

Diplomarbeit

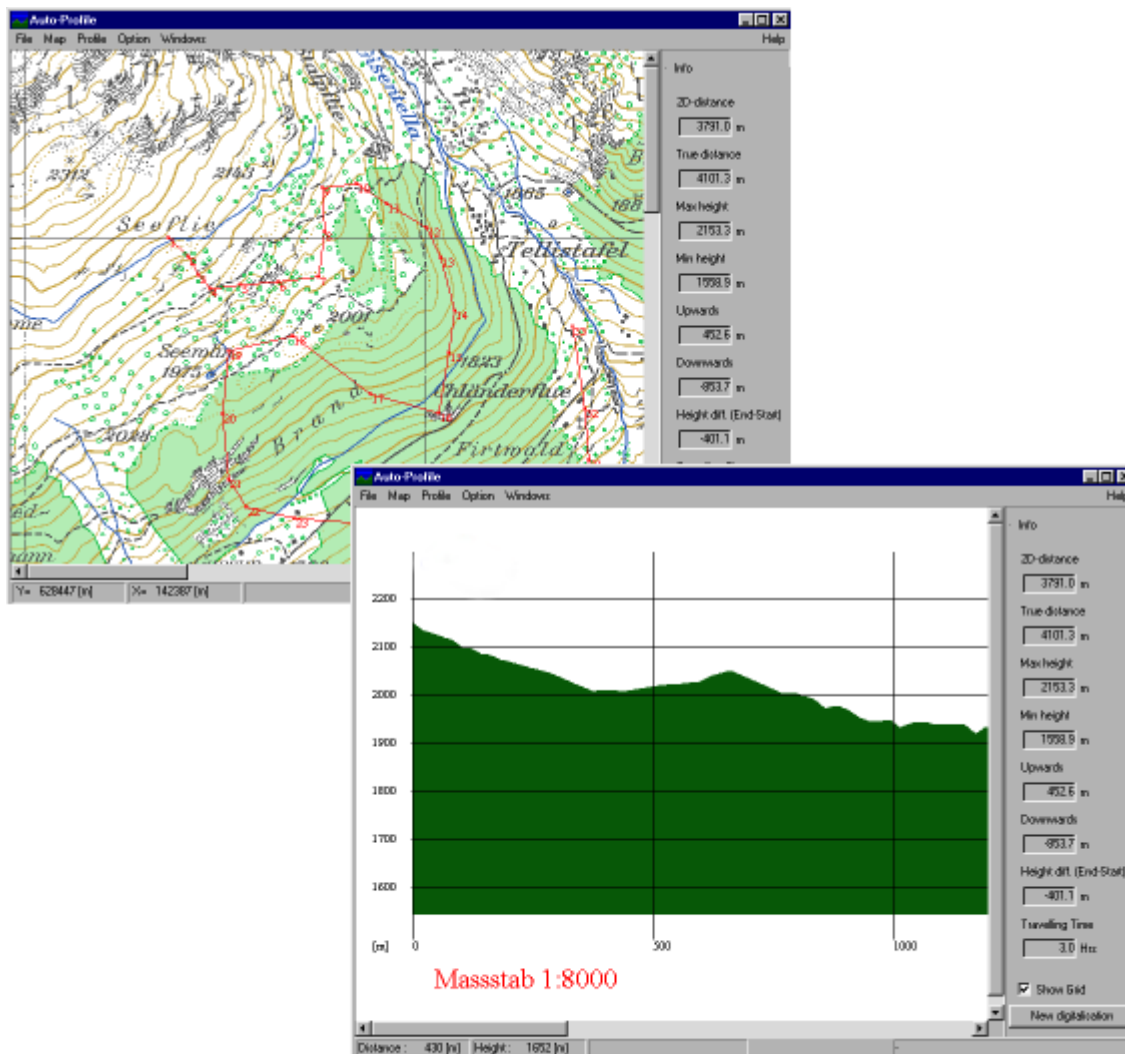
Institut für Kartographie IKA

ETH Zürich

Abteilung VIII, WS 98/99

Prof. Dr. L. Hurni

Automatische Höhenprofilextraktion



Verfasser: Frapolli Claudio

Betreuer: Dipl. Ing. Terribilini Andrea

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer Diplomarbeit des Vermessungsingenieurstudiums an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETHZ) und richtet sich in erster Linie an die Auftraggeber vom Institut für Kartographie (IKA).

An dieser Stelle möchte ich allen Beteiligten des Institut für Kartographie, insbesondere Prof. Dr. L. Hurni für die Ermöglichung der Arbeit und Dipl. Kult. Ing. A. Terribilini für seine überaus kompetente und aufopfernde Betreuung danken.

Zürich, im Februar 1999

Claudio Frapolli



Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG

1.1 Allgemeines	1
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung	1
1.3 Mögliche Anwendungsgebiete	1
1.4 Methodisches Vorgehen	2

2. GENERIERUNG EINES HÖHENPROFILS MIT DEM PROGRAMM *AUTOPROFILE*

2.1 Grundlagen	3
2.2 Datenquellen	3
2.2.1 Digitale Karten	4
2.2.2 Georeferenzierung digitaler Karten	5
2.2.3 Digitales Höhenmodell DHM25	7
2.3 Extraktion des Höhenprofils	10
2.3.1 Struktur der Profilstrecke	11
2.3.2 Interpolation des Höhenprofils	13
2.3.3 Extraktion der Punkthöhen	14
2.3.4 Vereinfachung des Höhenprofils	17
2.3.5 Aufspannung des Höhenprofils	19

3. VISUALISIERUNG DES HÖHENPROFILS

3.1 Parameter zur Visualisierung des Höhenprofils	20
3.2 Technische Aspekte bei der Darstellung des Höhenprofils	21
3.3 Editieren des Höhenprofils	25
3.4 Statistische Informationen über das Höhenprofil	25

4. DAS EXPORT VON HÖHENPROFILEN IM DXF-FORMAT

4.1 Allgemeines	27
4.2 DXF-ASCII-Datenformat	27
4.3 Export von Höhenprofilen	29
4.3.1 2D-Höhenprofil	29
4.3.2 3D-Höhenprofil	30
4.3.4 3D-Höhenprofil kombiniert mit digitalem Höhenmodell	30

5. AUFBAU VON *AUTOPROFILE*

5.1 Die Benutzeroberfläche	32
5.2 Programmablauf	33

6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

6.1 Verbesserungen und Erweiterungsmöglichkeiten	37
--	----

LITERATURVERZEICHNIS	38
-----------------------------	----

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	39
------------------------------	----

ANHANG

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Allgemeines

Höhenprofile zeigen den Höhenverlauf einer Route in Abhängigkeit von der Entfernung. Bisher wurden Höhenprofile am meistens manuell aus Höhenkurven bestimmt. Heute ist es dank moderner Computertechnologie und Digitalen Höhenmodelle (DHM) möglich, für einen beliebigen Punkt rasch seine Höhe zu berechnen. Das entwickelte Programm *AutoProfile* erlaubt dem Benutzer eine schnelle und präzise Extraktion von Höhenprofilen.

Das Programm richtet sich in erster Linie an Bergwanderer für die Planung von Exkursionen. Daneben können auch Velofahrer, Flugpiloten, Geologen, Höhenprofile für ihre Zwecke generieren. Durch Verwendung feiner auflösenden DHM (als das im Programm verwendete DHM25[®] des Bundesamtes für Landestopographie, Wabern) mit kleinerer Maschenweite (z.B. 5 m), kann das Programm auch für Bauprojekte (z.B. Strassenplanung), die genauere Höheninformationen brauchen, Anwendung finden.

1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit am IKA ist ein Programm zu entwickeln das automatisch Höhenprofile eines beliebig digitalisierten Weges extrahiert und visualisiert. Das Digitalisierungsvorgang muss interaktiv am Bildschirm erfolgen. Als Grundlagedaten dienen dazu eine digitale Karte (als Hintergrundbild) sowie das Digitale Höhenmodell DHM 25.

1.3 Mögliche Anwendungsgebiete

Das Programm *AutoProfile* kann für folgende Zwecke eingesetzt werden:

- Profilgenerierung für die Planung von Exkursionen (Mountainbike- oder Bergtouren aller Art).
- Profilgenerierung für Luftfahrt (Flugbahn Planung, topographische Hindernisse, usw.).
- Profilgenerierung für Bauplanung (z.B. Trassenvarianten).

- Profilgenerierung für die Geologie.
- Usw.

1.4 Methodisches Vorgehen

In der folgenden Abbildung wird das methodische Vorgehen der Diplomarbeit erklärt.

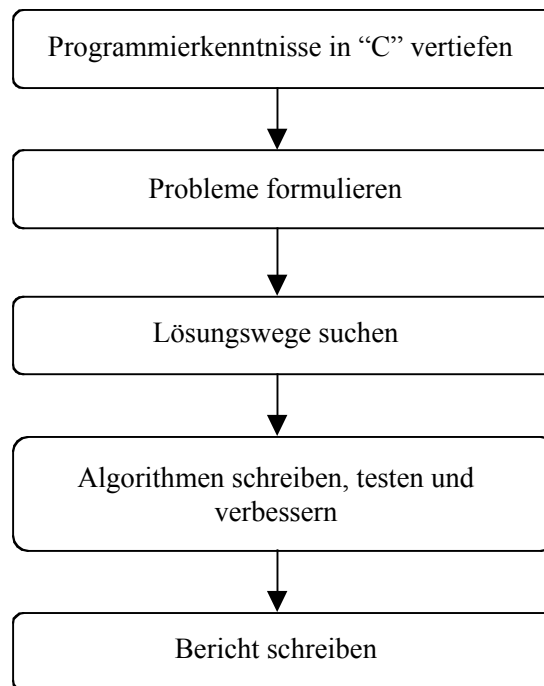


Abbildung 1: Methodisches Vorgehen

Kapitel 2

Generierung eines Höhenprofils mit dem Programm *AutoProfile*

2.1 Grundlagen

Für die Generierung eines Höhenprofils ist ein Programm geschrieben worden, das *AutoProfile* genannt wurde. Das Programm *AutoProfile* ist für Microsoft Windows® (NT, 95, 98) Plattformen entwickelt worden. Die benutzte Programmiersprache ist Visual C++® von Microsoft (Microsoft Developer Studio).

Das nachfolgende Schema zeigt den Datenfluss und die File-Umgebung des geschriebenen Programmes *AutoProfile*:

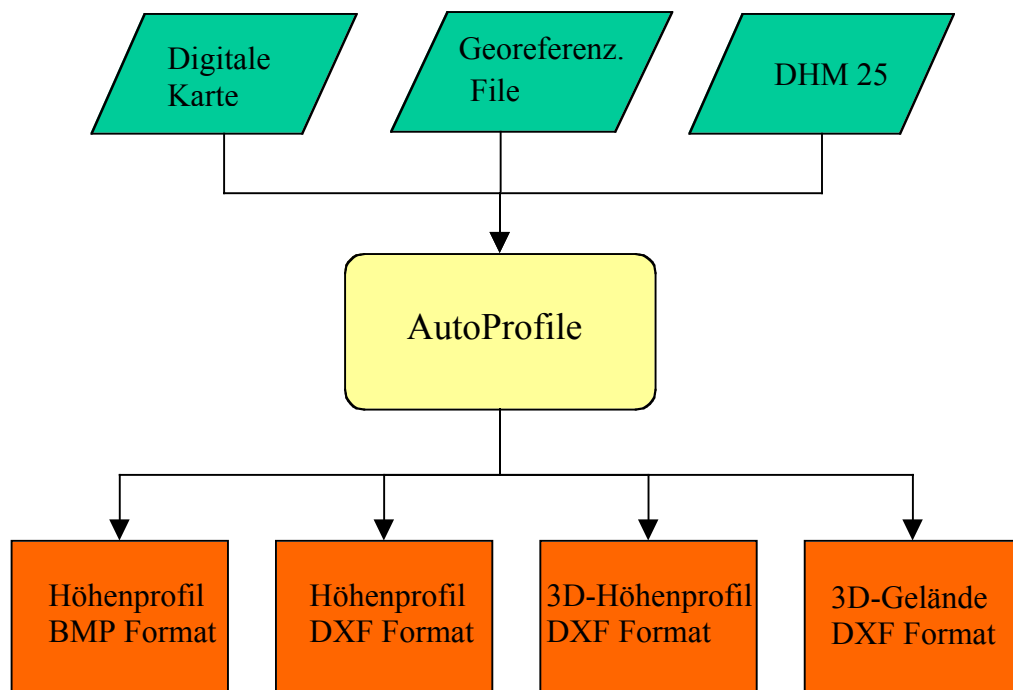


Abbildung 2 : Datenfluss und File-Umgebung des Programmes *Autoprofile*

2.2 Datenquellen

Als Grundlagedaten stehen für die automatische Höhenprofilextraktion folgende Datenquellen zur Verfügung :

- Eine digitale Karte im Rasterformat.
- Ein File für die Georeferenzierung digitalen Karten.
- Das DHM25 (Bundesamt für Landestopographie, Wabern).

2.2.1 Digitale Karten

Ins Programm *AutoProfile* können als Hintergrundinformation digitale rasterisierte Karten geladen werden. Solche Karten dienen als Orientierung fürs Digitalisieren einer beliebige Strecke. Rasterisierte Karten sind gescannte, das heisst elektronisch eingelesene Karten in Rasterformat. Die Karten müssen das schweizerische Projektionssystem aufweisen, können beliebige Massstäbe haben und müssen nach Norden ausgerichtet sein.

Schon vorhandene Karten sind z.B. die Pixelkarten vom Bundesamt für Landestopographie (Abbildung 3). Pixelkarten werden gemäss der Blatteinteilung der gedruckten Landeskarten erfasst, bearbeitet und abgegeben. Sie sind in den üblichen Massstäben von 1:25'000 bis 1:1'000'000 erhältlich. Die Druckfilme wurden mit einer Auflösung von 20 L/mm (508 dpi) gescannt. Die Pixelgrösse von 0.05 mm im Massstab 1:25'000 beträgt in der Natur 1.25 m resp. im Massstab 1:100'000 5 m. Pixelkarten werden standardmässig in TIFF-Format ausgeliefert.

Für diese Arbeit wurde aber wegen seiner einfacheren Struktur gegenüber dem TIFF-Format das BMP-Format gewählt. Für die Einlesung in *AutoProfile* müssen daher die Karten ins Windows BMP-Format (24 Bit Farbtiefe) umgewandelt werden.



Abbildung 3 : Verkleinerter Ausschnitt einer Pixelkarte PK25 (Bundesamt für Landestopographie)

Als Hintergrundinformation können auch digitale Orthophotos oder Satellitenbilder benutzt werden.

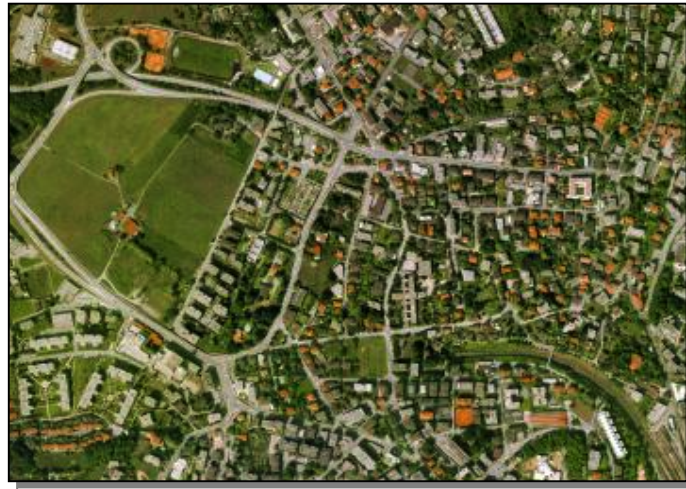
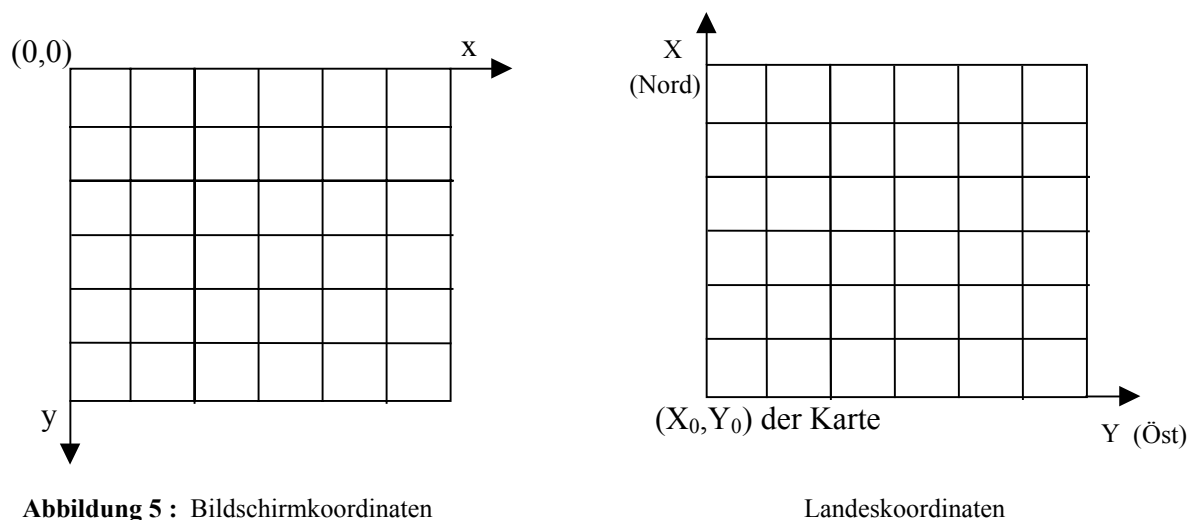


Abbildung 4 : Ausschnitt eines digitalen Orthophotos (Gebiet: Breganzona, Quelle: Helveticus 98)

2.2.2 Georeferenzierung digitaler Karten

Die digitalen Karten müssen vor dem Einlesen zuerst georeferenziert werden, indem man das Koordinatensystem von Bildschirmkoordinaten (Pixelkoordinaten) zu Landeskoordinaten umwandelt.

Die folgende Abbildung zeigt die Rasterdarstellung des Bildes. Jedem Pixel wird eine neue Koordinate zugewiesen.



Der Umwandlung des Koordinatensystems wird durch vier Parameter bestimmt, und zwar zwei Translationen und zwei Massstabsfaktoren (x und y Richtung).

Es wurde momentan auf eine Rotation verzichtet, weil die benutzte Karten schon nach Norden ausgerichtet sind.

Für das Georeferenzierung muss man ein File mit den obigen Informationen erstellen.

Das File muss folgendes Format haben, und kann mit einem normalen Texteditor geschrieben werden:

2.5 -2.5 627967.5 142467.5

Masstab E-W-Richtung Masstab N-S-Richtung Y-,X-Koordinaten der obere linke Ecke der Karte

Die ersten zwei Werte entsprechen der Grösse eines Pixel in Meter. Die restlichen zwei Werte bezeichnen die Landeskoordinaten der oberen linken Ecke der Karte in Metern. Zwischen diesen Zahlen muss ein Tabulatorsprung eingesetzt werden.

Alle diese Werte müssen manuell bestimmt werden, indem man von mindestens zwei gut verteilten bekannten Fixpunkten (Landeskoordinaten bekannt) deren Bildschirmkoordinaten misst. Dies kann mit einem Grafikprogramm geschehen. Zur Bestimmung der vier Parameter müssen die Koordinaten der Passpunkte (Landes- und Bildschirmkoordinaten bekannt) in das darunterliegende Gleichungssystem eingesetzt werden.

Die Formel für die Transformation von Bildschirm- in Landeskoordinaten ist die folgende, und entspricht einer Massstab Transformation plus einer Translation:

$$\begin{aligned} Y &= m_1 \cdot x + a \\ X &= m_2 \cdot y + b \end{aligned}$$

wobei m_1 =Masstab E-W, a =Y-Koord. Obere linke Ecke
 m_2 =Masstab N-S, b =X-Koord. „ „ „
 x,y = Bildschirmkoord. Y,X =Landeskoord.

Wenn eine digitale Karte geladen wird, lädt das Programm automatisch das entsprechende File für die Georeferenzierung dieser Karte. Das File muss den gleichen Namen der Karte haben, ergänzt aber mit der Extension *.par . Wenn z.B. das File, das die Karte enthält, „1268.bmp“ heisst, muss das entsprechend Georeferenzierungsfile „1268.par“ heissen.

2.2.3 Digitales Höhenmodell DHM25

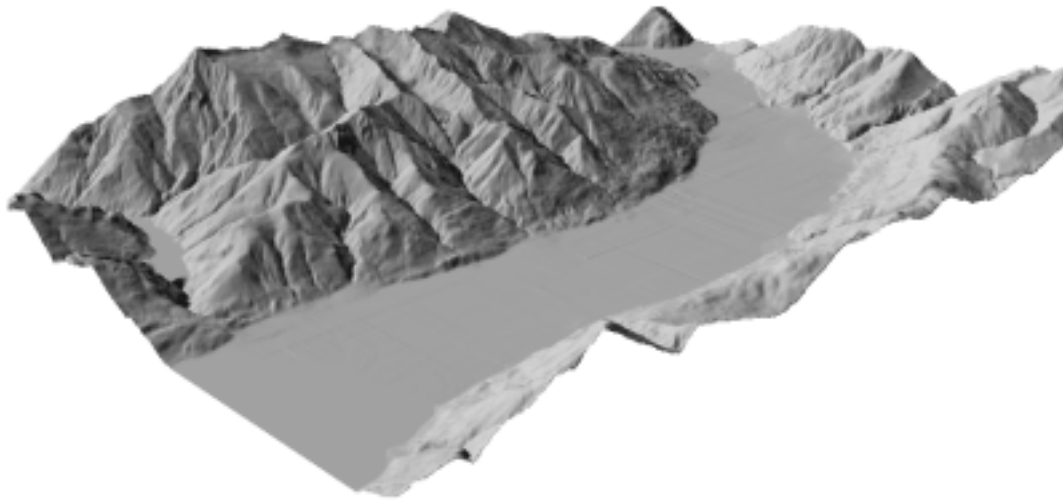


Abbildung 6: Perspektivische Geländeansicht vom Gebiet „Piano di Magadino“, berechnet aus dem DHM25 mit dem Programm ViMap 6.0 (A. Terribilini, 1999).

Digitale Höhenmodelle sind Datensätze, welche die dreidimensionale Form der Erdoberfläche beschreiben. Für jeden Punkt mit den Koordinaten x und y wird die Höhe z als Grundlage entsprechender EDV-Anwendungen gespeichert.

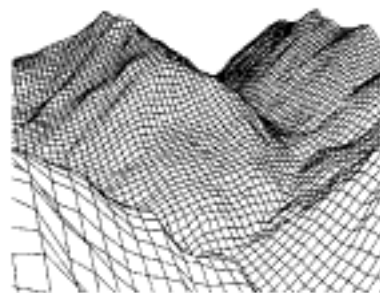
Das digitale Höhenmodell DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie, ist seit Ende 1996 für die ganze Schweiz verfügbar. Es beruht auf dem Höheninformationsgehalt der Landeskarte 1:25000 und den daraus abgeleiteten Höhenwerten in einer regelmässigen Gitteranordnung mit 25 Metern Maschenweite (Matrixmodell).

Durch Vektorisieren der Höhenkurven und der Seekonturen sowie durch Digitalisieren der Einzelkoten ab der Pixelkarte PK25 wird das Basismodell generiert.

Das Matrixmodell wird durch Interpolation aus dem Basismodell abgeleitet. In dieser Modellform ist die Anzahl der Höhenwerte pro Kartenblatt konstant mit 337'181 Punkten oder 1600 Punkten pro Km^2 . Die Standard-Maschenweite der Matrix beträgt 25 m, was einem über die Landeskarte 1:25000 gelegten Millimeternetz entspricht.



Abbildung 7: DHM25-Basismodell (Orthogonalansicht)



DHM25-Matrixmodell (Geländeansicht)

Die Genauigkeit des DHM25 beträgt im Mittelland rund 1.5 m und in den Alpen rund 5 bis 8 m.

Das DHM25 basiert auf der gleichen geometrischen Grundlage wie das Landeskartenwerk. Diese umfasst folgende Hauptkomponenten:

- Schweizerisches geodätisches Datum „CH-1903“
- Schweizerisches Projektionssystem (Winkeltreue schiefachsige Zylinderprojektion).

Das Matrixmodell ist auf einfache Weise formatiert. Nach einem Header mit allgemeinen Angaben folgen die Datenrecords. Diese umfassen standardmässig 2040 Zeichen pro Record (Zeile), was 340 Höhenwerten zu 6 Zeichen entspricht. Die Höhen sind in Dezimetern (Integer) angegeben. Die gesamte Matrix umfasst $m \times n$ Höhenwerte. Der erste Wert bezeichnet die Höhe der Nordwest-Ecke des Ausschnittes, der letzte diejenige der Südost-Ecke.

Das DHM25 ist im ASCII-Format wie folgt strukturiert:

NEWHEADER															
SYSTEM		PRIMOS					BUND.AMT F. LANDESTOPOGRAFIE					CH-3084 WABERN			
FILENAME		DHM25>DHM>BL1109.DHM					SCHOEFTLAND					05.11.93			
FORMAT		ASCII					GANZZAHLIG, 6 STELLEN								
RECORDLAENGE (CHAR.)		2040					340 WERTE PRO RECORD								
SCAN-VORLAGE							BLATT 1109					1:25000		GN 1982	
SCAN-VORLAGE															
SCANAUFLOESUNG (/MM)		0													
KOORDINATENSYSTEM															
AUSSCHNITTKOORD. (M)		637500			242000			BEGINN DES DHM25							
AUSSCHNITTKOORD. (M)		655000			230000			ENDE DES DHM25							
GITTERAUFLÖSUNG (M)		25			25			HOEHEN IN DEZIMETER							
GITTERDIMENSION (P.)		701			481			TOTAL 337181 PUNKTE							
HOEHENBEREICH (DM)		4245			8709										
KOMMENTAR															
KOMMENTAR															
KOMMENTAR															
KOMMENTAR															
KOMMENTAR		AUS INPUTFILE					DHM 1109 GN 1982 MD 15.02.1992								
KOMMENTAR							ANZAHL NULLHOEHEN = 0								
ENDHEADER															
5293	5281	5254	5231	5217	5206	5194	5185	5174	5160	5156	5157	5160	5162		
5164	5163	5158	5155	5151	5150	5150	5147	5156	5169	5179	5186	5196	5205		
5207	5208	5208	5209	5210	5210	5208	5194							

Abbildung 8: Datenstruktur des DHM25 im ASCII-Format

Für das Einlesen ins Programm *AutoProfile* muss das ASCII-Format des DHM25 in ein binäres Format umgewandelt werden. Das binäre Format hat gegenüber dem ASCII-Format den Vorteil, dass es ungefähr 5x schneller zu einlesen ist. Zusätzlich braucht es auch weniger

Speicherplatz. Zum Beispiel benötigt ein Höhenwert im ASCII-Format 6 Bytes brauchen, währenddem binären Format nur 2 Bytes braucht (unsigned short Integer).

Diese Umwandlung wird durch eine Funktion erledigt, die von A.Terribilini geschrieben wurde.

Das binäre Format hat folgende Datenstruktur:

```
typedef struct {
    unsigned int    south,west;        // bottom-left corner
    unsigned int    north,east;        // top-right corner
    int             hSize,vSize;       // size of one mash of the dhm
    GRID_DIM        cols,raws;         // number of columns/rows of dhm
    short int       factor;            // dhm scale factor
    short int       base;
    short int       missing;
    unsigned short int res1;
    unsigned short int min,max;        // min/max value of height-data
    GRID_DATA       *data;             // height-data [unit dm !!!]
    GRID_INDEX      numPnt;            // number of points
} GRID;

#define GRID_DATA    unsigned short int // type of dhm height-data
#define GRID_DIM     unsigned short int // type of the dimension (col/raw) of the dhm
```

Abbildung 9 : Datenstruktur des DHM25 im binären Format

2.3 Extraktion des Höhenprofils

Ziel dieses Kapitels ist es, die verschiedenen Phasen des Höhenprofilsextraktion gleichzeitig mit den im Programm *AutoProfile* implementierten Lösungen zu zeigen.

Das unterstehende Ablaufschema zeigt alle Schritte, die zur Erstellung eines Höhenprofils notwendig sind:

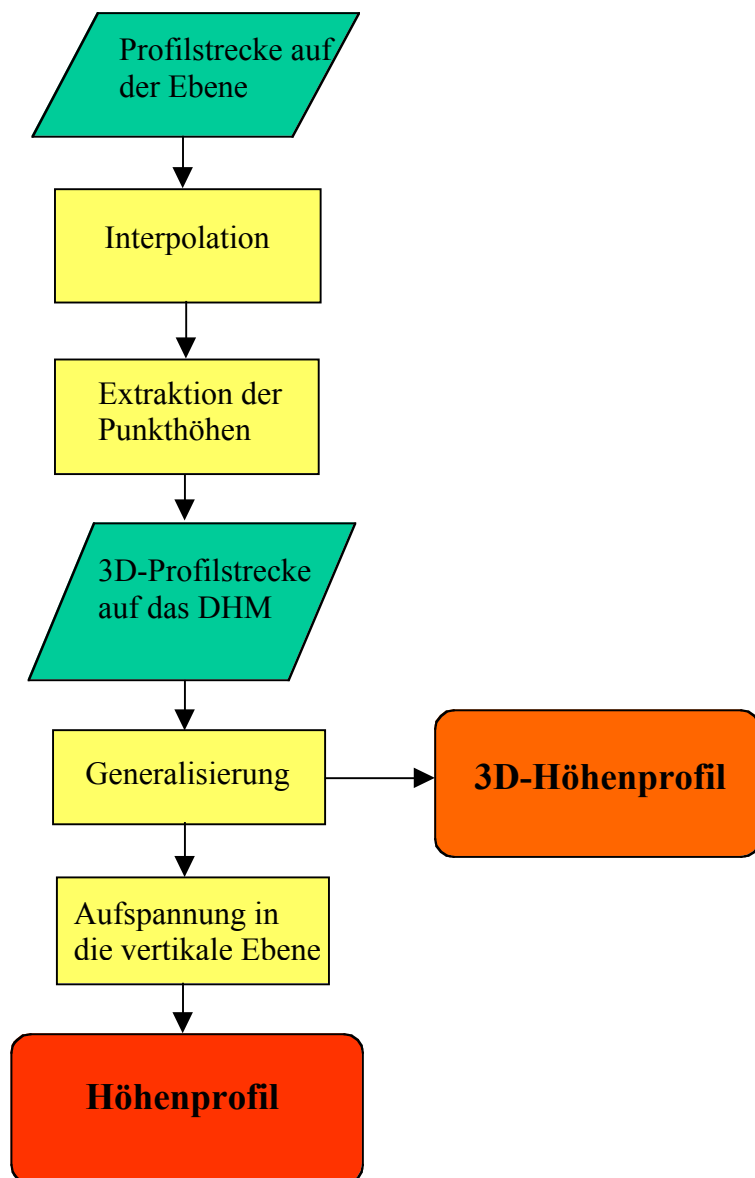


Abbildung 10 : Ablaufschema des Höhenprofilsextraktion

2.3.1 Struktur der Profilstrecke

Nachdem eine Karte ins Programm geladen worden ist, kann eine Strecke digitalisiert werden. Mit der Maus wird punktweise eine beliebige Strecke auf dem Bildschirm digitalisiert, wobei jeweils das Koordinatenpaar eines Punktes per Mausdruck erfasst wird. Das Koordinatenpaar wird aus dem Bildraster (nach die Transformation von Bildschirm in Landeskoordinaten (vgl. Kapitel 2.2.2) berechnet.

Die Strecke liegt in Vektor-Format vor und wird für die Darstellung auf dem Bildschirm in folgenden Struktur gespeichert:

```
typedef struct{
    long          x0,y0,x1,y1;    // Landeskoordinaten der Linienpunkte
    short int     Pen;            // Farbe und grösse der Linie
    double        lenght;        // Länge der Linie
} WV_LINE;                    // Linie, die die digitalisierten Punkte(WV-CIRCLE) verbindet

typedef struct{
    long          x0,y0,radius;
    short int     Pen;            // Farbe des Kreises
    WV_TEXT       Text;          // Ortsname eines Punktes
} WV_CIRCLE;                  // Digitalisierte Punkten als Kreise dargestellt

typedef struct{
    WV_LINE       *line;
    short int     numLine;        // Anzahl der Linien in der Strecke
    bool          flag_showLine;
    WV_CIRCLE     *circle;
    short int     numCircle;      // Anzahl der digitalisierten Punkten
    bool          flag_showCircle;
    bool          flag_showCircleText;
    WV_TEXT       *Text;
    short int     numText;
    bool          flag_showText;
} VEC_DATA;                   // Vektor-Struktur der digitalisierte Strecke

typedef struct {
    VEC_DATA      VecData;
    long          cols,raws;      // number of pixels in h-direction (horizzontal)
    HDC           hmdc;           // handle of the memory device context
    HBITMAP       hBitmap;
    float         x_scale,y_scale,x_origin,y_origin;
    int           type;
} IMAGE;                      // Jeder Karte oder Bild hat seine eigenen Vektordaten
```

Für die Darstellung auf dem Bildschirm müssen daher die Landeskoordinaten ins Bildschirmkoordinaten umgewandelt werden (Massstab-Transformation und eine Translation, umgekehrte Formel wie im Kapitel 2.2.2).

Für die Berechnung des Höhenprofils wird dann die obige Struktur in eine einfachere Struktur übertragen:

```
typedef struct{
    PL_VERTEX          *Pnt;          // point list
    PL_ATTRIBUTE        attribute;     // attributes of the polyline
    PL_VERTEX_INDEX    maxNumVertex;  // max number of verteces
    PL_VERTEX_INDEX    numVertex;     // index of a new vertex (=number of verteces)
} POLY_LINE;

typedef struct{
    PL_COORD_XY        x;              // landeskoordinaten
    PL_COORD_XY        y;
    PL_COORD_Z          z;
    PL_ATTRIBUTE    attr_1;
} PL_VERTEX;

// Profillinie
// Punkte des Höhenprofils
```

Die Profilstrecke ist somit durch eine Reihenfolge von Punkten [*Pnt] und anderer Informationen definiert, wie z.B. die Anzahl der Punkte [numVertex]. Jeder Punkt wird durch die Landeskoordinaten x, y, die Höhe z und ein Attribut beschrieben.

Die Variabel z hat am Anfang (während dem Digitalisierungsvorgang) den Wert Null, weil noch kein Höhenwert berechnet wurde. Das Attribut definiert, ob es sich um einen digitalisierten Punkt (USED) oder um einen interpolierten Punkt (UNUSED) handelt (siehe Kapitel 2.3.2).

Geometrische Operationen von Vektordaten sind in der Regel bedeutend einfacher als Rasteroperationen. Das Programm kann somit Rasterdaten (Karte im Hintergrund) und Vektordaten (digitalisierte Strecke) gleichzeitig darstellen.

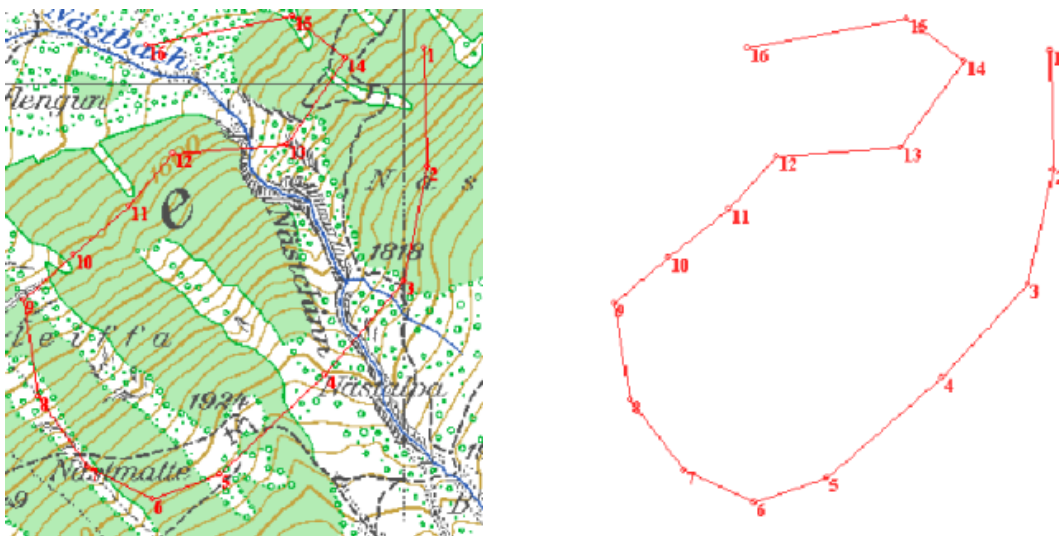


Abbildung 11: Rasterdaten (Karte im Hintergrund) und Vektordaten (digitalisierte Strecke)

Die Vektordaten sind in 4 Ebene strukturiert:

- Punktnummer oder Punktnamen
- Kreise (digitalisierten Punkte)
- Linien
- Freier Text

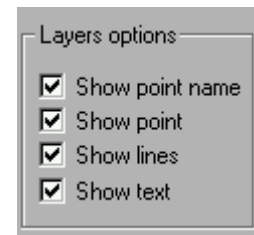


Abbildung 12: Ebenen Schaltfläche

Jeder dieser Ebene kann ein- oder ausgeschaltet werden.

2.3.2 Interpolation des Höhenprofils

Bevor man die Punkthöhen extrahiert, muss die Profilstrecke interpoliert werden. Der Grund ist, dass es zwischen zwei benachbarte Punkten auch grosse Distanzen geben kann. Es werden also andere Punkten dazwischen eingerechnet.

Der (approximierte) Abstand zwischen diesen Punkten kann vom Benutzer im Programm definiert werden.

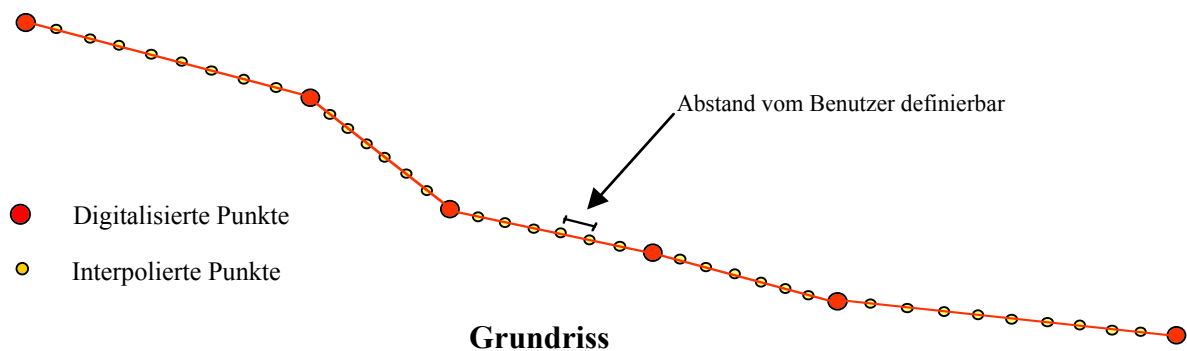


Abbildung 13: Interpolation der Profilstrecke.

Beschreibung des Algorithmus:

Es wird die planimetrische Distanz zwischen zwei digitalisierten Punkten berechnet. Diese Distanz wird dann durch den vom Benutzer definierten Abstand dividiert. Von diesem Resultat werden die Dezimalstellen gestrichen und nur der ganzzahlige Wert weitergegeben (Integer). Dieser Wert entspricht der Anzahl neuer Punkte, die eingesetzt werden müssen. Dividiert man jetzt die planimetrische Distanz zwischen zwei digitalisierten Punkten durch

den Anzahl neuer Punkte und addiert 1 dazu, bekommt man den (wirklichen) Abstand zwischen den neu einzusetzenden Punkten.

Die nächste Abbildung zeigt ein interpoliertes Profil (Rot) im Aufriss, zwischen drei digitalisierten Punkten. (Das Höhenprofil wurde mit dem Programm *AutoProfile* berechnet und nachdem in DXF-Format exportiert und mit AutoCad visualisiert).

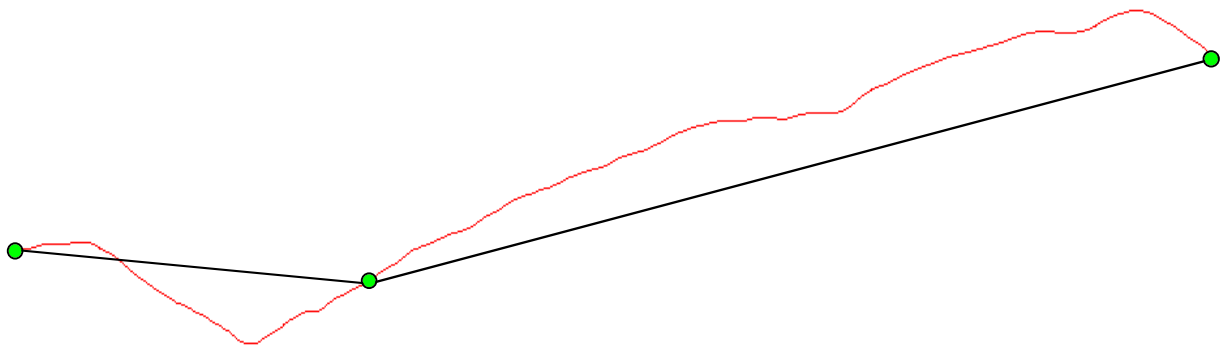


Abbildung 14: Aufriss eines interpolierten Höhenprofils zwischen drei digitalisierten Punkten, deren Höhen aus dem DHM25 abgeleitet wurden.

2.3.3 Extraktion der Punkthöhen

Alle Punkte der Profilstrecke müssen nun auf das DHM projiziert werden. Zur Extraktion der Punkthöhen wurde die Methode der bilinearen Interpolation benutzt. Die Berechnung des Höhenwertes mittels bilinearer Interpolation ist nur eine von vielen möglichen Interpolationsmethoden. Die bilineare Interpolation hat trotz reduzierter Genauigkeit den Vorteil, dass der Rechenaufwand gering ist und dass das Resultat den Genauigkeitsanforderungen dieser Arbeit entspricht.

Die bilineare Interpolation innerhalb einer Gittermasche des digitalen Höhenmodells berechnet sich wie folgt:

$$z = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

Die Fläche innerhalb eines Rasterelements des DHM ist somit eine Fläche 2.Ordnung (Hyperbolisches Paraboloid).

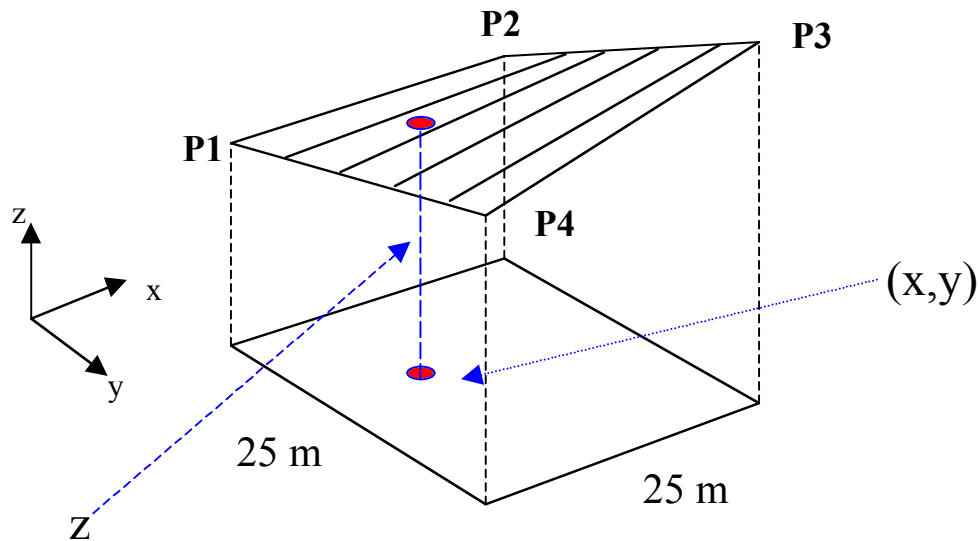


Abbildung 15: Bilineare Interpolation in ein Rasterelement des DHM25.

Man muss zuerst die vier Parameter a_0 , a_1 , a_2 und a_3 bestimmen, indem man die obige Gleichung mit den vier Eckpunkten $P1(x, y, z)$, $P2$, $P3$ und $P4$, in einem System von vier Gleichungen auflöst.

Wenn die vier Parameter bestimmt sind genügt es, die x - und y -Koordinaten eines Punktes in die Gleichung einzusetzen, und schon bekommt man dessen Höhe z .

Wenn im Programm eine Profilstrecke eingegeben wird, werden die Koordinaten der Punkte eingelesen und die dazugehörigen Höhenmodelle geladen. Das DHM25 umfasst 249 Einzelmodelle und stimmt mit der Gesamtfläche der Landeskarten 1:25'000 überein.

Durch das Koordinatenpaar eines Punktes wird mit folgenden Formel die dazugehörige Blattnummer des DHM25 bestimmt:

$$\text{DHM25/Lk25-Blattnummer} = 1380 - 20 \cdot \left(1 + \text{int} \left(\frac{-y - 74000}{12000} \right) \sqrt{} + \text{int} \left(\frac{-x - 480000}{17500} \right) \sqrt{} \right)$$

Nach dem Einlesen des Höhenmodells bekommen alle Punkten der Profilstrecke einen neuen Wert z für die Höhe. Die Profilstrecke ist somit auf das DHM projiziert.

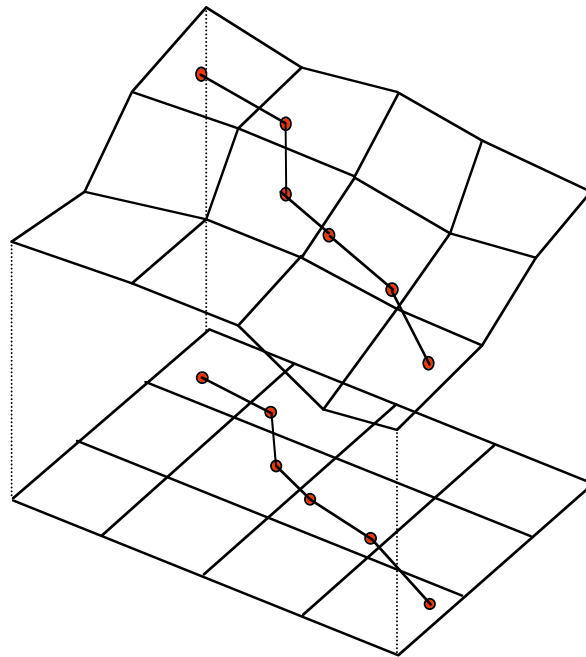


Abbildung 16: Projektion der Profilstrecke auf das DHM25.

Die folgende Abbildung zeigt die Projektion einer Profilstrecke, mit und ohne Interpolation, auf das DHM.



Abbildung 17: Digitalisierte (weiss) und interpolierte Profillinie(rot) auf das DHM25 (DXF-Format).
(Abbildung generiert mit *AutoProfile*).

Höhengenaugkeit

Wie schon erwähnt beträgt die Genauigkeit des DHM25 im Mittelland rund 1.5 m und in den Alpen 5 bis 8 m. Dazu muss die Genauigkeit des interpolierten DHM addiert werden.

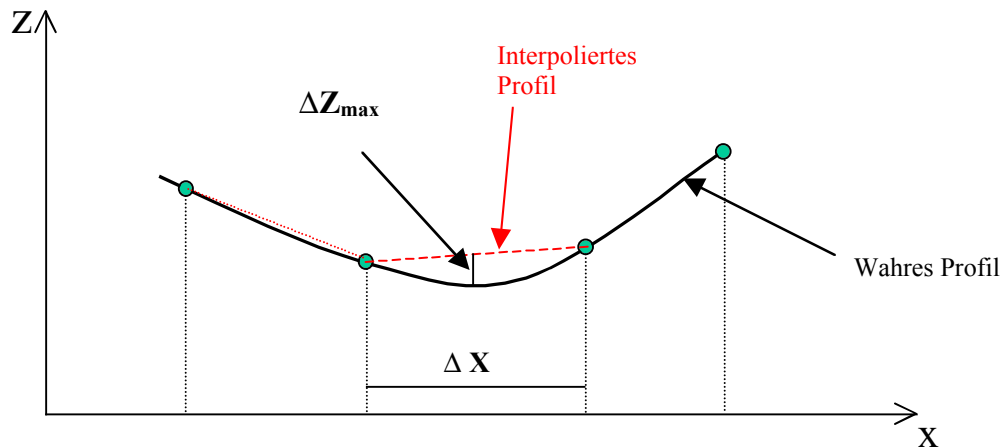


Abbildung 18: Interpolationsfehler bei bilinearer Interpolation

Die Einflussparameter sind:

- DHM Datendichte
- Höhengenaugkeit der Stützpunkte

Der maximale Approximationsfehler ist gegeben durch:

$$\Delta Z = \frac{\Delta X^2}{8} Z''_{\max}$$

Z''_{\max} = Maximalwert der 2. Ableitung, bzw. Reziprokwert des min. Kurvenradius.

2.3.4 Vereinfachung des Höhenprofils

Nach der Interpolation kann die Linie geometrisch vereinfacht werden, wobei störende und unnötige kleine Details vernachlässigt werden. Man erhält somit ein lesbares Höhenprofil ohne Rauschen.

Überzählige oder unnötige Koordinatenpaare, basierend auf geometrischen Kriterien wie Beispielsweise Punktabstand oder Abstand einer Sehne, werden in diesem Prozess eliminiert.

Es handelt sich um sequentielle Verfahren, wobei man sich bemüht, die Abweichung von der Originallinie möglichst minimal zu halten.

In diesem Fall wurde der Forsen-Douglas-Peucker Algorithmus verwendet. In diesen Algorithmus werden ganze Linien verarbeitet und kritische Punkte gesucht.

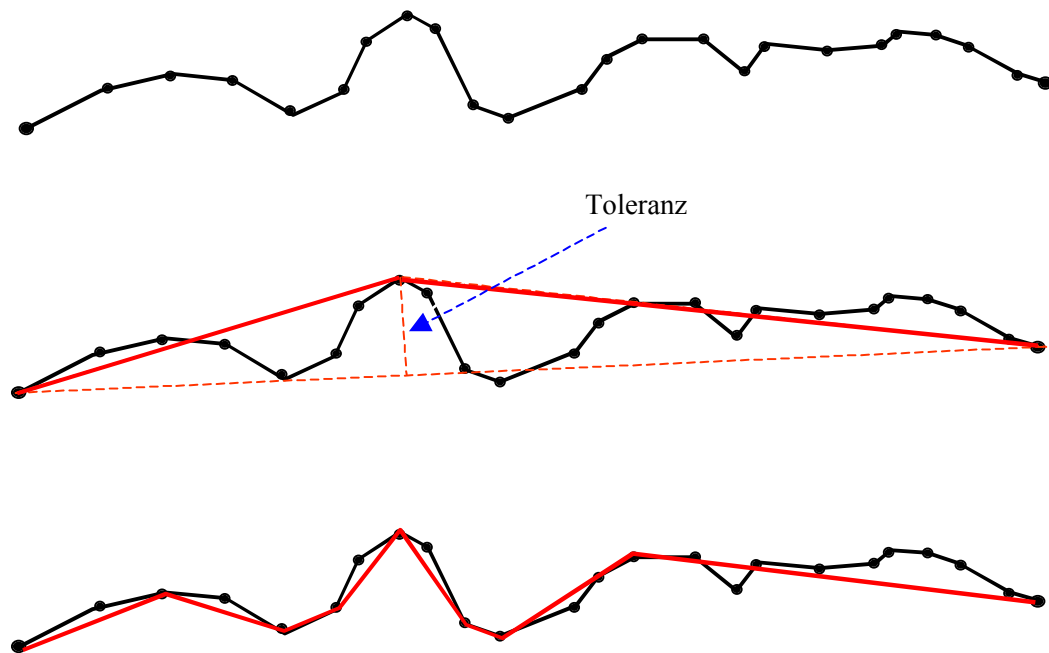


Abbildung 19: Linienvereinfachung mit Forsen-Douglas-Peucker Algorithmus.

Der erste Punkt der Linie wird mit dem letzten durch die Sehne verbunden, die Lote auf die Sehne berechnet und mit der Toleranz verglichen. Derjenige Punkt, der die Toleranz am meisten überschreitet, wird ausgewählt und von diesem aus zu den beiden ersten Punkten neue Sehnen gezogen, usw.

Der Benutzer kann im Programm die Toleranz ändern, so dass er zwischen einem detailreichen oder einem generalisierten Profil wählen kann.

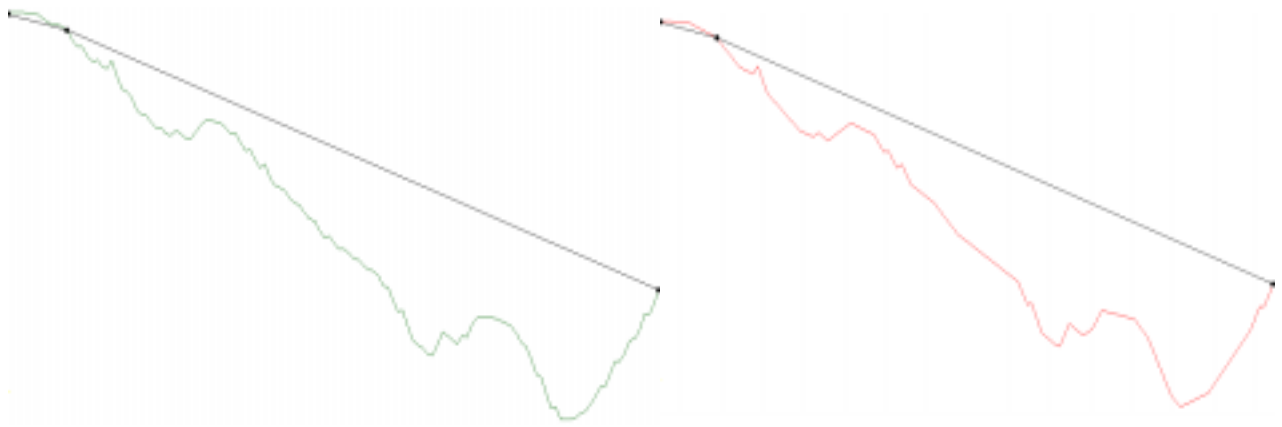


Abbildung 20: Original (links) und vereinfachtes Profil (rechts); (~30% weniger Punkte)

2.3.5 Aufspannung des Höhenprofils

Der letzte Schritt um ein übliches zweidimensionales Höhenprofil (Distanz und Höhe) zu bekommen, ist die Aufspannung des dreidimensionalen Höhenprofils in die vertikale Ebene.

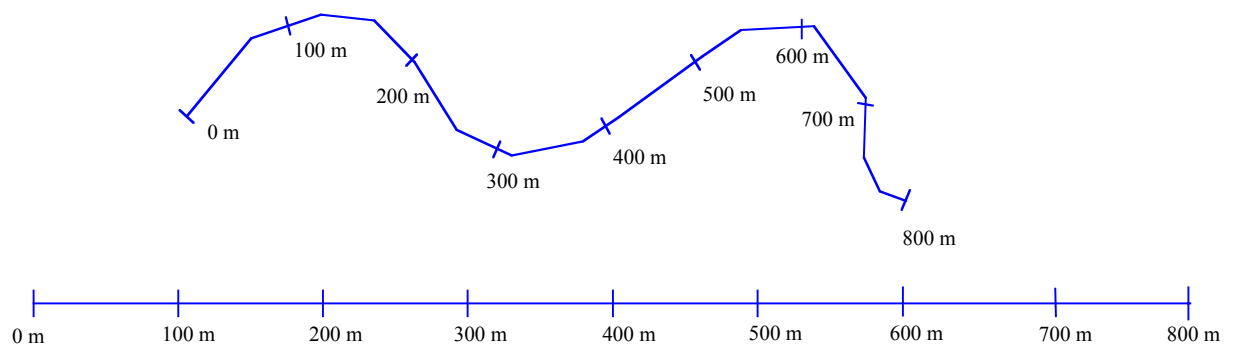


Abbildung 21: Aufspannung (GRUNDRISS)

Kapitel 3

Visualisierung des Höhenprofils

In diesem Kapitel werden diejenigen Schritte behandelt, die zur Visualisierung des Höhenprofils auf dem Bildschirm nötig sind.

Zusammen mit dem Höhenprofil werden auch statistische Informationen geliefert (vgl. Kapitel 3.4).

3.1 Parameter zur Visualisierung des Höhenprofils

Um das Höhenprofil auf den Bildschirm darzustellen sind folgende Parameter nötig:

- Auflösung
- Massstab
- Höhenprofilüberhöhung
- Seitenlayout
- Ausdehnung des Höhenprofils (Länge und Höhendifferenz [m])

Das Ziel ist ein Höhenprofil zu generieren, das massstäblich dargestellt wird.

Mit Auflösung versteht man Aufteilung einer Fläche in kleinste regelmässige Einheiten gemessen in dpi (dots per inch, Punkte/Inch); $1 \text{ inch} = 2.54 \text{ cm} \Rightarrow 1 \text{ dpi} = 0.4 \text{ Pixel/cm}$. Die Auflösung ist vom Ausgabemedium abhängig. Ein Bildschirm hat normalerweise eine Auflösung von 72dpi, während ein Drucker kann Auflösungen von 1200dpi erreichen. Im Programm *AutoProfile* ist es möglich diesen dpi-Wert anzugeben, so dass er zur Bildschirm- oder Druckerausgabe angepasst wird. (Bemerkung: dots = Pixels)

Wenn die Auflösung bekannt ist, ist es möglich, das Höhenprofil auf dem Bildschirm oder über den Drucker im korrekten Massstab darzustellen.

Das Programm bietet die Möglichkeit die Überhöhung abzuändern, d.h. das Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem Massstab ändern. Das hat als Vorteile, dass die Topographie hervorgehoben werden kann.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin das Seitenlayout zu definieren. Hier werden die Ränder der Seite festgelegt (siehe Abbildung 22), somit kann man freie Platz für Titel, Legende oder andere Informationen freihalten.

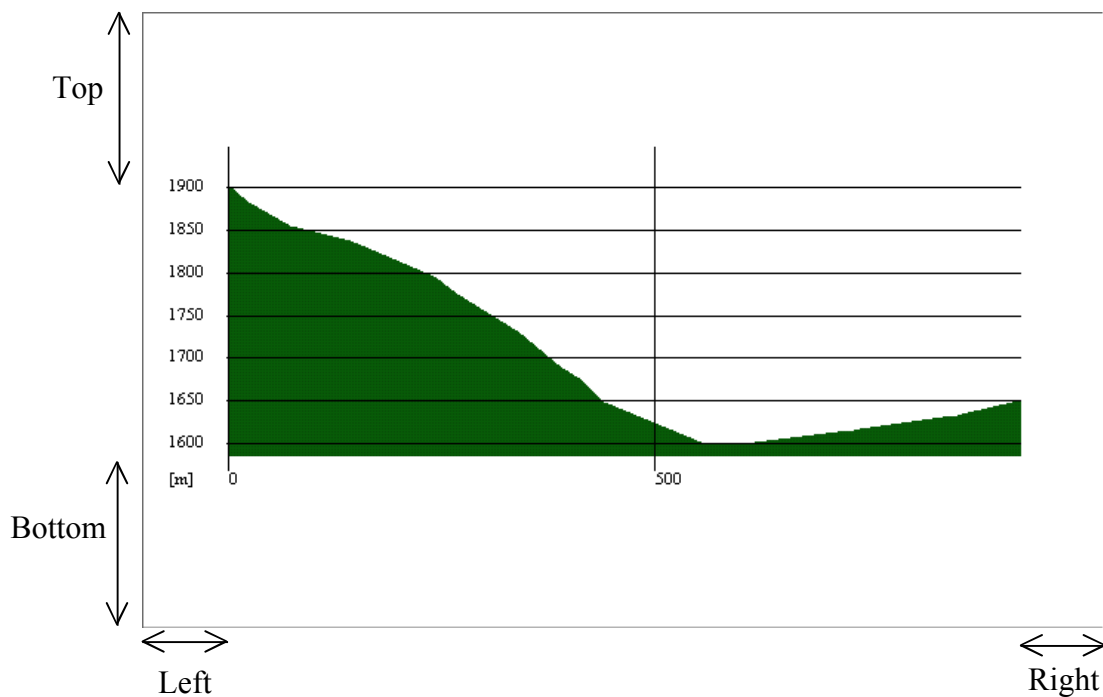


Abbildung 22: Layout des Höhenprofils.

3.2 Technische Aspekte bei der Darstellung des Höhenprofils

Es gibt Grundsätzlich zwei Möglichkeiten um das Höhenprofil auf dem Bildschirm zu visualisieren: Bei der ersten wählt der Anwender den gewünschten Massstab, während bei der Zweiten das Programm automatisch einen Massstab berechnet und somit das Höhenprofil an die aktuelle Fenstergrösse anpasst .

Bei der ersten Möglichkeit wird zuerst die Grösse des Höhenprofils, das heisst die Länge und die Höhe (maximale - minimale Höhe), bestimmt. Dann mit bekanntem Massstab (horizontal und vertikal), Auflösung und Seitenlayout, können die globalen Koordinaten des

Höhenprofils (Distanz und Höhe) durch eine Massstab-Transformation und eine Translation, in Bitmapkoordinaten umgewandelt werden:

$$\begin{aligned}x[Pixel] &= a_0 \cdot Y[m] + a_1 \\y[Pixel] &= a_2 \cdot X[m] + a_3\end{aligned}$$

Bevor man mit dem Zeichnen des Höhenprofils beginnt, muss ein Bitmap erzeugt werden. Dieses Bitmap dient als leeres „Blatt“ in dem man zeichnen wird.

Um ein Bitmap zu definieren, genügt es, seine Grösse in Pixel und seine Hintergrundfarbe anzugeben.

Die Grösse des zu erzeugende Bitmap wird mit folgender Formel festgelegt:

$$\begin{aligned}Breite[Pixel] &= \frac{Länge\ des\ Höhenprofils[m]}{Horizontale\ Massstab} \cdot Auflösung[dpi] \cdot PIXEL_METER \\&\quad + (Left\ Margin[cm] + Right\ Margin[cm]) \cdot Auflösung[dpi] \cdot PIXEL_CENTIMETER \\Höhe[Pixel] &= \frac{(Max.\ Höhe - Min.\ Höhe[m])}{Vertikale\ Massstab} \cdot Auflösung[dpi] \cdot PIXEL_METER \\&\quad + (Top\ Margin[cm] + Bottom\ Margin[cm]) \cdot Auflösung[dpi] \cdot PIXEL_CENTIMETER\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Vertikaler\ Massstab &= Horizontaler\ Massstab / Überhöhung; & PIXEL_METER &= 40\ Pixel / m \\& & PIXEL_CENTIMETER &= 0.4\ Pixel/cm\end{aligned}$$

Für die Berechnung der Breite des Bitmaps in Pixel, wird die Länge des Höhenprofils durch den Massstab und die Auflösung von Meter in Pixel umgewandelt. Dazu werden die Seitenrahmen (Margins) addiert.

Nachher werden die Transformationsparameter bestimmt:

$$a_0 = \frac{\text{Breite des Höhenprofils[Pixel]}}{\text{Profil Länge[m]}}$$
$$a_1 = \text{Left Margin[cm]} \cdot \text{PIXEL_CENTIMETER} \cdot \text{Auflösung[dpi]}$$
$$a_2 = -\frac{\text{Höhe des Höhenprofils[Pixel]}}{(\text{Max. Höhe} - \text{Min. Höhe[m] des Höhenprofils})}$$
$$a_3 = \text{Top Margin[cm]} \cdot \text{PIXEL_CENTIMETER} \cdot \text{Auflösung[dpi]} - a_2 \cdot \text{Max. Höhe[m]}$$

Bei der zweiten Möglichkeit wird, bei vorhandener Fenstergröße, der richtige Massstab berechnet, so dass die Höhe des Höhenprofils an die Höhe des Fensters angepasst wird.

Wenn das Höhenprofil in seiner Länge nicht ganz sichtbar ist, besteht die Möglichkeit dies mit dem Bildlauffeld zu verschieben.

Nach der Koordinatentransformation (Global [m]→Bitmap [Pixel]) wird die Höhenprofillinie mittels den Funktionen *MoveToEx* und *LineTo* in Bitmap-Format gezeichnet:

Die Funktion *MoveToEx(x,y)* erlaubt die Positionierung eines Pixels auf dem Bildschirm.

Die Funktion *LineTo(x,y)* zeichnet eine Linie von der letzten Position zur neuen (x,y) Position.

Der untere Teil der gezeichnete Linie wird dann bis zu einer Höhe von 15 m unter den tiefsten Punkt des Höhenprofils mit einer Farbe gefüllt.



Abbildung 23: Darstellung des Höhenprofils in Bitmap-Format

Um eine bessere Lesbarkeit des Höhenprofils zu erreichen wird ein Gitternetz darüber gelegt. Die x-Achse entspricht der Distanz vom Anfangspunkt aus, während die y-Achse der Höhe entspricht. Die Einteilung der Achsen wird automatisch an der Grosse des Höhenprofils angepasst:

Vertikale Einteilung	Höhendifferenz (maximale - minimale Höhe)
10 m	≤ 50 m
20 m	> 50 m & ≤ 100 m
50 m	> 100 m & ≤ 500 m
100 m	> 500 m & ≤ 1600 m
200 m	> 1600 m

Horizontale Einteilung	Höhenprofillänge
20 m	≤ 100 m
100 m	> 100 m & ≤ 1000 m
500 m	> 1000 m & ≤ 10000 m
1000 m	> 10000 m & ≤ 50000 m
5000 m	> 50000 m

Das Gitter liegt im Vektorformat vor und kann ein- und ausgeblendet werden.

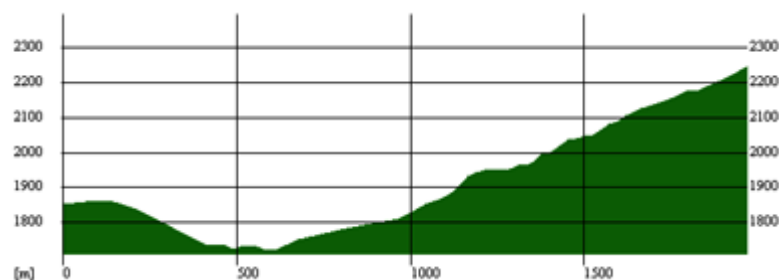


Abbildung 24: Höhenprofil mit darüberliegendem Gitternetz

Der Benutzer hat dazu die Möglichkeit Informationen über die Distanz und die Höhe eines beliebigen Punktes direkt zu bekommen, indem er mit der Maus auf dem Punkt positioniert. Die Informationen werden dann auf dem „Status bar“ angezeigt (vgl. Kap. 5.1).

3.3 Editieren des Höhenprofils

AutoProfile erlaubt das manuelle Einfügen von Texten. Man kann somit beispielsweise Titel, Bemerkungen oder Ortsnamen an einer beliebigen Position einfügen. Der Text kann in einem beliebigen „Font“, Farbe oder Grösse geschrieben werden.

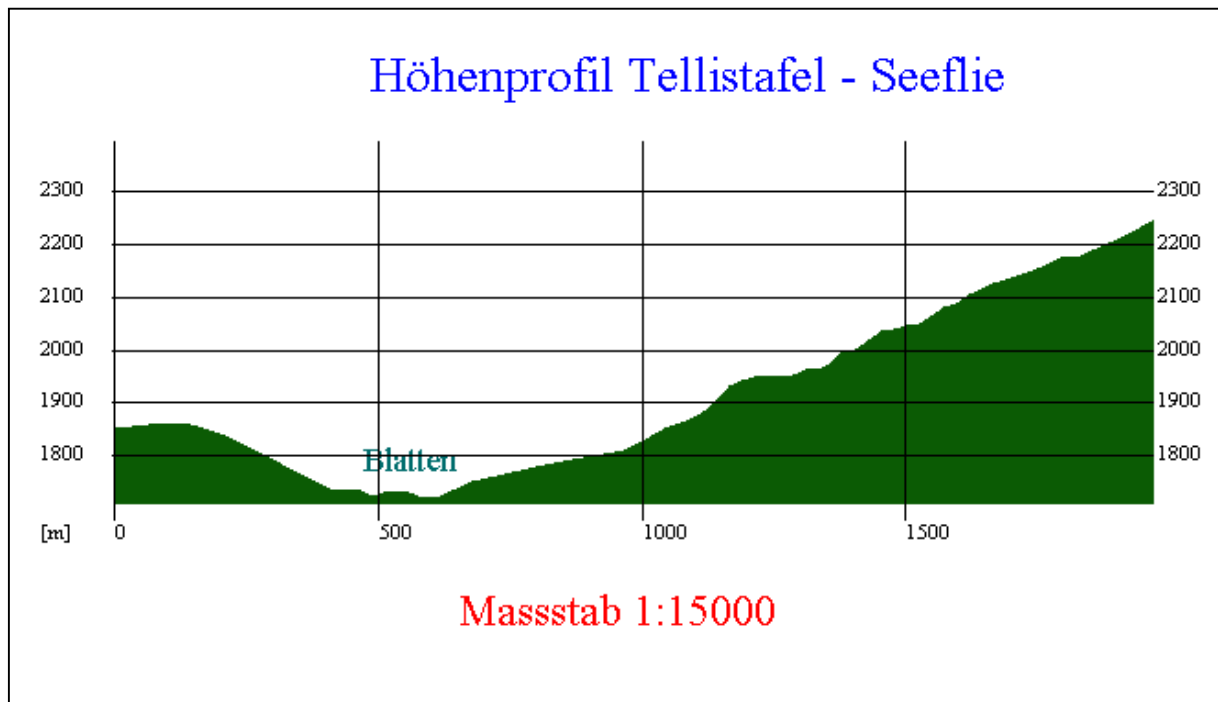


Abbildung 25: Höhenprofil mit Titel und andere Informationen ergänzt.

3.4 Statistische Informationen über das Höhenprofil

Zusätzlich zur graphische Darstellung werden auch statistische Informationen über das Höhenprofil angegeben.

Es werden folgende Informationen berechnet:

- **Planimetrische Länge der Profilstrecke**
- **Effektive Länge der Profilstrecke**
- **Maximale und minimale Höhe**
- **Höhendifferenz zwischen Start- und Endpunkt**

- **Bergauf und Bergab**

- **Durchlaufzeit für Wanderer:**

Für die Berechnung der Laufzeit werden folgende Annahmen getroffen:

Pro Stunde werden 5 km in der Ebene gelaufen. Dazu wird jede 400 m bergauf eine Stunde addiert. Jede 800 m Bergab wird eine zusätzliche Stunde dazugezählt.

- **Maximale Neigung (%)**

Kapitel 4

Export von Höhenprofilen im DXF-Format

4.1 Allgemeines

AutoProfile kann Höhenprofile in DXF (Drawing eXchange Engine) Format exportieren. Das DXF-ASCII-Format ist ein bekanntes Datenaustausch-Format der Firma Autodesk Inc., das den Datenaustausch von Daten im Vektor-Format zwischen verschiedenen Graphikprogrammen erlaubt.

Die Höhenprofile, die in diesem Format exportiert werden, können dann von anderen Graphikprogrammen weiterverarbeitet werden.

4.2 DXF-ASCII-Datenformat

Das zu generierende DXF-File hat folgende Struktur:

```
0
SECTION
2
HEADER
9
$ACADVER
1
AC1009
0
ENDSEC
0
SECTION
2
TABLES
0
TABLE
2
LAYER
70
Anzahl der gebrauchte Layer

----- Definition der einzelnen Layer -----

0
ENDTAB
0
ENDSEC
0
SECTION
2
ENTITIES

----- Definition aller geometrischen Objekte -----
```

0
ENDSEC
0
EOF

Ein Layer wird folgendermassen definiert:

0
LAYER
2
Name des Layers
70
standard flag values
62
Farbe
6
linetype name

Eine Linie wird so definiert:

0
LINE
8
Name des Layers
62
Farbe der Linie
10
X-Koordinate des Anfangspunktes der Linie
20
Y-Koordinate des Anfangspunktes der Linie
30
Z-Koordinate des Anfangspunktes der Linie
11
X-Koordinate des Endpunktes der Linie
21
Y-Koordinate des Endpunktes der Linie
31
Z-Koordinate des Endpunktes der Linie

Eine Fläche wird so definiert:

0
3DFACE
8
Name des Layers
62
Farbe der Fläche
10
X-Koordinate des ersten Punktes der Fläche
20
Y-Koordinate des ersten Punktes der Fläche
30
Z-Koordinate des ersten Punktes der Fläche
11
X-Koordinate des zweiten Punktes der Fläche
21
Y-Koordinate des zweiten Punktes der Fläche
31

Z-Koordinate des zweiten Punktes der Fläche
12
X-Koordinate des dritten Punktes der Fläche
22
Y-Koordinate des dritten Punktes der Fläche
32
Z-Koordinate des dritten Punktes der Fläche
13
X-Koordinate des vierten Punktes der Fläche
23
Y-Koordinate des vierten Punktes der Fläche
33
Z-Koordinate des vierten Punktes der Fläche

Wenn die zu zeichnende Fläche nur drei Eckpunkte besitzt, dann wird der vierte Punkt einfach gleich dem dritten gesetzt. Die Flächen werden automatisch geschlossen.

4.3 Export von Höhenprofilen

AutoProfile kann Höhenprofile in verschiedenen Formen exportieren:

- 2D-Höhenprofil
- 3D-Höhenprofil
- 3D-Höhenprofil kombiniert mit digitalem Höhenmodell

4.3.1 2D-Höhenprofil

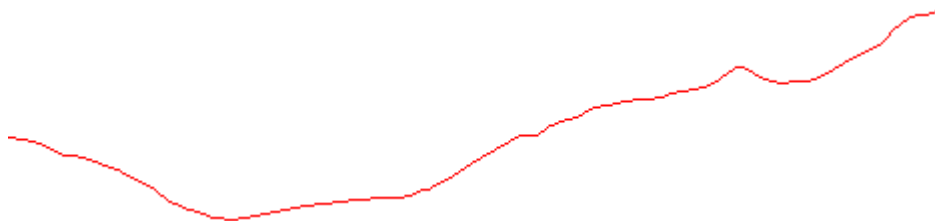


Abbildung 26: Aufriss eines Höhenprofils

In dieser Form wird das Höhenprofil als eine Linie in einer vertikalen Ebene exportiert. Diese Linie kann dann mit einem CAD-Programm geladen und verarbeitet werden für die Erstellung z.B. ein geologisches Profil.

4.3.2 3D-Höhenprofil

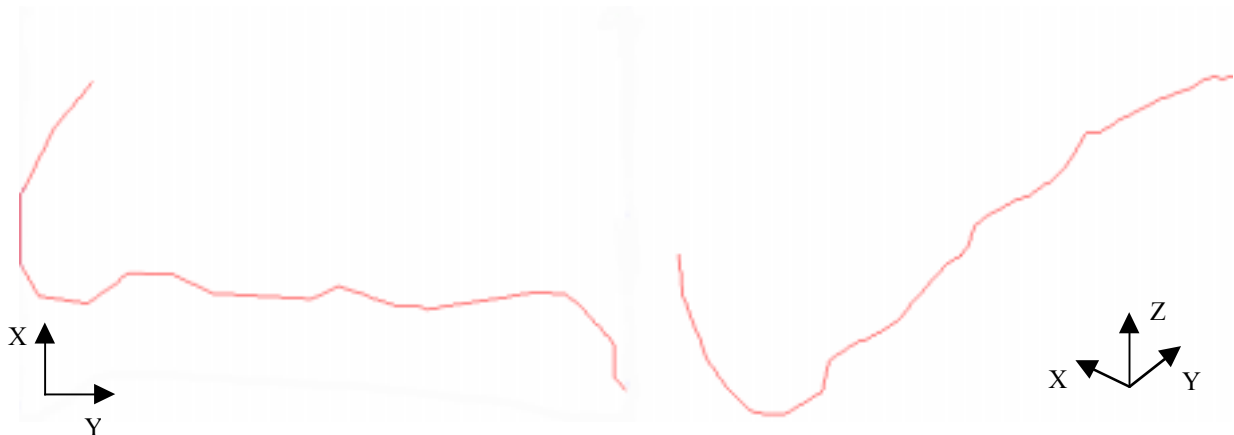


Abbildung 27: Grundriss (links) und 3D-Ansicht (rechts) eines dreidimensionalen Höhenprofils

Hier wird die Profilstrecke einfach auf das DHM projiziert.

Auf dem Markt gibt es heute viele Applikationen die eine dreidimensionale Visualisierung von Landschaften ermöglichen, und viele können Objekte im DXF-Format importieren (z.B. Bryce 3D). Mit solche Programmen kann man somit eine Profilstrecke in einer virtuellen Landschaft darstellen.

4.3.4 3D-Höhenprofil kombiniert mit digitalem Höhenmodell

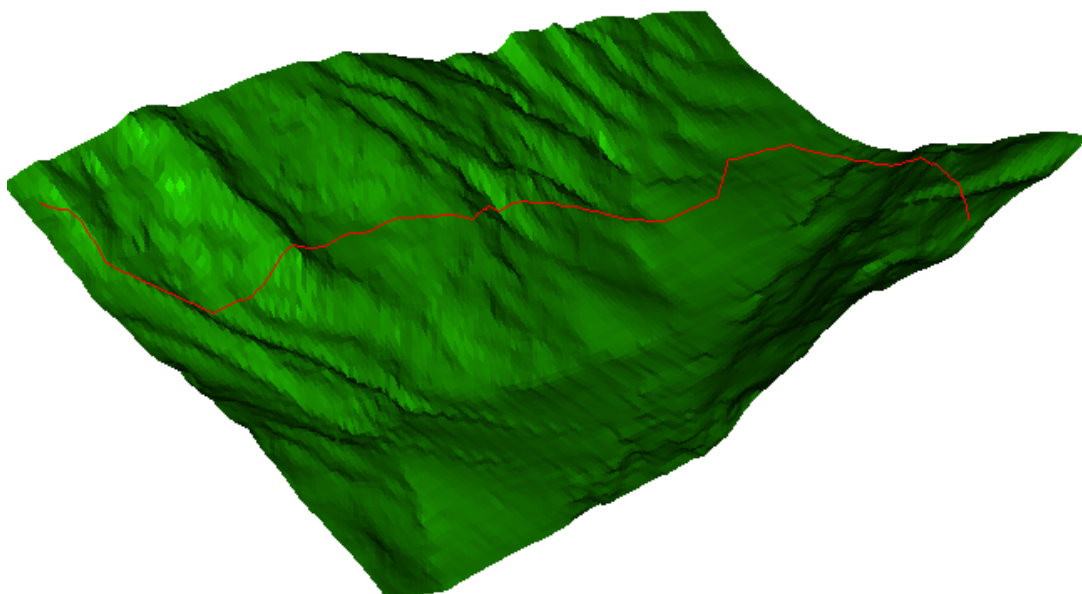


Abbildung 28: Ansicht eines Höhenprofils mit darunterliegendem DHM25 (Gebiet: Blatten)

Zusammen mit dem dreidimensionalen Höhenprofil, kann ein DHM des Gebietes mitgeliefert werden. Das Gebiet wird durch die Extremen, Nord, Süd, Ost und West der Profilstrecke plus einen Rand von 100 m begrenzt.

Das DHM im DXF-Format ist auf einfache Weise konstruiert:

Weil die vier Eckpunkte eines Rasterelementes des DHM's nicht unbedingt komplanar sind, wird dieses aus Visualisierungsgründen in Dreiecke unterteilt. Jeder Dreieck definiert jetzt eine Fläche die im DXF-Format definiert wird.

Das DHM im DXF-Format wird mit der Name „Terrain.dxf“ gespeichert.

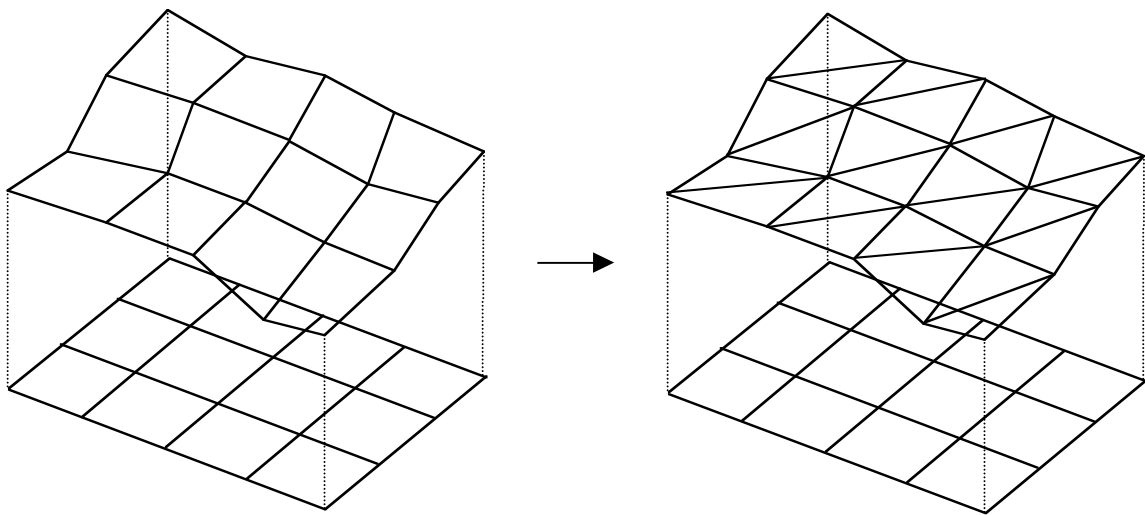


Abbildung 29: Unterteilung des Quadratrasters des DHM's in Dreiecke

Kapitel 5

Aufbau des Programmes *AutoProfile*

5.1 Die Benutzeroberfläche

Die Benutzeroberfläche (*Main window*) ist grundsätzlich in drei Zonen unterteilt:

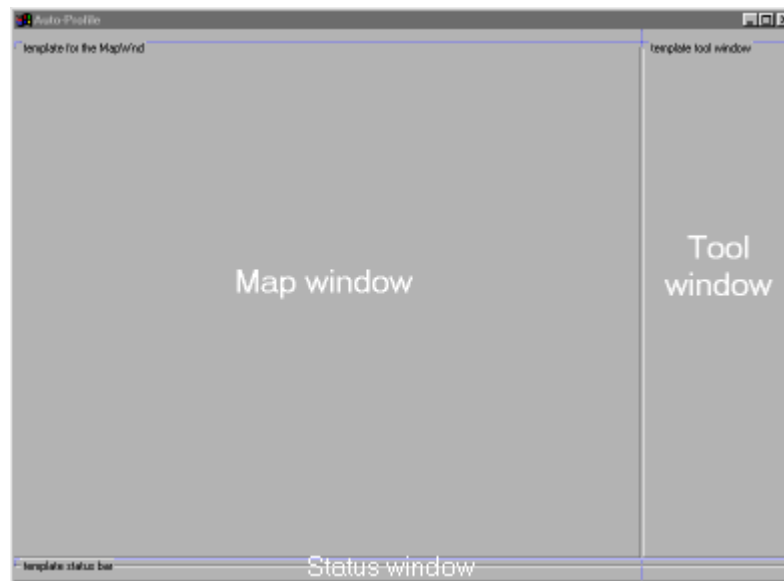


Abbildung 30: Programmlayout

- Im **Map window** werden sowohl die digitale Karten als auch die extrahierte Höhenprofile dargestellt.
- Im **Tool window** kann der Benutzer die gewünschten Befehle wählen.
- Falls eine Karte im **Map window** aktiv ist, zeigt die **Status bar**, die aktuelle Position in Landeskoordinaten des Digitalisierkreuz an, sowie die Distanz und die Richtung vom letzten digitalisierten Punkt zur aktuellen Position des Digitalisierkreuzes. Wenn hingegen ein Höhenprofil aktiv ist, kann man mit der Maus einen beliebigen Punkt anwählen, und in der **Status bar** wird dann die entsprechende Distanz und Höhe angezeigt.

Die Benutzeroberfläche wurde so einfach wie möglich gestaltet. Alle Parameter können mit Hilfe von Dialogboxen eingegeben werden.

Sie ist so konzipiert dass nur die, im Moment lauffähigen Befehle, anwählbar sind. Wenn ein Befehl im Laufe des Programms nicht möglich ist, wird der dazugehörige Knopf Grau und demzufolge kann er nicht selektiert werden.

5.2 Programmablauf

Karte laden:

Nach starten des Programms muss man zuerst eine Karte geladen werden. Dies erfolgt durch den Befehl „Load“ in Menü „Map“ oder durch anklicken des Knopfes „Load“ im „Tool window“.

Weg digitalisieren:

Mit dem Befehl „Begin digitalisation“ werden im „Tool window“ verschiedene Funktionen für den Digitalisierungsprozess dargestellt (Abb.31).

Wenn man auf „Start“ klickt beginnt man den Digitalisierungsprozess. Hier kann man zwischen zwei Digitalisierungsmethoden wählen:

a) Digitalisieren mit der Maus:

Mit dieser Methode wird die Strecke Punktweise mit der Maus digitalisiert (linke Maustaste). Um den Digitalisierungsprozess zu beenden, muss man den Knopf „End“ oder die rechte Maustaste drücken.

b) Manuelle Eingabe von Punktkoordinaten:

Hier kann man die Koordinaten eines Punktes manuell eingeben. Nach der Eingabe der X und Y Koordinaten, wird der neue Punkt mit den Befehl „New Point“ eingesetzt. Der Befehl „Center Image“ dient zur Zentrierung des Bildes über die eingegeben Koordinaten.



Abbildung 31: Tool Window

c) Importieren eine vorhandene Profilstrecke

Aus Zeitgründen wurde diese Funktion nicht implementiert.

Während des Digitalisierungsvorganges wird jeder Punkt mit einer Nummer beschriftet. Es besteht die Möglichkeit, anstatt der Punktnummer einen Punktname einzusetzen „*Point name*“; diese werden dann, in einer zukünftigen Programmversion, direkt auf das Höhenprofil gezeichnet.

Mit den Funktionen „*Undo*“ und „*Clear All*“ kann man schrittweise den letzten oder alle digitalisierten Punkte löschen.

Erzeugen des Höhenprofils:

Bevor man das Höhenprofil erzeugen kann, muss man das Verzeichnis definieren, wo die digitalen Höhenmodelle gespeichert sind. Das Verzeichnis wird über die Funktion „*Option*“ unter „*DTM directory*“ definiert.

Der Befehl „*Create Profile*“ öffnet ein Fenster, wo die Parameter für die Erzeugung des Höhenprofils definiert werden können.

Es werden folgende Parameter festgelegt:

- „**Scale**“ : (horizontaler) Massstab
- „**Vert. Scaling**“: Überhöhung
- „**Fit to Window**“: Berechnet einen Massstab, so dass das Höhenprofil zur Fenstergrösse angepasst wird.
- „**Interpolation step**“: Interpolationsabstand
- „**Max. Error**“: Toleranz für die Linienvereinfachung.
- „**Default**“: Setzt die Standardwerte ein.

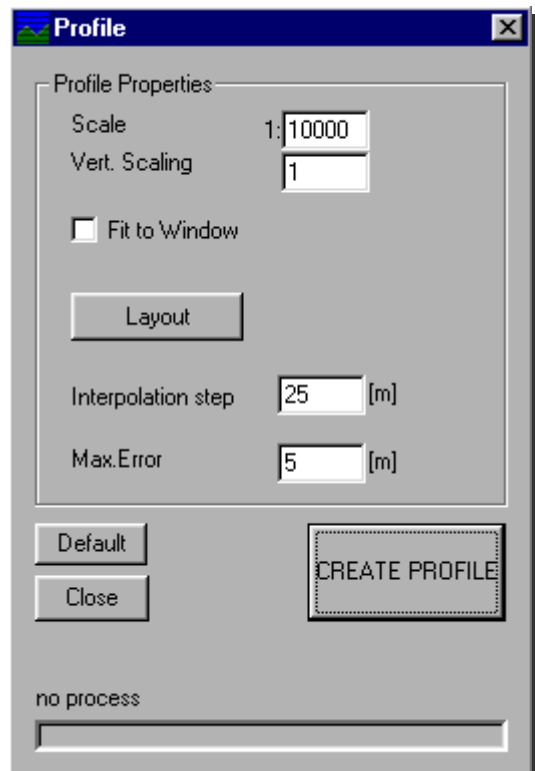
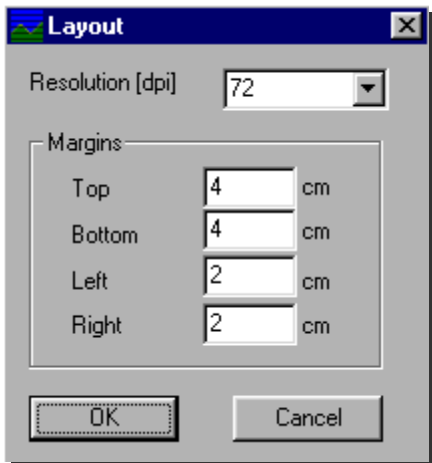


Abbildung 32: Höhenprofil Parameter



Der „*Layout*“-Knopf öffnet ein weiteres Fenster, wo das Seitenlayout definiert werden kann.

Unter Resolution wird die Auflösung des resultierenden Höhenprofils für ein bestimmtes Ausgabemedium gewählt; für die Ausgabe auf dem Bildschirm wird standardmässig eine Auflösung von 72 dpi gewählt, diese kann aber für eine Druckausgabe geändert werden.

Abbildung 33: Einstellen des Seitenlayouts

Editieren des Höhenprofils:

Wenn das Höhenprofil erzeugt ist, kann man es mit Texten editieren. Der Befehl „*Text editor*“ befindet sich unter dem Menü „*Map*“, wo es möglich ist, der Charaktertyp, die Grösse und die Farbe des Textes zu definieren. Man kann somit Titel, Legenden, Massstab oder Ortsnamen einsetzen. Der Text wird durch Mausklick an einen beliebigen Ort der grafischen Darstellung des Höhenprofils positioniert.

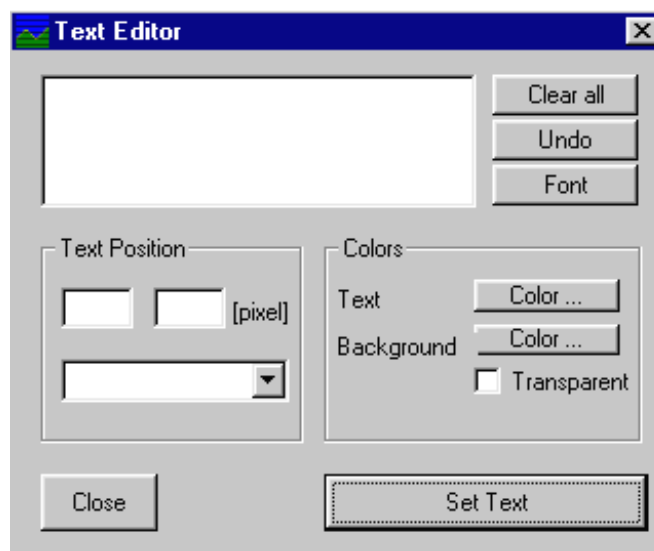


Abbildung 34: Text Editor Fenster

Die Darstellung des Höhenprofils kann mit oder ohne Gitternetz erfolgen. Der „Font“ für die Gitterlegende kann unten „*Option*“ „*Choose font*“ gewählt werden.

Exportieren der Höhenprofile:

Nach der Erzeugung der Höhenprofile, können diese in Dxf-Format exportiert werden.

Wenn man im Menu „*Profile*“ auf „*Export as Dxf*“ anklickt, kann man folgende Möglichkeiten anwählen:

- 2D Höhenprofil
- 3D Höhenprofil mit/ohne DHM

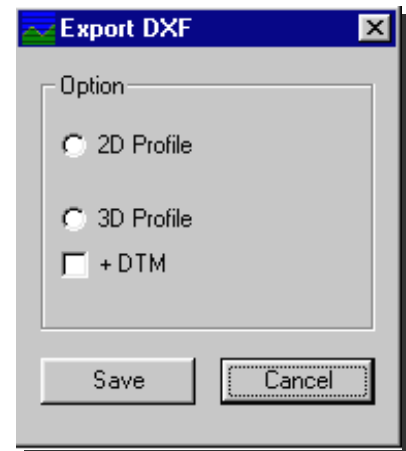


Abbildung 35: Dxf-Export Fenster

Kapitel 6

Schlussbemerkungen

6.1 Verbesserungen und Erweiterungsmöglichkeiten

Das Programm *AutoProfile* kann in folgenden Punkten verbessert und erweitert werden:

- Momentan können nur Karten in BMP-Format mit 24 Bit Farbtiefe, und mit einer maximalen Grösse von ~9 Mbytes (1800 x 1800 Pixel) geladen werden. Das Programm könnte erweitert werden, indem man auch andere Grafikformate und grössere Karten lesbar macht.
- Durchführung der Georeferenzierung digitaler Karten direkt im Programm.
- Implementation einer Funktion, die das Speichern und das Drucken von Höhenprofilen erlaubt.
- Verbesserung des Digitalisierungsvorganges, indem die Höhenprofilstrecke gleichzeitig auf mehrere Karten digitalisiert werden könnten. (Das Programm hat schon eine Funktion, die das wechseln zwischen verschiedenen Karten erlaubt).
- Verknüpfung herstellen mit einem Datensatz, der punktförmige Lageinformationen von Ortschaften enthält. Mit diesen Daten wird es möglich zu bestimmen, welche Siedlungen in der Nähe der Profilstrecke liegen. Die Dörfernamen wurden dann direkt auf das Höhenprofil angezeigt.
- Berechnung der Georeferenzierung durch eine Helmert Transformation, so dass auch gescannte Karten, die nicht nach Norden orientiert sind, im Programm benutzt werden könnten.

Literaturverzeichnis

- [1] Bundesamt für Landestopographie. *Digitale Höhenmodelle*, Wabern 1997.
<http://www.swisstopo.ch/de/digital/terrain.htr>
- [2] Dietmar, R. *Der DXF-Standard*, Rossipaul-Verlag, 1993.
- [3] Grün, A. *Photogrammetrie II*, Vorlesungsskript, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie ETH Zürich, 1996.
- [4] Kernighan, B. W., Ritchie, D.M. *The C Programming Language*, Prentice Hall software series, 1988.
- [5] Rössmann, M. *Applikationen entwickeln unter Windows NT 4.0*, Adison-Wesley, 1997.
- [6] Schildt, H. *Windows 95, Programmazione in C e C++*, McGraw-Hill, 1995.
- [7] Schildt, H. *Windows 95, Programming nuts and bolts for experienced Programmers*, McGraw-Hill, 1996.
- [8] Spiess, E., Hurni, L. *Computergestützte Kartographie*, Vorlesungsskript, Institut für Kartographie ETH Zürich, 1997.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 : Methodisches Vorgehen	2
Abbildung 2 : Datenfluss und File-Umgebung des Programmes <i>Autoprofile</i>	3
Abbildung 3 : Verkleinerter Ausschnitt einer Pixelkarte PK25 (Bundesamt für Landestopographie)	4
Abbildung 4 : Ausschnitt eines digitalen Orthophotos (Gebiet: Breganzona, Quelle: Helveticus 98)	5
Abbildung 5 : Bildschirmkoordinaten, Landeskoordinaten	5
Abbildung 6 : Perspektivische Geländeansicht vom Gebiet „Piano di Magadino“, berechnet aus dem DHM25 mit dem Programm ViMap 6.0 (A. Terribilini, 1999).	7
Abbildung 7 : DHM25-Basismodell (Orthogonalansicht), DHM25-Matrixmodell (Geländeansicht)	7
Abbildung 8 : Datenstruktur des DHM25 im ASCII-Format	8
Abbildung 9 : Datenstruktur des DHM25 im binären Format	9
Abbildung 10 : Ablaufschema des Höhenprofilsextraktion	10
Abbildung 11 : Rasterdaten (Karte im Hintergrund) und Vektordaten (digitalisierte Strecke)	12
Abbildung 12 : Ebenen Schaltfläche	13
Abbildung 13 : Interpolation der Profilstrecke	13
Abbildung 14 : Aufriss eines interpolierten Höhenprofils zwischen drei digitalisierten Punkten, deren Höhen aus dem DHM25 abgeleitet wurden	14
Abbildung 15 : Bilineare Interpolation in ein Rasterelement des DHM25	15
Abbildung 16 : Projektion der Profilstrecke auf das DHM25	16
Abbildung 17 : Digitalisierte (weiss) und interpolierte Profillinie(rot) auf das DHM25 (DXF-Format) (Abbildung generiert mit <i>AutoProfile</i>)	16
Abbildung 18 : Interpolationsfehler bei bilinearer Interpolation	17
Abbildung 19 : Linienvereinfachung mit Forsen-Douglas-Peucker Algorithmus	18
Abbildung 20 : Original (links) und vereinfachtes Profil (rechts); (~30% weniger Punkte)	19
Abbildung 21 : Aufspannung (GRUNDRISS)	19
Abbildung 22 : Layout des Höhenprofils	21
Abbildung 23 : Darstellung des Höhenprofils in Bitmap-Format	23
Abbildung 24 : Höhenprofil mit darüberliegende Gitternetz	24
Abbildung 25 : Höhenprofil mit Titel und andere Informationen ergänzt.	25
Abbildung 26 : Aufriss eines Höhenprofils	29
Abbildung 27 : Grundriss (links) und 3D-Ansicht (recht) eines dreidimensionalen Höhenprofils	30
Abbildung 28 : Ansicht eines Höhenprofils mit darunterliegendem DHM25 (Gebiet: Blatten)	30
Abbildung 29 : Unterteilung des Quadratrasters des DHM's in Dreiecke	31
Abbildung 30 : Programmlayout	32
Abbildung 31 : Tool Window	33
Abbildung 32 : Höhenprofil Parameter	34
Abbildung 33 : Einstellen des Seitenlayouts	35
Abbildung 34 : Text Editor Fenster	35
Abbildung 35 : Dxf-Export Fenster	36

Automatische Höhenprofilextraktion

Anhang

A. Programmbeispiele

- A1. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einer Pixelkarte PK25, Blattnummer 1268
- A2. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zur Pixelkarte PK25
- A3. Das resultierende Höhenprofil mit dreifacher Überhöhung
- A4. Das resultierende Höhenprofil in DXF-Format
- A5. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einer Satellitenkarte des Kantons Tessin
- A6. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zur Satellitenkarte des Kantons Tessin

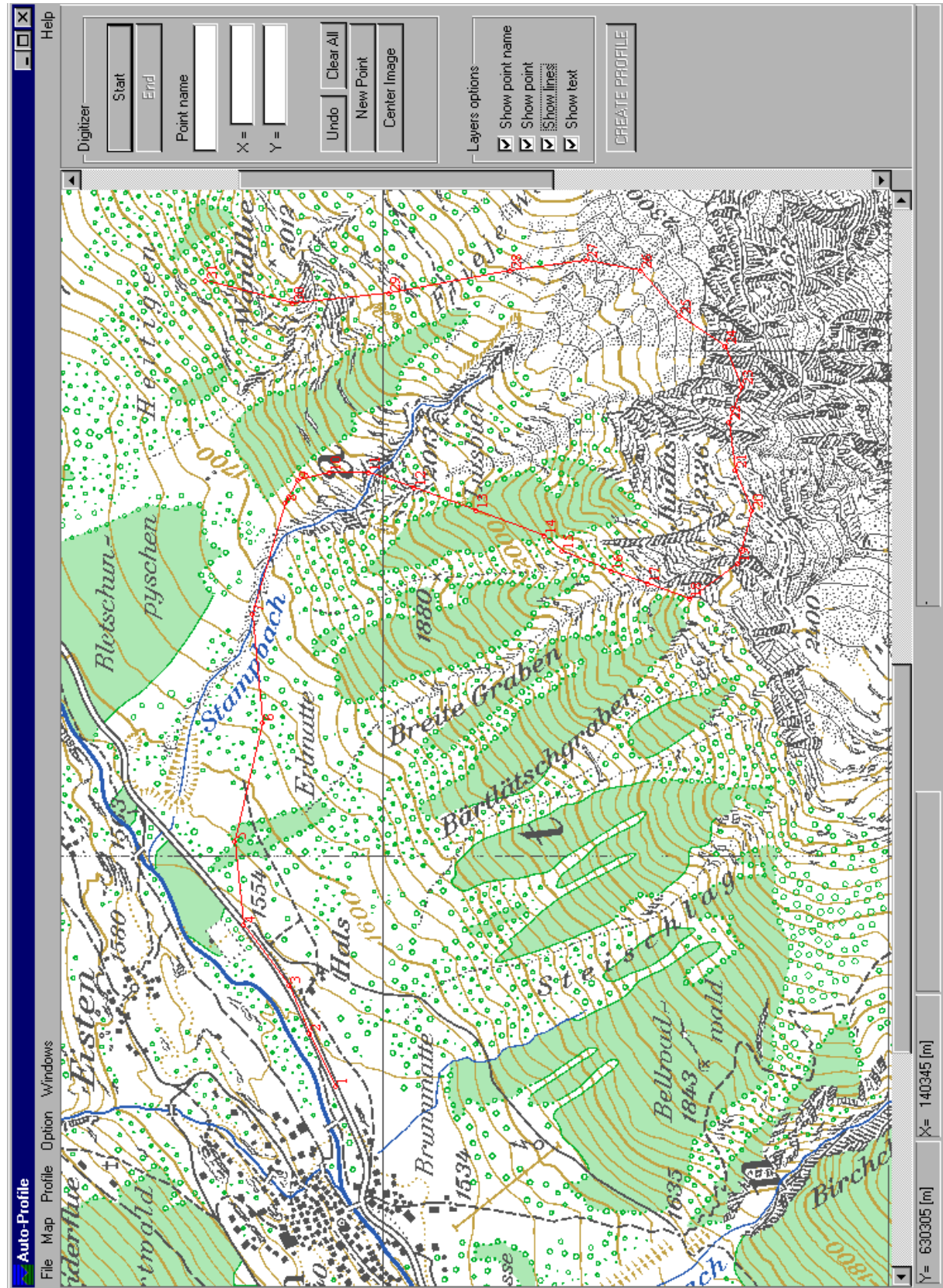
B. Programm Code

Anhang A

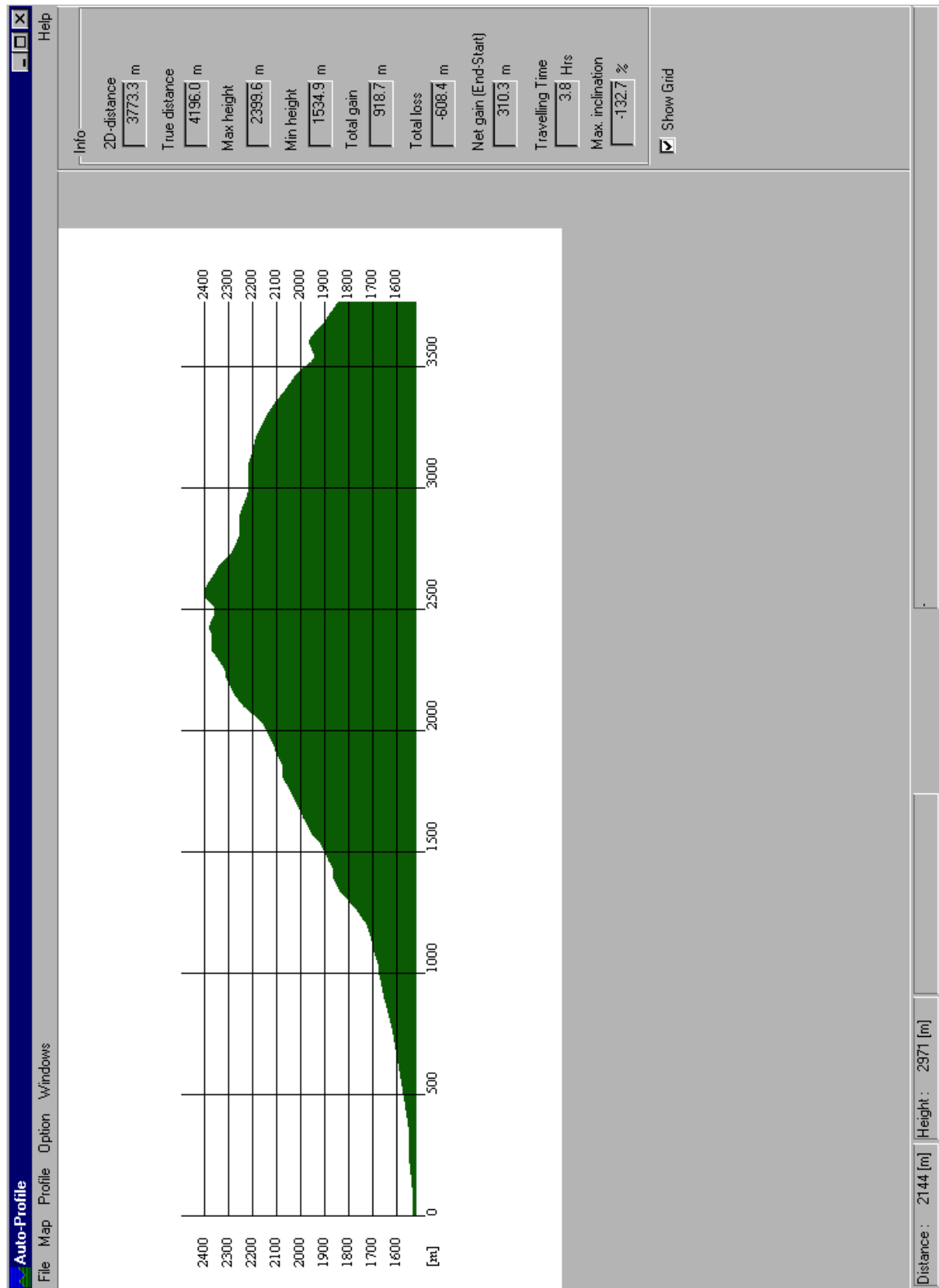
Programmbeispiele

- A1. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einer Pixelkarte PK25, Blattnummer 1268
- A2. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zur Pixelkarte PK25
- A3. Das resultierende Höhenprofil mit dreifacher Überhöhung
- A4. Das resultierende Höhenprofil in DXF-Format
- A5. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einer Satellitenkarte des Kantons Tessin
- A6. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zur Satellitenkarte des Kantons Tessin

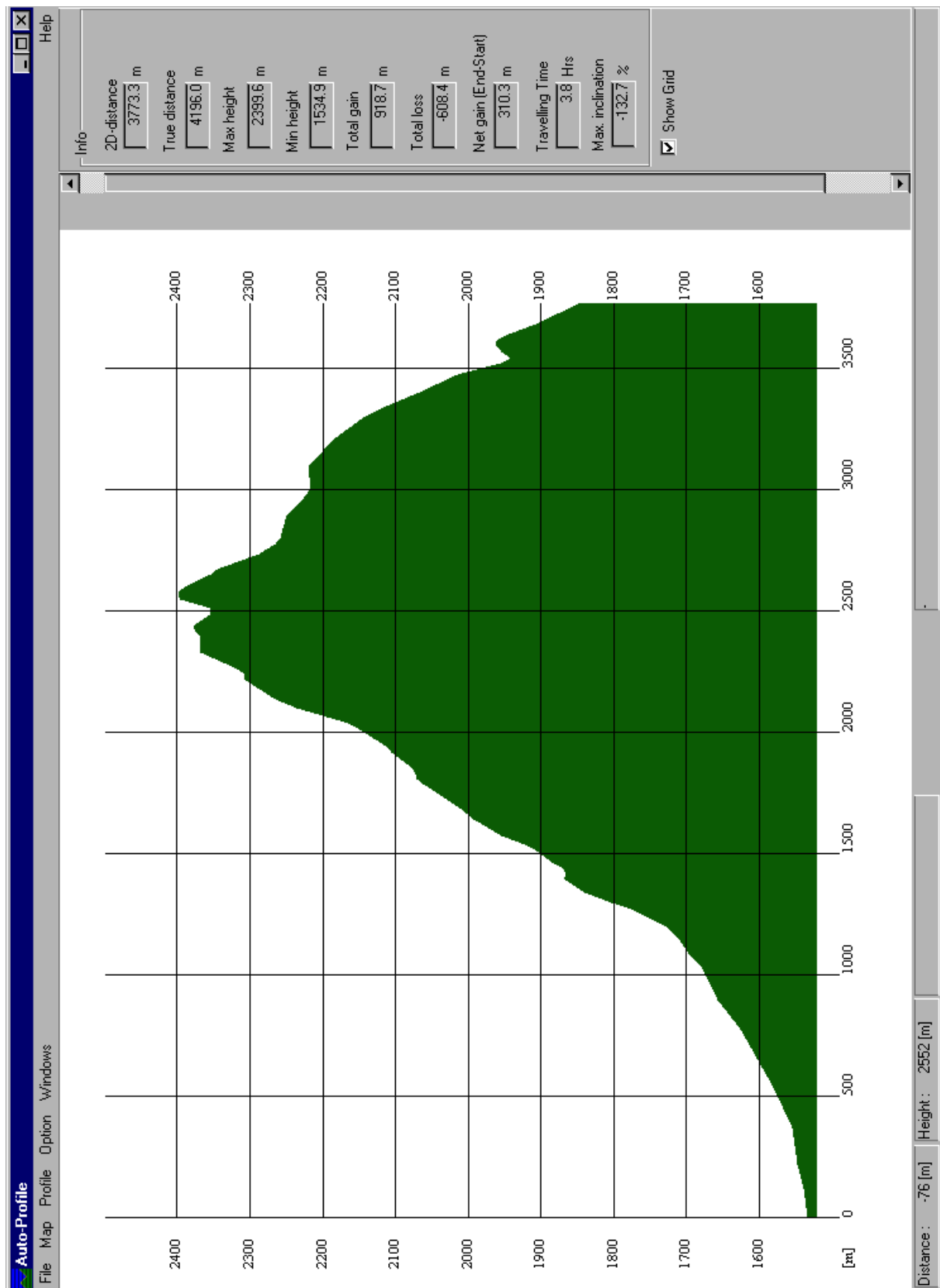
A1. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einer Pixelkarte PK25, Blattnummer 1268



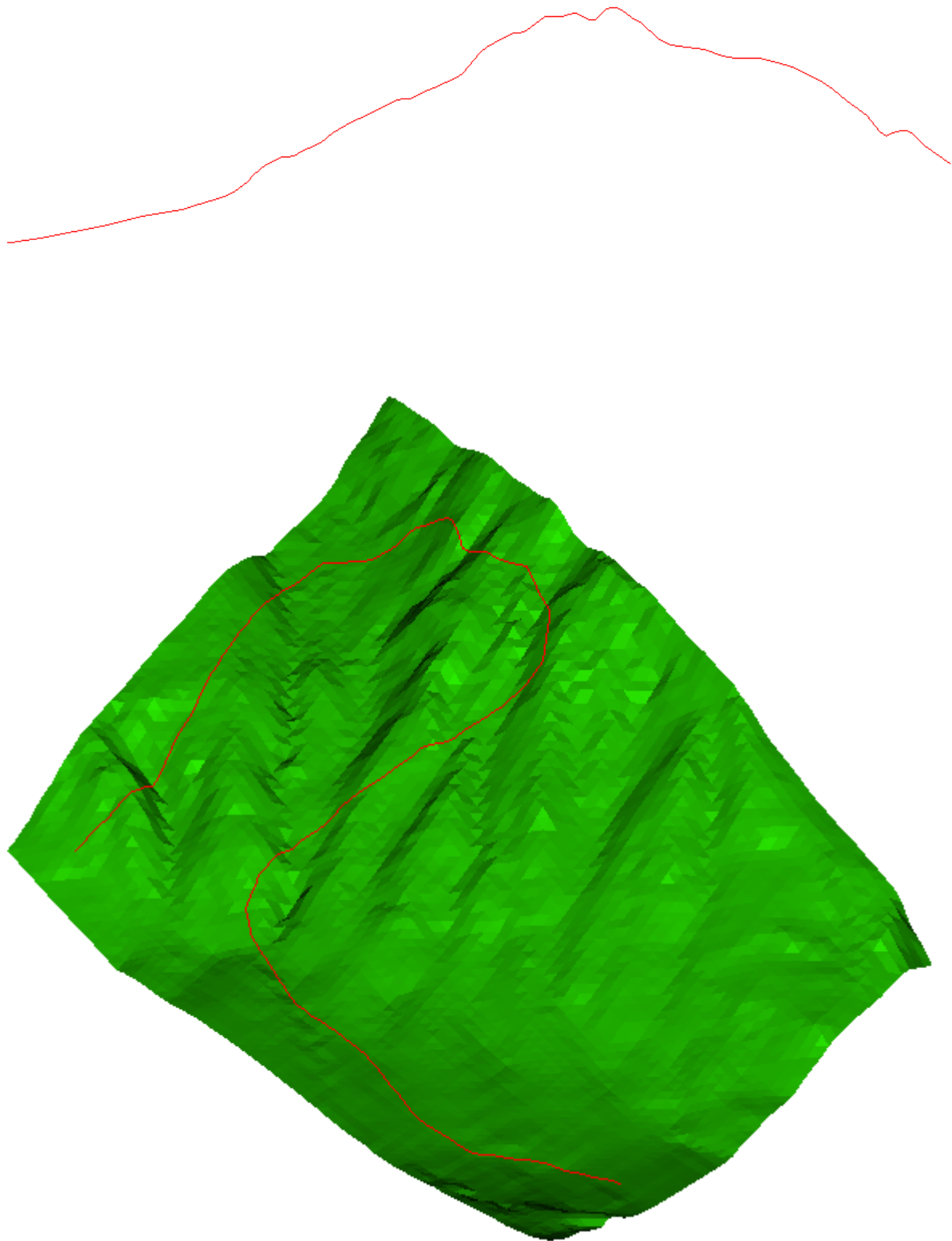
A2. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zur Pixelkarte PK25



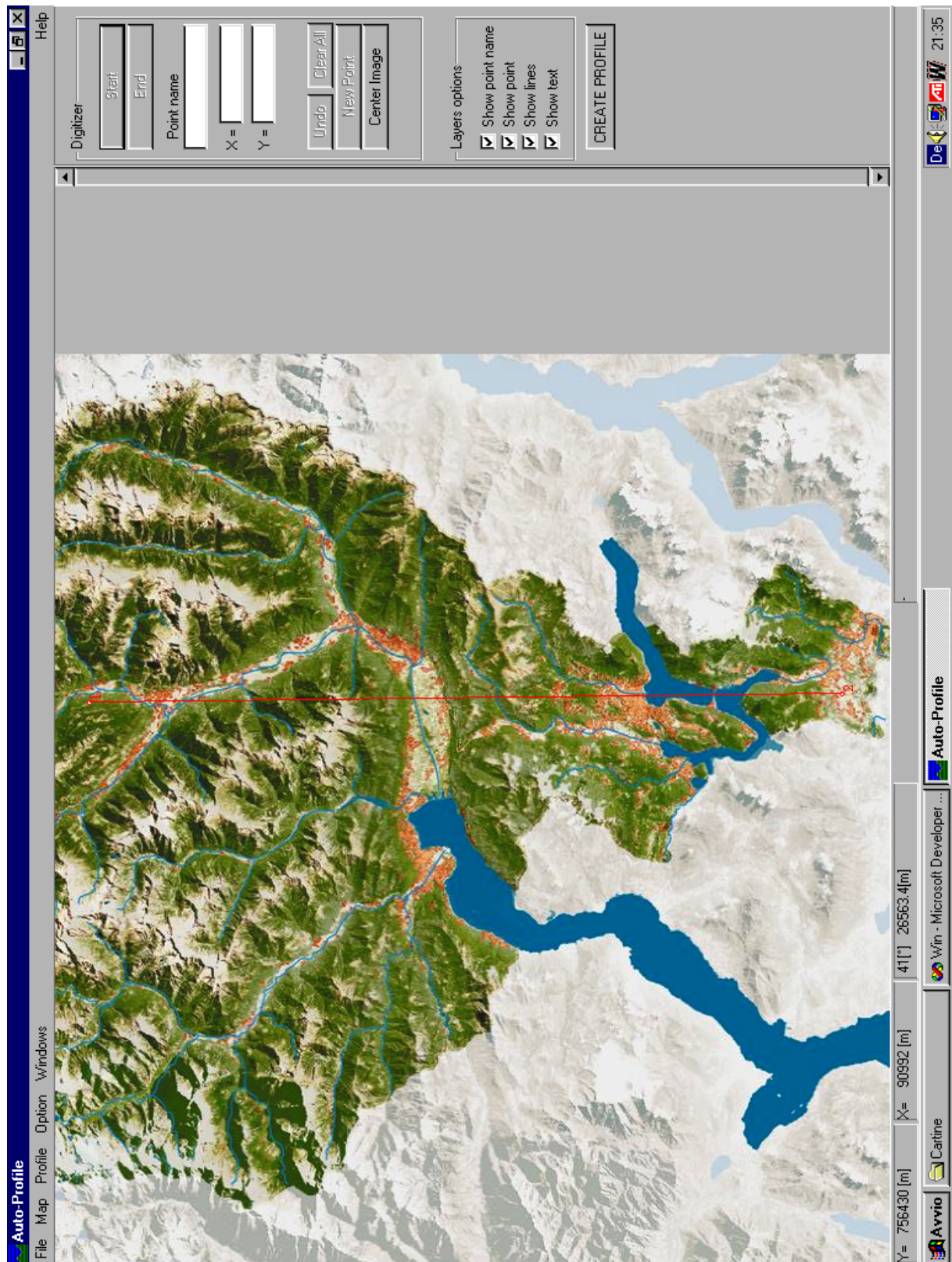
A3. Das resultierende Höhenprofil mit dreifacher Überhöhung



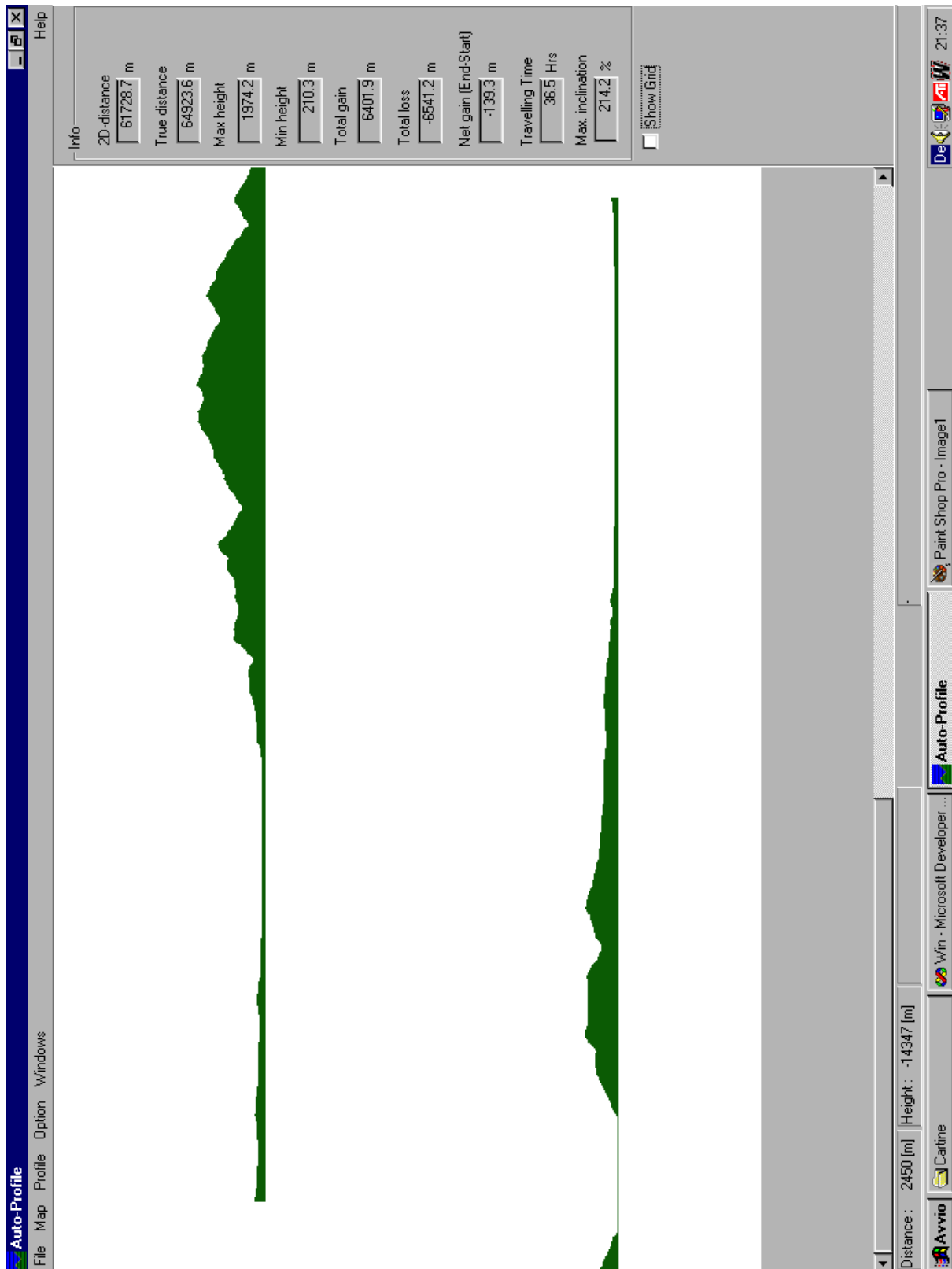
A4. Das resultierende Höhenprofil im DXF-Format (2D and 3D Ansicht)



A5. Digitalisieren einer Profilstrecke auf einem Satellitenkarte des Kantons Tessin



A6. Das resultierende Höhenprofil im Bitmap-Format zum Satellitenkarte des Kantons Tessin



Anhang B

Programm Code

Liste der Programmdateien:

Main.cpp
System.h
About_db.h
About_db.cpp
Grid_def.h
Grid.h
Profile.h
Profile_def.h
Profile.cpp
Map_function.h
Map_manager.cpp
Bitmap.h
Bitmap.cpp
Common_dlg.h
Common_dlg_def.h
Vector_manager.h
Vector_manager.cpp
Windows_manager.h
Windows_def.h
Windows_manager.cpp
Ascii_dxf.h
Ascii_dxf.cpp
Mathematic_def.h

*.cpp : C++ Source File

*.h : C++ Header File