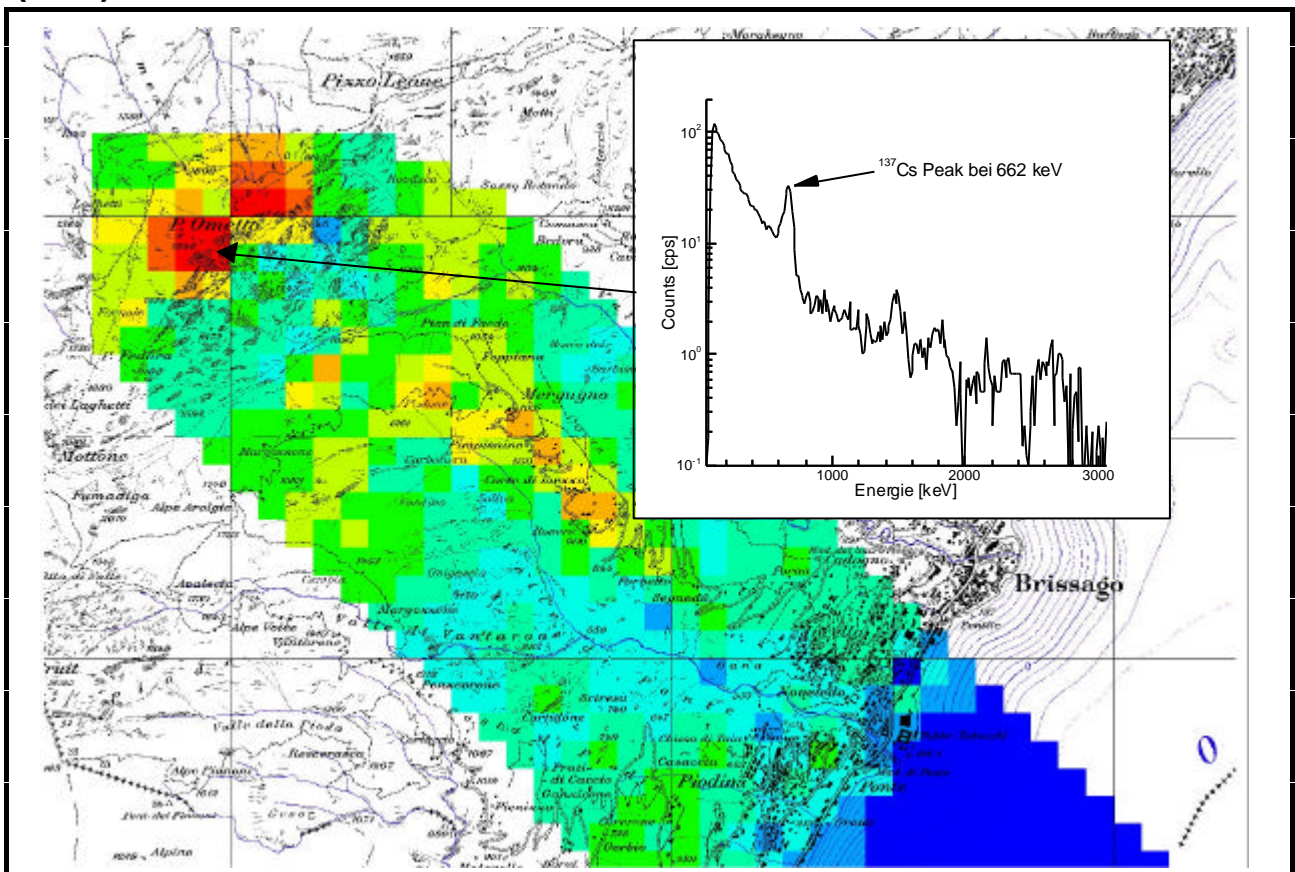


B. Bucher, L. Rybach, G. Schwarz, Chr. Bärlocher

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM99

Bericht für das Jahr 1999 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie
(FAR)



Aktivitäten von ^{137}Cs im Gebiet Brissago/TI. Kartendaten: PK25 © 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV 1172).

Januar 2000

Inhaltsverzeichnis

1 ZUSAMMENFASSUNG	1
2 EINLEITUNG	2
3 JAHR 2000 UND WEEK NUMBER ROLLOVER (WNRO) PROBLEMATIK	3
3.1 JAHR 2000 PROBLEMATIK.....	3
3.2 WEEK NUMBER ROLLOVER (WNRO) PROBLEMATIK	3
4 ONLINE-DATENAUSWERTUNG UND -DARSTELLUNG	4
4.1 KONZEPT:	4
4.2 STAND DER ARBEITEN.....	6
4.3 AUSBLICK.....	7
5 GEOGRAPHISCHE INFORMATIONSSYSTEME (GIS) IN DER AERORADIOMETRIE	8
5.1 DATENBASIS	8
5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE.....	9
6 ERGEBNISSE	11
6.1 KERNKRAFTWERKE MÜHLEBERG, GÖSGEN UND LEIBSTADT NORD	12
6.2 LUCENS	13
6.3 SCHWARZWALD	15
6.3.1 <i>Messgebiet</i>	15
6.3.2 <i>Aeroradiometrische Resultate</i>	15
6.3.3 <i>Ergebnisse der Bodenmessungen</i>	17
6.3.4 <i>Vergleich der Resultate</i>	19
6.4 TESSIN	22
6.4.1 <i>Centovalli</i>	22
6.4.2 <i>Brissago</i>	22
6.4.3 <i>Caslano</i>	23
6.4.4 <i>Breganzona</i>	24
7 FAZIT	25
8 AUSBLICK	25
9 LITERATURHINWEISE	26
10 BEILAGEN	27

1 Zusammenfassung

Die aeroradiometrischen Messflüge vom 21. Juni - 25. Juni 1999 hatten neben den turnusgemässen Messungen über den Kernkraftwerken Mühleberg und Gösgen Messflüge über dem Versuchsreaktor Lucens, über dem deutschen Gebiet beim Kernkraftwerk Leibstadt und in verschiedenen Gebieten des Tessin (Cäsium Hot-Spots) zum Inhalt. Höhepunkt der diesjährigen Messflüge war die gemeinsame Messübung mit dem deutschen Messteam im Schwarzwald. Daneben wurde auch der Ausbildungsstand des Messteams gefestigt. Die Flüge erfolgten im Rahmen der Übung ARM99 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. Zusätzlich wurde das benachbarte deutsche Gebiet in der Umgebung des Kernkraftwerkes Leibstadt gemessen. Die Resultate zeigen das gleiche Bild wie die Ergebnisse aus den letzten Jahren. So konnte das Kernkraftwerk Gösgen auf den Aktivitätskarten nicht erkannt werden. Die KKW Leibstadt und Mühleberg hingegen konnte aufgrund der hochenergetischen ^{16}N Strahlung klar identifiziert werden. Ausserhalb der Kernanlagen wurde jedoch keine erhöhte Radioaktivität festgestellt, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte. Der Aktivitätspegel hat sich im Vergleich zu den letzten Jahren kaum verändert.

Im Messgebiet des ehemaligen Kernkraftwerkes Lucens wurden über einem Nebengebäude erhöhte Zählraten im ^{137}Cs - und ^{60}Co -Fenster gemessen. Diese sind auf dort gelagerte, kontaminierte Materialien zurückzuführen, die aus dem ehemaligen Reaktor stammen. Im Winter 1999/2000 sollen diese radioaktiven Abfälle ins Zwischenlager in Würenlingen überführt werden. Ausser über diesem Gebäude wurde keine erhöhte Radioaktivität detektiert, die nicht auf den Atomwaffen- und Tschernobyl-Fallout zurückgeführt werden könnte.

Die gemeinsame Messung mit dem deutschen Aeroradiometrie Team des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) im Schwarzwald zeigte eine gute Übereinstimmung der kartierten Dosisleistungen der beiden Teams in Dynamik und Wertenniveau. Weitere detailliertere Vergleiche der Ergebnisse werden in einem gemeinsamen Bericht mit dem Team des BfS folgen. Die Unterschiede in den schweizerischen Aktivitätskarten für die natürlichen Radioisotope steht in klarem Zusammenhang zu den geologischen Einheiten im Messgebiet. Die von der SUER im Messgebiet durchgeführten Bodenmessungen bestätigten die verlässliche Kalibration des aeroradiometrischen Messsystems.

Die Suche nach ^{137}Cs Hot Spots in verschiedenen Messgebieten im Tessin war am Pizzo Ometto oberhalb von Brissago erfolgreich; hier wurde die wohl höchste ^{137}Cs Aktivität in der Schweiz gemessen. In den übrigen Gebieten wurden zwar im Vergleich zur Nordschweiz ebenfalls erhöhte Werte gemessen, die aber für das Tessin typisch sind.

Bei den diesjährigen Messungen konnte auch eine erste Version der neu entwickelten Online Auswertesoftware erfolgreich getestet werden. Seither konnte insbesondere in Bezug auf die Geschwindigkeit eine erhebliche Verbesserung erzielt werden.

2 Einleitung

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

Seit 1994 ist die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Als mögliche Einsatzfälle stehen Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Satellitenabstürze im Vordergrund. Der Einsatz erfolgt unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und die Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen.

Messgeräte

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

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

Messflüge

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

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

Auswertung

Die Auswertung der erfassten Daten erfolgt 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).

3 Jahr 2000 und Week Number Rollover (WNRO) Problematik

In den letzten Jahren wurde bekannt, dass das Jahr 2000 bei Computern und Software aufgrund der Jahreszahl zu Problemen beim Jahrtausendwechsel führen kann. Ebenfalls wurde bekannt, dass bei gewissen GPS Empfängern im August 1999 Probleme auftauchen können. Da die Zeit beim GPS in Wochen angegeben wird und bei diversen GPS Empfängern dafür zu wenig Speicherplatz zur Verfügung steht, stimmt ab einem bestimmten Zeitpunkt die GPS Zeit nicht mehr mit der realen Zeit überein. Dies führt dazu, dass der GPS Empfänger die Satelliten nicht dort findet, wo sie sich gemäss Almanach befinden müssten.

3.1 Jahr 2000 Problematik

Spektrometer GR-820: Laut Herstellerangaben sollte der Wechsel zum Jahr 2000 keine Probleme verursachen. Die Systemzeit weist jedoch nur eine zweistellige Jahreszahl auf. Diese springt nach 99 nicht auf 00, wie eigene Tests zeigten. Das Datum behält das Jahr 99. Man kann jedoch problemlos manuell auf das Jahr 00 umschalten. Da die Systemzeit des Spektrometers nicht verwendet wird, stellt das Jahr 2000 bezüglich Spektrometer kein Problem für das Messsystem dar.

PC Kontron 386: Der Übergang vom 31.12.99 zum 1.1.2000 verursacht gewisse Probleme. Beim Übergang im eingeschalteten Zustand wurden zwei unterschiedliche Reaktionen erkannt: Entweder springt das Datum richtig über den Jahreswechsel oder es bleibt am 31.12.1999 stehen. Erfolgt der Übergang im abgeschalteten Zustand wird beim Booten ein Realtime Clock Error gemeldet. Das Datum muss dann manuell auf das Jahr 2000 eingestellt werden. Die Datumsangabe kann vierstellig eingegeben werden, so dass auch das Jahr 2000 eingegeben werden kann. Dieser Prozess muss nur einmal erfolgen. Anschliessend wird das richtige Datum verwendet. Dieses Verhalten stimmt auch mit den Angaben des Herstellers überein.

Die Software zur Steuerung des Messsystems (Bbag.exe) wurde auf Probleme im Zusammenhang mit dem Jahreswechsel zum Jahr 2000 untersucht. Nach heutigem Wissensstand wird das Steuerungsprogramm auch nach dem Jahr 2000 einwandfrei funktionieren.

3.2 Week Number Rollover (WNRO) Problematik

GPS Receiver Trimble 4000 SST (Rack A): Nach Angaben des Herstellers stellt das Jahr 2000 sowie der GPS Week Number Rollover (WNRO) für diesen Receiver kein Problem dar. Wie sich aufgrund von Tests nach dem WNRO zeigte, arbeitet der Receiver einwandfrei.

GPS Receiver Trimble 4000 SE Land Surveyor II (Rack B): Nach Angaben des Herstellers ist die Jahr 2000 Kompatibilität sowie die Lösung des GPS Week Number Rollover (WNRO) durch ein Update der Firmware erreichbar. Die neue Firmware konnte über das Internet bezogen und das Update des Receivers und der entsprechenden Firmware vollzogen werden. Das Messsystem funktioniert auch mit der neuen GPS-Firmware einwandfrei. Das Jahr 2000 und der GPS Week Number Rollover sollten also keine Probleme mehr verursachen. Wie sich aufgrund von Tests nach dem WNRO zeigte, arbeitet der Receiver einwandfrei.

4 Online-Datenauswertung und -Darstellung

Die momentane Auswertesoftware *Gamero* weist für den Einsatz bei der Nationalen Alarmzentrale gewisse Mängel auf. Es sind vom Operator viele verschiedene Auswerteschritte durchzuführen. Dies kann vor allem unter Zeitdruck zu Fehlern führen, die nicht sofort erkannt werden. Auch ist es möglich, die selbe Korrektur zweimal am gleichen Datensatz durchzuführen. Diese Probleme können zu grösseren Verzögerungen in der Datenauswertung führen. Im weiteren ist es zur Zeit nicht möglich, die ausgewerteten Daten, die Grids oder die verschiedenen Karten einfach in ein anderes Programm (z. B. GIS, CHRIS) zu transferieren.

Hinzu kommt, dass während der Messung mit dem Helikopter eine Kontrolle der gemessenen Daten zur Zeit sehr schwierig ist. Die gemessenen Daten werden nur in tabellarischer Form auf dem Bildschirm ausgegeben. Da sich die Anzeige jede Sekunde ändert, ist es kaum möglich, Änderungen und Trends zu erkennen. Dies ist jedoch bei der Quellensuche sehr essentiell.

Mit einer Online - Datenauswertung und -darstellung sollen die Eingreifpunkte für den Operator wesentlich reduziert werden. Die ständig aufdatierte Darstellung der Daten in verschiedener Form soll eine bessere Überwachung der Messungen während des Fluges ermöglichen. Die ausgewerteten Daten sollen in einem Format vorliegen, das auch einfach von anderer Software erkannt und verarbeitet werden kann. Das momentane Messsystem soll aber auf der Seite der Hardware nicht wesentlich verändert werden.

4.1 Konzept:

Bei der Entwicklung einer Software zur Online - Datenauswertung besteht eine Zusammenarbeit mit Hans Mellander am Schwedischen Strahlenschutzinstitut (SSI). Während eines Arbeitsbesuches im Februar/März 99 wurde unter anderem das Grundkonzept erarbeitet (Abbildung 1). Dabei versuchten wir, die Struktur der Software so zu gestalten, dass der Einsatz mit verschiedenen Messsystemen möglich ist. Deshalb wurde die Software in zwei Hauptmodule aufgeteilt. Das Systemmodul liest die Daten vom Messsystem, speichert die Rohdaten, wertet sie aus und schreibt bestimmte, grösstenteils ausgewertete Daten in ein Bufferfile. Das Darstellungsmodul liest die Daten vom Bufferfile und stellt sie in verschiedenster Form auf dem Bildschirm dar. Das Darstellungsmodul kann für die verschiedensten Messsysteme beibehalten werden. Für Messsysteme mit mehr als 256 Kanäle sind gewisse, jedoch kleine Anpassungen nötig.

Hardware

Die Online - Datenauswertung erfolgt auf einem Laptop. So sind keine wesentlichen Änderungen am Messsystem notwendig. Die Anforderungen an einen neuen Laptop sind noch im Detail zu definieren. Die Leistung muss ausreichen, die anfallenden Daten innerhalb eines Sekundenintervalls auszuwerten und darzustellen. Dies sollte jedoch beim heutigen Stand der Computertechnik kein Problem darstellen.

Datentransfer Messsystem - Laptop

Die Daten werden über eine RS-232 Verbindung vom Messsystem auf den im Moment zur Verfügung stehenden Laptop (Toshiba Tecra 500, 120 MHz) übertragen. Nach Möglichkeit (Frage der im Messsystem zur Verfügung stehenden Zeit) sollen die selben Daten übermittelt werden, die auch auf die Memory - Karten abgespeichert werden (512 Bytes/s).

Software

Systemmodul:

Das System-Modul liest die Daten über einen seriellen Port ein und speichert die Rohdaten auf der Laptop-Harddisk. Es wird auch möglich sein einen Messflug im Replay-Modus durchlaufen zu

lassen. In diesem Fall dienen die Rohdatenfiles als Ausgangslage. Wie beim *Gamero* werden Korrekturen für Background (Helikopter, Cosmic, Radon- Tochterisotope), Compton- Streuung und variierende Flughöhe durchgeführt. Die ausgewerteten Daten werden zusammen mit anderen Angaben im Bufferfile gespeichert. Die Datenstruktur des Bufferfiles ist folgendermassen definiert:

```

Type
X - Koordinate      as  double [m]
Y - Koordinate      as  double [m]
Z - Koordinate      as  double [m]
Speed Horizontal    as  single [m/s]
Heading             as  single [degrees, 360°]
Ground Clearance    as  single [m]
Spektrum (1 to 256) as  single
Anzahl Variablen   as  integer
Index (1 to 20)    as  integer
Value (1 to 20)    as  single
End Type

```

Die Anzahl Variablen gibt an, wieviel Daten in den Datenfeldern Index() und Value() abgespeichert sind. Der Index() gibt an, um welche Variable aus einer „Nuklidtabelle“ es sich beim Wert Value() handelt.

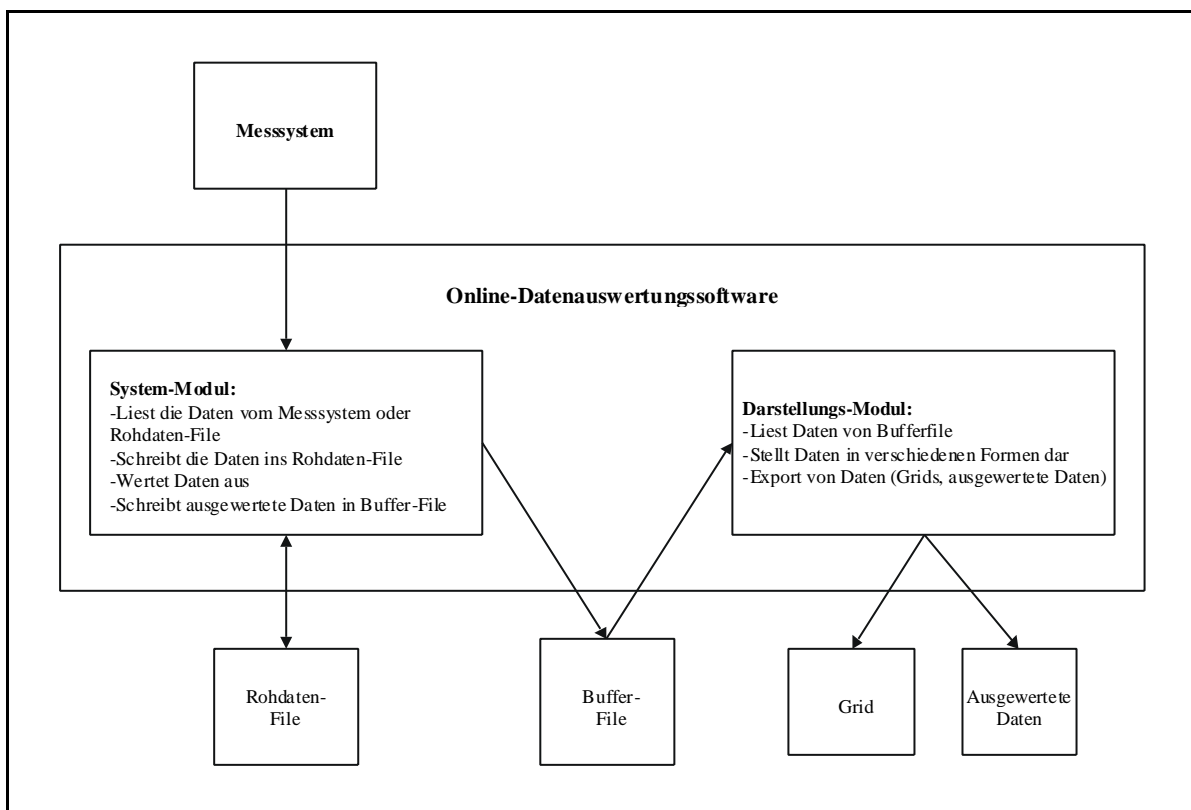


Abbildung 1: Konzept der Online-Datenauswertung und -darstellung.

Darstellungsmodul

Das Darstellungsmodul liest die Daten vom Bufferfile und stellt sie in verschiedener Form auf dem Bildschirm dar. Vier Formen sind zur Zeit vorgesehen:

Navigation: Darstellung der Flugparameter Fluggeschwindigkeit, Heading, Flughöhe; Abweichung von vorgegebenen Fluglinien, Soll-Heading zum nächsten Way-Point usw.

Aktivitäten: Tabellarische Darstellung der momentanen Werte der diversen Variablen, Mittelwert, Minimum, Maximum.

Graph: Darstellung des momentanen Spektrums, Profile von Variablen über rund 200 Messwerte, Darstellung der letzten rund 200 Spektren (Rainbow-Methode).

Map: Karte des Fluggebietes mit aktueller Position; Nachführung des Flugweges; schlussendlich Grid von Messwerten.

Die ausgewerteten Daten und Grids sollten in Formaten ausgegeben bzw. gespeichert werden, die einfach in andere Programme importiert bzw. in Datenbanken abgelegt werden können.

4.2 Stand der Arbeiten

Dank der Zusammenarbeit mit Hans Mellander vom SSI (Schwedisches Strahlenschutzinstitut) konnte bereits eine erste Version bei den diesjährigen Messflügen getestet werden.

Der System-Teil (Datentransfer und Datenauswertung) konnte auf die Messflüge hin soweit realisiert werden, dass erste Tests möglich waren. Sämtliche Daten (512 Bytes/s) werden über eine RS232 Verbindung vom Messsystem ausgelesen und auf der Festplatte des Laptops gespeichert. Das Datenformat auf dem Laptop entspricht demjenigen auf den Memory-Karten des Messsystems. Anschliessend werden die Daten in gleicher Art und Weise wie im Programm *Gamero* ausgewertet. Dies beinhaltet eine Background-Korrektur, ein Stripping und eine Höhenkorrektur. Die ausgewerteten Daten werden dann in das Bufferfile geschrieben. Neben den Aktivitäten für Kalium, Uran, Thorium und Cäsium in Bq/kg werden auch die Rohsummenfenster in cps (Total, Kalium, Uran, Thorium, Cäsium, Kobalt, MMGC1, MMGC2), die korrigierten Total- und Kobalt-Fensterwerte in cps, die Dosisleistung in nGy/h und der MMGC-Ratio in Prozent im Bufferfile abgelegt.

Bis zu den Messflügen konnte nur ein sehr langsamer Darstellungsteil entwickelt werden. Seither konnten jedoch einige Verbesserungen erzielt werden. Zwar wurden der Navigationsteil und die tabellarische Darstellung der Werte weggelassen, aber die Kartendarstellung und der Graph mit Spektrum und Profilen (Abbildung 2) konnte wesentlich beschleunigt werden. In der Karte werden neben geographischen Informationen auch der momentane Messpunkt und der Flugweg dargestellt. Im weiteren können verschiedene Grids in der Karte dargestellt werden, die laufend aufdatiert werden. Zwischen den verschiedenen Grids kann einfach hin und her gesprungen werden. Es ist auch möglich die Skalen der einzelnen Grids während der Messungen zu verändern. Am Ende der Messung werden die Grids einerseits als Bild im Bitmap-Format und andererseits als ASCII-File abgespeichert. Das Format des ASCII-File kann einfach in ArcView gelesen und integriert werden. Die dargestellte Karte kann direkt vom Programm aus auf einem beliebigen, mit dem Laptop verbundenen Drucker ausgedruckt werden.

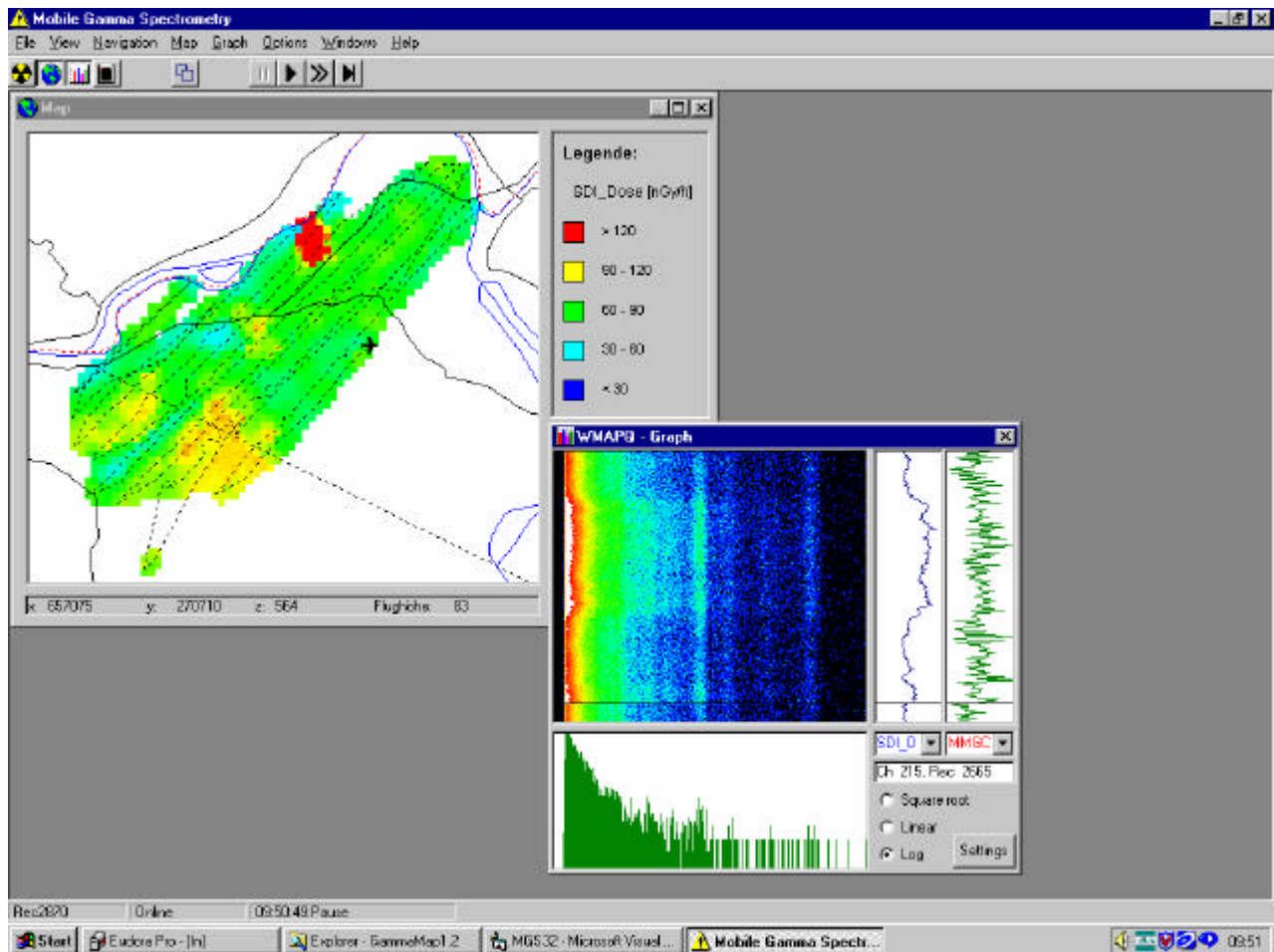


Abbildung 2: Erscheinungsbild der ersten Version der Online Datenauswertung und -darstellung. Zu sehen sind die Karte mit den geographischen Informationen, dem Flugweg (gestrichelte Linien) und der Pixelkarte der Dosisleistung sowie der Graph mit der Darstellung des Spektrums links unten (Energiebereich 40–3000 keV), der Regenbogenspektren der letzten rund 220 gemessene Spektren (links oben) und der Profile für Dosisleistung und MMGC-Ratio (rechts).

4.3 Ausblick

Trotz der erzielten Fortschritte bleibt noch viel zu tun. Als nächstes sollen die Karten der ganzen Schweiz (Vektordatensatz 1:200'000 der Landestopographie) in den Darstellungsteil integriert werden. Im weiteren gilt es, die Filestrukturen festzulegen, Export-Formate der Daten abzusprechen (Verbindung zu CHRIS der NAZ), mögliche Fehler abzufangen und die Bedienungsfreundlichkeit und -sicherheit möglichst zu erhöhen. Dabei geht es vor allem darum, Fehlmanipulationen zu verhindern. Dies soll durch eine grösstmögliche Automation des Programmes erreicht werden. Bis zu den nächsten Messflügen im Juni 2000 soll eine funktionstüchtige Version vorliegen, die dann im Feld getestet werden kann.

Neben der Online-Version, die für den Betrieb im Helikopter vorgesehen ist, soll auch eine Offline-Version erstellt werden. Diese soll das Auswerteprogramm *Gamero* ersetzen, welches von der Bedienungsfreundlichkeit her nicht mehr dem Stand der Technik entspricht.

5 Geographische Informationssysteme (GIS) in der Aeroradiometrie

Im Jahre 1999 wurde im Rahmen einer Diplomarbeit (Dominique Bächler) am Institut für Geophysik der ETH Zürich die Möglichkeiten und Grenzen von Geographischen Informationssystemen (GIS) in der Aeroradiometrie untersucht (Baechler 1999). Dabei wurde speziell auf den Aufbau der Datenbasis, die Darstellung von aeroradiometrischen Daten und die räumliche Analyse aeroradiometrischer Datensätze eingegangen. Die kurze Dauer der Diplomarbeit reichte nur für eine Pilotstudie. Trotzdem waren die Resultate vielversprechend, vor allem in Hinblick auf räumliche Analysen.

5.1 Datenbasis

Aus zeitlichen Gründen konnte für die Pilotstudie keine Datenbank für die aeroradiometrischen Daten entworfen und realisiert werden. Deshalb entschieden wir uns für den Aufbau einer Datenbasis. Dabei wurde eine Filestruktur entworfen, die eine sinnvolle Ordnung der verschiedenen Datensätze und einen schnellen Zugriff von der GIS-Software aus erlaubt. Abbildung 3 zeigt die Struktur unserer Datenbasis. Innerhalb der Pilotstudie konzentrierten wir uns auf die Datensätze in der Umgebung der Kernkraftwerke.

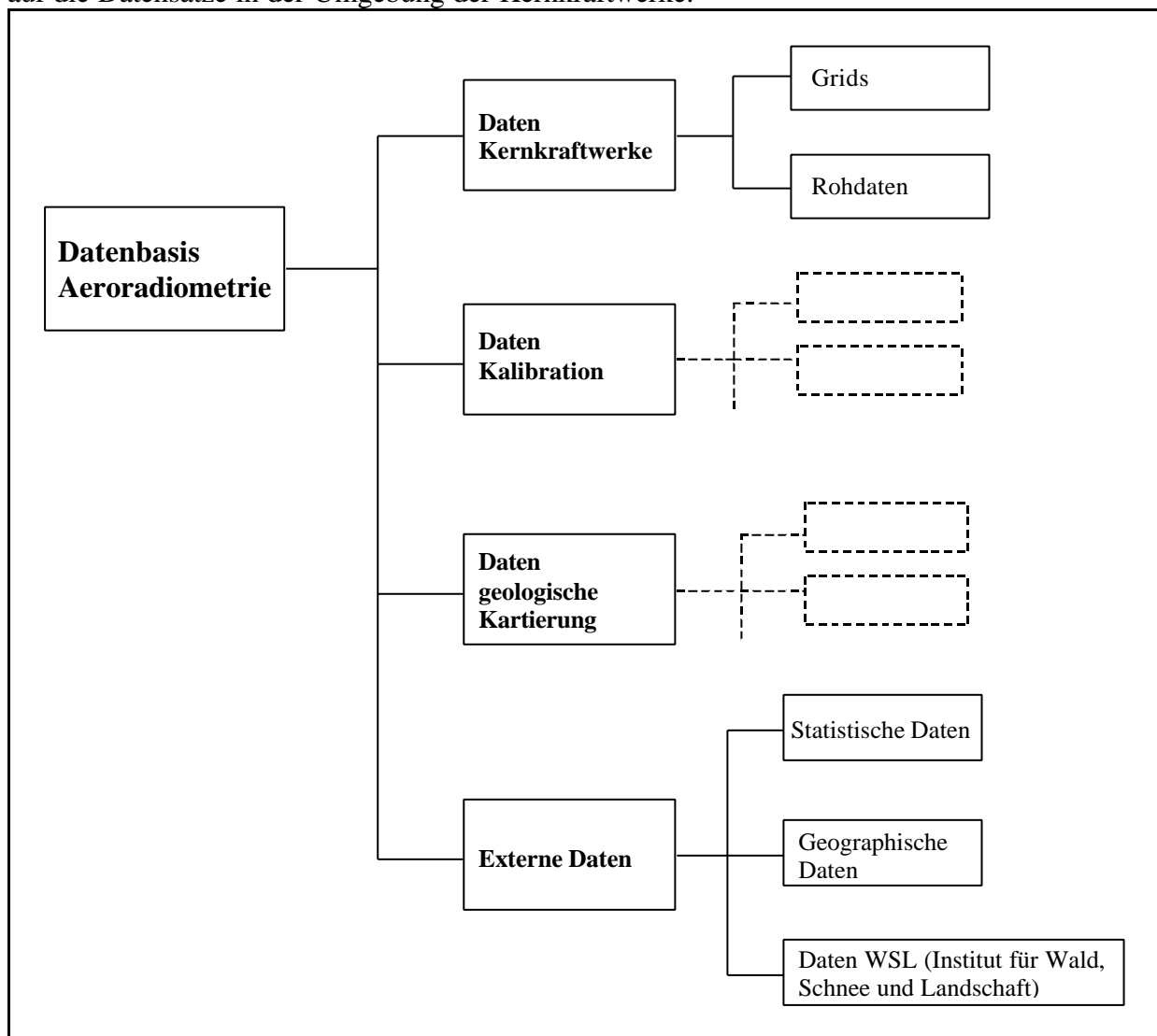


Abbildung 3: Struktur der Datenbasis Aeroradiometrie, wie sie innerhalb der Pilotstudie erstellt wurde. Die gestrichelt dargestellten Teile sind geplant, aber noch nicht erstellt.

Ein wichtiger Bestandteil beim Aufbau einer Datenbasis sind auch die sogenannten Metadaten. Diese beschreiben die Inhalte der verschiedenen Datensätze. Für jeden Datensatz existiert ein entsprechender Metadatenatz, der Auskunft gibt über Koordinaten, Einheiten, Grösse des Messgebietes usw. Die Files in der Datenbasis können direkt von ArcView aus geöffnet und dargestellt werden. Es ist auch möglich mit den Datensätzen räumliche Analysen durchzuführen, d.h. die Ergebnisse aus den aeroradiometrischen Messungen können mit anderen raumbezogenen Daten und Informationen kombiniert, verknüpft und auf Korrelationen hin untersucht werden. Diese Analysen können neue Erkenntnisse liefern, die auch für die Weiterentwicklung des Messsystems und der Datenauswertungstechnik wichtig sind.

5.2 Anwendungsbeispiele

Um einen kurzen Einblick in die Möglichkeiten des GIS in der Aeroradiometrie zu geben, sollen hier kurz zwei Beispiele erwähnt werden. Im ersten Beispiel geht es um die Darstellung der Daten im GIS. Datensätze verschiedenster Herkunft und Inhaltes können in einem GIS gleichzeitig dargestellt werden, falls sie einen räumlichen Bezugspunkt haben. Da unsere aeroradiometrischen Messungen räumlich definiert sind, können wir sie also mit anderen Informationen kombinieren. In der Abbildung 4 ist das Grid der Total Counts zusammen mit geographischen Informationen der Pixelkarte 1:25'000 der Landestopographie dargestellt. Die Orientierung im gemessenen Grid wird wesentlich erleichtert, da man sich an der Geographie ‚festhalten‘ kann.

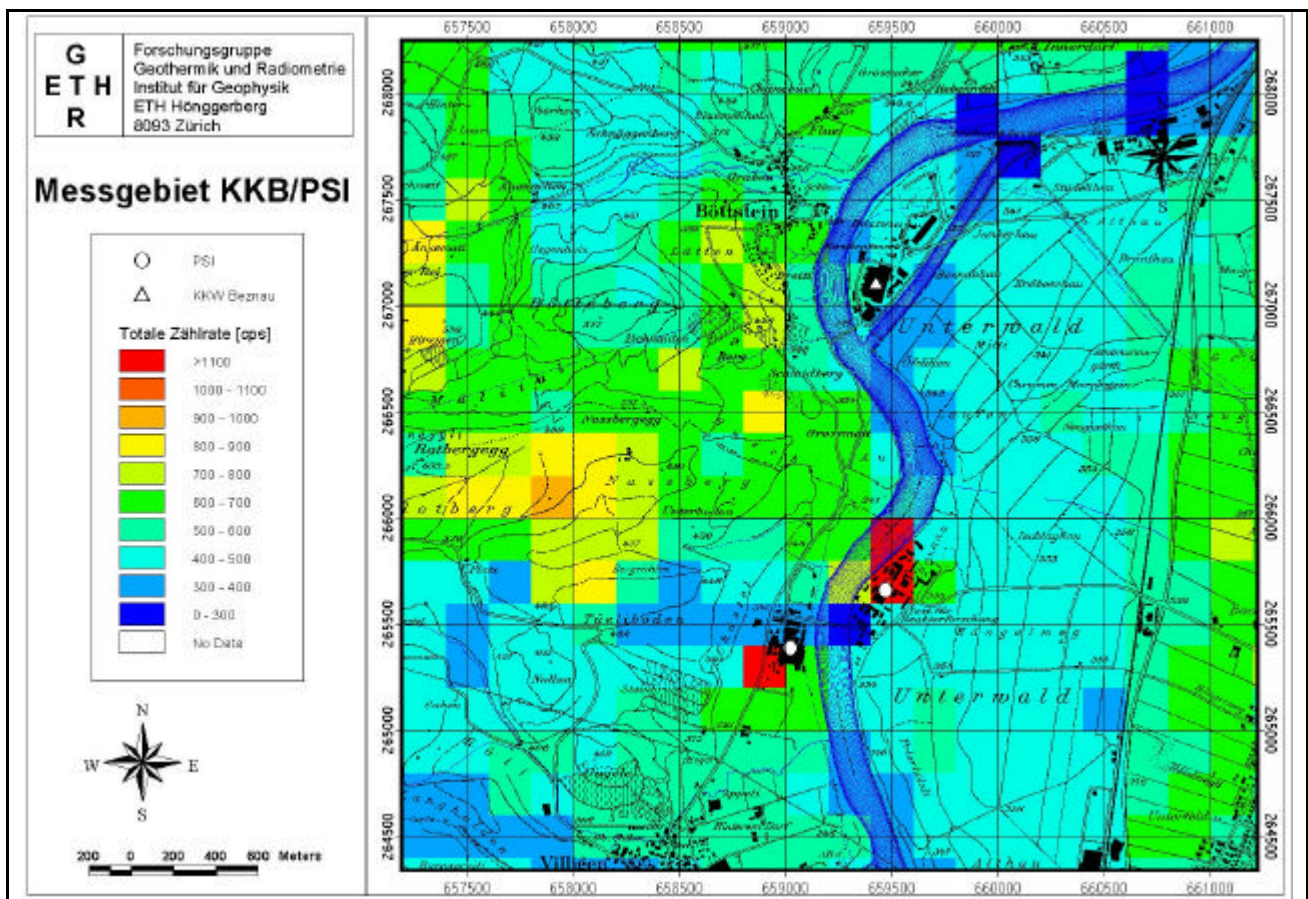


Abbildung 4: Ausschnitt aus dem Grid der Total Counts im Gebiet KKW Beznau (weisses Dreieck) und PSI (weisse Kreise) vom Survey 1998. Dem Grid sind Teile der Pixelkarte 1:25'000 überlagert (Situation und Gewässer). Kartendaten: PK25 © 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV 1172).

Die Kombination der verschiedenen räumlichen Datensätze kann auch die Interpretation der Messresultate wesentlich vereinfachen. So kann man in Abbildung 4 die beiden Gebiete mit

erhöhten Zählraten (rot) klar dem PSI Ost und dem PSI West zuordnen. Klar zu erkennen ist auch, dass beim Kernkraftwerk Beznau keine erhöhte Strahlung gemessen wurde.

Beim zweiten Anwendungsbeispiel geht es um die räumliche Analyse aeroradiometrischer Daten. Dabei wurde die gemessene Radarhöhe auf ihre Abhängigkeit von Wald und Wiese untersucht. Denn es ist möglich, dass das Blätterwerk der Bäume bei den Radarhöhenmessungen als ‚Boden‘ wirkt. Dies würde dann vor allem bei der Höhenkorrektur der Daten eine Rolle spielen: eine scheinbar zu geringe Flughöhe würde zu tiefe Werte verursachen. Um dies zu untersuchen, wurde in einem ersten Schritt aus GPS-Höhe und Radarhöhe ein Höhenmodell für die Topographie konstruiert. Dieses Höhenmodell wurde dann vom digitalen Höhenmodell 25 (DHM25) des Bundesamtes für Landestopographie subtrahiert. Aus diesem Differenzengrid wurden dann die Zellen über Waldgebieten und die Zellen über Wiesen selektioniert und in separate Files gespeichert. Für die Auswahl wurden die Waldgebiete aus den Pixelkarten 1:25'000 des Bundesamtes für Landestopographie verwendet. Die Verteilung der Differenzen zwischen DHM25 und Höhenmodell aus Radar- und GPS-Höhe über Wald und über Wiese ist aus Abbildung 5 ersichtlich.

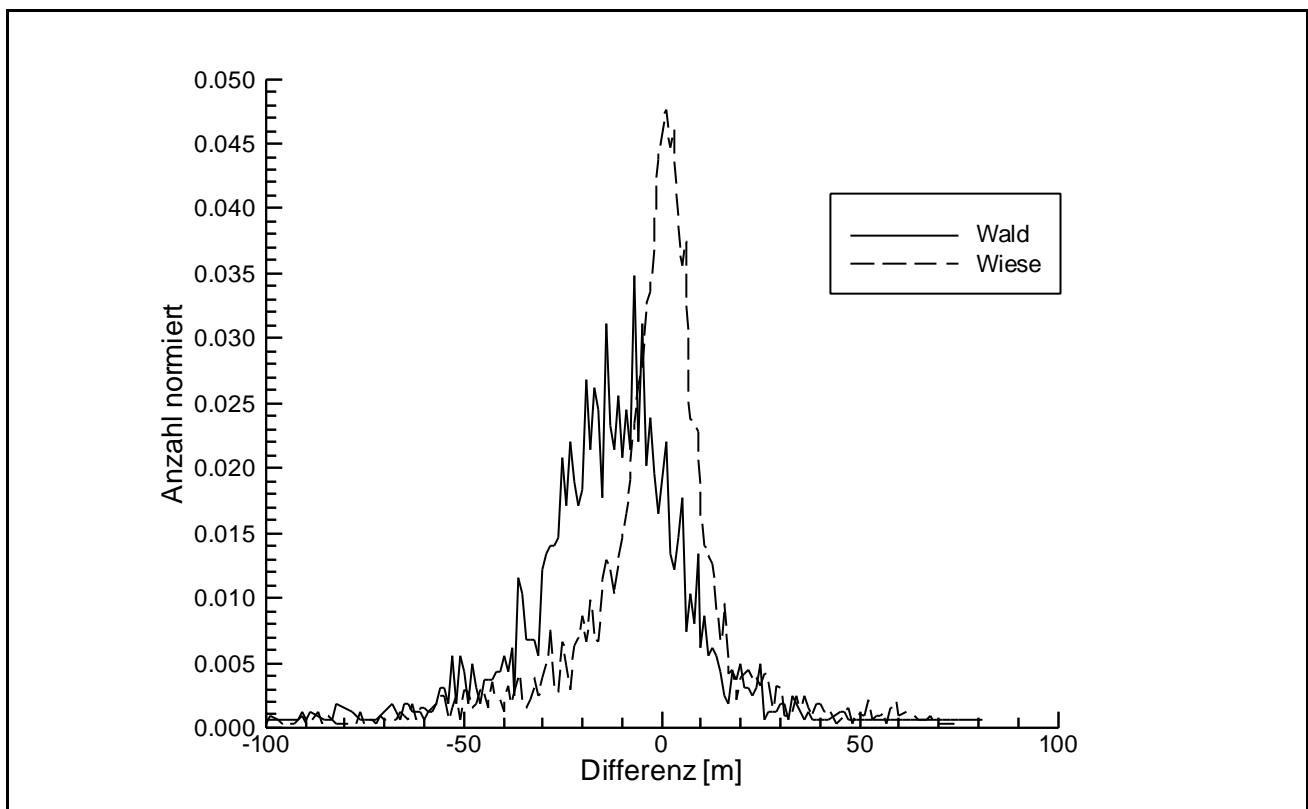


Abbildung 5: Normierte Verteilung der Differenzen zwischen DHM25 und Höhenmodell aus Radar- und GPS-Höhe.

Die Verteilung über Wiese weist ein Maximum über Null auf. Dies weist auf eine sehr gute Übereinstimmung der beiden Höhenmodell für Gebiete mit Wiesen hin. Über Wald verschiebt sich das Maximum der Verteilung in den negativen Bereich. Dies bedeutet, dass das Höhenmodell aus GPS- und Radarhöhe bei Gebieten mit Wald eher zu hohe Werte aufweist. Also wird über Wald eher eine zu geringe Radarhöhe gemessen. Da aber im untersuchten Messgebiet der Wald häufig in Gebieten mit starker Topographie auftritt, ist eine Beeinflussung durch den Lagewinkel des Helikopters beim Sinken und Steigen nicht auszuschliessen. Weitere Analysen werden deshalb noch folgen.

6 Ergebnisse

Die Messungen von 1999 erfolgten mit einem Super-Puma der Armee in der Zeit vom 21. 6. 1999 bis zum 24. 6. 1999. Die Messflüge standen unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ).

Im Auftrag der HSK wurden die Messgebiete KKM und KKG bereits mehrmals vermessen. Im Jahre 1999 wurden jedoch zum Teil andere Flugparameter gewählt, da die Piloten ein portables GPS - Gerät zur Navigation verwendeten. Dies hatte vor allem Auswirkungen auf den Linienabstand (Tabelle 1). Neben diesen Routinemessgebieten wurde das Gebiet um den ehemaligen Versuchsreaktor Lucens vermessen. Zum ersten Mal wurde im Bereich des KKW Leibstadt der nördliche Teil auf deutschem Hoheitsgebiet befliegen. Bei einer gemeinsamen Messübung im Schwarzwald (D) konnte die Zusammenarbeit mit den deutschen Kollegen vertieft werden. Schliesslich wurden noch verschiedene kleinere Gebiete im Tessin vermessen, wo Cäsium Hot-Spots vermutet wurden. Die Daten über diese Flüge sind in der (Tabelle 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]
Leibstadt	235	16	100	45/225	30	1
Mühleberg	235	70	100	45/225	30	1
Gösgen	250	40	100	0/180	30	1
Lucens	235	13	100	45/225	30	1
Schwarzwald	250	81	100	90/270	30	1
Centovalli (TI)	250	6	100	0/180	30	1
Brissago (TI)	235	6	100	135/315	30	1
Caslano (TI)	250	4.5	100	0/180	30	1
Breganzona (TI)	250	2.5	100	75/255	30	1

Tabelle 2: Zusammenstellung der Flugdaten der Übung ARM99.

Messgebiet	Flug-Nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
Leibstadt	9906	22.6.99	1-13	2162	69
Mühleberg	9902	21.6.99	1-8	2570	238
	9903	21.6.99	9-31	4510	
Gösgen	9904	22.6.99	12-18	1564	126
	9907	22.6.99	3-11; 20-26	2031	
Lucens	9901	21.6.99	1-15	1799	53
Schwarzwald	9908	23.6.99	29-37	2426	321
	9910		19-28	2411	
	9911		1-10	2572	
	9912		11-18	1949	
Centovalli (TI)	9915	24.6.99	1-7	785	28
Brissago (TI)	9916	24.6.99	1-7	1635	32
Caslano (TI)	9917	24.6.99	1-10	653	21
Breganzona (TI)	9917	24.6.99	1-6	400	13

6.1 Kernkraftwerke Mühleberg, Gösgen und Leibstadt Nord

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

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

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

Wie in den vergangenen Jahren (Schwarz et al. 1989-1996; Bucher et al. 1998-1999) können topographische Merkmale in der Dosisleistungskarte erkannt werden. So sind über Flüssen und Wäldern generell tiefere Werte bestimmt worden als über Wiesen und Ackerland. Das Wertenniveau der Messungen 1999 liegt innerhalb der Fehlergrenzen im gleichen Bereich wie in den früheren Jahren. Die Dosisleistungen bei den KKW Mühleberg und Leibstadt sind nur eine grobe Näherung an den tatsächlichen Wert, da weder die Quellgeometrie noch der grosse Anteil an hochenergetischer Strahlung berücksichtigt wurden.

Beilagen KKM, KKG und KKL

Beilage 1: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet KKM. Die Lage des KKM ist in der Karte mit einem Dreieck bezeichnet. Deutlich ist das KKM zu erkennen. Ebenfalls korrelieren Flüsse und Wälder mit eher tiefen Werten und Wiesen und Ackerland mit höheren Werten. Dies ist auf die grössere Absorption und Abschwächung der Bodenstrahlung durch Biomasse bzw. Wasser zurückzuführen.

Beilage 2: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg]. Das Kernkraftwerk KKM ist auf dieser Karte nicht zu erkennen, da beim Stripping aufgrund der hochenergetischen ^{16}N Strahlung eine Überkorrektur erfolgt.

Beilage 3: MMGC-Ratio [%] im Gebiet KKM. Aufgrund der Überkorrektur im tieferenergetischen Bereich (verursacht durch hohe Zählraten im kosmischen Fenster, die von

der hochenergetischen ^{16}N Strahlung stammen) kann man das KKM anhand eines Minimums in der MMGC-Karte identifizieren.

Beilage 4: Modifizierter MMGC-Ratio [%] im Messgebiet KKM. In dieser Karte ist das KKM aufgrund der hohen Werte zu erkennen.

Beilage 5: Terrestrische Dosisleistung [nGy/h] und Fluglinien im Messgebiet KKG. Die Lage des KKG ist in der Karte mit einem Punkt bezeichnet. Das KKG ist nicht zu erkennen. Flüsse und Wälder korrelieren mit eher tiefen Werten, Wiesen und Ackerland eher mit höheren Werten. Dies ist auf die grössere Absorption und Abschwächung der Bodenstrahlung durch Biomasse bzw. Wasser zurückzuführen.

Beilage 6: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg]. Das Kernkraftwerk KKG ist auf dieser Karte nicht zu erkennen.

Beilage 7: MMGC-Ratio [%] im Gebiet KKG. Das Kernkraftwerk KKG ist auf dieser Karte nicht zu erkennen.

Beilage 8: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet KKL. Die Lage des KKL ist in der Karte mit einem Punkt bezeichnet. Deutlich ist das KKL zu erkennen. Ebenfalls korrelieren Flüsse und Wälder mit eher tiefen Werten und Wiesen und Ackerland mit höheren Werten. Dies ist auf die grössere Absorption und Abschwächung der Bodenstrahlung durch Biomasse bzw. Wasser zurückzuführen.

Beilage 9: Aktivitätskarte von ^{137}Cs [Bq/kg]. Das Kernkraftwerk KKL ist auf dieser Karte nicht zu erkennen.

Beilage 10: Modifizierter MMGC-Ratio [%] im Messgebiet KKL. In dieser Karte ist das KKL aufgrund der hohen Werte zu erkennen.

6.2 Lucens

In Lucens wurde in einer unterirdischen Kaverne zwischen 1962 und 1966 ein Versuchskernkraftwerk gebaut. Bereits nach kurzer Betriebsdauer ereignete sich jedoch am 21. Januar 1969 ein Zwischenfall, bei dem es zur Schmelze eines Brennelementes kam. Dies führte schliesslich zur Abgabe von radioaktiven Spaltprodukten in die Reaktorkaverne (UKL 1979). Nach weitreichenden Untersuchungen und Demontage von Anlagenteilen wurde die Kaverne daraufhin verschlossen und der Standort aufgegeben. Heute befinden sich noch einige Gebäude am ehemaligen Eingang zur Kaverne. Teilweise wurden dort auch kontaminierte Anlagenteile aus dem Versuchskraftwerk gelagert. Ziel des Messfluges über dem Gebiet Lucens war es herauszufinden, ob vom ehemaligen Kraftwerk Radioaktivität an die Umwelt abgegeben wurde oder wird und wie sich die allgemeine Strahlungssituation präsentiert.

Neben einer Dosisleistungskarte (nGy/h) wurden auch Karten für die Aktivität (Bq/kg) von ^{137}Cs und für die Zählraten von ^{60}Co erstellt. Schliesslich wurde auch eine Karte für den MMGC-Ratio (%) erzeugt. Die Karten wurden in Schweizerischen Landeskoordinaten ausgeführt. Die Pixelgrösse beträgt 125 x 125 m.

Bis auf das Areal des Versuchskraftwerkes wurden durchwegs natürliche Strahlungsquellen detektiert. Auf dem Areal des ehemaligen Krafterkes sind bei einem Nebengebäude beim Eingang zum ehemaligen Reaktor erhöhte Strahlungswerte zu erkennen (Abbildung 6). Diese erhöhten Werte werden vor allem durch ^{137}Cs und ^{60}Co verursacht. Dies zeigte sich bei der Analyse der Spektren. In Abbildung 7 sind links die Summenspektren von Messpunkten ausserhalb des Kraftwerkareals und von Messpunkten aus dem Gebiet mit erhöhten Messwerten miteinander verglichen. Dabei ist der Peak bei 660 keV, verursacht durch ^{137}Cs , sehr gut zu erkennen. Ebenfalls gut, aber etwas weniger ausgeprägt ist der Doppelpeak von ^{60}Co bei 1'173 keV und

1'332 keV ersichtlich. Dies ist sehr wahrscheinlich auf die kürzere Halbwertszeit von ^{60}Co (5.27 Jahre) im Vergleich zu derjenigen von ^{137}Cs (30.02 Jahre) zurückzuführen.

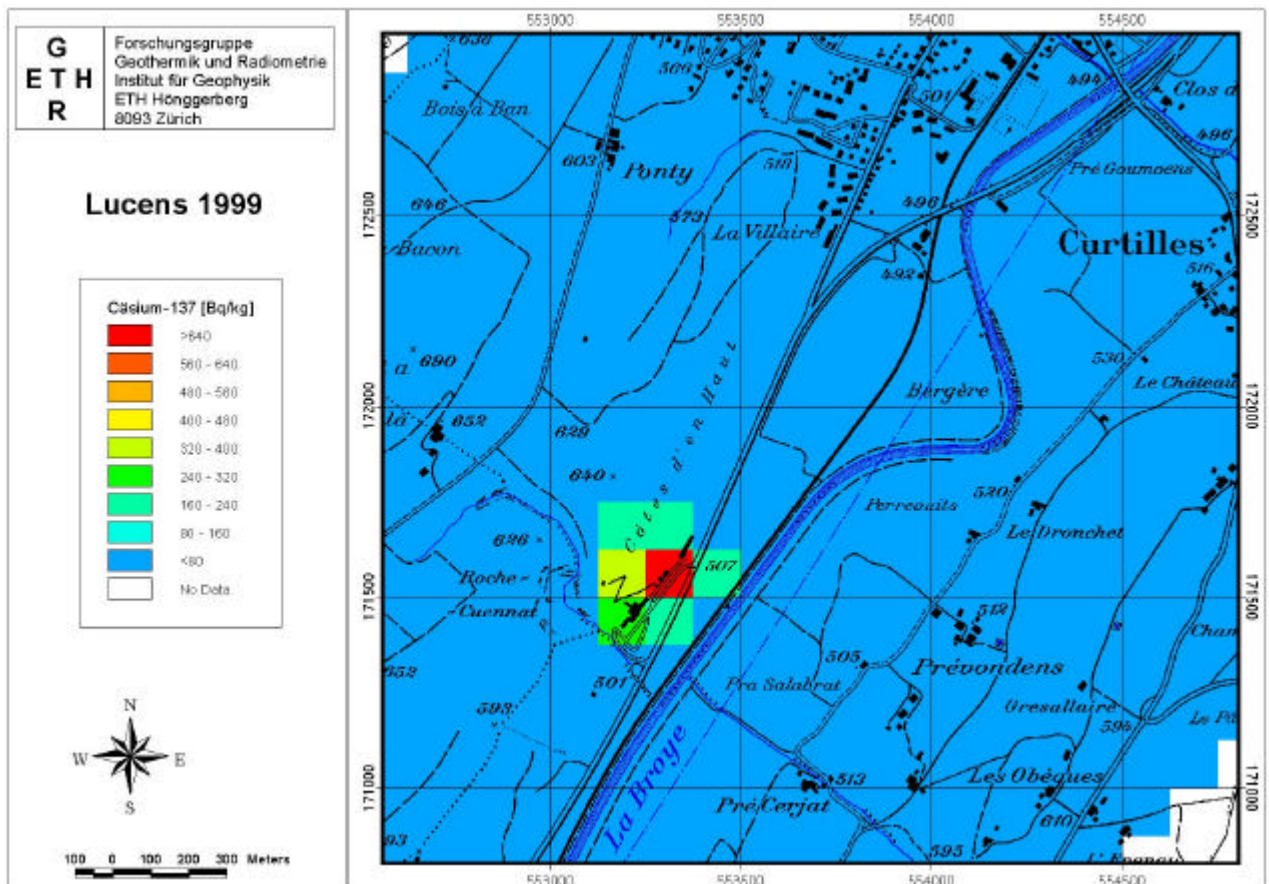


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Grid für die Aktivität von ^{137}Cs dargestellt zusammen mit der geographischen Situation. Die höchsten Werte für die Cäsiumaktivität liegen nicht beim Hauptgebäude beim Eingang zum ehemaligen Kraftwerk, sondern bei einem der kleineren Nebengebäude. Die im Grid dargestellten Aktivitäten stimmen aufgrund der bei der Berechnung gemachten Annahmen bei den Spitzenwerten nicht exakt überein. Kartendaten: PK25 © 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1172).

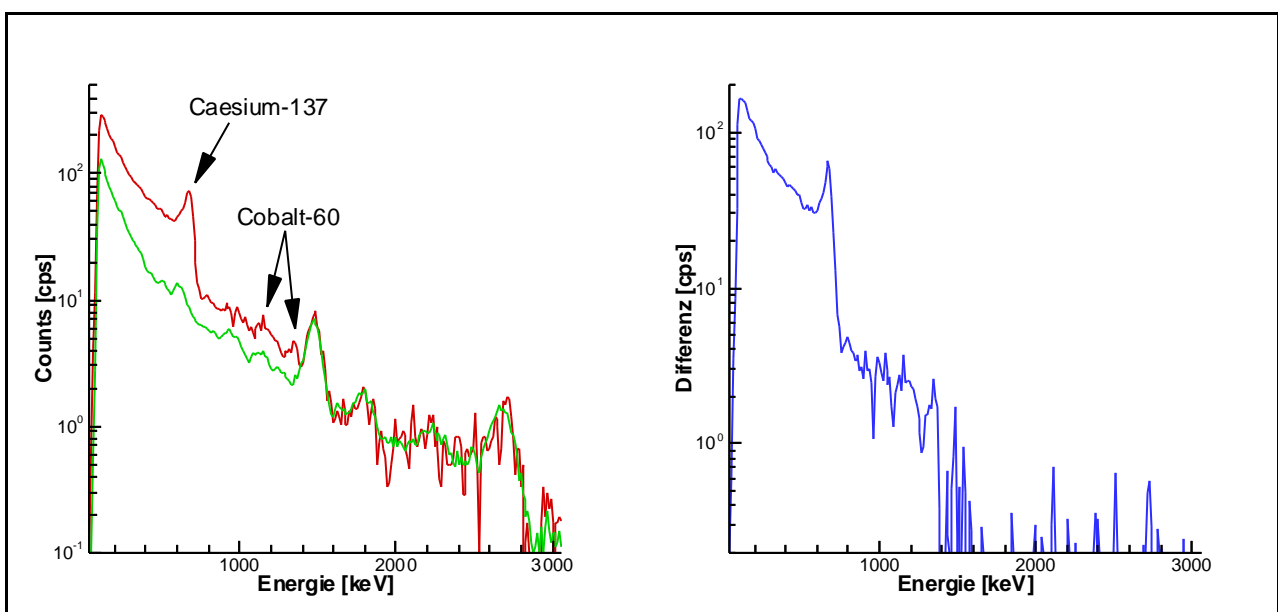


Abbildung 7: Links sind die Summenspektren von Messpunkten ausserhalb des Kraftwerkareals (grün, Spektrum 1) und von Messpunkten im Gebiet mit erhöhten Messwerten (rot, Spektrum 2) dargestellt. Rechts ist die Differenz zwischen den beiden Spektren aufgezeichnet. Dabei ist ein erster Anstieg bei rund 1.4 MeV zu sehen (^{60}Co).

Die erhöhten ^{137}Cs und ^{60}Co Werte bei diesem Gebäude auf dem Areal des ehemaligen Versuchskraftwerkes sind auf gelagerte, verstrahlte Anlageteile aus dem Kraftwerk zurückzuführen. Diese waren nach dem Unfall im Jahre 1969 demontiert worden. Im Winter 1999/2000 wird dieser radioaktive Abfall nun ins Zwischenlager in Würenlingen (ZWILAG) transportiert. Im nächsten Sommer sollte deshalb beim ehemaligen Kraftwerk keine erhöhte Strahlung mehr gemessen werden können. Aus diesem Grund soll die Messung über Lucens nächstes Jahr wiederholt werden.

Beilagen ehemaliges Kernkraftwerk Lucens

Beilage 11: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet Lucens. Die Lage des Werkes ist in der Karte mit einem Kreis bezeichnet. Deutlich sind unmittelbar daneben erhöhte Werte zu erkennen.

Beilage 12: Zählraten im ^{60}Co -Fenster [cps]. Unmittelbar neben dem Gebäude zum Eingang der Kaverne sind erhöhte Werte zu erkennen.

6.3 Schwarzwald

In diesem Jahr konnte erstmals ein gemeinsamer Messflug mit dem deutschen Messteam durchgeführt werden. Dieser Flug ergänzte die bisherigen gemeinsamen Messübungen mit den französischen und österreichischen Messteams, so dass wir nun mit allen Nachbarländern, in denen solche Messequipen bestehen, mindestens einen Vergleichsflug haben.

6.3.1 Messgebiet

Das Messgebiet wurde aufgrund der Uranlagerstätte Krunkelbach bei Menzenschwand und der Geologie ausgewählt. Denn aufgrund der geologisch unterschiedlichen Einheiten im Messgebiet konnten auch unterschiedliche Strahlungsmuster erwartet werden. Während im Zentrum des ausgewählten Messgebietes mit der Uranlagerstätte Krunkelbach der Bärhaldegranit vorherrscht, findet man im Nordwesten Gneise. Neben weiteren Graniten findet man im Messgebiet auch metamorphe Paragesteine, niedrigmetamorphe Schiefer, Sedimente und auch Vulkanite. Schliesslich sind auch verschiedene Teile des Messgebietes mit Quartär bedeckt. Neben diesen geologischen Merkmalen des Messgebietes gilt es auch, den Schluchsee zu erwähnen, der sich am östlichen Rand des Messgebietes befindet. Die Situation des Messgebietes ist in Abbildung 8 dargestellt.

6.3.2 Aeroradiometrische Resultate

In Deutschland werden die aeroradiometrischen Vermessungen in Zusammenarbeit des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) und des Bundesgrenzschutzes (BGS) durchgeführt. Aufgrund der Verwendung von Alouette Helikoptern wurde von ihnen ein anderes Flugverfahren gewählt als von uns. Sie setzten das sogenannte Konturensuchverfahren ein, bei dem versucht wird, auf gleicher Höhe entlang der Höhenlinien im Gelände zu fliegen. Wir blieben bei unserem Flugverfahren mit parallelen Fluglinien, die im Messgebiet in Nord-Süd-Richtung angelegt wurden. Als Linienabstand wurde 250 m gewählt. Die Sollflughöhe betrug wie immer 100 m. Aufgrund der starken Topographie war es aber nicht immer möglich, die Sollflughöhe einzuhalten.

Neben den 37 Messlinien im eigentlichen Messgebiet wurde auch noch eine Linie über dem Schluchsee gemessen. Die Resultate dieser Messlinie zeigten, dass Radon und seine Tochterisotope in diesem Gebiet für unsere Messungen kein Problem darstellen sollten. Im weiteren wurde in unmittelbarer Nähe zum Landeplatz bei der Feldberghalle in Altglashütten ein Steigflug durchgeführt.

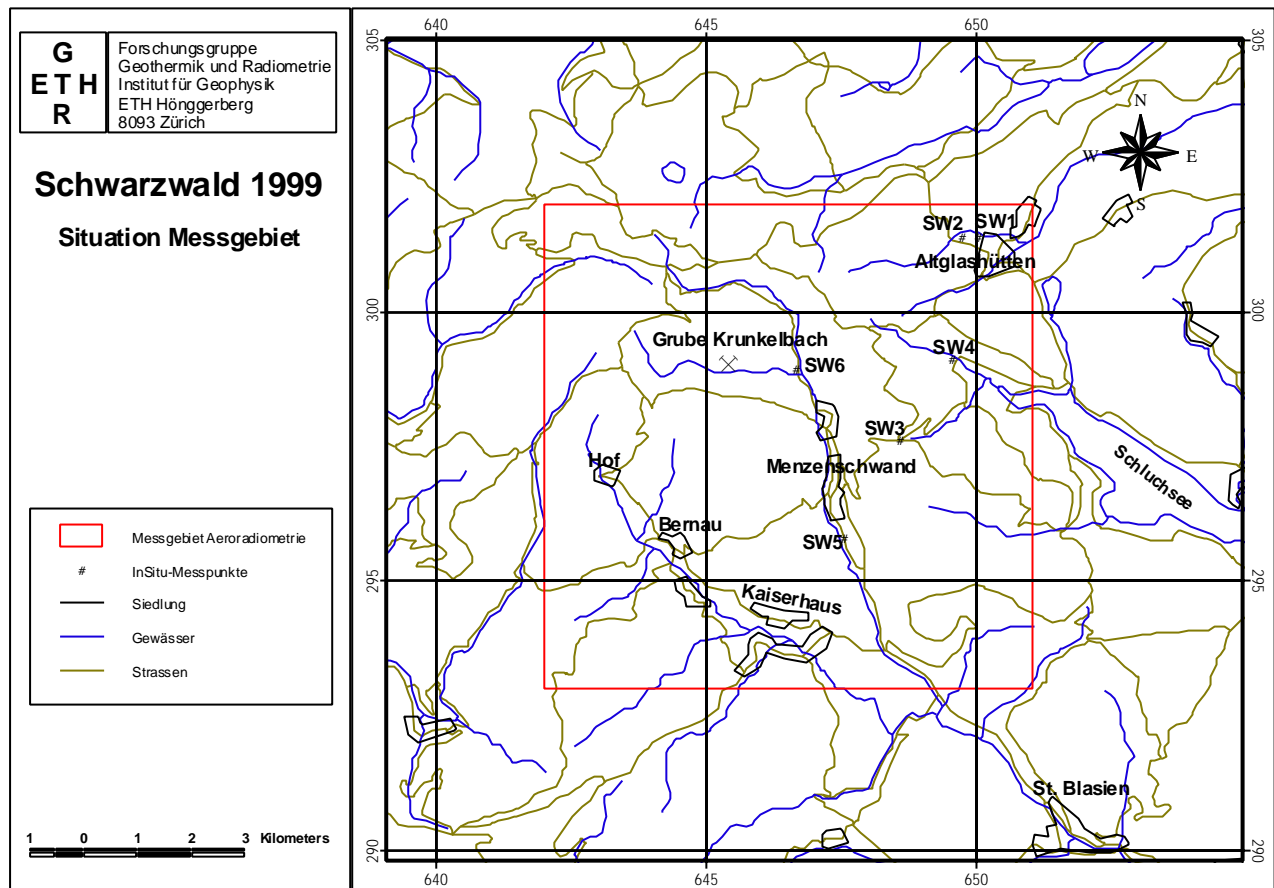


Abbildung 8: In dieser Karte ist die Situation im Messgebiet Schwarzwald dargestellt. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).

Die aus Aktivitätskarten und kosmischer Strahlung berechneten Dosisleistungen lagen im Messgebiet grösstenteils oberhalb der im Schweizer Mittelland gemessenen Werte. So betrug die maximale Dosisleistung rund 250 nGy/h. Bereits in der Dosisleistungskarte konnten grosse, gebietsabhängige Unterschiede erkannt werden. Ein differenzierteres Bild lieferten jedoch die Aktivitätskarten für ^{40}K , ^{214}Bi (Uranreihe) und ^{208}Tl (Thoriumreihe). Alle drei Aktivitätskarten zeigten höhere Werte im Südwesten des Messgebietes. Im Nordwesten hingegen zeigten sich durchwegs tiefere Werte. Für das restliche Messgebiet wiesen die verschiedenen Karten kein einheitliches Verhalten auf. Eine aus den ^{40}K - (rot), ^{214}Bi - (grün) und ^{208}Tl -Aktivitäten (blau) erstellte Ternary-Karte (Abbildung 9) hob die radiologisch unterschiedlichen Gebiete gut heraus. So konnten grob drei Typen unterschieden werden. Diesen lassen sich die folgenden geologischen Einheiten zuordnen: Dem eher blauen Gebiet, in dem der Thoriumgehalt im Verhältnis zu Uran und Kalium dominiert, können die Gneise, die Spießhornserie und Gesteine des Devons und Karbons zugeordnet werden. Der Bärhaldegranit deckt sich ziemlich gut mit dem etwas grünen Bereich, in dem der Urangehalt relativ dominant ist. Der eher rote Bereich fällt hauptsächlich mit dem Schluchsee- und St. Blasien-Granit zusammen. Das Quartär hingegen verhält sich in etwa wie die unmittelbar umliegenden geologischen Einheiten, aus dem es grösstenteils wohl auch herkommt.

Die Grenze zwischen blauem und grünem Bereich in der Ternary-Karte stimmt gut mit den Grenzen zwischen Gneisen und Sedimenten einerseits und dem Bärhaldegranit andererseits überein. Der Übergang vom Bärhaldegranit zum Schluchsee- und St. Blasien-Granit in der geologischen Karte ist nur teilweise identisch mit der Grenze zwischen grünem und rotem Gebiet. Dies lässt auf Unterschiede innerhalb der geologischen Einheiten oder eine ungenaue geologische Kartierung schliessen.

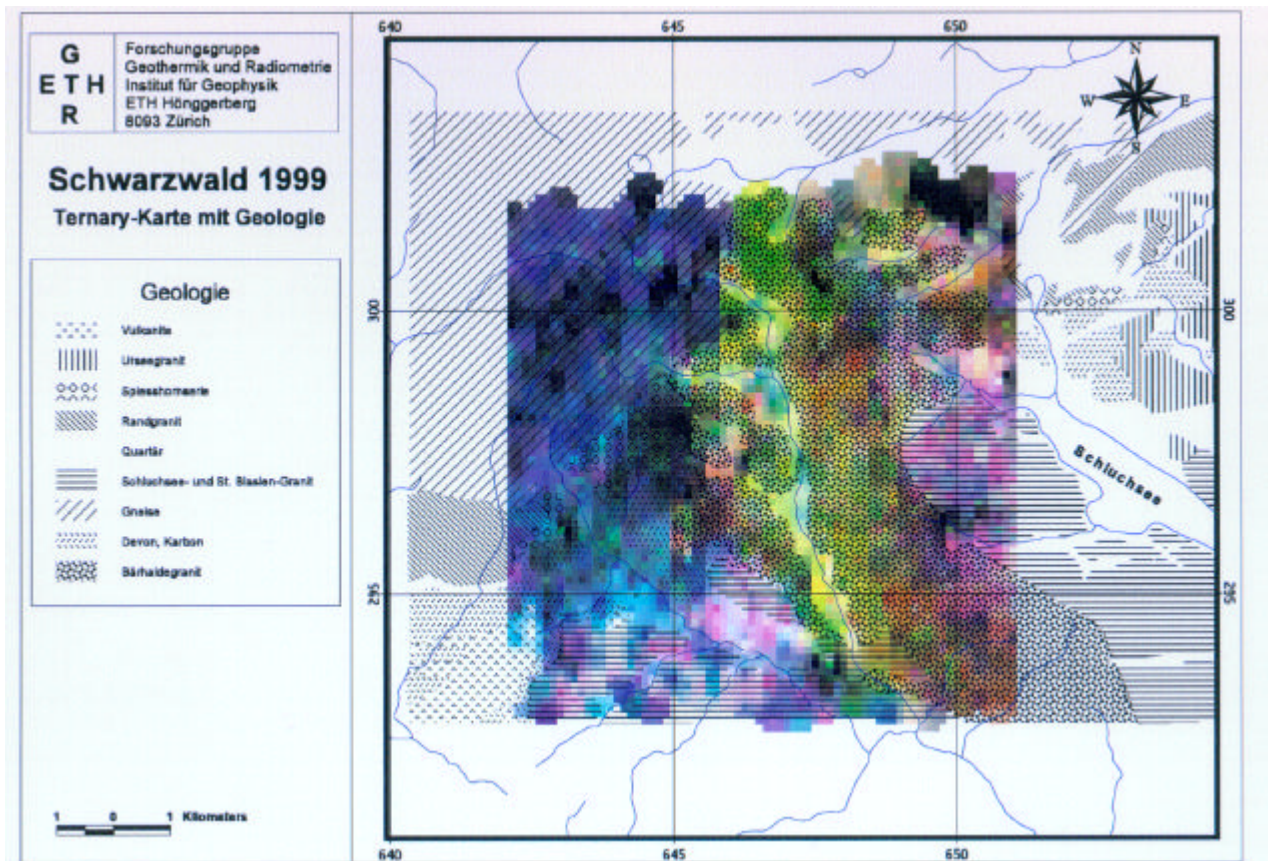


Abbildung 9: Ternary-Karte mit überlagerter geologischer Karte (nach Hoffmann 1989) im Messgebiet Schwarzwald. Der Rotanteil in der Ternary-Karte entspricht der normierten ^{40}K -Aktivität, der Grünanteil der normierten ^{214}Bi -Aktivität und der Blauanteil der normierten ^{208}Tl -Aktivität. Die Gewässer sind als blaue Linien dargestellt. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).

6.3.3 Ergebnisse der Bodenmessungen

Gleichzeitig zu den Messflügen führte ein Messteam der SUER im Messgebiet gammaspektrometrische Bodenmessungen durch. Diese dienen hauptsächlich der Kontrolle der aeroradiometrischen Resultate. Für die InSitu-Messungen wurde ein mit Stickstoff gekühlter Halbleiterdetektor von 30 % eingesetzt. Dieser erlaubt hochauflösende, gammaspektrometrische Messungen. Die Messzeit für einen Messpunkt betrug 4'000 Sekunden. Das verwendete Auswerteverfahren basiert auf den ICRU Empfehlungen (ICRU Recommendations Report 53). Im weiteren wurde mit einer Reuter Stokes Ionisationskammer an jedem Messpunkt die Dosisleistung gemessen.

An sechs verschiedenen Punkten wurden InSitu-Messungen durchgeführt. Zwei der Punkte lagen unmittelbar beim Landeplatz bei der Feldberghalle in Altglashütten. Zwei weitere befanden sich in der Nähe von Menzenschwand. Die Punkte 5 und 6 befinden sich in der Nähe der Strasse von Menzenschwand zum Schluchsee beim Auelemer Kreuz und bei der Scheuermat vor Oberaha. Neben den InSitu-Messungen nahm das Messteam auch noch 17 Bodenproben, die im Labor gammaspektrometrisch gemessen wurden. In Tabelle 3 sind die Resultate der InSitu-Messungen und in den Beilagen 17 und 18 die Resultate der Messungen an den Bodenproben aufgeführt.

Die Bodenproben werden auf einer Fläche von 25 cm^2 entnommen. Die 10 cm tiefe Probe wird in zwei Proben von 0 cm bis 5 cm und von 5 cm bis 10 cm aufgeteilt. Im Labor werden die Proben getrocknet und anschliessend gesiebt. Die Resultate in den Beilagen 17 und 18 gelten für die getrockneten und gesiebten Proben. Darauf sind auch die Unterschiede zwischen den Resultaten

der InSitu-Messungen und den Labormessungen an den Bodenproben zurückzuführen (bis 60 %, ersichtlich beim Vergleich von Tabelle 3 und Beilagen 17 und 18). Vor allem die Feuchtigkeit des Bodens hat einen bedeutenden Einfluss auf die Absorption von Gammastrahlung. Je höher der Wassergehalt ist, desto grösser ist die Selbsabsorption im Boden. Dies führt dann bei feuchtem Boden (InSitu-Messungen) zu geringeren Zählraten und damit zu tieferen, berechneten Aktivitäten. Aber auch der Bewuchs des Bodens absorbiert einen Teil der Gammastrahlung und führt so zu tieferen Aktivitätswerten bei den InSitu-Messungen im Vergleich zu den Labormessungen an den Bodenproben.

Tabelle 3: Resultate der InSitu-Messungen im Messgebiet Schwarzwald (Murith 1999). Die Koordinaten der Messpunkte sind schweizerische Landeskoordinaten. RSS steht für Reuter Stokes Ionisationskammer.

ID	SW1	SW2	SW3	SW4	SW5	SW6
Locality	Feldberg BfS-Sonde	Feldberg Heli-Feld	Auelemer Kreuz	Oberaha Scheuermat	Menzensch. Vorderdorf	Menzensch. Wasserfall
Date	23.6.99 17h30	23.6.99 15h00	22.06.99 18h45	22.06.99 17h00	23.06.99 10h00	23.06.99 12h00
Approx. Coordinates and altitude	650000 301400 980m	649750 301400 980m	648600 297600 1130m	649600 299150 870m	647600 295700 845m	646600 298850 900m
Activity	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg	Bq/kg
⁷ Be	15 ± 5	19 ± 5	25 ± 5	30 ± 6	23 ± 5	20 ± 6
⁴⁰ K	630 ± 50	500 ± 40	790 ± 60	810 ± 70	420 ± 30	1100 ± 90
²³⁴ Th, ^{234m} Pa	41 ± 20	53 ± 20	63 ± 20	90 ± 30	38 ± 20	140 ± 30
²²⁶ Ra	44 ± 10	52 ± 15	63 ± 15	80 ± 20	38 ± 15	150 ± 20
²¹⁴ Pb, Bi	30 ± 2	38 ± 3	40 ± 3	40 ± 3	32 ± 2	110 ± 6
²²⁸ Ac	22 ± 2	22 ± 2	21 ± 2	30 ± 3	11 ± 1	38 ± 3
¹³⁷ Cs	16 ± 1	31 ± 3	33 ± 3	36 ± 3	21 ± 2	13 ± 1
Dose rate	nGy/h	nGy/h	nGy/h	nGy/h	nGy/h	nGy/h
⁴⁰ K	26 ± 2	21 ± 2	33 ± 3	34 ± 3	18 ± 1	46 ± 4
²³⁸ U series	14 ± 1	18 ± 1	18 ± 1	18 ± 1	15 ± 1	51 ± 3
²³² Th series	13 ± 1	13 ± 1	13 ± 1	18 ± 1	7 ± 1	23 ± 2
Terrestrial	53	52	64	70	40	120
Cosmic	46	46	49	44	44	45
Natural	99	98	113	114	84	165
¹³⁷ Cs	~ 3	~ 5	~ 5	~ 6	~ 3	~ 2
Total in situ	102	103	118	120	87	167
Total RSS	100 ± 5	105 ± 5	118 ± 5	119 ± 5	90	160 ± 10
In situ/RSS	1.02	0.98	1.00	1.01	0.97	1.04

Die Werte können in den verschiedenen Tiefen sehr unterschiedlich sein. Bei ¹³⁷Cs ist dies darauf zurückzuführen, dass ¹³⁷Cs über die Luft in den Boden eingetragen wurde und dort nach und nach in grössere Tiefen migrierte. Der Migrationsprozess ist stark von den Bodeneigenschaften abhängig. Dies führt dann in unterschiedlichen Böden zu verschiedenen Migrationstiefen von ¹³⁷Cs (vgl. Beilage 18). Bei den natürlichen Radioisotopen werden die Unterschiede hauptsächlich durch die unterschiedliche Zusammensetzung des Bodens (Humus, Feinanteil usw.) und die biologische Aktivität von Fauna und Flora verursacht.

6.3.4 Vergleich der Resultate

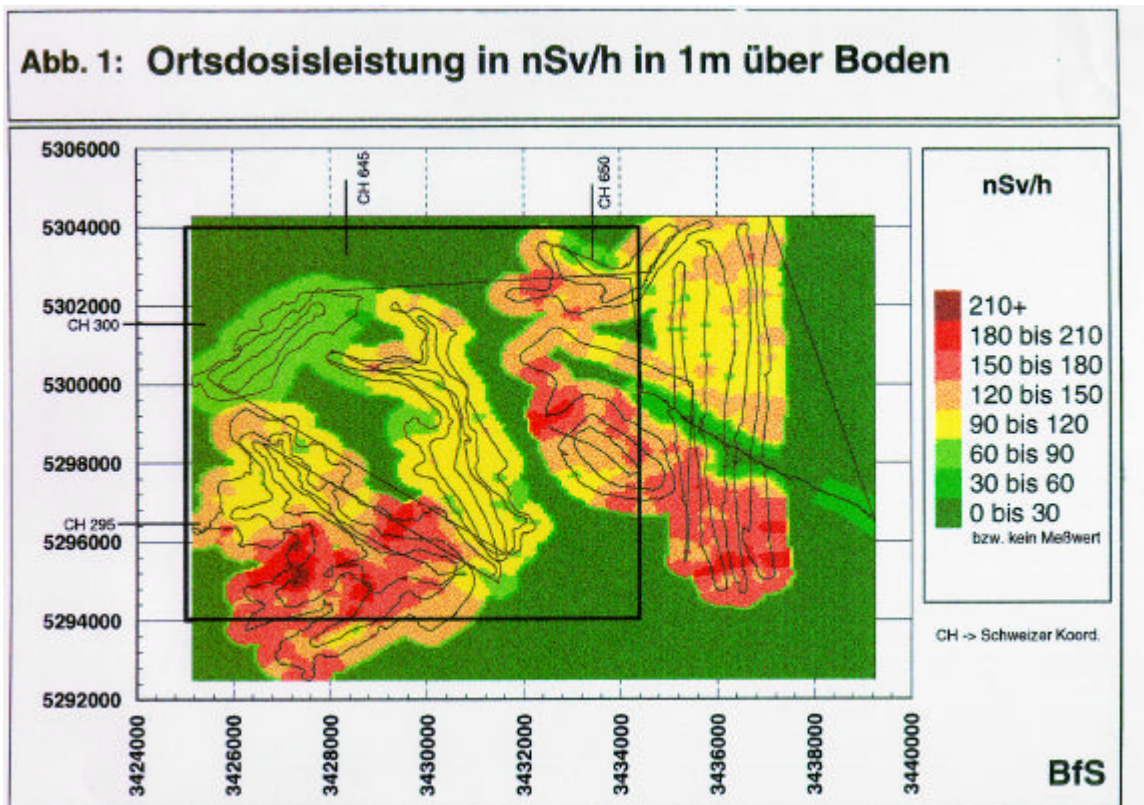


Abbildung 10: Messresultate des Bundesamtes für Strahlenschutz (Bfs) für die Ortsdosisleistung in nSv/h in 1 m über Boden im Messgebiet Schwarzwald. Als Anhaltspunkte für den Vergleich mit den Schweizerischen Ergebnissen sind die Koordinaten-Gitterlinien CH 645 und CH 650 in x-Richtung und CH 295 und CH 300 in y-Richtung angegeben. Der schwarze Rahmen bezeichnet das eigentliche Messgebiet.

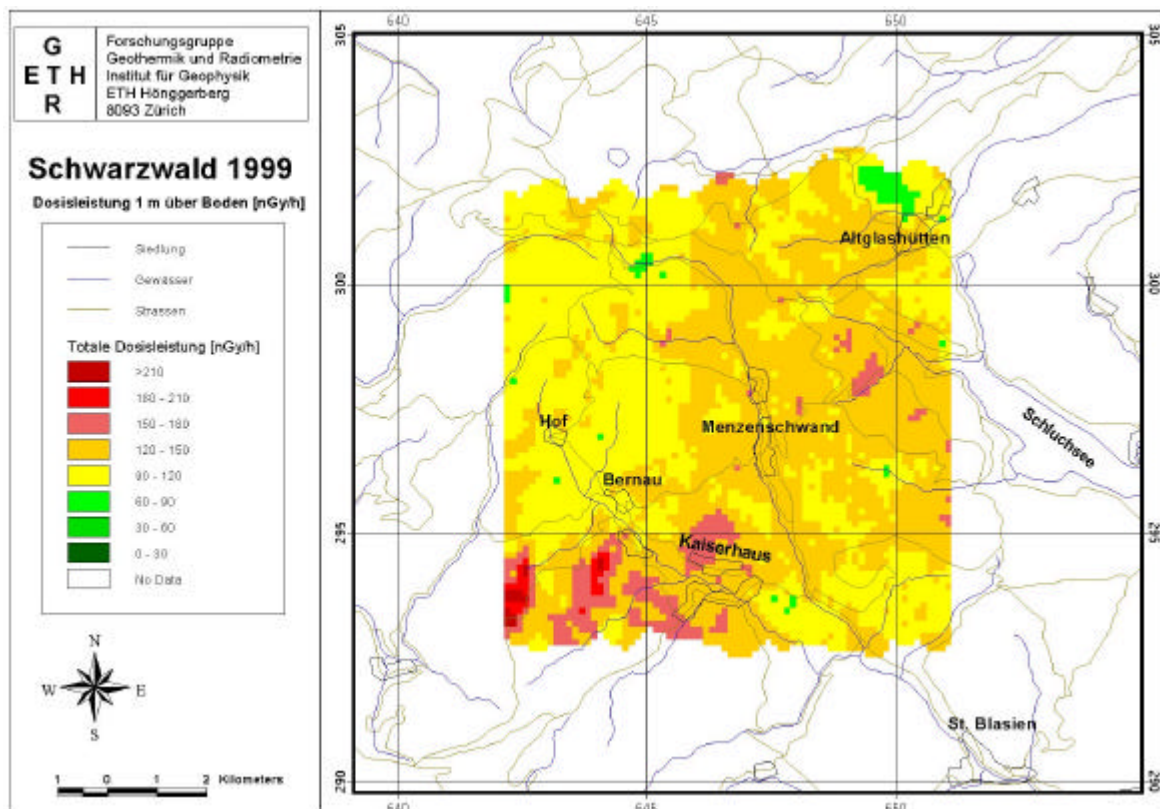


Abbildung 11: Dosisleistungskarte des Schweizer Messteams für das Messgebiet Schwarzwald. Kartendaten: VECTOR200[©] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).

Erste Vergleiche mit den Resultaten des deutschen Messteams zeigen eine relativ gute Übereinstimmung. Bis jetzt liegt nur eine Dosisleistungskarte zum Vergleich vor (Abbildung 10). Bei dieser gilt es zu beachten, dass das Koordinatengitter in der Karte in x-Richtung verzerrt ist, d.h. die x- und y-Achse stehen nicht im Verhältnis 1:1. Die Dosisleistungen stimmen jedoch sowohl in bezug auf das Wertenniveau wie auch in bezug auf das Muster gut mit unserer Dosisleistungskarte (Abbildung 11) überein, die aus den Aktivitätskarten von ^{40}K , ^{214}Bi , ^{208}Tl und ^{137}Cs und der berechneten kosmischen Dosisleistung hergeleitet wurde. Vor allem die höheren Dosisleistungswerte im Südwesten und Osten des Messgebietes stimmen räumlich sehr gut überein. Auch die tieferen Werte im Nordosten sind in beiden Karten zu erkennen, wobei die deutschen Werte einiges tiefer sind als die Schweizer Resultate im gleichen Gebiet. Im übrigen Messgebiet liegen die deutschen Dosisleistungen eher etwas über unseren Resultaten. Ein abschliessender Vergleich zwischen beiden Messteams ist jedoch erst nach weiteren, detaillierteren Datenvergleichen möglich. Darüber soll zu einem späteren Zeitpunkt ein gemeinsamer deutsch-schweizerischer Bericht erscheinen.

Beim Vergleich der aeroradiometrischen Resultate mit den Ergebnissen der gammaspektrometrischen Bodenmessungen ist das unterschiedliche Gesichtsfeld der beiden Methoden zu berücksichtigen. Während bei den Bodenmessungen der Hauptanteil des gemessenen Strahlungsfeldes von einer Fläche von 10 x 10 m kommt, stammt er bei den aeroradiometrischen Messungen von einer Fläche von 200 x 200 m. Deshalb können kleinräumige Variationen im Strahlungsfeld nur durch die Bodenmessungen detektiert werden. Die Vergleiche (Abbildungen 12-14) für die verschiedenen Aktivitäten und die Dosisleistung zeigen eine recht gute Übereinstimmung, im allgemeinen innerhalb der Fehlergrenzen. In den Abbildungen 12 und 13 entspricht die gestrichelte Linie dem theoretischen statistischen Fehler, die gepunktete Linie dem theoretischen statistischen Fehler plus eine Unsicherheitsannahme für die Bodenmessungen von 20 %. Die Fehlerbalken stehen für die tatsächliche Unsicherheit der gemessenen Werte. In der Abbildung 14 entspricht die ausgezogene Linie der 45 ° Geraden, die gestrichelte Linie einem Fehlerbereich von 10 % und die gepunktete Linie einem Fehlerbereich von 20 %. Bei der ^{214}Bi - und ^{40}K -Aktivität sowie der Dosisleistung ist je ein Ausreisser zu sehen. Diese Werte stammen von der Bodenmessung SW6, die sehr hohe ^{214}Bi - und ^{40}K -Aktivitäten aufweist.

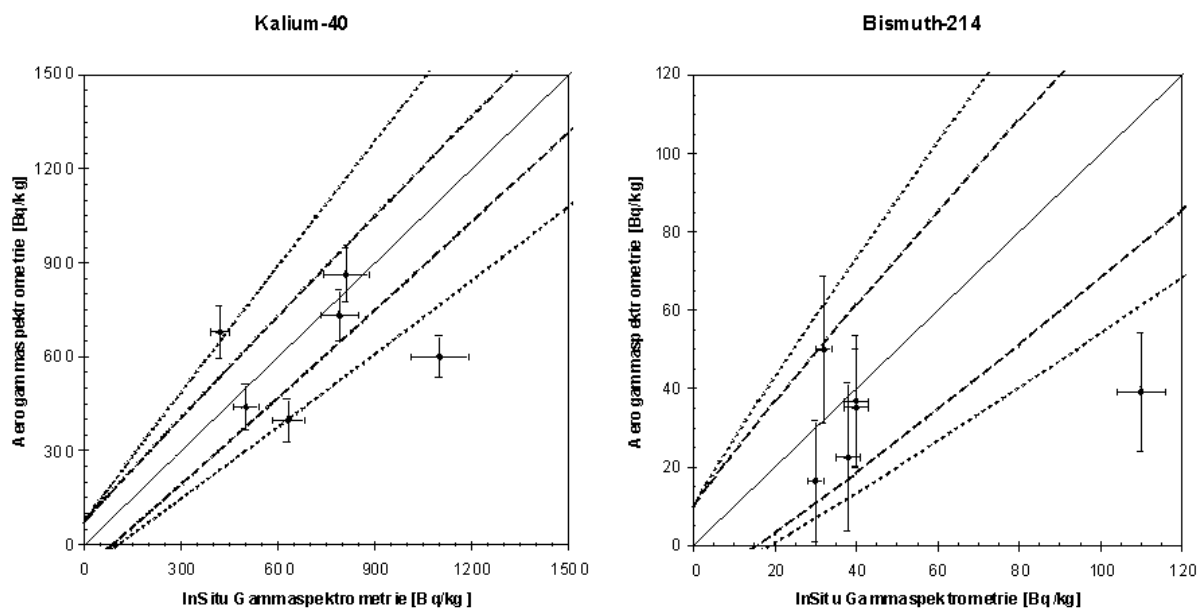


Abbildung 12: Vergleich der Ergebnisse aus gammaspektrometrischen Boden- und Lufmessungen im Messgebiet Schwarzwald für die ^{40}K - und ^{214}Bi -Aktivitäten.

Die ^{208}Tl -Aktivitäten aller Messpunkte stimmen sehr gut überein. Die aeroradiometrischen Ergebnisse für die Cäsium-Aktivität scheinen eher etwas zu hoch zu liegen, liegen aber grösstenteils noch innerhalb der Fehlergrenzen (Abbildung 13).

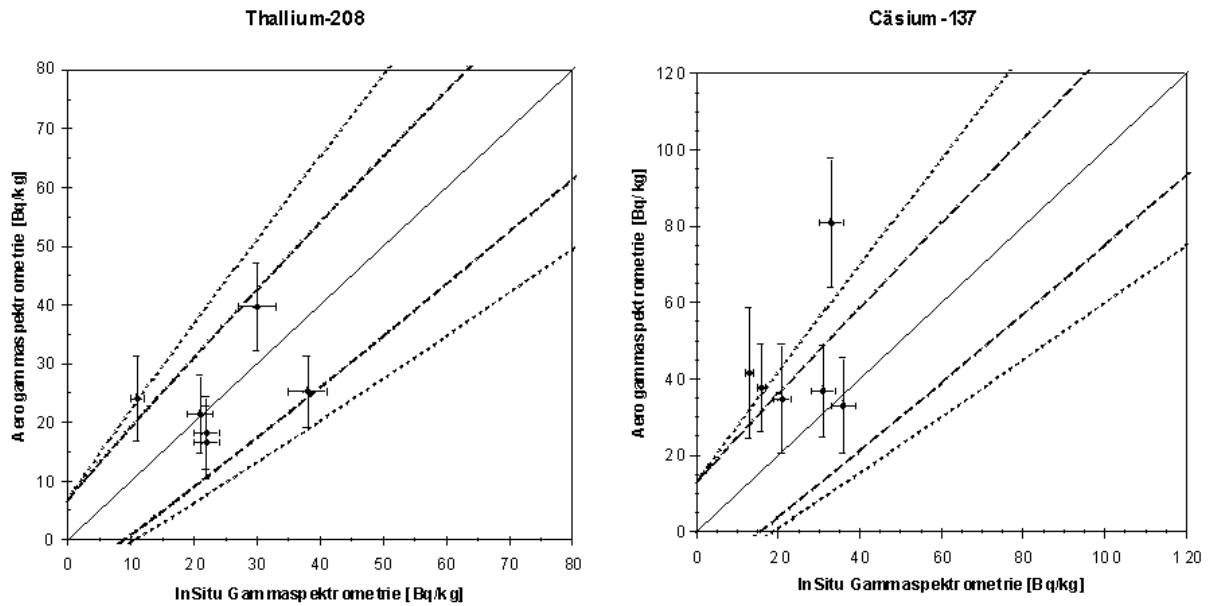


Abbildung 13: Vergleich der Ergebnisse aus gammaspektrometrischen Boden- und Luftmessungen im Messgebiet Schwarzwald für die ^{208}Tl - und ^{137}Cs -Aktivitäten.

Auch beim Vergleich der terrestrischen Dosisleistungen, berechnet aus den Aktivitäten der Radioisotope ^{40}K , ^{214}Bi , ^{208}Tl und ^{137}Cs , mit den entsprechenden Dosisleistungen der Bodenmessungen kann eine gute Übereinstimmung festgestellt werden (Abbildung 14).

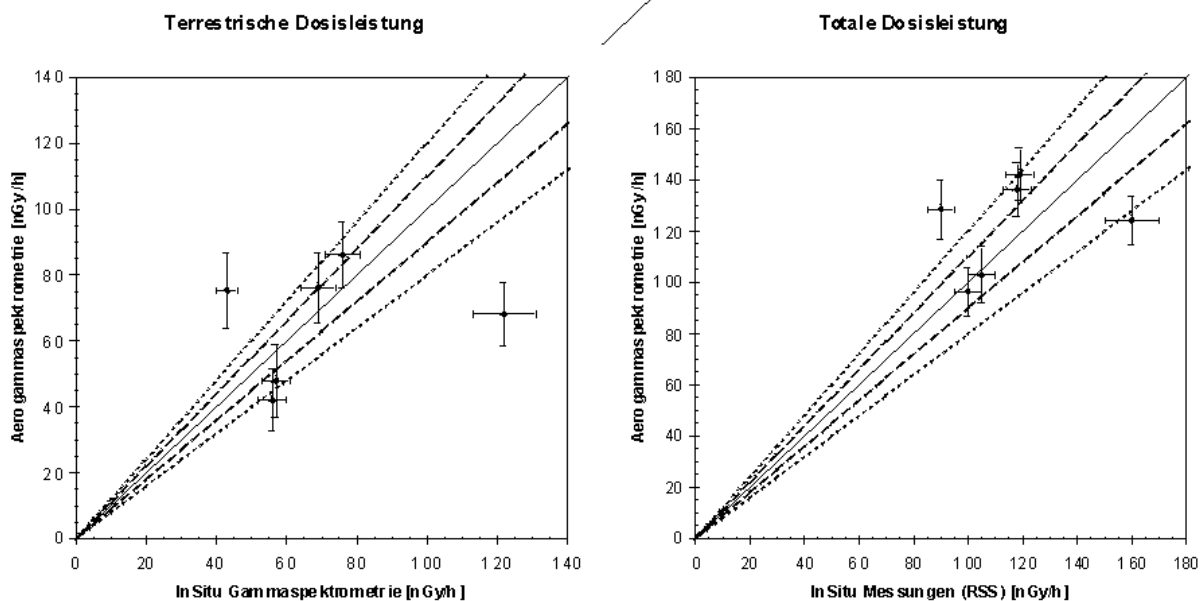


Abbildung 14: Vergleich der Ergebnisse aus gammaspektrometrischen Boden- und Luftmessungen im Messgebiet Schwarzwald für die terrestrische und die totale Dosisleistung.

Für die totalen Dosisleistungen ergibt sich ein ziemlich ähnliches Bild. Die totale Dosisleistung der Aeroradiometrie wird dabei aus der terrestrischen und der berechneten kosmischen Dosisleistung hergeleitet. Bei den verglichenen Resultaten vom Boden handelt es sich um Dosisleistungen, die mit einer Reuter Stokes Ionisationskammer gemessen wurden.

Beilagen Schwarzwald

Beilage 13: ^{40}K -Aktivitäten [Bq/kg] und Fluglinien im Messgebiet Schwarzwald. Die Unterschiede in den gemessenen Aktivitäten sind auf variable Lithologien der geologischen Einheiten zurückzuführen.

Beilage 14: ^{214}Bi -Aktivitäten [Bq/kg] im Messgebiet Schwarzwald. Die Unterschiede in den gemessenen Aktivitäten sind auf variable Lithologien der geologischen Einheiten zurückzuführen.

Beilage 15: ^{208}Tl -Aktivitäten [Bq/kg] im Messgebiet Schwarzwald. Die Unterschiede in den gemessenen Aktivitäten sind auf variable Lithologien der geologischen Einheiten zurückzuführen.

Beilage 16: ^{137}Cs -Aktivitäten [Bq/kg] im Messgebiet Schwarzwald. Über Wald werden im Vergleich höhere Aktivitäten gemessen als über Wiesen und Äcker. Die genaue Ursache für die höheren Werte über Wald sind noch unklar.

Beilage 17: Resultate von gammaspektrometrischen Bodenmessungen an Bodenproben aus dem Messgebiet Schwarzwald. In der Tabelle sind Messergebnisse von diversen Bodenproben aus dem Messgebiet detailliert aufgeführt.

Beilage 18: Weitere Resultate von gammaspektrometrischen Bodenmessungen an Bodenproben aus dem Messgebiet Schwarzwald. In der Tabelle sind weitere Messresultate diverser Bodenproben aus dem Messgebiet detailliert aufgeführt.

6.4 Tessin

Im Jahre 1999 wurden im Tessin mehrere Gebiete aeroradiometrisch vermessen, um ^{137}Cs Hot-Spots zu identifizieren. In verschiedenen Gebieten konnte – im Vergleich zur Nordschweiz – allgemein erhöhte Cäsium Aktivität gemessen werden. Fliegerisch erwies sich vor allem das Messgebiet im Centovalli als anspruchsvoll, da dort viele gespannte Kabel und Leitungen von den Piloten im Auge behalten werden mussten.

6.4.1 Centovalli

Nachdem 1998 bereits ein Gebiet im oberen Centovalli vermessen wurde, galt es dieses Jahr, ein Gebiet im unteren Teil aeroradiometrisch zu vermessen. Dieser Teil ist stark durch den Fluss Melezza geprägt, der dann in die Maggia einmündet. Im Sommer ist sein breites Flussbett grösstenteils trockengelegt. In diesem Messgebiet wurden 8 Fluglinien im Abstand von 250 m in Ost-West Richtung gemessen.

Die Cäsium Aktivitäten im Messgebiet sind höher als nördlich der Alpen. Es konnten jedoch keine eigentlichen Hot Spots identifiziert werden. Allgemein liegen die Werte im Talgrund tiefer als an den Hängen des Tales. Die dafür verantwortlichen Faktoren sind nicht mit Sicherheit zu bestimmen. Mögliche Faktoren für die unterschiedliche Aktivitätsverteilung sind unterschiedliche Niederschlagsmengen, verschiedenes Migrationsverhalten, Auswaschungsprozesse, Entzug durch Vegetation usw. Das Wertenniveau im Messgebiet von 1999 liegt deutlich unter demjenigen des Messgebietes im Jahre 1998.

6.4.2 Brissago

In der Nähe des Messgebietes Centovalli wurde auch noch eine Bergflanke oberhalb Brissago aeroradiometrisch vermessen. Es wurden 7 Messlinien im Abstand von 235 m abgeflogen.

Deutlich sind die sehr tiefen Werte über dem See zu erkennen. Mit zunehmender Höhe nimmt die Cäsium Aktivität zu, wobei dies hauptsächlich für den bewachsenen Teil des Hanges gilt. Der höchste Wert wurde um den Gipfel des Pizzo Ometto gemessen (vgl. Titelblatt). Die ^{137}Cs Aktivität beträgt dort 757 Bq/kg. Eine Analyse des gemessenen Spektrums zeigt, dass es sich tatsächlich um Cäsium handelt und nicht um einen Artefakt (Abbildung 15).

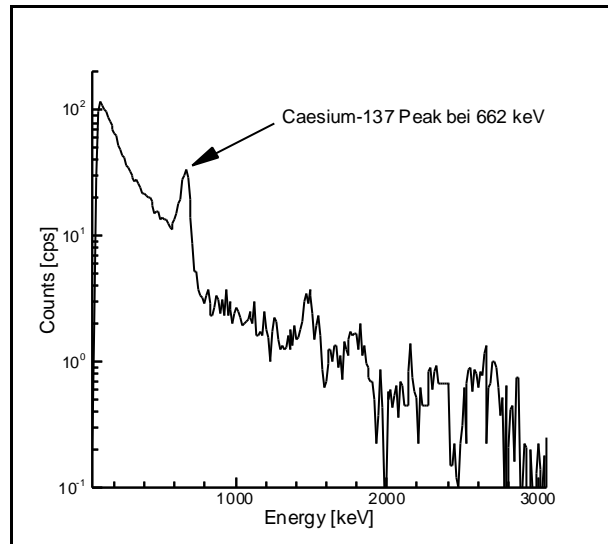


Abbildung 15: Spektrum im Gebiet der höchsten, berechneten ^{137}Cs Aktivität auf dem Pizzo Ometto, Messgebiet Brissago.

Rechnet man auf das Tchernobyl Ereignis im Jahre 1986 zurück, erhält man eine ^{137}Cs Aktivität von rund 1'020 Bq/kg. Unter der Annahme, dass sich das gesamte Cäsium in den obersten 10 cm befindet und die Dichte rund 1.5 g/cm^3 beträgt, erhält man für das entsprechende Inventar an ^{137}Cs rund 150 kBq/m^2 . Auch wenn dieser berechnete Wert vielleicht zu hoch liegt, steht fest, dass sich am Pizzo Ometto ein ^{137}Cs Hot Spot befindet. Dieser Hot Spot stellt die vielleicht höchste Cäsium Aktivität der Schweiz dar. Eine Bodenmessung könnte darüber genauer Aufschluss geben, ist jedoch aufgrund des sehr unwegsamen Gebietes schwierig.

6.4.3 Caslano

Ebenfalls auf der Suche nach Hot Spots wurden im Gebiet der Gemeinde Caslano 10 Fluglinien im Abstand von 250 m vermessen. Die zum Teil sehr kurzen Anflugstrecken am Anfang der einzelnen Linien führte dazu, dass manchmal das GPS erst spät eine für eine Positionierung ausreichende Anzahl Satelliten ‚sehen‘ konnte. Deshalb stand bei der Auswertung im Extremfall nur für die Hälfte der Messpunkte eine Position zur Verfügung. Hinzu kam, dass im ganzen Tessin kein Differential GPS Signal empfangen werden konnte. Dies führte bei nur wenigen zur Verfügung stehenden Satelliten im Vergleich zur Alpennordseite zu zusätzlichen Ungenauigkeiten in der Positionierung.

Auch im Gebiet von Caslano wurden erhöhte Cäsium Aktivitäten gemessen, die aber grösstenteils nicht über 150 Bq/kg hinausgingen. An einigen Punkten wurden noch etwas höhere Aktivitäten gemessen, die aber allesamt unter 200 Bq/kg lagen. Anhand der tiefen Werte ist auch der See deutlich zu erkennen.

6.4.4 Breganzona

Im Gebiet Breganzona westlich von Lugano wurden 6 Linien im Abstand von 250 m vermessen. Die GPS Koordinaten waren in diesem Gebiet wieder sehr zuverlässig. Der Flug diente wiederum der Suche nach Cäsium Hot Spots.

Die Resultate im Messgebiet Breganzona zeigen nur leicht erhöhte Cäsium Aktivitäten. Extrem hohe Aktivitäten wurden keine festgestellt. Mit einem Maximum von rund 145 Bq/kg liegen die Werte deutlich unter dem oberhalb von Brissago gefundenen Höchstwert.

Beilagen Messgebiete Tessin

Beilage 19: ^{137}Cs -Aktivitäten [Bq/kg] und Fluglinien in den Messgebieten Centovalli 1998, Centovalli 1999 und Brissago 1999. Die Aktivitäten scheinen von der Höhe abhängig zu sein. Die höchsten Werte wurden um den Gipfel des Pizzo Ometto gefunden, die sogar die höchsten ^{137}Cs -Aktivitäten der Schweiz darstellen könnten. Definitiven Aufschluss können nur Bodenmessungen im entsprechenden Gebiet liefern.

Beilage 20: ^{137}Cs -Aktivitäten [Bq/kg] und Fluglinien in den Messgebieten Caslano und Breganzona. Die Aktivitäten weisen für das Tessin typische, erhöhte Werte auf. Die höchsten Werte liegen deutlich unter demjenigen, der am Pizzo Ometto gemessen wurde.

7 Fazit

Wie bei den vorangegangenen Messungen im Gebiet der KKW Leibstadt, Mühleberg und Gösgen konnten auch dieses Jahr die KKW Leibstadt und Mühleberg anhand der ^{16}N -Strahlung aus der Luft klar detektiert werden. Das KKW Gösgen konnte auch dieses Jahr aus der Luft nicht erkannt 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, das kontaminiertes Material lagert, erhöhte Zählraten gemessen. Dabei handelt es sich aufgrund von analysierten Spektren hauptsächlich um ^{137}Cs und ^{60}Co . Diese radioaktiven Abfälle sollen baldmöglichst ins neu erstellte Zwischenlager in Würenlingen (ZWILAG) überführt werden. Im restlichen Messgebiet wurde keine erhöhte Radioaktivität registriert, die nicht auf die Bombentests und den Tchernobyl Unfall zurückgeführt wird.

Der gemeinsame Messflug mit dem deutschen Aeroradiometrie-Team des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) im Schwarzwald kann aufgrund erster Resultate als Erfolg gewertet werden. Die Resultate für die Dosisleistung stimmen sowohl in der Dynamik wie auch im Wertebereich gut überein. Auch der Vergleich mit den Bodenmessungen zeigt eine gute Übereinstimmung. Für eine abschliessende Beurteilung sind aber noch weitere und detailliertere Vergleiche nötig.

Im Centovalli konnten mit den aeroradiometrischen Messungen erhöhte Cäsiumaktivitäten nachgewiesen werden. Diese lagen aber deutlich unter den Werten, die letztes Jahr weiter oben im Centovalli gemessen wurden (Bucher et al. 1999). Oberhalb von Brissago konnte aber ein ^{137}Cs Hot Spot detektiert werden, der die höchste Cäsiumaktivität der Schweiz darstellen könnte. Dies ist jedoch noch mit Bodenmessungen zu verifizieren. In den Messgebieten Caslano und Breganzona wurden für das Tessin typische, erhöhte Cäsium Aktivitäten gemessen. Hot Spots konnten jedoch keine entdeckt werden.

Die Überprüfung des Equipments unter dem Gesichtspunkt des Jahr 2000 und des Week Number Roll Over (WNRO) Problems konnte abgeschlossen werden. Die nötigen Upgrades wurden vorgenommen. Nach Herstellerangaben ist deshalb nicht mit Problemen zu rechnen. Der WNRO wurde bereits schadlos überstanden.

Dieses Jahr wurde erstmals bei der Analyse und Darstellung der aeroradiometrischen Daten ein geographisches Informationssystem (GIS) eingesetzt. Die Ergebnisse sind vielversprechend und das GIS soll in Zukunft noch vermehrt genutzt werden.

Eine erste Version einer Online Datenauswertungs- und Kartierungssoftware konnte bei den diesjährigen Messflügen erfolgreich getestet werden. Seither konnten noch weitere Verbesserungen vorgenommen werden. Es wurden auch erste Gespräche mit der Nationalen Alarmzentrale über die Einbindung der aeroradiometrischen Daten in ihr eigenes System geführt.

8 Ausblick

Im nächsten Jahr stehen auch Arbeiten am Messsystem an. Unter anderem werden aus Redundanzgründen die bisherigen GPS-Empfänger ersetzt, da bisher nur einer von beiden differential GPS fähig ist. Im weiteren wird die Entwicklung der Online Auswertesoftware vorangetrieben, um im nächsten Jahr bei den Messflügen eine Vollversion testen zu können. Eine Offline Version, die dann das Programm ‚Gamero‘ ersetzt, wird ebenfalls ins Auge gefasst.

Ebenfalls sollte die Archivierung der bisher gemessenen Daten in Angriff genommen werden. Um die Daten, die zur Zeit auf verschiedenen Medien gespeichert sind, langfristig zu sichern, sollte eine Datenbank aufgebaut werden.

Die Einbindung der aeroradiometrischen Daten ins System der NAZ wird im nächsten Jahr vorangetrieben. Das Hauptgewicht wird auf die Definition der Schnittstellen zwischen dem

Aeroradiometrie Messsystem und dem System der NAZ gelegt. Eine Ausgangsbasis liegt in Form des Bufferfiles der neuen Online Auswertesoftware vor.

9 Literaturhinweise

BAECHLER, D., 1999: Einsatz geographischer Informationssysteme GIS in der Aeroradiometrie: eine Pilotstudie. Diplomarbeit, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

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

BUCHER, B., RYBACH, L., SCHWARZ, G., BAERLOCHER, CHR., 1999: Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM98. Bericht für das Jahr 1998 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Interner Bericht, Institut für Geophysik, ETH Zürich.

HOFMANN, B., 1989: Genese, Alteration und rezentes Fliess-System der Uranlagerstätte Krunkelbach (Menzenschwand, Südschwarzwald). Technischer Bericht 88-30, Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (NAGRA), Baden.

Kommission für die sicherheitstechnische Untersuchung des Zwischenfalls im Versuchs-Atomkraftwerk Lucens (UKL), 1979: Schlussbericht über den Zwischenfall im Versuchs-Atomkraftwerk Lucens am 21. Januar 1969.

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

MURITH, CH., 1999: In Situ measurements Schwarzwald UARM 1999. Interner Bericht, SUEr, Fribourg.

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

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

10 Beilagen

Titelblatt: ^{137}Cs Aktivitäten im Gebiet Brissago/TI, Spektrum Pizzo Ometto.

Beilage 1: Terrestrische Dosisleistung im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort des KKW.

Beilage 2: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet Mühleberg.

Beilage 3: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet Mühleberg.

Beilage 4: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet Mühleberg.

Beilage 5: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet KKW Gösgen.

Beilage 6: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKW Gösgen.

Beilage 7: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet KKW Gösgen.

Beilage 8: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet KKW Leibstadt.

Beilage 9: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet KKW Leibstadt.

Beilage 10: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKW Leibstadt.

Beilage 11: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet Lucens.

Beilage 12: Zählraten im ^{60}Co -Fenster im Messgebiet Lucens.

Beilage 13: ^{40}K -Aktivitäten und Fluglinien im Messgebiet Schwarzwald.

Beilage 14: ^{214}Bi -Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald.

Beilage 15: ^{208}Tl -Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald.

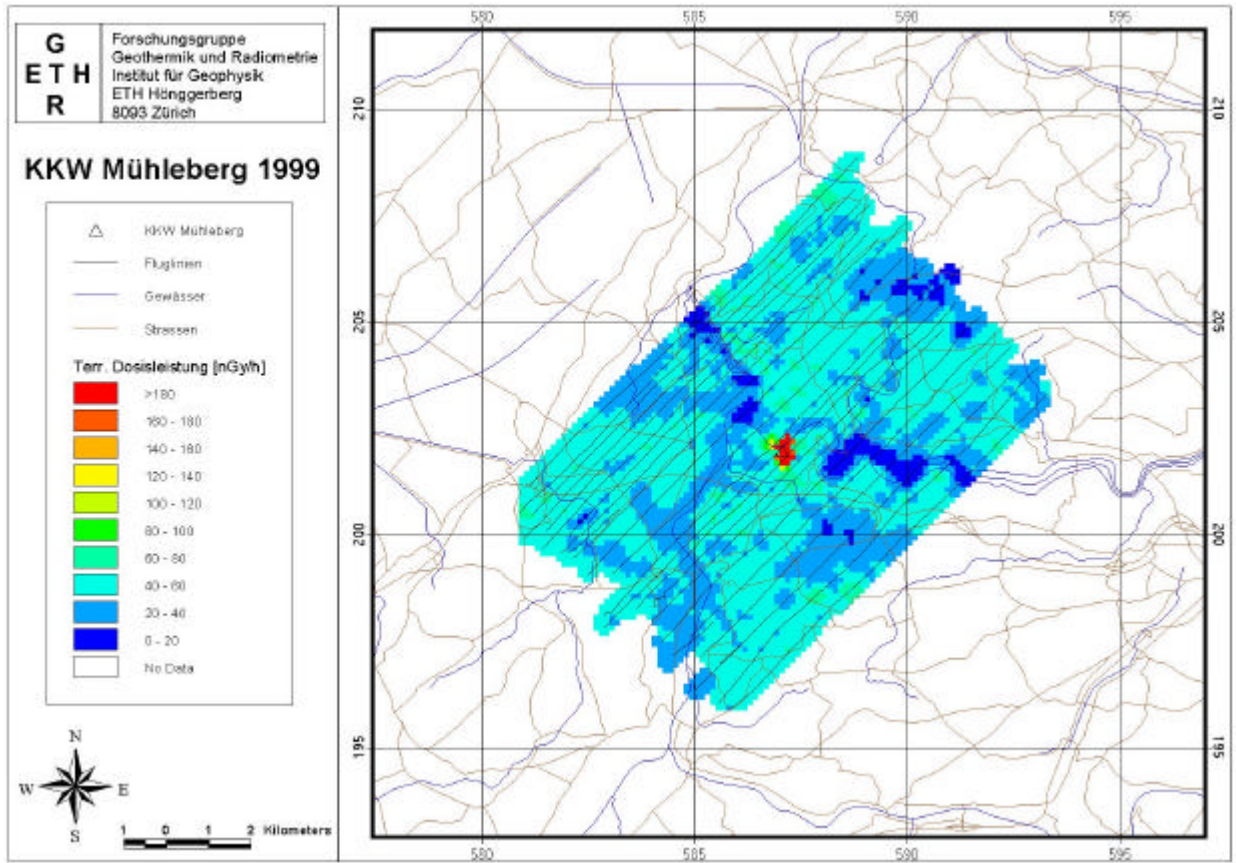
Beilage 16: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald.

Beilage 17: Resultate der gammaspektrometrischen Messungen an Bodenproben.

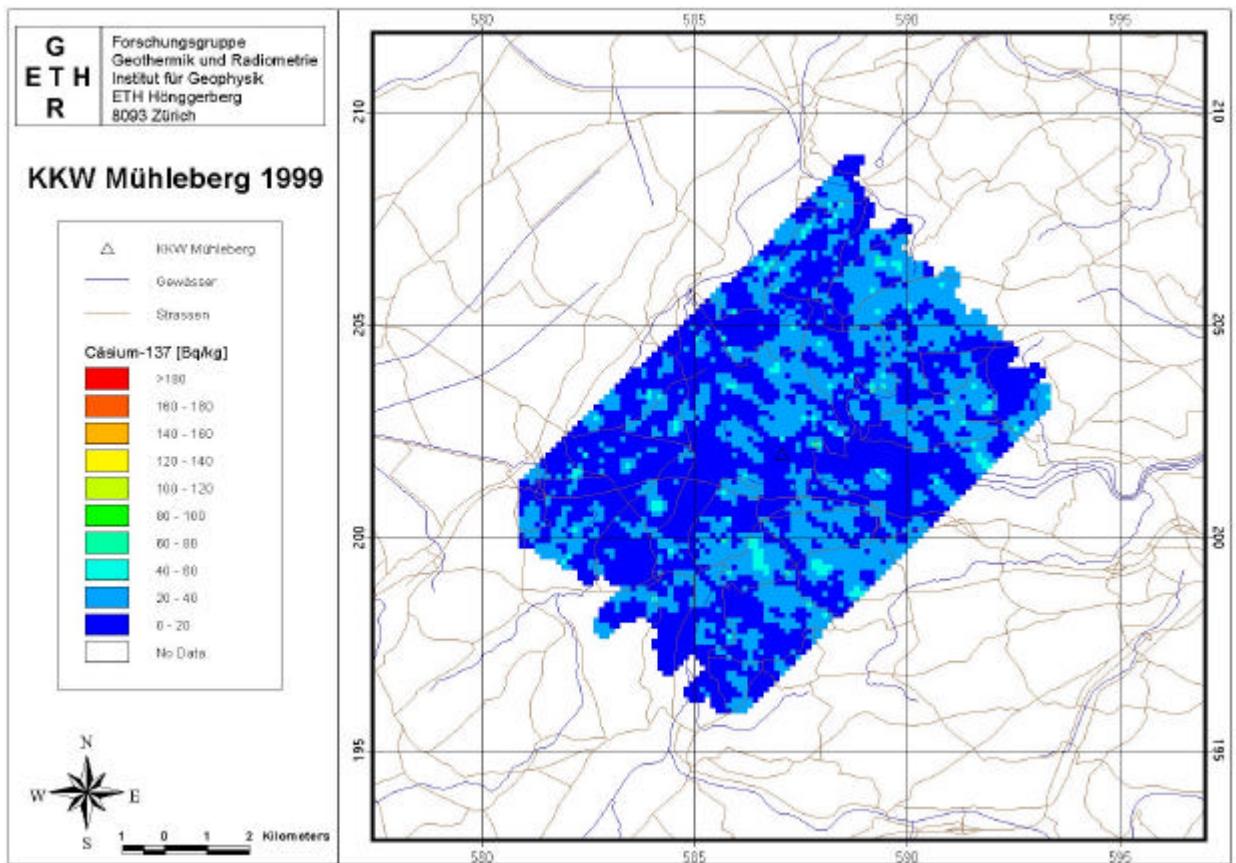
Beilage 18: Weitere Resultate von gammaspektrometrischen Messungen an Bodenproben.

Beilage 19: ^{137}Cs -Aktivitäten in den Messgebieten Centovalli 1998, Centovalli 1999 und Brissago 1999.

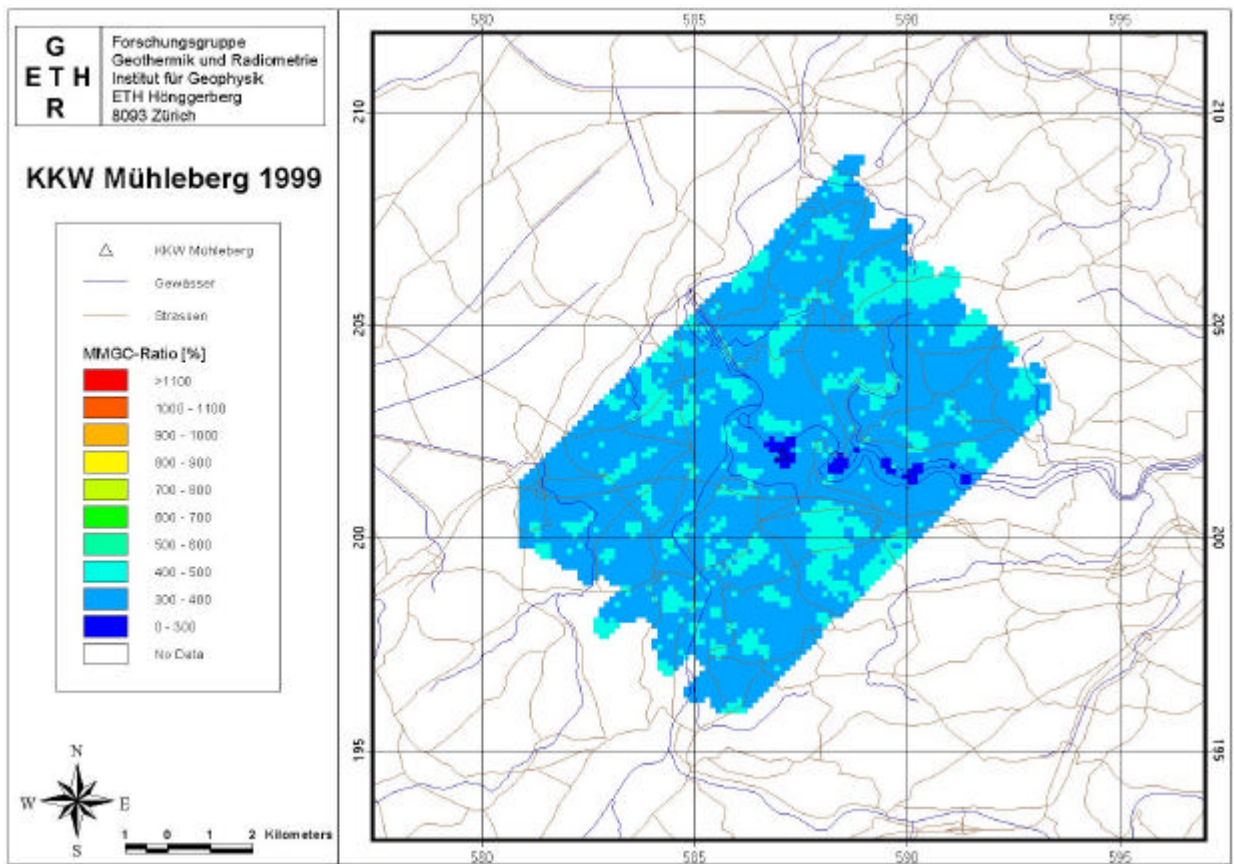
Beilage 20: ^{137}Cs -Aktivitäten in den Messgebieten Caslano und Breganzona.



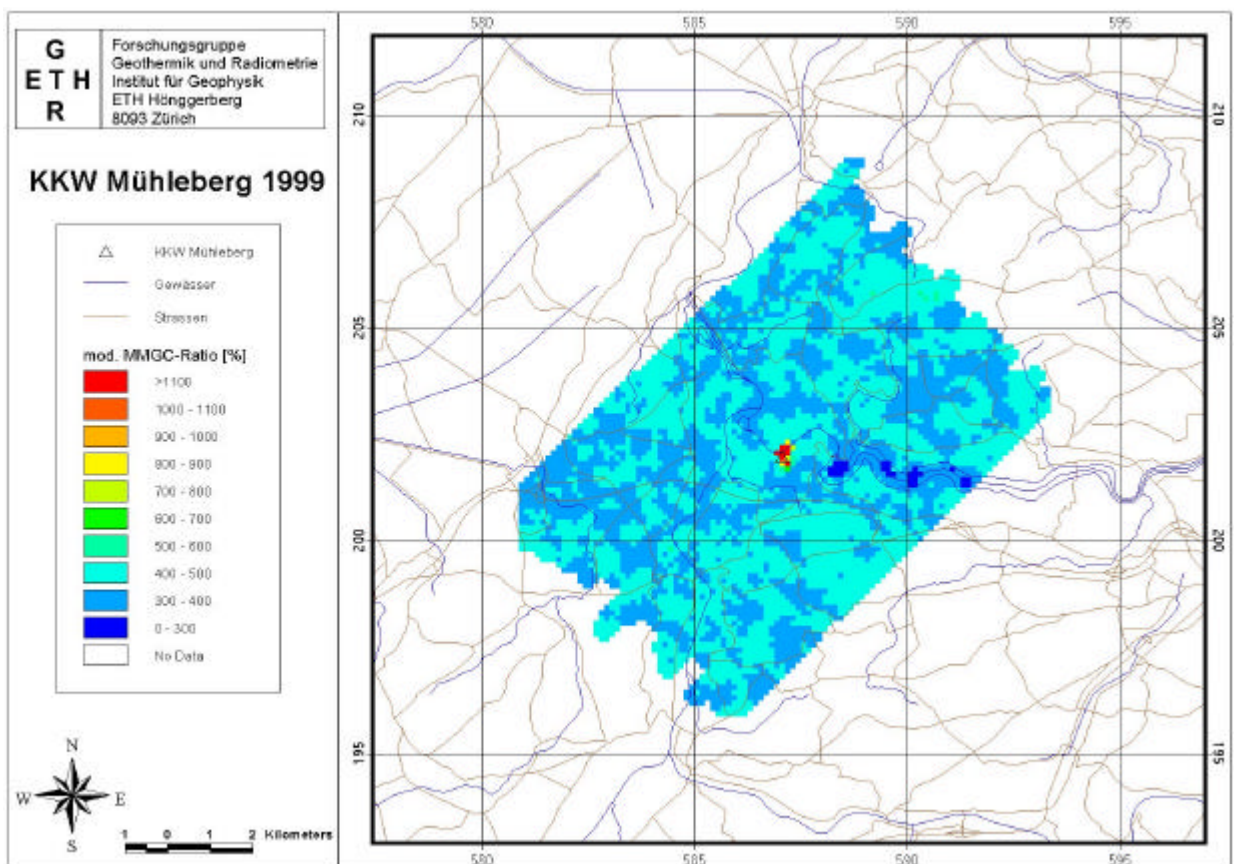
Beilage 1: Terrestrische Dosisleistung im Messgebiet KKW Mühleberg mit eingezeichneten Fluglinien und dem Standort des KKW. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



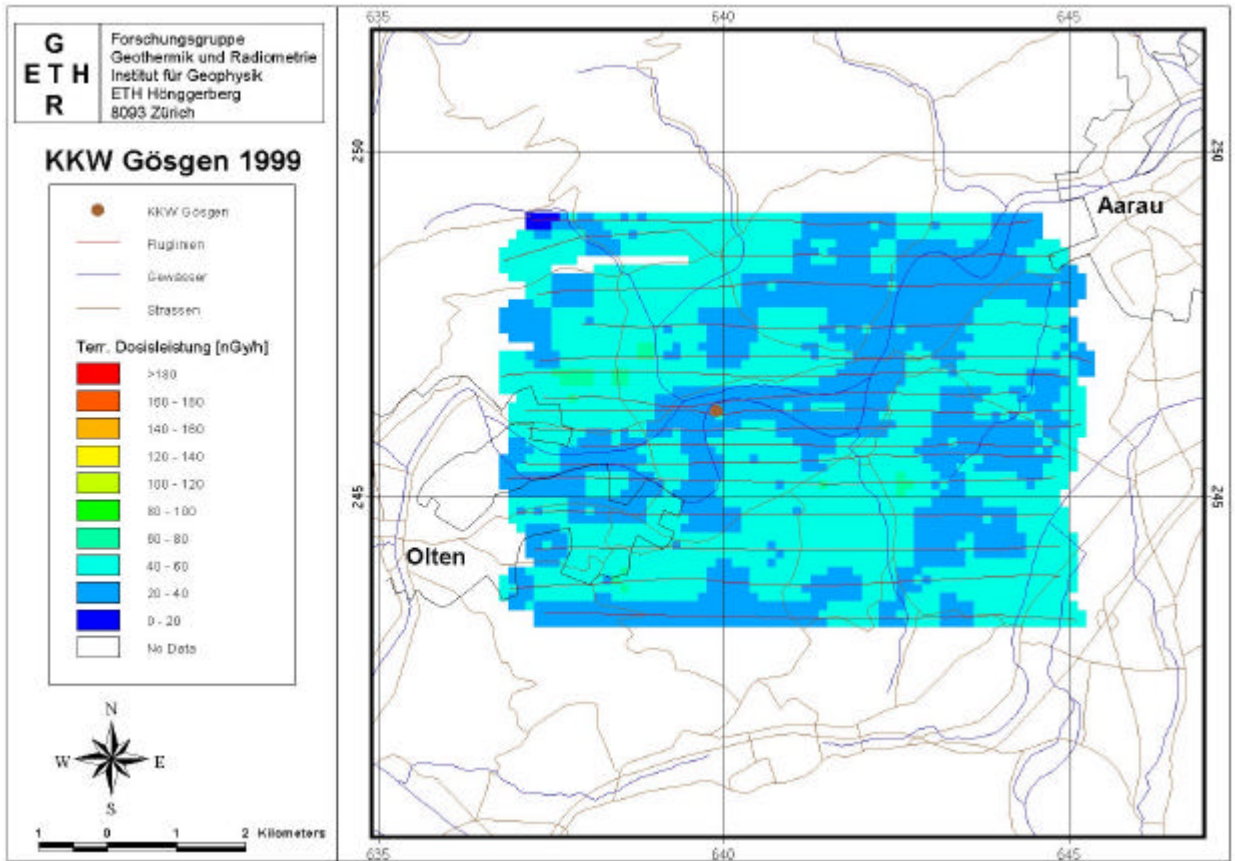
Beilage 2: ¹³⁷Cs-Aktivitäten im Messgebiet Mühleberg. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



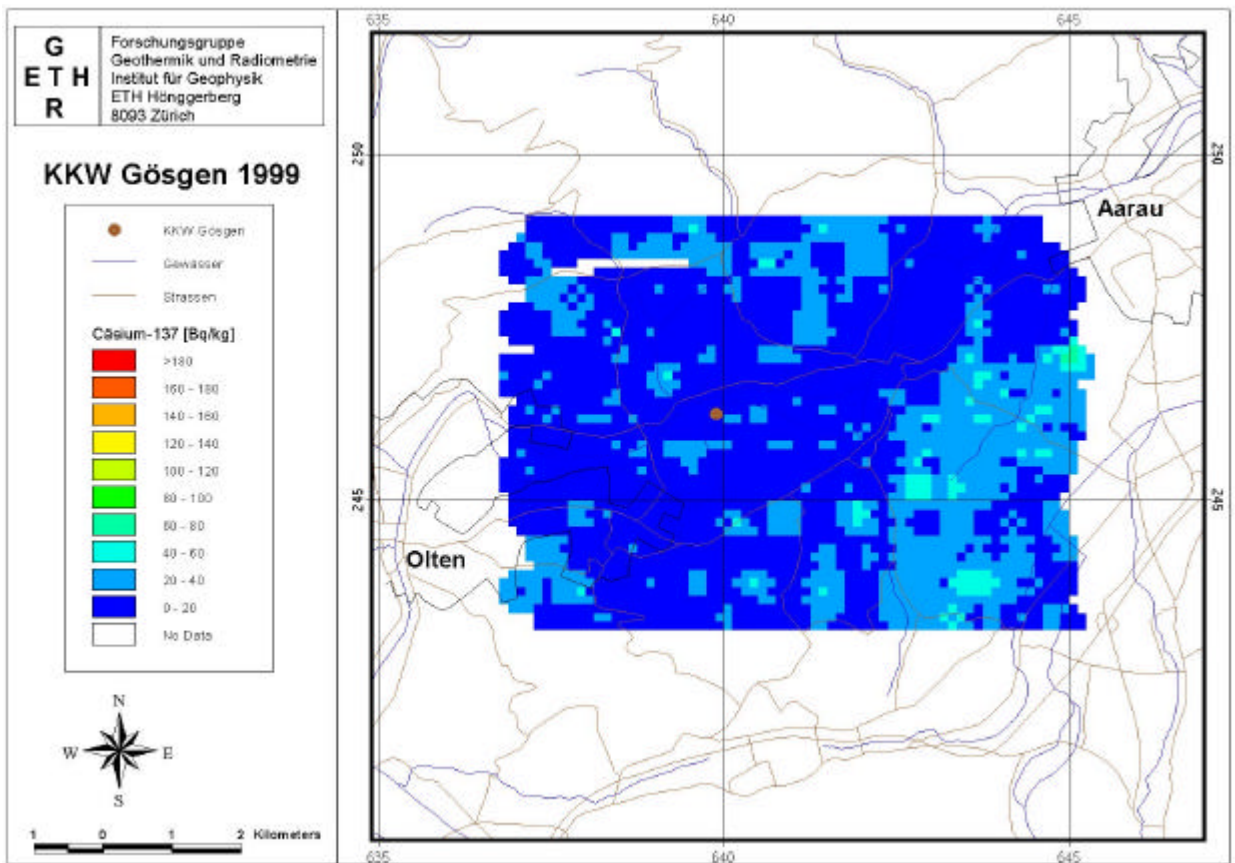
Beilage 3: MMGC-Ratio in [%] im Messgebiet Mühleberg. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



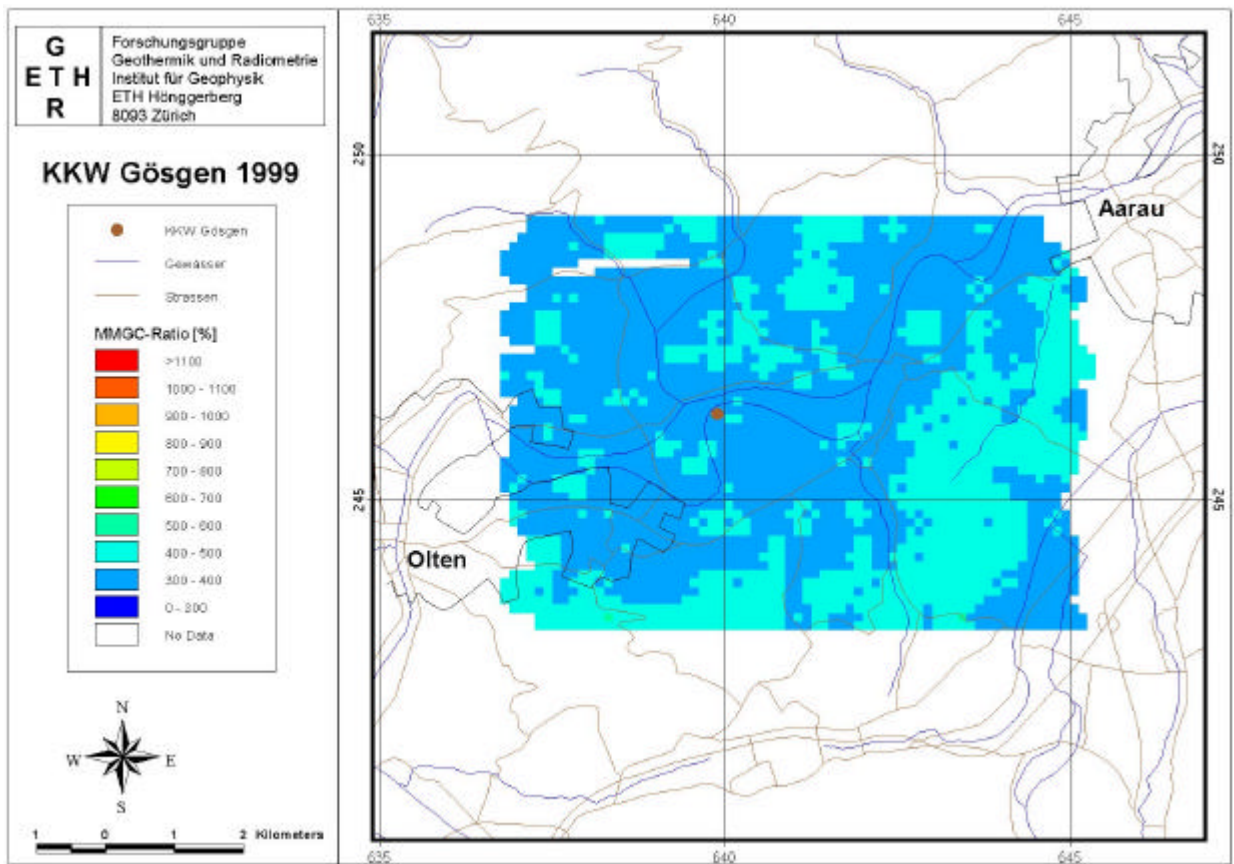
Beilage 4: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet Mühleberg. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



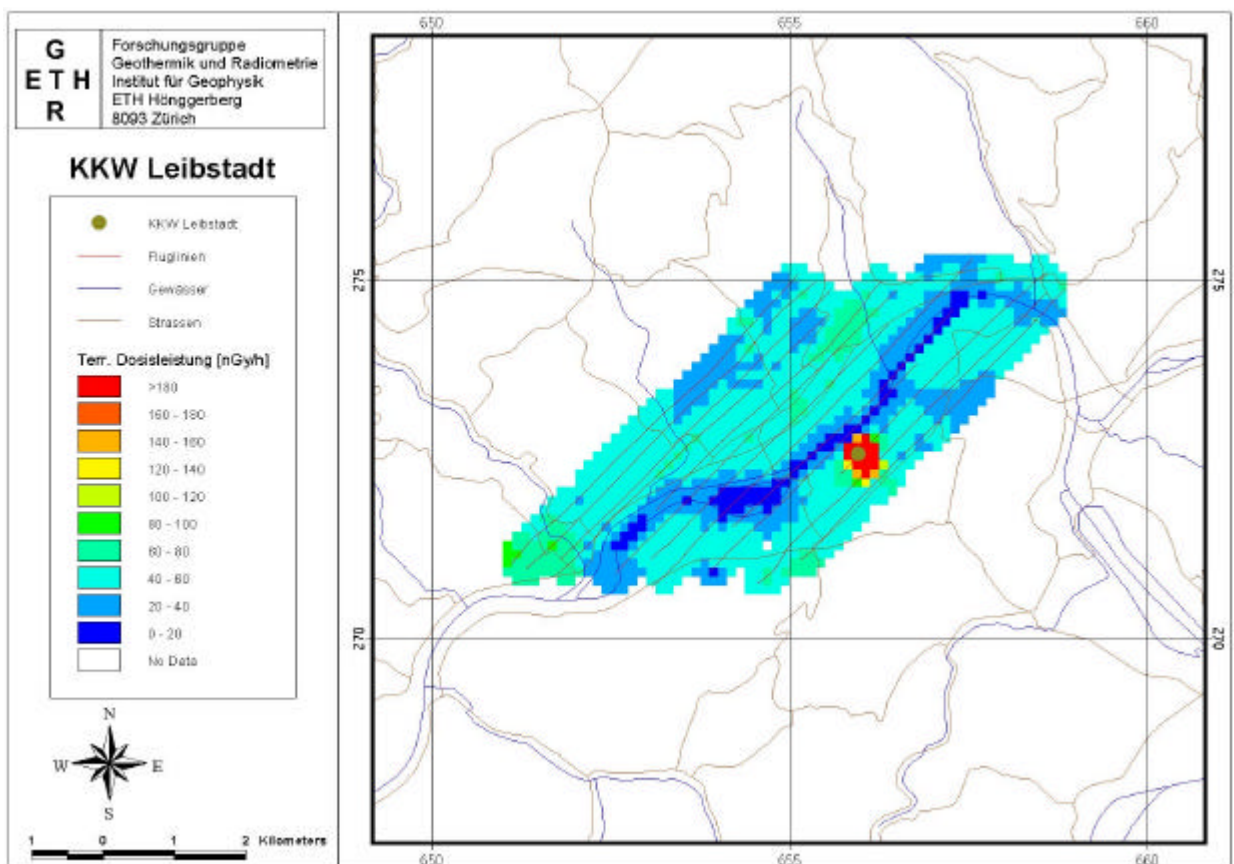
Beilage 5: Terrestrische Dosisleistung mit Fluglinien im Messgebiet KKW Gösgen. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



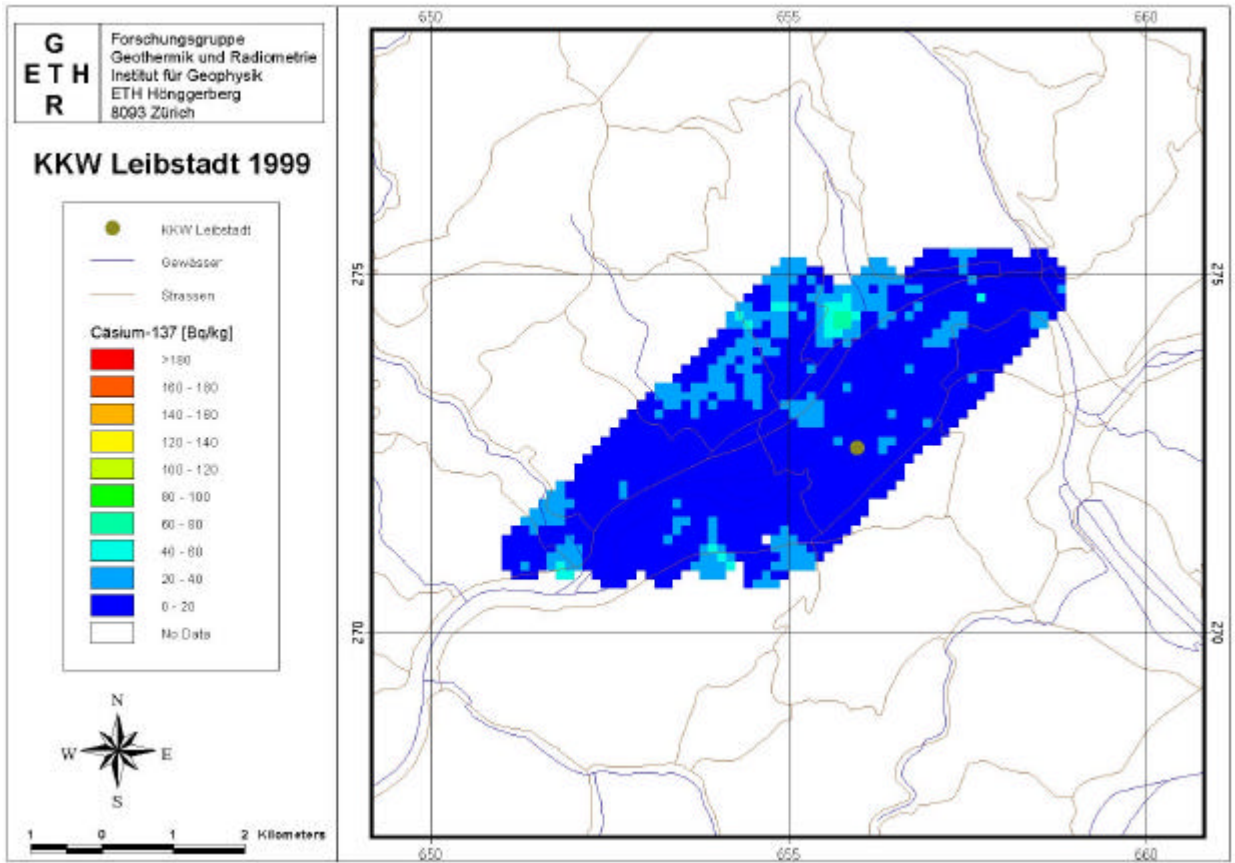
Beilage 6: ¹³⁷Cs-Aktivität im Messgebiet KKW Gösgen. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



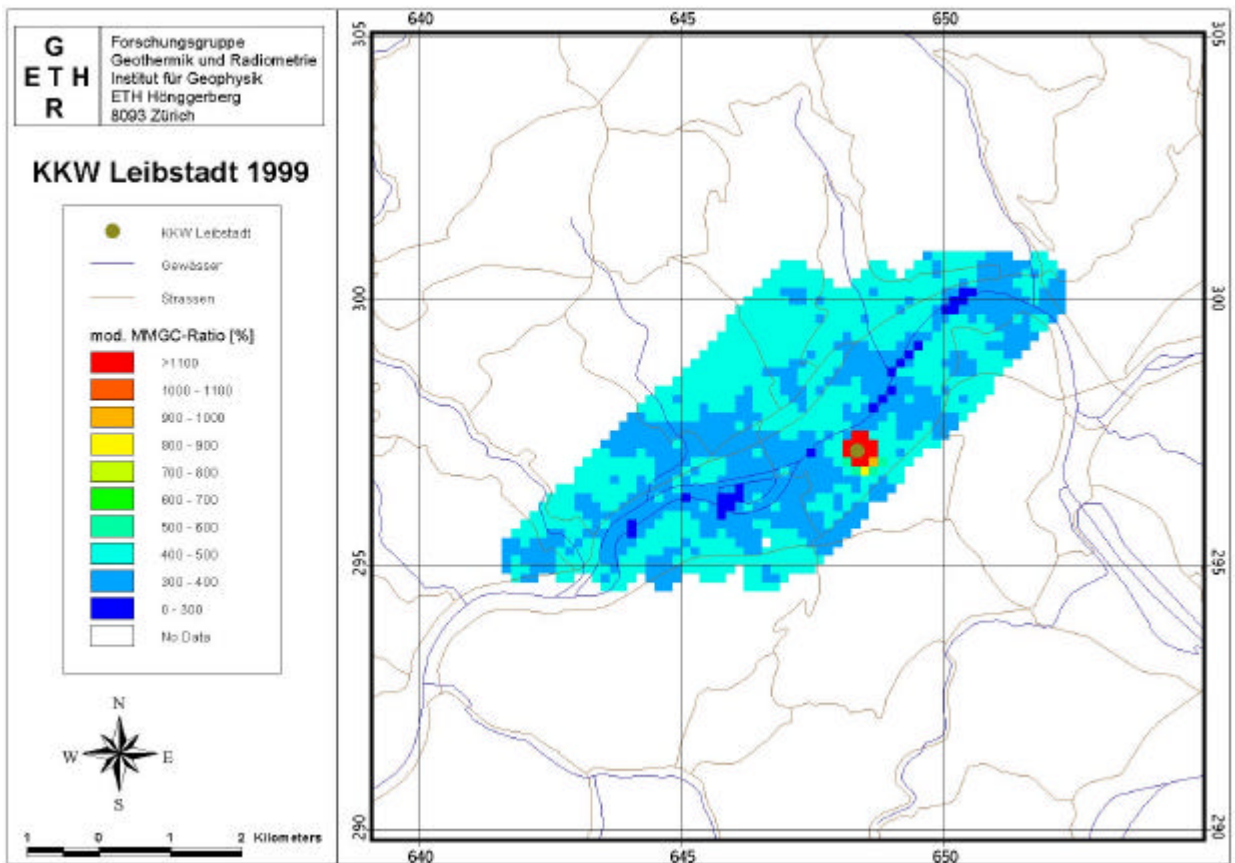
Beilage 7: MMGC-Ratio im Messgebiet KKW Gösgen. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



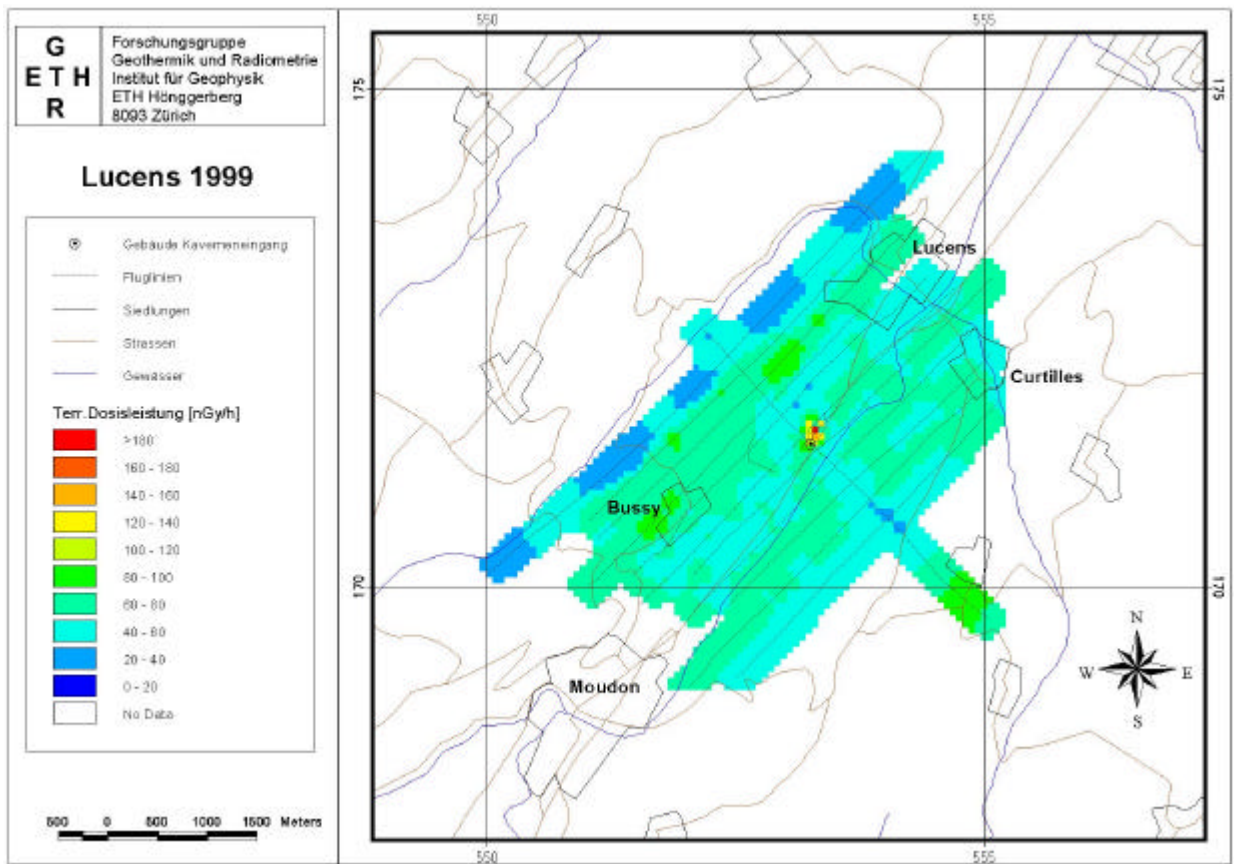
Beilage 8; Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet KKW Leibstadt. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



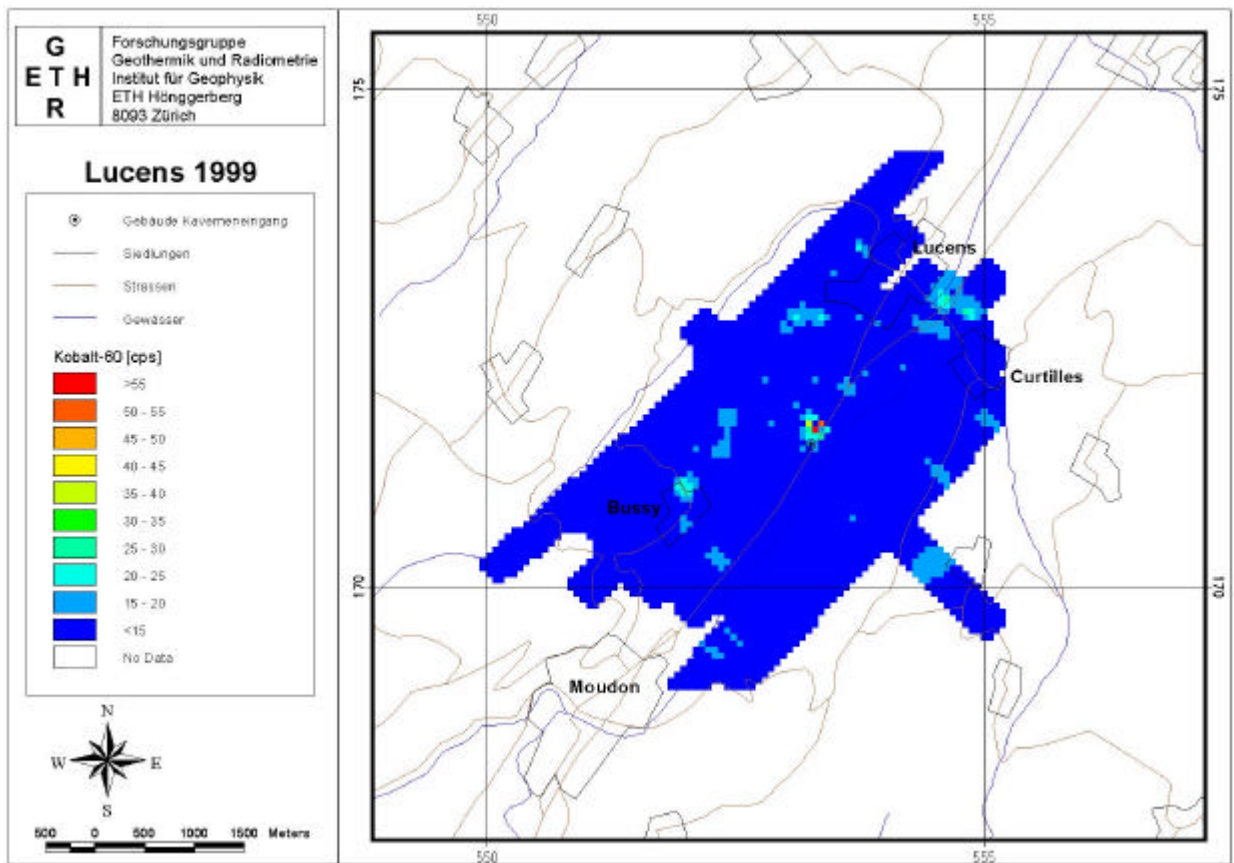
Beilage 9: ¹³⁷Cs-Aktivität im Messgebiet KKW Leibstadt. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



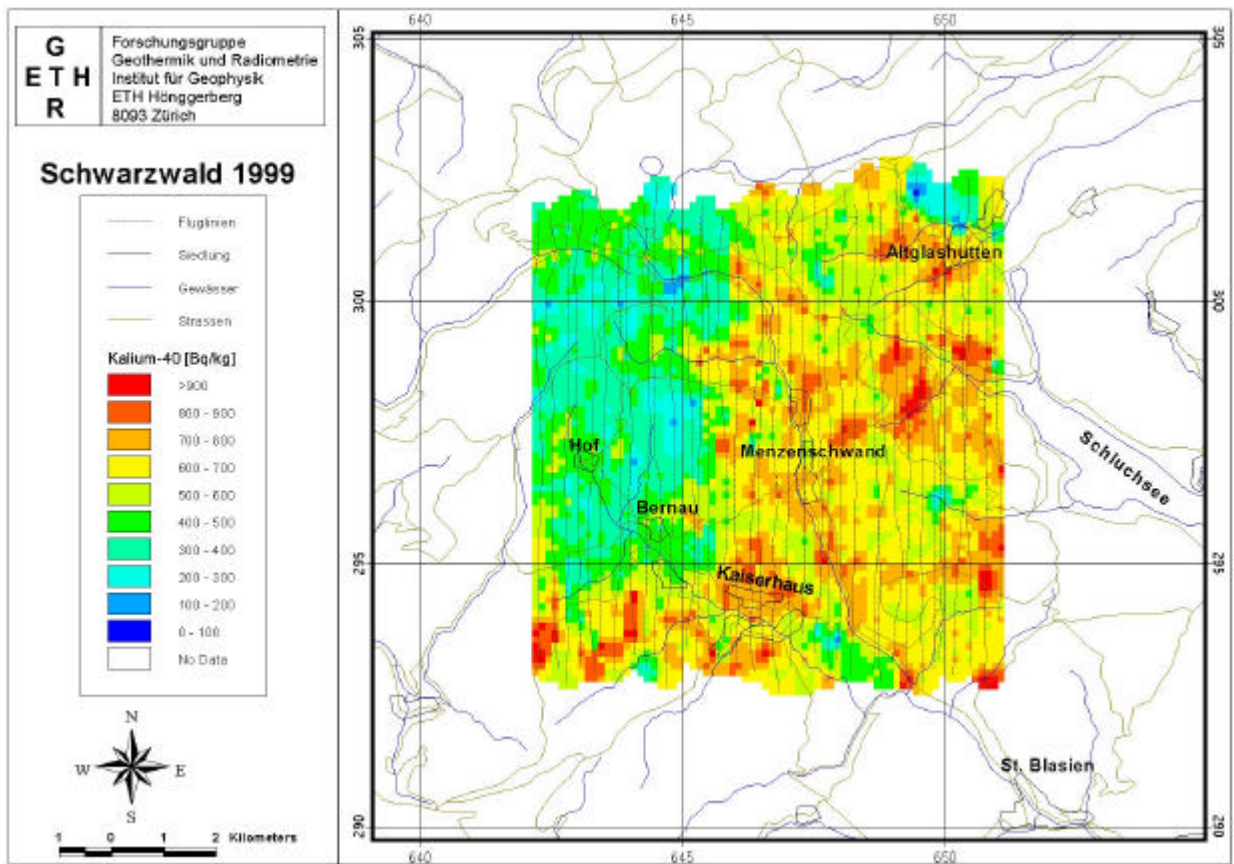
Beilage 10: Modifizierter MMGC-Ratio im Messgebiet KKW Leibstadt. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



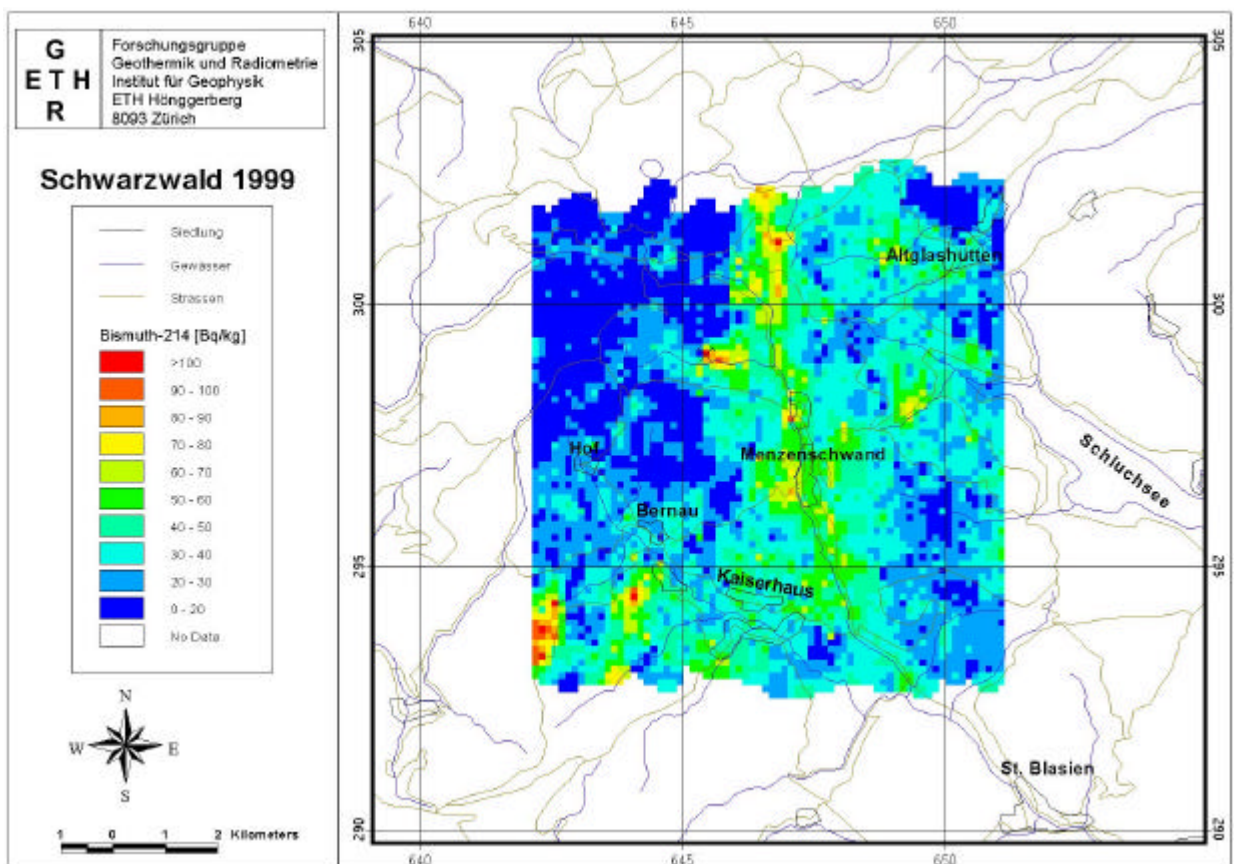
Beilage 11: Terrestrische Dosisleistung und Fluglinien im Messgebiet des ehemaligen Kernkraftwerkes Lucens. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



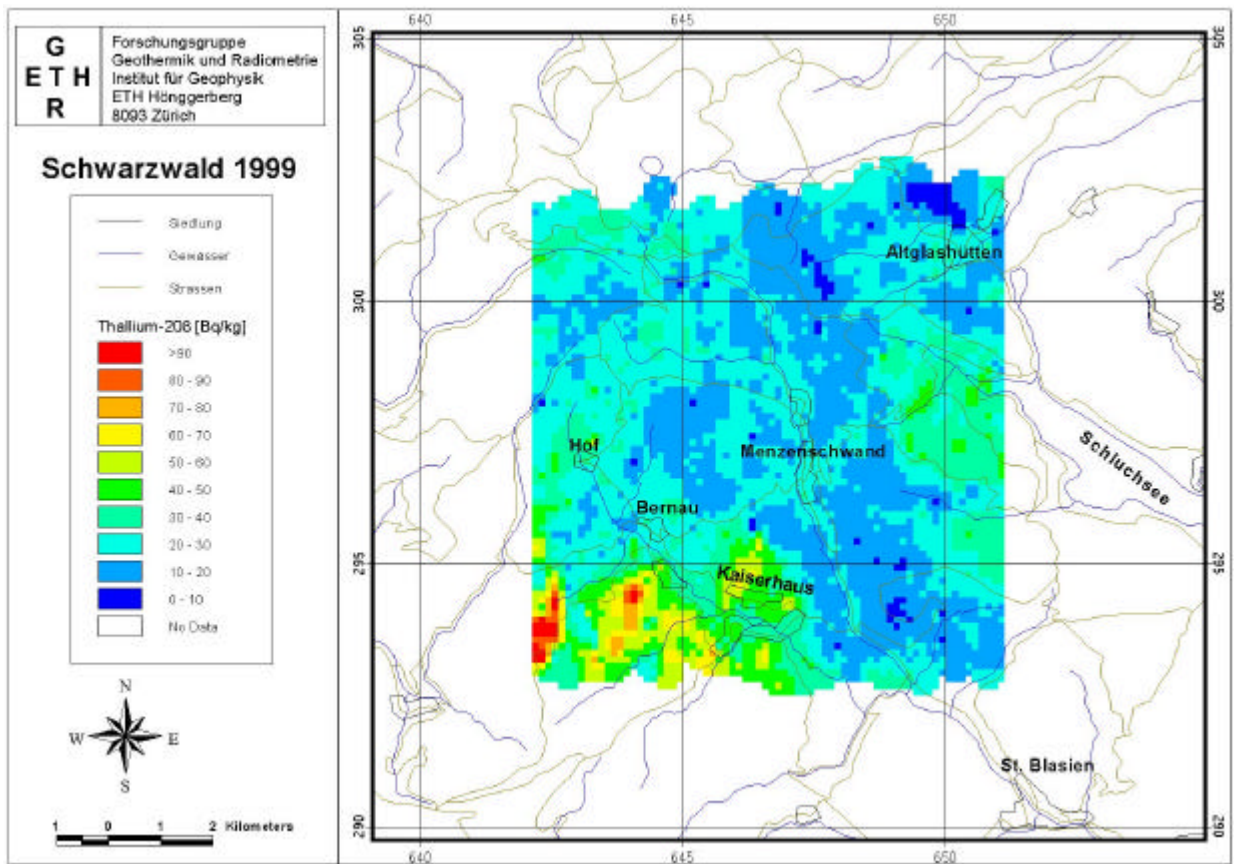
Beilage 12: Zählraten im ⁶⁰Co-Fenster im Messgebiet Lucens. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



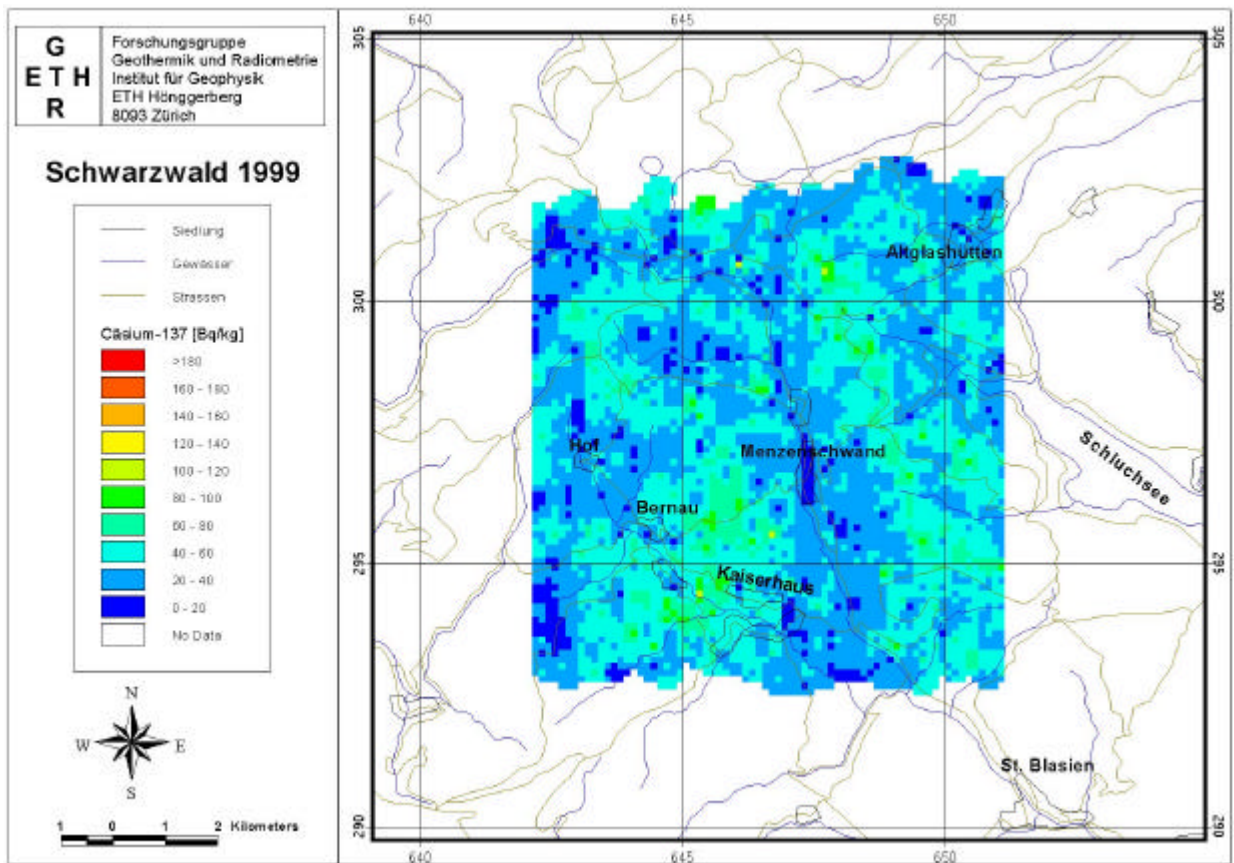
Beilage 13: ⁴⁰K-Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



Beilage 14: ²¹⁴Bi-Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



Beilage 15: ^{208}Tl -Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



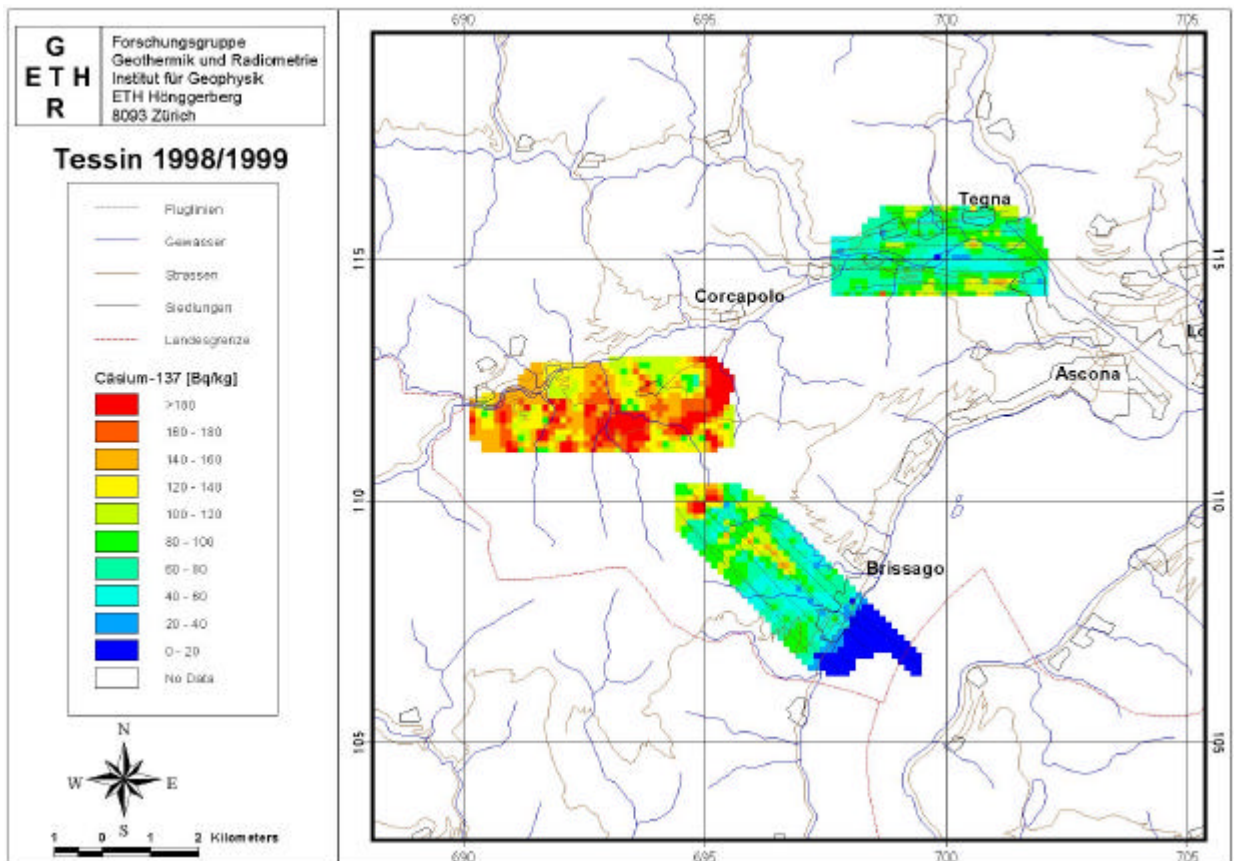
Beilage 16: ^{137}Cs -Aktivitäten im Messgebiet Schwarzwald. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).

Beilage 17: Resultate der gammaspektrometrischen Messungen an Bodenproben. In der Tabelle bedeutet f frische Probe, d getrocknete Probe und s gesiebte Probe. Messungen des SUeR Labors, Fribourg (Murith 1999).

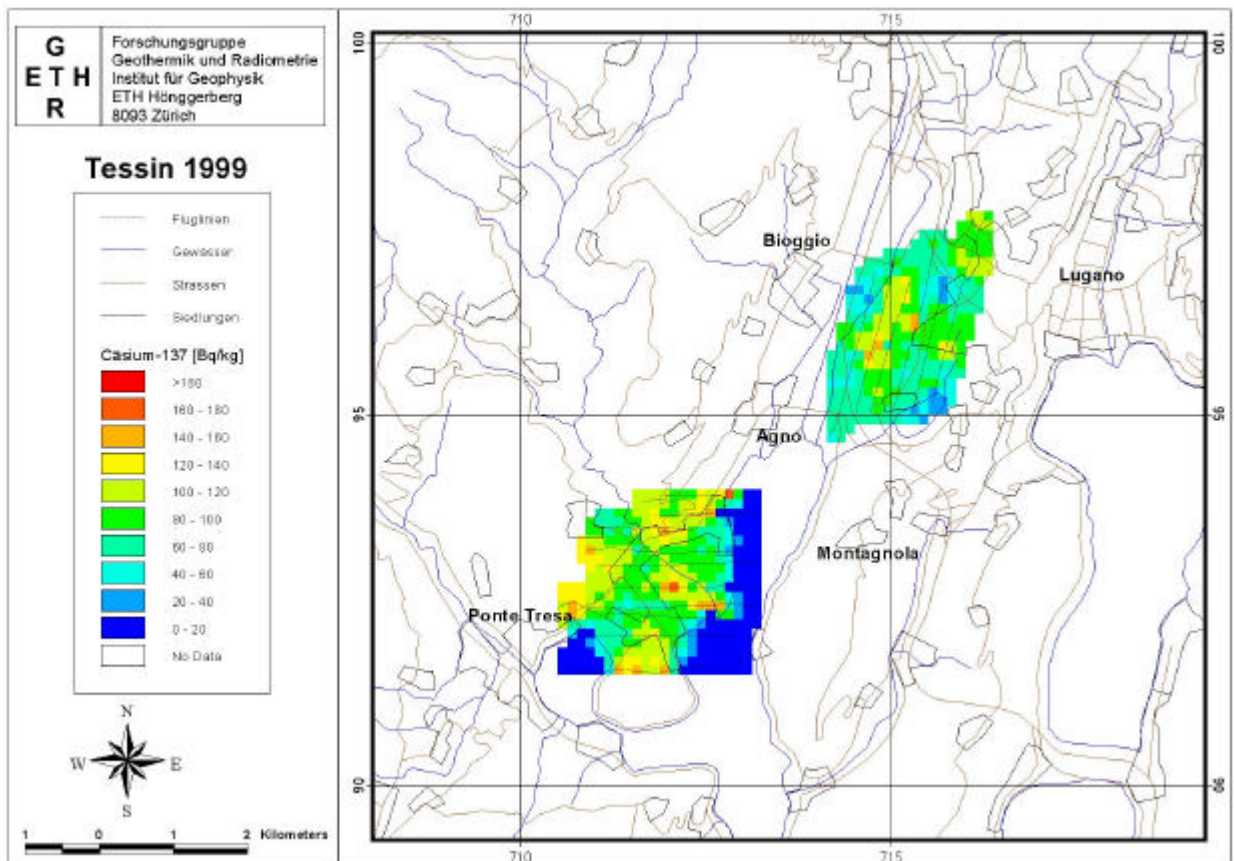
Locality Date	Feldberg BfS-Sonde 23.6.99 17h30	Feldberg Heli-Feld 23.6.99 15h00	Auelemer Kreuz 22.6.99 18h45	Oberaha Scheuermat 22.6.99 17h00	Menzensch. Vorderdorf 23.6.99 10h00	Menzensch. Wasserfall 23.6.99 12h00
profile g/cm³ fresh f/d/s (g) Activity s/f	0 - 5 cm 1.16 145/102/65 Bq/kg(sieved) 0.45	0 - 5 cm 1.36 170/103/77 Bq/kg(sieved) 0.45	0 - 5 cm 0.84 105/64/33 Bq/kg(sieved) 0.31	0 - 5 cm 1.05 131/82/51 Bq/kg(sieved) 0.39	0 - 5 cm 1.29 161/57/49 Bq/kg(sieved) 0.30	0 - 5 cm 1.30 162/139/66 Bq/kg(sieved) 0.41
⁷ Be ⁴⁰ K ²³⁵ U ²³⁴ Th ²²⁶ Ra ²¹⁴ Pb,Bi ²¹⁰ Pb ²²⁸ Ac ²¹² Pb,Bi ²⁰⁸ Tl ¹³⁷ Cs	17 ± 7 950 ± 40 3.1 ± 1.5 71 ± 10 53 ± 20 39 ± 2 95 ± 15 33 ± 3 34 ± 6 28 ± 3 37 ± 2	< 40 1100 ± 60 7.5 ± 4.5 159 ± 70 202 ± 89 79 ± 4 119 ± 25 50 ± 7 48 ± 3 48 ± 6 40 ± 3	< 30 980 ± 60 5.5 ± 3.3 114 ± 50 118 ± 60 57 ± 5 170 ± 35 28 ± 6 30 ± 3 29 ± 5 95 ± 4	< 20 1000 ± 50 5.7 ± 2.2 74 ± 13 75 ± 28 56 ± 5 179 ± 20 44 ± 4 41 ± 4 36 ± 4 99 ± 4	< 30 720 ± 50 < 10 116 ± 55 87 ± 70 52 ± 5 237 ± 32 24 ± 7 23 ± 5 21 ± 5 80 ± 5	< 20 1080 ± 50 17 ± 3 400 ± 160 308 ± 150 138 ± 7 300 ± 30 31 ± 5 31 ± 4 29 ± 4 70 ± 3
kg/m² Inventory ¹³⁷ Cs	58.0 Bq/m ² 960 ± 50	67.8 Bq/m ² 1230 ± 90	42.0 Bq/m ² 1250 ± 50	52.4 Bq/m ² 2010 ± 80	64.4 Bq/m ² 1570 ± 100	64.9 Bq/m ² 1860 ± 80
profile g/cm³ fresh f/d/s (g) Activity s/f	5 - 10 cm 1.39 174/119/88 Bq/kg(sieved) 0.51	5 - 10 cm 1.20 150/99/84 Bq/kg(sieved) 0.56	5 - 10 cm 1.27 159/117/62 Bq/kg(sieved) 0.39	0 - 5 cm 1.10 138/81/60 Bq/kg(sieved) 0.43	0 - 5 cm 1.54 193/156/104 Bq/kg(sieved) 0.54	5 - 8 cm 2.17 163/146/92 Bq/kg(sieved) 0.56
⁷ Be ⁴⁰ K ²³⁵ U ²³⁴ Th ²²⁶ Ra ²¹⁴ Pb,Bi ²¹⁰ Pb ²²⁸ Ac ²¹² Pb,Bi ²⁰⁸ Tl ¹³⁷ Cs	< 15 1000 ± 40 3.9 ± 1.7 84 ± 10 75 ± 20 39 ± 2 86 ± 13 33 ± 3 33 ± 2 30 ± 3 38 ± 2	< 40 1130 ± 60 6.8 ± 4.4 125 ± 60 200 ± 80 86 ± 5 105 ± 25 43 ± 7 43 ± 3 44 ± 6 60 ± 4	< 20 1120 ± 40 4.5 ± 1.7 121 ± 11 89 ± 24 56 ± 3 110 ± 14 31 ± 3 29 ± 3 27 ± 3 59 ± 2	< 30 1020 ± 50 3.2 ± 2.8 59 ± 29 103 ± 44 57 ± 4 150 ± 30 39 ± 5 39 ± 5 37 ± 5 100 ± 4	< 30 1200 ± 50 5.6 ± 3.3 55 ± 30 115 ± 48 58 ± 5 56 ± 18 27 ± 5 27 ± 3 26 ± 4 15 ± 2	< 20 1300 ± 50 7.0 ± 2.2 170 ± 70 275 ± 75 128 ± 6 156 ± 22 41 ± 5 38 ± 3 38 ± 4 13 ± 1
kg/m² Inventory ¹³⁷ Cs	69.6 Bq/m ² 1340 ± 70	60.0 Bq/m ² 2020 ± 130	63.6 Bq/m ² 1460 ± 50	55.2 Bq/m ² 2400 ± 100	77.2 Bq/m ² 1200 ± 160	65.1 Bq/m ² 480 ± 50
Total ¹³⁷ Cs	0 - 10 cm 2300	0 - 10 cm 3250	0 - 10 cm 2710	0 - 5 cm 2200	0 - 10 cm 2770	0 - 8 cm 2340

Beilage 18: Weitere Resultate von gammaspektrometrischen Messungen an Bodenproben. In der Tabelle bedeutet f frische Probe, d getrocknete Probe und s gesiebte Probe. Messungen des SUEr Labs, Fribourg (Murith 1999).

Locality Date	Auelemer Kreuz 22.6.99 18h45	Auelemer Kreuz 22.6.99 18h45	Menzensch. Vorderdorf 23.6.99 10h00	Menzensch. Vorderdorf 23.6.99 12h00	Menzensch. Wasserfall 23.6.99 12h00
profile	0 – 5 cm	5 – 10 cm	0 – 5 cm	5 – 10 cm	Parking~0-5
g/cm³ fresh	1.14	1.17	1.18	1.21	1.30
f/d/s (g)	142/92/45	146/89/53	148/64/51	175/133/93	470/433/255
Activity	Bq/kg(sieved)	Bq/kg(sieved)	Bq/kg(sieved)	Bq/kg(sieved)	Bq/kg(sieved)
s/f	0.32	0.36	0.34	0.53	0.54
⁷Be	50 ± 20	< 30	< 20	< 20	< 20
⁴⁰K	920 ± 50	980 ± 60	780 ± 40	1130 ± 30	1290 ± 50
²³⁵U	7 ± 3	4.5 ± 3.3	< 4	2.6 ± 1.0	9 ± 2
²³⁴Th	139 ± 60	173 ± 70	64 ± 12	65 ± 7	157 ± 60
²²⁶Ra	137 ± 70	172 ± 82	93 ± 30	80 ± 15	230 ± 20
²¹⁴Pb,Bi	91 ± 5	77 ± 6	57 ± 4	62 ± 2	125 ± 7
²¹⁰Pb	180 ± 30	210 ± 35	290 ± 20	86 ± 9	150 ± 20
²²⁸Ac	42 ± 6	39 ± 7	24 ± 3	27 ± 2	44 ± 5
²¹²Pb,Bi	41 ± 5	40 ± 6	25 ± 4	26 ± 3	42 ± 4
²⁰⁸Tl	42 ± 5	42 ± 5	21 ± 4	24 ± 3	40 ± 4
¹³⁷Cs	77 ± 4	79 ± 4	77 ± 3	24 ± 1	12 ± 1
kg/m²	56.8	58.4	59.2	70.0	188.0
Inventory	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²	Bq/m ²
¹³⁷Cs	1390 ± 70	1670 ± 80	1570 ± 60	880 ± 50	1220 ± 100
¹³⁷Cs total	0 – 10 cm	3060	0 – 10 cm	2450	--



Beilage 19: ¹³⁷Cs-Aktivitäten in den Messgebieten Centovalli 1998, Centovalli 1999 und Brissago 1999. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).



Beilage 20: ¹³⁷Cs-Aktivitäten in den Messgebieten Caslano und Breganzona. Kartendaten: VECTOR200[®] 1999 Bundesamt für Landestopographie (DV1429).