



## Handbuch der amtlichen Vermessung im Kanton Graubünden

### 2.2.25a

## Spannungsfreie Vermessung Graubünden Transformationsvoraussetzungen

Version: 1.0

14. Juli 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>Änderungshistorie .....</b>	<b>ii</b>
<b>1 Ausgangslage .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Namenkonvention der DAT-Datei .....</b>	<b>1</b>
<b>3 Fineltra Transformationsmethode .....</b>	<b>1</b>
3.1 Quellennachweis .....	1
3.2 Allgemeine Informationen .....	1
3.3 Das mathematische Modell .....	2
3.4 Die numerische Lösung .....	3
3.5 Hauptmerkmale der Transformation .....	5
<b>4 Das Dreiecksvermaschungsfile (DAT-Datei) .....</b>	<b>5</b>
4.1 Teil 1: Definition der Dreiecksvermaschungen .....	5
4.2 Teil 2: Ausgangskordinaten .....	6
4.3 Teil 3: Zielkoordinaten .....	7

## Änderungshistorie

Ver- sion	Datum	Änderungen	SB
1.0	14.07.2021	Erstellung	mk

## 1 Ausgangslage

Dieses Dokument ergänzt das [Konzept für lokale Entzerrungen der Daten der amtlichen Vermessung \(Handbuch der AV 2.2.25\)](#).

Für die Verwendung der bestehenden kantonalen Lösung, die beim Bezugsrahmenwechsel von LV03 auf LV95 eingesetzt wurde, bedarf es einiger Anpassungen.

Der damalige Prozess für den Bezugsrahmenwechsel, in dem eine FileGDB mittels FME eine FINELTRA-Transformation von LV03 nach LV95 durchgeführt wurde, soll nun um die Möglichkeit erweitert werden, dass Entzerrungen von LV95-Daten mit lokalen Spannungen nach LV95 (entzerrt) gemeindeweise durchgeführt werden können.

Damit der Prozess durch den Softwarehersteller angepasst werden kann, gibt das Amt für Landwirtschaft und Geoinformation (ALG) lediglich den Input mittels Dreiecksvermaschungsdatei (DAT-Datei) und die Dateibenennung (Namenskonvention) dieser Dateien vor.

## 2 Namenskonvention der DAT-Datei

Die Namenskonvention der DAT-Datei setzt sich aus vier Parametern zusammen und soll Auskunft geben über die Örtlichkeit, den Zeitpunkt (Datum der Messung) der Dreiecksvermaschung und den Ersteller. Sind die Messungen über mehrere Monate verteilt vorhanden, so ist ein mittleres Datum zu wählen. Jede DAT-Datei muss mit der BFS-Nummer beginnen, gefolgt vom Datum, einem vorgegebenen Kürzel des Unternehmers und einer oder mehrerer Gebietsbezeichnungen. Sonderzeichen und Leerschläge sind nicht erlaubt.

Die DAT-Dateien sind nach der folgenden Struktur zu benennen:

- <BFS-Nr.> BFS-Nr. gemäss der Interlisdaten der Amtlichen Vermessung (4 Zeichen)
- <Datum> Datum der Definition Dreiecksvermaschung (8 Zeichen)
- <Bürokürzel> Die ersten drei Buchstaben der Firma (3 Zeichen)
- <Gebietsbezeichnung> z. B. Gemeindename, Fraktion, Örtlichkeit (max. 40 Zeichen)

Bsp:

<BFS-Nr.>\_<Datum>\_<Firma>\_<Gebietsbezeichnung>.dat

3901\_20210515\_CHU\_Maladers.dat

## 3 Fineltra Transformationsmethode

### 3.1 Quellennachweis

Die Kapitel 3 ff. stammen aus dem Handbuch GeoSuite von swisstopo und wurden um kantonale Bedingungen minimal angepasst (Kap. 4.1).

### 3.2 Allgemeine Informationen

Die Schweiz verwendet für praktisch alle Vermessungsarbeiten ein Bezugssystem (CH1903) und einen Bezugsrahmen (LV03), welche sich auf hundertjährige Grundlagen der Landesvermessung stützen.

Dementsprechend weist der Bezugsrahmen LV03 Verzerrungen im Meter-Bereich auf. Die modernen Satellitenmethoden ermöglichen es heute, einen um ein vielfaches genaueren

neuen Bezugsrahmen für die Landesvermessung (LV95) zu verwenden. Die Verzerrungen sind in diesem Rahmen nur noch in der Grössenordnung von 1 cm.

Das neue Bezugssystem kann jedoch aus organisatorischen Gründen nicht von einem auf den anderen Tag in der amtlichen Vermessung eingeführt werden. Man braucht daher für die Übergangszeit mathematische Werkzeuge, um LV03 sowie LV95 nebeneinander zu verwenden und ineinander zu transformieren.

Ein solches Werkzeug stellt das Programm FINELTRA dar, das am IGP der ETH Zürich im Auftrag vom Bundesamt für Landestopografie entwickelt wurde. Im Programm ist die affine (lineare) Transformation mit finiten Elementen eingebaut.

Die Grundidee dabei ist, die Schweiz in Dreiecksmaschen zu unterteilen. Die Knoten sind in der Regel Punkte, für welche sowohl LV03- als auch LV95-Koordinaten vorliegen.

Für jedes Dreieck wird eine lineare Transformation so festgelegt, dass die Eckpunkte, die in beiden Koordinatensystemen bekannt sind, genau aufeinander abgebildet werden.

Die so bestimmte Affinität wird für alle Punkte des Dreiecks (im Innern und am Rand) verwendet.

Das Programm erlaubt dort eine sukzessive lokale Transformationsverbesserung durch Verdichtung der Transformationsstützpunkte, wo das neue Landessystem durch neue geodätische Messungen verdichtet wird.

Die Höhen der mit FINELTRA transformierten Punkte bleiben unverändert.

### **3.3 Das mathematische Modell**

Die Grundidee von FINELTRA ist eine Zerlegung des gesamten Staatsgebietes in (finite) dreieckige Elementarflächen, innerhalb derer affine Koordinatentransformationen durchgeführt werden. Dreiecksüberlappungen und Lücken müssen vermieden werden.

Dieses Dreiecksnetz wird in seiner ersten Version definiert durch die Triangulationspunkte 1. und 2. Ordnung, die in die Diagnoseausgleichung der Landestriangulation einbezogen wurden. Für diese Punkte existieren die offiziellen Koordinaten LV03 und LV95-Koordinaten aus Anschlussmessungen an die LV95-Hauptpunkte. Sie können daher als Passpunkte für die Koordinatentransformation dienen. Der Definition des Dreiecksnetzes muss besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es muss gewährleistet sein, dass Triangulationspunkte niederer (3. und 4.) Ordnung, Punkte der amtlichen Vermessung und alle anderen Detailpunkte durch die Transformation nur von denjenigen Passpunkten (1. und 2. Ordnung) beeinflusst werden, mit welchen sie durch Messungen verbunden waren. Diese bildeten auch die direkte oder indirekte Grundlage für die Koordinatenberechnung im heute geltenden Landessystem.

Damit das ganze Staatsgebiet der Schweiz und des Fürstentums Liechtenstein durch Dreiecke abgedeckt wird, mussten zum Teil im nahe gelegenen Ausland künstlich berechnete Transformationsstützpunkte eingeführt werden. Deren Koordinaten in LV03 und LV95 wurden aus den "echten" Transformationsstützpunkten durch Extrapolation der Verzerrungen ermittelt.

Um die Transformationsgenauigkeit noch zu steigern, muss die bestehende Dreiecksvermaschung in den meisten Gebieten der Schweiz in Zukunft noch durch zusätzliche Stützpunkte verdichtet werden.

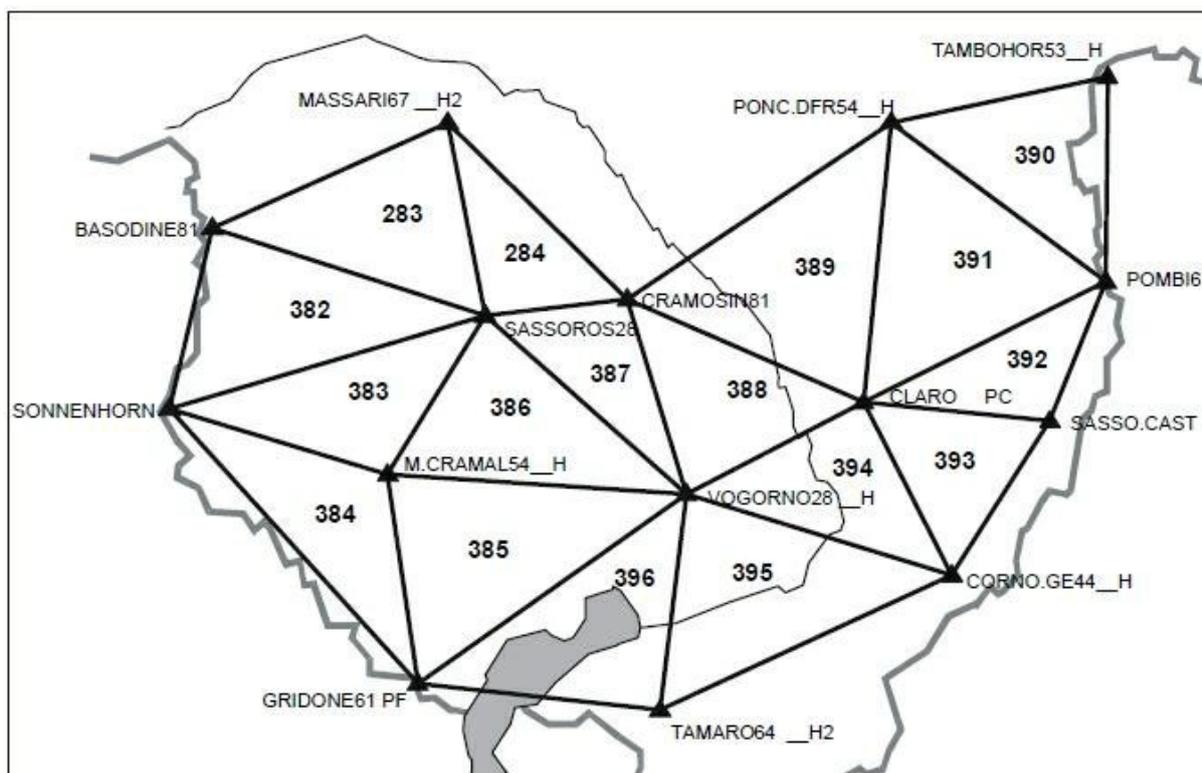


Abbildung 10 - 11 - Beispiel einer Dreiecksvermaschung für die Südschweiz.

Die Koordinatentransformation erfolgt punktweise. Für jeden umzurechnenden Punkt muss zunächst festgestellt werden, in welchem Vermaschungsdreieck er sich befindet.

Die transformierten Koordinaten im Zielsystem ( $Y'$  und  $X'$ ) werden als lineare Funktion der Koordinaten im Ausgangssystem ( $Y$  und  $X$ ) berechnet:

$$X' = a_0 + a_1 X + a_2 Y$$

$$Y' = b_0 + b_1 X + b_2 Y$$

Diese allgemeine lineare Transformation ist die bekannte affine Transformation. Die sechs Parameter ( $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  und  $b_2$ ) werden aus den Passpunkt-Koordinaten für jedes Vermaschungsdreieck bestimmt.

### 3.4 Die numerische Lösung

Das Programm liest einen Punkt aus dem Eingabe-File und prüft nach dem unten beschriebenen Verfahren, ob er sich innerhalb eines bestimmten Vermaschungsdreiecks befindet. Der aktuelle Punkt  $T$  bildet zusammen mit den Dreieckspunkten  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  drei neue Dreiecke, für die eine Fläche  $P$  berechnet wird:

Surface  $P$  du triangle ( $T_1$ ,  $T_2, T_3$ ) :

$$P = 0.5 [ X_1(Y_2 - Y_3) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_1 - Y_2) ]$$

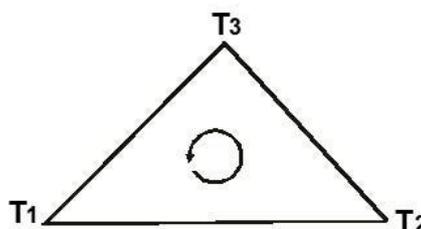


Abbildung 10 - 12 - Positiver Drehsinn

Wesentlich für die Flächenberechnung ist der Drehsinn. Bei positivem Drehsinn (Gegenuhrzeigersinn, siehe Abb. 2) erhält man eine positive Fläche. Unbedeutend ist die Wahl des ersten Punktes; wichtig ist lediglich die richtige Wahl des zweiten Punktes.

Folgende Fälle können unterschieden werden:

**A) Der Punkt T befindet sich ausserhalb des Vermaschungsdreiecks:**

Die Folge ist, dass zumindest eine der drei Teilflächen  $P_1(T, T_2, T_3)$ ,  $P_2(T_1, T, T_3)$  oder  $P_3(T_1, T_2, T)$  negativ wird. Das Programm geht in diesem Fall zum nächsten Vermaschungsdreieck weiter.

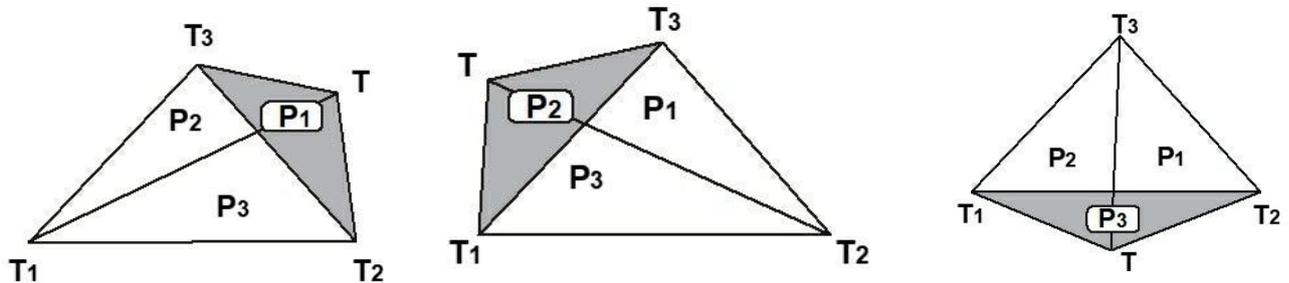


Abbildung 10 - 13 - Punkt ausserhalb des Vermaschungsdreiecks

**B) Der Punkt befindet sich innerhalb des Vermaschungsdreiecks:**

In diesem Fall sind alle drei Teilflächen positiv und das für die Interpolation gesuchte Vermaschungsdreieck ist somit gefunden. Ebenfalls als gefunden gilt ein Dreieck, wenn 1 (Kante) oder 2 (Ecke) Teilflächen Null und die übrigen positiv sind.

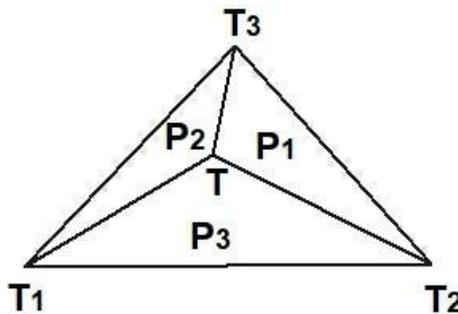


Abbildung 10 - 14 - Punkt innerhalb des Vermaschungsdreiecks

Die Interpolationsverbesserungen (DY und DX) werden in diesem Fall nach folgender Formel berechnet:

$$DY = \frac{v_{y1}P_1 + v_{y2}P_2 + v_{y3}P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad \text{mit} \quad v_{yi} = Y_i - Y_i$$

$$DX = \frac{v_{x1}P_1 + v_{x2}P_2 + v_{x3}P_3}{P_1 + P_2 + P_3} \quad \text{mit} \quad v_{xi} = X_i - X_i$$

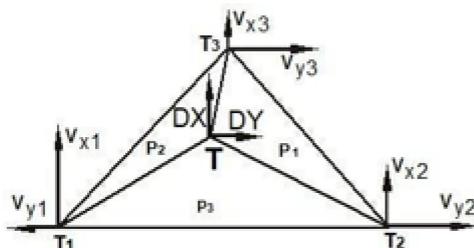


Abbildung 10 - 15 - Berechnung der Koordinatenverbesserungen

Den grössten Einfluss auf den Betrag der Koordinatenverbesserungen übt derjenige Passpunkt aus, dem die grösste Dreiecksfläche gegenüberliegt.

Die definitiv transformierten Koordinaten werden nach folgender Formel bestimmt:

$$Y' = Y + DY$$

$$X' = X + DX$$

### 3.5 Hauptmerkmale der Transformation

- Die Transformation ist eindeutig und umkehrbar, sodass stets durch Rücktransformation wieder identische Koordinaten erhalten werden.
- Die Transformation der Passpunkte ergibt exakt die bekannten Zielkoordinaten.
- Die Zwischenpunkte werden homogen und ohne Überkorrekturen transformiert.
- Eine Passpunkt-Verdichtung in einem Dreieck beeinflusst die anderen Dreiecke nicht. Eine sukzessive Verbesserung ist daher möglich.
- Die Berechnung ist wenig aufwändig und kann durch alle Benutzer durchgeführt werden.
- Die Transformation über finite Elemente kann mit jeder anderen komplexeren Vortransformation kombiniert werden.

## 4 Das Dreiecksvermaschungsfile (DAT-Datei)

Das einmal erstellte Dreiecksvermaschungsfile gilt für das gesamte Staatsgebiet und darf nur mit Genehmigung der verantwortlichen Stellen geändert werden. Lokale Änderungen können entweder in der Dreiecksdefinition oder durch Koordinatenänderungen der Passpunkte vorgenommen werden. Benutzer müssen darüber informiert werden und ggf. müssen ihnen die aktualisierten Dreiecksvermaschungsfiles zur Verfügung gestellt werden (Prinzip der zentralen Verwaltung).

Das Dreiecksvermaschungsfile beinhaltet 3 Teile: 1. die Dreiecksdefinitionen, 2. die Ausgangskordinaten (z. B. LV03) und 3. die Zielkoordinaten (z.B. LV95). Die einzelnen Teile sind jeweils durch eine Zeile getrennt, welche mit "-999" beginnt.

### 4.1 Teil 1: Definition der Dreiecksvermaschungen

Nach 3 Titelzeilen erfolgt die Definition der Dreiecksvermaschung (fixe Vorgabe).

Der Teil der Dreiecksvermaschung hatte ursprünglich ein starres Format, welches den heutigen Anforderungen nicht mehr genügt. Für die Verwendung dieser Datei reicht es, wenn die Daten leerzeichengetrennt ausgelesen werden:

Pos.	Char.-Pos	Typ	Bedeutung	Bemerkungen
1	1 - 8	Text	Dreiecksnummer	BFS-Nr. + fortlaufende Nummerierung
2	11 - 21	Text	Name 1. Dreieckspunkt	beliebiger Punkt des Dreiecks
3	23 - 36	Text	Name 2. Dreieckspunkt	im Gegenuhrzeigersinn
4	38 - 51	Text	Name 3. Dreieckspunkt	im Gegenuhrzeigersinn
5	53 - 56	Ganze Zahl	Jahr der Definition	Jahr der Einführung des Dreiecks
6	58 - 61	Ganze Zahl	Jahr der Elimination	Jahr der Aufhebung des Dreiecks
7	63 - 67	Ganze Zahl	Kontrollcode	im Moment ohne Bedeutung

Hinweis: Die Anzahl Zeichen für das erste Textfeld (Pos. 1–8) ist abweichend zur ursprünglichen Definition von swisstopo 8 statt 7 Zeichen.  
 Der Beginn des 2. Textfelds (1. Dreieckspunkt) beginnt bei Pos. 11 statt 9.

```
Gemeinde Chur (BFS-Nr. 3926), Ortschaft Maladers, den 13. April 2021
ARBEITSDATEI FUER DEI KOORDINATENTRANSFORMATION UEBER FINITE ELEMENTE
Dreiecksvermaschungsdefinition :
39260000 7557      44115      7352      2021
39260001 11960116    7545      42472     2021
39260002 7349      7269      42472     2021
39260003 11960111    7557      7352     2021
39260004 7349      7517      7269     2021
39260005 7363      7358      39220785 2021
39260006 11960115    7454      11960120 2021
39260007 7369      42928     7375     2021
39260008 39220819    7352      44115     2021
39260009 42927      11960107  7375     2021
39260010 39220765    42911     7363     2021
39260011 7358      7352      39220793 2021
39260012 7545      7349      42472     2021
39260013 7554      7516      7349     2021
39260014 11960115    41028     7454     2021
39260015 7349      7267      7517     2021
39260016 7373      7380      7364     2021
39260017 7349      7516      7267     2021
39260018 41952      11960111  7516     2021
39260019 39220959    7539      11960120 2021
39260020 44165      7380      7381     2021
```

#### 4.2 Teil 2: Ausgangskordinaten

Nach einer Titelzeile, welche mit "\$\$PK" beginnen muss, folgen die Koordinaten der Dreieckspunkte im Ausgangssystem. Üblicherweise enthält dieser Teil die Koordinaten im LV03. Die einzelnen Kolonnen haben folgende Bedeutung:

Pos.	Typ	Bedeutung	Bemerkungen
1-14	Text	Name des Punktes	muss identisch sein mit Name aus Teil 1
16-27	reelle Zahl	Y-Koordinate in [m]	Ostwert
28-39	reelle Zahl	X-Koordinate in [m]	Nordwert
41-44	ganze Zahl	Jahr der Einführung	Zeitpunkt, ab welchem diese Koordinaten gültig sind
46-53	reelle Zahl	Höhe	wird in FINELTRA nicht verwendet
63-67	Ganze Zahl	Kontrollcode	im Moment ohne Bedeutung

```
39260661 44287      44177      44176      2021
39260662 43203      39260507    39260506    2021
39260663 44280      44199      11960109    2021
-999
$$PK LV95-Ausgangs-Koordinaten
7265      2762988.581 1190121.886 1985
7267      2762685.613 1190684.034 1985
7268      2761958.851 1190745.087 1985
7269      2762219.628 1190756.473 1985
7292      2762555.438 1189250.22  1985
7306      2762503.828 1189332.22  1985
7314      2762128.448 1189367.877 1985
7323      2762320.296 1189431.976 1985
7331      2762805.612 1189524.696 1985
7336      2762173.693 1189557.101 1985
7337      2762552.772 1189553.993 1985
7340      2762151.662 1189628.809 1985
7341      2762712.65  1189648.111 1985
7342      2762403.569 1189694.867 1985
7344      2762142.902 1189741.561 1985
```

Ein Punkt kann dabei mehrfach mit unterschiedlichen Koordinaten und unterschiedlichem Jahr der Einführung in der Liste vorkommen.

### 4.3 Teil 3: Zielkoordinaten

Nach einer Titelzeile, welche mit "\$\$PK" beginnen muss, folgen die Koordinaten der Dreieckspunkte im Zielsystem. Üblicherweise enthält dieser Teil die LV95-Koordinaten. Die einzelnen Kolonnen haben dabei dieselbe Bedeutung wie im Teil 2.

39220817	2763926.368	1190390.748	1985
39140162	2763153.577	1189161.306	1985
39220908	2763715.371	1189718.201	1985
-999			
<b>\$\$PK LV95-Ziel-Koordinaten</b>			
11960310	2761645.708	1189429.212	2020
11963180	2767444.143	1189494.237	2020
7314	2762128.448	1189367.877	2020
11758510	2759908.623	1194053.776	2020
7265	2762989.061	1190120.126	2020
7267	2762685.86	1190683.244	2020
7268	2761958.797	1190744.946	2020
7269	2762219.572	1190756.355	2020
7292	2762555.537	1189249.863	2020
7306	2762503.993	1189332.001	2020
7323	2762320.378	1189431.802	2020
7331	2762805.76	1189524.461	2020
7336	2762173.686	1189556.998	2020
7337	2762552.9	1189553.745	2020
7340	2762151.691	1189628.686	2020

### Das binäre Format des Dreiecksvermaschungsfiles

Das in den vorangehenden Kapiteln beschriebene klassische Format des Files der Dreiecksvermaschung bewährt sich mit der relativ geringen Anzahl Dreiecke, wie sie heute definiert ist. Es hat sich jedoch gezeigt, dass bei einer grossen Anzahl Dreiecke die Zuordnung der Koordinaten zu den Dreieckspunkten unverhältnismässig viel Rechenzeit in Anspruch nimmt.

Deshalb existiert ab der Version 2002 von FINELTRA eine binäre Form des Files der Dreiecksvermaschung, welche die Rechenzeit für eine Transformation stark verkürzt. Dieses File enthält im Wesentlichen dieselben Informationen wie das klassische Fileformat und kann mit FINELTRA selbst aus einem klassischen' File erzeugt werden. Das binäre Format hat zudem den Vorteil, dass das File besser vor ungewollten Veränderungen geschützt ist.