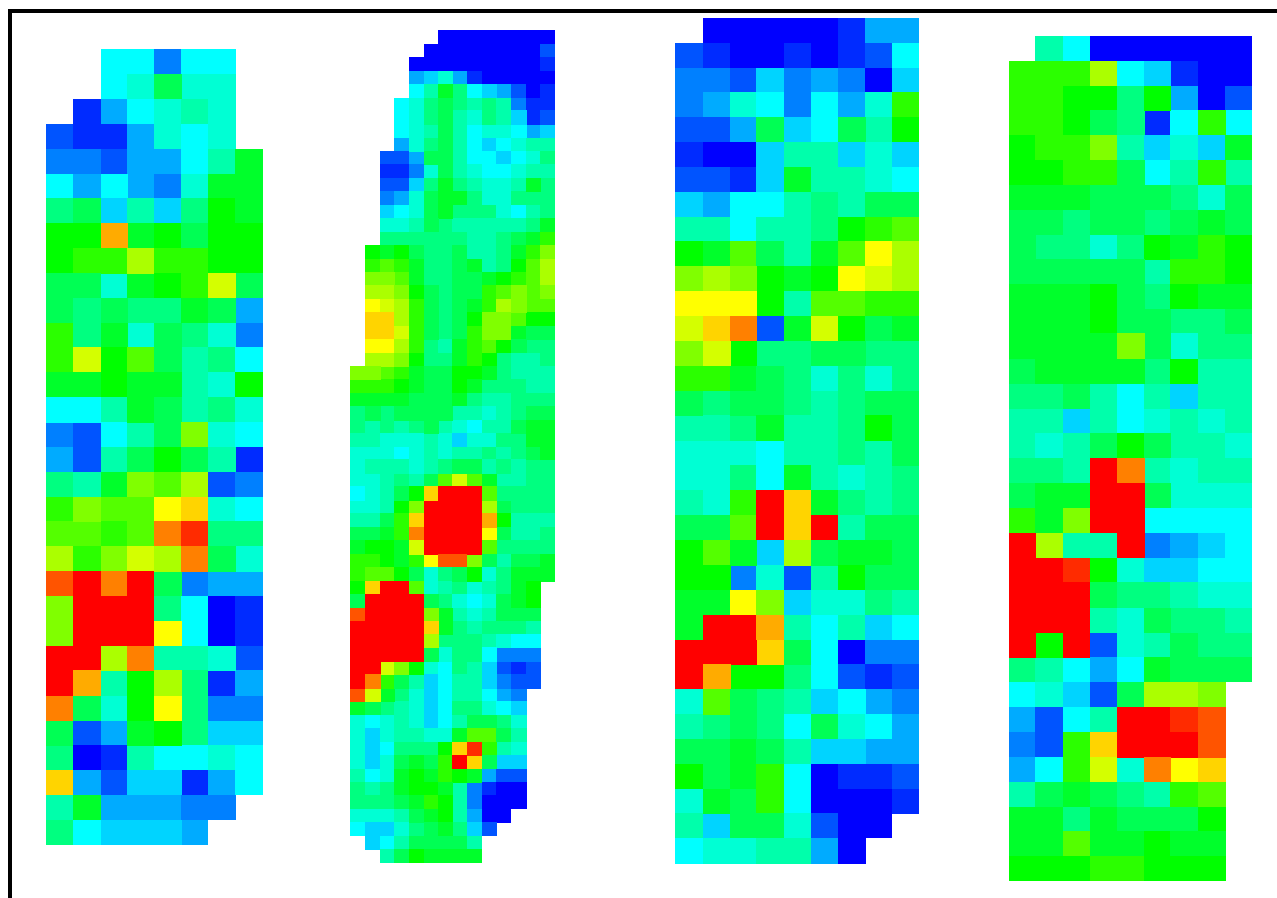




Georg F. Schwarz, L. Rybach, Chr. Bärlocher

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM95

Bericht für das Jahr 1995 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR)



März 1996

| | |
|--|-----------|
| 1 ZUSAMMENFASSUNG | 1 |
| 2 EINLEITUNG | 1 |
| 3 MESSGERÄTE | 2 |
| 4 KALIBRATION | 2 |
| 4.1 Helikopterbackground/ kosmische Strahlung | 2 |
| 4.2 Abschwächungskoeffizient der Luft | 3 |
| 4.3 Interkalibration | 3 |
| 4.4 Sättigung | 4 |
| 5 MESSERGEBNISSE | 5 |
| 5.1 Einleitung | 5 |
| 5.2 Kernkraftwerke KKM und KKG | 6 |
| 5.3 Messgebiet Jura | 7 |
| 5.4 Quellensuche | 8 |
| 6 FAZIT | 10 |
| 7 LITERATURVERZEICHNIS | 10 |
| 8 BEILAGEN | 11 |

1 Zusammenfassung

Die Flüge des Jahres 1995 wurden im Rahmen der Übung ARM95 in der Zeit vom 24. bis 28. April 1995 durchgeführt. Sie dienten vor allem der Ausbildung, als Test für internationale Zusammenarbeit, der Interkalibration der französischen und schweizerischen Messsysteme, sowie dem Training der Quellensuche.

Gemeinsam mit dem französischen Aeroradiometrie-Team HELINUC wurde ein Gebiet an der französischen Grenze im Jura vermessen. Jedes Team hat dabei einen Geländestreifen auf seinem Territorium abgedeckt. Anschliessend wurden auf dem Flugplatz Payerne Steigflüge für die Interkalibration der beiden Messgeräte durchgeführt. Die Zusammenarbeit zwischen den beiden Teams verlief ausgezeichnet. In einem Abkommen hat das französische Aeroradiometrie-Team die Unterstützung der Schweiz bei Notfällen zugesichert. Für die Zukunft sollen Konvertierprogramme für den Datenaustausch erstellt werden.

Zudem wurden in der Nähe des PSI drei radioaktive Quellen ausgelegt. Das Gebiet wurde in verschiedenen Flughöhen und mit unterschiedlichem Fluglinienabstand vermessen, um realistische Flugparameter bestimmen zu können. Erstmals wurden die Daten auf einem Laptop direkt im Helikopter ausgewertet, so dass bei der Landung bereits eine fertige aeroradiometrische Karte vorgelegen hat. In einem Bodenexperiment wurde die Sättigungsgrenze des Systems bestimmt.

Im Rahmen der aeroradiometrischen Überwachung der Kernanlagen wurden auch die Kernkraftwerke Gösgen und Mühleberg vermessen.

2 Einleitung

In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Dazu wurde am Inst. für Geophysik der ETHZ eine spezielle Methodik (Datenakquisition, Datenverarbeitung, Kartierung) entwickelt und angewandt.

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 Nationale Alarmzentrale (NAZ). Unterhalt und die Bereitstellung des Messsystems werden weiterhin vom Institut für Geophysik der ETHZ übernommen.

Als beratendes Gremium der NAZ besteht die Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR). Sie setzt sich aus Experten der SUeR, KUeR, HSK, Inst. für Geophysik der ETHZ, SGPK, KOMAC, PSI und IRA zusammen. Neben der Beratung in fachtechnischen Belangen übernimmt die FAR Auswertungen und Dateninterpretationen, die über die reine Routineauswertung hinausgehen. Sie legt das jährliche Messprogramm fest.

3 Messgeräte

Im Anschluss an die Messflüge 1994 wurde das Detektorpaket und das Spektrometer revidiert. Bei der Revision wurden zwei Kristalle erneuert, alle PM's und die Tastatur des Spektrometers ausgetauscht und neue Firmware aufgespielt.

Um die Einsatzbereitschaft zu erhöhen, wird gegenwärtig vom Inst. für Geophysik der ETHZ im Auftrag der NAZ ein zweites Messsystem gebaut. Es wird weniger Detektorleistung als das bisherige System aufweisen und ist vor allem für Fälle mit starker Geländeverstrahlung vorgesehen. Ansonsten wird es die gleichen Komponenten enthalten, so dass im Notfall immer eine Redundanz vorhanden ist.

4 Kalibration

Nach dem Austausch des Spektrometers wurde das Messsystem 1992 neu kalibriert. Eine zweite Kalibration erfolgte 1994 nach dem Wechsel des Helikoptertypes von Ecureuil zu Super-Puma. Für beide Kalibrationen stand ein sehr beschränkter Messdatensatz zur Verfügung. Die Kalibrationsresultate wiesen deshalb gewisse Unterschiede bei den kosmischen Streufaktoren und den Abschwächungskoeffizienten auf.

In der Praxis haben sich die unterschiedlichen Korrekturfaktoren nur unwesentlich ausgewirkt (vergl. Schwarz & Rybach, 1994; Abbildung 3). Zusammen mit den Messresultaten von 1995 wurde versucht ein neues Set von Kalibrationsfaktoren abzuleiten.

4.1 Helikopterbackground/ kosmische Strahlung

Die Bestimmung des Helikopterbackgrounds und der kosmischen Strahlung erfolgt optimalerweise über einem möglichst grossen See. Wegen Flugraumbeschränkungen in der Schweiz, insbesondere den Höchstflughöhen, fallen Bodensee und Genfersee ausser Betracht. Die Messungen 1992 und 1994 wurden deshalb über dem Neuenburgersee durchgeführt. Als Flughöhen wurde in beiden Fällen 2600 m, 3300 m, 3900 m und 4600 m gewählt.

Beim Flug von 1994 wurden kleinere kosmische Zählraten als 1992 gemessen. Dadurch ergaben sich verschiedene kosmische Streufaktoren. Der Unterschied wurde der grösseren Deckenabschirmung des Super-Puma zugeschrieben. Das Backgroundspektrum der Kalibration von 1994 weist eine bessere Qualität als dasjenige von 1992 auf. Für die Auswertungen 1995 wurden deshalb die Kalibrationswerte von 1994 verwendet.

Tabelle 1: Helikopter-Hintergrund I_B und kosmische Streufaktoren S_C (Messflüge vom 31.7.1992 und 23.8.1994 über dem Neuenburgersee).

| Fenster | Kalibrationsflug 1994 | | Kalibrationsflug 1992 | |
|---------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| | I_B | S_C | I_B | S_C |
| Total | 135 | 0.909 | 176.0 | 0.538 |
| Kalium | 11.2 | 0.046 | 16.2 | 0.025 |
| Uran | 6.3 | 0.038 | 8.0 | 0.018 |
| Thorium | 2.7 | 0.045 | 0.6 | 0.045 |
| Cäsium | 24.9 | 0.083 | 30.0 | 0.041 |
| Kobalt | 15.4 | 0.095 | 21.0 | 0.054 |
| MMGC1 | 116 | 0.650 | 147.0 | 0.355 |
| MMGC2 | 24.7 | 0.248 | 29.0 | 0.188 |

4.2 Abschwächungskoeffizient der Luft

Die in der Auswertung verwendeten exponentiellen Abschwächungskoeffizienten werden durch das Absorptionsverhalten des neuen Helikoptertyps etwas beeinflusst. Die Steigflüge zur Bestimmung der neuen Koeffizienten wurden am 25.8.1994 in der Nähe des Hallwylersees und am 26.4.1995 auf dem Flugplatz Payerne durchgeführt. Als Flughöhen wurden 30.5 m, 61 m, 91.5 m, 122 m, 152.5 m und 300.5 m gewählt. Die Messzeit auf jeder Höhe beträgt 30 s.

Die Resultate sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Für die Auswertung wurde der gerundete Mittelwert der experimentell bestimmten Abschwächungskoeffizienten verwendet.

Tabelle 2: Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung vom 25.8.1994 und vom 26.4.1995

| Fenster | $\mu_{\text{Mittel}} [\text{m}^{-1}]$ | $\mu_{1995} [\text{m}^{-1}]$ | $\mu_{1994} [\text{m}^{-1}]$ |
|---------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Total | 0.0060 | 0.0067 | 0.0051 |
| Kalium | 0.0080 | 0.0094 | 0.0076 |
| Uranium | 0.0055 | 0.0060 | 0.0045 |
| Thorium | 0.0060 | 0.0066 | 0.0050 |
| Cäsium | 0.0100 | - | - |
| Kobalt | 0.0080 | - | - |
| MMGC1 | 0.0060 | 0.0066 | 0.0052 |
| MMGC2 | 0.0065 | 0.0073 | 0.0053 |

4.3 Interkalibration

Ein wichtiger Teil der französisch-schweizerischen Übung war die Interkalibration der beiden Messsysteme. Dazu wurden von beiden Teams am 26.4.95 Steigflüge auf dem Flugplatz Payerne durchgeführt. Als Flughöhen wurden 30.5 m, 61 m, 91.5 m, 122 m, 152.5 m, 229 m und 300.5 m gewählt. Die Messzeit auf jeder Höhe betrug 30 s. Die Resultate sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Für jedes Fenster sind die gemessenen Zählraten (Raw), die Werte

nach der Korrektur von Helikopterbackground und kosmischer Hintergrundstrahlung (Strip) und nach der Höhenkorrektur auf ein Referenzniveau von 100 m (Alt) aufgetragen. Die Höhenkorrektur wurde mit den im Experiment bestimmten Abschwächungskoeffizienten durchgeführt (siehe Tabelle 2, Kolonne 2). Die französischen Steigflüge sind zur Zeit noch nicht ausgewertet, so dass noch kein Vergleich durchgeführt werden kann.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Resultate der Steigflüge in Payerne (in cps). Für jedes Fenster sind die gemessenen Zählraten (Raw), die Werte nach der Korrektur von Helikopterbackground und kosmischer Hintergrundstrahlung (Strip) und nach der Höhenkorrektur auf ein Referenzniveau von 100 m (Alt) aufgetragen.

| Flughöhe | Total | | | Kalium | | | Uran | | | Thorium | | | Cäsium | | |
|-------------------|-------|-------|------------|--------|-------|-----------|------|-------|-----------|---------|-------|-----------|--------|-------|----------|
| | Raw | Strip | Alt | Raw | Strip | Alt | Raw | Strip | Alt | Raw | Strip | Alt | Raw | Strip | Alt |
| 30.5 m | 1194 | 997 | 611 | 118 | 77 | 39 | 34 | 17 | 11 | 37 | 31 | 19 | 200 | 18 | 9 |
| 61 m | 1021 | 824 | 605 | 99 | 63 | 41 | 29 | 13 | 10 | 30 | 24 | 18 | 162 | 11 | 7 |
| 91.5 m | 849 | 652 | 591 | 77 | 45 | 39 | 26 | 11 | 10 | 26 | 20 | 18 | 134 | 6 | 5 |
| 122 m | 740 | 541 | 588 | 65 | 36 | 40 | 22 | 9 | 10 | 21 | 15 | 16 | 119 | - | |
| 152.5 m | 651 | 451 | 581 | 56 | 29 | 41 | 21 | 8 | 9 | 20 | 14 | 17 | 102 | - | |
| 229 m | 482 | 282 | 570 | 38 | 14 | 39 | 17 | 5 | 10 | 15 | 9 | 17 | 76 | - | |
| 300.5 m | 381 | 177 | 599 | 27 | 7 | 38 | 14 | 3 | 10 | 11 | 5 | 18 | 60 | - | |
| Mittelwert | | | 592 | | | 40 | | | 10 | | | 18 | | | 7 |

Aus den Mittelwerten der höhenkorrigierten Messwerte ergeben sich folgende Nuklidaktivitäten: K-40= 332 Bq/kg, Bi-214= 40 Bq/kg, Tl-208=31 Bq/kg, Cs-137=14 Bq/kg (siehe Schwarz et al., 1994). Daraus lässt sich eine terrestrische Ortsdosisleistung von 62 nSv/h ableiten.

4.4 Sättigung

Während der Übung zur Quellensuche wurde auf dem Fussballplatz des PSI mit der stärksten Quelle (Ir-192, 7.03 GBq) die Sättigungsgrenze des Messsystems bestimmt. Die Quelle wurde in 20 m, 10 m, 5 m und 1 m Abstand vom Helikopter aufgestellt und die Strahlung gemessen. Das Experiment musste unter grossem Zeitdruck mit laufendem Helikopter durchgeführt werden. Die Messungen beschränkten sich deshalb auf ein Minimum.

Im Abstand von 10 m wurden über 40'000 cps und im Abstand von 5 m wurden 70'000 cps registriert. Als die Quelle besser positioniert wurde war das Spektrometer gesättigt und zeigte kein Spektrum an.

Die Sättigungsgrenze des Messsystems kann auf rund 50'000 cps Gesamtzählrate (in allen Kanälen zusammen) geschätzt werden. Bei dieser ausserordentlich hohen Zählrate ist mit deutlich deformierten Spektren zu rechnen. Bei mehr als 70'000 cps Gesamtzählrate sinkt die Anzeige auf Null.

5 Messergebnisse

5.1 Einleitung

Die Messungen von 1995 erfolgten mit einem Super-Puma der Armee im Rahmen der Übung ARM95 in der Zeit vom 25.4.1995 bis zum 28.4.1995. Die Übung stand unter der Leitung von Dr. D. Frei (NAZ). Insgesamt wurden vier Messgebiete befliegen.

Die beiden Messgebiete KKG und KKM wurden bereits im Auftrag der HSK mehrmals vermessen und wurden auch 1995 mit denselben Flugparametern (siehe Tabelle 4) und entlang derselben Flugwege wie in den Jahren von 1990 bis 1993 (Schwarz et al., 1990, 1991, 1992, 1993) durchgeführt.

Im Unterwald in der Nähe des PSI wurde die Quellensuche geübt. Im Wald wurden drei Quellen ausgelegt. Im Anschluss an die Suchflüge wurde noch ein Sättigungsexperiment mit der stärksten Quelle durchgeführt.

Ein Gebiet an der französischen Grenze im Jura wurde gleichzeitig mit dem französischen Aeroradiometrie-Team HELINUC vermessen. Jedes Team hat dabei einen Geländestreifen auf seinem Territorium abgedeckt. Anschliessend wurden auf dem Flugplatz Payerne Steigflüge für die Interkalibration der Messgeräte durchgeführt.

Tabelle 4: Flugparameter für die Messflüge im Rahmen der Übung ARM95.

| Messgebiet | Längs-linien-abstand [m] | Fläche [km ²] | Flug-höhe [m] | Flug-richtung [Grad] | Flugge-schwin-digkeit [m/s] | Sample-intervall [s] |
|--------------|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| Mühleberg | 250 | 50 | 120 | 60/240 | 30 | 1 |
| Jura | 250 | 39 | 120 | 90/270 | 30 | 1 |
| Quellensuche | 250/125 | 4 | 120/60 | 80/260 | 30 | 1 |
| Gösgen | 250 | 50 | 120 | 90/270 | 30 | 1 |

Die genauen Flugdaten sind in Tabelle 5 zusammengestellt. Für die Vermessung der insgesamt 545 km Messstrecke und der Kalibrationsflüge wurden rund 13 Flugstunden benötigt.

Tabelle 5: Zusammenstellung der Flugdaten 1994

| Messgebiet | Flug-Nummern | Datum | Fluglinien | Eff. Messzeit [s] | Flugstrecke [km] |
|--------------|--------------|---------|------------|-------------------|------------------|
| Mühleberg | 9501 | 25.4.95 | 9-16 | 2500 | 178 |
| | 9502 | 25.4.95 | 7-8/17-23 | 1700 | |
| Jura | 9503 | 26.4.95 | 17-26 | 1700 | 96 |
| | 9504 | 26.4.95 | 27-33 | 1100 | |
| Quellensuche | 9506 | 27.4.95 | 1-4 | 600 | 43 |
| | 9507 | 27.4.95 | 11-17 | 1200 | |
| Gösgen | 9509 | 27.4.95 | 8-15 | 2600 | 228 |
| | 9510 | 27.4.95 | 1-7/16-27 | 3000 | |
| Eichflüge | 9505 | 26.4.95 | Steigflug | 500 | |
| | 9508 | 27.4.95 | Sättigung | - | |

5.2 Kernkraftwerke KKM und KKG

Die auf den Karten dargestellten Werte wurden durch die Ausführung sämtlicher in Schwarz (1991) beschriebenen Korrekturen berechnet. Die Kartendarstellung der Resultate erfolgten in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125x125m. Ausser für die Flugwegkarten, wird für die Darstellung der gemessenen bzw. berechneten Werte eine lineare 25-stufige Farbskala verwendet (blau-cyan-grün-gelb-rot \Rightarrow 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.

Für beide Gebiete wurde eine Ortsdosisleistungskarte, eine Karte der Cs-137 Aktivität sowie eine Karte des MMGC-Ratios erstellt.

Der Siedewasser-Reaktor KKM war während der Messungen in Betrieb. Durch die Frischdampfleitung gelangt das Aktivierungsprodukt N-16 (aus der Reaktion $O-16(n,p)N-16$, $T_{1/2}=7.3s$) ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des N-16 (zwei Gammalinien bei 6.13MeV und 7.11MeV) aus der Luft sehr gut detektiert werden. Die Streustrahlung der ausgesandten N-16-Quanten kann im gesamten Spektrum festgestellt werden.

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.

Beilagen KKG und KKM

Beilage 1: Flugwegkarte Messgebiete KKG

Die Flugwege wurden mit dem Satellitennavigationssystem GPS bestimmt. Der Standort des Kernkraftwerks ist mit einem gefüllten Dreieck gekennzeichnet.

Beilage 2: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKG

Das KKG ist nicht zu erkennen. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen \Rightarrow hoch, Wald und Flüsse \Rightarrow niedrig).

Beilage 3: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKG

Das Kartenbild zeigt mit Ausnahme von Koordinate 640200/244900 durchwegs normale Werte. Die Anomalie im Cäsiumfenster wird durch die niedrigenergetische Streustrahlung einer industriellen Bestrahlungsanlage verursacht. Das KKG ist nicht zu erkennen.

Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKG

Der Standort der industriellen Bestrahlungsanlage tritt deutlicher in Erscheinung. Der Standort des KKG ist nicht erkennbar.

Beilage 5: Flugwegkarte Messgebiet KKM

Die Flugwege wurden mit dem Satellitennavigationssystem GPS bestimmt. Der Standort des Kernkraftwerks ist mit einem gefüllten Dreieck gekennzeichnet.

Beilage 6: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKM

Durch den N-16-Effekt ist der Standort des KKM auf der Ortsdosisleistungskarte klar ersichtlich. Die aus der Luft bestimmte Ortsdosisleistung von 1460 nSv/h ist eine grobe Näherung des tatsächlichen Wertes. So wurden bei der Berechnung der Ortsdosisleistung weder Quellgeometrie noch der ausgeprägte hochenergetische Strahlungsanteil der N-16-Strahlung berücksichtigt. In der Umgebung des KKM treten durchwegs normale Werte auf. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen⇒hoch, Wald und Flüsse⇒niedrig).

Beilage 7: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKM

Wegen der Störung durch die N-16-Strahlung ist das KKM in der Cs-137 Karte nicht zu erkennen. In der Umgebung des KKM treten durchwegs normale Werte auf.

Beilage 8: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKM

Wegen der hochenergetischen N-16-Strahlung wird der MMGC-Ratio über dem KKM sehr klein. Der Standort des KKM kann anhand der niedrigen Werte klar identifiziert werden.

5.3 Messgebiet Jura

Anlässlich der gemeinsamen Übung mit dem französischen Aeroradiometrie-Team HELINUC wurde ein Gebiet an der französischen Grenze in der Gegend südlich von Porrentruy vermessen (Koordinaten 569000/242000-575000/252000). Die Messungen beider Teams fanden zur gleichen Zeit am 26.4.95 statt. Jedes Team hat dabei einen Geländestreifen auf seinem Territorium abgedeckt. Wegen der schlechten Sichtverhältnisse konnten im höhergelegenen schweizerischen Teil des Messgebietes nur wenige Fluglinien vermessen werden.

Anschliessend wurden auf dem Flugplatz Payerne Steigflüge für die Interkalibration der Messgeräte durchgeführt. Die Resultate dieser Messungen sind in Kapitel 4.3 zusammengefasst. Die Zusammenarbeit der beiden Teams war ausgezeichnet. Die Karten des französischen Aeroradiometrie-Teams sind im Bericht Bourgeois et al., 1995 zusammengestellt.

Die berechneten Ortsdosisleistungswerte der beiden Messflüge erlauben einen groben Vergleich der Messresultate. Diese sind in Beilage 11 zusammengestellt. Leider ist die Überdeckung der beiden Gebiete klein. Die Resultate stimmen jedoch recht gut überein.

Die gemessenen Nuklidaten können nicht direkt miteinander verglichen werden. Im französischen Bericht sind nur die rohen Fensterdaten aufgeführt. Weil sie bei extrem niedrigen Flughöhen von 40 m gemessen wurden, weisen sie deutlich höhere Zählraten auf, als die bei

120 m gemessenen schweizerischen Daten. Für die Zukunft sollen Konvertierprogramme für den Datenaustausch erstellt werden, damit die Messdaten einheitlich verarbeitet werden können.

Beilagen Jura

Beilage 9: Flugwegkarte Messgebiet Jura

Die Flugwege wurden mit dem Satellitennavigationssystem GPS bestimmt.

Beilage 10: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Jura

Beilage 11: Kombination der französischen und der schweizerischen Messungen der Ortsdosisleistung (nSv/h). Die französischen Messresultate wurden aus dem Übungsbericht (Bourgeois et al., 1995) eingescannt und mit den schweizerischen Werten visuell kombiniert.

Beilage 12: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

Beilage 13: Bi-214 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

Beilage 14: Tl-208 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

5.4 Quellensuche

Die NAZ wurde durch die Flughafenfeuerwehr Zürich darauf aufmerksam gemacht, dass nach einem Flugzeugabsturz (auch Kleinflugzeuge) oft die Frage nach einer möglichen radioaktiven Quelle an Bord einer raschen Klärung bedarf. Die schnelle Überprüfung eines solchen Verdacht stellt einen realistischen Einsatzfall für die Aeroradiometrie dar. Für die praktische Erprobung der Möglichkeiten der Aeroradiometrie wurde von einem Flugzeugabsturz in unwegsamem Waldgebiet ausgegangen.

Zur Überprüfung der Messergebnisse wurden vom PSI drei radioaktive Quellen im Unterwald in der Nähe von Würenlingen ausgelegt. Die stärkste Quelle (Q1) war eine Ir-192-Quelle mit 7.03 GBq Aktivität. Die beiden anderen Quelle waren Cs-137 Quellen mit Aktivitäten von 2.21 GBq (Q2) bzw. 370 MBq (Q3).

Im ersten Messflug wurde das Gebiet mit einem Fluglinienabstand von 250 m und einer Flughöhe von 120 m vermessen. Der zweite Flug erfolgte gleich anschliessend (ohne Zwischenlandung) mit einem Fluglinienabstand von 125 m in einer Flughöhe von 60 m.

Die Resultate der Suchflüge sind in Beilage 15 zusammengestellt. Die beiden starken Quellen (Q1 und Q2) können auf allen Datensätzen identifiziert werden. Die dritte Quelle konnte jedoch nur im zweiten detaillierten Suchflug eindeutig detektiert werden.

Um somit relativ schwache Quellen mit Aktivitäten im MBq-Bereich in schwierigem Gelände (Wald) sicher detektieren zu können, sollte eine Flughöhe von 60 m und ein Fluglinienabstand von 125 m gewählt werden.

Die Datenauswertung erfolgte während der Flüge auf einem mitgeführten Laptop. Die Auswertung des ersten Fluges konnte noch in der Luft abgeschlossen und über Funk an die Bodenmannschaft übermittelt werden. Die Messdaten des zweiten Fluges waren 5 Minuten nach der Landung ebenfalls aufgearbeitet. Die Auswertung von Messdaten während des Fluges bereitet keine technischen Probleme. Die Person welche, die Auswertungen durchführt sollte jedoch sehr resistent gegen Reisekrankheit sein.

Beilagen Quellsuche

Beilage 15: Zusammenstellung des MMGC-Ratios (%) der Quellsuchflüge im Unterwald (Würenlingen). Die ausgelegten Quelle hatten folgende Zusammensetzung und Aktivität: Q1=Ir-192 mit 7.03 GBq, Q2=Cs-137 mit 2.21 GBq, Q3=Cs-137 mit 370 MBq. Dargestellt ist der MMGC-Ratio der korrigierten Daten. Die Flugwege wurden den Daten überlagert. Karte 1 zeigt das Resultat des ersten Suchflugs (120 m Flughöhe, 250 m Fluglinienabstand). Bei diesem Flug konnten nur die zwei starken Quellen detektiert werden (Q1 und Q2). Im zweiten detaillierteren Suchflug (Flughöhe 60m, Fluglinienabstand 125 m, Karte 2) konnten alle drei Quellen eindeutig detektiert werden.

Auf den Karten 3 und 4 der Beilage wurde mit Hilfe der Daten des zweiten Messfluges ein grösserer Fluglinienabstand simuliert. Auf Karte 3 sind die Fluglinien mit ungerader Liniennummer, auf Karte 4 diejenigen mit gerader Liniennummer dargestellt. Daraus ergibt sich ein Fluglinienabstand von jeweils 250 m. Weil die schwächste Quelle (Q3) direkt unter der Fluglinie 6 plaziert war kann sie nur in der Karte 4 eindeutig identifiziert werden. Karte 3 zeigt ein ähnliches Bild wie Karte 1.

6 Fazit, Perspektiven

Das KKM, das während der aeroradiometrischen Messungen im Betrieb war, konnte anhand der N-16-Strahlung sehr gut detektiert werden. Diese Strahlung wird bei Siedewasserreaktoren durch das Aktivierungsprodukt N-16 erzeugt, welches im Betrieb durch die Frischdampfleitung ins Maschinenhaus gelangt. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des N-16 aus der Luft sehr gut detektiert werden.

Das KKG konnte aeroradiometrisch nicht nachgewiesen werden. Im Messgebiet KKG konnte jedoch die Bestrahlungsquelle der STUDER Draht- und Kabelwerke AG nachgewiesen werden. Die Kunststoffe für die Kabelhüllen werden zur Verfestigung mit einer Co-60-Quelle bestrahlt. Durch die starke Abschirmung wird die Direktstrahlung vollständig absorbiert. Trotzdem ist die Quelle anhand der niedrigerenergetischen Streustrahlung im Cäsiumfenster und im MMGC-Ratio schwach erkennbar.

Sonst konnte ausserhalb der umzäunten Areale der Kernanlagen keine erhöhte künstliche Radioaktivität, die nicht durch Tschernobyl oder die Kernwaffenversuche der sechziger Jahre erklärt werden kann, nachgewiesen werden. Der Aktivitätspegel in der Umgebung ist über die letzten vier Jahre etwa konstant geblieben.

Die grenzüberschreitende Übung mit dem französischen Aeroradiometrieteam HELINUC der CEA konnte erfolgreich durchgeführt werden. Die von beiden Teams bestimmten Ortsdosisleistungswerte stimmen recht gut überein.

Auch die Übung zur Quellensuche war erfolgreich. Alle ausgelegten Quellen konnten detektiert werden. Die Auswertung konnte erstmals noch während des Fluges im Helikopter durchgeführt werden. Als optimale Flugparameter zur Detektion von schwachen Quellen haben sich eine Flughöhe von 60 m und ein Fluglinienabstand von 125 m bewährt.

Mit der französisch-schweizerischen Übung wurde ein erster Schritt zur aeroradiometrischen Zusammenarbeit mit den Nachbarstaaten realisiert. Die Schweiz wird sich auch am EU-Projekt "European Coordination of Environmental Airborne Gamma Ray Spectrometry (ECEAGS)" beteiligen. In Rahmen dieses Projektes werden Interkalibration und Methodik der Aeroradiometrie koordiniert. Das Projekt beginnt 1996 und dauert drei Jahre.

1996 sollen auch die Dosisleistungskarten der Schweiz überarbeitet werden.

7 Literaturverzeichnis

BOURGOIS, C., BRESSON, J., CHASTEL, R., CHIFFOT, T., GUILLOT, L., KRUAJITCH, J.C., 1995: Exercice ARM95 Exercice Franco-Suisse; Résultats des mesures de cartographie γ aérienne et de spectrométrie γ in-situ. Interne Berichte CEA/VALDUC/SPR-EQUIPE HELINUC.

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

8 Beilagen

Beilage 1: Flugwegkarte Messgebiete KKG

Beilage 2: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKG

Beilage 3: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKG

Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKG

Beilage 5: Flugwegkarte Messgebiet KKM

Beilage 6: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKM

Beilage 7: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKM

Beilage 8: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKM

Beilage 9: Flugwegkarte Messgebiet Jura

Beilage 10: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Jura

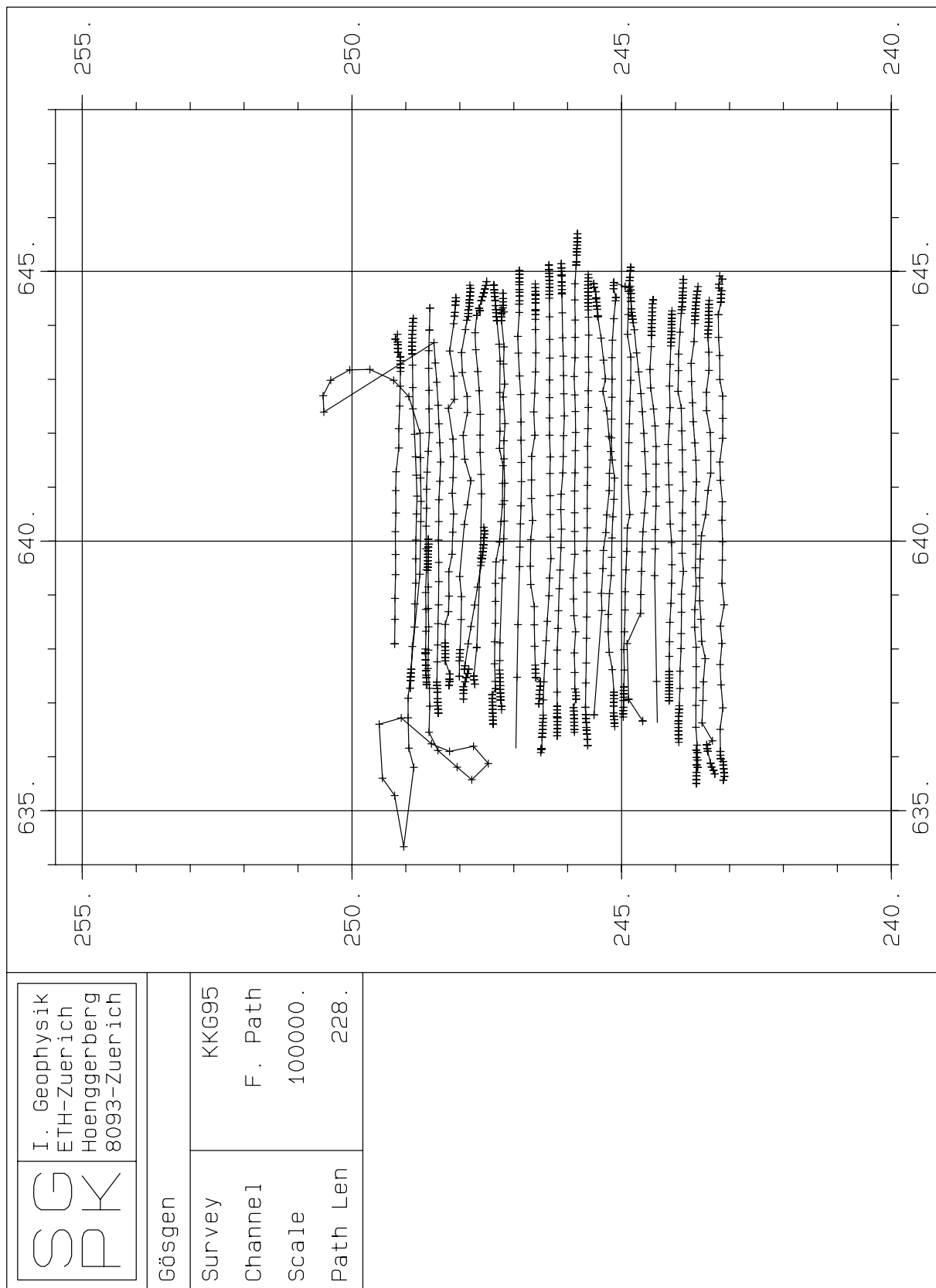
Beilage 11: Kombination der französischen und der schweizerischen Messungen der Ortsdosisleistung (nSv/h)

Beilage 12: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

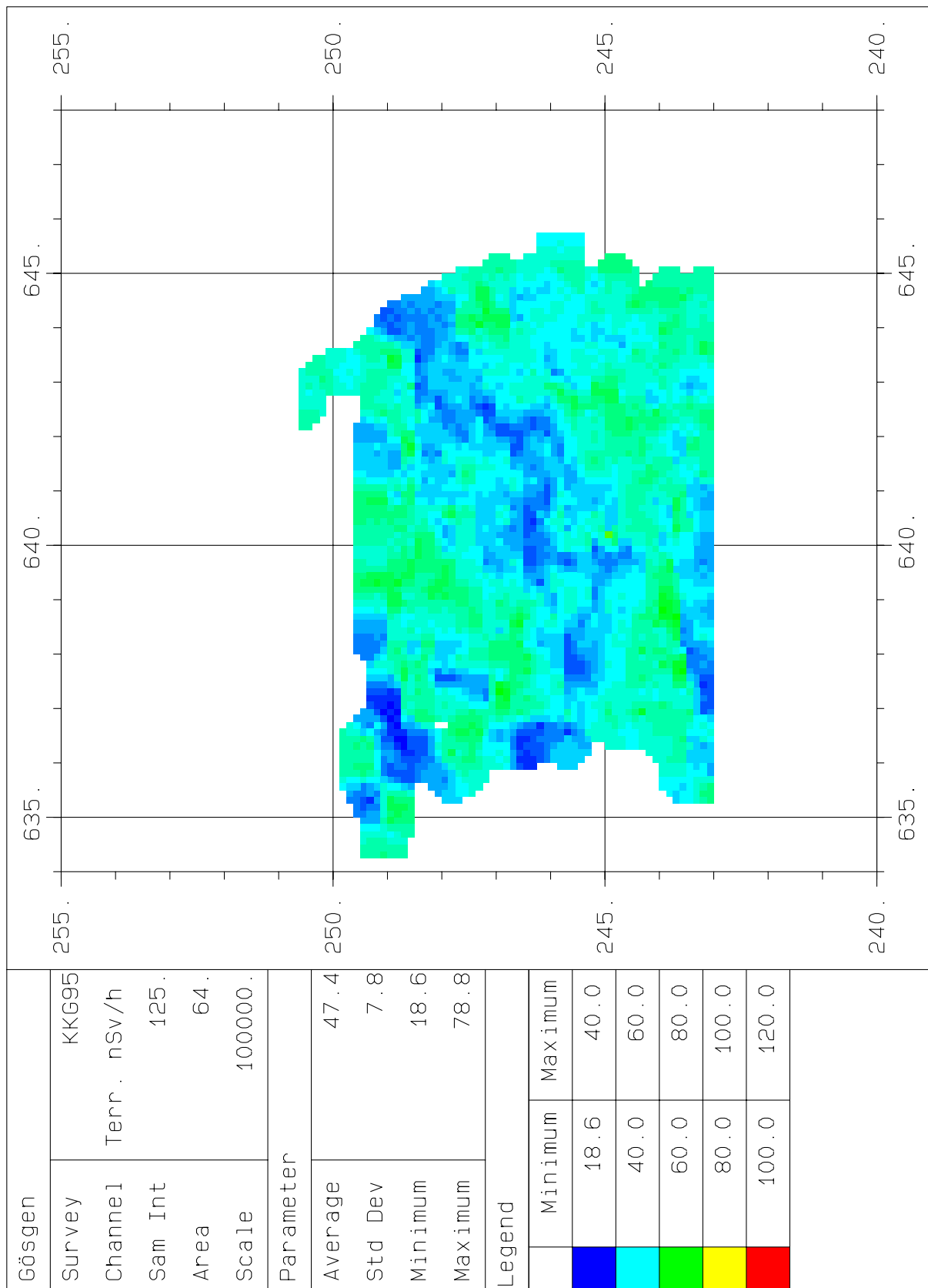
Beilage 13: Bi-214 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

Beilage 14: Tl-208 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura

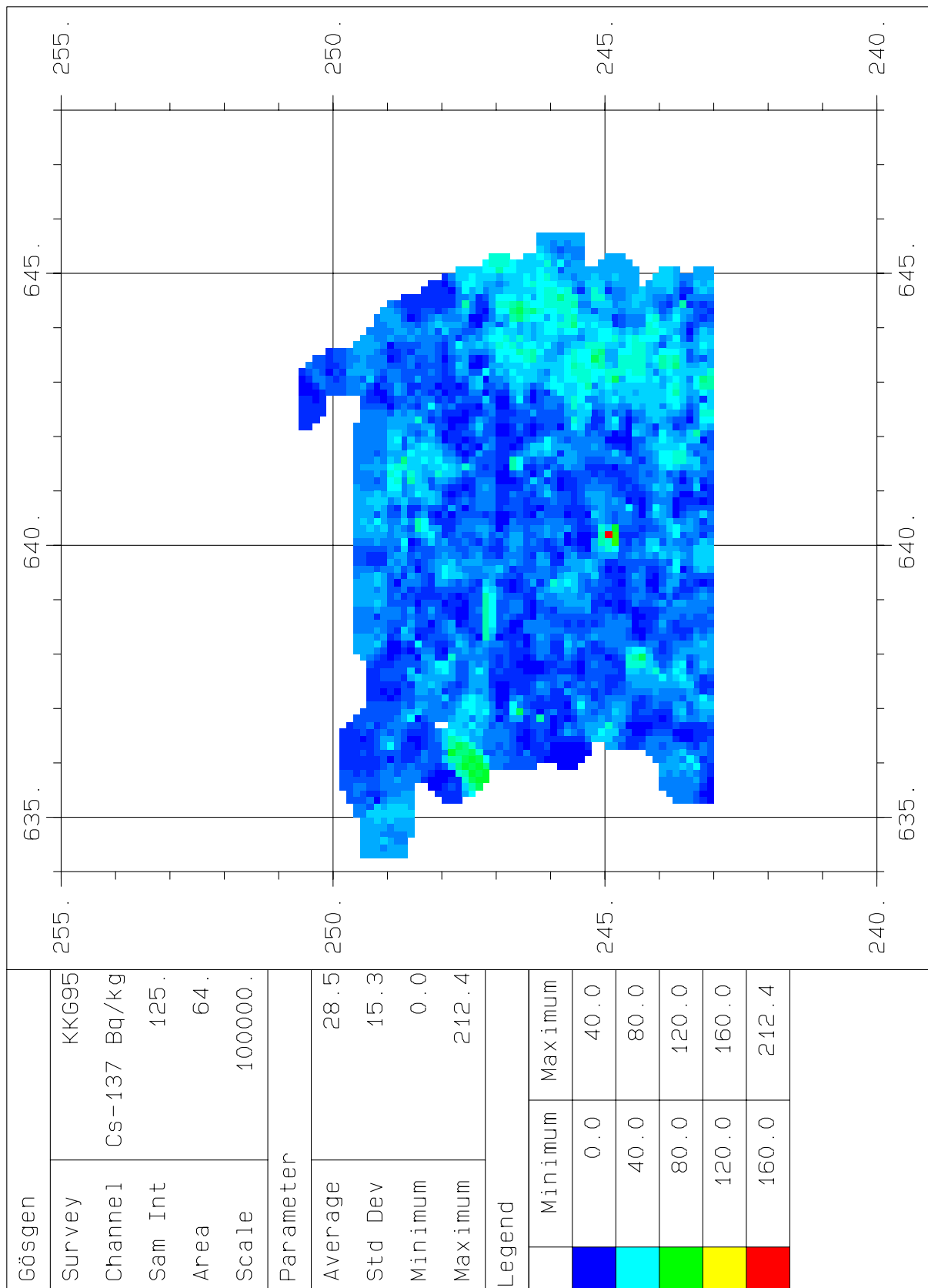
Beilage 15: Zusammenstellung des MMGC-Ratios (%) der Quellensuchflüge im Unterwald (Würenlingen)



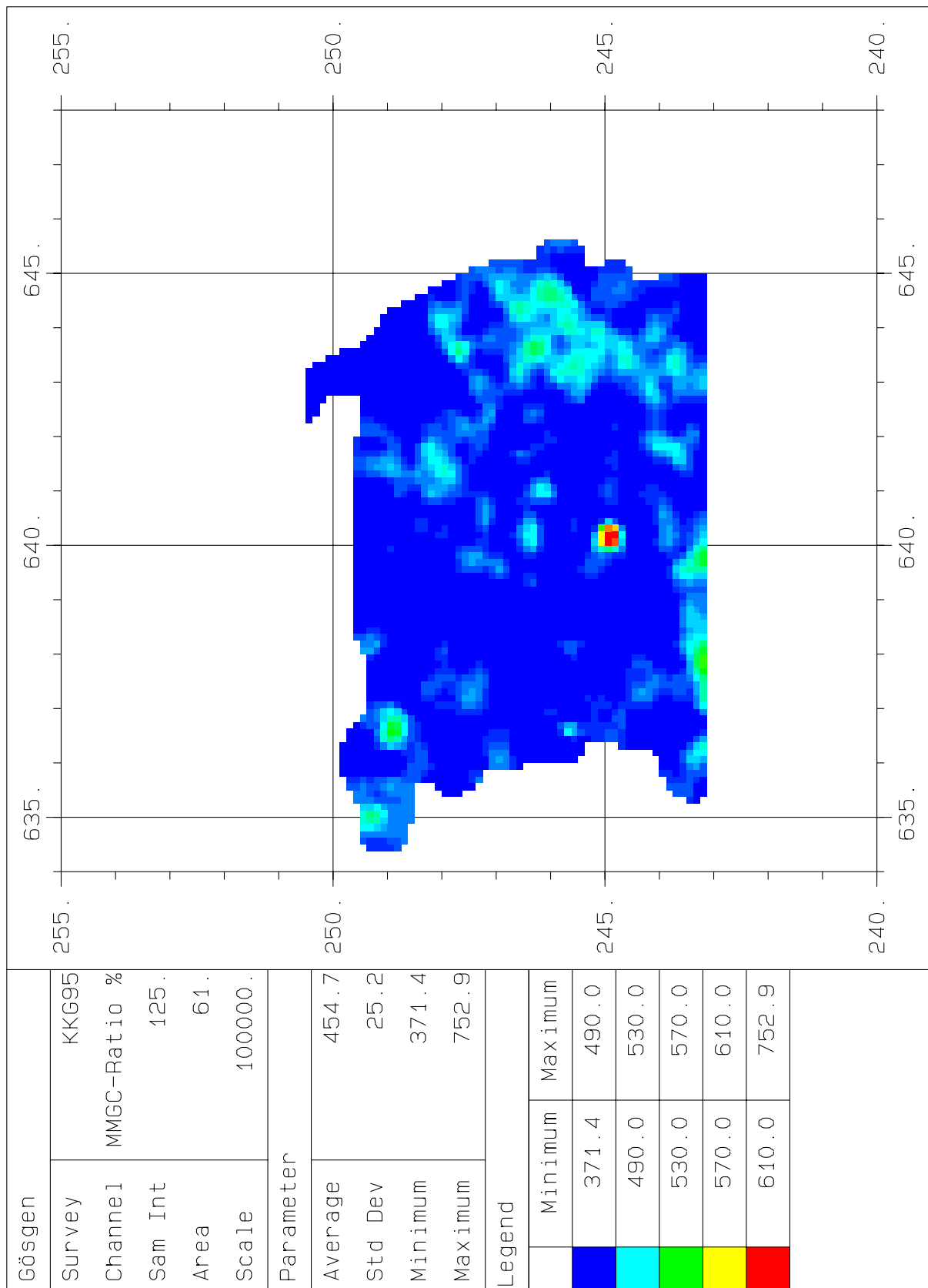
Beilage 1: Flugwegkarte Messgebiete KKG



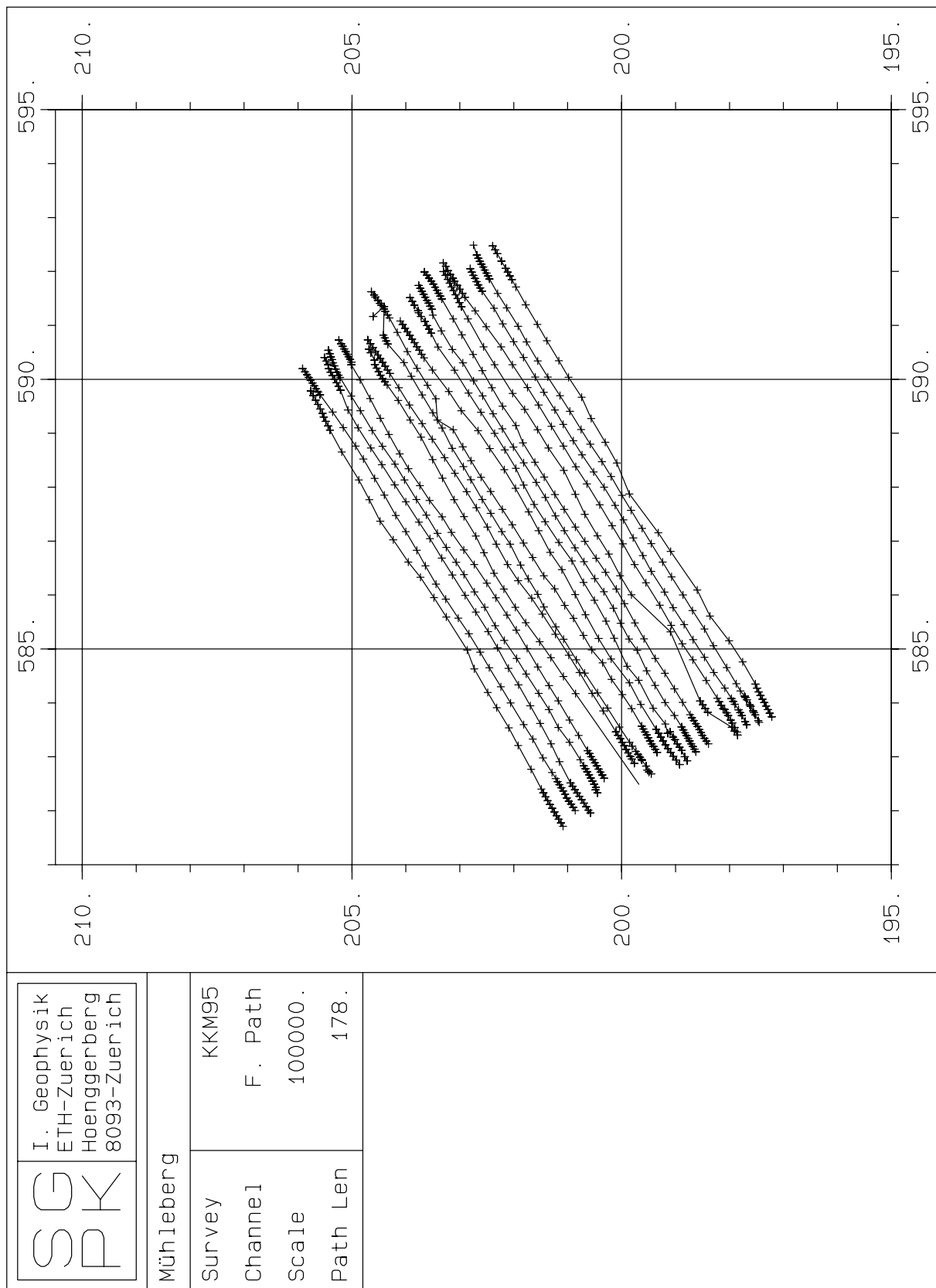
Beilage 2: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKG



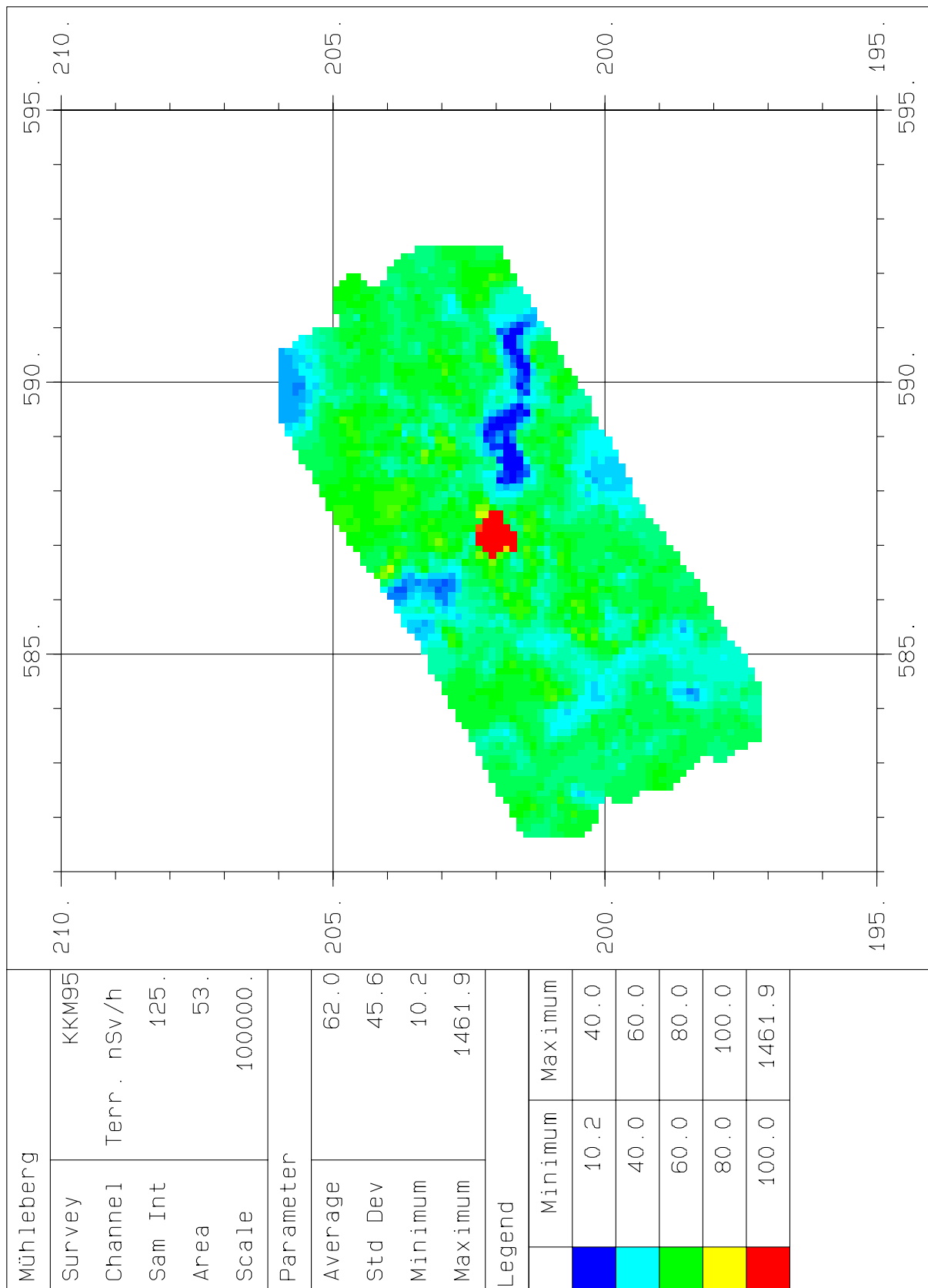
Beilage 3: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKG



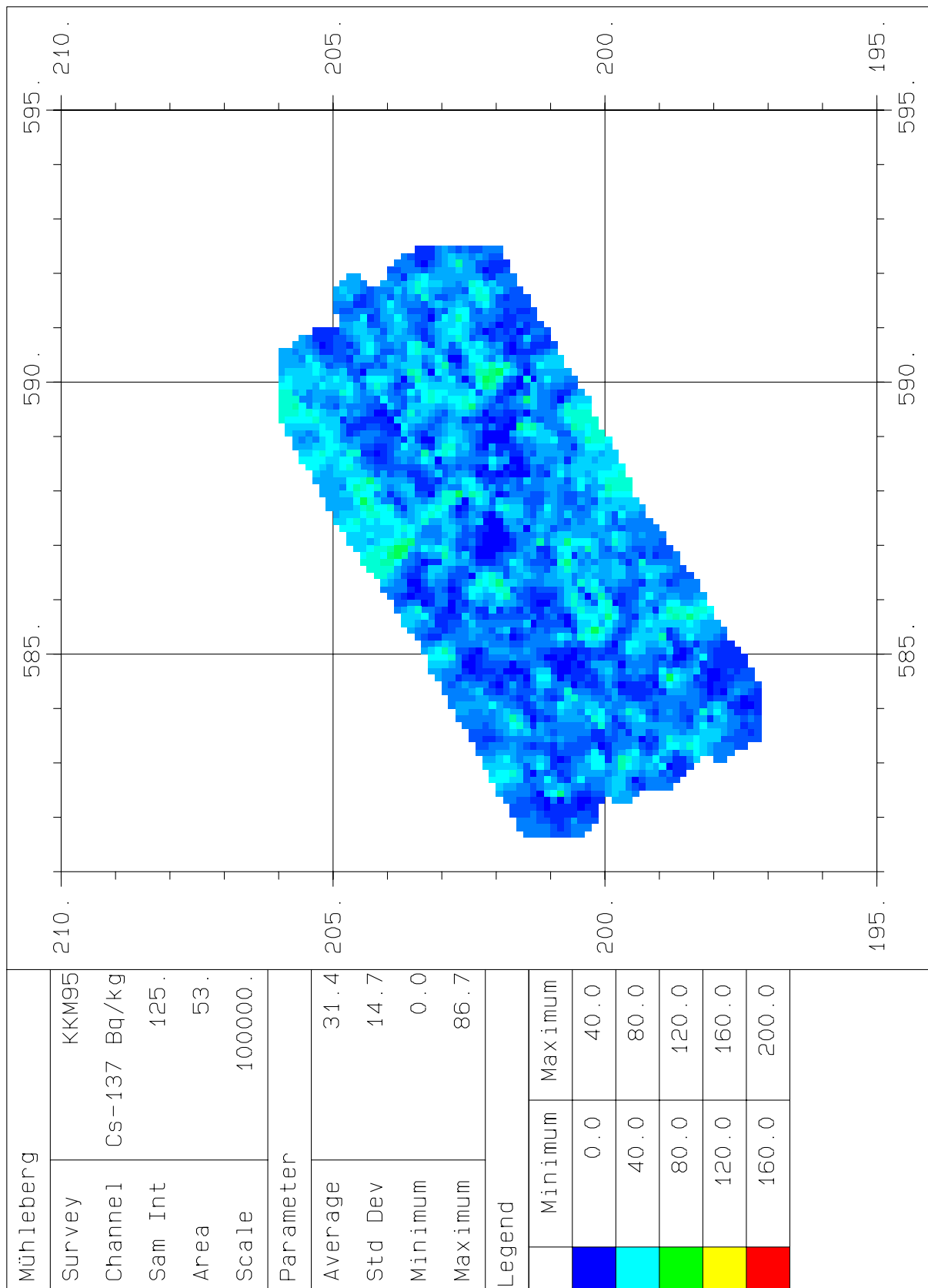
Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKG



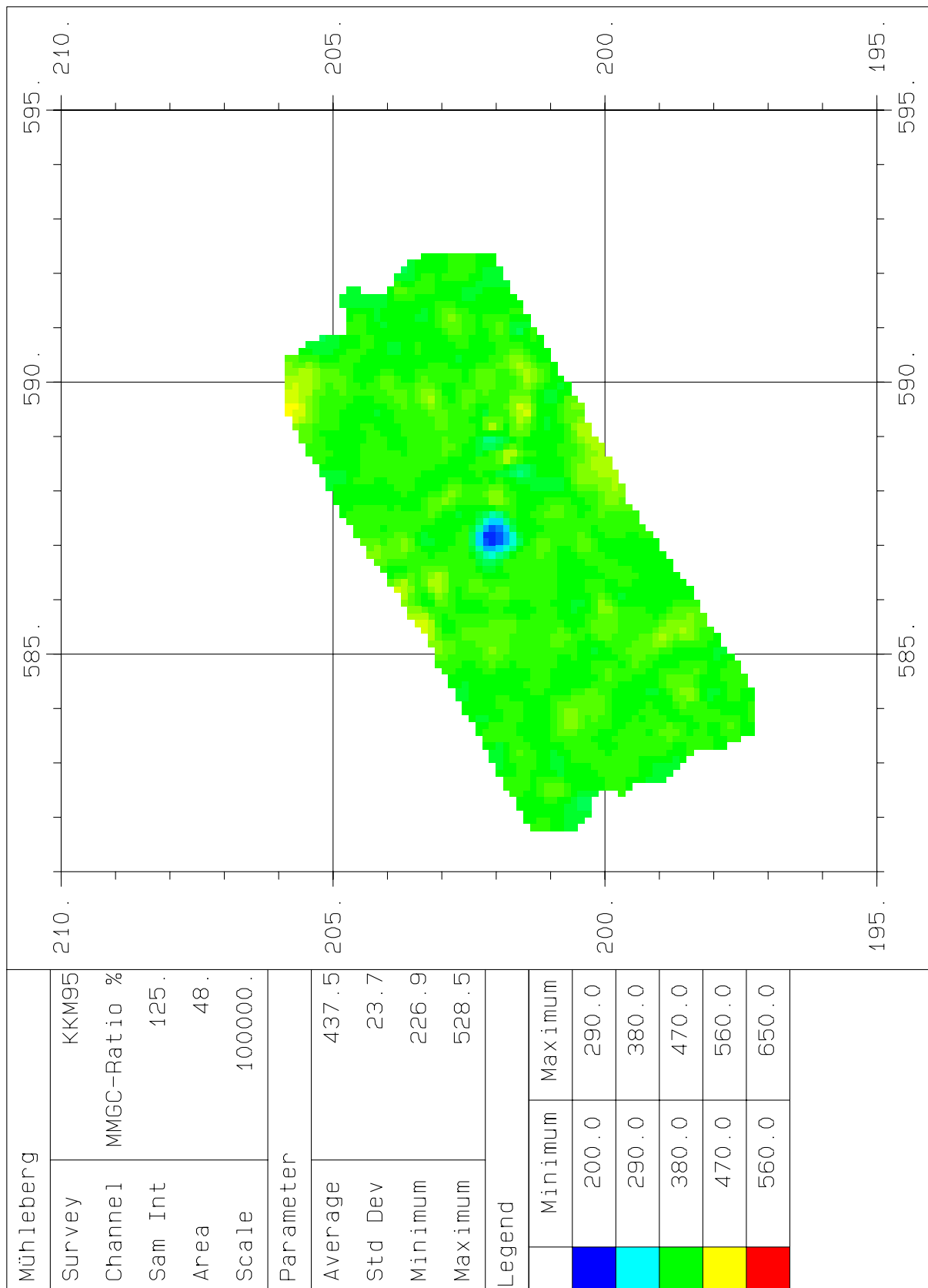
Beilage 5: Flugwegkarte Messgebiet KKM



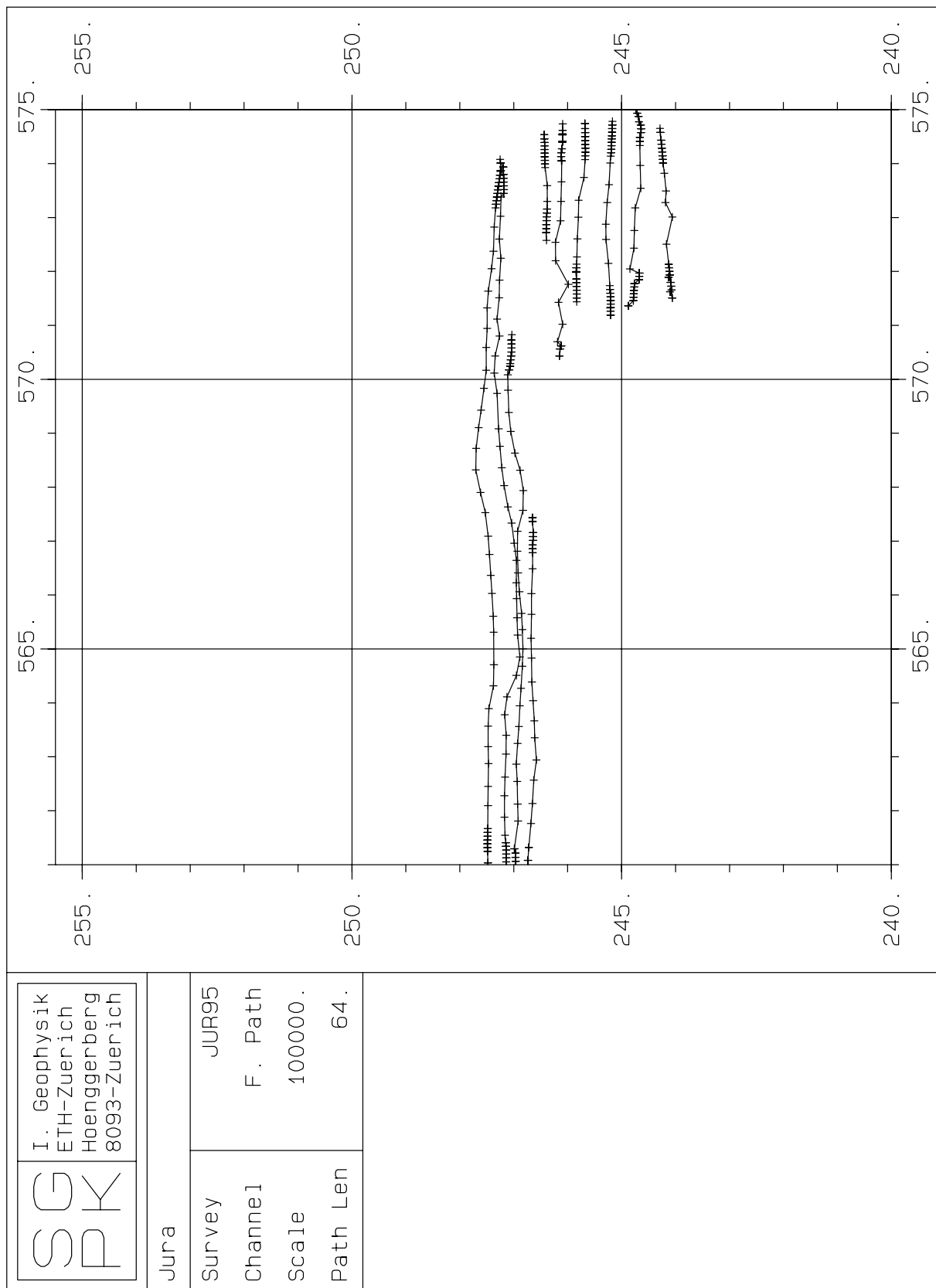
Beilage 6: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet KKM



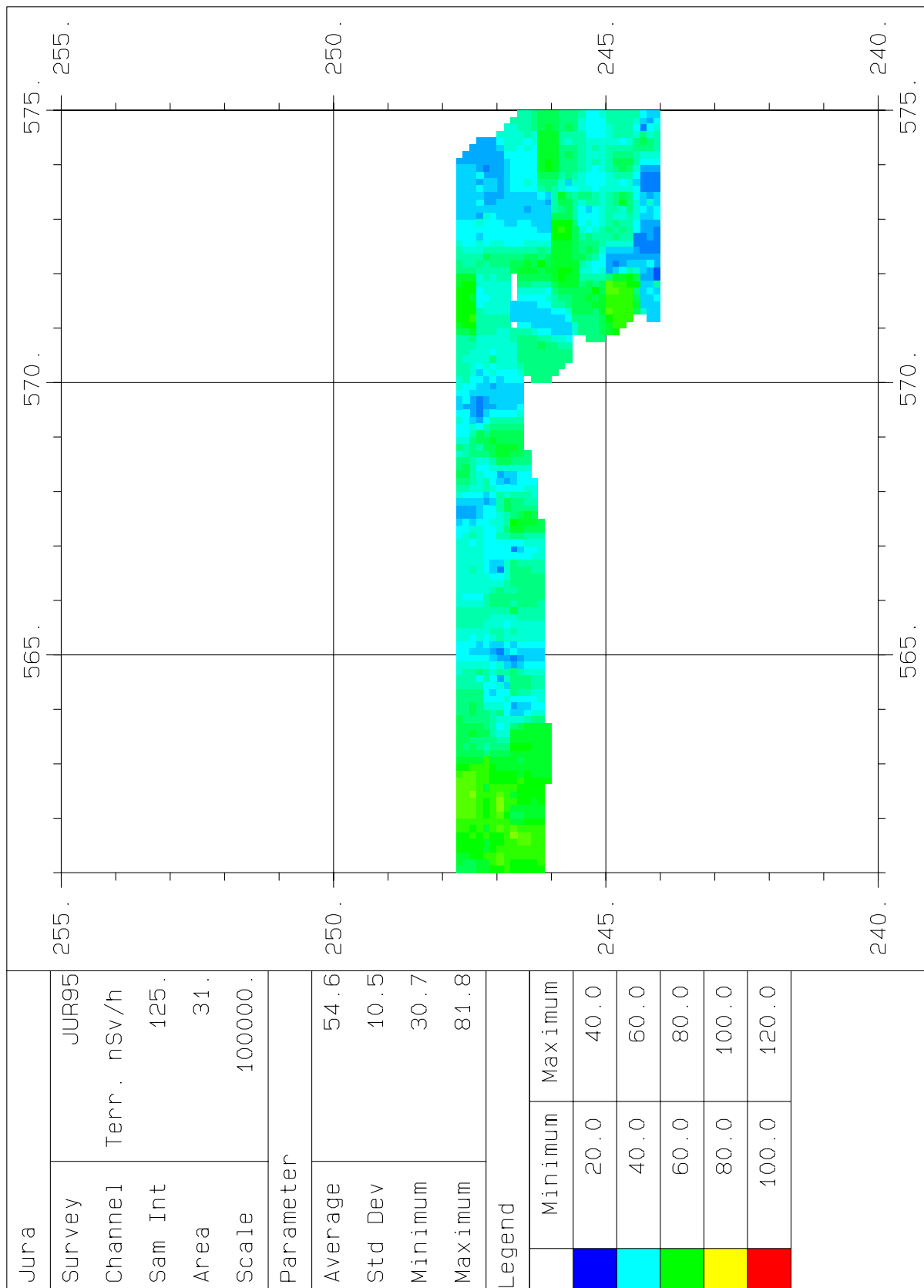
Beilage 7: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet KKM



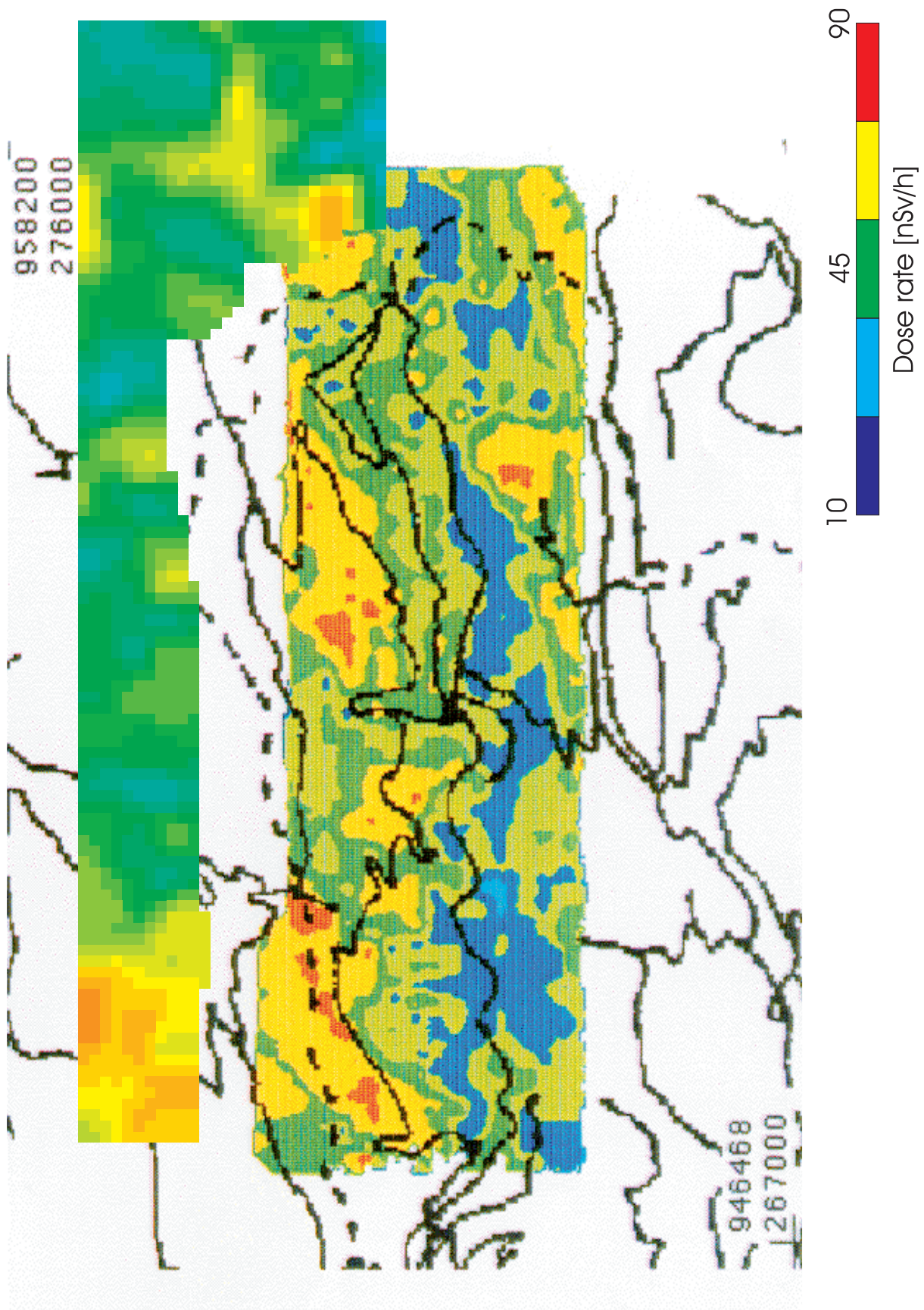
Beilage 8: MMGC-Ratio (%) Messgebiet KKM



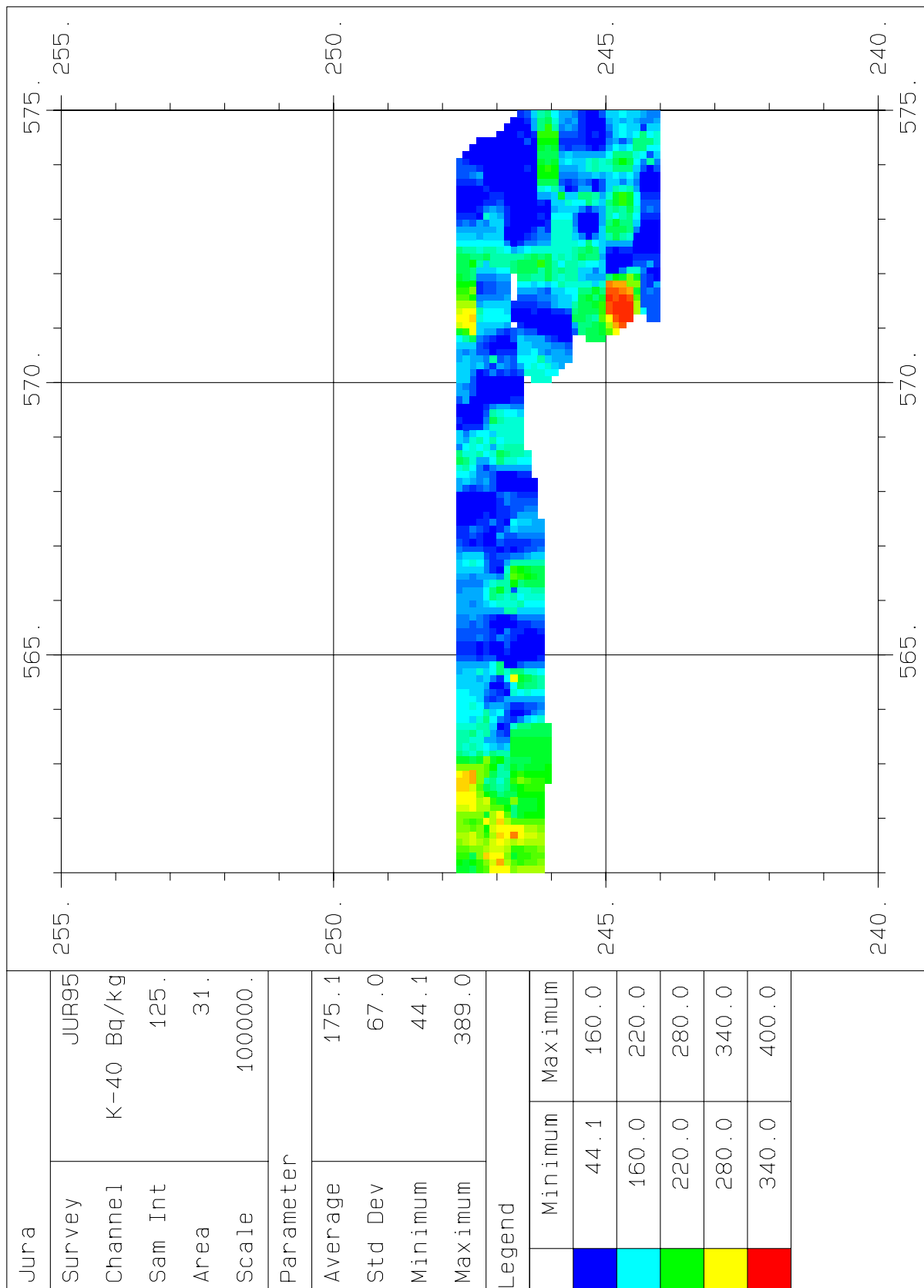
Beilage 9: Flugwegkarte Messgebiet Jura



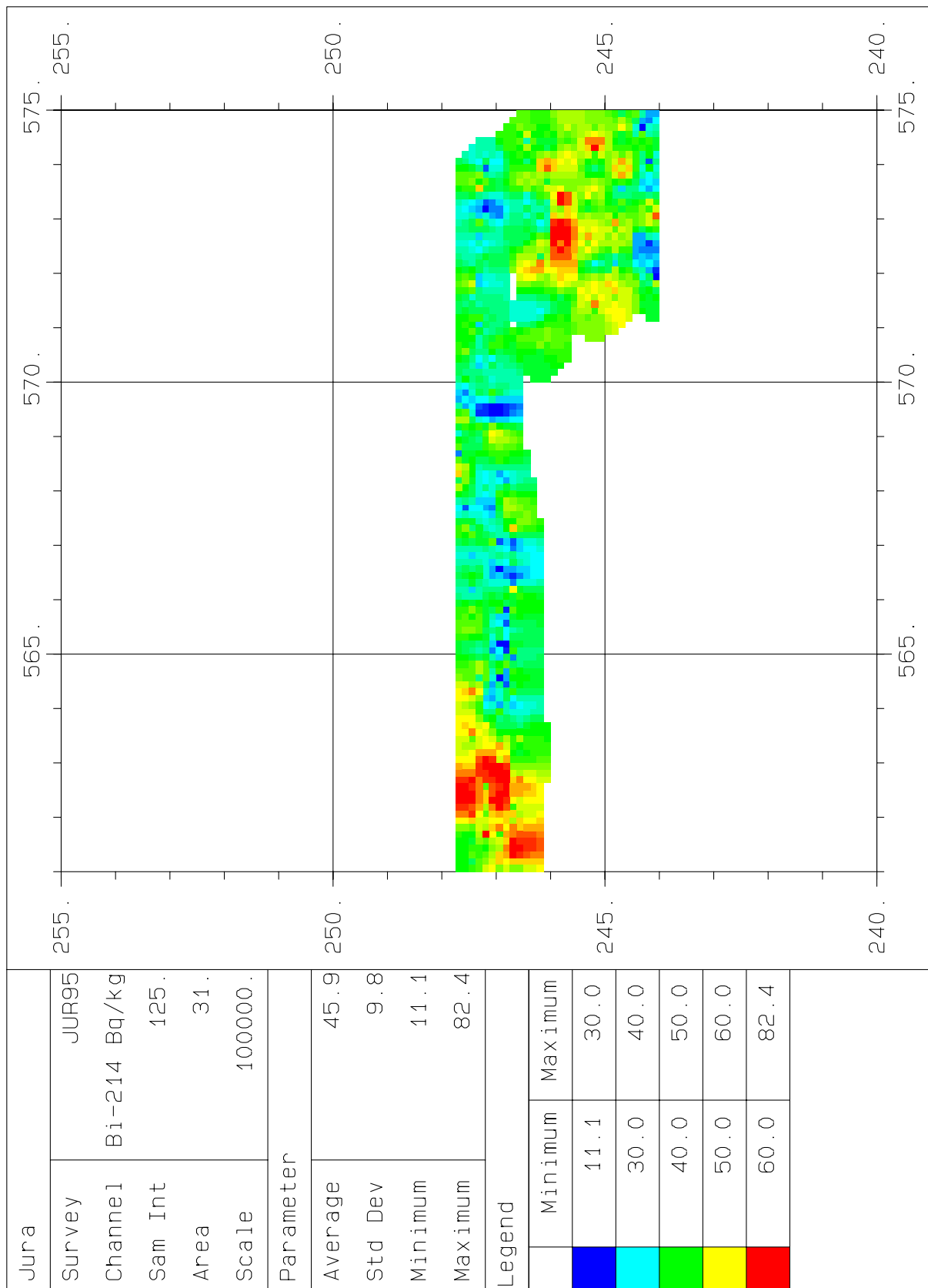
Beilage 10: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Jura



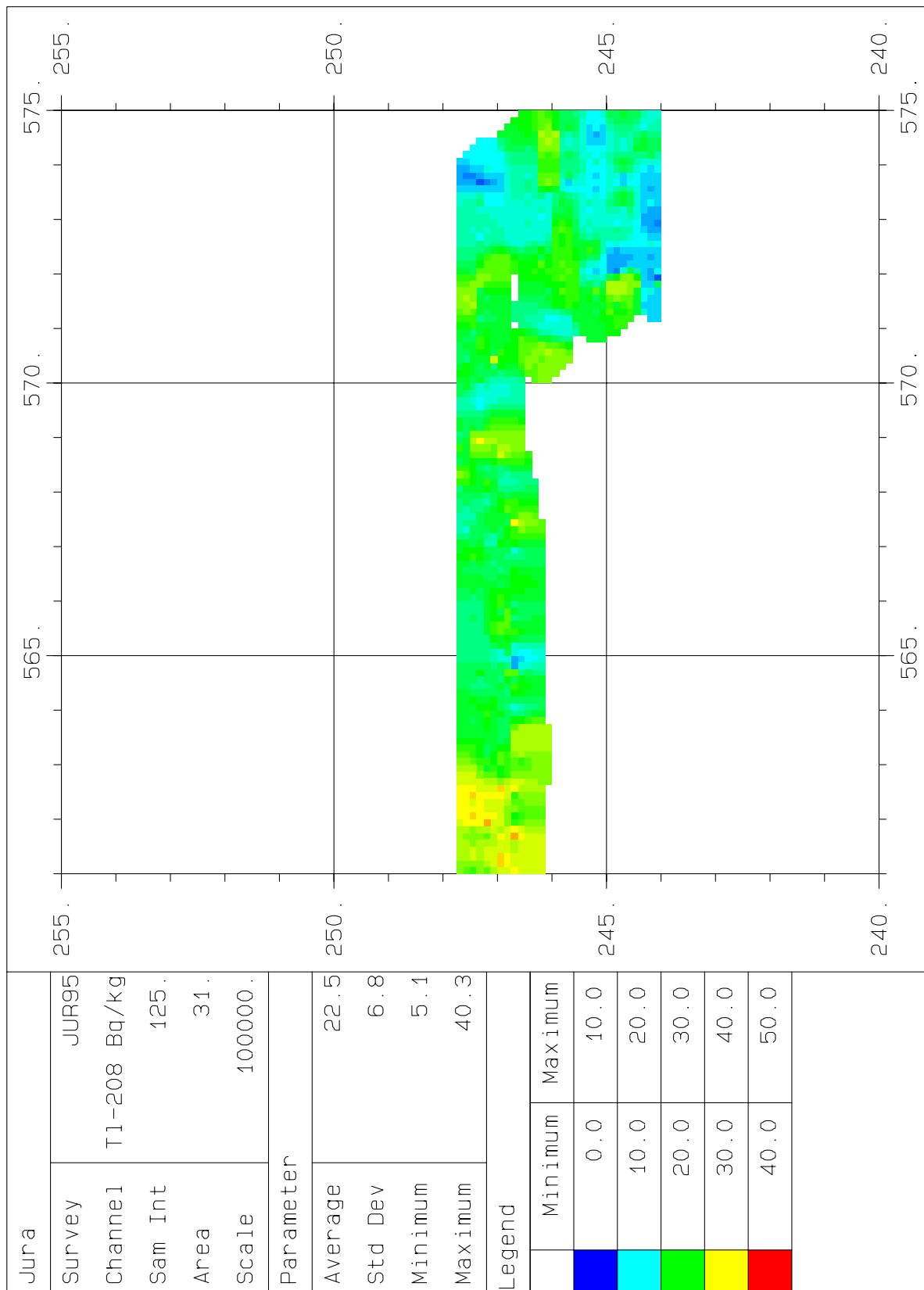
Beilage 11: Kombination der französischen und der schweizerischen Messungen der Ortsdosisleistung (nSv/h)



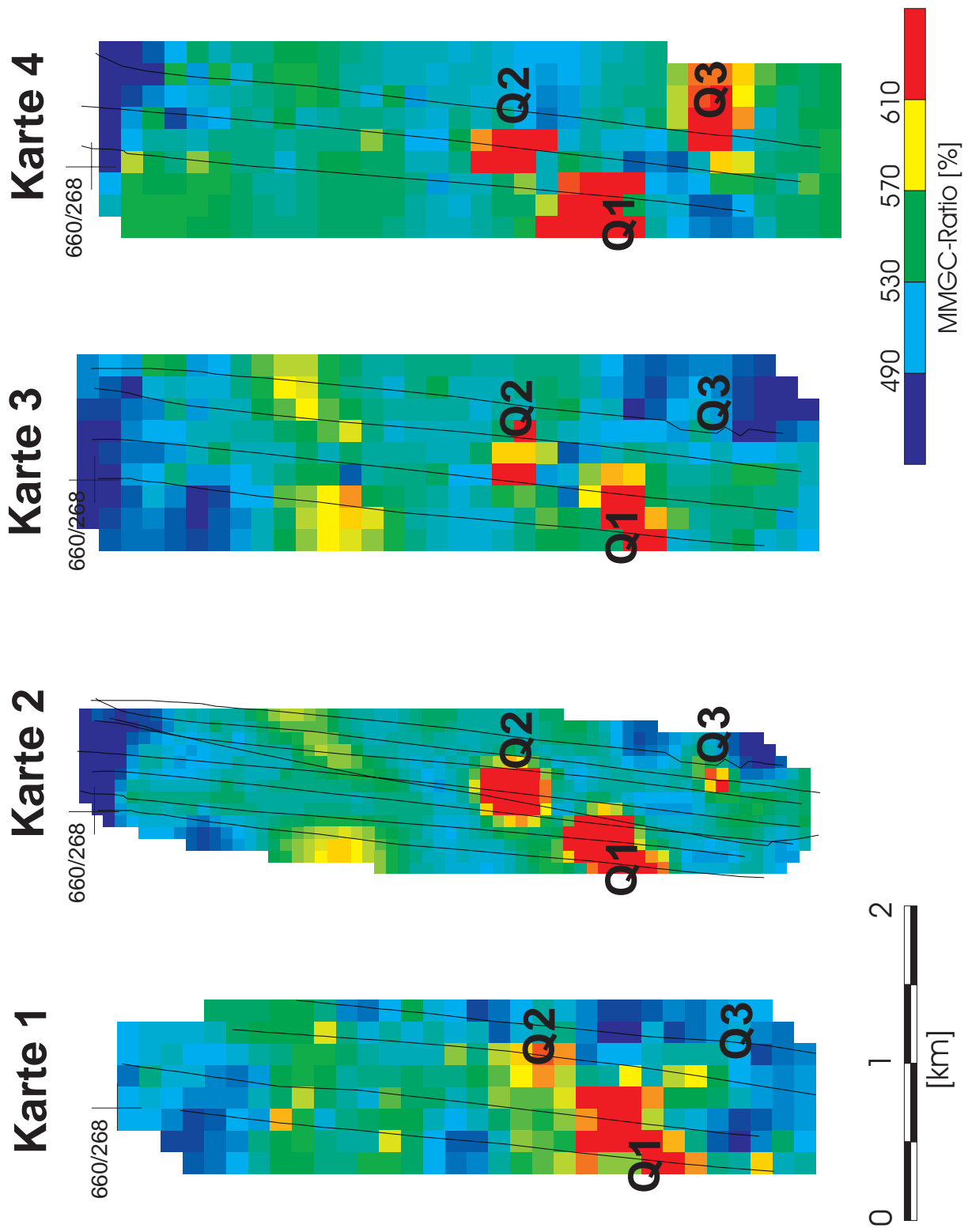
Beilage 12: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura



Beilage 13: Bi-214 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura



Beilage 14: Tl-208 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Jura



Beilage 15: Zusammenstellung des MMGC-Ratios (%) der Quellensuchflüge im Unterwald (Würenlingen)