

Georg F. Schwarz, L. Rybach

Aeroradiometrische Messungen im Rahmen der Übung ARM94

Bericht für das Jahr 1994 zuhanden der Fachgruppe Aeroradiometrie
(FAR)



März 1995

1 ZUSAMMENFASSUNG	3
2 EINLEITUNG	3
3 EINBAU SUPER-PUMA	3
4 KALIBRATION	4
4.1 Helikopterbackground/ kosmische Strahlung	4
4.2 Spectral Stripping	6
4.3 Abschwächungskoeffizient der Luft	7
4.4 Detektorausbeute	8
4.5 Detektorempfindlichkeit	8
4.6 Umrechnung in Dosisleistung	10
5 MESSERGEBNISSE	11
5.1 Einleitung	11
5.2 Karten KKL/KKB/PSI	13
5.3 Karten Zürcher Oberland	13
6 FAZIT, AUSBLICK	14
7 LITERATURVERZEICHNIS	14
8 BEILAGEN	15

1 Zusammenfassung

Seit 1989 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. 1994 erfolgte der Übergang zu einer zweijährigen Messfrequenz. Die Messungen dienen der Erweiterung der nuklearen Beweissicherung sowie als Vergleichsbasis bei allfälligen Verstrahlungsfällen. Ebenfalls seit 1994 ist die Aeroradiometrie in die Einsatzorganisation Radioaktivität des Bundes integriert. Der Einsatz erfolgt künftig unter der Regie der Nationalen Alarmzentrale (NAZ).

Im Hinblick auf die Notfalleinsätze wurde das Messgerät in Zusammenarbeit mit dem EMD in einen Super-Puma-Helikopter der Armee eingebaut. Der Einsatz des Super Puma bei Notfalleinsätzen bietet, gegenüber den bisher verwendeten Alouette-III- und Ecureuil-Helikoptern, wesentliche Vorteile. Die Änderungen am System bedingten auch eine neuerliche Kalibration. Die Kalibrationsresultate zeigen eine gute Übereinstimmung mit den bisherigen Daten.

Während der Messungen im Rahmen der Übung ARM94 hat das Messsystem einwandfrei funktioniert. Dabei wurden die Gebiete um das KKL, das KKB und das PSI vermessen. Die Datenqualität war sehr gut.

Um die Quellensuche zu trainieren, wurden in einem weiteren Messgebiet im Zürcher Oberland verschiedene Quellen ausgelegt. Mit Ausnahme der K-40 Quelle (Lastwagen voller Kalidünger) konnten alle ausgelegten Quellen detektiert werden. Sogar eine Cs-137 Quelle in offenem Abschirmbehälter konnte trotz der starken seitlichen Kollimierung erkannt werden.

2 Einleitung

In der Zeit von 1989 bis 1993 wurde die Umgebung der schweizerischen Kernanlagen jährlich aeroradiometrisch vermessen. Dazu wurde eine spezielle Methodik (Datenakquisition, Datenverarbeitung, Kartierung) eigens entwickelt.

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 durchgeführt.

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 sie Auswertungen und Dateninterpretationen, die über reine Routineauswertung hinausgehen. Die FAR legt das jährliche Messprogramm fest.

3 Einbau Super-Puma

Der Einsatz des Super-Pumas bei Notfällen bietet, gegenüber den bisher verwendeten Alouette-III- und Ecureuil-Helikoptern, wesentliche Vorteile hauptsächlich im Bezug auf Navigation, Schlechtwetter- und Nachtflugtauglichkeit. Der Einbau des Messsystems erfolgte

in enger Zusammenarbeit mit dem EMD (BAMF, BAFF, Stab GGST und GRD) und dem Flugzeugwerk Emmen. Am Helikopter mussten Anpassungen wie Einbau der GPS-Antenne, Abgriff von Radaraltimeter und Barometer durchgeführt werden. Für das Messgerät wurde ein Einbaukit konstruiert, das den sicheren Einbau von Detektor und Geräterack erlaubt. In einem aufwendigen Prüfverfahren wurde die Flugtauglichkeit des Umbaus abgeklärt (elektromagnetische Verträglichkeit, mechanische Festigkeit usw). Ein Super-Puma konnte bereits 1994 ausgerüstet werden, weitere folgen in den nächsten Jahren.

Während der Messungen im Rahmen der Übung ARM94 hat das Messsystem einwandfrei funktioniert. Die Datenqualität war hervorragend.

Für das nächste Jahr ist der Bau eines zweiten Messsystems mit kleinerer Messempfindlichkeit vorgesehen. Das neue System ist so ausgelegt, dass im Notfall entweder zwei Systeme eingesetzt werden oder im Schadensfall die Komponenten der beiden Systeme zu Reparaturzwecken ausgetauscht werden können.

4 Kalibration

Bedingt durch den Wechsel des Helikoptertypes von Ecureuil zu Super-Puma, musste das System neu kalibriert werden. Im Folgenden werden nur die Resultate der Messungen aufgeführt. Eine genaue Beschreibung des Kalibrationsverfahrens findet man in Schwarz et al. (1989) oder in Schwarz (1991).

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 wurden deshalb am 23. August 1994 über dem Neuenburgersee durchgeführt. Als Flughöhen wurden 8000ft, 10000ft, 12000ft und 14000ft gewählt. Die Messzeit betrug 300s pro Kalibrationsmessung.

Obwohl der Neuenburgersee viel kleiner als der Boden- bzw. Genfersee ist, traten bei den Messungen nur geringe Störungen durch terrestrische oder atmosphärische Strahlung auf, so dass sich die Daten für die Kalibration des Messsystems sehr gut eignen. Die Resultate sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Wegen der grösseren Deckenabschirmung durch den Super-Puma, wird im im kosmischen Fenster (3-6MeV) eine geringere Zählrate als im Ecureuil-Helikopter registriert. Daraus ergeben sich unterschiedliche kosmische Stripkoeffizienten SC (Vergleiche Tabelle 1, Kolonnen 4 und 7). Die Werte für die Backgroundstrahlung IB des Helikopters bewegen sich in derselben Grössenordnung wie beim ersten Kalibrationsflug (Kolonnen 2 und 6).

Tabelle 1: Helikopter-Hintergrund und kosmische Streufaktoren mit den zugehörigen Fehlergrenzen (Messflug vom 23.8.1994 über dem Neuenburgersee). Zum Vergleich sind der Helikopter-Hintergrund und die kosmischen Streufaktoren vom ersten Kalibrationsflug vom 31.7.1992 mit einem Ecureuil-Helikopter aufgeführt.

Fenster	Helikopter-Hintergrund		Kosmische Streufaktoren		Alte Konstanten	
	I_B	ΔI_B	S_C	ΔS_C	I_B	S_C
Total	135	10	0.909	0.032	176.0	0.538
Kalium	11.2	0.9	0.046	0.004	16.2	0.025
Uran	6.3	0.6	0.038	0.002	8.0	0.018
Thorium	2.7	0.1	0.045	0.001	0.6	0.045
Cäsium	24.9	1.3	0.083	0.005	30.0	0.041
Kobalt	15.4	1.1	0.095	0.004	21.0	0.054
MMGC1	116	5	0.650	0.019	147.0	0.355
MMGC2	24.7	1.9	0.248	0.007	29.0	0.188

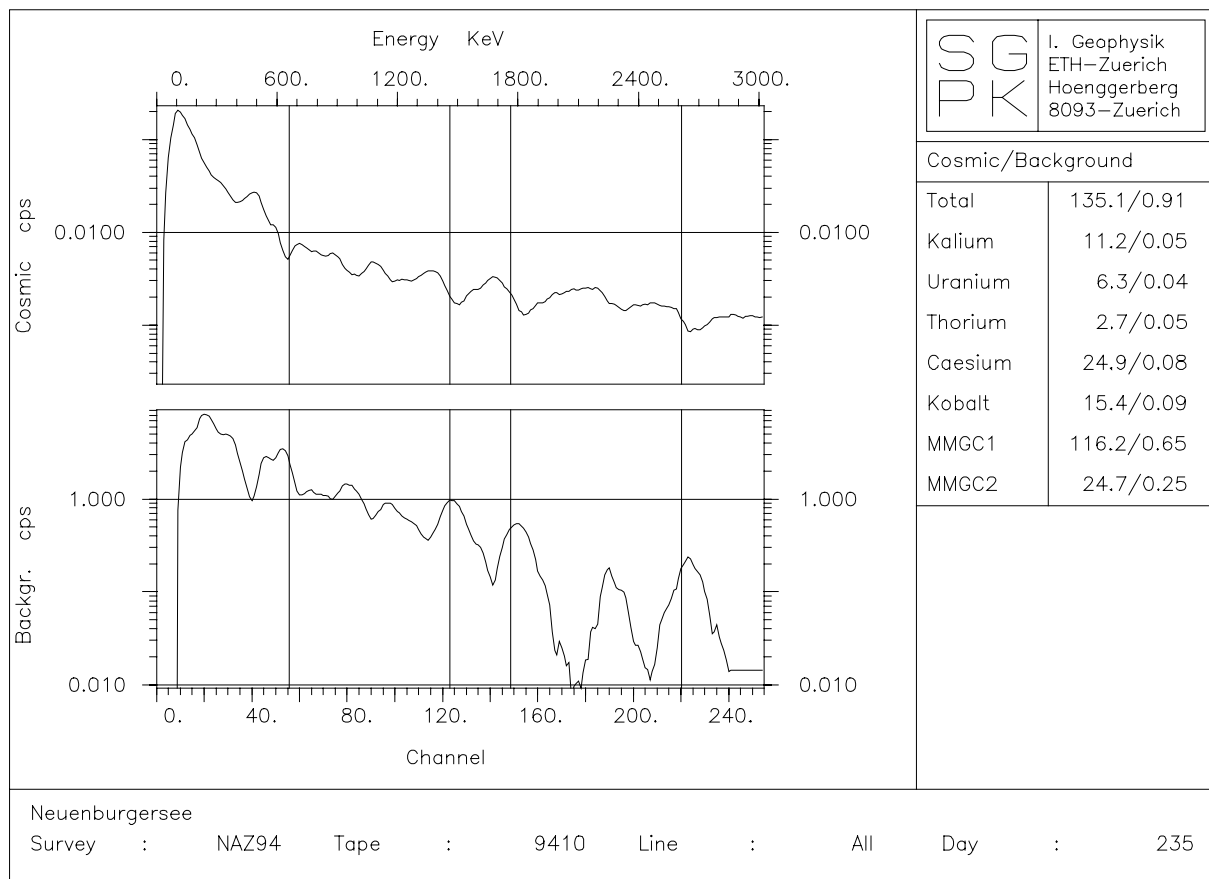


Abbildung 1: Das berechnete Hintergrundspektrum des Super-Puma-Helikopters und das normalisierte kosmische Spektrum des Messfluges vom 23.8.1994 über dem Neuenburgersee.

4.2 Spectral Stripping

Die Streufaktoren werden hauptsächlich durch das Volumen und die Geometrie des Detektors bestimmt und ändern beim Wechsel des Helikopter-Typs nur sehr wenig. Für die Auswertung wurden deshalb die am 6.8.1992 ermittelten Werte verwendet (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bestimmung der Streufaktoren mit Punktquellen

Quellen→ Fenster ↓	Cäsium		Kobalt		Kalium		Uran		Thorium	
	f_{ji}	Δf_{ji}	f_{ji}	Δf_{ji}	f_{ji}	Δf_{ji}	f_{ji}	Δf_{ji}	f_{ji}	Δf_{ji}
Cäsium	1.00	-	0.12	0.01	0.13	0.05	3.87	0.11	1.82	0.08
Kobalt	0.00	0.00	1.00	-	0.30	0.07	1.96	0.07	0.39	0.03
Kalium	0.00	0.00	0.15	0.01	1.00	-	0.69	0.04	0.28	0.02
Uran	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-	0.21	0.02
Thorium	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	1.00	-

4.3 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 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 der anderen Fenster sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Zum Vergleich sind die 1992 bestimmten Werte in der letzten Kolonne der Tabelle aufgeführt.

Tabelle 3: Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung vom 25.8.1995

Fenster	$\mu_{1994} [\text{m}^{-1}]$	$\Delta\mu_{1994} [\text{m}^{-1}]$	$\mu_{1992} [\text{m}^{-1}]$
Total	0.0051	0.0001	0.0078
Kalium	0.0074	0.0003	0.0060
Uranium	0.0045	0.0005	0.0046
Thorium	0.0050	0.0003	0.0049
Cäsium	0.0085	0.0020	0.0092
Kobalt	-	-	0.0075
MMGC1	0.0052	0.0001	0.0081
MMGC2	0.0053	0.0001	0.0077

Die Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung zeigte vor allem bei den Summenfenstern (Total, MMGC1 und MMGC2) etwas kleinere Koeffizienten als bei der Messung von 1992. Der Grund für dieses Phänomen könnte in der zusätzlichen Abschirmung durch die Bodentanks des Super-Pumas und damit im veränderten Anisotropieverhalten des Helikopters liegen.

Abbildung 2 zeigt die Bestimmung für das Totalfenster in graphischer Form.

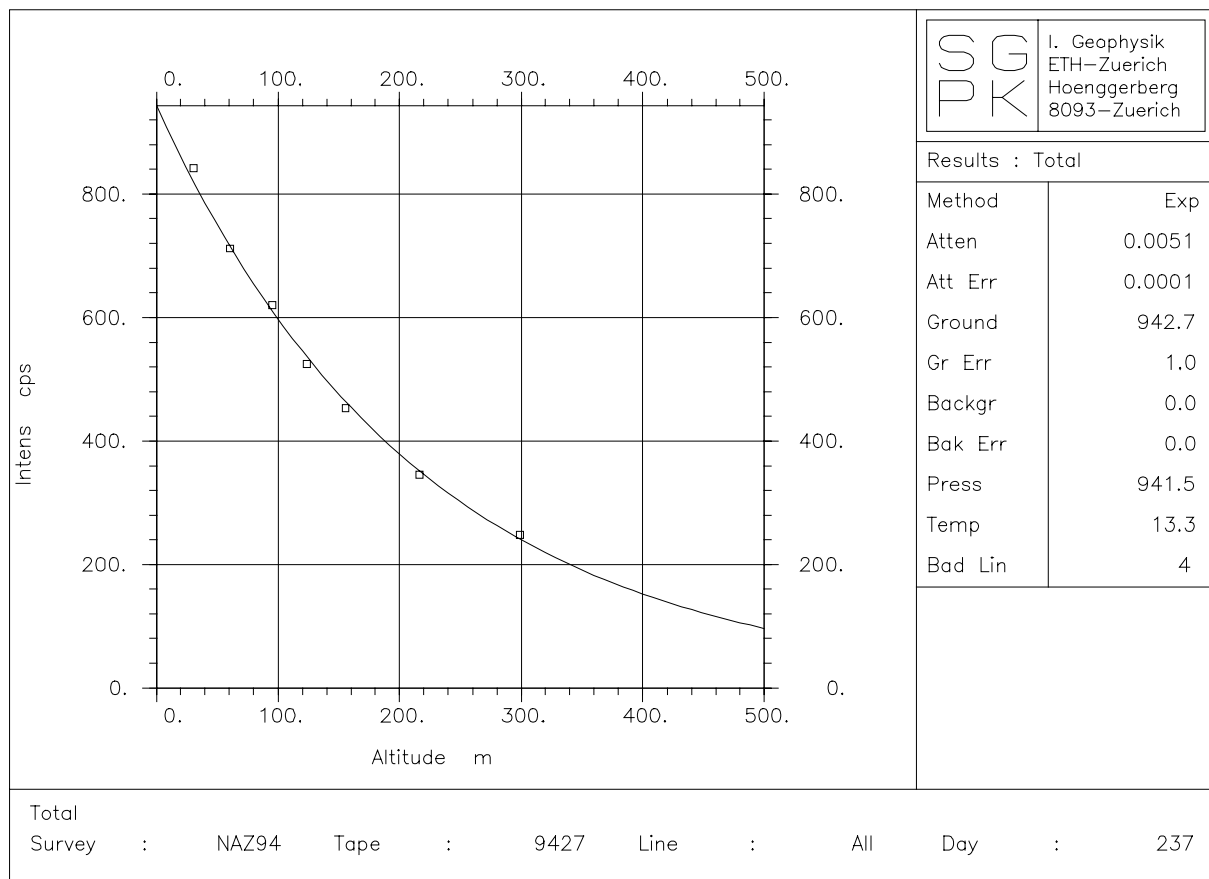


Abbildung 2: Beispiel einer Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung für das Totalfenster.

4.4 Detektorausbeute

Im Messgebiet Zürcheroberrand wurden drei Quellen ausgelegt (eine Co-60 Quelle mit 212 Mbq und zwei Cs-137 Quellen mit Aktivitäten von 2.24 Gbq bzw. 249 MBq). Über jeder Quelle wurde ein Steigflug in den Höhen 30.5 m, 61 m, 91.5 m und 122 m (Messzeit je 30 s) durchgeführt. Von den Messungen konnten nur die Flüge über der 2.24 Gbq Cs-137 Quelle und der 212 MBq Co-60 Quelle verwendet werden, weil die 249 Mbq Cs-137 Quelle in der Abschirmung verklemmt war und deshalb zu wenig abstrahlte.

Die Auswertung der Steigflüge hat gezeigt, dass die Werte der einzelnen Steigflüge relativ stark streuen. Die Ursache könnte in ungenügender Positionierungsgenauigkeit über der Quelle oder zu geringer Messzeit liegen. Unter Annahme der Abschwächungskoeffizienten liess sich die Detektorausbeute trotzdem bestimmen. Als Resultate ergaben sich 0.52 cnts/γ bei 660 keV (Cäsium) bzw. 0.38 cnts/γ bei 1250 keV (Kobalt). Die Werte sind etwas höher als die 1989 im Ecureuil bestimmten Werte von 0.43 cnts/γ bei 660 keV resp. 0.29 cnts/γ bei 1250 keV.

Durch den optimalen Einbau des Detektors im Helikopter konnten somit die Absorptionsverluste bei 660 keV von rund 40% auf 25% reduziert werden.

4.5 Detektorempfindlichkeit

Für die experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit standen die gesamten in-situ-gammaspectrometrischen Bodenmesspunkte der SUEr zur Verfügung (Murith et al., 1992).

Von den insgesamt über 200 Messstellen liegen 21 im Bereich der diesjährigen aeroradiometrischen Messungen.

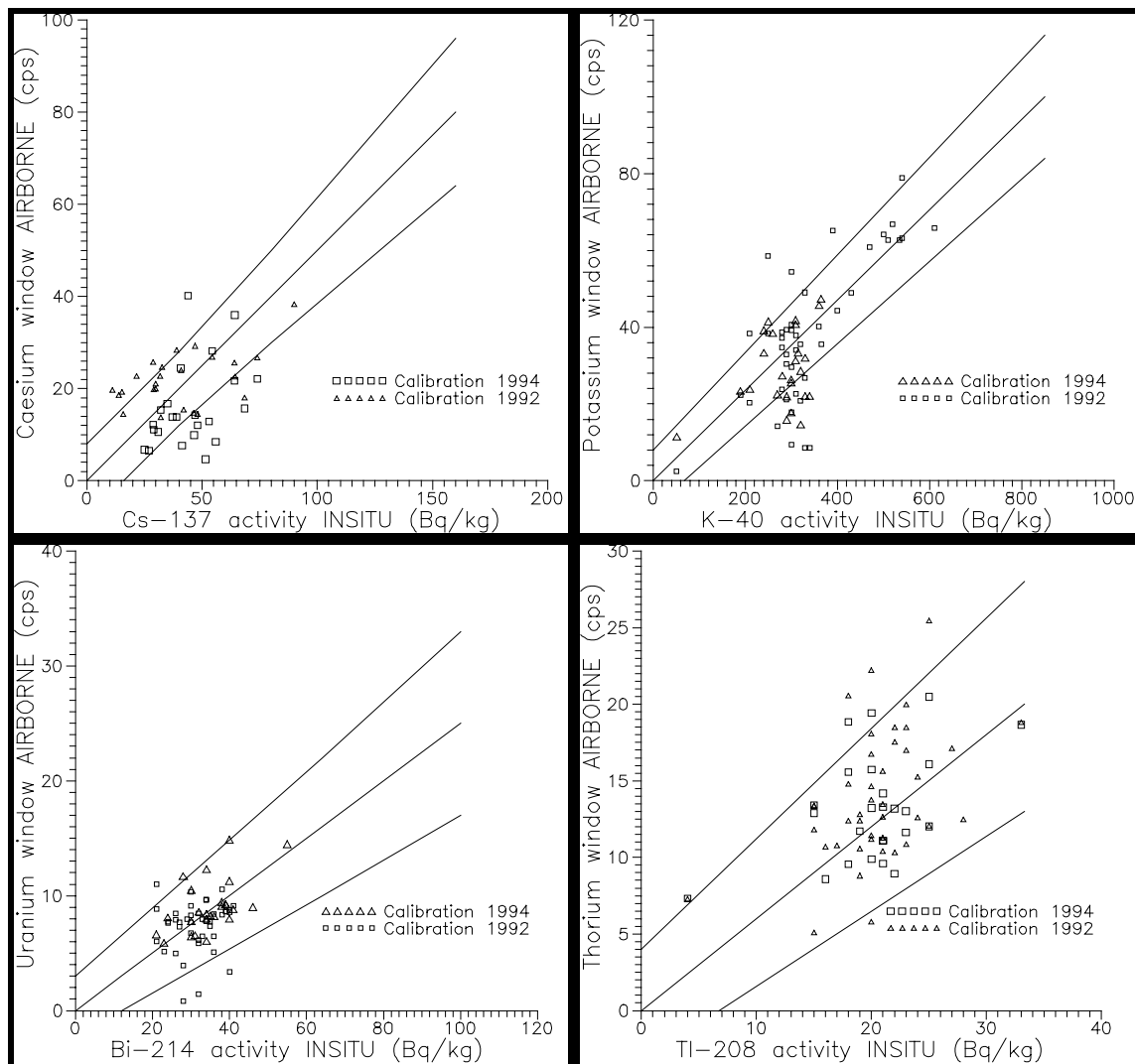


Abbildung 3: Experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit (Flughöhe 100m)

Die Messpunkte "KKL NADAM", "PSI Nord" und "PSI Oase" liegen im von der Direktstrahlung der Kernalagen beeinflussten Bereich und wurden deshalb ausgeschieden. Zusätzlich wurden durch die Labors SUEr und ACLS während der Übung fünf Messpunkte im Gebiet Zürcheroberland in-situ-gammaspektrometrisch vermessen. Diese Daten sind ebenfalls für die Kalibration miteinbezogen worden.

In Abbildung 3 sind die aus der Luft gemessenen Zählraten gegen die am Boden bestimmten Untergrundaktivitäten für das Cäsium-, Kalium-, Uran- und Thoriumfenster aufgetragen. Die Angaben verstehen sich jeweils auf Bq des angegebenen Radioisotops pro kg Boden bei homogener Isotopenverteilung.

Das Verhältnis der aeroradiometrischen Zählrate zur Bodenaktivität ergibt die Detektorempfindlichkeit in Flughöhe (100m in diesem Fall). Wie aus Abbildung 3 ersichtlich ist, stimmt die während der Übung ARM94 in einem Super-Puma bestimmte Detektorempfindlichkeit (in der Abbildung mit Dreiecken bezeichnet) gut mit den 1992 in einem Ecureuil gemessenen Werten (in der Abbildung mit Quadraten bezeichnet) überein.

Die Steigung der mittleren Geraden in Abbildung 3 stellt die experimentell bestimmte mittlere Detektorempfindlichkeit dar. Die beiden anderen Geraden geben die Fehlergrenze (1σ) der Bestimmung an. Die Detektorempfindlichkeiten und die zugehörigen Dosisleistungen sind in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tabelle 4: Experimentell bestimmte Detektorempfindlichkeit

Fenster	Isotop	Aktivität [Bq]	Erzeugte Dosisleistung [nSv/h]	Detektor- empfindlichkeit [cps/100 Bq]
Cäsium	Cs-137	100	17	50
Kalium	K-40	100	5	12
Uran	Bi-214	100	52	25
Thorium	Tl-208	100	73	60

Um die Resultate zu verbessern, sind weitere Messungen bevorzugt in Gebieten mit erhöhter Radioaktivität durchzuführen.

4.6 Umrechnung in Dosisleistung

Für die Praxis wird oft eine einfache Methode benötigt, um die aeroradiometrisch gemessenen Werte näherungsweise in die entsprechende Dosisleistung umzurechnen. Dafür können zwei Methoden verwendet werden:

-Methode 1: In einem ersten Schritt werden die korrigierten Messdaten des Cäsium-, Kalium-, Uran- und Thoriumfensters mit den in Tabelle 4 zusammengestellten Detektorempfindlichkeiten (Kolonne 4) in Aktivitätskarten umgerechnet. Mit den Werten in Kolonne 4 lassen sich diese Aktivitäten in die zugehörige Dosisleistung umrechnen. Abschliessend werden die so berechneten Dosisleistungen zusammengezählt, um die entsprechende Dosisleistung (in 1 m über Grund) zu berechnen.

-Methode 2: Die Rohdaten des Totalfensters minus den Helikopter-Hintergrund multipliziert mit einem Konversionsfaktor ergeben in allererster Näherung ebenfalls ein Mass für die Dosisleistung.

Methode 2 ist relativ ungenau. Trotzdem ist eine grobe und schnelle Faustformel zur Dosisleistungsberechnung im Feld sehr nützlich. Zur Bestimmung des Konversionsfaktors wurden wiederum die SUeR Messpunkte verwendet. Neben den in-situ-gammaspektrometrischen Messungen wurde jeweils auch eine Dosisleistungsbestimmung mit einer Reuter-Stokes-Ionisationskammer durchgeführt. Während der Übung wurden auch Dosisleistungsmessungen mit dem Gerät EG-90 durchgeführt. Auch diese Messungen wurden bei der Bestimmung berücksichtigt.

Diese Werte (RSS-Werte als Quadrate; EG-90-Werte als Dreiecke) wurden gegen die entsprechenden Werte im Totalfenster der aeroradiometrischen Messung aufgetragen (siehe Abbildung 4). Die Steigung der Regressionsgeraden ergibt den gesuchten Konversionsfaktor von 0.15 nSv/h pro cps. Der Helikopterbackground im Totalfenster beträgt 135 cps (siehe Tabelle 1).

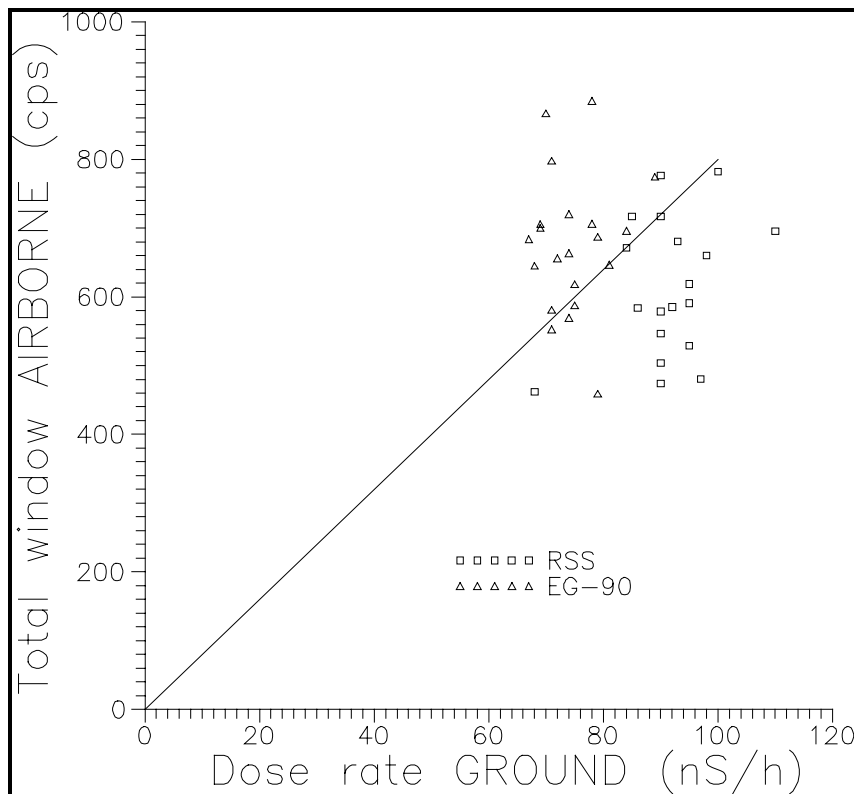


Abbildung 4: Umrechnung von Totalfensterdaten in Dosisleistung

5 Messergebnisse

5.1 Einleitung

Die diesjährigen Messungen erfolgten erstmals mit einem Super-Puma der Armee im Rahmen der Übung ARM94 in der Zeit vom 23.8.1994 bis zum 25.8.1995. Die Übung unter der Leitung von Dr. D. Frei wurde von der Nationalen Alarmzentrale organisiert.

Insgesamt wurden vier Messgebiete befliegen. Die beiden Messgebiete KKL und KKB/PSI wurden bereits im Auftrag der HSK mehrmals vermessen und wurden auch 1994 mit denselben Flugparametern (siehe Tabelle 5) und entlang derselben Flugwege wie in den Jahren von 1990 bis 1993 (Schwarz et al., 1990, 1991, 1992, 1993) vermessen.

Im Zürcher Oberland wurde in einem weiteren Messgebiet die Quellensuche geübt. Insgesamt wurden vier Quellen ausgelegt: Eine starke Cs-137 Quelle mit 2.24 GBq, eine schwache Cs-137 Quelle mit 249 MBq, eine Co-60 Quelle mit 212 MBq und ein Lastwagen mit Kalidünger. Über zwei der ausgelegten Quellen (siehe Kapitel 4.4) wurden Kalibrationsmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurde noch ein kleineres Gebiet zwischen Hallwyler- und Greifensee vermessen.

Tabelle 5: Flugparameter für die Messflüge im Rahmen der Übung ARM94.

Mess- gebiet	Längs- linien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flug- höhe [m]	Flug- richtung [Grad]	Flugge- schwin- digkeit [m/s]	Sample- intervall [s]
KKB/PSI	250	55	100	40/220	30	1
KKL	250	35	100	70/250	30	1
Zürcher Oberland	250		100		30	1
Hallwylersee	250		100		30	1

Die genauen Flugdaten sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Für die Vermessung der insgesamt 597 km Messstrecke und der Kalibrationsflüge wurden rund 13 Flugstunden benötigt.

Tabelle 6: Zusammenstellung der Flugdaten 1994

Messgebiet	Flug- nummern	Datum	Fluglinien	Eff. Messzeit [s]	Flugstrecke [km]
Beznau/PSI	9412	23.8.94	1-7	1400	304
	9413	24.8.94	8-18	3800	
	9414	24.8.94	19-29	2700	
Leibstadt	9415	24.8.94	1-19	3800	120
	9416	24.8.94	20-21, Quer	2100	
Zürcher Oberland	9411	24.8.94	1-11	2600	93
Hallwylersee	9417	25.8.94	1-10	2400	80
Eichflüge	9410	23.8.94	Cosmic	1900	
	9411	23.8.94	Quellen	400	
	9417	25.8.94	Steigflug	300	

Die auf den Karten dargestellten Werte wurden durch die Ausführung sämtlicher in Schwarz (1991) beschriebenen Korrekturen berechnet. Die Kartendarstellungen der Resultate erfolgen 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.

Die Ortsdosisleistungskarten wurden mit der in Kapitel 4.6 beschriebenen Faustformel ("Methode 2") berechnet.

Die Messgebiete KKL und KKB/PSI wurden auf einem Blatt zusammengefasst. Für diese Gebiete wurde eine Karte der Total-Count-Daten, eine Ortsdosisleistungskarte sowie eine Karte des MMGC-Ratios erstellt. Um die Dynamik der MMGC-Karten besser zum Ausdruck zu bringen, wurde auch eine 3D-Darstellung beigefügt.

Für das Messgebiet Zürcher Oberland wurde je eine Karte der Ortsdosisleistung, der Kalium-, und Cäsiumaktivität sowie des Kobalt-Fensters erstellt. Für das Messgebiet Hallwylsee wurde eine Ortsdosisleistungskarte angefertigt.

5.2 Karten KKL/KKB/PSI

Beilage 1: Flugwegkarte Messgebiete KKL und KKB/PSI

PSI-West ist mit einem offenen Dreieck, PSI-Ost mit gefülltem Dreieck gekennzeichnet. Die Position von KKL bzw. KKB wird durch ein offenes bzw. gefülltes Quadrat markiert. Die Symbole kennzeichnen jeweils die Mitte der Areale.

Beilage 2: Total-Fenster Messgebiete KKL und KKB/PSI

Das KKB ist nicht, KKL, PSI-Ost und PSI-West sind deutlich zu erkennen. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen [->] hoch, Wald und Flüsse [->] niedrig).

Beilage 3: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Die aus der Luft bestimmten Ortsdosisleistungen von 880 nSv/h (7.7 mSv/a) für das PSI-Ost bzw. 330 nSv/h (2.7 mSv/a) für das PSI-West sind höher als die am Boden gemessenen Werte von 2 mSv/a (PSI-Ost) bzw. 1 mSv/a (PSI-West). Der Grund dafür könnte in der unberücksichtigten Quellgeometrie und der groben Näherung zur Berechnung der Ortsdosisleistung liegen.

Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Die Standorte des PSI und des KKL treten deutlicher in Erscheinung. Der Standort des KKB ist nicht erkennbar.

Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratios (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 4 (Blick nach Südosten). Drei Maxima sind ersichtlich: PSI-Ost (links), PSI-West (rechts) und KKL (vorne). Für die Farbskala wurden die gleiche Skala wie in Beilage 4 verwendet. Die höchste Spitze entspricht einer Ortsdosisleistung von rund 2 mSv/a.

5.3 Karten Zürcher Oberland

Beilage 6: Flugwegkarte Messgebiet Zürcher Oberland

Insgesamt wurden vier Quellen ausgelegt: eine starke Cs-137 Quelle mit 2.24 GBq (697430/238890), eine schwache Cs-137 Quelle mit 249 MBq (699460/239640), eine Co-60 Quelle mit 212 MBq (695800/241270) und ein Lastwagen mit 4.2 Tonnen 60% KCl-Kalidünger, was etwa 40 MBq K-40 entspricht (696975/240700).

Beilage 7: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Zürcher Oberland

Auf der Ortsdosisleistungskarte sind der Greifensee und die 2.24 GBq Cs-137 Quelle zu erkennen.

Beilage 8: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland

Der Lastwagen mit dem Kalidünger konnte nicht detektiert werden. Anhand der Aktivität der Quelle war eine Erhöhung der Zählrate von 2 bis 6 cps (je nach seitlicher Distanz von der Fluglinie) zu erwarten. Bei einem durchschnittlichen Kaliumgehalt von 290 Bq/kg im Messgebiet, was einer Zählrate von 35 cps (Standardabweichung 6 cps) entspricht, kann eine so schwache Quelle nur bei tieferen Flughöhen detektiert werden.

Beilage 9: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland

Die 2.24 GBq Quelle kann sehr gut detektiert werden. Die zweite Cs-137 Quelle (249 MBq) war in der Abschirmung verklemmt und konnte nicht ausgelegt werden. Die

Messung erfolgte mit der Quelle im Abschirmbehälter bei offenem Deckel. Durch die starke Kollimation war die Quelle nur sehr schwach erkennbar.

Beilage 10: Kobalt-Fenster (cps) Messgebiet Zürcher Oberland
Die ausgelegte Co-60 Quelle ist deutlich erkennbar.

Beilage 11: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Hallwylsee
Der Greifensee und der Hallwylsee sind deutlich zu erkennen.

6 Fazit, Ausblick

Sowohl das KKL als auch das PSI konnten mit den diesjährigen Messungen anhand ihrer Direktstrahlung nachgewiesen werden. Beim Paul Scherrer Institut wird die Direktstrahlung der Lagerstätten für radioaktive Komponenten (PSI-West) resp. Abfälle (PSI-Ost) erfasst. Das Strahlungsfeld beschränkt sich auf die Areale der Kernanlagen. In der weiteren Umgebung ist keine erhöhte künstliche Radioaktivität nachweisbar.

Das KKB weist eine sehr geringe Gesamtstrahlung auf. Es war auch in früheren Jahren nur im MMGC-Ratio schwach erkennbar. Bei den diesjährigen Messungen konnte das KKB aeroradiometrisch nicht nachgewiesen werden.

Ausserhalb der umzäunten Areale der Kernanlagen konnte 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 sechs Jahre etwa konstant geblieben.

Die Übungen zur Quellensuche waren überaus erfolgreich. Mit Ausnahme des Lastwagens voller Kalidünger, konnten alle ausgelegten Quellen detektiert werden. Sogar die Cs-137 Quelle im offenen Abschirmbehälter wurde trotz der starken seitlichen Kollimierung erkannt.

Ab 1995 wird die Aeroradiometrie schwerpunktmässig im Rahmen der Notfallorganisation Radioaktivität eingesetzt. Im Rahmen jährlichen Übungen zur Erhaltung der Notfallbereitschaft, ist eine Befliegung der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen alle zwei Jahre vorgesehen. Daneben werden Gebiete von wissenschaftlichem Interesse vermessen.

Für 1995 ist eine grenzüberschreitende Übung mit dem französischen Aeroradiometrieteam HELINUC der CEA geplant. Ausserdem wird im Auftrag der NAZ ein zweites Messsystem am Institut für Geophysik der ETHZ gebaut.

7 Literaturverzeichnis

MURITH, C., VOELKLE, H.R., SURBECK, H., PILLER, G., BAERISWIL, L., BEURET, P., FERRERI, G., GOBET, M., GURTNER, A., RIBODRY, L., 1992: Mesures in situ en Suisse; Auszug aus der SUEr-Datenbank. Bundesamt für Gesundheitswesen; Abteilung Strahlenschutz.

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: 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 KKL und KKB/PSI

Beilage 2: Total-Fenster Messgebiete KKL und KKB/PSI

Beilage 3: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratios (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI

Beilage 6: Flugwegkarte Messgebiet Zürcher Oberland

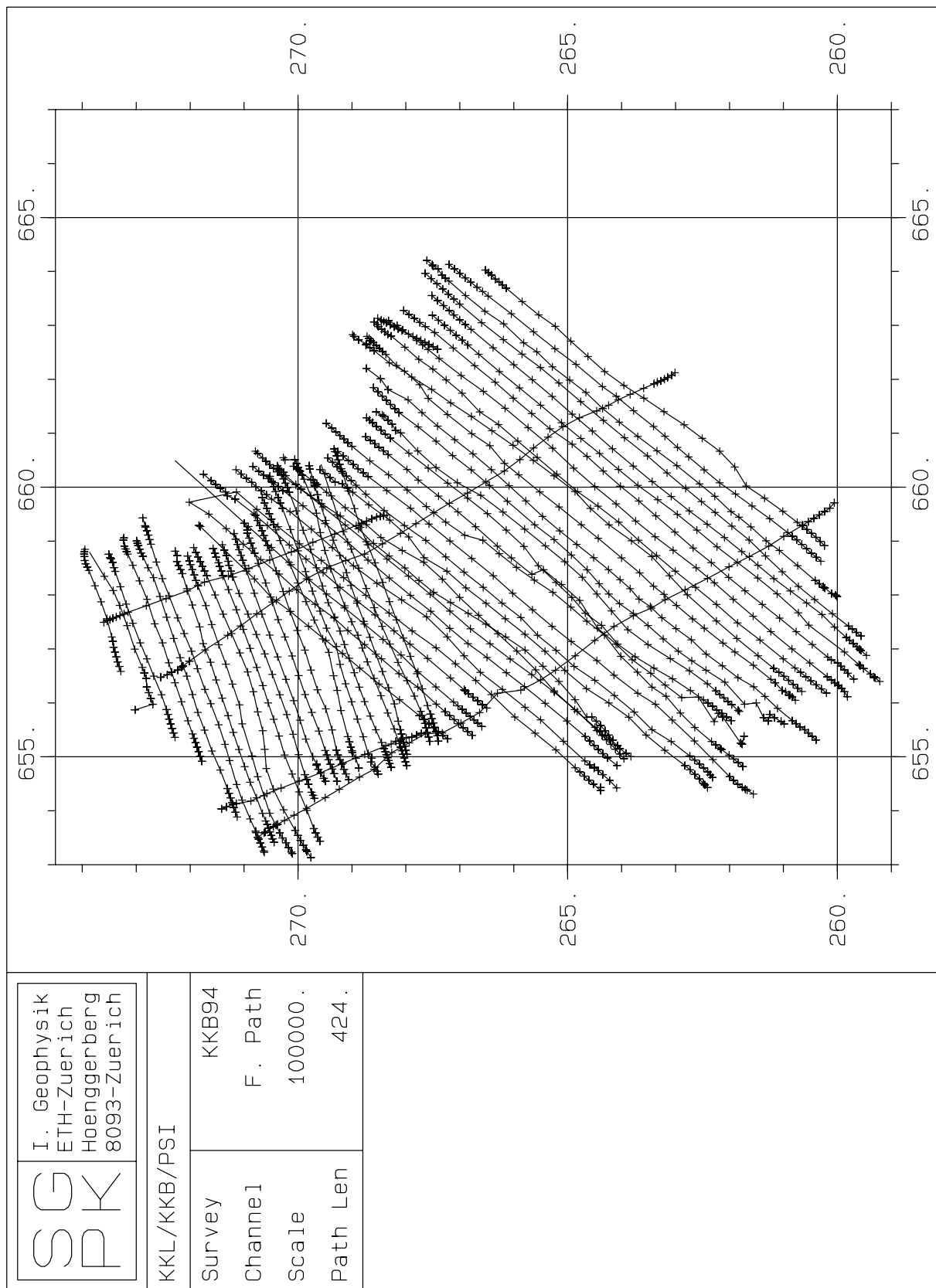
Beilage 7: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Zürcher Oberland

Beilage 8: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland

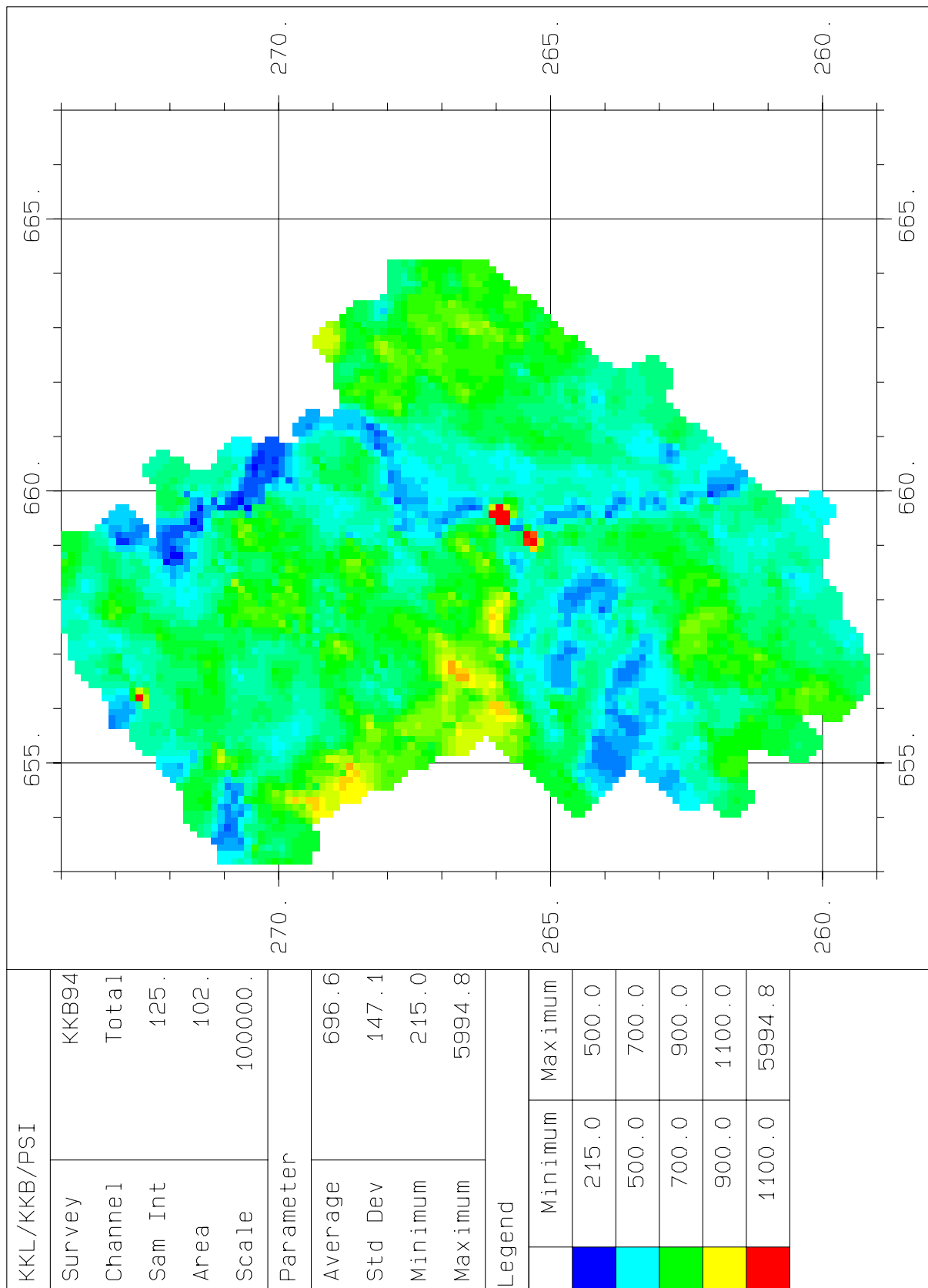
Beilage 9: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland

Beilage 10: Kobalt-Fenster (cps) Messgebiet Zürcher Oberland

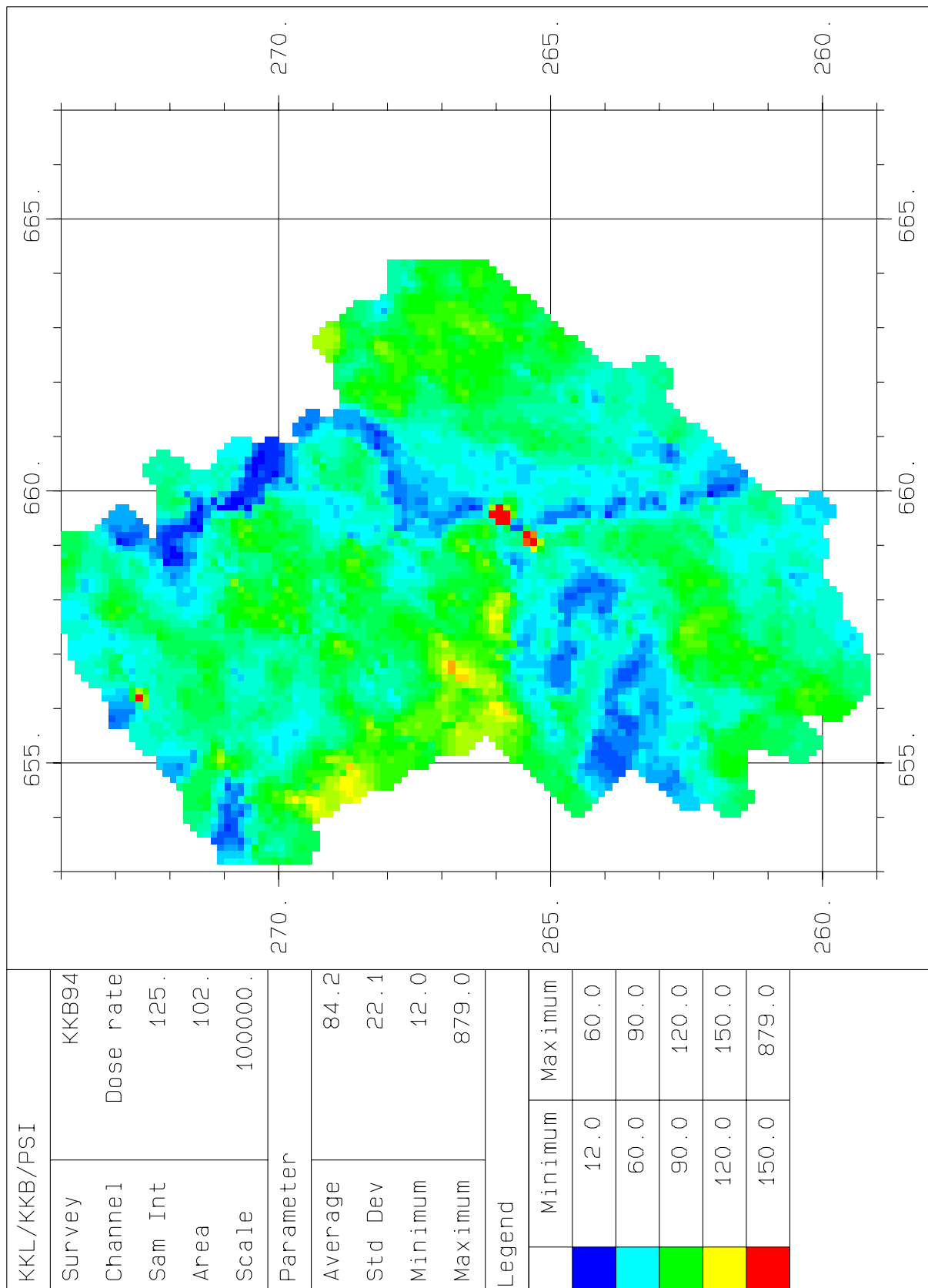
Beilage 11: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Hallwylersee



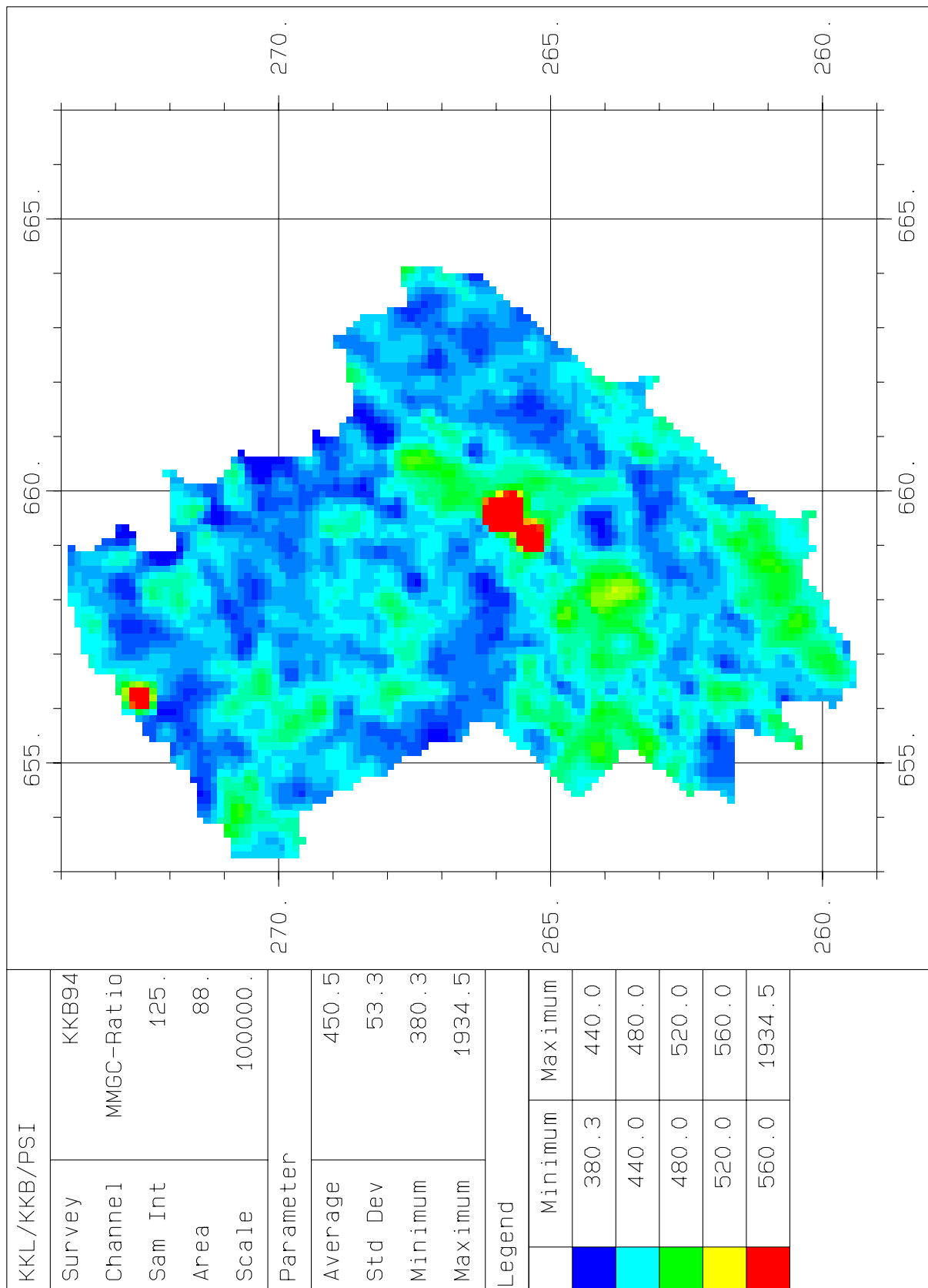
Beilage 1: Flugwegkarte Messgebiete KKL und KKB/PSI



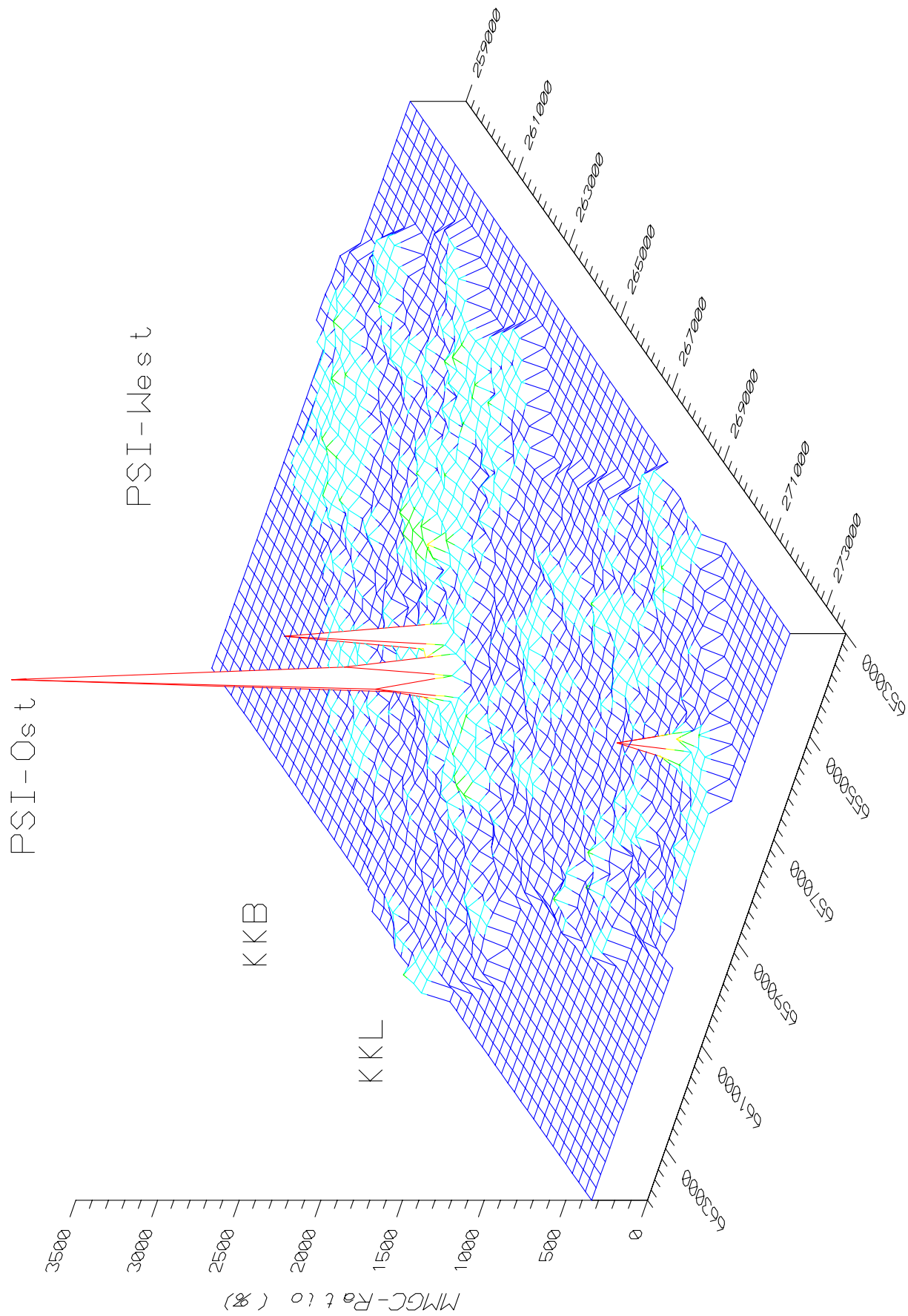
Beilage 2: Total-Fenster Messgebiete KKL und KKB/PSI



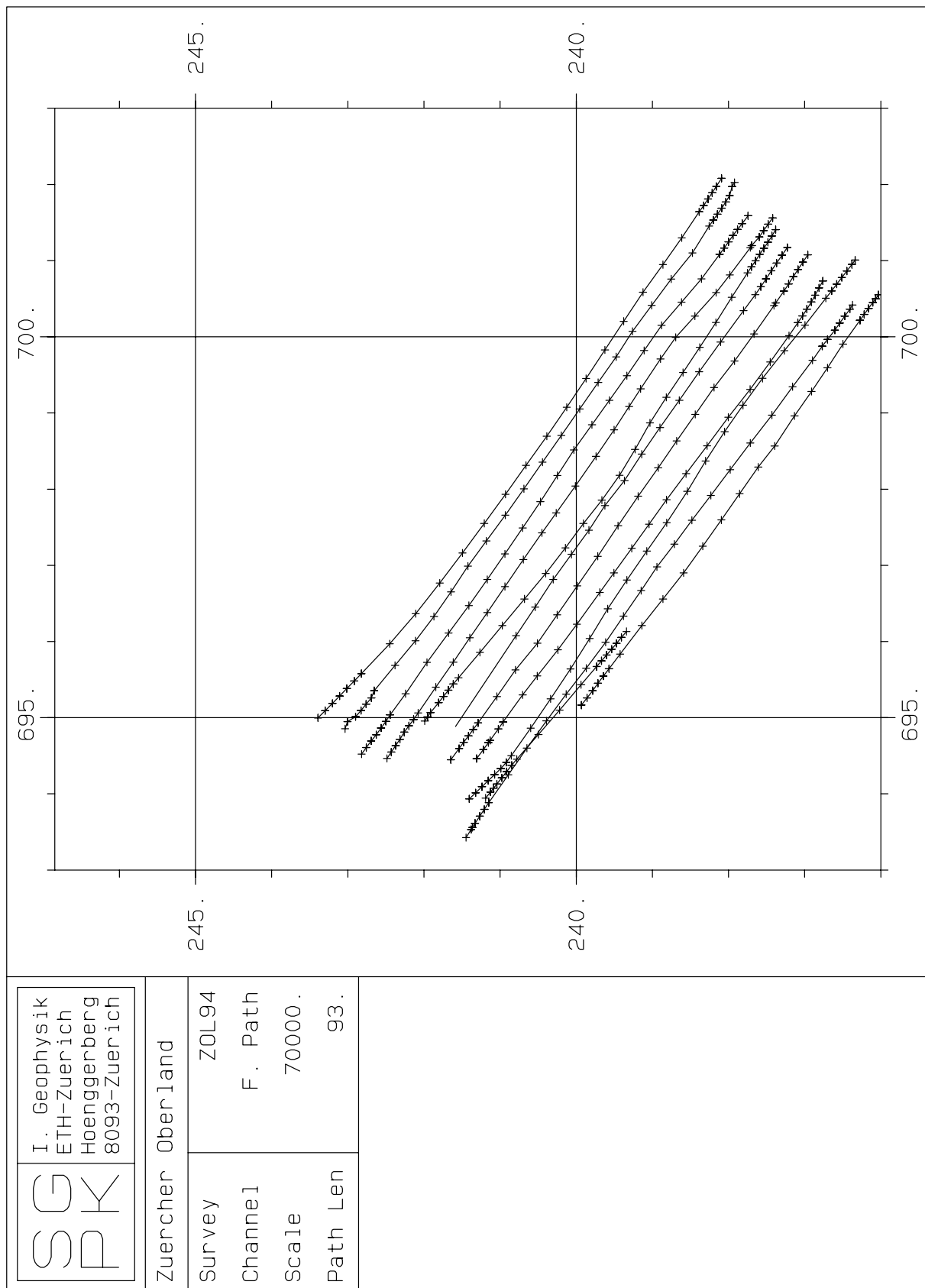
Beilage 3: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiete KKL und KKB/PSI



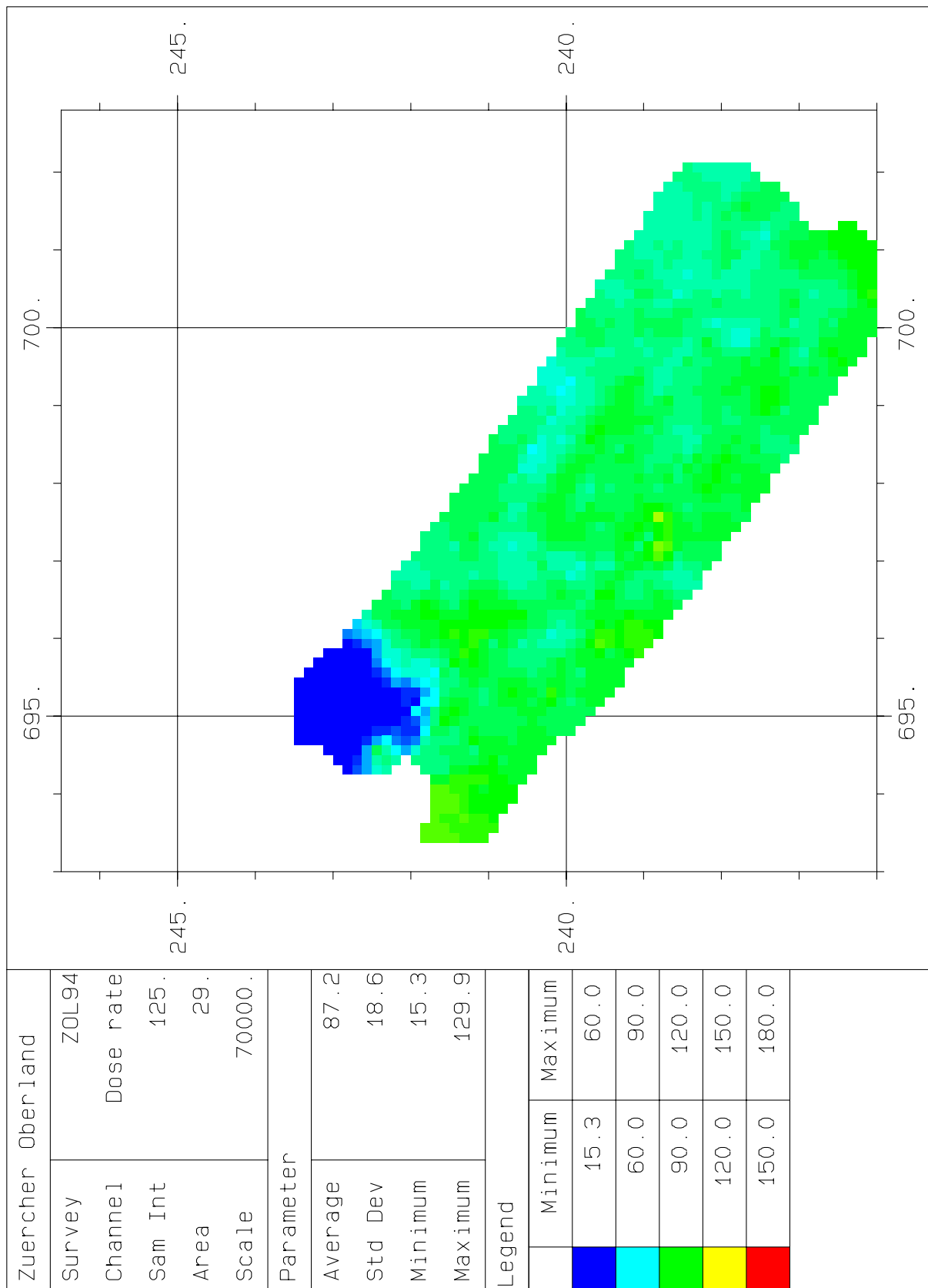
Beilage 4: MMGC-Ratio (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI



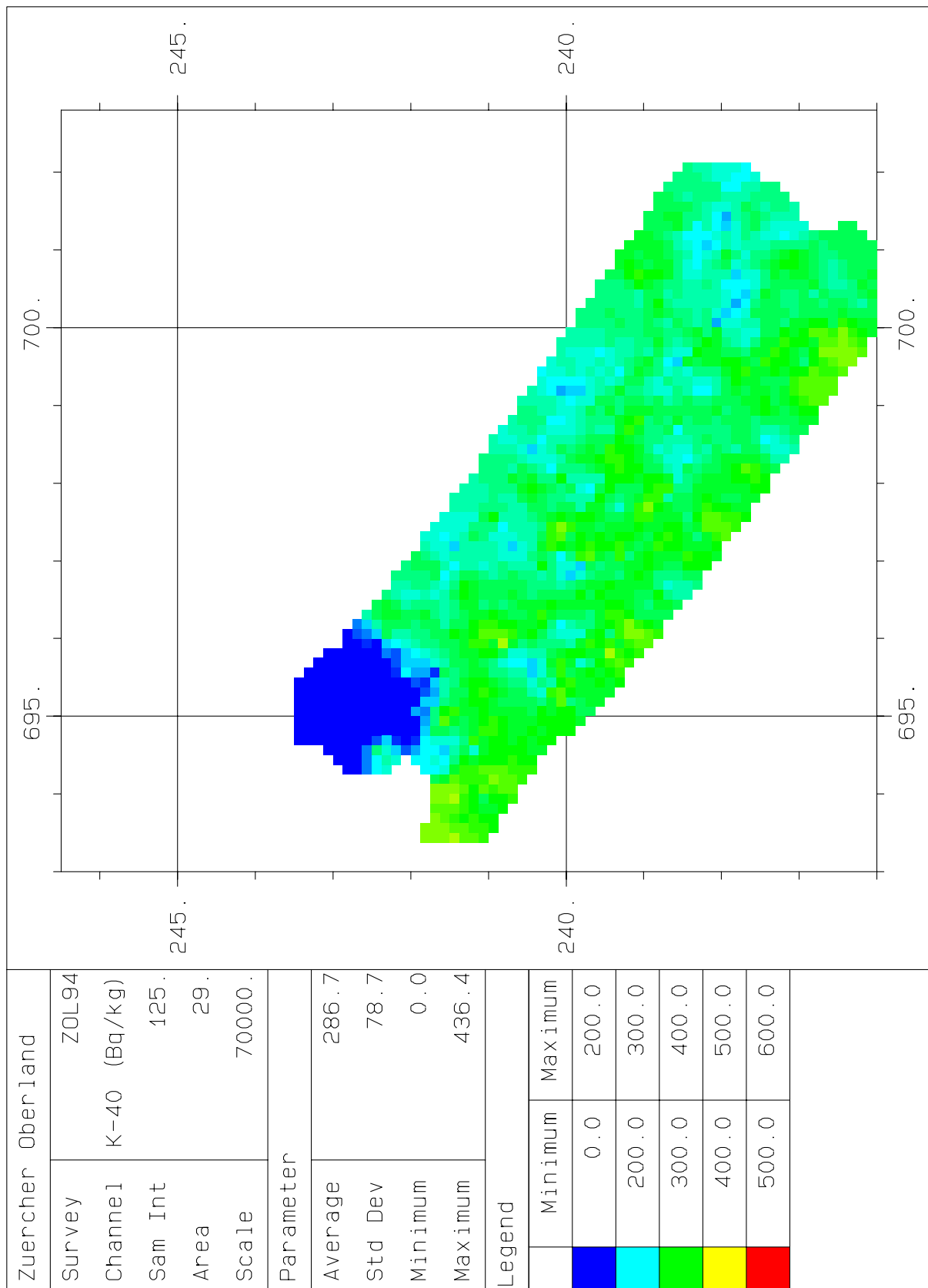
Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratios (%) Messgebiete KKL und KKB/PSI



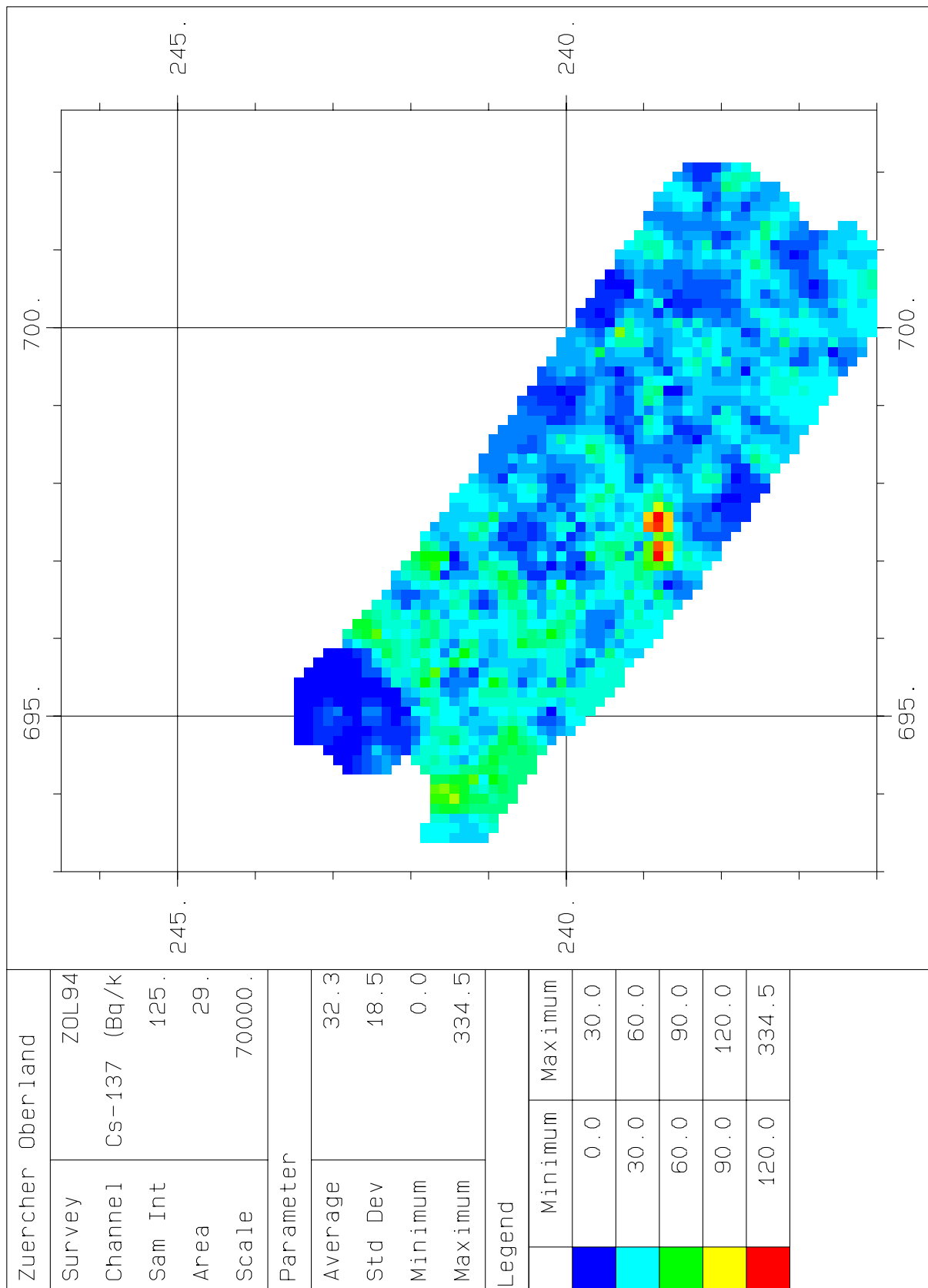
Beilage 6: Flugwegkarte Messgebiet Zürcher Oberland



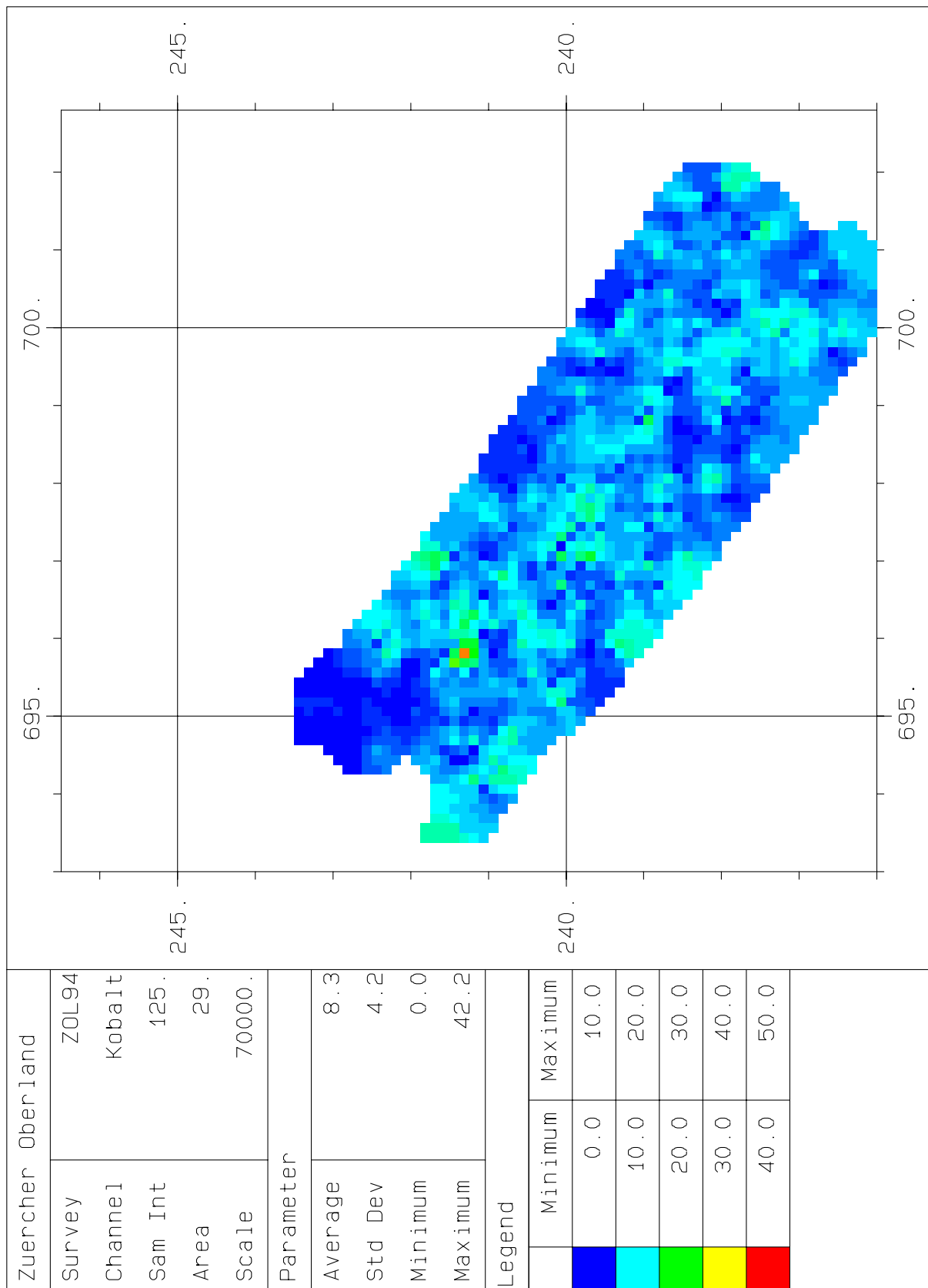
Beilage 7: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Zürcher Oberland



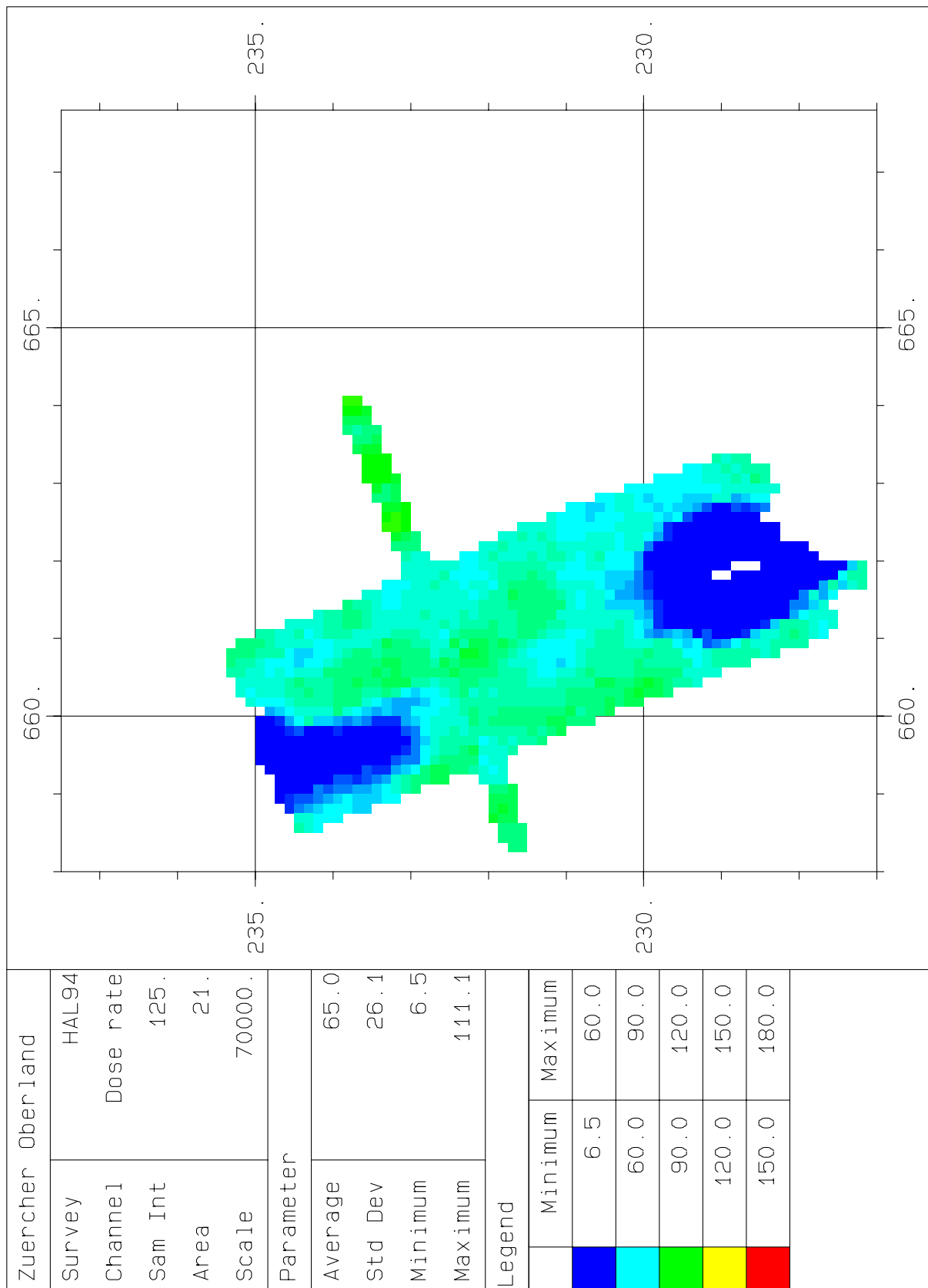
Beilage 8: K-40 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland



Beilage 9: Cs-137 Aktivität (Bq/kg) Messgebiet Zürcher Oberland



Beilage 10:Kobalt-Fenster (cps) Messgebiet Zürcher Oberland



Beilage 11: Ortsdosisleistung (nSv/h) Messgebiet Hallwylsee