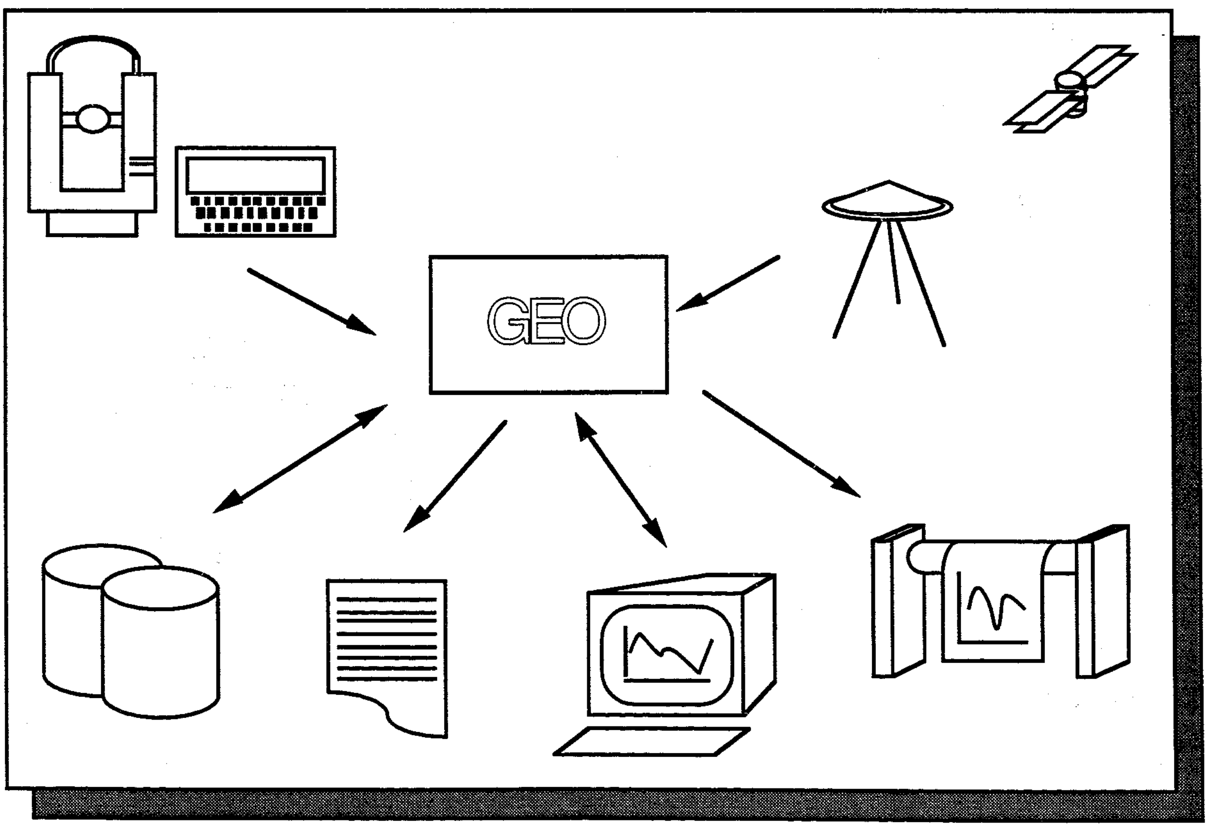
Eidgenössische
Technische Hochschule
Zürich

Institut für
Geodäsie und
Photogrammetrie

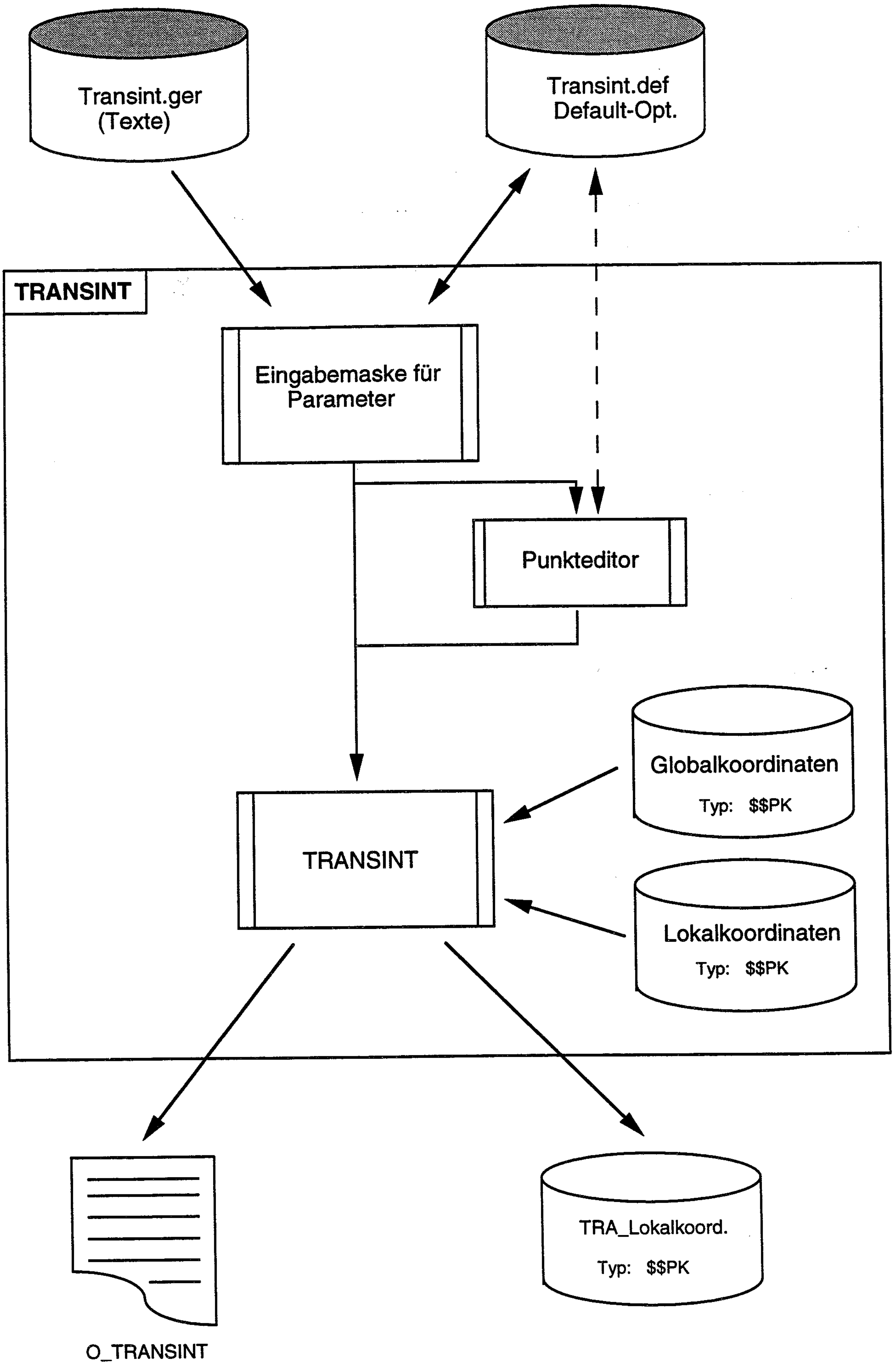
Benutzeranleitung

TRANSINT



Version: Oktober 1995

TRANSINT - Programm



BUNDESAMT FÜR LANDESTOPOGRAPHIE

Bulletin des Rechenzentrums Nr. 21/d

Programmbeschreibung zum Programm

TRANSINT Version 92.3

September 1992

A. Carosio
D. Dufour

Ersetzt die Beschreibung im Bulletin Nr. 15

Robuste Ähnlichkeitstransformation, robuste affine Transformation und Interpolation nach dem arithmetischen Mittel

(A. Carosio 15. Juli 1992)

Zusammenfassung

Zwei Aufgaben werden in der geodätischen Praxis sehr oft mit Koordinatentransformationen gelöst: Der Vergleich mehrerer unabhängig gemessener Netze mit gemeinsamen Punkten und die Einpassung neuer Netze in bestehende Fixpunktsysteme. Vor kurzem wurde das Programm TRANSINT im Bundesamt für Landestopographie entwickelt, das eine Lösung für die Ähnlichkeitstransformation mit robuster Ausgleichung enthält sowie ein Verfahren für die Interpolation nach dem arithmetischen Mittel. Der vorliegende Bericht beschreibt die mathematischen Grundlagen beider Aufgaben und weist Angaben über die Anwendung der Computerprogramme auf.

Um systematisch orientierte Zwänge zu korrigieren, wird in seltenen Fällen eine affine Transformation benötigt. Das Programm kann ebenfalls eine Affinität als Verallgemeinerung der Ähnlichkeitstransformation berechnen.

TRANSINT

INHALTSVERZEICHNIS

1 Einführung

In der angewandten Geodäsie wird man sehr oft mit Problemen konfrontiert, die mathematisch mit einfachen oder komplexen Koordinatentransformationen gelöst werden können. Zwei Aufgaben treten besonders oft in Erscheinung: Der Vergleich zweier unabhängig gemessener Netze und die Einpassung eines neuen Netzes in ein bestehendes Fixpunktsystem.

1.1 Der Vergleich geodätischer Netze

In zwei verschiedenen Koordinatensystemen (global und lokal) werden ganz unabhängig die Koordinaten der gleichen Punkte bestimmt (Y_i, X_i und y_i, x_i), und nun möchte man feststellen, ob tatsächlich die Werte in den beiden Systemen zu den gleichen Punkten gehören und wie gross die eventuellen gegenseitigen Abweichungen sind.

Zur Lösung solcher Aufgaben werden in den meisten Fällen die Koordinaten des lokalen Systems ähnlich transformiert (z.B. durch Helmert-Transformation):

$$\begin{aligned} y' &= y_0 + m \cdot \cos \omega\, y + m \cdot \sin \omega\, x \\ x' &= x_0 - m \cdot \sin \omega\, y + m \cdot \cos \omega\, x \end{aligned} \qquad (1)$$

Die unbekannten Transformationsparameter werden mit einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, damit die kleinstmögliche Summe der Quadrate der Koordinatendifferenzen zwischen beiden Systemen entsteht. Die Koordinatenverbesserungen

$$\begin{aligned} DY &= Y - y' \\ DX &= X - x' \end{aligned} \qquad (2)$$

geben dann Hinweise auf die gegenseitigen Abweichungen der Koordinaten der beiden Systeme.

1.2 Die Einpassung eines Netzes in bestehende Fixpunkte

Diese zweite Aufgabenstellung ist z.B. in /2/ beschrieben: Gegeben sind zwei Systeme, die die gleichen Punkte enthalten. Im ersten System (globales System) sind nur die Koordinaten einiger Punkte (Passpunkte) bekannt, während im zweiten System (lokales System) die Koordinaten aller Punkte vorliegen. Gesucht sind die Koordinaten aller Punkte im globalen System.

Für die Lösung des Problems wird eine geeignete mathematische Abbildung (Interpolationsfunktion) zwischen den Koordinaten im lokalen System und jenen im globalen System benötigt. Nur selten kann eine solche Abbildung eine einfache geometrische Transformation (Translation, Rotation) sein, da in den meisten Fällen globale und lokale Koordinaten verschiedene Ungenauigkeiten zufälliger und systematischer Natur aufweisen.

Für die Wahl einer geeigneten Interpolationsfunktion müssen die funktionalen und statistischen Eigenschaften der vorhandenen Koordinaten (das mathematische Modell) genügend genau bekannt sein. Je nach Modell ist die eine, die andere oder überhaupt keine Interpolationsfunktion zweckmässig.

Es ist daher für diese Aufgabe nicht möglich, eine allgemeine Lösung für alle geodätischen Anwendungen zu finden. In jedem einzelnen Fall muss überprüft werden, welches Interpolationsverfahren sich am besten eignet.

Die häufigste Anwendung in der Landestriangulation ist die Einpassung von zwangsfrei berechneten Netzen in ein bestehendes, übergeordnetes Fixpunktsystem. Die Eigenart dieser Applikation liegt in der Tatsache, dass das lokale System oft genauer ist als das globale System.

1.3 Praktische Lösung

Zur Lösung beider Aufgaben, der Ähnlichkeitstransformation und der Interpolation von neuen Triangulationsnetzen in bestehende Fixpunktsysteme, wurde im Bundesamt für Landestopographie das Computerprogramm TRANSINT entwickelt, das mit geringem Aufwand zu den gewünschten Resultaten führt. Im folgenden wird über das mathematische Modell und über die möglichen Anwendungen in der Praxis berichtet.

2 Robuste Ähnlichkeitstransformation

2.1 Allgemeines

Der Vergleich von Triangulationsnetzen mittels Ähnlichkeitstransformation ist ein klassisches und häufig verwendetes Verfahren in der angewandten Geodäsie.

Zur Veranschaulichung können folgende mögliche Anwendungen dienen:

- Beispiel 1

  Nach der Messung eines neuen Operates 4. Ordnung wurden die Beobachtungen in einem zwangsfreien Netz ausgeglichen, um die innere Genauigkeit zu prüfen. Danach möchte man durch eine Ähnlichkeitstransformation die Übereinstimmung zwischen der neuen Triangulation und dem übergeordneten Fixpunktsystem kontrollieren.

- Beispiel 2

  Bei Deformationsmessungen möchte man die Koordinaten der Fixpunkte der Ausgangsmessung mit denjenigen einer Wiederholungsmessung vergleichen. Das Netz der Fixpunkte wird für beide Epochen zwangsfrei ausgeglichen und dann das neuere Netz in das ältere ähnlich transformiert.

Bei beiden Anwendungen hat die Transformation folgende Eigenschaften:

- Die Ähnlichkeitstransformation hat 2, 3 oder 4 Parameter (Translation, Translation-Rotation, Helmert-Transformation).
- Die Transformationsparameter müssen so bestimmt werden, dass die transformierten Lokalkoordinaten so gut wie möglich in das globale Koordinatensystem passen.
- Die Beobachtungen der Ausgleichung sind die Globalkoordinaten (alte Koordinaten) der Punkte (Passpunkte), die in den beiden Netzen auftreten (pro Punkt Y und X, d.h. 2 Beobachtungen). Die Passpunkte sind in der Regel zahlreich (10 bis 100 und mehr), sodass die Anzahl überschüssiger Beobachtungen gross ist.
- Vor allem in grossen Netzen wird vermutet, dass die Lokalkoordinaten (neue Koordinaten) einiger weniger Punkte aus irgendeinem Grund von den globalen (alten) abweichen. Ziel der Analyse ist in diesen Fällen die Identifikation solcher Punkte.

2.2 Das mathematische Modell

2.2.1 Ähnlichkeitstransformation

Die Ähnlichkeitstransformation kann, wie bekannt, mit den folgenden Formeln berechnet werden:

$$
\begin{aligned}
y' &= y_0 + m \cdot \cos \omega y + m \cdot \sin \omega x \\
x' &= x_0 - m \cdot \sin \omega y + m \cdot \cos \omega x
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

und daher, wenn die Transformationsparameter mit einer Ausgleichung nach kleinsten Quadraten gesucht werden, sind die Beobachtungsgleichungen:

$$\begin{aligned} Y + v_y &= y_0 + m \cdot \cos\omega y + m \cdot \sin\omega x \\ X + v_x &= x_0 - m \cdot \sin\omega y + m \cdot \cos\omega x \end{aligned} \tag{4}$$

Wenn alle 4 Parameter (y_0, x_0, m, ω) unbekannt sind (Helmert-Transformation) oder wenn nur y_0 und x_0 zu finden sind (d.h. m = 1 und ω = 0, Translation), können die Beobachtungsgleichungen, ev. durch geeignete Substitutionen, in Linearform geschrieben werden. Hingegen sind, wenn m = 1 eingesetzt wird und y_0, x_0 und ω als Unbekannte auftreten, die Beobachtungsgleichungen keine linearen Funktionen mehr; man kann sie nur in einem kleinen Intervall um die gesuchte Lösung linearisieren.

Da für die Praxis alle Varianten von Bedeutung sind, wurde für die Programmierung die allgemeinere Lösung mit den nicht-linearen Beobachtungsgleichungen (4) gewählt: Die Beobachtungsgleichungen werden vor jeder Iteration durch numerische Differentiation um den Näherungswert linearisiert. Damit kann der Programmbenützer jede beliebige Variante mit 2, 3 oder 4 Parameter wählen.

2.2.2 Robuste Transformation

Da der eine oder andere Passpunkt möglicherweise keine gut übereinstimmenden Koordinaten in beiden Systemen hat, schien es angebracht, die Transformationsparameter mit einer 'robusten Ausgleichung' zu ermitteln, welche wirklichkeitsnahe Resultate liefert, auch wenn sich unter den Messungen noch einige (wenige) grobe Fehler befinden. Die theoretischen Grundlagen dafür wurden von P.J. Huber erarbeitet und in verschiedenen Publikationen veröffentlicht /7, 8, 9/. Ein Lösungsansatz für geodätische Anwendungen des Gauss-Markov-Modelles (vermittelnde Ausgleichung) ist in /1/ beschrieben.

Hier wird nur das Grundprinzip der robusten Ausgleichung wiederholt: Es seien

$$v_i = a_i x_0 + b_i y_0 + \dots + L_i \qquad i = 1,2,\dots,n \tag{5}$$

die Verbesserungsgleichungen, die durch Linearisierung der Beobachtungsgleichungen entstanden sind.

Die Unbekannten (x,y,z,...) werden so bestimmt, damit

$$\Sigma \rho(v) = \min \tag{6}$$

Die Funktion $\rho(v)$ ist für die klassische Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate wie bekannt

$$\rho(v) = v^2 \tag{7}$$

Die Unbekannten werden so gewählt, dass die Summe der Quadrate der Verbesserungen minimal wird. Wenn grobe Fehler (im behandelten Fall Koordinatenunstimmigkeiten) vorhanden sind, führt die klassische Ausgleichung sehr rasch zu unbrauchbaren Unbekannten.

Bei der robusten Ausgleichung wird für die Bedingung

$$\sum \rho(v) = \min \tag{8}$$

eine andere Funktion $\rho(v)$ gewählt, damit die Unbekannten von eventuellen groben Fehlern weniger beeinflusst werden. Gemäss einem Vorschlag von P.J. Huber wurde folgende Funktion für das Programm TRANSINT verwendet

$$\begin{aligned} \rho(v_i) &= \tfrac{1}{2} v_i^2 && \text{für } |v_i| < k*m_i \\ &= k*m_i \, |v_i| - \tfrac{1}{2} (k*m_i)^2 && \text{für } |v_i| \geq k*m_i \end{aligned} \tag{9}$$

wo k eine Konstante und m_i der mittlere Fehler der entsprechenden Beobachtung sind. Die Konstante k kann im Programm frei gewählt werden; für übliche Anwendungen sind k-Werte zwischen 2 und 3 zweckmässig. Für k --> ∞ erhält man die gewöhnliche Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate (das Programm berechnet diese Variante wenn k = 0 eingesetzt wird).

Mehrere Versuche mit der robusten Ausgleichung in verschiedenen geodätischen Applikationen sind in /16/ beschrieben.

2.2.3 Zuverlässigkeitsbetrachtungen

Die Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate, die für die Bestimmung der Transformationsparameter benötigt wird, ist in der Regel sehr einfach, und die empirische Beurteilung der Passpunktkonfiguration sollte normalerweise keine Schwierigkeiten bereiten. Trotzdem schien es angebracht, ein numerisches Kriterium vorzusehen, um die Zuverlässigkeit nachzuweisen. Bei der Verwendung der robusten Ausgleichung werden die Zuverlässigkeitsbetrachtungen weniger einfach, und ein numerisches Verfahren ist dann sehr vorteilhaft.

Die gewählte Methode ist die Bestimmung des Koeffizienten der 'geometrischen Zuverlässigkeit' für jede Beobachtung der Ausgleichung, d.h. im vorliegenden Fall wird für jede Globalkoordinate:

$$Z_i = \frac{q_{vv}^{(ii)}}{q_{ll}^{(ii)}}$$

berechnet, wo $q_{vv}^{(ii)}$ und $q_{ll}^{(ii)}$ die i-ten Diagonalelemente der Kofaktorenmatrizen der Verbesserungen und der Beobachtungen sind (für die Berechnung siehe z.B. /13/). Z_i ist ein Mass für den Überbestimmungsgrad der gemessenen Grössen im Netz und erlaubt den Vergleich mit bekannten einfachen Messanordnungen. Hier einige Beispiele:

Z	Beispiel
0.00	Messung ohne Überbestimmung
0.33	Drei gemessene Winkel in einem Dreieck (1 Freiheitsgrad)
0.50	Doppelmessung (2 unabhängige Bestimmungen der gleichen Grösse)
0.67	Dreifache Messung (3 unabhängige Bestimmungen der gleichen Grösse)
1.00	Totale Überbestimmung des Netzes (Messung einer Grösse die schon 'unendlich genau' bekannt ist)

Für die Berechnung von Z bei robusten Transformationen wurde die Näherung verwendet, wie sie in /16/ empfohlen wird. Die daraus hervorgegangenen Z-Werte sind dann als Grenzwerte zu verstehen, d.h. die entsprechende Beobachtung ist mindestens so gut vom Netz überbestimmt, wie der berechnete Koeffizient der geometrischen Zuverlässigkeit angibt.

2.2.4 **Die affine Transformation**

Wenn aus der Problemstellung ersichtlich ist, dass die Unterschiede zwischen den Koordinaten richtungsunabhängig sind, z.B. wenn sie aus Papierverzug, aus einer Rutschung usw. stammen, ist eine affine Transformation geeigneter als eine einfache Helmert-Transformation.

Die Affinität ist die allgemeinste lineare Transformation in der Ebene

$$Y_T = Y0 + B_x\, x + A_y\, y$$

$$X_T = X0 + A_x\, x + B_y\, y$$

wobei

Y_T, X_T die transformierten Koordinaten im globalen Systyem sind,

x, y, die zu transformierenden Lokalkoordinaten sind und

Y0, X0,
B_x, B_y, A_x, A_y die 6 unbekannten Transformaionsparameter sind.

Die 6 unbekannten Parameter werden mit einer Ausgleichnung nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Eine robuste Ausgleichung nach Huber ist ebenfalls möglich. Sie ist aber nur bei guter Überbestimmung und zuverlässiger Konfiguration sinnvoll.

Die berechneten Parameter werden als Ergebnisse gedruckt. Sie sind aber nicht leicht interpretierbar. Das Programm berechnet daher auch weitere Funktionen der Parameter, die eine geometrische Bedeutung haben.

So wird die Tissot'sche Indikatrix (Verzerrungsellipse) bestimmt, die bei der Affinität für alle Punkte identisch ist. Die Konstruktionselemente (grosse Halbachse a, kleine Halbachse b und Richtung der grossen Halbachse) werden angegeben. Sie sind die maximalen bzw. die minimalen Längenverzerrungen und werden wie folgt berechnet:

$$a = \frac{1}{2}\left(\sqrt{(A_x+A_y)^2 + (B_x-B_y)^2} + \sqrt{(A_x-A_y)^2 + (B_x+B_y)^2}\right)$$

$$b = \frac{1}{2}\left(\sqrt{(A_x+A_y)^2 + (B_x-B_y)^2} - \sqrt{(A_x-A_y)^2 + (B_x+B_y)^2}\right)$$

$$\text{Richtung} = \frac{1}{2}\left(\arctan\frac{B_x-B_y}{A_x+A_y} + \arctan\frac{B_x+B_y}{A_x-A_y}\right)$$

Dazu werden die Längenverzerrungen in X- und Y-Richtung, die maximalen Richtungsverzerrungen und die Richtungsverzerrungen in X- und Y-Richtung angegeben.

Das mathematische Modell und die Programmierung für die affine Transformation sind aus Arbeiten von E.Schaub am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETHZ entstanden /18/.

2.3 Einsatz der robusten Ähnlichkeitstransformation

Die robuste Transformation soll zum Einsatz kommen, wenn man vermutet, dass nicht alle Passpunkte fehlerfrei sind und wenn man schnell brauchbare Resultate haben möchte. Für geodätische Anwendungen sollte dann der Parameter k der robusten Ausgleichung zwischen 2.0 und 3.0 gewählt werden. Kleine k-Werte stärken die Unempfindlichkeit der Ausgleichung gegen grobe Fehler, erhöhen aber die Gefahr, dass die Berechnung zu einer singulären Matrix führt, wenn zu viele Beobachtungen von den ausgeglichenen Werten stark abweichen.

Das folgende Beispiel aus der Deformationsmessung der Staumauer Rempen zeigt eine mögliche Anwendung der robusten Transformation. Aus dem Vergleich mit der gewöhnlichen Helmerttransformation lassen sich die Vorteile der robusten Version bei Netzvergleichen sehr gut ersehen.

Die Staumauer Rempen ist die kleine Sperre eines Ausgleichsbeckens des Kraftwerkes Wägital. Diese ältere Mauer wurde in den Jahren zwischen 1973 und 1979 geodätisch neu untersucht, damit ein neues Deformationsüberwachungsnetz entworfen werden konnte. Ein besonderes Problem stellte dabei die grosse Unstabilität der Talflanken dar. Ein Vergleich der Pfeilerbestimmungen in den Jahren 1973 und 1979 zeigt zum Beispiel deutliche Zwänge.

a) Die gewöhnliche Helmerttransformation
Die Einpassung der Koordinaten von 1979 in die Koordinaten 1973 durch eine 4-Parameter-Ähnlichkeitstransformation (Helmerttransformation) führt zu den folgenden Restfehlern, wenn alle 4 Pfeiler als Passpunkte eingesetzt werden:

AEHNLICHKEITSTRANSFORMATION

PASSPUNKTE UND VERBESSERUNGEN

PASSPUNKT	VY [mm]	VX [mm]
PF.1	1.1	2.7
PF.2	3.0	-1.0
PF.3	-0.2	-0.8
PF.4	-3.9	-0.9

Die graphisch dargestellten Restfehler geben dann das folgende Bild und können mit einem einfach berechneten Konfidenzintervall ($2*m_F$) verglichen werden:

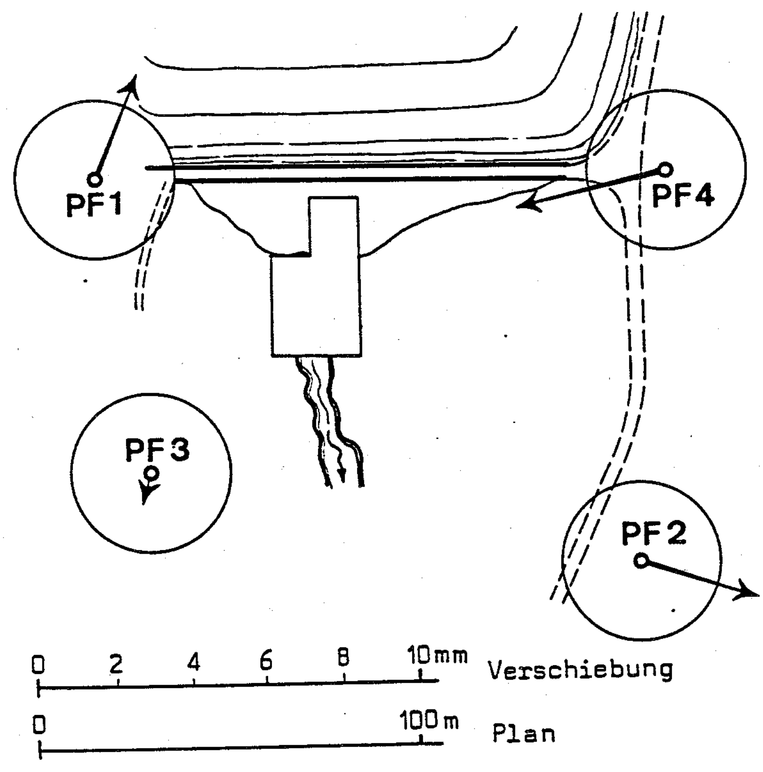


Fig.1 Restfehler bei der üblichen Helmerttransformation

Es ist leicht feststellbar, dass die 2 Netze (1973 und 1979) nicht gut zusammenpassen. Es ist aber nicht sofort ersichtlich, ob nur ein Punkt eine starke Abweichung aufweist oder mehrere Punkte ihre Lage geändert haben.

b) Die robuste Transformation
Die gleiche Transformation mit 4 Parametern wurde dann robust mit k = 2.0 berechnet, um die Wirkung auf die Resultate zu zeigen. Die robuste Transformation führt in einem Rechenschritt zu folgenden Restfehlern:

AEHNLICHKEITSTRANSFORMATION REMPEN
ROBUSTE TRANSFORMATION (MIT K = 2.0)

PASSPUNKTE UND VERBESSERUNGEN

PASSPUNKT	VY [mm]	VX [mm]
PF.1	0.6	1.8
PF.2	1.7	-0.0
PF.3	-0.3	-0.9
PF.4	-5.9	-0.9

Das graphische Bild zeigt, dass die Lageänderung von Pfeiler 4 sehr wahrscheinlich die Ursache der Unstimmigkeit ist.

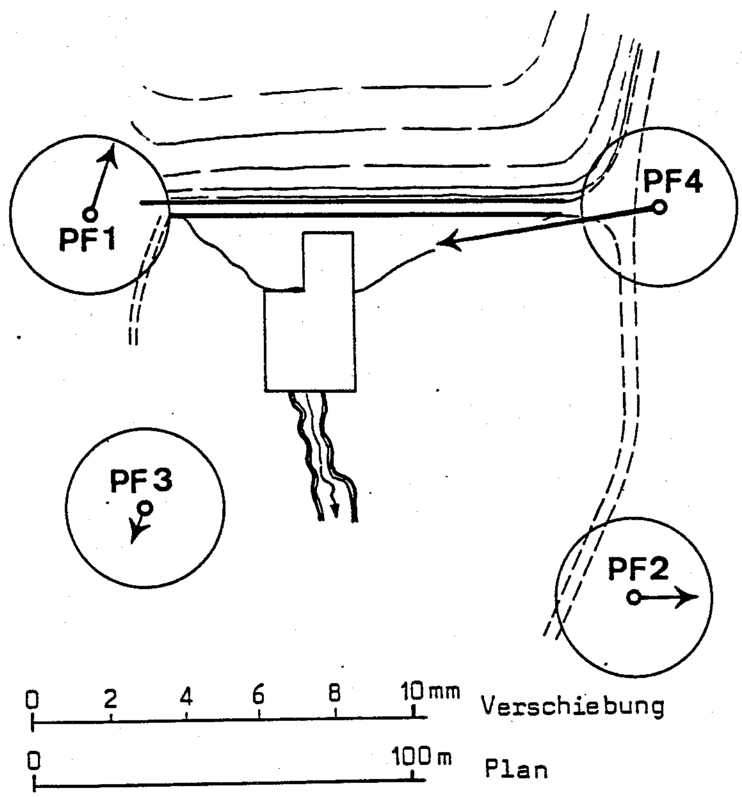


Fig.2 Restfehler bei der robusten Transformation (k = 2)

Der Einsatz in grösseren Netzen mit mehreren Passpunkten und im Verhältnis weniger häufigen Abweichungen (z.B. nur 10% der Passpunkte falsch) führt zu noch besseren und leichter interpretierbaren Resultaten.

3 Interpolation nach dem arithmetischen Mittel

3.1 Allgemeines

Die Landestriangulation wird etappenweise aufgebaut: Neue Netze werden in die bestehende Triangulation höherer Ordnung eingeführt und müssen mit den älteren Nachbaroperaten verbunden werden. Das Problem der Anpassung wurde bis jetzt durch Einzwängen des Netzes bei der Ausgleichung gelöst: Die Koordinaten aller Punkte der übergeordneten Netze wurden als fest betrachtet. Diese Lösung hat sich in der Praxis durchgesetzt, da sie weniger Rechenaufwand erfordert als alle Alternativmöglichkeiten. Im Zeitalter des Computers wird der Rechenaufwand immer unbedeutender, sodass die Suche nach besseren Wegen hochaktuell ist.

Das Einzwängen der Netze führt zu befriedigenden Resultaten, wenn die als fest angenommenen Punkte tatsächlich mit den Messungen der Ausgleichung übereinstimmen oder beim Vorhandensein einiger Zwänge, wenn das eingezwängte Netz sehr homogen ist und somit eine regelmässige Verteilung der Widersprüche entsteht. Da in der Praxis diese Bedingungen nicht leicht einzuhalten sind, haben explizite Interpolationsverfahren im letzten Jahrzehnt an Bedeutung gewonnen, weil sie die Restzwänge unabhängig vom Netzaufbau regelmässig verteilen /2/.

3.2 Anwendungen in der Landestriangulation

Die häufigste Applikation ist die Einpassung neuer Triangulationsnetze in das bestehende Fixpunktsystem. Das neue Netz (lokales System) ist mit den heutigen genauen Messgeräten gemessen und zwangsfrei ausgeglichen, die Ungenauigkeiten betragen daher wenige (1-2) cm. Die Fixpunkte (globales System) hingegen sind eine Erbschaft aus der Vergangenheit und enthalten oft örtliche systematische Fehler (im Dezimeterbereich); sie dürfen aber oft aus organisatorischen und wirtschaftlichen Gründen nicht geändert werden.

Die Fixpunktfehler sind fest und bekannt, da sie mit Hilfe des praktisch fehlerfreien neuen Netzes ermittelt werden können. Man darf sie daher nicht als stochastische Grössen interpretieren.

Für die Einpassung des lokalen Netzes in das globale spielen dann nur die funktionalen Eigenschaften der Interpolationsmethode eine Rolle. Die Interpolationsmethode sollte die folgenden Bedingungen einhalten:

- die interpolierten Passpunkte müssen die Sollkoordinaten (Globalkoordinaten) behalten

- die Zwischenpunkte müssen möglichst homogen und ohne Überkorrekturen interpoliert werden

- die Berechnung muss möglichst schnell und preisgünstig durchgeführt werden können

- die Modellparameter sollten eine möglichst anschauliche Bedeutung haben

Die meisten vorhandenen Interpolationsprogramme halten die obenerwähnten Bedingungen nicht ein, da sie von einer eher statistischen Modellvorstellung ausgehen (s. z.B. /4, 6, 10, 11, 14/).

Das Programm TRANSINT enthält ein einfaches Verfahren, die sogenannte Interpolation nach dem arithmetischen Mittel, die die gewünschten Eigenschaften aufweist.

3.3 Das mathematische Modell

3.3.1 **Das Problem**

Wenn ein neues Netz mit zahlreichen Punkten zwangsfrei ausgeglichen wird, erhalten die Netzpunkte im Koordinatensystem der Berechnung (lokales System) neue Koordinaten. Um das neue Netz in eine bestehende Triangulation einzupassen, werden geeignete Punkte festgelegt, von denen man die Koordinaten in der bestehenden Triangulation (globales System) bereits kennt und, meist aus wirtschaftlichen Gründen, unverändert behalten will. Diese Punkte werden Passpunkte genannt. Da für die Passpunkte lokale und globale Koordinaten vorliegen, sind die entsprechenden Inkremente DX und DY, für welche

$$Y_{lok} + DY = Y_{gl}$$
$$X_{lok} + DX = X_{gl} \qquad (10)$$

gilt, mit den folgenden Formeln direkt berechenbar:

$$DY = Y_{gl} - Y_{lok}$$
$$DX = X_{gl} - X_{lok} \qquad (11)$$

Die Interpolationsfunktion berechnet darauf von den Inkrementen der Passpunkte ausgehend passende Korrekturen DY, DX auch für die anderen Punkte des lokalen Netzes und liefert dann ihre gesuchten Globalkoordinaten.

3.3.2 **Die Wahl der Interpolationsfunktion**

Man kann die Interpolationsfunktion für die vorgesehenen Applikationen weitgehend frei aufbauen, wie in Punkt 3.2 erklärt wurde. Nur die vier dort erwähnten Bedingungen sollen eingehalten werden. Es ist daher zweckmässig mit ganz einfachen Funktionen zu beginnen, um dann durch sukzessive Verbesserungen zu einer voll befriedigenden Interpolationsfunktion zu gelangen. Bereits das allgemeine arithmethische Mittel

$$DY_p = \frac{\sum p_i * DY_i}{\sum p_i} \qquad (12)$$

$$DX_p = \frac{\sum p_i * DX_i}{\sum p_i}$$

liefert bei einem geeigneten Gewichtseinsatz wie z.B.

$$p_i = \frac{1}{d_i^2} \qquad (13)$$

gute Koordinaten für die interpolierten Punkte und befriedigt die gestellten Bedingungen, wenn die Passpunktdichte ungefähr konstant ist (d_i ist die Distanz zwischen Neupunkt und i-tem Passpunkt) und wenn die Lokal- und Globalkoordinaten sich wertmässig nur wenig unterscheiden. Falls die zwei Koordinatensysteme stark voneinander abweichen, kann man sie mit einer Helmert-Transformation vorgängig anpassen.

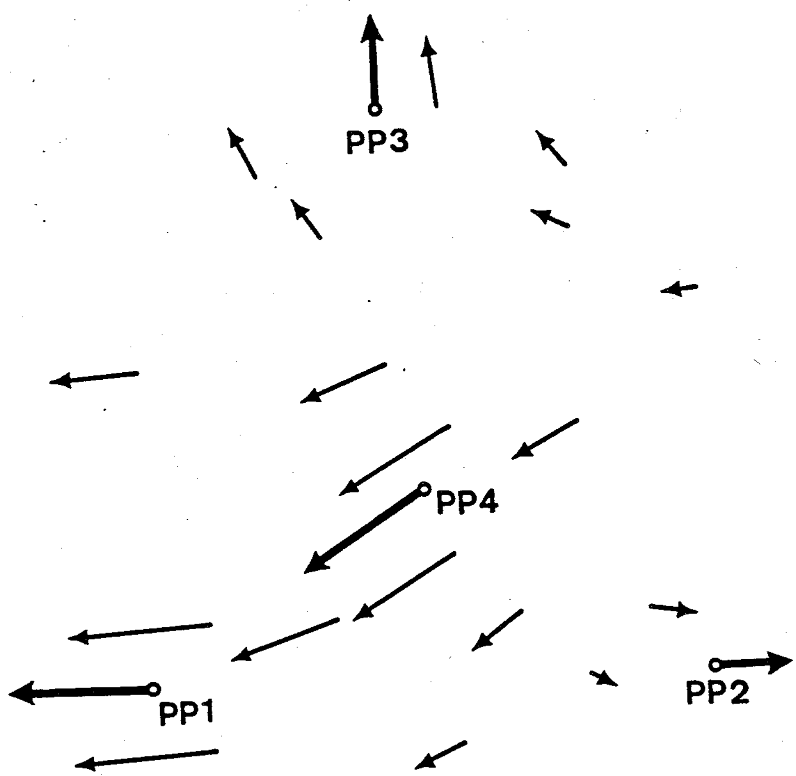


Fig.3 Gegebene Inkremente für die Passpunkte und interpolierte Werte für die Zwischenpunkte

Das allgemeine arithmetische Mittel kann wie eine vermittelnde Ausgleichung in Matrizenform dargestellt werden:

$$\begin{aligned} DY_p &= (A^T PA)^{-1} * A^T P*DY \\ DX_p &= (A^T PA)^{-1} * A^T P*DX \end{aligned} \tag{14}$$

wo $A^T = (1, 1, \ldots\ldots 1)$ ein Vektor mit Einheitskomponenten,
P die Diagonalmatrix der Gewichte und
DY bzw. DX die Vektoren der Inkremente aller Passpunkte sind.

Ein Schönheitsfehler entsteht, wenn mehrere Passpunkte sich an einem Ort treffen (z.B. wenn mehrere Exzentren vorliegen). Diese mehrfachen Passpunkte würden dann ein Übergewicht bekommen und die Homogenität der Interpolation stören. Um dies auch zu berücksichtigen, kann man eine Korrelationsmatrix R zwischen den Passpunkten einführen:

$$R = \begin{vmatrix} r_{11} & r_{12} & \ldots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \ldots & r_{2n} \\ r_{n1} & r_{n2} & \ldots & r_{nn} \end{vmatrix} \tag{15}$$

Zur Berechnung der einzelnen Korrelationskoeffizienten r_{ij} wurden zahlreiche Netze untersucht, um eine geeignete Korrelationsfunktion zu bilden. Die folgende Formel hat sich als gute Näherung für die üblichen Applikationen erwiesen:

$$r_{ij} = 0.9 * e^{-\ln (1.8)(d_{ij}/d_0)^2} \tag{16}$$

wobei d_{ij} die Distanz zwischen dem i-ten und j-ten Passpunkt und die Konstante d_0 die Distanz zwischen zwei Passpunkten ist, für welche die Korrelation r = 0.5 gesetzt wird. Aus der Formel können die Werte der folgenden Tabelle berechnet werden, die das Varieren der Korrelation in Funktion der Distanz zeigen:

d_{ij}/d_0	r_{ij}
0	0.90
0.5	0.78
1	0.50
2	0.09
3	0.005
4	0.0001

Da in Triangulationsnetzen mit Maschenweite = d_0 in der Praxis festgestellt werden kann, dass die Werte der Tabelle eine recht gute Näherung für die Korrelation zwischen den ausgeglichenen Koordinaten darstellen, bekommt der Parameter d_0 eine anschauliche Bedeutung. Er kann als mittlere Maschenweite der Netze angesehen werden, aus welchen die Passpunkte ursprünglich bestimmt wurden.

Selbstverständlich gilt diese Bedeutung nur unter der Voraussetzung, dass die Herkunftsnetze keine wesentlichen systematischen Fehler enthalten, was z.B. bei neuen Netzen der Fall ist. Bei der Interpolation von neuen Triangulationen in alten, systematisch verfälschten Fixpunktnetzen muss d_0 einfach als Distanz zwischen den Passpunkten gelten, bei welchen die Korrelation 0.5 ist. Sie muss empirisch durch die Betrachtung der graphischen Darstellung der Koordinatenänderungen der Passpunkte bestimmt werden. d_0 wird dann so klein gewählt, dass d_0 entfernte oder nähere Passpunkte tatsächlich sehr ähnliche Änderungsvektoren aufweisen. Ganz unterschiedliche Änderungsvektoren dürfen nur zwischen Passpunkten, die mehr als $2 * d_0$ voneinander entfernt sind, auftreten.

Die Korrelationsmatrix ist nach der Festlegung von d_0 bestimmt und daraus berechnet man aus /17/ die entsprechende vollständige Gewichtsmatrix:

$$P = P_d^{1/2} * R^{-1} * P_d^{1/2} \quad (17)$$

P_d ist die Diagonalmatrix der Gewichte, die für das allgemeine arithmetische Mittel verwendet wurde.

Die Matrizenformeln des allgemeinen arithmetischen Mittels (14) können für diese allgemeinere Lösung unverändert übernommen werden:

$$\begin{aligned} DY_p &= (A^T PA)^{-1} * A^T P * DY \\ DX_p &= (A^T PA)^{-1} * A^T P * DX \end{aligned} \quad (18)$$

Zu bemerken ist nur, dass im vorliegenden Fall die Matrix P keine Diagonalmatrix mehr ist.

Die gesuchten Korrekturen für die interpolierten Punkte sind, wie aus der Formel (18) ersichtlich ist, lineare Funktionen der Koordinateninkremente der Passpunkte, d.h.:

$$\begin{aligned} DY_p &= c_1 * dy_1 + c_2 * dy_2 + \ldots + c_n * dy_n \\ DX_p &= c_1 * dx_1 + c_2 * dx_2 + \ldots + c_n * dx_n \end{aligned} \quad (19)$$

in jedem Fall mit $\sum c_i = 1$

Die Koeffizienten c_i sind in der Regel, wie es auch sinnvoll ist, positiv und führen daher zu keinen Überkorrekturen. Nur in Spezialfällen, wenn man stark korrelierte Passpunkte sehr unterschiedlich gewichtet, werden einige c_i negativ. Um dies zu vermeiden, werden die dazugehörigen Passpunkte bei der Interpolation nicht berücksichtigt. Die übrigen c_i erhalten, nach Neubildung der inversen Korrelationsmatrix und anschliessender Neuberechnung, die gewünschten positiven Werte ($c_i \geq 0$). So bleiben auch in extremen Fällen die geforderten funktionalen Eigenschaften der Interpolation erhalten.

3.4 Die numerische Lösung

Die numerische Lösung, die für die Programmierung gewählt wurde, ist relativ einfach, sodass hier nur in Stichworten die Reihenfolge der Operationen angegeben wird.

a) Nur einmal für die ganze Interpolation
- Bilden der Korrelationsmatrix gemäss Formel (16)
- Inversion der Korrelationsmatrix
- Bilden der Vektoren der Passpunktinkremente (DY und DX) für Y und X getrennt aus Formel (10)

b) Für jeden zu interpolierenden Punkt
- Bilden des Gewichtsvektors P_d gemäss Formel (13)
- Berechnen des Vektors C aus

$$P = P_d^{1/2} * R^{-1} * P_d^{1/2} \quad \text{und} \qquad C = (A^T PA)^{-1} * A^T P$$

- Prüfen, ob kein c_i negativ ist. Wenn mindestens ein c_i negativ ist, wird für den Passpunkt, bei welchem c_i am kleinsten ist, das Gewicht auf Null gesetzt und die Inverse der Korrelationsmatrix durch einen Austauschschritt (/15/) entsprechend reduziert. Das Verfahren wird wiederholt, bis alle c_i die Bedingung $c_i \geq 0$ erfüllen. Dann folgt die Berechnung von

$$DY_p = C^T * DY \qquad \text{und} \qquad DX_p = C^T * DX$$

4 Das Programm TRANSINT

Geometrische Transformationen und Interpolationen sind organisatorisch sehr ähnliche Verfahren, sodass es zweckmässig schien, beide Operationen in einem einzigen Programm zu kombinieren. Es wird so möglich sein, eine Ähnlichkeitstransformation oder eine Interpolation oder beide Berechnungen hintereinander, einfach durch entsprechende Angaben in den Programmoptionen, auszuführen.

Die genauen Angaben für die Programmbedienung sind der Benützeranleitung zu entnehmen. Die Einfachheit des Modells erlaubt, die Anzahl der erforderlichen Erklärungen auf ein Minimum zu reduzieren. Gemeinsame Eingabedaten sind lediglich:

- das File der Globalkoordinaten (Passpunkte)
- das File der Lokalkoordinaten (Passpunkte und Neupunkte)
- die Liste der Passpunkte

Die Berechnung erfolgt dann vollautomatisch, und es wird ein File der transformierten oder interpolierten Punkte erzeugt zur Weiterverwendung in anderen Computerprogrammen. Ein Papierausdruck mit den notwendigen Angaben wird ebenfalls bereitgestellt.

Für die Ähnlichkeitstransformation sind zusätzlich einige Modellparameter anzugeben. Die wichtigsten:

- Anzahl Unbekannte (um zu wählen zwischen Translation, Translation-Rotation und Helmert-Transformation)
- Die Transformationsparameter, wenn man sie vorgeben will, sonst werden sie durch Ausgleichung berechnet (Normalfall)
- Der Parameter k für die robuste Ausgleichung (für k = 0, was anstelle von k --> ∞ zu setzen ist, wird eine gewöhnliche Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate durchgeführt)

Für die Interpolation wird ein einziger Modellparameter benötigt: Die Netzmaschenweite d_0 des globalen Netzes (für neue LFP1-Netze ca. 3000 - 5000 m, für LFP2-Netze ca. 500 - 1000 m, für LFP3-Netze 50 - 100 m usw.), welche bei der Bildung der Korrelationsmatrix verwendet wird (Formel (16)).

5 Literatur

/1/ Carosio A.: Robuste Ausgleichung. VPK 11-1979.

/2/ Carosio A.: Anwendung von Interpolationsverfahren in der Landestriangulation. VPK 10-1980.

/3/ Conzett R.: Fehlertheorie und Ausgleichungsrechnung. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1976 (Vorlesung).

/4/ Engelhardt H.: Die Überführung der Soldner-Koordinaten in das Gauss-Krüger-Koordinatensystem. Karlsruhe.

/5/ Grossmann W.: Grundzüge der Ausgleichungsrechnung. Springer, Berlin, 1969.

/6/ Hein G.W. et K. Lenze: Zur Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit verschiedener Interpolations- und Prädiktionsmethoden. ZfV 11-1979.

/7/ Huber P.J.: Robust Estimation of a Location Parameter. Ann. Math. Statist., 1964.

/8/ Huber P.J.: Robust Estimation. Zeitschr. für Wahrscheinlichkeitstheorie und Verw. Gebiete, 10-1968

/9/ Huber P.J.: Robust Regression: Asymptotics, conjectures and Monte Carlo. Ann. Math. Statist., 1/5, 1973

/10/ Kraus K.: Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie. ZfV 9-1970.

/11/ Kraus K.: Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie. Bildmessung und Luftbildwesen 1-1972.

/12/ Kraus K.: QUINT Programmbeschreibung. Stuttgart, 1972.

/13/ Linkwitz K.: Über die Systematik verschiedener Formeln der Ausgleichungsrechnung. ZfV 5-1960.

/14/ Schneider D.: QUINT Programmbeschreibung (Version L+T). Bulletin des RZ-Landestopographie Nr. 2, 1979.

/15/ Stiefel E.: Einführung in die numerische Mathematik. Teubner, Stuttgart, 1963.

/16/ Walter M.: Compensation d'observations médiates par la méthode robuste. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Bericht Nr. 37, 1980.

/17/ Wolf H.: Ausgleichungsrechnung. Dümmler, Bonn, 1975.

/18/ Schaub E.: Benützeranleitung TRANSINT. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich, Juni 1992

TRANSINT

6 Benützeranleitung

(D. Dufour, August 1992)

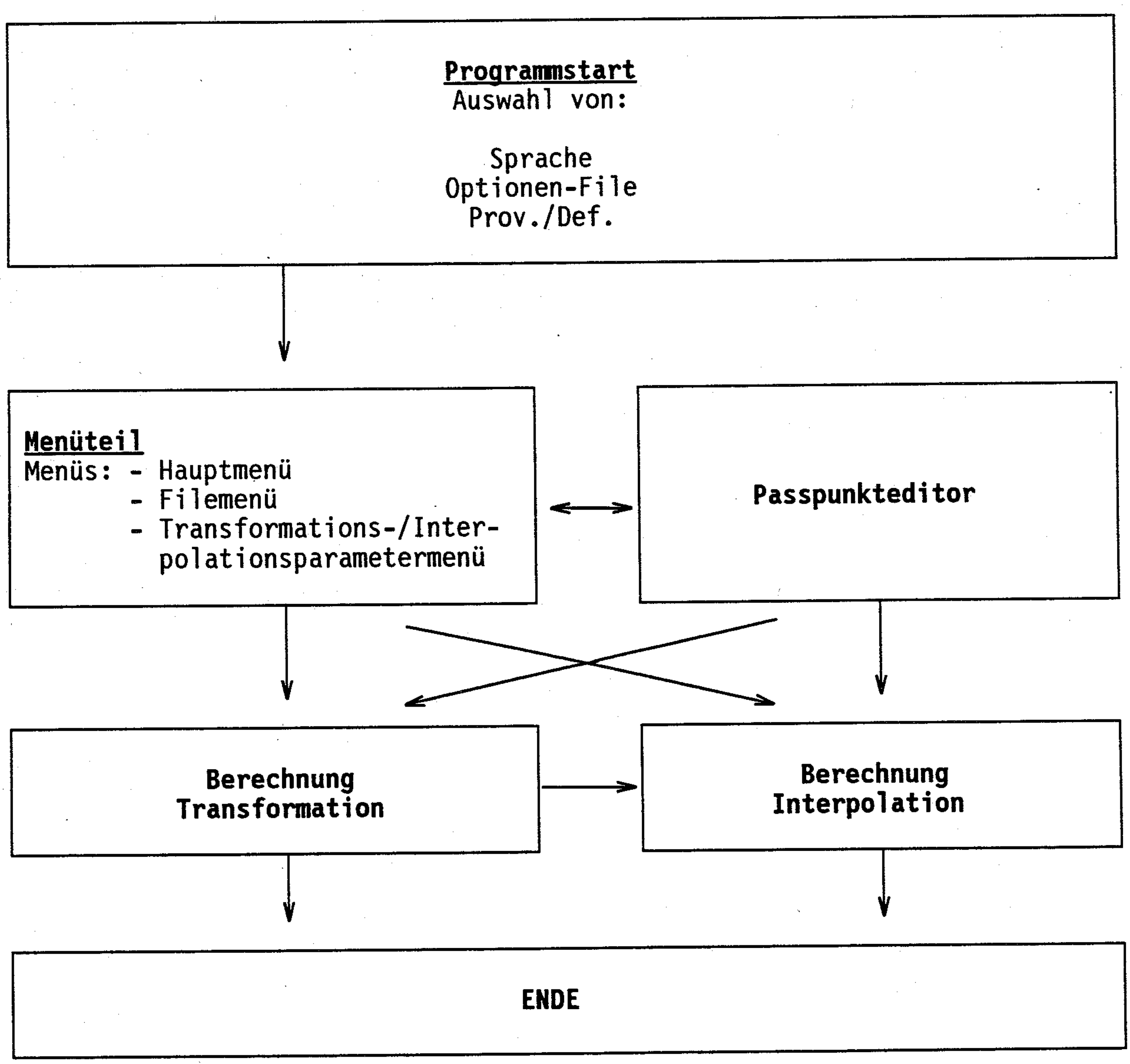
6.1 Einführung / Programmgliederung

TRANSINT (TRANSformation-INTerpolation) ist das überarbeitete Programm für die Ausführung geometrischer Transformationen von Punktefeldern.

Das Programm TRANSINT kann in fünf Teile gegliedert werden:

- Grundeinstellungen
- Menüteil
- Passpunkteditor
- Transformation
- Interpolation

Graphisch kann diese Gliederung wie folgt dargestellt werden:



6.2 Programmaufruf

Der Programmaufruf lautet:

TRANSINT

Die alten Aufrufe wie ***TRANSINT 'filename'*** und ***TRANSINT 'filename' ALT*** werden aus Gründen der Portierbarkeit des Programmcodes auf die verschiedenen Rechnerplattformen nicht mehr unterstützt.

6.3 Grundeinstellungen

Der neugestaltete Menüteil benötigt im Falle des Programmes TRANSINT einige Grundeinstellungen. Es handelt sich insbesondere um die Dialogsprache, den Namen des lokalen Optionenfiles und der Art der Behandlungen der Veränderungen der Optionen (provisorisch oder definitiv).

Nach dem Programmaufruf erscheint folgender Titel am Bildschirm:

```
                    TRANSINT Version 92.3.1 - PRIME
INITIALIZE OPTIONS                                        24/08/92 12:38
-------------------------------------------------------------------------



NNNNNNNN NNNNNNN    NNNNN   N      NN  NNNNNN  NN N      NN NNNNNNNN
   NN    NN    NN NN     NN NN     NN NN    NN NN NN     NN    NN
   NN    NN    NN NN     NN NNNN   NN NN       NN NNNN   NN    NN
   NN    NNNNNNN  NNNNNNNNN NN NN  NN  NNNNNN  NN NN NN  NN    NN
   NN    NN NN    NN     NN NN  NN NN       NN NN NN  NN NN    NN
   NN    NN   NN  NN     NN NN   NNN NN    NN NN NN   NNN    NN
   NN    NN    NN NN     NN NN     N  NNNNNN  NN NN     N    NN

           (c) 1992,  Bundesamt fuer Landestopographie



-------------------------------------------------------------------------
 welche Sprache  <d>, <f> ?  >d<
-------------------------------------------------------------------------
```

Alle Eingaben werden, durch den ganzen Menüteil hindurch, auf der untersten Zeile, der sogenannten Eingabezeile, gemacht. Dies gilt auch für die PC-Version. Der Cursor positioniert sich immer an den Ort, an dem die Eingabe zu machen ist. Es ist nicht möglich, den Cursor auf dem Schirm zu bewegen.
Zum Teil steht an der Position des Cursors bereits ein Wert. Dieser kann, ohne ihn neu eingeben zu müssen, übernommen werden. Es reicht in diesem Fall, ein <RETURN> einzugeben.

6.3.1 Sprachauswahl

Als erste Grundeinstellung wird die Dialogsprache abgefragt. Die Abfrage erscheint in der Sprache, in der das Programm zuletzt im gleichen Verzeichnis verwendet wurde. Je nachdem welche Menüfiles installiert sind, kann mit ***d*** , ***f*** , ***i*** oder ***e*** der Dialog auf deutsch, französisch, italienisch oder englisch geführt werden. Das Programm erkennt selbständig, welche Sprachfiles installiert sind und gibt nur diese zur Auswahl. Ist also nur ein Menüfile installiert, so wird die Sprache **nicht** abgefragt und das Programm startet automatisch in der entsprechenden Sprache.

6.3.2 Lokales Optionenfile

Als zweite Grundeinstellung wird der Name eines eventuellen lokalen Optionenfiles abgefragt. Dazu wird die Eingabezeile wie folgt geändert:

```
--------------------------------------------------------------------------------
Name des lokalen Optionen-Files (ohne Extension) ? >        <
--------------------------------------------------------------------------------
```

Mit dem neuen Menüteil ist es nämlich nun möglich, mehrere verschiedene Optionenfiles im gleiche Verzeichnis zu haben. Wird kein Filename angegeben, so arbeitet TRANSINT mit dem Standardfile **TRANSINT.OPT**. Der Filename (ohne Extension) darf maximal 8 Zeichen umfassen und muss den üblichen Konventionen für Filenamen auf dem entsprechenden Computersystem entsprechen. Dem Namen wird in jedem Fall die Extension **.OPT** angehängt. In diesem File werden die Parametereinstellungen gespeichert.

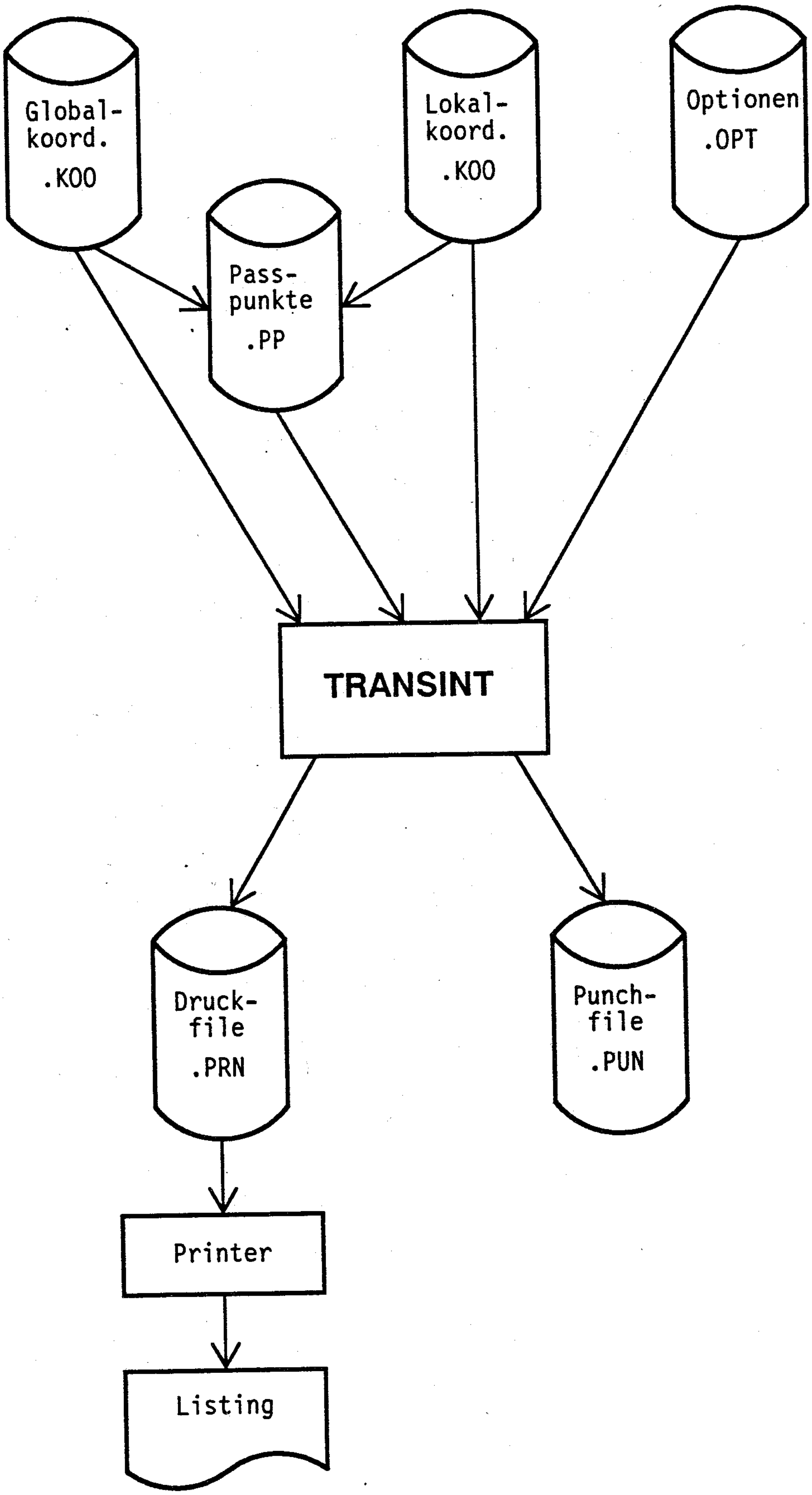
6.3.3 Definitive oder provisorische Parametereinstellungen

Es ist möglich die Parameter nur momentan abzuändern, um beispielsweise eine Variantenberechnung zu machen, ohne danach die ursprüngliche Einstellung wieder herstellen zu müssen. Dazu wird die Eingabezeile wie folgt geändert:

```
--------------------------------------------------------------------------------
Optionen definitiv oder provis. (<d>, <p>) ?   >d<
--------------------------------------------------------------------------------
```

Mit **d** (definitiv) oder **p** (provisorisch) kann diese Grundeinstellung hier vorgenommen werden.
Es ist zu beachten, dass es sich hier nur um die Parameter in den Optionenmenüs handelt und nicht um das Passpunktefile. Dieses wird nach einer Änderung **immer** neu abgespeichert, **wenn** die Berechnung gestartet wird oder das Programm mit **FILE** abgebrochen wird. Die Änderungen werden hingegen nicht abgespeichert, wenn das Programm mit **QUIT** abgebrochen wird.

6.4 Datenfluss



6.5 Die Optionen

6.5.1 Allgemeines

Auf dem folgenden Menüschirm können wir fünf Teile unterscheiden:

- einen Titelteil (normal dargestellt)
- einen Erklärungsteil mit Anwählsequenz (**fett dargestellt**)
- einen Teil mit den eingestellten Optionen (*kursiv dargestellt*)
- einen Teil der weitere Optionen beinhaltet (***fett/kursiv dargest.***)
- und einen Eingabeteil. (normal dargestellt)

```
                      TRANSINT Version 92.3.1 - PRIME
MENÜ 1 : F I L E  -  M E N Ü                                    24/08/92 12:38
------------------------------------------------------------------------------
--- INPUT / OUTPUT ---
<1>  Name des GLOBALEN Koordinaten-Files: BEISPIEL.KOO
<2>  Name des LOKALEN  Koordinaten-Files: BSPLOK.KOO
<3>  Name des Passpunkte-Files          : TRANSINT.PP
<4>  Name des Print-Files (Listing)     : TRANSINT.PRN
<5>  Name des Punch-Files              : TRANSINT.PUN
<6>  Max. Anzahl Zeilen/Seite in <4>    : 42

--- HAUPT-PARAMETER ---
<7>  Koordinatenrundung [Stellen]       : 3
<8>  Mittlerer Fehler Globalkoordinaten : 0.
<9>  Mittlerer Fehler Lokalkoordinaten  : 10.
<10> Punktidentifikation [NORMAL/neu]   : NORMAL
<11> Namenabkürzungen ?         [ja/NEIN]: NEIN
------------------------------------------------------------------------------
 Weitere Befehle :   <X> | <Q> | <F> | <N> | <P> | <M> | <E> | <?x> |
------------------------------------------------------------------------------
 Waehle :
------------------------------------------------------------------------------
```

Der Titelteil beinhaltet den Programmnamen und die Versionsnummer, die Menünummer und den Menünamen sowie das Datum und die aktuelle Zeit.

Der Erklärungsteil beinhaltet eine kurze Erklärung jeder einzelnen Option sowie ganz links zwischen <> die **Anwählsequenz**, um der Entsprechenden Option einen neuen Wert zuzuweisen.

Der Optionswerteteil befindet sich rechts vom Erklärungsteil und beinhaltet zu jeder Zeit die eingestellten Werte.

Der Teil für **Weitere Befehle** beinhaltet Befehle, die in allen Programmen (TRANSINT, KOORDIFF usw.) die gleiche Bedeutung besitzen:

<X>	Starten der Berechnung	(e**X**ecute)
<Q>	Programm abbrechen	(**Q**uit)
<N>	Nächstes Menü aufrufen	(**N**ext menu)
<P>	Vorhergehendes Menü aufrufen	(**P**revious menu)
<M>	Hauptmenü aufrufen	(**M**ain menu)
<E>	Passpunkteditor aufrufen	(**E**dit)
<?i>	Hilfe zur Option i aufrufen	(**i** = Anwählsequenz)
<$a>	Systembefehl absetzen	(**a** = Betriebssystem-Befehl)

Mit $ kann z.B. ein *LD* (PRIME), *DIR* (PC) oder *ls* (UNIX) gemacht werden. Nachdem der Befehl ausgeführt wurde, wird das Menü wieder angezeigt.

Der Eingabeteil dient zur Eingabe von Anwählsequenzen und Optionswerten.

6.5.2 **Eingeben / ändern einzelner Optionen**

Um einer Option einen (neuen) Wert zuzuweisen, muss zuerst auf der Eingabezeile (Aufforderung **Waehle :**) die entsprechende Anwählsequenz eingegeben werden. Nach dem <RETURN> erscheint auf der Eingabezeile ein Text, welcher zur Eingabe der entsprechenden Werte auffordert. Oft ist dieser Text identisch mit dem Text im Erklärungsteil. Er kann aber unter Umständen auch weitere Informationen enthalten, z.B. über den Wertebereich. Die Eingabe wird wie immer mit einem <RETURN> abgeschlossen. In diesem Moment wird der Wert an die entsprechende Position im Optionswerteteil geschrieben und der Eingabeteil wird wieder gelöscht, d.h. in seine Normalform (Waehle :) zurückgeführt.

Gewisse Eingaben, z.B. nicht zugelassene Filenamen, werden direkt bei der Eingabe erkannt. Anstatt den Wert in den Optionswerteteil aufzunehmen erscheint unterhalb des Eingabeteils eine Fehlermeldung und der Wert muss nochmals eingegeben werden.

Wird der Menüteil mit **X** oder **E** verlassen, so werden die Optionswerte auf ihre Plausibilität überprüft. Werden Fehler erkannt, so wird das entsprechende Menü nochmals angezeigt und die fehlerhafte Option wird optisch hervorgehoben. Am unteren Bildschirmrand erscheint eine Fehlermeldung, die den Anwender über den aufgetretenen Fehler informiert. Die Option muss nun nochmals eingegeben werden. Erst wenn alle Optionen plausible Werte enthalten, arbeitet das Programm weiter.

6.5.3 **Hilfefunktion des Menüteils**

Das Programm TRANSINT enthält ausgebaute Hilfefunktionen. Mit dem Befehl **?i** kann zu jeder Option Hilfe verlangt werden (mit **i** wird die Anwählsequenz der Option verstanden). Wird für eine bestimmte Option Hilfe angefordert, so wird der Bildschirm gelöscht und der Hilfetext angezeigt. Am untern Bildschirmrand erscheint folgende Eingabezeile:

```
-----------------------------------------------------------------------------
 ====>>  weiter mit <U>p, <D>own, <Q>uit          >d<
-----------------------------------------------------------------------------
```

Je nachdem wie lange der Hilfetext ist und ob man sich auf der ersten oder letzten Seite befindet, wird nur **<D>own**, **<Q>uit**, oder **<U>p**, **<Q>uit**, oder nur **<Q>uit** angezeigt. Aus dem Hilfetext kann nichts ausgewählt werden. Er dient lediglich als Erklärung für eine gewisse Option.

6.6 Bedeutung der einzelnen Optionen

6.6.1 Das HAUPTMENÜ

Im Hauptmenü wird lediglich ausgewählt, welche Art von Berechnung (Transformation und/oder Interpolation) durchgeführt werden soll.

```
                          TRANSINT Version 92.3.1 - PRIME
MENÜ 0 : H A U P T  -  M E N Ü                               24/08/92 12:38
-----------------------------------------------------------------------------


<1>  Hauptparameter + INPUT/OUTPUT-Files ...
<2>  Transformation / Iterpolation ...

<3>  Transformation berechnen? [JA/nein]: JA
<4>  Interpolation  berechnen? [ja/NEIN]: NEIN

<E>  Punkteditor aufrufen
<X>  TRANSINT starten
<Q>  QUIT (Programm abbrechen ohne save)
<F>  FILE (Programm abbrechen MIT  save)

<?> oder <?i> Hilfe zu Option i


-----------------------------------------------------------------------------
 Waehle :  1
-----------------------------------------------------------------------------
```

<1> Hauptparameter + INPUT/OUTPUT-Files ...
Aufruf des Menü 1, wo die Hauptparameter und die Eingabe- und Ausgabefilenamen angegeben werden. Die drei Punkte am Schluss zeigen an, dass hinter diesem Menüpunkt wieder ein ganzer Menüschrim versteckt ist.

<2> Transformation / Iterpolation ...
Aufruf des Menü 2, wo die Parameter für die Transformation und die Interpolation eingegeben werden können.

<3> Transformation berechnen? [JA/nein]:
Standardwert: JA
Abfrage, ob die Transformation durchgeführt werden soll.

<4> Interpolation berechnen? [ja/NEIN]:
Standardwert: NEIN
Abfrage, ob die Interpolation durchgeführt werden soll.

<E> Punkteditor aufrufen
Ruft den Passpunkteditor auf.

<X> TRANSINT starten
Startet TRANSINT ohne den Passpunkteditor aufzurufen.

<Q> QUIT (Programm abbrechen ohne save)
Programm TRANSINT verlassen, ohne die Änderungen abzuspeichern. Es wird keine Verarbeitung durchgeführt.

<F> FILE (Programm abbrechen MIT save)
Programm TRANSINT verlassen und die Änderungen abspeichern. Es wird keine Verarbeitung durchgeführt.

<?> oder <?i> Hilfe zu Option i
Mit <?> wird generelle Hilfe zum Arbeiten mit den Optionen gegeben.
Mit <?i> wird Hilfe zur Option i gegeben.

6.6.2 Das FILEMENÜ

```
                       TRANSINT Version 92.3.1 - PRIME
MENÜ 1 : F I L E  -  M E N Ü                                 24/08/92 12:39
-----------------------------------------------------------------------------
--- INPUT / OUTPUT ---
<1>  Name des GLOBALEN Koordinaten-Files:
<2>  Name des LOKALEN  Koordinaten-Files:
<3>  Name des Passpunkte-Files          : TRANSINT.PP
<4>  Name des Print-Files (Listing)     : TRANSINT.PRN
<5>  Name des Punch-Files               : TRANSINT.PUN
<6>  Max. Anzahl Zeilen/Seite in <4>    : 42

--- HAUPT-PARAMETER ---
<7>  Koordinatenrundung [Stellen]       : 3
<8>  Mittlerer Fehler Globalkoordinaten : 0.0
<9>  Mittlerer Fehler Lokalkoordinaten  : 10.0
<10> Punktidentifikation [NORMAL/neu]   : NORMAL
<11> Namenabkürzungen ?         [ja/NEIN]: NEIN
-----------------------------------------------------------------------------
 Weitere Befehle :   <X> | <Q> | <F> | <N> | <P> | <M> | <E> | <?i> |
-----------------------------------------------------------------------------
 Waehle :
-----------------------------------------------------------------------------
```

<1> Name des GLOBALEN Koordinaten-Files:
Kein Standardwert
In diesem File müssen die globalen Koordinaten vorliegen. Ist das File noch im alten Koordinaten-Format, muss die Zusatzoption **-A**, vom Filenamen durch einen Leerschlag getrennt, hinzugefügt werden.

<2> Name des LOKALEN Koordinaten-Files:
Kein Standardwert
In diesem File müssen die lokalen Koordinaten vorliegen. Ist das File noch im alten Koordinaten-Format, muss die Zusatzoption **-A**, vom Filenamen durch einen Leerschlag getrennt, hinzugefügt werden.

<3> Name des Passpunkte-Files :
Standardwert: TRANSINT.PP
In diesem File liegen die Passpunkte vor. Wurde die Passpunktliste noch nicht gebildet, muss sie mit dem Passpunkteditor generiert werden (Kapitel 6.7). Sie wird anschliessend in diesem File abgelegt.

<4> Name des Print-Files :
Standardwert: TRANSINT.PRN
In diesem File werden die Resultate aufbereitet. Das File beinhaltet Seitensteuerungsbefehle (sog. FORTRAN-Steuerzeichen) und muss entsprechend ausgedruckt werden. Auf PRIME und PC lautet der Befehl **PRINT filename.**

<5> Name des Punch-Files :
Standardwert: TRANSINT.PUN
Das Punchfile ist ein Koordinatenfile und liegt immer im neuen Punktformat vor. Es beinhaltet die transformierten Koordinaten mit allen Zusatzinformationen, wie sie im Inputfile der lokalen Punkte stehen, falls dieses File im neuen Format vorliegt.

<6> **Max. Anzahl Zeilen/Seite in <4> :**
Standardwert: 42
Mit dieser Angabe kann gesteuert werden, wieviele Zeilen auf einer Seite im Print-file (TRANSINT.PRN) ausgegeben werden sollen. Angemessene Werte sind:
42 für A4-quer
64 für A4-hoch und A3-quer

<7> **Koordinatenrundung [Stellen] :**
Standardwert: 3
Anzahl der Dezimalstellen, die ins File der transformierten Koordinaten sowie an den Bildschirm geschrieben werden. Mögliche Antworten: **2** (die Koordinaten werden auf den cm gerundet), **3** (für mm) usw.

<8> **Mittlerer Fehler Globalkoordinaten :**
Standardwert: 0.0
Mittlerer Standardfehler für die globalen Koordinaten in mm.

<9> **Mittlerer Fehler Lokalkoordinaten :**
Standardwert: 10.0
Mittlerer Standardfehler für die lokalen Koordinaten in mm.

<10> **Punktidentifikation [NORMAL/neu] :**
Standardwert: NORMAL
Wahl zwischen Punktname (Option **NORMAL**) oder neuer Nummer aus der Artilleriepunktkarte (Option **NEU**). Wenn für einen Punkt die gewünschte Punktidentifikation fehlt, wird die andere angezeigt.

<11> **Namenabkürzungen ? [ja/NEIN]:**
Standardwert: NEIN
Wenn sie zugelassen sind (Option **JA**), werden bei der Passpunktsuche Abkürzungen für die Punktnamen zugelassen. Das Programm sucht dann den vermutlich gemeinten Punkt. Wenn keine Abkürzungen zugelassen sind (Option **NEIN**), müssen die Punkte mit dem vollen Namen identifiziert werden.

6.6.3 Das TRANSFORMATION / INTERPOLATION - Menü

```
                        TRANSINT Version 92.3.1 - PRIME
MENÜ 2 : TRANSFORMATION / INTERPOLATION                          24/08/92 12:40
-------------------------------------------------------------------------------
--- TRANSFORMATION ---
<1> PP transformieren ?  [JA/nein]      : JA
<2> Anzahl Unbekannter   [2/3/4/6]      : 4
    --- Vorgegebene Parameter: ---
    <3> Y-Translation          [m]      :
    <4> X-Translation          [m]      :
    <5> Rotation        [gon(/gon)]     :
    <6> Massstab     [mm/km(mm/km)]     :
<7> Globaler Drehpunkt (Y+X)   [m]      : 0. 0.
<8> Lokaler  Drehpunkt (Y+X)   [m]      : 0. 0.
<9> K-Robust                            : 0.

--- INTERPOLATION ---
<10> Maschenweite d0           [m]      : 1000.
-------------------------------------------------------------------------------
 Weitere Befehle :   <X> | <Q> | <F> | <P> | <M> | <E> | <?i> |
-------------------------------------------------------------------------------
 Waehle :
-------------------------------------------------------------------------------
```

<1> PP transformieren ? [JA/nein] :
Standardwert: JA
Mit JA werden auch die transformierten Koordinaten der Passpunkte ins File der transformierten Koordinaten (Punchfile) geschrieben.

<2> Anzahl Unbekannter [2/3/4/6] :
Standardwert: 4
Hier muss die Anzahl der Transformationsparameter angegeben werden:

2 für eine Translation
3 für eine Translation-Rotation
4 für eine Helmert-Transformation
6 für eine Affin-Transformation

Mit den folgenden vier Optionen können bestimmte Transformationsparameter vorgegeben werden. Leere Felder bedeuten, dass die Parameter zu berechnen sind, was auch dem Normalfall entspricht.

<3> Y-Translation [m] :
Kein Standardwert
Wert der Translation in Richtung der Y-Achse in Meter.

<4> X-Translation [m] :
Kein Standardwert
Wert der Translation in Richtung der X-Achse in Meter.

<5> Rotation [gon(/gon)] :
Kein Standardwert
Rotationswinkel in Gon. Wurden 3 oder 4 Unbekannte unter Punkt 2 gewählt, so ist *ein* Rotationswinkel einzugeben, wurden 6 Unbekannte gewählt, so sind deren *zwei*, getrennt durch ein Leerzeichen, einzugeben.

<6> Massstab [mm/km(mm/km)] :
Kein Standardwert
Massstab in mm pro km. Wurden 4 Unbekannte unter Punkt 2 gewählt, so ist *ein* Massstab einzugeben, wurden 6 Unbekannte gewählt, so sind deren *zwei*, getrennt durch ein Leerzeichen, einzugeben.

<7> **Globaler Drehpunkt (Y+X) [m] :**
Standardwert 0.0 0.0
Normalerweise wird 0. 0. eingesetzt. Keine Angabe hat den gleichen Effekt.

<8> **Lokaler Drehpunkt (Y+X) [m] :**
Standardwert 0.0 0.0
Normalerweise wird 0. 0. eingesetzt. Keine Angabe hat den gleichen Effekt.

Mit den beiden vorhergehenden Parametern kann eine Translation des lokalen Koordinatensatzes vor der Berechnung erreicht werden. Die Parameter X_0 und Y_0 beziehen sich dann auf den neuen Ursprung.

<9> **K-Robust :**
Standardwert 0
Für k = unendlich, dargestellt durch k = 0, werden die Transformationsparameter nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt.
Für k > 0 wird eine robuste Ausgleichung mit dem entsprechenden k-Wert berechnet. Empfohlene k-Werte: 2 oder 3.

<10> **Maschenweite d_0 [m] :**
Standardwert 1000.0
Diese Option ist nur sinnvoll, wenn im Hauptmenü unter Punkt <4> auch wirklich eine Interpolation verlangt wurde.
Die Maschenweite steuert die Bildung der Korrelationsmatrix für die Passpunktkoordinaten (Distanz = Maschenweite, Korr. = 0.5). Richtwerte für gute Netze sind:

LFP1 (Triangulation 3. Ordnung)	d_0 =	3000 bis 5000 m
LFP2 (Triangulation 4. Ordnung)	d_0 =	500 bis 1000 m
LFP3 (Polygonnetze)	d_0 =	30 bis 100 m

6.7 Der Passpunkteditor

Wenn die Initialisierungsparameter (Optionen) eingegeben sind und der Passpunkteditor mit dem Befehl **E** aufgerufen wird, zeigt das Programm die Liste der im System gespeicherten Passpunkte und führt dann zum Passpunkteditor über. Mit diesem wird die Liste der Passpunkte erzeugt, modifiziert oder eingegeben. Dann kann man die Transformationsberechnung veranlassen. Zu bemerken ist, dass die Liste der Passpunkte vor einer Berechnung mit neuen Punktfiles erzeugt werden muss, da sonst die Liste entweder leer ist (Meldung 'keine Passpunkte') oder Punkte aus einer früheren Berechnung enthalten kann. Durch die Angabe eines bestimmten Filenamens im FILE-Menü können verschiedene Passpunktefiles verwendet werden. Der Anwender ist selber verantwortlich, dass er das richtige verwendet.

6.7.1 Eingaberegeln für den Passpunkteditor

Der Passpunkteditor stellt am Anfang und nach jeder Operation die Frage 'BEFEHL:', wonach der Benützer eine der Anweisungen eintippen kann, um neue Passpunkte zu speichern, bestehende Eintragungen zu ergänzen oder zu modifizieren und abschliessend die Transformationsberechnung durchzuführen.
Eingabe- und Mutationsbefehle lassen eine Schablone mit den Feldabgrenzungen erscheinen, die das Eingeben erleichtern. Die Feldgrenzen sind einzuhalten.

```
|<-PUNKT-------------->|<-MF.GL-->|<-MF.LOK->|
|                      |          |          |
```

Der Tabulator (/) bewirkt einen Sprung zum nächsten gezeigten Eingabefeld. Wenn eine Anweisung ausgeführt ist, wird die Frage 'BEFEHL:' wiederholt, und eine neue Anweisung kann erteilt werden. Im Folgenden werden die zur Verfügung stehenden Anweisungen erläutert.

6.7.2 Positionierungs- und Anzeigebefehle

FIND *Passpunktname oder -nummer* [f]: Passpunktsuche. Der Passpunkt mit dem ähnlichsten Namen wird angezeigt.

NEXT n [n] - n-ten Passpunkt ab aktueller Position anzeigen (n darf negativ sein)

PRINT n [p] - am Bildschirm n Passpunkte anzeigen (beginnend mit dem aktuellen Passpunkt)

POINT n [po] - den n-ten Passpunkt des Files zeigen

BOTTOM [b] - die aktuelle Position ans Ende des Files stellen

TOP [t] - die aktuelle Position an den Anfang des Files stellen

WHERE [w] - aktuelle Position angeben

OPTION [op] - zum Menüteil zurückkehren, d.h. Aufruf des HAUPTMENÜs

6.7.3 Eingabe- und Mutationsbefehle

INPUT oder leer [i] - für die sukzessive Erfassung von neuen Passpunkten im File. Die neuen Passpunkte werden **hinter** der aktuellen Position eingeführt. Eine leere Zeile dient als Befehlsabschluss.

OVERLAY [o] - die aktuellen Passpunktinformationen überschreiben. In der Eingabezeile leergelassene Felder bedeuten, dass alte Eintragungen unverändert zu belassen sind. Felder mit Eingabetext bedeuten, dass die ganze alte Eintragung zu löschen und durch den Text der Eingabezeile zu ersetzen ist. Ein ! im Feld löscht das ganze Feld ohne neue Eintragung.
Eine leere Zeile dient als Befehlsabschluss.

IDENT [id] - In den Files der globalen und lokalen Punkte werden alle Namen gesucht, die in beiden Verzeichnissen (mit identischer Bezeichnung) auftreten. Sie werden in der Passpunktliste aufgenommen.

[pk] - Der Befehl Punktliste hat die gleiche Wirkung wie IDENT. Er wurde aus Kompatibilitätsgründen zum Programm KOORDIFF aufgenommen.

6.7.4 Löschen

DELETE n [d] - n Passpunkte löschen (inkl. aktueller Passpunkt)

6.7.5 Testgitter erzeugen

GITTER [gi] - Für die Beurteilung der Eigenschaften einer Interpolation ist es oft erwünscht, eine Reihe von willkürlich gewählten lokalen Punkten zu transformieren um die Systematik der Koordinatenänderungen betrachten zu können. Mit dem Befehl GITTER wird ein File erzeugt, in welchem alle lokalen Punkte der Transformation und eine Reihe Punkte mit runden Koordinaten (Testgitter) enthalten sind. Die Ausdehnung des rechteckigen Gitters wird automatisch aus der Liste der lokalen Punkte bestimmt. Der Filename, sowie der Gitterpunktabstand wird im Dialog eingegeben. Zuletzt frägt das Programm, ob das erzeugte Gitterfile als Lokalfile für die Berechnung gelten soll. Eine positive Antwort bewirkt die Eintragung des neuen Filenamen in der aktiven (provisorischen oder definitiven) Optionsliste.

6.7.6 Passpunkteditor verlassen

QUIT [q] - TRANSINT verlassen. Die Änderungen werden nicht gespeichert; die Transformation wird nicht berechnet).

FILE [fil] - TRANSINT verlassen. Die Änderungen werden gespeichert; die Transformation wird nicht berechnet). Wird zusätzlich ein Filename angegeben, so wird die Passpunktiste unter dem neuen Namen abgespeichert.

6.7.7 Transformation berechnen

TRANSINT [tr] - die Änderungen an den Passpunkten werden gespeichert (wie FILE), die Transformation wird anschliessend gemäss Anweisungen der Optionsliste bis zum Ende der Verarbeitung berechnet. Der Bildschirm bleibt während der Berechnung besetzt.

[x] - Der befehl EXECUTE hat die gleiche Wirkung wie der Befehl TRANSINT. Er wurde neu in die Befehlsliste aufgenommen, um zu allen anderen Programmen der L+T kompatibel zu sein.

6.7.8 Nichtmehr unterstützte Befehle

BATCH - Aus Gründen der Portabilität der Programme wird der BATCH-Modus nicht mehr unterstützt. Da die heutigen Rechner sehr viel leistungsfähiger sind als noch vor kurzer Zeit, ist dieser Befehl auch nicht mehr von grossem Vorteil.

Funktionstasten - Aus Gründen der Portabilität der Programme können keine Befehle mehr über Funktionstasten eingegeben werden.

6.7.9 Transformation und Interpolation

Tranformation und Interpolation werden vollautomatisch gemäss Optionsangaben berechnet und die Resultate werden im Linstingfile (TRANSINT.PRN) für einen Papierausdruck und im File der transformierten Koordinaten (TRANSINT.PUN) für eine weitere Verarbeitung gespeichert. Der Benützer kann in den Ablauf nicht mehr eingreifen. Nach Abschluss der Berechnung kann er mit den Systembefehlen das drucken der Resultate veranlassen.

Auf PRIME: **PRINT** 'filename' oder
SPOOL 'filename' **-FTN**

Auf PC : **PRINT** 'filename'

6.8 Dateneingabe

Das Programm TRANSINT arbeitet mit den bekannten LTOP-Punktformaten. Es versteht sowohl das neue als auch das alte Format.

6.8.1 Das neue Eingabeformat

In der Regel sollte nur noch dieses Eingabeformat verwendet werden. Es handelt sich um ein gewöhnliches ASCII-File, welches mit jedem beliebigen Texteditor bearbeitet werden kann. Die erste Zeile muss zwingend am Anfang (Positionen 1 - 4) folgende Zeichen beinhalten:

$$PK

Der Rest auf der Zeile wird als Kommentar behandelt. Dort kann also z.B. ein Erfassungsdatum oder ein Operatname stehen.
Die folgenden Zeilen (ab 2. Zeile) enthalten dann die Koordinaten. Das genaue Format und ein Beispiel dazu sind im Anhang A dargestellt.

6.8.2 Das alte Eingabeformat

Um auch weiterhin Punktdaten, die im alten LTOP-Format vorliegen, verarbeiten zu können, ist es mit der Eingabe der Zusatzoption **-A** hinter dem Filenamen (Optionen <1> und <2> des File-Menüs) möglich, solche Daten einzulesen. Das genaue Format und ein Beispiel dazu sind im Anhang B dargestellt.

6.9 Die Ausgabe der Resultate

Das Programm bereitet zwei Ausgabefiles vor:

- Eine ausdruckbare Liste mit allen wesentlichen Angaben. Der Name des entsprechende Files entspricht demjenigen, der in der Option <4> des File-Menüs (Name des Print-Files) angegeben wurde. Falls für diese Option keine Angabe gemacht wurde, so wird der Default-Filename TRANSINT.PRN verwendet.

- Ein File der transformierten Koordinaten im LTOP-Format für die Weiterverwendung in anderen Programmen. Der Name dieses Files entspricht demjenigen, der in der Option <5> des File-Menüs (Name des Punch-Files) angegeben wurde. Falls für diese Option keine Angabe gemacht wurde, wird der Default-Filename TRANSINT.PUN verwendet. Dieses File liegt immer im neuen Punktformat vor.

Anhang A

Neues LTOP-Punktformat

```
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012
         1         2         3         4         5         6         7         8         9        10
<----A---><-B><---C--><-D><--E-><-----Y.---><-----X.---><-F><---H.---><-G>-I<-J.---><-K>L><--M.><--N.>
$$PK TRIANGULATION 4. ORDNUNG, KANTON XY, LK-BLATT 1089
89.345                           644963.0000 245557.0000      421.0000        0.4112       11.01-25.03
89.466    .6                     645366.1600 246188.3400      442.2900        0.4306       10.61-25.38
89.467    .6                     646011.4500 246167.5500      423.3400        0.4196        9.77-24.57
89.469    .2                     645687.0000 245753.0000      410.6500        0.4082        9.50-24.21
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012
```

```
Fortsetzung     345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
                      11        12        13        14        15        16
                <-O><--P.><--Q.><-R><TEXT-TEXT-TEXT-TEXT-TEXT-TEXT-TEXT-->
```

Feld	Bedeutung	Bündig	Format	Kolonnen
A *	Punktname	links		1 - 10
B	Punkttyp	links		11 - 14
C	Versicherungsdatum	rechts	YYYYMMDD	15 - 22
D	Ordnung/Kanton	rechts	OOKK	23 - 26
E	Neue Nummer (Karte,Punkt)		KKKPPP	27 - 32
Y *	Lagekoordinate Y	.	YYYYYY.YYYY	33 - 44
X *	Lagekoordinate X	.	XXXXXX.XXXX	45 - 56
F	Herkunft Lage	rechts		57 - 60
H	Höhe	.	HHHHH.HHHH	61 - 70
G	Herkunft Höhe	rechts		71 - 74
I	Koordinatencode			75 - 76
J	Geoidabstand	.	JJJ.JJJJ	77 - 84
K	Herkunft Geoidabstand	rechts		85 - 88
L	Ellipsoidcode			89 - 90
M	Lotabweichung, Komponente Eta	.	MMMM.M	91 - 96
N	Lotabweichung, Komponente Xi	.	NNNN.N	97 -102
O	Herkunft Lotabweichung	rechts		103 -106
P	Lotabw. Höhe 0, Komponente Eta	.	PPPP.P	107 -112
Q	Lotabw. Höhe 0, Komponente Xi	.	QQQQ.Q	113 -118
R	Herkunft Lotabweichung Höhe 0	rechts		119 -122
TEXT	Reserve/Kommentar			123 -160

* : Die Felder, die mit * bezeichnet sind, müssen zwingendermassen Werte enthalten, damit TRANSINT etwas sinnvolles mit dem Punktefile anfangen kann. Die andern Felder sind optional. Deren Inhalt wird aber auch wieder in das Punch-File übertragen.

Dezimalpunkt: Felder mit numerischen Werten werden im Allgemeinen **mit** Dezimalpunkt eingegeben. Der Dezimalpunkt muss nicht zwingendermassen an der angegebenen Stelle stehen (siehe Lotabweichungen).

Anhang B

Altes LTOP-Punktformat

```
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
         1         2         3         4         5         6         7         8
KA<PUNKT.><-----Y---> <-----X---> <-----H---><GEOI>                   <ETA><-XI>
2189.345   644963      245557         421      4112                     110 -250
2189.466.6 64536616    24618834       44229    4305                     106 -253
2189.467.6 64601145    24616755       42334    4196                      97 -245
2189.469.2 645687      245753         41065    4081(NIV)                 95 -242
2189.469.6 645626      245683         435      4063                      95 -241
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
```

Alle numerischen Werte werden **ohne** Dezimalpunkt eingegeben. Das bedeutet, dass die Werte an der richtigen Position stehen müssen. Eine Verschiebung um eine Position wirkt sich im entsprechenden Wert um einen Faktor 10 aus. Hingegen müssen 0 nicht unbedingt eingegeben werden. Leerstellen in den numerischen Feldern haben die gleiche Bedeutung.

Es ist zu empfehlen, dieses Format **nicht mehr zu verwenden**, da es in absehbarer Zeit nicht mehr unterstützt werden wird.