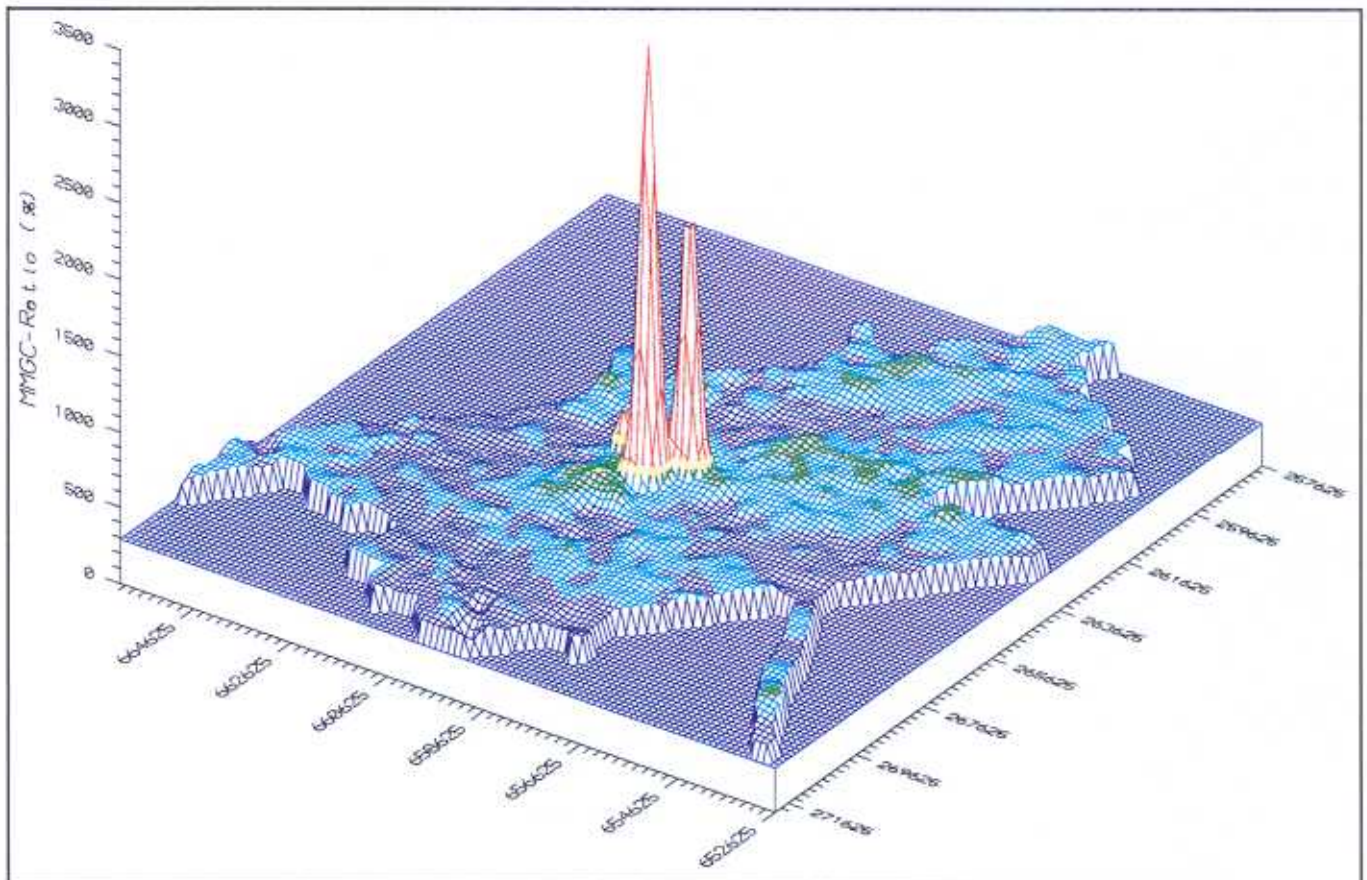


Institut für Geophysik
ETH-Hönggerberg
8093 Zürich

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

Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen

Bericht für das Jahr 1993 zuhanden der Hauptabteilung für die
Sicherheit der Kernanlagen (HSK)



Dezember 1993

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 1993 zuhanden der Hauptabteilung
für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK)**

Inhaltsverzeichnis

- 1 Zusammenfassung
- 2 Verbesserungen am Messsystem
- 3 GPS-Positionierung
 - 3.1 Einleitung
 - 3.2 Auswertung
 - 3.3 Korrektur der "Selective Availability"
- 4 Messergebnisse
 - 4.1 Einleitung
 - 4.2 Karten KKWPSI
 - 4.3 Karten KKG
 - 4.4 Karten KKL
 - 4.5 Karten KKM
 - 4.6 Hintergrundstrahlung des Schweizer Mittellandes
 - 4.7 Fazit
- 5 Notfalleinsätze
- 6 Literaturverzeichnis
- 7 Beilagen

1 Zusammenfassung

Seit 1989 werden von der Forschungsgruppe Geothermik und Radiometrie des Institutes für Geophysik der ETH-Z aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen im Auftrag der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK) durchgeführt. Mit den jährlich stattfindenden Helikopterflügen wird die Umgebung der schweizerischen Kernkraftwerke und des Paul Scherrer-Instituts aerogammaspektrometrisch vermessen. Die Messungen dienen der Erweiterung der nuklearen Beweissicherung sowie als Vergleichsbasis bei allfälligen Verstrahlungsfällen. Gleichzeitig wird die Methodik der aerogammaspektrometrischen Aufnahmen laufend weiterentwickelt.

Im Jahre 1993 standen neben Verbesserungen am Messsystem (Navigation, Stromversorgung) vor allem der ausgiebige Praxistest des 1992 grundlegend erneuerten Messsystems auf dem Programm. Zusätzlich zur jährlichen Vermessung der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen, wurde die natürliche Hintergrundstrahlung des Schweizer Mittellandes während der Hin- und Rückflüge von der Basis in Belp/BE zu den Kernanlagen quasi als Nebenprodukt der Messflüge erfasst. Diese Anwendung wurde 1993 wegen der vollen Verfügbarkeit des Satellitenpositionierungssystems GPS, erstmals möglich.

Zusätzlich wurden wiederum Mitarbeitern der beteiligten Stellen (HSK, SUeR, ETH-Z, NAZ) geschult und ein Suchflug nach einer radioaktiven Quelle durchgeführt.

2 Verbesserungen am Messsystem

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. Die Geräteerneuerung konnte 1992 mit der finanziellen Unterstützung der HSK abgeschlossen werden. Während der Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen im Berichtsjahr, hat das Messsystem einwandfrei funktioniert.

Bei den Messflügen 1992 hat sich gezeigt, dass die Spannung in der Stromversorgung beim Start der Helikopterturbine sehr stark absinkt. Die angeschlossenen Messgeräte werden dadurch während des Startvorgangs nicht genügend mit Strom versorgt. Insbesondere das Spektrometer und der GPS-Empfänger verlieren nach jedem Ausschaltvorgang die gesamte Konfigurationsinformation und mussten nach jedem Start manuell rekonfiguriert werden. Weil diese Bedienungsschritte bei laufendem Rotor sehr unangenehm und fehleranfällig sind (Bedienungsfehler und Gehörschäden verursacht durch Lärm, Wind und Stress), wurde für die Messflüge 1993 eine unterbrechungsfreie Stromversorgung für das Spektrometer und den GPS-Empfänger realisiert.

Nach der Inbetriebnahme des Messsystems jeweils am Morgen des Messtages wird das Spektrometer mit einer Cäsiumquelle geeicht und der GPS-Empfänger in Betrieb genommen. Beide Komponenten sind über zwei Akkumulatoren gepuffert und können den ganzen Tag (auch während des Startens der Helikopterturbine) in Betrieb bleiben, sodass keine weiteren manuellen Eingriffe notwendig sind.

Die Pufferung und zusätzliche von der Nationalen Alarmzentrale finanzierte Memorykarten erlauben auch eine Verlängerung der Messeinsätze. Das Messsystem kann nun einen ganzen Arbeitstag im Messgebiet im Einsatz sein ohne zur Basis zurückzukehren. Dadurch konnten insgesamt zehn Flugstunden eingespart werden, die teilweise für die Vermessung der Hintergrundstrahlung im Schweizer Mittelland eingesetzt werden konnten.

Die Position wurde bis anhin in Schweizer Landeskoordinaten auf der Fernbedienung angezeigt. Diese Angaben können nur bedingt zur Navigation herangezogen werden, weil die Übertragung auf die Flugkarte während der Messflüge kaum möglich ist. Im Hinblick auf Notfalleinsätze wurde eine Positionsanzeige relativ zur

Sollfluglinie realisiert. Dadurch kann der Navigator die Abweichungen von der Sollfluglinie auf einen Blick erkennen, was die Navigation vereinfacht und damit die Flugsicherheit erhöht.

Gleichzeitig wurde das Auslesen des GPS-Empfängers vollständig reorganisiert, damit neben der eigentlichen Position auch die zur Positionsbestimmung verwendete Satellitenkonstellation aufgezeichnet werden kann. Die Erfahrungen mit der Navigationsanzeige und dem geänderten Aufzeichnungsformat werden in Kapitel 3.3 näher besprochen.

3 GPS-Positionierung

3.1 Einleitung

Das GPS-System wurde vom amerikanischen Verteidigungsministerium (US-DoD) für die präzise Navigation von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen entwickelt. Es benützt die Laufzeit von Satellitensignalen zur Orts- und Geschwindigkeitsmessung. Zum besseren Verständnis der folgenden Kapitel, wird das im Bericht von 1991 bereits beschriebene Auswerteverfahren, kurz wiederholt.

Das GPS-System besteht aus drei Teilen die bei Navigationssystemen üblicherweise als Segmente bezeichnet werden:

- **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 von vier Satelliten. Die Genauigkeit einer C/A-Codemessung beträgt ca. ± 25 m.

1993 war das GPS-System erstmals in vollem Ausmass einsatzfähig. Gegenwärtig wird vom US-DOD ein zusätzliches Störsignal, die sogenannte "Selective Availability (S/A)" den GPS-Signalen beigegeben. Dadurch wird die theoretisch erreichbare Genauigkeit der GPS-Positionierung von +/-25 m massiv verschlechtert. Die "Selective Availability" wurde in den letzten Jahren verschiedentlich getestet, war aber insbesondere während des Golfkrieges abgeschaltet, weil die amerikanische Armee selbst zu wenige S/A-fähige GPS-Empfänger zur Verfügung hatte.

3.2 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 μ 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 :

$$PR_i = |\vec{X}_i - \vec{X}_B| + c\Delta t_u = c\tau_i \quad (1)$$

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 1 die vier Unbekannten x_B , y_B , z_B und Δt_u übrigbleiben. Die Empfängerkoordinaten können somit durch simultane Messungen von vier Satelliten bestimmt werden. Durch Linearisierung erhält die Beobachtungsgleichung folgende Form:

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

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

\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), den Satellitenbahnen und der geometrischen Konfiguration der benutzten Satelliten ab. Die Laufzeitmessungen haben einen Fehler von rund 5 m (für C/A-Code). Die wichtigsten anderen Fehlereinflüsse sind nach Seeber (1988):

Tabelle 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" wird in der Navigationsliteratur mit DOP (Dilution of Precision) bezeichnet. Es sind verschiedene DOP-Bezeichnungen 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 ($\text{GDOP} = (\text{PDOP}^2 + \text{TDOP}^2)^{1/2}$). Die einzelnen DOP-Werte können der Spur (q_{xx} , q_{yy} , q_{zz}) der Kovarianzmatrix $\mathbf{Q} = (\mathbf{A} \cdot \mathbf{A}^T)^{-1}$ des Gleichungssystems entnommen werden. So gilt beispielsweise $\text{HDOP} = (q_{xx} + q_{yy})^{1/2}$.

Durch die "Selective Availability" wird die Frequenz der Satellitensignale gezielt verändert. Die dadurch verursachten Fehler addieren sich zu den oben diskutierten Fehlern.

3.3 Korrektur der "Selective Availability"

Mit der neuen Navigationsanzeige konnten die Auswirkungen der Störung durch die "Selective Availability" auf die Positionierung untersucht werden. Dazu wurden mehrere gerade Feldwege im Gürbental abgeflogen. Die genaue Position im Gelände war somit bekannt. Die Abweichungen der angezeigten GPS-Position bewegten sich im Rahmen +/- 100 m. Solche Abweichungen sind bei Fluglinienabständen von 500 m und darüber sicher tragbar. Bei den Detailkartierungen in der Umgebung der Kernanlagen mit einem Fluglinienabstand von nur 250 m ist diese Genauigkeit jedoch ungenügend.

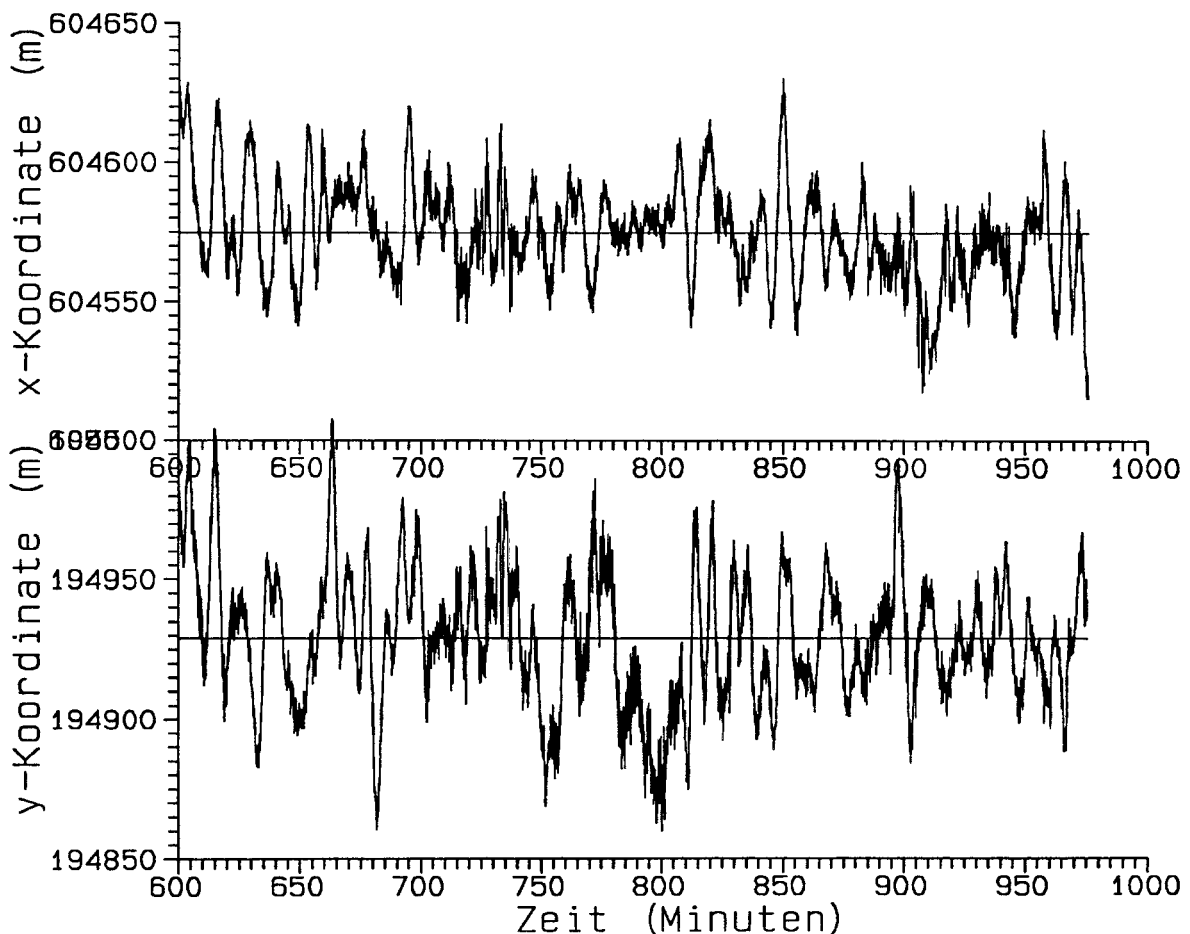
Die Navigation bei den Messungen erfolgte deshalb wie bis anhin visuell anhand der Flugkarten. Bedingt durch diese Störungen muss auch bei der Flugwegrekonstruktion auf ein aufwendigeres Auswerteverfahren zurückgegriffen werden.

Phillip Schlatter hat in seiner Diplomarbeit (Schlatter, 1991) verschiedene Methoden zur Verbesserung der Positionierungsgenauigkeit von GPS-Daten im Offline-Modus untersucht:

- Vergleich zwischen absoluter und differentieller Positionierung.
- Untersuchung der Genauigkeitssteigerung durch vorgängiges Glätten der Code- mit den Phasenmessungen.
- Einbezug der barometrischen Höhe in die GPS-Auswertung.

Dabei hat sich gezeigt, dass sich sowohl durch den Einbezug der Phasenmessungen als auch der barometrischen Höhen, gewisse Verbesserungen in der Positionierungsgenauigkeit erreichen lassen. Mit Phasenmessungen lässt sich zwar das Rauschen der Codemessungen stark vermindern, die Fehler durch die "Selective Availability" werden aber durch die Glättung nicht vermindert.

Auch der Einbezug der barometrischen Höhe ist nicht unproblematisch, da sich die Druckverhältnisse im Laufe der Zeit ändern und auch Störungen der Luftdruckmessung durch den Rotor des Helikopters auftreten.



Figur 1: GPS-Position des Referenzempfängers an der Basis in Belp/BE in Abhängigkeit der Zeit (Beispiel gemessen am 19.8.1993).

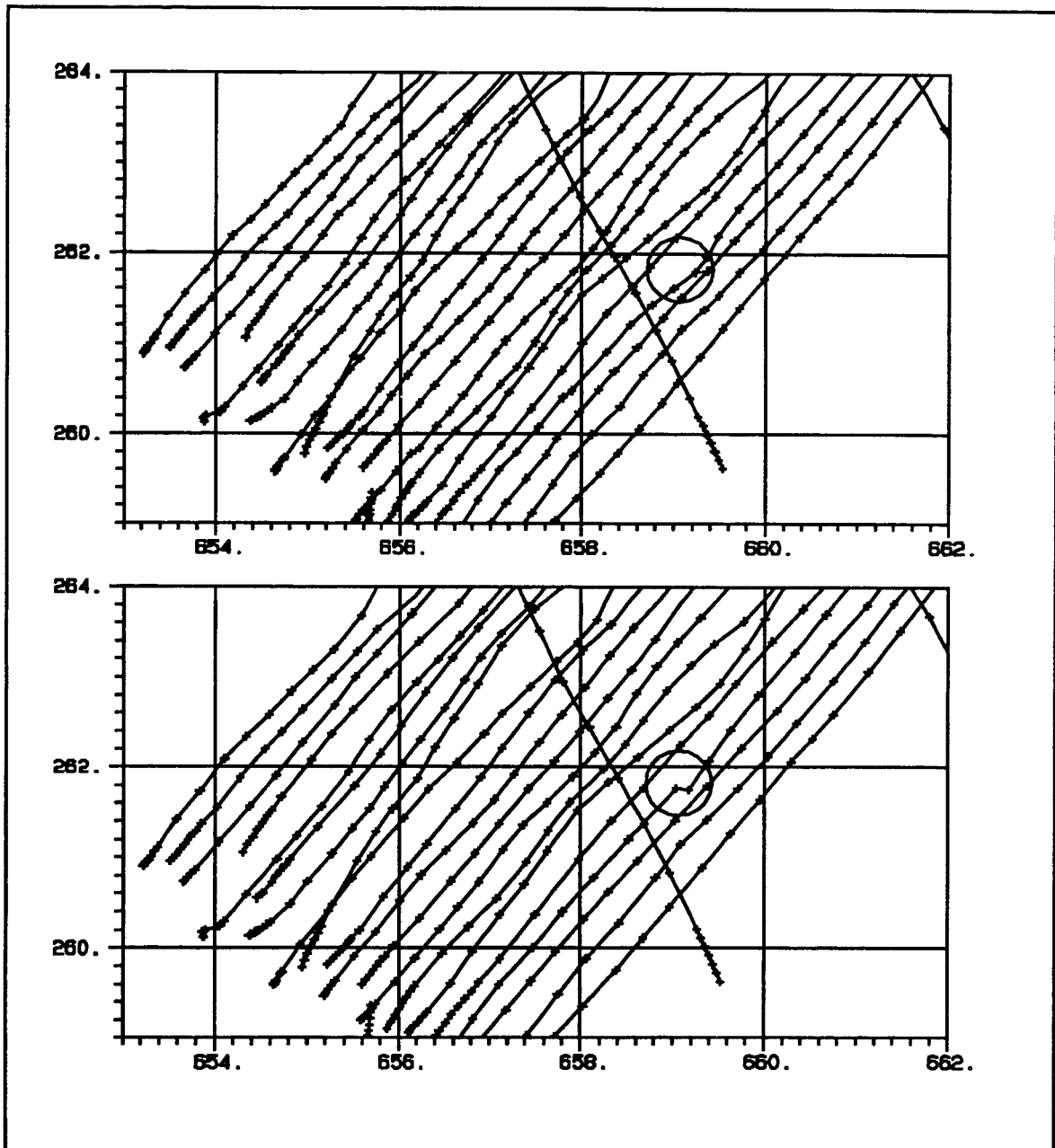
Die differentielle Auswertung ist deshalb die beste Methode um die durch die "Selective Availability" verursachten Störungen beim nachträglichen Processing zu eliminieren. Dazu wird an einem Punkt mit bekannter Position ein Referenzempfänger betrieben. In unserem Fall wurde der Referenzempfänger auf dem Dach des Heliswiss-Gebäudes in Belp/BE aufgestellt. Wenn die Resultate nicht sofort benötigt werden, können auch die Daten der Referenzstation Zimmerwald der Landestopographie verwendet werden, sodass bei zukünftigen Routinemessungen das Aufstellen eines Referenzempfängers entfallen kann.

Figur 1 zeigt die vom Referenzempfänger bestimmte Position in Abhängigkeit der Zeit. Die störungsbedingten Schwankungen weisen eine Amplitude von 100 m und eine Wellenlänge von fünf bis zehn Minuten auf. Wird nun die Position der Referenzstation mit derselben Satellitenkonstellation durchgerechnet wie sie auch im Helikopter empfangen wurde, lassen sich diese Störungen durch Differenzbildung eliminieren.

Durch die differenzielle Auswertung lassen sich nicht nur die Störungen der "Selective Availability" eliminieren. Gleichzeitig werden auch die störenden Effekte der Ionosphäre, der Troposphäre und von ungenauen Satellitenbahndaten (Ephemeriden) stark reduziert. Die Genauigkeit im differenziellen Modus beträgt rund ± 5 m.

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt wurde das Messprogramm so abgeändert, dass neben der aktuellen Position auch die zur Positionsbestimmung verwendete Satellitenkonstellation aufgezeichnet wird. Damit wird jedoch nicht die gesamte verfügbare GPS-Information erfasst. Wegen des relativ langsamen Datentransfers des Spektrometers reicht die Zeit in einem Messzyklus nicht aus um neben den restlichen Daten auch den kompletten GPS-Datensatz einzulesen. Insbesondere fehlen die Bahndaten der Satelliten und die zur Positionsbestimmung verwendeten Pseudodistanzen (siehe 3.2). Im Gegensatz dazu zeichnet die Basisstation kontinuierlich die gesamten GPS-Daten, also auch die Pseudodistanzen zu allen Satelliten und die Ephemeriden auf.

Im Prinzip darf die Differenz nur dann gebildet werden wenn beide Empfänger die gleiche Satellitenkonstellation verwenden, was wegen dem unterschiedlichen Aufzeichnungsformat nicht immer gewährleistet ist. Empfängt die Basisstation mehr Satelliten als der Empfänger im Helikopter können die entsprechenden Daten bei der Berechnung ignoriert werden. Hat jedoch der Helikopter den besseren Empfang, so lässt sich die keine identische Konstellation für beide Empfänger mehr ableiten. Theoretisch dürfte in einem solchen Fall die Differenz nicht gebildet werden.



Figur 2: Vergleich der unkorrigierten (unten) und korrigierten (oben) GPS-Positionen am Beispiel des Messgebietes KKB/PSI.

Diese Einschränkung wirkt sich in der Praxis nur unwesentlich aus, weil in der Regel mehr als fünf Satelliten zur Verfügung stehen. In solchen Fällen sind die Positionsänderungen durch den zusätzlichen Satelliten jedoch relativ klein (kleiner als 20 m), sodass sich die unterschiedliche Konstellation nur unwesentlich auswirkt.

Der Vergleich der unkorrigierten (Figur 2; unten) und korrigierten (Figur 2; oben) GPS-Positionen zeigt, die Verbesserungen die durch die Differenzenbildung erreicht wird. So wurde z.B. der mit dem Kreis markierte Positionssprung sehr gut eliminiert.

Bei geometrisch ungünstigen Konstellationen d.h. bei hohen GDOP-Werten (siehe Kapitel 3.2) können die Positionen nicht mit der vorgeschlagenen Methode korrigiert werden. In solchen Fällen ändert die berechnete Position bei jedem Konstellationswechsel sehr stark, sodass die korrigierten Daten störende Sprünge aufweisen. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen wurden Fluglinien in denen Stücke mit grossem GDOP auftreten, unkorrigiert weiterverarbeitet.

4 Messergebnisse

4.1 Einleitung

Die Messungen in der Umgebung der Kernanlagen erfolgten mit denselben Flugparametern (siehe Tabelle 2) und entlang derselben Flugwege wie seit 1989 (Jährliche Berichte an die HSK). Sie wurden wiederum mit einem Ecureuil-Helikopter der Firma Heliswiss AG (Belp/BE) in der Zeit vom 16.8.93 bis zum 20.8.93 durchgeführt.

Tabelle 2: 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 3 zusammengestellt. Für die Vermessung der insgesamt 1'137 km Messstrecke und der Kalibrationsflüge wurden insgesamt 1'560 Flugminuten benötigt.

Die Kartendarstellungen der Resultate der Messungen in der Umgebung der Kernanlagen erfolgen einheitlich im Massstab 1:50'000 in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 125 x 125 m. Die dargestellten Werte wurden durch die Ausführung sämtlicher in Schwarz et al., (1989) beschriebenen Korrekturen berechnet.

Statt der bisher verwendeten detektorspezifischen Zählraten wurden die Daten (mit Ausnahme des Kobaltfensters) auf den Karten erstmals in SI-Einheiten dargestellt. Die gemessenen Zählraten wurden mit den in Tabelle 4 (Schwarz et al., 1992) zusammengestellten Konversionskonstanten in die entsprechende Gewichtsaktivität umgerechnet. Eine Ausnahme bilden die Kobaltwerte. Sie lassen sich wegen fehlenden Kalibrationsdaten nicht in Gewichtsaktivitäten umrechnen.

Tabelle 3: Zusammenstellung der Flugdaten 1993

Mess- gebiet	Betriebs- zustand	Flug- nummer	Flug- linien	Datum	Eff. Messzeit [s]	Flug- strecke [km]
Beznau/PSI	KKB1 in KKB2 ausser Betrieb	9308	20-24	18.8.93	15'200	372
		9309	14-19	18.8.93		
		9310	5-13	18.8.93		
		9318	1-4	19.8.93		
		9321	25-29	20.8.93		
Gösgen	in Betrieb	9304	22-29	17.8.93	12'800	298
		9305	14-21	17.8.93		
		9306	4-13	17.8.93		
		9307	1-3	17.8.93		
Leibstadt	ausser Betrieb	9316	1-11	19.8.93	7'800	185
		9317	12-19	19.8.93		
Mühleberg	ausser Betrieb	9302	1-11	16.8.93	13'200	282
		9303	12-17	16.8.93		
		9315	24-29	19.8.93		
		9320	18-23	20.8.93		
Eich- flüge	-	9301	Steigflug	16.8.93	3'800	-
		9312	Steigflug	18.8.93		
		9319	Cosmic	20.8.93		

Tabelle 4 :Zusammenstellung der verwendeten Detektorempfindlichkeiten (100 m über Grund).

Fenster	Radio- Nuklid	Aktivität [Bq/kg]	Detektor- empfind- lichkeit [cps]	Ortsdosis- leistung [nSv/h]
Cäsium	Cs-137	100	50	17
Kalium	K-40	100	9	5
Uranium	Bi-214	100	27	52
Thorium	Tl-208	100	42	73

Die Ortsdosisleistung in 1 m über Grund wurde anhand der Cs-137-, K-40-, Bi-214- und Tl-208-Aktivitäten mit den Konstanten in Tabelle 4 abgeleitet. Für alle Messgebiete wurde eine Karte der Ortsdosisleistung, der Cs-137-Aktivität, des Kobaltfensters sowie des MMGC-Ratios erstellt. Um die Dynamik der MMGC-Karten besser zum Ausdruck zu bringen, wurde jeweils auch eine 3D-Darstellung des MMGC-Ratios beigefügt.

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 5)

Tabelle 5 : Farbskalen

Darstellung	Blau	Cyan	Grün	Gelb	Rot
Dosisleistung [nSv/h]	<40	40-60	60-80	80-100	>100
MMGC-Ratio [%]	<490	490-530	530-570	570-610	>610
Kobalt-Fenster [cps]	<20	20-40	40-60	60-80	>80
Cs-137-Aktivität [Bq/kg]	<40	40-80	80-120	120-160	>160

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. 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.

4.2 Karten KKB/PSI

Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

PSI-West ist mit einem offenen 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: Ortsdosisleistung KKB/PSI

Das KKB ist nicht, PSI-Ost und PSI-West sind deutlich zu erkennen. Die aus der Luft bestimmten Ortsdosisleistungen von 320 nSv/h (2.8 mSv/a) für das PSI-Ost bzw. 120 nSv/h (1 mSv/a) für das PSI-West stehen, obwohl Quellgeometrie und die Strahlung des Co^{60} nicht berücksichtigt wurden, in guter Übereinstimmung mit den am Boden gemessenen Werten von 2 mSv/a (PSI-Ost) bzw. 1 mSv/a (PSI-West). Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen → hoch, Wald und Flüsse → niedrig). Zusätzlich zeichnet sich die zu Übungszwecken (siehe Kapitel 5) ausgelegte Quelle (Koordinaten 660450/265450) deutlich ab.

Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI

Die Standorte des PSI und der ausgelegten Quelle treten deutlicher in Erscheinung. Zusätzlich ist der Standort des KKB schwach erkennbar.

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

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 3 (Blick nach Südost). Drei Maxima sind ersichtlich: PSI-Ost (mitte), PSI-West (rechts) und Quelle (links). Für die Farbskala wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte verwendet. Die höchste Spitze entspricht einer Ortsdosisleistung von rund 2 mSv/a. Zusätzlich ist der Standort des KKB schwach erkennbar.

Beilage 5: Kobaltfenster 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. Der Standort des KKB nördlich davon ist nicht erkennbar.

Beilage 6: Cs-137-Aktivität 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 wie die ausgelegte Cäsiumquelle deutlich ersichtlich, das KKB tritt nicht in Erscheinung. Die Aktivität der zu Übungszwecken (siehe Kapitel 5) ausgelegten Quelle beträgt 2.8 GBq (75 mCi).

4.3 Karten KKG

Beilage 7: Flugwegkarte KKG

Die Position vom KKG wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 8: Ortsdosisleistung KKG

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

Beilage 9: MMGC-Ratio KKG

Das Kartenbild zeigt mit Ausnahme von Koordinate 640200/244900 durchwegs normale Werte. Die Anomalie wird von der Bestrahlungsanlage der Firma STUDER Draht- und Kabelwerke AG verursacht. Das KKG ist nicht zu erkennen.

Beilage 10: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 9 (Blick nach Südost). Für die Farbskala wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 11: Kobaltfenster 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. Die Bestrahlungsanlage und das KKG sind nicht zu erkennen, was die Wirksamkeit der MMGC-Darstellung bestätigt.

Beilage 12: Cs-137-Aktivität KKG

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

4.4 Karten KKL

Beilage 13: 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 14: Ortsdosisleistung KKL

Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen → hoch, Wald und Flüsse → niedrig). Das KKL ist nicht zu erkennen.

Beilage 15: MMGC-Ratio KKL

Das Kartenbild zeigt durchwegs normale Werte. Der Standort des KKL zeichnet sich schwach ab.

Beilage 16: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 15 (Blick nach Südost). Für die Farbskala wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 17: Kobaltfenster 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 sehr schwach ab.

Beilage 18: Cs-137-Aktivität 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 19: Flugwegkarte KKM

Die Position vom KKM wird durch ein gefülltes Quadrat markiert.

Beilage 20: Ortsdosisleistung KKM

Der Standort des KKM ist auf der Ortsdosisleistungskarte klar ersichtlich. In der Umgebung des KKM treten durchwegs normale Werte auf. Die grossräumige Variation der Werte korreliert gut mit den Unterschieden in der Vegetation (Wiesen → hoch, Wald und Flüsse → niedrig).

Beilage 21: MMGC-Ratio KKM

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

Beilage 22: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

Dargestellt sind die gleichen Werte wie auf Beilage 21 (Blick nach Südost). Der Standort des KKM zeichnet sich deutlich ab. Für die Farbskala wurden die in Tabelle 5 aufgeführten Werte verwendet.

Beilage 23: Kobaltfenster 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 24: Cs-137-Aktivität 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 Hintergrundstrahlung des Schweizer Mittellandes

Dank der GPS-Positionierung war es erstmals möglich, das Messgerät während den Hin- und Rückflügen von den Messgebieten zur Basis in Belp in Betrieb zu lassen und die so gewonnenen Daten mit vernünftigem Aufwand auszuwerten. Diese Daten erlaubten es zusammen mit den KKW-Messungen, den Strahlungspegel in einem Streifen zwischen Belp/BE und Klingnau/AG überblicksmässig zu erfassen.

Die Kartendarstellungen der Resultate der Messungen erfolgen im Massstab 1:500'000 in schweizerischen Landeskoordinaten. Die Pixelgrösse beträgt 1000 x 1000 m. Die Datenauswertung erfolgte mit den gleichen Parametern wie bei den Messungen in der Umgebung der Kernanlagen (siehe Kapitel 4.1)

Beilage 25: Ortsdosisleistung Mittelland

Die Karte weist durchwegs normale Werte auf. Die auf den anderen Karten ersichtlichen Anomalien beim PSI-Ost, PSI-West und KKM wurden wegen der viel grösseren Pixel ausgemittelt.

4.7 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 Kern- und Bestrahlungsanlagen. 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, die während der diesjährigen Messkampagne beide nicht in Betrieb waren, wurde keine hochenergetische Gammastrahlung des N-16 festgestellt. Das KKM kann anhand der Direktstrahlung des Komponentenlagers detektiert werden. Das KKL (in abgestelltem Zustand) weist wie das KKB eine sehr geringe Gesamtstrahlung auf und ist nur im MMGC-Ratio schwach erkennbar. Das KKG kann aeroradiometrisch überhaupt nicht nachgewiesen werden.

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

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

5 Notfalleinsätze

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 sechs Mitarbeiter (G. Ferreri (SUEr), P. Beuret (SUEr), Chr. Bärlocher (ETH-Z), L. Rybach (ETH-Z) und A. Leonardi (NAZ)), für jeweils zwei bzw. fünf Tage zu 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 beflogen.

Um die Leistungsfähigkeit des neuen Messsystems zu verifizieren wurde die Suche nach einer radioaktiven Quelle geübt. Im Messgebiet KKB/PSI wurde eine Cs-137-Quelle mit einer Aktivität von 2.8 GBq (75 mCi) ausgelegt. Das Messgebiet wurde auf den normalen Flugwegen abgeflogen. Dabei konnte die Quelle in der Ortsdosisleistungskarte, der Cs-137-Aktivitätskarte und auch anhand des MMGC-Ratios eindeutig lokalisiert werden (siehe Beilagen 2, 3 und 5; Koordinaten 660450/265450). Die Genauigkeit der Lokalisation betrug etwa +/- 50 m.

Im Hinblick auf die Überlassung des Messsystems besteht eine enge Zusammenarbeit zwischen der NAZ und dem Institut für Geophysik der ETHZ. So wurde die NAZ bei der Übung MISURA vom 9. September und bei Fragen zum Einbau des Messsystems in Super-Puma-Helikoptern der Armee fachlich und technisch unterstützt. Ab 1994 wird die Organisation der Schulungseinsätze von der NAZ übernommen.

Als beratendes Gremium der NAZ wurde die Fachgruppe Aeroradiometrie (FAR) gegründet (Vorsitz L. Rybach). Sie setzt sich aus Experten der SUEr, KUEr, HSK, Inst. für Geophysik der ETHZ, SGPK, KOMAC, PSI und IRA zusammen. An den Sitzungen nehmen regelmässig auch NAZ-Mitarbeiter teil. Neben der Beratung in fachtechnischen Belangen übernimmt sie Auswertungen und Dateninterpretation die über reine Routineauswertung hinaus gehen. Insbesondere wird das jährliche Messprogramm festgelegt.

6 Literaturverzeichnis

- SCHERRER, R., 1988: The WM GPS Primer, WM Satellite Survey Company (Wild Heerbrugg), Geodesy Division, Heerbrugg.
- SCHLATTER, P., 1991: GPS-Navigation im Offline-Modus für die Positionierung in der Aeroradiometrie; Diplomarbeit am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ, Zürich.
- 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.E., 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.E., RYBACH, L.: 1992: Aeroradiometrische Messungen in der Umgebung der schweizerischen Kernanlagen; Bericht für das Jahr 1992 zuhanden der Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (HSK). Interner Bericht, Institut für Geophysik ETHZ, Zürich.
- SEEBER, G., 1988: Satelliten-Geodäsie. De Gruyter Verlag, Berlin, New York.

7 Beilagen

Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI

Beilage 2: Ortsdosisleistung KKB/PSI

Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI

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

Beilage 5: Kobaltfenster KKB/PSI

Beilage 6: Cs-137-Aktivität KKB/PSI

Beilage 7: Flugwegkarte KKG

Beilage 8: Ortsdosisleistung KKG

Beilage 9: MMGC-Ratio KKG

Beilage 10: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

Beilage 11: Kobaltfenster KKG

Beilage 12: Cs-137-Aktivität KKG

Beilage 13: Flugwegkarte KKL

Beilage 14: Ortsdosisleistung KKL

Beilage 15: MMGC-Ratio KKL

Beilage 16: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL

Beilage 17: Kobaltfenster KKL

Beilage 18: Cs-137-Aktivität KKL

Beilage 19: Flugwegkarte KKM

Beilage 20: Ortsdosisleistung KKM

Beilage 21: MMGC-Ratio KKM

Beilage 22: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

Beilage 23: Kobaltfenster KKM

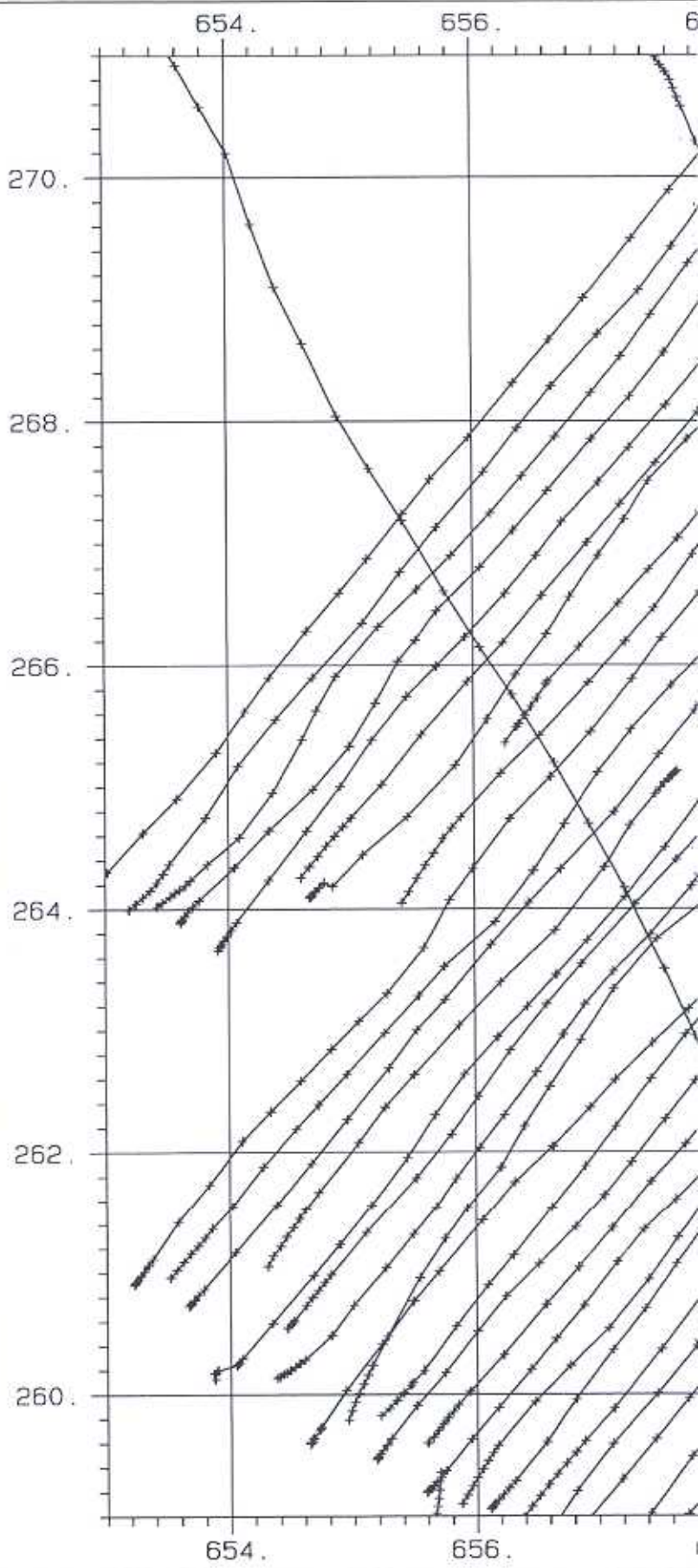
Beilage 24: Cs-137-Aktivität KKM

Beilage 25: Ortsdosisleistung Mittelland

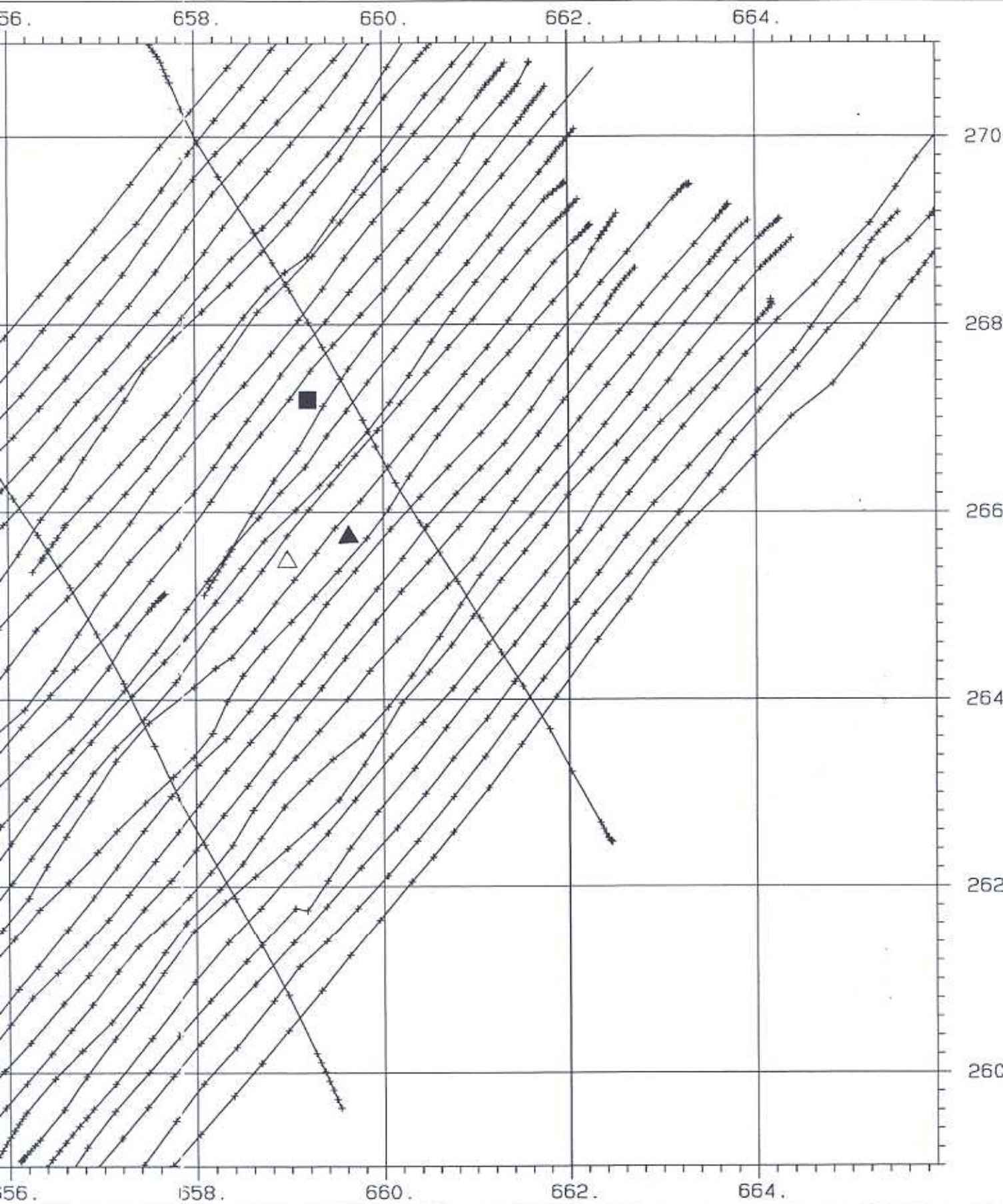
S G P K	I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich
------------	---







KKB/PSI

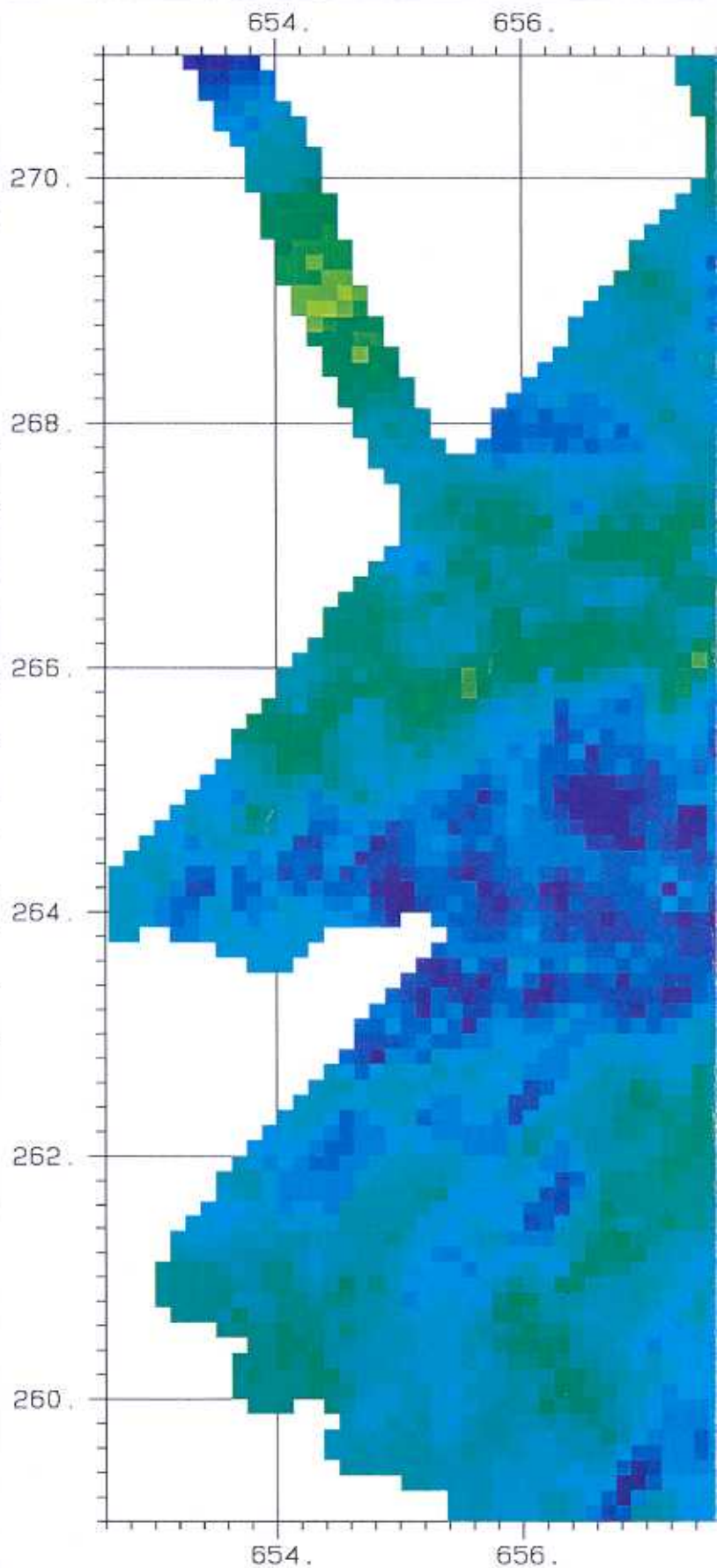
Survey	KKB93
Channel	F. Path
Scale	50000.
Path Len	372.



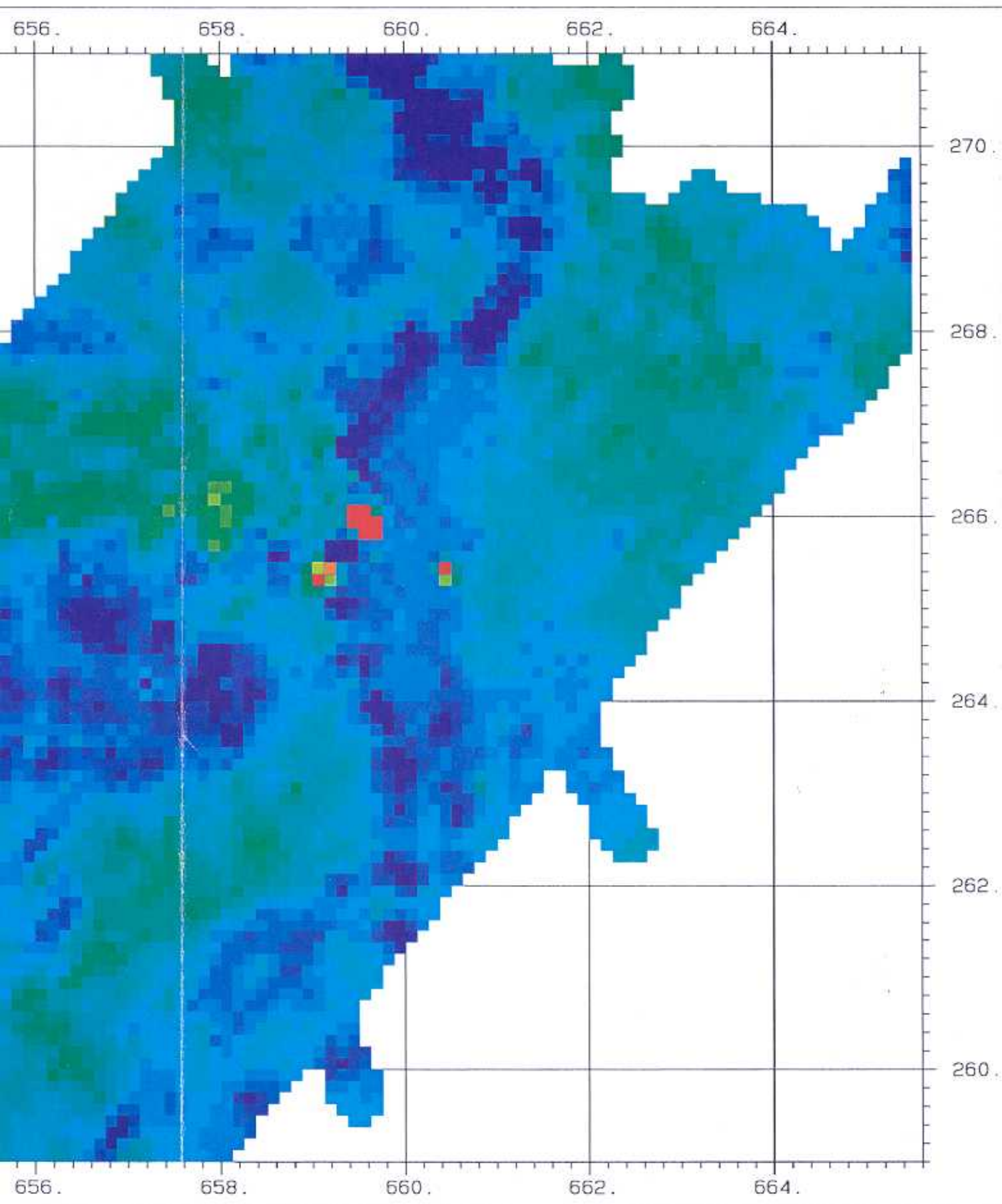
Beilage 1: Flugwegkarte KKB/PSI









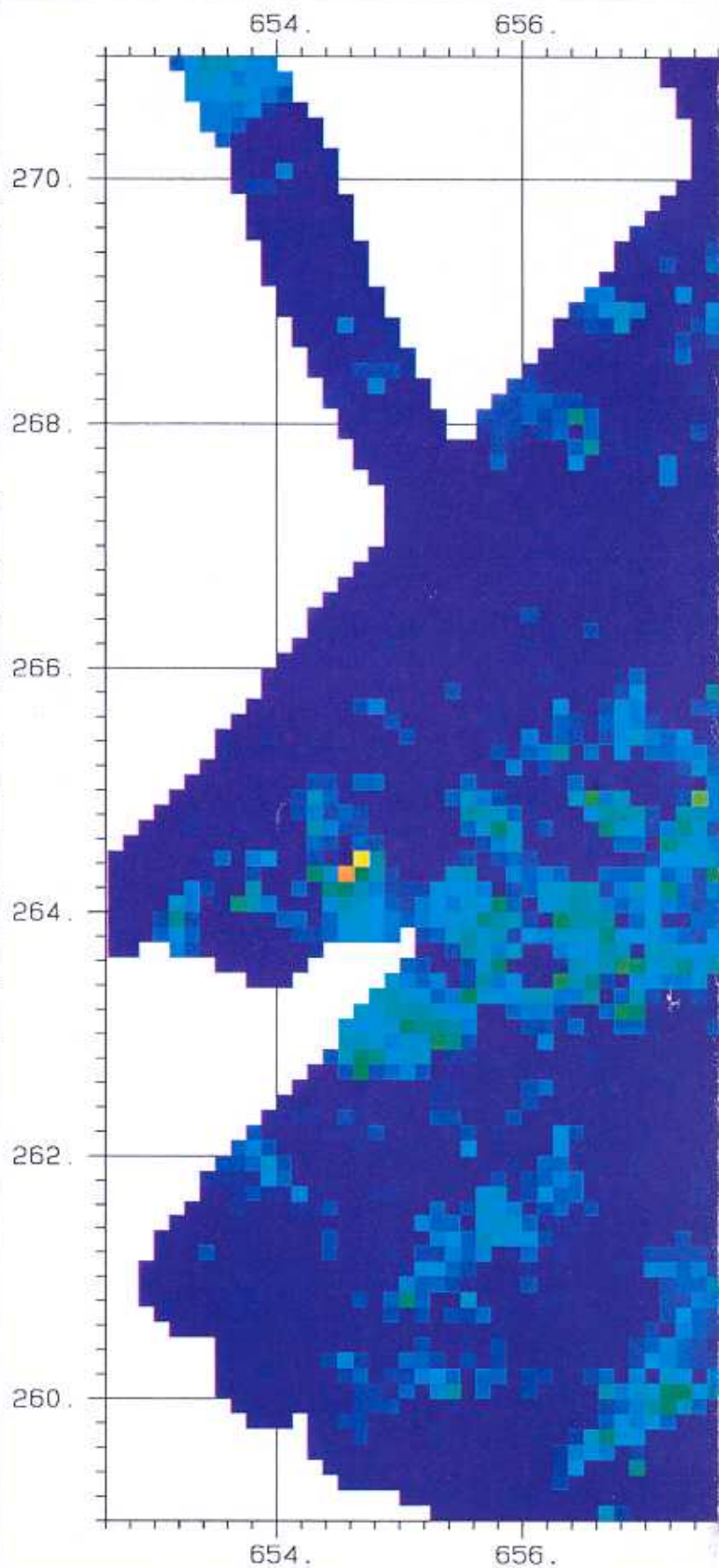
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKB/PSI			
Survey	KKB93		
Channel	Dosis nSv/h		
Sam Int	125.		
Area	101.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	49.3		
Std Dev	11.8		
Minimum	7.3		
Maximum	319.2		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	7.3	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	
	100.0	319.2	



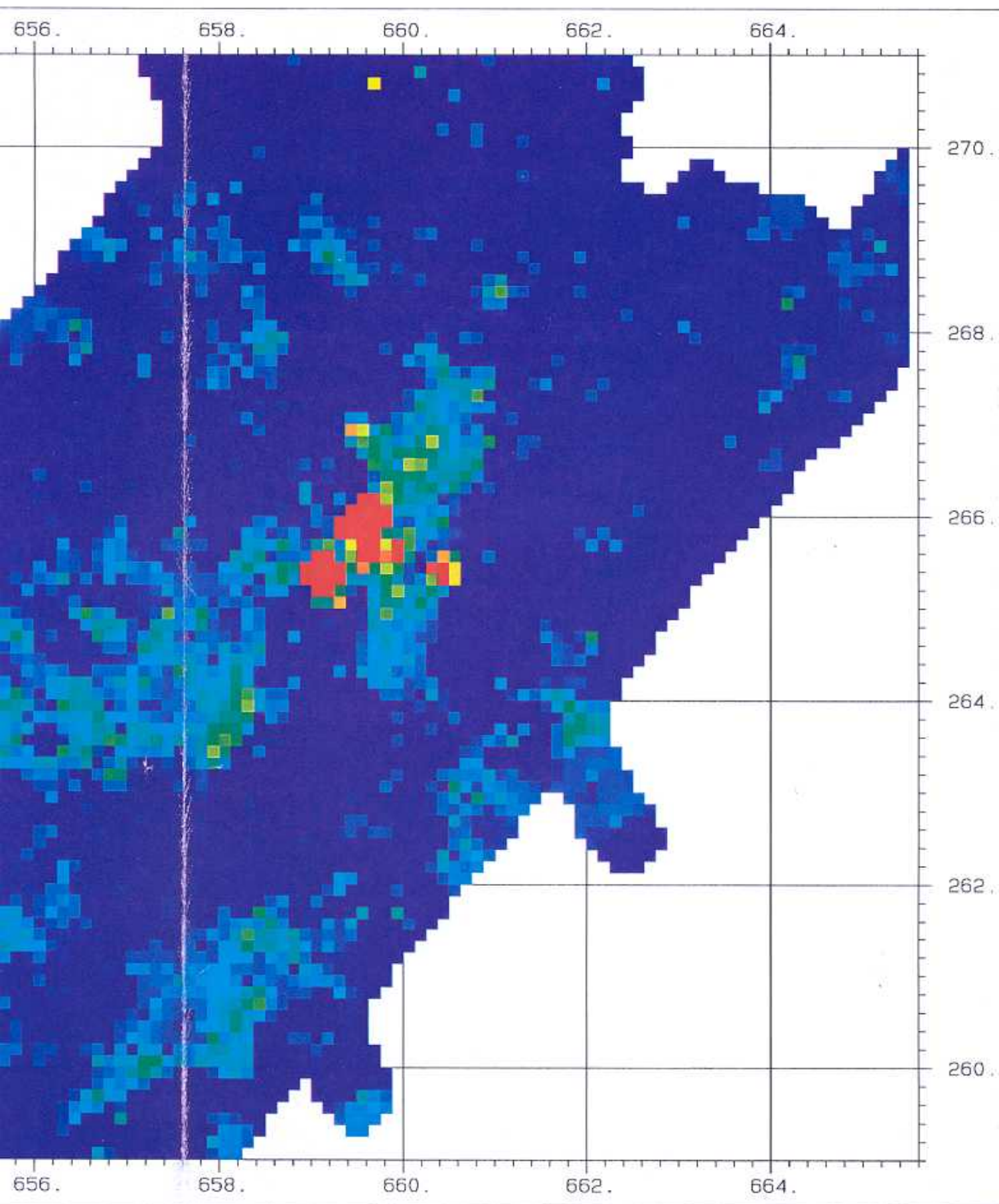
Beilage 2: Ortsdosisleistung KKB/PSI

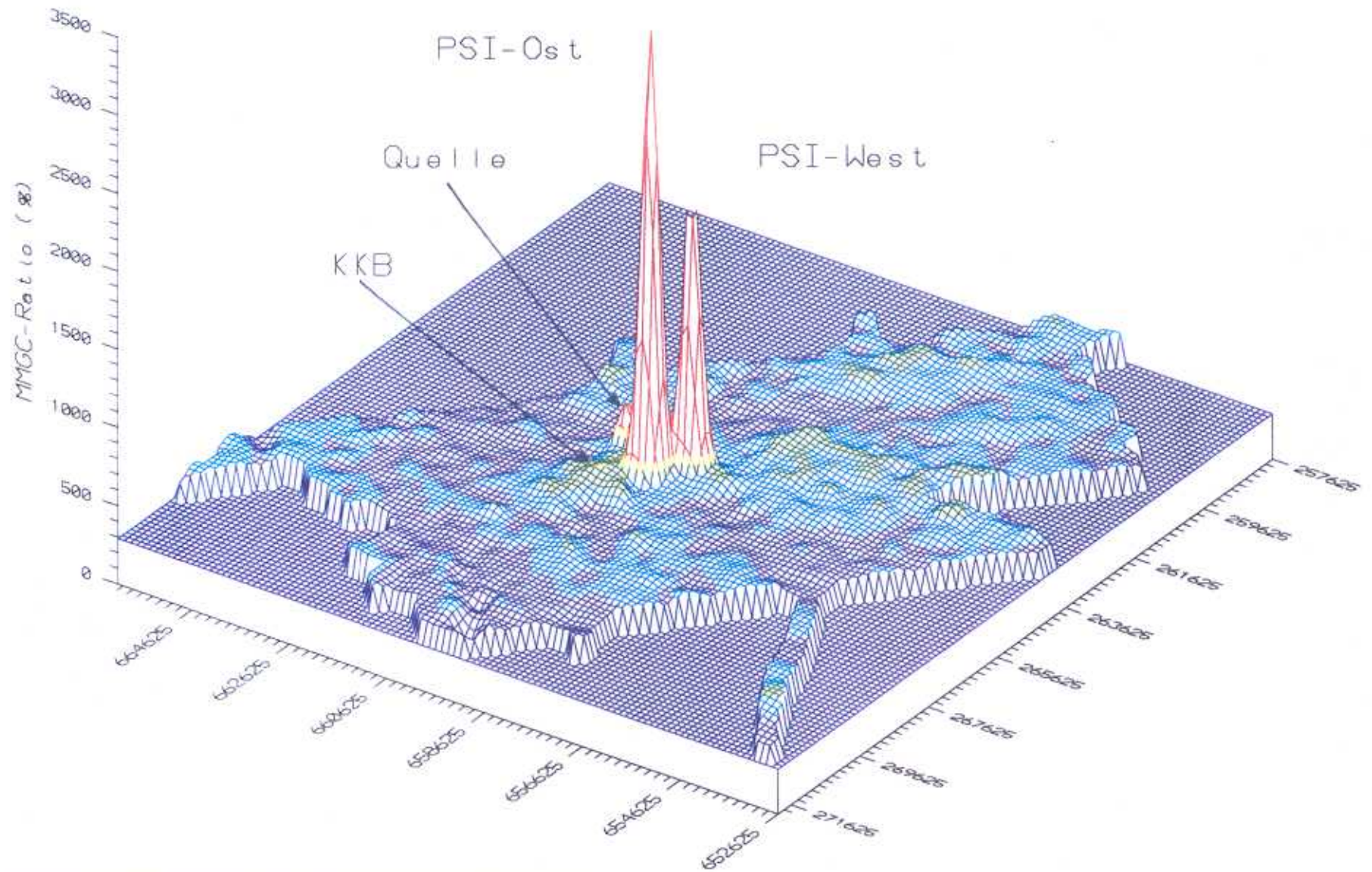


		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKB/PSI			
Survey	KKB93		
Channel	MMGC-Ratio %		
Sam Int	125.		
Area	108.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	464.2		
Std Dev	128.3		
Minimum	139.6		
Maximum	5194.8		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	139.6	490.0	
	490.0	530.0	
	530.0	570.0	
	570.0	610.0	
	610.0	5194.8	









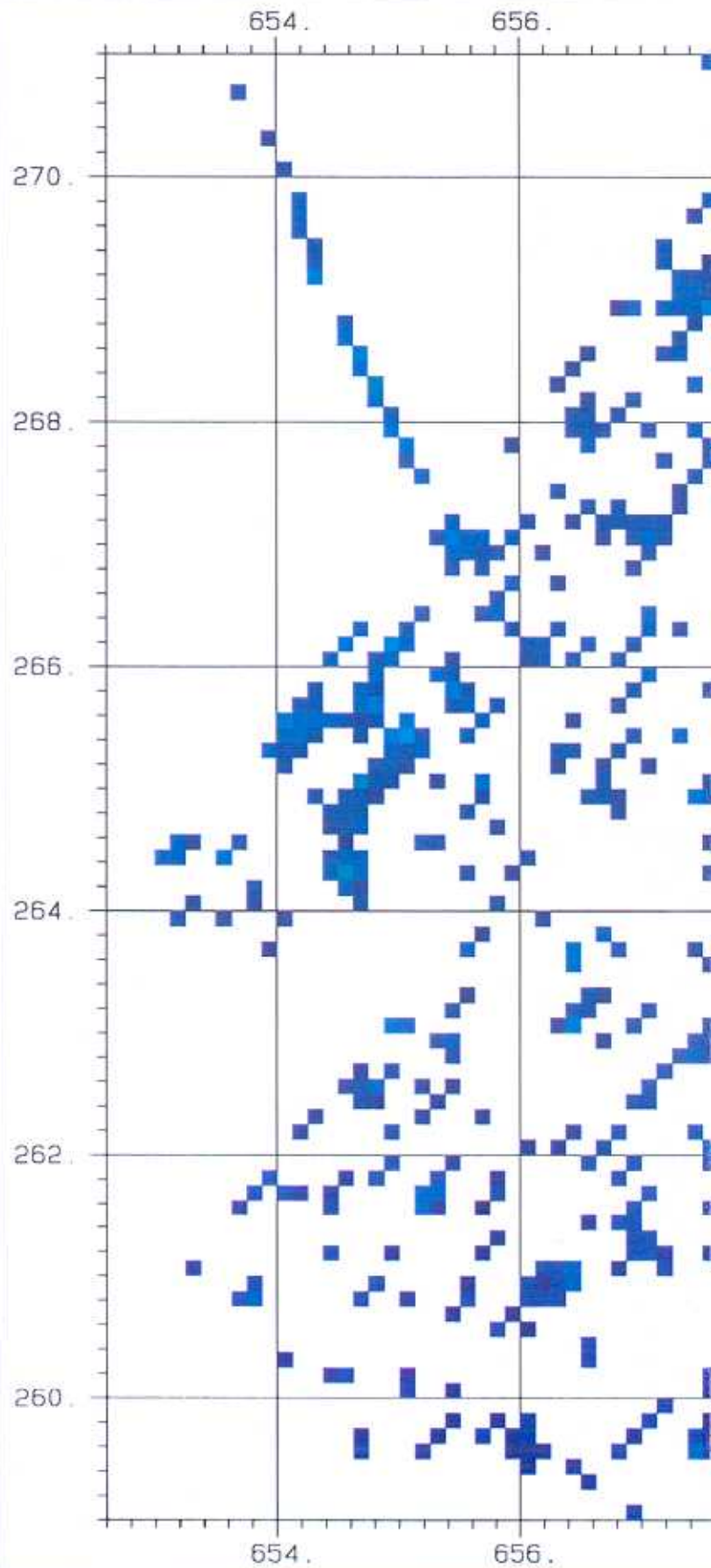
Beilage 3: MMGC-Ratio KKB/PSI



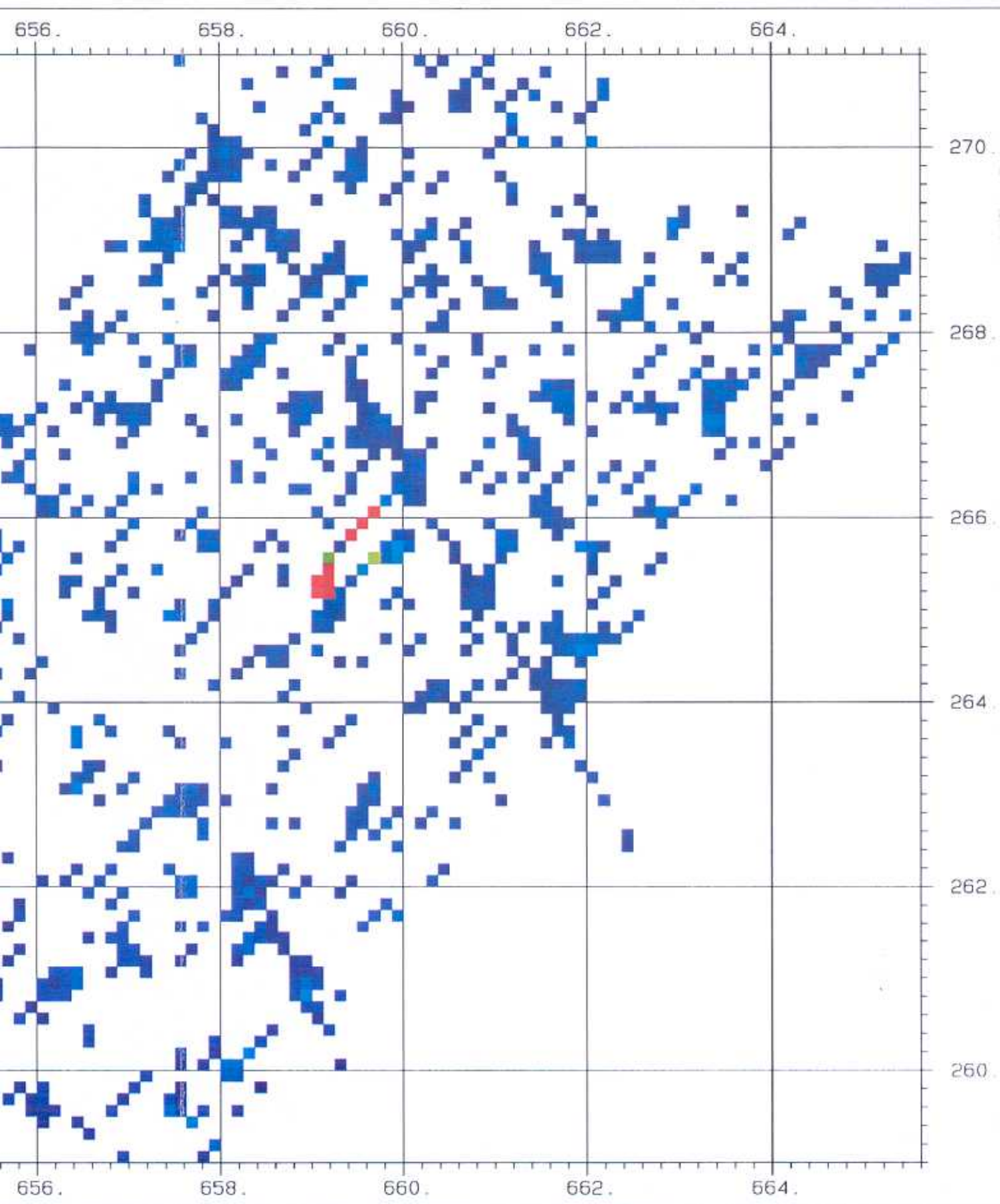








Beilage 4: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKB/PSI

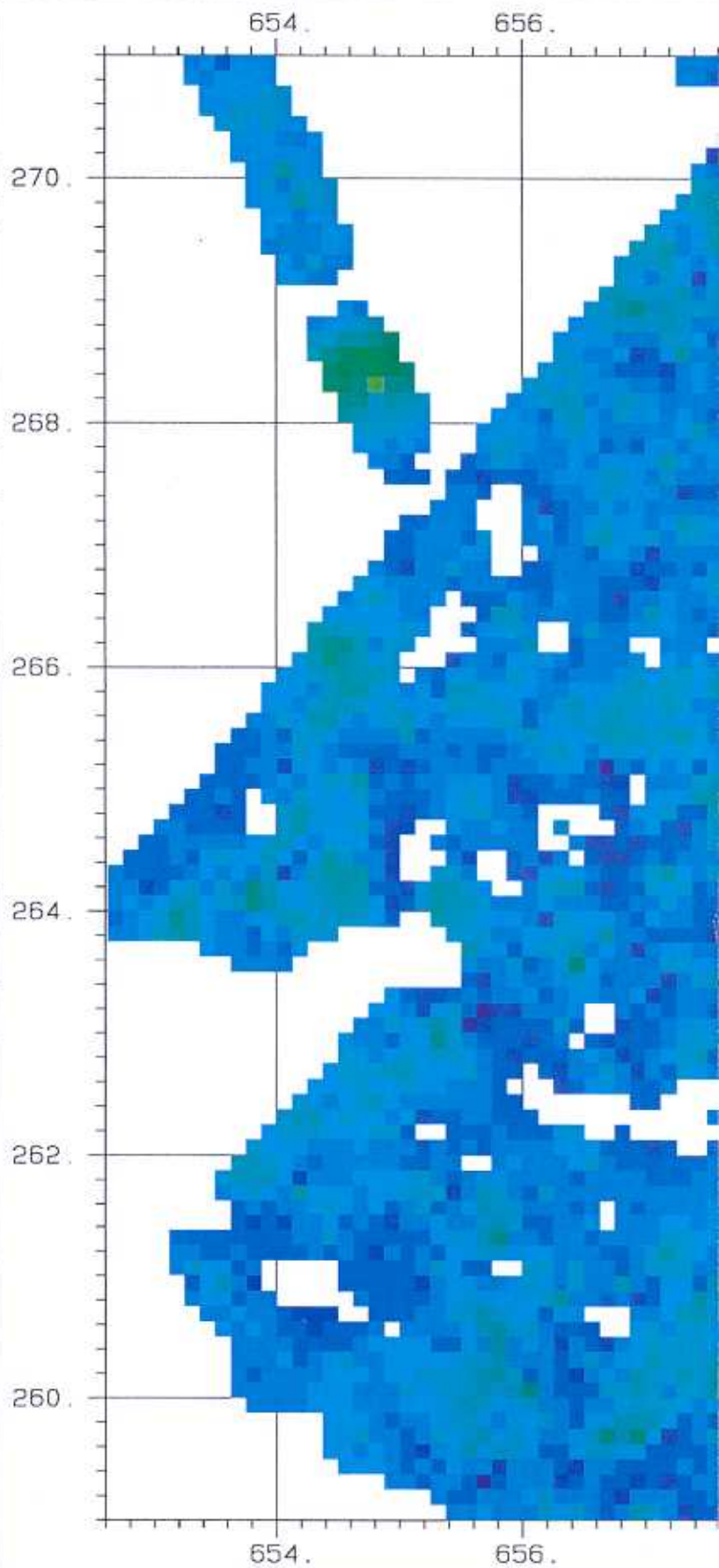
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKB/PSI			
Survey	KKB93		
Channel	Kobalt cps		
Sam Int	125.		
Area	18.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	16.6		
Std Dev	48.3		
Minimum	7.1		
Maximum	1343.6		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	20.0	
	20.0	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	1343.6	



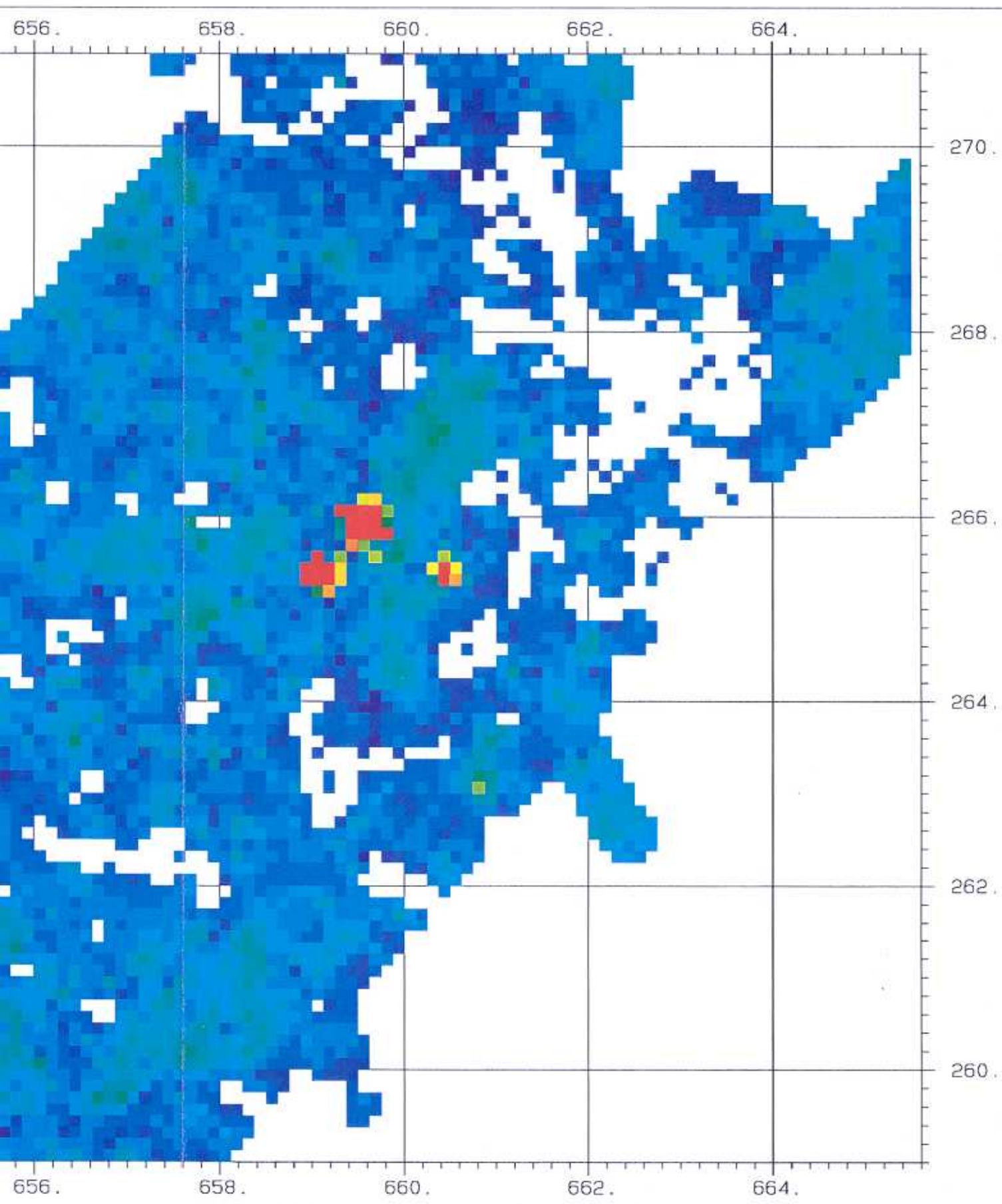
Beilage 5: Kobaltfenster KKB/PSI




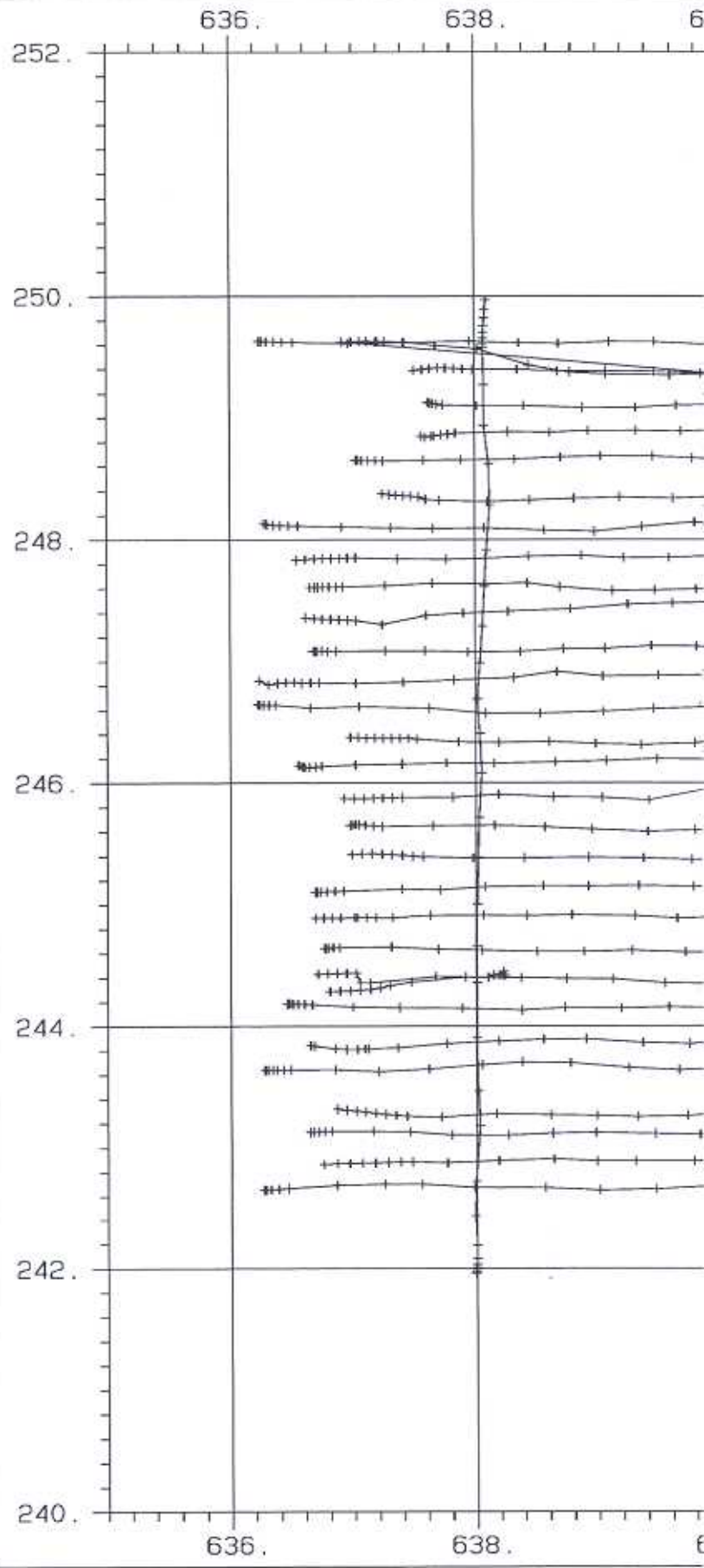
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKB/PSI			
Survey	KKB93		
Channel	Cs-137 Bq/kg		
Sam Int	125.		
Area	86.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	48.7		
Std Dev	37.1		
Minimum	17.6		
Maximum	1728.8		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	40.0	
	40.0	80.0	
	80.0	120.0	
	120.0	160.0	
	160.0	1728.8	



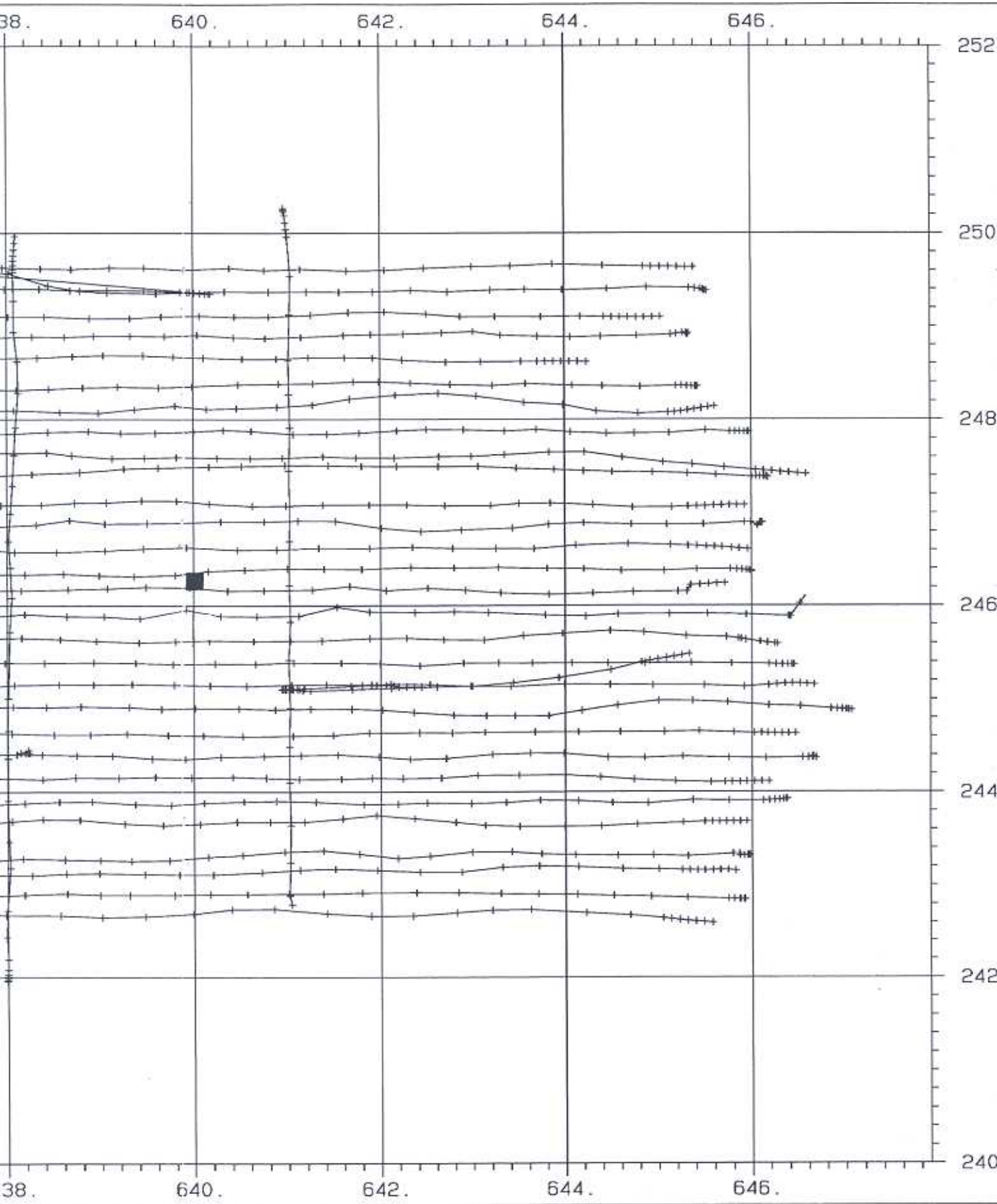
Beilage 6: Cs¹³⁷-Aktivität KKB/PSI









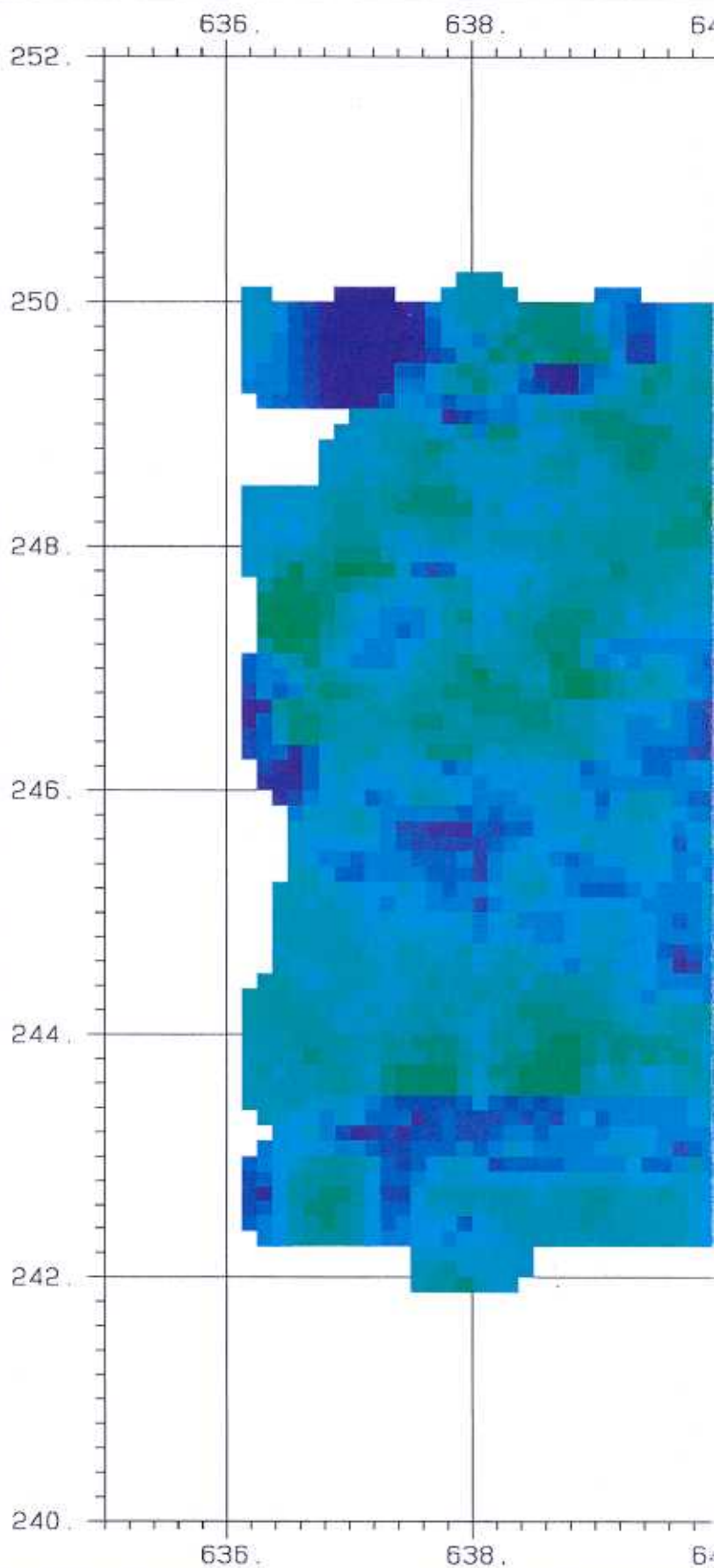
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKG			
Survey	KKG93		
Channel	F. Path		
Scale	50000.		
Path Len	298.		



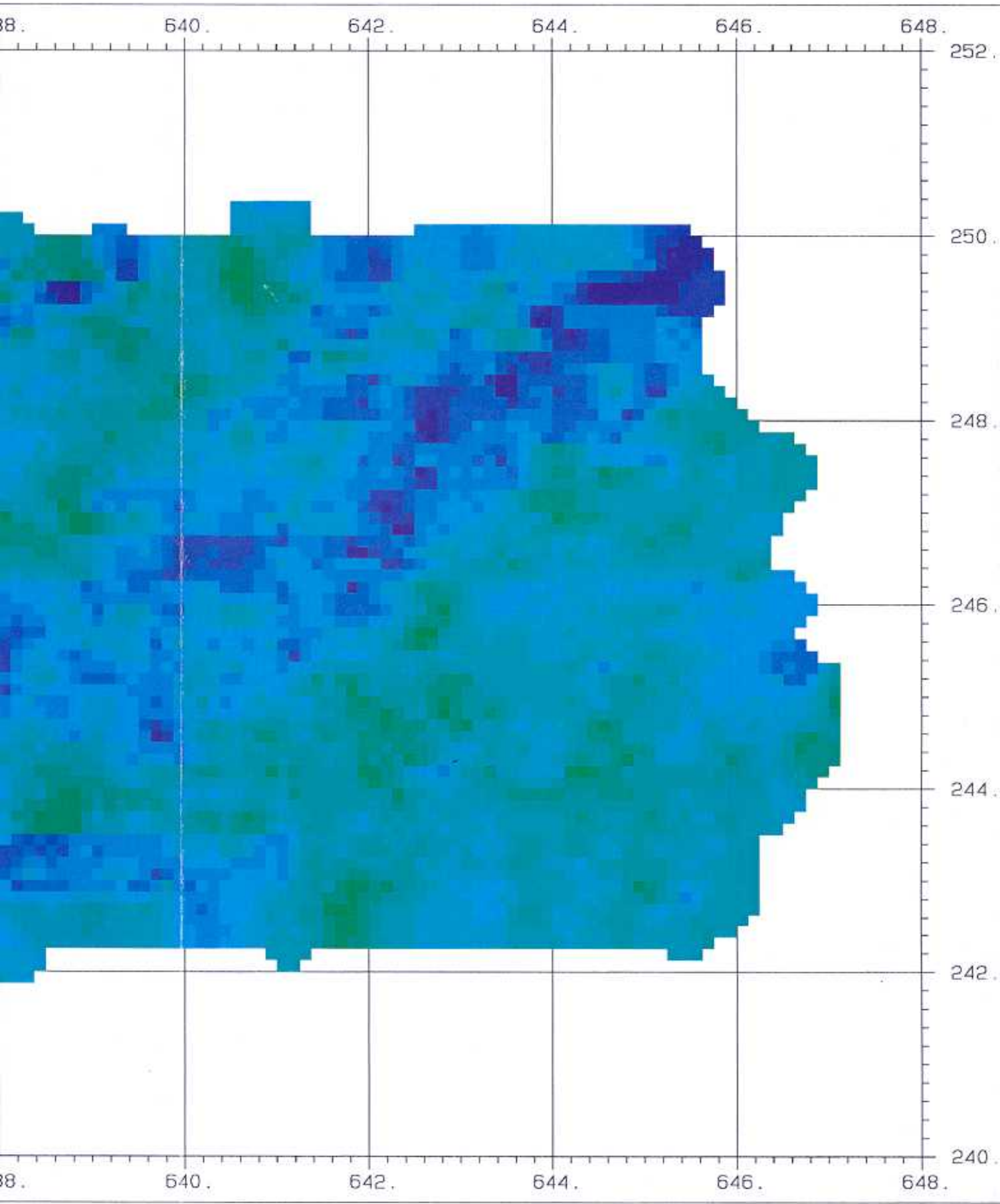
Beilage 7: Flugwegkarte KKG









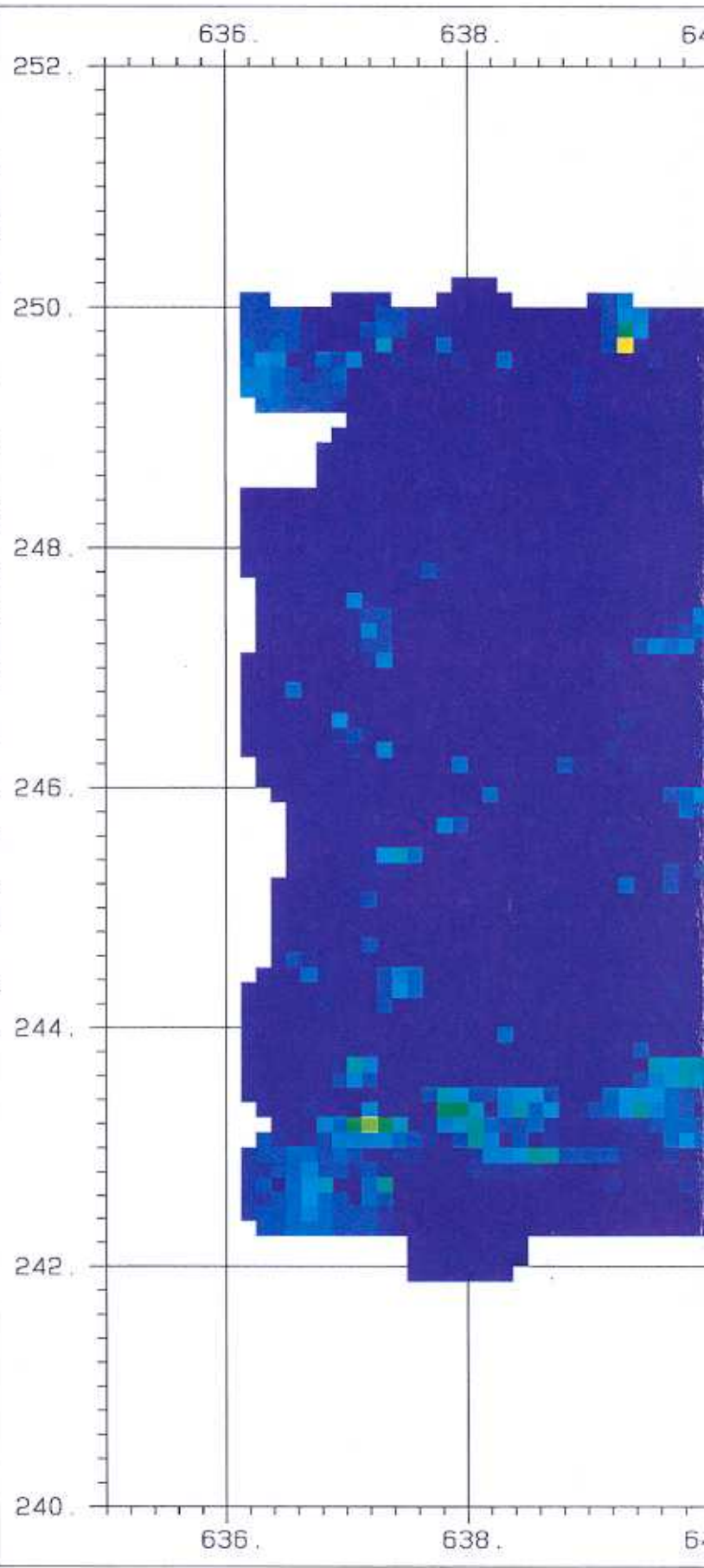
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKG			
Survey	KKG93		
Channel	Dosis nSv/h		
Sam Int	125.		
Area	80.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	50.0		
Std Dev	8.0		
Minimum	17.5		
Maximum	71.6		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	17.5	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	
	100.0	120.0	



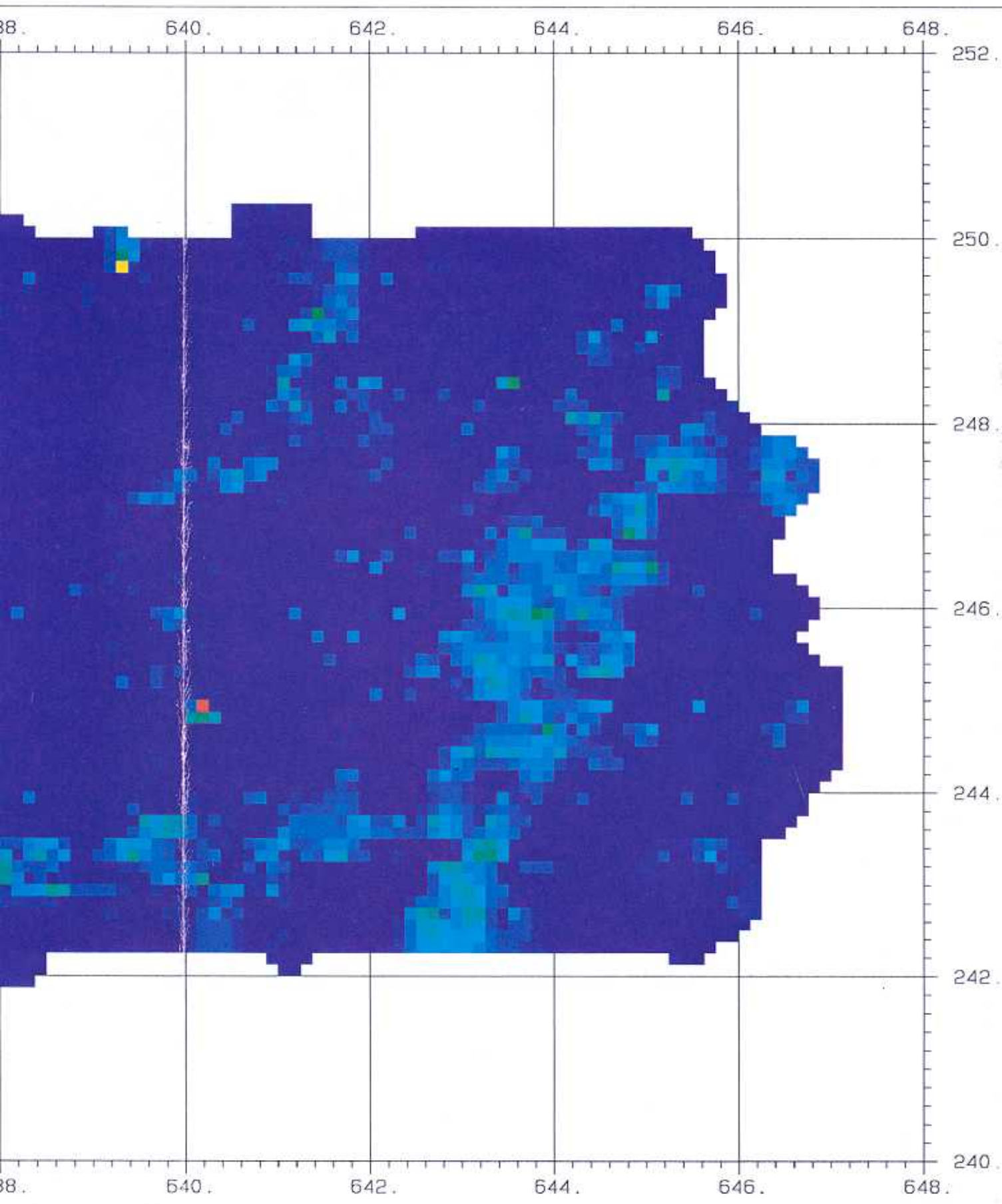
Beilage 8: Ortsdosisleistung KKG

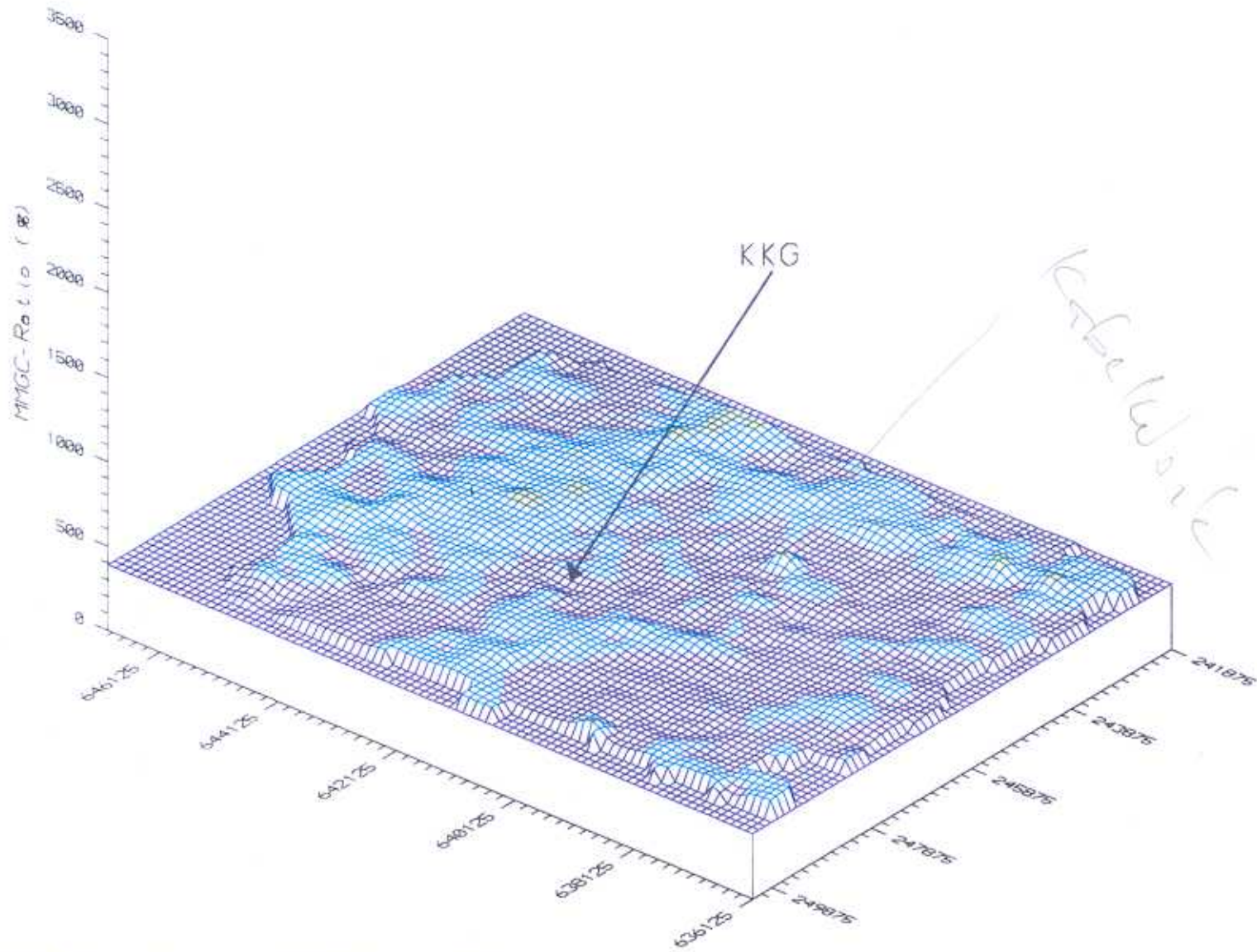


		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKG			
Survey	KKG93		
Channel	MMGC-Ratio %		
Sam Int	125.		
Area	80.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	452.7		
Std Dev	24.2		
Minimum	375.5		
Maximum	633.2		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	375.5	490.0	
	490.0	530.0	
	530.0	570.0	
	570.0	610.0	
	610.0	650.0	









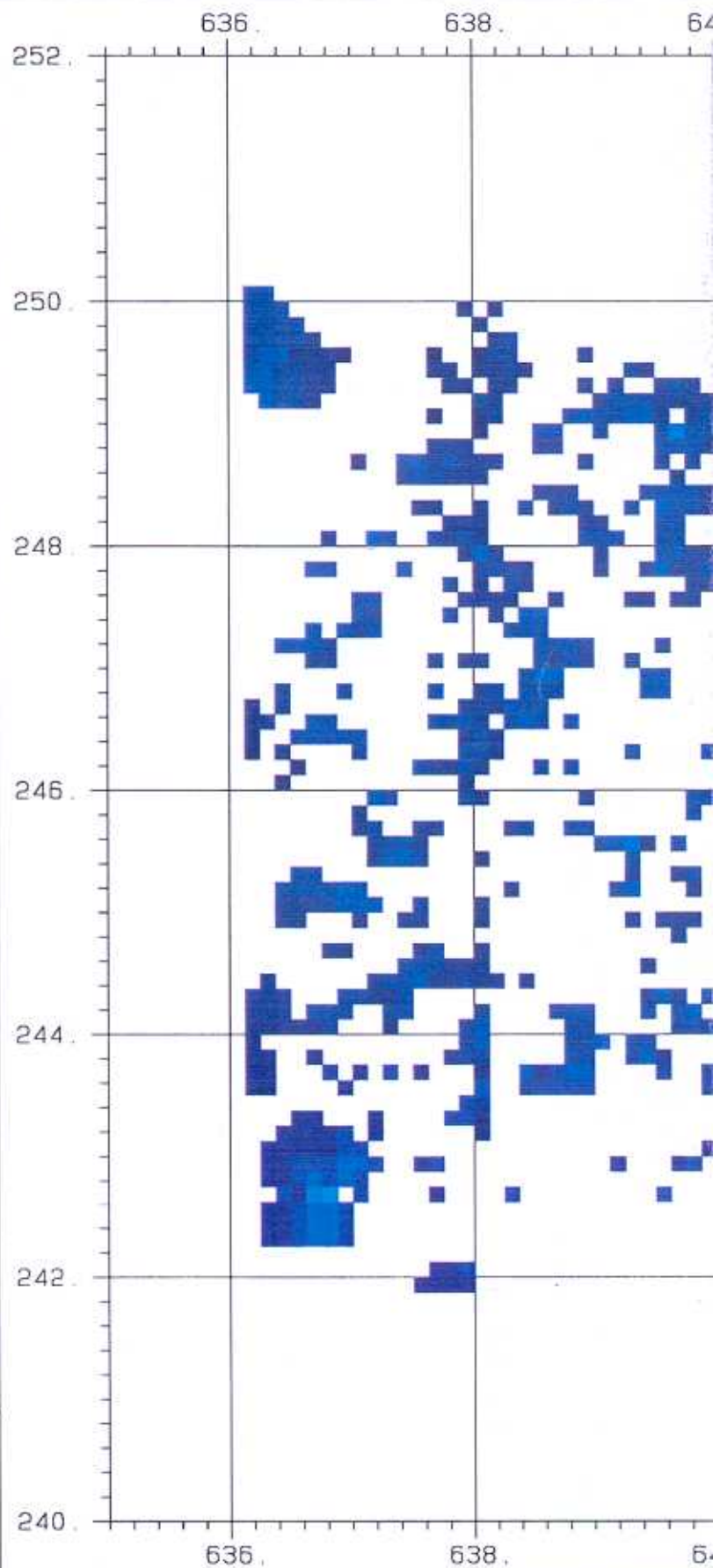
Beilage 9: MMGC-Ratio KKG



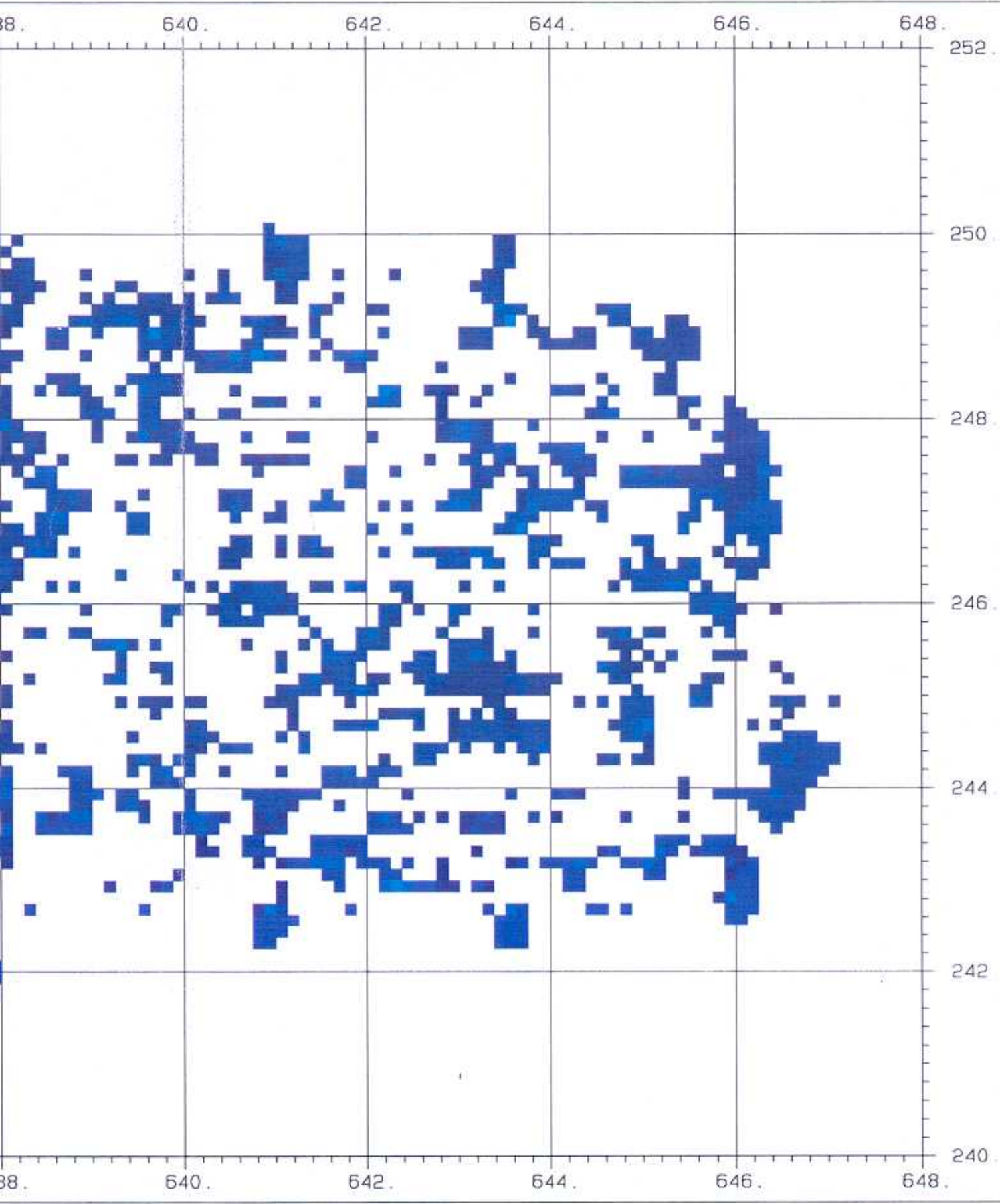








Beilage 10: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKG

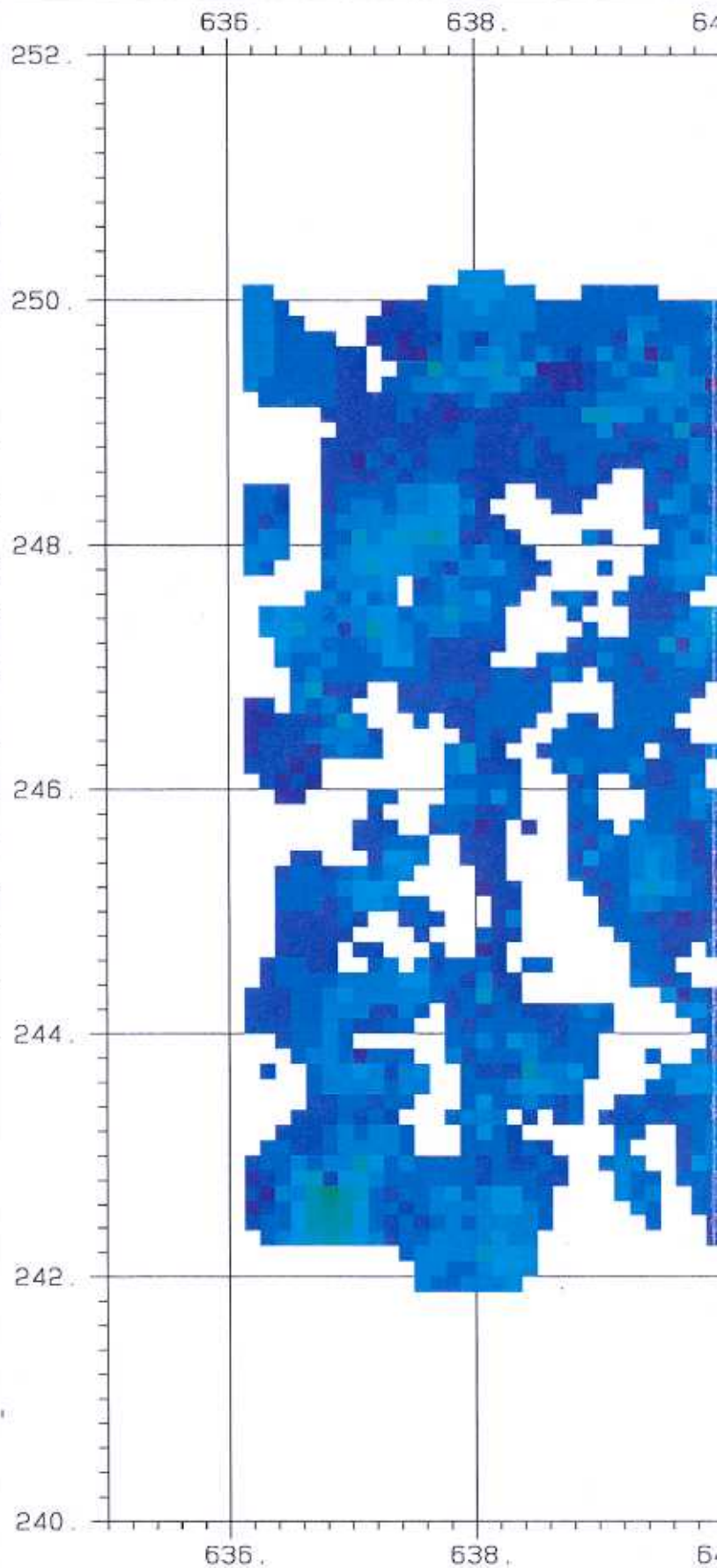
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKG			
Survey	KKG93		
Channel	Kobalt cps		
Sam Int	125.		
Area	23.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	12.6		
Std Dev	2.4		
Minimum	5.9		
Maximum	25.9		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	20.0	
	20.0	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	



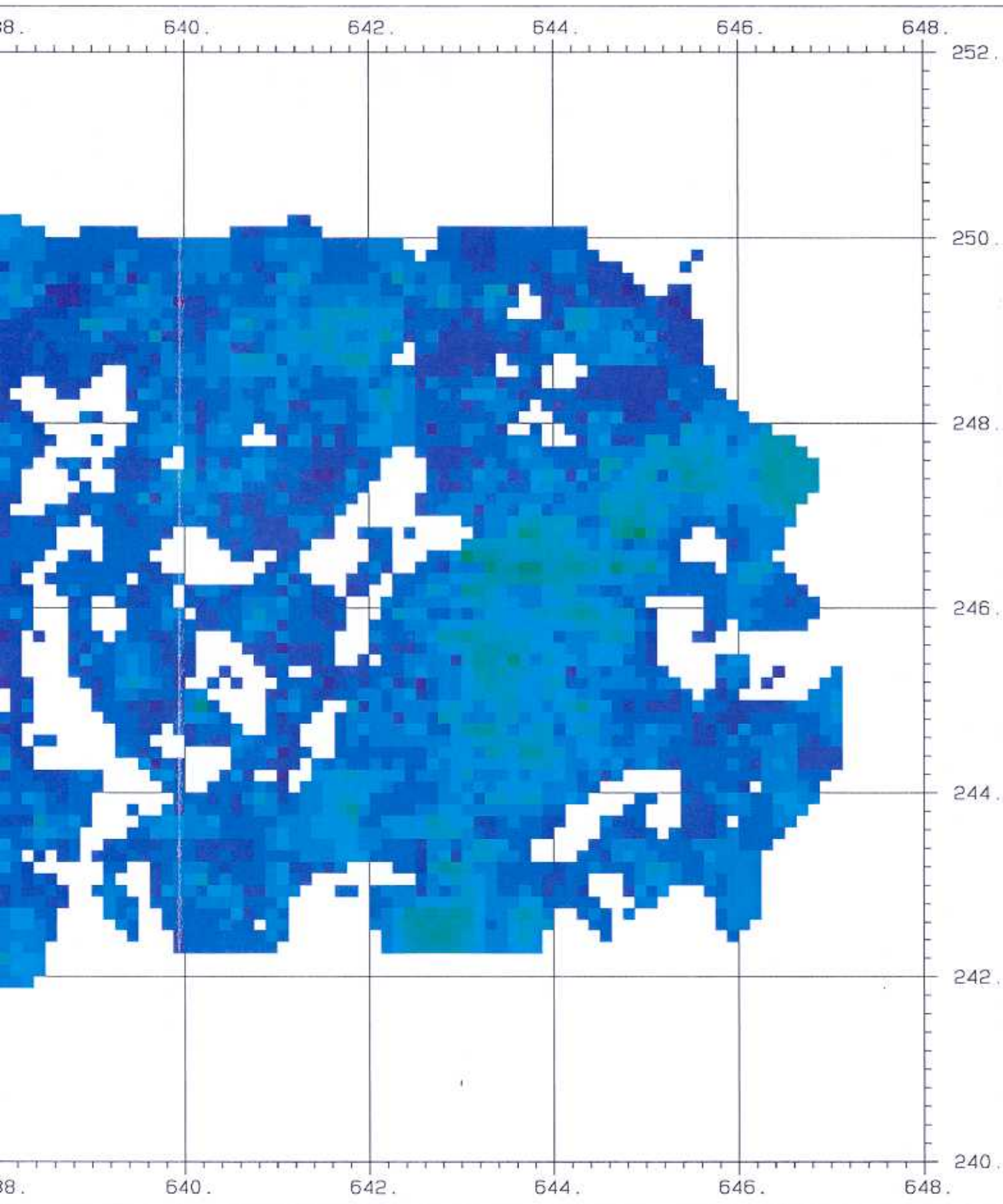
Beilage 11: Kobaltfenster KKG



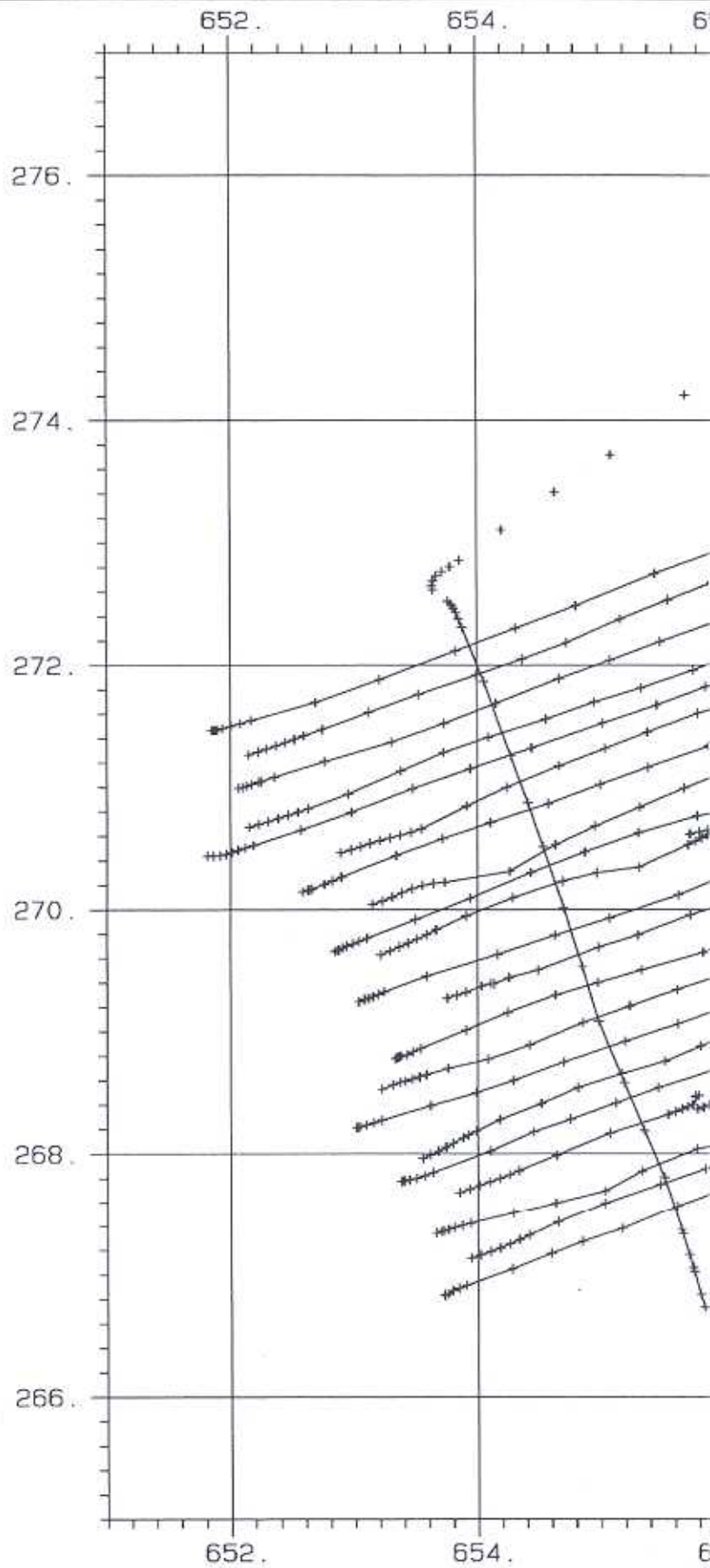
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKG			
Survey	KKG93		
Channel	Cs-137 Bq/kg		
Sam Int	125.		
Area	64.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	40.8		
Std Dev	10.6		
Minimum	16.6		
Maximum	91.4		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	40.0	
	40.0	80.0	
	80.0	120.0	
	120.0	160.0	
	160.0	200.0	



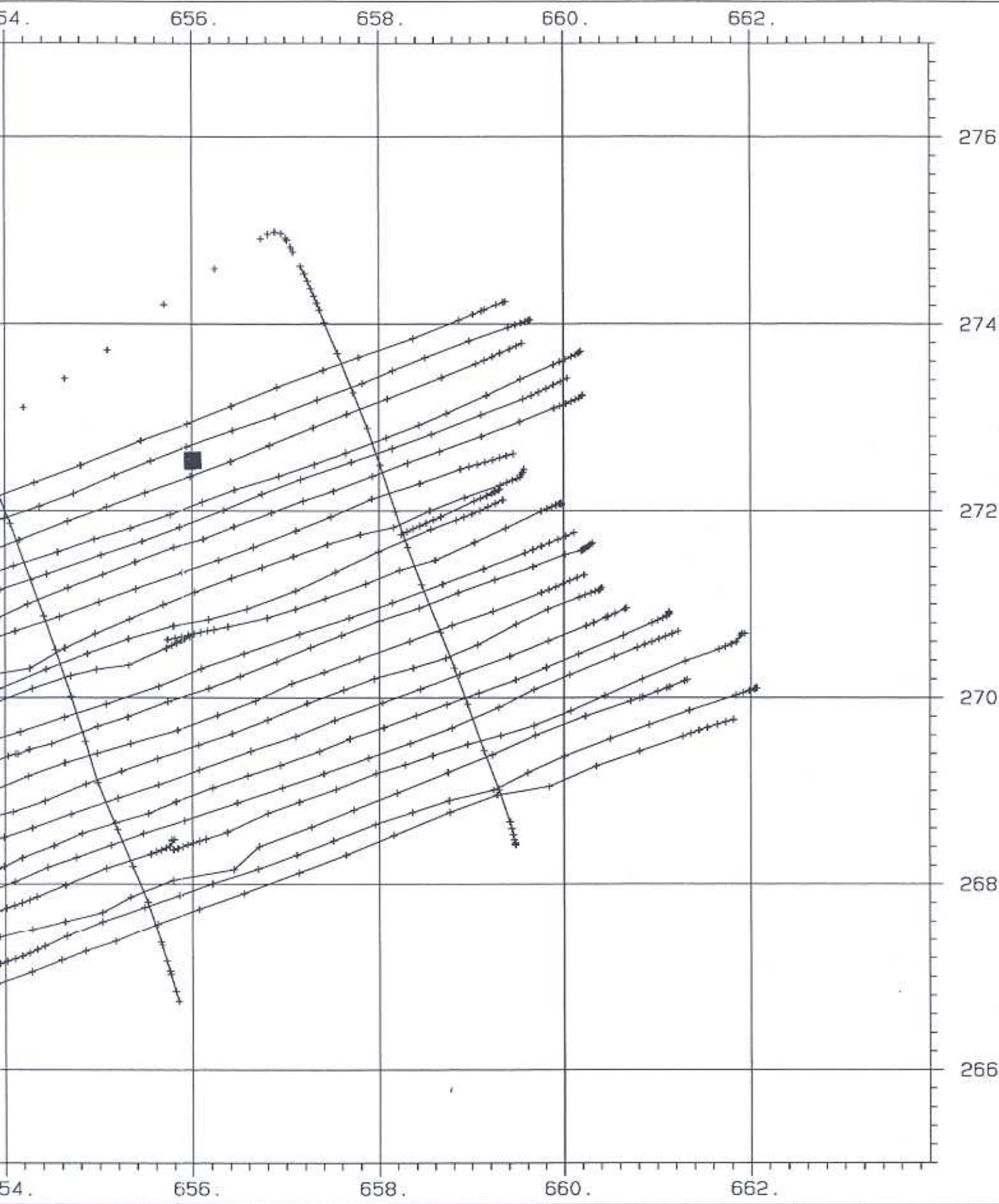
Beilage 12: Cs¹³⁷-Aktivität KKG









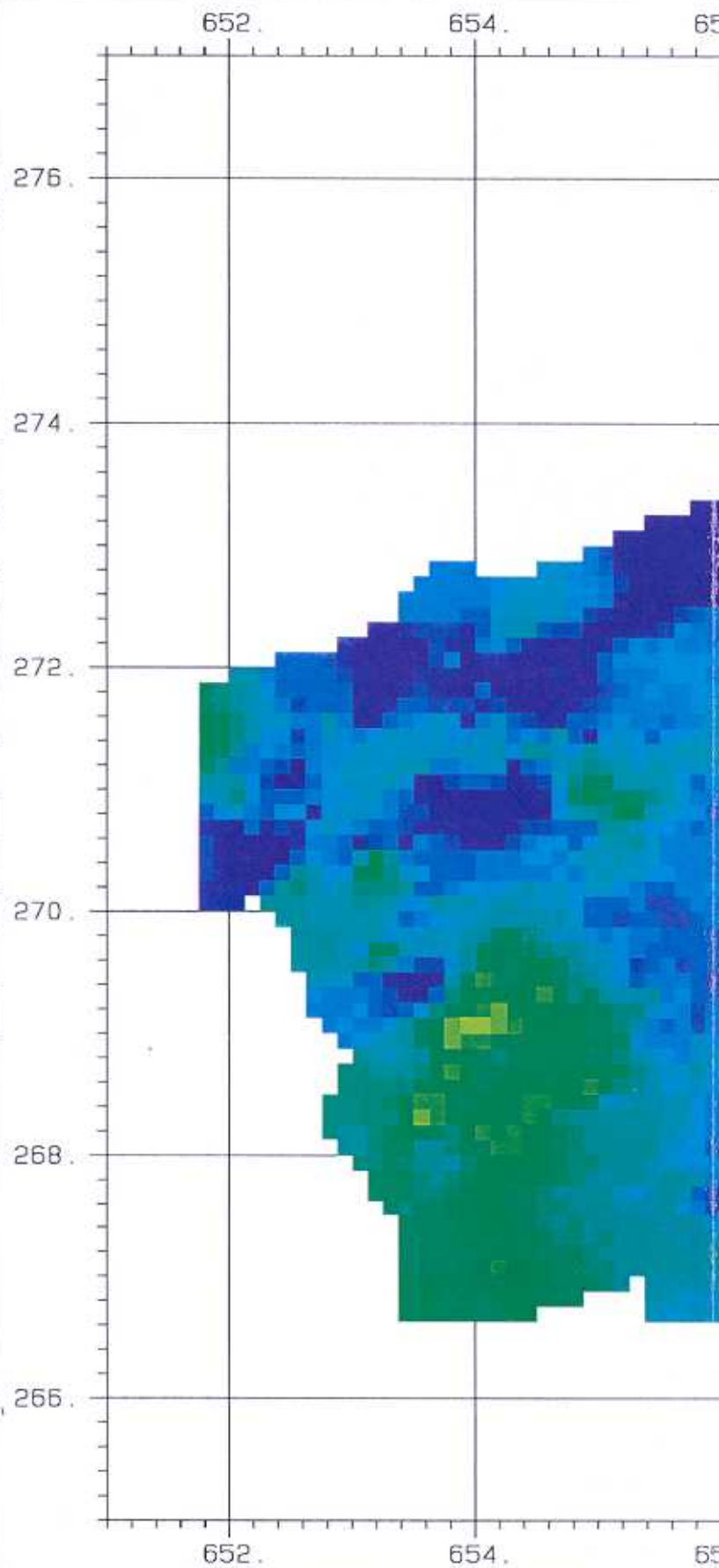
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKL			
Survey	KKL93		
Channel	F. Path		
Scale	50000.		
Path Len	180.		



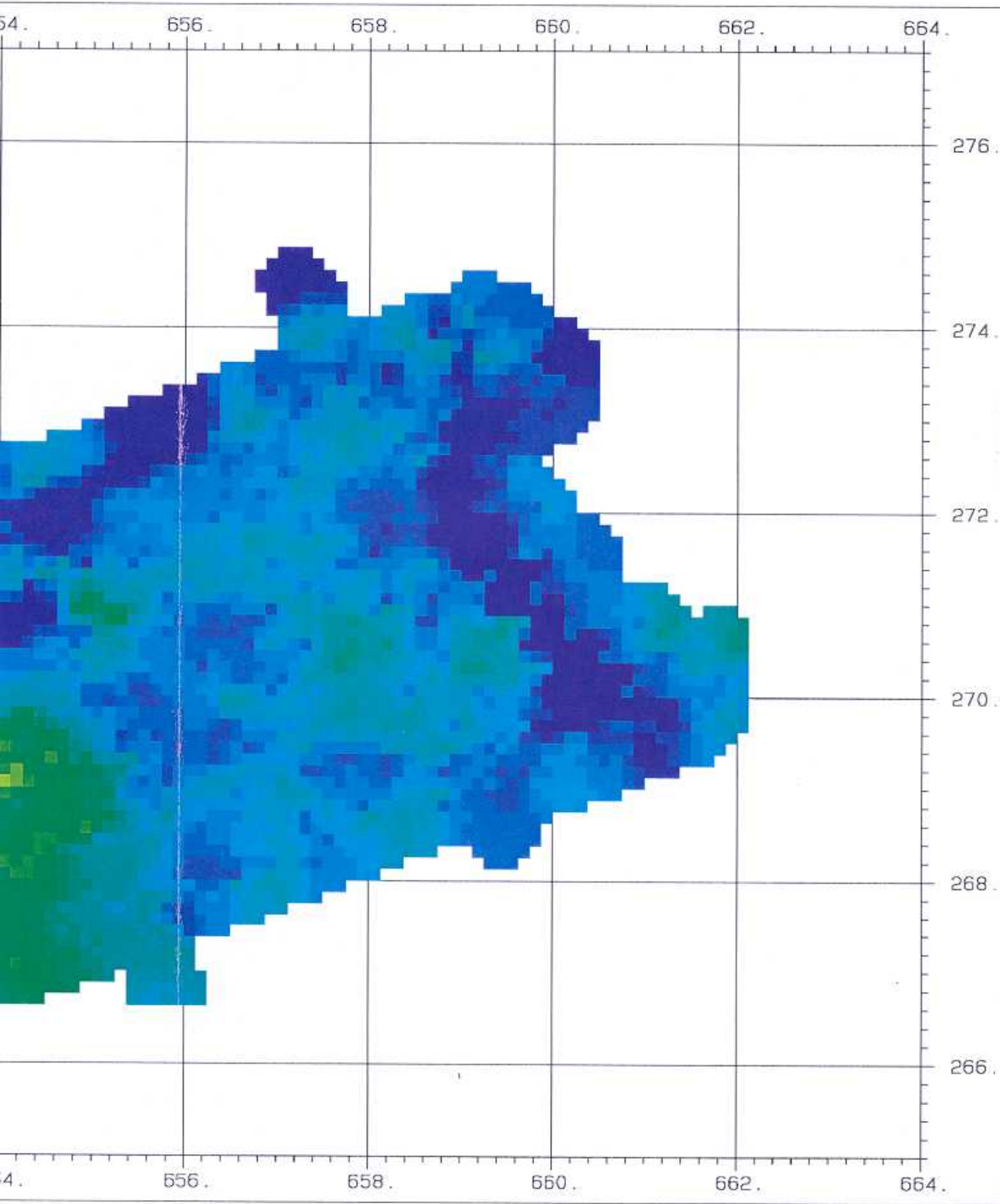
Beilage 13: Flugwegkarte KKL









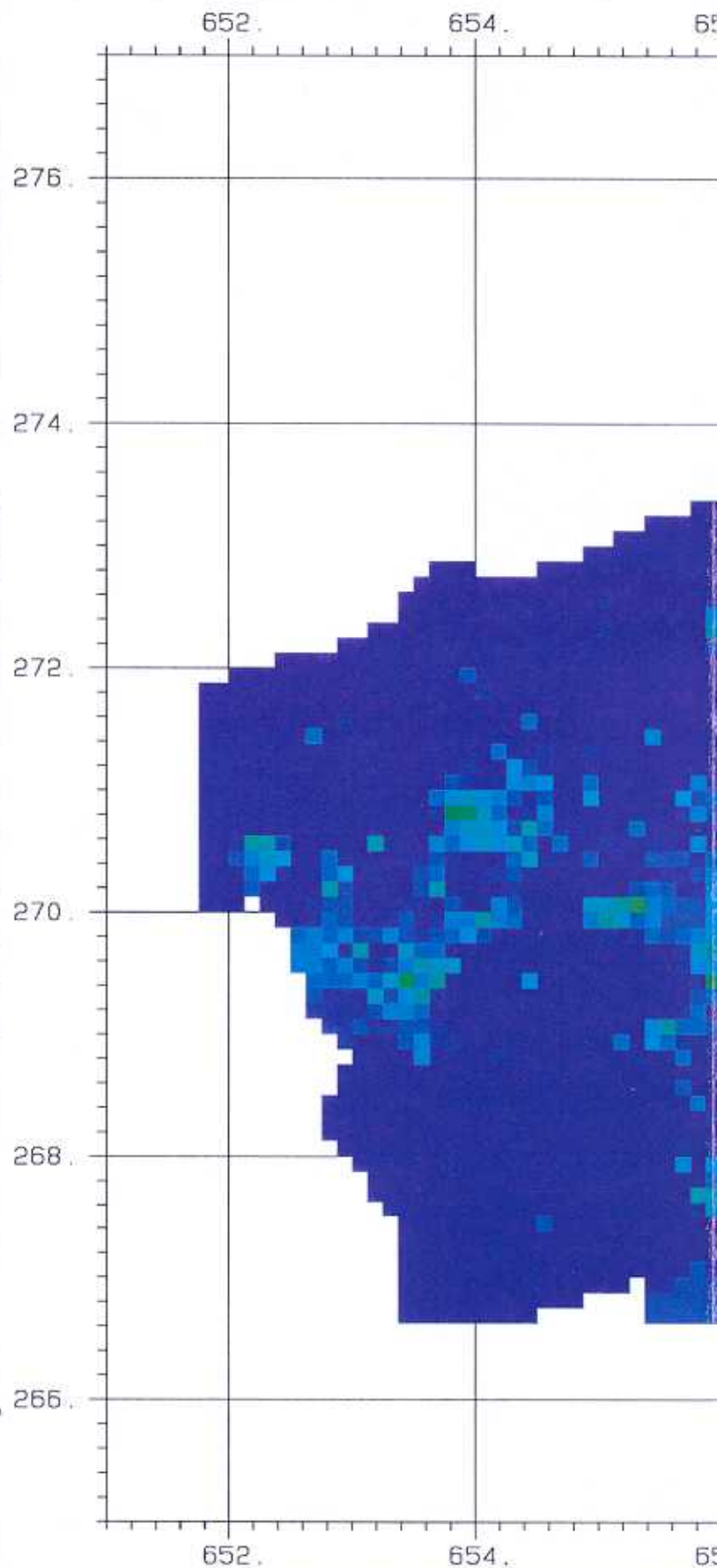
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
		KKL	
Survey	KKL93		
Channel	Dosis nSv/h		
Sam Int	125.		
Area	52.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	44.6		
Std Dev	13.2		
Minimum	4.7		
Maximum	85.7		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	4.7	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	
	100.0	120.0	



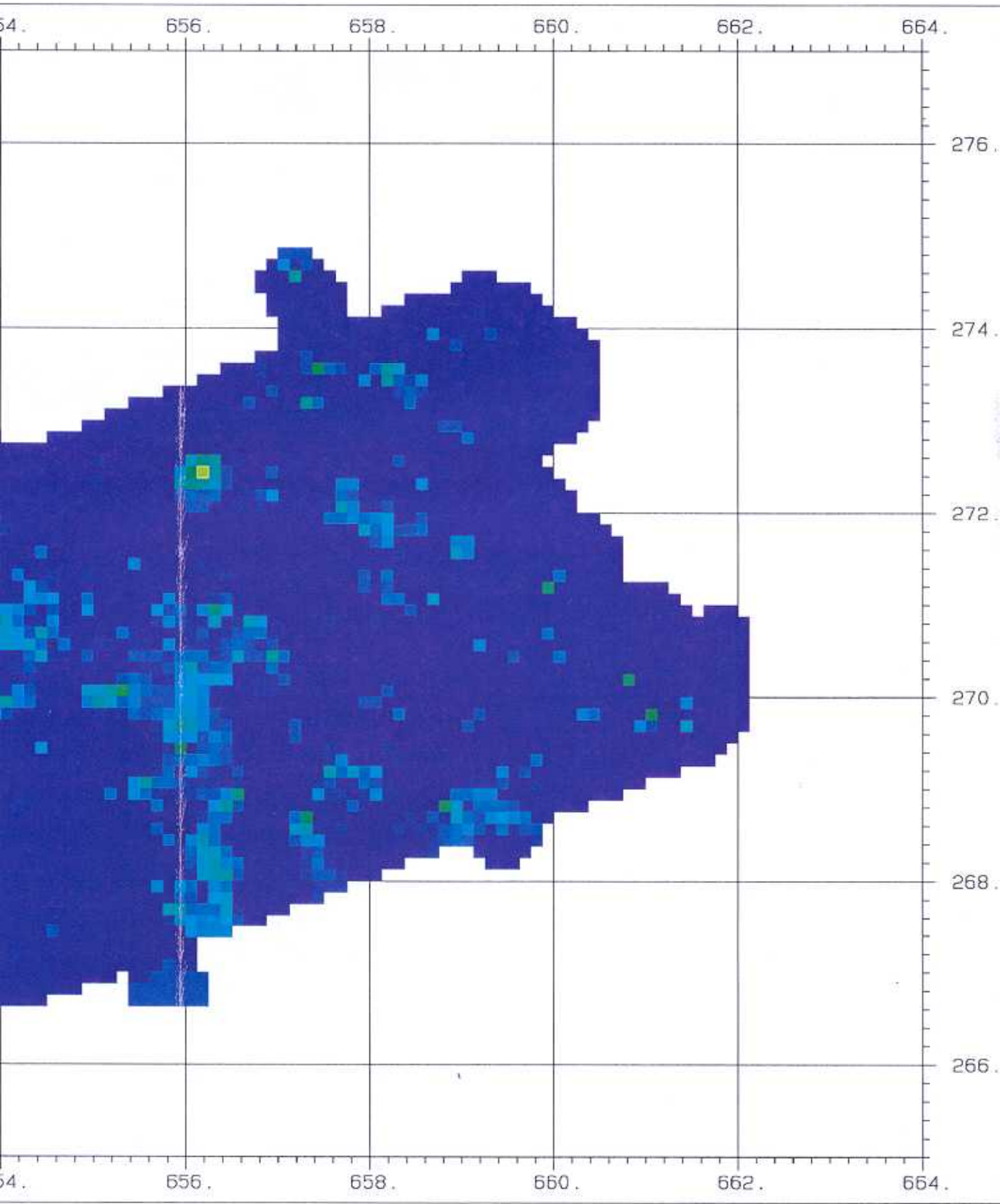
Beilage 14: Ortsdosisleistung KKL

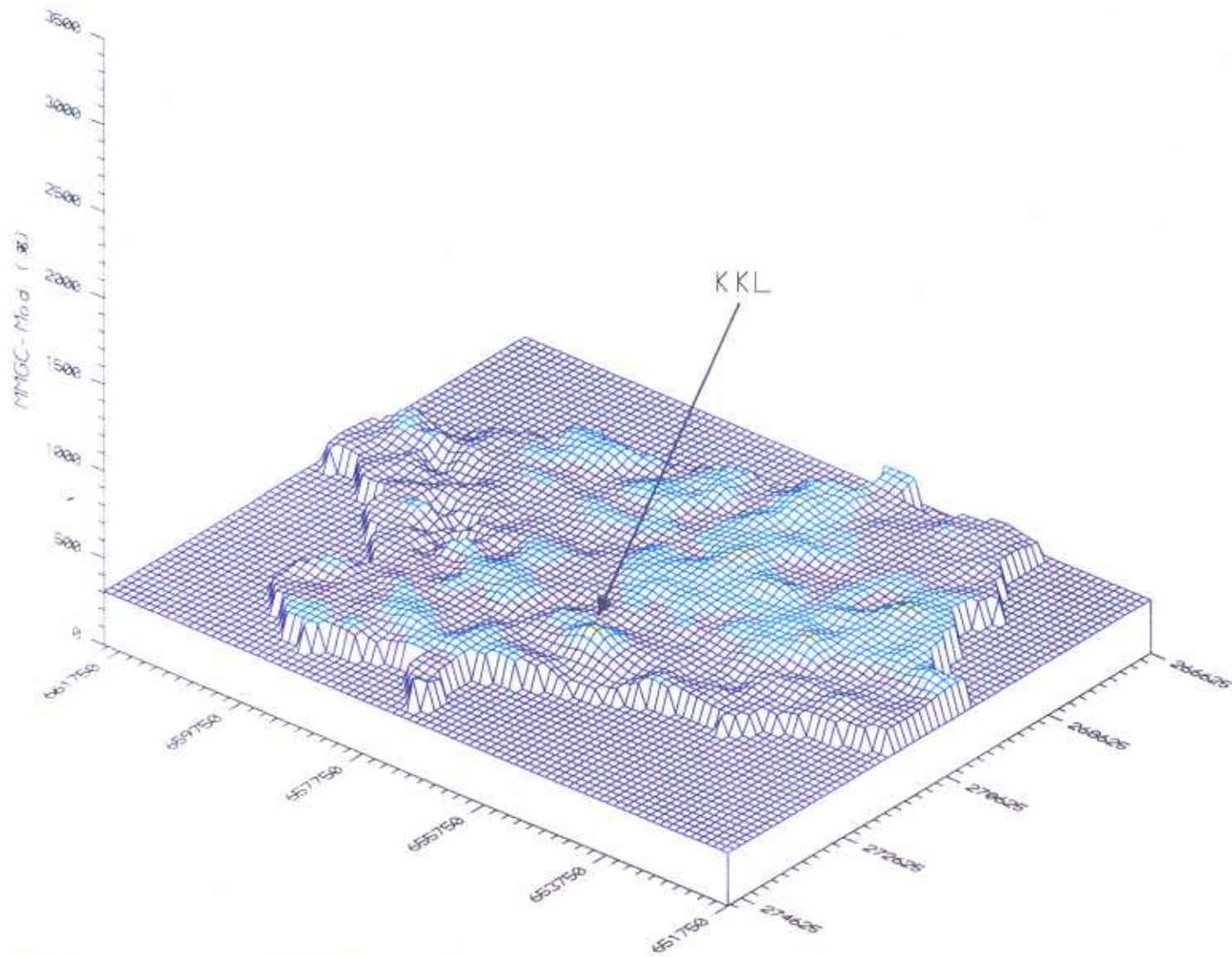


		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKL			
Survey	KKL93		
Channel	MMGC-Ratio %		
Sam Int	125.		
Area	52.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	443.8		
Std Dev	32.9		
Minimum	47.1		
Maximum	578.3		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	47.1	490.0	
	490.0	530.0	
	530.0	570.0	
	570.0	610.0	
	610.0	650.0	









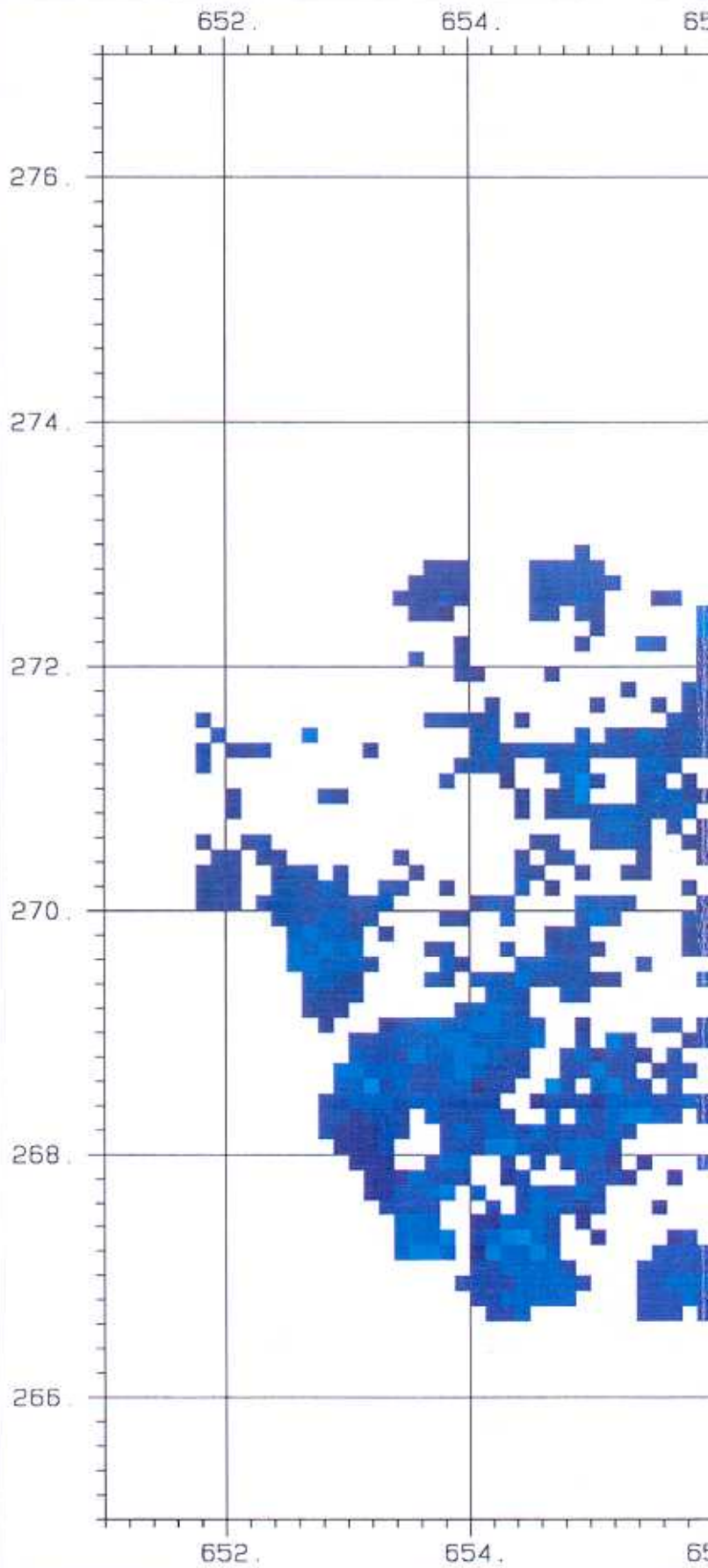
Beilage 15: MMGC-Ratio KKL



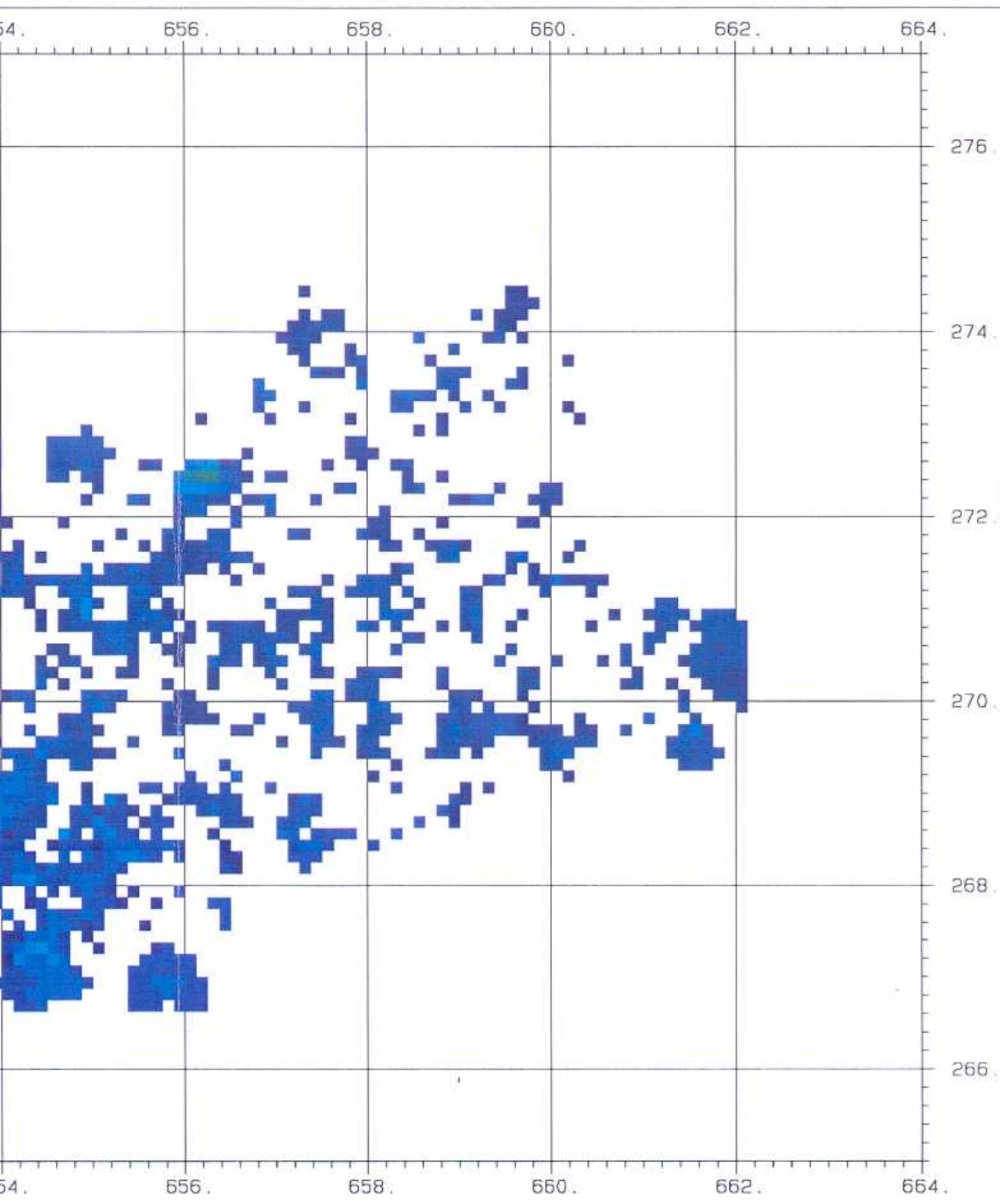








Beilage 16: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKL

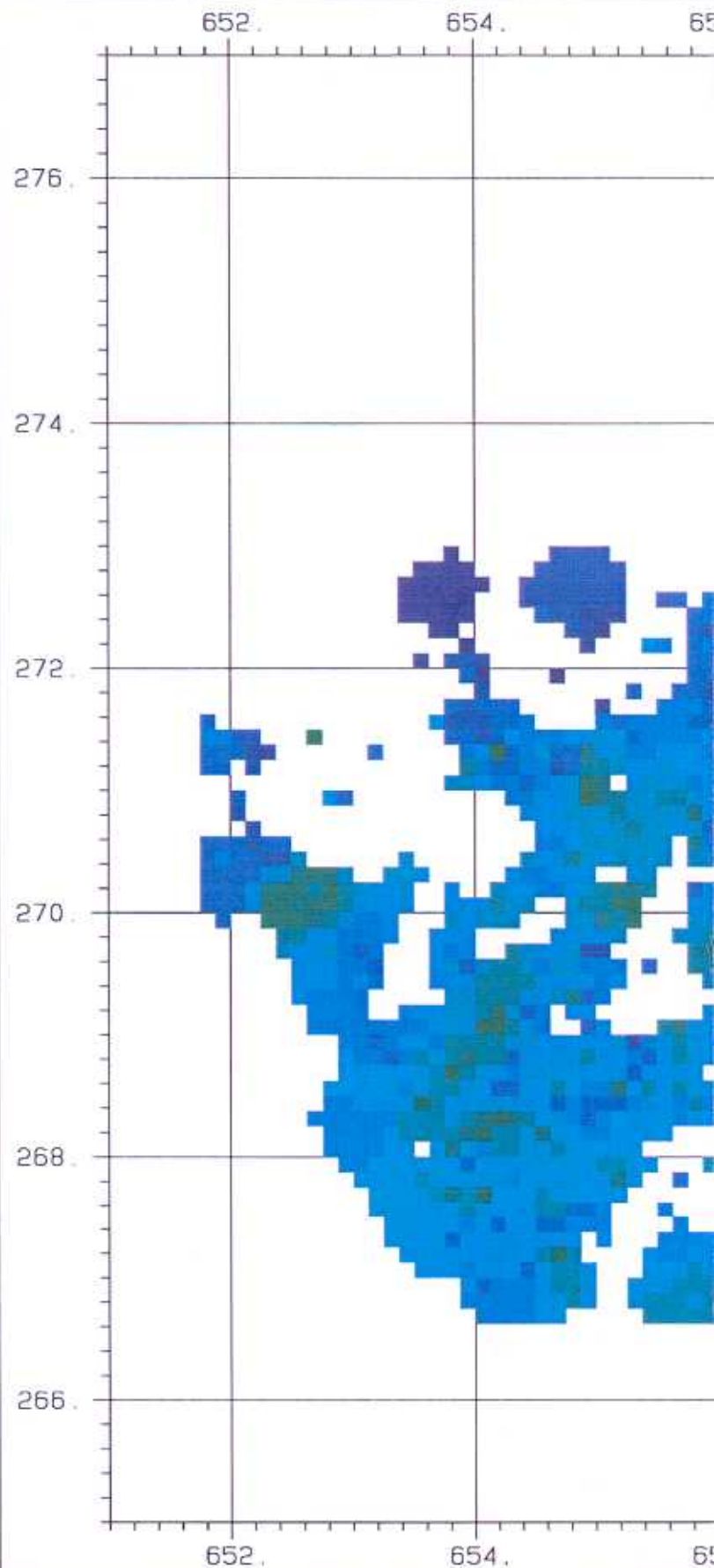
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKL			
Survey	KKL93		
Channel	Kobalt cps		
Sam Int	125.		
Area	18.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	13.8		
Std Dev	3.5		
Minimum	5.7		
Maximum	37.1		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	20.0	
	20.0	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	



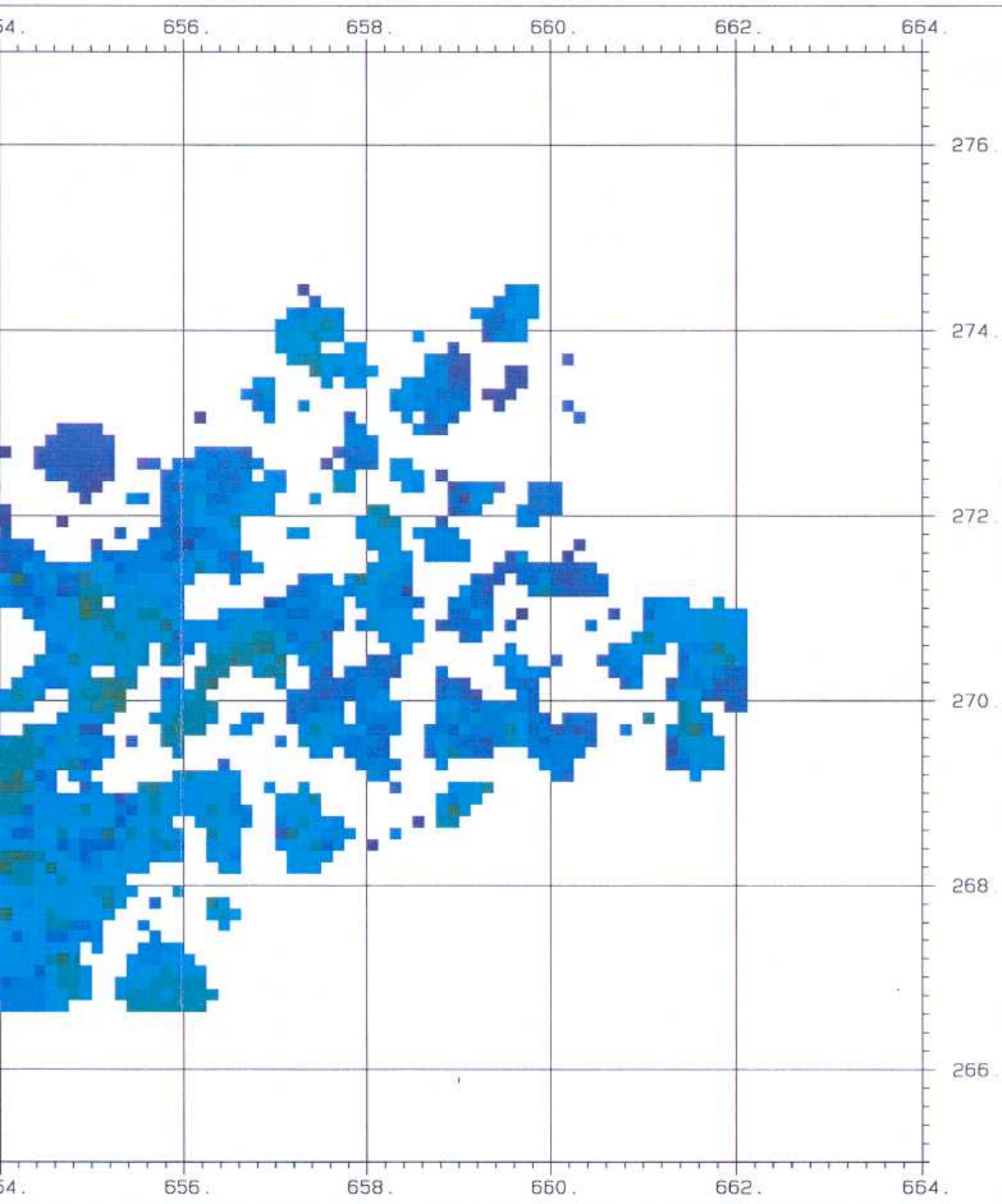
Beilage 17: Kobaltfenster KKL



		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKL			
Survey	KKL93		
Channel	Cs-137 Bq/kg		
Sam Int	125.		
Area	27.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	49.4		
Std Dev	13.5		
Minimum	0.2		
Maximum	98.8		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	40.0	
	40.0	80.0	
	80.0	120.0	
	120.0	160.0	
	160.0	200.0	

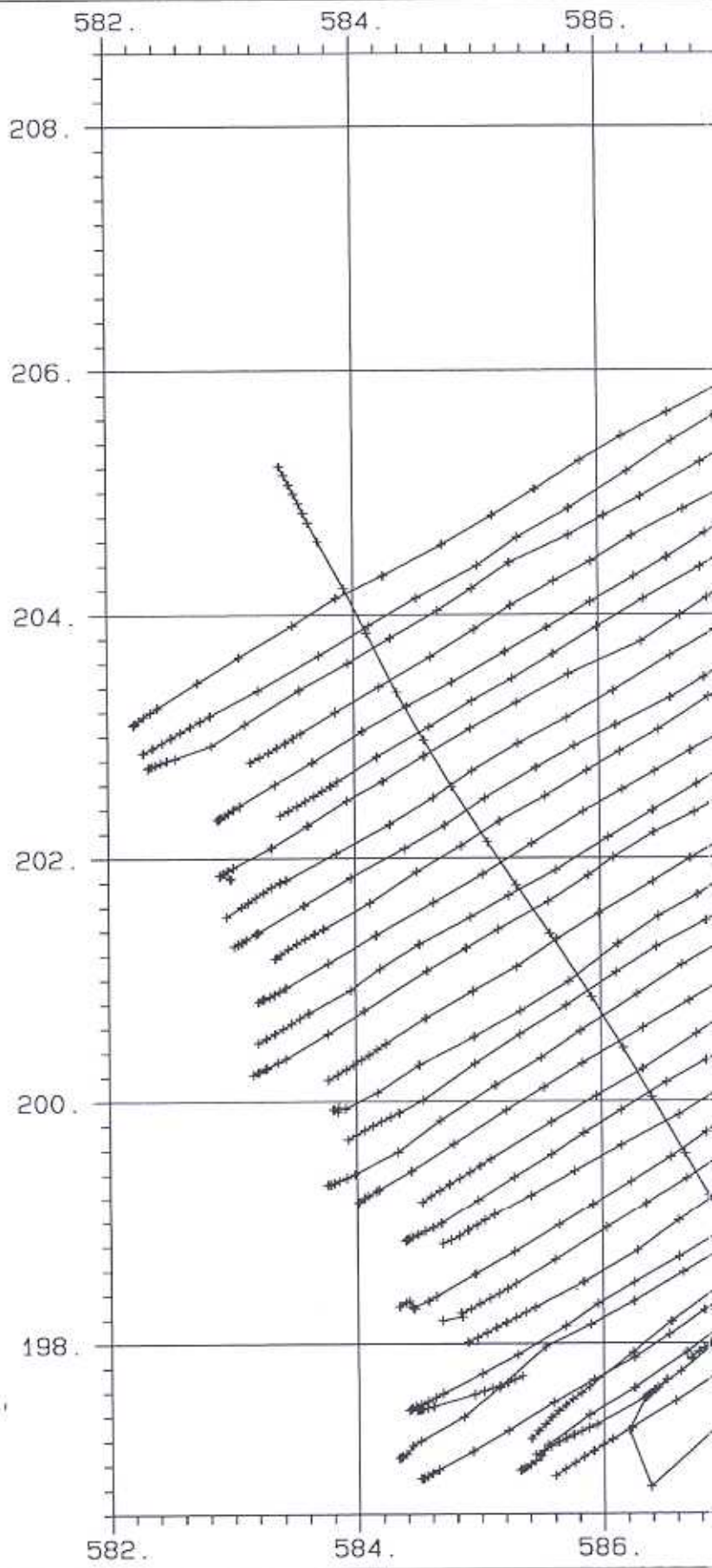


Beilage 18: Cs¹³⁷-Aktivität KKL

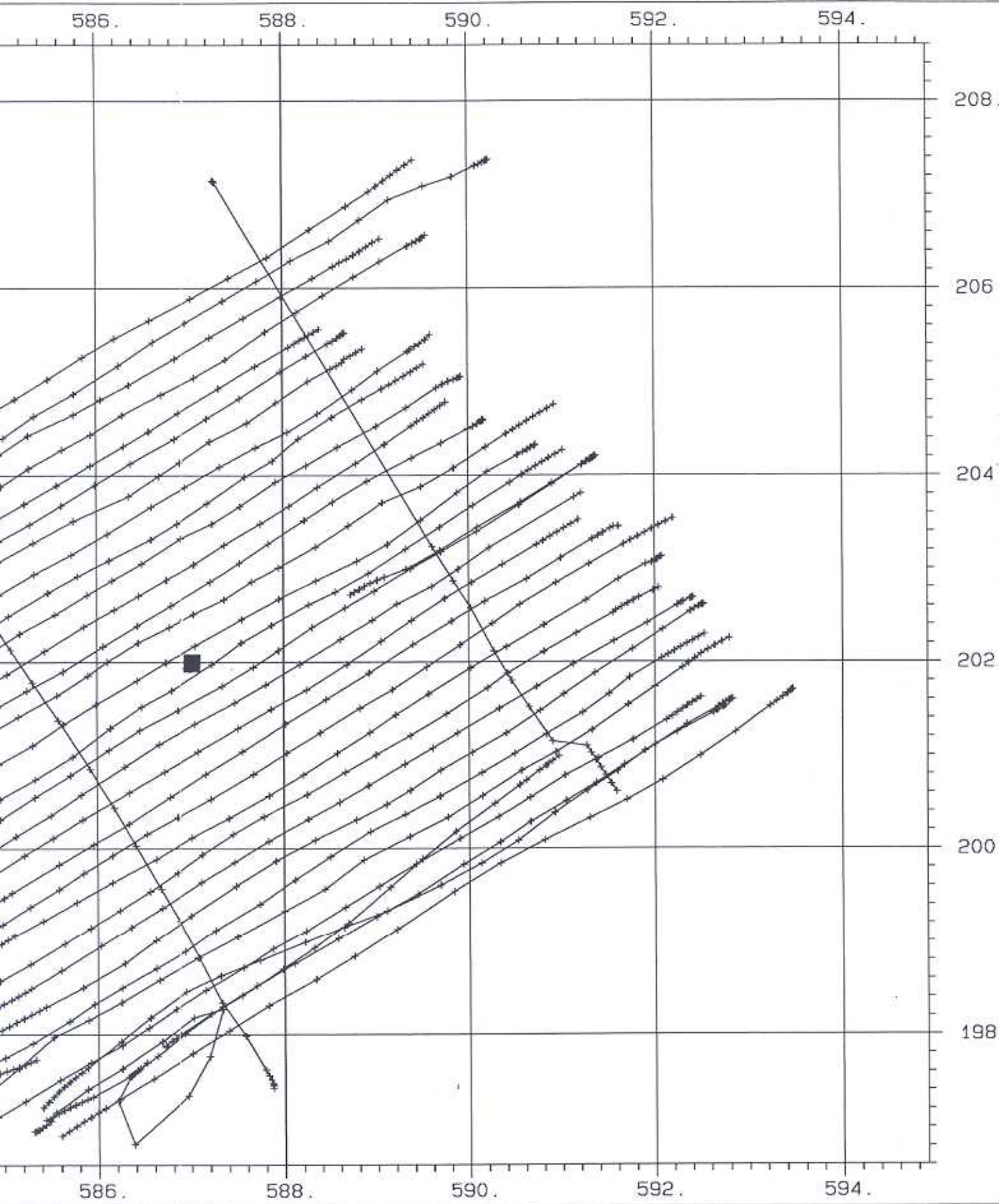








	I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich
---	---

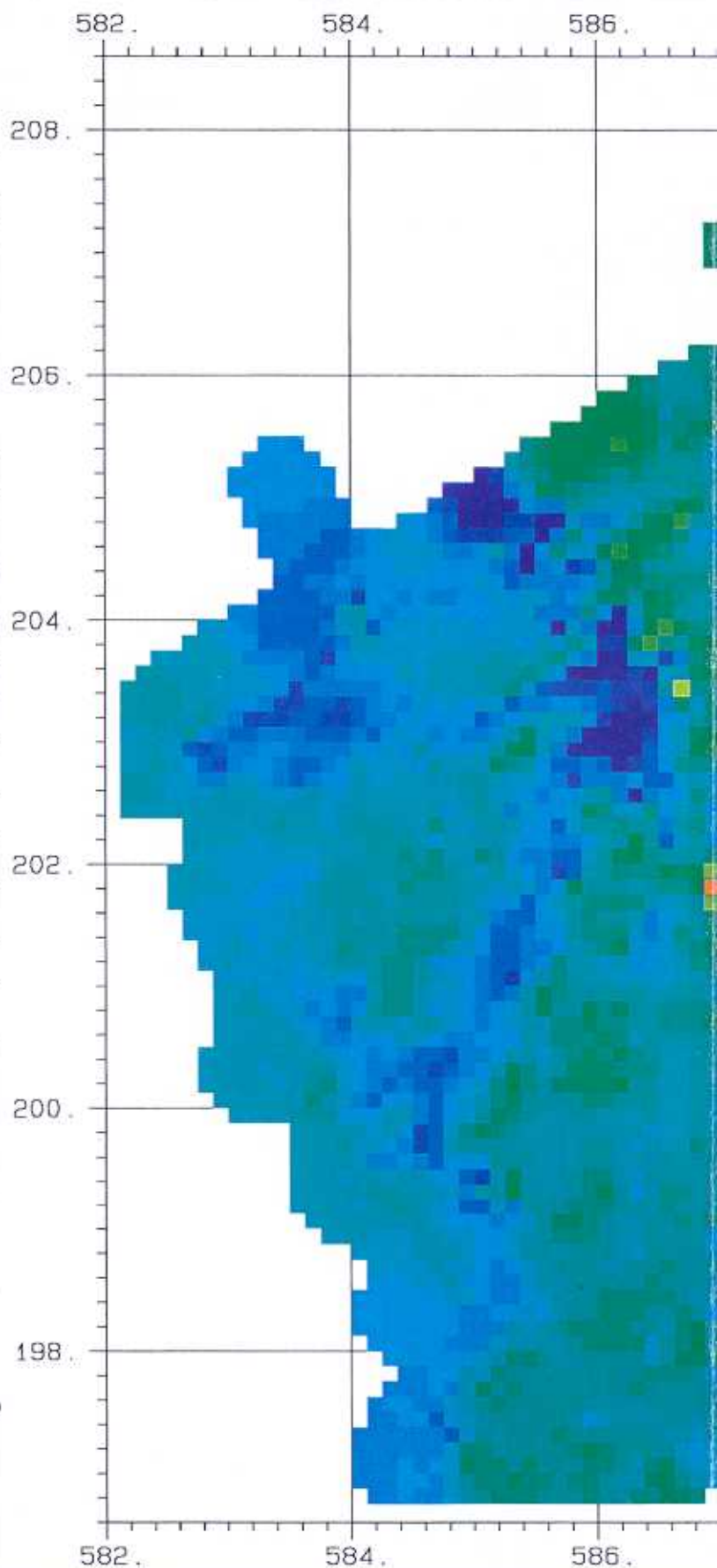
KKM	
Survey	KKM93
Channel	F. Path
Scale	50000.
Path Len	282.



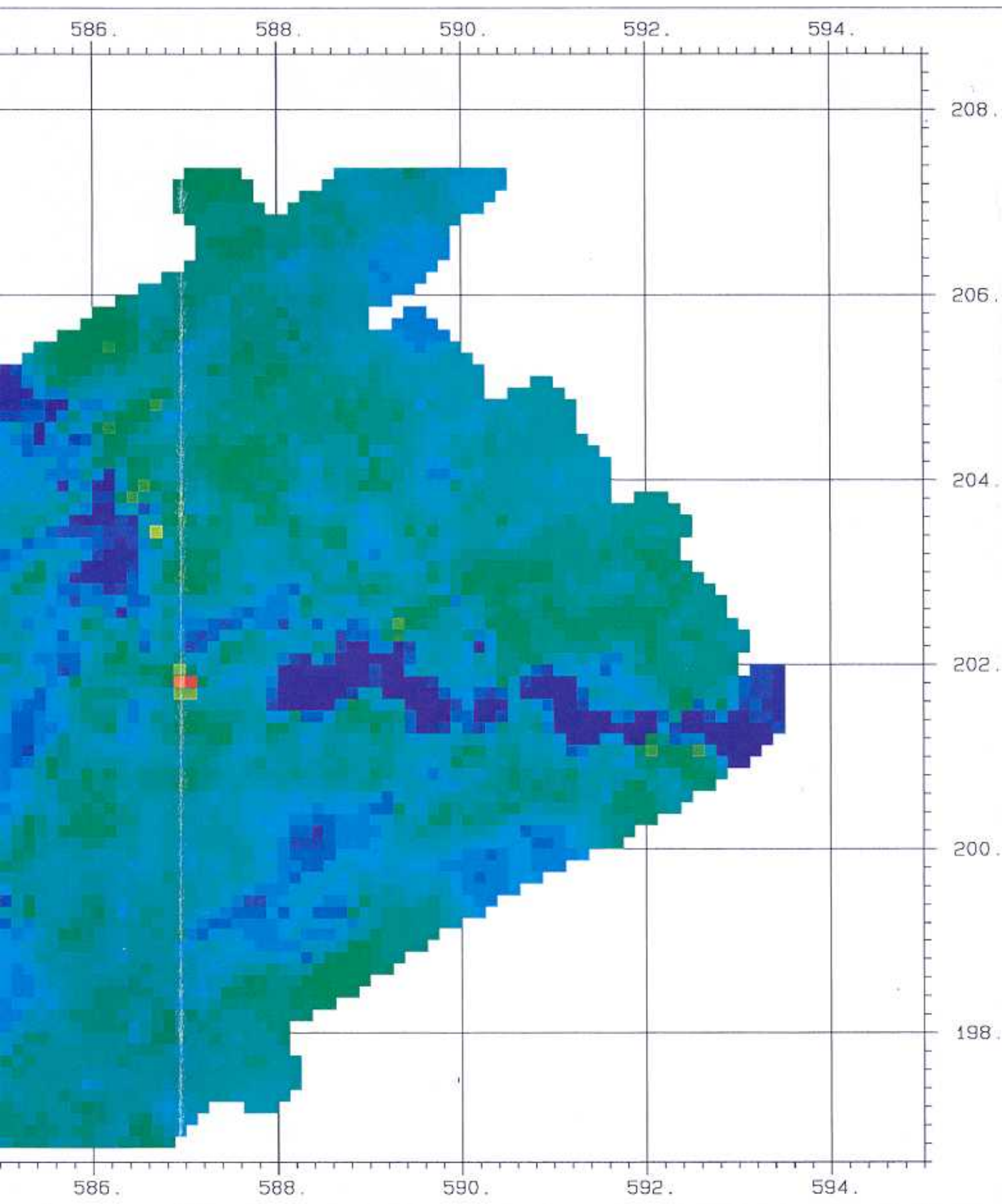
Beilage 19: Flugwegkarte KKM









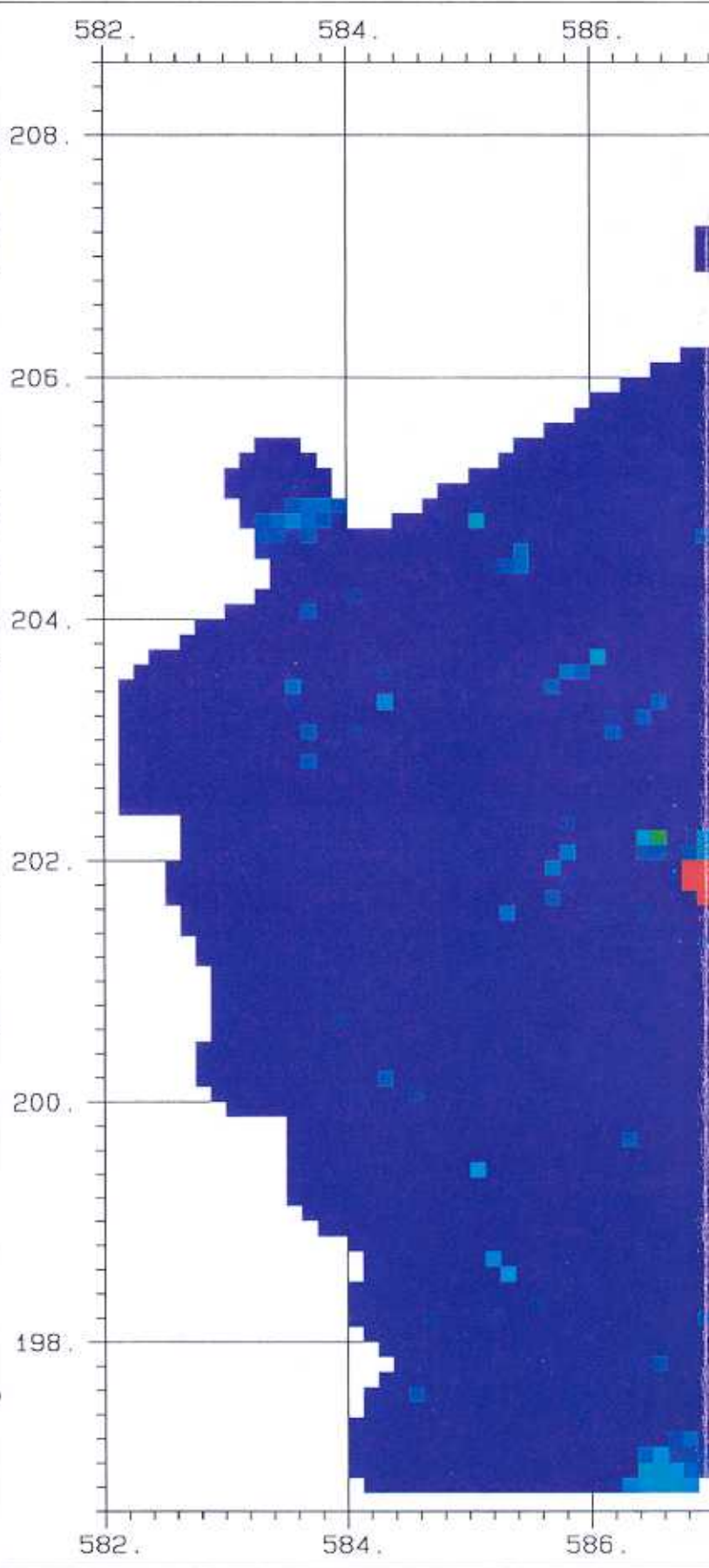
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKM			
Survey	KKM93		
Channel	Dosis nSv/h		
Sam Int	125.		
Area	74.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	53.1		
Std Dev	10.3		
Minimum	6.3		
Maximum	124.6		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	6.3	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	
	100.0	124.6	



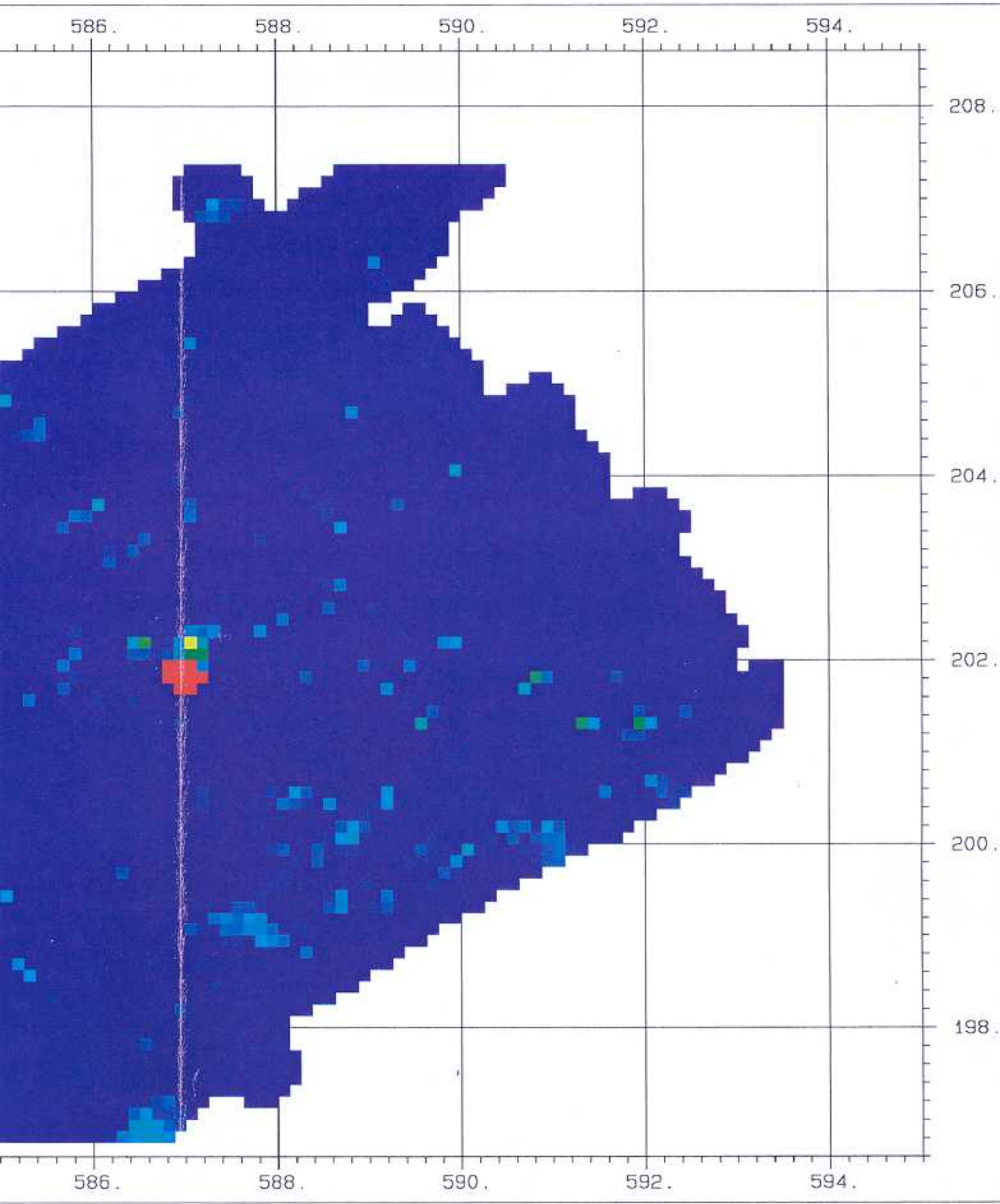
Beilage 20: Ortsdosisleistung KKM

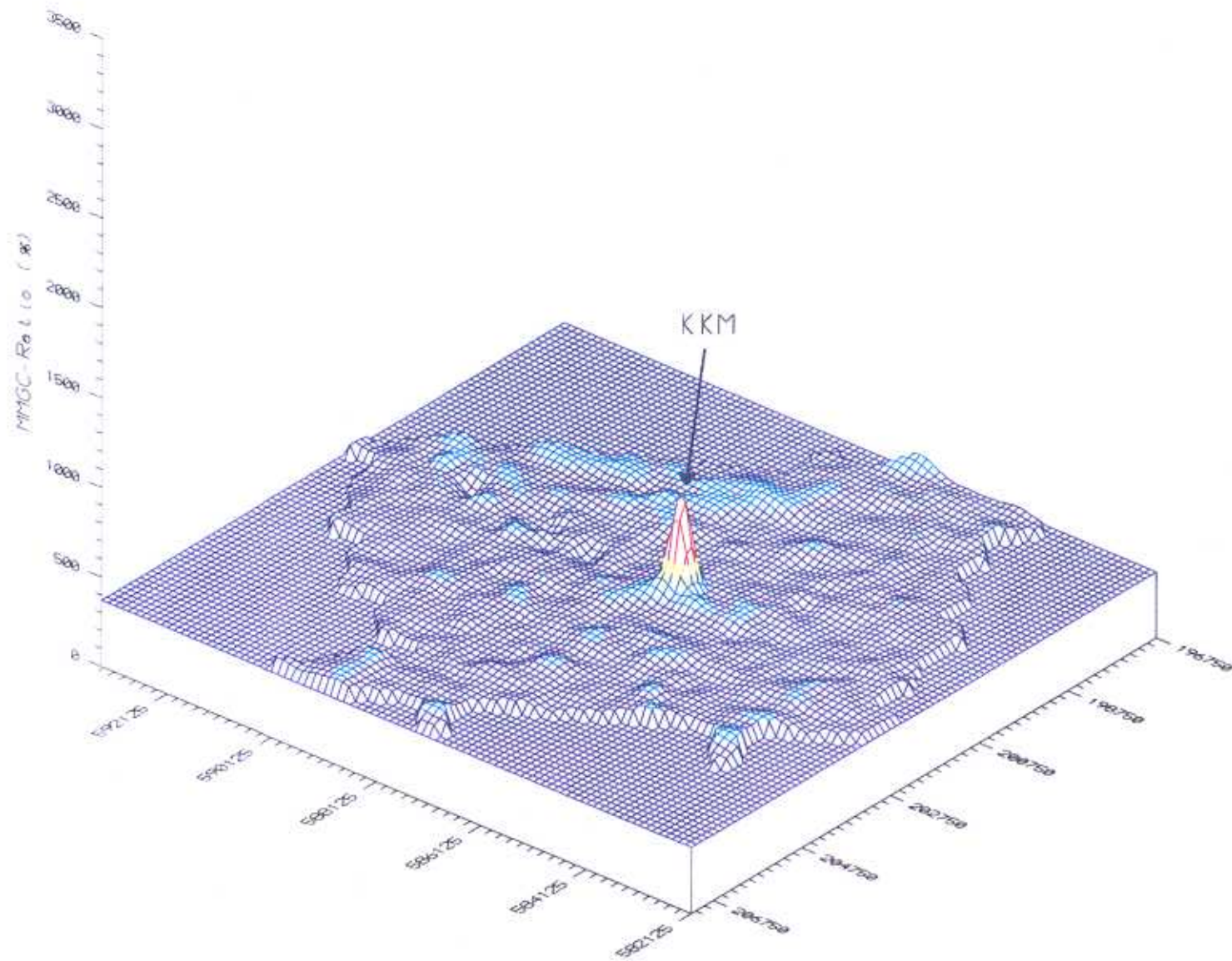


		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKM			
Survey	KKM93		
Channel	MMGC-Ratio %		
Sam Int	125.		
Area	74.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	431.8		
Std Dev	32.8		
Minimum	254.9		
Maximum	1609.5		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	254.9	490.0	
	490.0	530.0	
	530.0	570.0	
	570.0	610.0	
	610.0	1609.5	









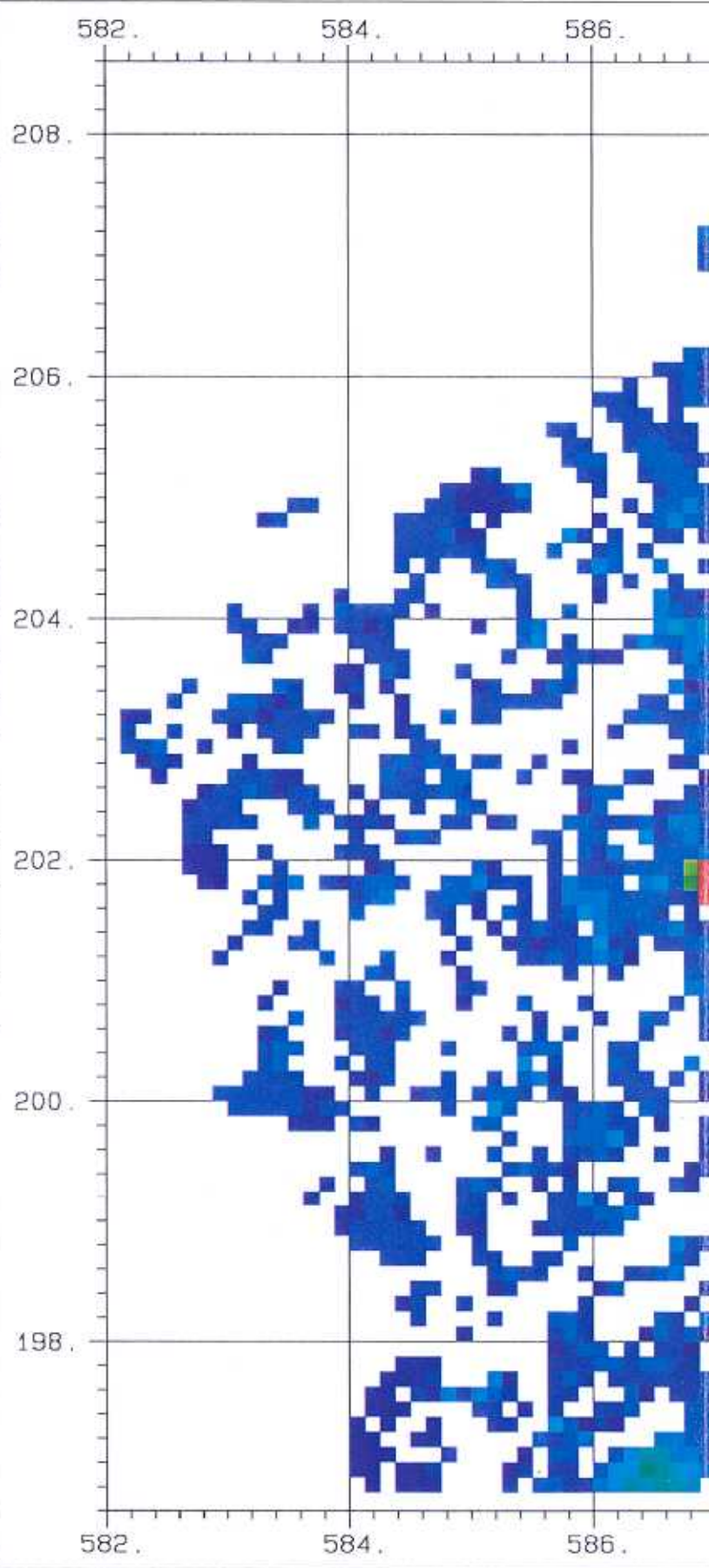
Beilage 21: MMGC-Ratio KKM



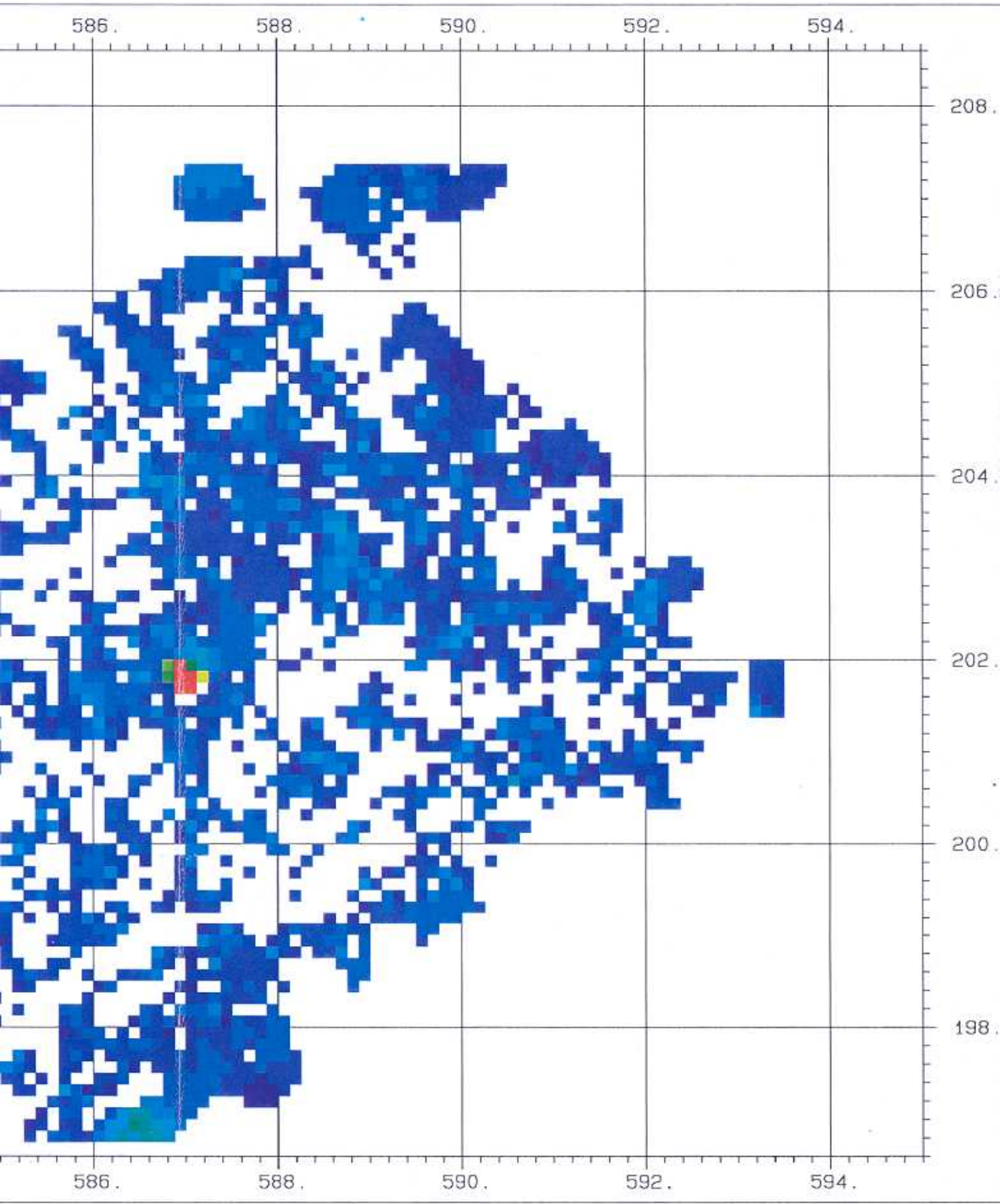








Beilage 22: 3D-Darstellung des MMGC-Ratio KKM

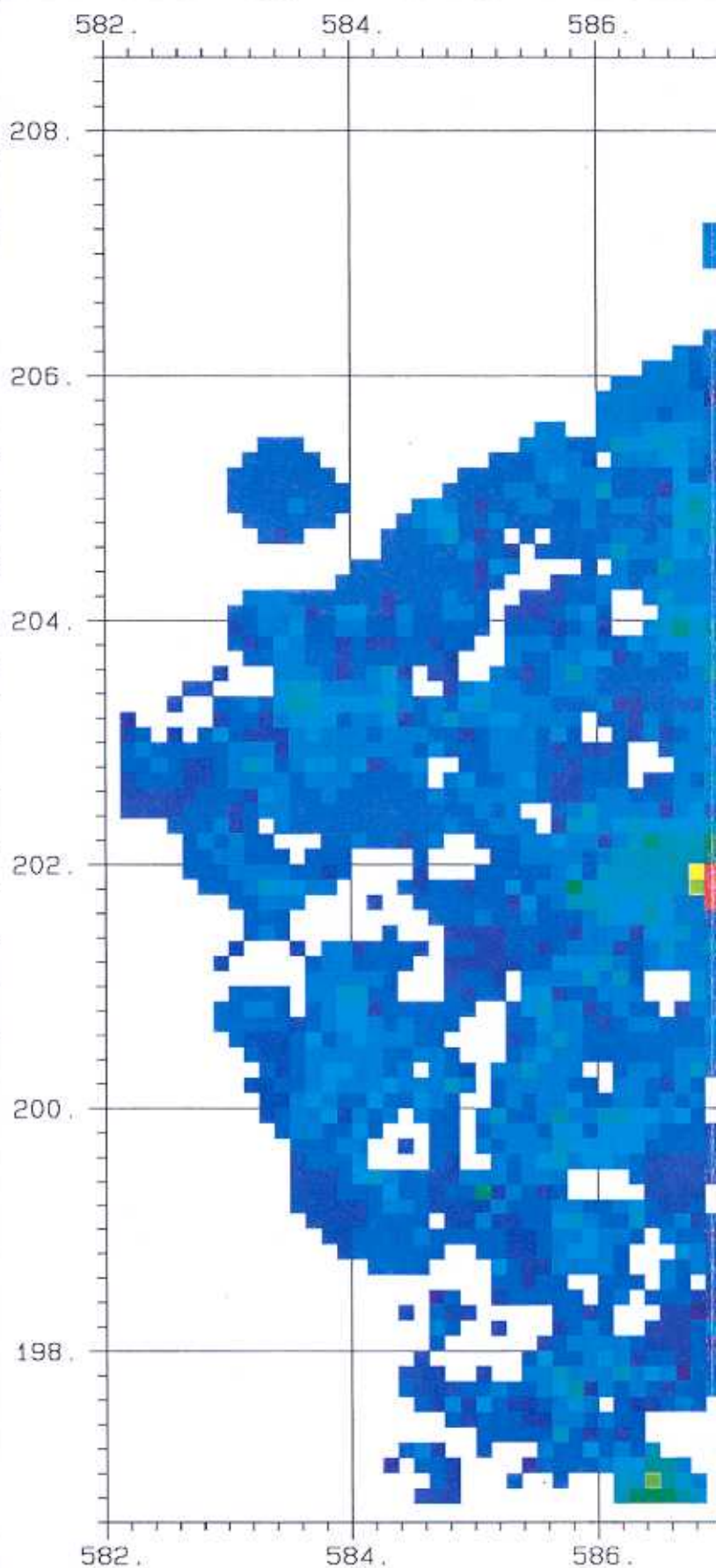
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKM			
Survey	KKM93		
Channel	Kobalt cps		
Sam Int	125.		
Area	37.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	15.7		
Std Dev	7.7		
Minimum	5.7		
Maximum	247.5		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	20.0	
	20.0	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	247.5	



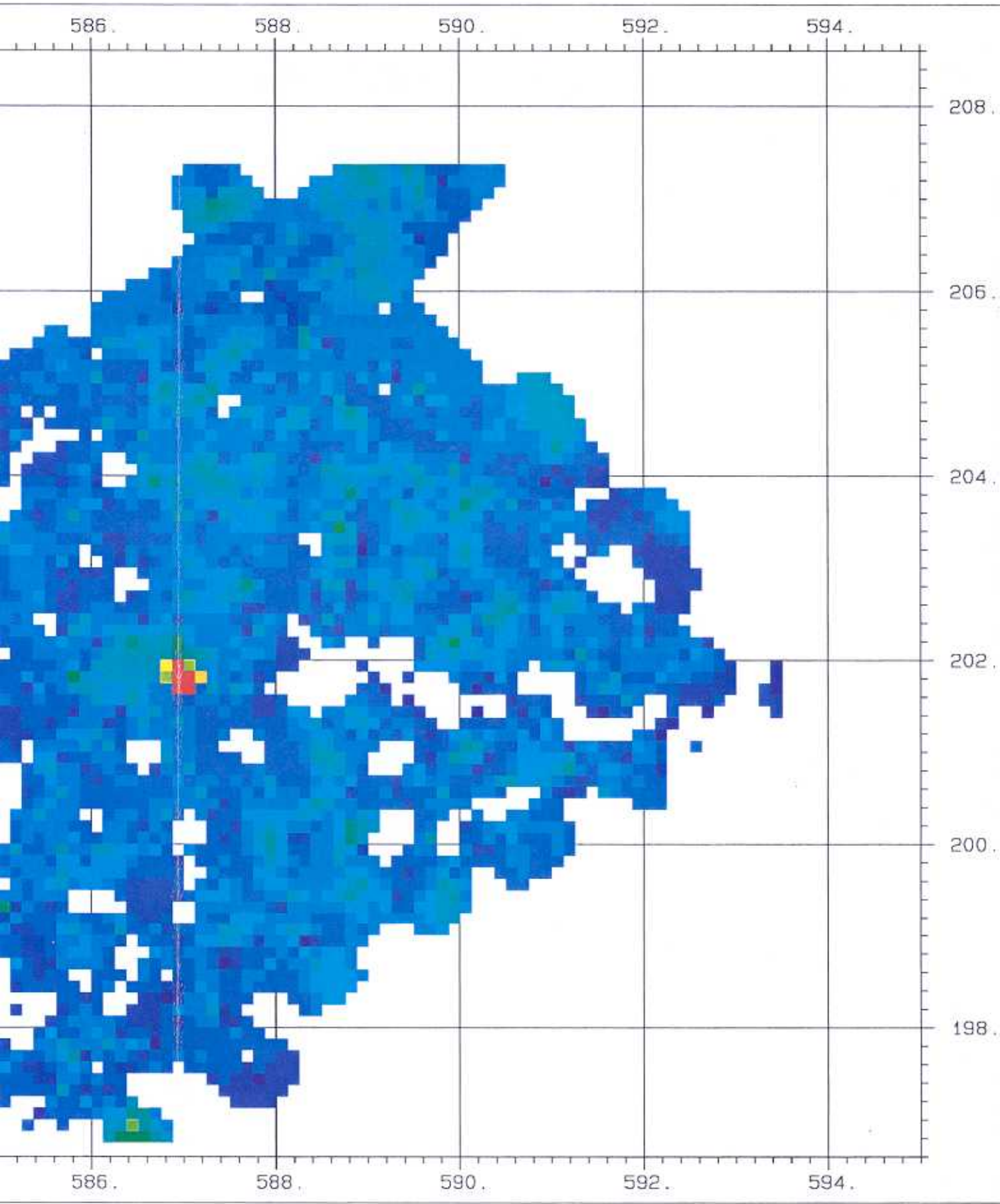
Beilage 23: Kobaltfenster KKM









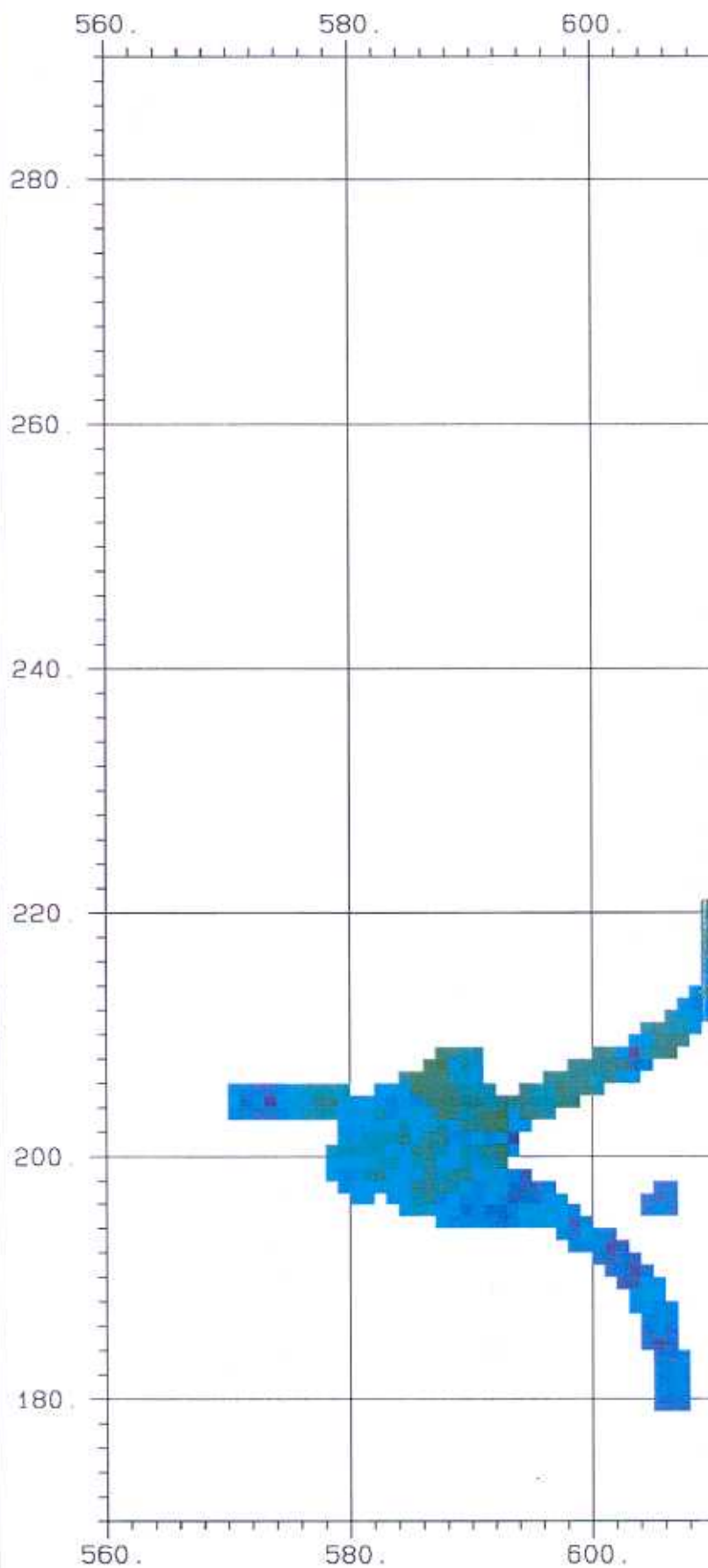
		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
KKM			
Survey	KKM93		
Channel	Cs-137 Bq/kg		
Sam Int	125.		
Area	62.		
Scale	50000.		
Parameter			
Average	43.0		
Std Dev	14.5		
Minimum	16.1		
Maximum	512.2		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	0.0	40.0	
	40.0	80.0	
	80.0	120.0	
	120.0	160.0	
	160.0	512.2	



Beilage 24: Cs¹³⁷-Aktivität KKM



		I. Geophysik ETH-Zuerich Hoenggerberg 8093-Zuerich	
Mittelland			
Survey	MIT93		
Channel	Dosis nSv/h		
Sam Int	1000.		
Area	1116.		
Scale	500000.		
Parameter			
Average	51.0		
Std Dev	8.4		
Minimum	24.2		
Maximum	75.9		
Legend			
	Minimum	Maximum	
	20.0	40.0	
	40.0	60.0	
	60.0	80.0	
	80.0	100.0	
	100.0	120.0	



Beilage 25: Ortsdosisleistung Mittelland

