



**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 1991 zuhanden der Hauptabteilung
für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)**

Dezember 1991

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	KALIBRATION/REPRODUZIERBARKEIT	4
	2.1 Kalibration	4
	2.2 Reproduzierbarkeit	8
3	POSITIONIERUNG	10
	3.1 Einleitung	10
	3.2 Gerät/Einbau	12
	3.3 Auswertung	14
	3.4 Vergleich der GPS-Messungen mit den Daten der wegkamera	18
	3.5 Ausblick	22
4	MESSERGEBNISSE	23
	4.1 Einleitung	23
	4.2 Karten KKB/PSI	26
	4.3 Karten KKG	27
	4.4 Karten KKL	28
	4.5 Karten KKM	29
5	AERORADIOMETRIE-KURS	31
6	GERAETE-ERNEUERUNG	32
	6.1 Einleitung	32
	6.2 Vorteile des neuen Messsystems	33
	6.3 Gerätedesign	34
	6.4 Vorgehen	36
7	LITERATURVERZEICHNIS	37
8	BEILAGEN	38

1 EINLEITUNG

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, vergl. Tabelle 1.1) der schweizerischen Kernkraftwerke und des Paul Scherrer-Instituts aerogammaspektrometrisch 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 aerogammaspektrometrischen Aufnahmen laufend weiterentwickelt.

Tabelle 1.1: 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]
Mühleberg	250	50	60/240	100	25	1
Leibstadt	250	35	70/250	100	25	1
Beznau/PSI	250	55	40/220	100	25	1
Gösgen	250	50	90/270	100	25	1

Der vorliegende Bericht fasst die Messresultate des Jahres 1991 zusammen. Die diesjährigen Messungen erfolgten entlang der selben Flugwege wie 1990 (Schwarz et al., 1990) und wurden wiederum mit einem Ecureuil-Helikopter der Firma Heliswiss AG (Belp/BE) in der Zeit vom 16.7.91 bis zum 31.7.91 durchgeführt. Die genauen Flugdaten sind in Tabelle 1.2 zusammengestellt. Für die Vermessung der insgesamt 875 km Messstrecke und der Kalibrationsflüge wurden insgesamt 1299 Flugminuten benötigt.

Die beiden Siedewasser-Reaktoren KKL und KKM waren zum erstmals seit Beginn 1989 während der Messflüge in Betrieb. Die hochenergetische Gammastrahlung des Aktivierungsproduktes N¹⁶ konnte aus der Luft sehr gut detektiert werden. Durch Streuung wirkt sich die Stickstoffstrahlung im ganzen Spektrum aus. Dadurch wird

Tabelle 1.2: Zusammenstellung der Flugdaten 1991

Mess- gebiet	Betriebs- zustand	Flug- nummer	Flug- linien	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flug- strecke [km]
Mühleberg	in Betrieb	9103	9-21	18.7.91	9300	225
		9104	1-8/22-29	18.7.91		
Leibstadt	in Betrieb	9108	1-9	22.7.91	6300	150
		9111	10-21	24.7.91		
Beznau/PSI	KKB1 in KKB2 ausser Betrieb	9112	1-10	25.7.91	11600	300
		9116	11-17	27.7.91		
		9117	18-21	27.7.91		
		9118	22-24	31.7.91		
		9119	25-29	31.7.91		
Gösgen	in Betrieb	9106	15-29	19.7.91	8600	200
		9107	6-14	22.7.91		
		9108	1-5	22.7.91		
Eich- flüge	-	9101	Steigflug	16.7.91	2000	-
	-	9131	Magadino	7.8.91		

vor allem der MMGC-Ratio ("Man Made Gross Count-Ratio"; Schwarz et al., 1990) beeinflusst. Um die neuen MMGC-Ratio-Karten der Standorte KKL und KKM mit den Karten der früheren Jahren vergleichen zu können, wird ein modifizierter MMGC-Ratio eingeführt, der den zusätzlichen Hochenergie-Anteil berücksichtigt.

Zusätzliche Flugaufnahmen, kombiniert mit in-situ-gammaspektrometrischen Bodenmessungen in der Magadino-Ebene/TI erlaubten die Verbesserung der Eichgeraden für die Umrechnung der Aerogammaspektrometrie-Messwerte (cps) in nuklidspezifische Bodenaktivität (Bq/kg). Ausserdem wurde eine erste Abschätzung der Reproduzierbarkeit aeroradiometrischer Messungen durchgeführt.

Erstmals wurde routinemässig das satellitengestützte Positionierungssystem GPS ("Global Positioning System") zur Positionsbestimmung eingesetzt. Obwohl das GPS-System noch im Aufbau begriffen ist, konnten bis zu 90% der Fluglinien mit GPS lokalisiert werden, sodass 1992 der operationelle Einsatz des GPS-Systems gewährleistet sein sollte. Die Abweichungen von GPS- und mit der Flugwegkamera bestimmten Positionen sind im allgemeinen kleiner als 30 m (maximal 100 m). Der Grund für die Abweichungen ist vor allem bei der klassischen Methode mit der

Flugwegkamera zu suchen. Besonders über Wald lassen sich auf den Flugphotos keine markanten Punkte identifizieren die eine Positionierung erlauben würden. Deshalb können Abweichungen von der vorgegebenen Flugroute nicht erkannt werden. Bereits in der jetzigen Testphase sind die mit GPS erfassten Positionen deutlich genauer als die mit der Flugwegkamera bestimmten Positionen. Im Rahmen der Diplomarbeit von Phillipp Schlatter am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ wird die Auswertemethode verbessert. Insbesondere sollen verschiedene Methoden geprüft werden die eine Erhöhung der Genauigkeit bzw. die Interpolation fehlender Positionen erlauben.

Die aeroradiometrische Schulung wurde in modifizierter Form durchgeführt. Statt eines eigentlichen Schulungskurses wurden jeweils ein bis zwei MitarbeiterInnen (insgesamt 7) der HSK, SUeR, SNAZ und ETH-Z für jeweils zwei Tage an den Feldmessungen beteiligt. Besonderes Gewicht wurde auf das Navigieren gelegt. Ausserdem wurden die Kenntnisse in den Ausbildungsbereichen Gerätebedienung, Kalibration, Logistik und Datenauswertung aufgefrischt.

Um die Einsatzbereitschaft des Aerogammaspektrometriesystems bei radiologischen Notfällen auch in Zukunft sicherzustellen, haben die beteiligten Stellen (HSK, SNAZ, SUeR, KUeR, KOMAC und SGPK) am 12. September 1991 beschlossen, das Messsystem grundlegend zu erneuern. Die Hauptvorteile des neuen Messsystems sind neben dem geringeren Gewicht der Messapparatur, der Vereinfachung der Bedienung und der moderneren Technik vor allem in den Bereichen Datenqualität, Datensicherheit, Bedienung und Wartung. Die Erneuerung des Messsystems ist zur Zeit im Gange und sollte im Frühling 1992 abgeschlossen sein.

2 KALIBRATION/REPRODUZIERBARKEIT

2.1 Kalibration

Die Empfindlichkeit (sensitivity) des Detektors wird für die Umrechnung der gemessenen, detektorspezifischen Zählrate in definierte Einheiten (wie Dosis oder Radionuklidkonzentrationen) benötigt. Nach ersten theoretischen Abschätzungen (Schwarz et al., 1989) wurden 1990 bei verschiedenen Punkten um das Kernkraftwerk Beznau resp. der Deponie Tambrig (ZH), Bodenmessungen mittels in-situ-Gammaspektrometrie durchgeführt (Leupin, 1990 und Murith et al., 1990). Diese Messungen erlaubten eine experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit (Schwarz et al., 1990).

Um die Datengrundlage zu erweitern, wurden dieses Jahr weitere Bodenmessungen durchgeführt. Als Messgebiet wurde die Magadinoebene (TI) ausgewählt, da in dieser Region als Folge des Reaktorunglückes in Tschernobyl die grösste Cäsiumaktivität der Schweiz festgestellt wurde. Insgesamt wurden fünf Punkte in-situ-gammaspektrometrisch vermessen (Murith, 1991; Tabelle 2.1). Die Dosisleistungsberechnungen erfolgten unter der Annahme einer homogenen Verteilung der Radionuklide. Diese ist insbesondere beim Cäsium nicht erfüllt, was die Ueberschätzung der berechneten Ortsdosisleistung im Vergleich mit den RSS-Messungen (Ionisationskammer) erklärt.

Die Kalibrationsmessungen per Helikopter wurden am 7.8.91 durchgeführt. Jeder Punkt wurde in den Flughöhen 30 m, 61 m und 122 m (100 ft, 200 ft und 300 ft) während je 60 s schwebend vermessen. Bei den Punkten Magadino 2 und Magadino 4 konnte mit dem Helikopter gelandet werden, was eine Kontrollmessung am Boden erlaubte. Zum Abschluss wurden alle Punkte (mit Ausnahme von Punkt 1) in kontinuierlichem Flug in einer Flughöhe von 92 m (300 ft) abgeflogen. Die Resultate der Helikoptermessungen sind in Tabelle 2.2 zusammengestellt.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der Resultate der in-situ-gammaskopmetrischen Bodenmessungen vom 4.6.91 in der Magadinoebene

Punkte	Magadino 1 Aeroporto		Magadino 2 Lofredo		Magadino 3 Ramello		Magadino 4 Mondella		Magadino 5 M. dei Ratti	
	X 711.210 m Y 113.500 m Z 197 m		X 713.525 m Y 112.760 m Z 200 m		X 715.170 m Y 113.305 m Z 203 m		X 717.360 m Y 113.550 m Z 208 m		X 718.725 m Y 114.160 m Z 212 m	
Beitrag	Bq/kg	µR/h	Bq/kg	µR/h	Bq/kg	µR/h	Bq/kg	µR/h	Bq/kg	µR/h
Ra-226	70	3.5	60	3.0	50	2.5	46	2.3	50	2.5
Ac-228	40	3.0	40	3.0	37	2.8	39	2.9	38	2.8
K - 40	550	2.5	520	2.4	560	2.6	495	2.3	590	2.7
Terrestr. Kosmisch		9.0 4.0		8.4 4.0		7.9 4.0		7.5 4.0		8.0 4.0
Natürlich		13.0		12.4		11.9		11.5		12.0
Cs-137	240	4.1	84	1.4	78	1.3	261	4.4	79	1.3
Cs-134	20	0.9	8	0.3	8	0.3	28	1.3	8	0.3
Künstlich		5.0		1.7		1.6		5.7		1.6
Total		18.0		14.1		13.5		17.2		13.6
RSS		16.0		13.4		13.0		15.1		13.2

Tabelle 2.2: Zusammenstellung der Resultate der Steigflüge vom 7.8.91 in der Magadinoebene

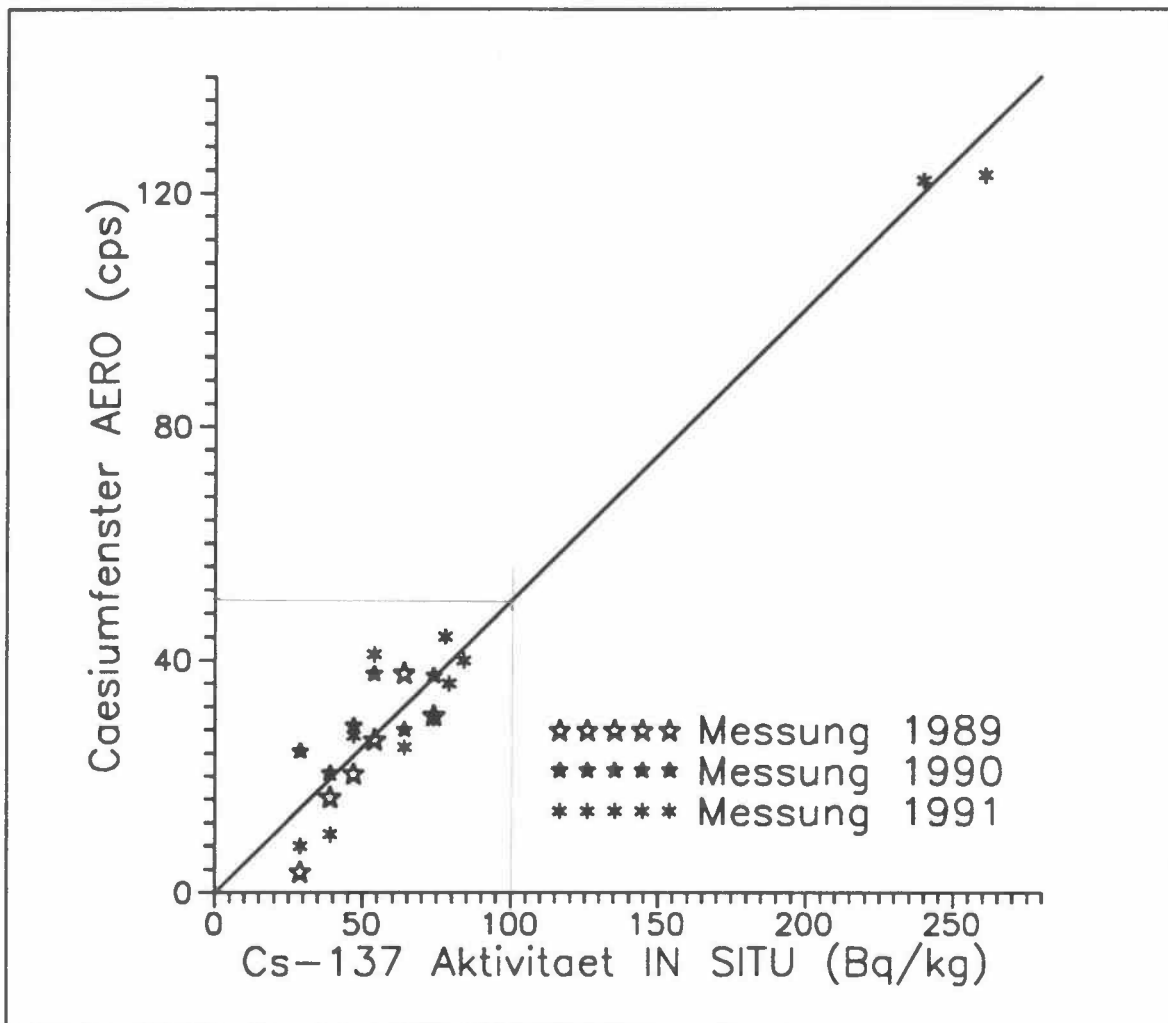
Punkte	Magadino 1 Aeroporto		Magadino 2 Lofredo		Magadino 3 Ramello		Magadino 4 Mondella		Magadino 5 M. dei Ratti	
	Bq/kg	ΔBq/kg	Bq/kg	ΔBq/kg	Bq/kg	ΔBq/kg	Bq/kg	ΔBq/kg	Bq/kg	ΔBq/kg
Bi-214	37	12	43	7	40	15	42	7	42	14
Tl-208	42	5	36	2	35	3	34	2	36	3
K - 40	630	60	495	20	560	40	505	20	550	50
Cs-137	245	20	80	5	88	12	245	6	71	10
Abschwächung		10 ⁻³ m ⁻¹		10 ⁻³ m ⁻¹		10 ⁻³ m ⁻¹		10 ⁻³ m ⁻¹		10 ⁻³ m ⁻¹
Bi-214		4.4		5.8		4.4		4.5		4.4
Tl-208		4.6		4.3		4.1		3.1		3.4
K - 40		5.6		5.0		4.9		4.2		4.5
Cs-137		8.6		4.2		8.4		11.3		3.8

Anhand der Steigflüge kann für jeden Messpunkt und jedes Fenster sowohl Abschwächungskoeffizient der Luft als auch die Zählrate am Boden nach der in Schwarz et al. (1989, p.38ff) beschriebenen Methode bestimmt werden. Mit Hilfe der im letzten Jahr bestimmten Detektorempfindlichkeit (Schwarz et al., 1990, p.4ff) kann die Bodenaktivität abgeleitet werden.

Vergleicht man die Resultate der beiden Messmethoden (Tabellen 2.1 und 2.2) so fällt auf, dass die bestimmten Bodenaktivitäten mit Ausnahme der Nuklide der U^{238} -Zerfallsreihe (Ra^{226} in Tabelle 2.1 bzw. Bi^{214} in Tabelle 2.2) bei den Messpunkten 1 und 2 sehr gut übereinstimmen.

Die Abschwächungskoeffizienten im Cäsium-Fenster weisen mit Werten von $\mu=0.0040\text{ m}^{-1}$ bei den Messpunkten 2 und 5 grosse Unterschiede zum Literatur-Wert ($\mu=0.0100\text{ m}^{-1}$) auf. Die Erniedrigung des Abschwächungskoeffizienten wird durch die inhomogene Cs^{137} -Verteilung im Boden verursacht. Durch die Auswertung der Steigflüge kann der Einfluss der inhomogenen Nuklidverteilung zu einem grossen Teil ausgeschaltet werden.

In Figur 2.1 wurden die Zählraten im Cäsiumfenster der Messungen (100 m Flughöhe) der Jahre 1989, 1990 und 1991 in der Umgebung des KKB/PSI sowie Daten aus der Magadinoebene (100 m Flughöhe) gegen die in-situ-gammaspektrometrisch bestimmten Cs^{137} -Aktivitäten aufgetragen. Die Steigung der Gerade in Figur 2.1 stellt die 1990 abgeleitete Detektorempfindlichkeit für eine Flughöhe von 100 m dar.



Figur 2.1 : Experimentelle Bestimmung der Detektorempfindlichkeit (Flughöhe 100 m) anhand der Daten aus der Umgebung von KKB und PSI, sowie der Magadinoebene.

Wie aus Figur 2.1 ersichtlich ist passen auch die neuen Messpunkte sehr gut ins bestehende Bild. Mit Steigflügen kann eine genauere Bestimmung der Cs¹³⁷-Bodenaktivität als mit der bisher verwendeten Auswertemethode erreicht werden, weil damit der Einfluss des Abschwächungskoeffizienten zu einem grossen Teil ausgeschaltet werden kann. Soll ein grösseres Areal mit hoher Genauigkeit vermessen werden, ist die Kombination von flächenhafter Vermessung und einigen Steigflügen an verschiedenen Stellen zur Bestimmung des von der Nuklidverteilung abhängigen Abschwächungskoeffizienten empfehlenswert.

2.2 Reproduzierbarkeit

Der Vergleich mit den Daten von 1989 und 1990 erlaubt auch eine erste Abschätzung der Reproduzierbarkeit der KKW-Messflüge. Dazu wurden alle Daten mit denselben Strippingfaktoren und Abschwächungskoeffizienten ausgewertet. Für den Helikopterbackground wurden die jeweiligen Eichdaten verwendet. Es hat sich gezeigt, dass die Werte des Caesiumfensters im Jahre 1990 in allen Messgebieten systematisch zu hoch sind (in Tabelle 2.3 in Klammern angegeben). Eine Ueberprüfung der Eichdaten von 1990 ergab, dass die Werte im Caesiumfenster statistisch schlecht belegt und deshalb relativ ungenau sind. Durch eine entsprechende Erhöhung des Helikopter-Backgroundwertes im Caesiumfenster konnte der systematische Unterschied eliminiert werden.

Tabelle 2.3: Zusammenstellung der Mittelwerte der Messflüge

Standort	Jahr	Total-Fenster	Caesium-Fenster	Kobalt-Fenster	MMGC-Ratio
KKB	89	595	16.2	6.2	462
	90	550	(32.4) 23.7	6.4	460
	91	500	17.1	5.1	429
KKG	89	660	11.0	6.6	442
	90	533	(25.5) 15.5	4.8	461
	91	522	7.5	3.6	416
KKL	89	512	15.7	7.5	442
	90	552	(27.2) 17.9	10.2	461
	91	544	16.5	9.4	416
KKM	89	557	8.7	9.1	403
	90	666	(23.4) 16.3	10.4	431
	91	578	12.0	8.6	408

Es hat sich gezeigt, dass die relative Aktivitätsverteilung in allen Fenstern gut reproduzierbar ist. Selbst relativ kleine Anomalien befinden sich jedes Jahr am selben Ort. Die Mittelwerte der Messgebiete sind jedoch von Jahr zu Jahr unterschiedlich. Die Abweichungen der Mittelwerte bewegen sich zwischen 5% und 20%. Dabei fällt auf, dass die Differenz der Messwerte zweier Jahre über das gesamte Messgebiet in etwa konstant ist. Der Grund für diese Abweichung könnte in der von Jahr zu Jahr unterschiedliche Bodenfeuchtigkeit zur Zeit der Ueberflüge, Fluktuationen im Radongehalt der Atmosphäre sowie systematischen Messfehlern (Energiekalibration, Drift, "Banding") liegen.

Die jährlichen Abweichungen der Verhältnisdaten sind, weil sie von den Störeffekten weniger stark beeinflusst werden, in allen Messgebieten im Mittel kleiner als 5% (Vergleiche Beilagen 4, 10, 19 und 27).

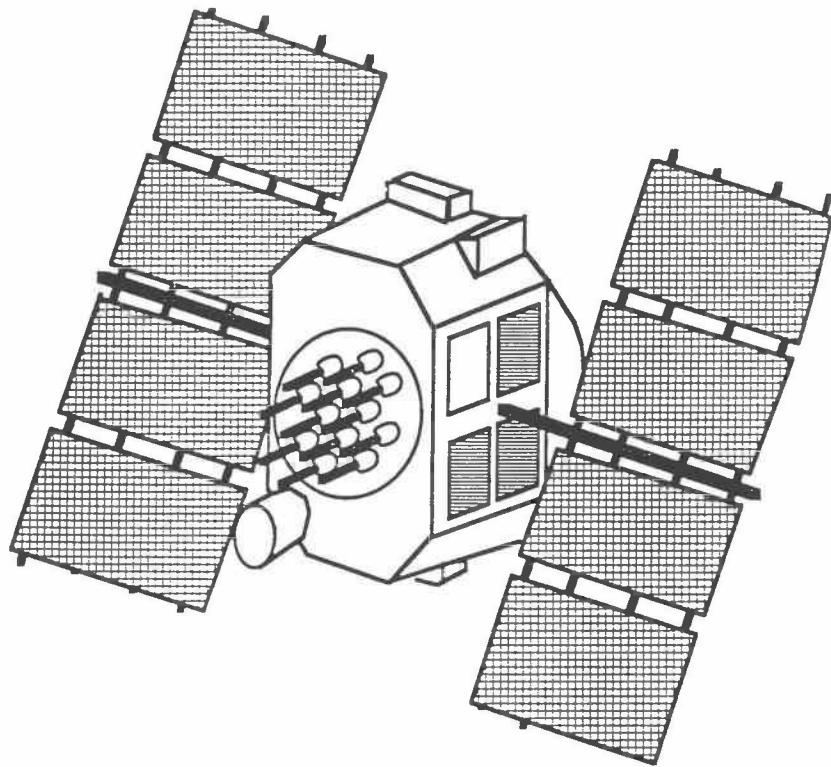
3 POSITIONIERUNG

3.1 Einleitung

Der empfindlichste Schwachpunkt bei den aerogammaspektrometrischen Messungen war bisher die Positionsbestimmung. Die Lokalisation der Messpunkte erfolgte bislang durch Vergleich der Photos der Flugwegkamera (Aufnahmen alle 3 s) mit der topographischen Karte (1:25'000). Anhand markanter Objekte wie Häusern, Bächen, Wegen usw. lässt sich die Position mit rund 50 m Genauigkeit bestimmen. Der identifizierte Punkt wird zusammen mit der Laufnummer auf der Karte eingezeichnet. Dieser mit "spotting" bezeichnete Vorgang ist sehr arbeitsaufwendig und dadurch teuer und langsam. Für die Flugwegrekonstruktion der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen werden beispielsweise drei Personen-Wochen benötigt.

Bei Notfalleinsätzen jedoch müssen die Karten sehr viel früher zur Verfügung stehen. Bis anhin wurde für Schnell-Auswertungen mit den Anfangs- und Endpunkten der Fluglinien gearbeitet, deren Position bereits während der Messung auf der Flugkarte markiert wird. Die Position der restlichen Messpunkte wird durch Interpolation bestimmt. Dieses Vorgehen kann nur bei kleinen Messgebieten angewendet werden und ist ausserdem sehr ungenau.

Um die Positionierung bei Notfalleinsätzen zu verbessern wurde ein Empfänger für das satellitengestützten Positionierungssystem GPS beschafft. Das GPS-System wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium für die präzise Navigation von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen entwickelt. Es benützt die Laufzeit von Satellitensignalen zur Orts- und Geschwindigkeitsmessung.



Figur 3.1 : Navstar Satellit des GPS-Systems (aus Wells, 1986).

Die Beschreibung des Satellitensystems folgt der für Navigationssatelliten üblichen Einteilung in drei sogenannte Segmente:

- **Raumsegment:** Zum Raumsegment werden im Endausbau 24 Navstar-Satelliten zählen (21 Haupt- und 3 Reservesatelliten). Die Satelliten sind auf sechs Bahnebenen mit einer Neigung von je 55° verteilt. Auf jeder Bahnebene umkreisen drei bis vier Satelliten die Erde in einer Höhe von 20200 km mit einer Umlaufperiode von 11 h 58'. Jeder Satellit ist mit einer hochpräzisen Atomuhr ausgerüstet und sendet zwei verschieden codierte Zeitsignale auf zwei Frequenzen aus. Der ungenauere C/A-Code (coarse/acquisition) ist für die zivile Nutzung, der genauere P-Code (protected) für militärische Nutzung vorgesehen. Zusätzlich übertragen die Satelliten noch ihre Bahndaten, anhand derer ihre genaue Position im Raum bestimmt werden kann.

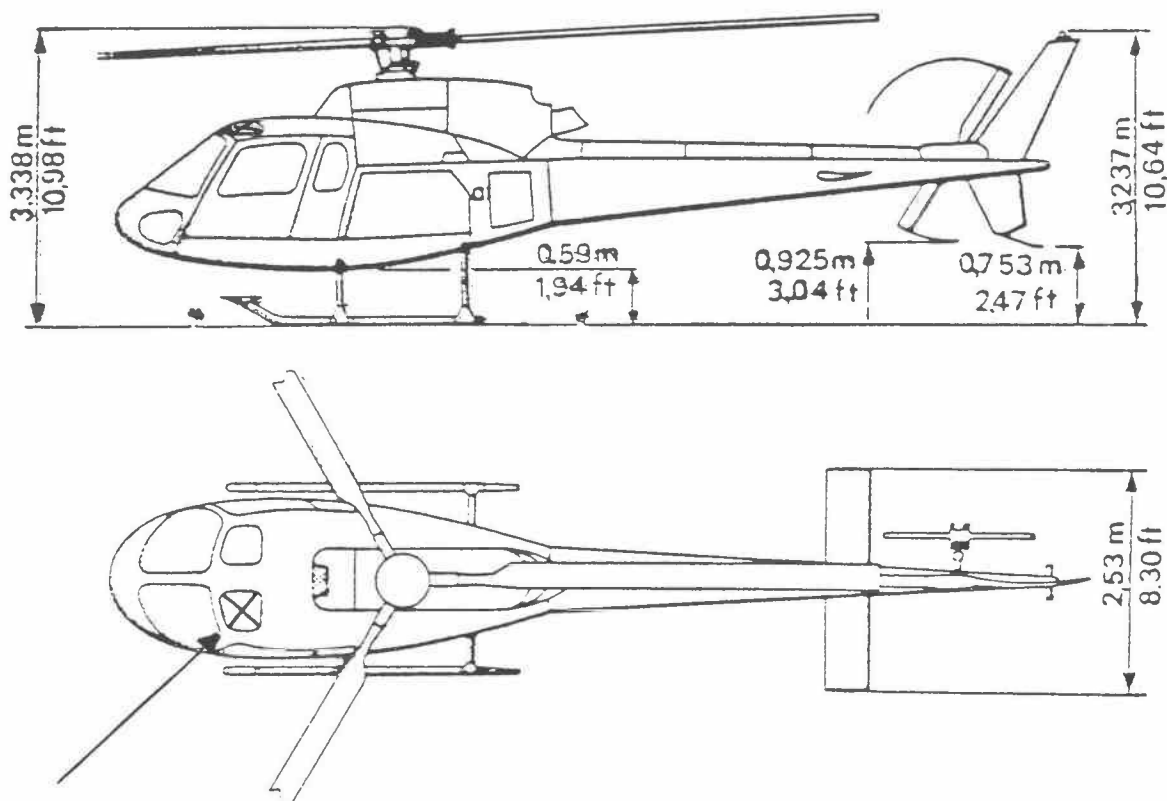
- **Kontrollsegment:** Das Kontrollsegment besteht aus fünf gleichmässig über die Erde verteilten Kontrollstationen. Diese Stationen verfolgen die genauen Bahnen und synchronisieren die Atomuhren der Satelliten. Die Parameter der Bahndaten sowie Korrekturparameter für die Satellitenzeit werden als "Ephemeriden" in die Satelliten eingespeichert.
- **Nutzersegment:** Als Nutzersegment wird der GPS-Empfänger bezeichnet. Er misst die einlaufenden Funkwellen (1575 MHz bzw. 1228 MHz) und ermittelt anhand ihrer Codierung die Laufzeiten der Signale. Diese Laufzeiten sind noch mit dem Synchronisationsfehler der Empfängeruhr behaftet, weshalb die daraus berechneten Entfernungen "Pseudorange" heissen. Eine Ortsbestimmung hat vier Unbekannte (Breite, Länge, Höhe und Uhrfehler) und benötigt Simultanmessungen zu vier Satelliten. Die Genauigkeit einer C/A-Codemessung beträgt ca. 10 - 50 m (absolut), bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer Empfänger 2 - 5 m (relativ). Durch Messung der Phasenlage der Trägerfrequenz kann die Relativgenauigkeit gegenüber der Code-Laufzeitmessung noch wesentlich gesteigert werden.

3.2 Gerät/Einbau

Nachdem 1990 erste Versuche mit einem GPS-Empfänger erfolgreich durchgeführt werden konnten, wurde das Modell 4000SST Aerial Surveyor der Firma Trimble Navigation (Sunnyvale, Ca, USA) angeschafft. Der Aerial Surveyor kann sowohl im statischen als auch im kinematischen Modus eingesetzt werden. Er kann Signale von bis zu acht Satelliten gleichzeitig erfassen. Dabei werden C/A-Code und Phase der entsprechenden Frequenz bestimmt und im internen Speicher abgelegt. Auf dem vierzeiligen LCD-Display kann neben Satellitenstatus und Zeit auch die aktuelle Empfängerposition in WGS-84 Koordinaten angezeigt werden.

Anhand der Resultate der letztjährigen Tests wurde keine Störung der Satellitensignale erwartet, weil sowohl Kabine als auch Rotorblätter des für die Messflüge verwendeten Helikopters des Typs Ecureuil zu einem grossen Teil aus Verbundkunststoffen bestehen. Der dieses Jahr benutzte Helikopter war jedoch mit einer speziellen Schalldämmungsmatte ausgerüstet, die den Signalempfang

innerhalb der Kabine verhindert. Die Antenne wurde deshalb in einer Sichtluke montiert (siehe Figur 3.2). Diese Montageposition erlaubte einen relativ guten Empfang.



Figur 3.2 : Einbau der Satellitenantenne im Helikopter

Die Synchronisation zwischen dem gammaspektrometrischen Messsystem und dem GPS-Empfänger erfolgt durch manuelles Richten der Systemuhr des Spektrometers. So lassen sich die beiden Datensätze mit einer Genauigkeit von rund einer Sekunde synchronisieren. Zusätzlich wurde ein zweiter GPS-Empfänger in der Nähe des Bürogebäudes der Heliswiss AG (Koordinaten: 604556/194938/510) als Referenzstation aufgestellt. Beide Empfänger führten alle zwei Sekunden eine Messung durch, wobei Satelliten mit Elevationswinkeln von unter 5° ignoriert wurden.

3.3 Auswertung

An dieser Stelle soll nur die einfachste Auswertemethode der GPS-Daten, die Positionsbestimmung mittels der aus den Codemessungen bestimmten Pseudoentfernungen beschrieben werden. Weil sich die Uhren im GPS-Empfänger und im Satelliten nicht perfekt synchronisieren lassen ($1 \mu\text{s}$ entspricht 300 m) werden die aus der Zeitverschiebung zwischen der Satellitenuhr und der Empfängeruhr bestimmten Entfernungen Pseudoentfernungen genannt. Die Pseudoentfernung unterscheidet sich von der echten Entfernung zwischen Satellit und Empfänger durch den Uhrensynchronisationsfehler zwischen der GPS-Systemzeit und der Empfängeruhr. Es ergibt sich somit für die Pseudoentfernung PR_i :

$$PR_i = |\vec{X}_i - \vec{X}_B| + c\Delta t_u = c\tau_i \quad (3.1)$$

PR_i	Pseudoentfernung zum Satelliten S_i	[m]
\vec{X}_i	Ortsvektor des Satelliten mit den Komponenten x_i, y_i, z_i	[m]
\vec{X}_B	Ortsvektor des Empfängers mit den Komponenten x_B, y_B, z_B	[m]
τ_i	Beobachtete Signallaufzeit zwischen dem Satelliten S_i und dem Empfänger	[s]
Δt_u	Uhrensynchronisationsfehler zwischen der GPS Systemzeit und der Empfängeruhr.	[s]
c	Lichtgeschwindigkeit	[m/s]

Die Koordinaten des Satelliten können anhand der registrierten Bahnparameter bestimmt werden (für die Bahngleichungen siehe Scherrer, 1988), sodass in der Gleichung 3.1 die vier Unbekannten x_B , y_B , z_B und Δt_u übrigbleiben. Die Empfängerkoordinaten können somit durch simultane Messungen zu vier Satelliten bestimmt werden. Durch Linearisierung erhält die Beobachtungsgleichung folgende Form:

$$PR_i - r_0 = \frac{(x_0 - x_i)\Delta x}{r_0} + \frac{(y_0 - y_i)\Delta y}{r_0} + \frac{(z_0 - z_i)\Delta z}{r_0} + c\Delta t_u$$

$$r_0 = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2 + (z_i - z_0)^2} \quad (3.2)$$

\vec{x}_0	Näherung für den Ortsvektor des Empfängers mit den Komponenten x_0, y_0, z_0	[m]
$\Delta\vec{x}$	Gekürzter Ortsvektor des Empfängers mit den Komponenten $\Delta x, \Delta y, \Delta z$	[m]

Sei \mathbf{A} die Designmatrix, \mathbf{b} der Pseudoentfernungsvektor $PR_i - r_0$ und $\Delta\mathbf{x}$ der Unbekanntenvektor des obigen Gleichungssystems. Das Gleichungssystem kann in Matrixschreibweise somit als $\mathbf{b} = \mathbf{A} \cdot \Delta\mathbf{x}$ ausgedrückt werden. Sind mehr als vier Satelliten verfügbar wird mit der Normalgleichung $\mathbf{b} \cdot \mathbf{A}^T = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T) \cdot \Delta\mathbf{x}$ gearbeitet. Die Empfängerkoordinaten erhält man durch iterative Lösung der Normalgleichung. Wenn als erster Schätzwert für die Empfängerkoordinaten der Erdmittelpunkt gewählt wird, konvergiert die Lösung nach etwa fünf Iterationsschritten.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung mit GPS hängt von der Genauigkeit der einzelnen Pseudoentfernungsmessungen (Standardabweichung σ_r) und der geometrischen Konfiguration der benutzten Satelliten ab. Der Zusammenhang zwischen σ_r und der zugehörigen Standardabweichung der Positionsbestimmung wird durch eine skalare Grösse beschrieben, die in der Navigationsliteratur mit DOP (Dilution of Precision) bezeichnet wird. Verschiedene DOP-Bezeichnungen sind in Gebrauch:

$\sigma_H = \text{HDOP} \cdot \sigma_r$	für horizontale Positionsbestimmung
$\sigma_V = \text{VDOP} \cdot \sigma_r$	für vertikale Positionsbestimmung
$\sigma_P = \text{PDOP} \cdot \sigma_r$	für 3D-Positionsbestimmung
$\sigma_T = \text{TDOP} \cdot \sigma_r$	für die Zeitbestimmung

Der kombinierte Effekt für Position und Zeit heisst GDOP ($GDOP=(PDOP^2+TDOP^2)^{1/2}$). Die einzelnen DOP-Werte können der Spur der Kovarianzmatrix $Q=(A \cdot A^T)^{-1}$ des Gleichungssystems entnommen werden. So gilt beispielsweise $HDOP=(q_{xx}+q_{yy})^{1/2}$.

Während der immer noch andauernden Aufbauphase des GPS-Systems werden die DOP-Werte zeitweilig sehr ungünstig. Oft sind auch nicht genügend Satelliten über dem Horizont verfügbar oder die Satelliten werden durch Berge verdeckt. Um auch in solchen Situationen Positionsbestimmungen durchzuführen, wird die vom gamma-spektrometrischen Messsystem registrierte Barometerhöhe ins Gleichungssystem miteinbezogen. Dazu müssen die gemessenen Barometerhöhen in einem ersten Schritt in ellipsoidische Höhen und anschliessend in das für die Gleichungen verwendete geozentrische kartesische Koordinatensystem umgerechnet werden. Die Umrechnung kann beispielsweise mit folgenden Formeln auf iterativem Wege erfolgen:

$$\gamma = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}$$

$$\tan \varphi = \frac{z \cdot (\gamma + h)}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot (\gamma + h - e^2 \gamma)}$$

$$h = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos \varphi} - \gamma$$

$$H = h - N \tag{3.3}$$

H	Barometrische Höhe	[m]
h	Ellipsoidische Höhe	[m]
φ	Ellipsoidische Breite	
γ	Querkrümmungsradius	[m]
a	Grosse Halbachse	[m]
e	Erste Exzentrizität	
N	Geoid Separation	[m]

Diese Umrechnungsgleichung kann durch Linearisierung auf eine ähnliche Form wie die Beobachtungsgleichungen gebracht werden:

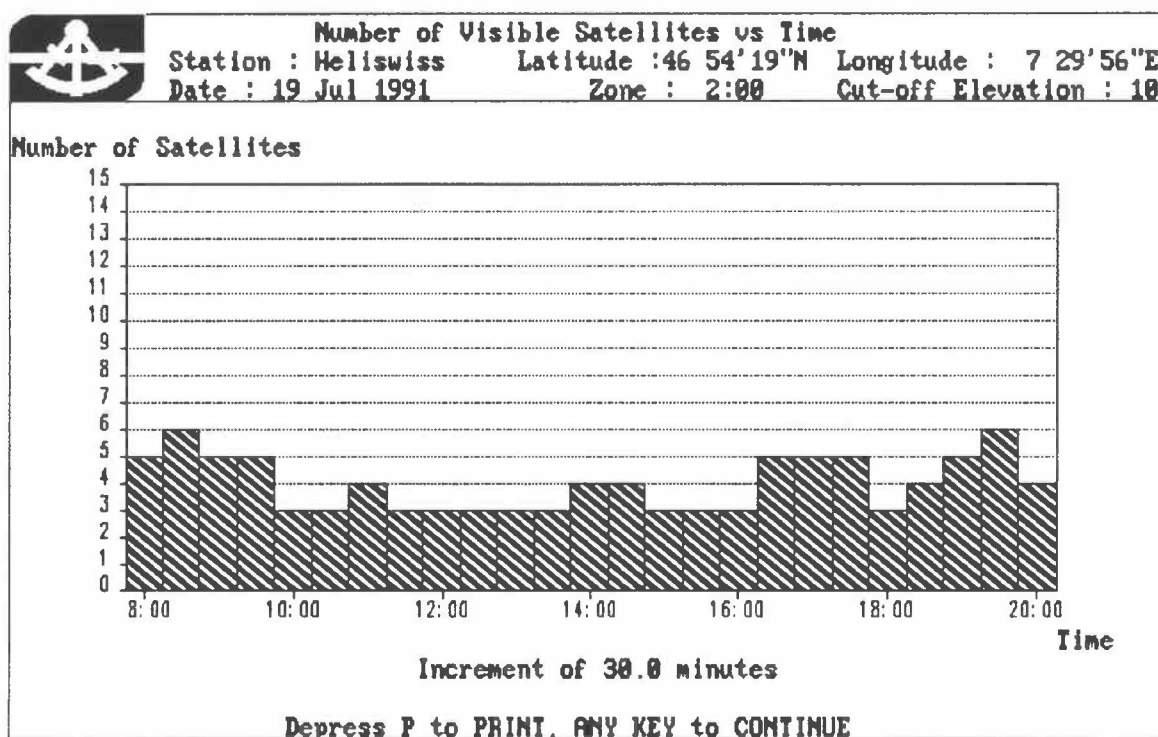
$$h - h_0 = \frac{x_0}{r_0} \Delta x + \frac{y_0}{r_0} \Delta y + \frac{z_0}{r_0} \Delta z$$
$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2 + z_0^2} \quad (3.4)$$

h_0 Näherung für die Ellipsoidische Höhe (Formeln 3.3) [m]

Wird die barometrischen Höhe miteinbezogen, kann die Position bereits mit drei sichtbaren Satelliten bestimmt werden.

3.4 Vergleich der GPS-Messungen mit den Daten der Flugwegkamera

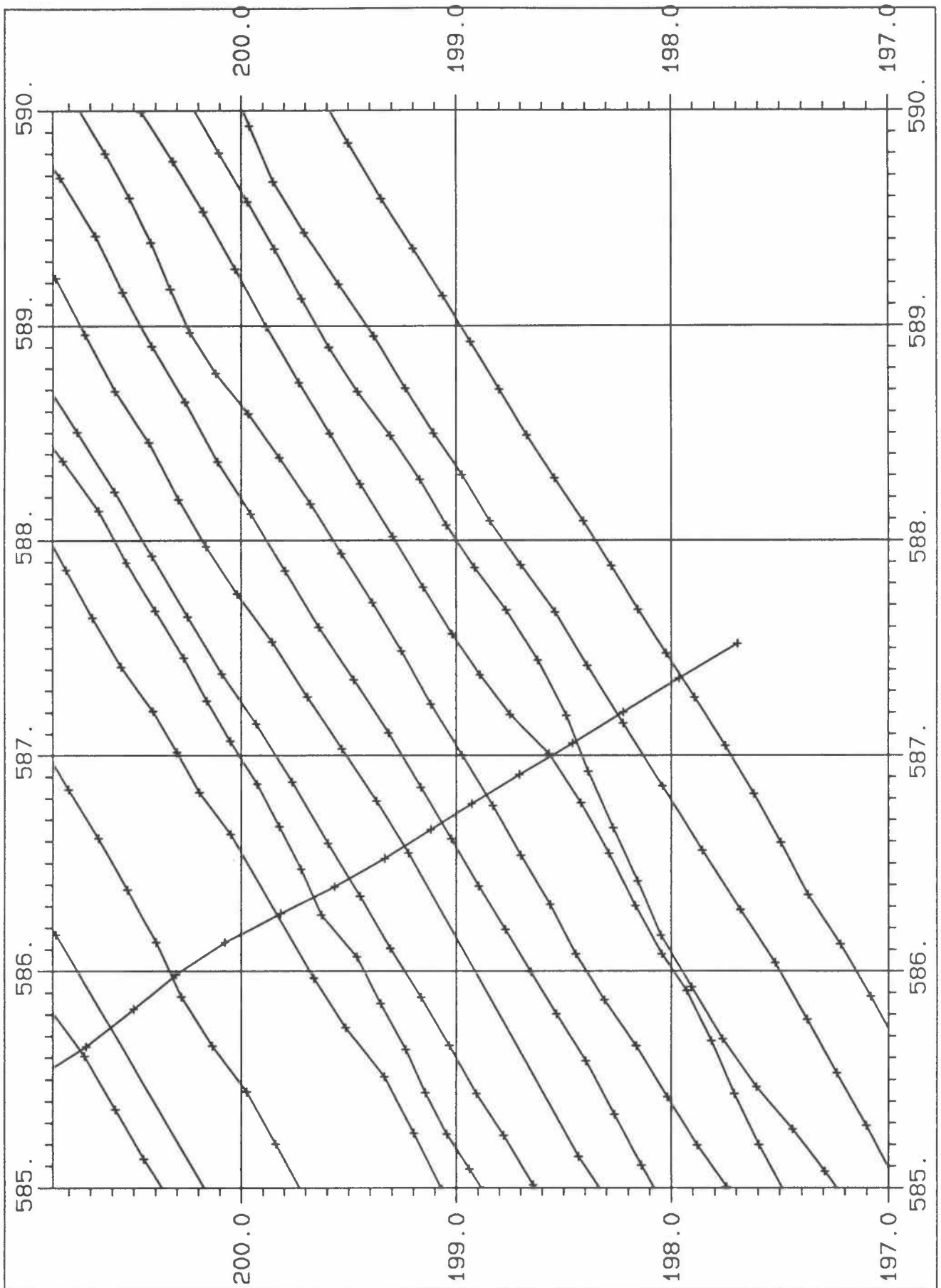
Zur Messzeit (Juli 1991) waren 15 Satelliten nutzbar. Damit sind 23 Stunden pro Tag 2D-Ortsbestimmungen (3 Satelliten) und 13 Stunden 3D-Ortsbestimmungen (4-5 Satelliten) verteilt auf mehrere "Fenster" von 1-3 Stunden Dauer möglich. Wie aus Figur 3.3 ersichtlich ist, lagen die "Empfangsfenster" zur Messzeit relativ ungünstig, sodass nur vor 9 Uhr und nach 16 Uhr optimaler Empfang zu erwarten war.



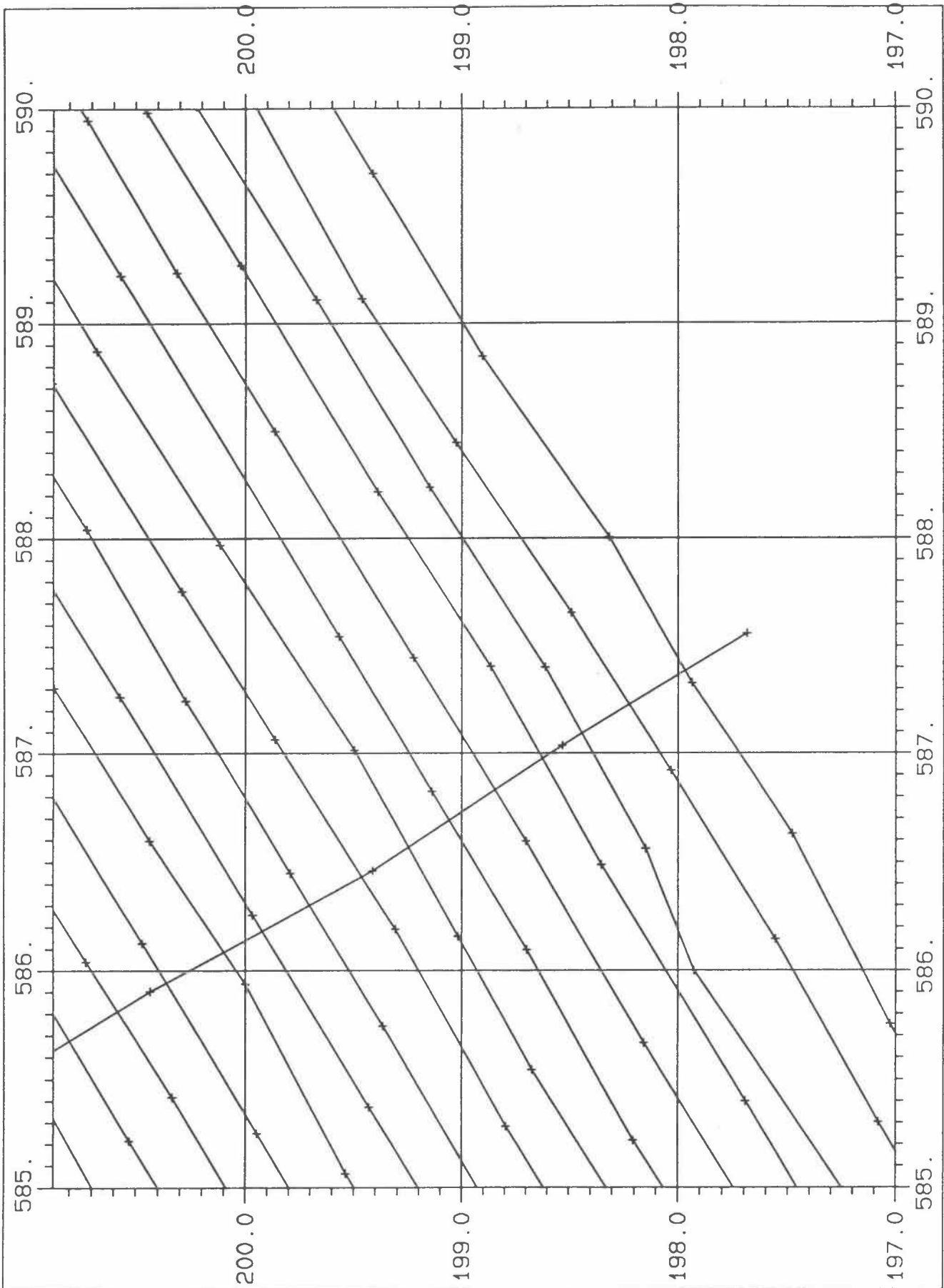
Figur 3.3 : Anzahl der in der Schweiz während der Messkampagne sichtbaren Satelliten (Elevation grösser als 10°) in Abhängigkeit der Tageszeit

Erschwerend kam hinzu, dass bedingt durch Verdeckungen von Berge oder dem Rotorkopf des Helikopters nicht alle theoretisch empfangbaren Satelliten auch tatsächlich empfangen werden konnten. Trotzdem wurde eine Ueberdeckung von rund 30% bis 60% der Messgebiete erzielt. Durch Einbezug der Barometer-Höhe konnte die Ueberdeckung auf bis zu 90% gesteigert werden, sodass 1992 der operationelle Einsatz des GPS-Systems gewährleistet sein sollte.

Die Auswertung der GPS-Daten erfolgt mittels der in Kapitel 3.3 beschriebenen "single point" Methode unter Einbezug der barometrischen Höhe. Damit können die Positionen eines Messfluges innerhalb von wenigen Minuten bestimmt werden. Als Beispiel für die Positionsbestimmung mittels GPS soll das Messgebiet Mühleberg angeführt werden. Wie der Vergleich der GPS-Positionen (Figur 3.4) mit den klassisch bestimmten Flugwegen (Figur 3.5) zeigt, stimmen beide Karten sehr gut überein.



Figur 3.4: Ausschnitt der Flugwegkarte des Messgebietes KKM (Positionsbestimmung mittels GPS).



Figur 3.5: Ausschnitt der Flugwegkarte des Messgebietes KKM (Positionsbestimmung mittels Flugwegkamera).

Die wesentlichen Fehlereinflüsse im GPS betreffen die Laufzeitmessungen der codierten Satellitensignale und die Satellitenbahnen. Die Laufzeitmessungen haben einen Fehler von rund 5 m (für C/A-Code). Die wichtigsten anderen Fehlereinflüsse sind nach Seeber (1988):

Tabelle 3.1: Fehlereinflüsse auf GPS-Messungen

Einfluss	Fehler
Satellitenbahn und -Uhr	1 - 4 m
Ionosphäre	2 - 10 m
Troposphäre, Reflexionen	1 - 2 m
Empfängeruhr	ca. 1 m

Die reinen Mess- und Atmosphärenfehler erreichen bei Navigationsempfängern des C/A-Typs durchschnittlich 3 m bis 5 m. Da die gemessenen "Pseudostrecken" noch den Uhrfehler enthalten und zur Ortsbestimmung zwei- bis dreifach geschnitten werden müssen, ist die Positionsgenauigkeit im Mittel zwei- bis dreimal schlechter. Der "Verschlechterungsfaktor" (DOP) kann mit der in Kapitel 3.3 beschriebenen Methode bestimmt werden. Sein Wert hängt sehr stark von der gegenseitigen Lage der zur Positionsbestimmung verwendeten Satelliten ab.

Im vorliegenden Beispiel wurden Messungen mit HDOP-Werten grösser als sieben nicht mehr verwendet. Deshalb muss mit einem maximalen Positionsfehler von 35 m gerechnet werden. Ein Blick auf die Messergebnisse zeigt, dass die relative Genauigkeit der Messungen viel besser als 35 m ist, da die Daten kaum Rauschen zeigen. In der Tat äussern sich die Fehler nur bei Wechsel der Satellitenkonstellation und HDOP-Werten grösser als neun durch sichtbare Sprünge in den Daten.

Die Abweichungen von GPS- und mit der Flugwegkamera bestimmten Positionen sind im allgemeinen kleiner als 30 m. In Gebieten mit Wald können jedoch Abweichungen bis maximal 100 m beobachtet werden. Der Grund für die grossen Abweichungen ist vor allem bei der klassischen Methode zu suchen. Ueber Wald lassen sich auf den Flugphotos keine markanten Punkte identifizieren, die eine Positionierung erlauben würden. Deshalb können Abweichungen von der vorgegebenen Flugroute über Wald nicht erkannt werden. Bereits in der jetzigen Testphase sind die GPS-Daten deutlich besser, als die mit der Flugwegkamera

bestimmten Positionen. Der Fehler der GPS-Positionen kann somit nicht mit den Flugwegkamera-Daten bestimmt werden, da die Abweichungen der beiden Positionen vor allem durch das "Spotting" verursacht werden.

3.5 Ausblick

Die bisher verwendete Auswertemethode liefert, obwohl sie sehr einfach ist, bereits relativ gute Ergebnisse. Im Rahmen der Diplomarbeit von Philipp Schlatter am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ wird die Auswertemethode verbessert. Insbesondere sollen verschiedene Methoden geprüft werden die eine Erhöhung der Genauigkeit bzw. die Interpolation fehlender Positionen erlauben.

Eine Erhöhung der Genauigkeit lässt sich unter Einbezug der Daten der Referenzstation erreichen. Die meisten Fehler auf eine Pseudoentfernungsmessung wirken sich auf benachbarte Stationen sehr ähnlich aus. Deshalb kann die Positions-Differenz von Basisstation zu Helikopter viel genauer bestimmt werden. Ausserdem soll die vom GPS-Empfänger registrierte Phase in die Auswertung mit einbezogen werden. Eine Verbesserung der Genauigkeit scheint bei den dieses Jahr erreichten Positionierungs-Fehlern nicht nötig. Der amerikanische Senat hat sich jedoch vorbehalten die Qualität der GPS-Signale zu verschlechtern (selective availability), sodass Verbesserungen an der Auswertemethode nötig sind, um auch in Zukunft die jetzige Präzision zu erhalten.

Die Modellierung des Uhrensynchronisationsfehlers bietet die Möglichkeit einen weiteren Satelliten einzusparen. Wie aus Gleichung 3.1 ersichtlich ist, wird bei jeder Positionsbestimmung auch der Synchronisationsfehler berechnet. Der Synchronisationsfehler ändert sich nur sehr langsam und kann mit einer geeigneten Funktion angenähert werden. Mit dieser Näherung für das Uhrverhalten lassen sich Lücken mit mangelhafter Satellitenüberdeckung überbrücken.

Im weitem sollen die Fehler genauer untersucht und die optimale Auswertemethode ausgewählt werden. Die Resultate der Untersuchungen werden nach Abschluss der Diplomarbeit Schlatter im Bericht 1992 zusammengefasst.

4 MESSERGEBNISSE

4.1 Einleitung

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 4.1)

Tabelle 4.1 : Farbskalen

Darstellung	Blau	Cyan	Grün	Gelb	Rot
Total-Counts [cps]	<400	400-600	600-800	800-1000	>1000
MMGC-Ratio [%]	<450	450-500	500-550	550-600	>600
MMGC-Diff [%]	<-15	-15--5	-5-+5	5-15	>15
Kobalt-Fenster [cps]	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Cäsium-Fenster [cps]	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Kosmisches Fenster [cps]	<14	14-18	18-22	22-26	>26

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. Werte, deren Fehler grösser als 60% sind, werden als unsignifikant betrachtet und nicht mehr gezeichnet. 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 des Dreijahresmittelwertes der Total-Count-Daten beigelegt. Im weiteren wurden für jeden Standort eine Karte des Cäsiumfensters, des Kobaltfensters sowie des MMGC-Ratios erstellt. Die MMGC-Ratio-Differenzen-Karten beziehen sich im Unterschied zum letztjährigen Bericht auf das Dreijahresmittel der MMGC-Werte und wurden nach der Formel $(\bar{V}_{MMGC} - V_{MMGC91})/V_{MMGC91} * 100$ berechnet. Um die Dynamik der MMGC-Karten besser zum Ausdruck zu bringen, wurde jeweils auch eine 3D-Darstellung beigelegt.

Die beiden Siedewasser-Reaktoren KKL und KKM waren zum ersten mal 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. Als Beispiel für die Stickstoffstrahlung sind in Beilage 15 und 16 die Karten des kosmischen Fensters der Jahre 1990 (Reaktor abgestellt) und 1991 (Reaktor in Betrieb) des KKL dargestellt.

Die hochenergetische Stickstoffstrahlung ist bei der Auswertung der Daten sehr störend. Weil für sie nicht die selben 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. Wie aus Beilage 17 ersichtlich ist, wird der MMGC-Ratio über dem KKL durch die zusätzliche hochenergetische Strahlung sehr klein.

Um die neuen MMGC-Ratio-Karten der Standorte KKL und KKM mit den Karten der früheren Jahre vergleichen zu können, wird ein modifizierter MMGC-Ratio eingeführt:

$$V_{\text{MMGC}} = \frac{\text{MMGC1}}{\text{MMGC2}} \cdot 100 + k \cdot (C - C_{\text{mod}})$$

$$C_{\text{mod}} = 9 \cdot e^{0.0006 \cdot H} \quad (3.1)$$

V_{MMGC}	Modifizierter MMGC-Ratio	[%]
MMGC1	MMGC Tiefenergiefenster (200 - 1390 keV)	[cps]
MMGC2	MMGC Hochenergiefenster (1400 - 3000 keV)	[cps]
C	Messwert im kosmischen Fenster (3000 - 6000 keV)	[cps]
C_{mod}	Modellwert für kosmisches Fenster	[cps]
H	Barometrische Höhe	[m]
k	Korrekturfaktor	

Durch Einbezug des kosmischen Fensters wird der Beitrag der N^{16} -Strahlung korrigiert. Der erwartete Beitrag der kosmischen Strahlung in Abhängigkeit der Höhenlage, konnte anhand der Steigflüge über dem Bodensee (siehe Schwarz et al., 1989) bestimmt werden. Der Korrekturfaktor k wurde anhand der MMGC-Werte der Jahre 1990 und 1991 über den entsprechenden Kernkraftwerken auf $k=0.28$ abgeschätzt.

Diese Korrektur wurde für die Kartendarstellungen von Beilagen 18 und 26 durchgeführt. Der starke Stickstoffeffekt lässt sich jedoch nur ungenau eliminieren. So wurde beim KKL eine Erhöhung, beim KKM eine Erniedrigung des korrigierten MMGC-Ratios im Vergleich zu den Mittelwerten festgestellt, die sehr wahrscheinlich auf die Korrektur zurückzuführen sind. Es ist deshalb empfehlenswert die Vermessung der Standorte KKL und KKM während der Sommerstillstände durchzuführen.

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 (Mittelwert der Jahre 89, 90 und 91)

Das KKB ist nur sehr schwach, PSI-Ost und PSI-West sind deutlich zu erkennen. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Bodenbeschaffenheit (Wiesen → hoch, Wald und Flüsse → niedrig)

Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI

Die Standorte KKB und PSI treten deutlicher in Erscheinung.

Beilage 4: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKB/PSI

Die Differenzen zwischen den Daten von 1991 und dem Mittelwert der Jahre 1989-1991 betragen durchschnittlich 4.5%.

Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 3 (Blick nach Südwest). Drei Maxima sind ersichtlich: KKB (links, klein), PSI-Ost (mitte) und PSI-West (rechts). Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.1 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 6: Co60-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 7: Cs137-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 8: Flugwegkarte KKG

Die Position vom KKG wird durch ein gefülltes Quadrat markiert. Erstmals wurde auch das Gebiet von Kölliken befliegen.

Beilage 9: MMGC-Ratio KKG

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

Beilage 10: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKG

Die Differenzen zwischen den Daten von 1991 und dem Mittelwert der Jahre 1989-1991 betragen durchschnittlich 4.6%.

Beilage 11: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 9 (Blick nach Südwest). Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Das KKG ist nicht zu erkennen. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.1 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 12: Co60-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 13: Cs137-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 14: Flugwegkarte KKL

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

Beilage 15: Kosmisches Fenster KKL 1990 (KKL im Stillstand)

Die Karte des hochenergetischen Spektrumanteils (3 MeV-6 MeV) zeigt durchwegs normale Werte um 14 cps.

Beilage 16: Kosmisches Fenster KKL 1991 (KKL in Betrieb)

In einem Radius von rund 400 m um den Standort des KKL ist die vom N^{16} herrührende Strahlung deutlich zu erkennen (Spitzenwert über 5000 cps).

Beilage 17: MMGC-Ratio KKL

Der Standort des KKL zeichnet sich durch einen sehr niedrigen MMGC-Wert aus (Einfluss des N^{16} -Effektes).

Beilage 18: MMGC-Ratio modifiziert KKL

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

Beilage 19: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKL

Die Differenzen zwischen den Daten von 1991 und dem Mittelwert der Jahre 1989-1991 betragen durchschnittlich 4.6%.

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

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 18 (Blick nach Südwest). Der Standort des KKL ist klar ersichtlich. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.1 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 21: Co60-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 22: Cs137-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 23: Flugwegkarte KKM

Die Position vom KKM wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 24: Kosmisches Fenster KKM

In einem Radius von rund 400 m um den Standort des KKM ist die vom N^{16} herrührende Strahlung deutlich zu erkennen (Spitzenwert rund 4100 cps).

Beilage 25: MMGC-Ratio KKM

Der Standort des KKM zeichnet sich durch einen sehr niedrigen MMGC-Wert aus (Einfluss des N^{16} -Effektes).

Beilage 26: MMGC-Ratio modifiziert KKM

Die Karte zeigt die durch die Berücksichtigung des N^{16} -Effektes modifizierten MMGC-Werte (Näheres siehe Text). Der Standort des KKM ist klar ersichtlich.

Beilage 27: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKM

Es sind nur geringe Differenzen zum Mittelwert der Jahre 1989-1991 zu erkennen (0.8%).

Beilage 28: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 26 (Blick nach Südwest). Der Standort des KKM zeichnet sich sehr deutlich ab. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 4.1 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 29: Co60-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 30: Cs137-Fenster KKM

Auch hier wurden nur Werte dargestellt, die einen Fehler von weniger als 60% aufweisen. Im Unterschied zu letztem Jahr erscheint beim Standort KKM in Folge des N¹⁶-Effektes keine Anomalie.

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 Sektion Nationale Alarmzentrale (SNAZ) 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 MitarbeiterInnen der HSK, SUeR und SNAZ. Dies soll Gewähr bieten, dass im Ernstfall immer eine einsatzfähige Flugequipe zur Verfügung steht.

Der 1990 durchgeführte Kurs hat aufgezeigt, dass nur relativ wenig KursteilnehmerInnen gleichzeitig geschult werden können. Deshalb wurde dieses Jahr kein eigentlicher Schulungskurs durchgeführt. Von den beteiligten Stellen (HSK, SUeR, SNAZ und ETH-Z) wurden jeweils ein bis zwei MitarbeiterInnen (insgesamt 7) für jeweils zwei Tage an den Feldmessungen beteiligt. Die Kenntnisse in den Ausbildungsbereichen Gerätebedienung, Kalibration, Logistik und Datenauswertung konnten aufgefrischt werden. Besonderes Gewicht wurde auf das Navigieren gelegt. In einer ersten Stufe wurde für alle KursteilnehmerInnen ein Uebungsflug ohne Messgerät durchgeführt. Anschliessend konnte jedeR TeilnehmerIn einen bis zwei Messflüge selbstständig absolvieren. Insgesamt wurden fast 50% der Messgebiete im Rahmen der Schulung befliegen.

6 GERAETE-ERNEUERUNG

6.1 Einleitung

Bereits 1989 machten sich Unregelmässigkeiten mit der Messapparatur bemerkbar. Besonders bei Messungen für die in grosser Höhe (über 2000 m ü.M., für die schweizerische geophysikalische Kommission) war bei einigen Fluglinien eine Instabilität des Gains einzelner Photomultiplier zu beobachten. Weil die Signale der einzelnen Detektoren nur summiert aufgezeichnet werden können, bewirkt die Drift eine Verschlechterung des Energie-Auflösungsvermögens. In Extremfällen können sich sogar "Doppelpeaks" bilden. Ausserdem wurde ein zeitweises Aussetzen eines der vier Detektor-Kristalle festgestellt. Solche Fehler sind nicht einfach zu erkennen, da sie sich im Spektrum nicht bemerkbar machen. Sie können zwar nachträglich korrigiert werden, die Resultate sind jedoch mit grösseren Fehlern behaftet. Die Fehlerquelle konnte bis jetzt nicht eindeutig lokalisiert werden, da das Messsystem im Standbetrieb immer einwandfrei funktioniert. Auch mit dem bisher verwendeten Speichermedium (Halbzollbänder) sind immer wieder Probleme aufgetreten, die zu Datenverlusten geführt haben.

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

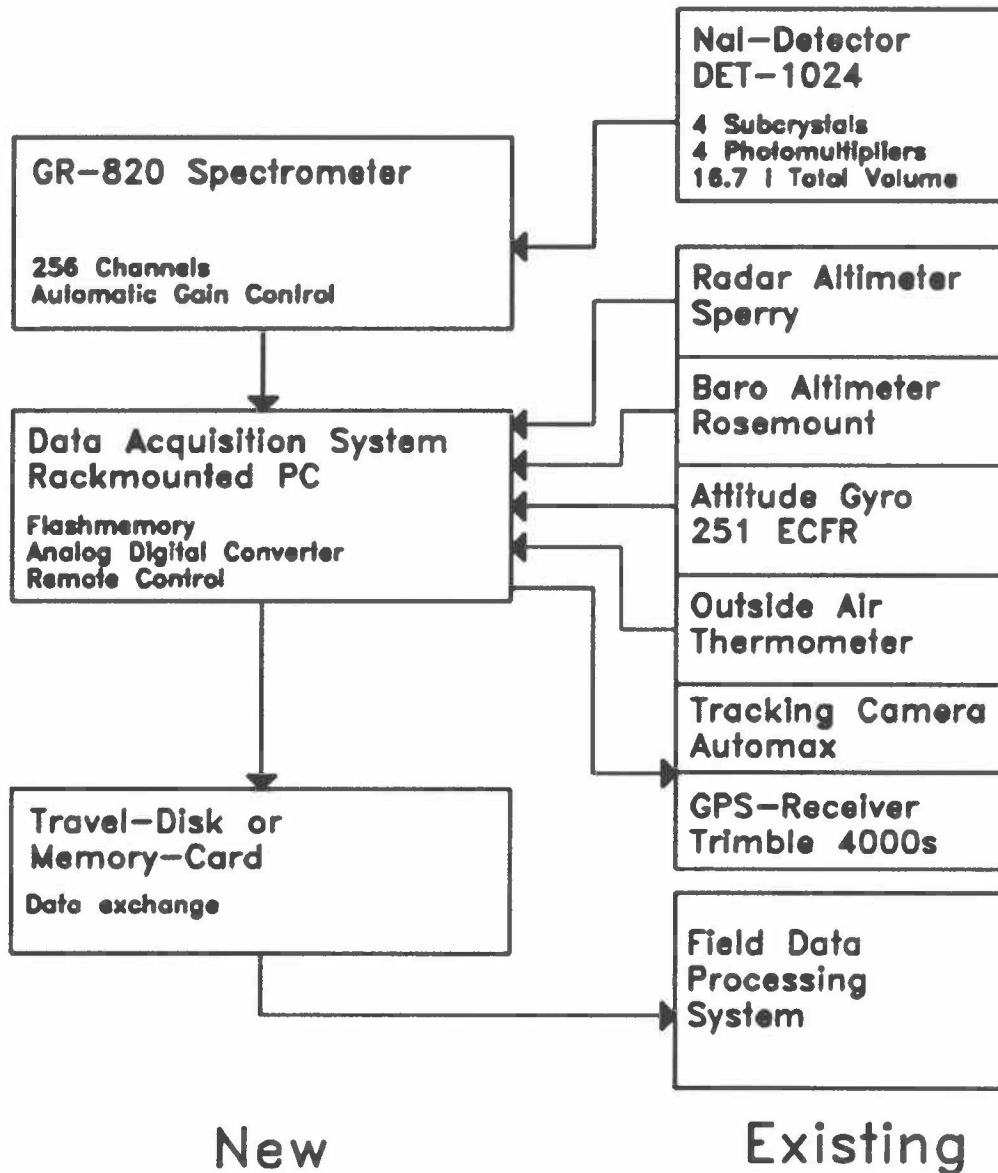
6.2 Vorteile des neuen Messsystems

Die Hauptvorteile des neuen Messsystems sind neben dem geringeren Gewicht der Messapparatur, der Vereinfachung der Bedienung und der moderneren Technik vor allem in den Bereichen Datenqualität, Datensicherheit, Bedienung und Wartung.

- Datenqualität und -sicherheit:** die Signale der einzelnen Detektor-Kristalle werden getrennt aufgezeichnet. So könnten Detektor-Ausfälle sofort erkannt werden. Ausserdem kann die Energieeichung stark vereinfacht werden, da sich eine ungenaue Kalibration (und auch Drift) nicht mehr auf das Energie-Auflösungsvermögen auswirkt.
- Bedienung:** Wegen der bessere Drift-Kontrolle kann auch auf die Temperaturregelung der Detektoren verzichtet werden, was grosse logistische Vereinfachungen während der Messungen mit sich bringt. Insbesondere kann die Mobilisierungszeit des Messsystems beträchtlich reduziert werden (das 12 stündige Vorheizen entfällt). Ausserdem muss das Messsystem nicht mehr vor jedem Flug nachkalibriert werden. Der Einsatz eines leistungsfähigen Personalcomputers als Steuereinheit, erlaubt eine einfachere Bedienung des Messsystems.
- Wartung:** Die meisten Elemente des Data-Aquisition-Systems sind fast überall erhältlich (Standard PC-Peripherie) und können von jedem Computergeschäft repariert werden, bzw. Ersatzteile beschafft werden. Mit dem neuen System lässt sich auch das störungsanfällige und veraltete Magnetbandgerät (800 Bpi) ersetzen, dessen Bänder in naher Zukunft nicht mehr gelesen werden können. Die Archivierung der Daten erfolgt auf magnetooptischen Platten.

6.3 Gerätedesign

Bei der Ausarbeitung des Erneuerungsvorschlages wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass möglichst viele bereits bestehende Komponenten auch im neuen Messsystem eingesetzt werden können.



Figur 6.1: Schema der Messapparatur: Auf der linken Seite sind die Aenderungsbedürftigen bzw. neu zu beschaffenden Geräte aufgeführt. Die Geräte auf der rechten Seite können aus dem bestehenden Messsystem übernommen werden.

Im Detail sind folgende Änderungen vorgesehen:

- Detektor:** Das Detektorpaket DET-1024 wird im wesentlichen beibehalten, jedoch revidiert und umgebaut. Das Gehäuse der Detektoren wird ersetzt, die Detektorheizung entfernt, die PM's erneuert und die Hochspannungsversorgung im Detektorgehäuse untergebracht. Das Detektorpaket muss nach dem Umbau wie die übrigen Komponenten nur noch mit 28 V versorgt werden.
- Data-Aquisition-System:** Das bisherige Data-Aquisition-System G-714 wird durch einen 19" Industrie PC-386 mit Gleichstromnetzteil ersetzt.
- Spektrometer:** Das Spektrometers GR-800 wird durch das modernere Modell GR-820 der Firma Exploranium ersetzt. Dieses Spektrometer kalibriert jedes einzelne Teilspektrum der vier Detektorkristalle anhand der immer vorhandenen K-40 Linie und summiert die Teilspektren anschliessend. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass sich Gain-Verschiebungen der einzelnen Detektoren nicht auf das aufgezeichnete Spektrum auswirken.
- Bandgerät:** Ersatz des Bandgerätes Kennedy 9700 durch Flash-Memory. Dieser neuartige Speicher verliert seine Daten auch bei einem Stromunterbruch nicht, ist sehr viel leichter (100 g statt 15 kg), sicherer (keine mechanischen Teile) und viel schneller (40kB/s-128kB/s). Die Speicherbausteine sind in sogenannte Memorycards in Kreditkartengrösse mit einem Fassungsvermögen von bis zu 4 MB eingeschweisst. Das Memory-Card-System ist unempfindlich für Vibrationen, Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen. Die Memorycards sind ausserdem wasser- und staubdicht.
- Peripherie:** Die analogen Eingänge (Radar, Baro, Gyro, Temp) könnten mit einem handelsüblichen ADC-Board erfasst werden. Die Sensoren werden beibehalten.
- Positionierung:** Die Synchronisation und Steuerung des GPS-Empfängers erfolgt durch den Bordcomputer. In einer weiteren Ausbauphase ist auch eine fortlaufende Auswertung und Anzeige der GPS-Daten denkbar. Die Flugwegkamera wird als Ersatzpositionierungssystem beibehalten.
- Bodencomputer:** Nach dem Flug erfolgt die erste Datenauswertung direkt im Feld ebenfalls auf einem Personalcomputer. Die Memomorycards werden am Ende der Messflüge am Bodencomputer eingelesen und auf einer magneto-optischen Festplatte archiviert.

6.4 Vorgehen

Das Projekt lässt sich in vier Phasen gliedern, die noch näher erläutert werden. In der untenstehenden Tabelle ist der ungefähre Zeitplan der einzelnen Projektphasen zusammengestellt.

Tabelle 6.1 : Projektphasen

Projekt-Phase	Feb 91	Mar 91	Apr 91	Mai 91	Jun 91	Jul 91	Aug 91	Sep 91	Okt 91	Nov 91	Dez 91	Jan 92	Feb 92	Mar 92	Apr 92	Mai 92
Evaluation																
Hardware																
Software																
Realisation																

Die Evaluation des Messsystems konnte abgeschlossen werden. Im jetzigen Zeitpunkt wurden die Hardwarekomponenten beschafft. Parallel dazu wird die Treibersoftware der einzelnen Hardware-Komponenten erstellt und ausgetestet. Anschliessend soll eine Prototyp des Messsystems im Labor aufgebaut werden. Anhand des Prototyps wird die endgültige Version des Steuerprogramms erstellt und ausgiebig getestet. In der Realisations-Phase werden die einzelnen Komponenten ins Rack eingebaut, verkabelt und nochmals ausgiebig getestet. Diese Phase findet vorzugsweise im Frühling statt. So verbleibt vor den KKW-Messflügen im Sommer 1992 noch Zeit für letzte Korrekturen und Anpassungen.

7 LITERATURVERZEICHNIS

LEUPIN, A., 1990: Vergleich aeroradiometrischer Messungen in der Umgebung von KKB/PSI mit In-Situ-Gamma-Spektrometrie-Messungen am Boden. Interner HSK-Bericht. Bundesamt für Energiewirtschaft.

MURITH, C., 1991: Auswertung der in situ Messungen vom 4.6.91 in Piano Magadino. Mündliche Mitteilung

MURITH, C., VOELKLE, H.R., SURBECK, H., PILLER, G., BAERISWIL, L., BEURET, P., FERRERI, G., GOBET, M., GURTNER, A., RIBODRY, L., 1990: Mesures in situ - mesures aéroradiométrie dans le voisinages du PSI. Interner SUEr-Bericht. Bundesamt für Gesundheitswesen; Abteilung Strahlenschutz

SCHERRER, R., 1988: The WM GPS Primer, WM Satellite Survey Company (Wild Heerbrugg), Geodesy Division, Heerbrugg.

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). 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). Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.

SEEBER, G., 1988: Satelliten-Geodäsie. De Gruyter Verlag, Berlin, New York.

WELLS, D., 1986: Guide to GPS positioning. Canadian GPS Associates, Can. Inst. of Surveying and Mapping, Ottawa.

8 BEILAGEN

Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

Beilage 2: Total-Fenster KKB/PSI (Mittelwert der Jahre 89, 90 und 91)

Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI

Beilage 4: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKB/PSI

Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

Beilage 6: Co60-Fenster KKB/PSI

Beilage 7: Cs137-Fenster KKB/PSI

Beilage 8: Flugwegkarte KKG

Beilage 9: MMGC-Ratio KKG

Beilage 10: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKG

Beilage 11: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

Beilage 12: Co60-Fenster KKG

Beilage 13: Cs137-Fenster KKG

Beilage 14: Flugwegkarte KKL

Beilage 15: Kosmisches Fenster KKL 1990

Beilage 16: Kosmisches Fenster KKL 1991

Beilage 17: MMGC-Ratio KKL

Beilage 18: MMGC-Ratio modifiziert KKL

Beilage 19: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKL

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

Beilage 21: Co60-Fenster KKL

Beilage 22: Cs137-Fenster KKL

Beilage 23: Flugwegkarte KKM

Beilage 24: Kosmisches Fenster KKM

Beilage 25: MMGC-Ratio KKM

Beilage 26: MMGC-Ratio modifiziert KKM

Beilage 27: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKM

Beilage 28: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

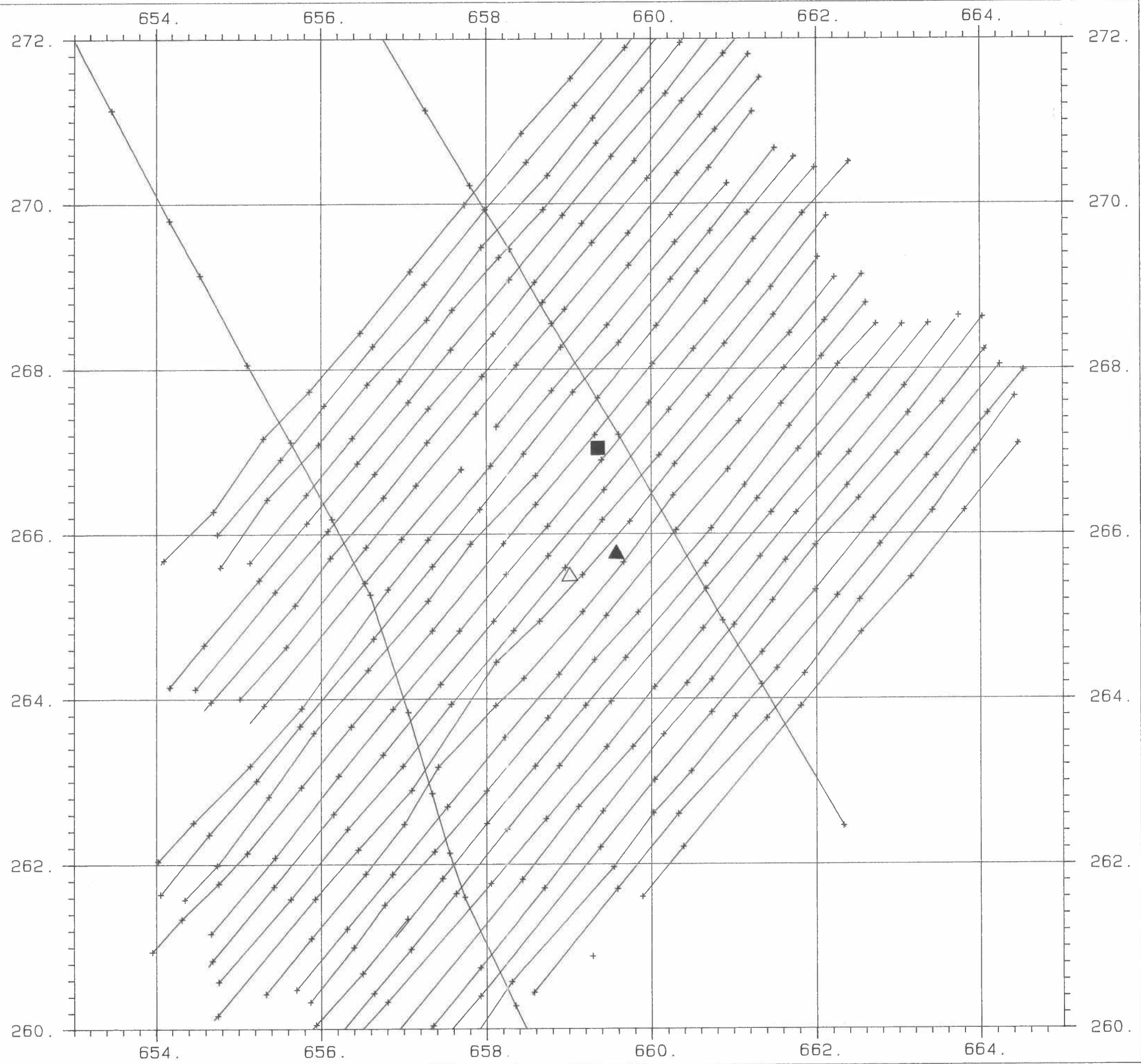
Beilage 29: Co60-Fenster KKM

Beilage 30: Cs137-Fenster KKM

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

KKB/PSI

Survey	KKB91
Channel	F. Path
Scale	50000.



Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

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





KKB/PSI

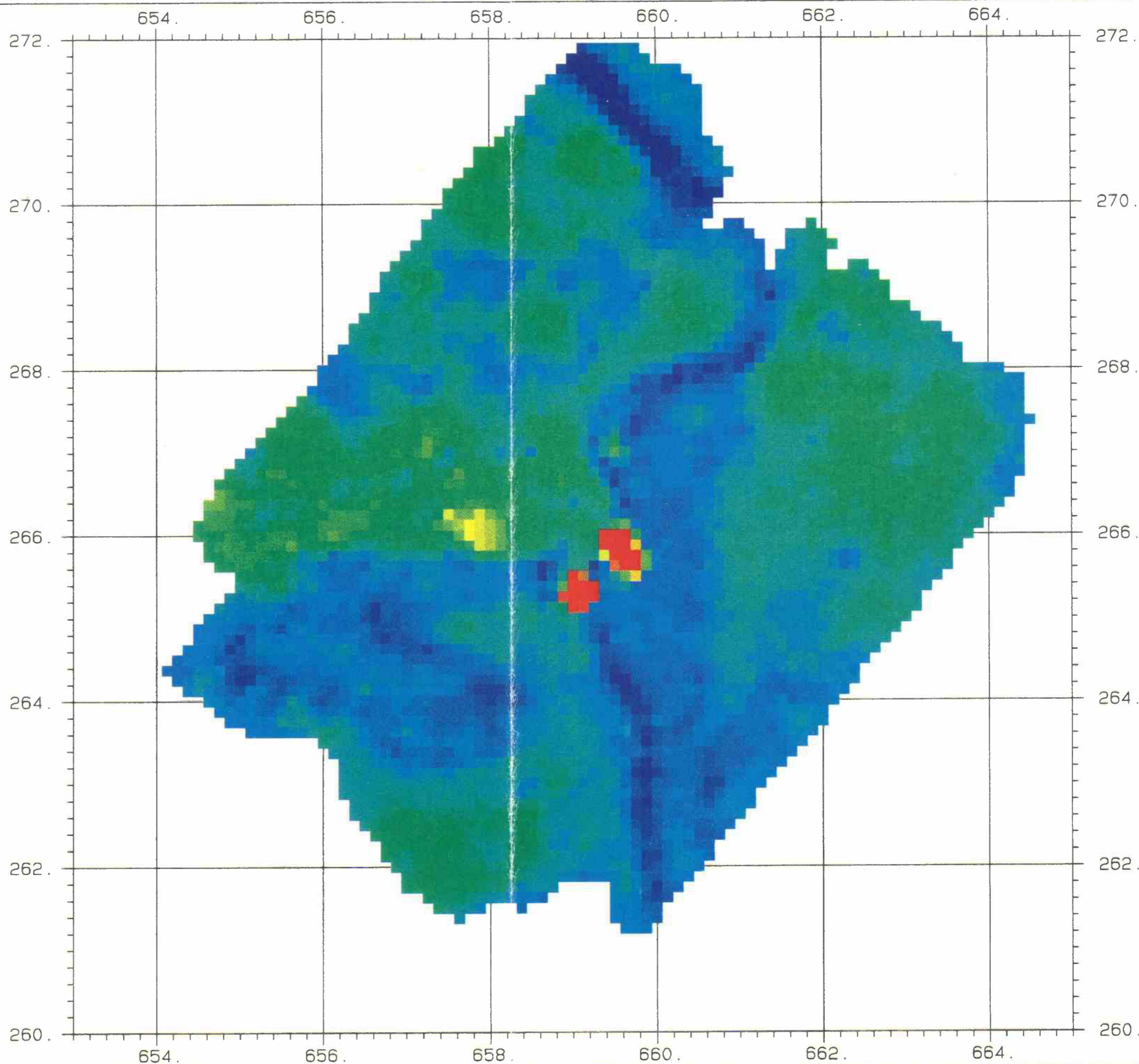
Survey KKB91
Channel Total-Ave
Sam Int 125.
Scale 50000.

Parameter

Average 547.0
Std Dev 181.9
Minimum 107.1
Maximum 6027.4

Legend

	Minimum	Maximum
	107.1	400.0
	400.0	600.0
	600.0	800.0
	800.0	1000.0
	1000.0	6027.4



Bellage 2: Total-Fenster KKB/PSI (Mittelwert der Jahre 89, 90 und 91)

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich





KKB/PSI

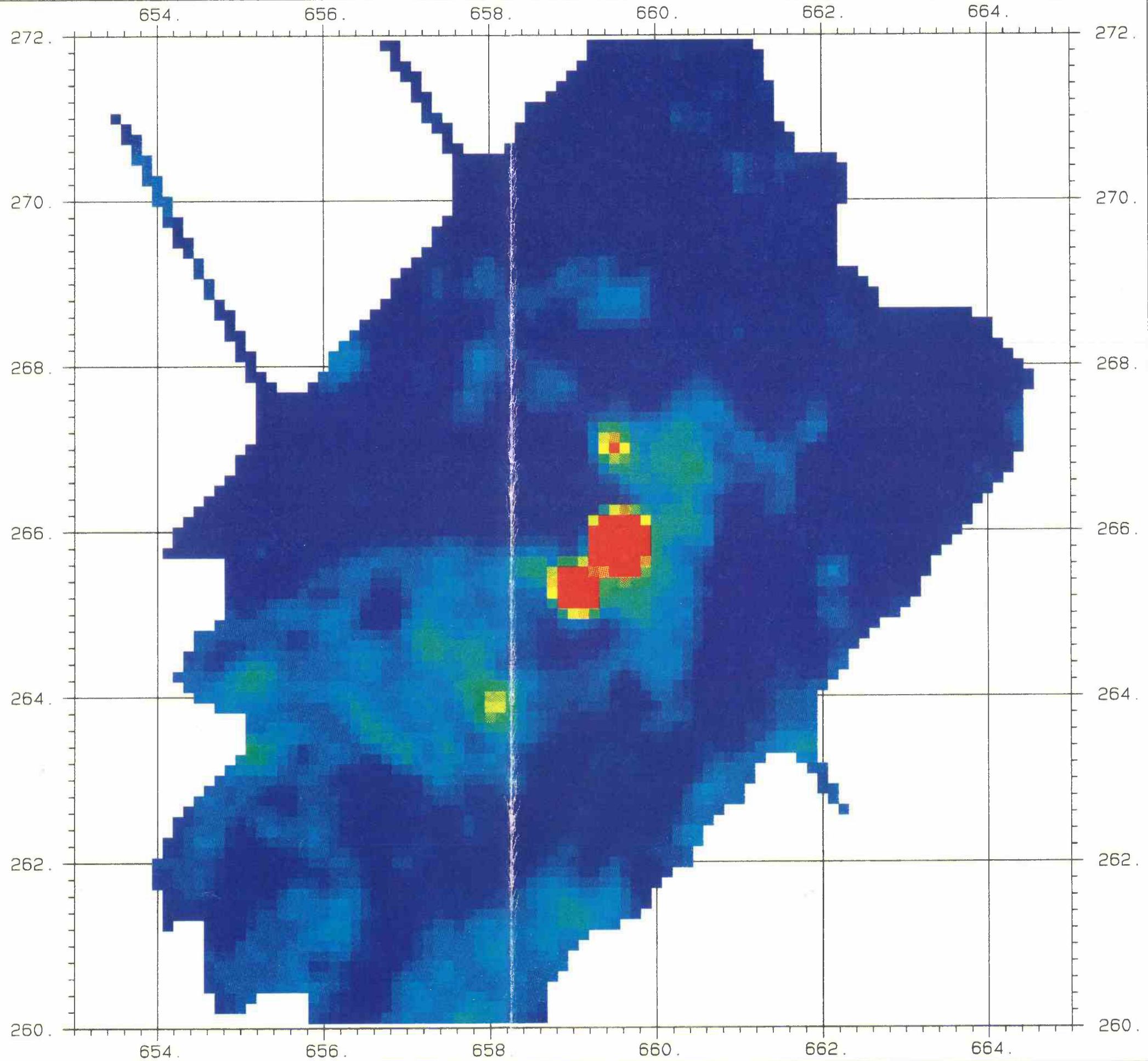
Survey	KKB91
Channel	MMGC-Rati
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	430.4
Std Dev	101.2
Minimum	232.3
Maximum	3082.0

Legend

	Minimum	Maximum
	232.3	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	3082.0



Bellage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich






KKB/PSI

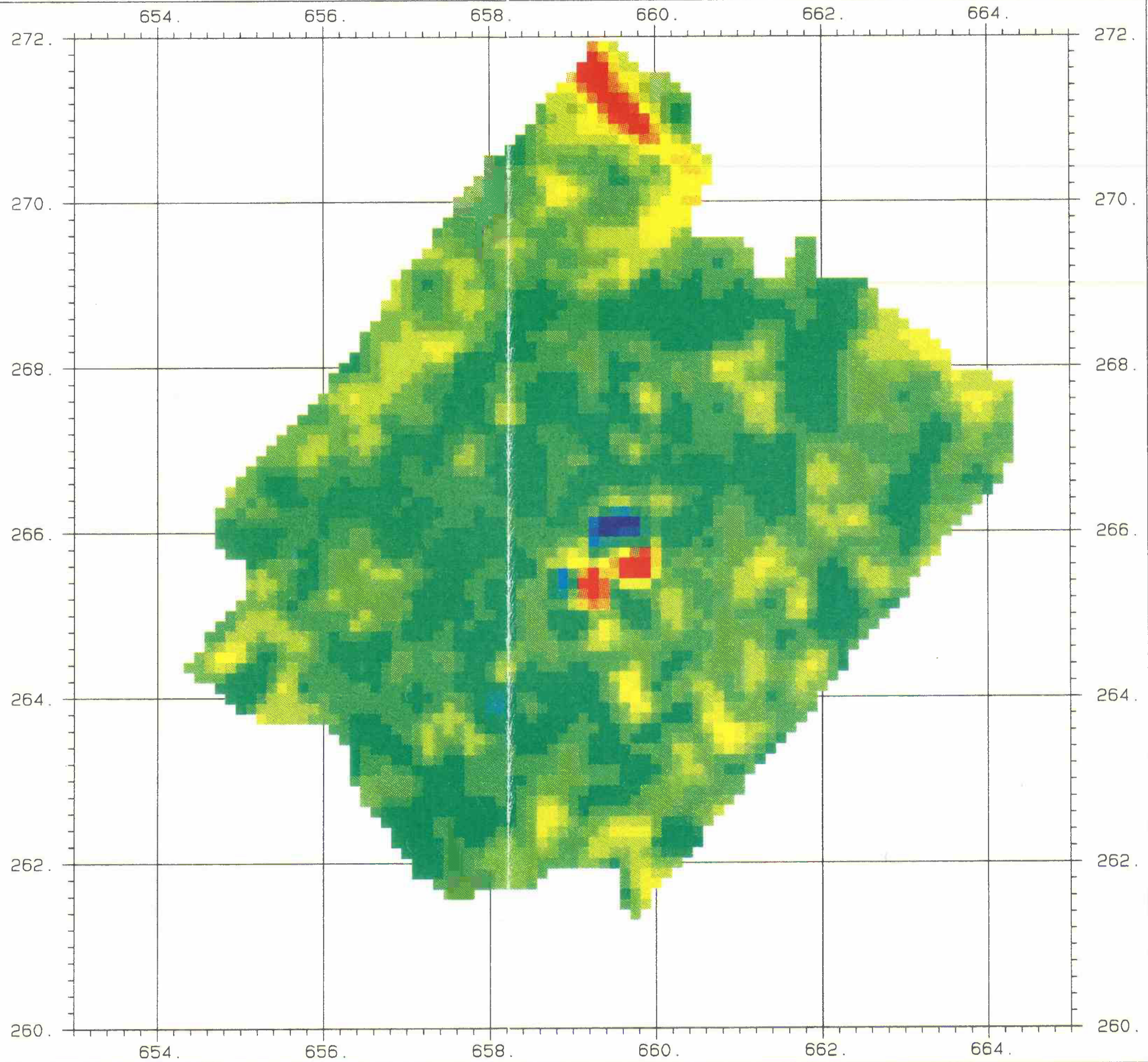
Survey	KKB91
Channel	MMGC-Diff
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

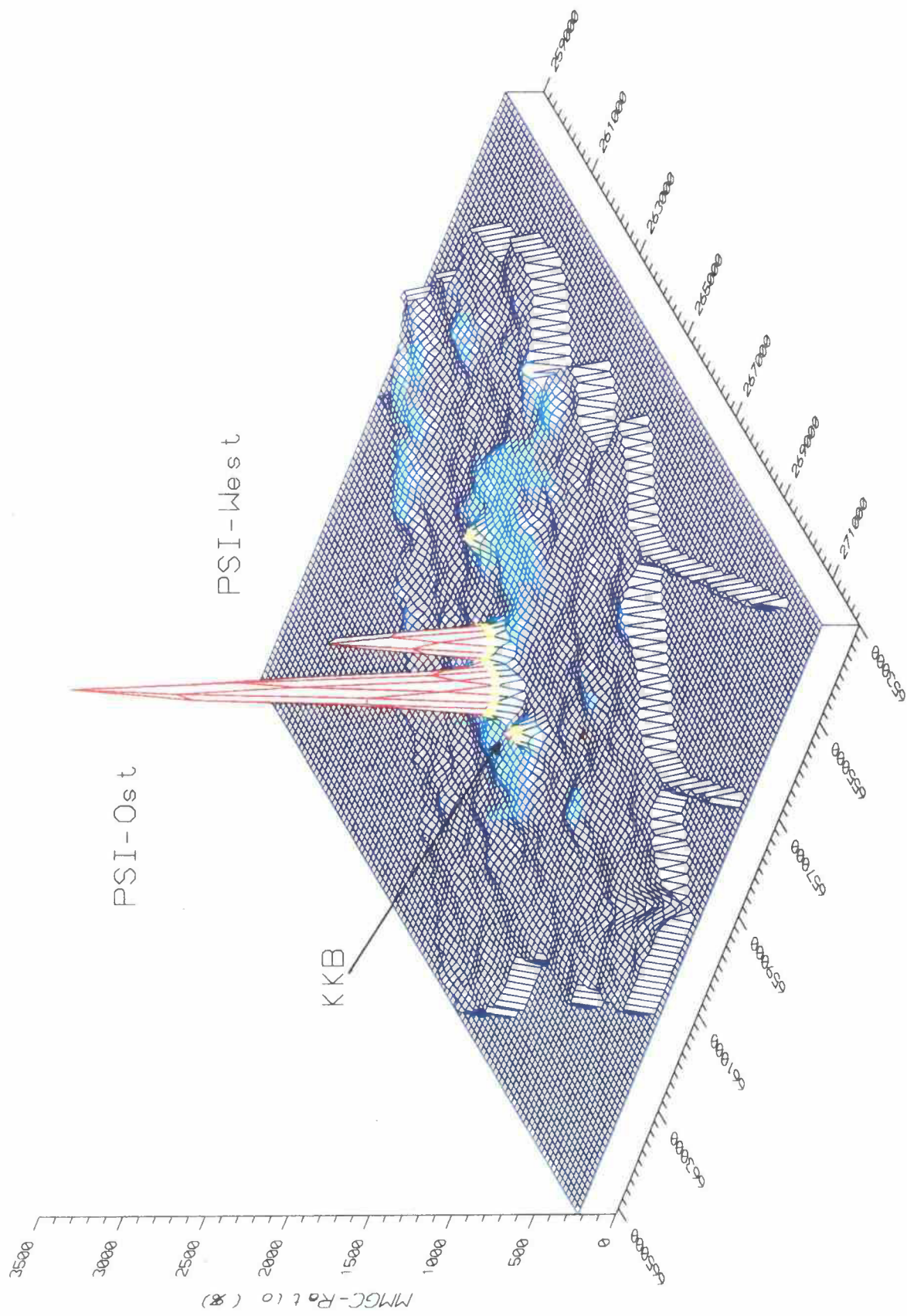
Average	4.6
Std Dev	3.8
Minimum	-35.0
Maximum	34.0

Legend

	Minimum	Maximum
	-35.0	-15.0
	-15.0	-5.0
	-5.0	5.0
	5.0	15.0
	15.0	34.0



Bellage 4: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKB/PSI



Beilage 5: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

SGPK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich






KKB/PSI

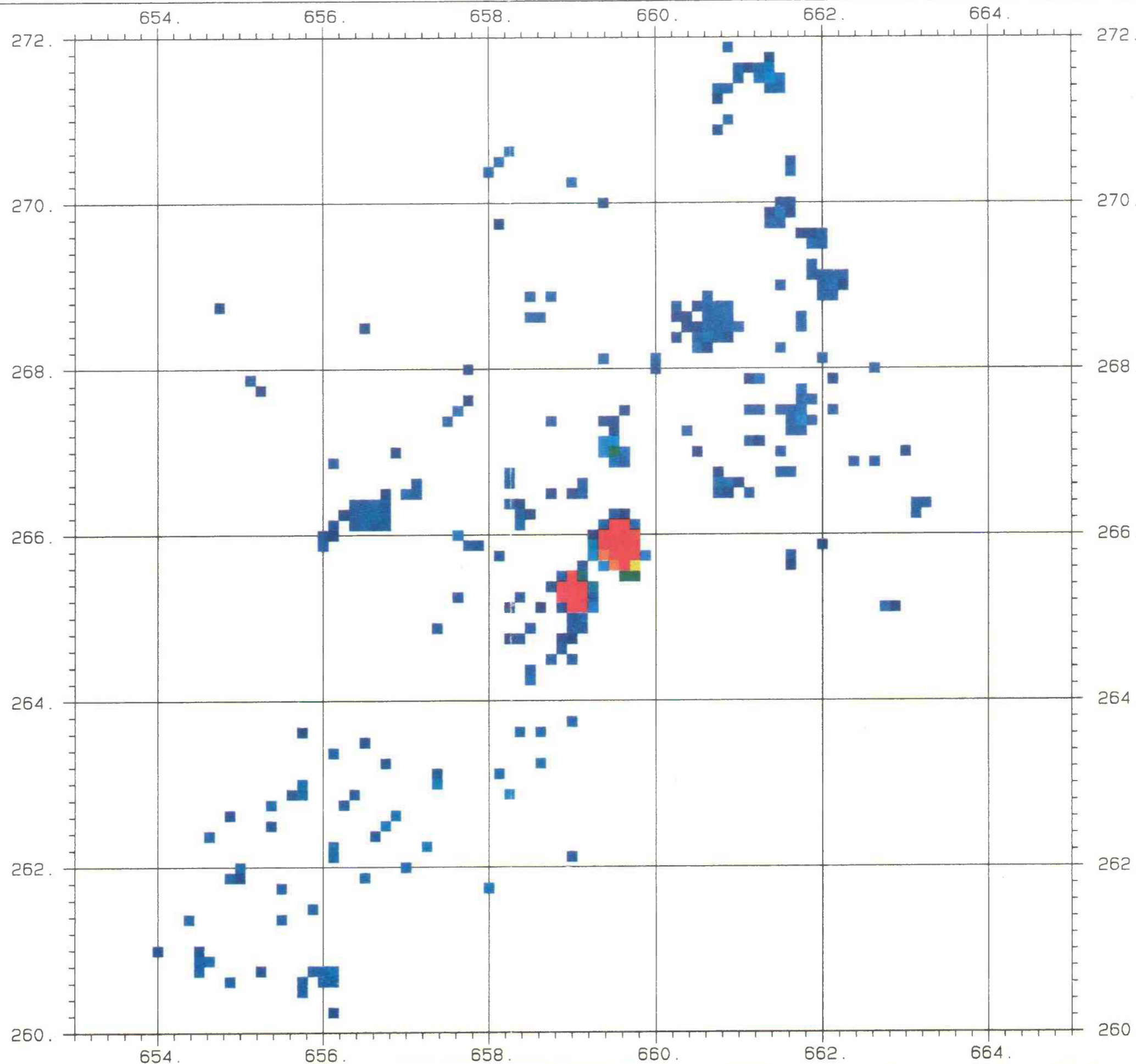
Survey	KKB91
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	36.8
Std Dev	96.1
Minimum	10.1
Maximum	989.7

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	989.7



Beilage 6: Co60-Fenster KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich






KKB/PSI

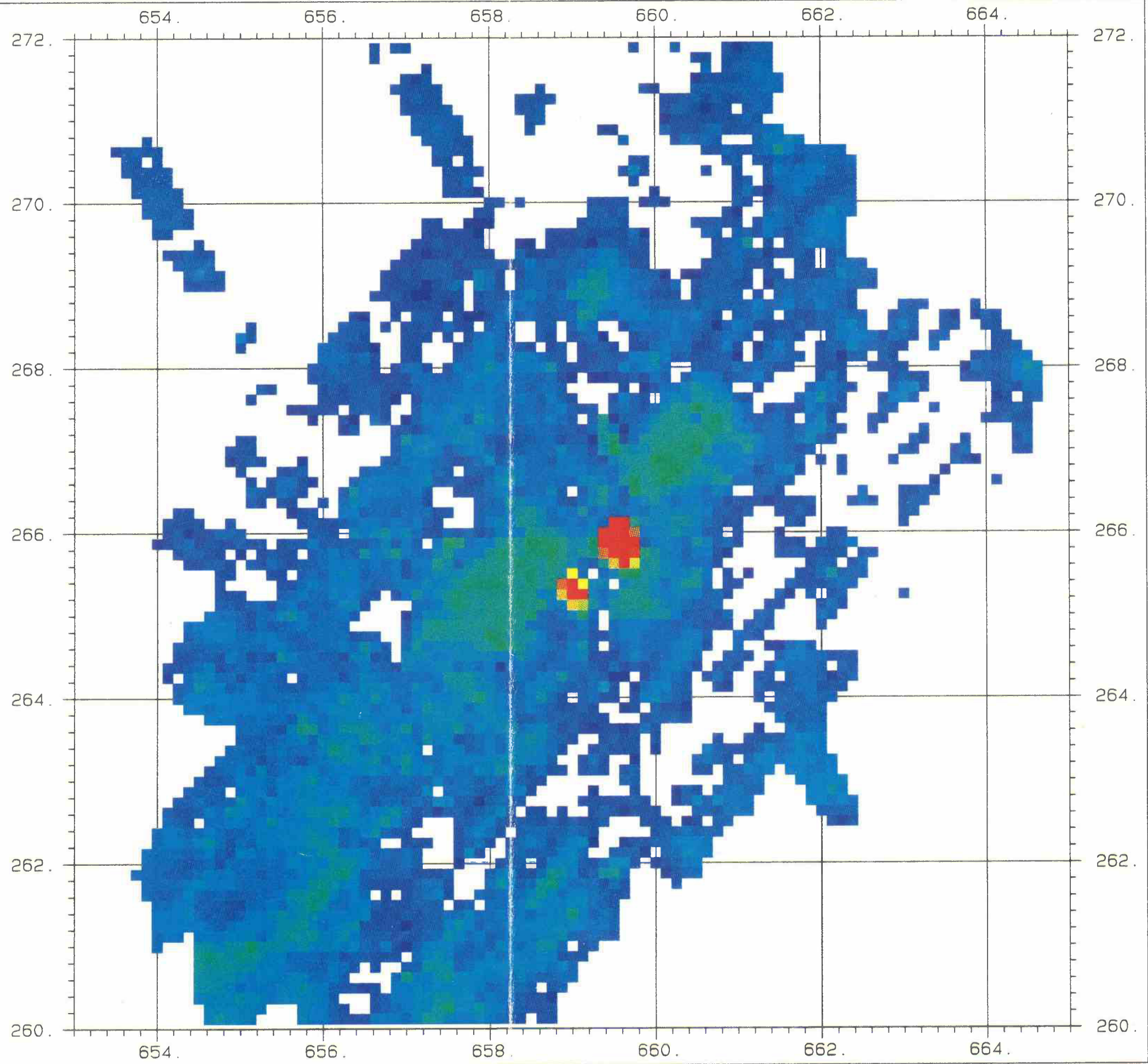
Survey	KKB91
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	22.9
Std Dev	17.2
Minimum	9.8
Maximum	659.4

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	659.4



Bellage 7: Cs137-Fenster KKB/PSI

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKG

Survey

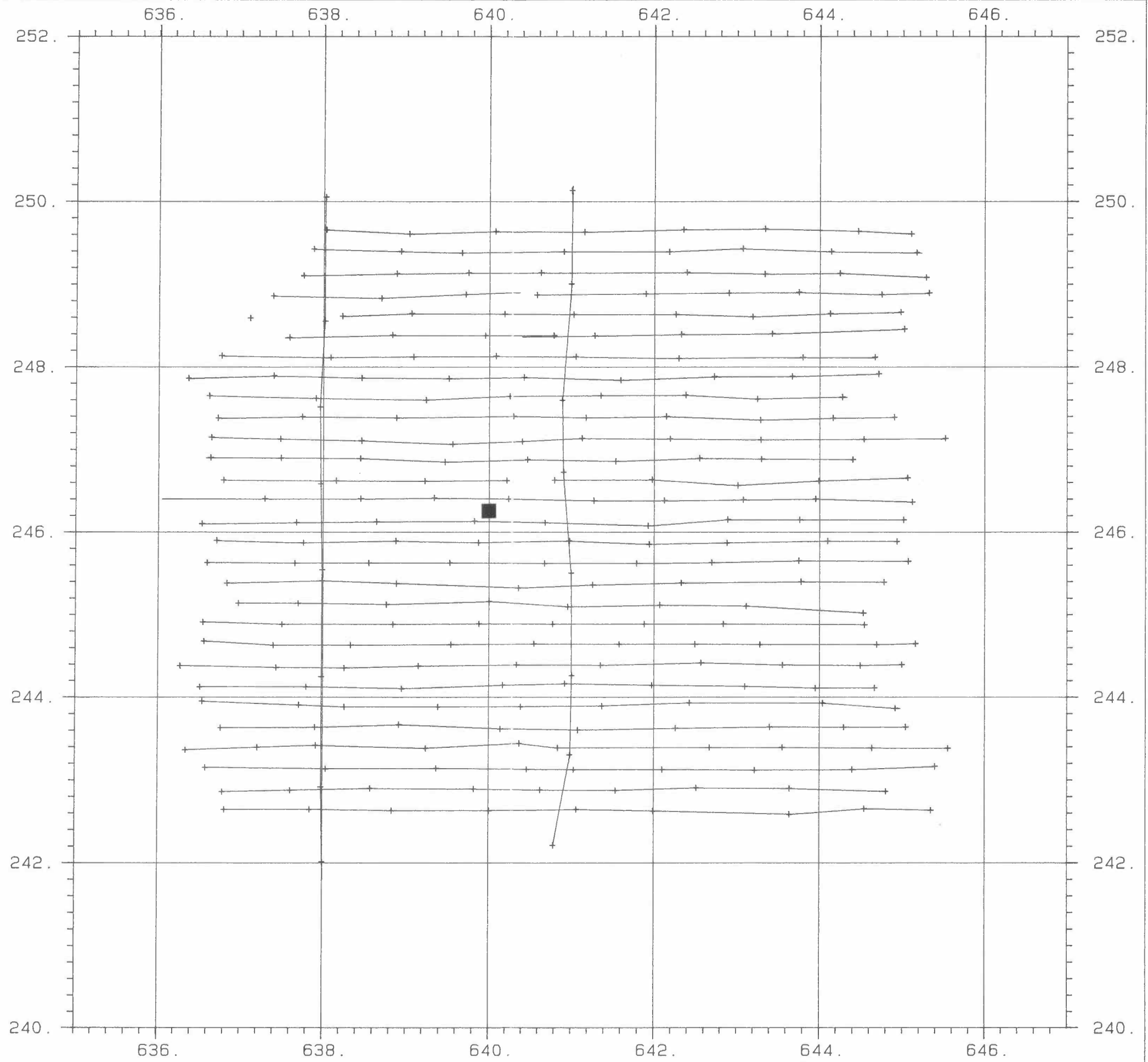
KKG91

Channel

F. Path

Scale

50000.



Beilage 8: Flugwegkarte KKG

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich


KKG

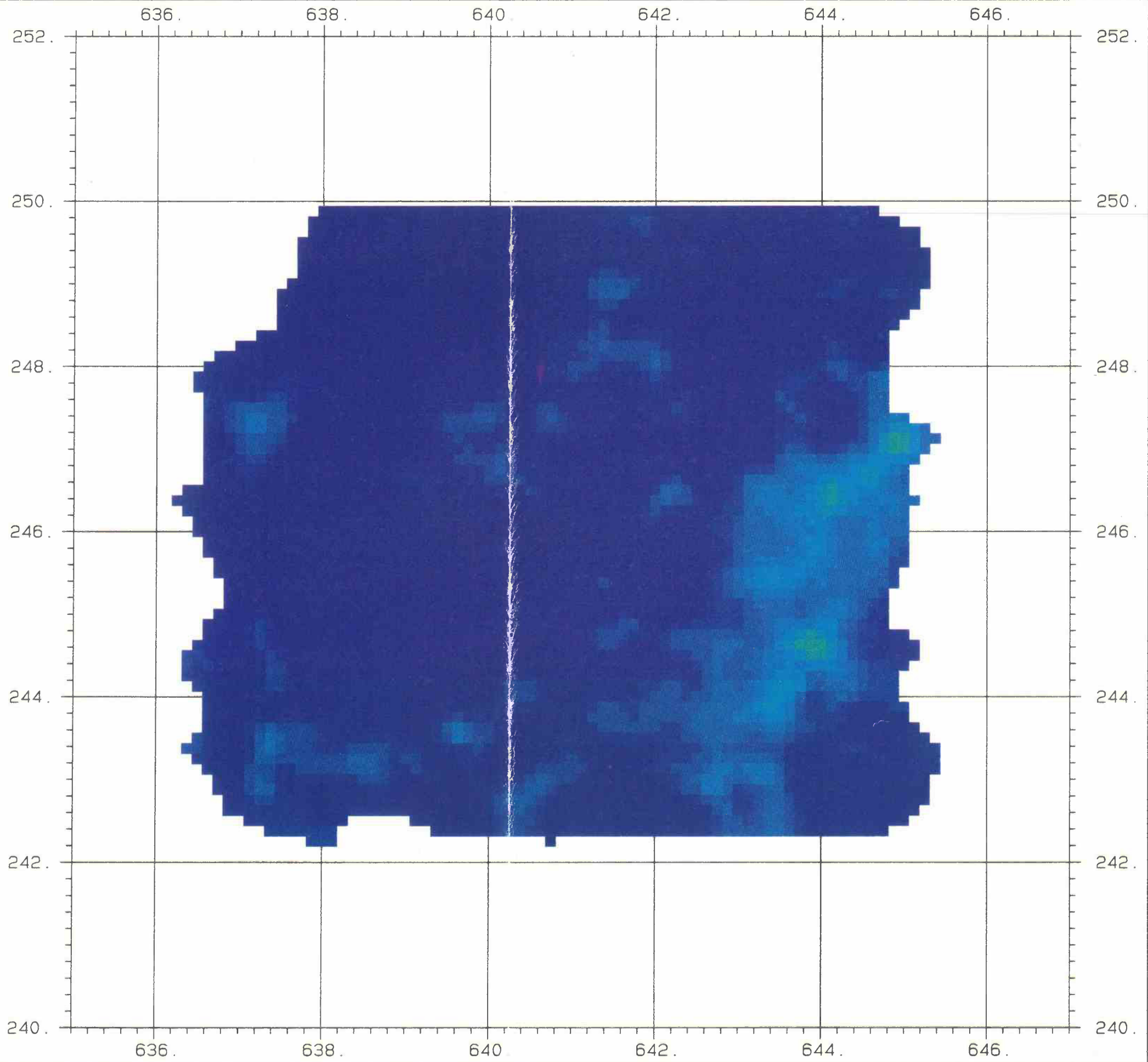
Survey	KKG91
Channel	MMGC-Rati
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	414.2
Std Dev	19.9
Minimum	359.1
Maximum	496.7

Legend

	Minimum	Maximum
	359.1	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	650.0



Bellage 9: MMGC-Ratio KKG

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






KKG

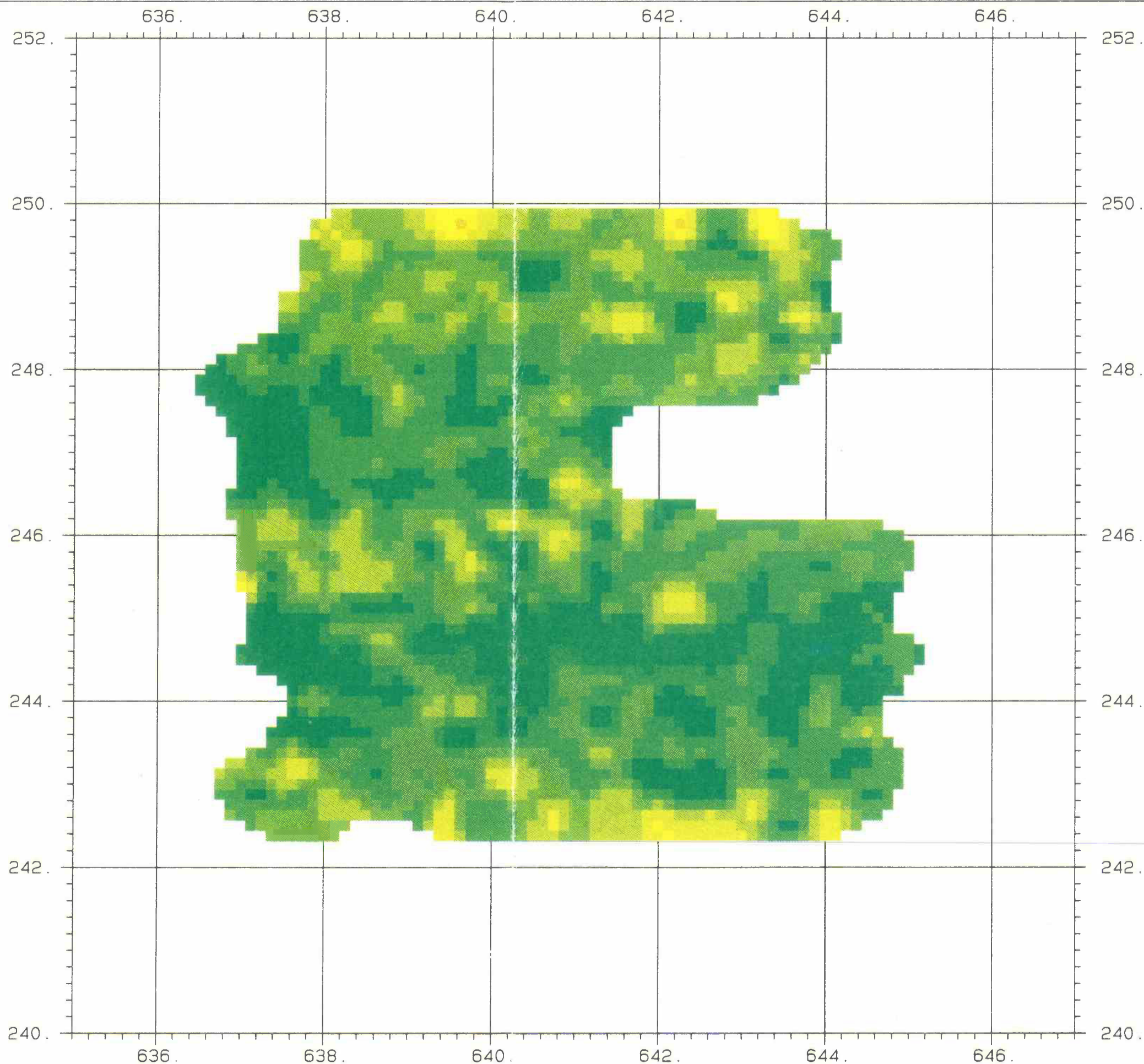
Survey	KKG91
Channel	MMGC-Diff
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

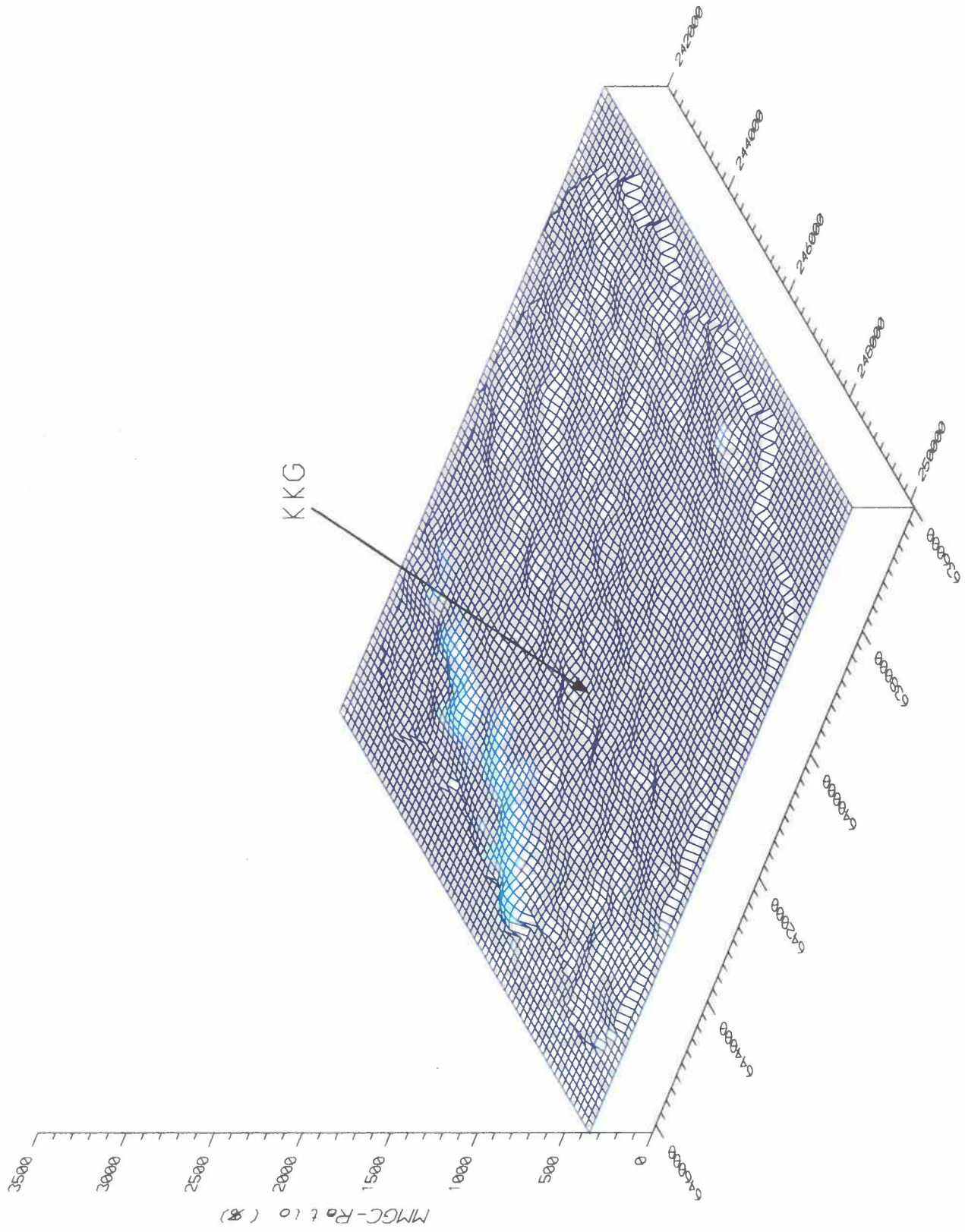
Average	4.6
Std Dev	2.3
Minimum	-4.6
Maximum	13.3

Legend

	Minimum	Maximum
	-25.0	-15.0
	-15.0	-5.0
	-5.0	5.0
	5.0	15.0
	15.0	25.0



Bellage 10: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio KKG



Beilage 11: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

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






KKG

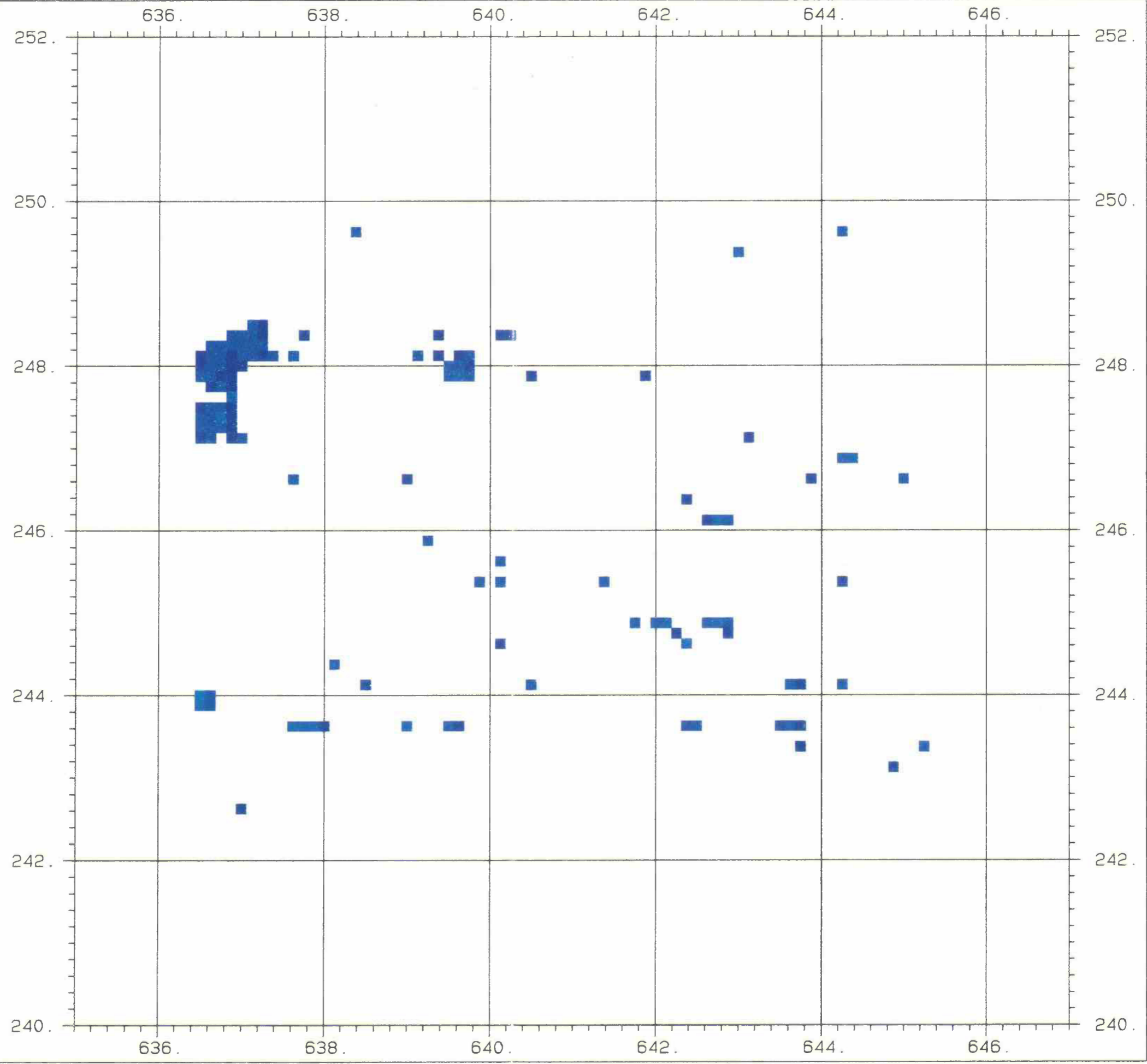
Survey KKG91
Channel Kobalt
Sam Int 125.
Scale 50000.

Parameter

Average 13.1
Std Dev 2.1
Minimum 10.3
Maximum 21.3

Legend

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



Bellage 12: Co60-Fenster KKG

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

KKG

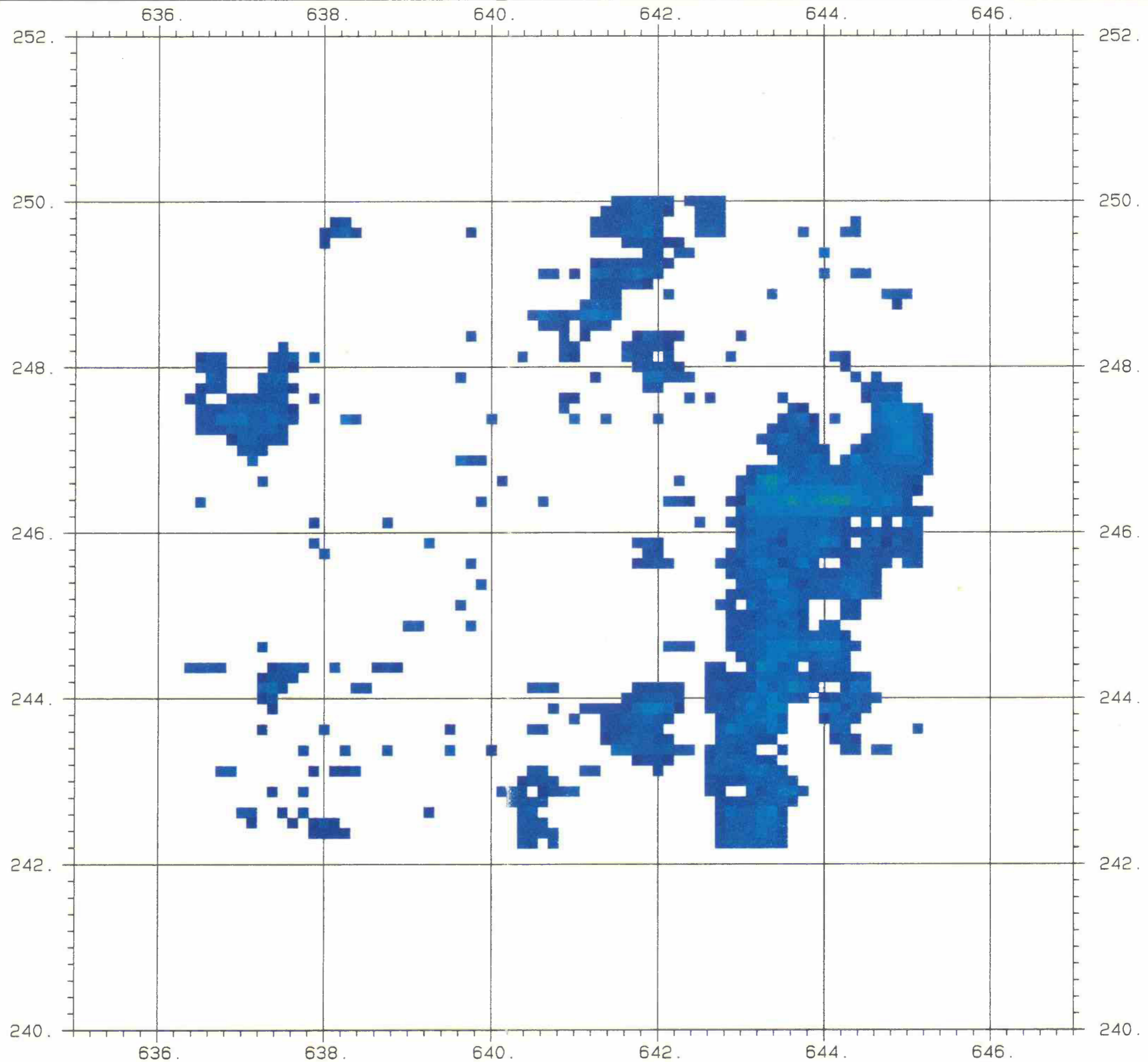
Survey	KKG91
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	16.8
Std Dev	4.4
Minimum	10.2
Maximum	37.0

Legend

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



Bellage 13: Cs137-Fenster KKG

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL

Survey

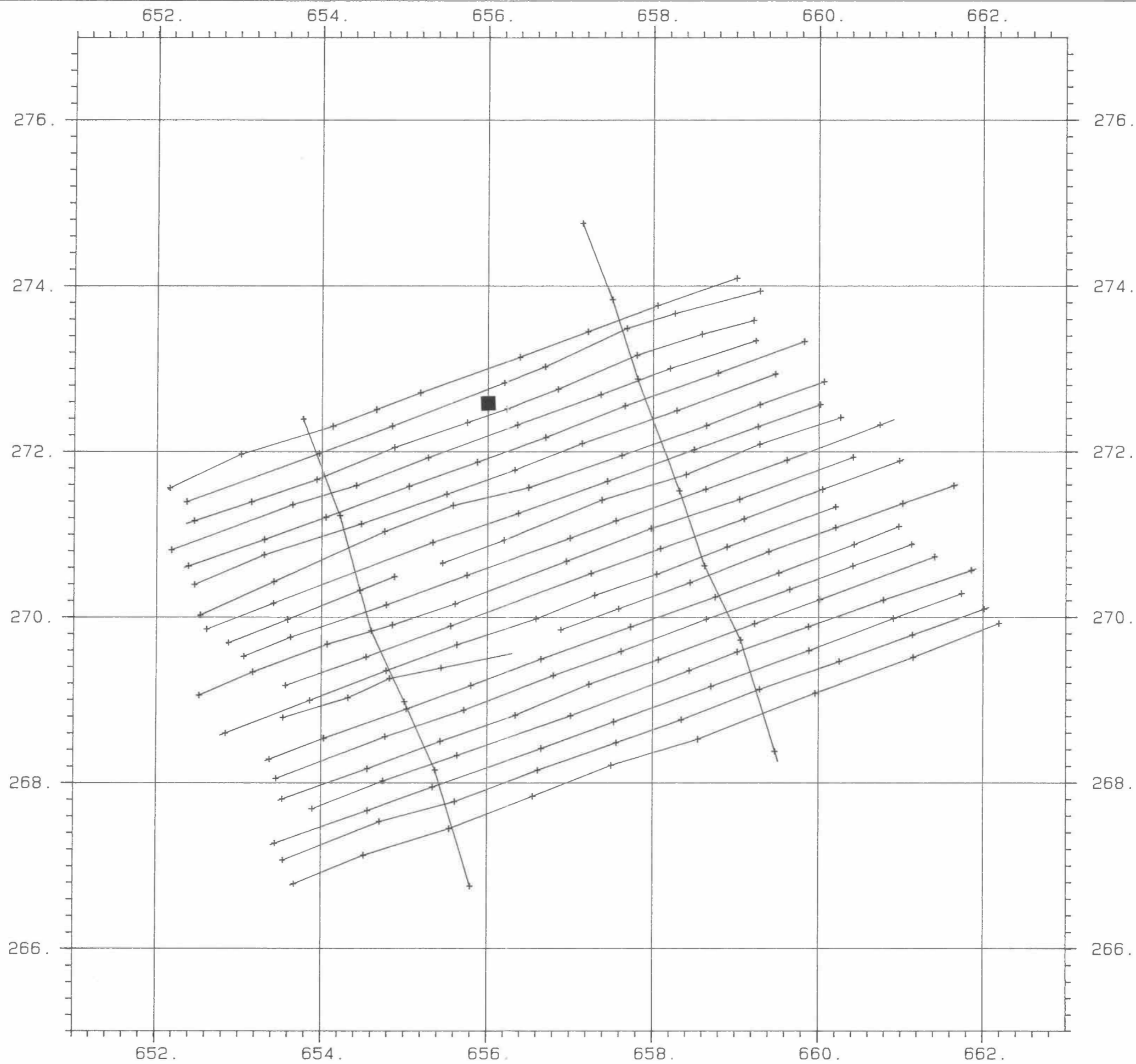
KKL91

Channel

F. Path

Scale

50000.



Beilage 14: Flugwegkarte KKL

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






KKL

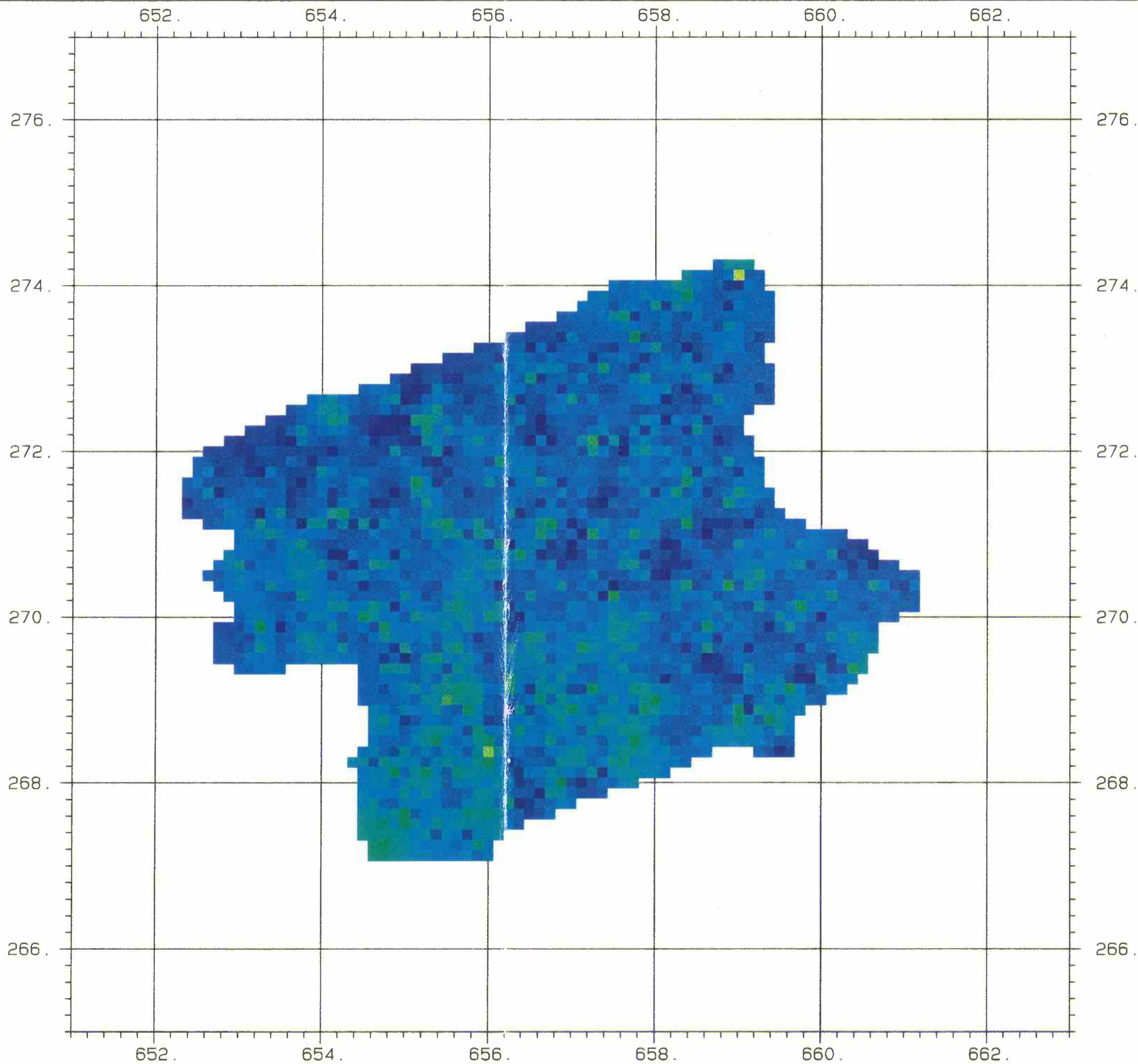
Survey	KKL90
Channel	Cosmic
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	14.7
Std Dev	1.7
Minimum	5.7
Maximum	23.5

Legend

	Minimum	Maximum
	5.7	14.0
	14.0	18.0
	18.0	22.0
	22.0	26.0
	26.0	30.0



Bellage 15: Kosmisches Fenster KKL 1990

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






KKL

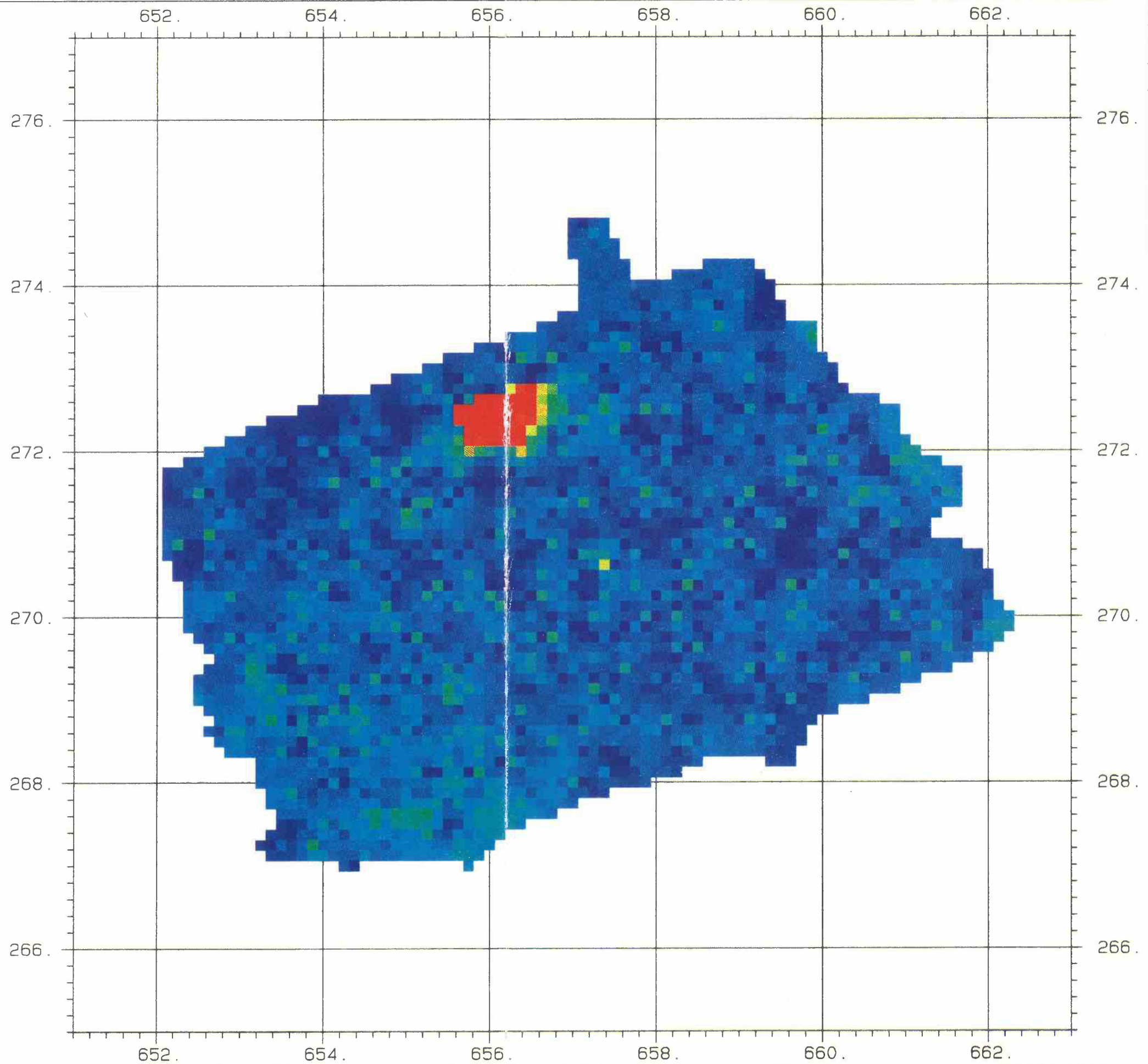
Survey	KKL91
Channel	Cosmic
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	20.7
Std Dev	124.3
Minimum	7.4
Maximum	5011.7

Legend

	Minimum	Maximum
	7.4	14.0
	14.0	18.0
	18.0	22.0
	22.0	26.0
	26.0	5011.7



Beilage 16: Kosmisches Fenster KKL 1991

SG
PK

I. Geophysik
 ETH-Zuerich
 Hoenggerberg
 8093-Zuerich

KKL

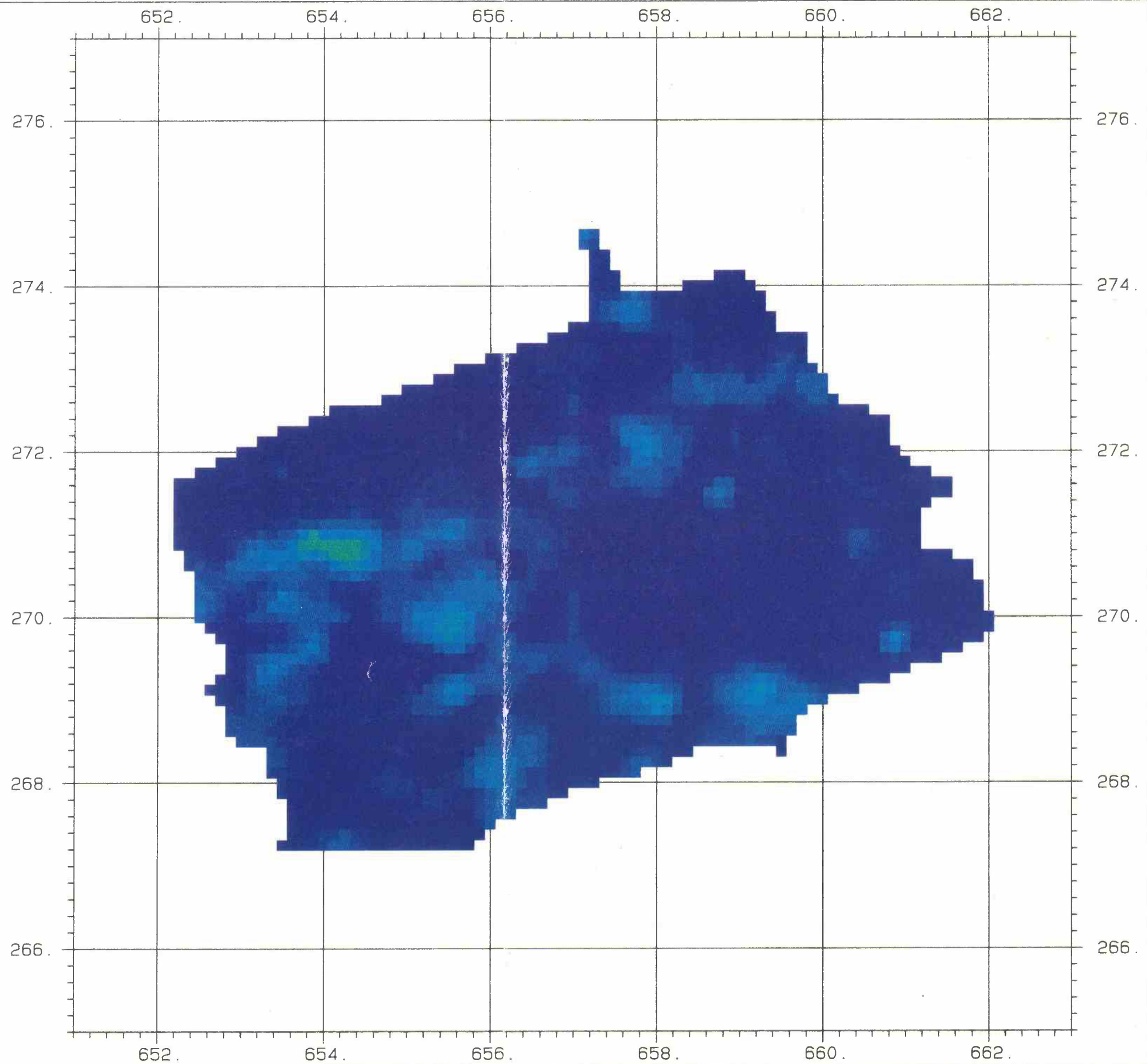
Survey	KKL91
Channel	MMGC-Rat
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	417.0
Std Dev	22.3
Minimum	255.5
Maximum	505.0

Legend

	Minimum	Maximum
	255.5	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	650.0








Beilage 17: MMGC-Ratio KKL

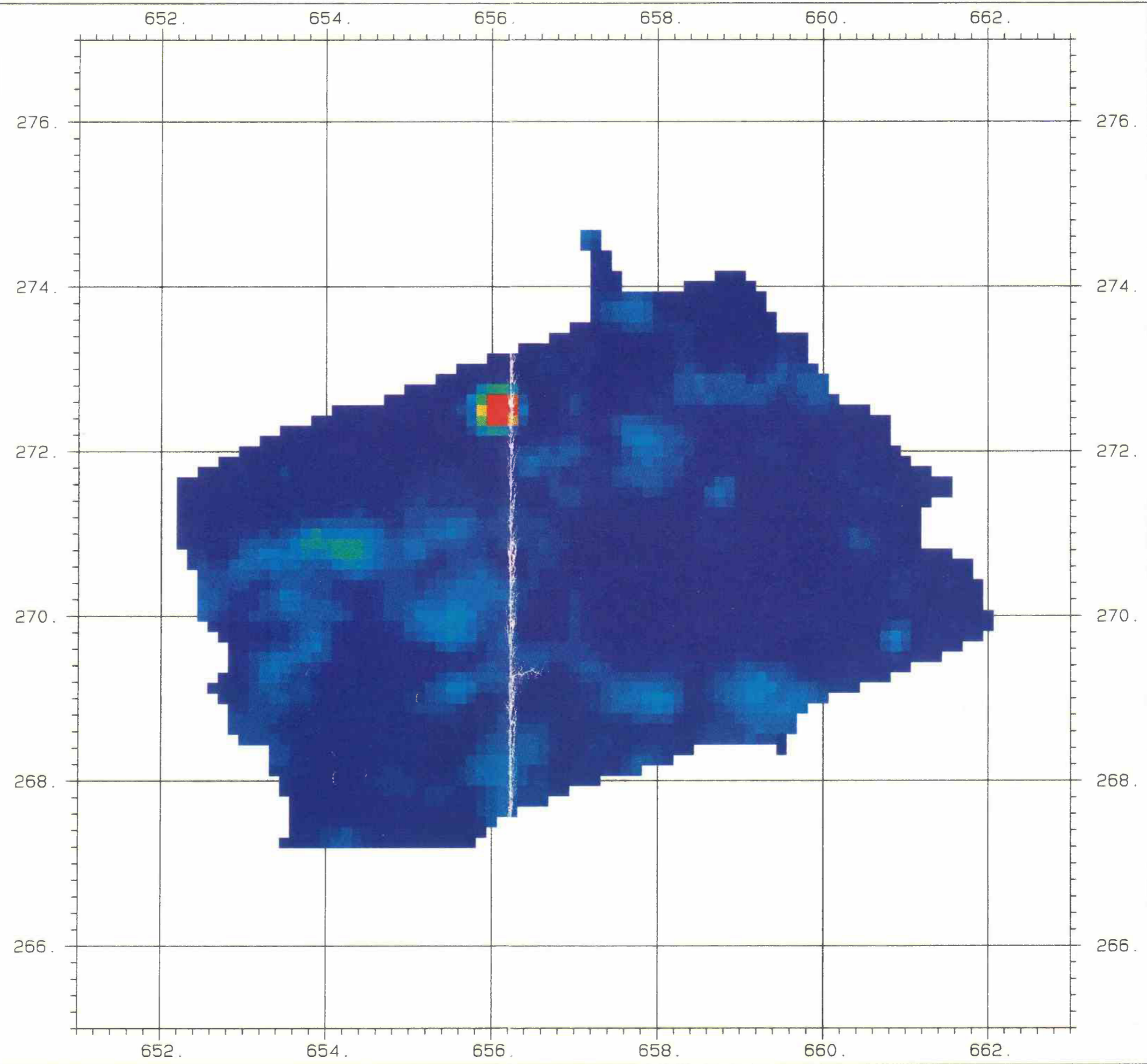
SG
PK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL
Survey KKL91
Channel MMGC-Mod
Sam Int 125.
Scale 50000.

Parameter
Average 419.0
Std Dev 27.9
Minimum 332.0
Maximum 886.7

Legend

	Minimum	Maximum
	332.0	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	886.7



Beilage 18: MMGC-Ratio modifiziert KKL

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






KKL

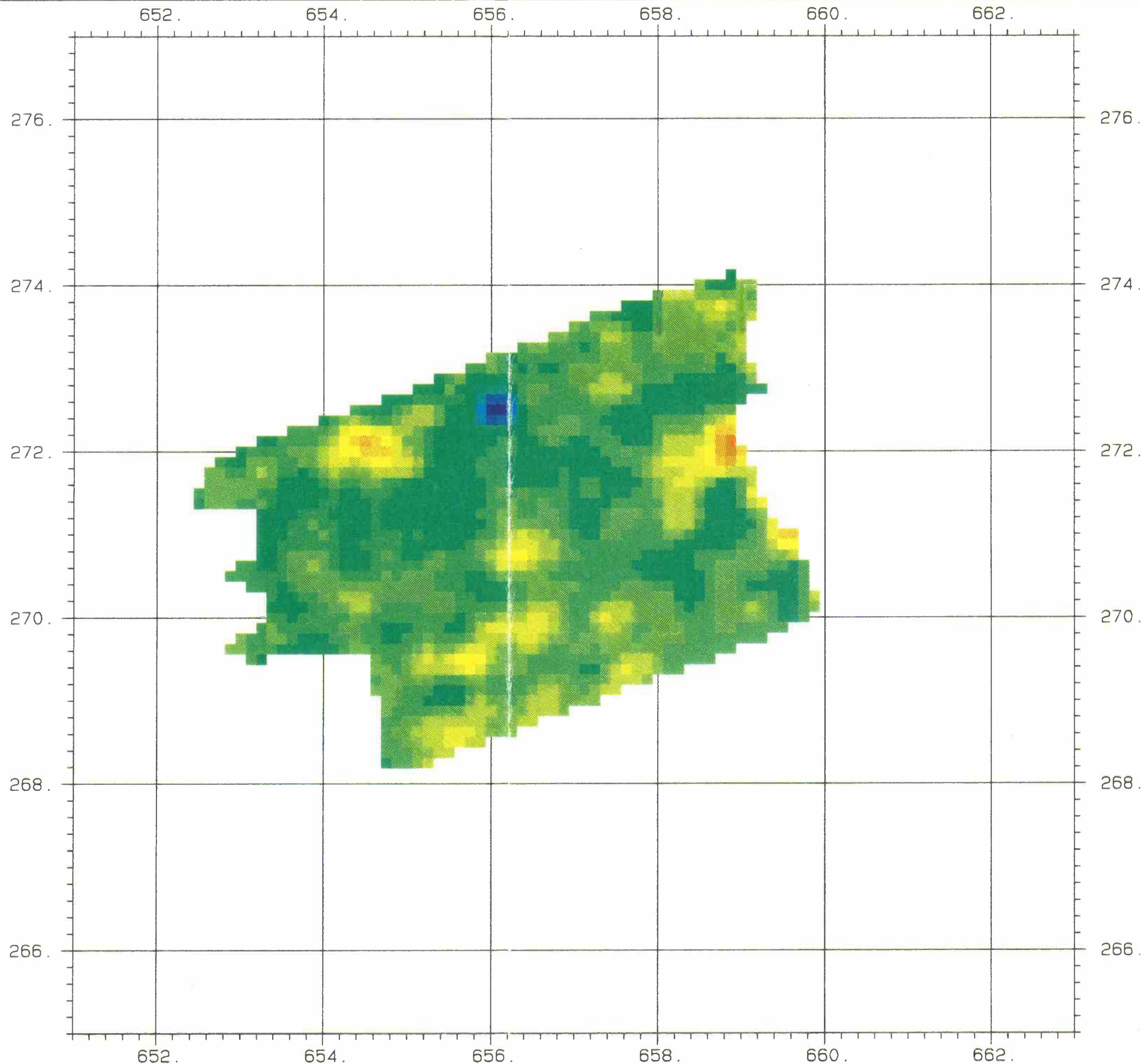
Survey	KKL91
Channel	MMGC-Diff
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

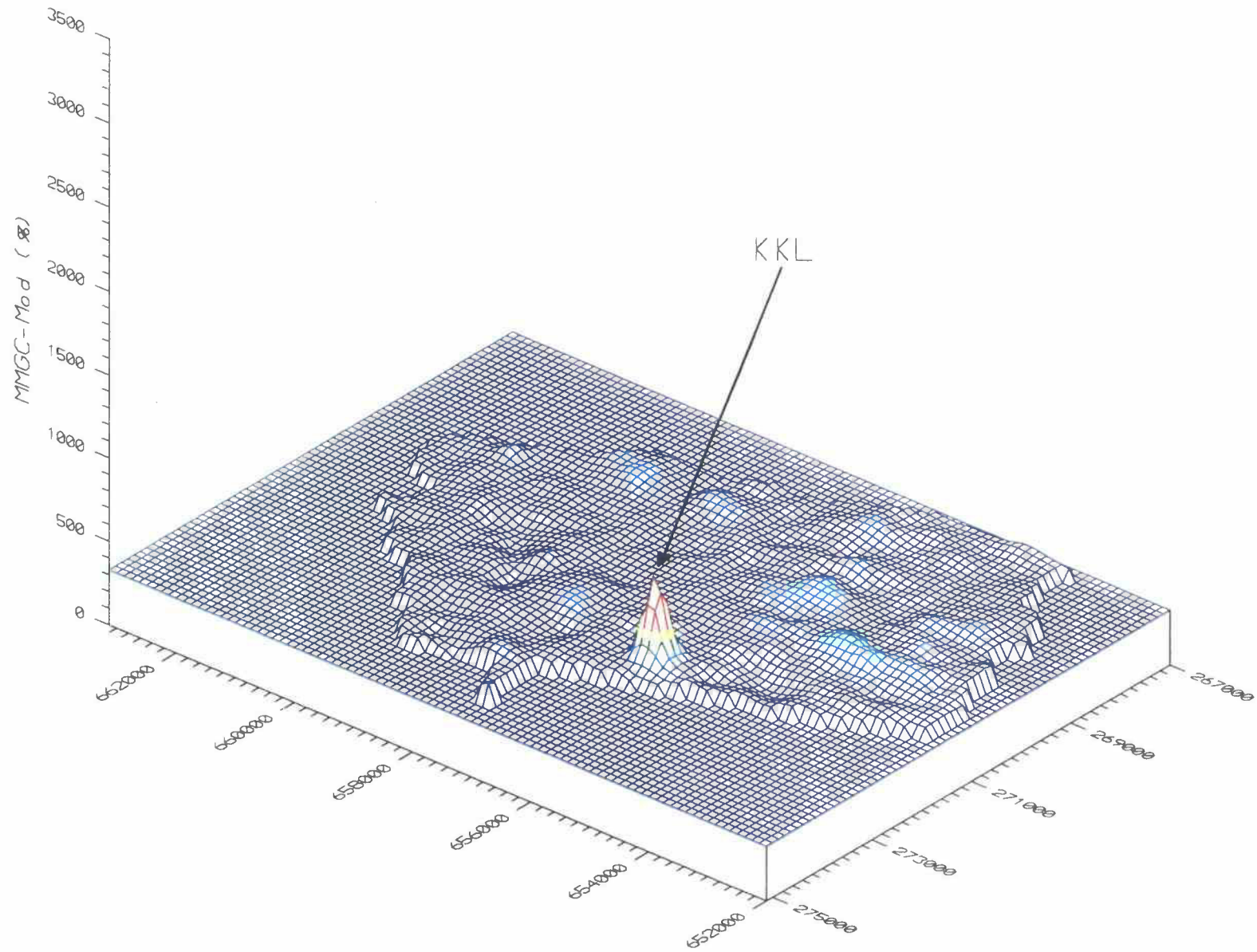
Average	4.6
Std Dev	3.2
Minimum	-25.7
Maximum	17.7

Legend

	Minimum	Maximum
	-25.7	-15.0
	-15.0	-5.0
	-5.0	5.0
	5.0	15.0
	15.0	25.0



Bellage 19: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKL



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

SG
PK

I. Geophysik
 ETH-Zuerich
 Hoenggerberg
 8093-Zuerich






KKL

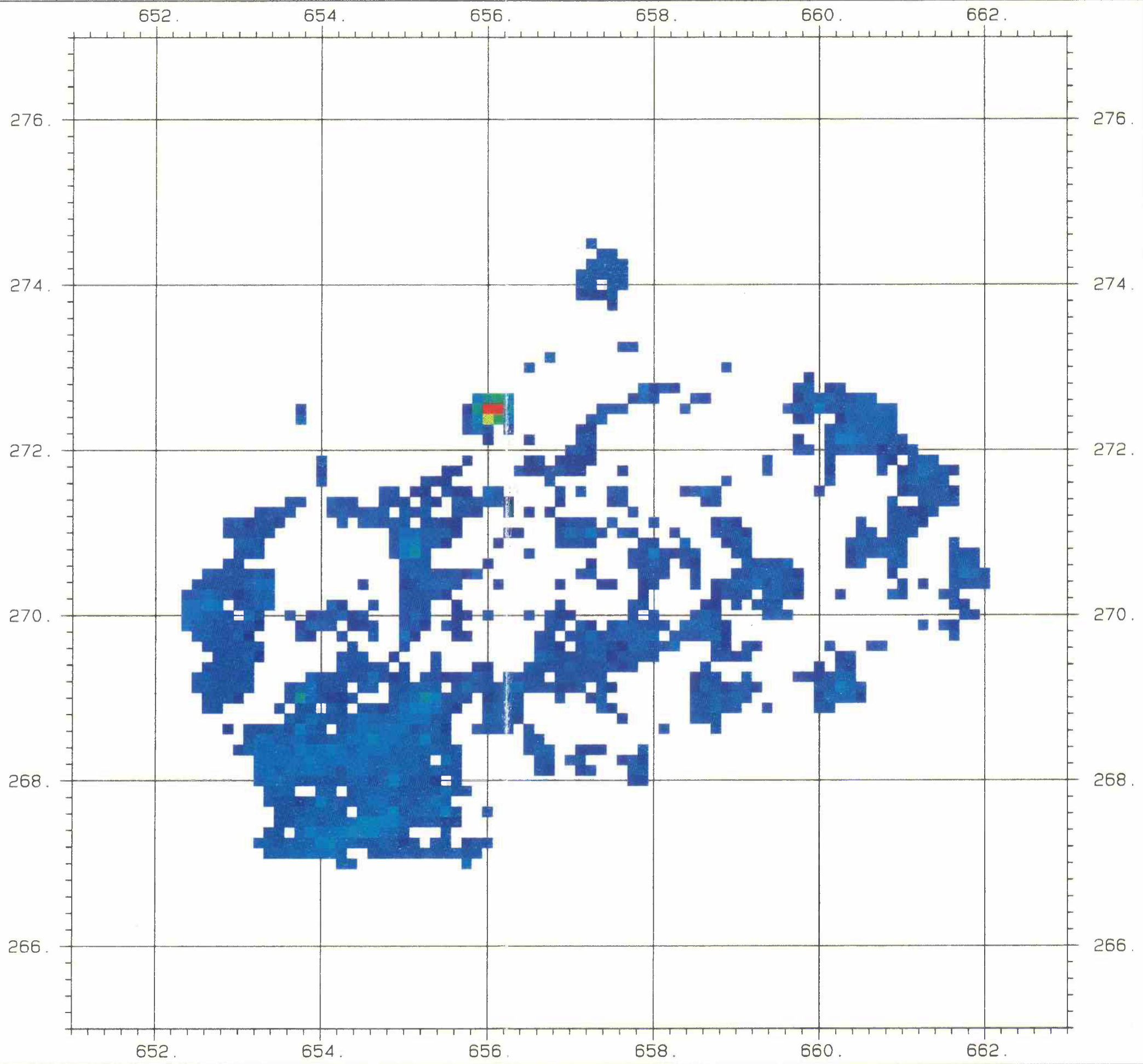
Survey	KKL91
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	15.8
Std Dev	5.7
Minimum	9.7
Maximum	99.4

Legend

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








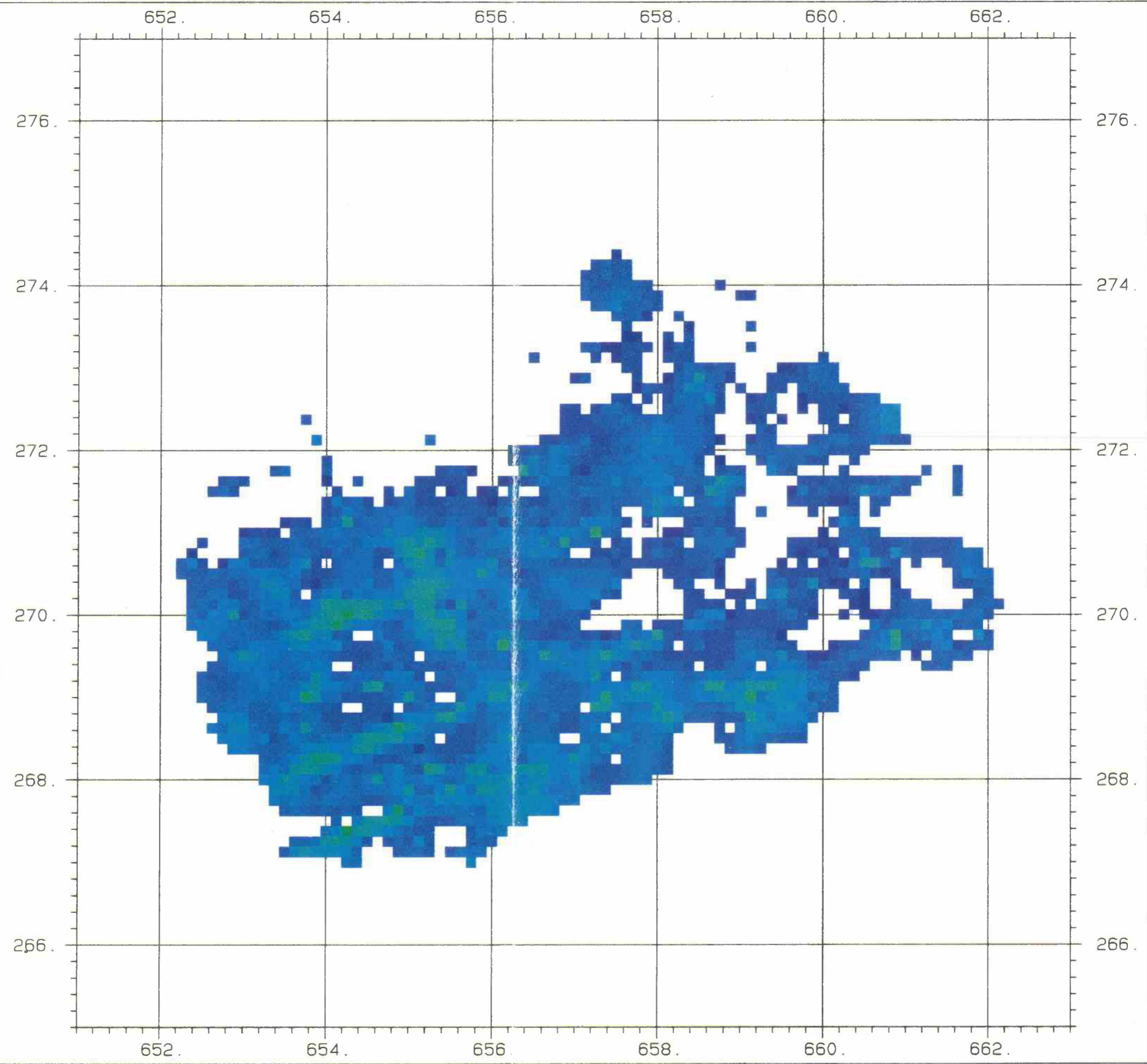
Beilage 21: Co60-Fenster KKL

SGPK I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKL
Survey KKL91
Channel Caesium
Sam Int 125.
Scale 50000.

Parameter
Average 21.0
Std Dev 6.4
Minimum 9.8
Maximum 49.6

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



Bellage 22: Cs137-Fenster KKL

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM91

Survey

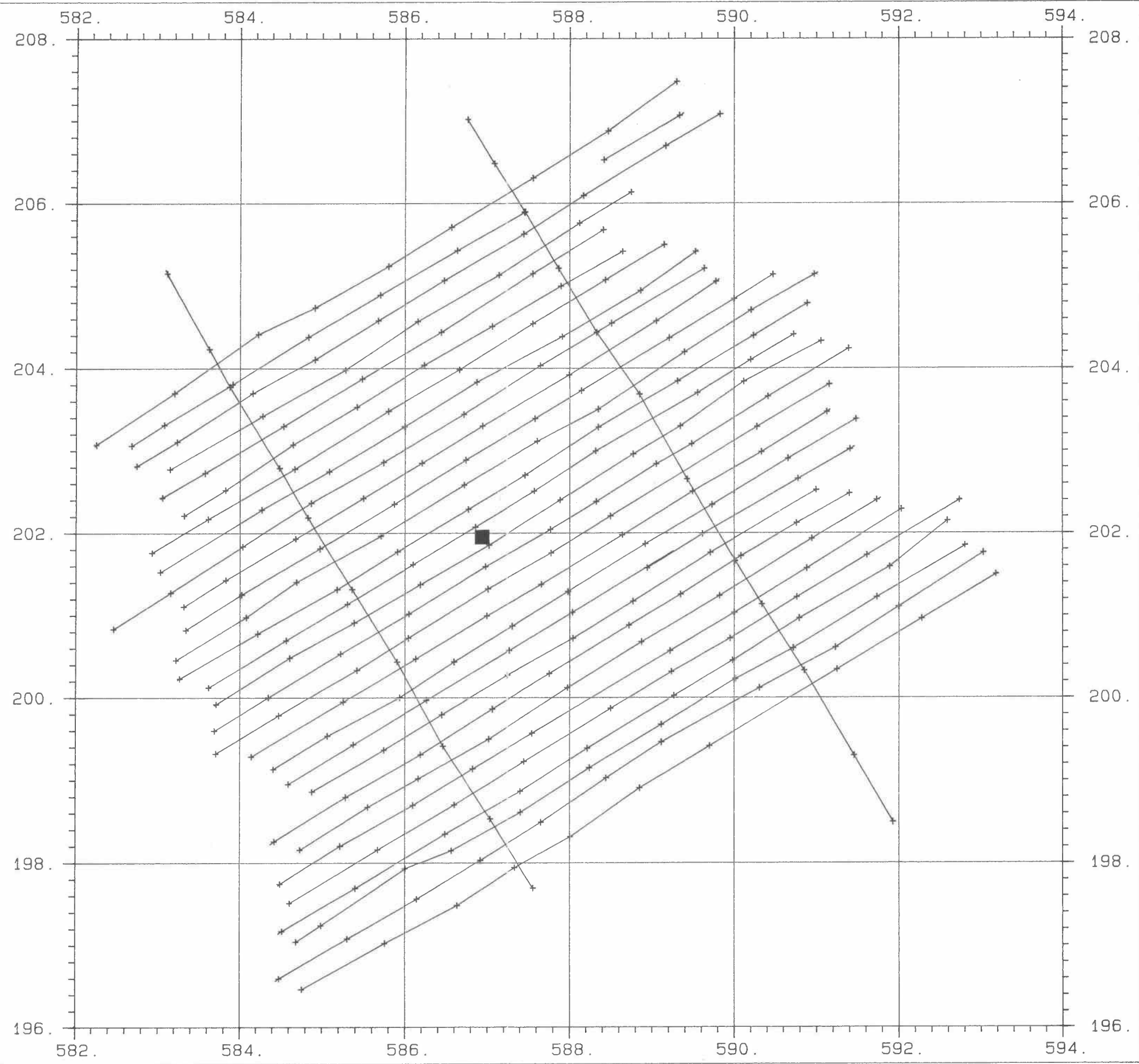
KKM91

Channel

F. Path

Scale

50000.



Beilage 23: Flugwegkarte KKM

SG
PK

I. Geophysik
 ETH-Zuerich
 Hoenggerberg
 8093-Zuerich






KKM91

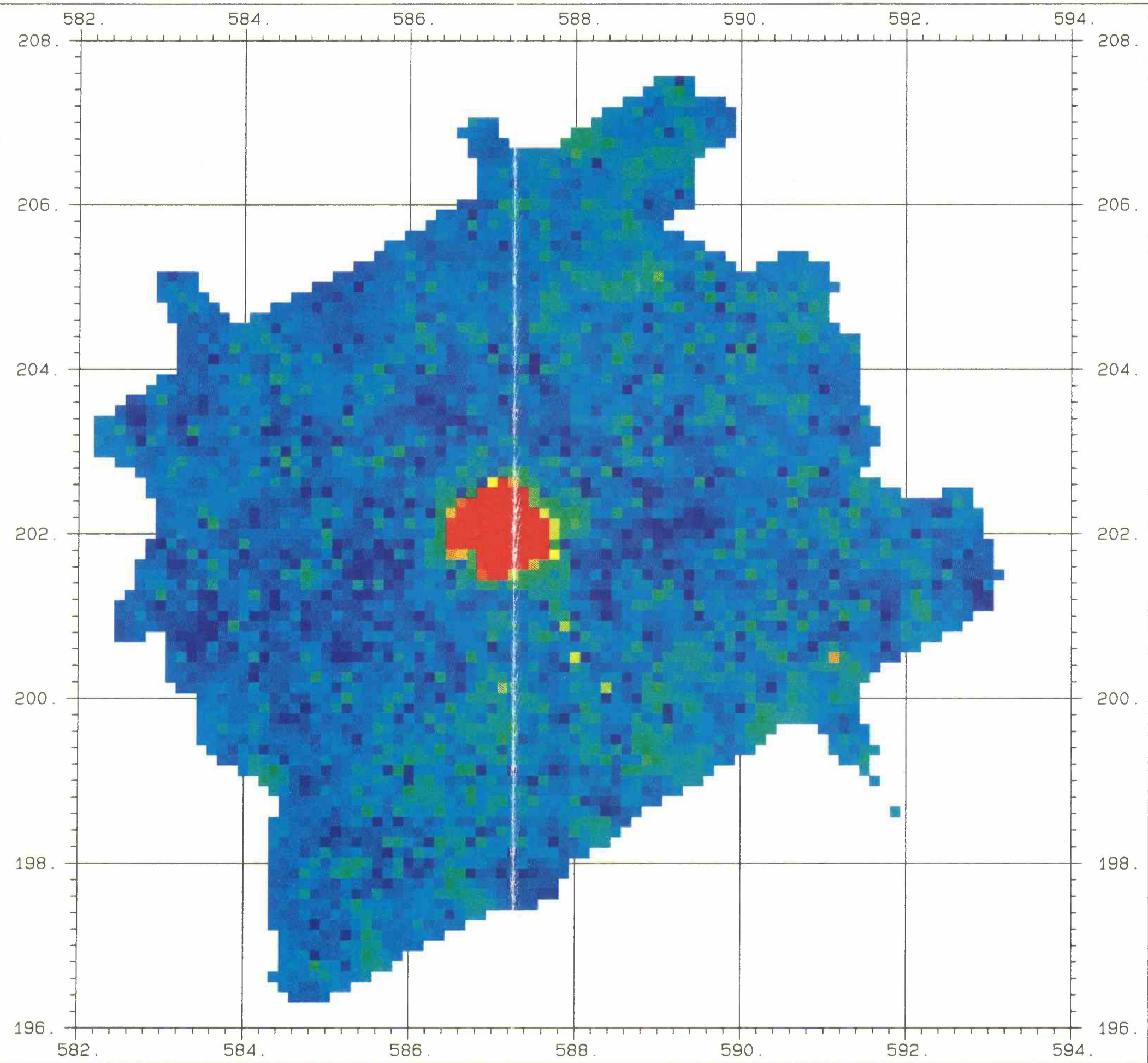
Survey	KKM91
Channel	Cosmic
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	20.0
Std Dev	90.2
Minimum	7.4
Maximum	4090.5

Legend

	Minimum	Maximum
	7.4	14.0
	14.0	18.0
	18.0	22.0
	22.0	26.0
	26.0	4090.5



Bellage 24: Kosmisches Fenster KKM 1991

SG
PK

I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM91

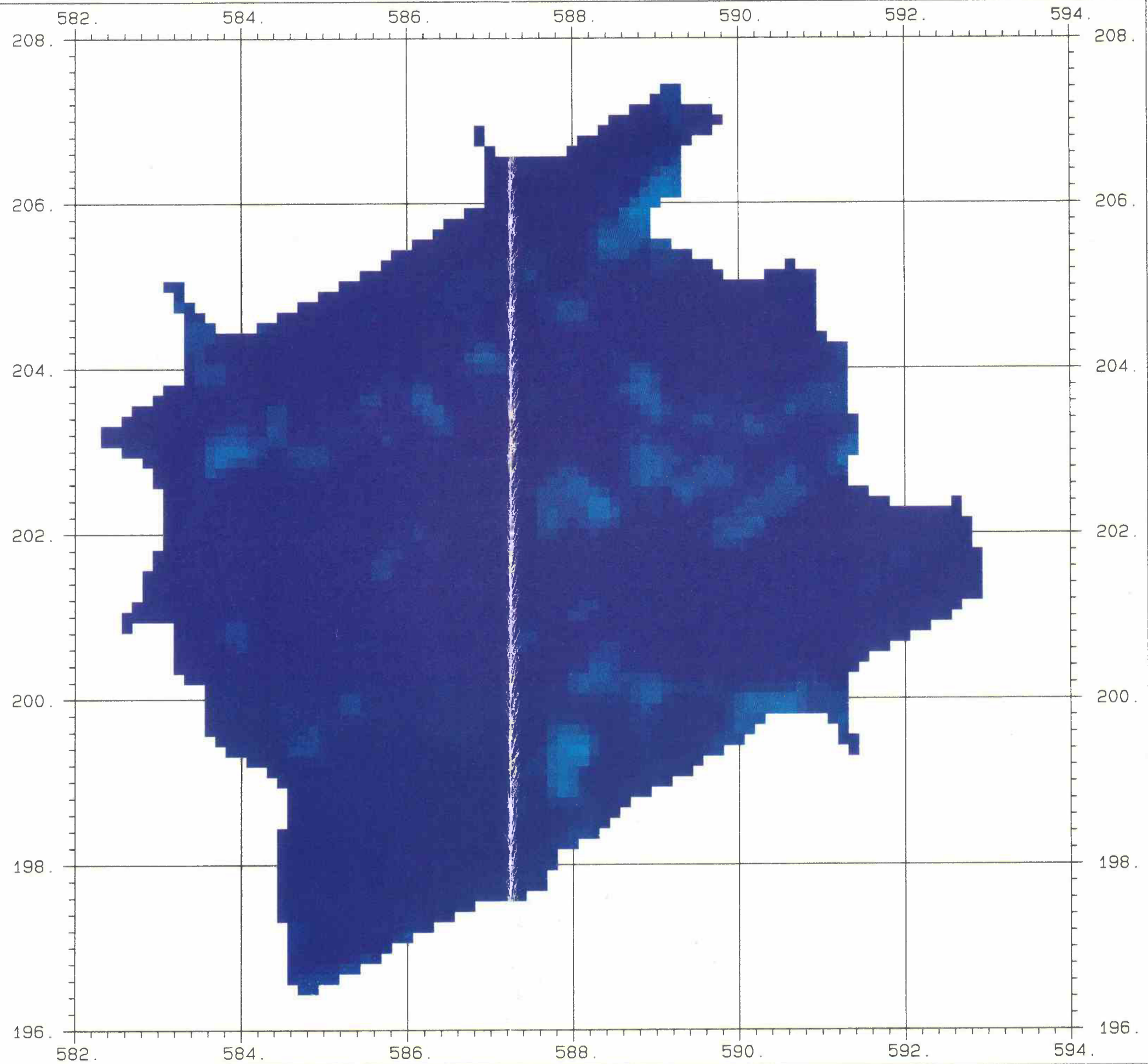
Survey	KKM91
Channel	MMGC-Rat
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	409.0
Std Dev	17.6
Minimum	274.1
Maximum	468.2

Legend

	Minimum	Maximum
	274.1	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	650.0



Bellage 25: MMGC-Ratio KKM

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

KKM91

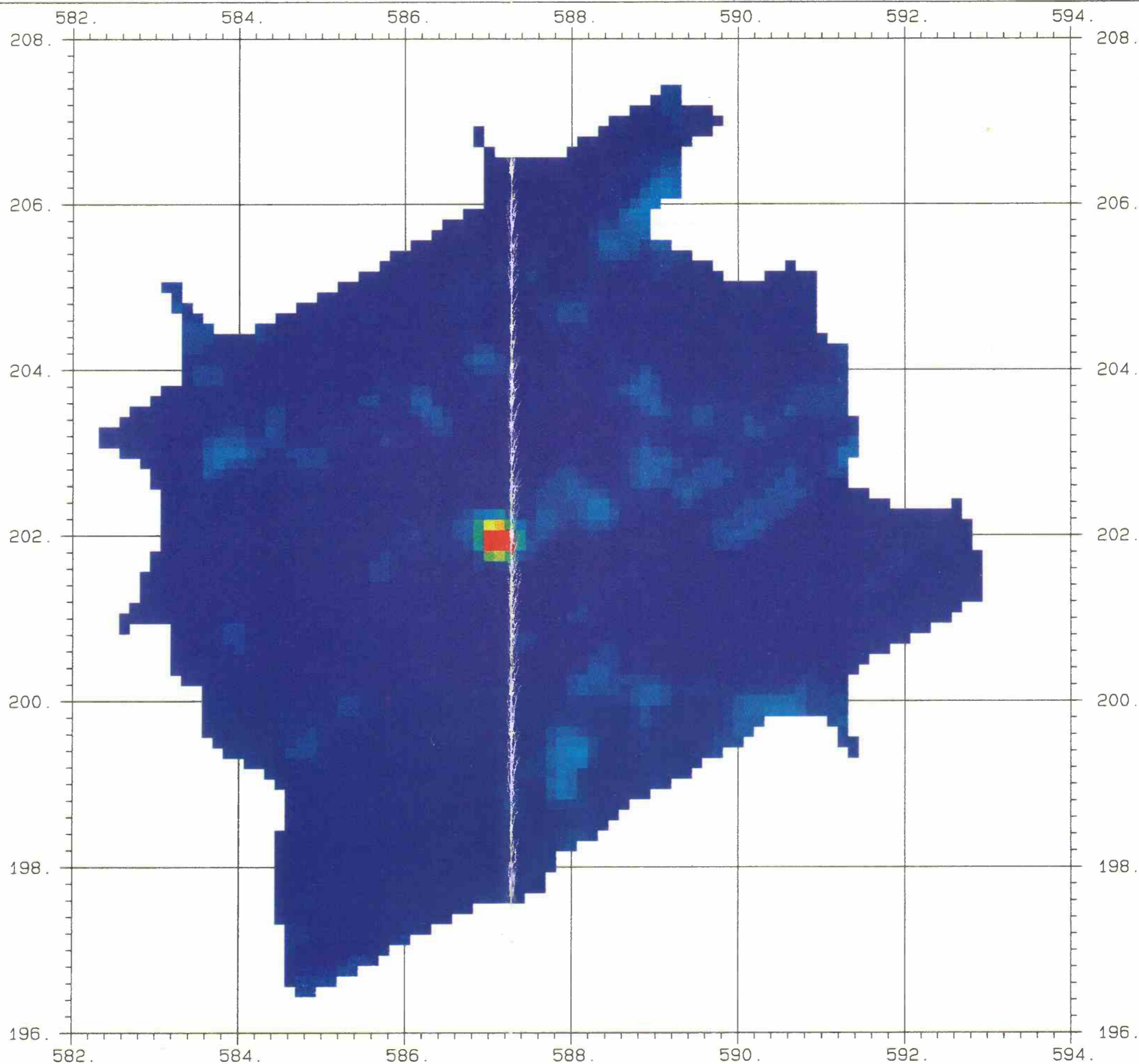
Survey	KKM91
Channel	MMGC-Mod
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	410.7
Std Dev	20.8
Minimum	307.3
Maximum	773.1

Legend

	Minimum	Maximum
	307.3	450.0
	450.0	500.0
	500.0	550.0
	550.0	600.0
	600.0	773.1



Bellage 26: MMGC-Ratio modifiziert KKM




SG
PK

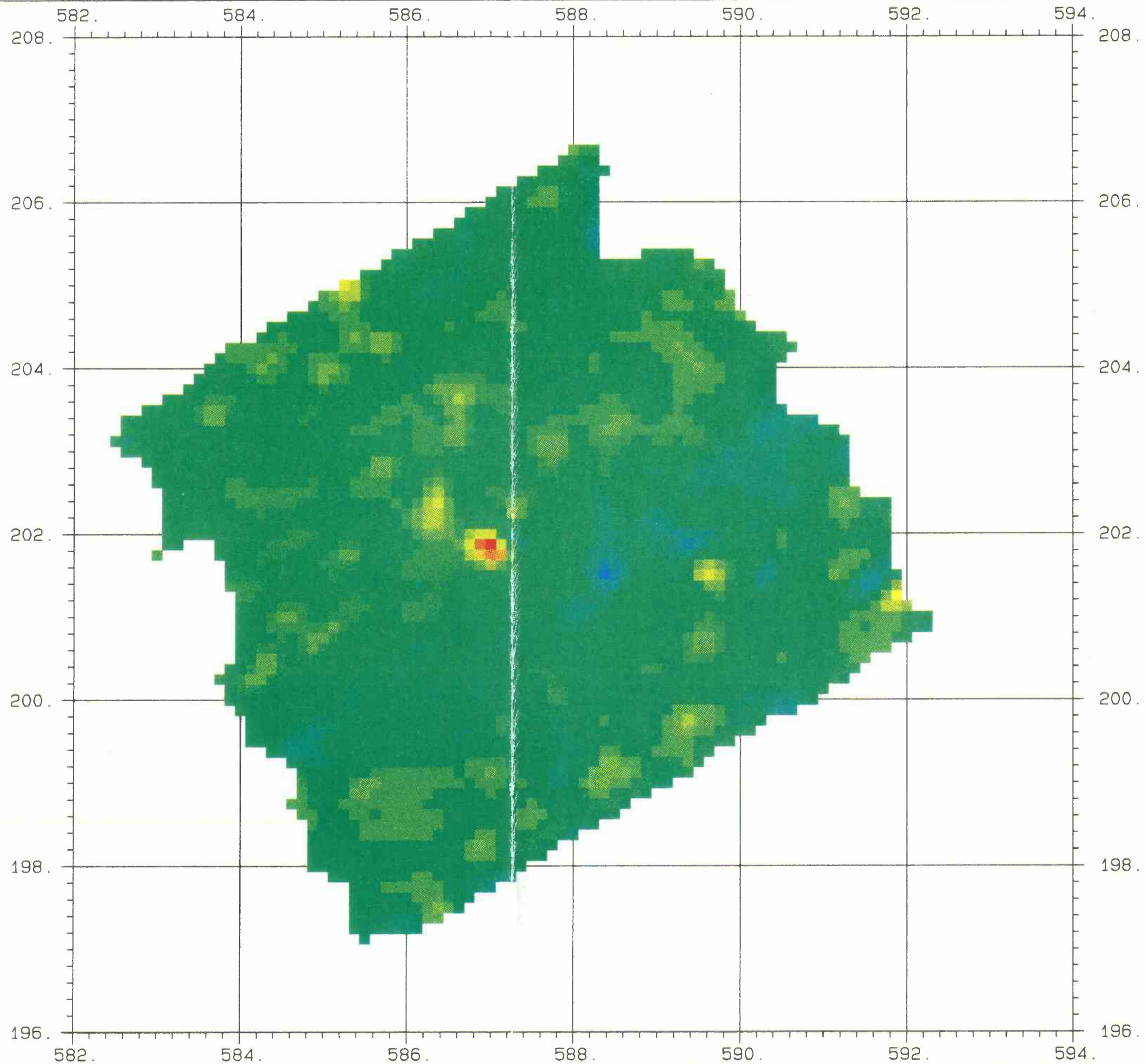
I. Geophysik
ETH-Zuerich
Hoenggerberg
8093-Zuerich

KKM91

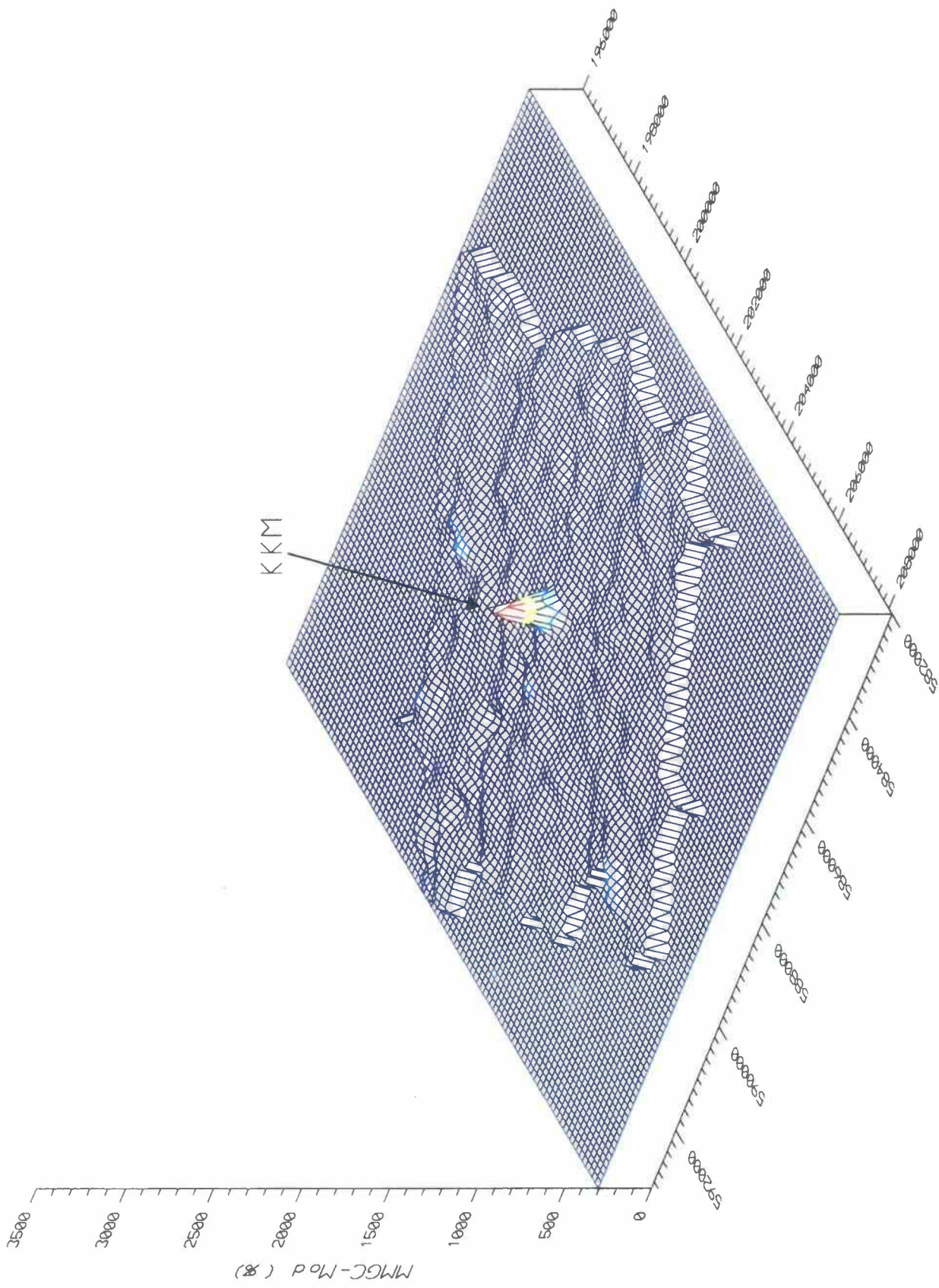
Survey	KKM91
Channel	MMGC-Diff
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter	
Average	0.8
Std Dev	2.8
Minimum	-11.6
Maximum	24.4

Legend		
	Minimum	Maximum
	-25.0	-15.0
	-15.0	-5.0
	-5.0	5.0
	5.0	15.0
	15.0	25.0



Beilage 27: Differenzen-Karte (Mittelwert-91) MMGC-Ratio (mod) KKM



Beilage 28: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

SGPK
 I. Geophysik
 ETH-Zuerich
 Hoenggerberg
 8093-Zuerich






KKM91

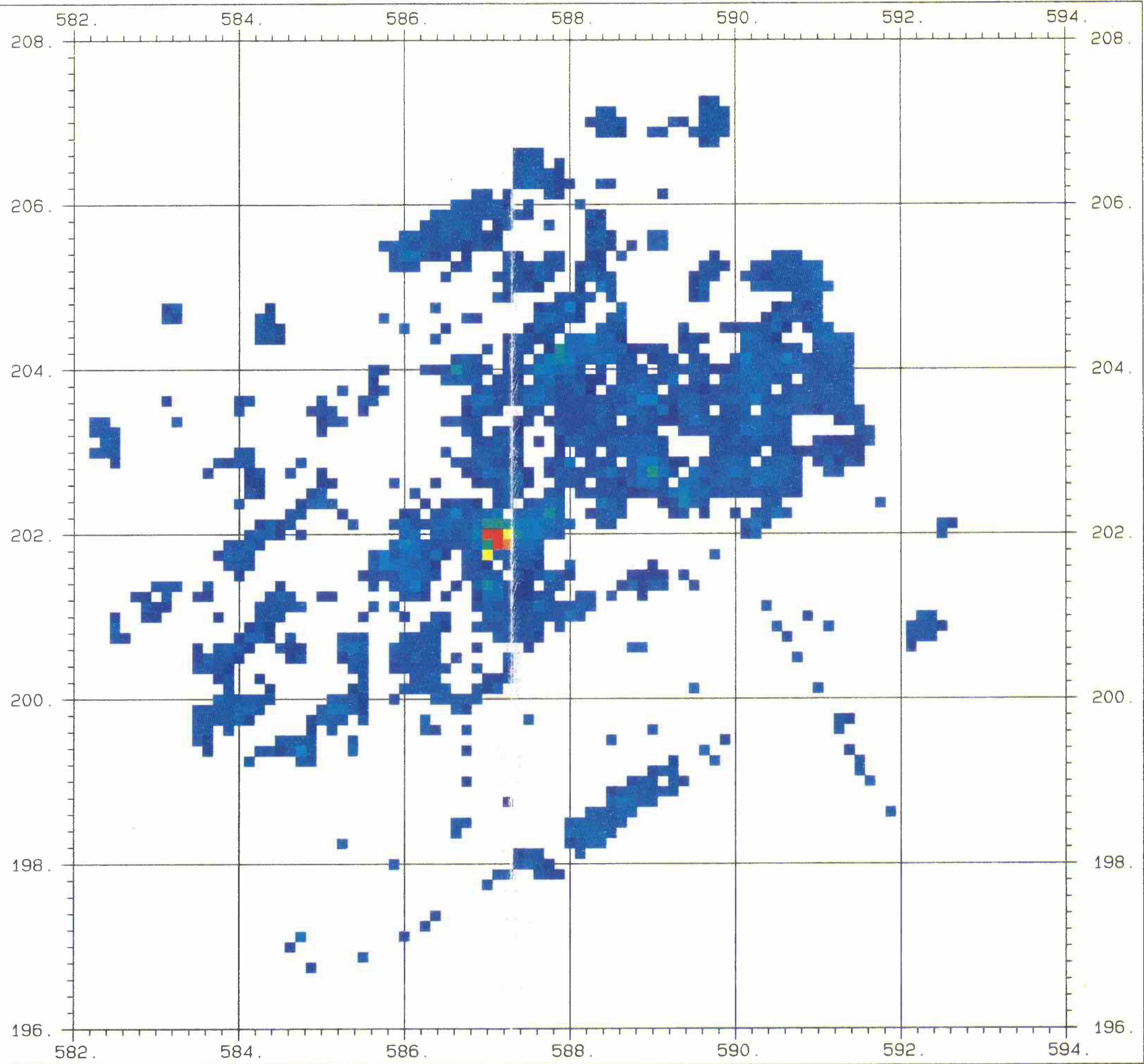
Survey	KKM91
Channel	Kobalt
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	15.5
Std Dev	11.3
Minimum	10.0
Maximum	366.0

Legend

	Minimum	Maximum
	0.0	20.0
	20.0	40.0
	40.0	60.0
	60.0	80.0
	80.0	366.0



Beilage 29: Co60-Fenster KKM

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






KKM91

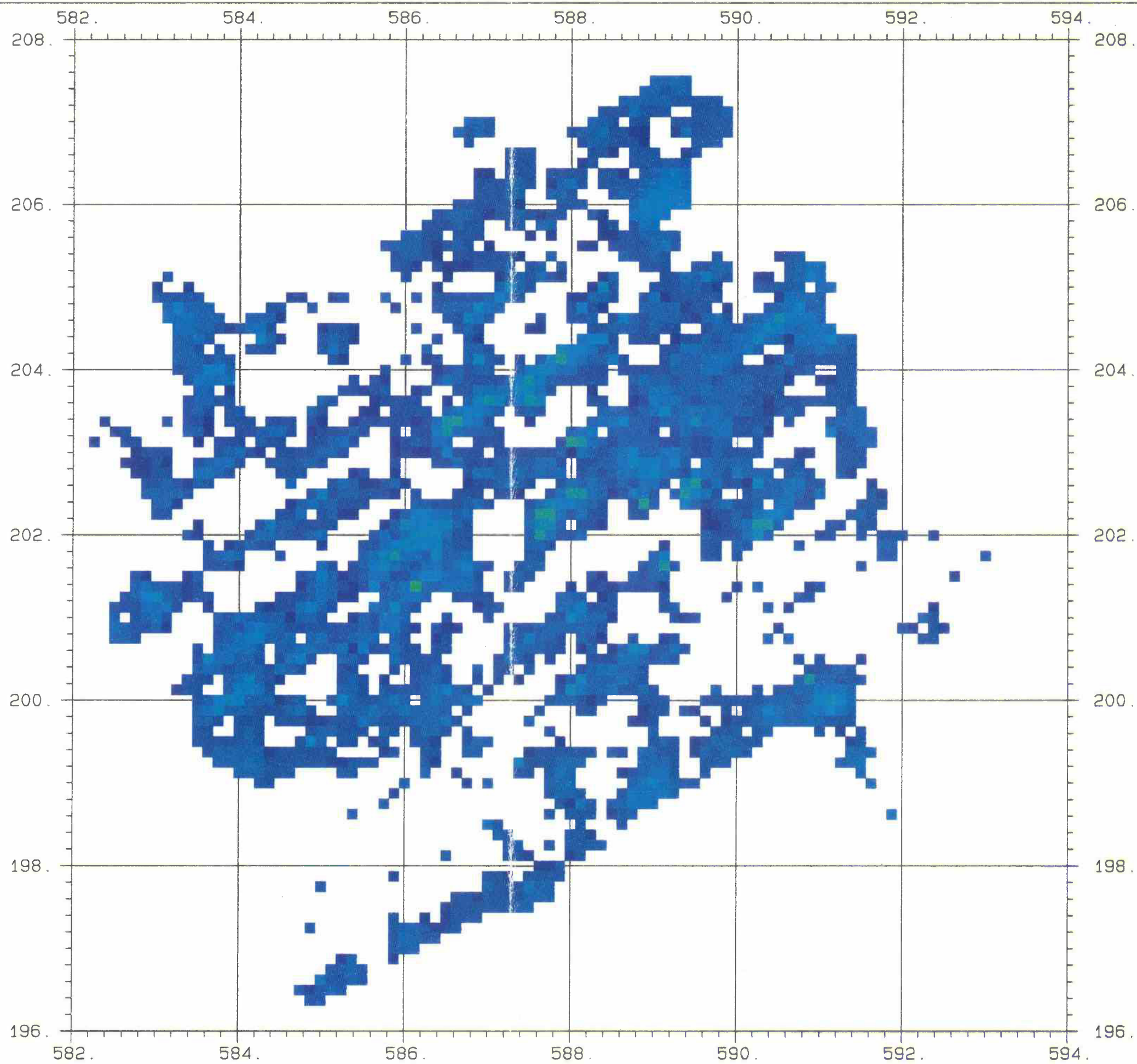
Survey	KKM91
Channel	Caesium
Sam Int	125.
Scale	50000.

Parameter

Average	16.7
Std Dev	4.6
Minimum	10.0
Maximum	44.8

Legend

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



Beilage 30: Cs137-Fenster KKM