

KRIEG IM AETHER

Vorlesungen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich
im Wintersemester 1979/1980

Leitung: Abteilung für Übermittlungstruppen, Divisionär A. Guisolan

Digitalisierte Erfassung des Schweizers Geländes im Rahmen der Übermittlungsplanung

Referent: Walter Zeller, El. Ing. ETHZ

8-1

DIGITALISIERTE ERFASSUNG DES SCHWEIZER GELÄENDES IM RAHMEN DER UEBERMITTLUNGSPLANUNG

W. Zeller, El. Ing. ETHZ

I N H A L T

1. Einführung
2. Entstehung der topographischen Karte
 - 2.1. Kartenwerk der Schweiz
 - 2.2. Geodätische Landesvermessung
 - 2.2.1. Triangulation und Höhenmessung
 - 2.2.2. Flugphotographie
 - 3.1. Anforderungen an ein digitales Geländemodell
 - 3.2. Erfassung der Geländedaten
 - 3.2.1. Handlösung
 - 3.2.2. Scanner und Computer
 - 3.2.3. Autokorrelator
 - 3.2.4. Erfassung der Zusatzinformation
 - 3.2.5. Orthophoto
4. Anwendungsbeispiele

Adresse des Autors:

Walter Zeller, El. Ing. ETHZ
c/o Bundesamt für Uebermittlungstruppen
3000 Bern 25

"Krieg im Aether", Folge XIX

8-2

1. Einführung

Es ist bekannt, dass der Nutzbarmachung elektromagnetischer Ausstrahlungen nur ein physikalisch begrenztes Spektrum zur Verfügung steht. Die allgemeine fortschreitende wirtschaftliche und technologische Entwicklung führt zu neuen Aufgabenbereichen und zu einer ständig weiteren Ausdehnung des Funkwesens. Damit erhöhen sich die Anforderungen an das nutzbare Funkfrequenzspektrum. Um bestehenden und neuen Funkanlagen einen gesicherten Fernmeldeverkehr zu ermöglichen, erfordert diese Entwicklung eine rationelle und optimale Verteilung und Belegung des gegebenen Spektrums. Diese Aufgaben sind, für die militärischen Funkdienste, Tätigkeiten des Bundesamtes für Uebermittlungsgruppen. Wir sind durch internationale Abkommen und Vereinbarungen verpflichtet, alle Schritte zu unternehmen und Möglichkeiten zu nutzen, die ordnungsgemäss angemeldeten und genehmigten Funkstellen vor gegenseitigen oder fremden Störungen zu schützen. Für den Funkverkehr wird nach dem bisherigen Verlauf für die kommenden Jahre allgemein eine Zunahme um den Faktor 5 geschätzt, wenigstens was den zivilen Bereich anbelangt. Dies bedeutet, dass es in der Zukunft nicht mehr möglich sein wird, auch noch so berechtigte Wünsche und Forderungen auf Zuweisung störungsfreier Frequenzen zu erfüllen. Der notwendige Bedarf kann nach dem derzeitigen Stand der Technik nur noch durch zeitliche, räumliche, frequenz- und leistungsmässige Partagierungsmassnahmen gedeckt werden. Dazu ist es unter anderem notwendig, vor der Zuteilung einer Frequenz oder der Planung von Funknetzen für einen Funkdienst störungsvorsorgende Berechnungen der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMC) durchzuführen. Diese Aufgaben erfordern bei der Vielzahl der zu berücksichtigenden Planungsparameter, physikalischer Grössen, betrieblicher Vorschriften und deren Verknüpfungen ein Höchstmass an Arbeitsaufwand.

Der Zwang zur ständigen Anpassung an die gestiegenen Bedürfnisse, technologischen Entwicklungen sowie das Risiko der heute notwendigen hohen Investitionen fordern daher auch im Funkwesen einen Uebergang von der intuitiven Führung zum organisierten Frequenzmanagement. Eine Voraussetzung dafür ist ein Verarbeitungssystem, das auf allen Entscheidungsebenen vielfältige Informationen zur Verfügung stellt. Diesem Gesichtspunkt haben wir Rechnung getragen, als das Projekt SPINNE, das militärische Frequenzverwaltungs- und Zuteilungssystem, ins Leben gerufen wurde.

Ziel dieses Projektes ist, die von der Planung einer Funkstelle bis zur Kontrolle der Frequenzen notwendigen Arbeiten durchzuführen und damit ein ausgewogenes Frequenzmanagement zu ermöglichen. Dem im Aufbau befindlichen System liegt eine Datenbank zu Grunde, die als zentraler Sammel- und Informationskern für alle Daten aus dem Bereich der Funk- und Frequenzverwaltung anzusehen ist.

Um aussagefähige EMC-Berechnungen durchführen zu können, ist es von grösster Wichtigkeit, die Kenntnisse der topographischen Gegebenheiten des Gebietes zu kennen. Damit möchte ich überführen zum eigentlichen Thema. Ich werde versuchen, einen Ueberblick über einige Digitalisierungsarten zu verschaffen, und anhand eines Beispiels in Gedanken eine Richtstrahlplanung durchzuführen.

8-3

2. Entstehung der topographischen Karten

Man muss sich mit Recht fragen: reichen denn unsere Landeskarten nicht, muss denn wieder einmal, wegen des Computers, alles auf den Kopf gestellt werden? Damit wir diese Frage auch beantworten können, will ich zuerst das Kartenwerk und seine Entstehung darstellen, dann die Anforderungen, die an ein digitalisiertes Geländemodell gestellt werden, kurz beleuchten.

2.1. Kartenwerk der Schweiz

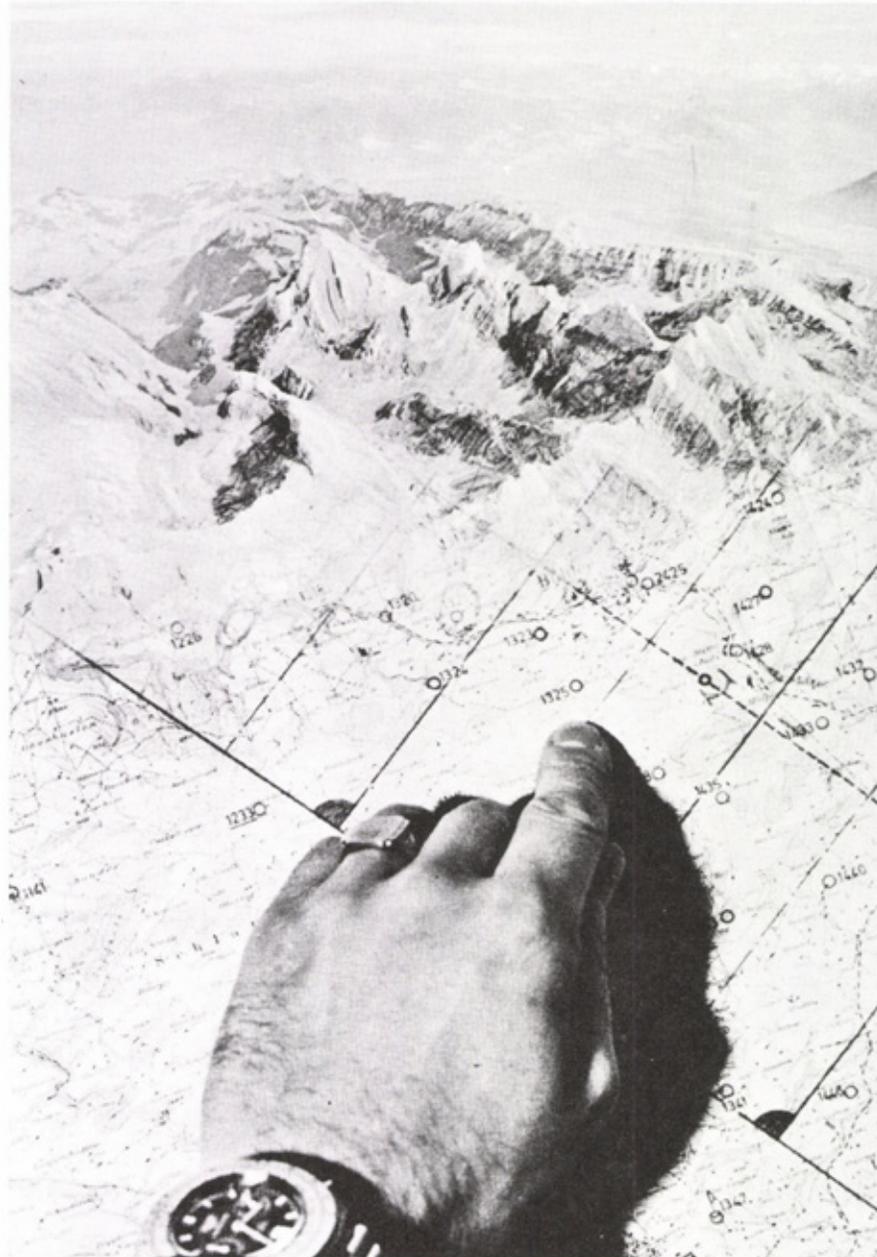


Fig. 1: Die Idee das Gelände zu Papier zu bringen.

8-4

Landeskarten wie in Figur 2 oder ähnlicher Art sind sehr alt. Früh schon hat man begonnen, die wichtigsten Strassen und Flussläufe mit eingetragenen Städten darzustellen. An der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert rang sich dann die Erkenntnis durch, dass ein neues Kartenwerk nur mit einer sorgfältig vermessenen Basis und einem darauf aufbauenden Dreiecksnetz realisiert werden könne.



Fig. 2: Alte Landeskarte

1832 wurde die Sternwarte Bern als Ausgangspunkt für das Grundnetz bestimmt. Die verschiedenen Massstäbe sollten vereinheitlicht und in einer Karte 1: 100 000 festgehalten werden. Als Projektion wurde die schiefachsige Zylinderprojektion gewählt. (Fig. 3).

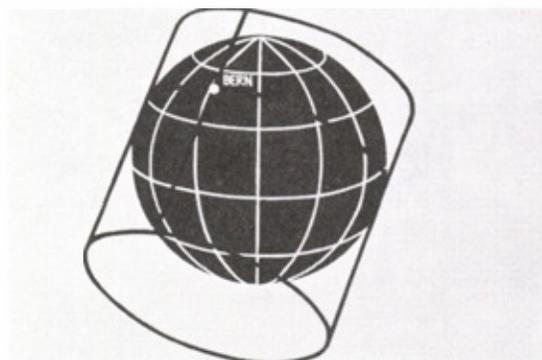


Fig. 3: Schiefachsige Zylinderprojektion

8-5

1833 begann Henri Dufour als Oberstquartiermeister der Armee sein Kartenwerk, mit heute wunderbar anmutenden Geräten (Fig 4). 1845 erschienen die ersten Kartenblätter. 1865 bereits war das Werk vollendet. Dem sehr bekannten Werk Dufours folgten die Siegfriedkarten, später dann die verbesserten Landeskarten in allen bekannten Massstäben. Ich will hier nicht weiter Geschichte unterrichten, sondern den Werdegang der heutigen Karte erläutern.

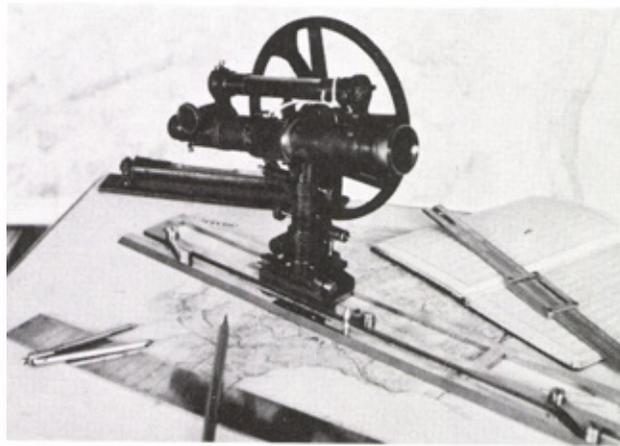


Fig. 4: Instrumentarium Dufours

2.2. Geodätische Landesvermessung

2.2.1. Triangulation und Höhenmessung

Unter der geodätischen Vermessung versteht man die genaue Einmessung einzelner Punkte auf der Erdkugel. Die Ermittlung der Punktlage der Sternwarte in Bern - von hier aus ging es am leichtesten - geschah astronomisch anhand der Fixsterne. Die geographische Breite ist $46^{\circ} 57' 8''$, die Länge östlich Greenwich $7^{\circ} 26' 22''$. Von hier aus werden die Lagen der Triangulationspunkte erster, zweiter und dritter Ordnung vermessen (Fig 5,6).

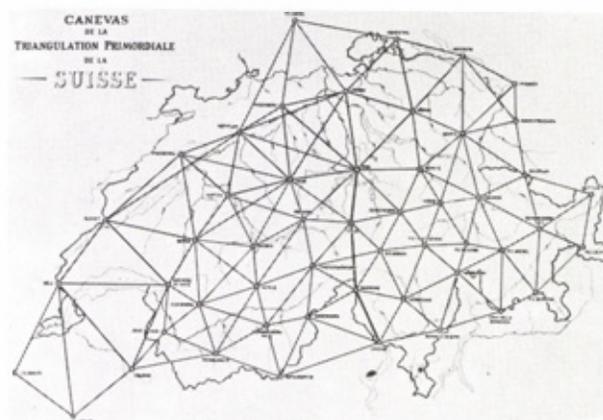


Fig. 5: Triangulationsnetz der Schweiz

8-6



Fig. 6: Vermessung der Triangulationspunkte von Basislinien aus

Die Höhenmessung (früher mit dem Barometer) wird heute mit sehr genauen Laserinstrumenten durchgeführt. Ausgehend von Pierre de Niton, der auf einer Höhe von 376,86 m ü M liegt, wurde über die Schweiz ein Präzisionsnivellement gemessen. Das Prinzip: Ein drehbares Fernrohr mit Fadenkreuz. Die einzelnen Stufen werden dann mittels Messlatten aufgenommen (Fig. 7). Mit der Triangulation und der Höhenmessung wurden einige tausend Punkte im Gelände fixiert. Damit ist aber noch keine Karte gemacht.

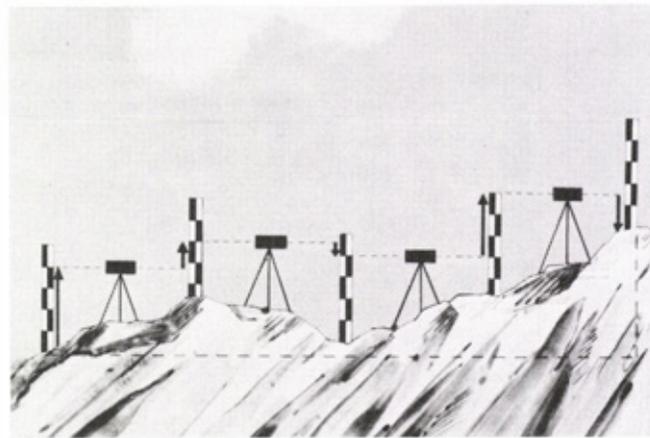


Fig. 7: Drehbare Fernrohre mit Fadenkreuz

8-7

2.2.2. Flugfotographie

Beim Ueberfliegen des Geländes werden in kurzen Abständen Aufnahmen gemacht, die aneinandergereiht das gesamte Gelände mehrmals abdecken. (Fig. 8). Die Luftaufnahme als solches zeigt jedoch vieles, was der Kartenbenützer nicht braucht, und vieles nicht oder nur ungenügend (z.B. das Strassennetz, was für die Karte sehr wichtig ist). Zudem ist das Flugbild im unebenen Gelände gegenüber der Karte stark verzerrt.

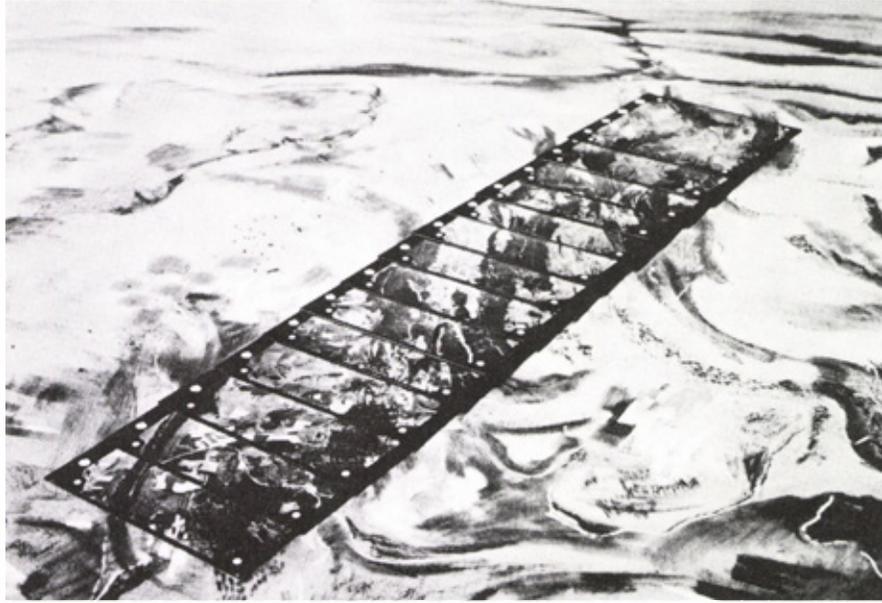


Fig. 8: Flugbilder (Ueberdeckung ca. 60%)

Der Abbildungsunterschied zwischen Flugbild und Karte rührt daher, dass es sich beim Flugbild um eine Zentralprojektion handelt, bei der Karte jedoch um eine orthogonale Parallelprojektion (Fig. 9). Benutzen wir nun zwei benachbarte Luftbilder, wird ein Bildpunkt im Ueberdeckungsgebiet von zwei verschiedenen Orten festgehalten (Fig. 10). Legt man die Bilder nebeneinander und betrachtet sie durch ein Stereoauswertegerät, tastet man ein stereoskopisches Modell des Geländes mit einer Messmarke ab.

8 - 8

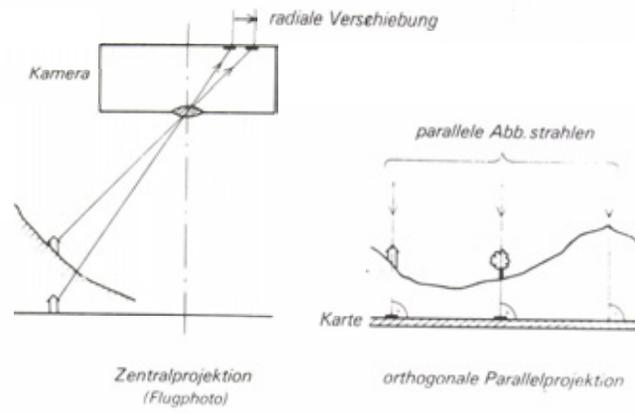


Fig. 9: Abbildungsunterschied Flugfoto/Orthofoto

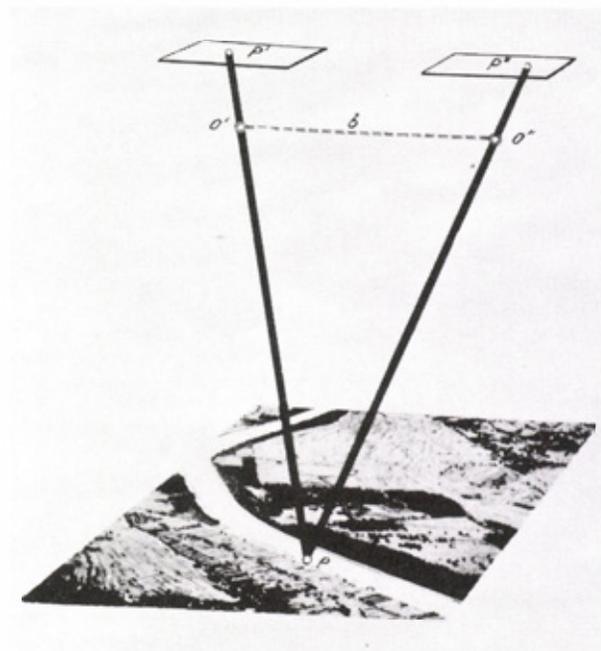


Fig. 10: Die Erfassung eines Stereofotopaars

8-9

Hierzu die Funktionsweise: Die zwei nacheinander aufgenommenen Bilder werden auf zwei Platten im Autographen eingespannt und so ausgerichtet, dass bei der Betrachtung durch die Optik kein Parallaxfehler entsteht (Fig. 11). Da die beiden Augen verschiedene Bilder betrachten, entsteht der Eindruck, man schaue auf ein dreidimensionales Geländemodell, es entsteht ein virtuelles Geländemodell. Die Betrachtungsoptik, eigentlich eine Mikroskop-Optik, enthält eine Messmarke, ähnlich dem Fadenkreuz in unseren Feldstechern. Betrachtet man das Gelände und bringt gleichzeitig die beiden Messmarken zur Deckung, hat man einen Höhepunkt im Geländemodell festgelegt. Die Aufgabe des Fotogrameters ist es nun, alle Punkte zu suchen, die auf derselben Höhe sind in diesem Geländemodell. So entsteht eine Höhenlinie. Dieser Höhenlinie wird die echte Höhe zugeordnet, indem vermessene Punkte aus der geodätischen Vermessung, die im Luftbild sichtbar sind, als Bezugspunkte genommen werden.

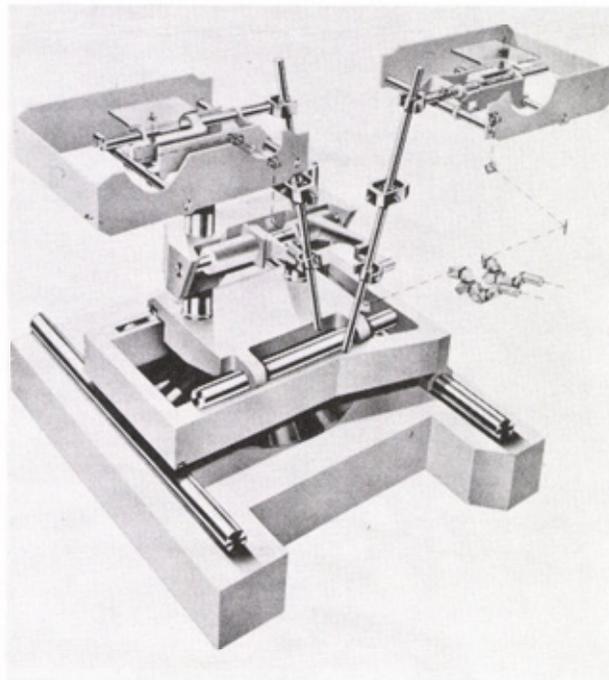


Fig. 11: Autograph

8 - 10

Ueber ein Gestänge, "die Lenker", über welche ein Wagen gesteuert wird, kann diese Höhenlinie direkt auf einer farbbeschichteten Platte eingesetzt werden. So entsteht die Urplatte, das Ausgangsmaterial für den Druck der Höhenkurvenbilder.

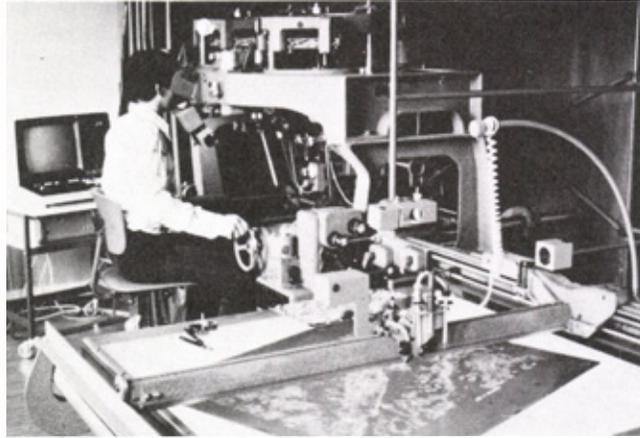


Fig. 12: Die Arbeit am Autographen

3.1. Anforderungen an ein digitales Geländemodell

Die Anforderungen, die an ein digitales Geländemodell gestellt werden, sind sehr unterschiedlich und hängen sehr von ihrem Verwendungszweck ab. Eines haben alle gemeinsam: Als Grundinformation muss das nackte Gelände selbst (x-,y-,z-Koordinaten) vorhanden sein. Die Möglichkeiten die sich mit einem bestehenden oder neuen digitalen Geländemodell eröffnen, sind sehr vielfältig, ich werde später noch einmal darauf zurückkommen. Ich versuche nun, ein Anforderungsprofil aus einem Uebermittlungsbedürfnis herzuleiten. Ich habe ein Beispiel aus der Richtstrahlplanung gewählt.

Man geht von der Voraussetzung aus, dass für die Uebermittlung ein Träger von 2 GHz benutzt wird, und für eine gute Uebertragung mindestens Sichtverbindung besteht, dass die 1. und 2. Fresnelzone frei sein soll. Damit kommt man zum Schluss, dass das Gelände mit einer Auflösung in den x, y und z Koordinaten von einigen wenigen Wellenlängen dargestellt werden sollte. Die Wellenlänge von 2 GHz liegt in der Grössenordnung von 10 cm. Wenn wir einige mit 10 noch tolerieren, erwarten wir, dass die drei Koordinaten mit einer Genauigkeit von 1 m erfasst werden sollen.

Diese Genauigkeit müssen wir aus verschiedenen Gründen näher erläutern. Geht man nur von der Richtstrahlplanung aus, müsste die äusserste Umhüllung des Geländes im digitalen Geländemodell erscheinen, das heisst, nicht das Gelände muss erfasst werden, sondern dort, wo der Boden mit Wald bewachsen ist, müssten die Baumwipfel erfasst werden, hohes Gras läge ebenfalls im Bereich der Genauigkeit. Hier bleiben zwei Möglichkeiten:

- Man erfasst die äusserste Hülle der Gegend
- Man erfasst das eigentliche Gelände und zusätzlich die Bewachsung (Wald, Wiese, Stein usw).

Wir wollen die zweite Lösung als Forderung aufnehmen.

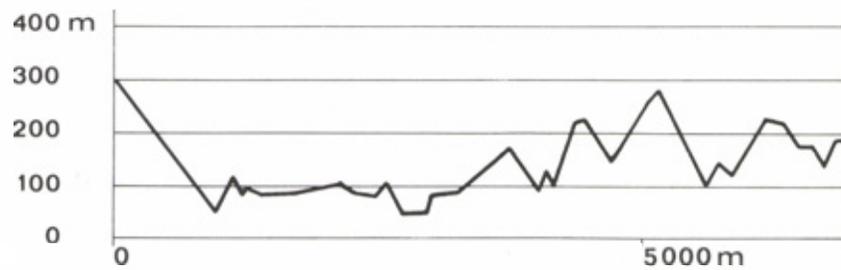
Damit Mehrwegausbreitungen (Reflexionen) berücksichtigt werden können, müssen Felspartien erfasst werden. Seen und Flussläufe bilden Spiegel, sie sollten daher ebenfalls aufgenommen werden. Grössere Gebäude könnten im Bereich der Hauptkeule des Richtstrahles wesentliche Störungen hervorrufen, die Bebauung sollte in einem Geländemodell ebenfalls erscheinen.

Fassen wir die Anforderungen zusammen, stellen wir mit Erstaunen fest, dass eine gute Karte eigentlich allen Anforderungen gerecht wird. Man sollte meinen, die Richtstrahlplanung könnte anhand unserer Karten durchgeführt werden. Doch schon die erste Probe legt die heute mühsame Planungsarbeit an den Tag.

8-11

Wollte man von einem bestimmten Punkt aus die Ausbreitungsmöglichkeiten eines Richtstrahls ermitteln, müssen heute hunderte von Geländeschnitten aus der Karte herausgelesen werden (Fig 13). Wer einmal einen Geländeschnitt gezeichnet hat, weiss, wie mühsam diese Arbeit ist. Es liegt nahe, diese Arbeit dem schnellen Computer zu überlassen. Das setzt aber voraus, dass die ungeheure Informationsdichte einer topographischen Karte dem Computer übergeben werden kann.

Unkorr. Schnitt 1: 50 000 / 10 000



Korr. Schnitt 1: 50 000 / 10 000

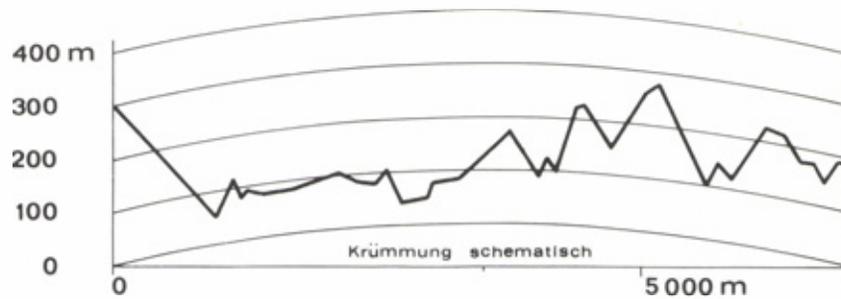


Fig. 13: Zeichnen des Geländeschnittes

3.2. Erfassung der Geländedaten

Das analoge Kartenbild soll in ein digital arbeitendes System konvertiert werden. Es handelt sich eigentlich um eine komplexe Analog - Digitalwandlung. Dieses Uebersetzen kann nicht in einem grossen Schritt erfolgen, sondern muss in mehreren kleinen Schritten durchgeführt werden. Sogenannte "Digitalisierungs-Schritte" bestehen aus: Grundinformation = Gelände (X,Y,Z Koordinaten) und Zusatzinformation = Bewachsung, Felspartien, Gewässer, Gletscher, Bebauung, Strassen und Bahnen. Als Grundinformation soll zuerst das leere Gelände in den Rechner aufgenommen werden. Als weitere Schritte müssen dann je nach Verwendung des Modells schrittweise die Zusatzinformationen aufgenommen werden.

8 - 12

Nun zur Beschaffung der Grundinformationen: Das Problem der Höherfassung ist weitaus schwieriger als man auf den ersten Blick annehmen würde. Es bestehen 4 Lösungswege zur Erfassung dieser Grundinformation:

- Handlösung
- Scanner und Computer
- Autograph
- Autokorrelator

Für die ersten 3 Lösungswege dient die bestehende Topographische Landeskarte (Fig. 14) als Grundlage. Der vierte Lösungsweg benutzt die Stereofoto als Ausgangsmaterial.

Nachdem das Prinzip des Autographen bereits beschrieben wurde (S. 8-9), werden nachfolgend die andern Lösungsverfahren dargestellt.



Fig. 14: Landeskarte

3.2.1. Handlösung (Fig 15)

Ausgehend von einem Schwarzabzug der Karte 1: 25 000 (Fig 16) wird mittels eines Punktrasters (Rasterabstand 20 m) die Höhe bestimmt. Auf einem Erfassungsblatt werden die Zahlentripel aufgelistet, um sie dann über ein Terminal in den Rechner aufzunehmen. Anschliessend werden Kreten und Talwege erfasst und auf dieselbe Art in den Computer aufgenommen. Als drittes und letztes Quellenmaterial werden die Grunddaten vereint und in einem Punktraster (x-, y-, z-Koordinaten) dargestellt. Dieses Raster wird umgerechnet und als Höhenkurvenkarte (Fig 17) ausgedruckt. Mit der optischen Kontrolle (Vergleich Schwarzdruck-Höhenkurvenbild) werden die letzten Fehler beseitigt.

8-13

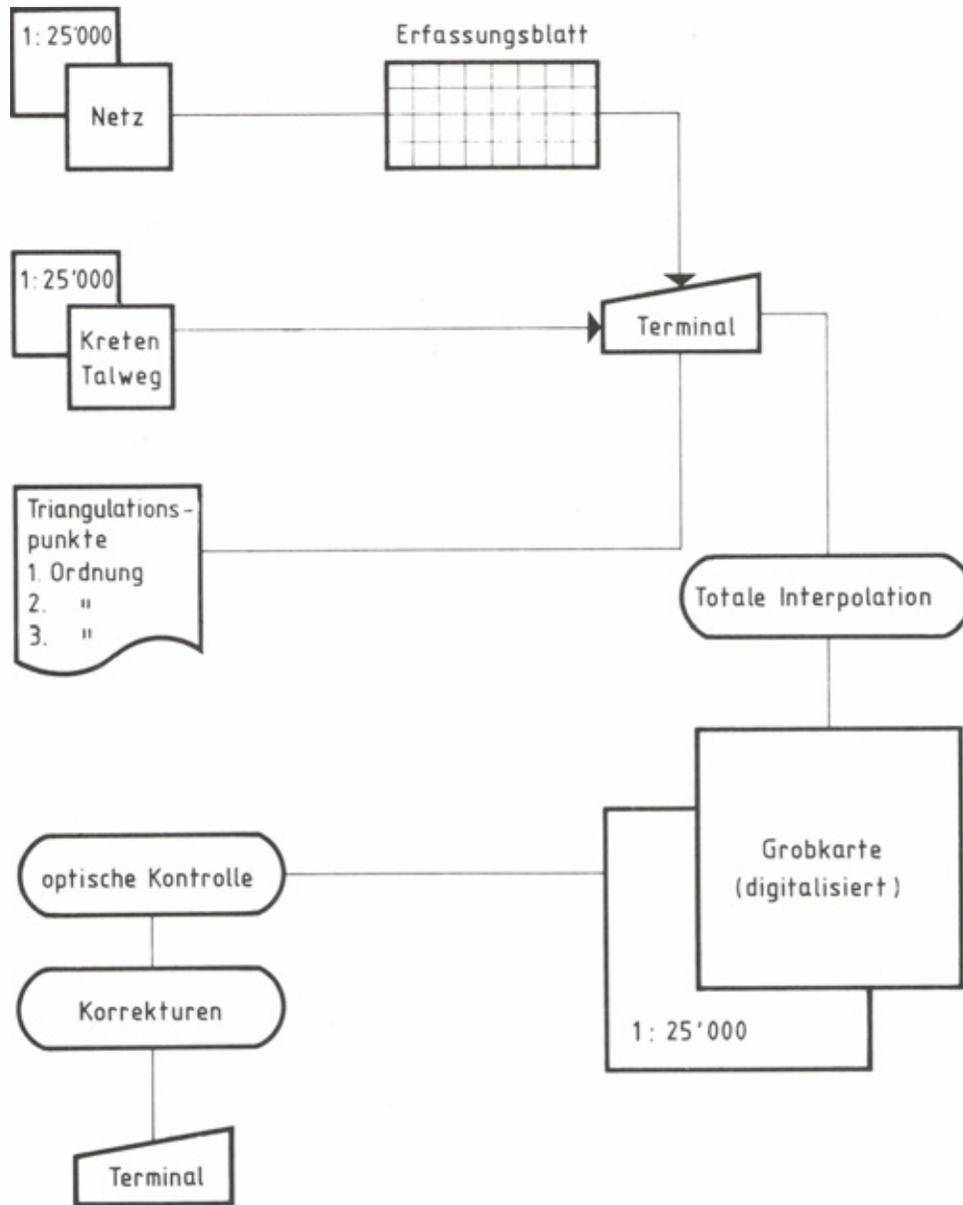


Fig. 15: Die Handlösung

8-14

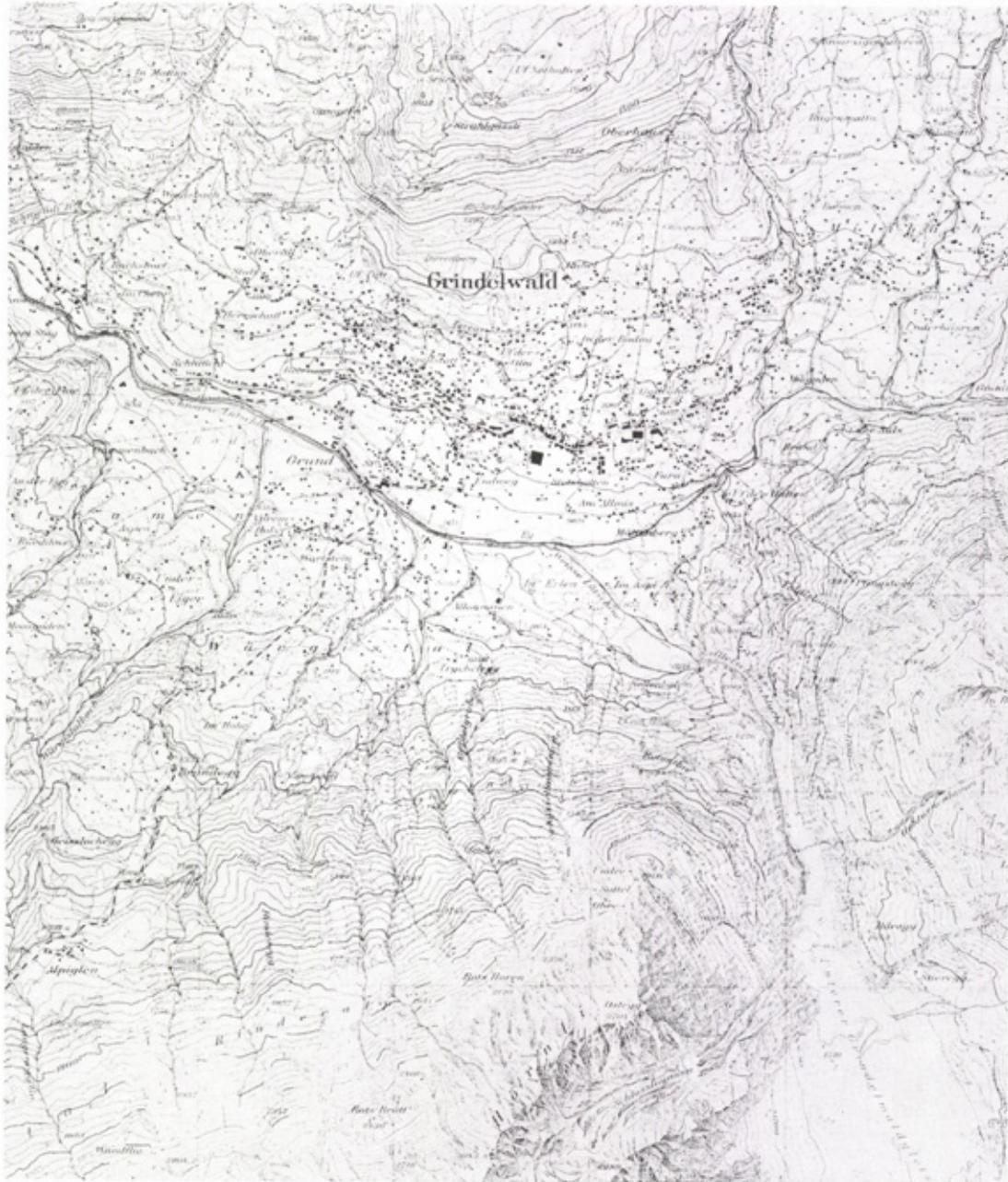


Fig. 16: Schwarzabzug der Karte

8 - 15

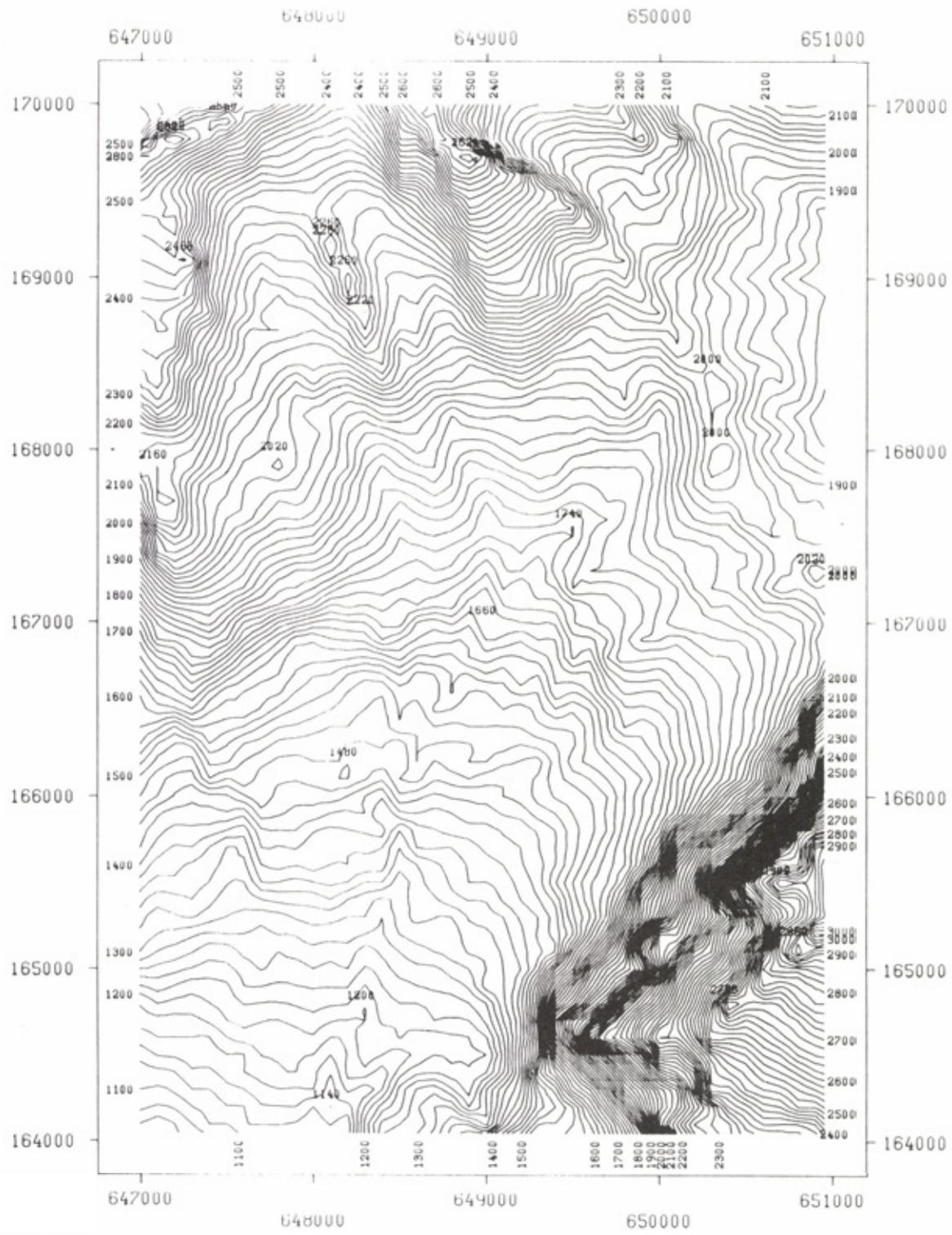


Fig. 17: Höhenkurvenbild

8-16

Die Handlösung bietet daher folgende Vorteile:

- Minimaler Aufwand
- Bestehende Rechner verwenden
- Software vorhanden
- Es müssen nicht teure Arbeitskräfte eingesetzt werden
- Sofort realisierbar

Den Vorteilen stehen jedoch auch diverse Nachteile gegenüber:

- Genauigkeit kleiner als die Karte
- Grosse Erfassungszeit
- Korrekturen schwierig
- Im Zeitalter des Computers Steinzeitlösung

3.2.2. Scanner und Computer (Fig. 18)

Als Grundvoraussetzung für dieses Verfahren muss eine reine Höhenkurvenkarte (Fig. 19) vorliegen. Diese Karte wird mit einem Lesegerät (Scanner) abgetastet, es entsteht ein zweidimensionales Bild (Punktehaufen). Diese Punkteinformation wird mit einem Softwarepaket vektorisiert und in einem Speicher abgelegt, es entsteht ein Höhenkurvenbild (Fig. 20). Mit einem interaktiven System werden am Bildschirm den einzelnen Kurven die Höhen zugewiesen. Auf demselben Weg werden später die Zusatzinformationen aufgenommen.

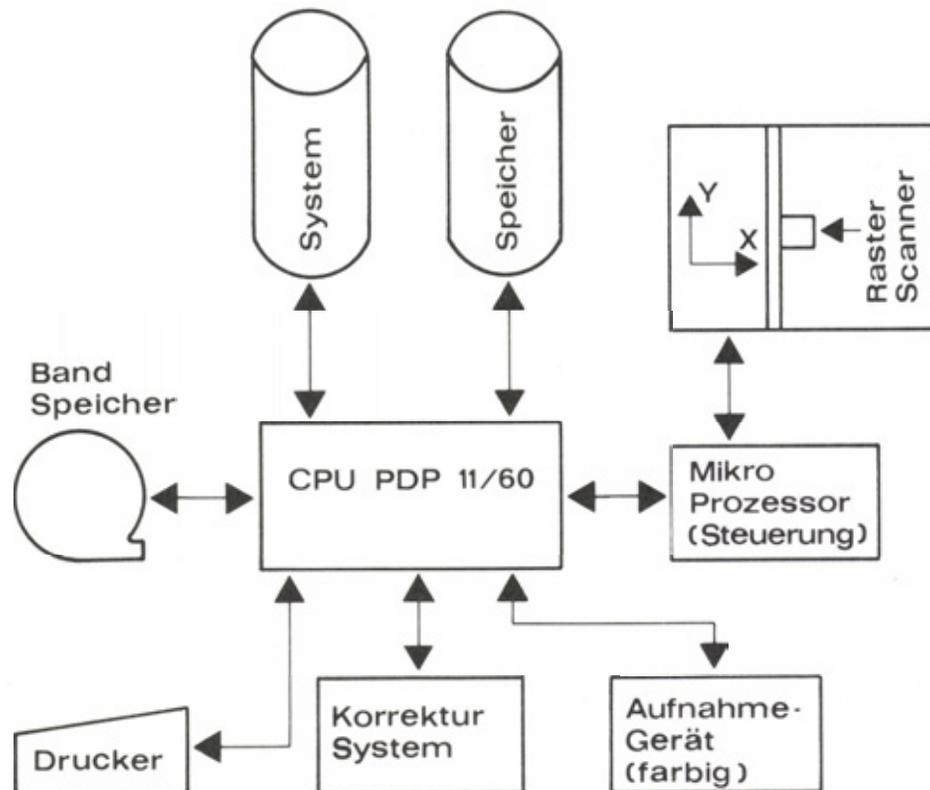


Fig. 18: Interaktives System

8-17

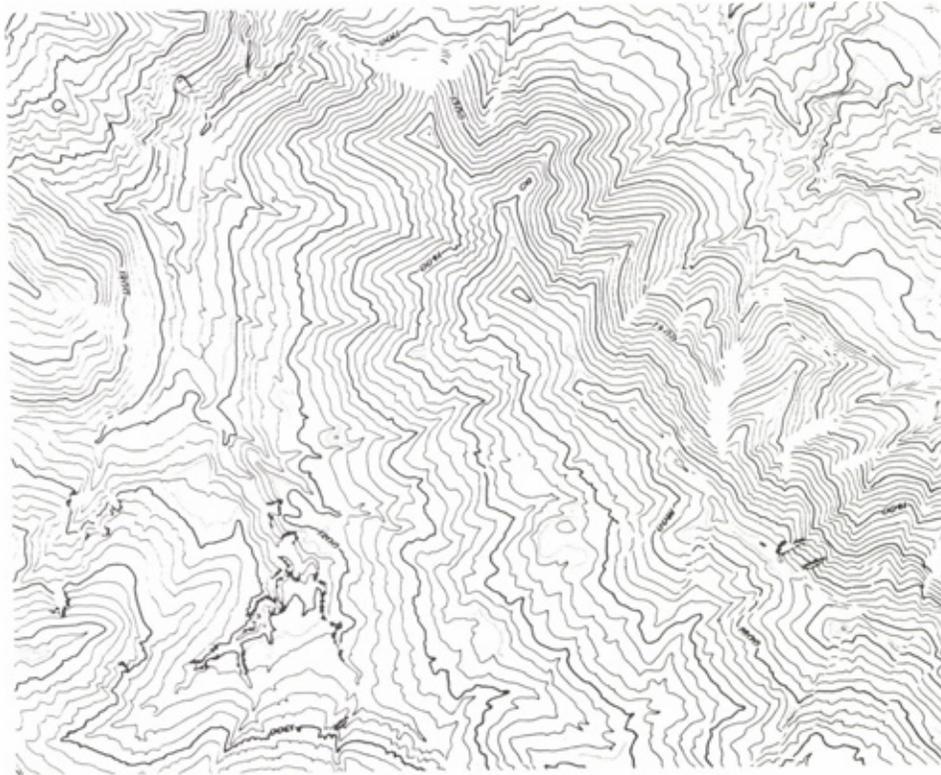


Fig. 19: Höhenkurvenkarte

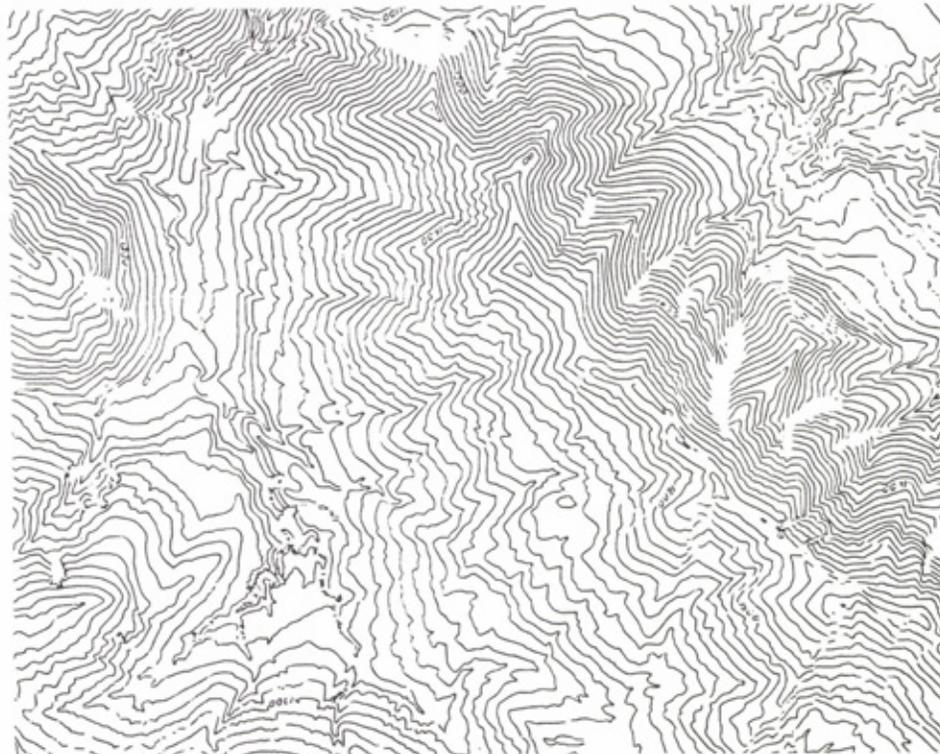


Fig. 20: Höhenkurvenbild nach Abtastung der Vorlage und Vektorisierung des Rasterbildes

8-18

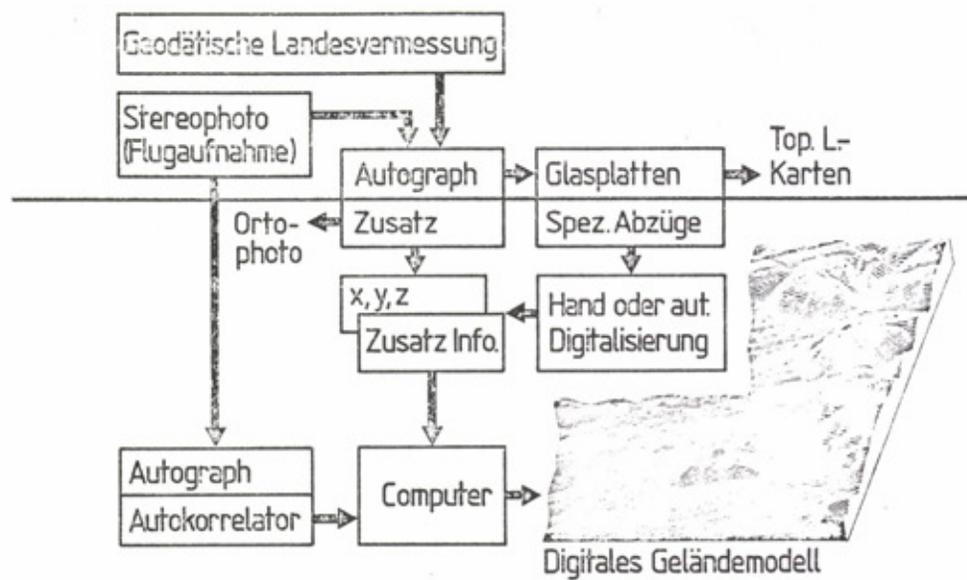


Fig. 21: Der Weg zum digitalen Geländemodell

Das automatische System bietet daher folgende Vorteile:

- Schnelles Verfahren
- Genauigkeit entspricht der Topographischen Landeskarte
- Einfache Nachführung
- Der Rechner für die Erfassung und für die Auswertung ist identisch.

Dafür müssen auch Nachteile in Kauf genommen werden:

- Grosser finanzieller Aufwand
- Nur Spezialisten können die Anlage bedienen.

3.2.3. Autokorrelator

Alle oben erläuterten Systeme zur Erfassung der Geländedaten sind vom Grundlagematerial der topographischen Karten ausgegangen. Wir wollen aber als letzte Möglichkeit die vollautomatische Erfassung nicht ausser Betracht lassen.

Ich muss voraussetzen, dass mir bis heute nur ein System bekannt ist, das annähernd genau arbeitet. Schon aus dieser Tatsache lässt sich leicht erkennen, dass es hier gilt, ein grosses Problem zu lösen. Die Problemstellung dagegen ist wesentlich einfacher. Aus einem Fotopaar soll mittels optoelektronischer Abtastung das dreidimensionale Gelände aufgenommen werden.

Das eigentliche Problem liegt nicht etwa in der Abtastung der Höhe, sondern in der Korrelation von 2 Punkten. Wir erinnern uns, dass bei der Stereofotographie ein Geländepunkt von 2 verschiedenen Orten aufgenommen wird, damit ein dreidimensionales Geländemodell überhaupt entstehen kann (Fig. 10). Wenn wir diese Aufnahmen im Autographen aus, übernimmt der Mensch die wichtigste Aufgabe: Er entscheidet mit seinen Augen, welche 2 Punkte (aus der linken und aus der rechten Aufnahme) zusammen gehören. Dieser einfache Vorgang für den Menschen bereitet der Maschine jedoch Kopfschmerzen!

Aehnlich wie beim Autographen nehmen wir 2 benachbarte Flugaufnahmen und wählen darin einen entsprechenden Ausschnitt auf beiden Fotos. Wir lassen den Computer diesen Ausschnitt in Grauwerte zerlegen und als Matrix festhalten. Nun tun wir dasselbe auf der andern Seite und vergleichen die Matrix mit der vorherigen. Stimmen sie genau überein, kann der Mittelpunkt des Ausschnittes auf beiden Seiten als entsprechender Punkt im Stereobild angenommen werden. Die Einstellung im Autographen ergibt dann automatisch die zugehörige Höhenkote. Stimmen die beiden Bilder respektive Matrizen nicht überein, wird die eine so lange um ganz kleine Schritte verschoben, bis sie übereinstimmen. Dies kurz zur Funktionsweise. Wie Sie sehen, wird auch hier das dreidimensionale Geländemodell im Autographen als Ausgangspunkt verwendet.

8-19

Die Vorteile der Autokorrelationslösung sind folgende:

- Sehr einfache und schnelle Erfassung
- Rasche Nachführung
- Erfasst die echte Oberfläche
- Mit der Erfassung entsteht automatisch eine Orthofoto

Natürlich bestehen auch hier gewisse Nachteile:

- Das System scheint noch nicht ausgereift zu sein
- Sehr teure Lösung

Es bleiben noch zwei Probleme zu lösen:

- Die Erfassung der Zusatzinformationen
- Die Entstehung der Orthofoto

3.2.4. Erfassung von Zusatzinformation

Aus Spezialabzügen der Karte werden Zusatzinformationen mit Farbbabtastung aufgenommen. In Figur 22 ist die Funktionsweise schematisch dargestellt. Diese Zusatzinformation wird zusätzlich zur Höhe als X-, Y-Koordinaten beigegeben. Zum Beispiel erhält ein X-, Y-Koordinatenpaar die Information Wald oder nicht Wald oder Fluss nicht Fluss. Wie diese Information wieder zu einem Bild verarbeitet wird, ist nicht Gegenstand dieses Berichtes. Ich werde am Schluss einige Beispiele darstellen.

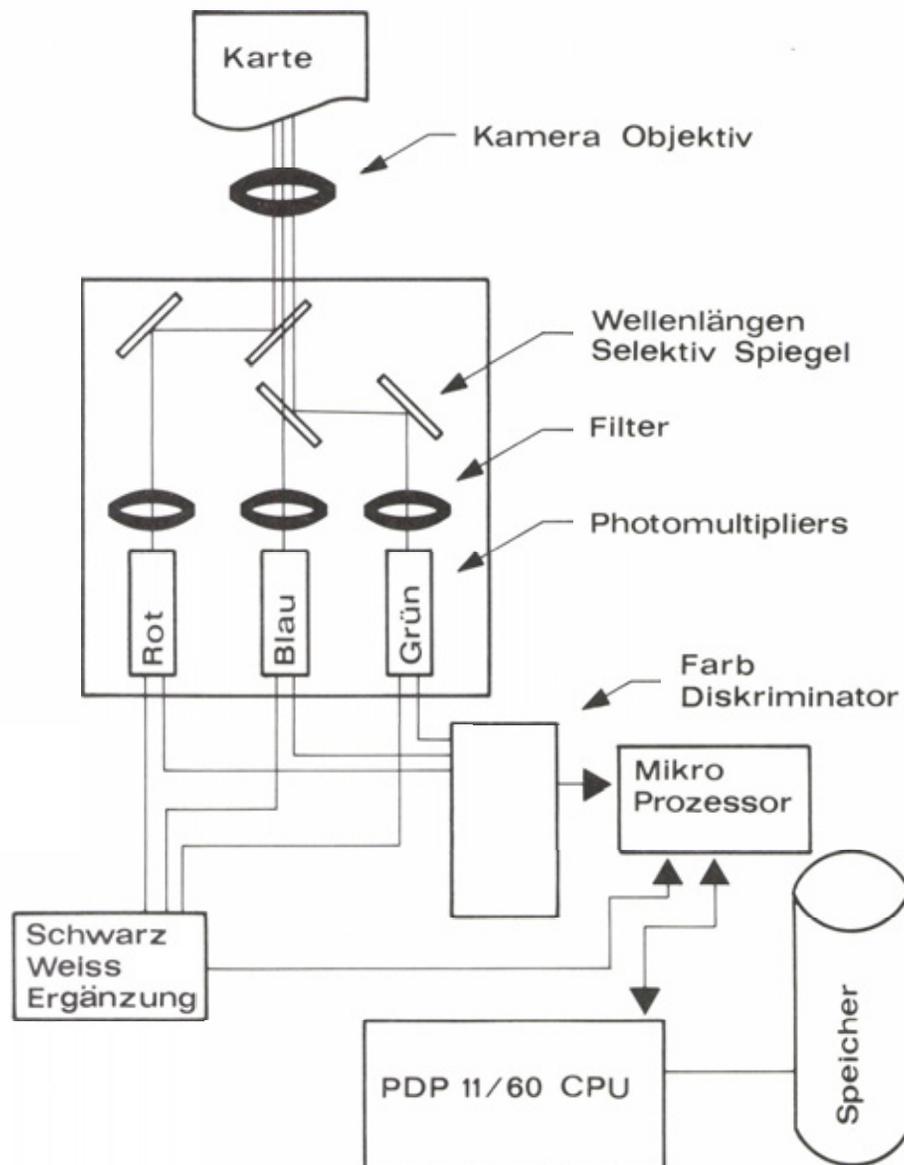


Fig. 22: Farbbabtastung

8-20

3.2.5. Die Orthofoto

Gehen wir von der Flugaufnahme aus, und erinnern uns daran, dass gegenüber der Karte Verzerrungen bestehen (Fig 23). Die Abstände zwischen den Gebäuden sind je nach Neigung des Geländes verschieden verzerrt.

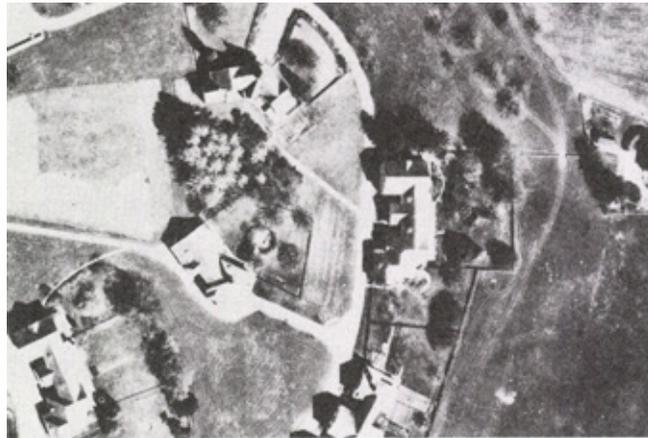


Fig. 23: Flugaufnahme

Das Ziel ist eine unverzerrte Darstellung. Wieder beginnt man beim geodätischen Vermessen. Bekannte Punkte (die in der Luftaufnahme erkennbar sein müssen) legen das Geländemodell fest. Man hängt es in der richtigen Höhe auf (Fig 24).

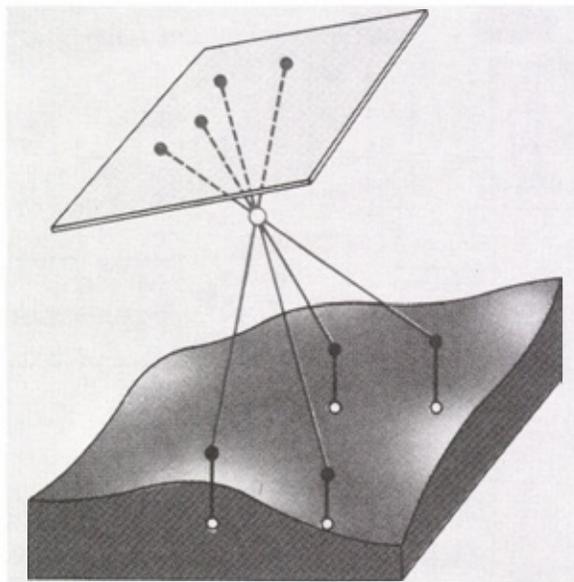


Fig. 24: Fixieren des Geländeschnittes

8-21

Dann lässt man einen Streifen über das Geländemodell wandern (Fig 25), achtet darauf, dass die Abbildung der Strecke L auf dem Modellboden immer orthogonal (senkrecht) auf der Fahrbahn des Strahls liegt und nimmt das Element l in seiner wirklichen Länge auf einen Film auf, setzt dann die Elemente wieder zusammen. So erhält man die Orthophoto (Fig. 26).

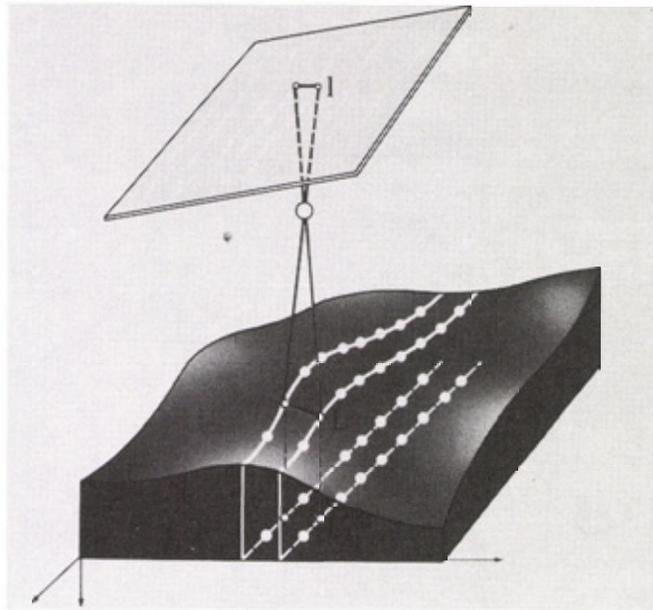


Fig. 25: Abtasten der Orthophoto



Fig. 26: Landschaft (wie Fig. 22) als Orthophoto mit Höhenkurven

8-22

4. Anwendungsbeispiele

Abschliessend möchte ich einige Anwendungsbeispiele des digitalen Geländemodells darstellen:

- Dreidimensionale Darstellung des Geländes in verschiedenen Rastergrössen (Fig 27,28,29)
- Darstellung des Geländes als Ansicht mit verschiedenen Rastern. Diese Bilder wurden von Hrn. Hügli, Institut für Technische Physik an der ETH Zürich, hergestellt. (Fig 30,31,32).
- Detailansicht des Geländes (Fig 33,34).
- Reliefdarstellung (Fig 35,36,37,38).

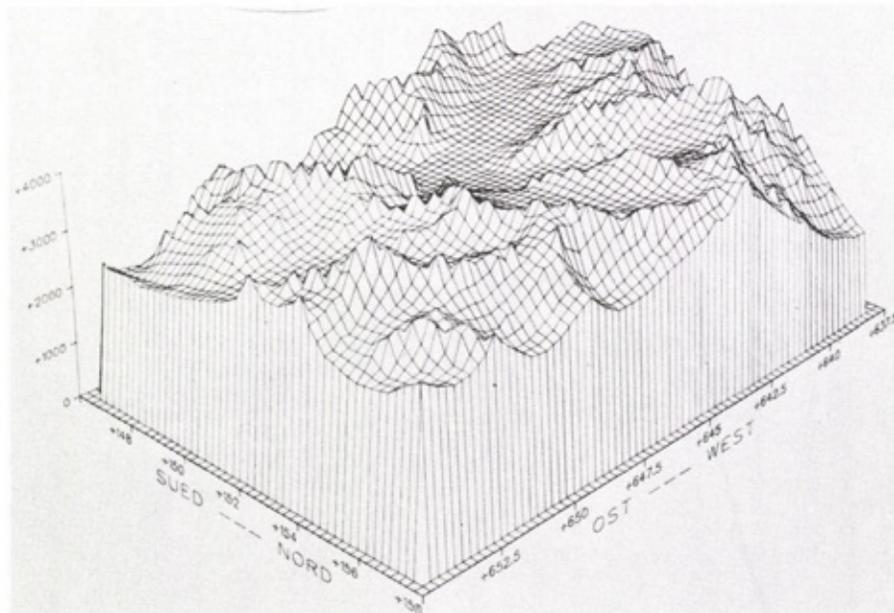


Fig. 27

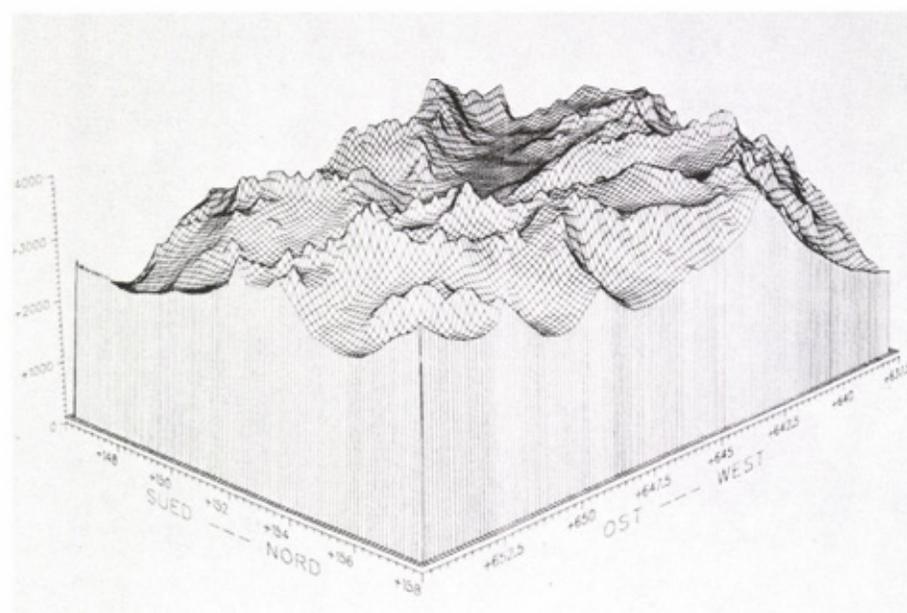


Fig. 28

8-23

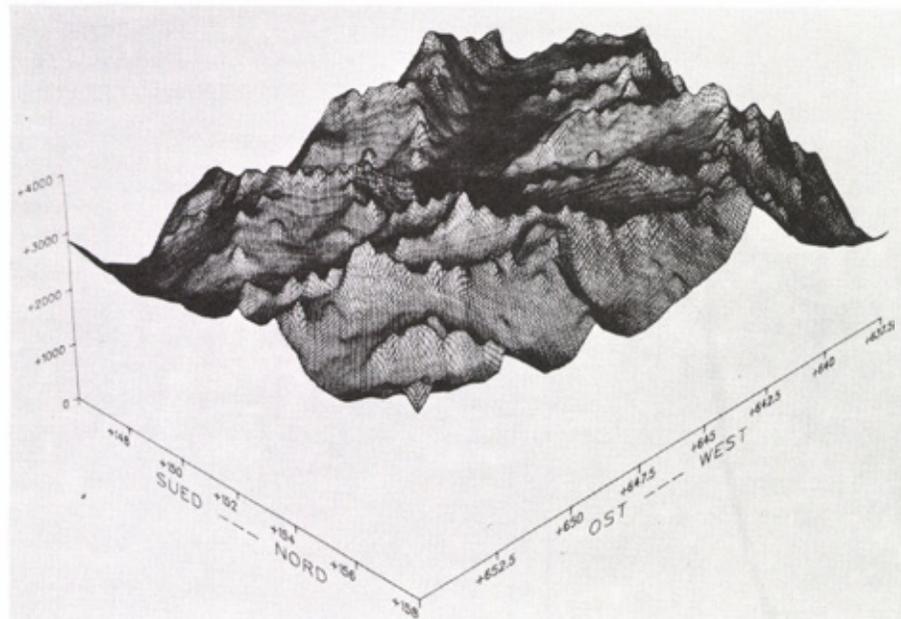


Fig. 29

Nachfolgend 3 gerechte Aufnahmen mit einem bestehenden Modell mit 250 m Erfassungsraster. Eine von der ETH, Institut für Technische Physik, erarbeitete Ansicht zeigt das Gelände schon plastischer (Fig. 30)

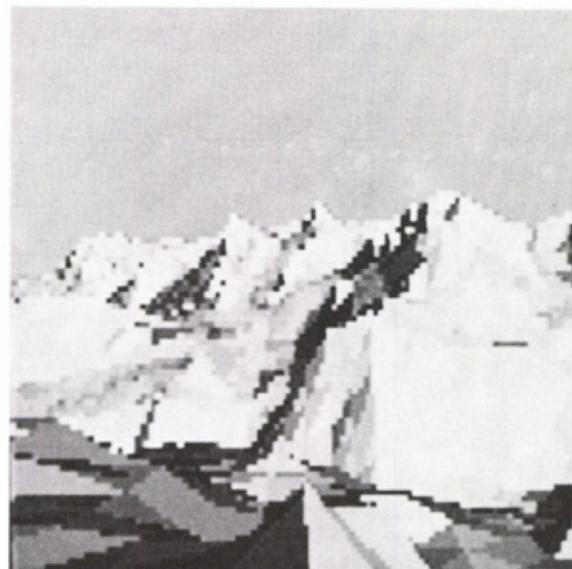


Fig. 30: Wetterhorn-Jungfrau

8-24

Verfeinert man nun das Modell (25 m mal 25 m Erfassungsraster) werden die Aufnahmen rasch besser (Fig 31). Auch dieses Bild stammt von der ETH.



Fig. 31

Zoomen ist ohne weiteres möglich (Fig 32)

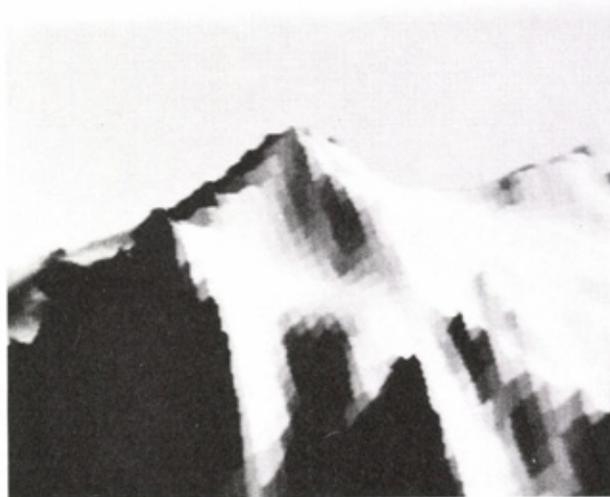


Fig. 32

8-25

Der nächste Schritt geht dann schon in die Details (Fig. 33).



Fig. 33: Landstrasse mit Brücke

Wenn ein simulierter Anflug mit diesem Cockpit-Bild endet, müsste man vermuten, dass da etwas schiefgegangen ist !! (Fig. 34)



Fig. 34: Grosser Brückenbogen

8 - 26

Jeder beliebige Reliefausschnitt mit jedem gewünschten Sonnenstand ist in relativ kurzer Zeit darstellbar. Die Umgebung Grindelwald mit dem 25er Raster aufgenommen (Fig 35).



Fig. 35

und so sieht das ganze als Luftaufnahme aus (Fig 36).



Fig. 36

8-27

Im nächsten Bild (Fig 37) sehen Sie den südwestlichen Teil der Schweiz. Die rechteckigen Löcher im Genfersee sind Fehler, hier wurde nicht die Seeoberfläche in das Modell aufgenommen, sondern der Seeboden.



Fig. 37