

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM02

B. Bucher¹, L. Rybach², G. Schwarz³, Ch. Bärlocher²

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

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

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

Mai 2003

Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 27. bis 31. Mai 2002 standen ganz im Zeichen der internationalen Messübung im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS (European Coordination and Calibration of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry). Diese Messübung fand im Südwesten Schottlands in der Region Dumfries & Galloway statt. Leider konnten aufgrund von Schwierigkeiten mit der Flugerlaubnis für militärische Helikopter nur beim Rückflug in die Schweiz einige Daten über dem gemeinsamen Messgebiet gesammelt werden. Zusätzlich konnten auf dem Rückflug auch noch sehr wertvolle Backgroundmessungen über dem Meer durchgeführt werden. Nach der Rückkehr in die Schweiz erfolgten noch die turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Beznau (KKB) und Leibstadt (KKL), über dem Zwischenlager für radioaktive Abfälle (ZWILAG), und über der Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI). Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM02 und standen unter der Leitung der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Leider konnten bei der internationalen Vergleichsmessung nur wenige Messungen über den gemeinsamen Messgebieten beim Rückflug in die Schweiz durchgeführt werden. Trotzdem konnten Vergleiche mit den anderen europäischen Messteams angestellt werden, welche die gute Kalibration unseres Messsystems ein weiteres Mal bestätigte. Beim Rückflug konnten zudem Messungen in grosser Höhe über dem Meer durchgeführt werden, welche eine genaue Bestimmung des Helikopterbackgrounds und der kosmischen Strippingfaktoren zulies.

Im Rahmen der turnusmässigen Messungen über den Kernanlagen wurden dieses Jahr Gebiete um die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt sowie die Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut vermessen. Die Resultate zeigten ein ähnliches Bild wie die Ergebnisse aus den letzten Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Beznau auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Das KKW Leibstadt hingegen konnte aufgrund seiner reaktortypischen Direktstrahlung klar identifiziert werden. Beim Paul Scherrer Institut konnten in beiden Teilen östlich und westlich der Aare künstliche Strahlungsfelder detektiert werden. Im PSI-Ost handelt es sich um die radioaktiven Abfälle des Bundeszwischenlagers, bei denen ^{60}Co und ^{137}Cs identifiziert werden konnten. Im PSI-West konnten über der Experimentierhalle zwei Quellen unterschieden werden. Bei der einen handelt es sich um die beiden Protonenbeschleuniger, in denen durch Wechselwirkungen hochenergetische Neutronen erzeugt werden. Diese sind in der Umgebung im Spektrum erkennbar. Bei der anderen Quelle handelt es sich sehr wahrscheinlich um die Fortluftfahne der Beschleunigeranlage, deren Aktivität grösstenteils aus kurzlebigen β^+ -Strahlern und ^{41}Ar besteht.

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

Abstract

The international exercise under the European Union project ECCOMAGS (European Coordination and Calibration of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry) stood in the centre of the yearly airborne gamma spectrometry measurement flights which were carried out in the time of 27 – 31 May 2002. The exercise was held in Southwest Scotland in the region of Dumfries and Galloway. Unfortunately due to difficulties with flight approvals for military aircrafts data could be taken in the exercise area only on the flight back to Switzerland. Immediately after returning to Switzerland the regular measurements around the nuclear power plants Beznau (KKB) and Leibstadt (KKL), around the intermediate storage facilities for radioactive waste (ZWILAG) and around the research facility Paul Scherrer Institute were performed. The flights took place in the context of the exercise ARM02 and were lead by the Swiss National Emergency Operations Centre (NAZ).

Unfortunately just a few measurements in the common intercalibration areas could be taken on the flight back from the international exercise. Nevertheless comparisons of the results with those of other European teams could be made. These comparisons proved the good calibration of our equipment. On the flight back measurements were also carried out at great altitude above the sea. This data allowed to determine very well the background of the aircraft and the cosmic stripping ratios.

In the context of the regular measurements in the environs of the nuclear facilities in Switzerland the areas around the nuclear power plants Beznau and Leibstadt and around the nuclear research facility Paul Scherrer Institute were measured. The results were very similar to the results of earlier measurements in the last years. The nuclear power plant Beznau couldn't be recognised on the activity maps. But the nuclear power plant Leibstadt could be identified by its direct radiation which is specific for this type of reactor (BWR). At the site of the Paul Scherrer Institute in the eastern and in the western part of the area man-made radiation could be detected. In the eastern part of the area mainly ^{60}Co and ^{137}Cs activities could be identified in the Swiss Federal intermediate storage facility. In the western part of the site two sources of radiation could be distinguished above the experimental hall. As one of them the proton accelerators could be identified where high energy neutrons are generated by nuclear reactions. The second source probably is the plume of the accelerator facility which contains mainly short-living β^+ -emitters and ^{41}Ar .

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

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Abstract.....	ii
1 Einleitung	1
1.1 Messgeräte	1
1.2 Messflüge	1
1.3 Auswertung.....	1
2 Backgroundbestimmung über dem Meer	3
2.1 Einleitung.....	3
2.2 Messung	3
2.3 Ergebnisse.....	3
2.4 Fazit.....	5
3 Internationale Vergleichsflüge (ECCOMAGS).....	6
3.1 Einleitung.....	6
3.2 Messungen	6
3.3 Ergebnisse.....	7
3.4 Vergleiche mit anderen Messteams	8
3.5 Vergleiche mit Bodenmessungen	10
3.6 Fazit.....	10
4 Aeroradiometrie-Datenbank	12
4.1 Einleitung.....	12
4.2 Bisherige Arbeiten	12
4.3 Weiteres Vorgehen.....	13
5 Ergebnisse der Messflüge 2002.....	14
5.1 Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG.....	15
5.2 Beilagen KKL/KKB/PSI/ZWILAG.....	17
6 Internationales	18
7 Ausblick.....	19
8 Literaturhinweise	19
9 Beilagen	20

1 Einleitung

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

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

Die Arbeiten für Unterhalt und Bereitstellung des Messsystems werden zur Zeit vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen und voraussichtlich im Jahre 2003 an die Sektion Messwesen am PSI übergehen. Die wissenschaftliche Betreuung und Weiterentwicklung der Aeroradiometrie erfolgen durch die Sektion Messwesen des PSI im Auftrag der HSK.

1.1 Messgeräte

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

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

1.2 Messflüge

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

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

1.3 Auswertung

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

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

2 Backgroundbestimmung über dem Meer

2.1 Einleitung

Bei den Messungen 2002 kam ein anderer Helikopter zum Einsatz als in den vorangegangenen Jahren. Wie in den letzten Jahren festgestellt wurde, können sich die Helikopter trotz gleichen Typs im Background unterscheiden. Deshalb sollte bei den jährlichen Messflügen immer eine Backgroundmessung durchgeführt werden.

Zu diesem Zweck werden Messungen über grossen Wasserflächen in grosser Höhe durchgeführt, um die Strahlung von der Erdoberfläche möglichst vollständig abzuschirmen. In der Schweiz ist dies nicht unproblematisch, liegen doch gerade die grossen Seen im Bereich internationaler Luftstrassen, die nicht ohne weiteres befliegen werden können.

Im Jahre 2002 bestand nun im Rahmen der internationalen Messübung in Schottland die Möglichkeit beim Rückflug Messungen über dem Meer in grosser Höhe durchzuführen.

2.2 Messung

Die Backgroundmessungen erfolgten am 30. Mai 2002 beim Rückflug von Schottland in die Schweiz über dem Meer südlich von Dumfries & Galloway und über dem Ärmelkanal. Dabei wurden in verschiedenen Höhen über längere Zeiten Spektren aufgenommen. In Höhen von 1'880 m, 2'760 m, 2'800 m und 3'700 m wurden rund 60, 60, 200 und 500 Spektren aufgenommen.

2.3 Ergebnisse

Die Spektren für jede einzelne Höhe wurden gemittelt. Anschliessend wurde für jeden Kanal eine lineare Regression gerechnet, die den kanalspezifischen Helikopterbackground (Abbildung 1) und den kanalspezifischen kosmischen Strippingfaktor (Abbildung 2) lieferte. Das Produkt aus kanalspezifischem kosmischen Strippingfaktor und kosmischer Zählrate (Energiebereich > 3 MeV) liefert den Beitrag der kosmischen Strahlung an die Zählrate im entsprechenden Kanal.

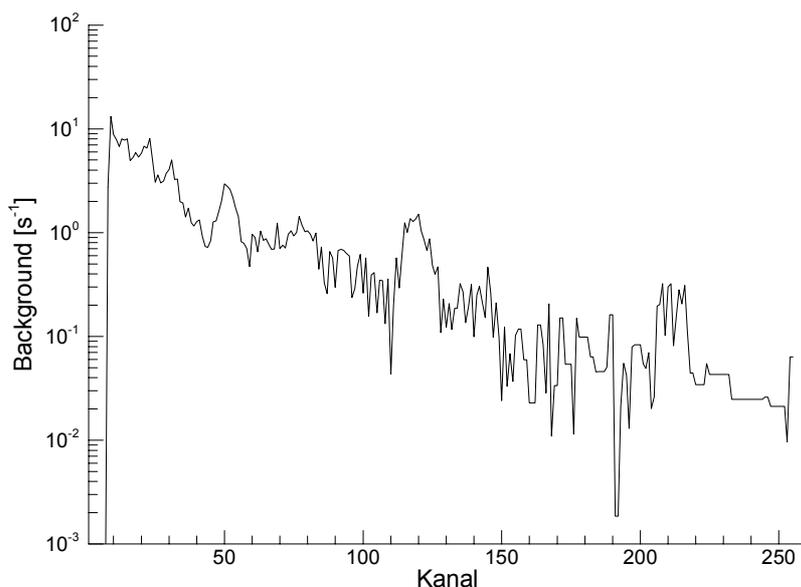


Abbildung 1: Hier ist der Helikopterbackground, der aus den Messungen über dem Meer bestimmt wurde, über das ganze Spektrum dargestellt.

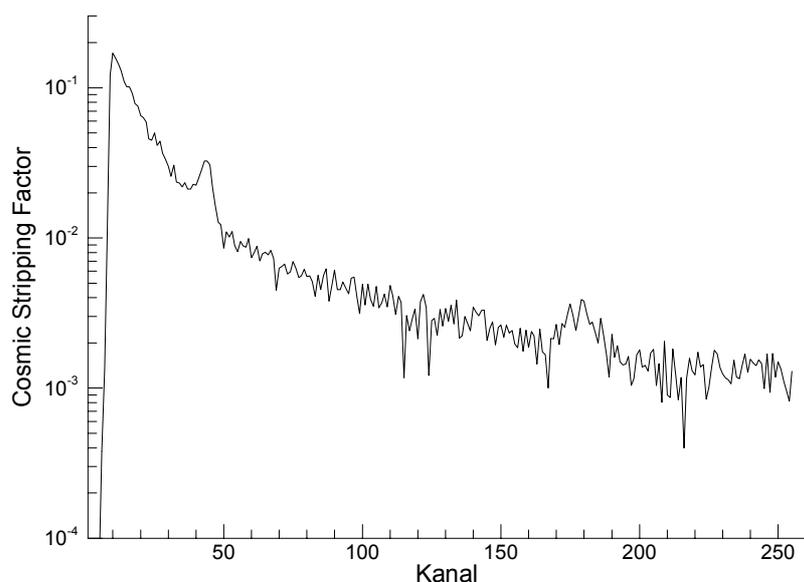


Abbildung 2: In dieser Abbildung sind die kosmischen Strippingfaktoren, die aus dem Flug über dem Meer bestimmt wurden, über das ganze Spektrum aufgetragen.

Der Background des Helikopters (Super Puma T-323) ist tiefer als Messungen mit anderen Helikoptern desselben Typs früher ergaben. Bei den kosmischen Strippingfaktoren fällt vor allem das lokale Maximum bei rund 511 keV (bei Kanal 44) auf. Dieses ist auf die Annihilationsstrahlung zurückzuführen, die durch die Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit der Atmosphäre entsteht. Abgesehen davon zeigt sich ein ziemliches Kontinuum über das Spektrum, das zu tieferen Energien hin ansteigt.

In der Tabelle 1 sind die die Ergebnisse von der Backgroundmessung 1994 (Schwarz & Rybach, 1995) und 2002 aufgeführt und verglichen. Der 2002 bestimmte Background ist grösstenteils viel kleiner als 1994. Dies kann möglicherweise durch die unterschiedlichen Helikopter T-313 und T-323 erklärt werden, die 1994 und 2002 im Einsatz standen. Auffällig ist vor allem der grosse Unterschied im Uranfenster, wo der Background 2002 nicht mal mehr die Hälfte von 1994 beträgt. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, dass bei der Backgroundbestimmung 1994 doch noch etwas Radonfolgeprodukte sich in der Luft befanden und die Messung beeinflussten. Dafür spricht auch die grosse Reduktion im Background des Cäsiumfensters, das ebenfalls durch Radonfolgeprodukte beeinflusst wird.

Tabelle 1: Vergleich zwischen den Backgroundmessungen von 1994 und 2002.

Fenster	ARM94		ARM02	
	Background	Cosmic stripping	Background	Cosmic stripping
Total	135	0.909	98.1	1.041
Kalium	11.2	0.046	12.1	0.050
Uran	6.3	0.038	2.7	0.043
Thorium	2.7	0.045	3.4	0.044
Cäsium	24.9	0.083	15.5	0.102
Cobalt	15.4	0.095	13.9	0.100
MMGC1	116	0.650	79.54	0.771
MMGC2	24.7	0.248	18.5	0.270

Die kosmischen Strippingfaktoren sind im Gegensatz zu den Backgroundwerten bei der Bestimmung 2002 höher ausgefallen als 1994. Einzige Ausnahme bildet dabei das Thoriumfenster, dessen kosmischer Strippingfaktor sich minim verkleinert hat. Die Unterschiede in den kosmischen Strippingfaktoren liegen im Bereich von 10 %.

2.4 Fazit

Der Background und die kosmischen Strippingfaktoren haben sich im Vergleich zu den Messungen von 1994 zum Teil stark geändert. Teilweise kann dies durch die verschiedenen im Einsatz stehenden Helikopter erklärt werden. Die grossen Backgroundunterschiede im Uran- und Cäsiumfenster könnten auf Störeinflüsse von Radonfolgeprodukten in der Luft während den Messungen 1994 zurückgeführt werden. Es zeigt sich einmal mehr, dass es recht schwierig ist, zuverlässige Backgroundmessungen durchzuführen. Messungen über Schweizer Seen sind nur bedingt verwendbar, da doch gewisse Störeinflüsse wirken können. Eine Backgroundmessung bei jeder Messkampagne ist jedoch bei wechselndem Helikopter trotzdem unerlässlich.

3 Internationale Vergleichsflüge (ECCOMAGS)

3.1 Einleitung

Die Ende Mai 2002 im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS (European Calibration and Coordination of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry) stattfindende internationale Messübung im Südwesten Schottlands (Dumfries & Galloway) hatte zwei klare Ziele: Einerseits sollten die Protokolle der Messteams für die Bestimmung der Dosisleistung und der Bodenaktivitäten und andererseits die Vergleichbarkeit der Resultate der verschiedenen europäischen Teams überprüft werden. Zu diesem Zweck wurden verschiedene Messziele definiert. Im Zentrum standen drei gemeinsame Messgebiete X, Y und Z unterschiedlicher Grösse und mit unterschiedlichen Cäsiumaktivitäten aus dem Tschernobyl-Ereignis (Siehe Abbildung 3). Eines der Kalibrationsgebiete (Gebiet X) wies auch Ablagerungen von Cäsium, das von früheren Abgaben von Sellafield stammt, in einem Marschgebiet aus. Alle drei Gebiete wurden mit Bodenmessungen (Bodenproben und inSitu-Gammaspektrometrie) charakterisiert. Im Weiteren standen drei Kalibrationspunkte (Castle Kennedy, Inch Farm, Wigtown Merse) zur Verfügung, die in hexagonaler Anordnung mit verschiedenen Distanzen vom Zentrum am Boden vermessen wurden. Um die Übungsziele zu erreichen, sollten alle Messteams die drei gemeinsamen Messgebiete und die drei Kalibrationspunkte aeroradiometrisch vermessen. Zusätzlich war die gemeinsame Kartierung eines grösseren Gebietes vorgesehen, von dem jedem Team ein Teil (A bis J) zur Messung zugeordnet wurde.

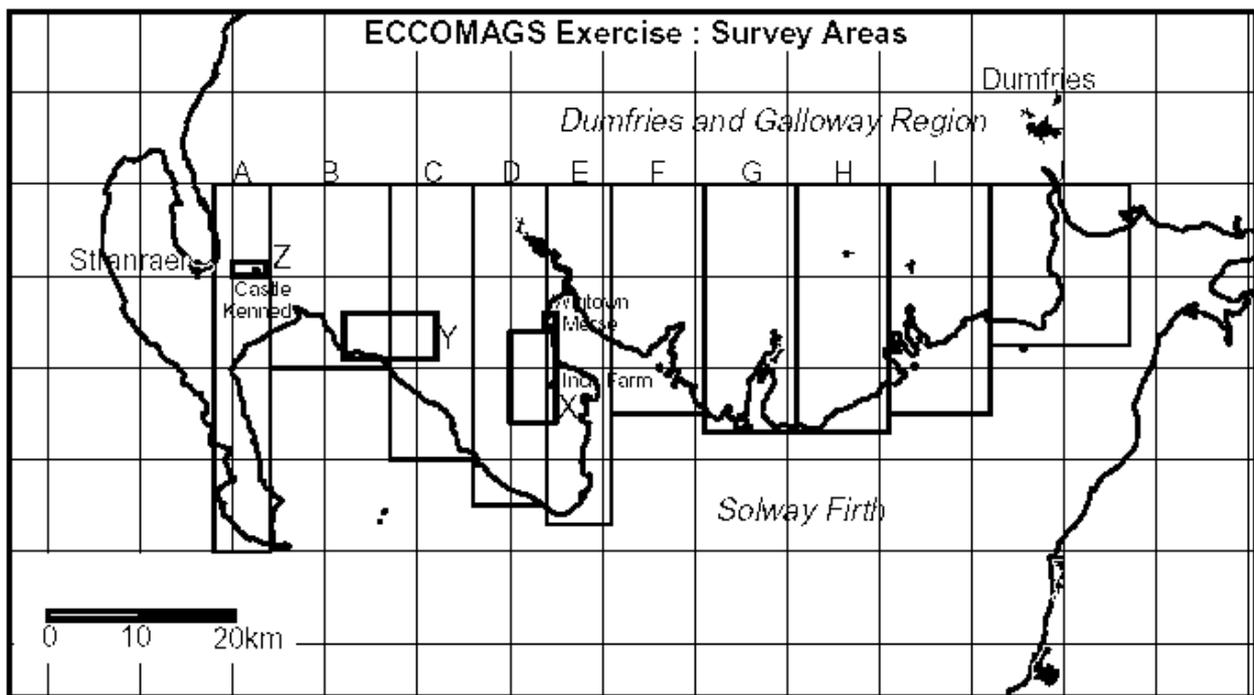


Abbildung 3: Das Messgebiet der internationalen Übung im Südwesten Schottlands. In der Karte sind die gemeinsamen Messgebiete X, Y und Z, die drei Kalibrationspunkte (Castle Kennedy, Inch Farm und Wigtown Merse) sowie das Kartierungsgebiet mit den Teilstücken A bis J eingezeichnet.

3.2 Messungen

Unser Messteam flog am 27. Mai 2002 nach Schottland. Vor Ort mussten wir erfahren, dass es Probleme mit der Tiefflugerlaubnis für die militärischen Helikopter gab. Dies hatte zur Folge, dass schliesslich die Teams, die mit militärischen Helikoptern an der Übung teilnehmen wollten, keine Messungen durchführen durften. Am 30. Mai flog unser Messteam zurück in die Schweiz. Dabei

gelang es, eine Linie aeroradiometrisch zu vermessen, die durch die gemeinsamen Messgebiete X, Y und Z führte (Abbildung 4).

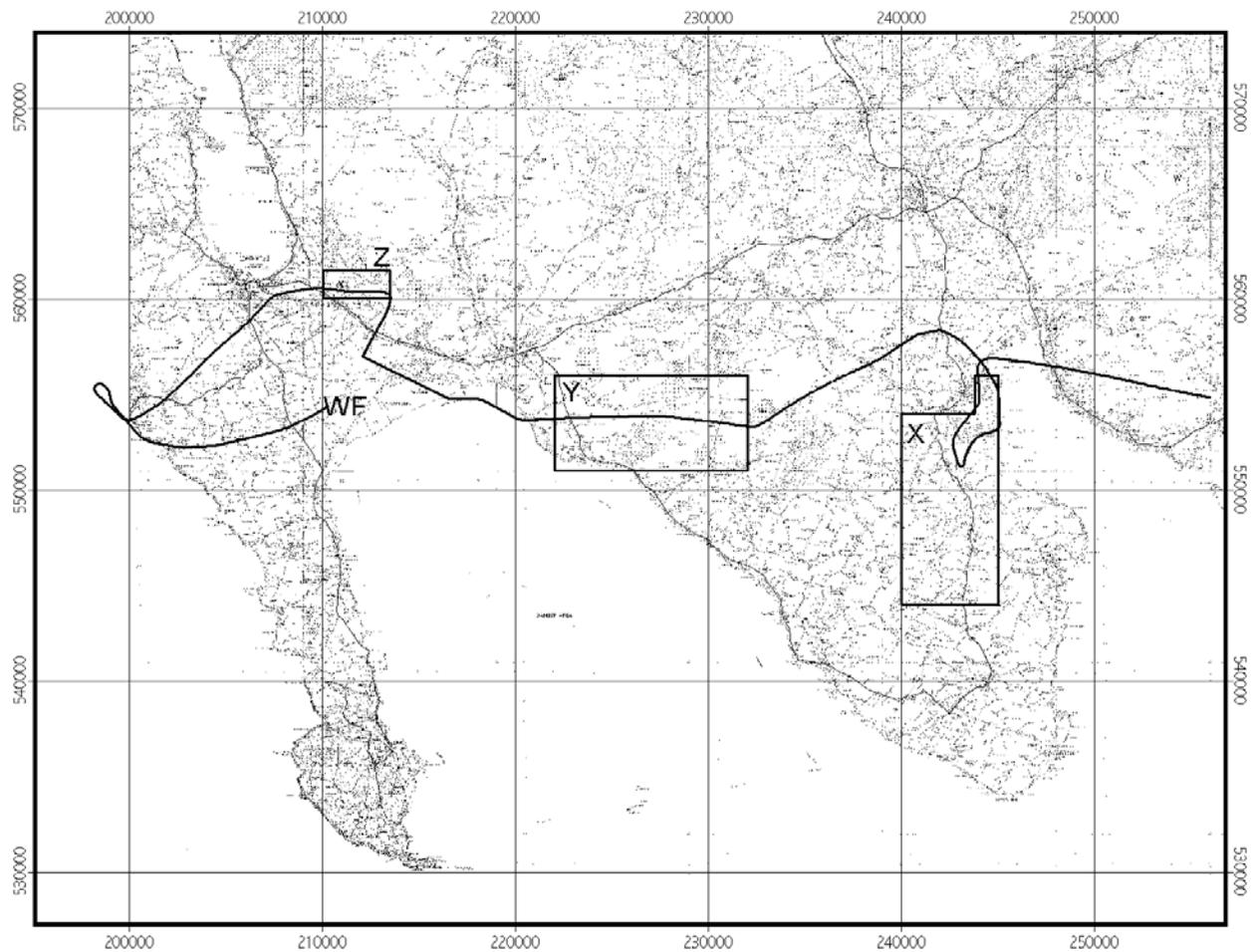


Abbildung 4: In der Karte ist die Fluglinie eingezeichnet, die ausgehend vom Flugplatz West Freugh (WF) durch die gemeinsamen Messgebiete X, Y und Z führte.

3.3 Ergebnisse

Die Daten wurden nach dem in Schwarz (1991) beschriebenen Prinzip unter Berücksichtigung des unter Kapitel 2 bestimmten Backgrounds ausgewertet. Im Gegensatz zu unserer üblichen, für ^{137}Cs verwendeten Einheit Aktivität pro Masse, sollte bei der Übung das Inventar an ^{137}Cs rapportiert werden. Es war vorgesehen, diese Kalibration an den im Voraus mit Bodenmessungen charakterisierten Kalibrationspunkten vorzunehmen. Aufgrund der Probleme mit der Flugerlaubnis konnten jedoch bei den Kalibrationspunkten keine Messungen durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde versucht, die bestehende Kalibration auf theoretische Art und Weise auf die geforderte Einheit umzurechnen.

Im Anhang zum ICRU Report 53 (1994) sind die Formeln für die Photonenflussdichte bei verschiedenen Quellgeometrien am Boden gegeben. Da das detektierte Signal im Detektor für beide Quellgeometrien (homogene Verteilung bzw. exponentielle Abnahme mit der Tiefe) dasselbe ist, können die entsprechenden Formeln gleichgesetzt werden. Für eine bestimmte Flughöhe, in unserem Fall 100 m, und einer bestimmten Mass depth distribution β kann dann das Verhältnis zwischen den beiden Kalibrationen berechnet werden. Da alle anderen Teams ihre Messungen mit dem Kalibrationspunkt Inch Farm kalibrierten, wurde für die Mass depth

distribution der entsprechende Wert von 8.5 gcm^{-2} verwendet. Nach diesen Berechnungen entspricht dann eine homogene Cäsiumaktivität von 1 Bqkg^{-1} dem Inventar von 0.17 kBqm^{-2} . Dieses Verhältnis wurde in der Folge für die Rapportierung der Cäsiumaktivitäten in der Einheit kBqm^{-2} eingesetzt.

Bei den Messungen stellten wir fest, dass sich das Messgebiet X am stärksten von den anderen beiden Gebieten in der Cäsiumaktivität und in der Dosisleistung unterschied. In Teilen der Gebiete Y und Z waren die Cäsiumaktivitäten nahe an der Nachweisgrenze. Deutlich waren die in diesen Gebieten liegenden Seen zu erkennen (Beilage 1 und Beilage 2). Im Gebiet Y ist ein Unterschied in der Dosisleistung von West nach Ost zu sehen (Beilage 2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass es sich im Osten des Messgebietes um sehr feuchtes und zum Teil mit Seen und Wald bedecktes Terrain handelt.

Im Gegensatz zu den Gebieten Y und Z wurden im Nordosten des Messgebietes X sehr hohe Cäsiumaktivitäten detektiert (Beilage 3). Diese befanden sich hauptsächlich nordöstlich der Ortschaft Wigtown Merse im Marschland. Diese Ablagerungen waren bereits durch frühere Messungen bekannt und sind auf Abgaben aus Sellafield zurückzuführen. Das Maximum der Aktivitäten liegt in einer Tiefe von rund 20 cm. Dies führte bei unseren Annahmen zu einer massiven Unterschätzung des ^{137}Cs Inventars.

3.4 Vergleiche mit anderen Messteams

Da wir nicht die gesamten Gebiete X, Y und Z aeroradiometrisch vermessen konnten, sind auch die Vergleichsmöglichkeiten mit den anderen Teams etwas eingeschränkt. Eine der Vergleichsmöglichkeiten war, die von uns geflogene Linie mit entsprechenden, in der Nähe liegenden Messlinien bzw. Messpunkten der anderen Teams zu vergleichen. In der Abbildung 5 ist ein Vergleich entlang unserer Linie durch das Messgebiet Y für die terrestrische Dosisleistung (links) und die Cäsiumaktivität (rechts) dargestellt. Dabei entsprechen die mit HSK bezeichneten Profile den unseren.

Während bei der Dosisleistung die Resultate der Teams HSK, SGU, SSI und SURRC recht gut übereinstimmen, weisen die Ergebnisse der Teams BfS A, BfS B und CEA deutliche Unterschiede auf. Bei CEA scheint ein zu grosser Background abgezogen worden zu sein. Bei den Resultaten von BfS A und BfS B ist eine deutlich geringere Dynamik vorhanden als in den Resultaten der übrigen Teams. Sehr gute Übereinstimmung in Dynamik wie auch im Wertenniveau ist vor allem zwischen unseren Ergebnissen und denen der beiden schwedischen Teams SGU (Geological Survey of Sweden) und SSI (Schwedisches Strahlenschutzinstitut) sowie des schottischen Teams (SURRC) zu erkennen.

Ein etwas besseres Bild zeigt sich bei den Cäsiumaktivitäten, obwohl die Werte aufgrund der statistischen Unsicherheiten stärker schwanken. Es fällt auf, dass unsere Ergebnisse im Vergleich zu anderen Teams grössere Schwankungen aufweisen. Dies ist zum Teil auf die unterschiedlichen Messintervalle und die unterschiedlichen Flughöhen zurückzuführen: die Teams BfS A, BfS B, CEA und SSI verwendeten ein Messintervall von 2 s und eine Sollflughöhe von 60 m, SURRC ein Intervall von 2 s und eine Flughöhe von 100 m und SGU wie wir ein Intervall von 1 s und eine Flughöhe von 100 m. Im Gegensatz zu uns (ca. 100 kmh^{-1}) beträgt aber die Fluggeschwindigkeit von SGU rund 240 kmh^{-1} , da sie bei den Messungen ein Propellerflugzeug einsetzen. Ein weiterer Grund für die unterschiedliche Schwankungsbreite könnte in der Auswertungsmethodik liegen. Zum Teil wird nämlich die Nettozählrate für Cäsium direkt aus der Nettofläche des entsprechenden Peaks bestimmt. Dabei kommen Interpolationsroutinen zum Zuge, welche die Daten etwas glätten.

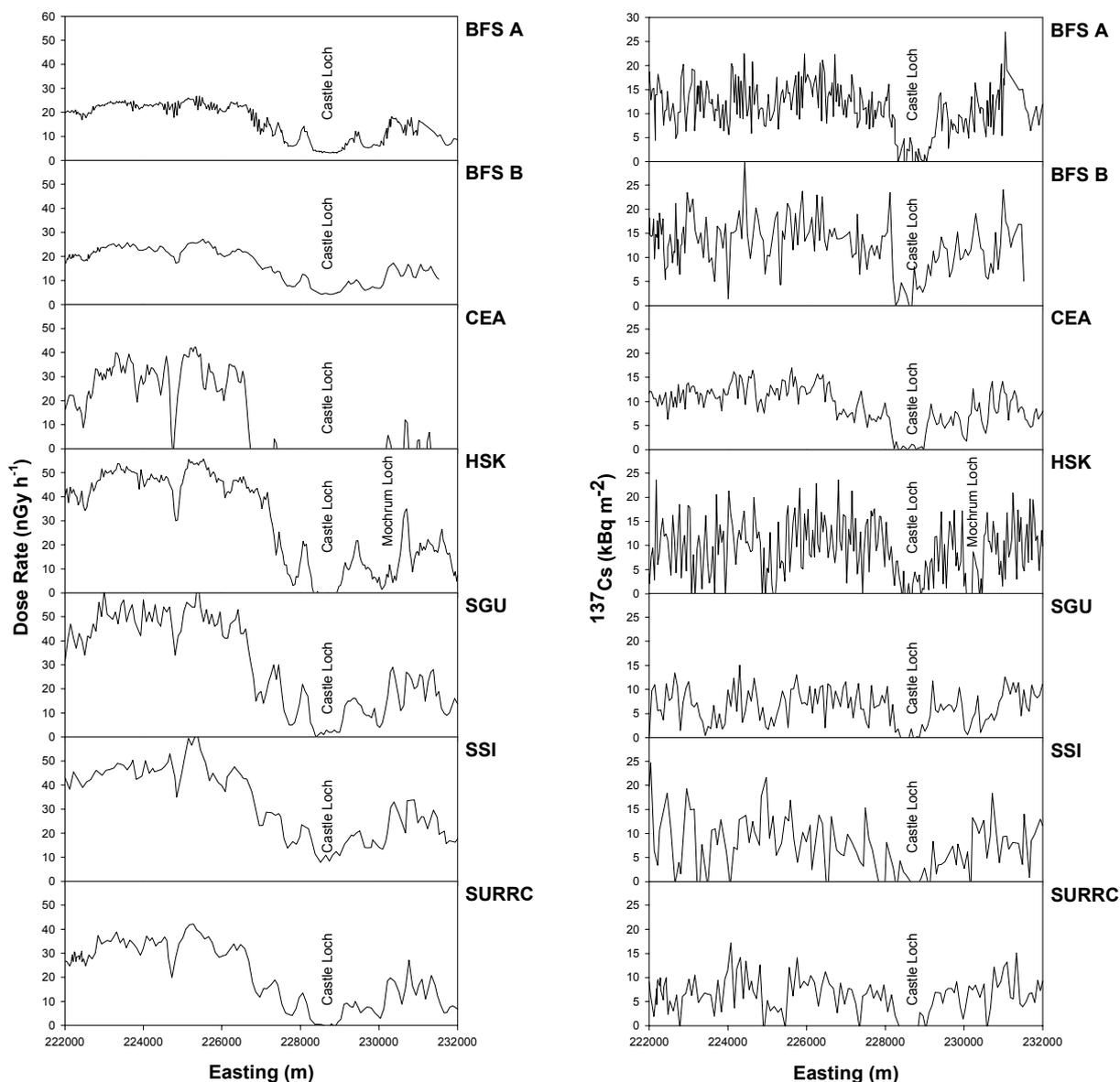


Abbildung 5: Vergleich von Resultaten der verschiedenen Messteams entlang der selben Messlinie durch das Messgebiet Y (aus Sanderson et al., im Druck).

Im Weiteren wurden für weitere Vergleiche aus den Ergebnissen der anderen Teams unseren Messpunkten entsprechende Werte extrahiert. Dazu wurde das im Schlussbericht zur internationalen Messübung (Sanderson et al., im Druck) beschriebene Verfahren verwendet. In der Abbildung 6 sind unsere Ergebnisse gegen den Mittelwert der anderen Teams für die entsprechenden Messpunkte aufgetragen. Die eingezeichneten Geraden durch die Punktwolke entsprechen der jeweiligen linearen Regression. Für die terrestrische Dosisleistung erhielt man eine Steigung von 1.058 ± 0.012 und ein Intercept von $1.68 \pm 0.51 \text{ nGy h}^{-1}$ und für ^{137}Cs eine Steigung von 1.27 ± 0.02 und ein Intercept von $-0.003 \pm 0.039 \text{ kBq m}^{-2}$.

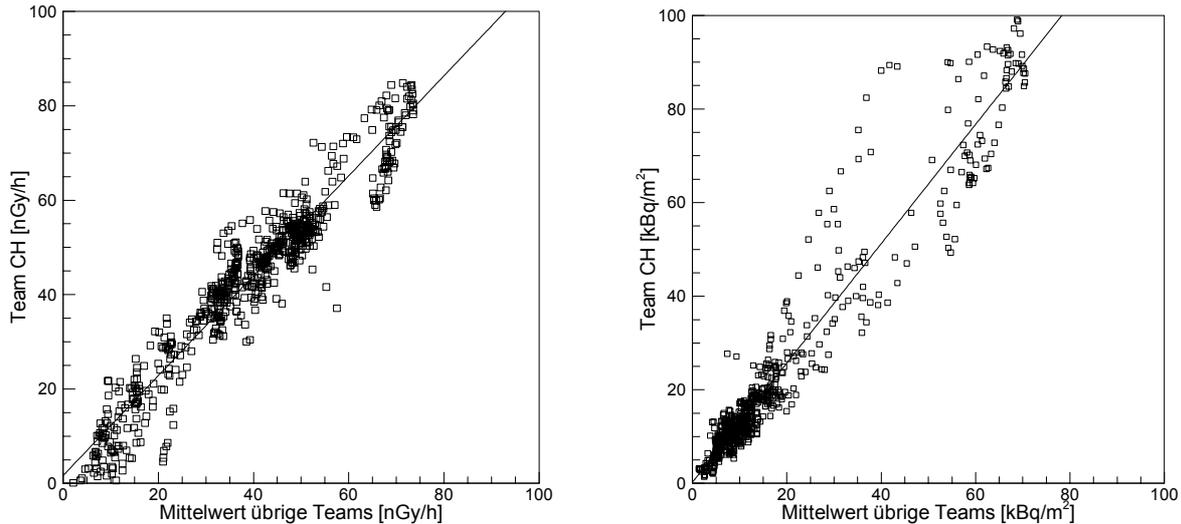


Abbildung 6: Vergleich unserer Resultate mit den Mittelwerten aus den Ergebnissen der anderen Messteams.

Die sehr kleinen Intercepts für die Dosisleistung wie auch für Cäsium weisen auf eine korrekte Auswertung der Daten bezüglich Background und Stripping hin. Bei der Dosisleistung liegen wir ziemlich genau beim Mittelwert der übrigen Teams. Hingegen scheint unser Kalibrationsfaktor für die Cäsiumaktivitäten im Vergleich zu den anderen Teams rund 25 % zu hoch zu liegen. Hier gilt es noch zu erwähnen, dass die Cäsiumdaten der anderen Teams auf den Kalibrationspunkt Inch Farm angepasst wurden, den wir leider nicht messen konnten.

3.5 Vergleiche mit Bodenmessungen

Zusätzlich zu den aeroradiometrischen Messungen wurden während der Übung durch diverse Teams auch inSitu Messungen durchgeführt sowie Bodenproben für Labormessungen erhoben. Die entsprechenden Bodenmesspunkte wurden zufällig in den Messgebieten X, Y und Z gewählt. Entlang unserer Fluglinie lagen innerhalb eines Bereichs von 500 m 18 von insgesamt 42 Messpunkten.

Leider liegen derzeit noch nicht alle Resultate aus den inSitu und Labormessungen vor. Sobald die Daten vorliegen wird ein Vergleich angestellt.

3.6 Fazit

Trotz der verweigerten Flugerlaubnis konnten beim Rückflug in die Schweiz Messungen über den gemeinsamen Messgebieten erhoben werden. Wie gezeigt werden konnte, liegen die Resultate, die unser Messsystem liefert ziemlich in der Mitte von europäischen Teams. Die Datenauswertung und die Kalibration für die Dosisleistung scheinen korrekt zu sein. Hingegen muss die Kalibration für Cäsium überprüft werden.

Mit der Teilnahme an dieser internationalen Messübung konnten wir unsere Einsatzbereitschaft und die Verlässlichkeit unserer Resultate erfolgreich überprüfen. In verschiedenen Bereichen konnten wertvolle, zum Teil auch schmerzhaft Erfahrungen gewonnen werden. Vor allem im Hinblick auf zukünftige internationale Übungen oder eine Zusammenarbeit bei Notfallsituationen ergaben sich auch neue Fragestellungen. So sollten neben der Fluglogistik vor allem im Bereich der rapportierten Ergebnisse die Einheiten, das Datenformat und auch das zu verwendende Koordinatensystem verbindlich geregelt werden. Eine entsprechende Standardisierung würde vor allem in Notfallsituationen einen bedeutenden Zeitgewinn bringen. Bezüglich Datenformat sind zurzeit Bestrebungen im Gange, ein einheitliches Datenaustauschformat innerhalb der

Aeroradiometrieteams von Europa zu etablieren. In diesem Zusammenhang sollte auch versucht werden, ein Standardkoordinatensystem wie z.B. WGS84 festzulegen. Im Bereich der Einheiten werden noch weit grössere Anstrengungen nötig sein, um eine Standardisierung innerhalb von Europa zu erreichen. Zwar ist in verschiedenen rechtlichen Grundlagen $H^*(10)$ als Grösse für die Dosisleistung festgelegt, aber trotzdem wird zum Teil noch hartnäckig an Air Kerma festgehalten. Hier wird vor allem auch die Politik noch gefordert sein.

4 Aeroradiometrie-Datenbank

4.1 Einleitung

Zurzeit liegen aeroradiometrische Daten über eine Zeitspanne von 15 Jahren vor. Diese befinden sich auf verschiedenen Datenträgern und nicht in einem einheitlichen Format. Um die Daten zu erhalten und den Zugriff auf frühere Messungen zu erleichtern, sollten die Daten in einem einheitlichen Format vorliegen. Zudem sollten Möglichkeiten geschaffen werden, gewünschte Daten relativ einfach zu extrahieren und Benutzern zur Verfügung zu stellen. Zu diesem Zweck soll –gestützt auf eine Empfehlung der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) – eine Datenbank mit allen aeroradiometrischen Daten und ein entsprechendes Interface geschaffen werden.

4.2 Bisherige Arbeiten

Im Jahre 2002 wurde mit dem Aufbau der Datenbank begonnen. Als erstes wurde die Datenstruktur definiert, die grösstenteils bereits in Bucher (2001) beschrieben wurde (Abbildung 7). Dabei mussten die Veränderungen an Messsystem und eingesetzten Helikoptern berücksichtigt werden. Dies bedingte auch, dass die für die Auswertung benötigten Datensätze wie Backgroundwerte, Strippingfaktoren etc. ebenfalls in der Datenbank enthalten sind.

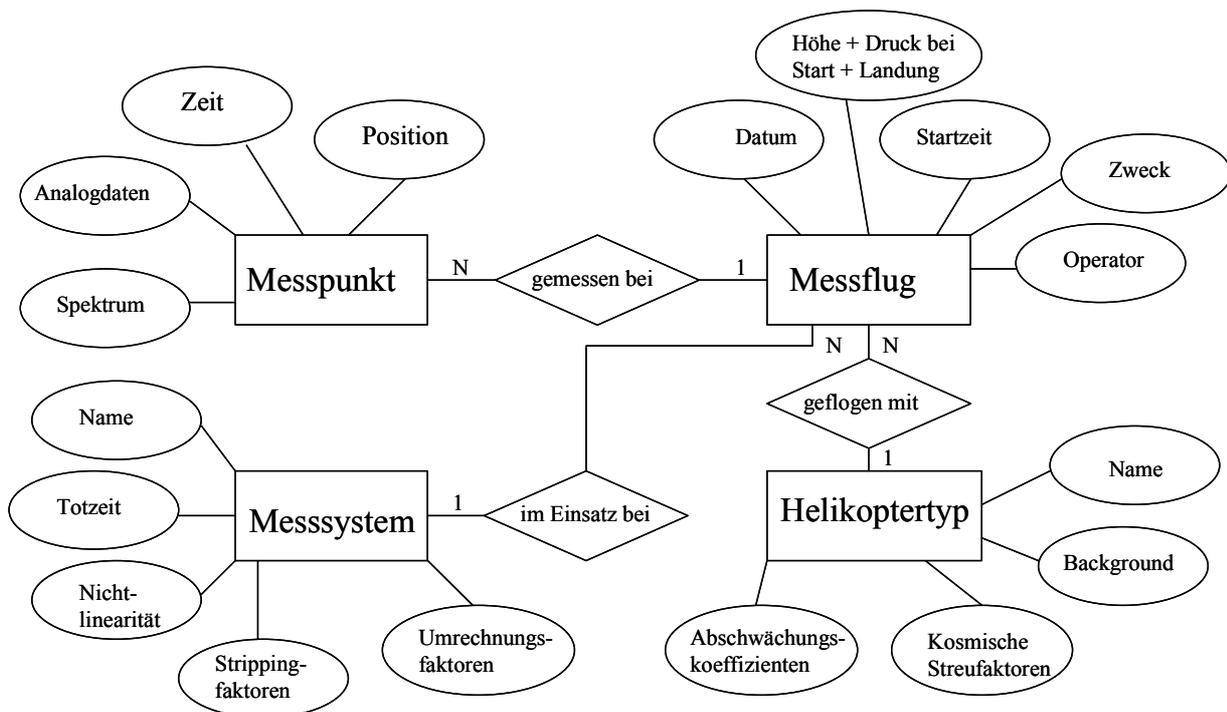


Abbildung 7: Datenstruktur der Aeroradiometrie-Datenbank (aus Bucher, 2001).

Es wurden vier Haupttabellen definiert, welche die einzelnen Messpunkte, Messflüge, Messsysteme und Helikopter enthalten. Beim Messsystem wurden die Strippingfaktoren und die Umrechnungsfaktoren in separate Hilfstabellen ausgegliedert. Dasselbe geschah beim Helikoptertyp mit den Abschwächungskoeffizienten, den kosmischen Strippingfaktoren und dem Background. Das ganze wurde mit SQL-Server von Microsoft implementiert.

Um die Daten einfach in die Datenbank importieren zu können, muss eine entsprechende Software bereitgestellt werden. Da bis zur Integration eines GPS-Receiver in das Aeroradiometriesystem die Koordinaten mit Hilfe von Luftbildern bestimmt werden mussten, ist auch ein grösserer Aufwand für diese älteren Daten nötig. Diese Daten können nicht direkt aus dem Rohdatenfile in

die Datenbank eingelesen werden, da zuerst die Koordinaten für die einzelnen Punkte grösstenteils interpoliert werden müssen. Die Software ist zurzeit im Aufbau.

Die Daten in den Tabellen „Messsysteme“ und „Helikoptertyp“ sowie in den entsprechenden Hilfstabellen sind eingegeben.

4.3 Weiteres Vorgehen

Der nächste Schritt besteht in der Implementierung der Importsoftware und im anschliessenden Import der Rohdaten. Für die Messdaten, die mit dem alten System bis 1991 aufgenommen wurden, muss überprüft werden, ob auch die ausgewerteten Daten in die Datenbank aufgenommen werden sollen. Denn da das alte System gewisse Mängel aufwies (z.B. Ausfall von einzelnen Detektor-Kristallen), die bei der Datenauswertung mit viel Aufwand eliminiert werden konnten, sind die entsprechenden, bereits ausgewerteten Daten von grossem Wert.

Anschliessend zum Datenimport ist ein Interface zu entwickeln, das die Auswahl von Daten und deren Auswertung und Visualisierung erlaubt. Dafür kann die bereits bestehende Auswertungssoftware als Basis dienen. Grundsätzlich müssen jedoch die diesbezüglichen Anforderungen an dieses Tool zuerst klar umrissen werden.

5 Ergebnisse der Messflüge 2002

Die Messungen des Jahres 2002 erfolgten mit einem Super Puma der Armee in der Zeit vom 27. bis zum 31. Mai 2002. Die Messflüge standen unter der Leitung von Y. Lörtscher (NAZ).

Die Messflüge 2002 standen ganz im Zeichen der internationalen Messübung im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS, die im Südwesten Schottlands stattfand (siehe Kapitel 3). Da diese Übung mit Hin- und Rückflug bereits vier Tage beanspruchte, konnte gerade noch ein Teil des Routineprogramms um die Kernkraftwerke Leibstadt (KKL) und Beznau (KKB) sowie um die Forschungsanstalt Paul Scherrer Institut (PSI) und das Zwischenlager für radioaktive Abfälle (ZWILAG) durchgeführt werden. Die Daten über alle Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM02 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]	Fluggeschwin- digkeit [m/s]	Sample- Intervall [s]
KKL/KKB/PSI/ZWILAG	250	56.5	100	45/225	30	1
ECCOMAGS	-	-	100	-	30	1
Background/Cosmic	-	-	diverse		30	1

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM02.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
KKL/KKB/PSI/ZWILAG	0205	31.5.02	1-15 32-38	7'965	286.3
ECCOMAGS	0204	30.5.02	-	2'395	88.1
Background/Cosmic	0204	30.5.02	-	1'134	-

Im Folgenden wird nur noch auf die Flüge im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG eingegangen, da die übrigen Messungen bereits in den vorangehenden Kapiteln genügend besprochen werden.

5.1 Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG

Das Gebiet um die Kernkraftwerke Beznau und Leibstadt, das Paul Scherrer Institut und das ZWILAG wurde im Jahre 2002 in einem Flug abgedeckt. Das Gebiet konnte aufgrund der beschränkten zur Verfügung stehenden Zeit nicht lückenlos abgedeckt werden. Deshalb wurden zwei Teilgebiete befliegen, eines um das Kernkraftwerk Leibstadt und das andere um KKB, PSI und ZWILAG. Für das ganze Messgebiet wurde je 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 erfolgte in Schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125x125 m.

Die beiden Kernkraftwerke Leibstadt und Beznau waren während der Messungen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Beznau besitzt einen Druckwasserreaktor und konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Beim Kernkraftwerk Leibstadt kommt ein Siedewasserreaktor zum Einsatz. Deshalb konnte das Werk aufgrund der hochenergetischen ^{16}N -Strahlung identifiziert werden. Bei ^{16}N handelt es sich um ein Aktivierungsprodukt (Reaktion $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $T_{1/2}=7.3$ s; zwei Gammalinien bei 6.13 MeV und 7.11 MeV), das durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da dies nach oben nicht vollständig abgeschirmt ist, kann die ^{16}N -Strahlung aus der Luft detektiert werden. Die hochenergetische Strahlung wird dabei hauptsächlich im kosmischen Fenster registriert, wobei aber die Streustrahlung im ganzen Spektrum von 40-3000 keV festgestellt werden kann.

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. Die Auswertung kann so modifiziert werden, dass anstelle der gemessenen Zählraten die berechneten Zählraten im kosmischen Fenster (siehe auch Bucher 2001) verwendet werden. Bei Verwendung der berechneten Zählraten ist das KKW Leibstadt deutlich in den Cäsiumaktivitäten und im MMGC-Ratio anhand erhöhter Werte zu erkennen. Das KKW Beznau ist sowohl bei den Cäsiumaktivitäten als auch im MMGC-Ratio nicht zu erkennen.

Das ZWILAG konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Die Messlinien führten ausserhalb des entsprechenden Perimeters vorbei. Bei der bis heute eingelagerten Aktivität scheint die Abschirmung ausreichend zu sein, um die Gammastrahlung entscheidend abzuschwächen.

Hingegen konnten auch dieses Jahr über beiden Teilen Ost und West des Paul Scherrer Instituts erhöhte Zählraten gemessen werden, die auf verschiedene Quellen zurückgeführt werden können. Am deutlichsten wurden die radioaktiven Abfälle im Bundeszwischenlager (PSI-Ost) erkannt, wo hauptsächlich ^{60}Co identifiziert werden konnte (Abbildung 8). Im PSI-West wurden zwei unterschiedliche Strahlungsfelder erkannt: das eine zeigt sehr hochenergetische Strahlung mit Energien > 3 MeV und einem Kontinuum im ganzen Spektrumsbereich. Dieses Strahlungsfeld wurde über den Beschleunigern in der Experimentierhalle registriert und wird durch Wechselwirkungen von hochenergetischen Neutronen mit der unmittelbaren Umgebung und deren Folgeprodukte verursacht. Das andere Strahlungsfeld weist vor allem zwei ausgeprägte Peaks aus (Abbildung 11). Der tieferenergetische Peak wird sehr wahrscheinlich durch Annihilationstrahlung (511 keV) verursacht, die bei β^+ -Zerfällen auftritt. Der Peak bei höherer Energie könnte auf ^{41}Ar (1294 keV) zurückzuführen sein, das durch Neutroneneinfang aus dem natürlichen Edelgas Argon (^{40}Ar) entsteht. Beide Aktivierungsprodukte sind dominant in der Fortluftfahne der Beschleunigeranlage vorhanden.

Im Bereich der Swiss Light Source (SLS) im PSI West konnte keine im Vergleich zur Umgebung erhöhte Gammastrahlung festgestellt werden. Auch hier führten die Messlinien am Rande des SLS-Gebäudes vorbei.

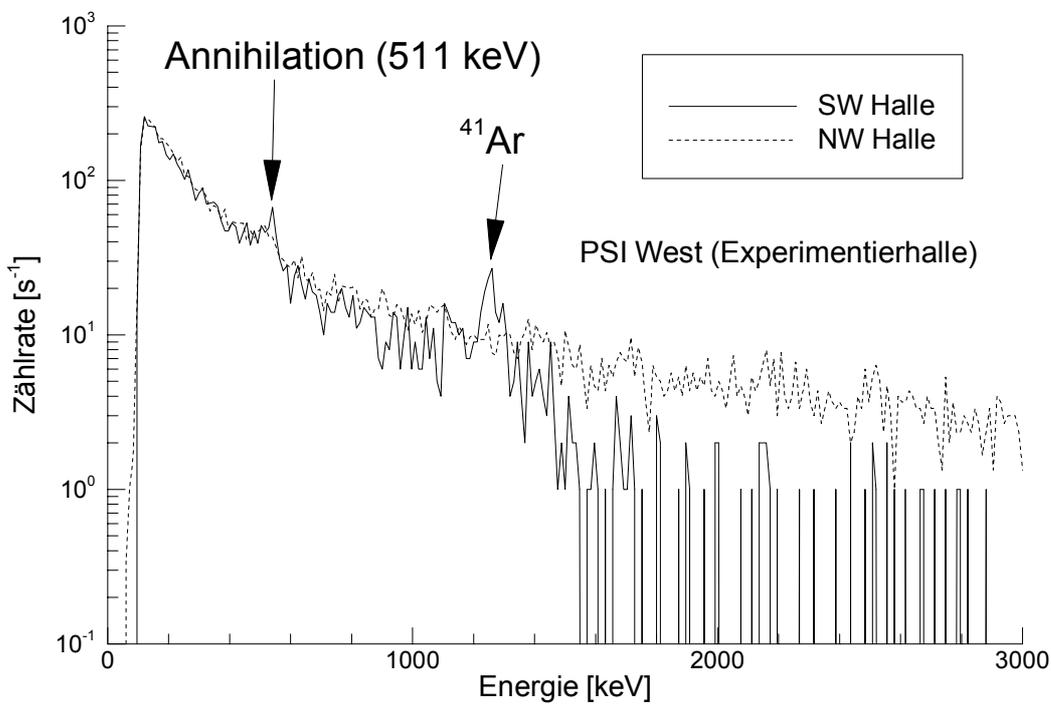
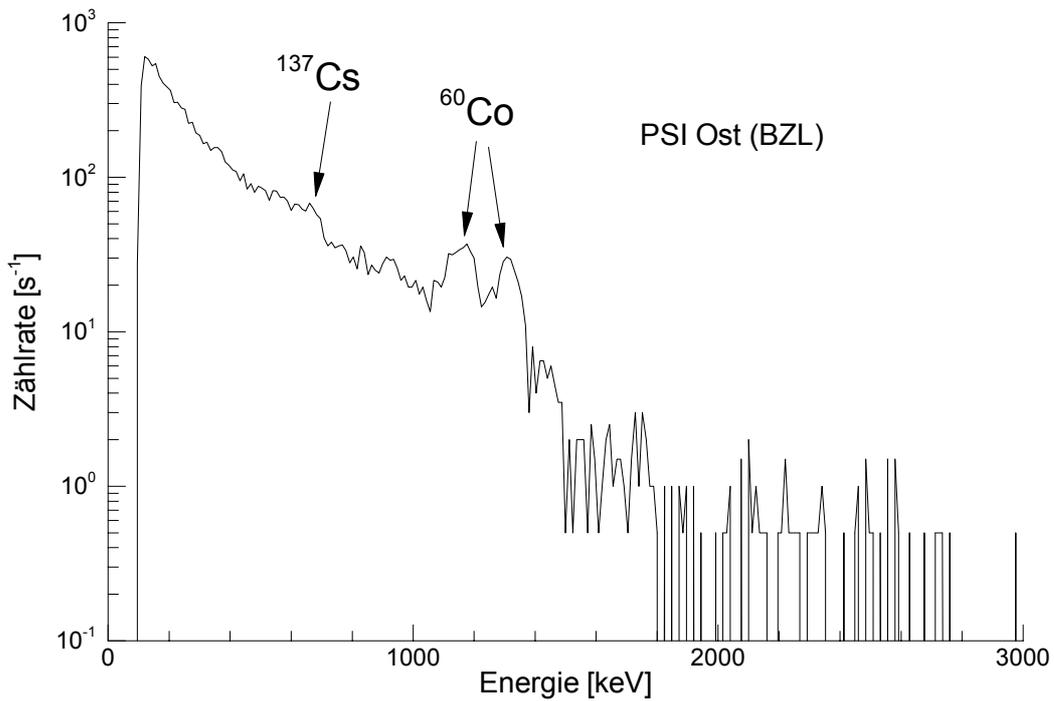


Abbildung 8: Dargestellt sind Spektren, die über dem jeweiligen Sektor gemittelt wurden. Oben ist das gemittelte Spektrum im Bereich des BZL (PSI Ost) dargestellt. Unten sind zwei gemittelte Spektren aus zwei Bereichen über der Experimentierhalle (PSI West) zu sehen.

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 2002 liegt innerhalb der Messgenauigkeit im gleichen Bereich wie in den früheren Jahren. Die Dosisleistungen im Einflussbereich der ^{16}N -Strahlung 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.

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

5.2 Beilagen KKL/KKB/PSI/ZWILAG

Beilage 4: Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG mit eingezeichneten Fluglinien und den Anlagenstandorten.

Beilage 5: Totale Dosisleistung (SDI-Methode, siehe Bucher 2001) im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. Deutlich ist der Standort des Kernkraftwerkes Leibstadt sowie des PSI Ost und West anhand erhöhter Dosisleistungen zu erkennen. Im weiteren sind Muster zu sehen, die durch unterschiedliche Vegetation (Wiesen, Wald) und Gewässer verursacht werden. Ausserhalb der umzäunten Areale sind keine wesentlich erhöhte Dosisleistungen zu erkennen.

Beilage 6: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. In der Aktivitätenkarte für Cäsium ist nur das PSI Ost deutlich zu erkennen.

Beilage 7: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG (siehe Schwarz & Rybach, 1995). Eindeutig ist wiederum das KKW Leibstadt sowie das PSI Ost und West zu erkennen. Ausserhalb der umzäunten Areale weist der modifizierte MMGC-Ratio keine erhöhten Werte auf.

6 Internationales

Das Jahr 2002 stand ganz im Zeichen der internationalen Messübung im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS. Trotz der grossen Schwierigkeiten während der Übung konnte die Zusammenarbeit und der Kontakt zu den anderen europäischen Teams vertieft werden. Wie die Resultate zeigten, können sich unser Messsystem, unsere Kalibration und Auswertung im europäischen Vergleich sehen lassen.

Im Februar 2002 fand am Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) ein zweitägiger Workshop zum Thema „Software for Mobile Gamma Spectrometry“ unter der Leitung von Hans Mellander (SSI) statt. Dabei wurde verschiedene Software präsentiert, die bei den europäischen Messteams im Einsatz stehen. Wir konnten im Rahmen dieses Workshops auch unsere online Auswertungs- und Kartierungssoftware vorstellen. Während des Workshops wurden auch Diskussionen zu den Themen Datenformate, Real-Time-Datenauswertung, Spektralanalyse, Kartendarstellung, Programmierung und Kalibration geführt. Auch hier kristallisierte sich die Wichtigkeit von einheitlichen Datenformaten heraus. Eine weitere Diskussionsplattform innerhalb dieser Gruppe wäre wünschenswert und könnte auch mit Sicherheit einiges in Richtung Standardisierung und Harmonisierung bewegen.

7 Ausblick

Die Rechnererneuerung unseres Messsystems ist für das Jahr 2003 geplant und die entsprechenden Mittel wurden bereitgestellt. Mit der Rechnererneuerung wird auch die Wartung der Messsysteme vom Institut für Geophysik der ETH Zürich ans Paul Scherrer Institut übergehen. Während dieser Übergangsphase wird die Wartung gemeinsam erfolgen und der Techniker des PSI durch Christoph Bärlocher in die Systeme eingeführt.

Bei den Messflügen 2003 ist eine gemeinsame Übung mit der Partnerorganisation der NAZ in Österreich geplant. Der Schwerpunkt liegt dabei mehr im organisatorischen und einsatztechnischen als im technisch-wissenschaftlichen Bereich. Daneben steht die turnusgemässe Vermessung der Gebiete um KKM und KKG auf dem Programm. Zwei Profile durch die Schweiz (N-S, E-W) sollen auch vermessen werden.

Im Jahre 2003 sollen alle vorhandenen aeroradiometrischen Daten in die Datenbank eingespielen werden. Zudem ist ein Konzept zu erstellen, wie die Nutzung dieser Datenbank aussehen soll und realisiert werden kann. Dabei ist eine Verknüpfung mit einem geographischen Informationssystem (GIS) ins Auge zu fassen.

In der internationalen Zusammenarbeit sollen die bestehenden guten Kontakte zu den europäischen Aeroradiometrietams weiter gepflegt und wenn möglich vertieft werden. Zudem soll auf eine Standardisierung und Harmonisierung im Bereich der Datenformate und der verwendeten Grössen und Einheiten hingearbeitet werden, um die Anknüpfung an bestehende Notfallsysteme wie z.B. RODOS zu erleichtern und damit die Aeroradiometrie besser in die Emergency Response einzubinden.

8 Literaturhinweise

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

International Commission on Radiation Units and Measurements, 1994: ICRU-Report 53, Gamma-Ray Spectrometry in the Environment. ISBN 0-913394-52-1.

RYBACH, L., SCHWARZ, G., MEDICI, F., 1996: Construction of radioelement and dose-rate baseline maps by combining ground and airborne radiometric data. IAEA-Tecdoc-980, p. 33-44.

SANDERSON, D.C.W., CRESSWELL, A.J., SCOTT, E. M., LAURITZEN, B., LANG, J.J., im Druck: RESUME 2002 International Intercomparison Exercise, Report on Exercise Data Comparisons.

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

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

9 Beilagen

Beilage 1: Dosisleistungsergebnisse im Messgebiet Z der internationalen Messübung ECCOMAGS.

Beilage 2: Dosisleistungsergebnisse im Messgebiet Y der internationalen Messübung ECCOMAGS.

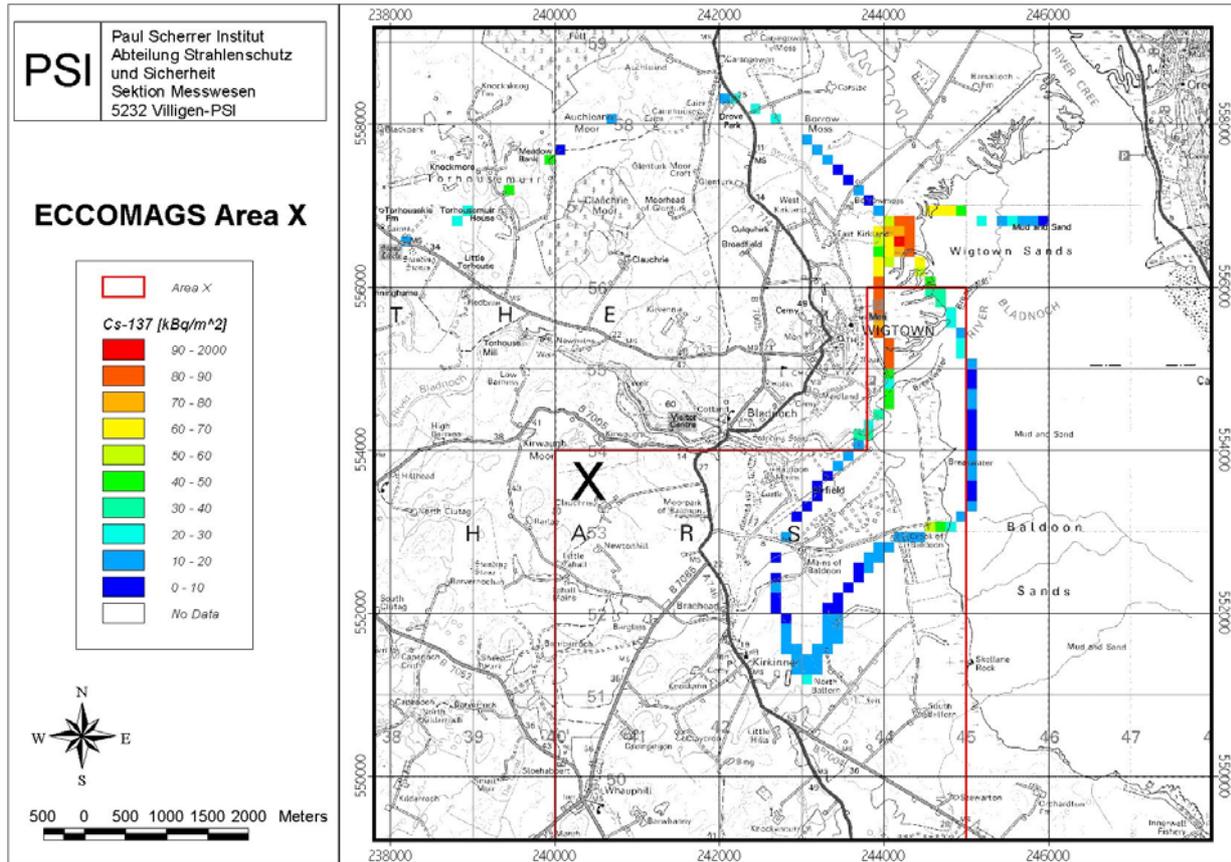
Beilage 3: Cäsiumaktivitäten im Messgebiet X der internationalen Messübung ECCOMAGS.

Beilage 4: Fluglinien und Standorte der Kernanlagen im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG.

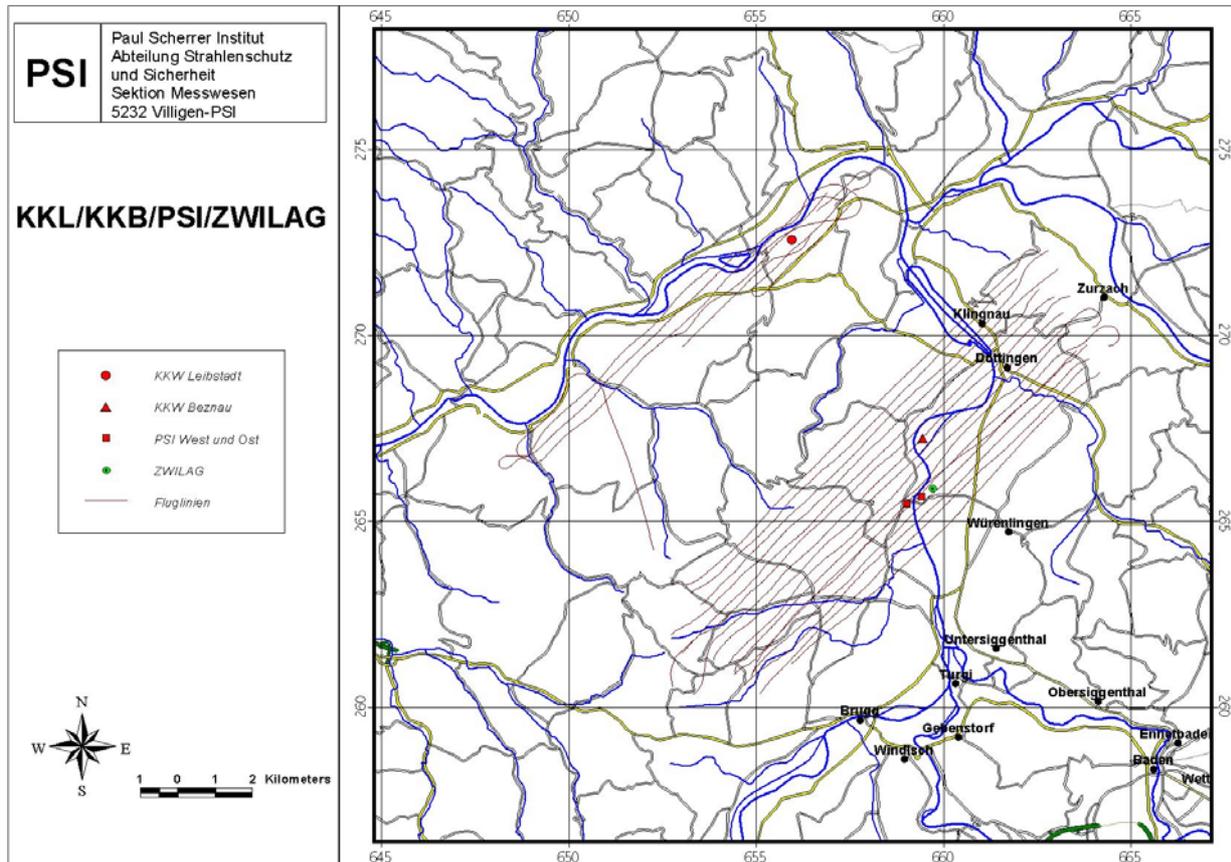
Beilage 5: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG.

Beilage 6: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG.

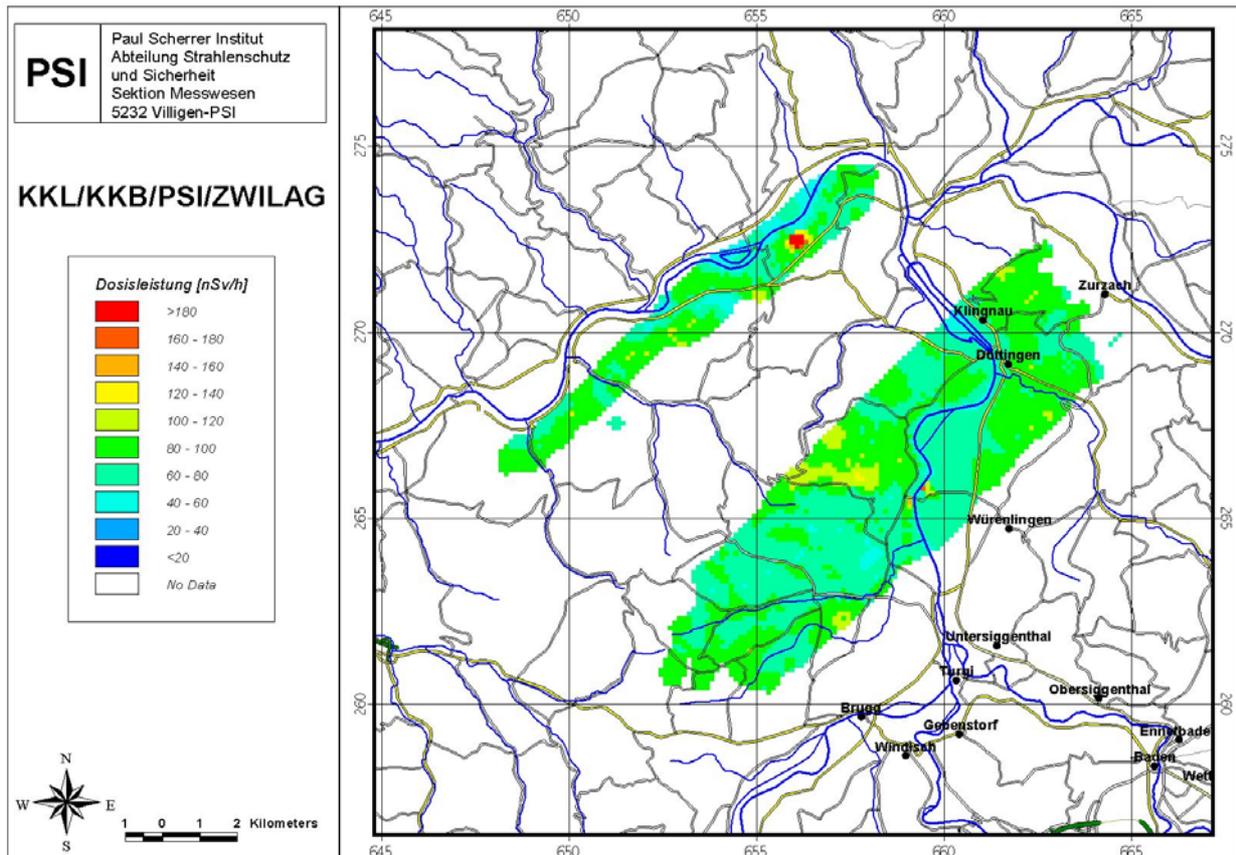
Beilage 7: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG.



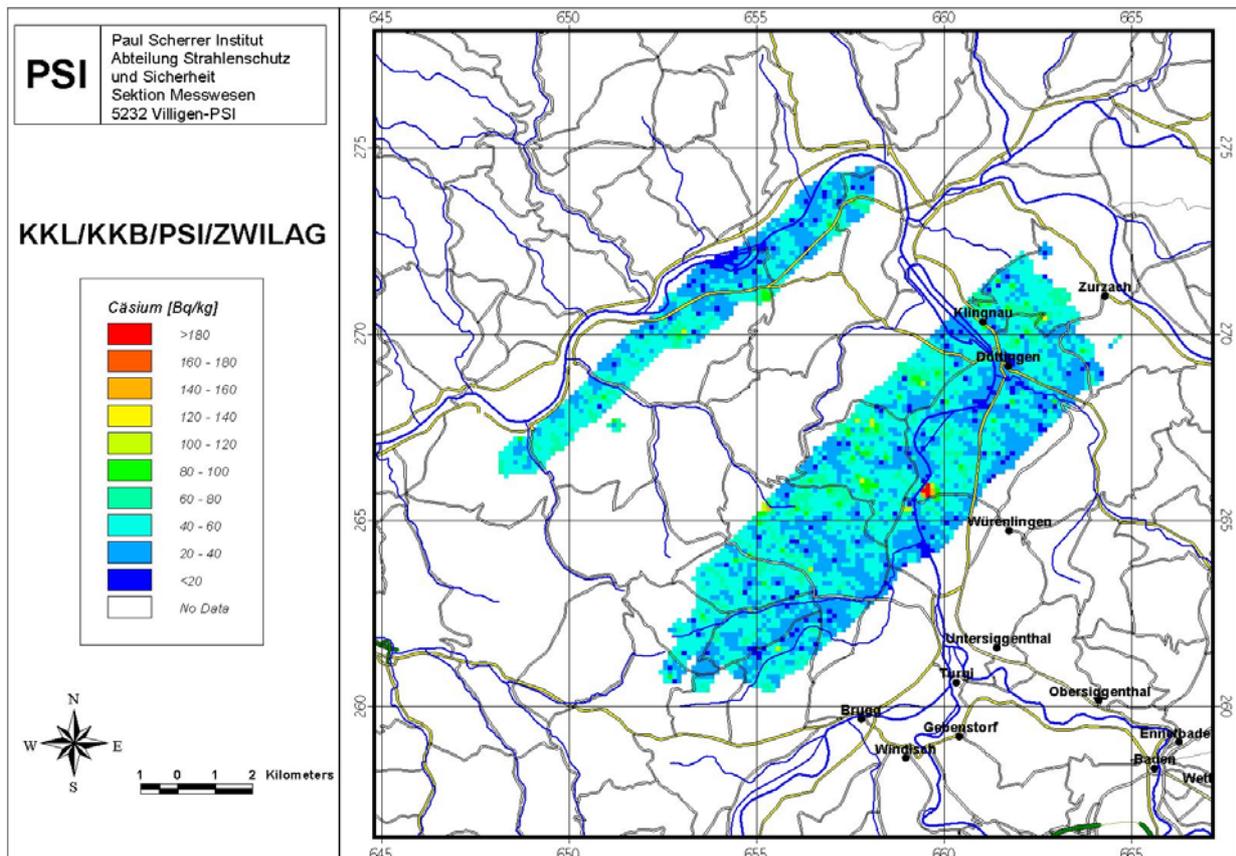
Beilage 3: Cäsiumaktivitäten im Messgebiet X der internationalen Messübung ECCOMAGS.



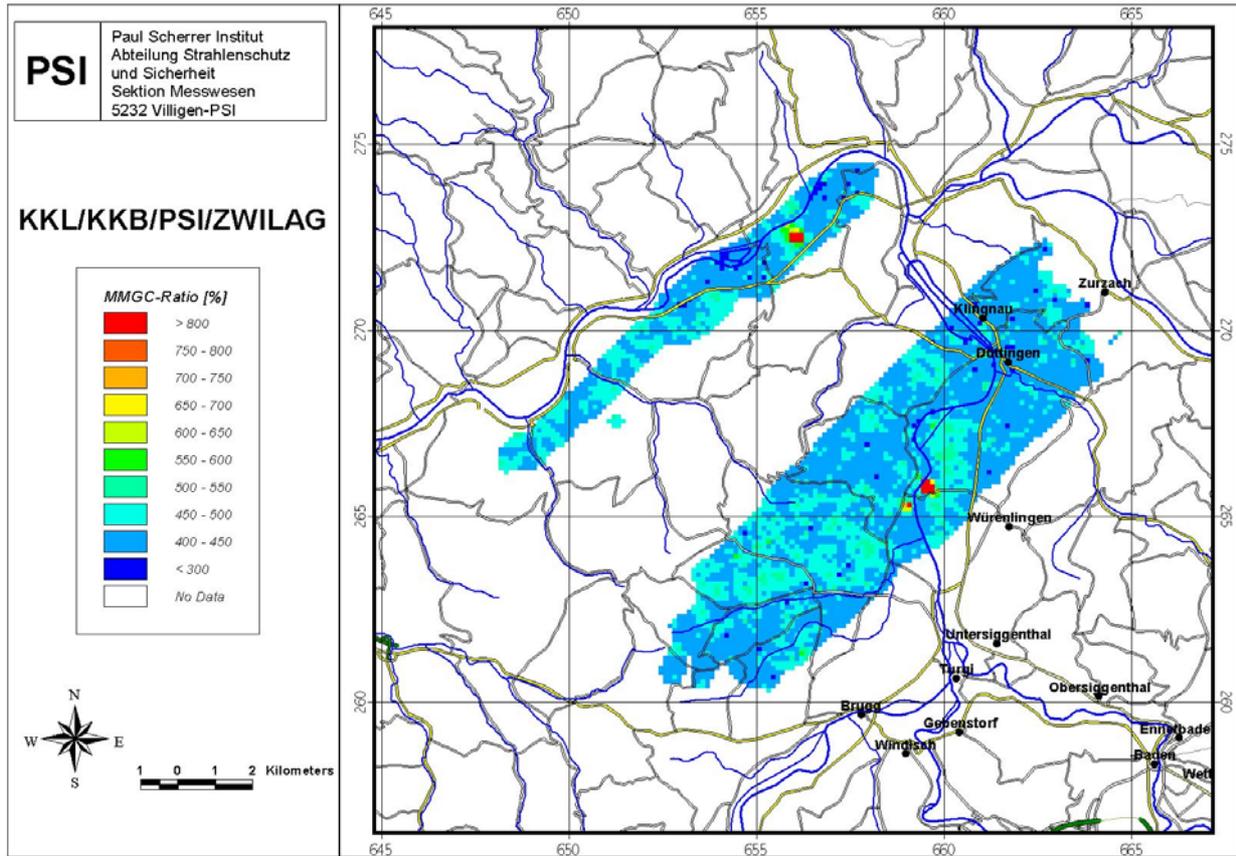
Beilage 1: Fluglinien und Standorte der Kernanlagen im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. Kartendaten: VECTOR200© 2000 Bundesamt für Landestopographie (DV553.2).



Beilage 2: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. Kartendaten: VECTOR200© 2000 Bundesamt für Landestopographie (DV553.2).



Beilage 3: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. Kartendaten: VECTOR200© 2000 Bundesamt für Landestopographie (DV553.2).



Beilage 4: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKL/KKB/PSI/ZWILAG. Kartendaten: VECTOR200© 2000 Bundesamt für Landestopographie (DV553.2).