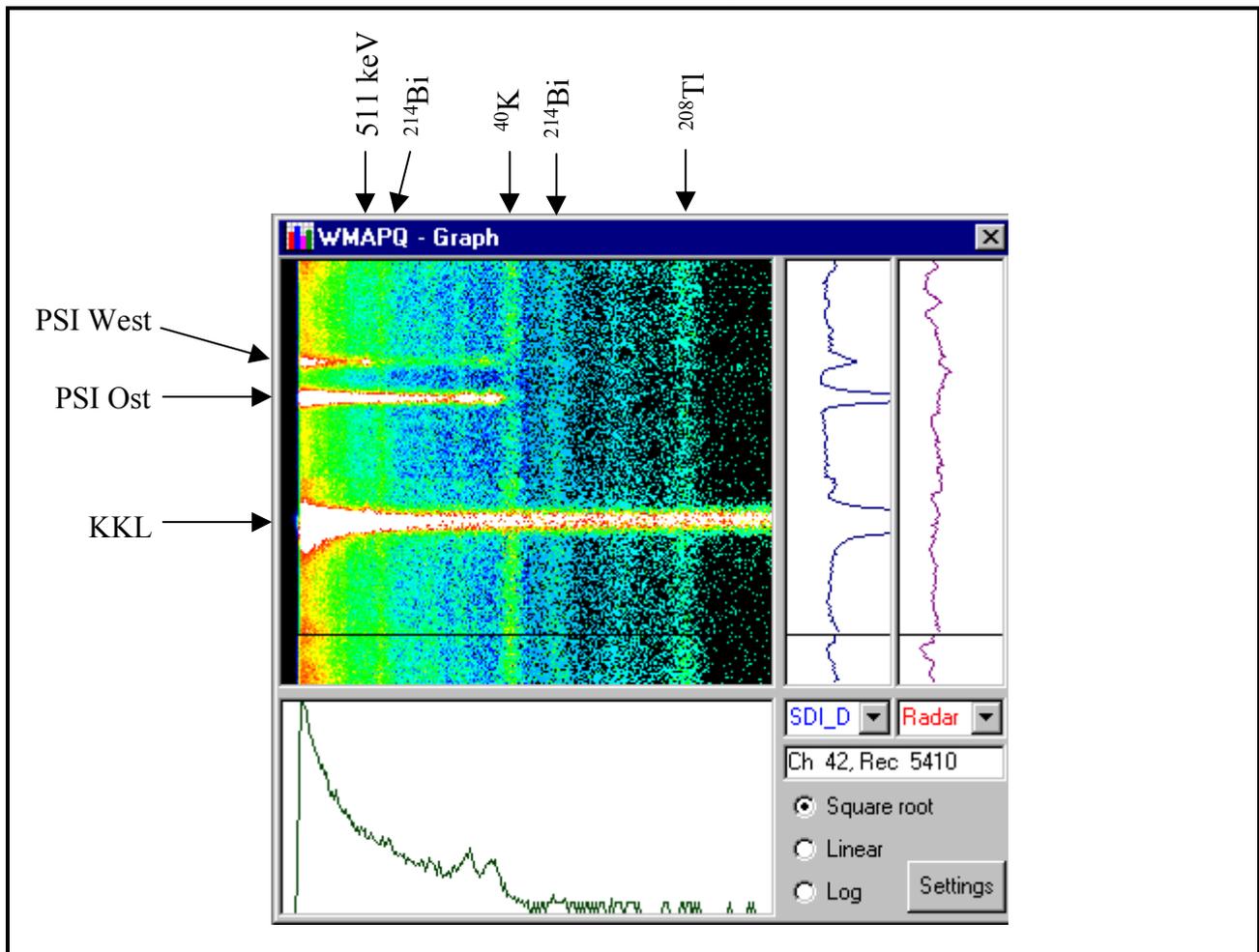


B. Bucher, L. Rybach, G. Schwarz, Chr. Bärlocher

## Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM00

Bericht für das Jahr 2000 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR)



# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Testflug Jahr 2000 Kompatibilität</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Neuer GPS-Empfänger</b> .....	<b>3</b>
<b>4 Langzeitvergleiche</b> .....	<b>4</b>
<b>4.1 Einleitung</b> .....	<b>4</b>
<b>4.2 Statistische Analyse von mehrjährigen Messungen</b> .....	<b>5</b>
4.2.1 Fehlerbetrachtung.....	5
4.2.2 Ergebnisse Messgebiet KKB/KKL/PSI .....	7
4.2.3 Vergleich .....	11
<b>5 Ergebnisse der Messflüge 2000</b> .....	<b>13</b>
<b>5.1 Messgebiet KKL/KKB/PSI</b> .....	<b>14</b>
<b>5.2 Lucens</b> .....	<b>15</b>
<b>5.3 NEAT-Deponien</b> .....	<b>15</b>
5.3.1 Amsteg .....	15
5.3.2 Sedrun .....	16
<b>5.4 Tessin</b> .....	<b>16</b>
<b>5.5 Quellensuche</b> .....	<b>17</b>
<b>6 Fazit</b> .....	<b>20</b>
<b>7 Ausblick</b> .....	<b>20</b>
<b>8 Literaturhinweise</b> .....	<b>21</b>
<b>9 Beilagen</b> .....	<b>22</b>

Titelblatt: Ein Teil der Darstellung aus der neuen online Auswertungssoftware. Gemessene Gammaspectren lassen sich mit Hilfe dieser Darstellung leicht interpretieren. Auf der Abbildung sind die im Gebiet des Paul Scherrer Institutes (PSI) und beim Kernkraftwerk Leibstadt gemessenen Anomalien (Messflüge Juni 2000) zu erkennen (siehe auch Abbildung 11).

## Zusammenfassung

Im Rahmen eines Testfluges wurde am 6. Januar 2000 das Messsystem auf seine Jahr 2000 Kompatibilität untersucht. Es zeigten sich keine Probleme, die auf den Datumswechsel zurückgeführt werden mussten. Jedoch zeigte sich, dass der Umbau der GPS-Antenne am Super Puma Helikopter und der damit verbundene Einbau eines Antennensplitters die Signale so beeinflusst, dass mit unseren GPS-Empfängern nicht mehr eine für eine Positionsbestimmung genügende Anzahl von Satelliten erkannt werden konnte. Mit Hilfe von Vorverstärkern konnte dieses Problem jedoch behoben werden. Trotzdem wurde der Austausch der GPS-Empfänger in die Hand genommen und im Mai 2000 vollzogen. Mit dem neuen GPS-Empfänger werden Genauigkeiten der Positionen im Bereich von  $\pm 10$  m erreicht.

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 26. Juni - 29. Juni 2000 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL) sowie der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) Messflüge über dem Versuchsreaktor Lucens, über Aushubdeponien der NEAT (Amsteg und Sedrun) und in verschiedenen Gebieten des Tessin (Cäsium Hot-Spots) zum Inhalt. Zudem wurde mit zwei Flügen die Quellensuche geübt. Daneben wurde auch der Ausbildungsstand des Messteams gefestigt. Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM00 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 sowie des PSI vermessen. Die Resultate zeigen das gleiche Bild wie die Ergebnisse aus den letzten Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Beznau auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Das KKW Leibstadt und das PSI hingegen konnten klar identifiziert werden. Ausserhalb der Kernanlagen 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 ehemaligen Kernkraftwerkes Lucens wurden über einem Nebengebäude erhöhte Zählraten im  $^{137}\text{Cs}$ - und  $^{60}\text{Co}$ -Fenster gemessen. Diese sind auf dort gelagerte, kontaminierte Materialien zurückzuführen, die aus dem ehemaligen Reaktor stammen. Diese waren nach den Messungen im Jahre 1999 noch nicht in das neue Zwischenlager in Würenlingen überführt worden. Ausser über diesem Gebäude wurde keine erhöhte Radioaktivität detektiert, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte.

Messungen über Aushubdeponien der NEAT in Amsteg und Sedrun zeigten keine wesentliche Erhöhung in der natürlichen Radioaktivität des Ausbruchmaterials. Die Suche nach weiteren  $^{137}\text{Cs}$  Hot Spots im Tessin erfolgte einerseits mit Sondierlinien und andererseits mit einem Messgebiet in der Umgebung der Cimetta oberhalb von Locarno. Wiederum konnten lokale Anreicherungen an  $^{137}\text{Cs}$  detektiert werden, die aber nicht die Radionuklidkonzentration des im Jahre 1999 entdeckten Hot Spot am Pizzo Ometto erreichten.

Im Rahmen einer speziellen Übung hatten die zwei im Einsatz stehenden Messteams je einen Einsatz zur Quellensuche zu planen und durchzuführen, wobei die Zeit bewusst knapp gehalten wurde. Eine  $^{60}\text{Co}$  Quelle mit einer Aktivität von 190 MBq, die von einem Team des PSI ausgelegt wurde, konnte von beiden Messteams lokalisiert und identifiziert werden. Die neue online Auswertungs- und Darstellungssoftware leistete dabei sehr wertvolle Hilfe.

Bei allen Messflügen wurde die online Software getestet. Mit ihr liegen die Resultate bereits bei der Landung vor. Die Bedienung ist gegenüber der bestehenden Software „GAMERO“ wesentlich vereinfacht. Die Fehleranfälligkeit wurde ebenfalls drastisch gesenkt. Mit der selben Software ist auch eine offline Auswertung der Messdaten möglich.

# 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 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 (Global Positioning System) 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. 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.

## 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 erfolgte bis 1999 mit dem Software-Paket 'Gamero'. Diesem liegt das in Schwarz (1991a) 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 (Bucher, 2001) neuentwickelte Auswertesoftware (mit online Auswerteoption) zum Einsatz.

## 2 Testflug „Jahr 2000 Kompatibilität“

Am 5. Januar wurde das Messsystem in einen Super Puma Helikopter der Armee eingebaut. Erste Tests am Boden zeigten keine Probleme, die auf den Datumswechsel zurückgeführt werden müssten. Bei Tests im Freien wurden Probleme mit der GPS-Positionierung offensichtlich. Wie sich herausstellte, waren diese Probleme auf den Umbau der GPS-Antenne am Helikopter und den damit verbundenen Einbau eines Antennensplitters zurückzuführen. In der zur Verfügung stehenden Zeit bis zum Testflug konnten diese Probleme nicht gelöst werden.

Am 6. Januar 2000 erfolgte dann der Testflug, während dessen das aeroradiometrische Messsystem auf seine Jahr 2000 Kompatibilität untersucht wurde. Das Messsystem zeigte beim Testflug keine Probleme, welche die Jahr 2000 Kompatibilität in Frage stellten. Hingegen konnte mit den vorhandenen GPS-Empfängern des Messsystems während des ganzen Fluges keine einzige Position bestimmt werden, da das Antennensignal zu schwach war und deshalb nie genügend Satelliten „gesehen“ werden konnten.

Da ohne GPS-Positionen das Messsystem nicht einsatzbereit ist, musste möglichst schnell eine Lösung dieses Problems gefunden werden. Mittelfristig war bereits ein Ersatz der GPS-Empfänger durch modernere Geräte geplant (siehe auch Kapitel 3). Mit der Unterstützung der FS (Schweizerische Unternehmung für Flugzeuge und Systeme) in Interlaken konnten die GPS-Empfänger mit Hilfe von Vorverstärkern innert nützlicher Frist wieder einsatzbereit gemacht werden.

## 3 Neuer GPS-Empfänger

In Folge der Probleme mit den GPS-Empfängern beim Testflug im Januar 2000 und im Hinblick auf die jährlichen Messflüge im Juni 2000 wurde der Ersatz der bestehenden GPS-Empfänger vorangetrieben. Grundsätzlich boten sich zwei Möglichkeiten an: Entweder sollte ein Differential-GPS-Empfänger oder ein Empfänger, der den militärischen P-Code nutzen kann, gewählt werden. Für die letztere Möglichkeit stand ein Leihgerät der Armee zur Verfügung, das innerhalb militärischer Übungen, wie den jährlichen Messflügen, problemlos genutzt werden kann.

Im Frühjahr 2000 wurden diese zwei Möglichkeiten mit zwei GPS-Empfängern getestet. Der dabei eingesetzte Differential-GPS-Empfänger der Firma Novatel lieferte dabei die Positionen mit der geringsten Streuung. Der P-Code fähige Empfänger der Firma Sextant schnitt etwas schlechter ab, lieferte trotzdem Positionen mit der Genauigkeit von  $\pm 10$  m. Da der Empfänger bei differential GPS auf die Korrektursignale angewiesen ist, die via UKW übertragen werden, ist die Genauigkeit der gelieferten Positionen vom UKW-Empfang abhängig. Aufgrund der tiefen Flughöhen ist vor allem in Gebieten mit starkem Relief, insbesondere in den alpinen Tälern, mit Empfangsproblemen und somit ungenaueren Positionen zu rechnen. Deshalb fiel der Entscheid zugunsten des P-Code fähigen GPS-Empfängers, der ortsunabhängig überall die gleichen Genauigkeiten liefern sollte. Nähere Informationen zur Evaluation und den Tests der beiden Empfänger können Bucher (2001) entnommen werden.

Der neue Empfänger wurde noch vor den Messflügen im Juni im Messsystem eingebaut. Neben dem Einbau waren auch Anpassungen der Systemsteuerungssoftware notwendig, um die Positionsdaten vom Empfänger auslesen zu können. Nach erfolgreichen Tests am Boden konnte der neue Empfänger auch bei den jährlichen Messflügen im Juni 2000 in der Luft getestet werden. Die bei den Messflügen gelieferten Positionen wiesen eine sehr gute Qualität auf.

## 4 Langzeitvergleiche

### 4.1 Einleitung

Seit dem Beginn der Aeroradiometrie im Jahre 1986 fiel eine grosse Menge an aeroradiometrischen Daten an. Während zu Beginn geologische Kartierungen im Vordergrund standen, geniessen heute Messungen zum Strahlenschutz Priorität. Seit 1989 werden die Umgebungen der schweizerischen Kernkraftwerke Beznau (KKB), Gösgen (KKG), Leibstadt (KKL) und Mühleberg (KKM) sowie diejenige des Paul Scherrer Institutes (PSI) in Würenlingen regelmässig aus der Luft gammaspektrometrisch vermessen (siehe Tabelle 1). Diese Messungen hatten zum Ziel, einerseits eine Vergleichsbasis für einen Ereignisfall zu erstellen (Nullmessung) und andererseits das Strahlungsfeld in den Gebieten dieser nuklearen Anlagen auf Veränderungen zu überprüfen.

*Tabelle 1: Die Tabelle zeigt, in welchen Jahren die Umgebungen der verschiedenen Kernkraftwerke vermessen wurden. KKB: Beznau; KKG: Gösgen; KKL: Leibstadt; KKM: Mühleberg; PSI: Paul Scherrer Institut. Die Pfeile rechts der Tabelle zeigen auf, in welchem Zeitraum das neue und in welchem Zeitraum das alte Messsystem (Schwarz 1991a) zum Einsatz kam. Im Jahre 1994 wurde vom Helikoptertyp Ecureuil auf den Super Puma der Schweizer Armee gewechselt und bei den Kernanlagen der zweijährige Messrhythmus eingeführt.*

Jahr	KKB/KKL/PSI	KKG	KKM	
1989	X	X	X	↑ Altes Messsystem
1990	X	X	X	
1991	X	X	X	
1992	X	X	X	↑ Neues Messsystem
1993	X	X	X	↓ Ecureuil
1994	X			↑ Neues Messsystem Super Puma
1995		X	X	
1996	X			
1997		X	X	
1998	X			
1999		X	X	
2000	X			↓

Um zuverlässige Aussagen machen zu können, ob eine Zunahme der künstlichen Radioaktivität in einem bestimmten Gebiet vorliegt, müssen die Unsicherheiten der Methode sowie die natürlichen Schwankungsbreiten durch meteorologische und andere Einflüsse bekannt sein. Die mehrjährigen Messungen in den Gebieten um die schweizerischen Kernkraftwerke können nun als Ausgangslage für die Untersuchung der Unsicherheiten in aeroradiometrischen Resultaten herangezogen werden. Da bei diesen Messungen immer das selbe Gebiet vermessen wurde, können entsprechende Zeitreihen gebildet und auch auf Trends hin untersucht werden. Im folgenden werden nun die Untersuchungen an den Messdaten aus dem Gebiet KKL/KKB/PSI detaillierter dargestellt.

## 4.2 Statistische Analyse von mehrjährigen Messungen

### 4.2.1 Fehlerbetrachtung

Radiometrische Messungen sind prinzipbedingt mit relativ grossen Fehlern behaftet. Dieses Problem stellt sich in der Aeroradiometrie aufgrund der zahlreich anzubringenden Korrekturen noch in verschärfter Weise. Die über zehn Jahre durchgeführten Messungen in der Umgebung der Kernkraftwerke bieten eine hervorragende Grundlage die Fehler am praktischen Beispiel genauer zu untersuchen, die Reproduzierbarkeit der Messungen aufzuzeigen und allfällige Langzeittrends zu identifizieren.

Die folgenden Untersuchungen werden am Beispiel der über die SDI-Methode berechneten Ortsdosisleistungen durchgeführt. Dies weil die Ortsdosisleistung sämtliche Beiträge der einzelnen Radioisotope summiert und im Vergleich zu Einzelfenstern eine bessere Zählstatistik aufweist.

Der Gesamtfehler der Ortsdosisleistung ergibt sich aus den statistischen Schwankungen der Zählraten in den Spektralkanälen und den durch die Korrekturen zusätzlich eingeführten Fehlern. Aufgrund der Fehlerrechnung ergibt sich für eine Einzelmessung der Fehler nach Formel 1.

$$\Delta D = \sum \left( \frac{\partial(SDI)}{\partial p_i} \cdot \Delta p_i \right) \quad (1)$$

wobei  $\Delta D$  der Unsicherheit der berechneten Dosisleistung, SDI der Funktion zur Berechnung der Dosisleistung,  $p_i$  dem i-ten Parameter der Funktion SDI und  $\Delta p_i$  der Unsicherheit des i-ten Parameters entspricht.

Die Unsicherheiten der einzelnen Parameter lassen sich entweder aus dem statistischen Fehler berechnen (z.B. für Spectrum Dose Index) oder können direkt von der Bestimmung der Parameter übernommen werden.

In Abbildung 1 ist als Beispiel die Karte der prozentualen Unsicherheiten im Messgebiet KKB/KKL/PSI für den Messflug des Jahres 2000 dargestellt, die mit Hilfe der Formel 1 hergeleitet wurden. Die Unsicherheiten schwanken grösstenteil zwischen 4 % und 14 %. Als Mittelwert ergibt sich für diesen Datensatz rund 7 %.

Von Jahr zu Jahr können also an jedem Punkt Schwankungen in dieser Grössenordnung auftreten, ohne dass ein anderer Effekt die Messresultate beeinflussen muss. Um nun diese Einzelfehler von systematischen Restfehlern und Langzeittrends zu unterscheiden, wurde das folgende Vorgehen gewählt.

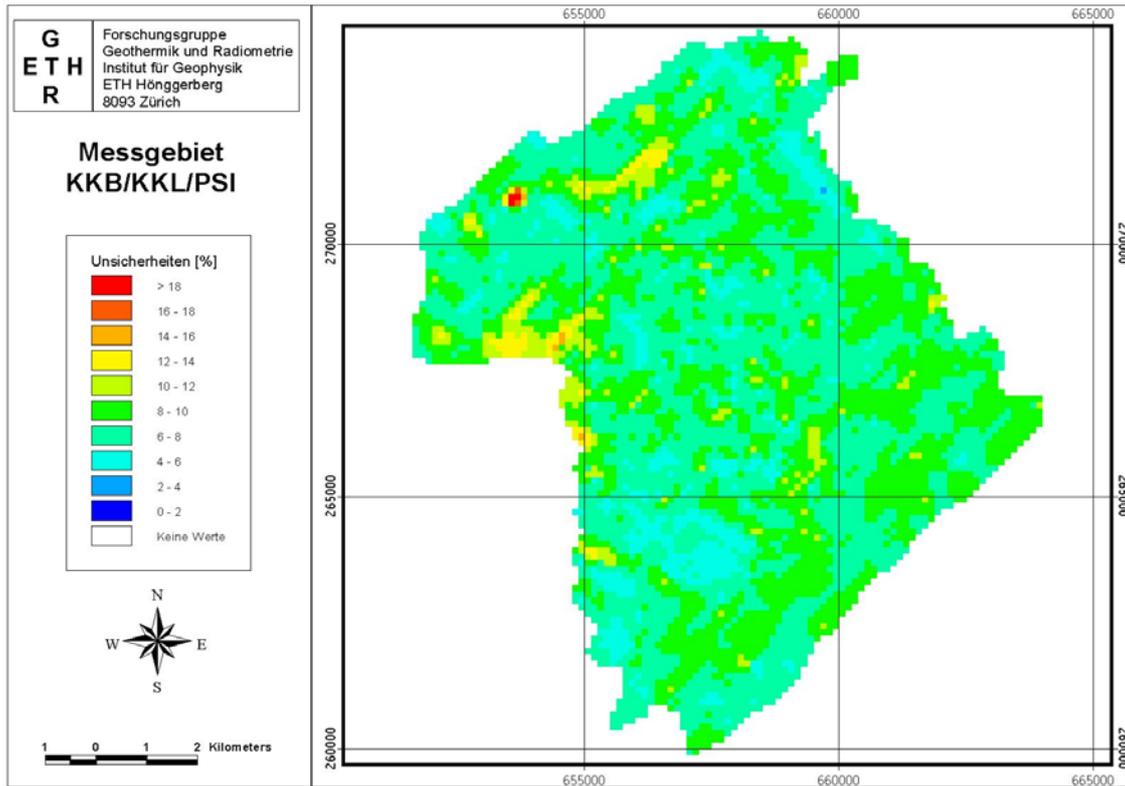


Abbildung 1: Unsicherheiten für die mit Hilfe der SDI Methode berechneten Dosisleistungen des Messfluges 2000 im Messgebiet KKB/KKL/PSI. Die hohen Werte an einem Punkt im Nordwesten des Messgebietes ist auf die dort gemessene, grosse Radarhöhe zurückzuführen, die sich bei der Fehlerrechnung über die Unsicherheit im Abschwächungskoeffizienten stark bemerkbar macht.

In einem ersten Schritt wurde für jedes Jahr und jedes der drei Messgebiete Gösgen (KKG), Mühleberg (KKM) und Beznau/Leibstadt/PSI (KKB/KKL/PSI) je eine Karte der Ortsdosisleistung mit Hilfe der SDI Methode (siehe auch Bucher (2001)) erstellt. Dann wurde für jedes Messgebiet eine Mittelwerts- und Standardabweichungskarte der Ortsdosisleistungswerte berechnet.

Für die weitere Analyse wurden nun für jedes Jahr und jeden Kartenpunkt (Pixelgrösse 125 m x 125 m) die prozentualen Abweichungen vom entsprechenden Mittelwert bestimmt. Die prozentualen Abweichungen werden dann über das ganze Messgebiet gemittelt und die zugehörige Standardabweichung berechnet. So erhält man für jedes Jahr, in dem Messdaten vorliegen, eine mittlere prozentuale Abweichung von der Mittelwertkarte. Damit für diese Vergleiche keine Einflüsse der stark variierenden  $^{16}\text{N}$ -Strahlung und der anderen künstlichen Strahlungsquellen bestehen, werden die Werte der KKW-Standorte und der PSI-Areale weggelassen.

Im weiteren wurde für jedes Jahr ein Streudiagramm gegen die Mittelwertkarte erstellt (siehe als Beispiel Abbildung 2). Wie aus dem Beispiel ersichtlich ist, weisen diese Streudiagramme typischerweise einen ausgeprägten linearen Zusammenhang auf. Die Offsets und Steigungen der Regressionsanalysen geben deshalb weitere Aufschlüsse über das zeitliche Verhalten.

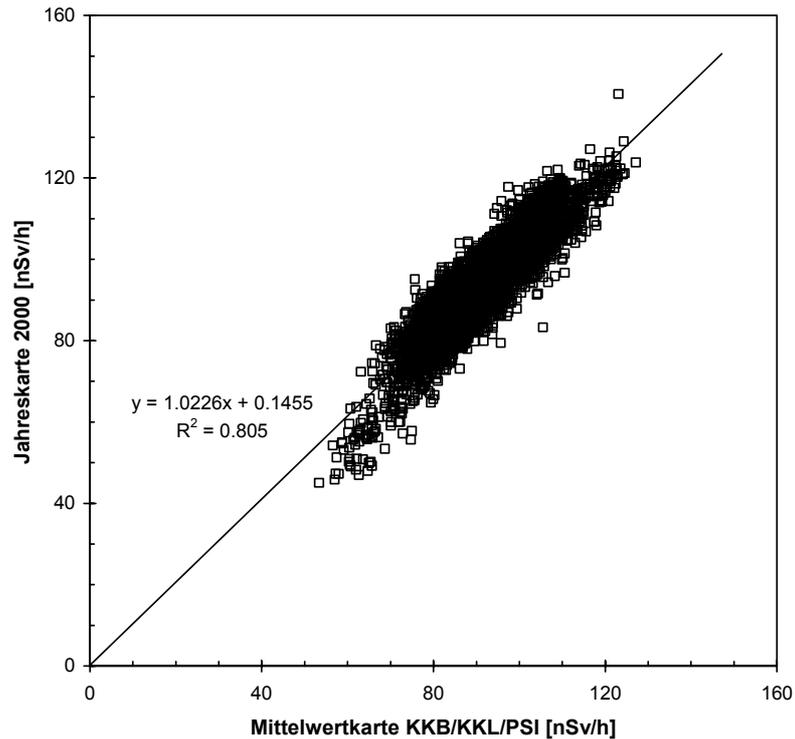


Abbildung 2: Streudiagramm der Jahreskarte 2000 gegen die Mittelwertkarte aus dem Messgebiet KKB/KKL/PSI, wobei die KKW-Standorte und die beiden PSI-Areale maskiert wurden.

#### 4.2.2 Ergebnisse Messgebiet KKB/KKL/PSI

In der Abbildung 3 ist die Mittelwertkarte der Ortsdosisleistung für das Messgebiet KKB/KKL/PSI dargestellt. Deutlich sind die drei roten Punkte auszumachen, die den Standorten des Kernkraftwerkes Leibstadt (im Norden) und der beiden PSI entspricht. Das Kernkraftwerk Beznau ist auf dieser Karte nicht zu erkennen.

Neben diesen erhöhten Werten, die durch künstliche Radioaktivität verursacht und näher im Kapitel 8.2 diskutiert wurden, sind auch Strukturen zu erkennen, die durch Vegetation (Wald) und Gewässer verursacht werden. Deutlich sind die tieferen Werte über Wälder und Flüssen zu erkennen. Im weiteren wird das Strahlungsfeld natürlich durch die Gesteinszusammensetzung beeinflusst. Abgesehen von einer Glättung ist die Mittelwertkarte den einzelnen Jahreskarten sehr ähnlich.

Der Mittelwert für die Ortsdosisleistung ausserhalb der Kernanlagenstandorte beträgt rund 92 nSv/h, wobei der Minimalwert bei 53 nSv/h und der Maximalwert bei 127 nSv/h liegen. Die tiefsten Werte werden selbstverständlich über der Aare, insbesondere über dem Klingnauer Stausee gemessen, da dort die terrestrische Strahlung praktisch ganz durch das Wasser abgeschirmt wird.

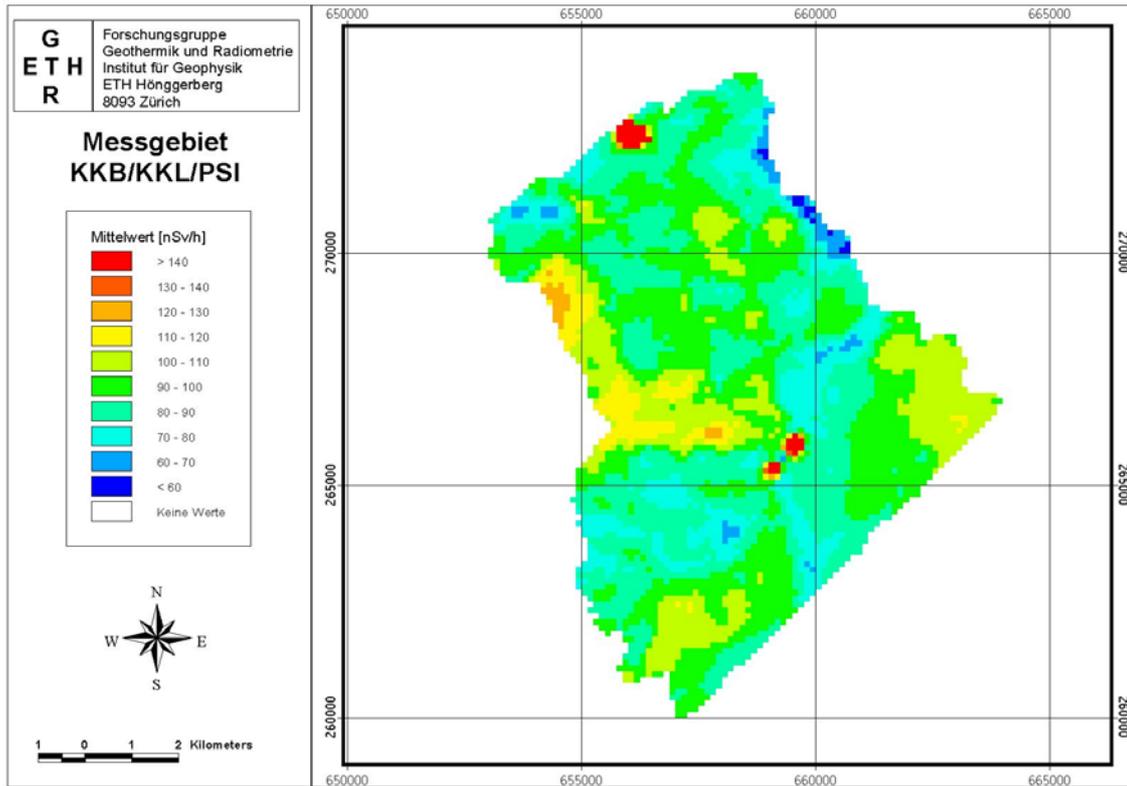


Abbildung 3: Mittelwertkarte der Ortsdosisleistung im Messgebiet KKB/KKL/PSI. Deutlich sind neben dem KKL und den beiden PSI (Ost und West) auch Merkmale zu erkennen, die durch Vegetation (Wald) und Gewässer (Aare) verursacht werden.

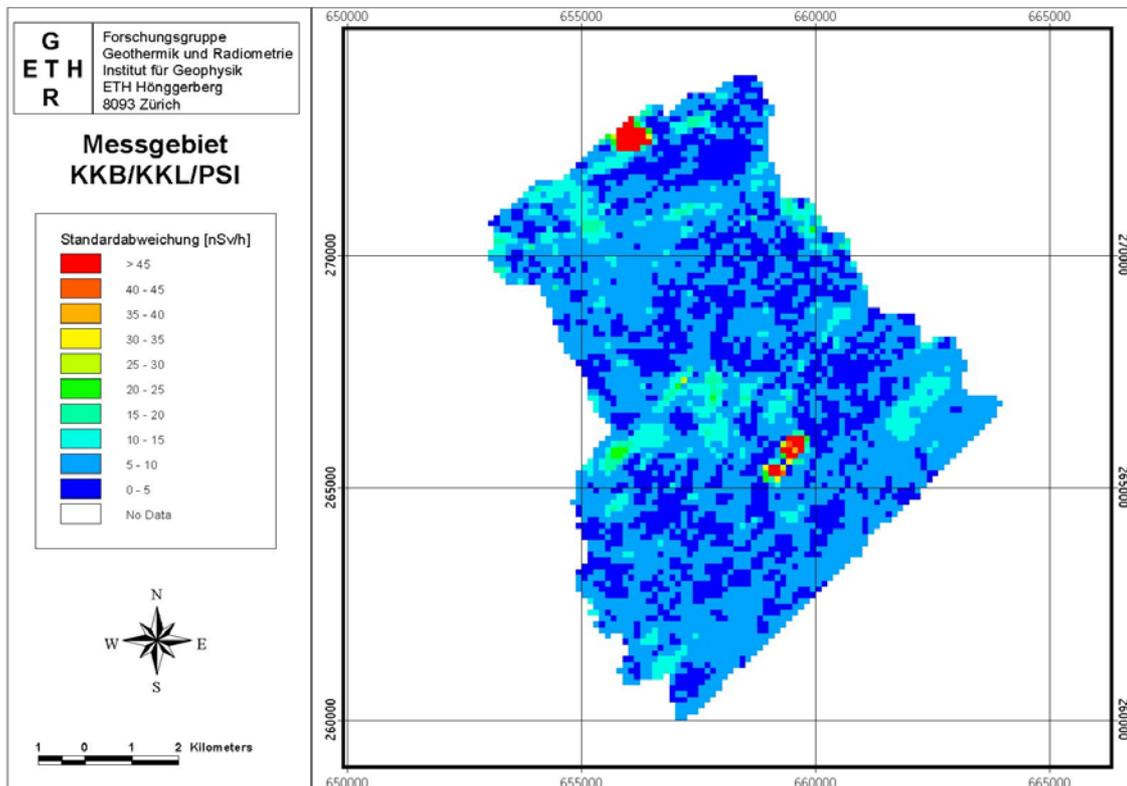


Abbildung 4: Standardabweichungen der Ortsdosisleistungen aus den Jahren 1992 bis 2000 im Messgebiet KKB/KKL/PSI.

Die Karte der Standardabweichungen (Abbildung 4) zeigt ausserhalb der Kernanlagenstandorte ein stochastisches Muster mit einem Mittelwert von rund 7 nSv/h (Minimum: 1 nSv/h; Maximum: 26 nSv/h). Wiederum sind deutlich die Standorte des Kernkraftwerks Leibstadt und der beiden PSI zu erkennen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass einerseits der Strahlungspegel bei den verschiedenen Kernanlagen aufgrund des Betriebszustandes schwanken kann und andererseits die gemessene Zählrate davon abhängt, wie nahe man an der Quelle vorbeifliegt. Im übrigen Messgebiet liegen die Standardabweichungen hauptsächlich zwischen 0 und 10 nSv/h. Dies entspricht einer Schwankung von rund  $\pm 10\%$ .

Bildet man nun die mittlere prozentuale Abweichung von der Mittelwertkarte für jedes einzelne Messjahr und trägt diese gegen die Zeit auf, erhält man für das Messgebiet KKB/KKL/PSI die in Abbildung 5 dargestellten Resultate. Die mittleren Abweichungen schwanken um 0%. Die maximale mittlere Abweichung liegt unter 10%. Das Jahr 1993 weist die höchste Abweichung vom Mittelwert aus, wobei aber der Unterschied zu den übrigen Datensätzen nicht gross ist. Ebenfalls besitzt der Datensatz des Jahres 1993 die mit Abstand grösste Standardabweichung. Es ist kein Trend in eine bestimmte Richtung zu sehen.

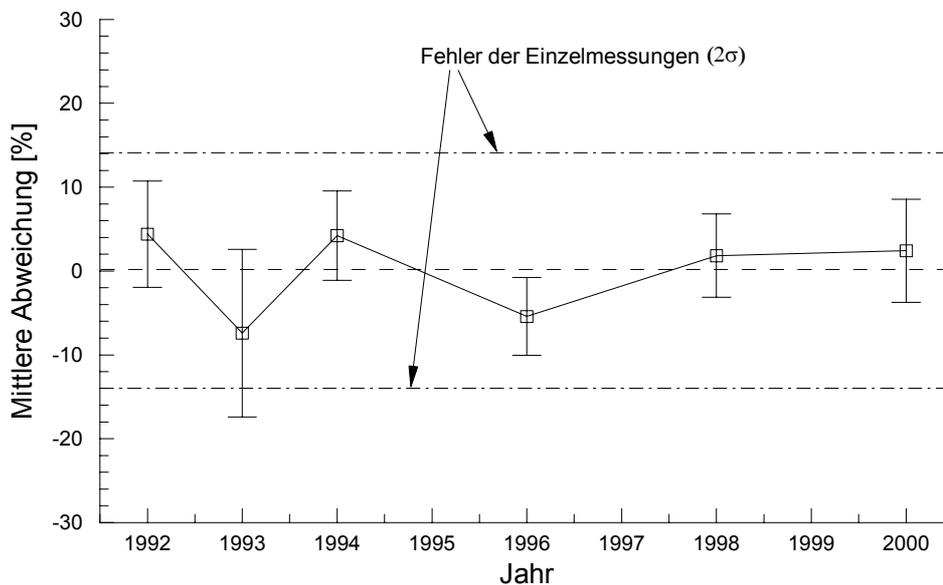


Abbildung 5: Mittlere prozentuale Abweichung vom Mittelwert für die Ergebnisse der einzelnen Jahre im Messgebiet KKB/KKL/PSI. Die Fehlerbalken entsprechen der einfachen Standardabweichung ( $1\sigma$ ). Die Fehlergrenzen der Einzelmessungen ergeben sich aus einem mittleren Fehler der Einzelmessungen von 7%.

Wie sich zeigte, stört die grosse Streuung im Datensatz des Jahres 1993 derart, dass man bei einer Regression zur Mittelwertkarte extreme Werte (Steigung: 0.67; Offset: 23.4) erhält. Trägt man die entsprechende Gerade in das Streudiagramm ein, ist sie optisch nicht nachvollziehbar. Deshalb wurde bei der Regression die Steigung auf Eins fixiert. Für den Offset erhält man dann den Wert -7.12 (Abbildung 6). Ein Grund für die grosse Streuung des Datensatzes aus dem Jahre 1993 liegt sehr wahrscheinlich darin, dass die entsprechenden Messflüge an drei verschiedenen, teilweise nicht aufeinander folgenden Tagen erfolgten.

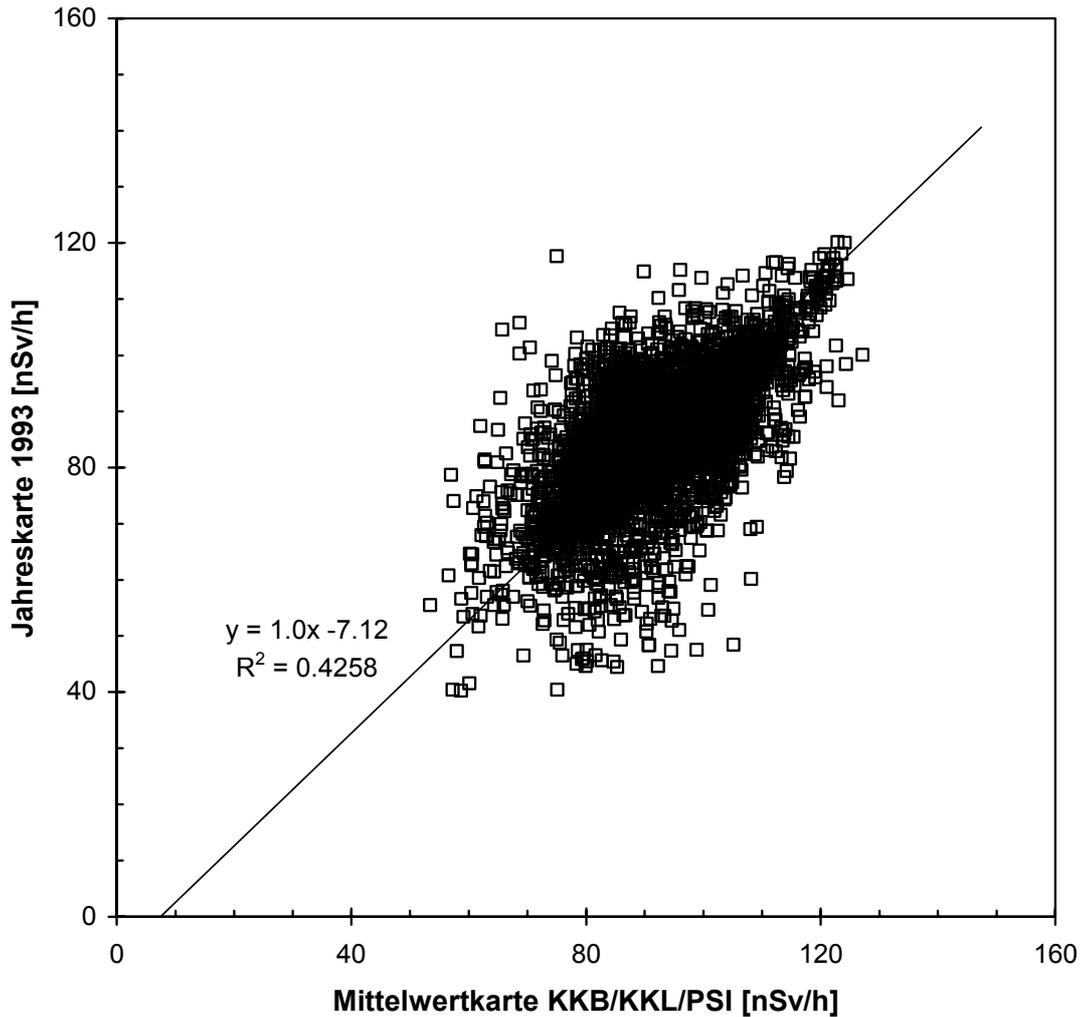


Abbildung 6: Streudiagramm der Jahreskarte 1993 gegen die Mittelwertkarte. Für die eingezeichnete lineare Regression wurde die Steigung auf den Wert 1.0 fixiert.

In Abbildung 7 sind Steigung und Offset der Regressionsgeraden sowie die Korrelation der Streudiagramme für die verschiedenen Datensätze dargestellt. Wie leicht zu erkennen ist, weisen mit Ausnahme des Ausreißers bei der Korrelation im Jahr 1993 alle Datensätze ziemlich konstante Werte auf. Die Steigungen der Regressionsgeraden liegen überall nahe bei Eins. Auch die Korrelation zwischen den einzelnen Datensätzen und der Mittelwertkarte ist bis auf das Jahr 1993 sehr gut und liegt um 0.9. Die Offsets korrelieren sehr gut mit den mittleren Abweichungen. Dies lässt den Schluss zu, dass die Abweichungen durch eine von Jahr zu Jahr verschiedene aber über das ganze Messgebiet konstante Werteverchiebung erklärt werden kann.

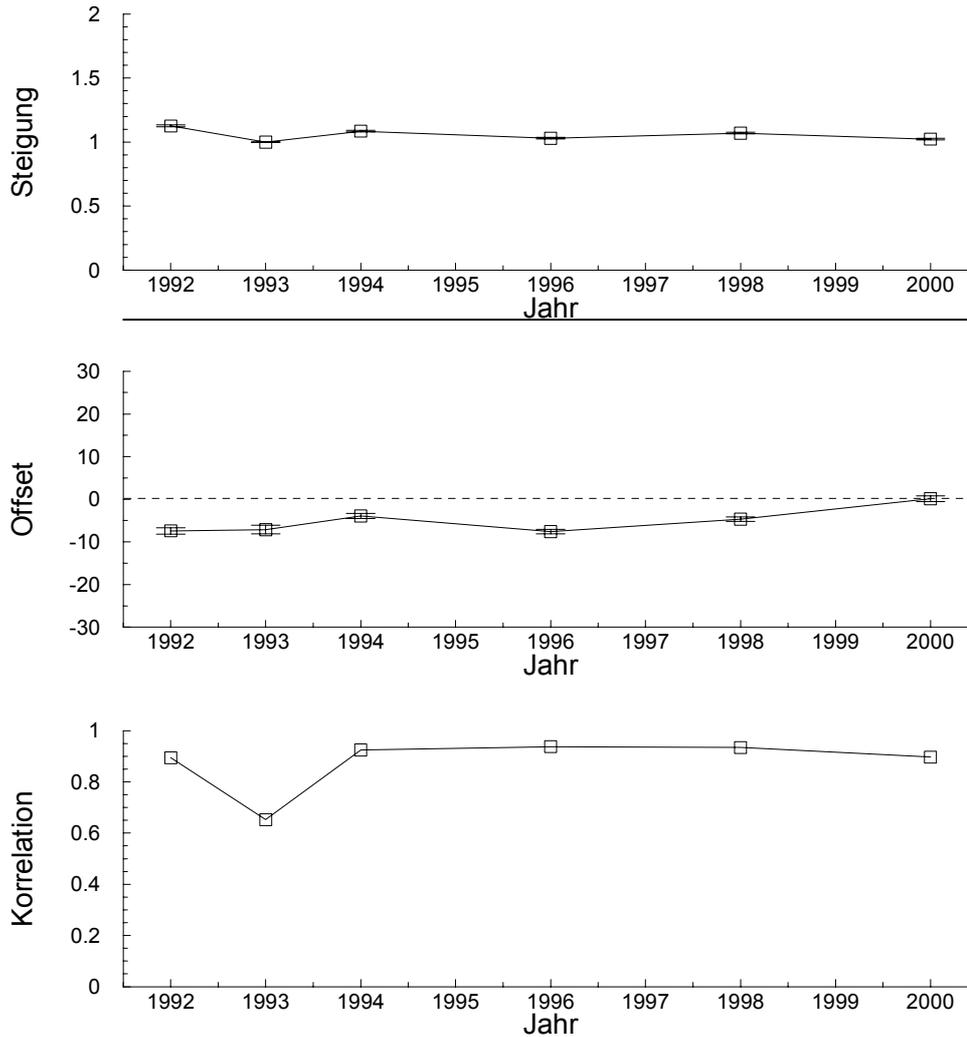


Abbildung 7: Steigungen und Offsets der Regressionsgeraden sowie Korrelation zwischen den jährlichen Grids und der Mittelwertkarte im Messgebiet KKB/KKL/PSI.

### 4.2.3 Vergleich

Nun sollen die Ortsdosisleistungen aus der Aeroradiometrie mit entsprechenden Bodenmessungen mit Reuter Stokes Ionisationskammern verglichen werden. Insbesondere werden die prozentualen Abweichungen der einzelnen Jahre vom Mittelwert betrachtet. In Abbildung 8 sind die Ergebnisse für den Messpunkt beim Grundwasserpumpwerk in der Gemeinde Full/AG dargestellt.

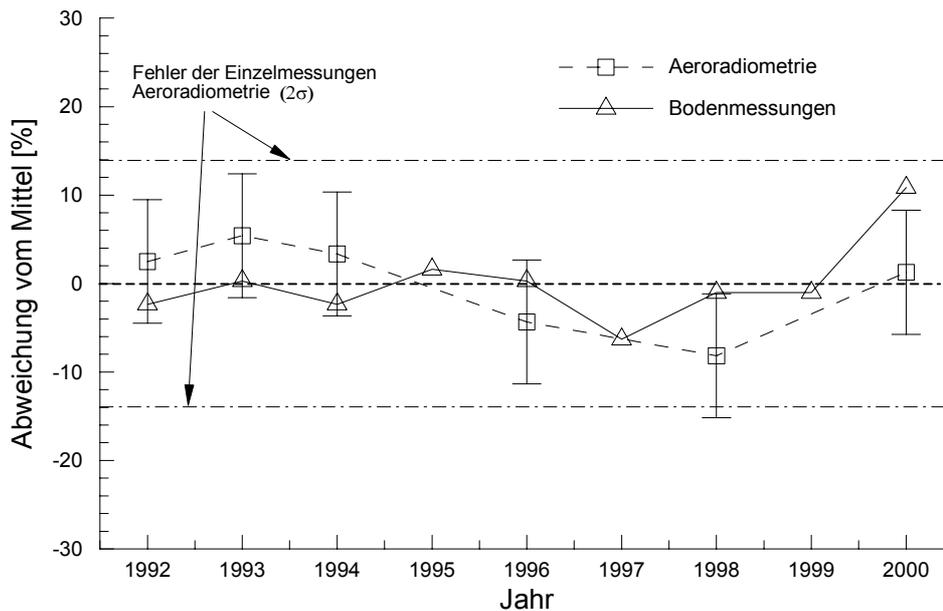


Abbildung 8: Prozentuale Abweichungen vom Mittel der aeroradiometrischen und insitu Messungen beim Grundwasserpumpwerk in Full/AG.

Wie aus Abbildung 8 ersichtlich wird, sind auch die Bodenmessungen gewissen Schwankungen unterworfen (maximal rund 10 % zum Mittelwert).

Wie sich aufgrund der vorausgehenden Ergebnisse zeigte, sind die aeroradiometrischen Messungen sehr gut reproduzierbar. Die Abweichungen der Messungen einzelner Jahre von der Mittelwertkarte liegen alle in einem engen Bereich von  $\pm 10\%$  um den Mittelwert. Sie weisen damit eine ähnliche Schwankungsbreite wie jährlich wiederholte Bodenmessungen mit Reuter Stokes Ionisationskammern auf.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren werden durch über das ganze Messgebiet konstante Werteverchiebungen verursacht. Die relative Verteilung ist noch besser reproduzierbar als der Mittelwert.

Die jährlichen Werteverchiebungen lassen keinen Trend erkennen. Sie schwanken um den Mittelwert, und zwar um rund  $\pm 10\%$ .

Die beobachteten Schwankungen von Jahr zu Jahr sind hauptsächlich auf unterschiedliche Gehalte an Radon und seiner Tochterisotope in der Atmosphäre und auf schwankenden Wassergehalt des Bodens zurückzuführen.

## 5 Ergebnisse der Messflüge 2000

Die Messungen des Jahres 2000 erfolgten mit einem Super Puma der Armee in der Zeit vom 26. bis zum 29. Juni 2000. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Neben den Routinemessgebieten KKL, KKB und PSI wurde das Gebiet um den ehemaligen Versuchsreaktor Lucens nach 1999 zum zweiten Mal vermessen. In Amsteg und Sedrun erfolgte die Vermessung von Aushubdeponien des NEAT Gotthardbasistunnels. Im Tessin wurden weitere Suchflüge nach Cäsium Hot Spots durchgeführt. Schliesslich wurde mit zwei Messflügen die Quellensuche speziell geübt. Die Daten über alle Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM99 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]	Fluggeschwin- digkeit [m/s]	Sample- Intervall [s]
Lucens	235	21	100	45/225	30	1
KKB/KKL/PSI	235	95	100	45/225	30	1
Amsteg	250	1	100	0/180	30	1
Sedrun	250	4	100	90/270	30	1
Tessin	500	44	100	90/270	30	1
Quellensuche 1	250	6	100	90/270	30	1
Quellensuche 2	250	9	100	90/270	30	1

Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM99.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
Lucens	0002	26.6.00	1-13	2244	83.8
KKB/KKL/PSI	0003	26.6.00	1-4	474	380.2
	0004	26.6.00	5-32	6'591	
	0011	28.6.00	33-46	4'273	
Amsteg	0006	27.6.00	1-3	383	5.1
Sedrun	0007	27.6.00	1-5	325	11.6
Tessin	0008	27.6.00	1-5; 2 Sondierlinien	3'711	126.3
Quellensuche	0009	27.6.00	1-7	911	27.2
	0010	27.6.00	1-7	1'663	34.6

## 5.1 Messgebiet KKL/KKB/PSI

Das Gebiet wurde 2000 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  $^{137}\text{Cs}$  Aktivität sowie eine Karte des MMGC-Ratios (MMGC: Man Made Gross Count, vgl. Schwarz 1991a) erstellt. Die Kartendarstellung der Resultate erfolgten in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125x125m.

Die Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau waren während der Messungen in Betrieb. Beim Kernkraftwerk Beznau handelt es sich um einen Druckwasserreaktor, während das KKW Leibstadt einen Siedewasserreaktor besitzt. Das KKW Beznau konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Das KKW Leibstadt konnte jedoch aufgrund der hochenergetischen  $^{16}\text{N}$ -Strahlung identifiziert werden. Bei  $^{16}\text{N}$  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  $^{16}\text{N}$ -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 2000 liegt innerhalb der Messgenauigkeit 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 KKB/KKL/PSI

**Beilage 1: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Beznau und Leibstadt sowie des Paul Scherrer Institutes mit eingezeichneten Fluglinien und den Standorten der Anlagen.** Deutlich sind die Standorte des Kernkraftwerkes Leibstadt und der beiden PSI anhand erhöhter Dosisleistungen zu erkennen. Das KKW Beznau ist wie in den vorangegangenen Jahren aeroradiometrisch nicht zu detektieren. Neben diesen künstlichen Mustern sind auch 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 2:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten im Messgebiet KKB/KKL/PSI.** In der Aktivitätskarte für Cäsium ist nur das PSI Ost zu erkennen.

**Beilage 3: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI.** Eindeutig sind wiederum das KKW Leibstadt sowie die beiden PSI zu erkennen. Das KKW Beznau zeichnet sich auch im MMGC-Ratio nicht ab. Ausserhalb der umzäunten Areale weist der modifizierte MMGC-Ratio keine erhöhten Werte auf.

## 5.2 Lucens

Die in Lucens gelagerten radioaktiven Abfälle sollten im Winter 1999/2000 ins Zwischenlager (ZWILAG) in Würenlingen überführt werden. Da das ZWILAG jedoch den Betrieb noch nicht aufgenommen hatte, befanden sich jedoch die Abfälle im Jahr 2000 noch immer in Lucens. Das Ziel der Freimessung konnte deshalb nicht erreicht werden. Trotzdem wurde das Gebiet nochmals aeroradiometrisch vermessen. Die Resultate lagen erwartungsgemäss im selben Wertebereich wie im Jahre 1999. Wiederum konnten die radioaktiven Nuklide  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{60}\text{Co}$  identifiziert werden. Ausserhalb des umzäunten Areals wurden keine erhöhten Werte gemessen, die nicht auf den Bombentest- oder Tchernobyl- Fallout zurückgeführt werden können.

### Beilagen ehemaliges Kernkraftwerk Lucens

**Beilage 4: Totale Dosisleistung (SDI) und Fluglinien im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens.** Bei der totalen Dosisleistung sind leicht erhöhte Werte im Bereich des ehemaligen Versuchsreaktors zu erkennen. Ausserhalb des umzäunten Areals sind keine wesentlich erhöhten Messwerte zu sehen.

**Beilage 5:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten im Messgebiet des Versuchsreaktors Lucens.** Auch hier zeigen sich erhöhte Werte im Bereich des Werkareals. Die Ausdehnung ist stark lokal beschränkt.

**Beilage 6: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet des Versuchsreaktors.** Dem gezoomten Grid wurde die Situation aus der topographischen Karte 1:25'000 überlagert. Hier ist deutlich zu erkennen, dass die erhöhten Werte über einem Gebäude neben dem ehemaligen Kavernenzugang gemessen wurden. In diesem Gebäude werden radioaktiv kontaminierte Teile aus dem Versuchsreaktor gelagert, die nach Betriebsaufnahme des ZWILAG dorthin überführt werden.

## 5.3 NEAT-Deponien

Für die neuen Eisenbahn Alpentransversalen (NEAT) werden grosse Bauprojekte realisiert, zu denen auch der Gotthard-Basistunnel gehört. Da bei der Durchörterung der Gesteine auch Formationen angebohrt werden können, die höhere natürliche Konzentrationen an Uran, Thorium und Kalium aufweisen, muss die Radioaktivität aus Gründen des Arbeitsschutzes sowie wegen der Wiederverwendung des Ausbruchmaterials überwacht werden. Da in Amsteg/UR und Sedrun/GR bereits Vorarbeiten für den Basistunnel erfolgten (Zugangsstollen), liegen dort bereits erste Deponien von Ausbruchmaterial vor. Diese wurden aeroradiometrisch vermessen, um das Material auf eventuell erhöhte natürliche Radioaktivität zu untersuchen.

### 5.3.1 Amsteg

In Amsteg wurden drei Fluglinien in Nord-Süd Richtung mit einem Linienabstand von 250 m gemessen. Das enge Tal zusammen mit den Hochspannungsleitungen stellte eine Herausforderung für die Piloten dar.

Innerhalb des abgedeckten Messgebietes liegt das Areal, wo das Ausbruchmaterial des NEAT Gotthardbasistunnels vom Zwischenangriff Amsteg abgelagert wird. Da der Bau erst begonnen

hatte, waren erst geringe Mengen deponiert worden. Die aeroradiometrischen Messungen zeigten im Bereich der Deponie keine messbare Erhöhung der natürlichen Radioaktivität.

### **Beilage Amsteg**

**Beilage 7: Totale Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet der NEAT Aushubdeponie Amsteg.** Auf dieser Karte ist auch der ungefähre Perimeter der Deponie eingezeichnet. Da die Arbeiten erst begonnen haben, ist erst ein kleiner Teil der Deponiefläche mit Ausbruchsmaterial belegt. Im Bereich der Deponie sind keine wesentlich erhöhte Dosisleistungen zu erkennen.

### **5.3.2 Sedrun**

In Sedrun wurden 5 Fluglinien in West-Ost Richtung mit einem Linienabstand von 250 m gemessen. Topographisch war dieses Messgebiet einfacher zu fliegen als dasjenige in Amsteg. Wie in Amsteg musste aber auch hier auf Hochspannungsleitungen geachtet werden.

Mit diesen Fluglinien wurde auch das geplante und bereits benutzte Deponieareal vollständig abgedeckt. Von Sedrun aus erfolgt ebenfalls ein Zwischenangriff für den Gotthardbasistunnel. Dazu wird ein horizontaler Zugangsstollen (rund 1'000 m) und ein vertikaler Schacht (rund 800 m) erstellt. Da diese beiden Teile bereits zum grossen Teil erstellt waren, befand sich mehr Ausbruchsmaterial auf der Deponie als in Amsteg. Auch in Sedrun zeigte sich keine erhöhte natürliche Radioaktivität im Bereich des deponierten Materials.

### **Beilage Sedrun**

**Beilage 8: Totale Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet der NEAT Aushubdeponie Sedrun.** Neben den Fluglinien ist auch die ungefähre Ausdehnung des geplanten Deponieraumes eingezeichnet. Auf der Deponie wurde bereits das Material aus dem Zugangsstollen und einem Teil des vertikalen Schachtes abgelagert. Die gemessene Dosisleistung über diesem Material ist nicht erhöht.

## **5.4 Tessin**

Im Jahre 2000 wurde einerseits ein Messgebiet nördlich von Locarno entlang der Bergkämme aeroradiometrisch vermessen. Andererseits wurden auch noch zwei längere Messlinien entlang der Berghänge von Brissago bis Cugnasco (West-Ost) und von Quartine bis Astano (Nord-Süd) geflogen. Alle Messungen im Tessin hatten die Suche nach  $^{137}\text{Cs}$  Hot Spots zum Ziel.

Sowohl im Messgebiet nördlich von Locarno wie auch im Bereich der beiden Messlinien konnten wiederum  $^{137}\text{Cs}$  Hot Spots detektiert werden. Keiner dieser Hot Spots erreicht jedoch die Aktivität des im Jahre 1999 am Pizzo Ometto entdeckten Hot Spots (Bucher et al. 2000). Die im Jahre 2000 gemessene maximale Aktivität von rund 220 Bq/kg liegt um rund den Faktor 3 unter der Aktivität am Pizzo Ometto.

Die Aktivität von  $^{137}\text{Cs}$  ist deutlich in den Spektren der Hot Spot Bereiche anhand des Peaks bei 662 keV zu erkennen (Abbildung 9). Neben dem Peak von  $^{137}\text{Cs}$  sind auch sehr deutlich die Peaks von  $^{40}\text{K}$  (1'460 keV),  $^{214}\text{Bi}$  (1'760 keV) und  $^{208}\text{Tl}$  (2'630 keV) zu sehen.

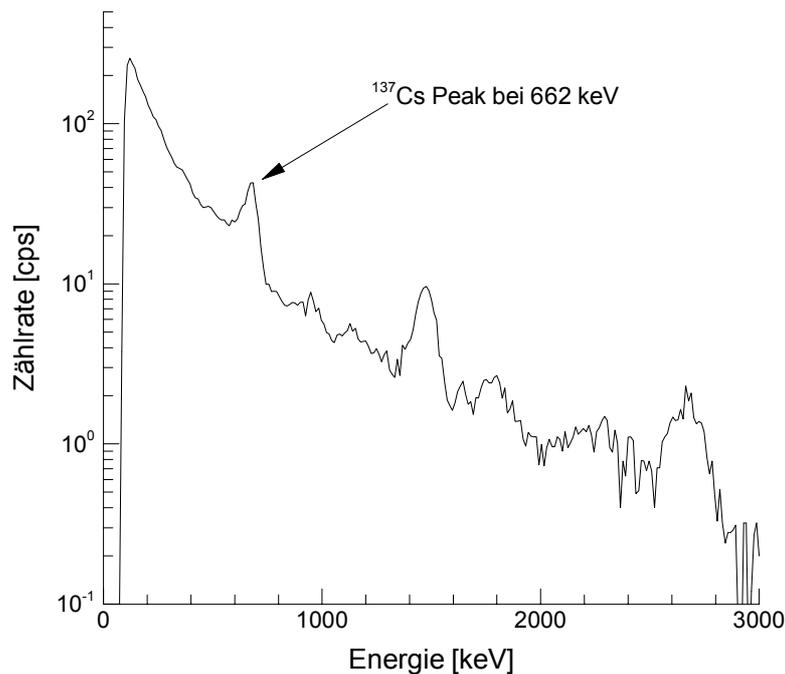


Abbildung 9: Gemitteltetes Spektrum im Bereich des <sup>137</sup>Cs Hot Spots im Nordwesten des Messgebietes nördlich von Locarno (Cimetta).

Im übrigen Bereich wurden ebenfalls gegenüber der Nordschweiz erhöhte Cäsiumaktivitäten gemessen, die aber in dieser Grösse für das Tessin aufgrund früherer Messungen üblich sind. Diese erhöhten Cäsiumaktivitäten sind auf den Fallout zurückzuführen, der vom Reaktorunfall in Tchernobyl stammt. Aufgrund einer Föhnlage mit Niederschlägen im Tessin wurde dort mehr Cäsium deponiert als in der Nordschweiz.

### Beilage Messgebiete Tessin

**Beilage 9: <sup>137</sup>Cs Aktivitäten im Messgebiet Tessin.** Im Messgebiet Cimetta nördlich von Locarno und auf den beiden Sondierlinien konnten erhöhte Cäsiumaktivitäten gemessen werden. Es konnten auch einige Hot Spots identifiziert werden, deren Aktivitäten aber weit unter derjenigen des im Jahre 1999 am Pizzo Ometto registrierten Hot Spots liegen.

## 5.5 Quellensuche

Im Rahmen einer Übung „Surprise“ wurde die Quellensuche innerhalb der beiden Messteams der NAZ durchgespielt. Dabei hatten die Messteams unter Zeitdruck die Flüge zu planen, die entsprechenden Karten vorzubereiten, das Briefing der Piloten zu leiten und den Messflug durchzuführen. Insbesondere wurde bei der Quellensuche das Flugverfahren nach Abbildung 10 geübt.

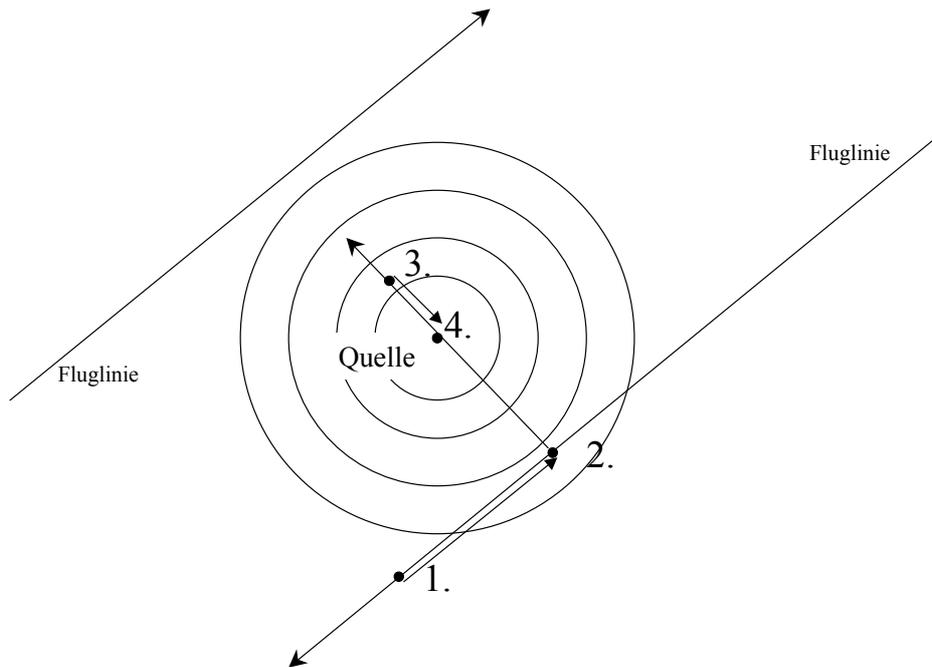


Abbildung 10: Quellensuchverfahren nach D. Frei (NAZ). Während des Messfluges wird ein Anstieg der Zählraten beobachtet. Fällt die Zählrate wieder ab, wird „Stopp, auf gleicher Linie zurück“ kommandiert (1.). Beim Erreichen des Maximums wird „Stopp, nach links (oder rechts)“ kommandiert. So wird das selbe Prozedere weiter durchgeführt bis man über die Punkte 3. und 4. schliesslich bei der Quelle das absolute Maximum erhält.

Bei der Quellensuche konnte auch der Nutzen der neuen online Auswertungs- und Darstellungssoftware getestet werden. Wie sich zeigte, bringt diese neue Software wesentliche Vorteile bei der Quellensuche. Sie vereinfacht die Überwachung der Rohdaten in graphischer Form und ermöglicht durch die online Auswertung eine direkte Interpretation der Resultate während des Suchfluges.

Bei der durch eine Equipe des PSI ausgelegten Quelle handelte es sich um  $^{60}\text{Co}$  mit einer Aktivität von 190 MBq. Bei den Suchflügen des Jahres 1995 (Schwarz et al. 1996) kamen durchwegs stärkere Quellen zum Einsatz. Eine Aktivität von 190 MBq liegt bei einer Flughöhe von 100 m bereits nahe bei der Detektionsgrenze.

Beiden Messteams gelang es trotzdem, die Quelle bereits beim Kartierungsflug mit Hilfe der online Kartierung des MMGC-Ratio grob zu lokalisieren und mit anderen Werkzeugen der online Software auch in den entsprechenden Spektren die  $^{60}\text{Co}$  Quelle (Abbildung 11) zu identifizieren. So lagen die Resultate bereits während des Fluges vor, was einen enormen Zeitgewinn bedeutet. Mit dem in Abbildung 10 beschriebenen Suchverfahren konnte die Quelle dann noch genauer lokalisiert werden.

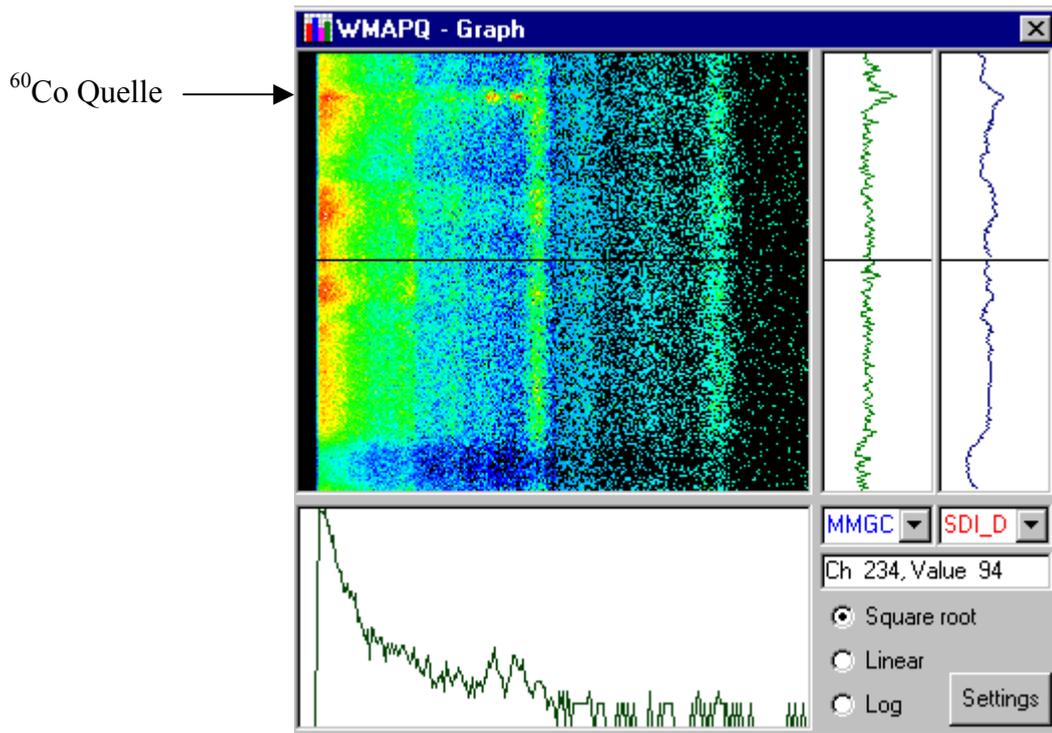


Abbildung 11: Darstellung eines Werkzeuges aus der online Software. Oben links sind die sogenannten Regenbogenspektren zu sehen, wobei die horizontale Achse den Kanälen 1 bis 255, die y-Achse der Zeit und die Farbe der Zählrate im entsprechenden Kanal entspricht. In den Regenbogenspektren ist auch die  $^{60}\text{Co}$  Quelle anhand des Doppelpicks (rote Punkte auf der Höhe des Pfeiles) zu erkennen. Unten links ist das entsprechende Spektrum dargestellt. Dort sind ebenfalls die beiden Peaks von  $^{60}\text{Co}$  deutlich zu sehen.

### Beilage Quellensuche

**Beilage 10: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet der Quellensuche.** Der Punkt mit dem höchsten Wert entspricht der Position der ausgelegten  $^{60}\text{Co}$  Quelle. Da die Aktivität der Quelle nur 190 MBq betrug, waren nur sehr direkt über der Quelle wesentlich höhere Zählraten zu messen.

## 6 Fazit

Die Überprüfung des Equipments unter dem Gesichtspunkt des Jahr 2000 konnte nach einem Testflug am Anfang des Jahres 2000 abgeschlossen werden. Die im Zuge einer Umrüstung der Super Pumas aufgetretenen Probleme mit den GPS Empfängern konnte gelöst werden. Mit neuen GPS Empfängern, die auch den militärischen P-Code verwenden können, wurde unabhängig von differential GPS eine Genauigkeit von  $\pm 10$  m erreicht.

Langzeitvergleiche der Resultate im Messgebiet KKB/KKL/PSI zeigten ausserhalb der umzäunten Areale keine Trends in der radioaktiven Strahlung. Vielmehr lagen die Resultate aller Jahre innerhalb von rund  $\pm 10$  % um den Mittelwert. Die beobachteten Schwankungen von Jahr zu Jahr sind hauptsächlich auf unterschiedliche Gehalte an Radon und seiner Tochterisotope in der Atmosphäre und auf schwankenden Wassergehalt des Bodens zurückzuführen. Beim Vergleich der aeroradiometrischen Resultate an einem Punkt mit entsprechenden gammaspektrometrischen Bodenmessungen am selben Punkt über die letzten 10 Jahre zeigte sich, dass die prozentualen Schwankungen um den Mittelwert im selben Bereich liegen.

Wie bei den vorangegangenen Messungen im Gebiet der KKW Leibstadt und Beznau sowie des Forschungsinstituts PSI konnte auch dieses Jahr das KKW Leibstadt anhand der  $^{16}\text{N}$ -Strahlung aus der Luft klar detektiert werden. Ebenfalls konnten die beiden PSI aus der Luft aeroradiometrisch erfasst werden. Ausserhalb der Areale der Kernanlagen und des PSI blieb die Dosisleistung auf dem Niveau der früheren Jahre.

Im Messgebiet des ehemaligen Kernreaktors in Lucens wurden über einem Gebäude, das kontaminiertes Material lagert, wie bereits im Jahre 1999 erhöhte Zählraten gemessen, da das entsprechende Material noch nicht ins Zwischenlager (ZWILAG) in Würenlingen überführt wurden. Im restlichen Messgebiet wurde keine erhöhte Radioaktivität registriert, die nicht auf die Bombentests und den Tchernobyl Unfall zurückgeführt werden kann.

Im Tessin konnten mit den aeroradiometrischen Messungen erneut erhöhte Cäsiumaktivitäten nachgewiesen werden. Die entdeckten Hot Spots lagen aber wesentlich unterhalb der 1999 am Pizzo Ometto gemessenen Cäsiumaktivitäten.

Aushubdeponien des NEAT Gotthardbasistunnels zeigten keine erhöhte Radioaktivität.

Eine verbesserte Version einer online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware konnte bei den diesjährigen Messflügen erfolgreich eingesetzt werden. Diese Software zeigte vor allem auch bei der Quellensuche ihre Vorteile klar auf. Auch im offline Betrieb, bei dem die Daten von einer Memorykarte eingelesen werden, wird die Auswertung für den Benutzer wesentlich vereinfacht und die Fehleranfälligkeit damit wesentlich gesenkt.

## 7 Ausblick

Da die Rechner der beiden Messsystem inzwischen doch ziemlich in die Jahre gekommen sind und bei Defekt ein entsprechender Ersatz praktisch unmöglich ist, ist der Ersatz der Rechner in Betracht zu ziehen. Da mit einem solchen Ersatz ein grösserer Umbau der Messsysteme verbunden ist, soll eine generelle Erneuerung der Systeme geprüft und ein entsprechendes Konzept erstellt werden.

Neben dieser hardwaremässigen Entwicklung soll auch die Entwicklung der Software weitergehen. Die Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) in der Softwareentwicklung soll auch in Zukunft gepflegt werden. Ebenfalls soll am EU-Folgeprojekt

ECCOMAGS aktiv teilgenommen und in verschiedenen Working Groups aktiv teilgenommen werden.

Im weiteren soll auch die Archivierung aller aeroradiometrischen Daten in Form einer Datenbank in Angriff genommen werden.

## **8 Literaturhinweise**

BUCHER, B., RYBACH, L., SCHWARZ, G., BAERLOCHER, CHR., 2000: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM99. Bericht für das Jahr 1999 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

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

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.: 1991b, 1996: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Berichte für die Jahre 1991 und 1995 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interne Berichte, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

## 9 Beilagen

Beilage 1: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Beznau und Leibstadt sowie des Paul Scherrer Institutes mit eingezeichneten Fluglinien und den Standorten der Anlagen.

Beilage 2:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten im Messgebiet KKB/KKL/PSI.

Beilage 3: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKB/KKL/PSI.

Beilage 4: Totale Dosisleistung (SDI) und Fluglinien im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens.

Beilage 5:  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten im Messgebiet des Versuchsreaktors Lucens.

Beilage 6: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet des Versuchsreaktors. Dem gezoomten Grid wurde die Situation aus der topographischen Karte 1:25'000 überlagert.

Beilage 7: Totale Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet der NEAT Aushubdeponie Amsteg.

Beilage 8: Totale Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet der NEAT Aushubdeponie Sedrun.

Beilage 9:  $^{137}\text{Cs}$  Aktivitäten im Messgebiet Tessin.

Beilage 10: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet der Quellensuche.

