



PAUL SCHERRER INSTITUT



Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen
Division principale de la Sécurité des Installations Nucléaires
Divisione principale della Sicurezza degli Impianti Nucleari
Swiss Federal Nuclear Safety Inspectorate

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

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM01

Bericht für das Jahr 2001 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR)



Das Kernkraftwerk Gösgen (KKG) aus der Luft.

August 2002

* Institut für Geophysik, ETH Zürich

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
1 Einleitung	2
1.1 Messgeräte	2
1.2 Messflüge.....	2
1.3 Auswertung.....	2
2 Konzept Rechnererneuerung in den Messsystemen	4
2.1 Ausgangslage	4
2.2 Ziel	4
2.3 Konzept.....	4
2.4 Realisation.....	5
2.5 Aufwandschätzung.....	6
3 Backgroundbestimmung für die Auswertung der Messflüge 2001	7
3.1 Methode	7
3.2 Resultate.....	7
3.3 Fazit	9
4 Aeroradiometrische Profile durch die Schweiz	10
4.1 Vergleich der Profile mit der Dosisleistungskarte der Schweiz.....	11
4.2 Vergleich des Nord-Süd Profils mit Bodenmessungen.....	13
4.3 Fazit	16
5 Ergebnisse der Messflüge 2001	17
5.1 Messgebiete KKM und KKG.....	18
5.2 Lucens.....	19
5.3 Profile durch die Schweiz	19
5.4 Marchairuz	20
5.5 Misox, Bergell und Münstertal (bei Sta Maria)	21
6 Internationales	22
7 Fazit	23
8 Ausblick	24
9 Literaturhinweise	24
10 Beilagen	25

Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 25. Juni - 28. Juni 2001 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Gösgen (KKG) und Mühleberg (KKM) auch Messflüge über dem Versuchsreaktor Lucens zum Inhalt. Zudem wurde je ein Profil Nord-Süd und Ost-West quer durch die Schweiz aeroradiometrisch vermessen. Im Gebiet Marchairuz wurde nach Radium-Anomalien und im Misox, Bergell und Münstertal nach Cäsiumrückständen von Tschernobyl gesucht. Daneben wurde auch der Ausbildungsstand des Messteams gefestigt. Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM01 und standen unter der Leitung der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Im Rahmen der turnusmässigen Messungen über den Kernanlagen wurden dieses Jahr die Gebiete der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg vermessen. Die Resultate zeigen das gleiche Bild wie die Ergebnisse aus den letzten Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Gösgen auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Das KKW Mühleberg hingegen konnte aufgrund seiner reaktortypischen Direktstrahlung klar identifiziert werden. 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.

Im Messgebiet des ehemaligen Kernkraftwerkes Lucens wurden wie in den Vorjahren über einem Nebengebäude erhöhte Zählraten im ^{137}Cs - und ^{60}Co -Fenster gemessen. Diese sind auf dort gelagerte, kontaminierte Materialien zurückzuführen, die aus dem ehemaligen Reaktor stammen. Diese sollen im Jahre 2002 in das neue Zwischenlager in Würenlingen überführt werden. Ausser über diesem Gebäude wurde keine künstliche Radioaktivität detektiert, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte.

Das vermessene Nord-Süd-Profil zeigte deutlich die geologisch bedingten Aktivitätsunterschiede der überflogenen Gebiete. Zudem konnte auch die im Vergleich zur Nordschweiz höhere Cäsiumaktivität im Tessin klar erkannt werden. Beim Profil Ost-West konnten keine grossen Unterschiede in den Aktivitäten festgestellt werden, da das überflogene Gebiet geologisch aus sehr ähnlichem Material besteht (Molasse).

Die Messungen im Misox/GR, Bergell/GR und Münstertal/GR zeigten keine wesentlich erhöhten Cäsiumaktivitäten, wie Messungen an Erd- und Grasproben vermuten liessen.

Auch im Messgebiet Col du Marchairuz konnten keine Anomalien nachgewiesen werden. Die Messwerte lagen für die entsprechende Geologie im normalen Bereich.

Die neue online Software wurde auch bei den Messflügen der Übung ARM01 eingesetzt. Es zeigte sich, dass die Auswertung der Daten schneller und sicherer erfolgt. Eine Schulung der Messteams in der neuen Software und somit die Operationalisierung steht noch an. Zu diesem Zweck werden zwei neue Laptops angeschafft.

Ebenfalls im Jahre 2001 wurde ein Konzept zur Erneuerung der Rechner in aeroradiometrischen Messsystemen ausgearbeitet.

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).

Unterhalt und die Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen. 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.

1.3 Auswertung

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

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

2 Konzept Rechnererneuerung in den Messsystemen

2.1 Ausgangslage

Die zur Zeit im Einsatz stehenden Rechner in den beiden Messsystemen (Rack A und B) sind nun bereits einige Jahre in Betrieb (seit 1992 bzw. 1996). Der Rechner im etwas älteren Rack A ist schon bald 10 Jahre alt. Aufgrund des Alters sind bei einem Defekt der jetzigen Rechner keine passenden Ersatzteile im Handel mehr erhältlich. Um die Betriebs- und Einsatzsicherheit weiterhin gewährleisten zu können, sind die Rechner deshalb baldmöglichst durch neue zu ersetzen.

2.2 Ziel

Mit der Erneuerung der Rechner in den beiden aeroradiometrischen Messsystemen soll die Betriebs- und Einsatzsicherheit weiterhin gewährleistet werden. Zudem soll die Erneuerung und die damit verbundenen erhöhten Rechnerleistungen für zusätzliche Features genutzt werden. So soll die online Datenauswertung und –kartierung im Messsystem integriert werden. Ebenfalls soll auch die online Datenübertragung an den Boden realisiert werden. Im weiteren soll mit der Erneuerung auch die Option für die Integration eines Germanium-Detektors offengehalten werden.

2.3 Konzept

Die bestehenden Rechner werden ersetzt. In jedem Rack werden zwei Kompakt-Rechner eingebaut (siehe auch Abbildung 1). Der eine ist für die Steuerung und Überwachung der Systeme (Spektrometer, GPS, Peripherie) sowie die Datenaquisition zuständig. Auf dem anderen Rechner erfolgt die Datenauswertung, Datendarstellung und Datenübertragung. Diese Zweiteilung erhöht die Betriebssicherheit des Messsystems und beugt Datenverlusten vor. Zudem lässt sich auf diese Weise ein Germanium-Detektor einfacher im System integrieren, da der Steuerungsrechner noch Leistungsreserven aufweisen sollte. Für die Visualisierung wird ein TFT-Flachbildschirm eingebaut, der wahlweise den Output des Rechners 1 bzw. 2 anzeigt.

Da das ältere Rack A bereits mehrmals angepasst wurde und es deshalb immer schwieriger wird, weitere Anpassungen vorzunehmen, soll dieses ebenfalls erneuert werden. Es soll identisch zu Rack B gebaut werden. Dies erleichtert auch den Einbau im Super Puma, da nur noch ein Einbauset nötig sein wird.

Um den Vibrationen im Helikopter Rechnung zu tragen, wird eine Rechnerlösung ohne bewegliche Teile (Festplatten) angestrebt. Die Kommunikation zwischen den beiden Rechnern soll über ein Netzwerk erfolgen, da damit bedeutend höhere Übertragungsraten erreicht werden als über serielle Schnittstellen.

Die Peripherie (Spektrometer, Barometer, Temperaturfühler, Radar) wird beibehalten. Der Gyro wird weggelassen. Als Spektrometer soll weiterhin der Exploranium GR-820 zum Einsatz kommen. Um ein komplettes zweites Messsystem zur Verfügung zu haben, wird im Rack B noch ein Barometer eingebaut (bisher keiner vorhanden).

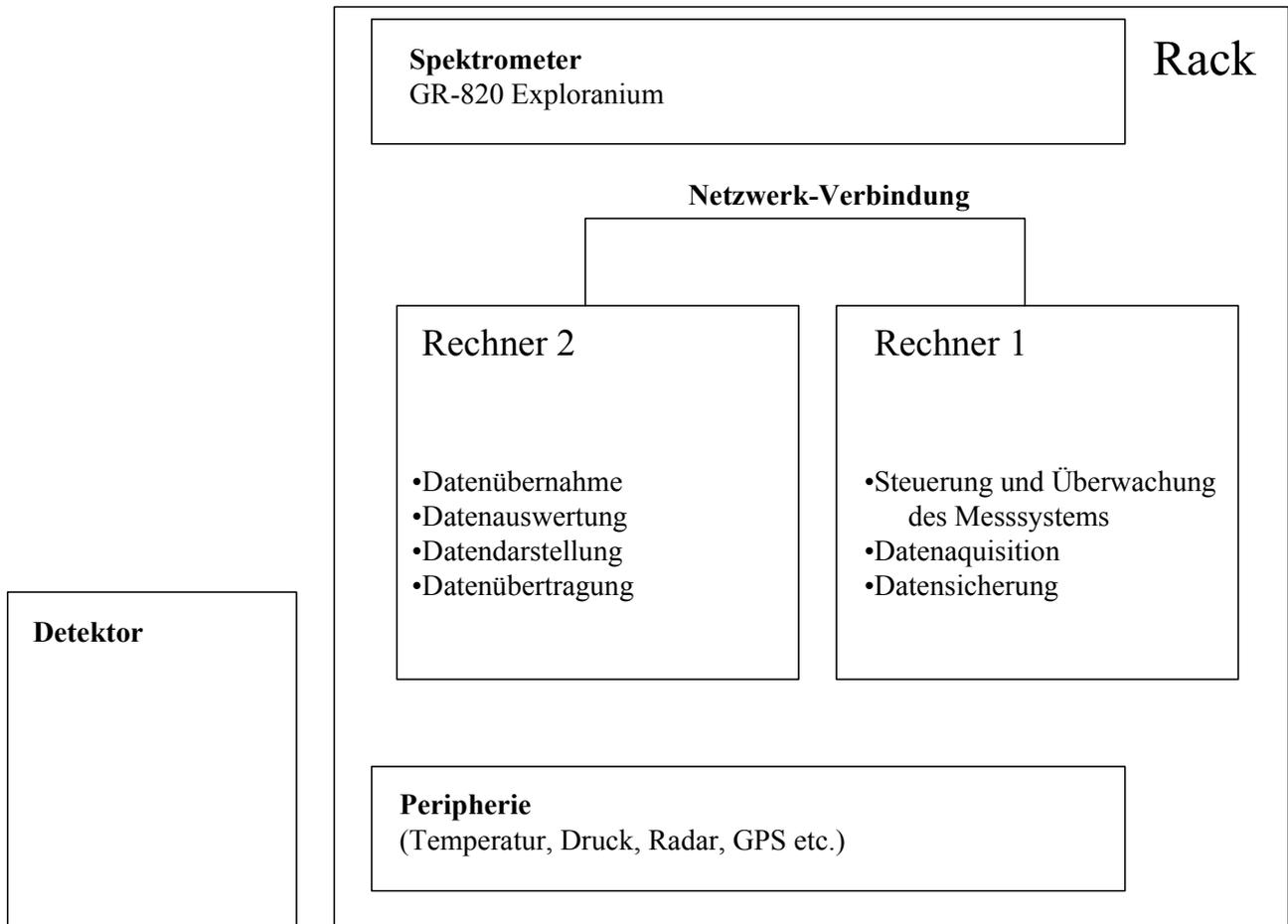


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Messsystems nach der Rechner-Erneuerung.

Neben diesen grundsätzlichen Bausteinen können noch optionale Tools im Messsystem integriert werden. Dabei steht die Datenübertragung via Mobiltelefon und GPRS vom Helikopter zu einer Bodenstation im Vordergrund. Ebenfalls von Interesse könnte ein Navigationsinstrument für die Piloten sein. Dieses Instrument würde einerseits die Karten, die aktuelle Position, die Fluglinien sowie die Abweichung von der Soll-Fluglinie darstellen. Ein entsprechender Bedarf ist noch bei den Piloten abzuklären.

2.4 Realisation

Um die Einsatzfähigkeit der Aeroradiometrie zu erhalten, soll die Erneuerung der Messsysteme schrittweise erfolgen. Priorität wird die Software-Entwicklung für die Steuerung und Überwachung des Messsystems sowie die Datenaquisition genießen. Die Erneuerung kann in den folgenden vier Phasen realisiert werden:

Phase 1: Umbau des Racks A, Einbau der neuen Rechner, Software für Rechner 1, Datenformat kann von bestehender Auswertesoftware verarbeitet werden.

Phase 2: Umbau des Racks B, Einbau der neuen Rechner, Software für Rechner 1.

Phase 3: Auswertesoftware auf Rechner 2, Rack A und B, Darstellung der Daten

Phase 4: Optionale Tools

Während der Phase 1 steht weiterhin das Rack B für Messungen zur Verfügung. Somit bleibt die Aeroradiometrie weiterhin einsatzbereit. Eine hundertprozentige Redundanz ist jedoch nicht mehr gewährleistet. Nach Abschluss der Phase 1 stehen wiederum zwei Messsysteme zur Verfügung.

Somit steht auch während der Phase 2 ein funktionierendes Messsystem bereit. Nach Ende der Phase zwei wird wieder die volle Einsatzbereitschaft mit zwei redundanten Systemen erreicht. Die Phasen 3 und 4 beeinflussen die Einsatzbereitschaft der Messsysteme nur am Rande, da nicht mehr direkt ins Datenaquisitionssystem eingegriffen werden muss.

2.5 Aufwandschätzung

Die Kosten für die Rechnererneuerung setzen sich aus Hardwarekosten für Rackmaterial, Rechner, Barometer und Interfaces sowie Personalkosten für den Umbau- und Einbau und die Implementierung der Software für das Messsystem. Die Kosten für die Software-Implementierung werden durch einen HSK-Vertrag mit dem PSI (Anstellung von B. Bucher) abgedeckt. Die Kostenschätzungen sind in der Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Kostenschätzung für Rechnererneuerung in CHF.

Kosten Hardware (4 Kompaktrechner, 2 A/D Interfaces, Material für Einbau in Rack, Material Rack, Barometer etc.)	80'000.00
Techniker für Gerätebau (ca. 2 Monate, 300 h, hauptsächlich Phase 1 und 2)	30'000.00
B. Bucher (ca. 4 Monate, 600 h)	(abgedeckt durch HSK-Vertrag)
Total	110'000.00

Zusätzlich sind mit Kosten für Testflüge zu rechnen, die möglicherweise von der SF (Schweizerische Unternehmung für Flugzeuge und Systeme) verlangt werden. Das entsprechende Ausmass der zusätzlichen Flüge und deren Kosten können zum jetzigen Zeitpunkt nicht abgeschätzt werden.

3 Backgroundbestimmung für die Auswertung der Messflüge 2001

Bei der Schnellauswertung der Messflüge 2001 während der Übung ARM01 fiel auf, dass die Resultate höher als erwartet ausfielen. Vor allem im Bereich der Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg wurden aufgrund der Vergleichsmöglichkeiten zu früheren Jahren höhere Dosisleistungen erkannt. Somit bestanden drei Möglichkeiten: Entweder hat die Strahlung am Boden, der Background in der Atmosphäre (z.B. Radon und seine Tochterisotope) oder der Background des Helikopters zugenommen. Aufgrund von unabhängigen Messungen der MADUK- und der NADAM-Sonden, die keine wesentliche Zunahme der Hintergrundstrahlung zeigten, konnte eine wesentliche Zunahme der Strahlung am Boden ausgeschlossen werden. Somit rückte der Background der Atmosphäre und des Helikopters in den Vordergrund. Bei einem erhöhten Background der Atmosphäre bzw. einer höheren Konzentration von Radon und seinen Tochterisotopen in der Atmosphäre wären vor allem überschätzte Uranaktivitäten zu erwarten. Diese waren zwar hoch, konnten aber nicht alleine für die berechnete erhöhte Dosisleistung verantwortlich gemacht werden. Denn vor allem die Thoriumaktivitäten lagen deutlich höher als in den früheren Jahren. Dies liess den Schluss zu, dass der eingesetzte Helikopter nicht denselben Background aufwies wie in den vorangegangenen Jahren.

3.1 Methode

Für die Bestimmung des Backgrounds ist normalerweise ein Steigflug in grosser Höhe über einer weiten Wasserfläche nötig. Nur so kann jeglicher Einfluss terrestrischer bzw. atmosphärischer (Radontöchter) Strahlung eliminiert werden. Während der Messübung U ARM01 waren jedoch keine solchen Flüge geplant und konnten deshalb auch nicht durchgeführt werden. Deshalb musste nach einer anderen Methode gesucht werden, um den Background zu eruieren.

Über einer grossen Wasserfläche sollte die terrestrische Strahlung praktisch komplett abgeschirmt sein. Die restliche, gemessene Strahlung setzt sich aus den Beiträgen des Helikopterbackgrounds, der Radontöchter und der kosmischen Strahlung zusammen. Wenn die kosmischen Streufaktoren und die kosmische Zählrate bekannt sind, lässt sich der kosmische Beitrag an den Background berechnen. Zieht man diesen Beitrag von der gemessenen Zählrate ab, bleibt noch der Background des Helikopters und die durch die Tochterisotope des Radons verursachte Strahlung übrig. Die Tochterisotope des Radons beeinflussen hauptsächlich die Zählraten im Energiebereich bis zum hochenergetischen ^{214}Bi -Peak bei 1'760 keV. Der ^{208}Tl -Peak bei 2'630 keV wird dadurch kaum beeinflusst.

Eine andere Methode, um die Veränderung im Background zu bestimmen, liegt darin, dass man die gemittelten Spektren über einem Messgebiet vergleicht, das mit unterschiedlichen Helikoptern je ein Mal gemessen wurde. Dabei wird angenommen, dass sich die Flugparameter bei den beiden Flügen nicht verändert haben und die Strahlung des Untergrundes nicht zugenommen hat.

Bei der Verwendung beider Methoden sollte in etwa derselbe Wert für den Background resultieren. Weichen sie zu stark voneinander ab, müssen die Methoden nochmals überprüft werden.

3.2 Resultate

Bei den Messflügen 2001 wurden beim Ost-West-Profil über längere Zeit auch Spektren über dem Genfer- bzw. Bodensee aufgenommen. In der Abbildung 2 sind die gemittelten Spektren über den beiden Seen aufgezeichnet. Zudem ist als Vergleich ein gemitteltes Spektrum dargestellt, das bei einer gemeinsamen Messübung mit dem deutschen Aeroradiometrieteam über dem Schluchsee/D im Jahre 1999 aufgenommen wurde. Während die gemittelten Spektren über Boden- und Genfersee praktisch identisch sind, liegen die Zählraten des gemittelten Spektrums über dem

Schluchsee deutlich tiefer. Dies zeichnet sich bereits beim ^{208}Tl -Peak bei 2.6 MeV ab. Der Unterschied wird durch die Streustrahlung im tieferenergetischen Bereich noch deutlicher.

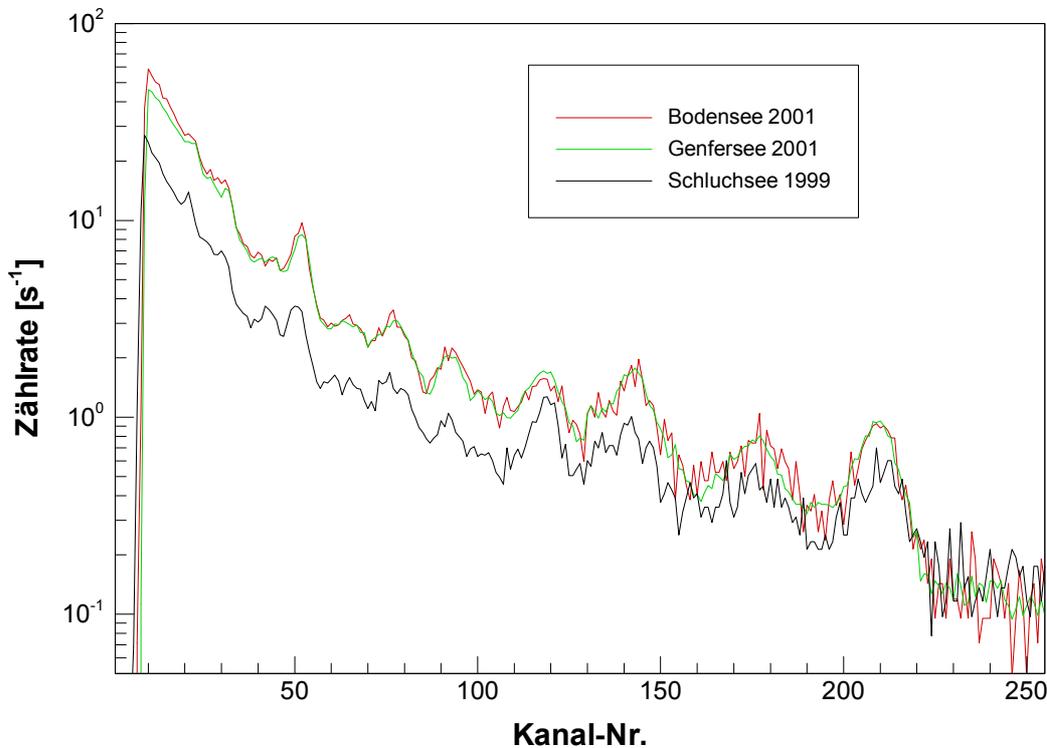


Abbildung 2: Gemittelte Spektren aus Messungen über dem Boden-, Genfer- und Schluchsee in den Jahren 1999 (Schluchsee) und 2001 (Boden- und Genfersee).

Für die weiteren Berechnungen wurde nun das gemittelte Spektrum über dem Genfersee verwendet, da dort über eine längere Zeitspanne gemessen wurde. Um den Beitrag des Helikopterbackgrounds und des Backgrounds der Atmosphäre zu erhalten, muss vom gemittelten Spektrum der Beitrag der kosmischen Strahlung abgezogen werden. Da die kosmischen Streufaktoren aus Kalibrationsmessungen im Jahre 1994 (Schwarz & Rybach 1995) bekannt sind, lässt sich der kosmische Beitrag mit Hilfe der gemittelten kosmischen Zählrate bestimmen. Aus dem Nettospektrum kann nun der Background für die verschiedenen Fenster und Methoden festgelegt werden. Für die Dosisleistungsberechnung mit der Spectrum Dose Index (SDI) - Methode (Bucher 2001) ergibt sich somit ein Background von $31'100 \text{ s}^{-1}$ im Energiebereich von 240-3'000 keV. Im Vergleich zum Background von $12'640 \text{ s}^{-1}$, der für die früheren Messungen verwendet wurde, bedeutet dies eine Veränderung von rund 150 %. Bei Verwendung des alten Wertes für den Background wird die Dosisleistung somit um rund 20 nSv/h überschätzt.

Nun soll mit Hilfe der zweiten Methode, bei der die gemittelten Spektren über dem selben Messgebiet aber aus anderen Jahren verglichen werden, beurteilt werden, ob der oben bestimmte Background korrekt ist. Zu diesem Zweck wurden die gemittelten Spektren im Messgebiet des Kernkraftwerkes Gösgen (KKG) aus den Jahren 1999 und 2001 verglichen. In der Abbildung 2 sind die gemittelten Spektren und deren Differenz graphisch dargestellt. Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Jahren, der sich vor allem im ^{208}Tl -Peak bei 2.6 MeV abzeichnet, sich aber über das ganze Spektrum und durch die Streustrahlung verstärkt durchzieht. Dieser erhöhte Thorium-Background könnte durch eine höhere Thorium-Konzentration im Rotorkopf verursacht werden. Denn Thorium soll bei der Herstellung des Rotorkopfes teilweise als metallurgische Beigabe verwendet werden.

Aus dem Differenzspektrum lässt sich nun die Veränderung des Backgrounds für die verschiedenen Fenster und Methoden bestimmen. Für die SDI-Methode ergibt sich eine Veränderung von $18'791 \text{ s}^{-1}$. Addiert man diesen Wert zum Background, der in den vorangegangenen Jahren verwendet wurde, erhält man rund $31'400 \text{ s}^{-1}$. Dieser Wert stimmt sehr gut mit dem Background überein, den man aus den Spektren über dem Genfersee erhält.

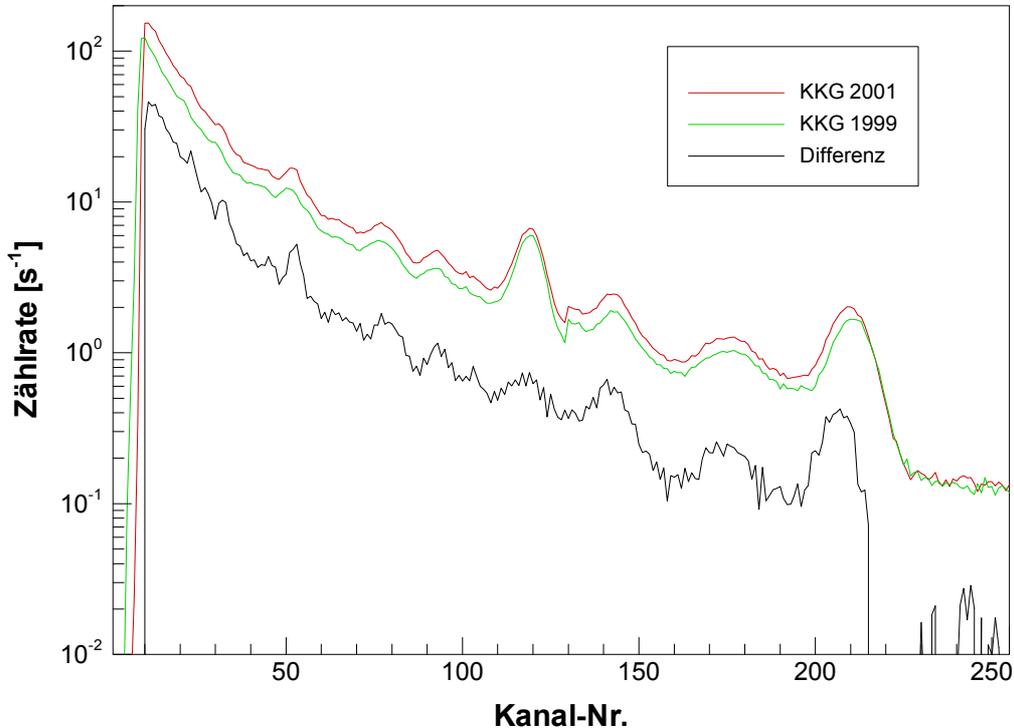


Abbildung 3: Gemittelte Spektren des Messgebietes KKG aus den Jahren 1999 und 2001 und deren Differenz.

3.3 Fazit

Wie sich zeigte, hat sich der Background seit dem letzten Jahr wesentlich verändert. Die Veränderung bewirkt unkorrigiert eine Überschätzung der Dosisleistung um rund 20 nSv/h . Dies entspricht einem Fehler von mehr als 20% für die normalerweise im Mittelland gemessenen Dosisleistungen.

Die Veränderung des Backgrounds ist nicht ausschliesslich auf den atmosphärischen Background wie Radonfolgeprodukte zurückzuführen, sondern auch auf eine wesentliche Zunahme des Helikopterbackgrounds. Dies kann sehr wahrscheinlich darauf zurückgeführt werden, dass für die Messflüge 2001 ein anderer Helikopter eingesetzt wurde als in den vorausgegangenen Jahren.

Die oben angewandten Methoden liefern durchaus zuverlässige Resultate. Dies ermöglicht eine Backgroundabschätzung ohne aufwendige Kalibrationsflüge in grosser Höhe über einem grossen Wasserkörper. Da üblicherweise jedes Jahr ein Messgebiet um die Kernkraftwerke gemessen wird, in dem man Daten aus früheren Jahren besitzt, lässt sich so der Background jedes Jahr überprüfen.

Für die Auswertung der Daten aus der Übung ARM01 wurde die Methode mit den Messungen über den Seen verwendet, da bei der zweiten Methode noch andere Effekte (z.B. Bodenfeuchte) eine Rolle spielen können.

4 Aeroradiometrische Profile durch die Schweiz

Während den Messflügen im Rahmen der Übung ARM01 wurden zwei Profile durch die Schweiz aeroradiometrisch vermessen. Das eine Profil („Nord-Süd“) zog sich von Schaffhausen nach Chiasso, das andere („Ost-West“) vom Bodensee über das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) zum Genfersee (siehe Abbildung 4). Mit diesen Profilen wurde einerseits deren Machbarkeit für einen Notfalleinsatz überprüft und andererseits die Basis für eine grobe aeroradiometrische Vermessung der Schweiz gelegt. Die Messzeiten betragen 1 Std. 31 Min. (Ost-West-Profil) bzw. 1 Std. 19 Min. (Nord-Süd-Profil). Aus flugtechnischen Gründen wurde die Flughöhe auf 120 m angepasst.

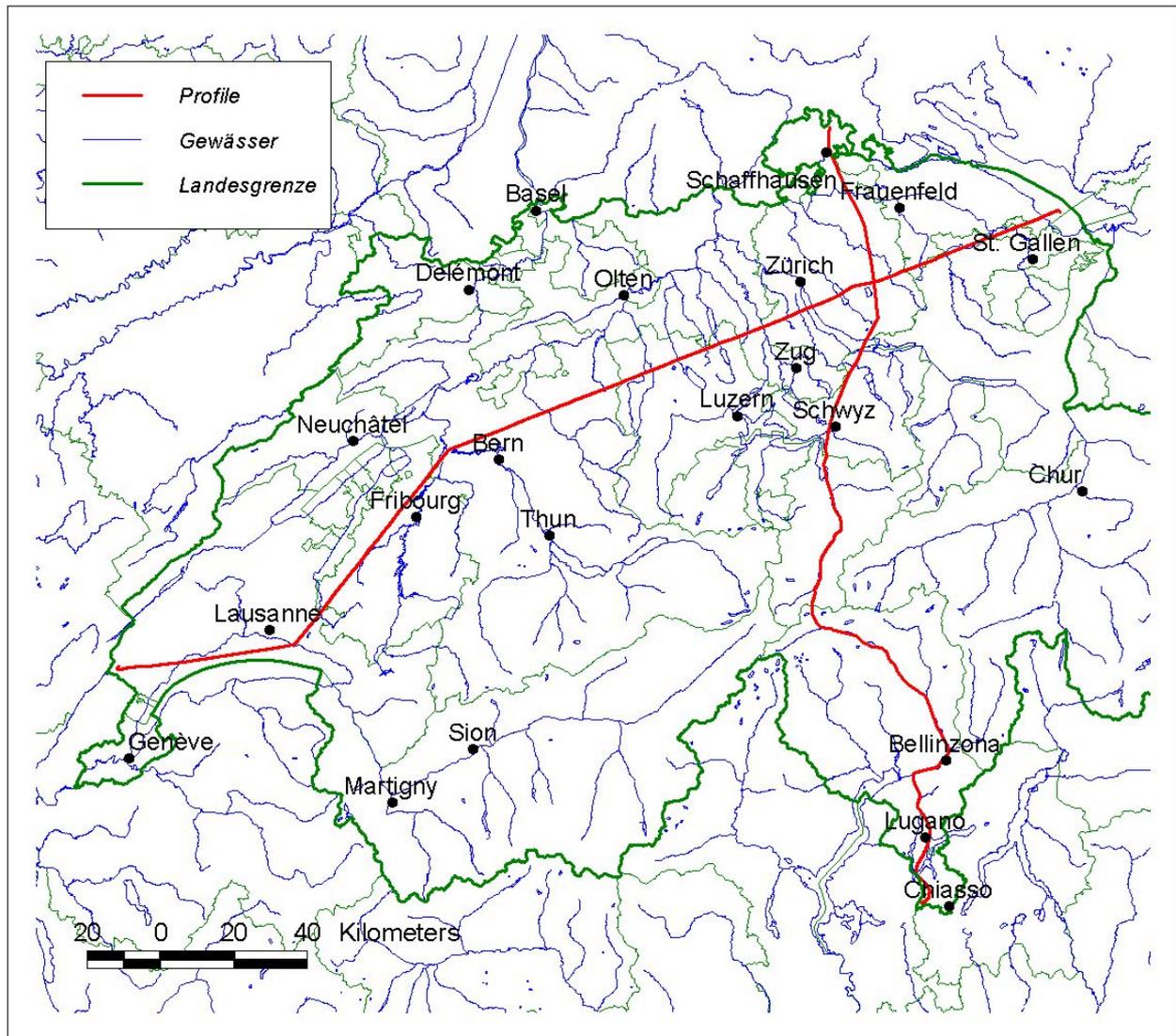


Abbildung 4: Karte der Schweiz mit der Lage der gemessenen Profile.

Die Resultate dieser gemessenen Profile waren auch insofern interessant, da eine Dosisleistungskarte der Schweiz (Rybach et al. 1996) als Vergleichsbasis existiert. Diese wurde mit Hilfe von Messungen an Bodenproben, in Situ Gamm-spektrometrie, Dosisleistungsmessungen (Reuter-Stokes-Ionisationskammern), aeroradiometrischen Messungen und mit aus einem Höhenmodell berechneten kosmischen Dosisleistungen generiert. Die Genauigkeit dieser existierenden Karte ist vorwiegend von der Datendichte abhängig. Für verschiedene weitere Karten wie künstliche, natürliche und totale Dosisleistung standen unterschiedliche Mengen an Daten zur Verfügung, so dass teilweise über grosse Gebiete interpoliert werden musste. So können

lokale Messgrößen grössere Gebiete der Karten beeinflussen. Mit den im Jahre 2001 gemessenen Profilen können Hinweise erhalten werden, wie stark diese Artefakte das Bild verfälschen.

Um auch Aufschluss zu erhalten, ob die Aeroradiometrie verlässliche Resultate liefert, wurden zudem im Anschluss an die Messflüge entlang des Nord-Süd-Profiles auch Dosisleistungsmessungen am Boden und Messungen an Bodenproben durchgeführt.

4.1 Vergleich der Profile mit der Dosisleistungskarte der Schweiz

Zuerst betrachten wir das Ost-West-Profil vom Bodensee zum Genfersee. Der Startpunkt dieser Messlinie lag über dem Bodensee. In der Abbildung 5 sind die mit der Aeroradiometrie bestimmten Dosisleistungen zusammen mit den Werten aus der Dosisleistungskarte (Rybach et al. 1996) aufgezeichnet. Das Wertenniveau stimmt grösstenteils gut überein. Die Ausnahme bilden dabei die Werte über den verschiedenen Seen, einem Feuchtgebiet (Schötz/LU) und beim Kernkraftwerk Mühleberg. Da bei der Erstellung der Dosisleistungskarte Schweiz keine Messwerte über Seen Eingang gefunden haben, wurden die entsprechenden, aus den umliegenden Messergebnissen interpolierten Werte überschätzt. An einigen weiteren Orten weist die Dosisleistungskarte ebenfalls höhere Werte auf als sie durch die Aeroradiometrie bestimmt wurde. Die Abweichungen sind jedoch nicht durchgehend.

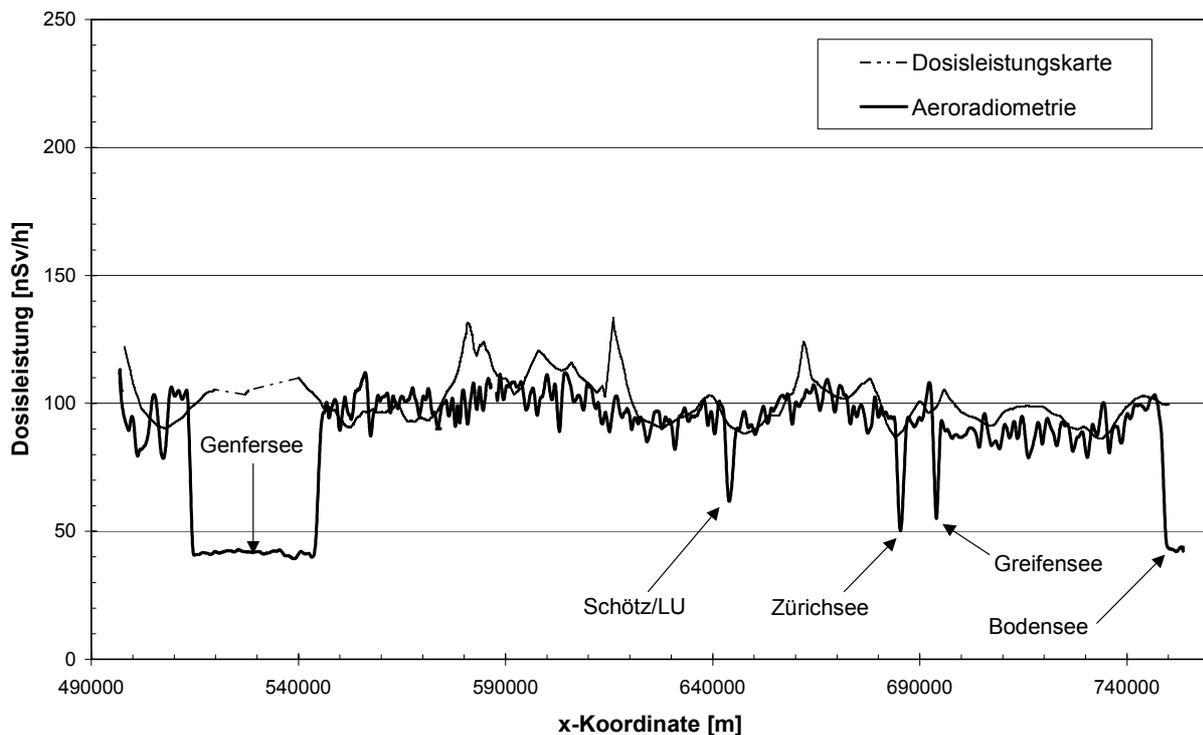


Abbildung 5: Vergleich der aeroradiometrisch bestimmten Dosisleistungen mit der Dosisleistungskarte von Rybach et al. (1996) für das Ost-West-Profil (Projektion der Koordinaten auf die x-Achse).

Beim in der Abbildung 6 dargestellten Nord-Süd-Profil zeigt sich ein etwas unruhigeres Bild. Die Abweichungen sind im Durchschnitt grösser. Wiederum sind grosse Abweichungen über Seen festzustellen. Ebenfalls sind auch grössere Abweichungen ganz im Süden des Profils zu erkennen. Grösstenteils sind diese Unterschiede auf die Herstellung der Dosisleistungskarten insbesondere auf die Interpolation von Werten zurückzuführen. Wie gross solche Unterschiede sein können, zeigt auch die Abbildung 7 für die kosmische Dosisleistung. Die beiden Kurven unterscheiden sich dort am meisten, wo das Profil in einem engen Tal (Amsteg – Andermatt – Gotthard, Leventina)

liegt. Denn dieses wird bei einer Interpolation des Geländemodells, das als Berechnungsgrundlage der Dosisleistungskarte diente, auf ein Raster von 2 km ziemlich ausgefüllt.

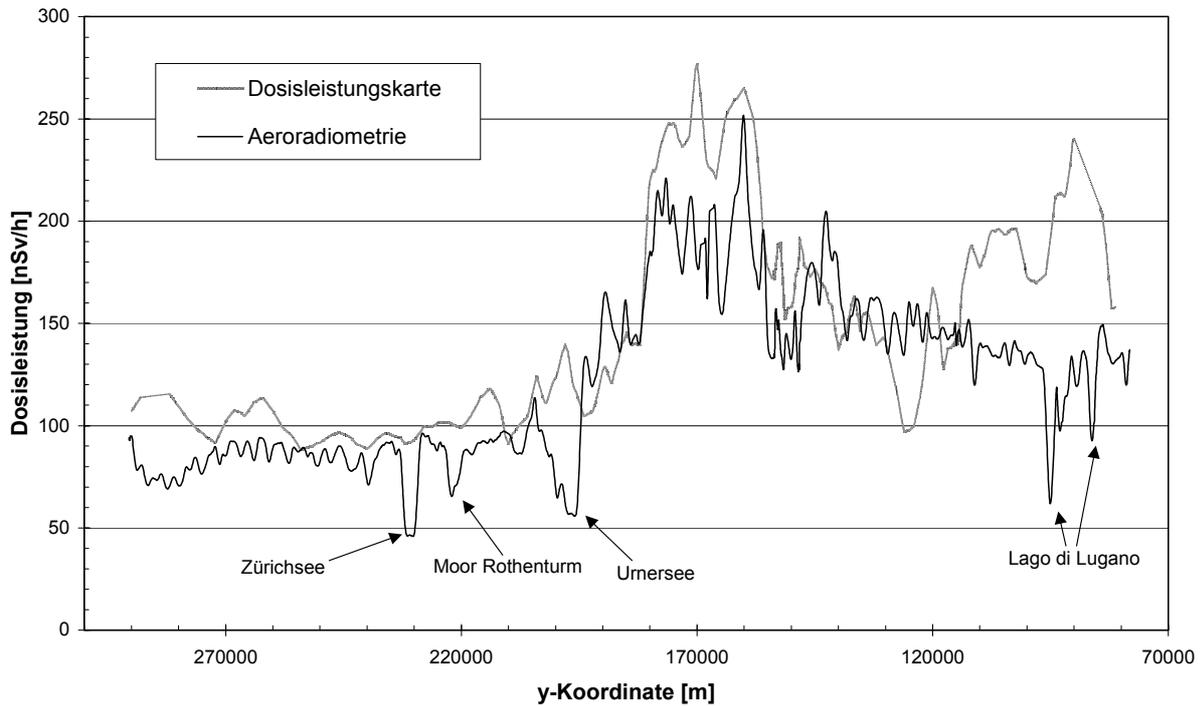


Abbildung 6: Vergleich der aeroradiometrisch bestimmten Dosisleistungen mit der Dosisleistungskarte von Rybach et al. (1996) für das Nord-Süd-Profil (Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

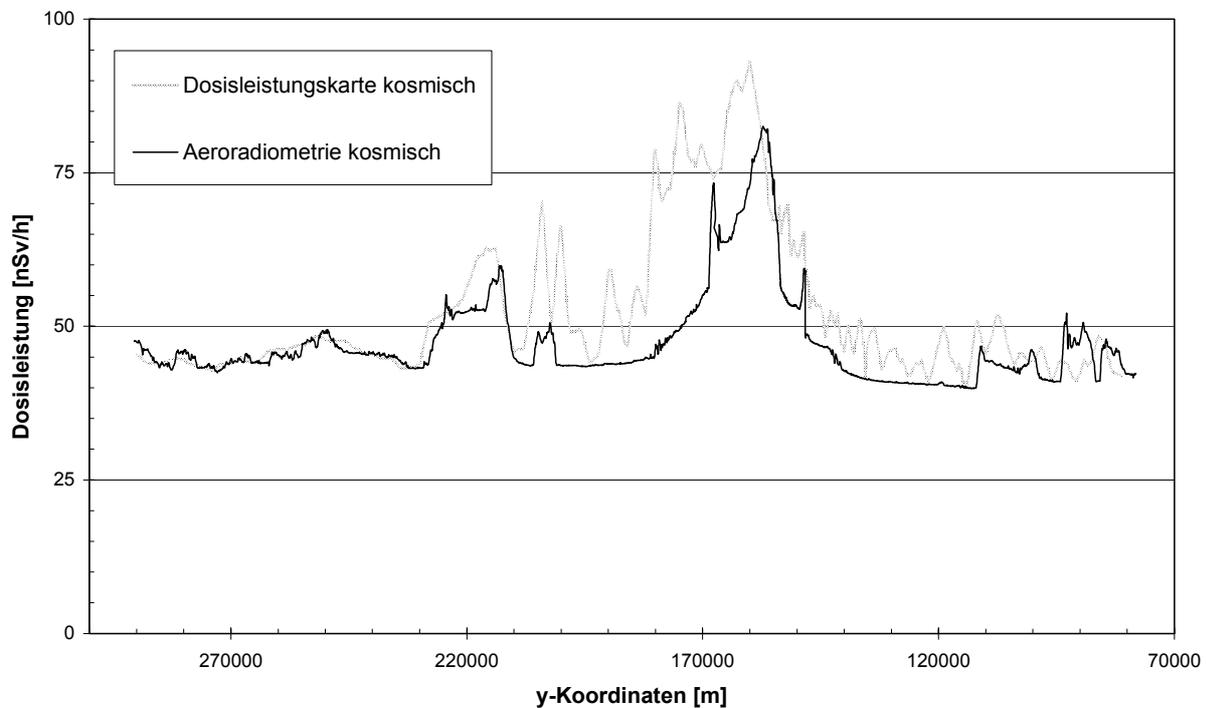


Abbildung 7: Vergleich der kosmischen Dosisleistung aus Rybach et al. (1996) und der aeroradiometrisch bestimmten kosmischen Dosisleistung für das Nord-Süd-Profil (Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

Die doch grossen Unterschiede im Süden des Nord-Süd-Profiles sind aber auch auf die Ablagerungen vom Tschernobyl-Ereignis im Jahre 1986 zurückzuführen. Viele der in die Dosisleistungskarten eingeflossenen Messungen erfolgten in den Jahren nach dem Unfall in Tschernobyl. In den ersten Jahren nach dem Ereignis hatte die deponierte Aktivität einen deutlichen Einfluss auf die Ortsdosisleistung. Dieser Einfluss schwächte sich von Jahr zu Jahr aufgrund der Halbwertszeiten und auch des Transports in die Tiefe sowie einer gewissen Auswaschung laufend ab.

4.2 Vergleich des Nord-Süd Profils mit Bodenmessungen

Entlang des Nord-Süd Profils wurden während und anschliessend zu den aeroradiometrischen Messungen auch Bodenmessungen durch Carlo Cirillo (einen Mitarbeiter des Instituts für Geophysik an der ETH Zürich) durchgeführt. Dabei wurden mit einem Dosisleistungsmessgerät AD4 der Firma Automess die Dosisleistung 1 m über Boden bestimmt und Bodenproben für Labormessungen gesammelt. Die Bodenproben wurden anschliessend mit einem Germanium-Gammaspektrometer gemessen und die Aktivitäten für die natürlichen Radionuklidreihen von ^{238}U , ^{232}Th und ^{40}K sowie für ^{137}Cs bestimmt.

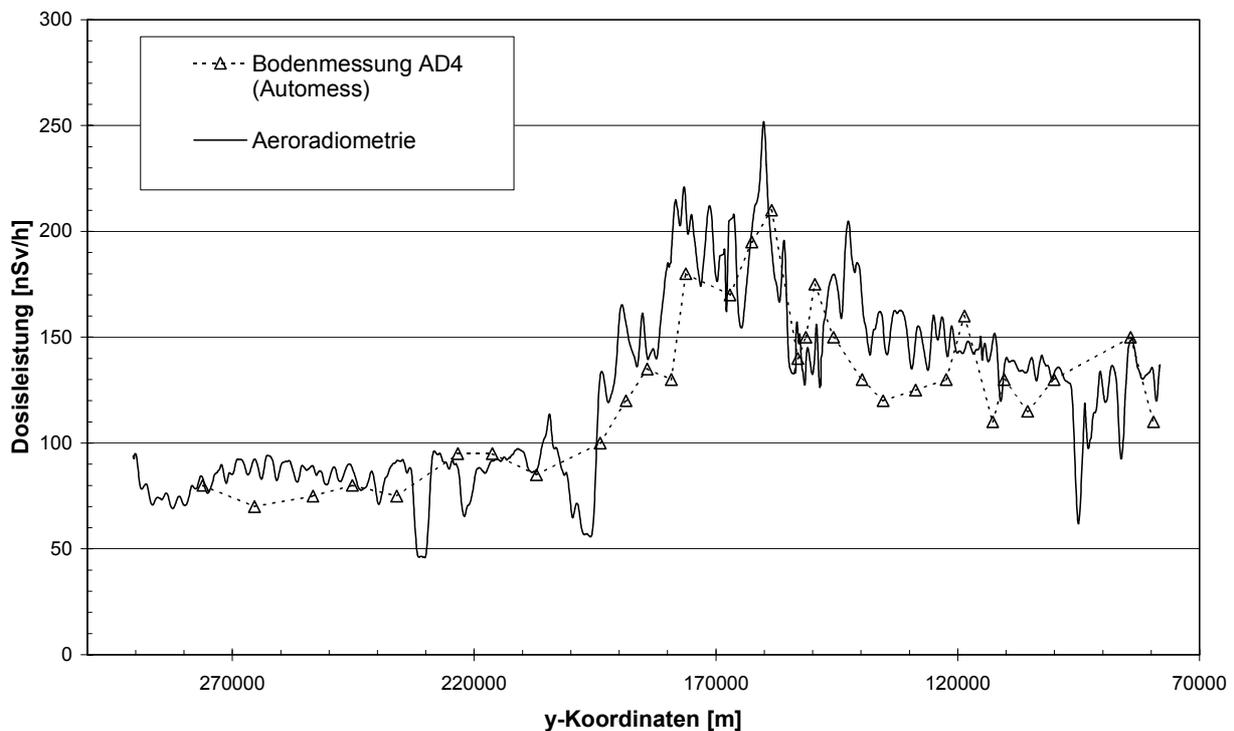


Abbildung 8: Vergleich der bestimmten Dosisleistung mit der Aeroradiometrie und dem Handmessgerät AD4 von Automess für das Nord-Süd-Profil (Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

In der Abbildung 8 sind die Resultate aus der Aeroradiometrie und die Ergebnisse der Bodenmessungen für die Dosisleistung dargestellt. Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Messmethoden und den unterschiedlichen Gesichtsfeldern der Messung stimmen die Resultate gut überein.

Ein etwas anderes Bild zeigen die Vergleiche mit den Resultaten der Labormessungen an den Bodenproben (Abbildungen 9-11). Während bei den aeroradiometrisch bestimmten Aktivitäten für

^{40}K , ^{208}Tl und ^{137}Cs eine relativ gute Übereinstimmung mit den Labormessungen erreicht werden konnte, weisen die die Resultate für ^{214}Bi doch grosse Abweichungen auf.

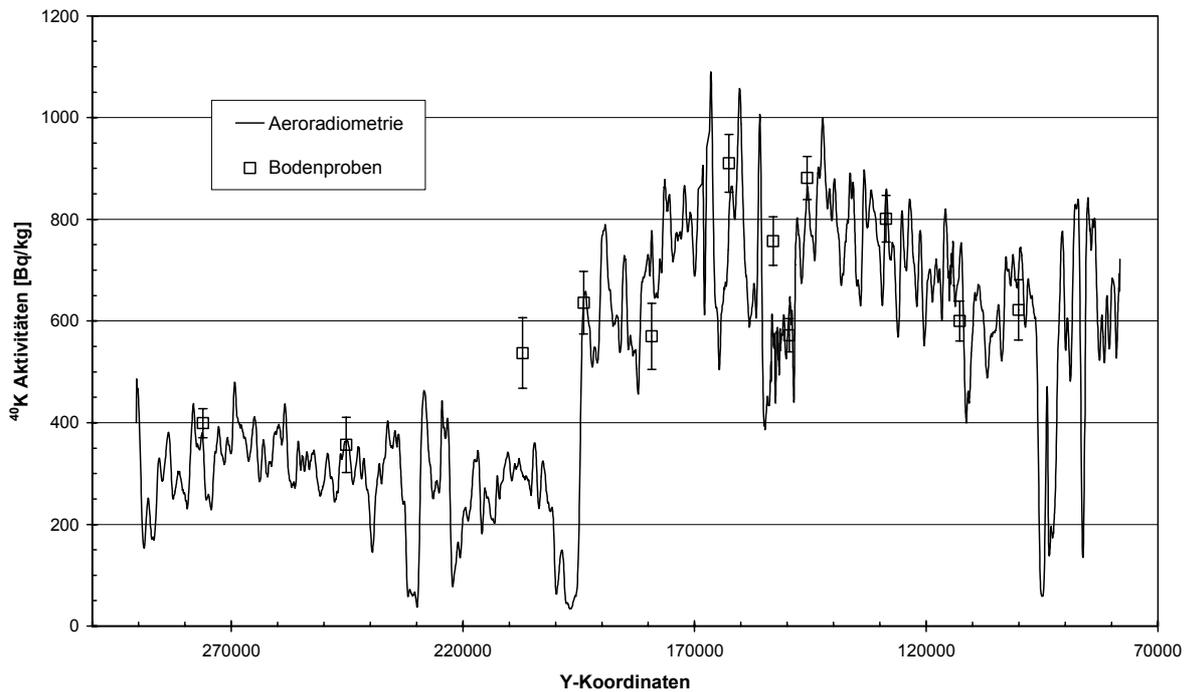


Abbildung 9: Vergleich der mit der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten von ^{40}K und der Resultate von Labormessungen an Bodenproben (mit einem Germanium-Detektor; Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

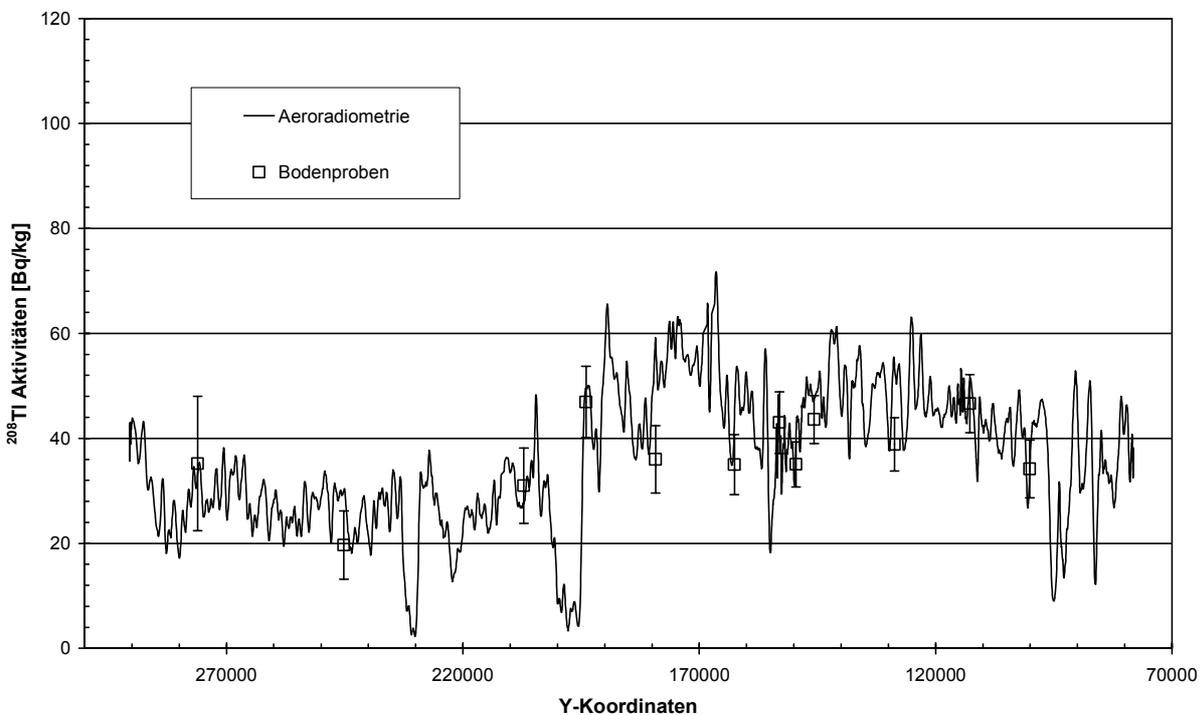


Abbildung 10: Vergleich der mit der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten von ^{208}Tl und der Ergebnisse von Labormessungen an Bodenproben (mit einem Germanium-Detektor; Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

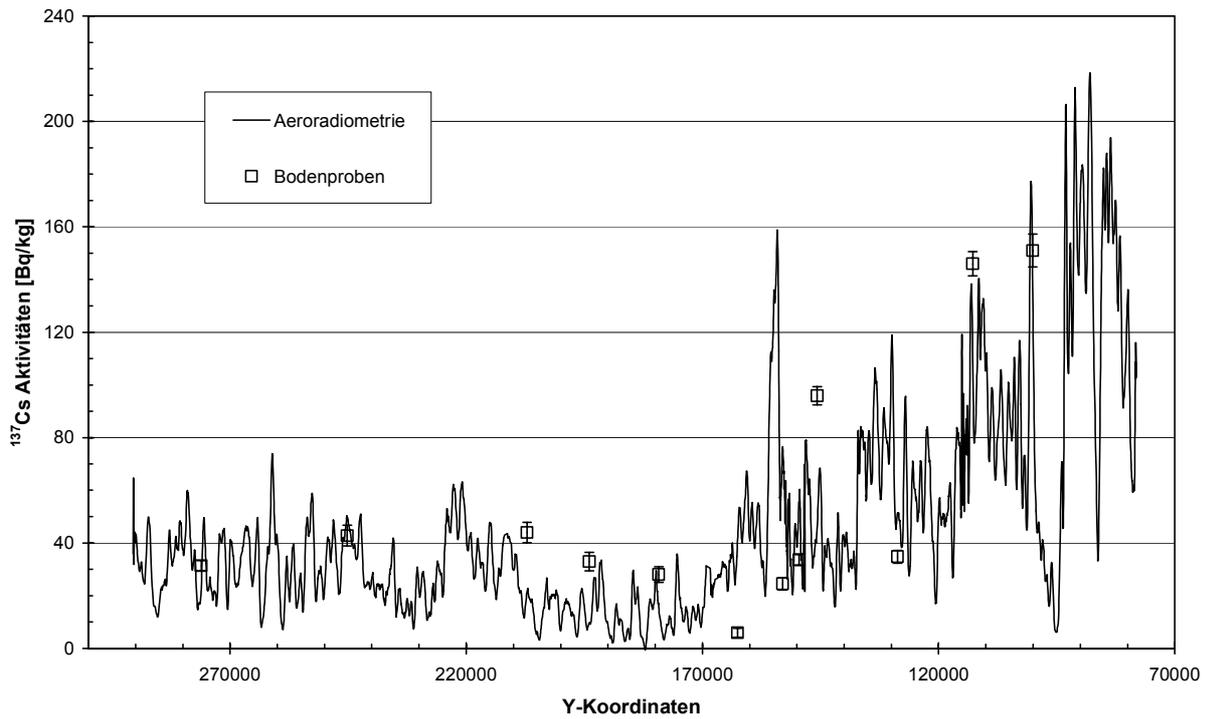


Abbildung 11: Vergleich der mit der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten von ^{137}Cs und der Ergebnisse von Labormessungen an Bodenproben (mit einem Germanium-Detektor; Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

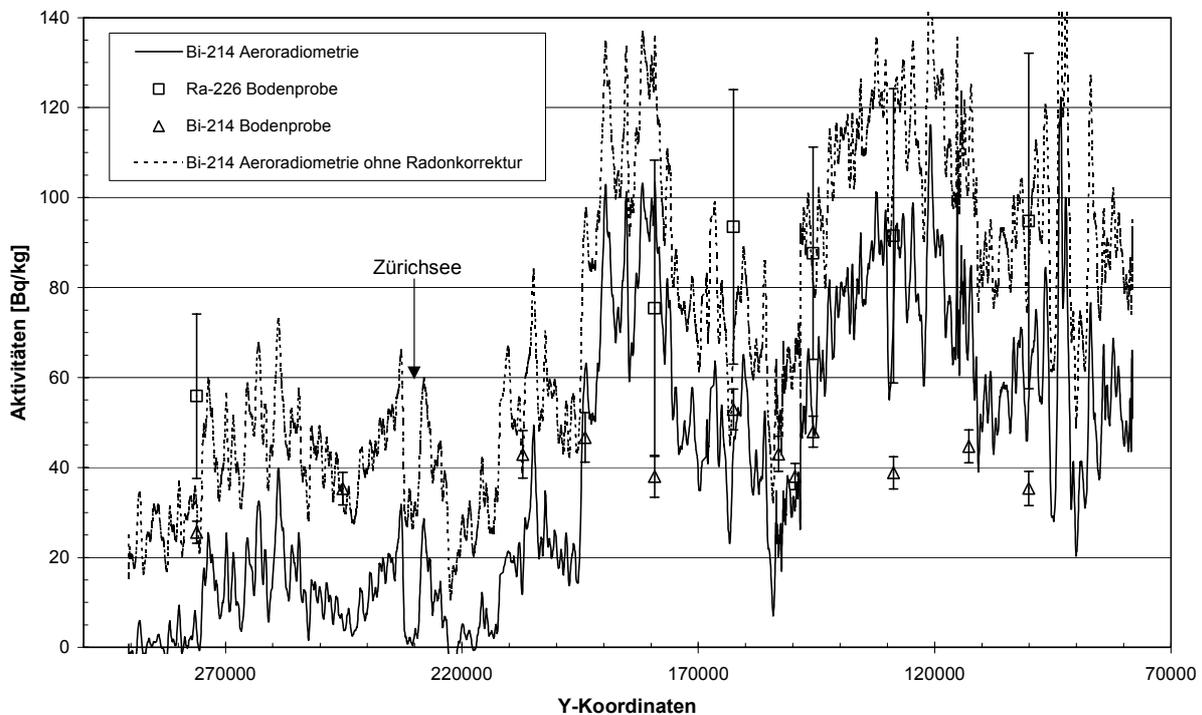


Abbildung 12: Vergleich der mit der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten von ^{214}Bi und der Ergebnisse von Labormessungen an Bodenproben (mit einem Germanium-Detektor; Projektion der Koordinaten auf die y-Achse).

In der Abbildung 12 sind die Aktivitäten von ^{214}Bi (Aeroradiometrie und Labormessungen an Bodenproben) und ^{226}Ra (Labormessungen an Bodenproben) dargestellt. Einmal wurde bei der Bestimmung der Aktivitäten aus den aeroradiometrischen Messungen eine konstante Radonkorrektur verwendet. Dabei zeigte sich, dass diese vor allem nördlich der Alpen eher zu hoch war. Als Ausnahme sind jedoch die Ergebnisse über dem Zürichsee zu nennen, wo die Werte dank der Radonkorrektur den Erwartungen über einem grossen Wasserkörper entsprechen. Dieses Beispiel macht deutlich, dass über grössere Distanzen keine allgemein gültigen Radonkorrekturen angewandt werden können. Vor allem die Topographie scheint die Radonproblematik stark zu beeinflussen. So weichen die aeroradiometrisch bestimmten ^{214}Bi Aktivitäten im engen Urner Reusstal und in der Leventina am stärksten von den Resultaten der Bodenproben ab.

Die Ergebnisse der Labormessungen zeigen eine weitere Problematik auf. Denn die bestimmten Aktivitäten von ^{226}Ra und ^{214}Bi , die beide in der Zerfallsreihe von ^{238}U vorkommen, weisen ein starkes Ungleichgewicht auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Messungen kurze Zeit nach dem Einfüllen in den Messbehälter erfolgte und sich somit noch kein Gleichgewicht in der Zerfallsreihe einstellen konnte. Gleiches geschieht auch im Freien. Je nach Beschaffenheit des Bodens entweicht mehr oder weniger Radongas. Dies führt dann zu einem Ungleichgewicht in der Uranzerfallsreihe und somit zu einer Unterschätzung des Urangehalts. Laterale Inhomogenitäten (auch der Bodenbeschaffenheit; z.B. Boden/Fels) erschweren deshalb aufgrund der unterschiedlichen Gesichtsfelder einen Vergleich zwischen den aeroradiometrischen Resultaten und Messungen an Bodenproben.

Die Schwankungen in den Resultaten der Aeroradiometrie sind auf die statistischen Änderungen in den Zählraten sowie auf die sich ändernde Beschaffenheit des Untergrundes (Geologie, Wald/Wiese, Gewässer) zurückzuführen.

4.3 Fazit

Die Messflüge 2001 zeigten deutlich auf, dass lange Messprofile durch die Schweiz in relativ kurzer Zeit realisierbar sind. Mit solchen Profilen könnte die Schweiz in einem Ereignisfall innerhalb kurzer Zeit grob abgedeckt und eine Übersicht über die Verstrahlungssituation erhalten werden. Es ist vorgesehen, im Jahre 2003 die zwei Profile durch weitere zwei Profile (\pm parallel zu den Profile 2001) zu ergänzen.

Die von der Aeroradiometrie gelieferten Dosisleistungen sowie die berechneten Bodenaktivitäten von ^{40}K , ^{208}Tl und ^{137}Cs stimmen mit Bodenmessungen und Labormessungen an Bodenproben gut überein. Mehr Probleme gibt es einmal mehr bei den berechneten Aktivitäten von ^{214}Bi . Diese Ungenauigkeiten sind vorwiegend auf Radon und seine Tochterisotope sowie auf Topographieeffekte zurückzuführen, die das Radonproblem verstärken. Um mit der Aeroradiometrie zuverlässige Bodenaktivitäten für die Uranreihe liefern zu können, ist unbedingt eine Radonkorrektur notwendig.

5 Ergebnisse der Messflüge 2001

Die Messungen des Jahres 2001 erfolgten mit einem Super Puma der Armee in der Zeit vom 25. bis zum 28. Juni 2001. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Neben den Routinemessgebieten in den Umgebungen der Kernkraftwerke Mühleberg (KKM) und Gösgen (KKG) wurde das Gebiet um den ehemaligen Versuchsreaktor Lucens nach 1999 und 2000 zum dritten Mal vermessen, wobei die radioaktiven Abfälle noch immer vor Ort gelagert wurden und noch nicht ins Zwischenlager (ZWILAG) in Würenlingen transportiert waren. Weiter wurde ein Ost-West und ein Nord-Süd Profil aeroradiometrisch vermessen. Zudem wurde im Raum Col du Marchairuz nach erhöhten Radium-Konzentrationen gesucht. Im Misox, unteren Bergell und im Münstertal (bei Sta Maria) wurde schliesslich nach Cäsium-Fallout von Tschernobyl gesucht. Die Daten über alle Flüge sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Flugparameter, die in der Übung ARM99 verwendet wurden.

Messgebiet	Längslinien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flughöhe [m]	Flugrichtung [Grad]	Fluggeschwin- digkeit [m/s]	Sample- Intervall [s]
Lucens	235	18	100	45/225	30	1
KKM	235	84	100	45/225	30	1
KKG	250	42	100	0/180	30	1
Nord-Süd-Profil	-	4	120	-	30	1
Ost-West-Profil	-	44	120	-	30	1
Col du Marchairuz	500	60	100	90/270	30	1
Misox	250	6	100	60/240	30	1
Bergell	250	9	100	20/200	30	1
Münstertal	250	1	100	0/180	30	1

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM99.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
Lucens	0101	25.6.01	1-14	1'768	68.5
KKM	0101	25.6.01	16-19	1'547	484.0
	0102	25.6.01	10-15, 20-31	5'698	
	0109	27.6.01	4-9	1'877	
KKG	0106	26.6.01	13-18	1'241	175.3
	0110	27.6.01	4-12, 19-23	2'892	
Nord-Süd-Profil	0103	26.6.01	1	4'721	249.0
Ost-West-Profil	0107	27.6.01	1-2	5'456	298.6
Col du Marchairuz	0108	27.6.01	10-18	2'753	108.8
Misox	0104	26.6.01	1-4	534	19.6
Bergell	0105	26.6.01	1-4	721	16.8
Münstertal	0105	26.6.01	1-7	430	13.1

5.1 Messgebiete KKM und KKG

Das Gebiet KKM wurde im Jahre 2001 in drei Flügen an zwei verschiedenen Tagen vermessen. Die Auswertung der Daten wurde in einem Survey zusammengefasst. Das Messgebiet KKG wurde mit zwei Flügen ebenfalls an zwei verschiedenen Tagen abgedeckt. Für beide Gebiete 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 Mühleberg und Gösgen waren während der Messungen in Betrieb. Das Kernkraftwerk Gösgen besitzt einen Druckwasserreaktor und konnte aus der Luft nicht detektiert werden. Beim Kernkraftwerk Mühleberg kommt ein Siedewasserreaktor zum Einsatz. Deshalb konnte das Werk aufgrund der hochenergetischen ^{16}N -Strahlung identifiziert werden. Bei ^{16}N handelt es sich um ein Aktivierungsprodukt (Reaktion $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$, $T_{1/2}=7.3$ s; zwei Gammalinien bei 6.13 MeV und 7.11 MeV), das durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da dies nach oben nicht vollständig abgeschirmt ist, kann die ^{16}N -Strahlung aus der Luft detektiert werden. Die hochenergetische Strahlung wird dabei hauptsächlich im kosmischen Fenster registriert, wobei aber die Streustrahlung im ganzen Spektrum von 40-3000 keV festgestellt werden kann.

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 Mühleberg deutlich in den Cäsiumaktivitäten und im MMGC-Ration anhand erhöhter Werte zu erkennen. Das KKW Gösgen ist sowohl bei den Cäsiumaktivitäten als auch im MMGC-Ratio nicht 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 2001 liegt innerhalb der Messgenauigkeit im gleichen Bereich wie in den früheren Jahren. Die Dosisleistungen im Einflussbereich der ^{16}N -Strahlung beim KKW Mühleberg sind nur eine grobe Näherung an den tatsächlichen Wert, da weder die Quellgeometrie noch der grosse Anteil an hochenergetischer Strahlung berücksichtigt wurde.

Beilagen KKG und KKM

Beilage 1: Totale Dosisleistung (SDI-Methode, siehe Bucher 2001) im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage. Deutlich ist der Standort des Kernkraftwerkes Mühleberg anhand erhöhter Dosisleistungen zu erkennen. Im weiteren sind Muster zu sehen, die durch unterschiedliche Vegetation (Wiesen, Wald) und Gewässer verursacht werden. Ausserhalb der umzäunten Areale sind keine wesentlich erhöhte Dosisleistungen zu erkennen.

Beilage 2: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKM. In der Aktivitätskarte für Cäsium ist das KKM anhand der durch ^{16}N verursachten Streustrahlung zu erkennen.

Beilage 3: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM (siehe Schwarz & Rybach, 1995). Eindeutig ist wiederum das KKW Mühleberg zu erkennen. Ausserhalb der umzäunten Areale weist der modifizierte MMGC-Ratio keine erhöhten Werte auf.

Beilage 4: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Gösgen mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage. Das Kernkraftwerkes Gösgen ist anhand der Dosisleistungen nicht zu erkennen. Es sind jedoch Muster zu sehen, die durch unterschiedliche Vegetation (Wiesen, Wald) und Gewässer verursacht werden. Ausserhalb der umzäunten Areale sind ebenfalls keine erhöhten Dosisleistungen zu erkennen.

Beilage 5: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKG. In der Aktivitätenkarte für Cäsium ist das KKG nicht zu erkennen.

Beilage 6: MMGC-Ratio im Messgebiet KKG. Das KKW Gösgen ist auch hier nicht zu erkennen. Der MMGC-Ratio weist im ganzen Messgebiet keine erhöhten Werte auf.

5.2 Lucens

Die in Lucens gelagerten radioaktiven Abfälle sollten ursprünglich im Winter 1999/2000 ins Zwischenlager (ZWILAG) in Würenlingen überführt werden. Aufgrund verschiedener Verzögerungen fand dieser Transport auch nicht im folgenden Jahr statt, weshalb die radioaktiven Abfälle 2001 noch immer in Lucens gelagert wurden. Eine Freimessung konnte deshalb erneut nicht durchgeführt werden. Trotzdem wurde das Gebiet nochmals aeroradiometrisch vermessen. Die Resultate lagen erwartungsgemäss im selben Wertebereich wie in den Jahren 1999 und 2000. Wiederum konnten die radioaktiven Nuklide ^{137}Cs und ^{60}Co identifiziert werden. Ausserhalb des umzäunten Areals wurden keine erhöhten Werte gemessen, die nicht auf den Bombentest- oder Tschernobyl- Fallout zurückgeführt werden können.

Beilagen ehemaliges Kernkraftwerk Lucens

Beilage 7: Ortsdosisleistung 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 8: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens. Auch hier zeigen sich erhöhte Werte im Bereich des Werkareals. Die Ausdehnung ist stark lokal beschränkt.

Beilage 9: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors. Der Standort der Behälter mit kontaminiertem Material ist in dieser Abbildung ebenfalls zu erkennen.

5.3 Profile durch die Schweiz

Im Jahre 2001 standen erstmals Profile durch die Schweiz auf dem Messprogramm. Damit sollten Erfahrungen über deren Machbarkeit, Zeitaufwand und Ergebnisse erreicht werden. Es wurde je ein Profil Nord-Süd (Schaffhausen, Pfäffikon, Schwyz, Erstfeld, Gotthard, Bellinzona, Monte Ceneri, Chiasso) bzw. Ost-West (Bodensee, Greifensee, Mühleberg, Genfersee) abgeflogen und gemessen. Die durchgeführten Messflüge zeigten klar die Machbarkeit und Nützlichkeit solcher Profile auf. Zudem kann mit solchen Profilen bei einer grossflächigen Verstrahlungssituation, welche die ganze Schweiz betrifft, innert nützlicher Frist die laterale Verteilung erfasst werden.

Die Resultate gaben im Grossen und Ganzen die geologischen Verhältnisse wieder. Die bestimmten Ortsdosisleistungen zeigten auch eine auf die kosmische Strahlung zurückzuführende Höhenabhängigkeit. Im Mittelland, das geologisch durch die Molasse geprägt ist, wurden durchgehend Dosisleistungen um die 100 nSv/h bestimmt. Über den grossen Seen, wo die

natürliche Strahlung durch den Wasserkörper praktisch vollständig abgeschirmt wird, erhielt man als Dosisleistung den Anteil der kosmischen Strahlung. Während im Ost-West-Profil mit Ausnahme des KKW Mühleberg keine grossen Unterschiede in der Dosisleistung festgestellt wurden, zeigte das Nord-Süd-Profil vor allem im Bereich der Granite des Zentralmassivs erhöhte Dosisleistungen. Im Tessin waren zudem noch immer die erhöhten Cäsiumaktivitäten aus dem Tschernobyl-Ereignis erkennbar. Detailliertere Erläuterungen zu den Profilen sind auch im Kapitel 4 zu finden.

5.4 Marchairuz

Im Gebiet des Col du Marchairuz wurde nach erhöhten Radiumaktivitäten gesucht. Die Messflüge zeigten jedoch keine eigentlichen Hot Spots. In diesem Messgebiet konnten jedoch in einem kleinen Gebiet etwas erhöhte Cäsiumaktivitäten nachgewiesen werden. Diese liegen aber weit unter den Werten, die bei Hot Spots im Tessin gefunden wurden (Bucher et al. 2000). In der Abbildung ist das entsprechende gemittelte Spektrum zu sehen. Deutlich sind die höheren Zählraten im Energiebereich von ^{137}Cs zu erkennen.

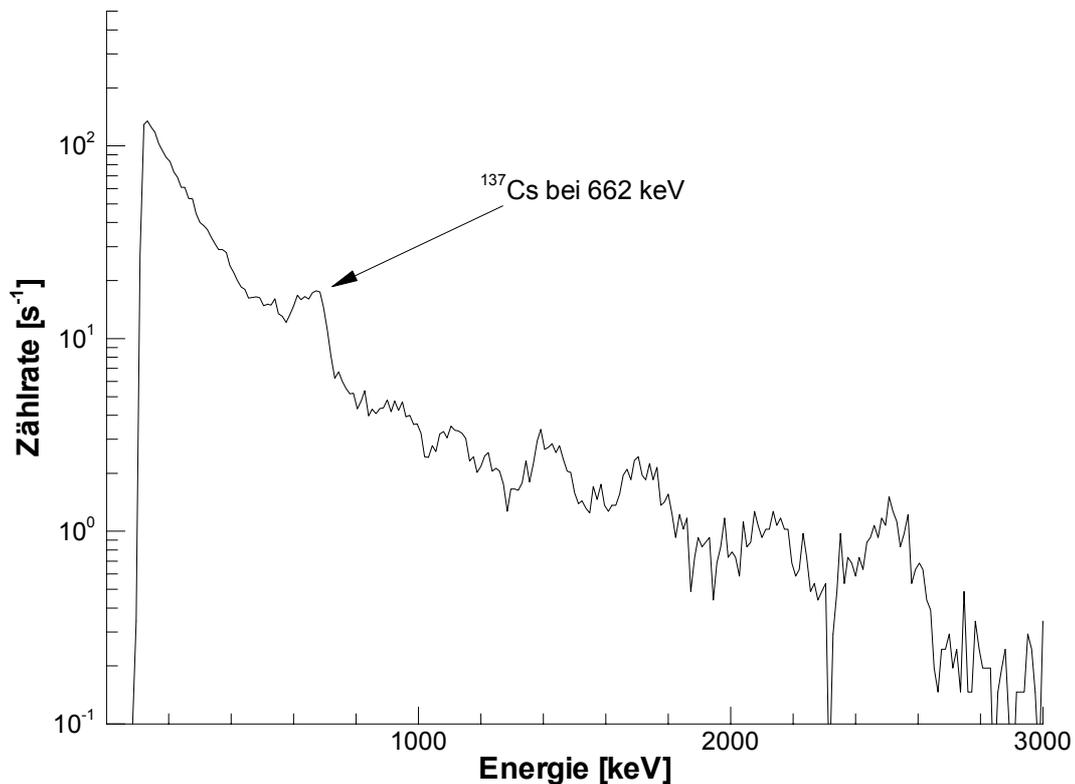


Abbildung 13: Gemitteltes Spektrum im Bereich der erhöhten Cäsiumaktivitäten im Messgebiet Marchairuz. Deutlich ist der Cäsiumpeak bei 662 keV zu erkennen.

Beilage Messgebiete Marchairuz

Beilage 10: Ortsdosisleistung im Messgebiet Marchairuz. In dieser Abbildung sind klar die tiefen Werte über dem See zu erkennen. Stark erhöhte Werte konnten mit der Aeroradiometrie nicht detektiert werden.

Beilage 11: Aktivitäten der ^{238}U -Reihe im Messgebiet Marchairuz. Die mit der Aeroradiometrie bestimmten Aktivitäten der ^{238}U -Reihe zeigen keine stark erhöhten Werte. Die

Variationen sind aufgrund des noch nicht gelösten Radon-Problems nicht eindeutig auf Unterschiede im Untergrund zurückzuführen. Radium Hot Spots konnten nicht identifiziert werden.

Beilage 12: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Marchairuz. Die Cäsiumaktivitäten zeigen nur in einem kleinen Teil des Messgebietes leicht erhöhte Werte. Das entsprechende Gebiet liegt im Bereich des Bergkammes, was auf vergleichbare Depositionsmechanismen wie im Tessin schliessen lässt.

5.5 Misox, Bergell und Münstertal (bei Sta Maria)

In vier kleineren Messgebieten im Misox, Bergell und Münstertal wurde nach Cäsium Hot Spots gesucht. Es konnten zwar Cäsiumspuren nachgewiesen werden, eigentliche Hot Spots wurden aber nicht entdeckt. Hingegen konnten Unterschiede in den Aktivitäten der natürlichen Radionuklide detektiert werden, die auf eine unterschiedliche geologische Zusammensetzung des Gesteins zurückzuführen sind.

Beilagen Messgebiete Misox, Bergell, Sta Maria

Beilage 13: Ortsdosisleistung im Messgebiet Misox. Die Resultate zeigen keine wesentlich höhere Werte als diejenigen aus vergleichbaren Gebieten.

Beilage 14: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Misox. Es sind keine Cäsium Hot Spots zu erkennen.

Beilage 15: Ortsdosisleistung im Messgebiet Bergell. Die Werte liegen höher als im Mittelland der Nordschweiz. Dies ist jedoch hauptsächlich auf den grösseren kosmischen Beitrag, der mit zunehmender Höhe über Meer zunimmt, sowie auf die „granitische“ Umgebung zurückzuführen.

Beilage 16: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Bergell. Die mit der Aeroradiometrie bestimmten Cäsiumaktivitäten zeigen keine Hot Spots in diesem Messgebiet.

Beilage 17: Ortsdosisleistung im Messgebiet Münstertal. Die im Vergleich zu anderen Messgebieten höheren Ortsdosisleistungen sind auf den geologischen Untergrund und den aufgrund der Höhenlage grösseren kosmischen Beitrag zurückzuführen.

Beilage 18: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Münstertal. Die bestimmten Cäsiumaktivitäten sind im ganzen Messgebiet tief. Es sind keine Hot Spots zu erkennen.

6 Internationales

Auch im Jahre 2001 wurden die internationalen Kontakte gepflegt. Im Rahmen des im Herbst 2000 gestarteten EU-Projektes „European Coordination and Calibration of Mobile and Airborne Gamma Spectrometry (ECCOMAGS)“ wurden die Arbeiten für die geplante Messübung im Mai/Juni des Jahres 2002 vorangetrieben. Die Übung wird im Südwesten von Schottland in der Nähe der Stadt Stranraer stattfinden. Bei der Messübung geht es in erster Linie um die Interkalibration zwischen den verschiedenen Messteams. Voraussichtlich werden neben den Messteams aus Dänemark, Deutschland, Frankreich, Österreich, Schottland, Schweden und der Schweiz auch Teams aus anderen Ländern teilnehmen. Im Herbst 2001 wurden die Kalibrationsgebiete bereits beprobt und Bodenmessungen durchgeführt.

Im Juni 2001 fand innerhalb desselben Projektes eine Tagung der Projektbeteiligten in East Kilbride/UK statt. Dort präsentierten die verschiedenen Teams ihre neuesten Entwicklungen und Erkenntnisse. Dabei stellte sich heraus, dass die Schweiz durchaus international mithalten kann und in der Entwicklung vorne dabei ist. Insbesondere die in Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) entstandene online Auswerte- und Darstellungssoftware weckte unter den Anwesenden grosses Interesse.

Neben diesem EU-Projekt wurde auch die Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI, Stockholm) weitergeführt und vertieft. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit bot sich für B. Bucher auch die Möglichkeit, im September 2001 an der Barents Rescue Übung LIVEX in Boden/S im Schwedischen Team teilzunehmen. Bei dieser Gelegenheit wurde auch die gemeinsam entwickelte Software mit dem schwedischen Equipment sowohl im Helikopter wie auch im Auto eingesetzt. Dieser Test deckte auch noch einige Mängel der Software auf, zeigte aber auch die Nützlichkeit der online Darstellung in einer digitalen Karte insbesondere im Einsatz mit dem Auto.

7 Fazit

Mit dem Konzept für die Rechnererneuerung in den Messsystemen wurde der erste Schritt zur Erneuerung und Modernisierung der Messapparatur unternommen. Die Erneuerung der Messsysteme ermöglicht auch die Integration neuer Tools wie zum Beispiel der online Auswertesoftware.

Die gemessenen Profile durch die Schweiz zeigten klar deren Machbarkeit auf. Sie bieten die Möglichkeit, bei einer grossflächigen Verstrahlungssituation sich schnell einen flächendeckenden Überblick über die Situation in der ganzen Schweiz zu verschaffen. Der Vergleich mit Bodenmessungen und den aus Boden- und Labormessungen generierten Dosisleistungskarten zeigte eine gute Übereinstimmung bei der Dosisleistung. Bei den bestimmten Aktivitäten waren wiederum Einflüsse von Radon und seinen Tochterisotopen in der Atmosphäre zu erkennen. Für genauere Resultate ist eine Radonkorrektur nötig.

Wie bei den vorangegangenen Messungen im Gebiet der KKW Gösgen und Mühleberg konnte auch dieses Jahr das KKW Mühleberg anhand der ^{16}N -Strahlung aus der Luft klar detektiert werden. Ausserhalb der Areale der Kernanlagen blieb die Dosisleistung auf dem Niveau der früheren Jahre.

Im Messgebiet des ehemaligen Kernreaktors in Lucens wurden über einem Gebäude, welches kontaminiertes Material lagert, wie bereits in den Jahren 1999 und 2000 erhöhte Zählraten gemessen, da das entsprechende Material noch nicht ins Zwischenlager (ZWILAG) in Würenlingen überführt wurde. Im restlichen Messgebiet wurde keine erhöhte Radioaktivität registriert, die nicht auf die Bombentests und den Tschernobyl Unfall zurückgeführt werden kann.

Die vermuteten Radiumanomalien im Messgebiet Col du Marchairuz konnten mit den aeroradiometrischen Messungen nicht detektiert werden. Die Messungen zeigten aber leicht erhöhte Cäsiumaktivitäten im Bereich des Hügelkammes. Die Werte liegen aber weit unterhalb der teilweise im Tessin gemessenen Hot Spots.

In den Messgebieten Misox, Bergell und Münstertal konnten keine Cäsium Hot Spots identifiziert werden. Die Cäsiumaktivitäten nahmen vom Misox über das Bergell zum Münstertal tendenziell ab. Die bestimmten Ortsdosisleistungen nahmen hingegen zu und erreichten im Messgebiet Münstertal die höchsten Werte. Dies ist hauptsächlich auf die Höhenlage des Messgebietes zurückzuführen. Zudem dürften auch die lokalen Gesteine und ihr Gehalt an natürlichen Radionukliden zu diesem Bild beitragen.

8 Ausblick

Im Rahmen des EU-Projektes ECCOMAGS wird das schweizerische Aeroradiometrieteam im Jahre 2002 an einer internationalen Kalibrationsmessübung in Schottland teilnehmen. Diese Übung soll zu einer stärkeren Standardisierung und einer verbesserten Vergleichbarkeit der Resultate von verschiedenen Teams führen. Durch die Teilnahme an dieser Messübung fallen die Messungen in der Schweiz aus.

Die Rechnererneuerung soll nach Möglichkeit in der zweiten Jahreshälfte realisiert werden. Damit stünde für die Messflüge im Jahre 2003 ein erneuertes, modernisiertes und verbessertes Messsystem zur Verfügung.

Um die durch Radon und seine Tochterisotope verursachten Probleme bei der Auswertung zu eliminieren, soll eine Möglichkeit für deren Korrektur gefunden werden. Dabei steht der Einsatz eines „upwardlooking“ Detektors im Vordergrund. Längerfristig ist auch der Einsatz eines Ge-Detektors zu prüfen.

Künftig soll der Background jährlich überprüft werden.

Die im Bereich der Softwareentwicklung bestehende Zusammenarbeit mit dem Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI) soll weiter gepflegt werden. Nach Möglichkeit soll auch die Zusammenarbeit mit anderen Gruppen gefördert und vertieft werden. In der Arbeitsgruppe „Spectral Analysis“ des ECCOMAGS-Projektes soll mitgearbeitet werden, um unter anderem auch eine kombinierte Auswertung von NaJ- und Ge-Detektoren zu realisieren.

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

9 Literaturhinweise

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

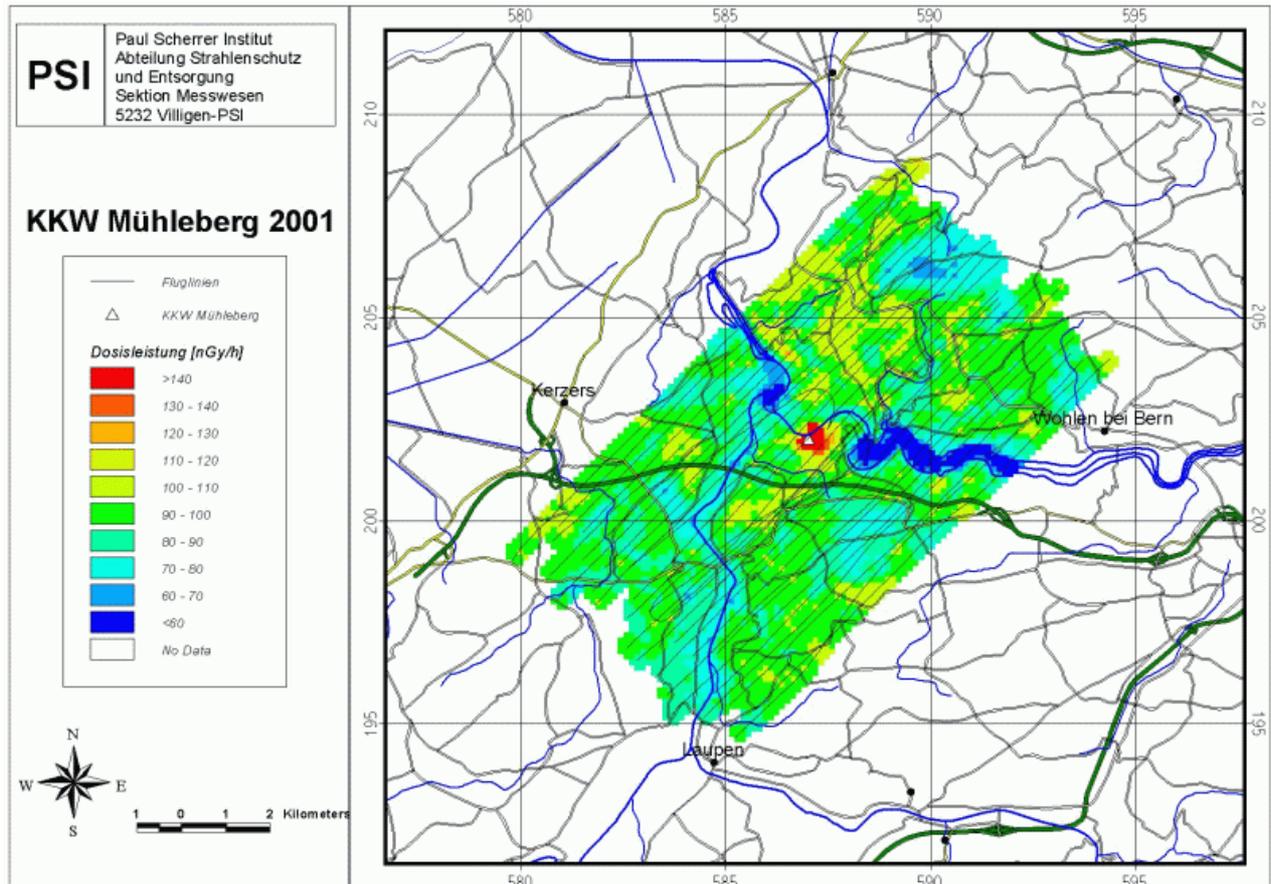
RYBACH, L., SCHWARZ, G., MEDICI, F., 1996: Construction of radioelement and dose-rate baseline maps by combining ground and airborne radiometric data. IAEA-Tecdoc-980, p. 33-44.

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

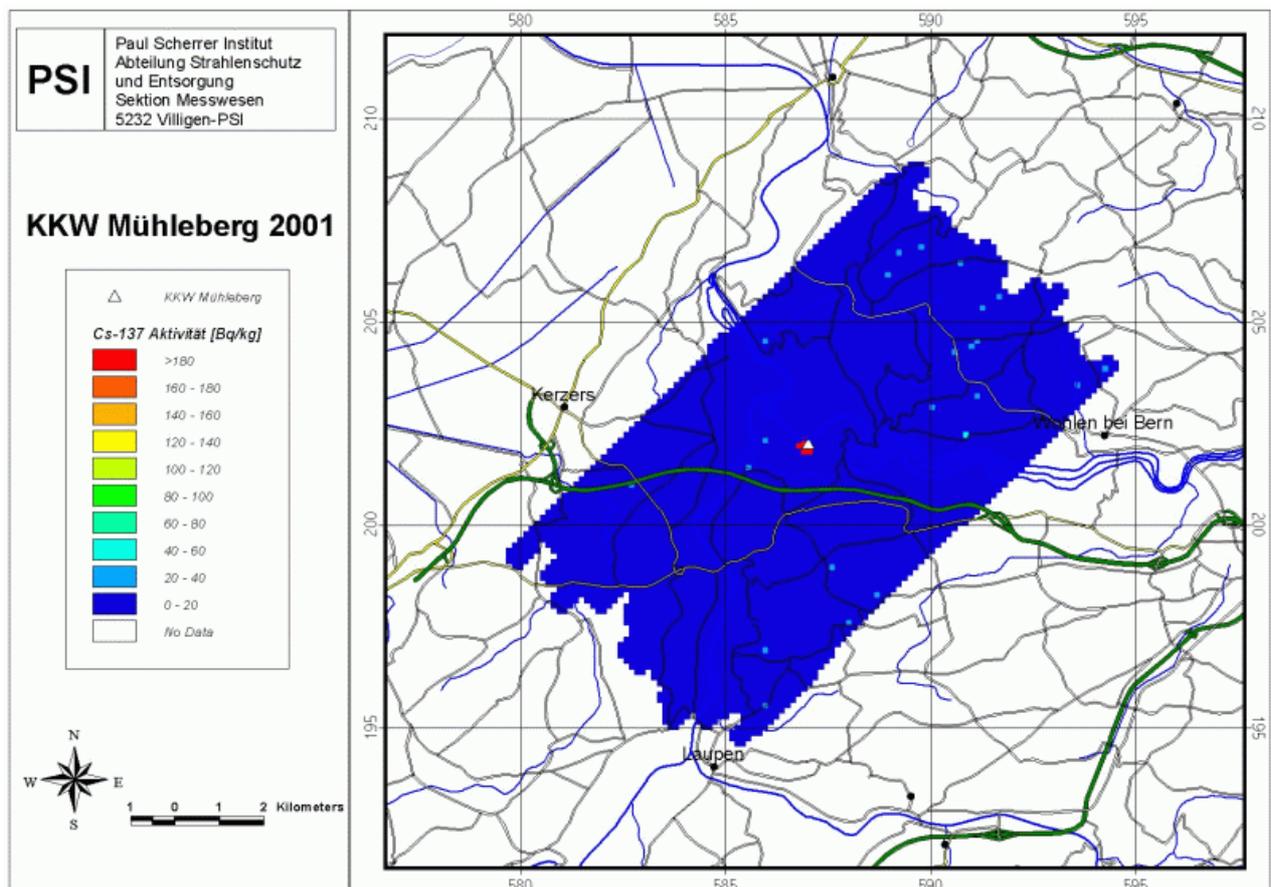
SCHWARZ, G.F., RYBACH, L.: 1995: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1994 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

10 Beilagen

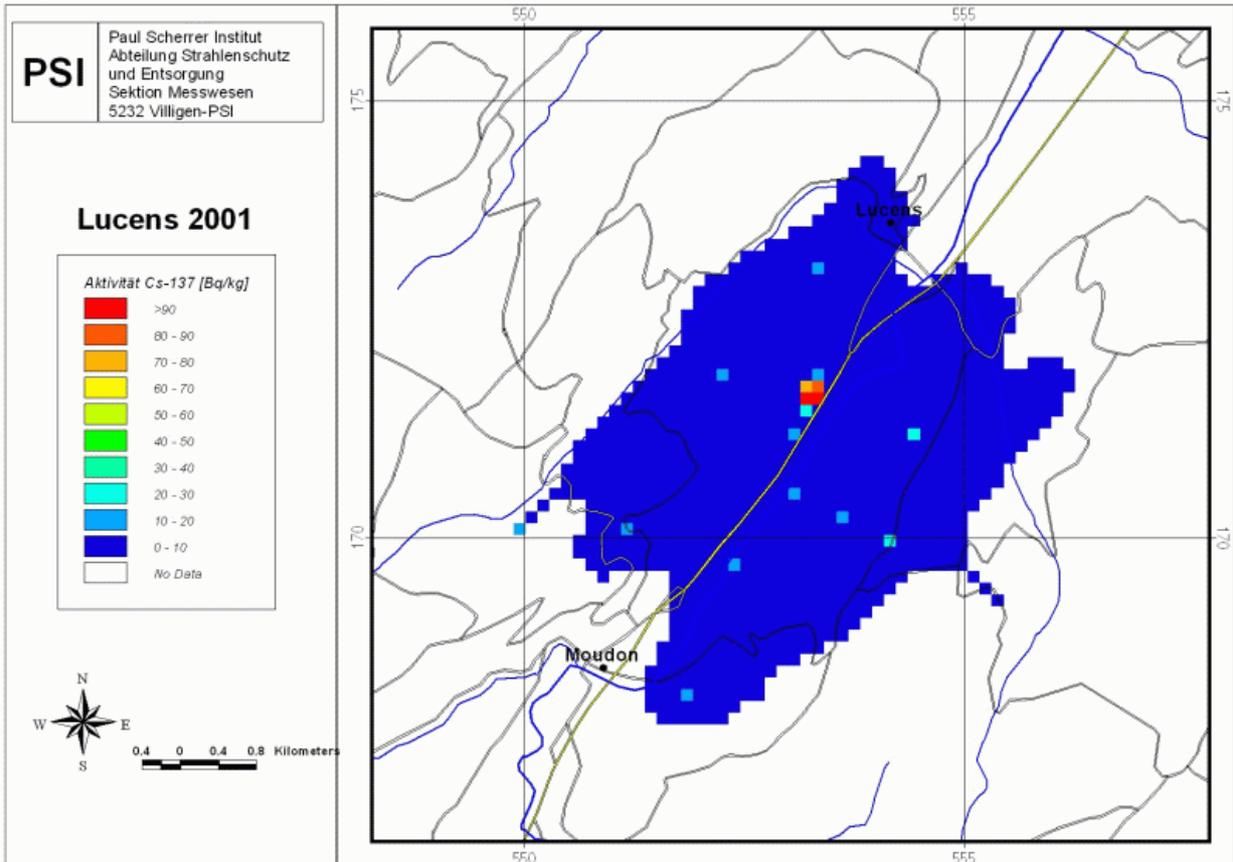
- Beilage 1: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage.
- Beilage 2: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKM.
- Beilage 3: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM.
- Beilage 4: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Gösgen mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage.
- Beilage 5: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKG.
- Beilage 6: MMGC-Ratio im Messgebiet KKG.
- Beilage 7: Ortsdosisleistung und Fluglinien im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens.
- Beilage 8: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet des Versuchsreaktors Lucens.
- Beilage 9: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet des Versuchsreaktors.
- Beilage 10: Ortsdosisleistung im Messgebiet Marchairuz.
- Beilage 11: Aktivitäten der ^{238}U -Reihe im Messgebiet Marchairuz.
- Beilage 12: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Marchairuz
- Beilage 13: Ortsdosisleistung im Messgebiet Misox.
- Beilage 14: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Misox.
- Beilage 15: Ortsdosisleistung im Messgebiet Bergell.
- Beilage 16: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Bergell.
- Beilage 17: Ortsdosisleistung im Messgebiet Münstertal.
- Beilage 18: ^{137}Cs Aktivitäten im Messgebiet Münstertal.



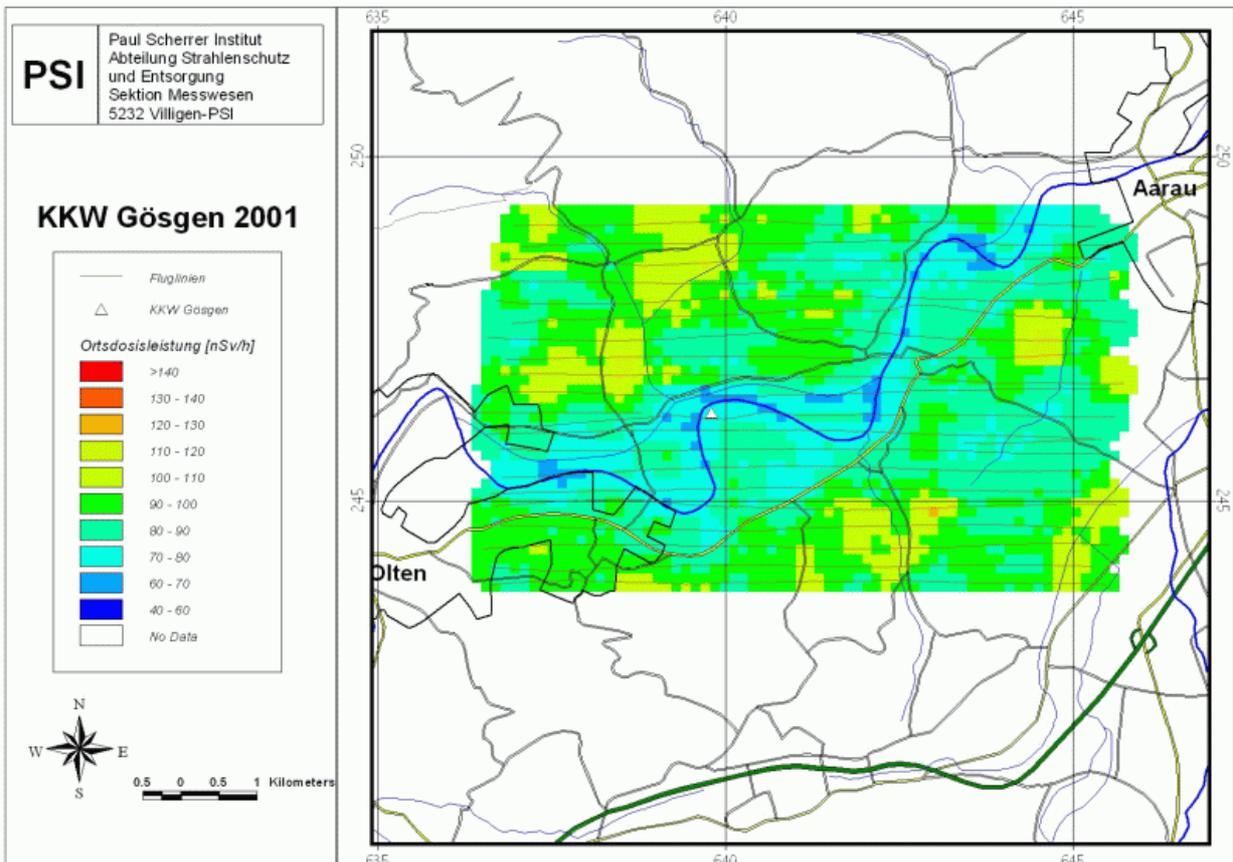
Beilage 1: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage.



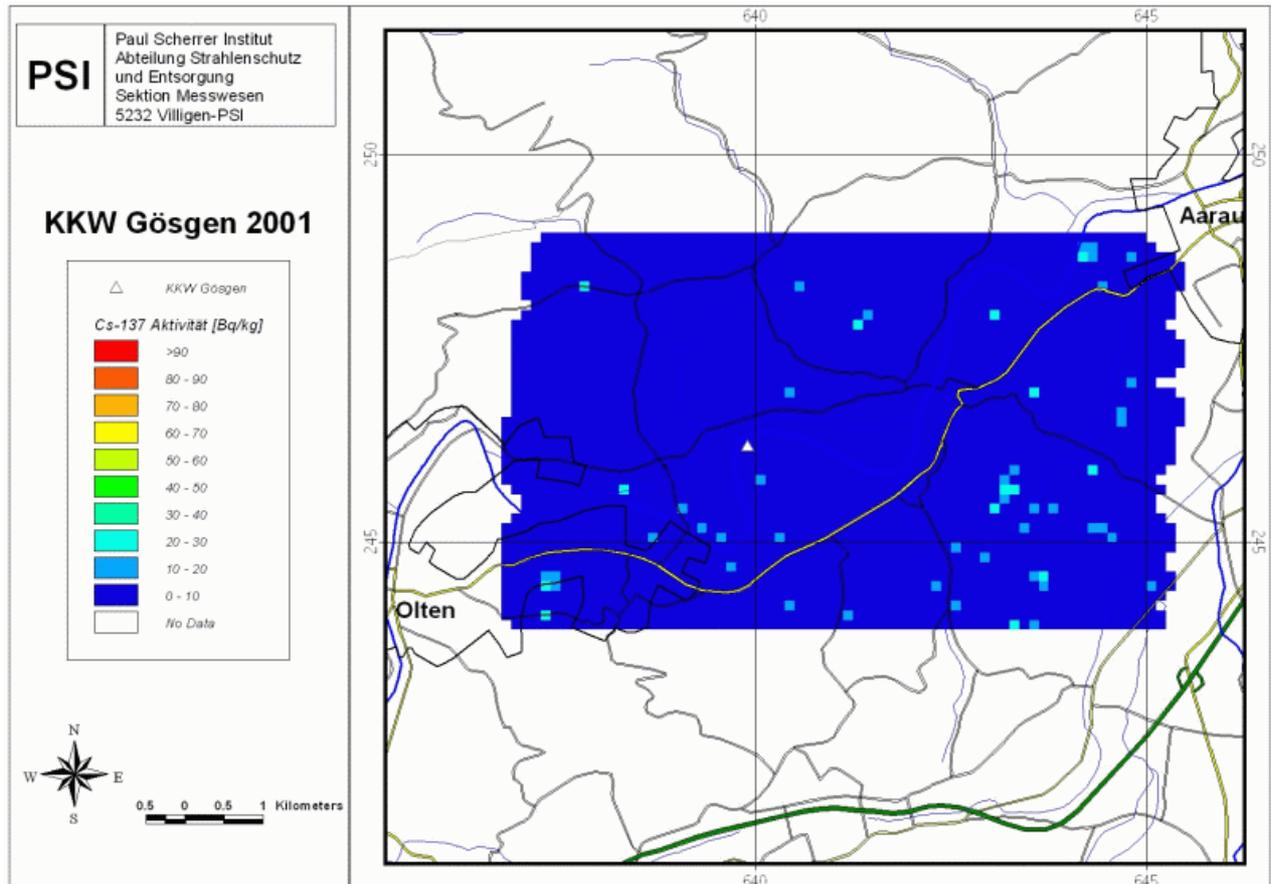
Beilage 2: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet KKM.



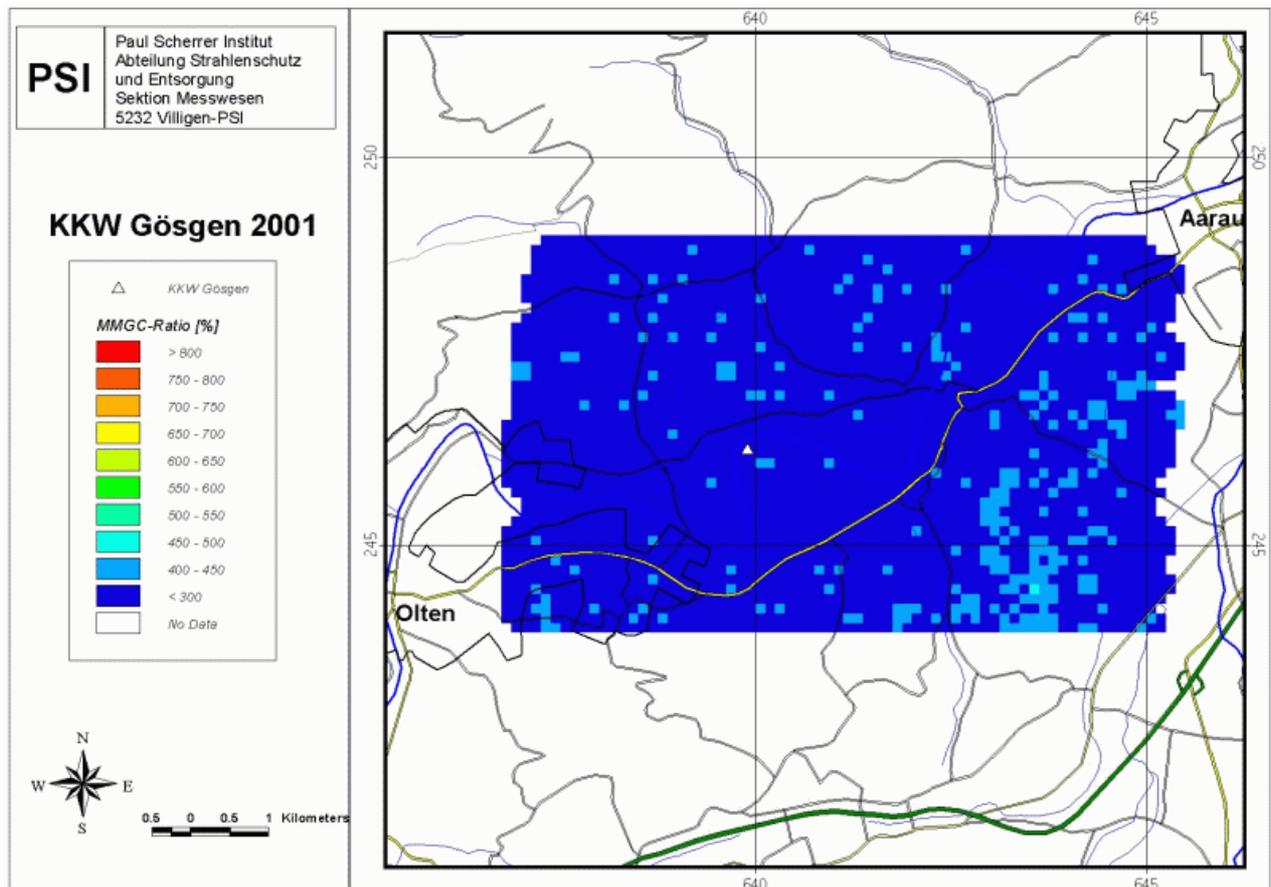
Beilage 3: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKM.



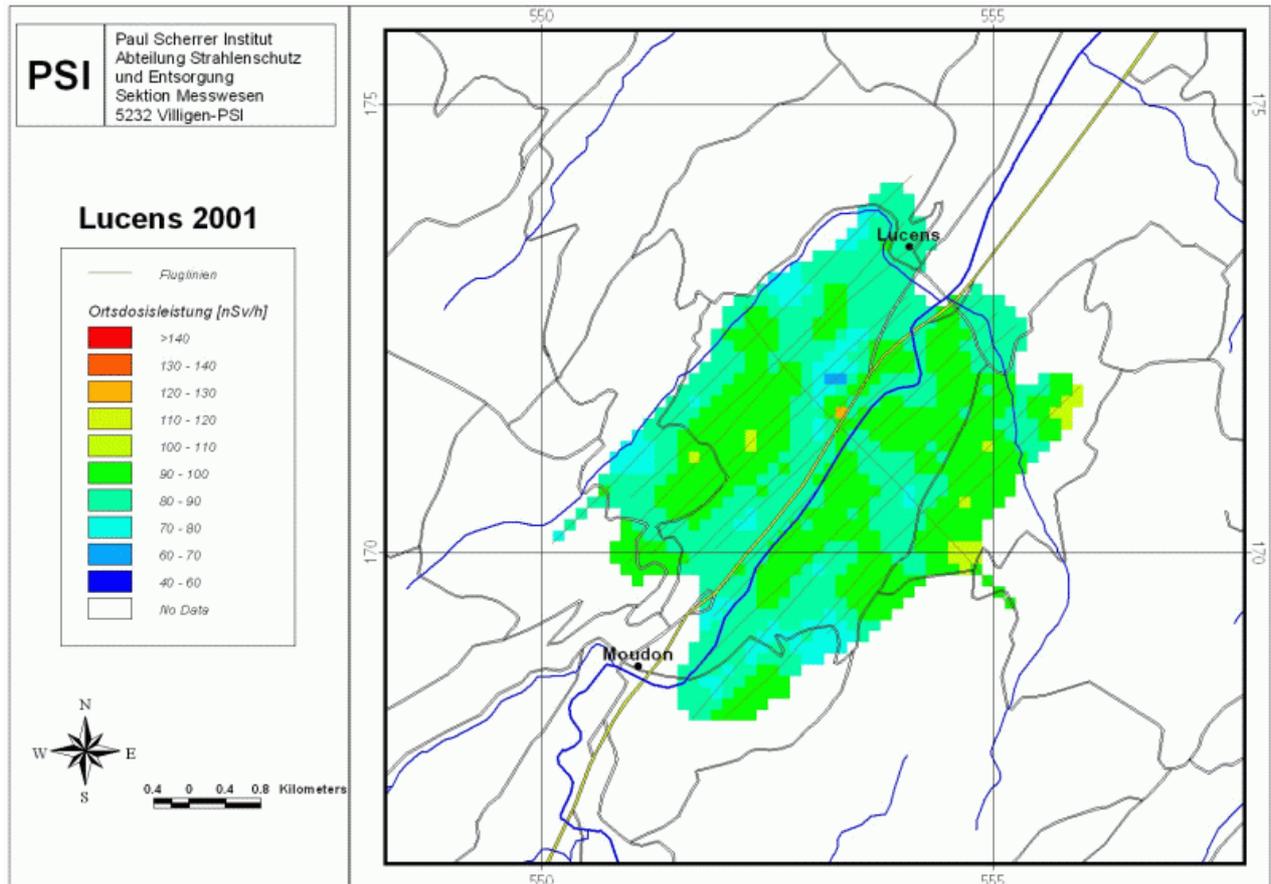
Beilage 4: Totale Dosisleistung (SDI-Methode) im Messgebiet KKW Gösgen mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort der Anlage.



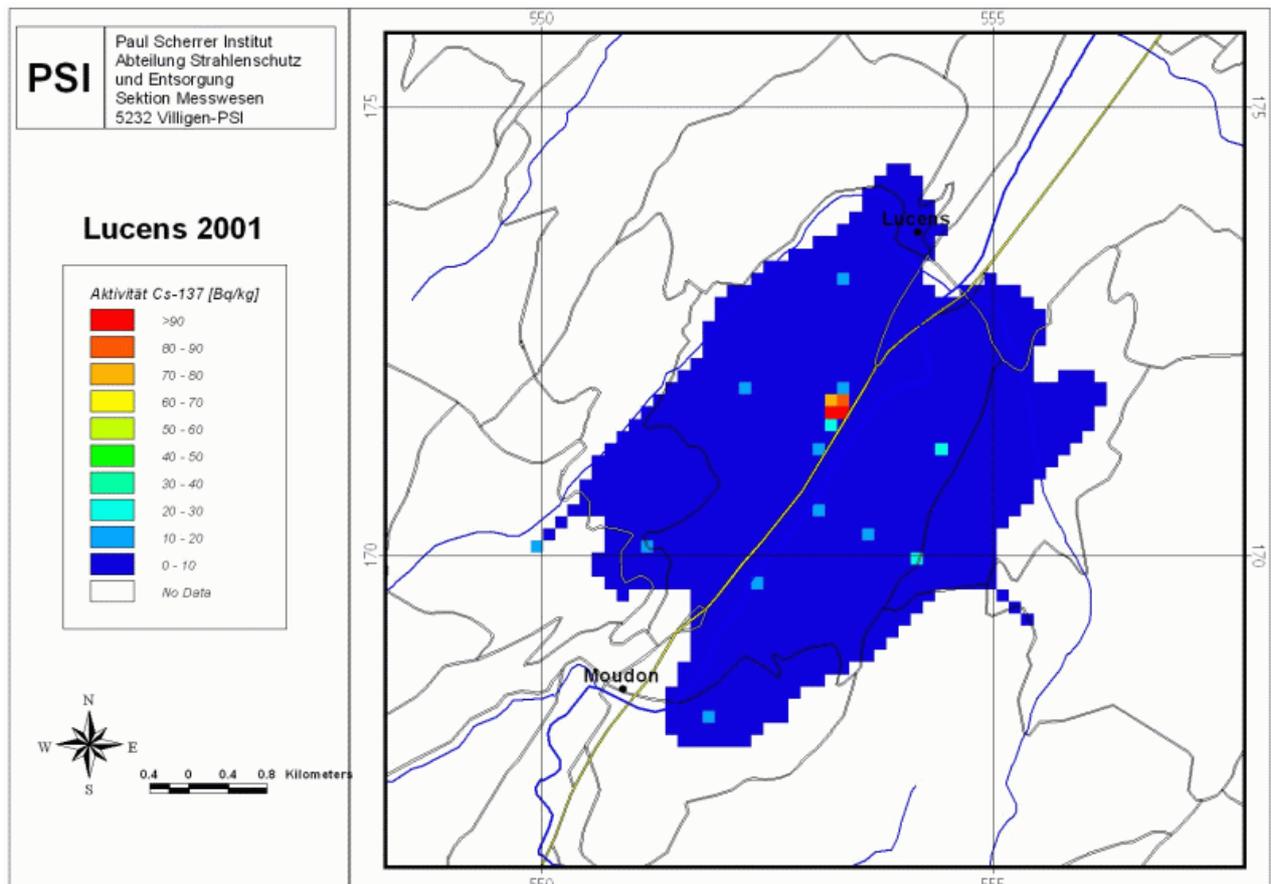
Beilage 5: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet KKG.



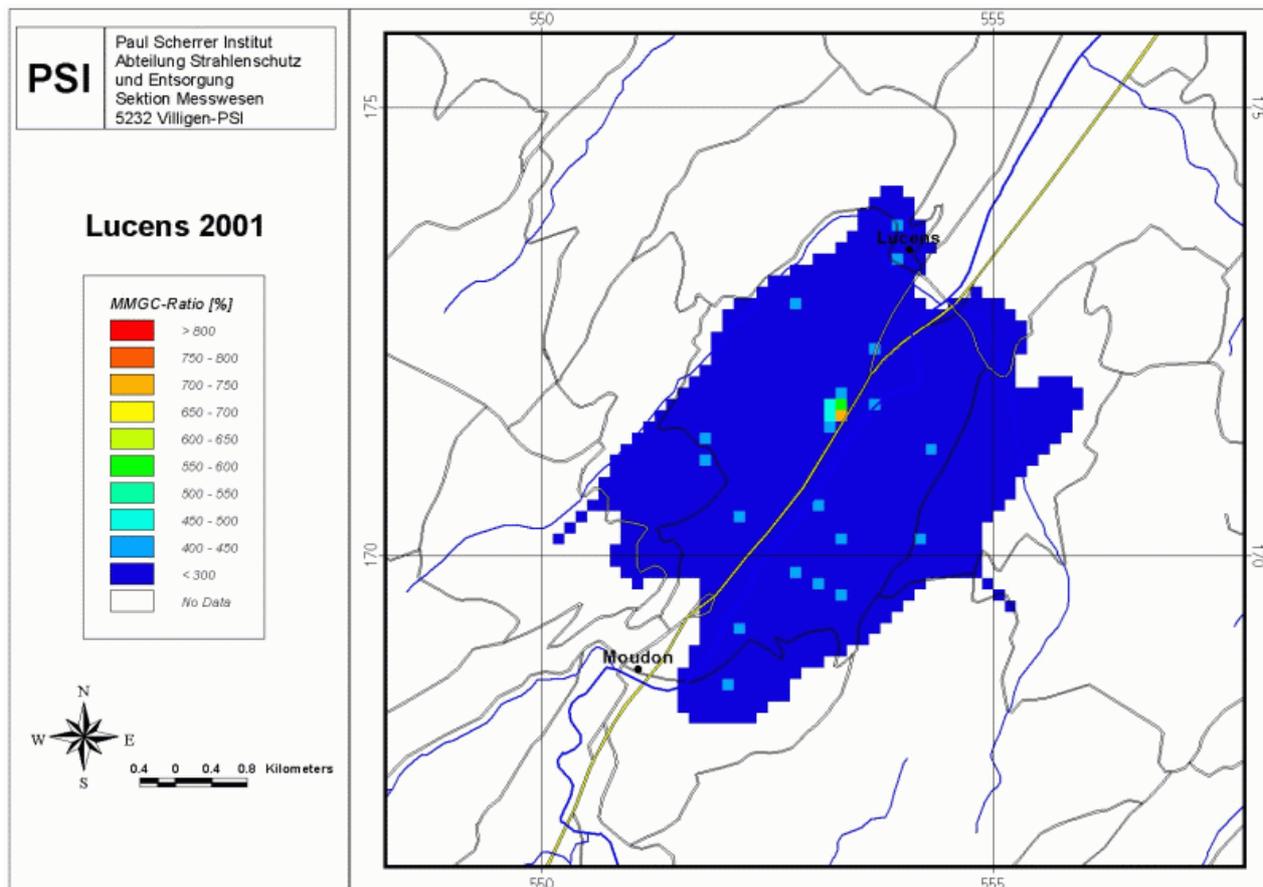
Beilage 6: MMGC-Ratio im Messgebiet KKG.



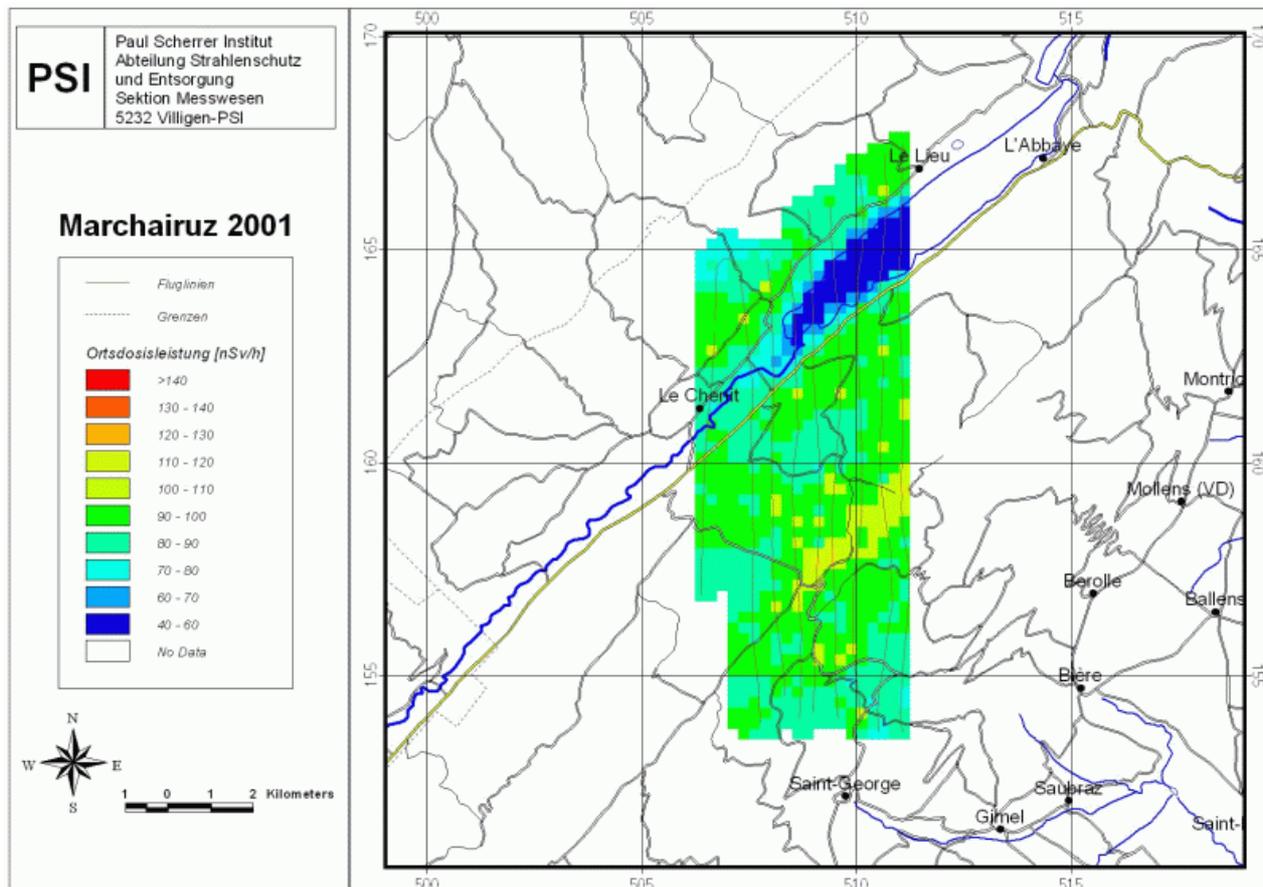
Beilage 7: Ortsdosisleistung und Fluglinien im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens.



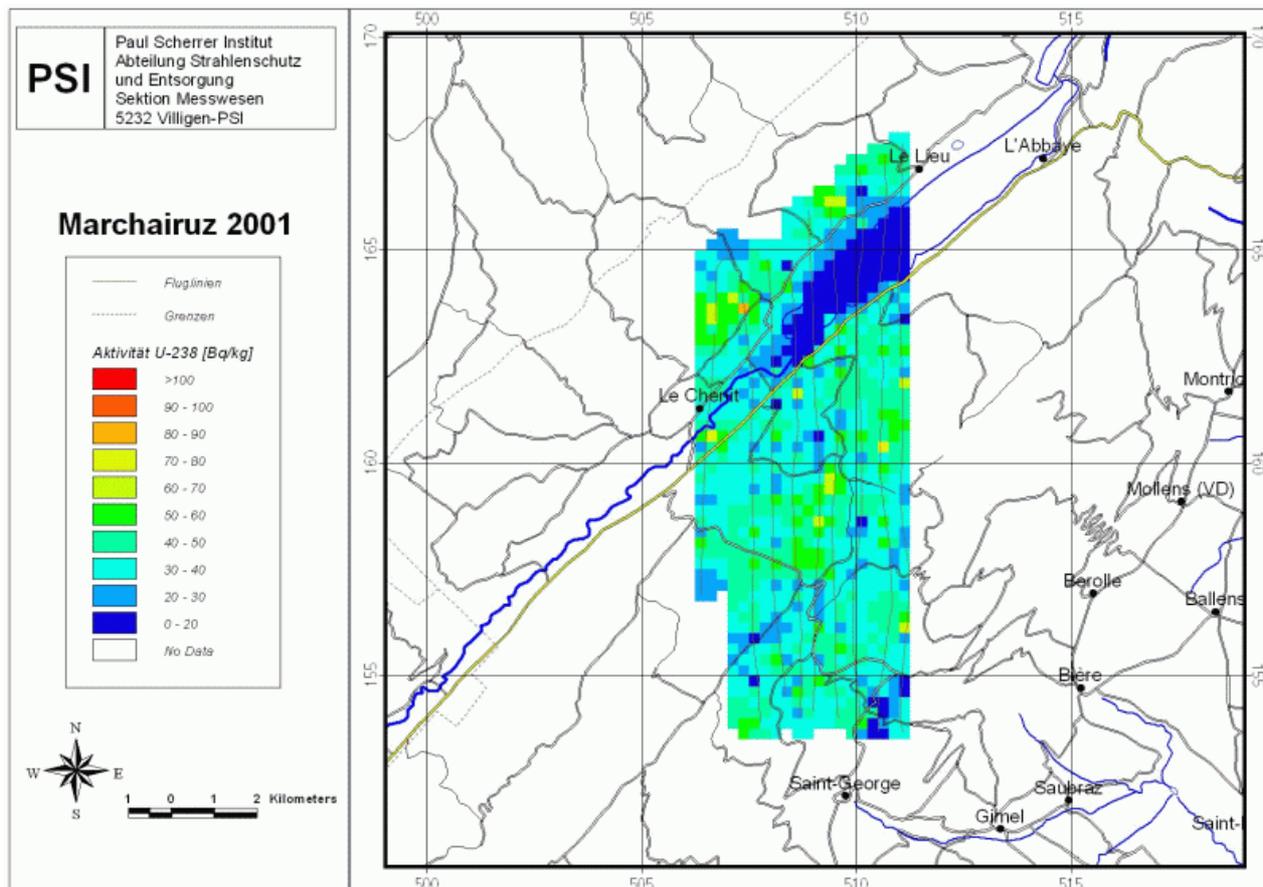
Beilage 8: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors Lucens.



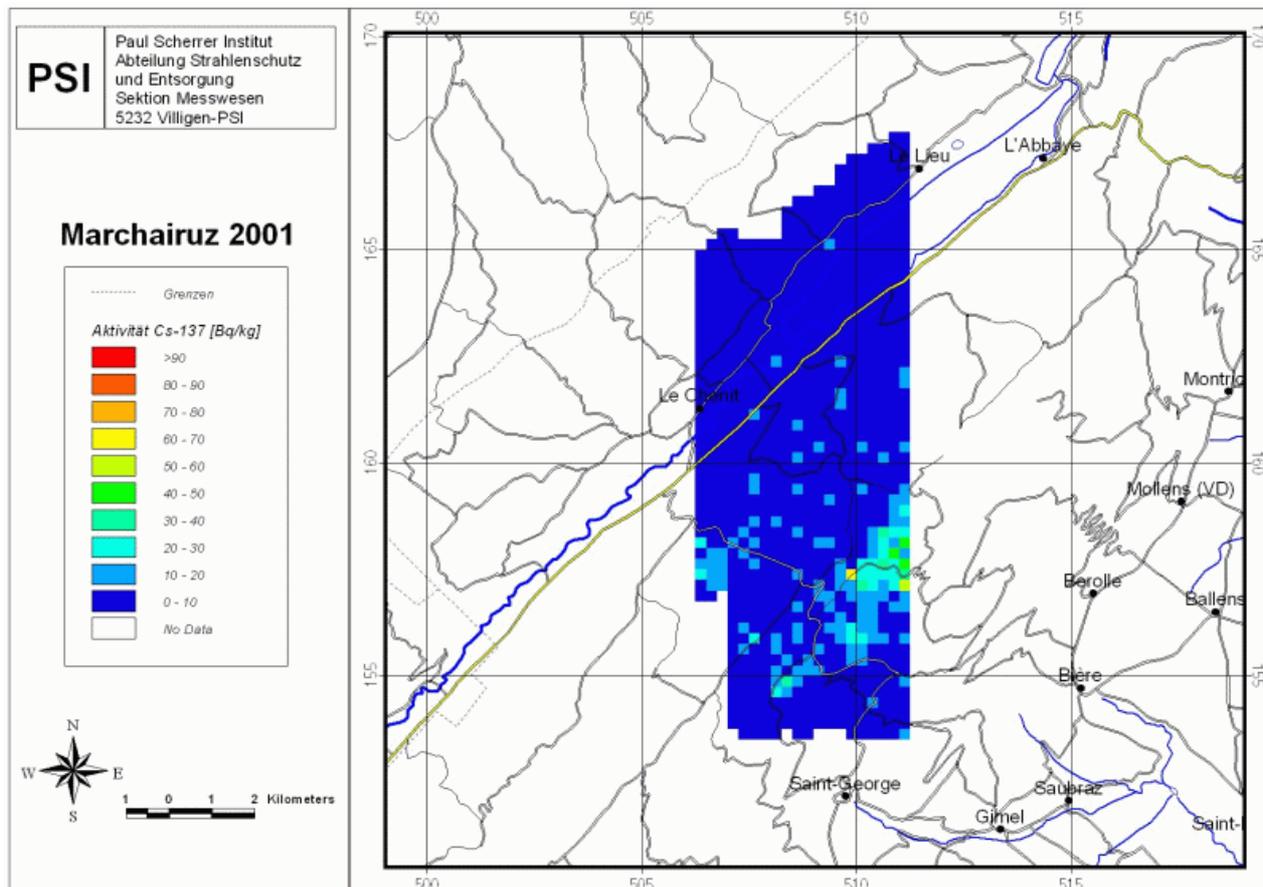
Beilage 9: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet des ehemaligen Versuchsreaktors.



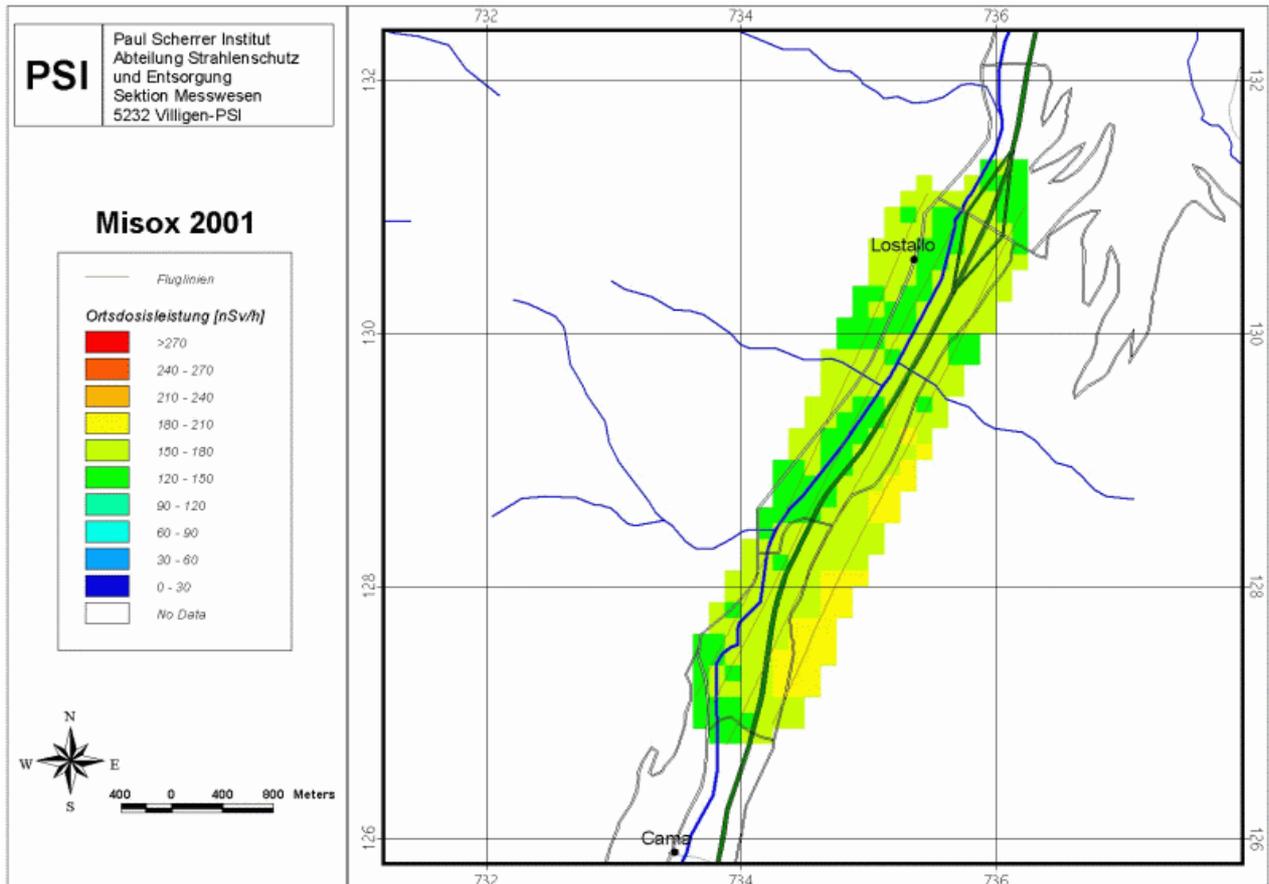
Beilage 10: Ortsdosisleistung im Messgebiet Marchairuz.



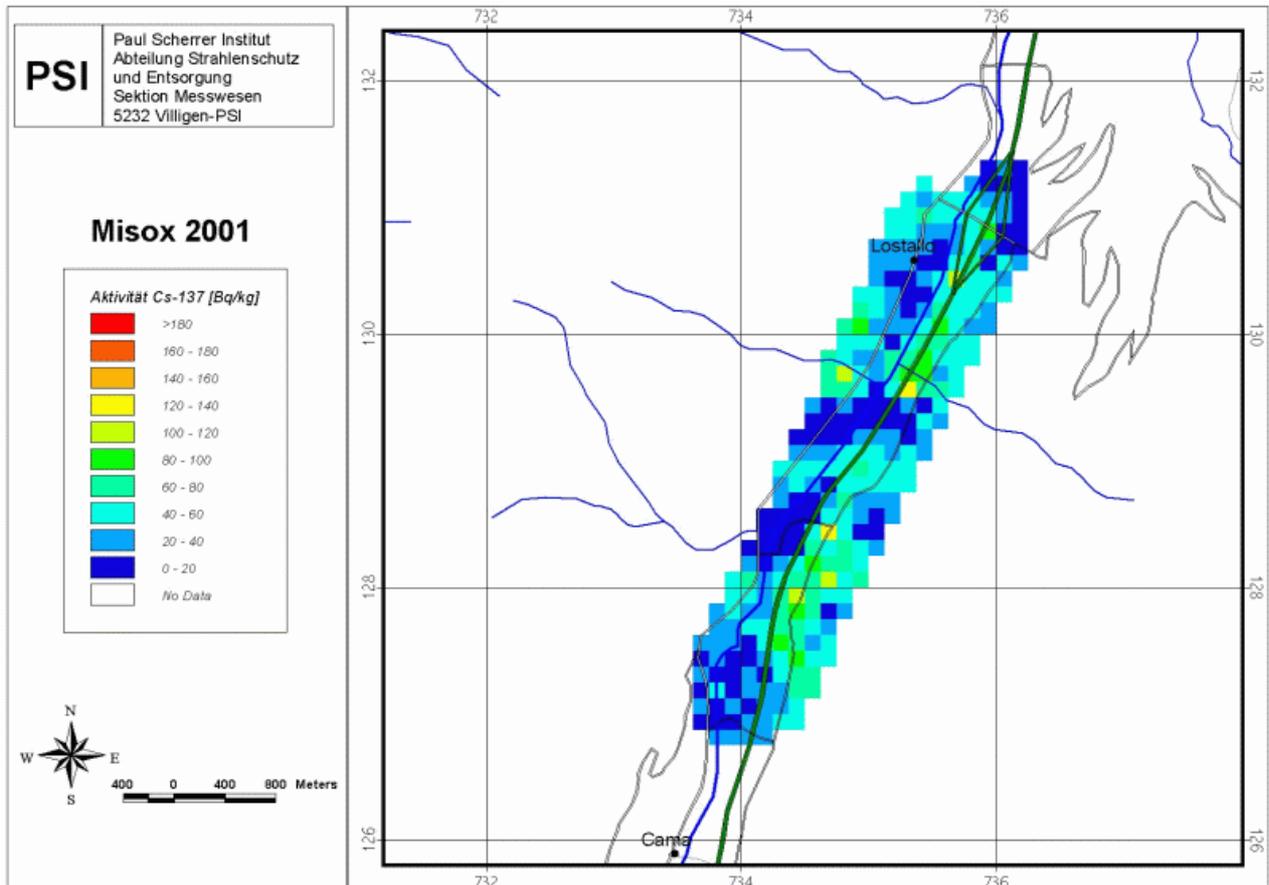
Beilage 11: Aktivitäten der ²³⁸U-Reihe im Messgebiet Marchairuz.



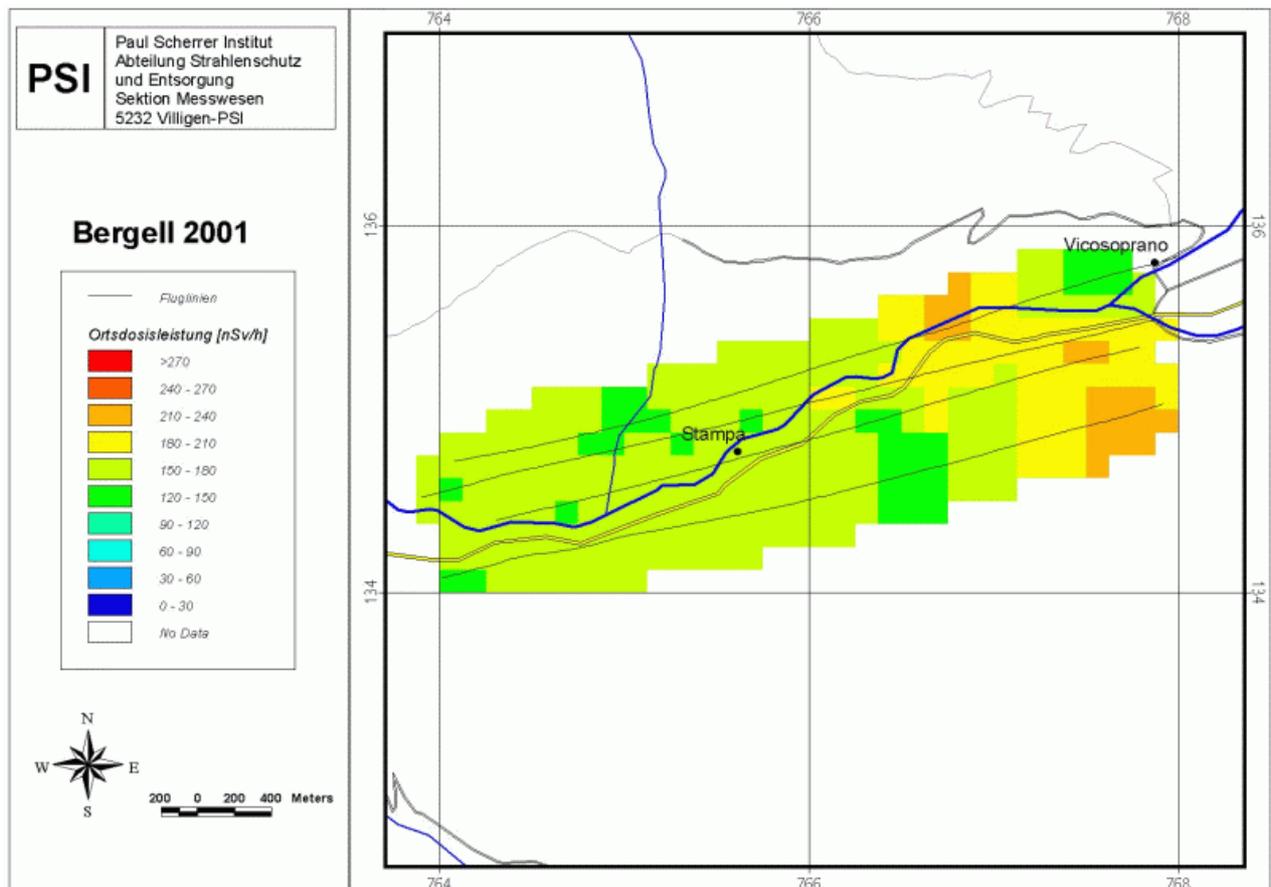
Beilage 12: ¹³⁷Cs Aktivitäten im Messgebiet Marchairuz



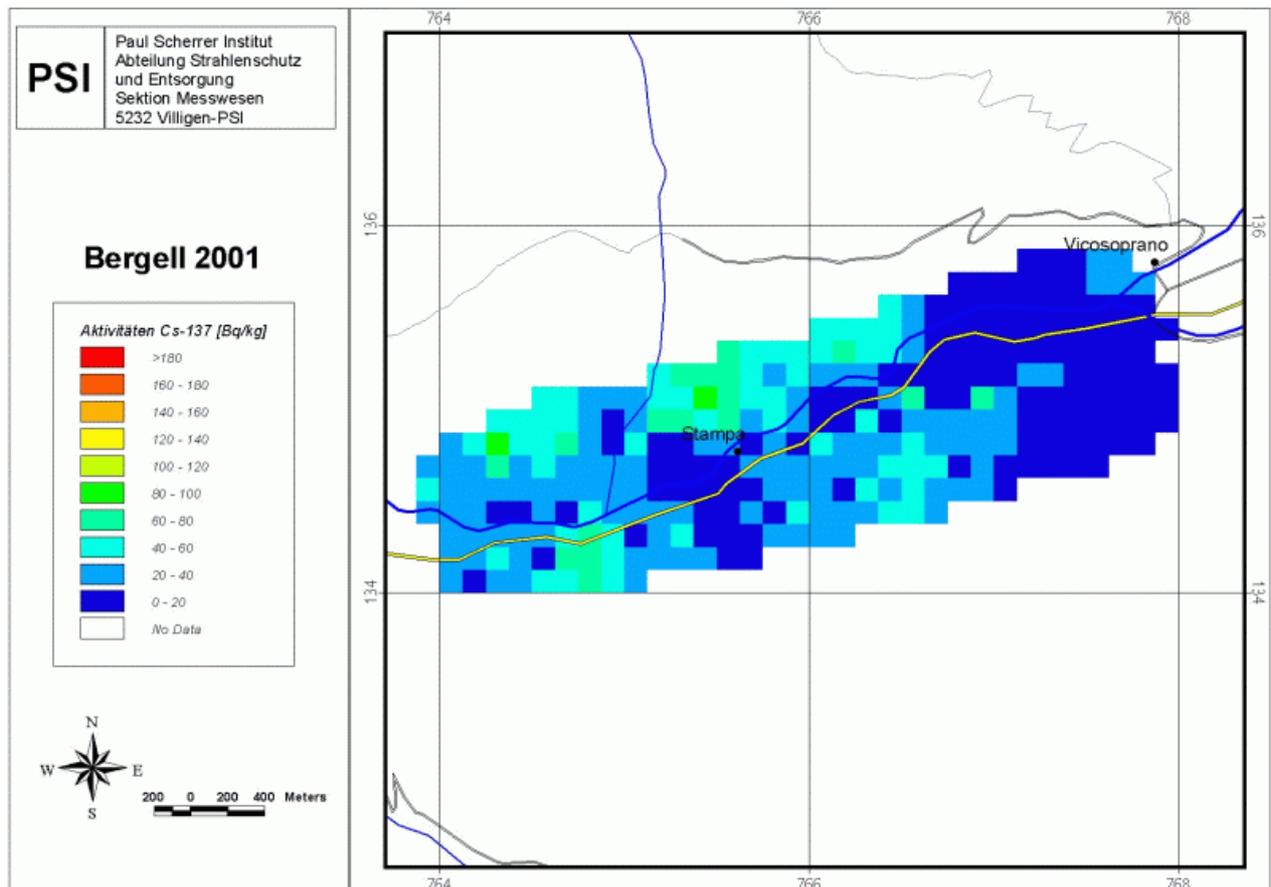
Beilage 13: Ortsdosisleistung im Messgebiet Misox.



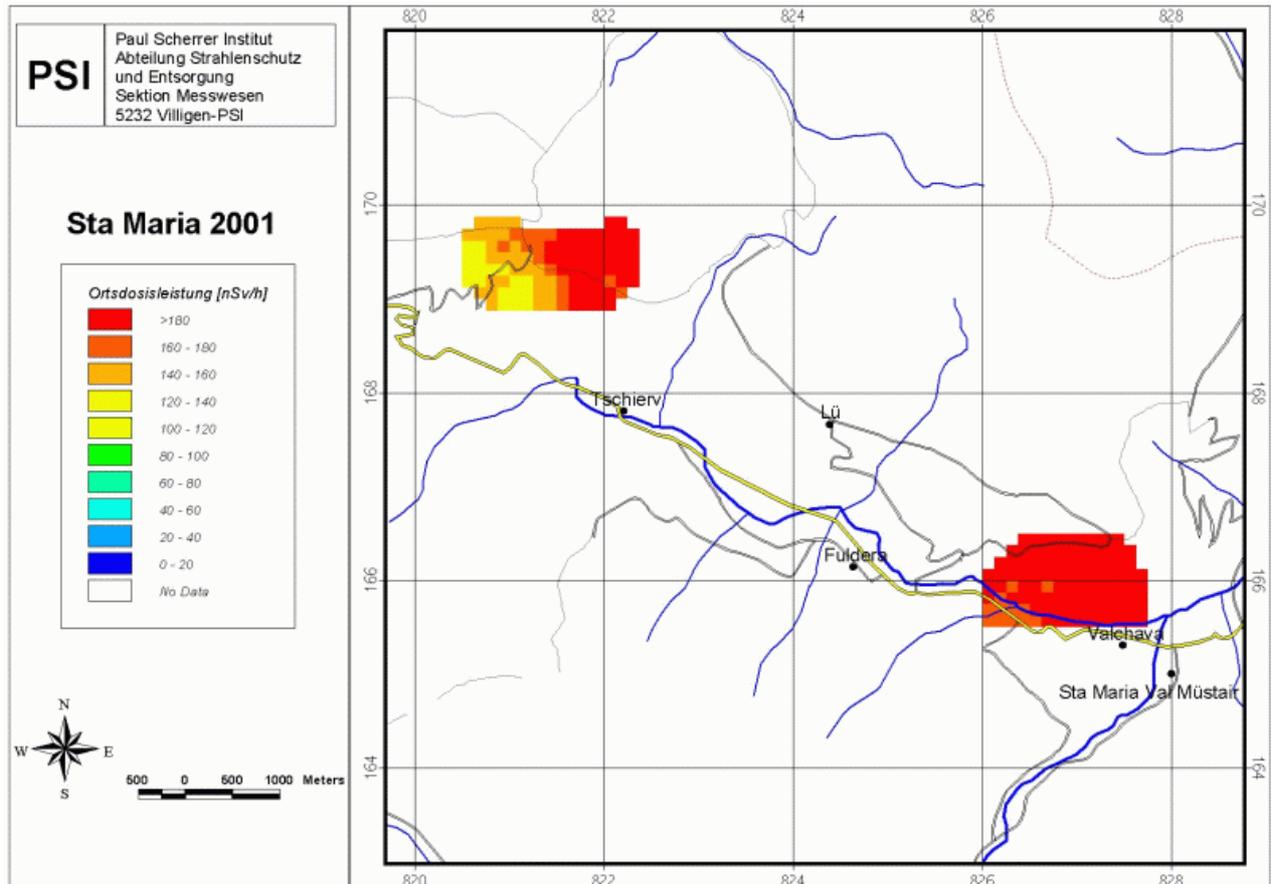
Beilage 14: ¹³⁷Cs Aktivitäten im Messgebiet Misox.



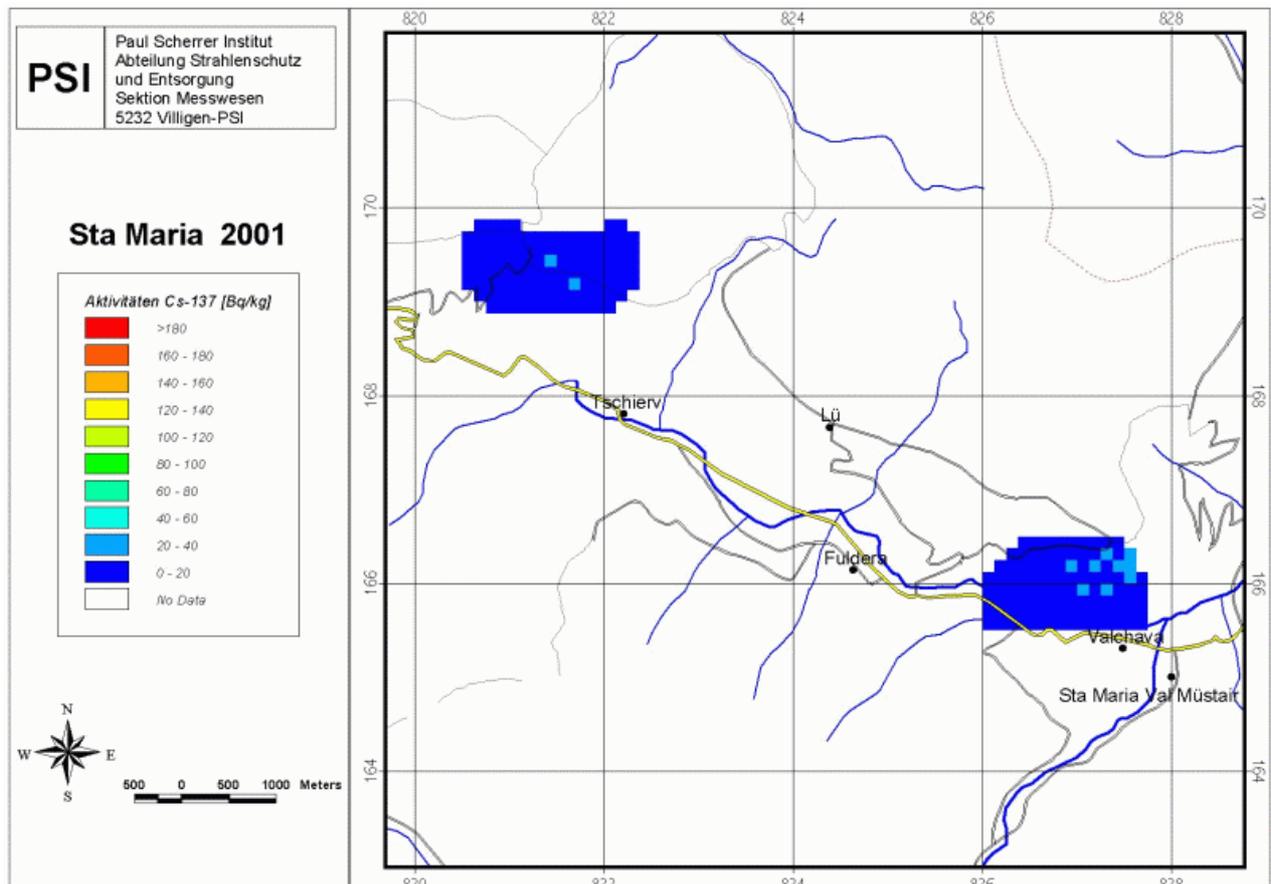
Beilage 15: Ortsdosisleistung im Messgebiet Bergell.



Beilage 16: ¹³⁷Cs Aktivitäten im Messgebiet Bergell.



Beilage 17: Ortsdosisleistung im Messgebiet Münstertal.



Beilage 18: ¹³⁷Cs Aktivitäten im Messgebiet Münstertal.