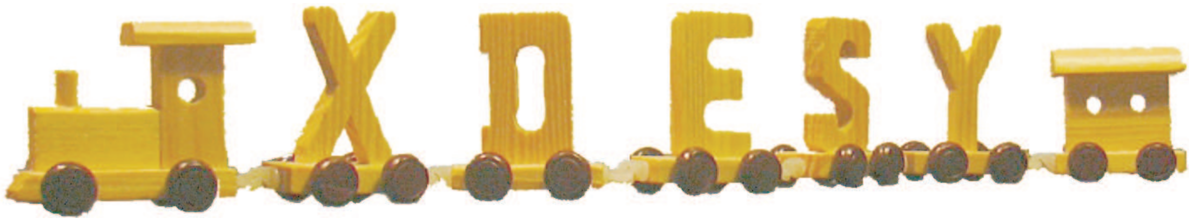
Xdesy–Benutzerhandbuch
Version 1.5.2



(c) Dr.-Ing. Fredie Kern
f.kern@xdesy.de
www.xdesy.de

4. September 2010

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung

Dieses Handbuch beschreibt die Funktionalitäten von Xdesy und dessen Handhabung. Xdesy dient zur Ausgleichung geodätischer Lage–, Höhen– und GPS-Netze sowie photogrammetrischer Beobachtungen und Koordinatentransformationen nach der Methode der kleinsten Quadrate [1]. Auch können geometrische Formen approximiert werden. Anhand eines kleinen Beispiels wird in die Arbeitsweise von Xdesy eingeführt. Stichwortartig wird eine Übersicht über die allgemeine Syntax und die Aufrufparameter gegeben. Ein Abschnitt mit Beispielen verdeutlicht die Arbeitsweise und Handhabung von Xdesy.

[1]Genauer: Minimierung der Summe der Verbesserungsquadrate

1 Allgemeines

Xdesy ist ein Ausgleichsprogramm für geodätische Netze, Koordinatentransformationen und photogrammetrischer Bündelblockausgleichungen. Xdesy ist Freeware und weist im Vergleich zu anderen freien und kostenlosen Ausgleichungsprogrammen den wohl größten Funktionsumfang auf. Hinsichtlich der implementierten Analysemöglichkeiten von redundanten Messbeobachtungen kann es sogar mit kommerziellen Produkten konkurrieren ([SFN10]).Neben terrestrischen Beobachtungen können, GPS-Beobachtungen und Bildkoordinaten in einem Guß ausgeglichen werden. Zwischen den unbekannten Punkten können geometrische Bedingungen, wie z.B. daß sie auf einem Kreis oder Ebene liegen, berücksichtigt werden. Als Methode zur Ausreißerbestimmung ist die robuste L1-Norm implementiert.

1.1 Features

Der Entwicklungsstand von Xdesy ist mittlerweile soweit fortgeschritten, dass fast alle normal üblichen Ausgleichsprobleme aus der Ingenieurvermessung und Photogrammetrie damit gelöst werden können. Es ist überaus vielfältig verwendbar, da nicht nur Einzelprobleme, wie z.B. die Ausgleichung eines Nivellementsnetzes oder eines Tachymeternetzes sondern auch die Kombination miteinander verknüpfter Probleme bearbeitet werden können. Denkbar sind so auch gemeinsame Ausgleichungen von Nivellements-, Tachymeter- und GPS-Beobachtungen sowie von photogrammetrischen Bildkoordinatenmessungen wobei auch Ausgleichsebenen oder -kugeln bestimmt werden.
Neben den für Ausgleichsprogramme allgemein üblichen Funktionen, wie z.B. die freie Ausgleichung, verfügt Xdesy über ein paar nicht alltägliche Funktionen wie z. B. die L1–Norm–Schätzung, die automatische Näherungswertberechnung und affine 3D-Koordinatentransformation.
Der Leistungsumfang der Version 1.8 soll kurz zusammengestellt werden.

- Ausgleichungsmethoden
  - Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen
  - Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen mit Bedingungen zwischen den Unbekannten
  - Ausgleichung durch Minimierung der Absolutsumme der Verbesserungen (L1–Norm)
  - Ausgleichung durch Minimierung der maximalen Verbesserung (L∞–Norm) (*noch nicht vollständig*)
  - freie Ausgleichung mittels Gesamt- oder Teilspurminimierung
- Beobachtungsgrößen für 1–D–, 2–D– und 3–D–Netze, GPS-Netze, Bündelblockausgleichungen, Koordinatentransformationen und geometrische Primitive
  - Horizontalrichtung
  - Azimut (orientierte Horizontalrichtung)
  - Strecke (horizontal)
  - Höhendifferenz
  - Zenitwinkel
  - Raumstrecke
  - Abstand von einer Geraden
  - Richtungsdifferenz
  - Rechtswert
  - Hochwert

- Höhe
- Koordinatendifferenz im kartesischen X–,Y–,Z–System
- kartesische X–,Y–,Z–Koordinaten für 7-Parametertransformation oder Affin-Transformation
- X–, Y– und Z–Koordinatenwert im GPS-Koordinatensystem (absolute GPS-Beobachtung)
- Differenz des X–, Y– und Z–Koordinatenwertes im GPS-Koordinatensystem (relative GPS-Beobachtung; GPS-Vektor)
- x'– und y'– Bildkoordinatenwert
- Geradenpunkt (2D und 3D)
- Kreispunkt (2D und 3D)
- Kugelpunkt
- Zylinderpunkt
- Punkt auf einer Ebene

• Arten der Unbekannten
  - Gauß–Krüger-Koordinate (Rechts y, Hoch x)
  - Höhe (orthometrisch) z
  - Höhenversatz u (*vorgesehen zur Bestimmung von Undulationen*)
  - kartesische Koordinate (X, Y, Z)
  - Maßstab für Strecken
  - Additionskonstante
  - Orientierungsunbekannte
  - Parameter einer 7-Parametertransformation
  - Parameter einer 3D-Affin-Transformation
  - Parameter der äußeren Orientierung eines Messbildes
  - Parameter der inneren Orientierung eines Messbildes
  - Formparameter für Gerade, Kreis, Ebene, Kugel und Zylinder
  - Ziel-, und Kippachsfehler sowie Höhenindexabweichung
  - Zyklischer Phasenfehler

• Berücksichtung einer teilweise oder vollständig besetzten Kovarianzmatrix der Beobachtungen

• Berücksichtigung von Bedingungen zwischen den Unbekannten
  - Entfernung
  - Winkel
  - Abstand

• automatische Bestimmung von Näherungskoordinaten in kombinierten Richtungs- und Streckennetzen und Koordinatentransformationen

• Simulation von kombinierten Richtungs- und Streckennetzen

• Grobfehlersuche
  - Data-Snooping

  - L1-Norm-Schätzung
  - Varianzkomponentenschätzung
- Ergebnisse
  - Protokolle
    - Ergebnisprotokoll als ASCII–Datei
    - Ergebnisprotokoll als XML–Datei zur universellen Weiterverarbeitung
    - Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmaße
      - Standardabweichungen der Unbekannten
      - Korrelationen zwischen Rechts– und Hochwert, Transformationsparametern etc.
      - Fehlerellipsen
      - Verbesserungen und Standardabweichungen der Beobachtungen
      - Redundanzanteile
      - normierte Verbesserungen
      - innere Zuverlässigkeit
      - äussere Zuverlässigkeit
      - Standardabweichung a posterior der Gewichtseinheit
      - Gruppengewichte
      - Ausgabe der vollständigen Kovarianzmatrix für die ausgeglichenen Unbekannten
  - Grafik
    - 2D-Plotausgabe im HP–GL–Format, SVG–Format, Postscript und TOP50
    - 3D-Plotausgabe im VRML–Format
  - Koordinatenliste im anwenderdefiniertem Format
  - Ausgabe aller Matrizen in ASCII–Dateien zur Weiterverarbeitung mit MATLAB
- 14–stelliges alphanumerisches Punktkennzeichen
- beliebig formatierbares Punktattribut (Punktcode)

1.2 Systemvoraussetzungen

Die Systemvoraussetzungen für Xdesy sind äußerst spartanisch, so dass es auch auf älteren Rechner einsetzbar ist.

- IBM–kompatibler PC mit Pentium–Prozessor
- Windows 32–Bit Betriebssystem (ab Windows 3.1)
- optimierte Speicherverwaltung mit Zwischenspeicherung auf Festplatte

1.3 Copyright und Lieferumfang

Dr.-Ing. Fredie Kern
Holsteinstraße 3
D-55118 Mainz

Für etwaige Schäden, die sich aus der Benutzung der Xdesy–Software ergeben, wird keinerlei Haftung übernommen. Die Benutzung erfolgt auf eigene Gefahr. Das Vorhandensein von Fehlern oder Mängeln, die zu Schäden an Hard– und Software oder zum Verlust von Daten führen, kann nicht ausgeschlossen werden. Für die Richtigkeit der mit Xdesy durchgeführten Berechnungen wird keine Gewähr übernommen.
Mit der kostenlosen Bereitstellung von Xdesy entbindet sich der Autor von der Verpflichtung einen Support zu unterhalten und zukünftige Weiterentwicklungen auf die Belange der Nutzer abzustellen. Eine Abwärtskompatibiltät wird nicht gewährleistet aber angestrebt.
Die Original-Distribution von Xdesy enthält folgende Dateien:

`xdesy.exe`	Ausführbares Xdesy–Programm
`plot.exe`	Plot-Programm (zeigt eine HP-GL-Datei auf dem Bildschirm an)
`EGAVGA.BGI`	BGI-Driver für das DOS-Programm `PLOT.EXE`
`readme`	letzte Informationen
`doc/xdesy_handbuch.pdf`	Xdesy–Handbuch
`examples/BAUM*.MKR`	Beispiel-Steuerdateien zu den Ausgleichsproblemen in [Bau85]
`examples/*.mkr`	weitere Beispiele
`xml/xmldesy.dtd`	XML-DTD (attributorientiert)
`xml/xmldesye.dtd`	XML-DTD (elementorientiert)
`xml/xmldesy.xsl`	XML-Stylesheet zur Umwandlung eines XMLdesy-Dokementes in HTML
`xml/xmldesy2tex.xsl`	XML-Stylesheet zur Umwandlung eines XMLdesy-Dokementes in Latex
`xml/examples/*`	Beispiele zur XML-Ausgabe

2 Arbeitsweise

Xdesy ist als Filterprogramm konzipiert, das eine Datei einliest, diese bearbeitet und das Ergebnis als neue Datei abspeichert. Das Programm ist nur von der Kommando-Ebene (Prompt) aus mit zusätzlichen Aufrufparametern zu starten. Der erste Aufrufparameter ist der Dateiname der Steuerdatei. Als Ergebnis liefert Xdesy eine Fehlerdatei (`xdesy.err`) und eine Ergebnisliste auf dem Bildschirm, die in eine Datei umgeleitet werden kann (>). Warnungen und Fehlermeldungen werden sowohl über den Fehlerkanal auf dem Bildschirm als auch in `xdesy.err` ausgegeben.
Einen Überblick über die Aufrufparameter erhält mann, wenn Xdesy ohne Parameter gestartet wird.
Grundalgorithmus von Xdesy ist die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen. Dabei erfolgt eine Schätzung nach dem Prinzip der Minimierung der Verbesserungsquadratsumme. In Matrizenschreibweise lautet der Rechengang wie folgt:

$\mathbf{L}$	Beobachtungsvektor
$\mathbf{L}_0 = \mathbf{f}(\mathbf{X}_0)$	genäherter Beobachtungsvektor
$\mathbf{l} = \mathbf{L} - \mathbf{L}_0$	gekürzte Beobachtungen
$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_u} \\ \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_u} \end{bmatrix}$	partielle Ableitungen der Beobachtungsgleichungen f_i
$\mathbf{Q}_{LL} = \begin{bmatrix} {\sigma^2}_1 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & {\sigma^2}_2 & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & {\sigma^2}_n \end{bmatrix}$	Kovarianzmatrix der Beobachtungen
$\mathbf{P} = \mathbf{Q}_{LL}^{-1}$	Gewichtsmatrix
$\mathbf{n} = \mathbf{A}^T\ \mathbf{P}\ \mathbf{l}$	Absolutglied
$\mathbf{N} = \mathbf{A}^T\ \mathbf{P}\ \mathbf{A}$	Normalgleichungsmatrix
$\mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}} = \mathbf{N}^{-1}$	Kovarianzmatrix der Unbekannten
$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}\ \mathbf{n}$	Vektor der geschätzen Unbekannten (gekürzt)
$\mathbf{v} = \mathbf{A}\ \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$	Verbesserungsvektor
$\mathbf{s}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T\ \mathbf{P}\ \mathbf{v}}{n-u}$	empirische Varianz der Gewichtseinheit
$\hat{\mathbf{X}} = \mathbf{X}_0 + \hat{\mathbf{x}}$	ausgelichene Unbekannten
$\hat{\mathbf{L}} = \mathbf{L}_0 + \mathbf{l} + \mathbf{v}$	ausgeglichene Beobachtungen
$\mathbf{Q}_{\hat{L}\hat{L}} = \mathbf{A}\ \mathbf{Q}_{\hat{x}\hat{x}}\ \mathbf{A}^T$	Kovarianzmatrix der ausgeglichenen Beobachtungen

Xdesy erwartet beim Aufruf die Angabe einer Steuerdatei, in der das Ausgleichsproblem in allen Einzelheiten deklariert ist. Die Angaben zu den Unbekannten, den Beobachtungen und zum stochastischen Modell müssen zeilenweise in einer festgelegten Form in dieser Steuerdatei eingegeben sein. Zur Einführung in die Syntax der Steuerdatei soll folgende Beispieldatei dienen, die zur besseren Kommentierung mit Zeilennummern[2] versehen ist.

```
100  ; Kahmen, H. Vermessungskunde II, Sammlung Göschen, 14. Aufl.;
110  ;       W. de Gruyter, Berlin, New York 1986, S.212-215
120  ;
130  ; Kapitel 5.4.6 Mehrfaches Rueckwärtseinschneiden durch Ausgleichung
140  ;
150  s H 0.001 0.0
160  ;
170  P  1  00 6531.28  48177.62
180  P  2  00 7185.19  49600.15
190  P  3  00 5670.69  49830.93
200  P  4  00 5077.24  47863.91
210  P  N  11 6059.0   48565.2
220
230  S N 1 0.0
240  M 1 H 356.2465
250  M 2 H  47.3114
260  M 3 H 118.9497
270  M 4 H 239.4920
```

Xdesy interpretiert die Steuerdatei zeilenweise. Das **erste** Zeichen einer Zeile entscheidet über die Bedeutung der Zeile und ihre Interpretation beim Einlesen. Ist dieses Steuerzeichen für Xdesy unbekannt, so wird die gesamte Zeile ignoriert und als Kommentarzeile behandelt. So sind im vorliegenden Beispiel die Zeilen `100-140`, `160` und die Zeile `220` Kommentarzeilen und ohne jede Wirkung.
Wie die Kommentierung in unserer Beispieldatei erläutert, beschreibt sie das Problem eines überbestimmten Rückwärtsschnittes. Die Koordinaten der Festpunkte und die Näherungskoordinaten des Neupunktes sind durch `P`-Sätze definiert. Innerhalb einer Steuerzeile werden in Abhängigkeit vom Steuerzeichen mehrere Parameter von Xdesy erwartet. Bei einem `P`-Satz, mit dem Punkte mit Gauß–Krüger–Koordinaten definiert werden, sind dies das Punktkennzeichen, eine Kennung, der Hoch– und der Rechtswert[3]. Das Punktkennzeichnen ist der eindeutige Name des Punktes. Anhand der Kennung entscheidet Xdesy, ob die Koordinatenwerte Unbekannte im Sinne des Ausgleichsproblems sind oder nicht. Hat die Kennung den Wert `00` so sind Rechts- und Hochwert bekannt; der Punkt ist also ein Festpunkt (Punkte `1, 2. 3` und `4` in Zeile `170-200`). Ist ein Punkt Neupunkt, so lautet die Kennung `11`. Die erste '1' steht für den **unbekannten** Hochwert und die zweite '1' für den **unbekannten** Rechtswert (Punkt `N` in Zeile `210`). Soll nur der Rechtswert unbekannt sein, so lautet die Kennung `01`.
Die Beobachtungen werden mittels Standpunkt- und Messwertsätzen eingegeben (ab Zeile `230`). Ein Standpunktsatz beginnt mit dem Steuerzeichen `S`. Danach folgen das Punktkennzeichen des Standpunktes, eine Kennung und der Wert der Orientierungsunbekannten. Das Punktkennzeichen des Standpunktes muss mit dem des dazugehörenden `P`-Satz übereinstimmen. Die Kennung mit dem Wert `1` besagt, dass die Orientierung der nachfolgende Richtungsbeobachtungen unbekannt ist. Es wird also eine Orientierungsunbekannte für diesen Standpunkt in das Ausgleichsmodell aufgenommen. Wird für die Kennung `0` eingegeben, so werden alle Richtungen mit dem Wert, der nach der Kennung steht, orientiert. Auf diese Art können auch gemessene Richtungswinkel (Azimute) als Beobachtungsgrössen eingegeben werden. In der Regel lautet die Kennung bei Richtungsbeobachtungen `1` und es reicht aus, als Näherungswertes für die Orientierungsunbekannte `0.0` einzugeben.

[2]nicht Bestandteil der Datei
[3]Richtig!!! erst Hoch dann Rechts

Alle einem `S`-Satz folgenden `M`-Sätze (Zeilen `240-260`) werden diesem Standpunkt zugeordnet. Die `M`-Sätze enthalten die Beobachtungsgrößen, wie Richtungen und Strecken. Nach dem Steuerzeichen `M` wird das Punktkennzeichen des Zielpunktes, der Messwerttyp und der Messwert selbst erwartet. Das Punktkennzeichen bezeichnet den Zielpunkt und muss einem der `P`-Sätze entsprechen. Das nachfolgende `H` gibt den Messwerttyp Horizontalrichtung an. Danach folgt der gemessene Wert in der Einheit Gon.
Die Zeilen `240-260` legen also folgende Horizontalrichtungen r_i^j in Abhängigkeit von den Koordinaten x_j und y_j der Punkte 1, 2, 3, 4 und N fest:

$$\begin{aligned}
r_N^1 &= \arctan(\frac{y_N - y_1}{x_N - x_1}) + o_N \\
r_N^2 &= \arctan(\frac{y_N - y_2}{x_N - x_2}) + o_N \\
r_N^3 &= \arctan(\frac{y_N - y_3}{x_N - x_3}) + o_N \\
r_N^4 &= \arctan(\frac{y_N - y_4}{x_N - x_4}) + o_N
\end{aligned}$$

Als Unbekannte enthält das Beispiel die Koordinaten des Punktes N (x_N, y_N) und die Orientierungsunbekannte o_N.
Die Ausgleichung erfolgt nun mit dem Aufruf von Xdesy. Dazu ist als erster Aufrufparameter der Name der Steuerdatei anzugeben und dann die Option `-a` für Ausgleichung. Wenn die Beispieldatei den Namen `goeschen.mkr` hat, also:

`>xdesy GOESCH.mkr -a`.

Durch den Aufruf

```
>xdesy GOESCH.mkr -a -pgoesch.hp -ogoesch.erg
```

wird das Ergebnisprotokoll nicht auf den Bildschirm sondern in die Datei `goesch.erg` geschrieben und die Plotdatei `goesch.hp` im HP-GL-Format erzeugt. Die Plotdatei kann mit dem beiliegendem Programm `PLOT.EXE` am Bildschirm betrachtet werden und sieht etwa so wie die Abbildung 1:

Die Ergebnisdatei `goesch.erg` sieht so aus:
Im Ergebnisprotokoll beginnen erläuternde Zeilen mit einem `;`. In diesen ersten Zeilen werden die Steuervariablen (Kap. 2.3) mit ihren aktuell gesetzten Werten ausgegeben. Dann folgt eine Statistik der im Ausgleichsmodell enthaltenen Beobachtungen und Unbekannten. Die Anzahl der durchgeführten Iterationen kann den darauf folgenden Zeile entnommen werden.
In den ersten Nicht-Semikolon-Zeilen werden die Punktkoordinaten ausgegeben. Für unbekannte Koordinatenwerte erscheinen nach dem Hoch- und Rechtswert die Standardabweichungen für Hoch- und Rechtswert in der Einheit mm. Danach wird der Korrelationskoeffizient zwischen Hoch- und Rechtswert in Prozent ausgegeben. Am Ende der Zeile stehen die Koordinatenzuschläge in Millimetern. Hinter der Punktnummer zeigt ein Stern (`*`) an, ob jener Punkt ein Datumspunkt ist . Fehlt der Stern ist er kein Datumspunkt.
Nach den Unbekannten erfolgt die Ausgabe der Beobachtungen. In jeder Zeile steht die Zielpunktnummer, der Beobachtungstyp und der originäre Beobachtungswert. Danach wird die Verbesserung und die Standardabweichung in der Einheit Millimeter ausgegeben. Nachfolgend erscheinen der Redundanzanteil in Prozent und die einheitslose normierte Verbesserung. Wird nach der normierten Verbesserung ein Größer-als-Zeichen (`>`) ausgegeben, so überschreitet die normierte Verbesserung den Grenzwert für

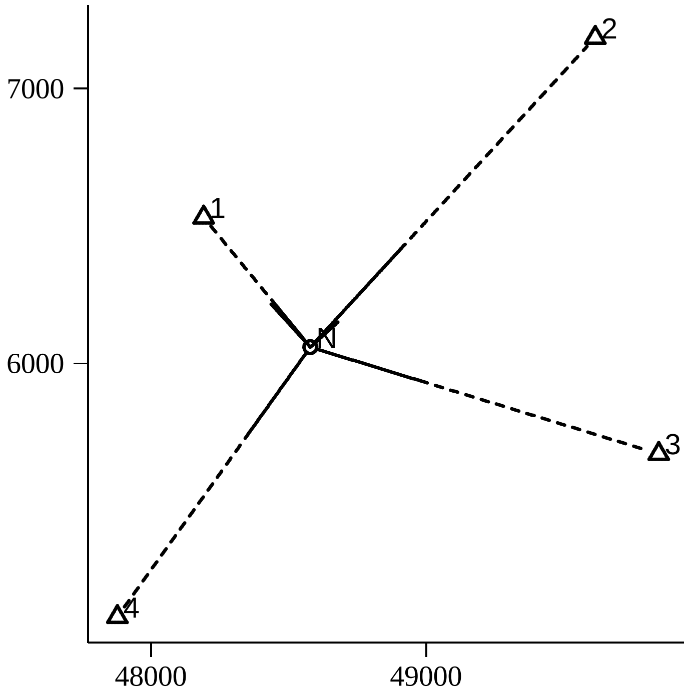


Abbildung 1: Kleines Beispiel

das Data-Snooping. Die jeweiligen Standpunktinformationen werden den Beobachtungen vorangestellt. In der Standpunktzeile werden Standpunktnummer, der Wert der Orientierungsunbekannten und deren Standardabweichung (mgon) sowie deren Zuschlag (mgon) ausgedruckt.

Den Abschluss des Protokolls bildet die Tabelle der Gruppengewichte angeführt von der geschätzten Standardabweichung der Gewichtseinheit. Für jede Genauigkeitsgruppe wird ihre Bezeichnung, der Gewichtsanteil, die Standardabweichung a priori und a posterior, die Testgröße, das Quantil der F–Verteilung und das Ergebnis des Testes auf Gleichheit von a priori– und a posterior–Varianz ausgegeben.

```
;
; Xdesy 1.8.38 (21.07.2005) (c) F.Kern   Sat Jul 23 19:11:42 2005
;
; d:\src\src_a\xdesy\xdesy.exe GOESCH.MKR -a -pgoesch.hp -ogoesch.erg
; Projekt             ="Kapitel: 5.4.6 Mehrfaches Rueckwärtseinschneiden durch Au
                     usgleichung"
; Bearbeiter          =
; Quelle              ="Kahmen, H.: Vermessungskunde II, Sammlung Göschen, 14. Au
                     ufl.; W. de Gruyter, Berlin, New York 1986, S.212-215"
; EinheitWinkel=gon (gon, deg, altgrad)
; EinheitStrecke=m
; Erdradius=6383000.0000
; RotationsMatrixTyp=OmegaPhiKappa (OmegaPhiKappa, AzimuthTiltSwing, AxisAngle)
; KonfidenzBereichAzimut=1000.0000
; .Plot
; Selection =
; SelectionWithBorder = false
; TextSize = 12
; TextColor = 6
; StrokeWidth = 0.100000
; ScaleResiduum = 1.000000
; ScaleOutlier = 1.000000
; Symbols = true
;
; Beobachtungen -Übersicht-
;    4 H          (HorizDirection)

;     4 Beobachtungen
; -   3 Unbekannte
; =   1 Freiheitsgrade

;    0/  10 Iterationen fuer L2Norm-Vorausgleichung (0.000000e+00<1.000000e-06)
;    0      Iterationen fuer L1Norm
;    0/  10 Iterationen fuer L2Norm-Endausgleichung (0.000000e+00<1.000000e-06)
;                      [m]         [m]    [mm]  [mm] [%]  [mm]      [mm]  [mm]
;Punktnummer         Hoch/X     Rechts/Y    sx     sy   k EPmax Nr.     dX     dY
           1 *    6531.2800   48177.6200                      .  -1
           2 *    7185.1900   49600.1500                      .  -1
           3 *    5670.6900   49830.9300                      .  -1
           4 *    5077.2400   47863.9100                      .  -1
           N *    6058.9721   48565.2746   9.6   9.3-41  65.4   3  -27.9   74.6
;                   [gon]/[m]          [mgon]/[mm]
;Beobachtungen            Wert        v           s     Red    nv    Nabla L
;Standpunkt              N   399.99995   0.00000   0.4         399.99995
                1      H      356.24650     0.2      0.8   6.6    1.0    10.6
                2      H       47.31140    -0.5      0.6  47.0    1.0     3.0
                3      H      118.94970     0.5      0.6  41.6    1.0     3.4
                4      H      239.49200    -0.2      0.8   4.7    1.0    12.7
;
; 1. Varianzkomponentenschätzung
;                               [mgon/mm]
;Klasse Anz. Gewicht       s(a prior.)  s(a post.)      T-F   F-Quantil (5.0%)
;s0       4        1267.7       1.0000       0.7889     1.61   254.30  =   1
;H        4     1606946.2          1.0          0.8     1.61     5.63  =   1.00
;                   [gon]/[m]          [mgon]/[mm]
;Funktionen               Wert        d           s     T     T-Quantil (5.0%)
```

Um mit Xdesy ein Ausgleichsproblem zu verarbeiten, ist eine Steuerdatei zu erstellen, die beim Aufruf von Xdesy als Programmparameter anzugeben ist. Die Steuerdatei ist eine ASCII-Datei, in denen alle relevanten Daten eines Ausgleichsmodell zusammengefasst sind. Ihre Syntax ist zeilenweise aufgebaut, wobei den **ersten** Zeichen jeder Zeile eine besondere Bedeutung zukommt. Diese Steuerzeichen kennzeichnen jede Zeile hinsichtlich ihrer Bedeutung und den in der Zeile enthaltenen Informationen. Die Information erscheinen nach dem Steuerzeichen jeweils getrennt durch ein oder mehrere Leerzeichen (_) als Parameter.

2.1 Steuerzeichen

Die allgemeine Syntax einer Zeile lautet:

Steuerzeichen_Parameter1[_Parameter2]... [_ParameterN]

Als *Steuerzeichen* für die Steuersätze sind folgende Werte möglich (Tab. 1):

Tabelle 1: Steuerzeichen-Übersicht

Steuerzeichen	Bedeutung	Zuordnung	Kapitel
`P`	Gauß–Krüger–Koordinaten, 2D-Punkt	Unbekannte	2.5.1
`H`	Höhenkoordinate, Höhe	Unbekannte	2.5.2
`K`	X–,Y–,Z–Koordinaten, 3D-Punkt	Unbekannte	2.5.3
`a`	EDM-Parameter (Maßstab, Additionskonstante)	Unbekannte	2.5.4
`c`	Tachymeter-Achsfehler (Ziel-, Kippachsfehler, Höhenindexabweichung)	Unbekannte	2.5.6
`z`	Zyklischer Fehler (EDM)	Unbekannte	2.5.5
`p`	sonstige Parameter	Unbekannte	2.5.7
`T`	Transformationsparameter	Unbekannte	2.5.8
`A`	Transformationsparameter (Affintransformation)	Unbekannte	2.5.9
`C`	innere Orientierung einer Messbildkammer	Unbekannte	2.5.12
`I`	Messbild	Funktionales Modell	2.5.13
`S`	Standpunktsatz	Unbekannte	2.5.14
`M`	Messwertsatz	Beobachtungen	2.6.1
`s`	Standardabweichung a priori	Stochastisches Modell	2.7.1
`B`	Bedingung zwischen den Unbekannten	Funktionales Modell	2.8.1
`q`	Kovarianzen einer Beobachtung	Stochastisches Modell	2.7.2
`e`	Ellipsoid	Funktionales Modell	2.5.10
`y`	lokales Koordinatensystem	Funktionales Modell	2.5.11

Neben den Steuerzeichen sind besondere Symbole für die Festlegung sogenannter absoluter Beobachtungen zu beachten (Kap. 2.6.2).

2.2 Sektionen

Innerhalb einer Steuerdatei existieren, teilweise nur virtuell, verschiedene **Sektionen**, die mit einem Symbol gekennzeichnet werden, dass mit einem Punkt (`.`) beginnt. Folgende Sektionen können definiert werden (Tab. 2):

Tabelle 2: Sektionen-Übersicht

Symbol	Bedeutung
`.Ausgleichung`	Bereich in dem das funktionale und stochastische Modell deklariert wird. Zu Beginn einer Steuerdatei ist diese Sektion aktiv und braucht daher nicht gesetzt werden.
`.Unbekannte`	– *derzeit ohne Funktion* –
`.Datumspunkte`	Lagepunkte, Höhe sowie 3D-Punkte werden innerhalb dieser Sektion bei einer freien Netzausgleichung als Datumspunkte verwendet.
`.Beobachtungen`	– *derzeit ohne Funktion* –
`.Bedingungsgleichungen`	– *derzeit ohne Funktion* –
`.Funktionen`	Bereich in dem das funktionale Modell für die Fehlerfortpflanzung deklariert werden muss.
`.Plot`	Bereich zum Setzen von Variablen für die allgemeine Plot-Ausgabe
`.VRML`	Bereich zum Setzen von Variablen für die spezielle VRML-Ausgabe
`.Modell`	Bereich zum Setzen von Variablen für den Export von benutzerdefinierten Koordinatenlisten
`.Residuen`	Festlegungen für eine Ausgabeliste mit Beobachtungen und deren Residuen
`.Korrelation`	Festlegungen für eine Ausgabeliste mit Unbekannten und deren Korrelationen
`.delete`	Bereich ab dem die folgenden Beobachtungen in der Ausgleichung unberücksichtigt bleiben und stattdessen als Funktionen behandelt werden
`.notdeletable`	Bereich mit Beobachtungen, die nicht als Ausreißer eliminiert werden dürfen
`.Kommentar`	Innerhalb der Kommentar-Sektion werden alle Eingabezeilen überlesen. Das Ende eines Kommentars wird mit `.End` markiert. Kommentaren dürfen ineinander verschachtelt sein.
`.End`	Beendet die Gültigkeit einer Sektion.

2.3 Steuervariablen

Zur Festlegung von besonderen Zuständen oder Steuerparametern gibt es Steuervariablen. Variablen sind daran zu erkennen, das dem Variablenname (Symbol) ein Gleichheitszeichen (`=`) und dann ein Wert folgt. Die Variable hat nur Auswirkung auf die nachfolgenden Zeilen in der Steuerdatei und darf beliebig oft gesetzt werden. Für Steuervariablen denen eine Zeichenkette (String) zugewiesen wird, ist diese in Anführungszeichen `"` einzuschließen. Andere Steuervariablen erwarten hingegen ein Steuersymbol

aus einer fest vorgegebenen Auswahl von gültigen Symbolen (Z. B.: `Einheitwinkel=gon`). Einfache Steuervariablen erwarten einen einzelnen Zahlenwert oder mehrere durch Leerzeichen voneinander getrennte Werte.
In den Tabellen 3 und 4 sind alle Steuervariablen mit den verfügbaren Steuersymbolen erläutert.
Eine Übersicht aller möglichen Steuervariablen und aller möglichen Steuersymbole wird in die Ergebnisdatei geschrieben.

Tabelle 3: Steuervariablen-Übersicht ohne jene für die Sektion `.Plot`

Steuervariable	Bedeutung	Gültigkeit
`Projekt`	Projektname oder -beschreibung als String ("...")	nicht begrenzt
`Bearbeiter`	Name des Projektbearbeiters als String ("...")	nicht begrenzt
`Quelle`	Herkunft des Projektes als String ("...")	nicht begrenzt
`EinheitWinkel`	Definition der verwendeten Winkeleinheit. Mögliche Werte sind: `gon` für die 400er-Teilung und `deg` für die 360er-Teilung eines Vollkreises sowie `altgrad` für die 360er-Teilung im HP-Format `ggg.mmss`.	nicht begrenzt
`EinheitStrecke`	Definition der verwendeten Längeneinheit. Mögliche Werte sind: `m`.	nicht begrenzt
`Erdradius`	Legt den Wert für den Erdradius in Metern fest. Der Erdradius wird zur Berechnung von Refraktionseinflüssen benutzt. Voreinstellung: `Erdradius=6383000.0`	nicht begrenzt
`RotationsMatrixTyp`	Mit dieser Variable kann festgelegt werden, wie Rotationswinkel innerhalb von Rotationsmatrizen zu interpretieren sind. Mögliche Werte sind: `OmegaPhiKappa`, `AzimuthTiltSwing` und `AxisAngle`. Voreingestellt ist `OmegaPhiKappa`.	nicht begrenzt
`t`	Setzen der aktuell gültigen Tafel-, Prismen bzw. Zielpunkthöhe in Metern.	`.Ausgleichung` und `.Funktionen`
`ZielweitenTyp`	Hiermit wird festgelegt, wie das stochastische Modell für Höhendifferenz-Beobachtungen (Beobachtungstyp `h`) gebildet werden soll. Mögliche Werte sind `km` und `m` (die apriori Standardabweichung wird anhand einer Entfernung z.b. Länge eines Nivellementswege bestimmt) sowie `Standardabweichung`, `Gewicht` und `GewichtQuadrat`.	nicht begrenzt
`File`		`.Modell`
`Output`		`.Modell`
`Typ`		`.Modell`
`Scale`	Legt die Überhöhung (Skalierung) der Koordinaten in den drei Koordinatenrichtungen fest.	`.VRML`

Die Bedeutung der speziellen Steuersymbole ergibt sich aus den Tabellen 5 und 6.

Tabelle 4: Steuervariablen-Übersicht für die Sektion `.Plot`

Steuervariable	Bedeutung	Gültigkeit
`Selection`	Nachdem Gleichheitszeichen werden n-viele Punktkennzeichen, durch Leerzeichen getrennt, angegeben. Die Netzskizze enthält dann nur einen Ausschnitt für diejenigen Punkte, die innerhalb des angegebenen Polygons liegen. Damit ist es möglich in die Netzskizze hinein zu zoomen. Sollen auch die Eckpunkte des Polygons gezeichnet werden so ist `SelectionWithBorder = true` zusetzen.	`.Plot`
`SelectionWithBorder`	siehe `Selection`	`.Plot`
`TextSize`		`.Plot`
`TextColor`		`.Plot`
`StrokeWidth`		`.Plot`
`PaperSize`		`.Plot`
`ScaleResiduum`		`.Plot`
`ScaleOutlier`		`.Plot`
`Symbols`		`.Plot`

Tabelle 5: Steuersymbol-Übersicht für die Steuervariable `RotationMatrixTyp`

Symbol	Bedeutung
`OmegaPhiKappa`	Innerhalb einer 3×3-Rotationsmatrix entspricht der erste Winkel aus einem `p`–Satz einer Rotation ω um die X–Achse, der zweite Winkel einer Rotation ϕ um die Y–Achse und der dritte Winkel einer Rotation κ um die Y–Achse . Die Rotationsreihenfolge lautet: κ, ω, ϕ
`AzimuthTiltSwing`	Innerhalb einer 3×3-Rotationsmatrix entspricht der erste Winkel aus einem `p`–Satz einer Rotation α um die Z–Achse , der zweite Winkel einer Rotation ν um die mitgedrehte X–Achse und der dritte Winkel einer Rotation θ um die mitgedrehte Y–Achse. Die Rotationsreihenfolge lautet: α, ν, θ
`AxisAngle`	*– nicht implementiert –*

Tabelle 6: Steuersymbol-Übersicht für die Steuervariable ZielweitenTyp

Symbol	Bedeutung
km	Aus den zwei Parametern s_0 und s_{km} eines s-Satzes für den Beobachtungstyp h wird die Standardabweichung apriori wie folgt berechnet: $s_h = s_0 + \sqrt{L} \cdot s_{km}$. Für s_0 gilt die Einheit Meter für die Nivellementsweglänge L die Einheit Kilometer und für s_{km} die Einheit $\frac{m}{\sqrt{km}}$. Die Länge L wird innerhalb des Beobachtungssatzes (M <pnr> h <wert> <L>) als fünfter Parameter eingetragen. Fehlt diese Angabe, so wird versucht diese aus den gegebenen Lagekoordinaten zu berechnen. Gelingt dieses nicht wird der Default-Wert von 1km verwendet.
m	Identisch zu km mit dem Unterschied, dass die Einheit für den zweiten Parameter des s-Satzes nun Meter ist.
Gewicht	Aus den zwei Parametern s_0 und s_1 eines s-Satzes für den Beobachtungstyp h wird die Standardabweichung apriori wie folgt berechnet: $s_h = s_0 + \frac{1}{p} \cdot s_1$. Für s_0 und s_1 gilt die Einheit Meter. Das Gewicht p hat keine Einheit und wird innerhalb des Beobachtungssatzes (M <pnr> h <wert> <p>) als fünfter Parameter eingetragen. Fehlt diese Angabe wird der Default-Wert von 1 verwendet.
GewichtQuadrat	Aus den zwei Parametern s_0 und s_1 eines s-Satzes für den Beobachtungstyp h wird die Standardabweichung apriori wie folgt berechnet: $s_h = s_0 + \frac{1}{\sqrt{p^2}} \cdot s_1$. Für s_0 und s_1 gilt die Einheit Meter. Das Gewicht p hat keine Einheit und wird innerhalb des Beobachtungssatzes (M <pnr> h <wert> <p*p>) als fünfter Parameter eingetragen. Hinter dem Messwert steht also ein quadriertes Gewicht. Fehlt diese Angabe wird der Default-Wert von 1 verwendet.
Standardabweichung	Für die Berechnung der die Standardabweichung apriori für den Beobachtungstyp h wird nur der erste Parameter s_0 eines s-Satzes verwendet. Es gilt die Formel: $s_h = s_0$. Für s_0 gilt die Einheit Meter. Innerhalb eines Beobachtungssatzes (M <pnr> h <wert> <s>) kann als fünfter Parameter eine individuelle Standardabweichung eingetragen werden, welche die global gesetzte überschreibt.

2.4 Kommentare

Zum Auskommentieren von Zeilen oder größeren Bereichen in einer Steuerdatei stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Soll nur eine Zeile auskommentiert werden, so sollte der Zeile ein Semikolon (`;`) vorangestellt werden. Mehrzeilige Bereichen lassen sich mit einer Kommentar-Sektion versehen. Dazu wird am Kommentaranfang der Befehl `.Kommentar` und am Ende der Befehl `.End` gesetzt. Anstelle von `.Kommentar` kann auch `.REM` benutzt werden. Auch die aus der Sprache C her bekannte Notation mit einleitendem `/*` und schließendem `*/` ist anwendbar. Kommentare dürfen ineinander verschachtelt sein.
Beispiele:

```
; Hier steht eine Kommentarzeile
P 1000 00 12.01 14.02
.Kommentar
P 1000 11  12.01 14.02
P 1001 11 -22.01 67.34
.End
/* Verschachteler Kommentar
P 1000 00  12.01 14.02
/*
P 1001 00 -22.01 67.34
*/
*/
```

2.5 Unbekannte und Parameter

2.5.1 P–Satz: Gauß–Krüger–Koordinaten

Zur Definition der beteiligten Gauß–Krüger–Koordinaten dient der P-Satz. Der allgemeine Aufbau lautet:

P *Punktkennzeichen Kennung Hochwert Rechtswert [Punktcode]*

Jeder Punkt wird durch das *Punktkennzeichen* (Punktnummer) innerhalb einer Steuerdatei eindeutig definiert. Das *Punktkennzeichen* darf aus max. 14 beliebigen Zeichen bestehen. Nur das Leerzeichen ist nicht erlaubt, da dieses die einzelnen Parameter innerhalb einer Zeile voneinander trennt. Alle P-Sätze müssen verschiedene Punktkennzeichen haben[4]. Durch das Punktkennzeichen werden die Beziehungen der einzelnen Sätze hergestellt, so dass auf eine korrekte Schreibweise zu achten ist[5].
Nach dem *Punktkennzeichen* ist die *Kennung* anzugeben, anhand der entschieden wird, ob der Hoch– und/oder der Rechtswert als Unbekannte in das Ausgleichsmodell aufgenommen werden sollen. Für die *Kennung* sind folgende Werte möglich:

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
00		Normalfall für einen Festpunkt
10	Hochwert	
01	Rechtswert	
11	Hoch– und Rechtswert	Normalfall für einen Neupunkt

Der Kennung folgt zuerst der Hoch– und dann der Rechtswert in der Einheit Meter. Sind die Werte unbekannt so steht an entsprechender Stelle der Näherungswert. Dieser wird auch zur Datumsfestlegung bei einer freien Ausgleichung herangezogen.
Für lokale Netze müssen keine „echten“, d.h. vollständigen, Gauß–Krüger–Koordinate angegeben werden. Netze mit GPS-Beobachtungen erforden hingegen, dass der Rechtswert die Kennziffer für den Meridianstreifen und den Ordinatenzuschlag von $+500.000,000$ enthält. Der Hochwert zählt dann entsprechend vom Äquator.
Hinter den Koordinaten kann ein Punktcode eingegeben werden. Der Punktcode darf aus einer unbegrenzt langen Folge beliebiger Zeichen aufgebaut sein. Ausgenommen ist das Zeichen ". Enthält der Punktcode Leerzeichen, so ist er durch ein führendes und abschließendes " eindeutig zu begrenzen.
Beispiele:

```
P AP/3096   00   5624664.0500 2504424.5800 "Gully Mitte"
P NP.5      11   5624403.2650 2504349.2670 9001
P Alfred_x  01      1000.0           0.0
P Anton_y   10         0.0        1000.0
```

2.5.2 H–Satz: Höhenkoordinate

Passend zu den Gauß–Krüger–Koordinaten können (Nivellemnts–) Höhen durch entsprechende H–Sätze definiert werden. Für Nivellementsnetze sind durch die H–Sätze die Fest– und Neupunkthöhen anzugeben. Ihre Syntax lautet:

H *Punktkennzeichen Kennung Höhe [Höhenversatz] [Punktcode]*

Jeder Höhenpunkt wird durch das *Punktkennzeichen* eindeutig bezeichnet. Für die Bildung des Punktkennzeichens gilt das oben Gesagte (Kap. 2.5.1). Die *Kennung* dient auch hier der Unterscheidung zwischen unbekannten und bekannten Höhen. Es sind folgende Werte erlaubt:

[4] im Gegensatz zu den S– und M–Sätzen
[5] Es wird generell zwischen Groß– und Kleinschreibung unterschieden.

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`00`		Festpunkthöhe
`10`	Höhe	Neupunthöhe
`01`	Höhenversatz	
`11`	Höhe und Höhenversatz	

Im Zusammenhang mit GPS-Beobachtungen wird die Höhe als orthometrische Höhe, bzw. in einem Höhensystem passsend zu den Gauß–Krüger–Koordinaten, interpretiert und der Höhenversatz als Undulation verstanden. [6]
Jeder Höhenpunkt kann mit einem Punktcode versehen werden. Das Feld für den Höhenversatz ist für zukünftige Erweiterung zur Ausgleichung von Geoidundulationen vorgesehen.
Beispiele:

```
H AP/3096  00  105.2711 0
H NP.5     10   99.2301
H Pfeiler  00  103.2971 1.340 "Pfeiler oben"
```

2.5.3 K–Satz: X–,Y–,Z–Koordinaten

Die Deklaration von kartesischen, räumlichen X–,Y–,Z–Koordinaten, wie sie z. B. bei GPS-Netzen oder Koordinatentransformationen vorkommen können, ist mit Hilfe der K-Sätze möglich. Ein K-Satz ist wie folgt einzugeben:

K *Punktkennzeichen Kennung X–Wert Y–Wert Z–Wert [Punktcode]*

Für das *Punktkennzeichnen* gilt das bereits oben Gesagte (Kap. 2.5.1). Auch die *Kennung* hat hier die gleiche Funktion wie bei den vorherigen Satzarten. Für K-Sätze sind folgende Kennungen möglich:

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`000`		Normalfall für einen Festpunkt
`100`	X–Wert	
`010`	Y–Wert	
`110`	X– und Y–Wert	*Lage-Neupunkt*
`001`	Z–Wert	*Höhen-Neupunkt*
`101`	X– und Z–Wert	
`011`	Y– und Z–Wert	
`111`	X–, Y– und Z–Wert	Normalfall für einen Neupunkt

Zu beachten ist, dass die K-Sätze in keinem funktionalen Zusammenhang zu den Gauß–Krüger–Koordinaten und den Nivellementshöhen stehen. Kartesische X–,Y–,Z–Koordinaten werden bei Koordinatentransformationen, GPS–Netzen und der Approximation von Formen (Kreis, Ebene etc.) verwendet. Bei der 7–Parameter– und Affintransformation werden sie für die Definition der Koordinatenwerte im Zielsystem gebraucht.
Ein in den Zeilen oberhalb des K-Satze definierter y-Satz führt dazu, dass die Koordinaten als lokale Koordinaten in dem Koordinatensystem aufgefasst werden, dessen Transformationsparameter durch den y-Satz angegeben sind (2.5.11).
Beispiele:

```
K  Festpunkt/F1  000  4213857.480 1025292.070 4664733.470 Pfeiler
K  Neupunkt/N1   111  4214436.777 1025493.730 4663835.190 Bodenpunkt
```

[6] Die Brücksichtigung einer Undulation ist zur Zeit nicht implementiert

2.5.4 `a`–Satz: EDM-Parameter

Für Streckenmessungen mit einem elektrooptischen Entfernungsmesser (EDM) können über `a`–Sätze zusätzliche Unbekannte modelliert werden.

`a` *Kennzeichen Kennung Maßstab Additionskonstante [Refraktionskoeffizient] [Zyklischer Fehler]*

Das *Kennzeichen* dient der Unterscheidung zwischen verschiedenen EDM-Parametersätzen und unterliegt den gleichen Bildungsregeln wie für Punktkennzeichen. Die *Kennung* kann folgende Werte annehmen:

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`000`		
`100`	Maßstab	
`010`	Additionskonstante	
`001`	Refraktionskoeff.	
`110`	Maßstab und Additionskonstante	
`101`	Maßstab und Refraktionskoeff.	geeignetes Beobachtungsmaterial erforderlich!
`011`	Additionskonstante und Refraktionskoeff.	
`111`	Maßstab, Additionskonstante und Refraktionskoeff.	geeignetes Beobachtungsmaterial erforderlich!

Der Wert und die Kennung für den Refraktionskoeffizienten können entfallen, wenn diese ohne Bedeutung sind. Der Refraktionskoeffizient hat dann den Wert `0.0` und ist bekannt.
Man beachte, dass ein Maßstabswert von `0.0` in der Regel unzulässig ist. In der Regel beträgt er etwa `1.0`.
Beispiele:

```
a  m            10   1.000023 0.0
a  Geodimeter   00   1.0      0.035
a  k            001  1.0      0.0   0.13
```

Die optionale Angabe von *Zyklischer Fehler* beschreibt keinen Zahlenwert sondern ein Kennzeichnen (Name) eines `z`–Satzes und verweist so auf mehrere Parameter zur Modellierung eines Zyklischen Phasenfehlers. (2.5.5)

2.5.5 `z`–Satz: Zyklischer Phasenfehler in der Streckenmessung (EDM)

Mit einem `z`–Satz wird ein Parametersatz für einen zyklischen Phasenfehler festgelegt. Die Verbindung zu den Streckenbeobachtungen (Beobachtungstyp `S` und `D`) erfolgt indirekt über einen `a`–Satz.

`z` *Kennzeichen Kennung Feinmaßstab A1 B1 A2 B2 A3 B3 [Zyklischer Fehler]*

Das *Kennzeichen* dient der Unterscheidung zwischen verschiedenen zyklischen Fehlern und unterliegt den gleichen Bildungsregeln wie für Punktkennzeichen. Die *Kennung* kann folgende Werte annehmen:

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`0000000`		
`1000000`	Feinmaßstab λ	
`0110000`	Fourierkoeffizienten A_1 und B_1 mit der Wellenlänge λ	Amplituden
`0001100`	Fourierkoeffizienten A_2 und B_2 mit der Wellenlänge $\frac{\lambda}{2}$	Amplituden
`0000011`	Fourierkoeffizienten A_3 und B_3 mit der Wellenlänge $\frac{\lambda}{3}$	Amplituden

Die Berechnungsformel für einen zyklischen Phasenfehler K_{zf}, der über einen `z`–Satz definiert wird, lautet:

$$
\begin{aligned}
K_{z_f}(x) &= \sum_{i=1}^{3} A_i \cdot \sin(ix) + B_i \cdot \cos(ix) \\
\text{mit:} & \\
x &= \frac{D' - U \cdot \lambda}{\lambda} \cdot 2\pi \\
U &= int\left(\frac{D'}{\lambda}\right) \\
D' &: \text{ gemessene Strecke} \\
A_i, B_i &: \text{ Amplituden der jeweiligen Schwingungsanteile in [m]} \\
\lambda &: \text{ Feinmaßstab (Wellenlänge der Schwingung) in [m]}
\end{aligned}
$$

Über den die optionale Angabe einer weiteren Kennung für einen zyklischen Fehler, kann die Fourierreihe sukessive erweitert werden, mit verschiedenen Feinmaßstäben.
Beispiel:

```
...
z zykl3 0111111  0.625  0.0 0.0   0.0 0.0   0.0 0.0
z zykl2 0111111  2.5    0.0 0.0   0.0 0.0   0.0 0.0 zykl3
z zykl1 0111111 10.0    0.0 0.0   0.0 0.0   0.0 0.0 zykl2

a m     010 1.0  0.0 0.0  zykl1

S 0 00 0.0 0.0
M   1  S.m  22.1740
M   2  S.m  22.4240
M   3  S.m  22.6733
M   4  S.m  22.9235
M   5  S.m  23.1760
...
```

2.5.6 `c`–Satz: Achsfehler eines Tachymeters

Mit einem `c`–Satz werden Ziel- und Kippachsfehler sowie eine Höhenindexabweichung für tachymetrische Beobachtungen (Horizontalrichtung und Vertikalwinkel) modelliert.

`c` *Kennzeichen Kennung Zielachsfehler Kippachsfehler Höhenindexabweichung*

Das *Kennzeichen* dient der Unterscheidung zwischen verschiedenen Achsfehler-Sätzen und unterliegt den gleichen Bildungsregeln wie für Punktkennzeichen. Die *Kennung* kann folgende Werte annehmen:

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`000`		
`100`	Zielachsfehler c in [gon]	
`010`	Kippachsfehler i in [gon]	
`001`	Höhenindexabweichung h in [gon]	

Auch wenn die Achsfehler theoretisch für ein Instrument über einen gewissen Zeitraum konstant sind, erfolgt die Zuordnung der Achsfehler zu den polaren Messungen über die Standpunktsätze. So ist es möglich sowohl für jeden neuen Standpunkt andere Achsfehler zu schätzen als auch für eine Gruppe von Standpunkten (gemessen mit ein und demselben Instrument).

2.5.7 p–Satz: sonstiger Parameter

Sonstige Parameter sind z. B. die Bestimmungparameter für die Approximation von geometrischen Primitiven. Die Anzahl und Bedeutung der Parameter hängen somit vom zu bestimmenden Primitiv ab.
Der allgemeine Aufbau eines p–Satzes mit N Parametern ist:

p *Kennzeichen Kennung Parameter1 [Parameter2] . . . [ParameterN]*

Für einen Kreis ist der gesuchte Kreisradius über einen p–Satz zu definieren. Es gilt:

p *Kennzeichen Kennung Radius*

Folgende Tabelle 7 gibt eine Übersicht über die Bedeutung der Parameter bei anderen Primitiven.

Tabelle 7: Übersicht der sonstigen Parameter

	Anzahl	Bedeutung					Bemerkung
Primitiv	Parameter	*Para1*	*Para2*	*Para3*	*Para4*	*Para5*	
2D-Kreis	1	R					Radius
Kugel	1	R					Radius
Ebene	3	n_x	n_y	n_z			Normalenvektor
Zylinder	5	R	Re_0	Ho_0	μ	ν	Radius, Durchstosspunkt durch Rechts–Hoch-Ebene, Richtung und Neigung der Zylinderachse
I–Satz	3	α	β	γ			Kamera-Blickrichtung. Bedeutung abhängig vom Wert der Steuervariablen `RotationsMatrixTyp` (Kap. 2.3)

2.5.8 T–Satz: Transformationsparameter

Mit einem T–Satz werden die Parameter einer 7-Parametertransformation festgelegt. Der Aufbau eines eines T–Satzes ist:

T *Kennzeichen Kennung X-Offset Y-Offset Z-Offset X-Drehung Y-Drehung Z-Drehung Maßstab*

Das *Kennzeichen* dient der Unterscheidung zwischen verschiedenen Transformationssätzen und unterliegt den gleichen Bildungsregeln wie für Punktkennzeichen. Die Verschiebungen des Ursprungs (Translation) entlang der Koordinatenachsen werden durch die Werte für *X-Offset*, *Y-Offset* und *Z-Offset* festgelegt. Drehungen (Rotationen) werden durch *X-Drehung*, *Y-Drehung* und *Z-Drehung* beschrieben, wobei z.B. *X-Drehung* für die Drehung um die X-Achse steht Der Maßstab ergibt sich aus *Maßstab*. Die Rotationswinkel sind in **Gon** und der Maßstab als Verhältniszahl (Multiplikator) einzugeben.

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`0000000`		
`1000000`	X–Offset	
`0100000`	Y–Offset	
`0010000`	Z–Offset	
`0001000`	X–Drehung	
`0000100`	Y–Drehung	
`0000010`	Z–Drehung	
`0000001`	Maßstab	
`1100010`	X– und Y–Offset, Z–Drehung	ebene 3-Parameter-Transformation
`1100011`	X– und Y–Offset, Z–Drehung und Maßstab	ebene 3-Parameter-Transformation mit Maßstab
`1111111`	X–, Y– und Z–Offset und X–, Y– und Z–Drehung und Maßstab	räumliche 7-Parameter-Transformation

Sollen die Parameter für Koordinatensysteme bestimmt werden, die stark zueinander verdreht sind oder einen großen Maßstabsunterschieds haben, so ist es erforderlich gute Näherungswerte für die Drehwinkel und den Maßstab einzugeben bzw. über den `-n`-Schalter Näherungswerte zu bestimmen.

2.5.9 A–Satz: Transformationsparameter für Affintransformation

Mit einem A–Satz werden die Parameter einer Affintransformation analog zum T–Satz festgelegt. Der Aufbau eines eines A–Satzes ist lang und kostet Konzentration:

A *Kennzeichen Kennung X-O Y-O Z-O alpha-y alpha-z beta-x beta-z gamma-x gamma-y m-x m-y m-z*

Das *Kennzeichen* dient der Unterscheidung zwischen verschiedenen Transformationssätzen und unterliegt den gleichen Bildungsregeln wie für Punktkennzeichen. Die Verschiebungen des Ursprungs entlang der Koordinatenachsen werden durch die Werte für *X-O*, *Y-O* und *Z-O* festgelegt. Die Verdrehungen der Koordinatenachse werden durch die Winkel *alpha*, *beta* und *gamma* beschrieben. Da bei einer Affintransformation die Achsen geschert werden ist jeder Winkel doppelt vorhanden. Die Drehung und Scherung bezüglich der X–Achse erfolgt durch den Winkel *alpha-y* und *alpha-z*. *alpha-y* verdreht dabei die Y–Achse um die X–Achse und *alpha-z* die Z–Achse um die X–Achse. *beta* steht für die Rotation um die Y-Achse (gedreht werden X– und Z–Achse) und *gamma* für die Rotation um die Z-Achse. Die Maßstäbe längs der Koordinatenachsen tragen den Namen *m-x*, *m-y* und *m-z*. Die Einheit für die Rotationswinkel ist Gon.

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
`000000000000`		
`100000000000`	X–Offset (x_0)	
`010000000000`	Y–Offset (y_0)	
`001000000000`	Z–Offset (z_0)	
`000100000000`	Drehung der Y–Achse um die X–Achse (α_y)	
`000010000000`	Drehung der Z–Achse um die X–Achse (α_z)	
`000001000000`	Drehung der X–Achse um die Y–Achse (β_x)	
`000000100000`	Drehung der Z–Achse um die Y–Achse (β_z)	
`000000010000`	Drehung der X–Achse um die Z–Achse (γ_x)	
`000000001000`	Drehung der Y–Achse um die Z–Achse (γ_y)	
`000000000100`	Maßstab in X–Richtung (m_x)	
`000000000010`	Maßstab in Y–Richtung (m_y)	
`000000000001`	Maßstab in Z–Richtung (m_z)	
`110000011110`	(x_0,y_0,γ_x,γ_y,m_x,m_y)	2D-Affintransformation

Mithilfe zusätzlicher Bedingungsgleichungen können auch die Transformationsfälle modelliert werden, die über `T`–Sätze definierbar sind. Näheres dazu steht bei der Beschreibung für `B`–Sätze (Kap. 2.8.1).
Die `A`–Sätze stehen mit den `K`–Sätzen und den Messwerttypen `X, Y, Z` und `X',Y',Z'` im Zusammenhang.
Beispiele:

```
A  trans1  111111111111  0.0 0.0 0.0  0.0 0.0  0.0 0.0  0.0 0.0  1.0 1.0 1.0
A  trans2  110000011110  0.0 0.0 0.0  0.0 0.0  0.0 0.0  0.0 0.0  1.0 1.0 1.0
```

2.5.10 `e`–Satz: Ellipsoid

Mit einem `e`–Satz wird das Ellipsoid definiert auf das sich das Abbildungsystem der `P`-Sätze stützt.

`e` *Ellipsoid-Kennzeichen Kennung große-Halbachse kleine-Halbachse*

Die *Kennung* wird ignoriert. Ellipsoid-Parameter werden immer als bekannt und fest angesehen. Als Abbildungsvorschrift wird bislang ausschließlich die Gauß–Krüger–Meridianstreifen-Projektion mit 3° breiten Streifen verwendet.
Beispiel:

```
e Bessel   00  6377397.15508  6356078.9629
```

2.5.11 `y`–Satz: Koordinatensystem

Ein `y`–Satz dient zur Unterscheidung von Koordinaten, die in unterschiedlichen lokalen Koordinatensystemen vorliegen.

`y` *Kennzeichen–Transformationssatz*

Nach einem `y`–Satz wird in das betreffende lokale Koordinatensystem umgeschaltet. Eine Rückkehr in das globale System ist nicht möglich. Daher sind alle Angaben, die sich auf das globale System beziehen vor dem ersten `y`–Satz zu machen.

Beispiel:

```
; Koordinaten im globalen Koordinatensystem
P  1 00 370.803  982.788
P  2 00 370.794  982.791
P  3 00 366.452  992.461
H          1 0 87.000
H          2 0 85.468
H          3 0 86.626
; Beobachtungen im globalen Koordinatensystem
S 040 00 0.0 0
M  1 D.m  2.576
M  2 D.m  2.633
M  3 D.m 10.291
; Parameter zu Transformation vom lokalen ins globale Koordinatensystem
T t41 0001100 0.0 0.0 0.0   0.0 0.0 0.0  1.0
; Umschalten in das lokalen Koordinatensystem
y t41
; Beobachtungen im lokalen Koordinatensystem
S 041 00 0.0 0
M  1 D.m  2.555
M  2 D.m  2.634
M  3 D.m 10.289
```

2.5.12 C–Satz: Innere Orientierung einer Messbildkammer

Die Parameter der inneren Orientierung einer Messkammer werden mit einem C–Satz deklariert.

C *Kamera-Kennzeichen Kennung* c_x Δc_y x'_0 y'_0 K_1 K_2 K_3 K_4 P_1 P_2 C_1 C_2

Formelzeichen	Bedeutung
c_x	Kammerkonstante in [pixel]
Δc_y	Offset der Kammerkonstante für die y'-Richtung in [pixel]
x'_0, y'_0	Bildhauptpunkt in [pixel]
K_1, K_2, K_3, K_4	Parameter der radial symmetrischen Verzeichnung
P_1, P_2	Parameter der tangentialen Verzeichnung
C_1, C_2	Parameter der Scherung

Die Terme zur Korrektion der Bildkoordinatenmessung $\Delta x'$ und $\Delta y'$ aufgrund von Objekt–Verzeichnung und dergleichen lauten mit $r = \sqrt{x'^2 + y'^2}$:

$$\begin{aligned}
\Delta x' &= x'(K_1 r + K_2 r^2 + K_3 r^3 + K_3^4)\ + P_1(r^2 + 2x'^2) + 2P_2 x'y'\ - C_1 x' + C_2 y' \\
\Delta y' &= y'(K_1 r + K_2 r^2 + K_3 r^3 + K_3^4)\ + P_2(r^2 + 2y'^2) + 2P_1 x'y'\ + C_2 y'
\end{aligned}$$

2.5.13 I–Satz: Messbild

Für die Zuordnung von Bildkoordinatenmessungen zur inneren und äußeren Orientierung einer Messkammer füe eine Bündelblockausgleichung dient der I–Satz. Die Syntax ist:

I *Punktkennzeichen Messkammer-Kennzeichen Parameter-Kennzeichen*

Das *Punktkennzeichen* gibt an, welche Gauß–Krüger–Koordinate (P–Satz) und Höhe (H–Satz) der Bildhauptpunkt des Bildes haben soll. Es stellt damit die Verbindung zum ersten Teil der äußeren Orientierung, der Kamerastandpunkt, her. Das *Messkammer-Kennzeichen* verweist auf die Daten der inneren

Orientierung der Kamera (C–Satz). Das *Parameter-Kennzeichen* identifiziert ein p–Satz, in dem die Ausrichtung der Kamera deklariert ist, der zweite Teil der äußeren Orientierung. Im p–Satz sind drei Winkel angegeben. Ihre Bedeutung ist abhängig vom Wert der Variablen `RotationsMatrixTyp` (Kap. 2.3). Beispiel:

```
RotationsMatrixTyp = AzimuthTiltSwing

P 21  00    -284.46540  -79.71719
H 21  00    2041.41919    0
P 22  00    -288.46136  375.41744
H 22  00    2035.54152    0
; Kamerastandpunkt
P s1  11   -3419.8906 1788.6889
H s1  10    2440.6110     0
; Ausrichtung der Kamera
p eo1 111  -15.370707  85.297110   2.111116
; innere Orientierung
C cam 0000 20.3830  0.000 0.0937   0.0702

I s1 cam eo1

px 21 -4.489853
py 21  2.682737
px 22 -2.213359
py 22  2.441332
```

2.5.14 S–Satz: Standpunkt

In geodätischen Netzen treten überwiegend relative Beobachtungen auf. Die Messwerte werden von einem Punkt aus, dem Standpunkt, zu einem anderen, dem Zielpunkt beobachtet. Die Einführung eines Standpunktsatzes spiegelt diese Gegebenheit wider und ermöglicht so eine knappe und übersichtliche Beschreibung des Beobachtungsmaterials in der Steuerdatei. Weiterhin dient er der Deklaration der Orientierungsunbekannten je Richtungssatz und der Festlegung der Instrumentenhöhe. Ein S-Satz ist nach folgender Regel einzugeben:

p *Punktkennzeichen Kennung Orientierungsunbekannte [Instrumentenhöhe] [Achsfehler]*

Das *Punktkennzeichnen* benennt den Standpunkt, von dem aus die folgenden Beobachtungen vorgenommen wurden. Alle nach einem Standpunktsatz folgenden M-Sätze werden diesem zugeordnet. Es ist möglich mehrere Standpunkte mit gleichem Punktkennzeichen anzugeben [7].

Die *Kennung* dient zur Definition der Orientierungsunbekannten des Richtungssatzes und der Instrumentenhöhe dieses Standpunktes.

Kennung	unbekannt ist/sind	Bemerkung
0		Normalfall für Strecken
1	Orientierungsunbekannte	Normalfall für Richtungen
10	Orientierungsunbekannte	
01	Instrumentenhöhe	
11	Orientierungsunbekannte, Instrumentenhöhe	

Optional kann ein Kennzeichen für einen Satz an Achsfehlern (c–Satz) angegeben werden.

Beispiel:

[7] Im Gegensatz zu den Sätzen der Unbekannten (P-, H-, K-, p-, T-Sätze).

```
S  9000-1   0   0.0
S  9000-2   1   0.0
S  9000-3   10  0.0 1.732
c  achsf   110  0.0 0.0
S  9000-3   10  0.0 0.0  achsf
```

2.6 Beobachtungen

2.6.1 `M`–Satz: Messwert

Die `M`-Sätze bilden das Herz der Steuerdatei. Sie verknüpfen alle Daten miteinander und repräsentieren alle (relativen) Beobachtungen im Ausgleichsmodell. Die Synatx eines `M`-Satzes lautet:

`M` *Punktkennzeichen Messwerttyp[*`(`*Gruppe*`)`*][*`.`*EDM-Parameter] Wert [Standardabweichung]*

Das *Punktkennzeichen* benennt den Zielpunkt zu dem die Messung erfolgte. Je nach dem Wert für *Messwerttyp* wird so die Beziehung zwischen den `P-,H-,K-` oder `a-`Sätzen hergestellt. Die realisierten Beobachtungstypen und ihr zugrunde liegenden Beobachtungsgleichungen sind aus folgender Tabelle 8 zu entnehmen.
Nach *Meßwerttyp* wird der Wert der Beobachtung erwartet. Die Einheit für Richtungs– und Zenitwinkel–Beobachtungen ist Gon und für Strecken, Distanzen und Koordinatenunterschiede Meter.
Jeder Beobachtung **kann** durch eine individuelle Standardabweichung a priori zugewiesen werden, die Vorrang hat vor der durch einen `s`-Satz definierten pauschalierten Standardabweichung. Die individuelle Standardabweichung muss hinter dem Beobachtungswert eingegeben werden. Die Einheiten für *Standardabweichung* sind Gon bzw. Meter.
Die Zuordnung einer Beobachtung zu einer Beobachtungsgruppen erfolgt durch die Erweiterung des Messwerttypes. Der Gruppenname wird in runde Klammern gesetzt und dem Messwerttyp angehängt. Zu berücksichtigende EDM-Parameter werden einer Beobachtung durch Anhängen des Parameternamens mit einem führendem Punkt (`.`) zu geordnet.
Beispiele:

```
s H    0.003 0
s H(1) 0.001 0
s S    0.01  0.005
s S(1) 1.00  0
...
P   3206 00  5624580.5500 2504516.5400
P   3207 00  5624465.8400 2504435.1200
P   7200 00  5624666.2800 2504635.7300
P      1 11        0.0          0.0
...
H   3096  0 218.745
H   3099  0 221.864
H   7200  0 213.759
...
a Masstab 10 1.0 0.0
...
S      1  0     0.00000
M   7200  S.Masstab     95.5020
M   7200  S(1).Masstab  95.5020
...
S      1  1     0.00000
M   3096  H(1)    0.0000
M   7200  H     233.3400  0.001
M   3206  H(1)  330.4810
```

Tabelle 8: Übersicht der relativen Beobachtungstypen

Messwerttyp	Bedeutung	Beobachtungsgleichung Standpunkt i, Zielpunkt j Orientierungsunbekannte o, Instrumentenhöhe ih, Tafelhöhe th
`H`	Horizontalrichtung r_i^j	$r_i^j = \arctan(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_j}) - o_i$
`H2`	Horizontalrichtung in II. Lage ${r_{II}}_i^j$	Wird in die I. Lage umgerechnet und dann als Messwertyp `H` weiterverarbeitet.
`S`	Strecke s_i^j	$s_i^j = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$
`S.`*EDM*	Strecke ${s_m}_i^j$ mit Maßstab m_k und Additionskonstante a_k	${s_m}_i^j = \frac{1}{m_k}(s_i^j - a_k)$
`h`	(nivellierter/trigonometrischer) Höhenunterschied h_i^j	$h_i^j = z_j - z_i + th - ih$
`h.`*EDM*	Höhenunterschied ${h_m}_i^j$ mit Maßstab m_k, Additionskonstante a_k	${h_m}_i^j = \frac{1}{m_k}(z_j - z_i + th - ih - a_k)$
`D`	Raumstrecke d_i^j	$d_i^j = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i + th - ih)^2}$
`D.`*EDM*	Raumstrecke ${d_m}_i^j$ mit Maßstab m_k, Additionskonstante a_k und Refraktionskoeffizent k_k	${d_m}_i^j = \frac{1}{m_k}(d_i^j - a_k + k_k^2 \frac{{d_i^j}^3}{24R^2})$
`V`	Zenitwinkel v_i^j	$v_i^j = \arctan(\frac{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}{z_j - z_i + th - ih})$
`V.`*EDM*	Zenitwinkel v_i^j mit Refraktionskoeffizent k_k	${v_m}_i^j = \arctan(\frac{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}{z_j - z_i + th - ih}) - k_k \frac{d_i^j}{2R}$
`dX`	X-Koordinatenunterschied ΔX	$\Delta X = X_j - X_i$
`dY`	Y-Koordinatenunterschied ΔY	$\Delta Y = Y_j - Y_i$
`dZ`	Z-Koordinatenunterschied ΔZ	$\Delta Z = Z_j - Z_i$

```
...
S         1  0 0.0
M   3096  h  9.1000
M   7200  h  4.1130
```

Der Beobachtungstyp `h` für nivellierte oder trigonometrisch bestimmte Höhenunterschiede weist bezüglich der Festlegung des stochachstischen Modelles eine Besonderheit auf . Anstelle der individuelle Standardabweichung kann hier eine Weglänge L eingegeben werden. Mit diesem L und des zugehörigen `s`-Satzes kann dann die individuelle Standardabweichung a priori ausgehend von einem mittleren Kilometerfehler in Abhängigkeit von der Messentfernung berechnet werden. Folgendes vollständige Beispiel soll diese Möglichkeiten und die Zusammenänge verdeutlichen.
Beispiel (`hnetz3.mkr`):

```
H 1 0 56.37
H 2 1 61.83
H 3 1 48.28
H 4 1 54.33

; Defaulteinstellung ist ...
ZielweitenTyp=km

; Std.abw. = s0  + \sqrt{Zielweite} * s1
;
;      |  s0 [m]
;      |      | s1 [m/\sqrt{km}]
;      |      |
s h(1) 0.0006 0.001

S 1 0 0
M 2 h(1)  5.4538   1.2
S 3 0 0
M 2 h(1) 13.5447   1.1
M 4 h(1)  6.0482   0.9
S 4 0 0
M 1 h(1)  2.0420   0.3
S 3 0 0
M 1 h(1)  8.0900   0.7

S 4 0 0
M 2 h(1)  7.4960   0.6

ZielweitenTyp=Standardabweichung

; Std.abw. = s0
;
;      | s0 [m]
;      |      | wird ignoriert
;      |      |
s h(2) 0.0006 0.0

S 1 0 0
M 2 h(2)  5.4538
S 3 0 0
M 2 h(2) 13.5447
M 4 h(2)  6.0482
S 4 0 0
M 1 h(2)  2.0420
S 3 0 0
M 1 h(2)  8.0900
S 4 0 0
M 2 h(2)  7.4960
```

2.6.2 Weitere Beobachtungen außerhalb von M–Sätzen

Xdesy kennt neben relativen Beobachtungen auch absolute. Diese benötigen keine S–Sätze. Absolute Messwerte werden in Zeilen mit speziellen Steuerzeichen eingegeben. Der allgemeine Aufbau solcher Sätze ist:

Typ Punktkennzeichen1 [Pkt.kenn.2‖Para.1] ... [Pktkenn.N‖Para.M] Wert [Std.abw.]

Typ ist das Steuerzeichen der Zeile und gibt den absoluten Messwerttyp an. Je nach *Typ* hat das Feld *Wert* eine andere Bedeutung und es sind N–viele *Punktkennzeichen* oder M–viele *Parameterkennzeichen* anzugeben (Tab. 9):

Tabelle 9: Übersicht der absoluten Beobachtungstypen

Typ	*Wert*	*Pkt.kennz. / Para.*	Bedeutung	Beobachtungsgleichung
`Ho`	Hochwert	P_i	gemessener Hochwert x_i	$x_i = x_i$
`Re`	Rechtswert	P_i	gemessener Rechtswert y_i	$y_i = y_i$
`hoe`	Höhe	P_i	gemessene Höhe z_i	$z_i = z_i$
`dHo`	Hochwert-Differenz	P_i, P_j	gemessene Differenz zwischen zwei Hochwerten Δx	$\Delta x_{i,j} = x_j - x_i$
`dRe`	Rechtswert-Differenz	P_i, P_j	gemessene Differenz zwischen zwei Rechtswerten Δy	$\Delta y_{i,j} = y_j - y_i$
`dhoe`	Höhen-Differenz	P_i, P_j	gemessene Differenz zwischen zwei Höhen Δz	$\Delta z_{i,j} = z_j - z_i$
`Lot`	Abstand	P_i, P_A, P_E	Abstand b des Punktes P_i von der Geraden P_A, P_E	$b = \frac{(y_i-y_A)(x_E-x_A)-(x_i-x_A)(y_E-y_A)}{\sqrt{(x_E-x_A)^2+(y_E-y_A)^2}}$
`dT`	Richtungs-differenz	P_1, P_2, P_3, P_4	Differenz w zweier Richtungen	$w = \arctan(\frac{y_4-y_3}{x_4-x_3}) - \arctan(\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1})$
`F`	Fläche	N,$P_1, P_2, \ldots, P_N$	Flächeninhalt F eines Polygons mit N Eckpunkten: $(P_0 = P_N), P_1, \ldots, P_N, (P_{N+1} = P_1)$	$F = \left\lvert \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N} x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) \right\rvert$
`Kreis`	Abstand	p_i, P_M, P_j	Abstand Δr des Punktes P_j zu einem 2D-Kreis mit dem Radius aus Parameter p_i und dem Mittelpunkt P_M	$\Delta r = \sqrt{(x_j - x_M)^2 + (y_j - y_M)^2} - r_i$
`Ebene`	Abstand	p_i, P_j	Abstand Δr des Punktes P_j zu einer Ebene mit dem Normalenvektor aus Parameter p_i	$\Delta r = n_{xi}x_j + n_{yi}y_j + n_{zi}z_j - 1$
`Zylinder`	Abstand	p_i, P_j	Abstand Δr des Punktes P_j zu einem Zylinder mit den Form– und Lageparametern aus dem Parameter p_i	
`Kreis3D`	Abstand	p_i, p_k, P_M, P_j	Abstand Δr des Punktes P_j zu einem Kreis mit Radius aus Parameter p_i und Mittelpunkt P_M, der in einer Ebene liegt, dessen Normalenvektor durch den Parameter p_k bestimmt wird	

Beispiele:

```
P  1 11 164.595  73.414 0
P  2 11 159.396  62.563 0
P  3 11 136.455  45.842 0
P M  11 124.00   85.00  0
; Kreis
p radius 1 41.00
Kreis radius M  1 0
Kreis radius M  2 0
Kreis radius M  3 0
; Ebene
p e 111 0 0 1.0
Ebene e  1 0.0
Ebene e  2 0.0
Ebene e  M 0.0
; Zylinder
P 100 00 -25.834000 55.729000
H 100 0   71.047000
p z1 01111 0.0 23.187746    15.133559  250.927101  -156.566946
Zylinder z1 100 0.0
F 4 M 1 2 3 803.6578
```

2.6.3 Beobachtungen für Koordinatentransformationen

Beobachtungen für die zweidimensionale oder räumliche Koordinatentransformation (T– und A–Satz) zwischen globale kartesischen Koordinaten (K–Satz).

Tabelle 10: Übersicht der Beobachtungen für Koordinatentransformationen

Typ	*Wert*	*Pkt.kennz.*	Bedeutung	Beobachtungsgleichung
X	X–Wert	K_i	gemessene X–Koordinate (Zielsystem)	$X_i = X_i$
Y	Y–Wert	K_i	gemessene Y–Koordinate (Zielsystem)	$Y_i = Y_i$
Z	Z–Wert	K_i	gemessene Z–Koordinate (Zielsystem)	$Z_i = Z_i$
X′	X–Wert	K_i, T_k	gemessene X–Koordinate (Quellsystem)	$X_i' = \frac{1}{m_k}\,\mathbf{R}_{k1}\left(\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \mathbf{X}_{k0}\right)$
Y′	Y–Wert	K_i, T_k	gemessene Y–Koordinate (Quellsystem)	$Y_i' = \frac{1}{m_k}\,\mathbf{R}_{k2}\left(\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \mathbf{X}_{k0}\right)$
Z′	Z–Wert	K_i, T_k	gemessene Z–Koordinate (Quellsystem)	$Z_i' = \frac{1}{m_k}\,\mathbf{R}_{k3}\left(\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} - \mathbf{X}_{k0}\right)$

2.6.4 GPS-Beobachtungen

Die Beobachtungstypen für die Ausgleichung von GPS-Beobachtungen (WGS84) im lokalen Abbildungssystem (Gauß-Krüger, `P`- und `H`–Satz) unter Berücksichtigung eines Datumsüberganges (`T`–Satz) sind Tabelle 11 zusammengetragen.

Tabelle 11: Übersicht der GPS-Beobachtungen im Abbildungssystem

Typ	*Wert*	*Pkt.kennz. Parameter*	Bedeutung	Beobachtungsgleichung
`Xg`	X–Wert bzgl. G–K–Punkt	P_i, T_k, E	WGS84-Koordinate X_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$X_i = g_X(P_i, T_K, E)$
`Yg`	Y–Wert bzgl. G–K–Punkt	P_i, T_k, E	WGS84-Koordinate Y_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$X_i = g_Y(P_i, T_K, E)$
`Zg`	Z–Wert bzgl. G–K–Punkt	P_i, T_k, E	WGS84-Koordinate Z_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$Z_i = g_Z(P_i, T_K, E)$
`dXg`	X–Wert–Differenz bzgl. G–K–Punkt	P_i, P_j, T_k, E	WGS84-Koordinaten-Differenz $\Delta X_{i,j}$ mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta X_{i,j} = g_{\Delta X}(P_i, P_j, T_K, E)$
`dXg`	X–Wert–Differenz bzgl. G–K–Punkt	P_i, P_j, T_k, E	WGS84-Koordinaten-Differenz $\Delta Y_{i,j}$ mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta Y_{i,j} = g_{\Delta Y}(P_i, P_j, T_K, E)$
`dXg`	X–Wert–Differenz bzgl. G–K–Punkt	P_i, P_j, T_k, E	WGS84-Koordinaten-Differenz $\Delta Z_{i,j}$ mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta Z_{i,j} = g_{\Delta Z}(P_i, P_j, T_K, E)$
`Hog`	Gemessener Hochwert bzgl. XYZ-Punkt	K_i, T_k, E	Hochwert x_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta x_i = G_x(K_i, T_K, E)$
`Reg`	Gemessener Rechtswert bzgl. XYZ-Punkt	K_i, T_k, E	Rechtswert y_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta y_i = G_y(K_i, T_K, E)$
`hog`	Gemessene Höhe bzgl. XYZ-Punkt	K_i, T_k, E	Höhe z_i mit Datumstransformation T_k auf dem Ellipsoid E	$\Delta z_i = G_z(K_i, T_K, E)$

2.6.5 Photogrammetrische Beobachtungsgrößen

Die Eingabe von Bildkoordinatenmessungen setzt voraus, das ein `I`–Satz deklariert wurde, aus dem hervor geht welche Parameter für die innere und äußere Orientierung zu verwenden sind. Die Einheit für

Bildkoordinatenmessungen ist Pixel.

Tabelle 12: Übersicht der photogrammetrischen Beobachtungsgrößen

Typ	*Wert*	*Pkt.kennz.*	Bedeutung	Beobachtungsgleichung
px	Bildkoordinate x'_i	P_i	Gemessene Bildkoordinate x' im aktuell gesetzten Messbild I	$x'_i = p_x(\mathtt{I})$
py	Bildkoordinate y'_i	P_i	Gemessene Bildkoordinate y' im aktuell gesetzten Messbild I	$y'_i = p_y(\mathtt{I})$

Die Kollinearitätsgleichungen p_x und p_y (Beobachtungsgleichungen) lauten unter Verwendung der Bezeichnungen aus Kapitel 2.5.12 für die innere Orientierung und der äußeren Orientierung besthend aus dem Kamerastandpunkt $P-0$ und der Kameraausrichtung, beschrieben durch die Rotationsmatrix $\mathbf{R}$:

$$\begin{aligned}
x'_i = p_x(P_i, P_0, C, \mathbf{R}) &= c_x \qquad \frac{R_{11}(x_i - x_0) + R_{21}(y_i - y_0) + R_{21}(z_i - z_0)}{R_{13}(x_i - x_0) + R_{23}(y_i - y_0) + R_{23}(z_i - z_0)} + x'_0 + \Delta x'_i \\
y'_i = p_y(P_i, P_0, C, \mathbf{R}) &= (c_x + \Delta c_y)\frac{R_{12}(x_i - x_0) + R_{22}(y_i - y_0) + R_{22}(z_i - z_0)}{R_{13}(x_i - x_0) + R_{23}(y_i - y_0) + R_{23}(z_i - z_0)} + y'_0 + \Delta y'_i
\end{aligned}$$

Beispiele:

```
P  21 00  5039.638  1149.984
H  21 00     9.437     0
P ph1 11  5003.5175 1297.9707
H ph1 10   505.6885    0
C cam1 0000 296.108     0.0   0.458082  0.499062
p eo1  000    5.882128 21.950287  -12.082258
; Es folgen die Bildkoordinatenmessungen im Bild, das vom
;   Standpunkt       'ph1' aufgenommen wurde mit der
;   Kamera           'cam1' und der
;   Aufnahmerichtung 'eo1'.
I ph1 cam1 eo1
px   21   16.2017
py   21   -2.6767
```

2.7 Stochastisches Modell

2.7.1 s–Satz: Standardabweichung

Zur Definition des stochastischen Modells dienen neben den individuellen Standardabweichungen und den Korrelationen die s-Sätze. Sie legen die Standardabweichungen a priori für jeden Messwerttyp bzw. jeder Messwertgruppe pauschal fest. Durch Angabe einer individuellen Standardabweichung in den M-Sätzen können die pauschalierten überschrieben werden. Für einen s-Satz gilt:

s *Messwerttyp[(Gruppe)] Wert1 Wert2*

Die für *Meßwerttyp* möglichen Typen entsprechen den der M-Sätze und der absoluten Messwerttypen (Ho, Re, Hoe, Lot, dT, X, Y, Z, X', Y', Z' usw.). Je nach Meßwerttyp haben die Angaben zu *Wert1* und *Wert2* unterschiedliche Bedeutung, die der folgenden Tabelle 13 zu entnehmen ist.

Tabelle 13: Übersicht zum stochastischen Modell

Meßwerttyp	*Wert1*	Einheit	*Wert2*	Einheit	Standardabweichung
`H`	σ_{r0}	[gon]	σ_{rs}	[gon]	$\sigma_r = \sqrt{\sigma_{r0}{}^2 + (\sigma_{rs}/s)^2}$
`S`	σ_{s0}	[m]	$\sigma_{s(ppm)}$	[m/km]	$\sigma_s = \sigma_{s0} + \sigma_{s(km)} \cdot s$
`h` (`ZielweitenTyp=km`)	σ_{h0}	[m]	$\sigma_{h(km)}$	[m/$\sqrt{km}$]	$\sigma_h = \sigma_{h0} + \sqrt{L_{km}} \cdot \sigma_{h(km)}$
`D`	σ_{d0}	[m]	$\sigma_{d(ppm)}$	[m/km]	$\sigma_d = \sigma_{d0} + \sigma_{d(ppm)} \cdot d$
`V, Re, Ho` usw.	$\sigma_{(.)}$	[m] o. [gon]			$\sigma_{(.)} = \sigma_{(.)}$

Für nicht aufgeführte Beobachtungstypen gilt, das nur *Wert1* benutzt wird. Die Standardawbeichungen sind, soweit nicht anders angegeben, in der Einheit Meter und Gon anzugeben.
Beispiele:

```
s S      0.005  0.0005
s h      0.001  0.001
s X’     0.01   0
s Kreis  0.01   0
```

Mit der optionalen Angabe von `(`*Gruppe*`)` können Messwerte gleichen Typs zu Gruppen mit gleicher a-priori-Standardabweichung zusammengefasst werden. Als Messwerttyp ist in den `M`–Sätzen (ebenso bei den absoluten Messwerten) dieser ebenfalls um `(`*Gruppe*`)` zu erweitern.
Beispiel für zwei unterschiedliche Gruppen von Strecken:

```
s S(1)  0.005  0.0005
s S(2)  0.010  0.0000
;
P 1001  0  1010.0  1010.0
P 1002  0 -1020.0 -1020.0
P 1003  0  1030.0 -1030.0
P 9000 -3    0.0    0.0
;
a m -1.0 1.0  0.0
;
S 9000 0 0.0
M 1001 S(1)   1428.36
M 1002 S(1)   1442.50
M 1003 S(1)   1456.64
M 1001 S(2).m 1428.3
M 1002 S(2).m 1442.5
M 1003 S(2).m 1456.6
```

2.7.2 `q`–Satz: Kovarianzen der Beobachtungen

Mit Hilfe des Steuerzeichens `q` kann eine voll- oder teilweise besetzte Kovarianzmatrix (symmetrisch) der Beobachtungen eingegeben werden. Die Syntax sieht recht kompliziert aus:

q *Kovar.(Hauptdiag.) [Kovar.(1.Nebendiag.), [Kovar.(2.Nebendiag.)],...]*

Was damit gemeint ist und wie die Zuordnung zu den Messwerten ist, lässt sich am besten anhand eines Beispiel erläutern. Mit der folgenden Datei wird eine fünfmal beobachtete Strecke ausgeglichen. (umgesetzt als fünfmalige Beobachtung des Hochwertes des Punktes `Strecke`)

```
P Strecke -1 36951.0  0
s Ho 0.03 0.0
Ho Strecke 36951.636
q 2.0
Ho Strecke 36951.482
Ho Strecke 36951.509
q 1.0 0.60
q     1.00
Ho Strecke 36951.461
Ho Strecke 36951.478
q 1.0 0.28
q     0.50
```

In Matrizenschreibweise lautet das dazugehörige Ausgleichsproblem:

Beobachtungsvektor	Kovarianzmatrix	Std.abw. a priori	Unbekannten-vektor

$$\mathbf{L} = f(x) = \begin{bmatrix} 36951.636 \\ 36951.482 \\ 36951.509 \\ 36951.461 \\ 36951.478 \end{bmatrix} \quad \mathbf{Q}_{LL} = \begin{bmatrix} 2.0 & & & & \\ & 1.0 & 0.6 & & \\ & 0.6 & 1.0 & & \\ & & & 1.00 & 0.28 \\ & & & 0.28 & 0.50 \end{bmatrix} \quad s_0^2 = 1.0 \quad x = [Strecke]$$

Achtung die Definition eines q–Satzes hat Vorrang vor einem s–Satz. Auch wird durch einen q–Satz die Varianzkomponentenschätzung abgeschaltet. Es müssen genau so viele q–Sätze definiert sein, wie Messwerte vorhanden sind.

2.8 Bedingungsgleichungen

2.8.1 B–Satz: Bedingungen

Unter Xdesy können die Unbekannten mit zusätzlichen Restriktionen belegt werden. Zur Deklaration solcher Bedingungen dienen B-Sätze. Ihre Syntax lautet:

B *Typ Parameter1 [Punktkennzeichen1||Parameter2] . . . [PunktkennzeichenN||ParameterM]*

Die möglichen Typen von Bedingungen und ihre Bedeutung lassen sich am besten in einer Tabelle darstellen (Tab. 14).
Beispiel:

```
p null 00 0.000 0
p abstand4 00 4.000 0
;
;  33-01512 liegt in der Geraden 33-01509/33-01511
;            und hat 4.0 m Abstand von der Geraden 33-01504/33-01513
;
B A null     33-01512 33-01509 33-01511
B A abstand4 33-01512 33-01504 33-01513
```

Tabelle 14: Bedingungsgleichungen

Typ	Bedeutung	*Para.1*	*Para.2..M* *Pkt.kennz. 1..N*	Bedingungsgleichung
X	Hochwert des Punktes i	p_p	P_i	$x_i - p_p = 0$
Y	Rechtswert des Punktes i	p_p	P_i	$y_1 - p_p = 0$
Z	Höhe des Punktes i	p_p	P_i	$z_1 - p_p = 0$
E	Entfernung p_p zwischen zwei Punkten	p_p	P_i, P_j	$\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} - p_p = 0$
A	Abstand p_p eines Punktes P_i von einer Geraden P_A, P_E	p_p	P_i, P_A, P_E	$\frac{(y_i - y_A)(x_E - x_A) - (x_i - x_A)(y_E - y_A)}{\sqrt{(x_E - x_A)^2 + (y_E - y_A)^2}} - p_p = 0$
W	Winkel p_p als Differenz zweier Richtungen	p_p	P_1, P_2, P_3, P_4	$\arctan(\frac{y_4 - y_3}{x_4 - x_3}) - \arctan(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}) - p_p = 0$
Raumstrecke	räumliche Entfernung p_p zwischen zwei Punkten	p_p	P_i, P_j	$\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + (z_j - z_i)^2} - p_p = 0$

```
p rechtwinklig 00 100.0 0
B W rechtwinklig 33-01516 33-01515 33-01516 33-01517
```

Für die Rückführung der Affintransformation auf herkömmliche Transformationsarten können spezielle Bedingungen gesetzt werden.

Typ	Bedeutung	1. Parameter	2. Parameter	3. Parameter
w	Gleichsetzen zweier Rotationswinkel	Name der Affintransformation	ϵ_1	ϵ_2
m	Gleichsetzen zweier Maßstäbe	Name der Affintransformation	λ_1	λ_2

Wobei ϵ_i nur die Werte `alpha_y`, `alpha_z`, `beta_x`, `beta_z`, `gamma_x` und `gamma_y` annehmen kann. Für λ_i sind erlaubt: `m_x`, `m_y` undf `m_z`.
Beispiel:

```
Quelle="Baumann, E.: Vermessungskunde Band 2, 4.Aufl; Dümmler Verlag, Bonn, 1995,
                    , S.179-184"
Projekt="Affintransformation"

K 10  0   30.72  20.03  0
K 11  0  362.01  70.34  0
K 12  0  123.45 360.23  0
K 13  0  351.23 300.05  0
```

```
A t3  110000011100   0 0 0  0  0  0  0   0   0    1.0  1.0  1.0
B w t3 gamma_x gamma_y 0.0

A t4  110000011110   0 0 0  0  0  0  0   0   0    1.0  1.0  1.0
B w t4 gamma_x gamma_y 0.0
B m t4 m_x     m_y 0.0

A t5  110000011100   0 0 0  0  0  0  0   0   0    1.0  1.0  1.0
B w t5 gamma_x gamma_y 0.0

A t6  110000011100   0 0 0  0  0  0  0   0   0    1.0  1.0  1.0

s X’(3) 0.01 0
s Y’(3) 0.01 0
s Z’(3) 0.01 0

X’(3) 10 t3 1077.62
Y’(3) 10 t3 1013.60
X’(3) 11 t3 1406.57
Y’(3) 11 t3 1077.60
X’(3) 12 t3 1156.21
Y’(3) 12 t3 1357.38
X’(3) 13 t3 1386.28
Y’(3) 13 t3 1306.66

s X’(4) 0.01 0
s Y’(4) 0.01 0
s Z’(4) 0.01 0

X’(4) 10 t4 1077.62
Y’(4) 10 t4 1013.60
X’(4) 11 t4 1406.57
Y’(4) 11 t4 1077.60
X’(4) 12 t4 1156.21
Y’(4) 12 t4 1357.38
X’(4) 13 t4 1386.28
Y’(4) 13 t4 1306.66

s X’(5) 0.01 0
s Y’(5) 0.01 0
s Z’(5) 0.01 0

X’(5) 10 t5 1077.62
Y’(5) 10 t5 1013.60
X’(5) 11 t5 1406.57
Y’(5) 11 t5 1077.60
X’(5) 12 t5 1156.21
Y’(5) 12 t5 1357.38
X’(5) 13 t5 1386.28
```

```
Y'(5) 13 t5 1306.66

s X'(6) 0.01 0
s Y'(6) 0.01 0
s Z'(6) 0.01 0

X'(6) 10 t6 1077.62
Y'(6) 10 t6 1013.60
X'(6) 11 t6 1406.57
Y'(6) 11 t6 1077.60
X'(6) 12 t6 1156.21
Y'(6) 12 t6 1357.38
X'(6) 13 t6 1386.28
Y'(6) 13 t6 1306.66
```

2.9 Varianzfortpflanzung bzw. Funktionen der Unbekannten

Alle Beobachtungen die innerhalb der Sektion `.Funktionen` in der Steuerdatei aufgeführt werden, werden nach der Ausgleichung als Funktionen der Unbekannten aufgefasst und der Varianzfortpflanzung zugeführt.
Beispiel:

```
H 10 0 100.000
H 20 0 110.000
H N1 1   0.000
H N2 1   0.000

S 10 0 0
M N1 h 5.000
M N2 h 5.000

S 20 0 0
M N1 h -5.010
M N2 h -4.990

.Funktionen
S N1 0 0
M N2 h 0.000
```

3 Aufrufparameter

Während die Steuerdatei alle Angaben über die Unbekannten, die Beobachtungen und deren Standardabweichungen enthält und unabhängig von der Ausgleichsmethode ist, entscheiden die beim Aufruf von Xdesy angegebenen Parameter darüber wie diese Daten verarbeitet werden sollen. Auf diese Weise ist es möglich, ohne Editierung der Steuerdatei, ein Ausgleichsproblem nach unterschiedlichen Methoden auszugleichen.
Für den Aufruf von Xdesy gilt folgende Syntax:

`>xdesy`_*Steuerdatei[_–Parameter1][_–Parameter2]...[_–ParameterN]*

Zwingend erforderlich ist die Angabe der zu verarbeitenden Steuerdatei, die direkt nach dem Programmnamen erwartet wird. Wird keine Steuerdatei angegeben versucht Xdesy die Datei `TMP.MKR` zu verarbeiten. Alle nachfolgenden Programmparameter bestehen aus einem `-`, einem Buchstaben und gegebenenfalls einer weiteren Buchstaben– oder Zahlenfolgen. Die Programmparameter müssen durch Leerzeichen voneinander getrennt eingegeben werden. Das Ergebnisprotokoll wird von Xdesy in die Standardausgabe geschrieben, so dass es durch das Dateiumleitungssymbol `>` der Kommando-Shell in eine Datei umgelenkt werden kann. Ebenso sind Filterprogramme wie z. B. `more` auf die Ausgabe von Xdesy anwendbar.
Beispiele:

```
>xdesy baum2334.mkr -a -p > ergebnis.dat
>xdesy test.mkr -d4.0 -a -ptest.plt | more
```

Die nachfolgende Übersicht erläutert die Aufrufparameter von Xdesy. Parameter sind *kursiv* geschrieben und optionale Parameter sind in eckige Klammern gesetzt ([.]). Ein waagrechter Strich (`|`) zwischen zwei Parametern bedeutet, dass der erste, der zweite oder beide sowie keiner eingegeben werden dürfen. Standardmäßig ist keine Option gesetzt. Eine Kurzübersicht über die Programmparameter wird angezeigt, wenn Xdesy ohne Parameter aufgerufen wird.

ohne

Die Steuerdatei wird eingelesen, interpretiert und als Steuerdatei wieder ausgegeben. Die Sätze werden dabei neu geordnet. Diese Option kann genutzt werden, um die Steuerdatei einheitlich zu formatieren. Xdesy funktioniert dann wie ein pretty-printer.

–a

Führt eine **Ausgleichung** nach vermittelnden Beobachtungen durch. Sind in der Steuerdatei Bedingungen deklariert, so erfolgt die Ausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen mit Bedingungen zwischen den Unbekannten.

–l[*Testschranke***]**

Es erfolgt eine robuste Ausgleichung (**L1–Norm–Schätzung**). Dazu wird die Absolutsumme der Verbesserungen mittels Simplexalgorithmus minimiert, was eine nicht unerhebliche Anzahl von Rechenoperationen und Speicherplatz und damit Geduld vom Anwender erfordert.

Nachdem die L1–Norm-Schätzung erfolgreich durchgeführt worden ist, werden diejenigen Beobachtungen aus dem Ausgleichsmodell gestrichen, deren Testgröße die Testschranke von 1.96 überschreitet. Dieser Wert kann durch Angabe von *Testschranke* direkt nach dem **–l** geändert werden.

–8

Es erfolgt eine Ausgleichung nach der Min-Max-Methode (**L∞–Norm–Schätzung**).

–d[*Testschranke*]

Die Ausgleichung erfolgt unter Eliminierung derjenigen Beobachtungen, deren normierte Verbesserung den Grenzwert von 3.6 überschreitet (**Data-Snooping**). Der Algorithmus arbeitet iterativ. Bei jeder Iteration wird nur die Beobachtung mit der größten normierten Verbesserungen gestrichen. Die Testschranke kann durch entsprechende Angabe von *Testschranke* variiert werden. Die Option ist nur sinnvoll, wenn gleichzeitig die Option **–a** benutzt wird.

–f[*Option*]

Es wird eine **freie Ausgleichung** durchgeführt. Alle Gauß–Krüger–Koordinaten und Höhen werden unabhängig von den Kennungen in der Steuerdatei als Unbekannte geführt. Die dabei auftretenden Rangdefekte werden automatisch erkannt und berücksichtigt im Sinne einer Gesamtspurminimierung. Mit der *Option* kann auf Teilspurminimierung (**–ft**) umgeschaltet werden. Hierbei werden nur diejenigen Punkte und Höhen als Datumspunkte bzw. Höhen verwendet, die eine Kennung `0` haben.

Eine Kombination mit **-l** und **-8** ist derzeit nicht realisiert.

–i[*Anzahl-vor*][,*Anzahl-end*]

Bei dieser Option werden maximal *Anzahl-vor* bzw. *Anzahl-end*-viele **Iteration**en durchgeführt. Die Ausgleichsergebnisse jeder Iteration werden als verbesserte Näherungswerte für die folgende Ausgleichung benutzt. Damit werden die Restfehler der Linearisierung der Verbesserungsgleichungen Stück für Stück beseitigt. In der Regel konvergiert das Verfahren. Liegen nur sehr grobe Näherungswerte vor oder ist das Ausgleichsmodell gestört, tritt sehr häufig eine Divergenz auf.

Wird zugleich die Option **–l** oder **–d** gesetzt, so wird vor der L1–Norm-Schätzung bzw. dem Data-Snopping eine iterative Vor-Ausgleichung herkömmlicher Art durchgeführt. Dadurch können verbesserte Näherungswerte für die recht sensible L1–Norm–Schätzung erzeugt werden. Nach der L1–Norm-Schätzung bzw. dem Data-Snopping wird erneut ohne Berücksichtigung der gefundenen Ausreisser eine iterative End-Ausgleichung durchgeführt. Die Anzahl der maximalen Iterationen für die Vor- und End-Ausgleichung wird mit den Parametern *Anzahl-vor* und *Anzahl-end* getrennt festgelegt. Voreingestellt sind jeweils 10 Iterationsschritte.

Beispiel:

```
>xdesy baum2334.mkr -a -i,100
>xdesy test.mkr -d4.0 -a -i50,100
```

–I[*Schranke-vor*][,*Schranke-end*]

Eine mit der Option *–i* gestartete iterative Ausgleichung wird abgebrochen, wenn die Vektornorm des gekürzten Lösungsvektors kleiner ist als der Wert von *Schranke-vor* bzw. *Schranke-end* Die Vektornorm jeder Iterationsstufe wird als Warnung in der Fehlerdatei mitprotokolliert. Voreingestellt ist jeweils ein Wert von 10^{-6}.

Beispiel:

```
>xdesy baum2334.mkr -a -i,100 -I,1e-9
>xdesy test.mkr -d4.0 -a -i50,100 -I1e-9,1e-9
```

–n[y | Y]

Bevor die Ausgleichung durchgeführt wird, können automatisch **Näherungswerte** für die unbekannten Gauß–Krüger–Koordinaten, Orientierungsunbekannten und Transformationsparameter bestimmt werden. Die Bestimmung erfolgt für kombinierte Richtungs- und Streckennetze durch die Rechenverfahren: Polares Anhängen, Vorwärtsschnitt, Rückwärtsschnitt, Polygonzug und Bogenschnitt[8]. Wird die Option **–ny** benutzt, wird die Näherungswertbestimmung vorrangig über Po-

[8] Achtung mehrdeutige Lösung.

lygonzüge vorgenommen. Das Gegenteil bewirkt die Option **–nY**. Damit wird die Berechnungsart Polygonzug komplett abgeschaltet.

Leider kann der verwendete Algorithmus nicht alle denkbaren Netzkonfigurationen lösen. Der Rechengang wird in der Fehlerdatei protokolliert oder kann über den Schalter **-o** in eine Log-Datei geschrieben werden. Es werden auch Näherungswerte für Ebenen- und Kugelparameter berechnet.

Für die Berechnung der inneren und äußeren Orientierung bei photogrammetrischen Ausgleichungen sind bislang keine Algorithmen zur Näherungsfindung implementiert.

–s

Anhand gegebener Gauß–Krüger–Koordinaten und den Punktkennzeichen der Standpunkt– und Messwertsätze für Horizontalrichtungen und/oder Strecken in der Steuerdatei werden Beobachtungen **simuliert**. Anhand der Werte in den`s`–Sätzen werden entsprechende normalverteilte Messfehler hinzugefügt. Die Ausgabe erfolgt als formatierte Steuerdatei.

–V[*F-Quantil***]**

Die nach der Ausgleichung ermittelten Standardabweichungen der Beobachtungsgruppen (a posterior) werden als Standardabweichungen a priori für die nächste Iteration verwendet. Das Verfahren zur **Varianzkomponentenschätzung** bricht ab, wenn anhand eines statistischen Tests die Gleichheit von a–priori– und a–posterior–Standardabweichung mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von *F-Quantil* Prozent für alle Beobachtungsgruppen festgestellt wird. Die hiermit angestoßene Iteration tritt zusätzlich zur iterative Ausgleichung (**–i**) als End-Ausgleichung auf. Es ist sinnvoll zweckmäßige Beobachtungsgruppen mittels der `s`–Sätze zu bilden, um die Stärken des Verfahrens auszunutzen zu können. Für *F-Quantil* sind 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit voreingestellt.

–p[*Datei***]**

Damit wird eine zweidimensionale **Netzskizze** mit dem Name *Datei* erzeugt. Fehlt der Dateiname wird standardmässig die Datei `PLOT.TMP` erzeugt. Die Ausgabe erfolgt in der Regel im HP-GL-Format. Mit dem beiliegendem Programm `PLOT.EXE` kann diese Datei auf dem Bildschirm angezeigt werden. Besondere Einstellungen können über entsprechende Einträge innerhalb einer `.Plot`–Sektion vorgenommen werden.

–P*Format*

Die Option **–P** legt das gewünschte **Grafikformat** der über **–p** angeforderten Plotdatei fest. Für *Format* sind folgende Werte zulässig:

Format	Beschreibung
`hpgl`	HP-GL-Format (Voreinstellung)
`ps` oder `postscript`	Postscript
`svg`	Scalable Vector Graphic
`TOP50`	ASCII-Overlay-Datei zur Betrachtung mit dem Geogrid-Viewer der deutschen Landesvermessung (z.B. CD-ROM TOP50). Voraussetzung ist das die Gauß-Krüger-Koordinaten in voller Länge (inkl. Streifennummer) eingegeben sind.

–v

Mit dieser Option werden sämtliche Meldungen unterdrückt. Damit ist es möglich, Xdesy “heimlich“ z. B. aus einer Batch-Datei heraus, auszuführen.

–e*eps*

Für den Vergleich von Zahlenwerten auf Null wird eine Schranke ϵ verwendet, so dass eine gewisse Spannbreite an Werten um Null herum als Null interpretiert werden. Anhand von ϵ wird z.B. geprüft, ob eine Matrixinversion numerisch möglich ist oder nicht. Mit dem Schalter **–v** kann der Anwender den Standardwert verändern, falls wiedererwartend ϵ zu scharf eingestellt ist.

–o[*Datei*] [,*Koord.-Datei*] [,*Log-Datei*]

Mit dieser Option wird das Ergebnisprotokoll in die Datei mit dem Namen *Datei* geschrieben. Ein zusammenfassendes Protokoll nur der Koordinaten mit deren statistischen Größen wird zusätzlich ausgegeben, wenn *Koord.-Datei* angegeben wird. Ein Protokoll über einzelne Verarbeitungsschritte oder Berechnungen können in die *Log-Datei* umgeleitet werden z. B. die Ergebnisse der Näherungswertfindung.

Beispiele:

```
>xdesy baum2334.mkr -a -obaum2334.erg,,baum2334.log
>xdesy test.mkr -a -otest.erg,testkoord.erg
```

–D

Mit dem Schalter **–D** wird Xdesy in den Debug-Modus versetzt. Der Umfang und die Anzahl der Meldungen im Debug-Modus ist erweitert. Insbesondere wird damit veranlasst, dass Xdesy alle während des Rechenprozesses aufgestellten Matrizen als ASCII-Dateien mit der Endung `*.M` abspeichert. Diese Dateien können in Matlab eingelesen werden. Bei jedem Iterationschritt (**-i**) werden die Datei der vorherigen Ausgleichung übreschrieben.

–X[*XML-Datei*][,*XSL-Datei*][,*Typ*]

Sämtliche Daten, Einstellungen und ausgeglichene Größen sowie deren Standardabweichungen können in einer XML-Datei (e**X**tensible **M**arkup **L**anguage) protokolliert werden. Das XML-Format erlaubt eine vielfältige Art der Weiterverarbeitung. So ist es mögliche, diese in einem Internet-Browser darzustellen oder mit speziellen Tools in z.B. PDF-Dateien umzuwandeln.

Der Name der XML-Datei wird mit *XML-Datei* bestimmt. Voreingestellt ist `xmldesy.xml`. Mit *XSL-Datei* wird der Name des Stylesheets angegeben, dass genutzt werden soll, um die XML-Datei anzuzeigen oder umzuwandeln. Voreingestellt ist `xmldesy.xsl`.

Zur Weiterverarbeitung ist die Datei `xmldesy.dtd` erforderlich. Diese **D**ocument-**T**ype-**D**efinition beschreibt den semantischen Aufbau der XML-Datei.

Mit *Typ* kann festgelegt werden, ob die Informationen als Attribute (*Typ*=`a`) oder als Elementbestandteile (*Typ*=`e`) in der XML-Datei aufgenommen werden soll. Voreingestellt ist die attributoriente Ausgabe. Eine elementoriente XML-Datei kann z.B. besser über ein CSS-Stylesheet dargestellt werden.

–Y*Symbolgröße*[,*3D-Symbolgröße*][,*3D-Residuum*]

Festlegen der Symbolgrößen in Prozent der maximalen Ausdehnung der Netzskizze.

–3[*VRML-Datei*]

Ausgabe einer dreidimensionalen Netzskizze im VRML-Format.

–t[*x* | *x* | . . . | *x*]

Festlegen von Optionen für die 3D-Netzskizze im VRML-Format. An Optionen *x* sind möglich:

Option	Beschreibung
`t`	Ausgabe triangulierter Ebenen
`b`	ohne d.h. schwarzer Hintergrund
`w`	weißer Hintergrund
`m`	Ausgabe von MinMax-Ebenen

4 Export

4.1 Grafikausgabe

4.2 XML-Export

4.3 Koordinatenlisten

5 Beispiele

5.1 Richtungsnetz

5.2 Streckennetz

5.3 Kombiniertes Richtungs- und Streckennetz

5.4 GPS-Netz

5.5 GPS-Netz mit terrestrischen Beobachtungen

5.6 Freie Stationierung

Auf dem Standpunkt **100** sind Richtungen, Horizontalstrecken und Höhenunterschiede zu drei Festpunkten (**10**,**11** und **12**) und drei Neupunkten (**1011**, **1012** und **1015**) gemessen. Gesucht sind die Standpunktkoordinaten und die der polaren Neupunkte.

Pkt.Nr.	Rechts	Hoch	Höhe
10	9244.150	4318.170	63.956
11	9197.569	4309.987	
12	9201.804	4266.309	66.212

Std.Pkt. k	i_k [m]	Zielpkt. j	t_j [m]	r_k^j [gon]	s_k^j [m]	h_k^j [m]
100	1.000	10	1.000	3.1500	55.6128	1.2555
		11	1.000	354.7840	68.0990	
		12	1.000	311.0790	44.8525	3.5151
		1011	1.000	254.3000	89.9723	2.2334
		1012	1.000	189.2356	78.3134	-1.6142
		1015	1.000	112.5689	66.0599	-3.6022

Steuerdatei `fstat.mkr`:

```
Projekt   ="Test freier Standpunkt"
Bearbeiter="Fredie Kern"
Quelle    ="RF, Nov 2002"

; Horizontalrichtungen bitte mit 'H'

; Standardabweichungen

; Strecke:  5mm  + 5mm pro m
s S 0.005 0.000005

; Richtung:  1mgon
s H 0.001 0.0

ZielweitenTyp = Standardabweichung

; Höhendifferenz: 10mm
s h 0.01 0

P 10 0 4318.170 9244.150
P 11 0 4309.987 9197.569
P 12 0 4266.309 9201.804
P 1011 11 0.0 0.0
P 1012 11 0.0 0.0
P 1015 11 0.0 0.0



H 10 0 63.956
H 12 0 66.212
H 1011 1 0.0
H 1012 1 0.0
H 1015 1 0.0

; unbekannter Std.pkt.
;
P 100 11 0.0 0.0
```

```
H 100 10 0.0 0

;        Orientierungsunbekannte
;        |   Instrumentenhöhe
;        |   |
S 100 10 0.0 1.00

; Aktuelle Tafel/Primsenhöhe
t=1.0
M 10 H 3.1500
M 10 S 55.6128
M 10 h 1.2555
; Aktuelle Tafel/Primsenhöhe
t=1.0
M 11 H 354.784
M 11 S 68.0990
;M 11 h -2.636
; Aktuelle Tafel/Primsenhöhe
t=1.0
M 12 H 311.079
M 12 S 44.8525
M 12 h 3.5151

; Aktuelle Tafel/Primsenhöhe
t=1.0
M 1011 H 254.3000
M 1011 S 89.9723
M 1011 h 2.2334
M 1012 H 189.2356
M 1012 S 78.3134
M 1012 h -1.6142
M 1015 H 112.5689
M 1015 S 66.0599
M 1015 h -3.6022

;
; Koordinatenliste schreiben
;
.Modell File=fstat.modell      Output=fstat.coo

;
; DXF-Datei schreiben
;
.Modell File=fstat.dxf.modell  Output=fstat.dxf
```

Die Richtungsmessungen sind mit einer Genauigkeit apriori von 1mgon, die Streckenmessungen mit 5mm $+5$mm/km und die Höhendifferenzen mit 10mm bestimmt worden. Man beachte die entsprechenden `s`-Sätze in der Eingabedatei.
Berechnung von Näherungskoordinaten und Ausgleichung:

```
>xdesy fstat.mkr -n -a -i -ofstat.erg
```

5.7 Freie Netzausgleichung

5.7.1 Höhennetz

Gegeben sind vier Höhenpunkte **1**, **2**, **3** und **4** sowie sechs durch Nivellement bestimmte Höhenunterschiede h_i^j zwischen den Höhenpunkten. Die Genauigkeit apriori eines Höhenunterschieds beträgt $0,6$mm. Es sind die ausgeglichen Höhen aller Punkte mittels freier Netzausgleichung zu berechnen. Einmal ist die die Lagerung über alle vier Punkte vorzunehmen und zum anderen nur über den Punkt **1**.

Steuerdatei `hnetz.mkr`:

```
Quelle= "Ausgleichsrechnung I WS2003/04, Universität Hannover, Geodätisches Institut"
Projekt = "6. Hausübung: Freie Netzausgleichung"

H 1 0 56.37
H 2 1 61.83
H 3 1 48.28
H 4 1 54.33

; Defaulteinstellung ist ...
; ZielweitenTyp=km
;
; für dieses Beispiel gilt aber ..
ZielweitenTyp=Standardabweichung

s h 0.0006 0.0

S 1 0 0
M 2 h 5.4538
```

```
S 3 0 0
M 2 h 13.5447
M 4 h  6.0482

S 4 0 0
M 1 h 2.0420

S 3 0 0
M 1 h 8.0900

S 4 0 0
M 2 h 7.4960
```

Lagerung auf alle Höhen (Gesamtspurminimierung):

`>xdesy hnetz.mkr -a -f -i -ohnetz-fg.erg`.

Lagerung auf Höhe **1** (Teilspurminimierung):

`>xdesy hnetz.mkr -a -ft -i -ohnetz-ft.erg`.

6 Koordinatentransformation

Überbestimmte 3D Transformationen (auch 3D BestFit Transformation, 3D Helmert Transformation)

In vielen Bereichen und Situationen stellt sich die Aufgabe der Transformation von Koordinaten in unterschiedliche Koordinatensysteme. Diese Aufgabe kann mit einfachen Methoden der Mathematik bewältigt werden. Die Umkehrung der Aufgabe ist die Ermittlung von Transformationsparametern aus Koordinaten von Punkten, die in zwei unterschiedlichen Koordinatensystemen vorliegen (sog. identische Punkte). Liegen mehr als für die mathematische Eindeutigkeit der Berechnung notwendige Punkte vor, führt diese Überbestimmung zu einem Ausgleichungsproblem.

Xdesy ist äußerst flexibles bei der Bestimmung der Transformationsparameter und der Restklaffungen. Xdesy kann angewendet werden für:

- Flexible 2D oder 3D-Transformation von zwei 2D oder 3D-Datensätzen mit identischen Punkten
- Analyse von 2D oder 3D-Koordinaten-Messungen (Genauigkeit, Fehlerparameter, Grobfehlersuche)
- Überbestimmte Ermittlung von Transformationsparametern

Trans3D erhält als Dateneingabe zwei Datensätze mit den Informationen: Punktnummer, x, y und z Koordinate in Form von ASCII-Files. Die anschließende Berechnung der 3D Transformation mit Xdesy kann außerordentlich flexibel erfolgen:

- 1- bis 12-Parametertransformation
- 3 Translationen, 3 Rotationen, 3 Maßstäbe, 3 affine Parameter (Winkel x zur y Achse, Winkel z Achse zur xy Ebene und dessen Azimut)
- Jeder Parameter kann vollkommen unabhängig wahlweise auf fix oder float gesetzt werden, bei der Wahl von fix kann ein fester Wert für den Parameter vorgegeben werden.
- Die Gewichtung jeder Koordinate kann getrennt vorgenommen werden.
- Alternative Wahl von robuster L1-Norm (Grobfehlersuche) und L2-Norm
- grafische Darstellung der Punkte im Grafik-Fenster, Darstellung von Fehlervektoren, Änderung der Überhöhung, Analyse Modus zur bewegten und überhöhten Darstellung von Abweichungen
- Berechnung aller möglichen Drehwinkelkombinationen (Eulerwinkel, verschiedene Rotationsreihenfolgen, Ausgabe der Rotationsmatrix) sowie Angabe beider Lösungsmöglichkeiten für Drehwinkel

7 Häufige Fragen und Probleme

Während des Aufbaus der A-Matrix bricht Xdesy mit der Fehlermeldung `atan2: DOMAIN error` **ab!**

Häufige Ursache hierfür ist, dass für zwei oder mehr Neupunktkoordinaten nur die Näherungskoordinaten $(0.0, 0.0)$ angegeben sind. Abhilfe schafft der Aufrufparameter **-n** zur automatischen Berechnung von Näherungskoordinaten.

8 Verfügbarkeit

Von Xdesy bestehen bislang Portierungen auf WIN32 und Linux.

9 Zukunft

Xdesy wird mit jeder neuen Version perfekter und vollständiger. Dennoch gilt es, ständig die vielen noch unentdeckten Fehlern aufzuspüren und zu beseitigen. Folgende Weiterentwicklungen (absteigende Priorität) sind geplant:

1. Deformationsmodul
2. Graphische Benutzeroberfläche
3. Einlesen des XML-Formates
4. Ausführliches und aktuelles Handbuch
5. Entwicklung einer Meta-Sprache zur Deklaration anwendereigener Beobachtungsgleichungen.

Dr.-Ing. Fredie Kern
Holsteinstraße 3
D-55118 Mainz
f.kern@xdesy.de
www.xdesy.de

Literatur

[Bau85] BAUMMAN, E.: *Vermessungskunde Band 2 Punktbestimmung nach Höhe und Lage*. 1. Aufl. Bonn : Dümmler, 1985

[SFN10] SCHWIEGER, V. ; FOPPE, K. ; NEUNER, H.: Qualitative Aspekte zu Softwarepaketen der Ausgleichungsrechnung. In: *Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswerteverfahren*, DVW e.V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoimformation und Landmanagement, Arbeitskreis 3 und VDV Fachgruppe 2, 2010 (DVW-Schriftenreihe Band 61), S. 129–163

Index