

PANDA

**Programm zur Ausgleichung
von geodätischen Netzen
und zur Deformationsanalyse**

Allgemeine Informationen zum
Programmsystem PANDA

Oktober 2011

GEOTEC

Geodätische Technologien GmbH
Wilhelm-Busch-Straße 21
30880 Laatzen
Germany

Tel: ++49(0)5102/915658
Fax: ++49(0)5102/63 83
email: info@geotec-gmbh.de
WEB: www.geotec-gmbh.de

Programmsystem PANDA

Das Programmsystem PANDA ist ein Programmpaket zur Berechnung und Ausgleichung sämtlicher Netze (1D, 2D, 3D) im Bereich der Landes- und Ingenieurvermessung.

PANDA umfasst die Module:

- **Datenaufbereitung** mit der Übernahme von terrestrischen Beobachtungen und von GPS – Basislinien, Reduktion mit Anbringung sämtlicher Reduktionen und Korrekturen und robuste Berechnung von Näherungskordinaten mit Suche nach groben Beobachtungsfehlern.
- **Ausgleichung** von terrestrischen und/oder GPS-Messungen mit unterschiedlicher Datumsfestlegung, sowie diverser Tools zur Modellerweiterung und Beurteilung der Qualität.
- **Deformationsanalysen** zur Bestimmung von Einzelpunktverschiebungen.
- **Koordinatentransformationen**, einschließlich nachbarschaftstreuer Anpassung der Restklaffungen.

Kern des Systems ist eine grafische Oberfläche, in die die einzelnen Module integriert sind.

Die Module Deformationsanalyse und Transformationen sind optional.

Zur Datenspeicherung benutzt PANDA eine relationale Datenbank (MS-Access). Der Zugriff auf die Daten erfolgt über die ODBC-Schnittstelle.

Gegen unbefugtes Kopieren ist PANDA mit einem HASP-Dongle geschützt.

PANDA ist lauffähig unter Microsoft XP, VISTA und Windows7.

Oberfläche

PANDA verfügt über eine moderne, kontextorientierte grafische Oberfläche.

Das Programm arbeitet objektorientiert, d. h. durch Anklicken mit der rechten Maustaste können Eigenschaften der Objekte geändert oder Aufgaben ausgeführt werden.

Den Objekten wird ein Status zugeordnet, dieser wird grafisch durch Farben dargestellt, sodass noch ausstehende Arbeitsschritte (z. B. Korrektur fehlerhafter Beobachtungen) leicht erkannt werden können.

Listen können nach verschiedenen Kriterien sortiert werden, so können zum Beispiel alle Beobachtungen nach der normierten Verbesserung geordnet werden; grobe Fehler sind so leicht zu lokalisieren.

Es wird ein interaktiver Netzentwurf (inklusive Netzoptimierung) unterstützt, bei dem direkt am Bildschirm die Punkte und die Beobachtungen eingegeben und analysiert werden können.

Neu in Version 4:

Die Größe einiger Fenster wird benutzerdefiniert gespeichert.

- Zu einer bestehenden Version können Feldbücher hinzugefügt oder auch entfernt werden. Eine sukzessive Bearbeitung von Netzen ist einfach möglich.
- Polarpunkte können in der grafischen Darstellung einer Version und in der Ausgleichung unterdrückt werden.
- Alle Feldbücher einer Epoche können in einem Arbeitsschritt reduziert werden.
- Bestimmte Informationen können auf alle Beobachtungsgruppen einer Version übertragen werden.
- Bezeichnungen von Koordinatensystemen, Feldbüchern, Epochen, Ausgleichungen und Deformationsanalysen können nachträglich geändert werden. So können einfach die endgültigen Lösungen gekennzeichnet werden.

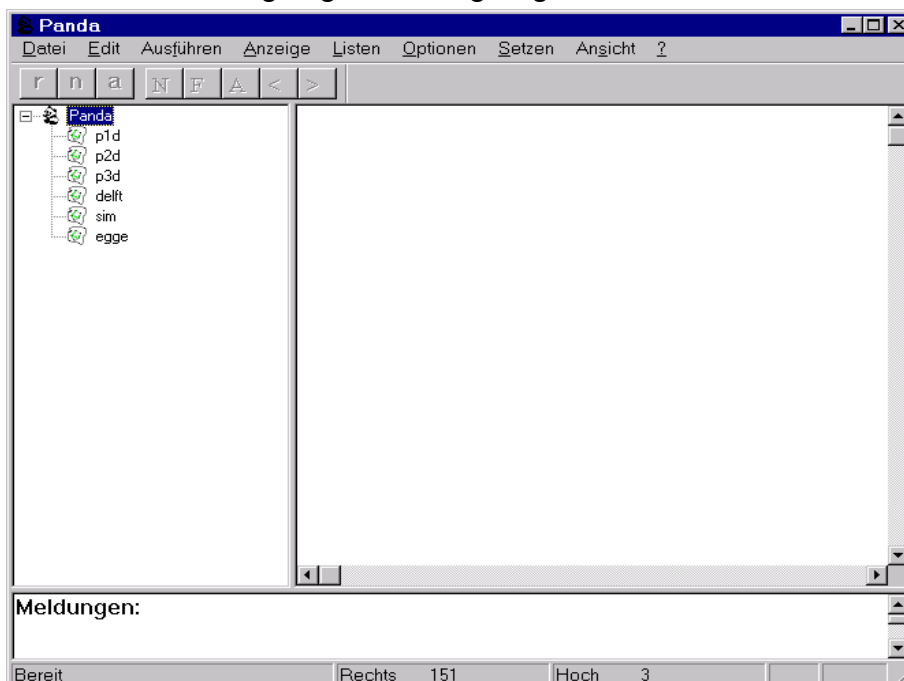


Abbildung 1 Oberfläche von PANDA

Koordinatensysteme in PANDA

Die Koordinaten können in einem der folgenden Koordinatensysteme vorliegen:

- **lokales kartesisches oder sphärisches Koordinatensystem** für Ingenieurnetze. Kleinere Netze können als kartesisch angesehen werden, bei größeren Netzen muss die Erdkrümmung berücksichtigt und deshalb ein sphärisches Modell verwendet werden.
- **globales kartesisches Koordinatensystem**, z. B. WGS 84 für die Ausgleichung reiner GPS-Netze, wobei als Beobachtungen Koordinaten oder Koordinatendifferenzen mit vollständiger stochastischer Information eingeführt werden können.
- **Abbildungssysteme** für die Landesvermessung. Die Abbildungskordinaten werden in global kartesische Koordinaten umgewandelt und auch ausgeglichen, sodass auch großräumige Netze, die mehrere Meridianstreifen berühren, bearbeitet werden können. Dies System muss auch bei einer kombinierten Auswertung von terrestrischen- und GPS-Daten verwandt werden. ETRS89 wird unterstützt.

Abbildungen und Ellipsoide in PANDA

Konforme Mercator- und konforme Lambert-Abbildungen werden unterstützt. Einige Abbildungen sind schon definiert:

- Gauß-Krüger (Deutschland, Österreich)
- UTM

Beliebige Ellipsoide werden unterstützt. Einige Ellipsoide sind schon definiert:

- Bessel (Deutschland, Österreich), Krassowski (ehemalige DDR, Russland)
- WGS 72, WGS 84, ETRS 89

Instrumente in PANDA

Für jedes Instrument werden Genauigkeiten sowie Kenndaten und zeitabhängige Kalibrierdaten, soweit diese für die Reduktion der Beobachtungen erforderlich sind, gespeichert.

Die Instrumente können exportiert und importiert werden, ein einfacher Datenaustausch mit anderen Bearbeitern ist somit einfach möglich.

Es werden die folgenden Instrumentenarten unterstützt:

- Tachymeter (Theodolite, EDM)
 - Nur für die Streckenmessung werden Kenn- und Kalibrierdaten gespeichert:
 - * Kenndaten: Trägerwellenlänge, Feinmaßstab und Bezugswerte für Temperatur und Druck.
 - * Kalibrierdaten: Additionskonstante, Maßstab und zyklischer Phasenfehler.
- Prisma
 - * Kalibrierdaten: Additionskonstante.
- Nivellier
 - * keine Kenn- oder Kalibrierdaten.

- Latte:
 - * Kalibrierdaten: Lattenkonstante und Lattenmaßstab sowie ein temperaturabhängiger Ausdehnungskoeffizient.
- Lasertracker: Keine Kenn- und Kalibrierdaten.

Modul Datenaufbereitung

Allgemeines

Die Aufbereitung umfasst:

- Übernahme von terrestrischen bzw. GPS-Daten
- die Reduktion der Daten
- die automatische Berechnung von Näherungskoordinaten nach robusten Ansätzen mit Kontrolle auf grobe Beobachtungsfehler

Übernahme von Daten

Dateien mit **terrestrischen Originaldaten** in folgenden Formaten können gelesen werden:

- GSI Format von Leica, für Tachymeter und elektronische Nivelliere,
- GEODAT von Trimble (Spectra Precision),
- REC500 bzw. M5 Format von Trimble (Zeiss) für Tachymeter und elektronische Nivelliere,
- JobXML Dateien mit Trimble Messinformationen.
- Leica dbx Datenbank.

Für diese Formate ist zurzeit ein automatischer Datenfluss realisiert. Weitere Datenerfassungsgeräte können bei Bedarf hinzugenommen werden.

Neu in Version 4:

- Das Leseprogramm erkennt automatisch die Art der Rohdatendatei. Die Erweiterung der Rohdatendatei muss nicht an PANDA angepasst werden.
- Jeder Rohdatendatei kann eine individuelle Definitionsdatei zugeordnet werden. Innerhalb eines Projektes werden unterschiedliche Speicherschemata für die Messungen unterstützt.

Für die GPS-Auswerteprogramme

- GPSurvey (SSF und SSK-Dateien),
- SKI (Leica),
- Geonap,
- Geotracer,
- GeoGenius,

ist die Übernahme der Ergebnisse, einschließlich Kovarianzinformationen, aus den Auswerteprogrammen in das Programmsystem PANDA realisiert. Weitere Auswerteprogramme können bei Bedarf hinzugenommen werden.

Reduktion der Daten

Bei der Reduktion von Tachymeterdaten werden bei Satzmessungen die Genauigkeiten für die Richtungen, Zenitwinkel und Strecken bestimmt.

Die Reduktion kann in folgende Schritte unterteilt werden:

- Instrumentelle Korrekturen:

Für die Reduktion werden die Kenn- und Kalibrierdaten des verwendeten Instrumentes aus der Datenbank gelesen und die Beobachtungen entsprechenden korrigiert. Bei den zeitabhängigen Kalibrierdaten werden immer die Daten des letzten Kalibrierdatums herangezogen. Fehlende Instrumente werden durch Standardinstrumente ersetzt. (Nivellementdaten und Streckenmessungen).

* Nivellementdaten: Lattenmaßstab.

* Streckenmessungen: Additionskonstante für Instrument und Prisma, Maßstab und zyklischer Phasenfehler.

- Meteorologische Korrekturen:

Die meteorologischen Bedingungen bei der Messung werden zur Korrektur der Beobachtungen herangezogen.

* Streckenmessungen: 1. und 2. Geschwindigkeitskorrektur, Formeln von Barrel und Sears

* Höhenunterschiede: Temperaturbedingter Ausdehnungskoeffizient bei Nivellierlatten. (**Neu!**)

- Geometrische Reduktionen:

In die Ausgleichung können nur auf die vermarkten Punkte reduzierte Beobachtungen verwendet werden, in diesem Arbeitsschritt werden die Beobachtungen reduziert (Zenitwinkel- und Streckenmessungen).

* Horizontalstrecken:

- Krümmungskorrektur,
- Neigungs- und Höhenreduktion,
- Abbildungs-Reduktion, wenn Abbildungskordinaten vorliegen.

* Zenitwinkel und Schrägstrecken:

Elimination der Instrumenten- und Tafelhöhe, sofern vorhanden werden die Koordinaten der Punkte für die Reduktion herangezogen, andernfalls werden Zenitwinkel und Schrägstrecke gegenseitig zur Reduktion verwendet.

Die Ergebnisse der Fehlerrechnung und Reduktion werden in einem Protokoll dokumentiert.

Berechnung von Näherungskordinaten

Aus gegebenen bzw. berechneten Höhen-/Koordinatendifferenzen werden automatisch Schleifen gebildet und die Widersprüche berechnet.

Aus den Höhen-/Koordinatendifferenzen werden mit einer robusten L1-Norm-Ausgleichung Höhen/Koordinaten der Punkte berechnet. Aus Tachymeterbeobachtungen werden, soweit möglich, Koordinatendifferenzen abgeleitet, andernfalls werden die klassischen Verfahren zur Koordinatenberechnung, Vorwärts- oder Rückwärtseinschneiden, polares Anhängen oder freie Stationierung, angewandt.

Die berechneten Höhen/Koordinaten werden in einer 1D/2D Transformation auf die

bekannten Punkte übertragen, somit sind Punktverwechslungen im Bereich der Anschlusspunkte aufdeckbar.

Modul Ausgleichung

Allgemein

Das Modul Ausgleichung erlaubt die Ausgleichung eines 1-, 2- oder 3-dimensionalen geodätischen Netzes unter einer Vielzahl von Konditionen und umfasst die Berechnung von netzspezifischen Kriterien zur Analyse und Optimierung von Netzen.

Für Zwecke der Netzplanung und Netzoptimierung können simulierte Ausgleichungen – d. h. ohne tatsächliche Beobachtungswerte - durchgeführt werden. Die Qualität des jeweiligen Netzentwurfes kann anhand der vom Programm berechneten Kenngrößen beurteilt werden.

Eine Netzoptimierung durch Modifikationen des Ausgangsentwurfes ist problemlos möglich.

Das Ausgleichungsmodul bietet die folgenden Möglichkeiten:

- Ausgleichung in unterschiedlichen Koordinatensystemen
- Ausgleichung verschiedener Beobachtungsarten
- Einführung von zusätzlichen Unbekannten
- Vereinbarung unterschiedlicher Datumsverfügungen für die Punkte
- Berechnung von Kenngrößen zur Beurteilung und Analyse eines Netzes

Eine Besonderheit von PANDA ist die Möglichkeit, GPS-Messungen (Koordinatendifferenzen bzw. gemessene Koordinaten inkl. Kovarianzinformation) mit terrestrischen Messungen zu kombinieren. Dabei kann das Datum entweder aus dem terrestrischen oder aus dem GPS-System definiert werden, oder es kann durch entsprechenden Ansatz von Zusatzparametern ein Teil der Datumsinformation terrestrisch, ein anderer Teil aus GPS bestimmt werden.

Neu in Version 4:

Tritt während der Ausgleichung ein Rangdefekt auf, so wird dieser in der Protokolldatei mit Angabe der betroffenen Punkte ausgegeben.

Eine automatische Grobfehlersuche/Genauigkeitsanpassung ist möglich. Sind weniger als xx % der Beobachtungen einer Gruppe grob fehlerhaft, werden die Beobachtungen abgewichtet, andernfalls wird die Gruppengenauigkeit angepasst. Der Parameter xx kann vorgegeben werden.

Punkte

Die Näherungskordinaten können in einem der folgenden Koordinatensysteme vorliegen:

- lokales kartesisches Koordinatensystem
- lokales sphärisches Koordinatensystem
- globales kartesisches Koordinatensystem
- globales ellipsoidisches Koordinatensystem
- globales Abbildungssystem, z. B. Gauß-Krüger

Lotabweichungen können als physikalische Korrektur an den Beobachtungen angebracht werden. (nur globale Systeme).

Datum des Netzes

In der Regel enthalten die Beobachtungen nicht alle Informationen, um die Koordinaten der Punkte bestimmen zu können, so enthalten z. B. Richtungen und Horizontalstrecken keine Informationen über die Lage und Orientierung des Netzes, nur der Maßstab wird durch die Streckenmessungen bestimmt. Das Netz weist einen entsprechenden Datumsdefekt auf.

Im Modul Ausgleichung sind die folgenden Datumsverfügungen realisiert:

- **Ausgleichung unter Zwang** Eine Ausgleichung unter Zwang wird durchgeführt, wenn die Anzahl der festgehaltenen Komponenten größer als der Datumsdefekt ist. Das Datum der Festpunkte wird dadurch auf das Netz übertragen und die Netzgeometrie wird angepasst. Es besteht die Möglichkeit, alle oder nur einzelne Komponenten eines Punktes festzuhalten.
- **Zwangsfreie Ausgleichung** Eine zwangsfreie Ausgleichung wird durchgeführt, wenn die Anzahl der festgehaltenen Komponenten genau dem Datumsdefekt d entspricht. Die Netzgeometrie wird nicht geändert.
- **"Weiche" Lagerung** Das Datum kann auch durch "gemessene" Koordinaten bestimmt werden. Der Anteil eines Punktes an der Datumsfestlegung des gesamten Netzes wird durch seine Genauigkeit bestimmt. Netzgeometrie und Datumsfestlegung beeinflussen sich wechselseitig.
- **Freie Netzausgleichung** Eine freie Netzausgleichung wird durchgeführt, wenn das Netz auf den Näherungskordinaten mehrerer Punkte (Datumspunkte) gelagert werden soll. Das Netz wird dazu im Sinne einer Helmert-Transformation auf die Näherungskordinaten aufgefördert. Das Netz kann auf **allen** Netzpunkten (*Gesamtspurminimierung*) oder auf **einen Teil** der Netzpunkte (minimale Anzahl der Netzpunkte = Dimension des Netzes) (*Teilspurminimierung*) gelagert werden. Netzgeometrie und Datumsbestimmung sind unabhängig voneinander.

Beobachtungsarten

In die Ausgleichung können folgende Beobachtungsarten eingeführt werden:

- gemessene Koordinaten (2D und 3D)
- Koordinatendifferenzen (2D und 3D)
- Richtungen (2D und 3D)
- Zenitwinkel (3D)
- Azimute (2D und 3D)
- Schrägstrecken (3D) bzw. Horizontalstrecken (2D)
- Höhenunterschiede (1D und 3D)
- **Neu in Version 4:** Lasertrackerdaten(3D).

Lasertrackerdaten bestehen aus Richtungen, Zenitwinkel und Schrägstrecke. Die Orientierung des Gerätes ist beliebig, in der Ausgleichung werden die 3 Rotationsparameter streng bestimmt. Eine Kombination mit Tachymeter- bzw. Nivellementdaten ist möglich.

Für jede Beobachtungsart können mehrere Beobachtungsgruppen eingeführt werden, z. B. bei der Verwendung unterschiedlicher Instrumente. Jeder Gruppe, aber auch einzelnen Beobachtungen, kann eine individuelle Standardabweichung zugeordnet werden. Somit können unterschiedlich genaue Richtungssätze, Azimute, Zenitwinkel, Streckenmessungen oder Höhendifferenzen streng verarbeitet werden. Für Strecken ist

ein distanzabhängiger Gewichtsansatz vorgesehen. Jeder Gruppe können auch eigene Zusatzparameter zugeordnet werden, z. B. unterschiedliche Maßstabsunbekannte bei Streckenmessungen mit verschiedenen Instrumenten.

Zusätzliche Unbekannte

Um das Ausgleichungsmodell möglichst variabel gestalten zu können, ist die **Einführung von zusätzlichen Unbekannten** für beliebig gewählte Beobachtungsgruppen möglich. Die ausgeglichenen Parameter werden dokumentiert.

- Orientierungsunbekannte bei Kreismessungen (Azimute)
- Orientierungsunbekannte, Refraktionsunbekannte und Näherungswert für den Refraktionskoeffizienten bei Zenitwinkelmessungen
- Maßstabsunbekannte bei Streckenmessungen
- Maßstabsunbekannte bei Höhenunterschieden
- Translations-, Orientierungs- und Maßstabsunbekannte bei "gemessenen" Koordinaten (2D und 3D)
- Orientierungs- und Maßstabsunbekannte bei Koordinatendifferenzen (2D und 3D)
- **Neu in Version 4:** 3 Orientierungsunbekannte pro Lasertrackerstandpunkt (3D)

Bei einer kombinierten Ausgleichung terrestrischer Daten mit Basislinien ist es wichtig, dass für die Basislinien Zusatzparameter eingeführt werden, da die Basislinien im WGS84 vorliegen, während die geozentrischen Koordinaten in der Regel im Landessystem, z. B. DHDN in Deutschland, vorliegen. Da beide Systeme nicht identisch sind, müssen die Basislinien durch die Einführung der Orientierungs- und Maßstabsunbekannte vom WGS84 in das Landessystem transformiert werden. Dieser Übergang wird in der Ausgleichung durch die Einführung der Zusatzparameter garantiert.

Beurteilung und Analyse eines Netzes

Zur **Beurteilung und Analyse des Netzes** werden folgende, in vielen Verwaltungsvorschriften geforderten Kenngrößen berechnet:

- Für die Beobachtungen
 - * a posteriori Standardabweichungen
 - * normierte Verbesserungen, Redundanzanteile und minimal aufdeckbare Beobachtungsfehler
 - * Varianzkomponentenschätzung
 - * Zur Aufdeckung von groben Beobachtungsfehlern wird ein DATA-SNOOPING durchgeführt. Eine Gruppenvarianzschätzung dient zur Kontrolle bzw. zur Korrektur der Gewichtsverhältnisse der Gruppen untereinander.
- Für die Punkte
 - * Standardabweichungen
 - * Kenngrößen von Fehler- bzw. Konfidenzellipsen
 - * Relative Fehler- bzw. Konfidenzellipsen (z. B. für die Bestimmung von Durchschlagsfehlern bei unterirdischen Messungen)

Modul Deformationsanalyse

Allgemeines

Eine Deformationsanalyse (1D, 2D, 3D) wird angewandt, um die Stabilität von Punkten oder Punktbewegungen nachzuweisen. Ein geodätisches Netz wird dazu mehrfach ausgemessen und die Ergebnisse anschließend analysiert, um eine gesicherte statistische Aussage über eventuelle Deformationen zu erhalten.

Möglichkeiten der Deformationsanalyse

- Das Modul erlaubt eine Analyse mehrfach ausgemessener geodätischer Netze auf **Einzelpunktverschiebungen**.
- Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Informationen kann eine **genäherte Analyse** (Kofaktormatrizen fehlen oder nur punktbezogene Submatrizen vorhanden) oder eine **strenge Analyse** (Kofaktormatrizen für beide Epochen vollständig, z. B. vom Modul Ausgleichung) durchgeführt werden.

Kern der Analyse ist ein globaler Kongruenztest zum Anzeigen von signifikanten Klaffungen im Bereich der Referenzpunkte. Um Datumseinflüsse auf die Testgröße zu vermeiden, wird jeweils vor dem Kongruenztest eine S-Transformation der Klaffungen und der zugehörigen Kofaktormatrix auf die Referenzpunkte ausgeführt.

Im Modul Deformationsanalyse sind zwei Vorgehensweisen realisiert:

- Bei der **Rückwärtsstrategie** werden, ausgehend von einer Gruppe von Referenzpunkten, die signifikant verschobenen Einzelpunkte innerhalb der Stützpunkte aufgedeckt. Das Verfahren endet, wenn in der Gruppe keine signifikanten Klaffungen mehr entdeckt werden können, bzw. wenn nur noch 2 bzw. 3 Punkte verblieben sind.
- Bei der **Vorwärtsstrategie** wird eine vermutlich stabile Punktgruppe als Referenzpunkte definiert. Solange in dieser Gruppe keine signifikanten Klaffungen nachzuweisen sind, wird ein Punkt aus dem Bereich der "potentiellen verschobenen Punkte" hinzugefügt. Das Verfahren endet, sobald Deformationen auftreten oder alle Punkte als stabil erkannt sind.

Kriterium für die Lokalisierung von Punkten ist die größte (Rückwärtsstrategie) bzw. kleinste (Vorwärtsstrategie) relative Klaffung der Punkte.

Analog zum Netzaufbau kann eine

- einstufige Analyse (alle Punkte werden als Referenzpunkte betrachtet) oder
- zweistufige Analyse (Unterteilung des Netzes in Referenz- und Objektpunkte)

berechnet werden.

Eine zweistufige Analyse wird in der Regel bei der Überwachung von Gebäuden angewandt.

Weitergehende Modelle können nach Absprache mit Nutzern problemlos implementiert werden.

Modul Transformationen

Das Transformationsmodul unterstützt eine Helmert- (Ähnlichkeits-) und Affin-Transformation.

Die Helmert-Transformation ist für 1D-, 2D- und 3D-Punkthaufen erlaubt, bei der Affin-Transformation ist nur eine 2D-Berechnung möglich.

Helmert-Transformation (1D, 2D und 3D)

Das Transformationsmodul ermöglicht die Koordinatentransformationen zwischen zwei kartesischen Koordinatensystemen.

Der Maßstab kann vorgegeben werden.

Eine zugehörige **Kovarianzmatrix** wird ebenfalls transformiert.

Die Transformationsparameter können aus den Soll-Koordinaten **identischer Punkte** (mindestens 3 Punkte) abgeleitet oder es kann auf **gegebene Transformationsparameter** in der Datenbank zurückgegriffen werden.

Affin-Transformation (nur 2D)

Das Transformations-Modul erlaubt die 2D Affin-Transformation zwischen zwei Systemen.

Die Parameter werden immer über identische Punkte bestimmt. Eine 6-Parameter oder eine 5-Parameter (mit 2 Translationen, 2 Maßstäben und einer Orientierung) Transformation ist möglich.

Nachbarschaftstreue Anpassung

Bei einer 2D-Transformation über identische Punkte können die Restklaffungen an den identischen Punkten durch eine nachbarschaftstreue Anpassung eliminiert werden. Es stehen zwei Berechnungsmethoden zur Verfügung:

- Die Korrekturen werden über Abstandsgewichte bestimmt. Es wird die Klaffung eines jeden identischen Punktes auf jeden Netzknoten übertragen. Als Funktion für den Einfluss einer Restklaffung auf den Netzknoten wird $s^{-1.5}$ verwendet, wobei s dem Abstand des Punktes vom identischen Punkt entspricht.
- Die Korrekturen werden über ein Membranmodell bestimmt. Bei diesem Modell wird der Punkthaufen durch eine Delaunay Triangulation in Dreiecke zerlegt und anschließend die Quadratsumme aller mit der Dreiecksfläche gewichteten Maßstabsänderungen minimiert.