



**Eidgenössische
Technische Hochschule
Zürich**

*Ecole polytechnique fédérale de Zurich
Politecnico federale svizzero di Zurigo
Swiss Federal Institute of Technology Zurich*

*Institut für Geophysik
ETH-Hönggerberg
8093 Zürich*

Georg F. Schwarz, Emile E. Klingelé, Ladislaus Rybach

Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen

**Bericht für das Jahr 1992 zuhanden der Hauptabteilung
für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)**

Dezember 1992

Umschlagbild:

Auf dem linken Bild ist ein Bildschirm-Ausschnitt eines Auswerteprogrammes abgebildet. Das rechte Bild zeigt das neue Messgerät (eingebaut in einem Ecureuil-Helikopter).

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
2	Messsystem-Erneuerung	2
3	Kalibration	7
3.1	Helikopterbackground/ kosmische Strahlung	7
3.2	Spectral Stripping	9
3.3	Abschwächungskoeffizient der Luft	10
3.4	Detektorempfindlichkeit	11
4	Messergebnisse	13
4.1	Einleitung	13
4.2	Karten KKB/PSI	16
4.3	Karten KKG	17
4.4	Karten KKL	18
4.5	Karten KKM	19
4.6	Fazit	19
5	Aeroradiometrie-Kurs	21
6	Literaturverzeichnis	22
7	Beilagen	24

1 Zusammenfassung

Seit 1989 werden von der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Institutes für Geophysik der ETH-Z aeroradiometrischer Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) durchgeführt (Vereinbarung vom 20.6.1989). Mit den jährlich stattfindenden Helikopterflügen wird die Umgebung (rund 50 km²) der schweizerischen Kernkraftwerke und des Paul Scherrer-Instituts aerogamma-spektrometrisch vermessen. Die zunächst für fünf Jahre vorgesehenen Messungen dienen der Erweiterung der nuklearen Beweissicherung sowie als Vergleichsbasis bei allfälligen Verstrahlungsfällen. Gleichzeitig wird die Methodik der aerogamma-spektrometrischen Aufnahmen laufend weiterentwickelt.

1992 wurde das aeroradiometrische Messsystem grundlegend erneuert. Damit steht nun ein modernes, wartungsfreundliches System mit einem für einen NaI-Detektor sehr gutem Energieauflösungsvermögen und integrierter Satellitenpositionierung zur Verfügung.

Sämtliche Messflüge in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen konnten erfolgreich mit dem neuen Messgerät durchgeführt werden. Die Änderungen am System bedingten auch eine neuerliche Kalibration. Die Messresultate zeigen eine gute Übereinstimmung mit den bisherigen Daten. Zusätzlich wurden Mitarbeiter der beteiligten Stellen (HSK, SUEP, ETH-Z, NAZ) am neuen Gerät geschult.

2 Messsystem-Erneuerung

Um die Einsatzbereitschaft des Aerogammaspektrometriesystems bei radiologischen Notfällen auch in Zukunft sicherzustellen, haben die beteiligten Stellen (HSK, NAZ, SUeR, KUeR, KOMAC und SGPK) am 12. September 1991 beschlossen, das Messsystem grundlegend zu erneuern. Insbesondere da auch in den Nachbarländern ähnliche Einsatzpläne bestehen.

Mit der Geräteerneuerung wurde im Winter 1991 begonnen. Nach der Lieferung des Spektrometers und des umgebauten Detektorpaketes, konnten die einzelnen Komponenten im Laufe des Frühjahrs 1992 im Rack eingebaut und verkabelt werden. Parallel dazu wurde das Steuerprogramm entwickelt und ausgetestet. Nach ausgedehnten Funktionstests im Labor konnte vom 1. bis 2. Juni 1992 ein erster Testflug mit einem Super Puma der Armee durchgeführt werden. Letzte Unstimmigkeiten im Steuerprogramm wurden erkannt und bis zum Beginn der Messkampagne am 27. Juli, korrigiert.

Während der Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen hat das Messsystem einwandfrei funktioniert. Die Datenqualität war, mit Ausnahme von drei Fluglinien im Messgebiet KKM (falsche Spektrometerparameter) hervorragend. Für das nächste Jahr verbleiben noch einige kleinere Verbesserungen wie die Batriepufferung des Spektrometers und des GPS-Empfängers, damit die Geräte auch während des Startvorgangs der Heliturbine in Betrieb bleiben können.

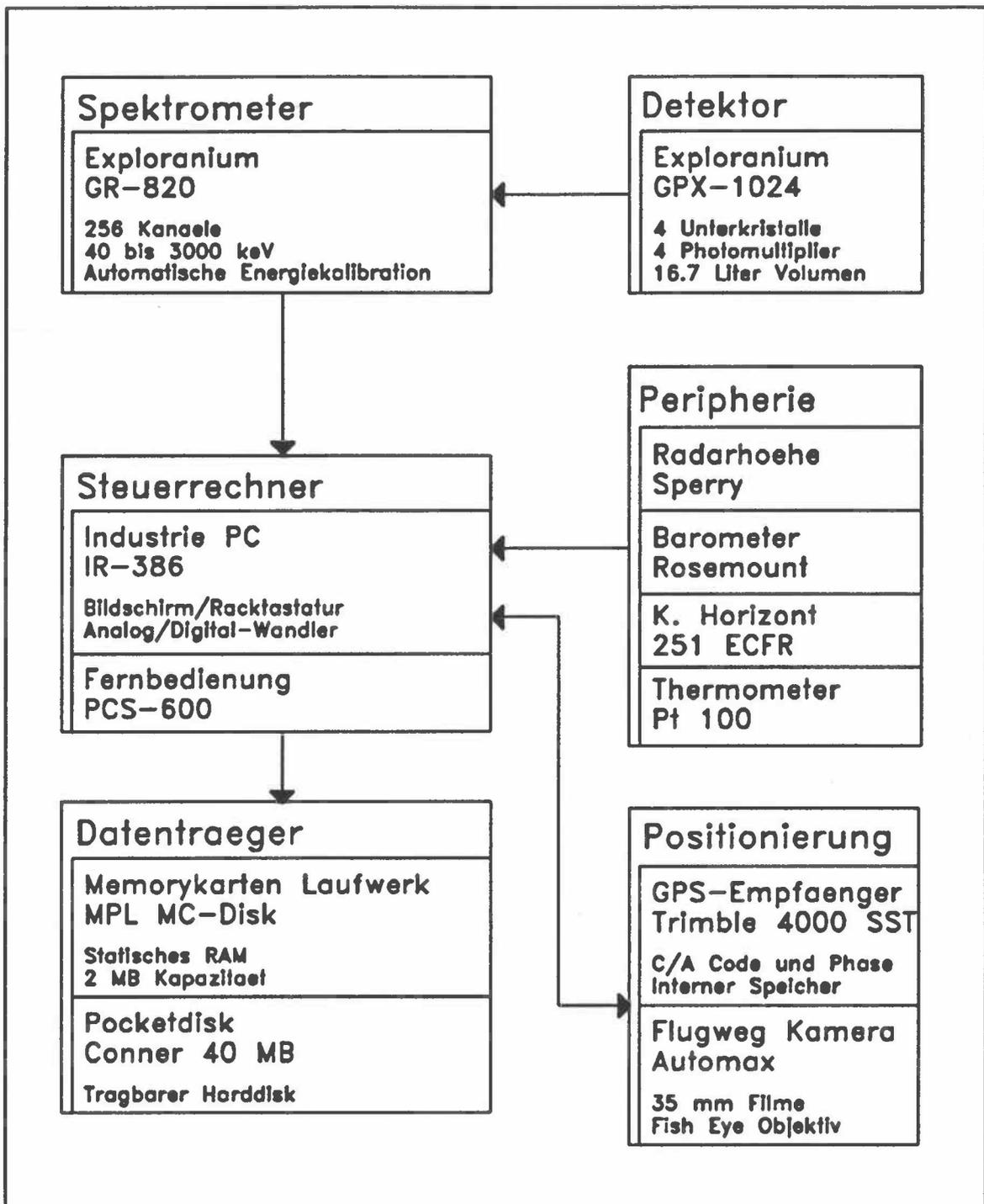
An dieser Stelle folgt eine kurze Beschreibung des neuen Messsystems. Eine ausführliche Bedienungsanleitung und Gerätebeschreibung wird zur Zeit erstellt und separat ausgeliefert. Das neue aeroradiometrische Messsystem γ -Star unterscheidet sich in zwei wichtigen Punkten vom bisherigen System:

-Getrennte Aufzeichnung der Detektorsignale: Die Signale der einzelnen Detektor-Kristalle werden getrennt aufgezeichnet. So werden Detektor-Ausfälle sofort erkannt. Zudem wird die Energieeichung stark vereinfacht. Weil sich eine ungenaue Kalibration und auch Drift nicht mehr auf das Energie-Auflösungsvermögen auswirkt, muss das Messsystem nicht mehr vor jedem Flug nachkalibriert werden. Wegen der besseren Drift-Kontrolle, kann auch auf die Temperaturregelung der Detektoren verzichtet werden, was grosse logistische Vereinfachungen während der Messungen mit sich bringt. Da auch das 12-stündige Vorheizen entfällt, wird die Mobilisierungszeit des Messsystems beträchtlich reduziert.

-Personalcomputer als Steuereinheit: Der Einsatz eines leistungsfähigen Personalcomputers als Steuereinheit hat verschiedene Vorteile. Die Wartung wird stark vereinfacht, da die Bauteile des Steuerrechners fast überall erhältlich sind und von jedem Computergeschäft repariert werden können. Weil ein marktüblicher Computer eingesetzt wird und das Steuerprogramm im Quellcode vorliegt, können Änderungen und Erweiterungen am Messsystem sehr einfach realisiert werden.

Dadurch ist γ -Star in den Bereichen Datenqualität, Datensicherheit, Bedienungsfreundlichkeit und Wartung jedem kommerziell erhältlichen Aeroradiometriesystem überlegen. In Figur 2.1 ist ein Schema des Messsystems abgebildet. Im Folgenden wird auf die einzelnen Komponenten kurz eingegangen.

-Detektor: Das Detektorpaket GPX-1024 enthält die NaI-Kristalle des alten Messsystems. Es wurde von der Firma Exploranium jedoch grundlegend revidiert und umgebaut. Das Gehäuse der Detektoren wurde ersetzt, die Detektorheizung entfernt, die PM's erneuert und die Hochspannungsvorsorgung im Detektorgehäuse untergebracht. Das Detektorpaket muss nach dem Umbau, wie die übrigen Komponenten, nur noch mit 28 V versorgt werden.



Figur 2.1: Schema des Messsystems

-Spektrometer: Als Spektrometer wird das Modell GR-820 der Firma Exploranium eingesetzt. Das GR-820 ist ein für Luftaufnahmen ausgelegtes 256-Kanal-Spektrometer. Der Hauptvorteil des Gerätes ist die automatische Energiekalibration der Spektren während des Messvorganges. Dazu werden die Spektren der einzelnen Detektoren (bis zu 16 Stück) getrennt

aufgezeichnet, anhand eines frei wählbaren Peaks kalibriert und anschliessend aufsummiert. Das GR-820 ist mit einem kleinen graphischen Display ausgerüstet und kann über Funktionstasten bedient werden.

- Steuerrechner:** Als Steuerrechner dient ein Kontron-IR386 19"-Industrierechner (Schutzklasse IP65). Er ist mit einem monochromen 9"-Bildschirm sowie einer Rack-Tastatur ausgerüstet. Im Betrieb werden Spannung und Temperatur überwacht. Die Belüftung erfolgt mittels Ueberdruck über einen Schnellwechselluftfilter. Die Laufwerke sind einzeln in einer vibrations- und stossgedämpften Schale eingebaut.
- Datenträger:** Die Speicherung der anfallenden Daten erfolgt auf JEIDA-Memorykarten. Dieses neuartige Speichermedium in Kreditkartengrösse kann mit verschiedenen Kartentypen mit einem Fassungsvermögen bis zu 20 Mb ausgerüstet werden. Zur Zeit werden RAM-Karten mit einer Kapazität von 2 Mb eingesetzt. Da im Memorykartensystem keine mechanischen Teile verwendet werden, ist es unempfindlich gegen Vibrationen, Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen. Die Memorykarten sind ausserdem wasser- und staubdicht.
- Fernbedienung:** Die Bedienung der Steuereinheit erfolgt während des Fluges über eine Fernbedienung (EURO-Industrie-Terminal PCS600). Auf dem zweizeiligen LED-Display werden die aktuellen Flugdaten (Liniennummer, Fiducial, GPS-Position usw.) angezeigt. Ueber eine Folientastatur können die Flugparameter abgeändert werden.
- Peripheriegeräte:** Als Zusatzdaten werden laufend Radarhöhe (Sperry AA-200), Luftdruck (Rosemount 1241), Aussentemperatur (Pt 100) und die Lagewinkel (AIM 251 CFR) des Helikopters aufgezeichnet. Die Peripheriegeräte konnten vom alten Messsystem übernommen werden. Sie wurden in einem Baugruppenträger zusammengefasst, was die Wartung erleichtert. Die Signale werden mit einem handelsüblichen ADC-Board erfasst.
- Positionierung:** Die Positionsbestimmung des Helikopters erfolgt mit dem satellitengestützten Positionierungssystem GPS. Die Synchronisation und Steuerung des GPS-Empfängers erfolgt durch den Bordcomputer. Die GPS-Daten werden fortlaufend gespeichert und dem Navigator auf dem Display angezeigt. Die Flugwegkamera wird als Ersatzpositionierungssystem beibehalten.

-Bodencomputer: Nach dem Flug erfolgt die erste Datenauswertung direkt im Feld ebenfalls auf einem Personalcomputer. Die Memorycards werden am Ende der Messflüge am Bodencomputer eingelesen und auf einer magneto-optischen Festplatte archiviert.

3 Kalibration

Wegen der Erneuerung des Messgerätes, insbesondere des Spektrometerwechsels, 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), beziehungsweise in Schwarz (1991).

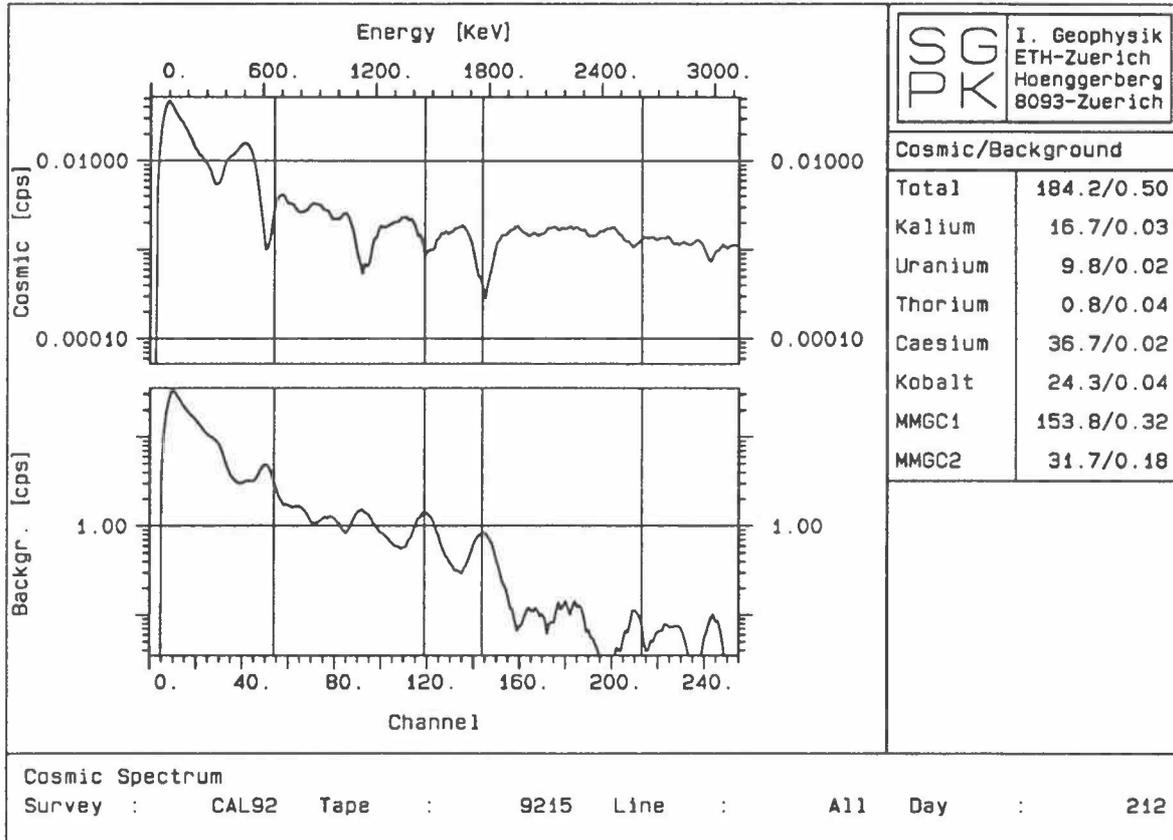
3.1 Helikopterbackground/ kosmische Strahlung

Die Bestimmung des Helikopterbackgrounds und der kosmischen Strahlung erfolgte bis anhin über dem Bodensee oder dem Genfersee. Im April dieses Jahres wurden der Flugraum der Schweiz und insbesondere die Höchstflughöhen neu geregelt. Die neuen Bestimmungen verunmöglichen nun Messungen über beiden Seen. Die Messungen wurden deshalb am 31. Juli 1992 über dem Neuenburgersee durchgeführt. Als Flughöhen wurden 8000 ft, 10000 ft, 12000 ft und 14000 ft gewählt. Die Messzeit betrug 300 s pro Messung.

Tabelle 3.1: Helikopter-Hintergrund und kosmische Streufaktoren (Messflug vom 31.7.1992 über dem Neuenburgersee). Zum Vergleich ist der Helikopter-Hintergrund und die kosmischen Streufaktoren vom alten Messsystem aufgeführt.

Fenster	Helikopter-Hintergrund		Kosmische Streufaktoren		Alte Konstanten	
	I_B	ΔI_B	S_C	ΔS_C	I_B	S_C
Total	176.0	26.0	0.538	0.090	118.0	2.58
Kalium	16.2	1.2	0.025	0.004	9.0	0.13
Uran	8.0	2.1	0.018	0.007	3.3	0.12
Thorium	0.6	0.5	0.045	0.002	1.7	0.18
Cäsium	30.0	6.0	0.041	0.020	17.9	0.30
Kobalt	21.0	4.0	0.054	0.010	15.5	0.25
MMGC1	147.0	22.0	0.355	0.080	98.0	1.74
MMGC2	29.0	4.0	0.188	0.010	19.8	0.85

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 die Daten sehr gut brauchbar sind. Die Resultate sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt.



Figur 3.1: Das berechnete Hintergrundspektrum des Helikopters und das normalisierte kosmische Spektrum des Messfluges vom 31.7.1992 über dem Neuenburgersee.

Das neue Spektrometer registriert im kosmischen Fenster (3-6 MeV) eine bedeutend höhere Zählrate als das alte System. Daraus ergeben sich die unterschiedlichen kosmischen Stripkoeffizienten S_C (Vergleiche Tabelle 3.1 Kolonnen 4 und 7). Die Werte für die Backgroundstrahlung I_B des Helikopters bewegen sich in derselben Grössenordnung wie beim alten Messsystem (Kolonnen 2 und 6).

3.2 Spectral Stripping

Die Streufaktoren wurden am 6. August 1992 im Anschluss an die Feldmessungen im Labor ermittelt. Zusätzlich zu den bisher verwendeten Punktquellen (Kalium, Uran, und Thorium) wurde noch eine Kobaltquelle verwendet. Die Quellen wurden in einem Abstand von 35 und 75 cm vom Detektor während je 100 s vermessen.

Tabelle 3.2 : Resultat der Bestimmung der Streufaktoren mit Punktquellen

Quellen→ Fenster↓	Cäsium		Kobalt		Kalium		Uran		Thorium	
	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	-

In Tabelle 3.2 sind die Resultate der Messungen zusammengestellt (Mittelwert aller Messungen). Die Streufaktoren wurden anschliessend für die zusätzliche Streuung in Luft und Untergrund korrigiert (siehe Schwarz, 1991, p.30ff) und die inverse Streufaktoren-Matrix berechnet. Daraus ergeben sich die in Tabelle 3.3 zusammengefassten Korrekturfaktoren für Streuung und spektrale Fremdbeiträge.

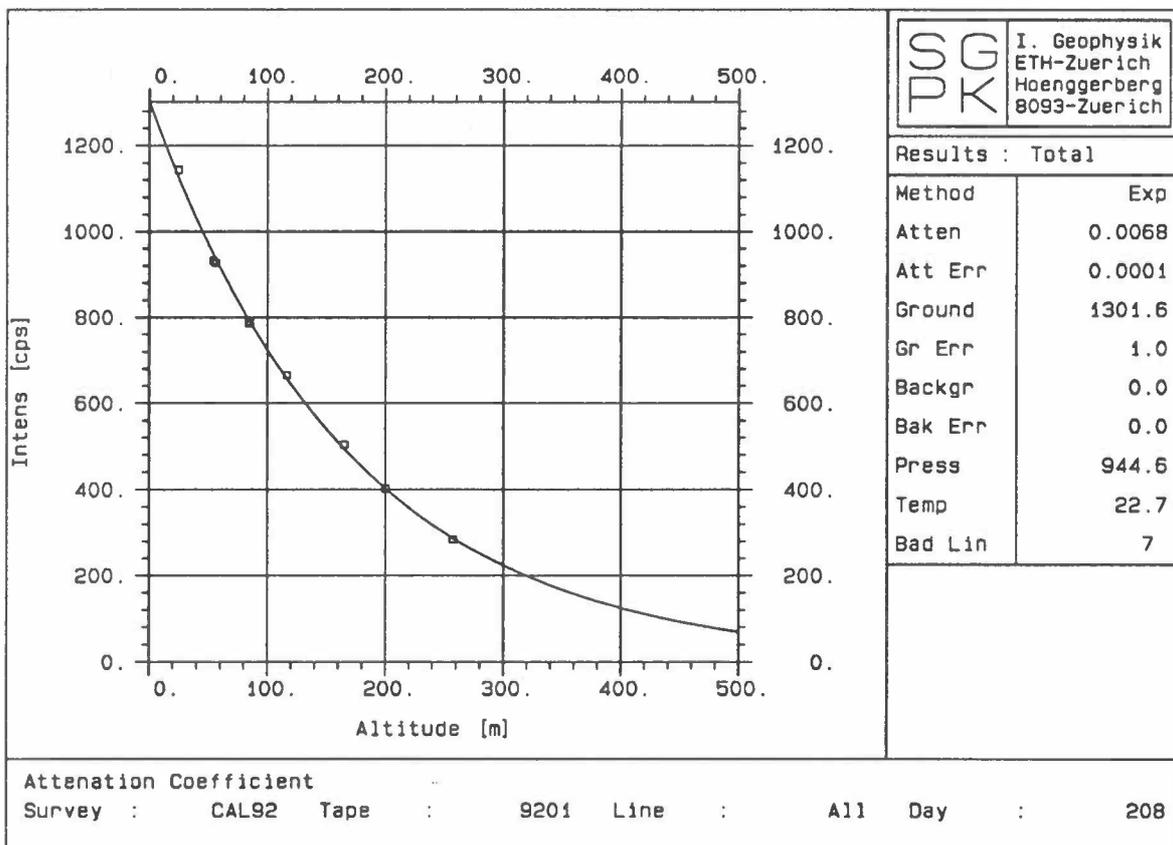
Tabelle 3.3: Vergleich der Streufaktoren der natürlichen Radioisotopen des alten und neuen Messsystems mit an typengleichen Messsystemen (Lama1 und Lama2, EG&G Geometrics, 1980) bestimmten Werten.

Messsystem→ Streu- Faktoren↓	ETH Neu	ETH Alt	EG&G Lama 1	EG&G Lama 2
S_{JK}	-0.83	-0.83	-0.82	-0.82
S_{TU}	-0.30	-0.32	-0.28	-0.28
S_{TK}	-0.14	-0.19	-0.18	-0.17
S_{KU}	0.00	0.00	0.00	0.00
S_{UT}	-0.06	-0.07	-0.07	-0.07
S_{KT}	0.00	0.00	0.00	0.00

Wie aus Tabelle 3.3 ersichtlich ist, stimmen die Korrekturfaktoren sehr gut mit den bisherigen Werten überein. Dies war auch zu erwarten, da die Streufaktoren vor allem durch das Volumen und die Geometrie des Detektors bestimmt werden, die beim Umbau des Messgerätes unverändert geblieben sind.

3.3 Abschwächungskoeffizient der Luft

Auch die Abschwächungskoeffizienten werden durch das neue Messsystem nicht beeinflusst. Zur Kontrolle wurde trotzdem am 27.7.92 ein Steigflug in der Nähe von Belp durchgeführt.

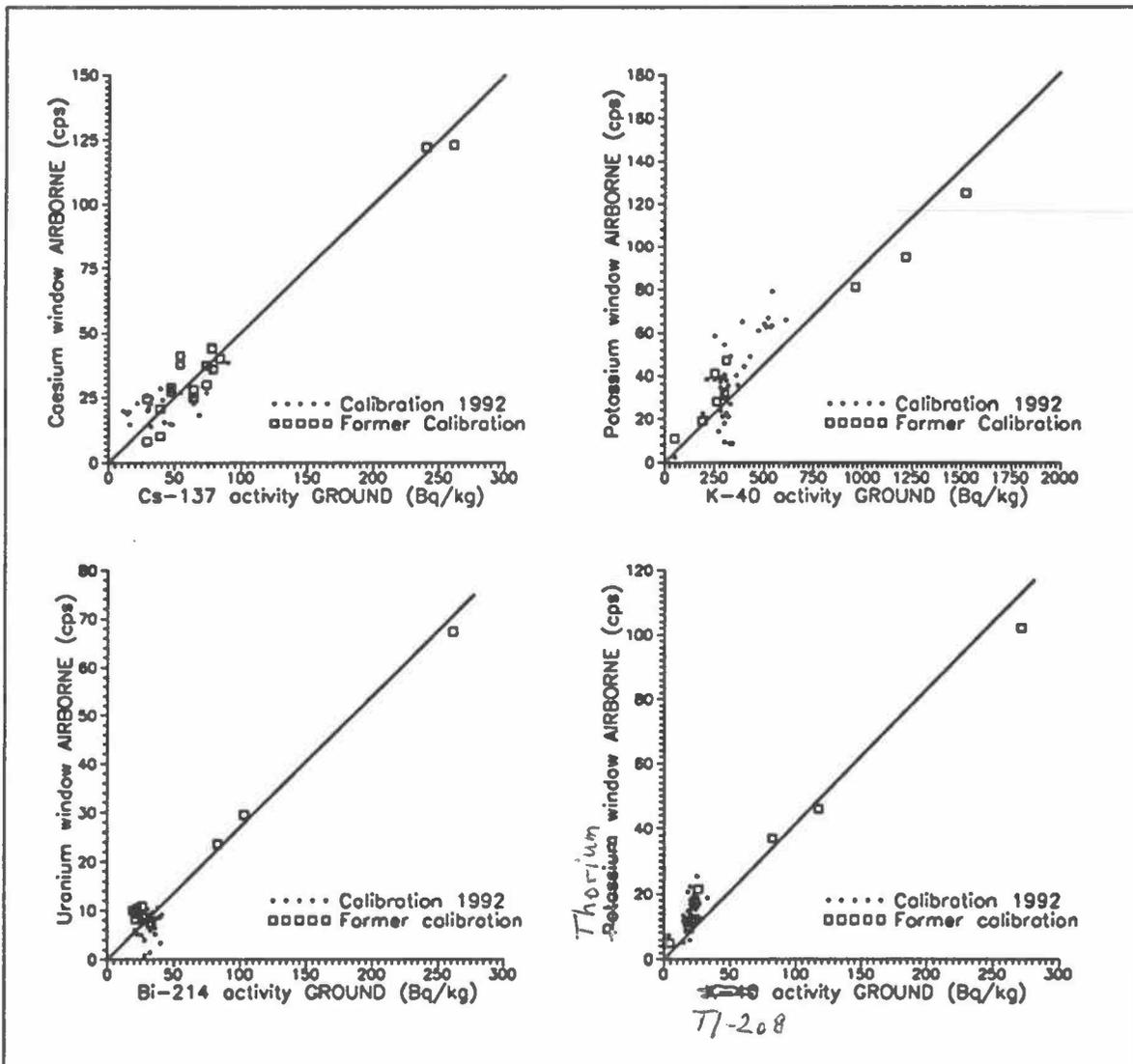


Figur 3.2: Beispiel einer Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung für das Totalfenster.

Die Abschwächungskoeffizienten-Bestimmung bestätigte die Resultate, die mit dem alten Messsystem gemessen wurden. Für die Auswertungen wurden die alten Abschwächungskoeffizienten verwendet. Figur 3.2 zeigt die Bestimmung für das Totalfenster.

3.4 Detektorempfindlichkeit

Für die experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit standen erstmals die gesamten in-situ-gammaspektrometrischen Bodenmesspunkte der SUeR zur Verfügung (Murith et al., 1992). Von den insgesamt über 200 Messstellen liegen 44 im Bereich der aeroradiometrischen Messungen.



Figur 3.3 : Experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit (Flughöhe 100 m).

Die Messpunkte "KKL NADAM", "PSI Nord", "PSI Oase", "KKM Vita Parcours" und "KKM Batelle Weekendhaus" liegen im von der Direktstrahlung der Kernanlagen beeinflussten Bereich und wurden deshalb ausgeschieden. Weiter wurden die

Messungen an den Lokalitäten KKM Niederuntigen und KKM Horn für die Bestimmung des Cäsiumfensters nicht berücksichtigt, da sie eine sehr starke Streuung der Cäsiumaktivität auf engstem Raum zeigen.

In Figur 3.3 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

Dank der Messungen mit dem alten Messgerät in den Alpen (Schwarz et al., 1992) und in der Magadinoebene (Schwarz et al., 1991), liegen noch weitere Kontrollpunkte vor. Diese Punkte sind in den Diagrammen von Figur 3.3 mit Quadraten angegeben. Die neu hinzugekommenen Wertepaare werden durch Punkte markiert.

Das Verhältnis der aeroradiometrischen Zählrate zur Bodenaktivität ergibt die Detektorempfindlichkeit in Flughöhe (100 m in diesem Fall). Wie aus Figur 3.3 ersichtlich ist, stimmt die Detektorempfindlichkeit des alten und des neuen Messsystems sehr gut überein, so dass die Detektorempfindlichkeit anhand beider Datensätze bestimmt wird.

Die Steigung der Geraden in Figur 3.3 stellt die experimentell bestimmte mittlere Detektorempfindlichkeit dar. Sie beträgt 50 cps pro 100 Bq/kg im Cäsiumfenster, 9 cps pro 100 Bq/kg im Kaliumfenster, 27 cps pro 100 Bq/kg im Uranfenster und 42 cps pro 100 Bq/kg im Thoriumfenster.

4 Messergebnisse

4.1 Einleitung

Die diesjährigen Messungen erfolgten mit denselben Flugparametern (siehe Tabelle 4.1) entlang derselben Flugwege wie 1990 und 1991 (Schwarz et al., 1990, 1991). Sie wurden wiederum mit einem Ecureuil-Helikopter der Firma Heliswiss AG (Belp/BE) in der Zeit vom 27.7.92 bis zum 31.7.92 durchgeführt.

Tabelle 4.1: Flugparameter für die Messflüge in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen.

Messgebiet	Längs- linien- abstand [m]	Fläche [km ²]	Flug- richtung [Grad]	Flughöhe [m]	Flugge- schwin- digkeit [m/s]	Sample- intervall [s]
Beznau/PSI	250	55	40/220	100	25	1
Gösgen	250	50	90/270	100	25	1
Leibstadt	250	35	70/250	100	25	1
Mühleberg	250	50	60/240	100	25	1

Die genauen Flugdaten sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt. Für die Vermessung der insgesamt 1'281 km Messstrecke und der Kalibrationsflüge wurden insgesamt 1'795 Flugminuten benötigt.

Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Flugdaten 1992

Mess- gebiet	Betriebs- zustand	Flug- nummer	Flug- linien	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flug- strecke [km]
Beznau/PSI	KKB2 in KKB1 ausser Betrieb	9213	1-8	30.7.92	15'700	430
		9216	9-15	31.7.92		
		9217	16-22	31.7.92		
		9218	23-29	31.7.92		
Gösgen	in Betrieb	9204	1-12	28.7.92	10'000	284
		9205	13-14	28.7.92		
		9207	15-26	29.7.92		
		9208	27-29	29.7.92		
		9210	13-14	29.7.92		
Leibstadt	in Betrieb	9210	1-8	29.7.92	6'800	185
		9211	9-19	30.7.92		
		9212	20-21	30.7.92		
Mühleberg	ausser Betrieb	9202	10-19	27.7.92	13'100	382
		9203	20-29	27.7.92		
		9206	3-9	28.7.92		
		9214	1-3	30.7.92		
Eich- flüge	-	9201	Steigflug	27.7.92	1'800	-
		9209	Background	29.7.92		
		9215	Cosmic	31.7.92		

Die dargestellten Werte wurden durch die Ausführung sämtlicher in Schwarz et al., (1989) beschriebenen Korrekturen berechnet. Die Kartendarstellungen der Resultate erfolgen einheitlich im Massstab 1:50'000 in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125 x 125 m. 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. Für jede Darstellungsart werden für alle Standorte die selben Farbskalen verwendet (siehe Tabelle 4.3)

Ferner wird in den Kartenlegenden der Mittelwert, dessen Standardabweichung sowie Minimum und Maximum aller Daten im Messgebiet aufgeführt. Zu jeder Karte wird der entsprechende Fehler berechnet. Cäsium- und Kobaltwerte, deren Fehler grösser als 60% sind, werden als unsignifikant betrachtet und nicht mehr gezeichnet.

Tabelle 4.3 : Farbskalen

Darstellung	Blau	Cyan	Grün	Gelb	Rot
Total-Counts [cps]	<500	500-700	700-900	900-1100	>1100
MMGC-Ratio [%]	<450	450-500	500-550	550-600	>600
Kobalt-Fenster [cps]	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Cäsium-Fenster [cps]	<20	20-40	40-60	60-80	>80

Bei der Interpretation der Karten muss beachtet werden, dass aus der Anzahl der eingefärbten Pixel nicht auf die Bodenaktivität geschlossen werden kann. Viele eingefärbte Pixel bedeuten nur geringe Fehler z.B. wegen geringer Flughöhe. Nur die Farbe der Pixel gibt die Bodenaktivität an.

Für das Messgebiet KKB/PSI wurde eine Karte der Total-Count-Daten beigelegt. Im weiteren wurden für jeden Standort eine Karte des Cäsiumfensters, des Kobaltfensters sowie des MMGC-Ratios erstellt. Um die Dynamik der MMGC-Karten besser zum Ausdruck zu bringen, wurde jeweils auch eine 3D-Darstellung beigelegt.

Wegen des neuen Messsystems sind die diesjährigen MMGC-Ratio-Karten nicht mehr direkt mit den alten Karten vergleichbar. Die Unterschiede sind zwar kleiner als 10%. Trotzdem wurde auf eine Beilage von Differenzkarten verzichtet, da solche Karten nur eine sehr beschränkte Aussagekraft besitzen.

Der Siedewasser-Reaktor KKL war während der Messungen in Betrieb. Durch die Frischdampfleitung gelangt das Aktivierungsprodukt N^{16} (aus der Reaktion $O^{16} (n,p) N^{16}$, $T_{1/2}=7.3$ s) ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des N^{16} (zwei Gammalinien bei 6.13 MeV und 7.11 MeV) 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 sehr störend. Weil für sie nicht dieselben Strippingfaktoren wie für die kosmische Strahlung gelten, werden alle Fenster beeinflusst. Während in den Höherenergetischen- und Summenfenstern zu hohe Werte auftreten, ergeben sich im Caesium- und Kobaltfenster durch die Strippingkorrektur zu niedrige Werte. Am stärksten wird der MMGC-Ratio verändert. Um die MMGC-Ratio-Karten des

Standortes KKB mit den Karten der früheren Jahre vergleichen zu können, wurde für diese Karte der modifizierte MMGC-Ratio verwendet (Korrektur des N^{16} -Effektes, vgl. Schwarz et al., 1991).

4.2 Karten KKB/PSI

Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

PSI-West ist mit einem Dreieck, PSI-Ost mit einem gefüllten Dreieck gekennzeichnet. Die Position vom KKB wird durch ein gefülltes Quadrat markiert. Die Symbole kennzeichnen jeweils die Mitte der Areale.

Beilage 2: Total-Fenster KKB/PSI

Das KKB ist kaum, 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: MMGC-Ratio KKB/PSI

Die Standorte des PSI treten deutlicher in Erscheinung. Im Unterschied zu den bisherigen Messungen weist das KKB einen geringeren Wert auf.

Beilage 4: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 3 (Blick nach Südwest). Zwei Maxima sind ersichtlich: PSI-Ost (mitte) und PSI-West (rechts). Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.3 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 5: Kobalt-Fenster KKB/PSI

Dargestellt sind nur Messwerte (Pixel), deren Messfehler weniger als 60% beträgt. Für die Bodenaktivität im Messgebiet ist nicht die Anzahl der eingefärbten Pixel, sondern ihre Farbe massgebend. Die Areale des PSI-Ost und PSI-West sind deutlich ersichtlich, nördlich davon auch der Standort des KKB, allerdings nur sehr schwach.

Beilage 6: Cäsium-Fenster KKB/PSI

Auch hier wurden nur Werte dargestellt, die einen Fehler von weniger als 60% aufweisen. Die Areale des PSI-Ost und PSI-West sind deutlich ersichtlich, das KKB tritt nicht in Erscheinung.

4.3 Karten KKG

Beilage 7: Flugwegkarte KKG

Die Position vom KKG wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 8: MMGC-Ratio KKG

Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKG ist nicht zu erkennen.

Beilage 9: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 8 (Blick nach Südwest). Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKG ist nicht zu erkennen. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.3 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 10: Kobalt-Fenster KKG

Dargestellt sind nur Messwerte (Pixel), deren Messfehler weniger als 60% beträgt. Für die Bodenaktivität im Messgebiet ist nicht die Anzahl der eingefärbten Pixel, sondern ihre Farbe massgebend. Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKG ist nicht zu erkennen.

Beilage 11: Cäsium-Fenster KKG

Auch hier wurden nur Werte dargestellt, die einen Fehler von weniger als 60% aufweisen. Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKG ist nicht zu erkennen.

4.4 Karten KKL

Beilage 12: Flugwegkarte KKL

Das Kernkraftwerk befindet sich nicht in der Mitte des abgeflogenen Gebietes (Landesgrenze). Die Position vom KKL wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 13: Total-Fenster KKL

Durch den N^{16} -Effekt ist der Standort des KKL sehr deutlich erkennbar. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen → hoch, Wald und Flüsse → niedrig)

Beilage 14: MMGC-Ratio modifiziert KKL

Die Karte zeigt die durch die Berücksichtigung des N^{16} -Effektes modifizierten MMGC-Werte. Der Standort des KKL ist klar ersichtlich.

Beilage 15: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 14 (Blick nach Südwest). Der Standort des KKL ist nicht klar ersichtlich. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.3 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 16: Kobalt-Fenster KKL

Dargestellt sind nur Messwerte (Pixel), deren Messfehler weniger als 60% beträgt. Für die Bodenaktivität im Messgebiet ist nicht die Anzahl der eingefärbten Pixel, sondern ihre Farbe massgebend. Der Standort des KKL zeichnet sich schwach ab.

Beilage 17: Cäsium-Fenster KKL

Auch hier wurden nur Werte dargestellt, die einen Fehler von weniger als 60% aufweisen. Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKL ist nicht zu erkennen.

4.5 Karten KKM

Beilage 18: Flugwegkarte KKM

Die Position vom KKM wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 19: MMGC-Ratio KKM

Der Standort des KKM ist im MMGC-Ratio klar ersichtlich.

Beilage 20: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 19 (Blick nach Südwest). Der Standort des KKM zeichnet sich deutlich ab. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.3 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 21: Kobalt-Fenster KKM

Dargestellt sind nur Messwerte (Pixel), deren Messfehler weniger als 60% beträgt. Für die Bodenaktivität im Messgebiet ist nicht die Anzahl der eingefärbten Pixel, sondern ihre Farbe massgebend. Der Standort des KKM zeichnet sich sehr deutlich ab.

Beilage 22: Cäsium-Fenster KKM

Auch hier wurden nur Werte dargestellt, die einen Fehler von weniger als 60% aufweisen. Der Standort des KKM zeichnet sich sehr deutlich ab.

4.6 Fazit

Mit Ausnahme des KKG können sämtliche schweizerischen Kernanlagen mit aeroradiometrischen Messungen anhand ihrer Direktstrahlung nachgewiesen werden. Das Strahlungsfeld beschränkt sich auf die Areale der Kernanlagen. In der Umgebung ist keine erhöhte künstliche Radioaktivität nachweisbar.

Beim Paul Scherrer Institut wird die Direktstrahlung der Lagerstätten für radioaktive Komponenten (PSI-West) resp. Abfälle (PSI-Ost) erfasst. Bei den Siedewasserreaktoren KKM und KKL gelangt im Betrieb durch die Frischdampfleitung das

Aktivierungsprodukt N^{16} ins Maschinenhaus. Da das Dach des Maschinenhauses vergleichsweise wenig abgeschirmt ist, kann die hochenergetische Gammastrahlung des N^{16} aus der Luft sehr gut detektiert werden. Das KKM kann auch im abgestellten Zustand anhand der Direktstrahlung des Komponentenlagers detektiert werden. Das KKL weist wie das KKB eine sehr geringe Gesamtstrahlung auf und ist nur im MMGC-Ratio schwach erkennbar. Das KKG kann aeroradimetrisch überhaupt 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 vier Jahre etwa konstant geblieben.

5 Aeroradiometrie-Kurs

Ereignen sich radiologische Notfälle wie Transport- und Industrieunfälle mit radioaktivem Material, KKW-Störfälle und Satellitenabstürze, so ist der Einsatz des Messsystems unter der Regie der Nationale Alarmzentrale (NAZ) vorgesehen. Die Erfassung der Bodenkontamination dient als Entscheidungsgrundlage für weitere Massnahmen wie Aufenthaltsbeschränkungen für die Bevölkerung oder Einsatz von Spezial- und Bergungsequipen. Im Einsatzfall werden die Messflüge mit Militärhelikoptern durchgeführt. Um das Gerät optimal und in nützlicher Frist einsetzen zu können, werden jährliche Uebungsflüge durchgeführt. Die Schulung erfolgt für Mitarbeiter der HSK, SUeR und NAZ. Dies soll Gewähr bieten, dass im Ernstfall immer eine einsatzfähige Flugequipe zur Verfügung steht.

Von den beteiligten Stellen (HSK, SUeR, NAZ und ETH-Z) wurden in diesem Jahr insgesamt fünf Mitarbeiter (G. Ferreri (SUeR), P. Beuret (SUeR), Chr. Bärlocher (ETH-Z), A. Leupin (HSK) und D. Sartori (NAZ)), für jeweils zwei Tage an den Feldmessungen delegiert. Dabei wurde insbesondere das neue Messsystem vorgestellt. Die Erfahrungen im Kurs haben gezeigt, dass das System von allen Teilnehmern auf Anhieb bedient werden konnte. Ausserdem konnten die Kenntnisse in den Ausbildungsbereichen Logistik und Datenauswertung aufgefrischt werden.

Das Kurssystem "training on the job" hat sich bewährt. Jeder Teilnehmer konnte einen bis zwei Messflüge selbstständig absolvieren. Insgesamt wurden fast 80% der Messgebiete im Rahmen der Schulung befliegen.

6 Literaturverzeichnis

EG&G GEOMETRICS, 1980: Aerial gamma ray and magnetic survey Montrose detail projects Colorado: Final report. EG&G Geometrics, Sunnyvale (California).

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: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1989 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

SCHWARZ, G.F., KLINGELE, E.E., RYBACH, L.: 1990: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1990 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

SCHWARZ, G.F., KLINGELE, E.K., RYBACH, L., 1991: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1991 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

SCHWARZ, G.F., KLINGELE, E.K., RYBACH, L., 1992: Airborne radiometric mapping in Switzerland. Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geophysik Nr.25, Schweizerische Geophysikalische Kommission.

7 Beilagen

- Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI
- Beilage 2: Total-Fenster KKB/PSI
- Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI
- Beilage 4: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI
- Beilage 5: Kobalt-Fenster KKB/PSI
- Beilage 6: Cäsium-Fenster KKB/PSI
- Beilage 7: Flugwegkarte KKG
- Beilage 8: MMGC-Ratio KKG
- Beilage 9: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG
- Beilage 10: Kobalt-Fenster KKG
- Beilage 11: Cäsium-Fenster KKG
- Beilage 12: Flugwegkarte KKL
- Beilage 13: Total-Fenster KKL
- Beilage 14: MMGC-Ratio modifiziert KKL
- Beilage 15: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL
- Beilage 16: Kobalt-Fenster KKL
- Beilage 17: Cäsium-Fenster KKL
- Beilage 18: Flugwegkarte KKM
- Beilage 19: MMGC-Ratio KKM
- Beilage 20: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM
- Beilage 21: Kobalt-Fenster KKM
- Beilage 22: Cäsium-Fenster KKM

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKB/PSI

Survey

KKB92

Channel

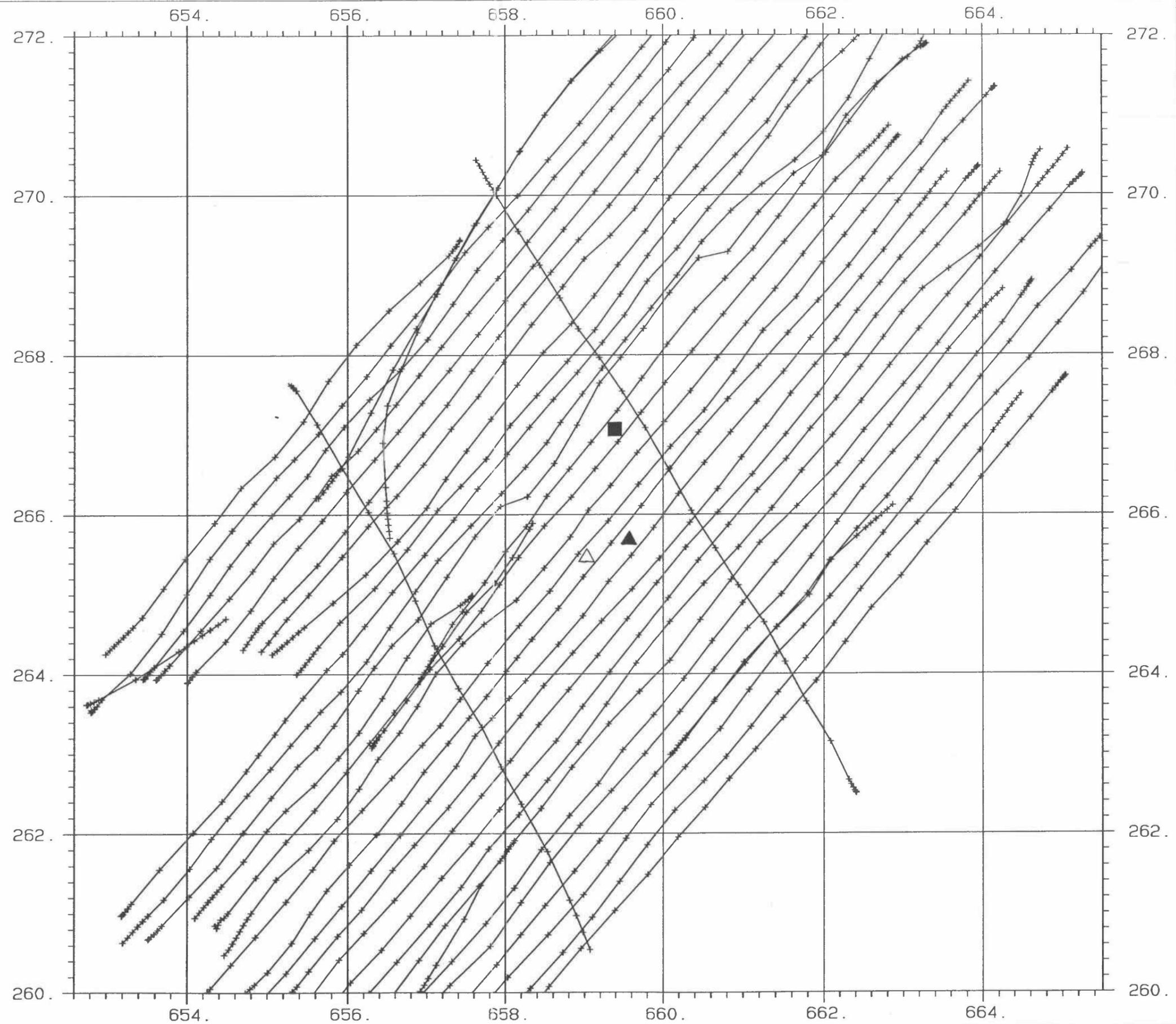
F. Path

Scale

50000.

Path Len

430.



Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKB/PSI

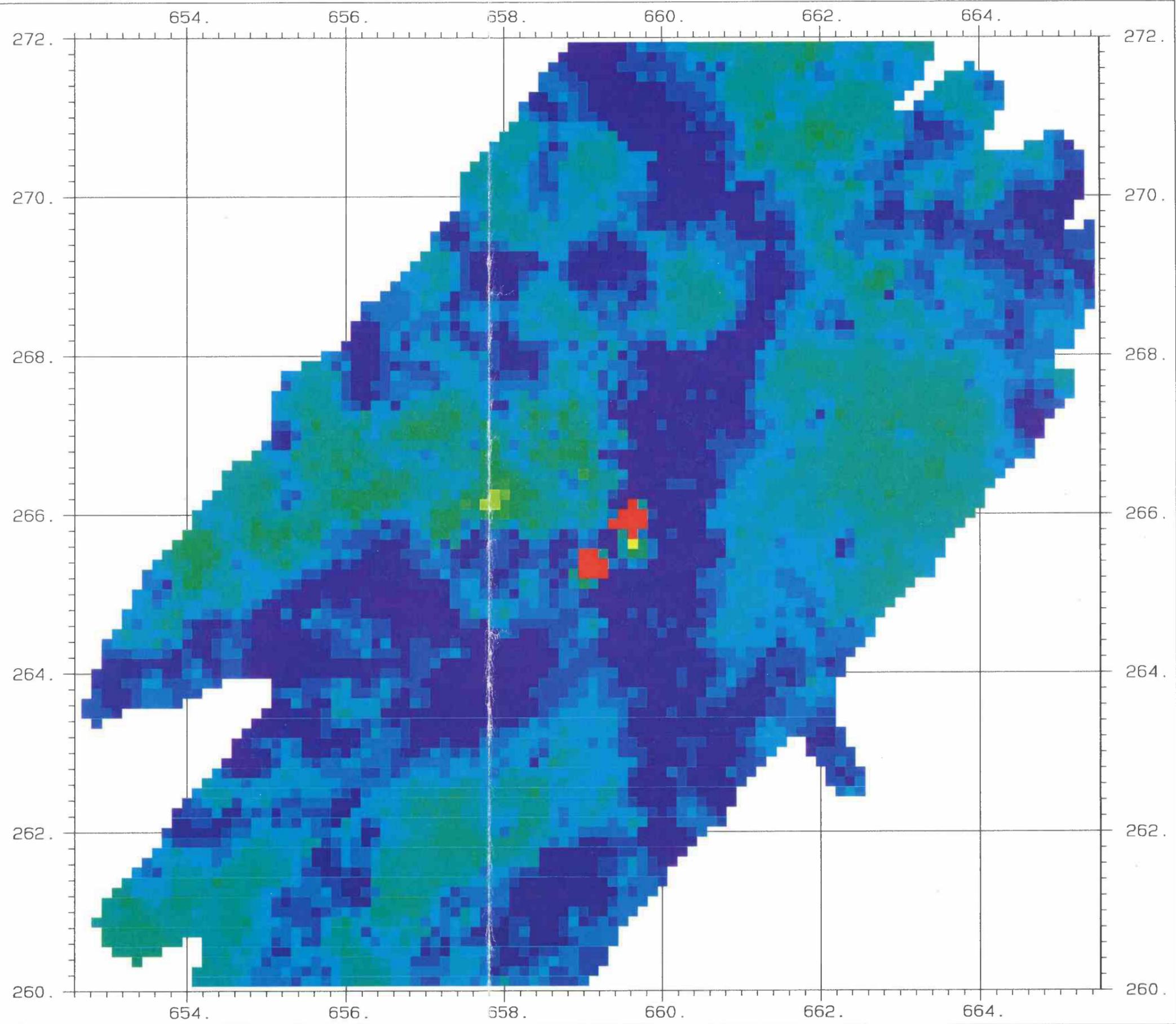
Survey	KKB92
Channel	Total
Sam Int	125.
Area	107.
Scale	50000.

Parameter

Average	546.3
Std Dev	168.8
Minimum	44.3
Maximum	5744.0

Legend

	Minimum	Maximum
	44.3	500.0
	500.0	700.0
	700.0	900.0
	900.0	1100.0
	1100.0	5744.0



Beilage 2: Total-Fenster KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
 ETH-Zuerich
 Hoenggerberg
 8093-Zuerich

KKB/PSI

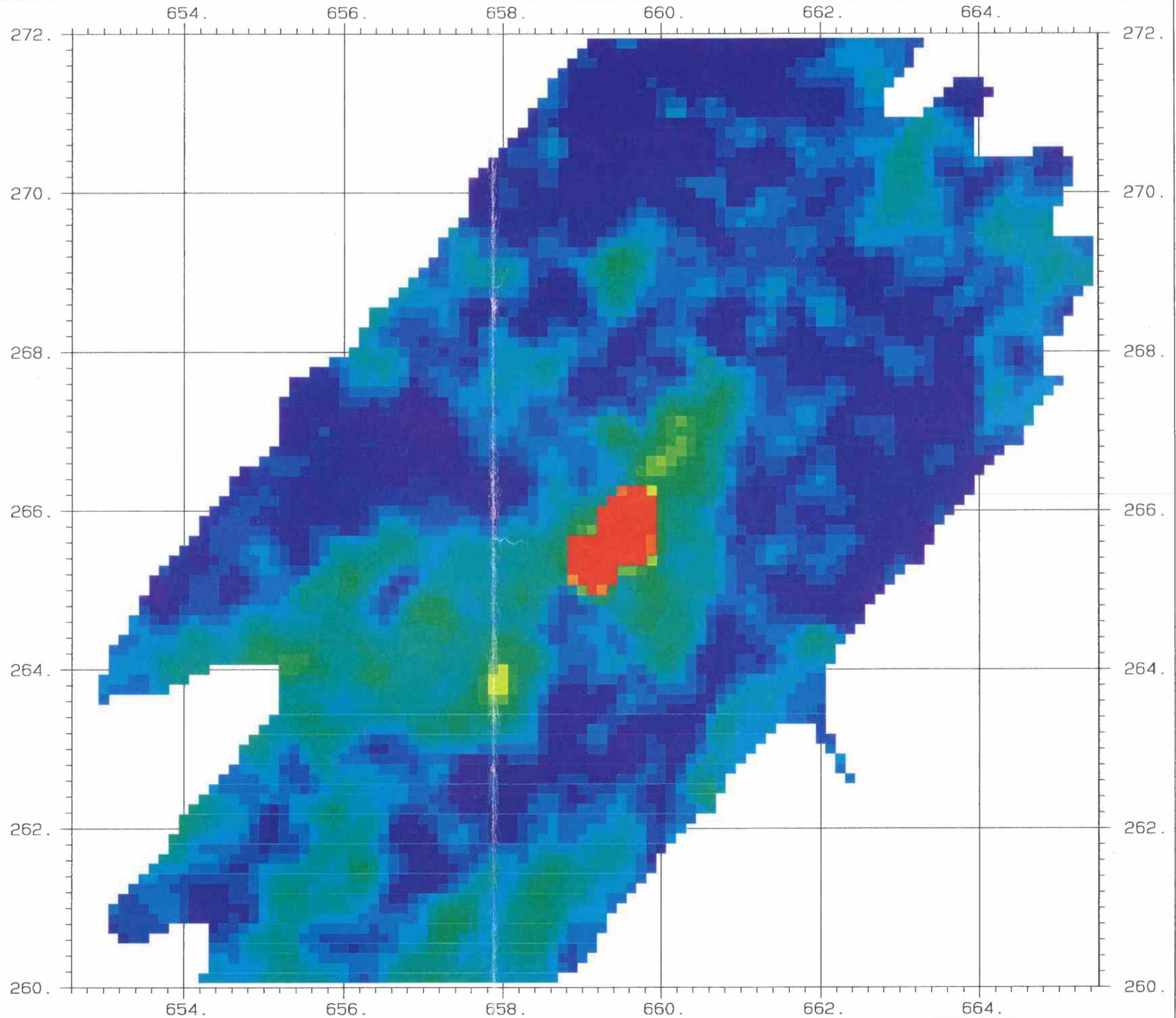
Survey	KKB92
Channel	MMGC-Rati
Sam Int	125.
Area	98.
Scale	50000.

Parameter

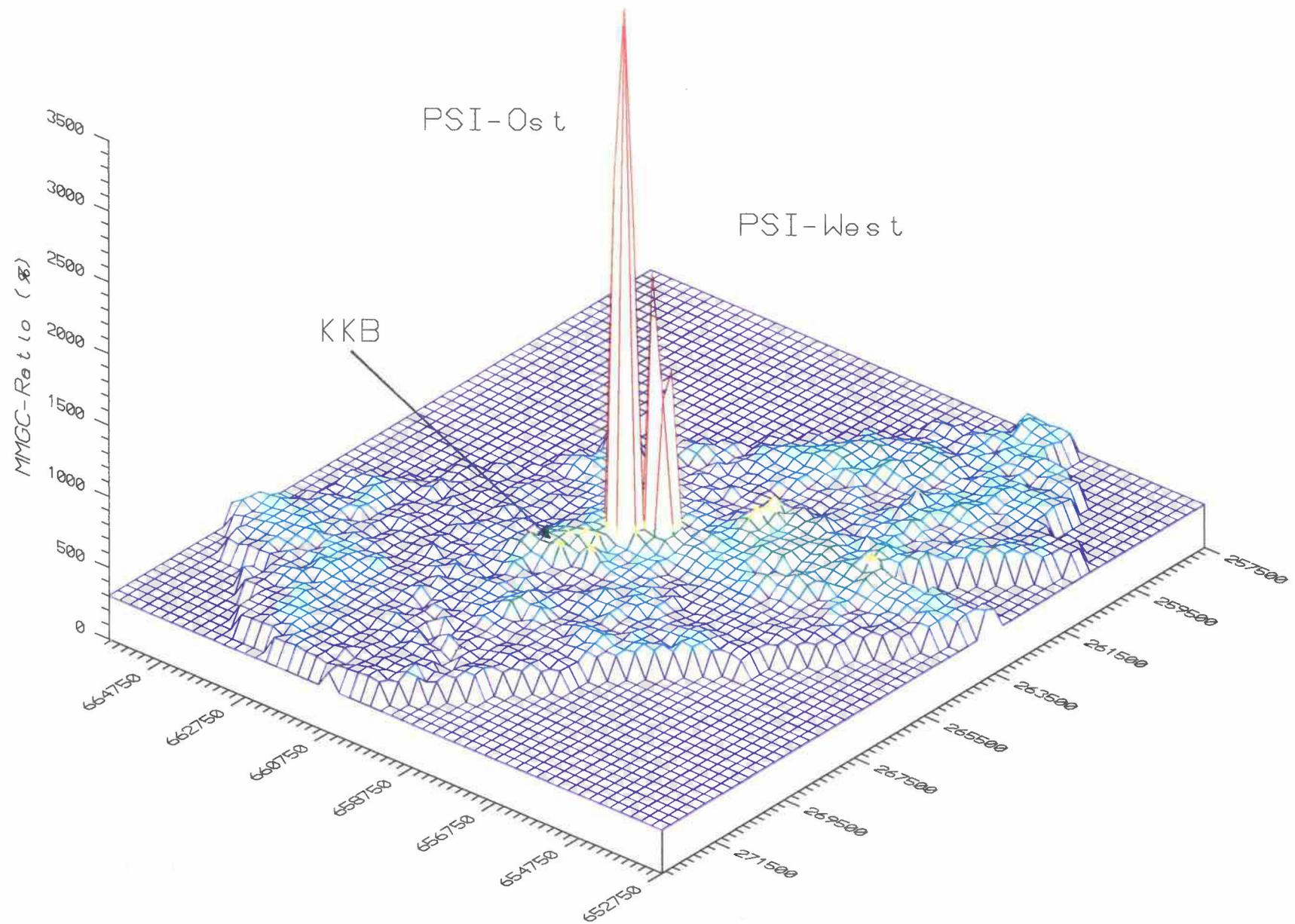
Average	465.0
Std Dev	102.5
Minimum	346.6
Maximum	3001.9

Legend

	Minimum	Maximum
	346.6	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	3001.9



Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI



Beilage 4: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKB/PSI

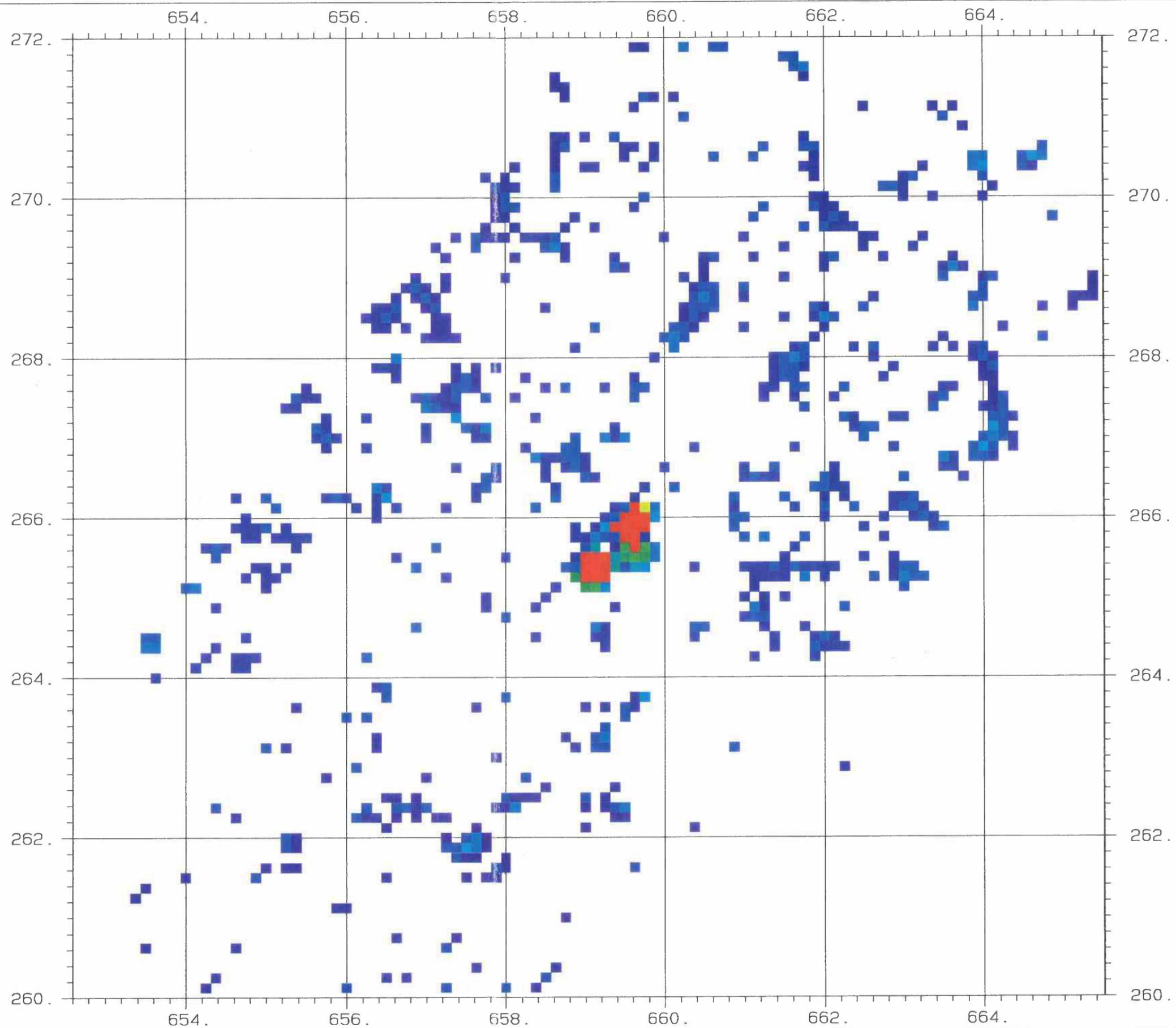
Survey	KKB92
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Area	13.
Scale	50000.

Parameter

Average	25.7
Std Dev	74.5
Minimum	12.2
Maximum	1150.3

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	1150.3



Beilage 5: Kobalt-Fenster KKB/PSI

SGPK
I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKB/PSI

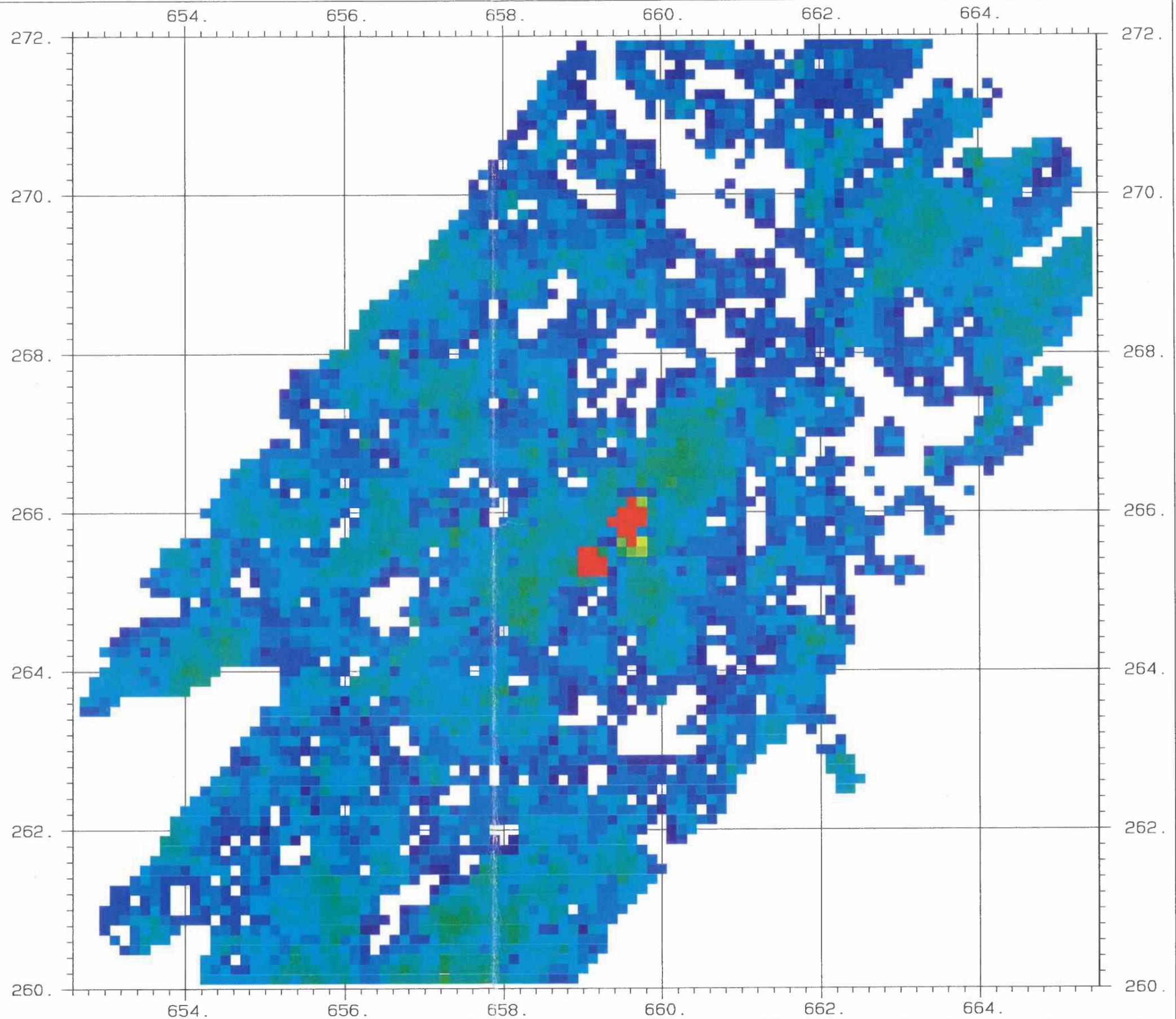
Survey	KKB92
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Area	86.
Scale	50000.

Parameter

Average	25.9
Std Dev	17.9
Minimum	13.6
Maximum	739.8

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	739.8



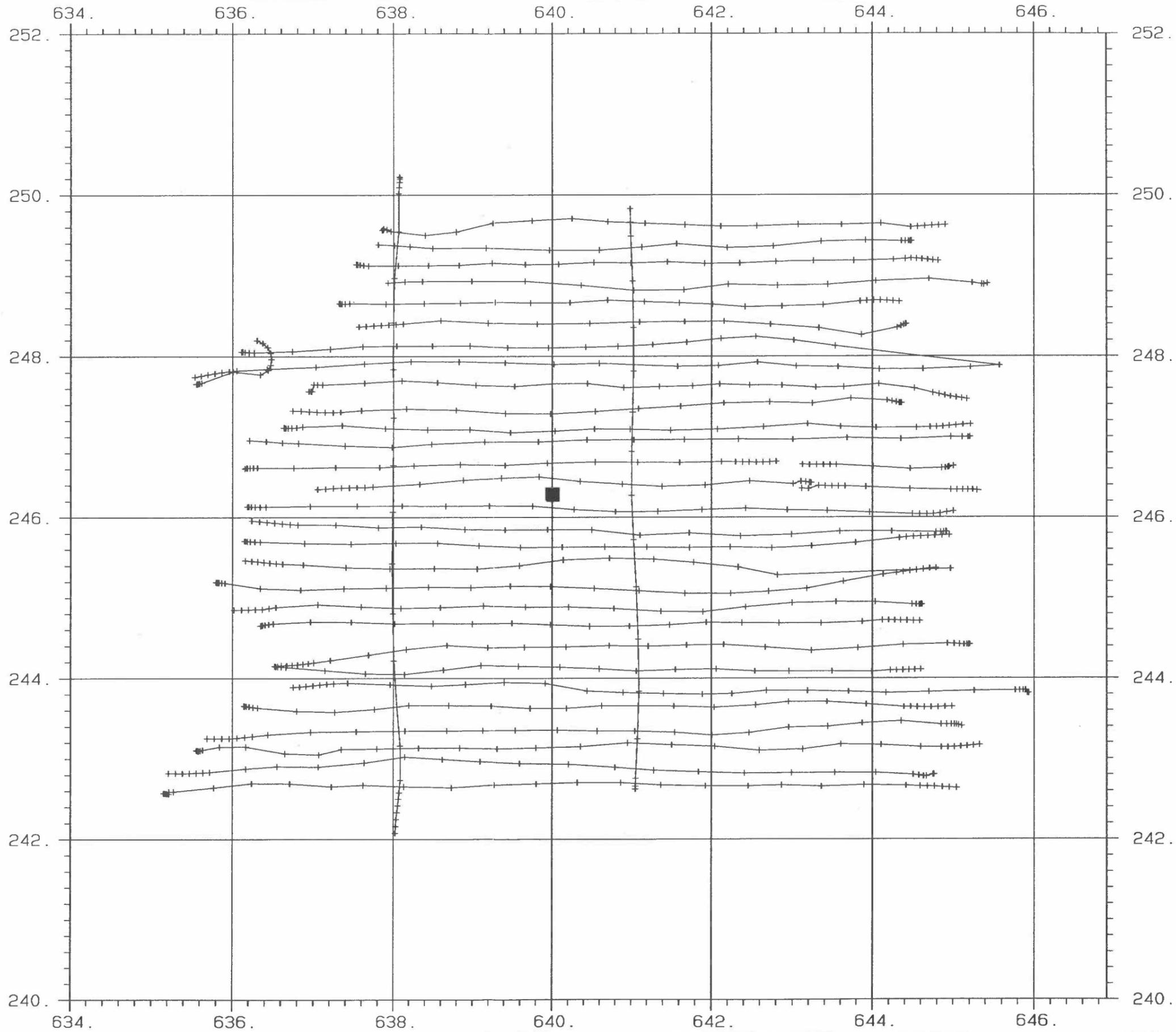
Beilage 6: Cäsium-Fenster KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKG

Survey	KKG92
Channel	F. Path
Scale	50000.
Path Len	264.



Beilage 7: Flugwegkarte KKG

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKG

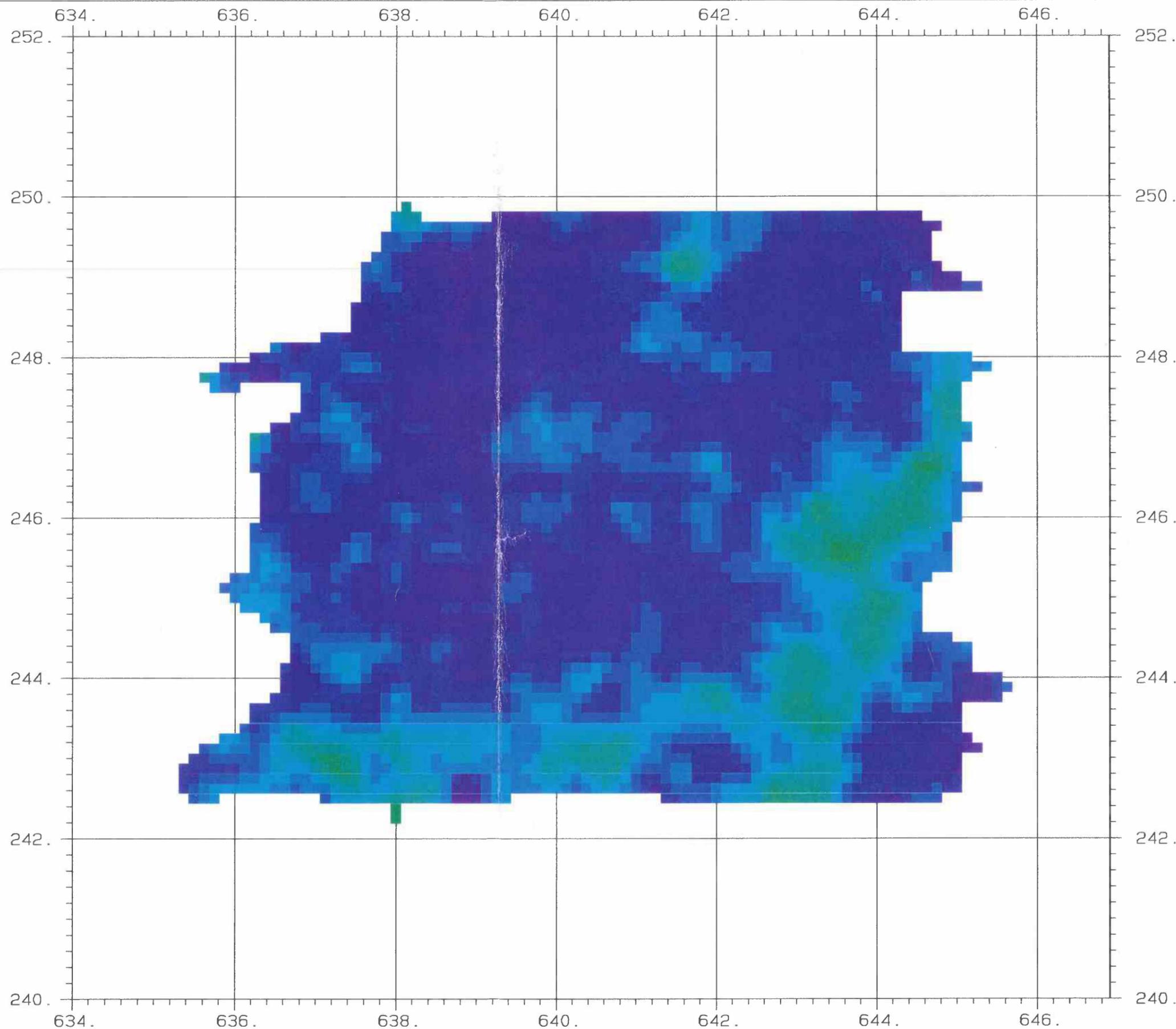
Survey	KKG92
Channel	MMGC-Rati
Sam Int	125.
Area	62.
Scale	50000.

Parameter

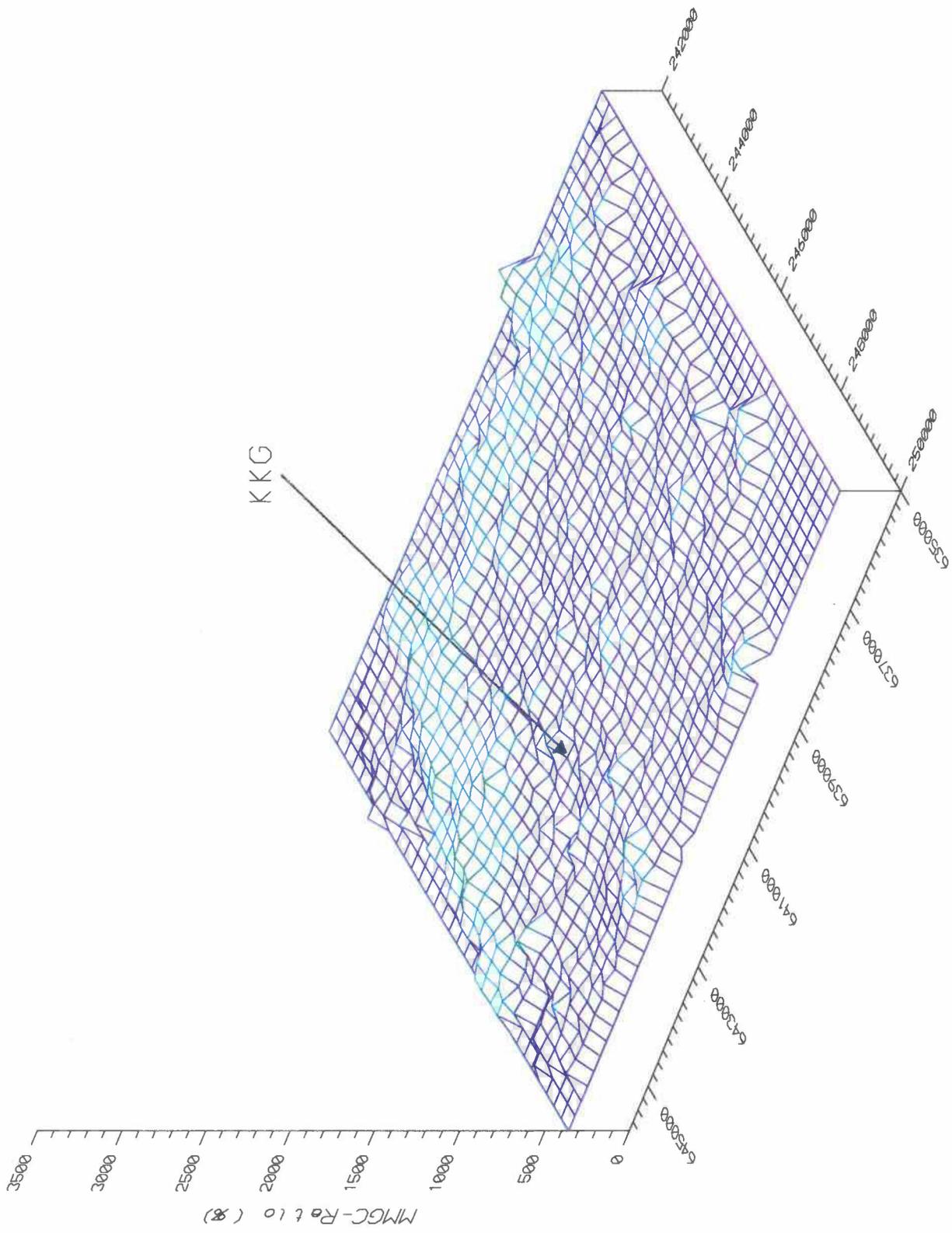
Average	441.3
Std Dev	23.5
Minimum	384.3
Maximum	524.3

Legend

	Minimum	Maximum
	384.3	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	650.0



Beilage 8: MMGC-Ratio KKG



Beilage 9: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKG

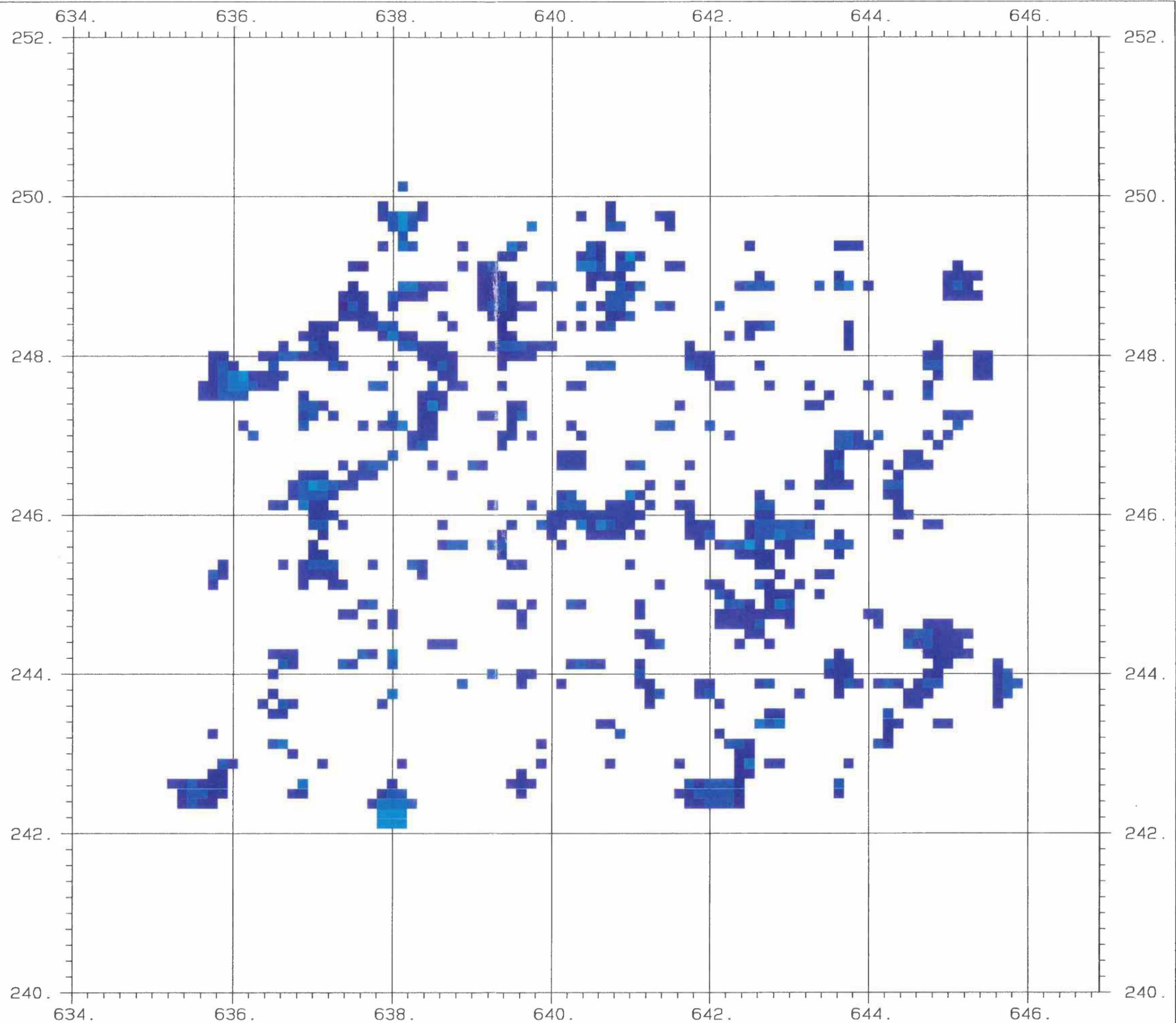
Survey	KKG92
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Area	13.
Scale	50000.

Parameter

Average	15.4
Std Dev	2.4
Minimum	11.4
Maximum	26.9

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	100.0



Beilage 10: Kobalt-Fenster KKG

SG
PK
I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKG

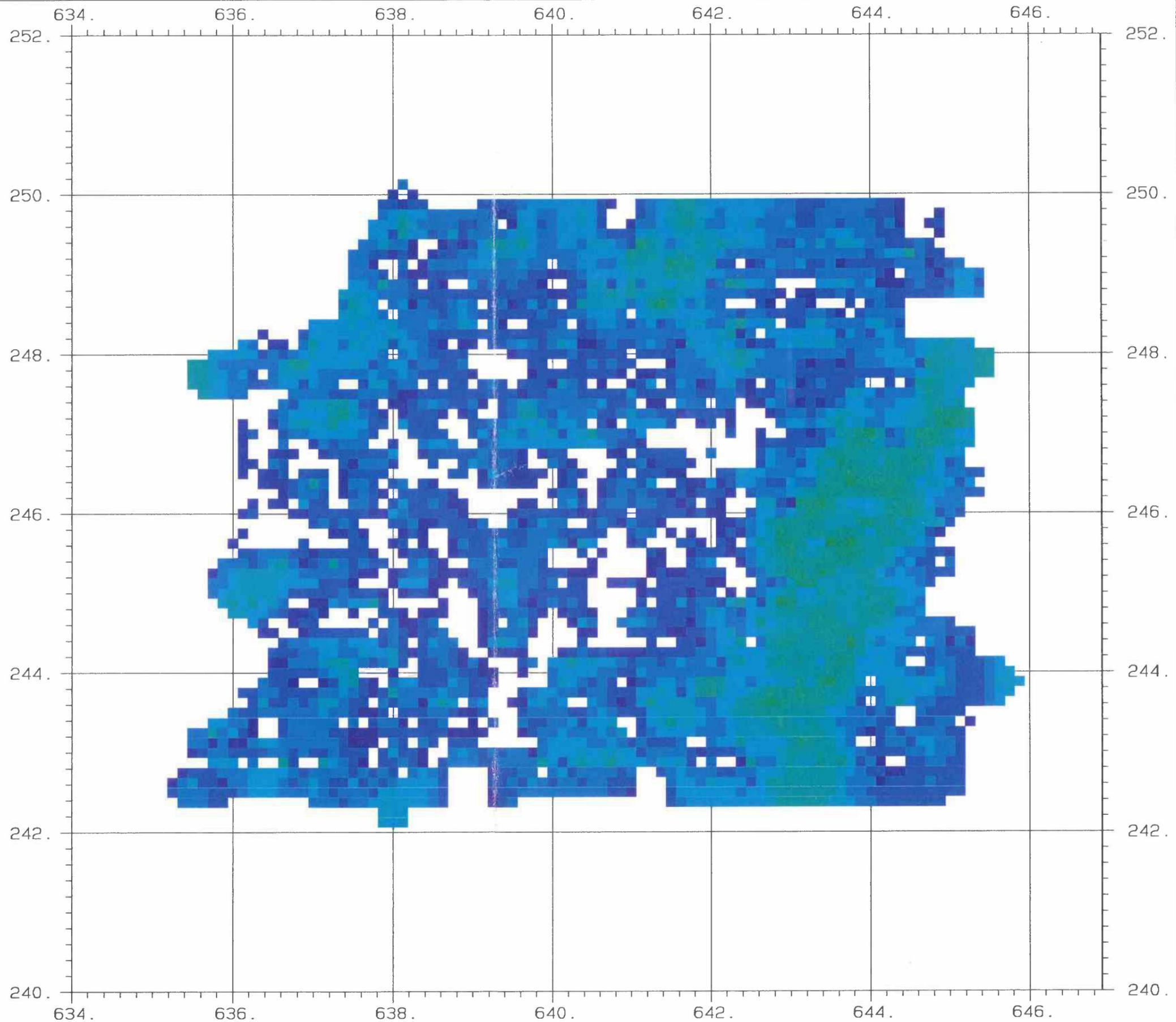
Survey	KKG92
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Area	58.
Scale	50000.

Parameter

Average	23.3
Std Dev	6.5
Minimum	12.7
Maximum	47.8

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	100.0



Beilage 11: Cäsium-Fenster KKG

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL

Survey

KKL92

Channel

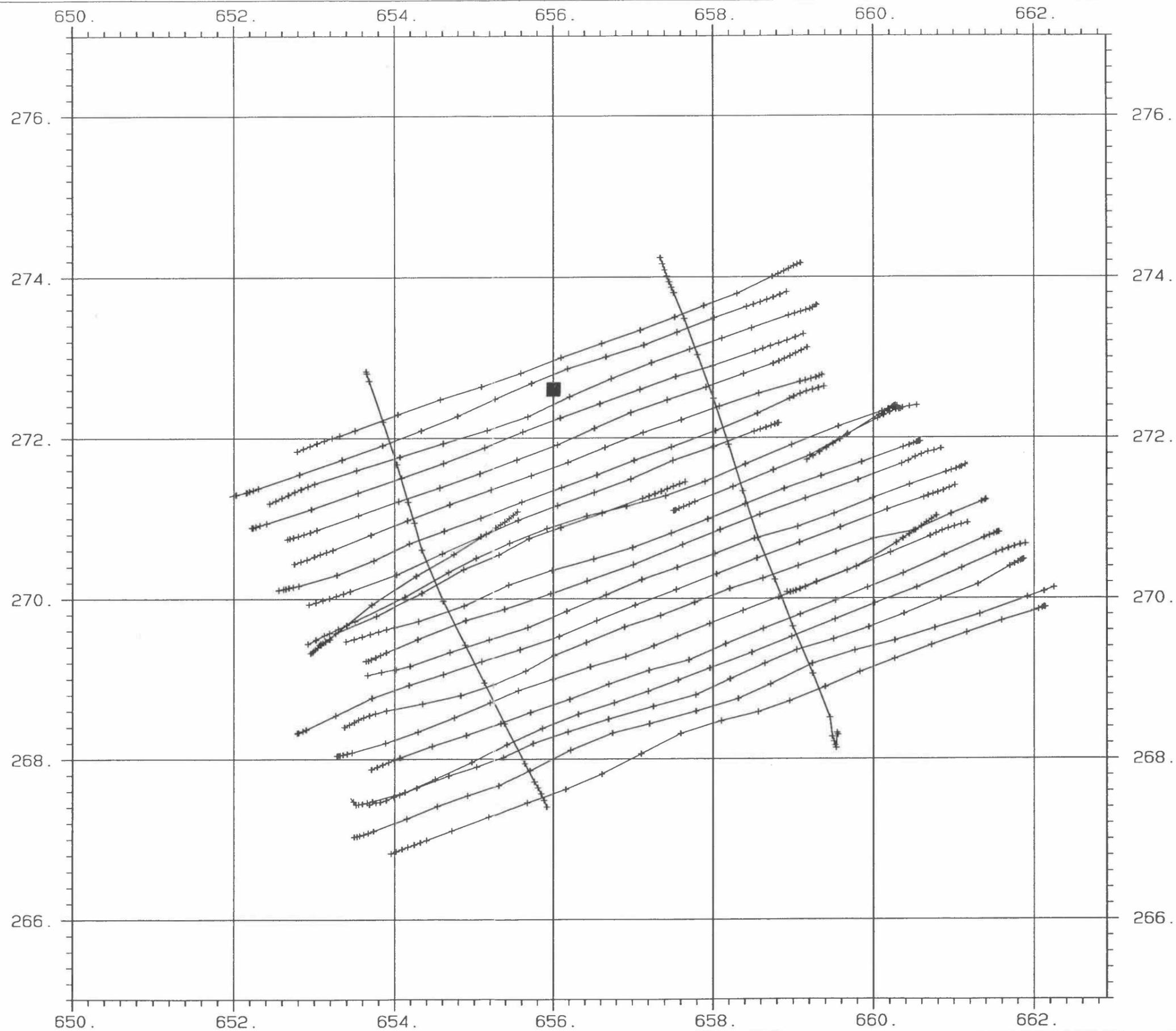
F. Path

Scale

50000.

Path Len

185.



Beilage 12: Flugwegkarte KKL

SGPK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL

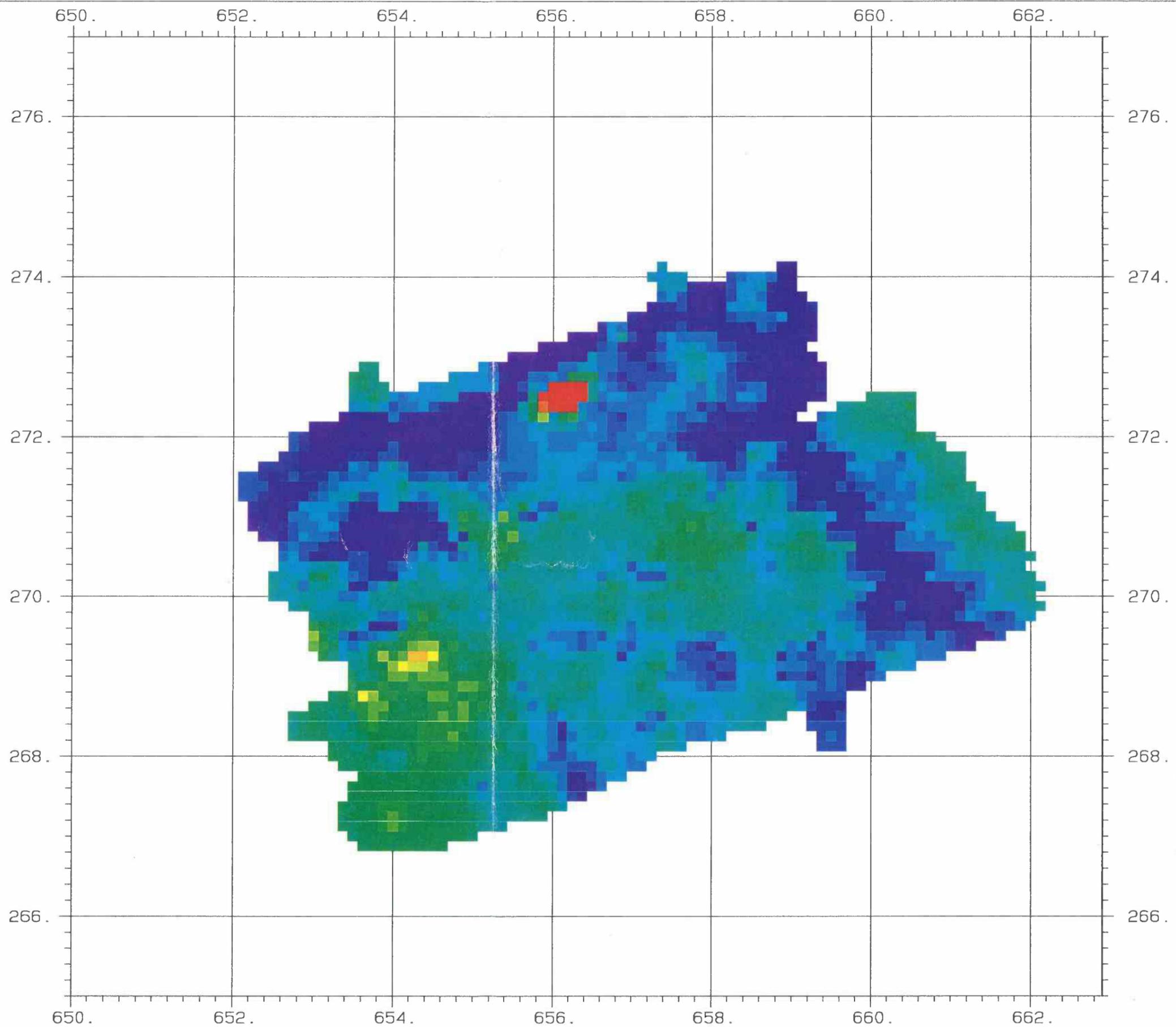
Survey	KKL92
Channel	Total
Sam Int	125.
Area	45.
Scale	50000.

Parameter

Average	584.9
Std Dev	200.5
Minimum	86.6
Maximum	3751.6

Legend

	Minimum	Maximum
	86.6	500.0
	500.0	700.0
	700.0	900.0
	900.0	1100.0
	1100.0	3751.6



Beilage 13: Total-Fester KKL

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL

Survey KKL92

Channel MMGC-Mod

Sam Int 125.

Area 40.

Scale 50000.

Parameter

Average 452.6

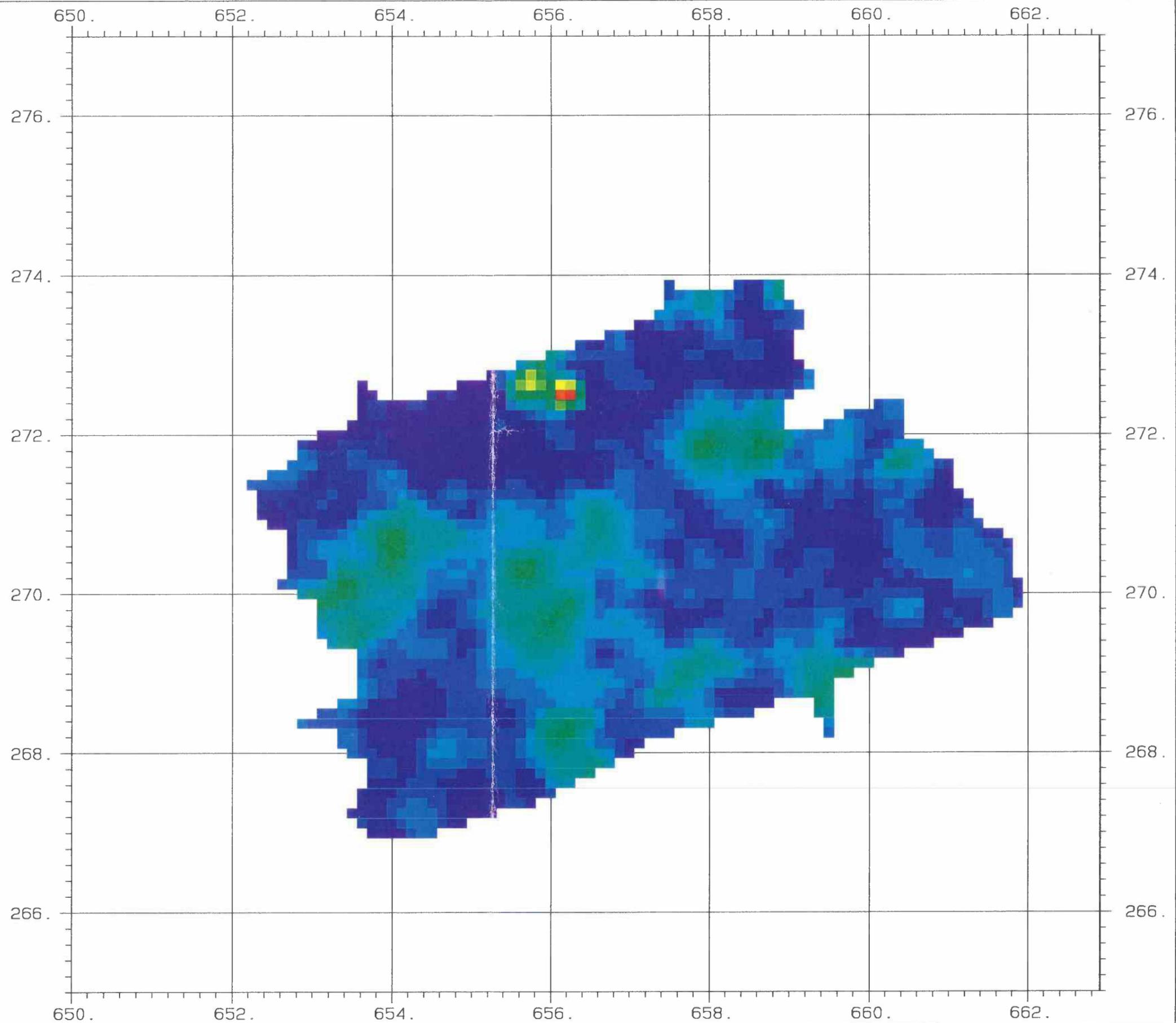
Std Dev 24.9

Minimum 378.2

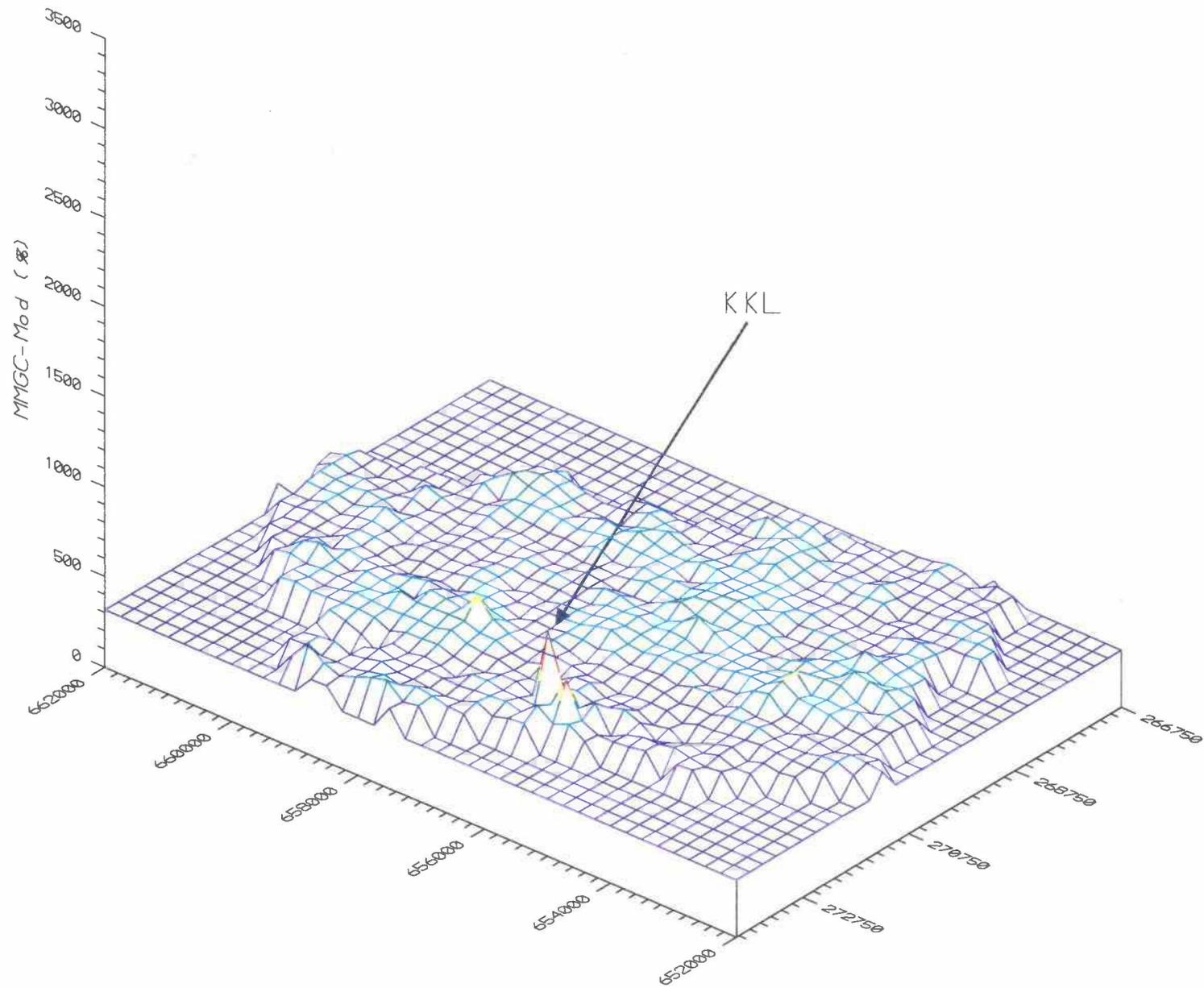
Maximum 629.9

Legend

	Minimum	Maximum
	378.2	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	650.0



Beilage 14: MMGC-Ratio modifiziert KKL

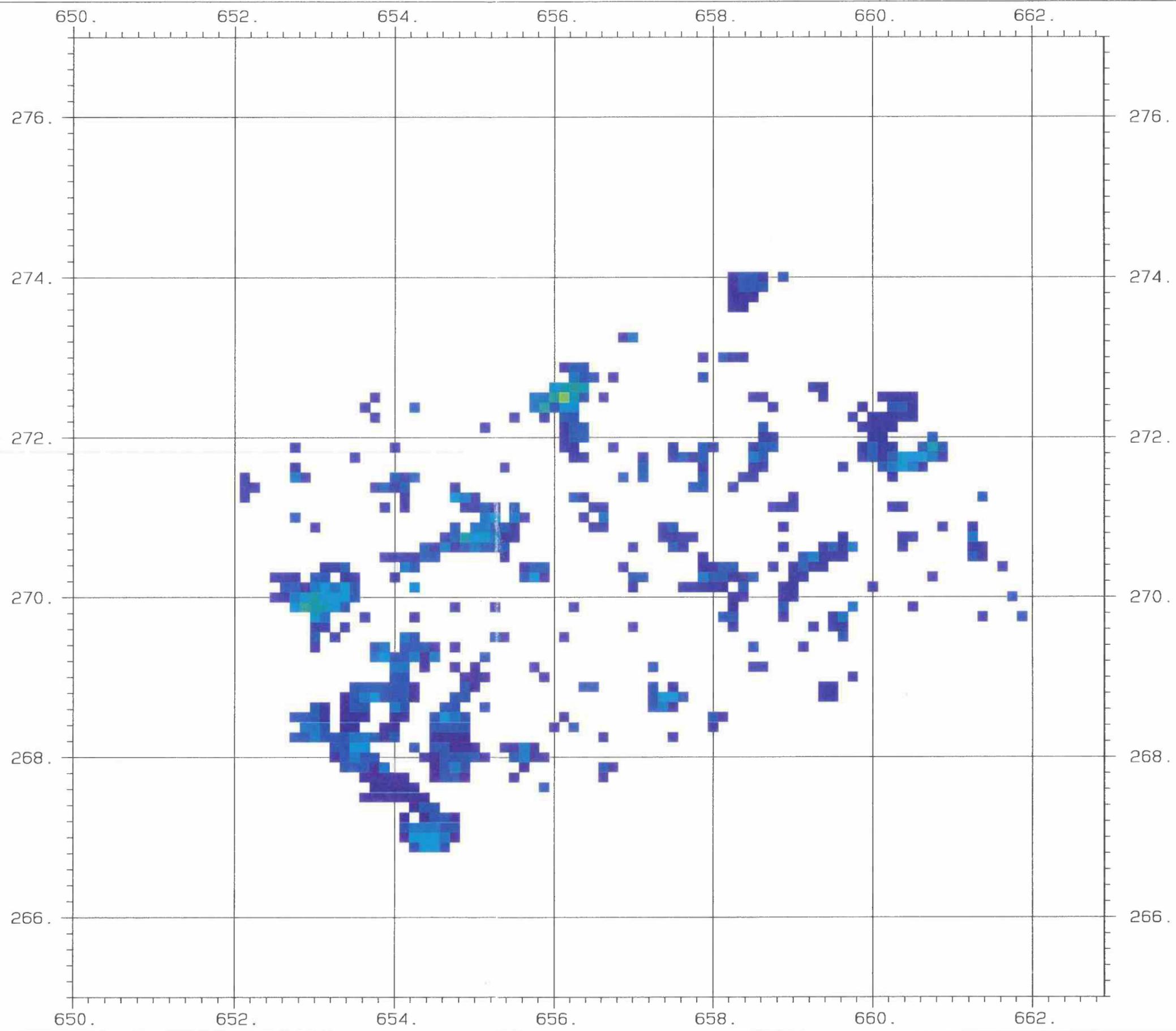


Beilage 15: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL	
Survey	KKL92
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Area	9.
Scale	50000.
Parameter	
Average	17.4
Std Dev	4.9
Minimum	12.4
Maximum	62.4

Legend		
	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	100.0



Beilage 16: Kobalt-Fenster KKL

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL

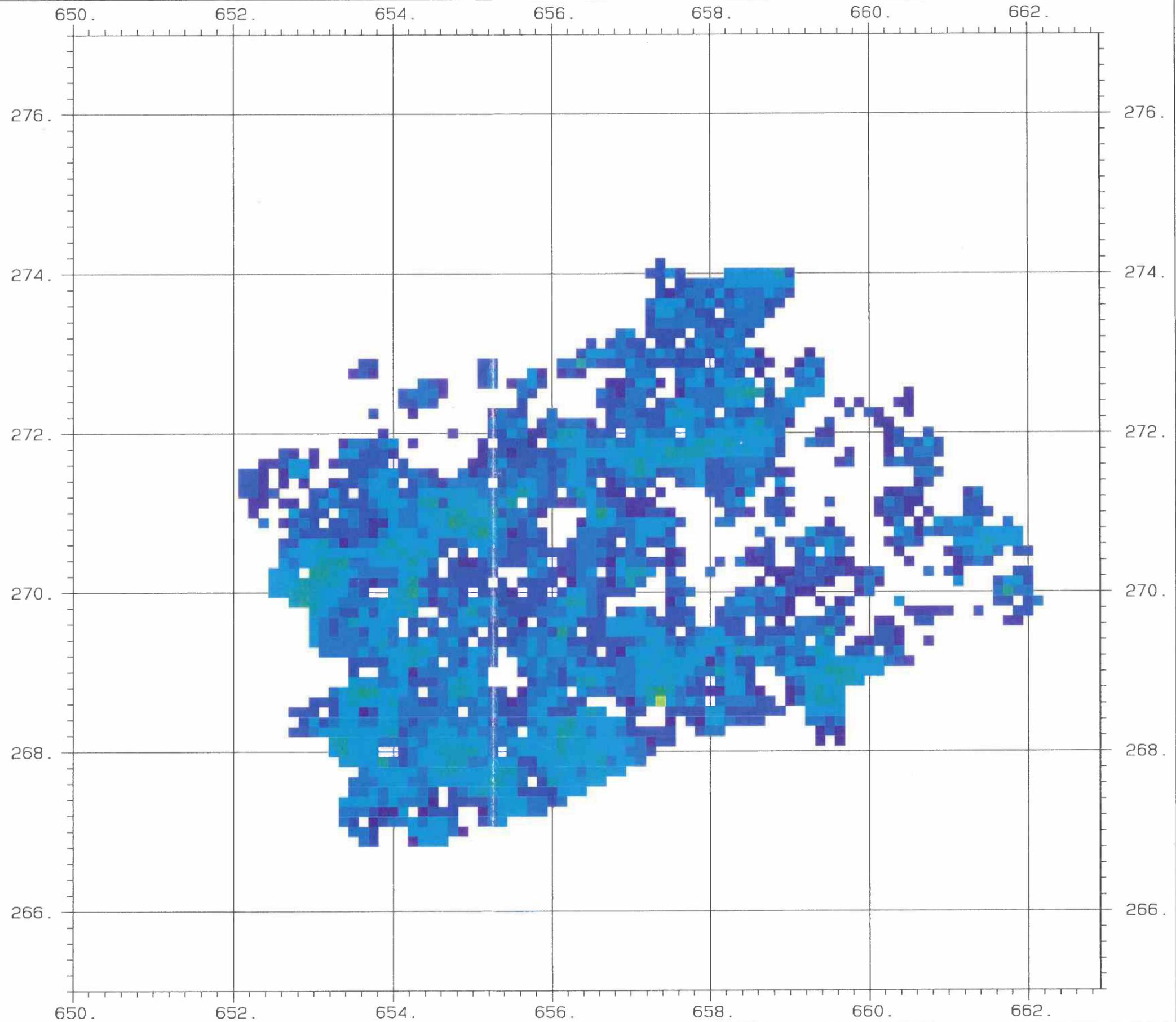
Survey	KKL92
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Area	33.
Scale	50000.

Parameter

Average	22.6
Std Dev	5.7
Minimum	13.6
Maximum	65.5

Legend

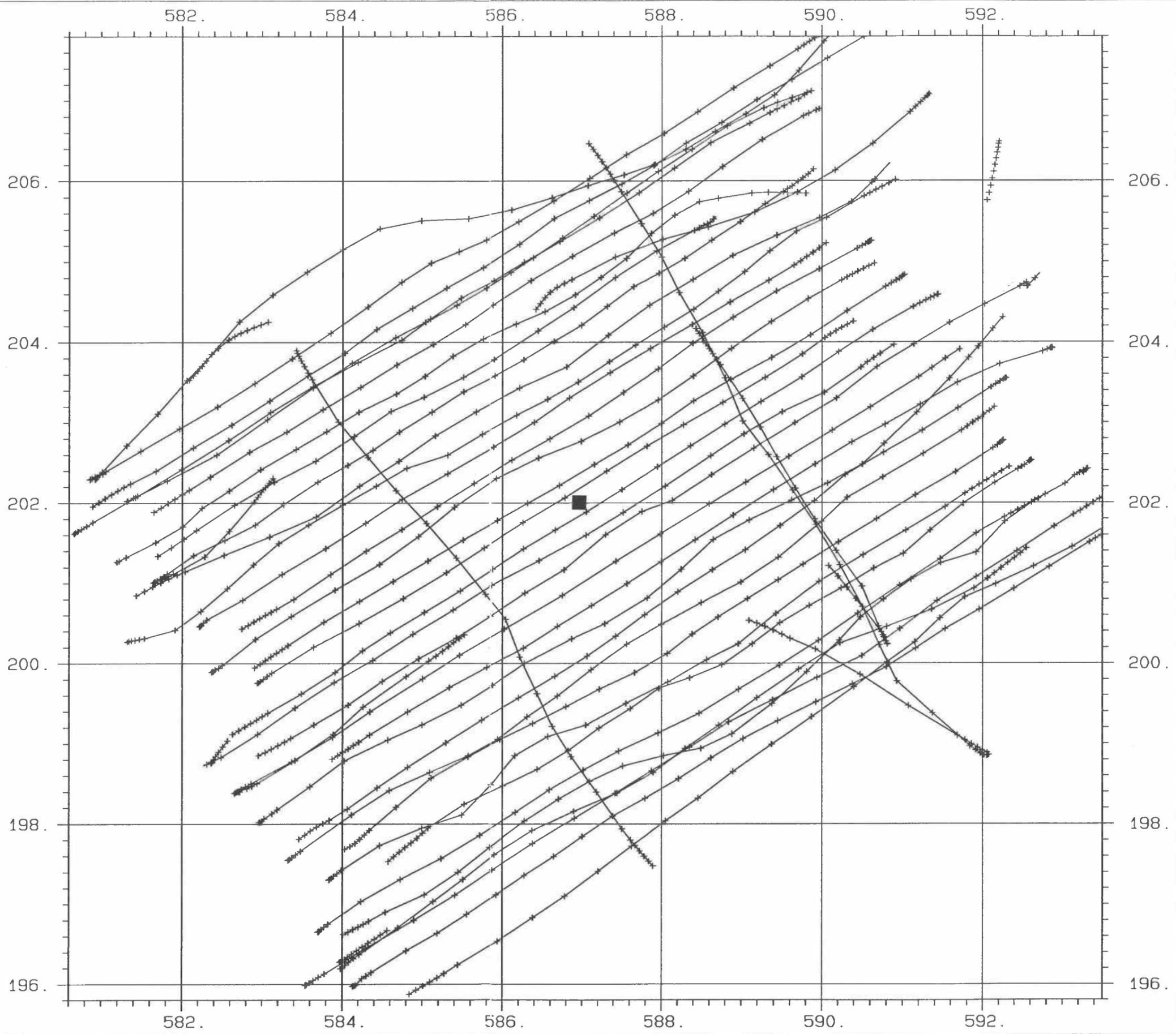
	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	100.0



Beilage 17: Cäsium-Fenster KKL

SGPK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM
Survey KKM92
Channel F. Path
Scale 50000.
Path Len 382.



Beilage 18: Flugwegkarte KKM

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM

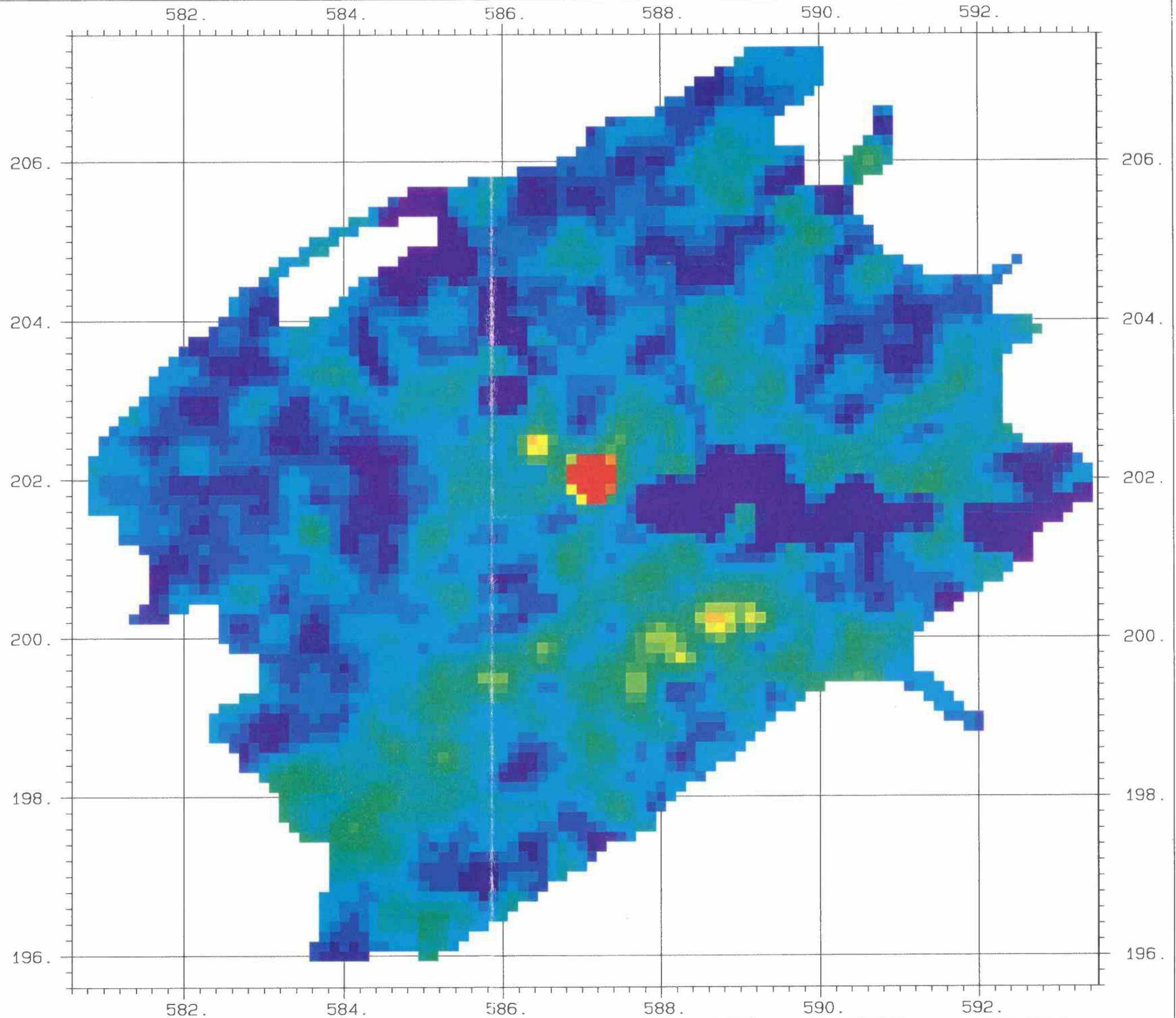
Survey	KKM92
Channel	MMGC-Rati
Sam Int	125.
Area	82.
Scale	50000.

Parameter

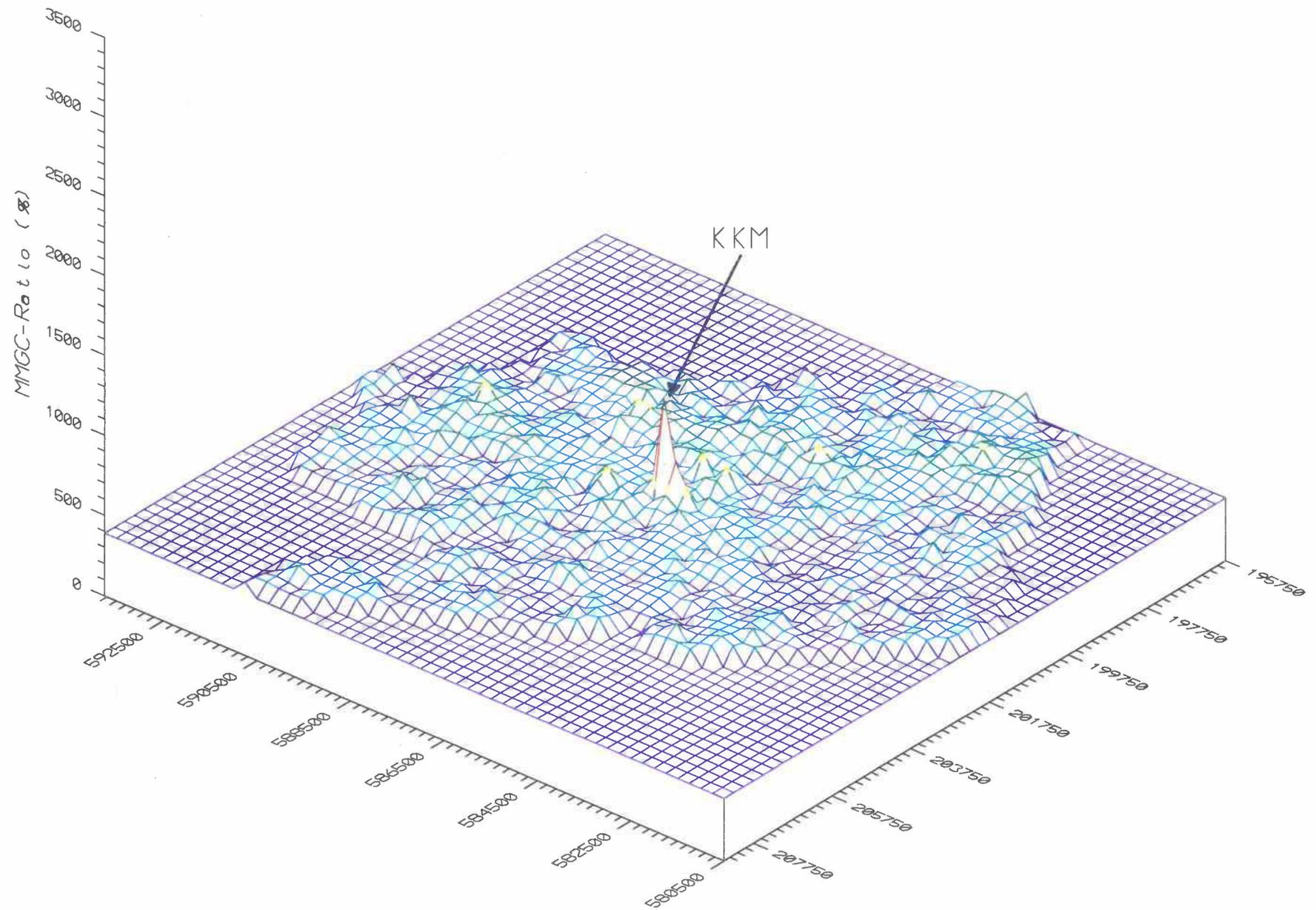
Average	464.3
Std Dev	46.2
Minimum	171.3
Maximum	1024.2

Legend

	Minimum	Maximum
	171.3	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	1024.2



Beilage 19: MMGC-Ratio KKM



Beilage 20: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM

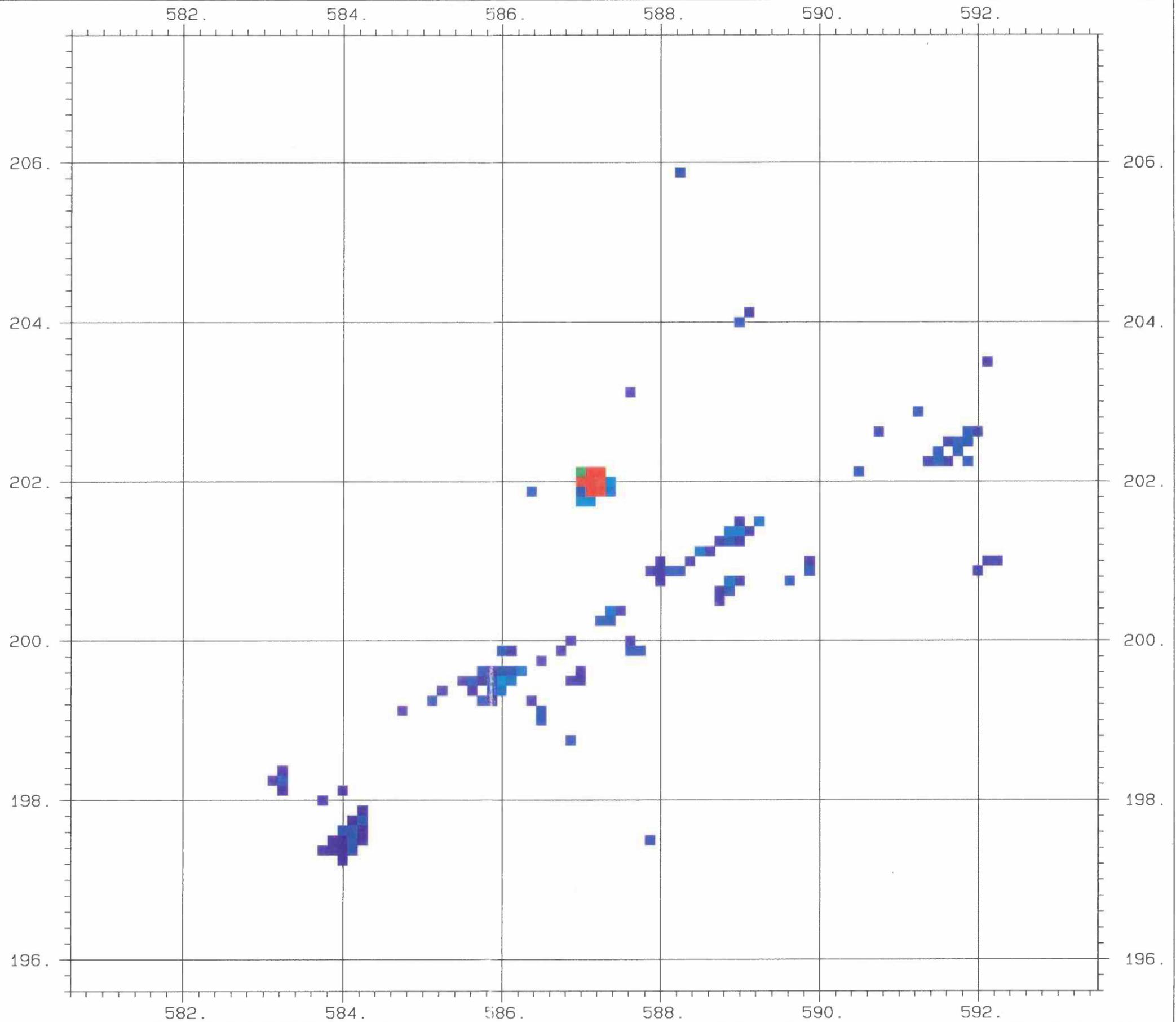
Survey	KKM92
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Area	2.
Scale	50000.

Parameter

Average	23.5
Std Dev	30.1
Minimum	13.4
Maximum	275.2

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	275.2



Beilage 21: Kobalt-Fenster KKM

SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM

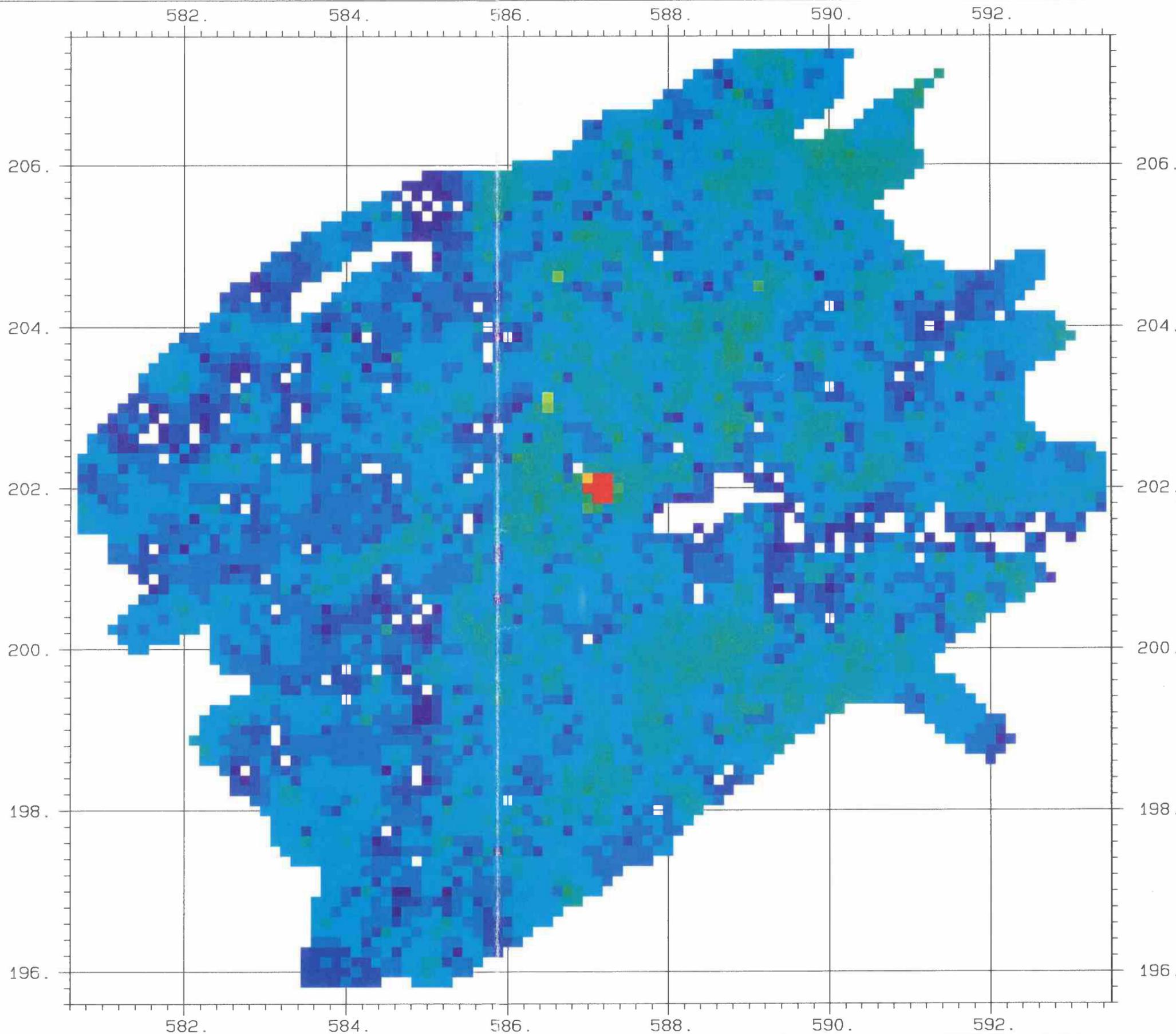
Survey	KKM92
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Area	88.
Scale	50000.

Parameter

Average	27.0
Std Dev	7.5
Minimum	13.1
Maximum	260.4

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	260.4



Beilage 22: Cäsium-Fenster KKM