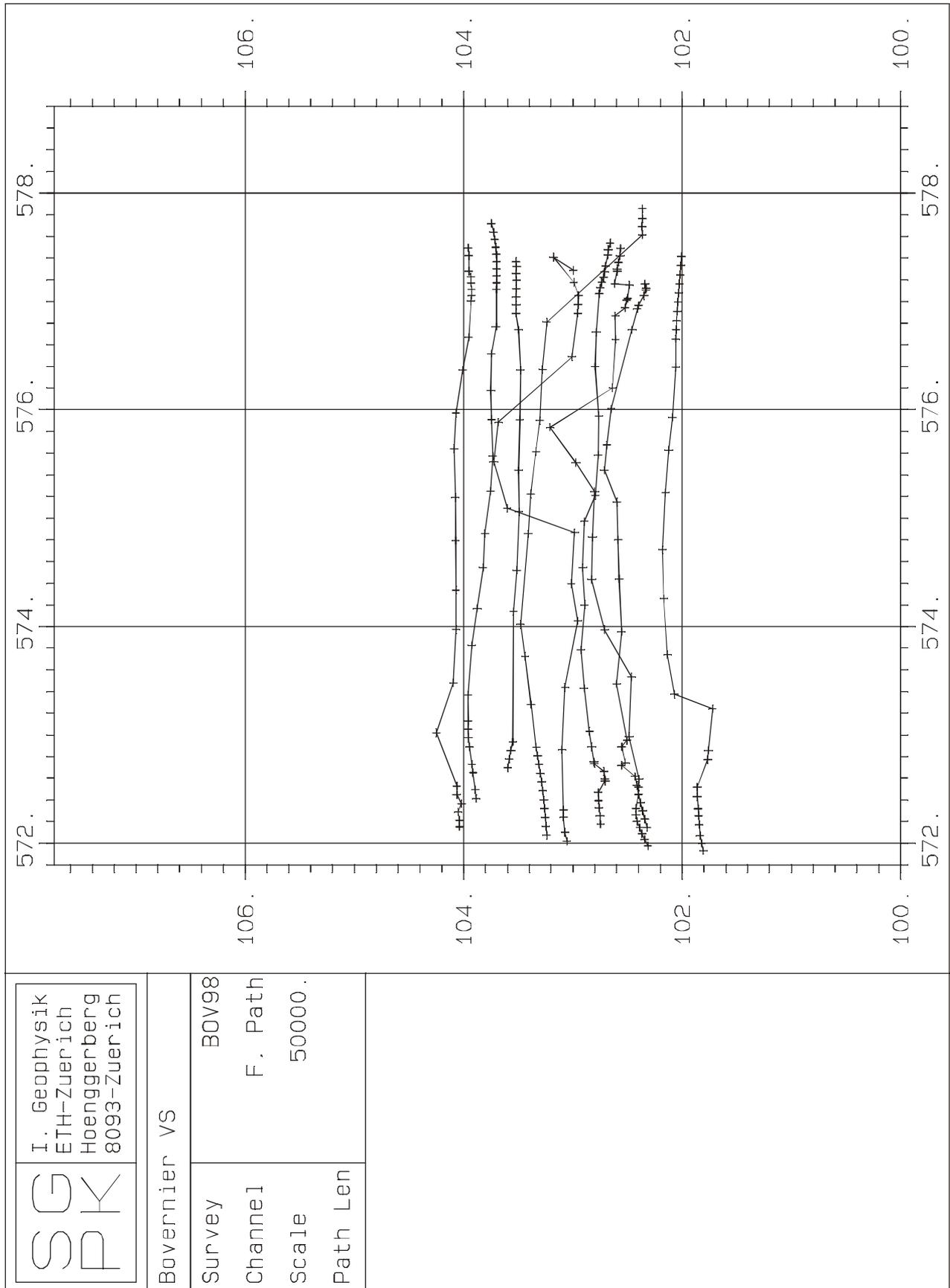
Beilage 9: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi ^{208}Tl [Bq/kg] im Messgebiet Centovalli.



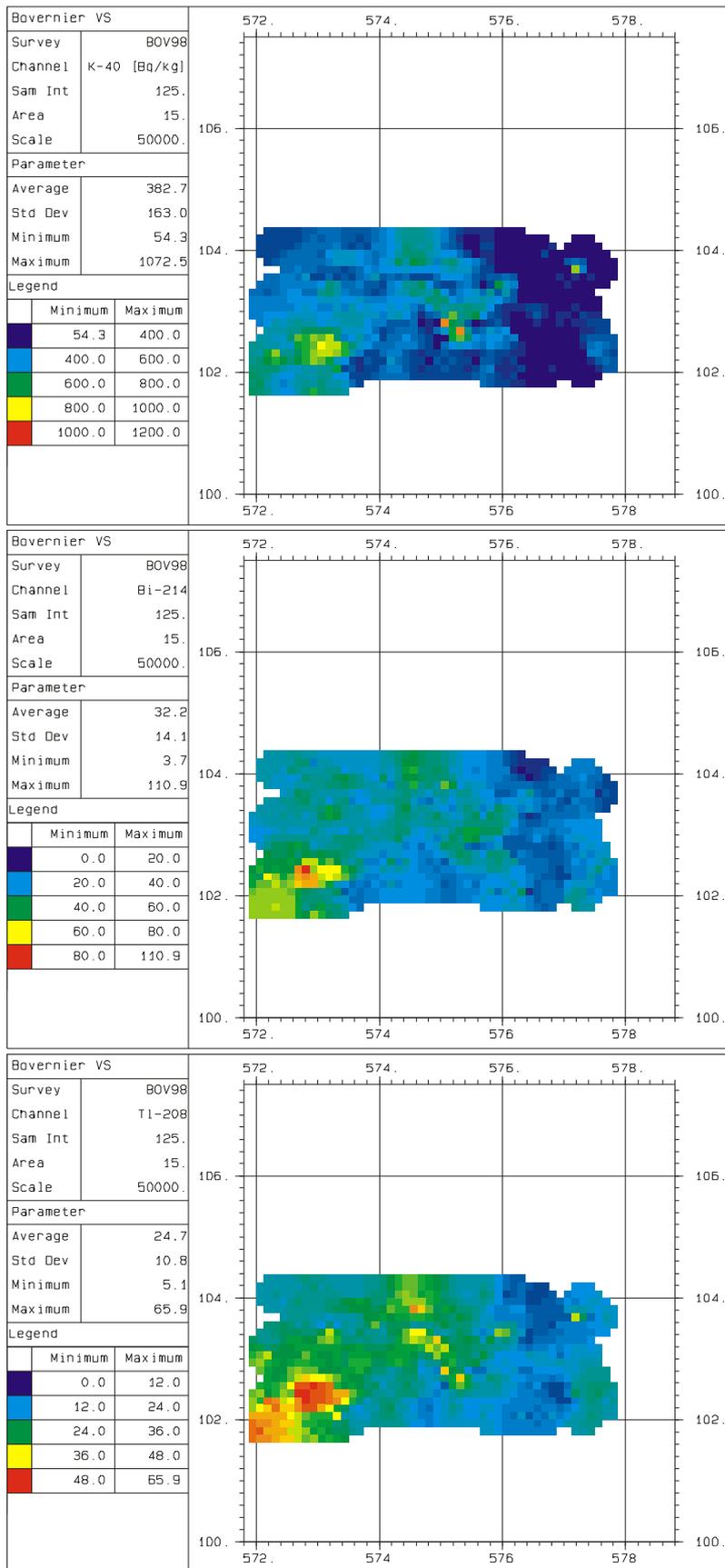
Beilage 10: Flugwege im Gebiet des Bietschtals.



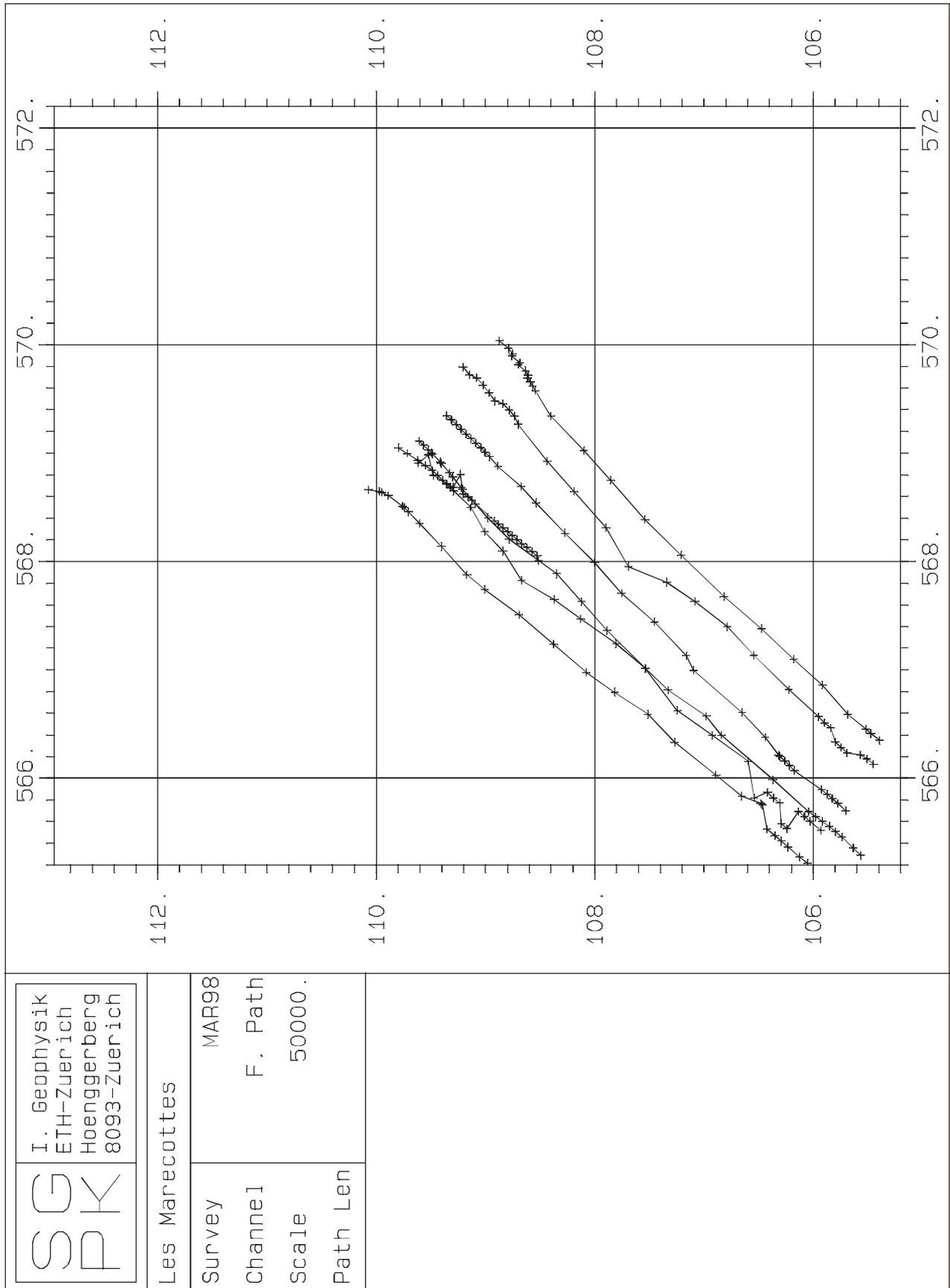
Beilage 11: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg] (von oben nach unten).



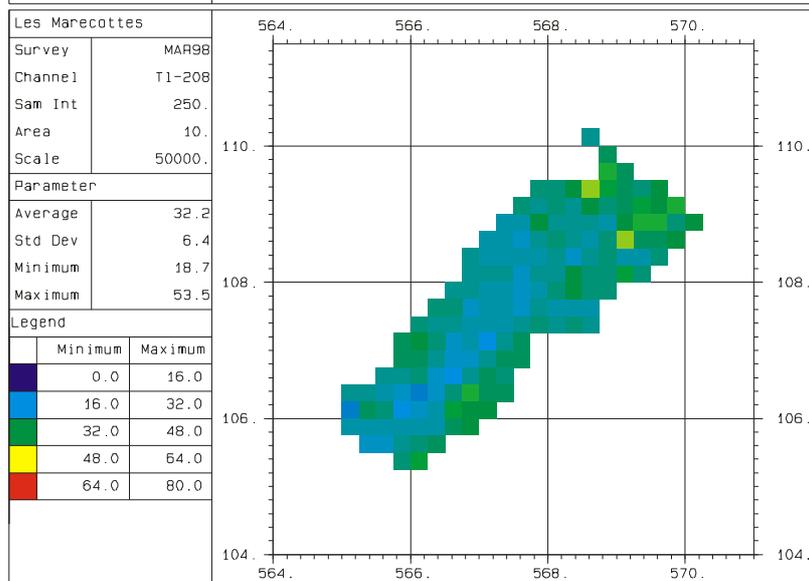
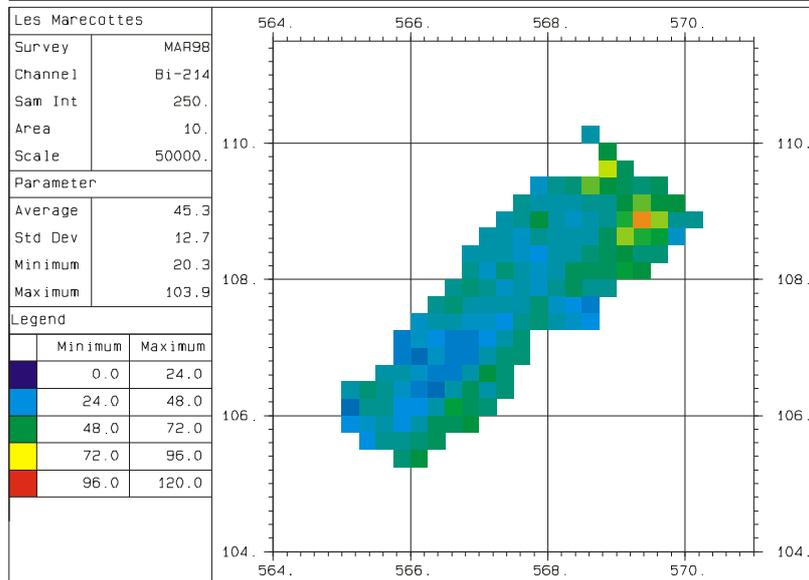
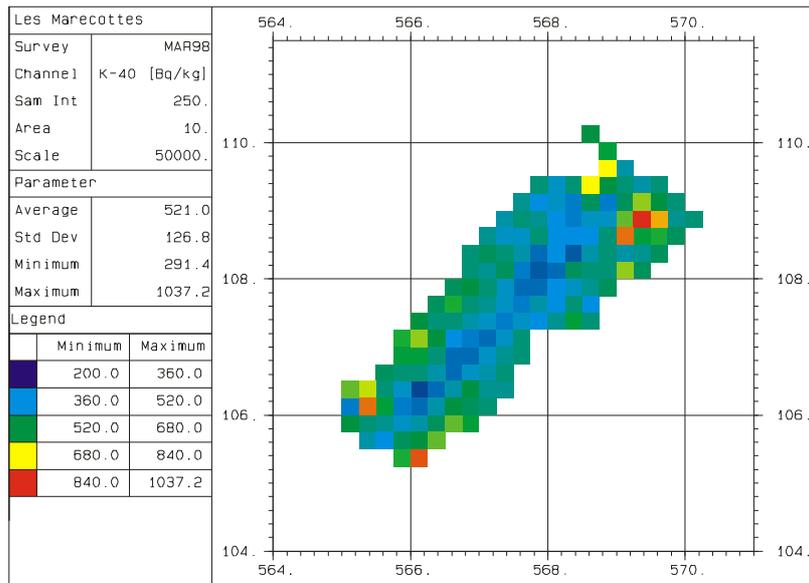
Beilage 12: Flugwege im Gebiet Sembrancher/Bovernier.



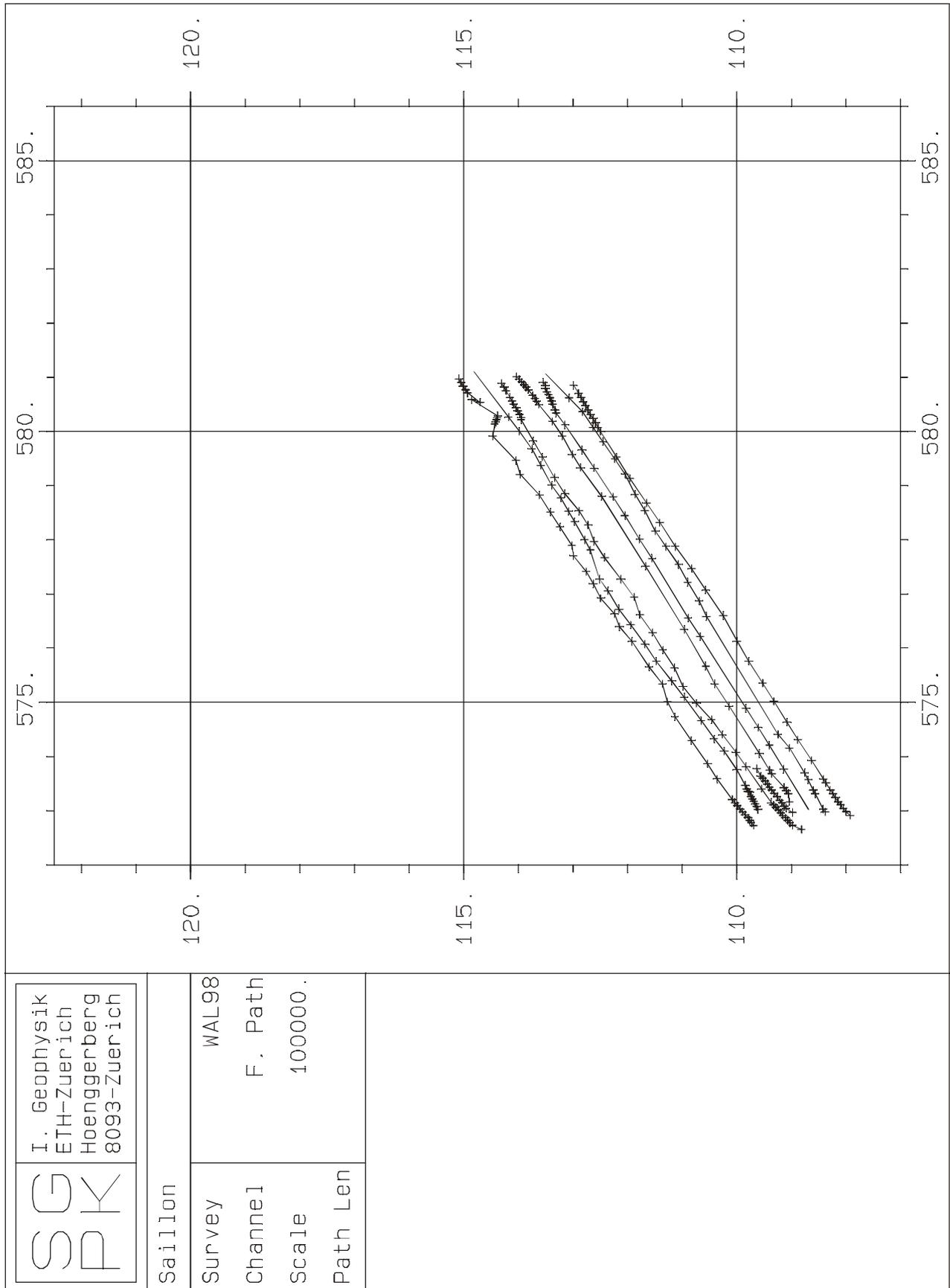
Beilage 13: Aktivitätskarten der natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].



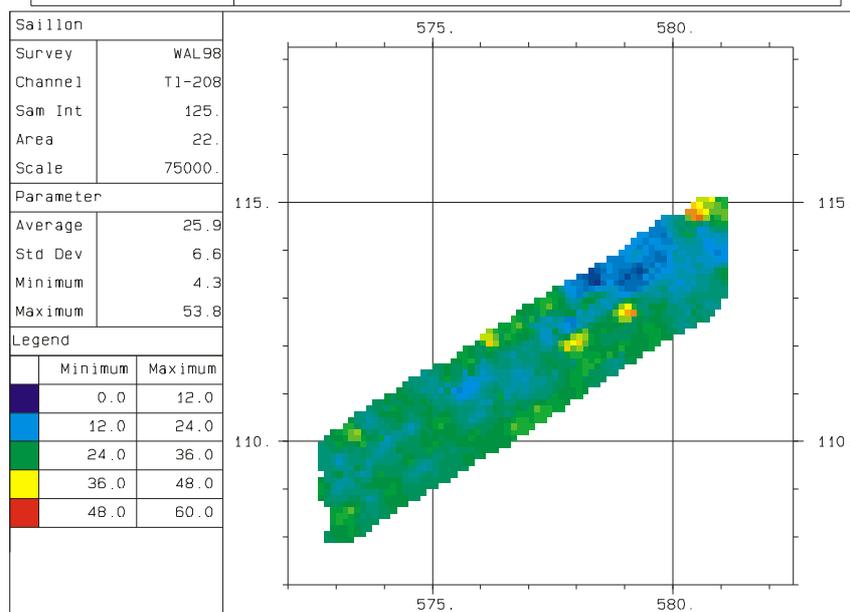
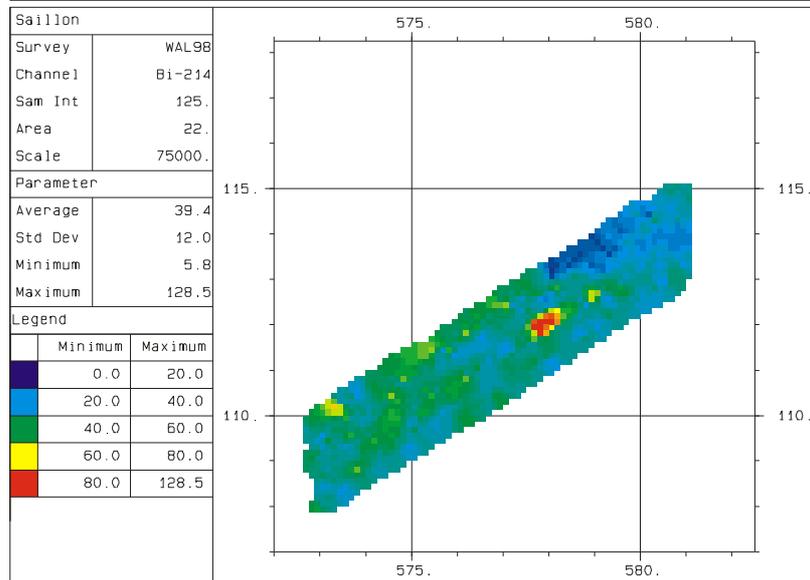
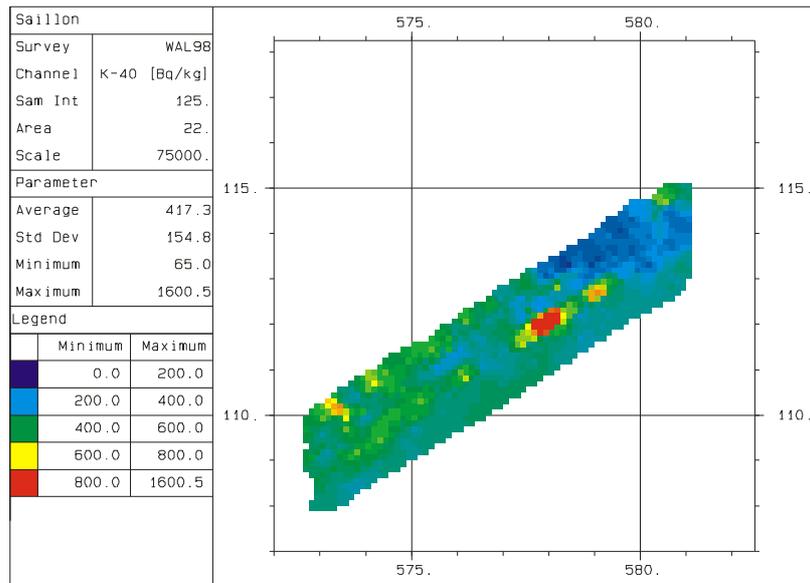
Beilage 14: Flugwege im Messgebiet Vernayaz/Salvan/Les Marécottes.



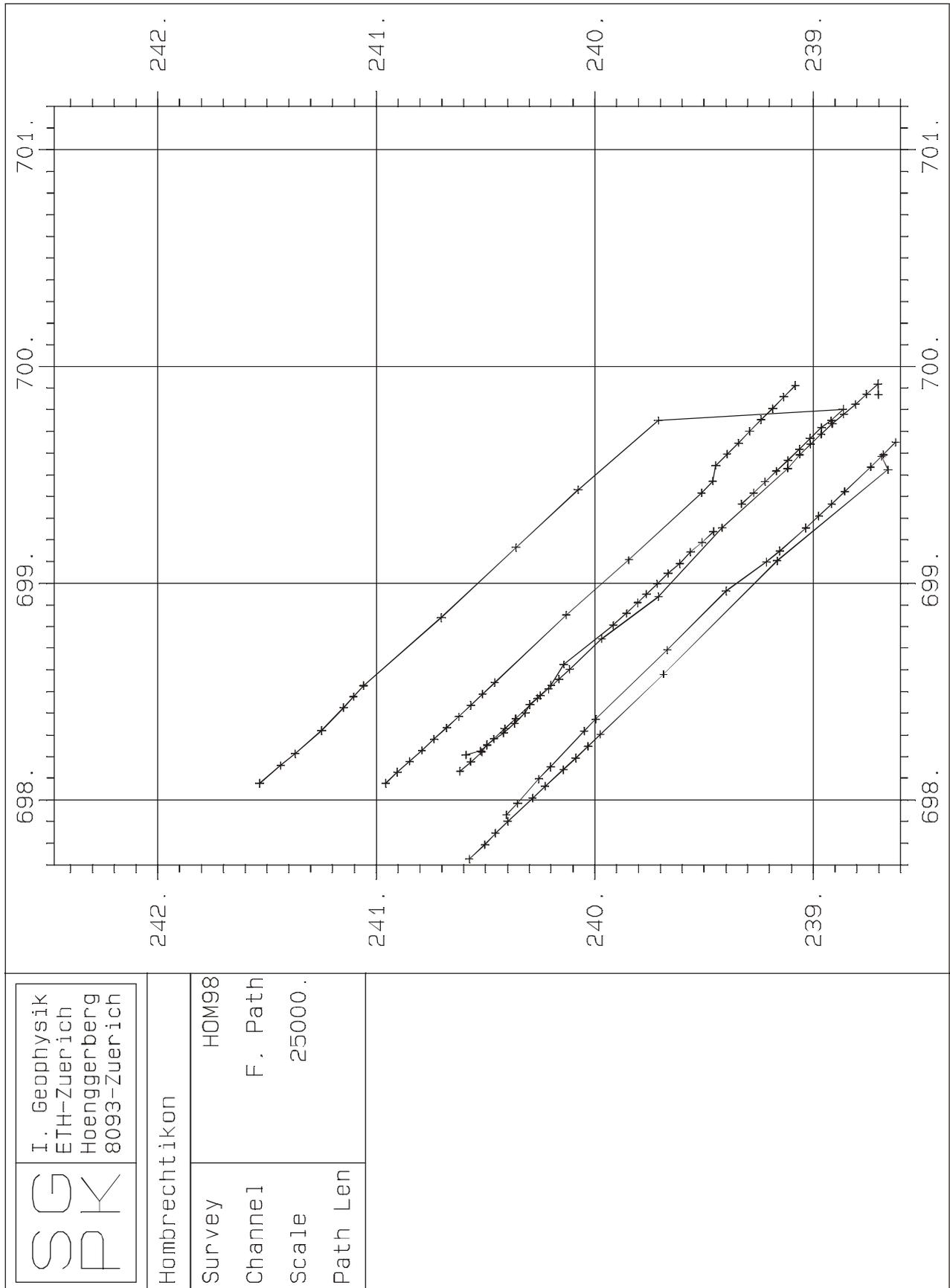
Beilage 15: Aktivitätskarten im Gebiet Vernayaz/Salvan/Les Marécottes für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].



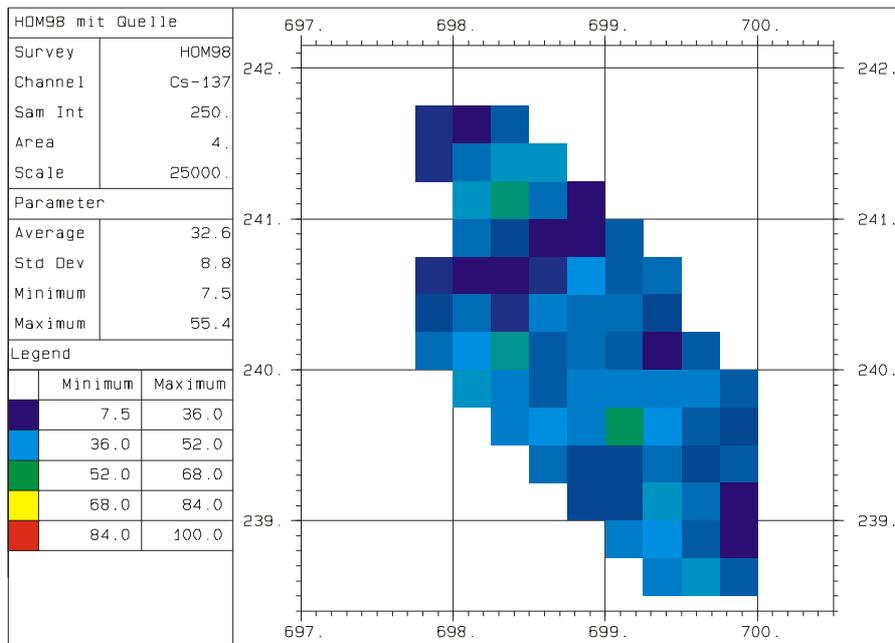
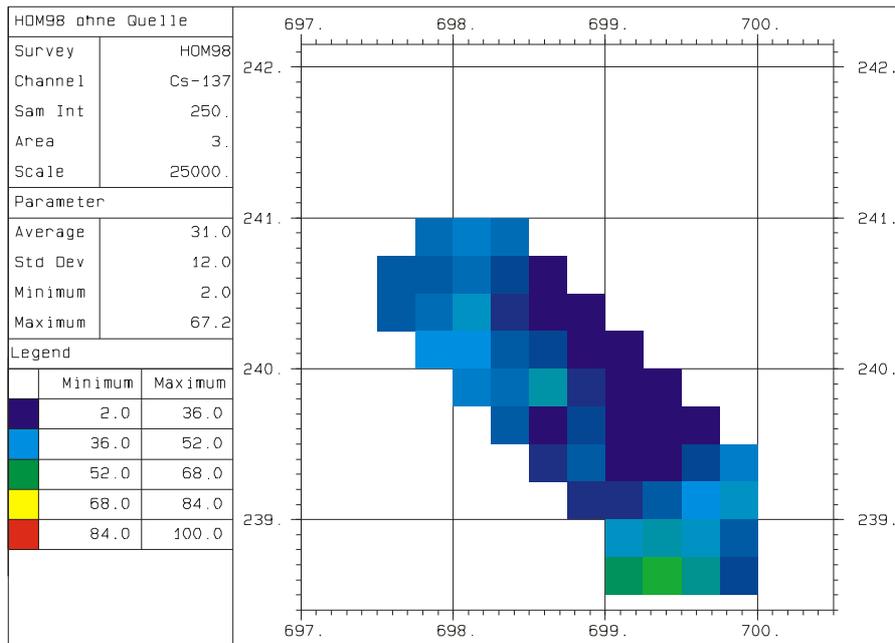
Beilage 16: Flugwege im Messgebiet Saillon/Mazembroz/Fully.



Beilage 17: Aktivitätskarten des Messgebietes Saillon/Mazembroz/Fully für die natürlichen Radionuklide ^{40}K , ^{214}Bi und ^{208}Tl [Bq/kg].



Beilage 18: Flugwege im Messgebiet Hombrechtikon.



Beilage 19: Aktivitätskarten für ^{137}Cs [Bq/kg]. Oben ist die Karte für den Messflug ohne Cäsium-Quelle an Board des Helikopters abgebildet, unten diejenige für den Messflug mit Cäsium-Quelle.