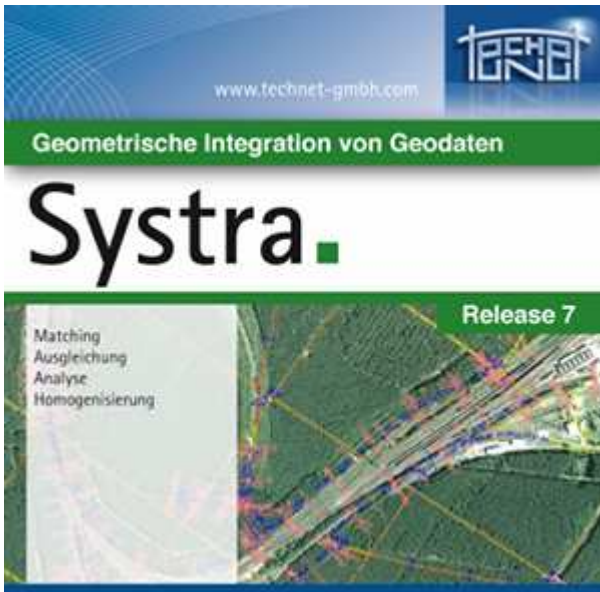


Systra - Geometrische Integration heterogener GIS-Daten



Systra ist ein Ausgleichungsprogramm zur geometrischen Integration heterogener GIS-Daten durch verkettete Transformation und Homogenisierung. Der Ausgleichungsalgorithmus verarbeitet neben den zu transformierenden Koordinatensätzen auch geometrische Bedingungen und geodätische Messungen.

Das zentrale Rechenmodul *Systra*, das Namensgeber für das Gesamtsystem ist, wird durch verschiedene Module mit grafischer Benutzeroberfläche ergänzt.

Die Module werden zwei Gruppen zugeordnet:

Berechnungsteil

Datenbankteil

Vertrieb:



Softmark Informationstechnologien GmbH
Tel. 0341 3581294
systra@smi-softmark.de

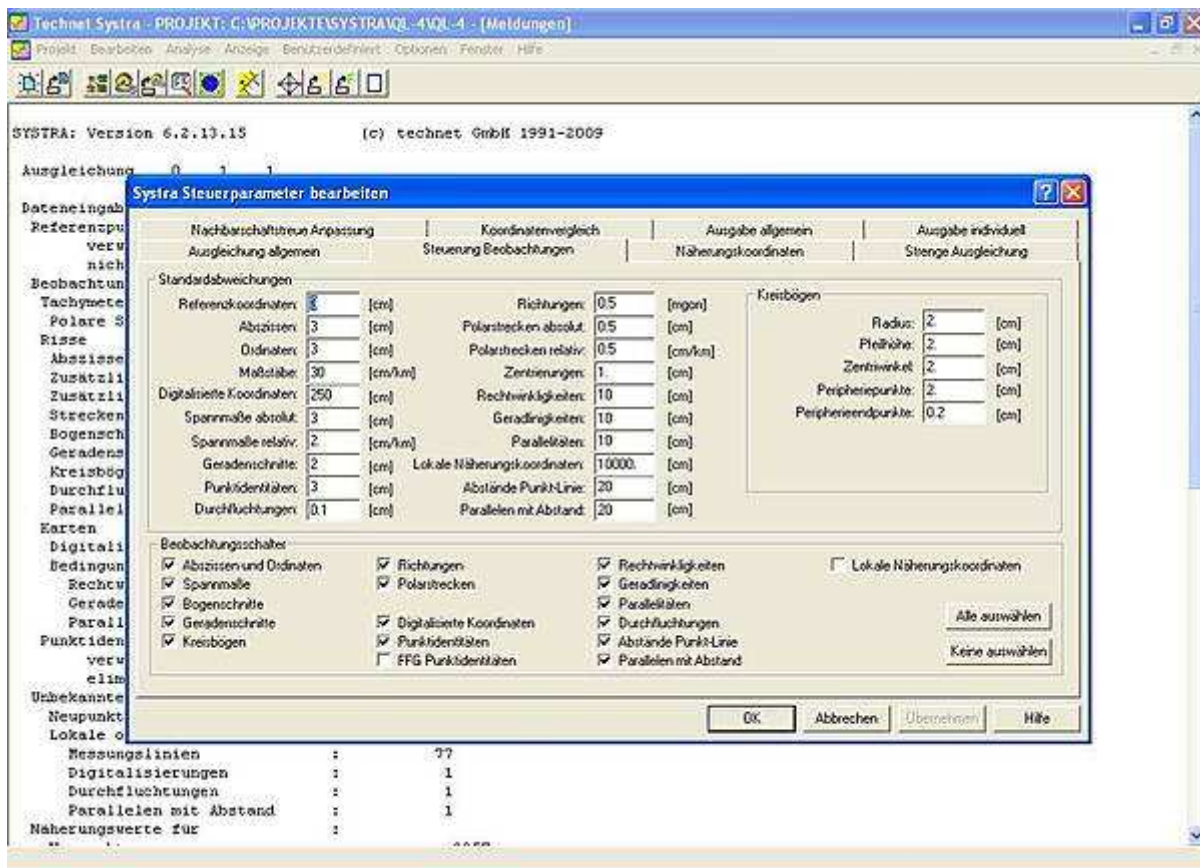
Der Berechnungsteil

SystraShell - Projektverwaltung

Eingabe und Modifikation der Steuerparameter

Aufruf der einzelnen Module

SystraShell ist für die Projektverwaltung verantwortlich. Von hier aus werden die einzelnen Module für die Ausgleichung und Datenverwaltung gestartet. Eine weitere wichtige Aufgabe besteht in der Festlegung der Steuerparameter für den Programmablauf und die Steuerung der Ausgleichung.



Festlegung der Beobachtungparameter in SystraShell

Systra - Ausgleichungskern

Systra ist ein Ausgleichungsprogramm, welches aus redundanten widerspruchsbehafteten Beobachtungen eindeutige Koordinaten berechnet. Es zeichnet sich insbesondere durch sein automationsfreundliches Analysekonzept und eine enorme Rechenleistung auf einfacher Hardware aus.

Der Berechnungsablauf gliedert sich in die Teile Näherungswertberechnung, Strenge Ausgleichung mit statistischer Analyse und Homogenisierung. Jeder Teil kann dabei separat an- oder abgeschaltet werden.

Inhalt

- Beobachtungstypen
- Ergebnis
- Hardware und Rechenleistung
- Näherungswertberechnung
- Strenge Ausgleichung und statistische Analyse
- Homogenisierung (nachbarschaftstreue Anpassung)
- Datenschnittstelle

Beobachtungstypen

Folgende Beobachtungstypen werden von *Systra* verarbeitet:

- Referenzkoordinaten
- Digitalisierte Koordinaten
- GPS-Koordinaten
- Punktidentität
- Rechtwinkligkeit
- Geradlinigkeit (3 Punkte)
- Durchfluchtung (n Punkte)
- Parallelität
- Parallelität mit Abstand
- Abstand Punkt-Linie
- Messungslinie (Abszissen und Ordinaten auch separat)
- Tachymetermesswerte (Richtungen und Strecken auch separat)
- Spannmaß
- Geradenschnitt
- Kreis (Radius, Pfeilhöhe, Zentriwinkel, Peripheriepunkte)

Ergebnis

Die Ergebnisse der Ausgleichung werden in einer Protokolldatei *Systra.OUT* und für die Weiterverarbeitung in ASCII-Dateien geschrieben. Im Einzelnen werden folgende Werte ausgewiesen:

- Ausgegliche Koordinaten
- Empirische Standardabweichungen der Koordinaten
- Fehlerellipsen
- Ausgegliche Transformationsparameter
- Verbesserungen
- Redundanzanteile
- Normierte Verbesserungen
- Verschiebungsvektoren der Homogenisierung

- Liste der 10 größten normierten Verbesserungen
- Varianzkomponenten und Redundanzanteile der einzelnen Beobachtungstypen

Hardware und Rechenleistung

Die Standardversion ist für **50 000 Punkte** und **50 000 Beobachtungen** ausgelegt und läuft auf handelsüblichen PCs bzw. Notebooks. Die Zahl der zu verarbeitenden Punkte und Beobachtungen ist hierbei nur vom verfügbaren Arbeitsspeicher des Rechners abhängig. Bei Bedarf liefern wir Versionen mit einer beliebigen Anzahl von Punkten. Aus unserer Sicht ist jedoch eine Projektgröße von über 250000 Punkten technisch nicht mehr sinnvoll.

Eine Ausgleichung mit *Systra* benötigt auf einem handelsüblichen PC bei einer Projektgröße von 50 000 Punkten ca. **10 Sekunden**.

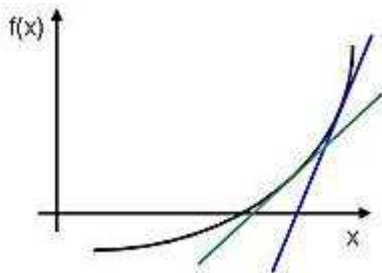
Näherungswertberechnung

Die in *Systra* verwendeten Beobachtungsgleichungen sind im Allgemeinen nichtlinear. Da die Methode der kleinsten Quadrate nur für lineare Probleme definiert ist, müssen diese Beobachtungsgleichungen zunächst linearisiert werden. Für die Linearisierung werden Näherungswerte der unbekanntenen Koordinaten und Transformationsparameter benötigt.

Systra kommt hierbei ohne extern eingeführte Näherungswerte aus. Vielmehr werden diese automatisch ohne Vorgabe eines Rechenweges erzeugt. Durch Anwendung eines sehr robusten Lösungsansatzes nach dem Verfahren der konjugierten Gradienten führt dieser Auswertungsschritt auch bei Vorhandensein großer Fehler im Datenmaterial zum Ergebnis.

In einem iterativen Prozess werden erkannte grobe Fehler stochastisch eliminiert. Ergebnis dieses ersten Berechnungsschrittes sind die gesuchten Näherungswerte sowie die von großen groben Fehlern bereinigten Beobachtungsdaten.

Strenge Ausgleichung und statistische Analyse



Newtonverfahren

In diesem Schritt wird das eigentliche Ausgleichungsproblem streng nach der Methode der kleinsten Quadrate gelöst. Die Berechnung läuft in mehreren Iterationsschritten ab, in deren Verlauf das nichtlineare Problem mit Hilfe des Newton-Verfahrens gelöst wird.

Nach dem Erreichen des Lösungspunktes werden Analysekenngößen für die Beobachtungen und die berechneten Koordinaten ermittelt. Die Ergebnisse sind im Einzelnen:

- Ausgegliche Koordinaten
- Transformationsparameter
- Fehlerellipsen und empirische Standardabweichungen der Koordinaten
- Verbesserungen, Redundanzanteile und normierte Verbesserungen der Beobachtungen

Der Nachweis der Ergebnisse erfolgt über ein ADV-gemormtes Analyseprotokoll und maschinenlesbar in einer ASCII-Datei.

Stochastik

Jede Beobachtung kann individuell oder aber über eine Beobachtungsgruppe zusammengefasst gewichtet werden. Hiermit wird die unterschiedliche Genauigkeit der Messungen modelliert.

Referenzpunktbehandlung

Referenzpunktkoordinaten können zum Zweck der Analyse „beweglich“ als Beobachtungen in die Ausgleichung eingeführt werden. Auf diese Weise können Identitätsfehler an den Referenzpunkten mit Hilfe der normierten Verbesserungen leicht aufgedeckt und eliminiert werden.

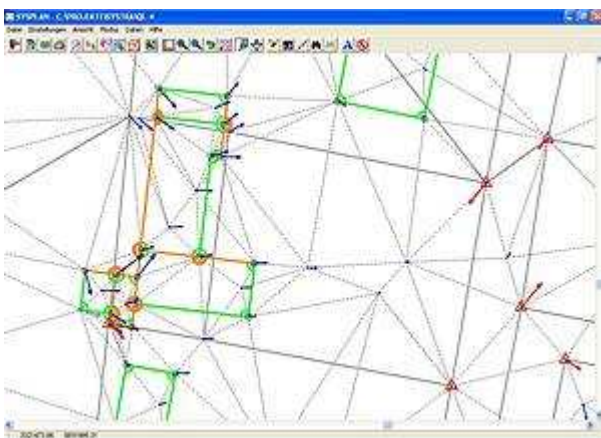
Homogenisierung (nachbarschaftstreue Anpassung)

Der Beobachtungstyp *digitalisierte Koordinaten* weist gegenüber anderen Beobachtungstypen eine Besonderheit auf: Die Beobachtungen unterliegen einer streckenabhängigen Korrelation. Der Berechnungsschritt Homogenisierung dient der Modellierung eben jener Korrelationen. Zu diesem Zweck werden die ursprünglichen digitalisierten Koordinaten durch Nachbarschaftsbeobachtungen ausgetauscht. Alle anderen Beobachtungen verbleiben unverändert im Ausgleichungsmodell.

Von einigen digitalisierten Objekten (z.B. Häusern) sind bestimmte geometrische Eigenschaften wie Rechtwinkligkeit, Geradlinigkeit oder Parallelität bekannt. Diese Bedingungen werden als Beobachtungen in das Homogenisierungsmodell eingeführt.

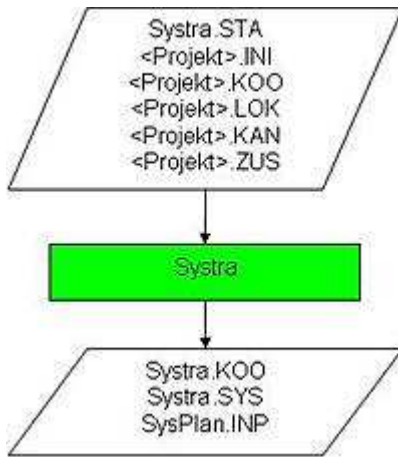
Die Nachbarschaftsbeobachtungen werden automatisch aus den digitalisierten Koordinaten generiert. Hierzu wird über alle Punkte eines digitalisierten Systems eine Delaunay-Triangulation durchgeführt. Entlang entstehenden Dreiecksseiten werden Koordinatenunterschiedsbeobachtungen eingeführt. Die Beobachtungswerte dieser Beobachtungen ergeben sich aus den digitalisierten Koordinaten der beteiligten Punkte.

Das stochastische Modell dieser Beobachtungen ist so gewählt, dass das entstehende Dreiecksnetz bei Verformung das Verhalten einer elastischen Membran aufweist. Es sei darauf hingewiesen, dass an diesem Ausgleichungsschritt alle Beobachtungen, auch Bedingungen und geodätische Messwerte, gleichberechtigt teilnehmen. Auf diese Weise kommt es nicht zu Verletzungen der Nachbarschaftsgeometrie, wie sie bei der sonst üblichen sequentiellen Berechnung auftreten.



Ergebnis einer Homogenisierung mit Bedingungen

Datenschnittstelle



Das Ausgleichungsmodul *Systra* ist ein reiner Rechenkern, der über ASCII-Dateien gesteuert wird und auch solche als Ergebnis erzeugt. Diese robuste und transparente Art des Datenaustausches erlaubt es, das Modul in bereits bestehende Software-Architekturen einfach zu integrieren. Auch die anderen zum Programmsystem gehörenden Module kommunizieren über diese Schnittstelle mit dem Ausgleichungsmodul.

Eingabedateien

.STA	:tinformationen
<Projekt>.INI	parameter
<Projekt>.KOO	:nzkoordinaten
<Projekt>.LOK	Koordinaten
<Projekt>.KAN	maße, Punktidentitäten
<Projekt>.ZUS	liche Beobachtungen

Ausgabedateien

.KOO	gleichene Koordinaten
.SYS	gleichene Transformationsparameter
an.INP	nis der statistischen Analyse

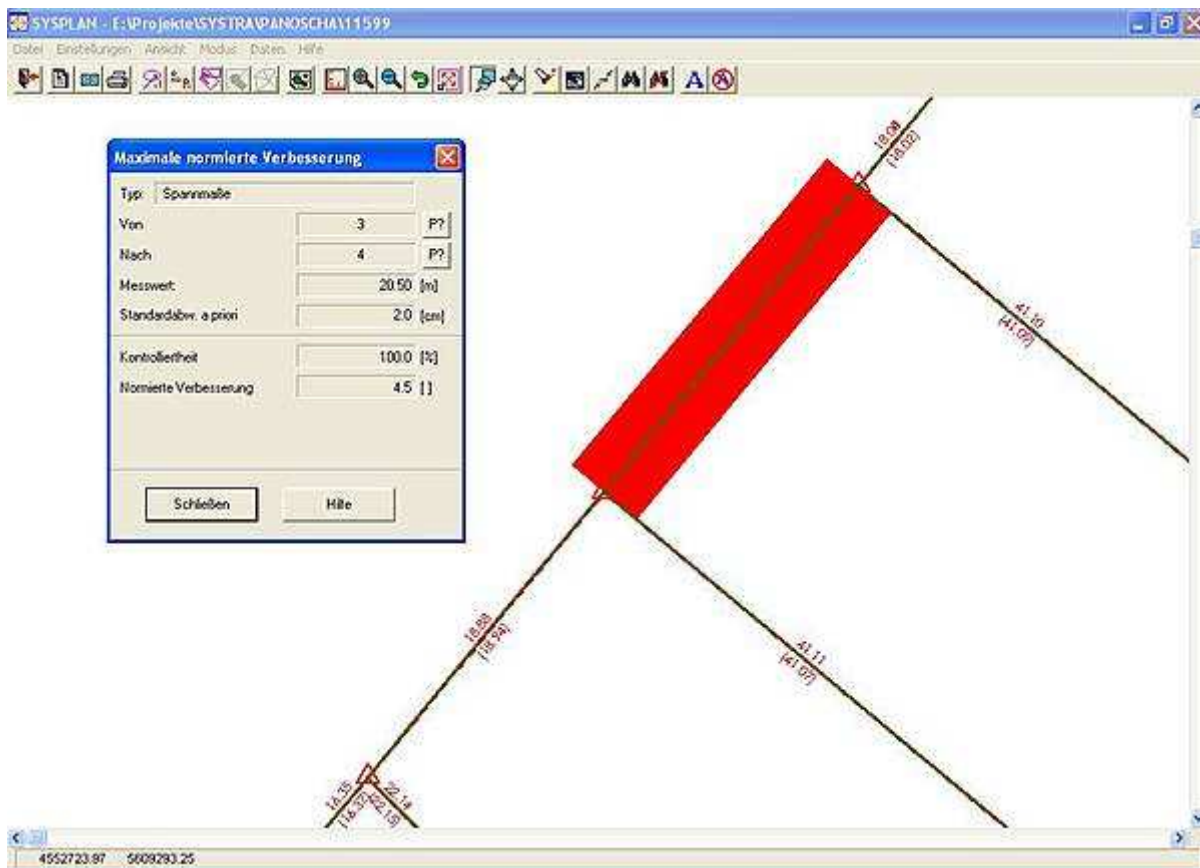
SysPlan - Analysegrafik

SysPlan erlaubt die grafische Darstellung der Analyseergebnisse der Ausgleichung. Dargestellt werden im Einzelnen:

- Objektgeometrie
- Punkte getrennt nach Referenz- und Neupunkten
- Fehlerellipsen
- Beobachtungen
- Geometrische Bedingungen
- Normierte Verbesserungen
- Redundanzanteile
- Lokale Koordinatensysteme
- Triangulation der Homogenisierung
- Verschiebungsvektoren der Homogenisierung

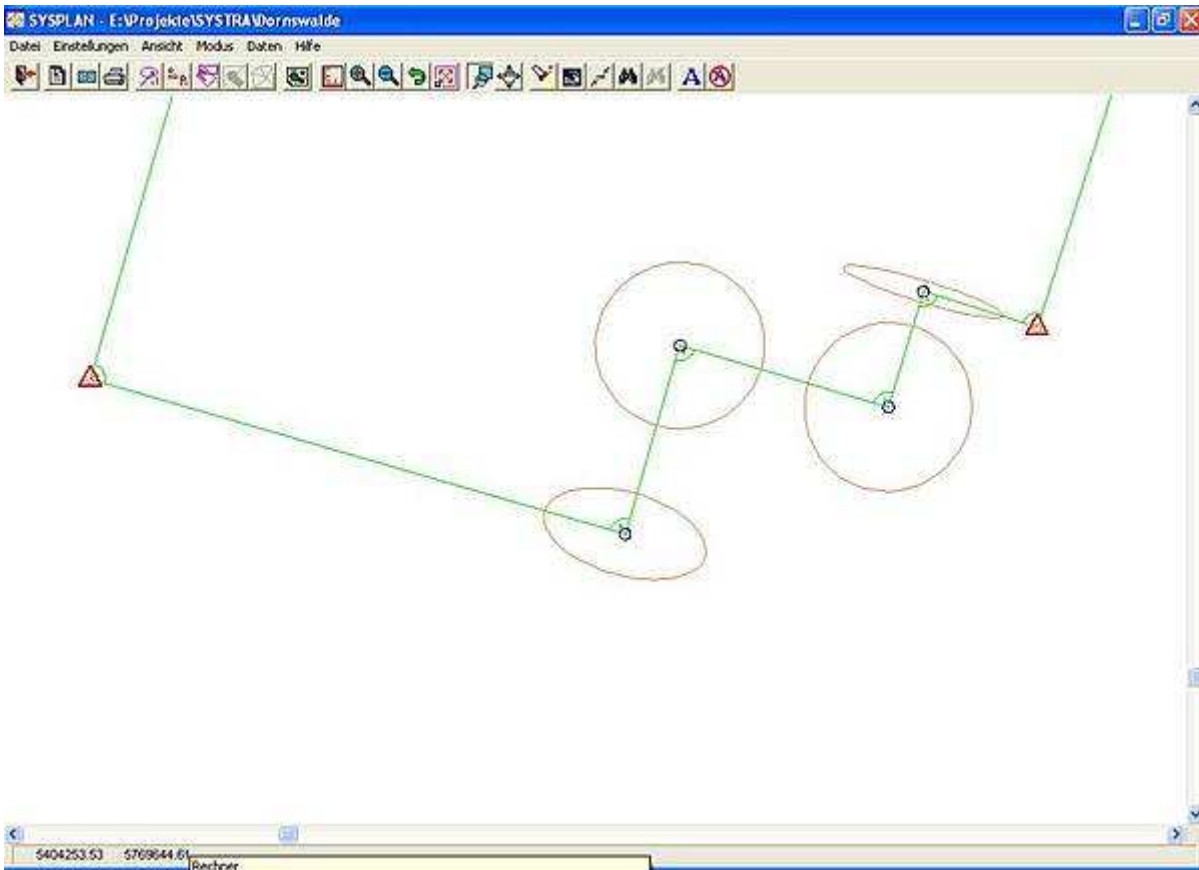
Symbolgrößen, Liniendicken, Farben und Schriftgrößen sind vom Benutzer frei definierbar. Farben können wahlweise entweder abhängig vom Beobachtungstyp oder vom jeweiligen Koordinatensystem angezeigt werden.

Besonders Hilfreich für die Fehleranalyse ist die Darstellung von normierten Verbesserungen proportional zu ihrer Größe. Auf diese Weise können Widersprüche in den Beobachtungen leicht entdeckt und korrigiert werden.



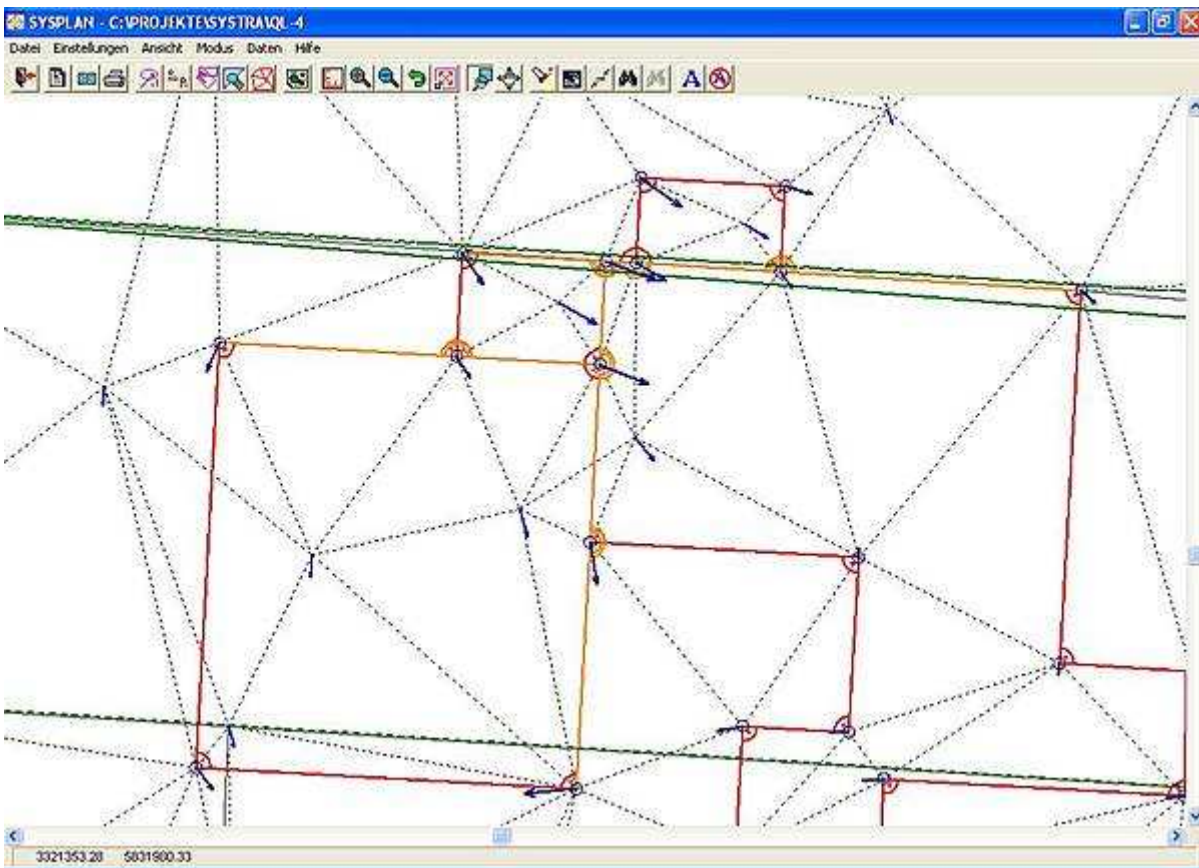
Fehlerhaftes Spannmaß mit normierter Verbesserung

Fehlerellipsen zeigen die erreichte Genauigkeit der Koordinatenbestimmung.



Fehlerellipsen

Das Homogenisierungsergebnis zeigt, wie die Punktverschiebungen aus Restklaffungen und geometrische Bedingungen auf die Neupunkte übertragen werden.



Ergebnis einer Homogenisierung mit Bedingungen

SysMatch - Matchingmodul

SysMatch erzeugt ausgewählte automatisch Punktidentitäten und geometrische Bedingungen. Dazu dienen zwei Klassen von Operatoren.

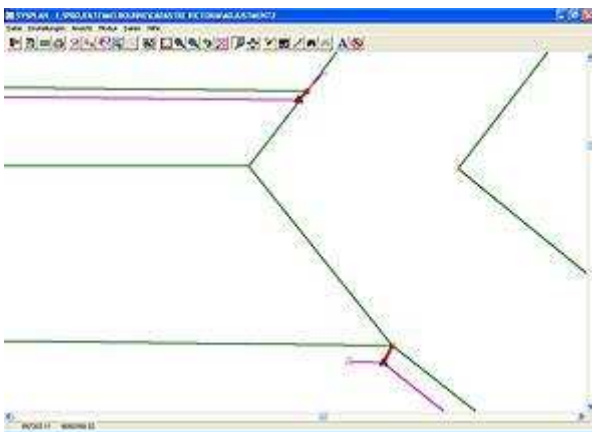
Matching-Operatoren erzeugen Identitäts-Beobachtungen zwischen verschiedenen Datensätzen:

- Ecken-Operator
- Geraden-Operator
- Punkt-Operator

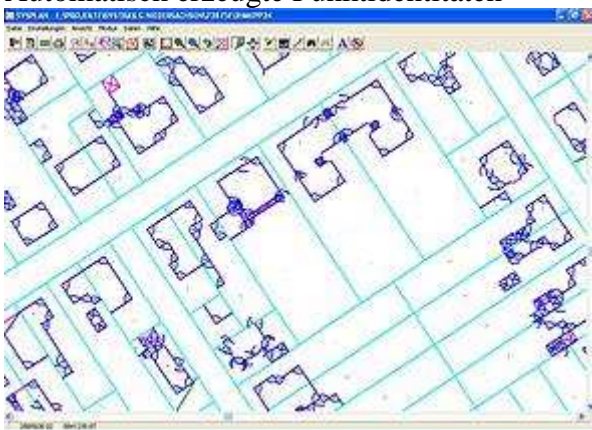
Such-Operatoren finden geometrische Bedingungen innerhalb von Layern eines Datensatzes:

- Rechtwinkligkeiten
- Geradlinigkeiten

Ergebnis des Matching sind in beiden Fällen Beobachtungen, welche anschließend in die Ausgleichung bzw. Homogenisierung eingeführt werden.



Automatisch erzeugte Punktidentitäten



Automatisch erzeugte geometrische Bedingungen

SysMatch arbeitet mit mehrdimensionalen Suchbäumen und statistischen Tests auf der Grundlage der durch *Systra* ermittelten Punktfehler.

Eine konservative Strategie vermeidet Missmatches (z.B. durch Elimination von Mehrdeutigkeiten).

Matching und Ausgleichung bilden eine Einheit. Wir empfehlen hierzu eine iterative Vorgehensweise:

Systra: Rechne das Projekt und stelle damit die Basiskoordinaten für Matching und Bedingungssuche bereit.

SysMatch: Finde Bedingungen und Matches.

Systra: Berechne das Projekt, überprüfe das Ergebnis anhand der NV auf eventuell falsche Bedingungen oder Mismatches und korrigiere diese.

SysMatch: Finde weitere Bedingungen bzw. Matches. Weiter mit 3.

Die Programme **Systra** und **SysMatch** werden alternierend so lange ausgeführt, bis keine weiteren Bedingungen mehr gefunden werden.

Fortgeschrittene Anwender können den Menüpunkt *Analyse > Systra+SysMatch* einsetzen, der diesen Iterationsprozess automatisiert.

Der Datenbankteil

SysGed - Grafischer Editor

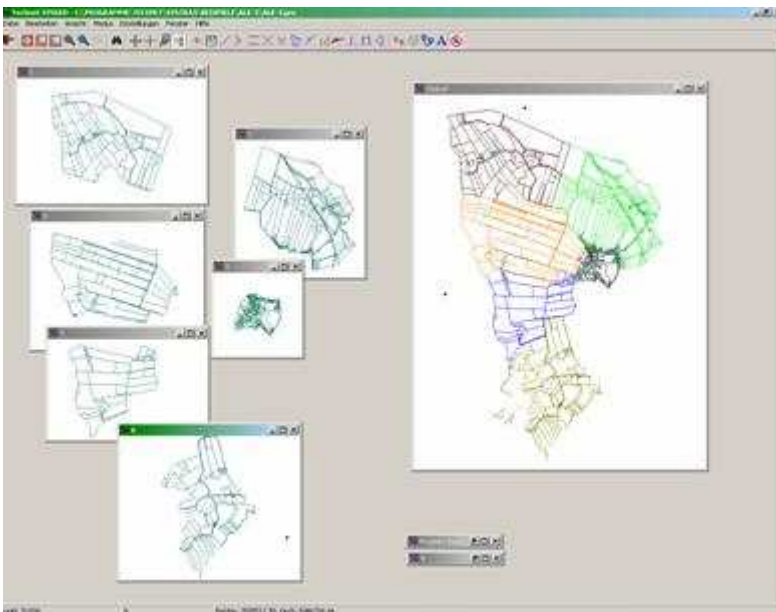
Der grafische Editor *SysGed* dient der grafischen Eingabe aller *Systra* Beobachtungstypen im Datenbankteil des Programmsystems. *SysGed* wird alternativ zum Programm *Schnitt*, das ausschließlich numerischen Eingaben unterstützt, eingesetzt.

Zur Bearbeitung von aus der *Schnitt* dBase-Datenbank gelesenen Geodaten verwendet *SysGed* eine eigene Objekt orientierte Datenstruktur.

Datenanzeige

SysGed bietet folgende Fenster zur Datenanzeige an:

- Grafische Datenanzeige
 - ein globales Fenster
 - mehrere lokale Fenster
- Numerische Datenanzeige
 - Projekt-Explorer



Globales Fenster und mehrere lokale Fenster

Bearbeitungsgebiet

Bei großen Datenmengen ist es hilfreich, die mit *SysGed* zu bearbeitende Datenmenge auf den aktuellen Bearbeitungsausschnitt zu beschränken. Dies erfolgt durch Definition eines Koordinatenausschnittes, der im Programm *SysPlan* grafisch erzeugt werden kann.



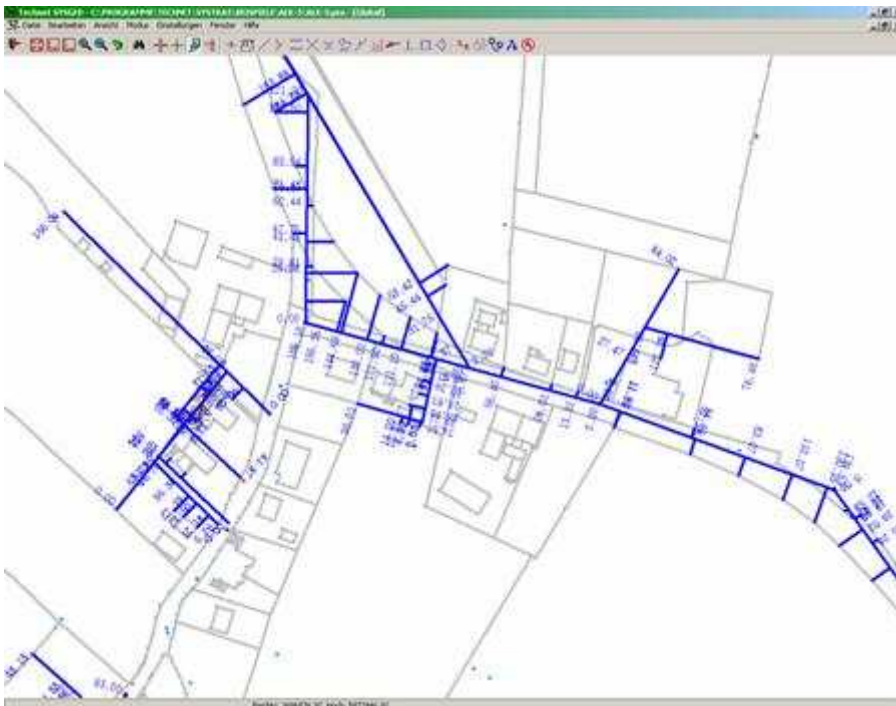
Sysged Bearbeitungsausschnitt über Sysplan definieren

Globales Fenster

Im globalen Fenster werden die Punkte aus der **Schnitt** Tabelle *Globale Koordinaten* und alle zugehörigen Beobachtungen und Liniengeometrien angezeigt.

Die Punkte können sein:

- Referenzpunkte
- Neupunkte
 - von **Systra** berechnet (Status ausgeglichen oder homogenisiert)
 - von **SysGed** erzeugt (Status genähert berechnet)



Globales Fenster mit digitalisierten Koordinaten und Rissbeobachtungen

Lokale Fenster

Die lokalen Fenster repräsentieren Karten, in denen digitalisierte Koordinaten der **Schnitt** Definition (also jede Form lokaler Koordinaten, z.B. auch Soldner- oder topozentrische GPS-Koordinaten) vorliegen. Liegen für diese Punkte noch keine globalen Koordinaten vor, so kann man die Karten über lokale Fenster – mit

Hilfe der Punktidentität – miteinander bzw. mit anderen globalen Punkten verknüpfen, so dass *Systra* eine Blocktransformation vornehmen kann.

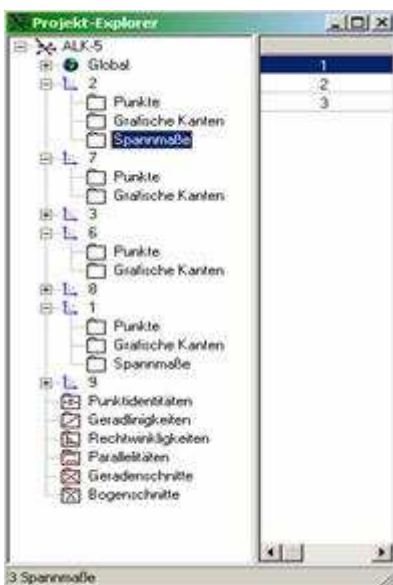
Für jedes lokale System digitalisierter Koordinaten steht ein Fenster zur Verfügung. Grundsätzlich werden alle Punkte dieser Tabelle und alle an diesen Punkten hängende Beobachtungen und Liniengeometrien dargestellt und können editiert werden.



Lokales Fenster mit Liniengeometrien und Bedingungen

Projekt-Explorer

Der Projekt-Explorer gibt eine Übersicht zu den aus der *Systra* Datenbank übernommenen Daten.



Projekt-Explorer