Bezirksregierung Köln

Ausgleichung im Liegenschaftskataster

Integration der Ausgleichungsrechnung

DIE REGIERUNGSPRÄSIDENTIN

www.brk.nrw.de

Erarbeitet durch
Bezirksregierung Köln
Dez. 31 – Kommunalaufsicht, Katasterwesen
Arbeitsgemeinschaft „Anwendung satellitengeodätischer Verfahren“

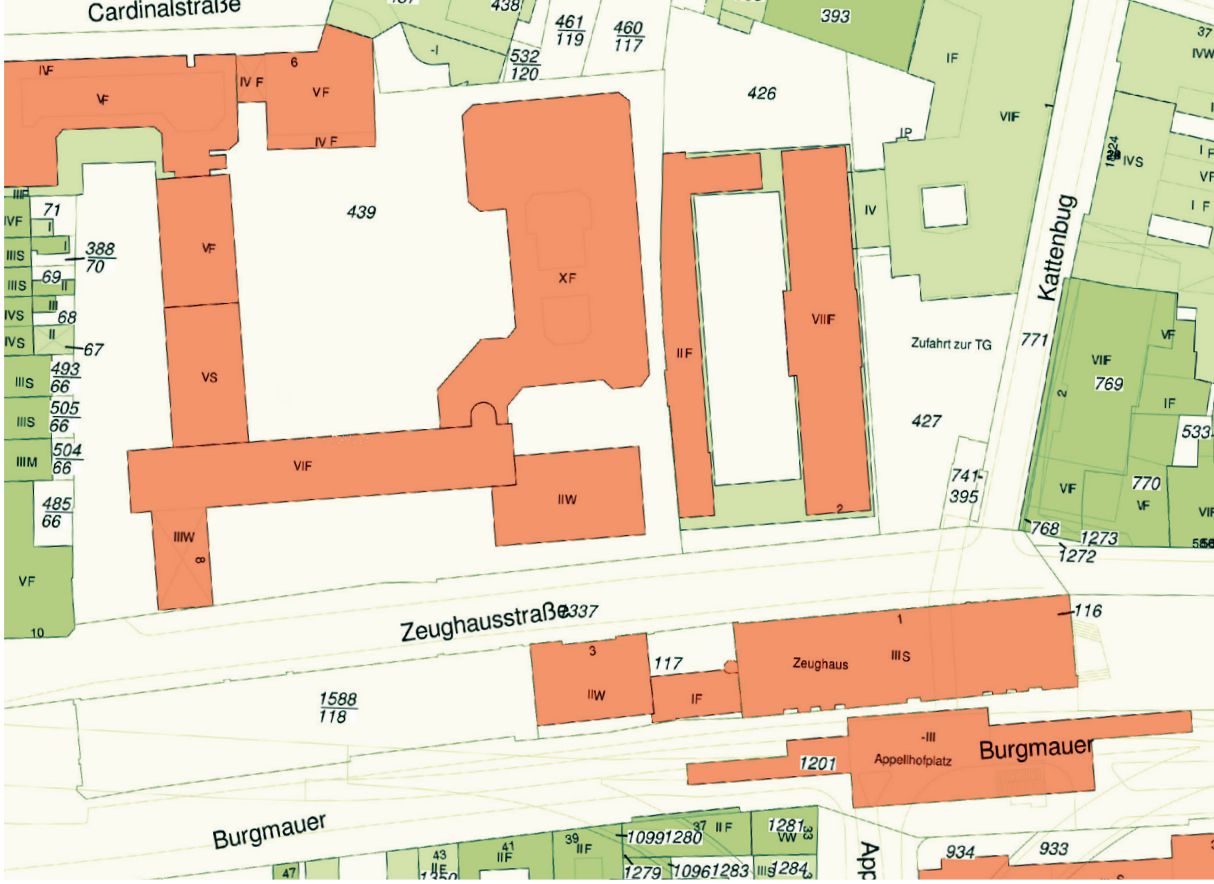
Autoren
Dipl.-Ing. Stefan Drüppel, Bezirksregierung Düsseldorf
Dipl.-Ing. Ulrich Epp, ÖbVI (Siegburg)
Dipl.-Ing. Jürgen Keller, Katasteramt des Rhein-Sieg-Kreises
Dipl.-Ing. Klaus Kochs, ÖbVI (Frechen)
Dipl.-Ing. Holger Kuckuck
Dipl.-Ing. Frank Kück
Dipl.-Ing. Stephan Pauls
Dipl.-Ing. Peter Reifenrath, Bezirksregierung Köln
Dipl.-Ing. Jürgen Richert, Katasteramt des Rheinisch-Bergischen Kreises
Dipl.-Ing. Philipp Steinrücken, Bezirksregierung Köln
Dipl.-Ing.in Susanne Thielen, Katasteramt der Stadt Köln
Dipl.-Ing. Franz-Josef Wielpütz, Katasteramt des Rhein-Sieg-Kreises

Herausgeber
Bezirksregierung Köln
Zeughausstraße 2-10
50667 Köln
Telefon 0221/147-0
Fax 0221/147-3185
poststelle@brk.nrw.de
www.brk.nrw.de

Stand: Juni 2014 (überarbeitete Fassung)

Titelbild:
© Geobasis NRW, Geobasisdaten der Kommunen und des Landes NRW,
Bezirksregierung Köln, 2014

Druck: **Druckerei der BRK**



Ausgleichung im Liegenschaftskataster

Integration der Ausgleichungsrechnung in die Arbeitsabläufe des Liegenschaftskatasters: ein Handbuch

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur Auflage des Handbuchs im April 2014 **7**

0. Prolog (Stand: Mai 2009) **9**

1. Vorwort (Stand Mai 2009) **11**

2. Warum Ausgleichungsrechnung? (Stand April 2014) **12**

3. Grundlagen **16**
3.1 Ausgleichungsrechnung (Stand Mai 2009) 16
3.2 Voraussetzungen (Stand Mai 2009) 18
3.3 Rechtliche Grundlagen (Stand Mai 2009) 23

4. Datenerhebung (AD) (Stand Mai 2009) **24**

5. Datenverarbeitung (ID) **27**
5.1 Datenfluss (Stand Mai 2009) 27
5.2 Berechnung der Koordinaten (Stand Mai 2009) 32
5.3 Dokumentation (ID) (Stand Mai 2009) 52

6. Qualifizierung und Übernahme ins Kataster **60**
6.1 Datenfluss (Stand April 2014) 60
6.2 Umfang (Stand April 2014) 60
6.3 Qualifizierung durch die Vermessungsstelle und Übernahme durch die Katasterbehörde (Stand April 2014) 61

7. Weitere Anwendungen der Ausgleichung **74**
7.1 Lffi-Norm (Stand Mai 2009) 74
7.2 L1-Norm, Robuste Schätzverfahren, Fehlersuche (Stand Mai 2009) 74
7.3 Schlecht lokalisierbare Fehler (Stand Mai 2009) 75
7.4 Ausgleichung von aktuellen Beobachtungen mit Elementen des Katasternachweises (Stand April 2014) 77
7.5 Dokumentation der Grenzuntersuchung (Stand April 2014) 79
7.6 Fingierte Beobachtungen, Ableitung von Grenzabständen, Absteckelementen, Geometrien etc. (Stand April 2014) 85
7.7 Soll- und Absteckkoordinaten (Stand Mai 2009) 87

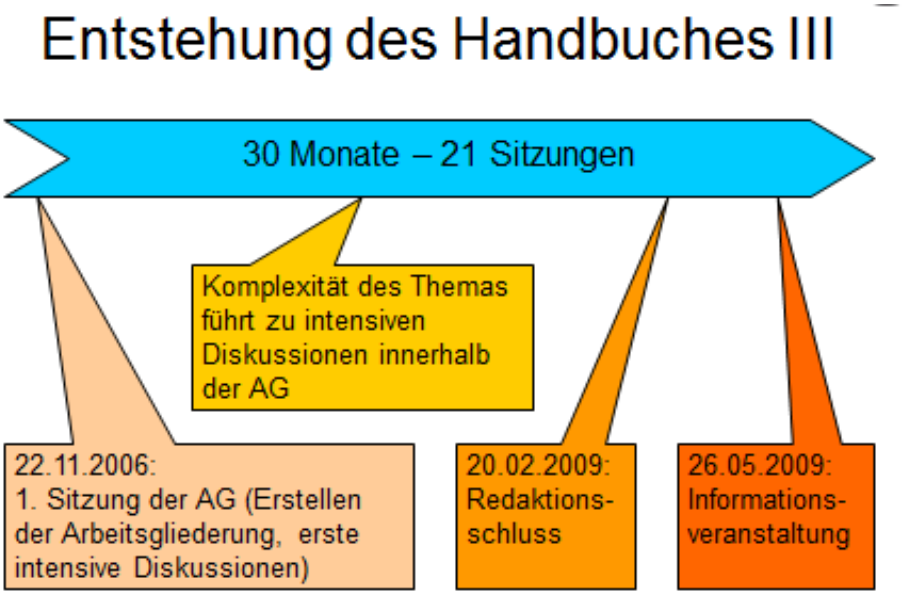
8. Epilog (Stand Mai 2009) **88**

9. Quellenverzeichnis / Ansprechpartner **89**
9.1 Literatur (Stand Mai 2009) 89
9.2 Abbildungsverzeichnis (Stand Mai 2009) 91
9.3 Ansprechpartner (Stand April 2014) 92

10. Anhang 1: Beispiele (Stand Mai 2009) **94**
11. Anhang 2: Einstellungen in WINKAFKA (Stand Mai 2009) **101**
12. Anhang 3: Steuerdaten in WINKAFKA (Stand Mai 2009) **106**
13. Anhang 4: Checkliste (Stand 10.07.2013) **111**
14. Anhang 5: Flussdiagramm “Prüfungsablauf nach Checkliste“ **114**

Vorwort zur Auflage des Handbuchs im April 2014

Die Arbeitsgemeinschaft hat die Arbeit am vorliegenden Handbuch Ende des Jahres 2006 begonnen und Anfang des Jahres 2009 abgeschlossen. Das Handbuch geht nun also in das 6. Jahr seines Bestehens. Dies ist für uns Anlass genug, ein wenig zurück zu blicken. Ebenso schauen wir jedoch auch nach vorne.



Dabei haben wir festgestellt, dass aufgrund der zwischenzeitlich fortgeschrittenen Katastermodernisierung sowie den Weiterentwicklungen in der von der Arbeitsgemeinschaft verwendeten Ausgleichungssoftware das Handbuch aus heutiger Sicht an vielen Stellen überarbeitet werden könnte. Allerdings können wir dies derzeit nicht leisten. Zudem fehlen uns noch die konkreten Vorgaben des künftigen Erhebungserlasses zur Ausgleichungsrechnung - insbesondere zu deren Dokumentation. Daher haben wir im April 2014 die Entscheidung getroffen, den vorliegenden Überarbeitungsstand (Abschnitte mit Stand aus dem Jahr 2009 und überarbeitete bzw. ergänzte Abschnitte mit Stand aus dem Jahr 2014) zu belassen und das Handbuch nicht weiter fortzuschreiben. Dies betrifft auch die Beispiele im Anhang 1.

Für die von uns in diesem Jahr geplante Fortbildungsveranstaltung sind aktuellere Beispiele vorgesehen, die dann ggf. mit entsprechenden Erläuterungen außerhalb dieses Handbuchs zu veröffentlichen sind. Wir können uns auch vorstellen, ein im Umfang deutlich reduziertes Dokument zu erarbeiten, sobald es bei den Katasterbehörden und Vermessungsstellen um die Umsetzung der künftigen Vorgaben aus dem Erhebungserlass zur Ausgleichungsrechnung gehen wird. Zur Vertiefung einzelner Punkte sei dann weiterhin dieses Handbuch empfohlen.

Mit kollegialen Grüßen
Die Mitglieder der AG Anwendung satellitengeodätischer Verfahren

0. Prolog (Stand: Mai 2009)

Die Ausgleichung kommt bei Liegenschaftsvermessungen tagtäglich zum Einsatz: Den abgesetzten Punkt noch etwas verschieben, die Strecke geringfügig verkürzen, den rechten Winkel sowie die Parallelität einbeziehen, und auch die Steinbreite zum Nachbarpunkt will beachtet werden. Mein Streben ist es, die auf den wiederherzustellenden Vermessungspunkt hinführenden Messungselemente des Katasternachweises gemäß ihres Entstehungszeitpunktes und ihrer Entstehungsgenauigkeit zu berücksichtigen. Im zuvor beschriebenen Fall liegt für den Vermessungspunkt eine Überbestimmung vor, welche in der Örtlichkeit zu keiner eindeutigen Punktlage führt. Da es aber angezeigt ist, den Punkt in der Örtlichkeit nur einmal zu vermarken, nehme ich eine „Ausgleichung“ vor, um die verbleibenden Differenzen zum Katasternachweis zu minimieren. In diesen Differenzen stecken sowohl die Messungenauigkeiten der vorherigen Punktbestimmungen als auch die meiner eigenen Vermessung, da ich es selbst mit meinen eigenen Meßmethoden immer noch nicht geschafft habe, absolut fehlerfrei zu messen. Baue ich nun von diesem Punkt in der Örtlichkeit z.B. weitere Messungslinien auf, so erinnere ich mich an die von mir zuvor minimierten Differenzen und berücksichtige sie dort, wo es mir geboten erscheint („persönliche Restklaffenverteilung“). Bei einer freien Stationierung verteile ich gegebenenfalls die verbleibenden Differenzen (Restklaffen) auf die polar anzuhängenden Punkte. Da ich im Außendienst viel zu tun habe, gebe ich die Messungssache zur Koordinatenberechnung an den Innendienst weiter. Dieser verwendet dann einen leistungsstarken PC, um mit einfachen geodätischen Berechnungsmethoden (z.B. der Kleinpunktberechnung, die schon mein Taschenrechner beherrscht) die endgültigen Koordinaten zu bestimmen. Dabei wird, wie von mir im Außendienst, der Grundsatz „Vom Großen ins Kleine“ streng angehalten, da ansonsten auch gar keine Koordinaten berechnet werden können. Für die jeweils nachfolgende Berechnung werden nun allerdings die Anschlusspunkte (z.B. der Anfangs- und der Endpunkt einer Kleinpunktberechnung) als fehlerfrei angenommen. Allenfalls werden im Laufe der Berechnung Koordinaten gemittelt. Die vorhandenen überschüssigen Messungselemente werden beiseite geschoben und als notwendige, bei der Berechnung aber nicht weiter zu beachtende Kontrollen abgetan. In den endgültig berechneten Koordinaten finden sich folglich meine zuvor in der Örtlichkeit angestellten Überlegungen nicht wieder – schade! Ja, schade, denn es wurden Koordinaten in Koordinatenkatasterqualität erzeugt. Solange jedoch bei nachfolgenden Messungen die zulässigen Abweichungen eingehalten werden, dient mein erstellter Riss, in dem ich die zuvor beschriebenen Feinheiten dokumentiert habe, nur als bessere Punktnummernübersicht.

Auch gelingt es mir bei größeren Messungen nur mit erheblichen Anstrengungen, den notwendigen Überblick zu behalten. In welcher Reihenfolge sind die Berechnungen durchzuführen? Sind alle Punkte kontrolliert aufgemessen? Habe ich meine abzusetzenden (Neu-) Punkte zutreffend berechnet? Habe ich alles auf grobe Fehler (z.B. Punktverwechselungen, falsche Anschlusspunkte) überprüft? Neuerdings messe ich auch noch mit SAPOS®. Wie bringe ich diese Messungen in meiner Berechnung unter? Und messe ich eigentlich mit dem Tachymeter nicht genauer?

Die Anwendung der Ausgleichungsrechnung ist vielleicht doch nicht so schlecht, wie es mir mit dem ersten Blick auf die zum Teil doch recht umfangreichen Dokumentationen und Ergebnisprotokolle der Ausgleichungsprogramme erscheinen mag. Ich muss mir allerdings etwas Zeit nehmen, um mich mit der Ausgleichungsrechnung und dem Ausgleichungsprogramm zu beschäftigen. Auch meinen Datenfluss muss ich überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Schließlich muss ich das Ausgleichungsergebnis und die Dokumentation verstehen und lesen können. Nur so kann ich entscheiden, was wichtig ist und was letztlich von mir geprüft oder besonders beachtet werden muss. Wenn ich mir das alles einmal eingerichtet habe, werde ich die Qualität und Plausibilität meiner erzeugten Koordinaten sofort verbessern können.

Also, ich will es jetzt mal angehen!

1. Vorwort (Stand Mai 2009)

Im Arbeitsablauf einer Liegenschaftsvermessung muss jeder Sachbearbeiter viele Entscheidungen fällen. Ohne Kenntnisse der eingesetzten Instrumente und Programme, des Zustandes des Katasternachweises, der Ziele der Katasterbehörde und nicht zuletzt der Verwaltungsvorschriften sowie dem, was gerne unter dem Begriff der „Messkunst“ zusammengefasst wird, kann er diese Aufgabe nicht erfüllen.

Dieses Feld wird im Zuge der anstehenden **Katastermodernisierung** neuen Einflüssen ausgesetzt werden. Stichwörter sind hier das ETRS89/UTM als einheitlicher Lagebezug im Liegenschaftskataster, ALKIS® als das System der Qualifizierung und Führung des Katasternachweises sowie SAPOS® als weiteres Standard-Messverfahren. Dadurch entsteht ein Fortbildungsbedarf für all diejenigen, die mit der Erhebung oder Führung von Daten des Liegenschaftskatasters beschäftigt sind. Tradierte Arbeitsabläufe müssen überdacht und an die neuen Rahmenbedingungen angepasst werden. Hier möchte die Arbeitsgemeinschaft „Anwendung satellitengeodätischer Verfahren“ bei der Bezirksregierung Köln einen Beitrag leisten und Berührungsängste mit diesen neuen Arbeitsweisen durch Integration der neuen Verfahren in die bestehenden Arbeitsabläufe abbauen. Dies wurde bereits in der Vergangenheit mit den Projekten „Auswertung von SAPOS®-Messungen im Kataster“ und „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“ praktiziert. Beide Projekte wurden in Informationsveranstaltungen vorgestellt und jeweils in einem Handbuch veröffentlicht. Darüber hinaus stehen alle Mitglieder als Ansprechpartner zu den behandelten Themen zur Verfügung. Sie stellen sich zu gleichen Teilen aus Mitarbeitern von öffentlich bestellten Vermessungsingenieuren, Katasterbehörden und der Bezirksregierung selbst zusammen.

Mit dem vorliegenden Handbuch setzt die Arbeitsgemeinschaft ihre Arbeit aus ihrem Projekt „Auswertung von SAPOS®-Messungen im Kataster“ fort, in dem bereits ein Abschnitt die Thematik der Ausgleichung grundsätzlich behandelt. Während sich die Bedienungsergonomie der marktgängigen Ausgleichungsprodukte sowie der angebotene Funktionsumfang (i.d.R. werden alle Berechnungsaufgaben einer Liegenschaftsvermessung abgedeckt) seit dem deutlich verbessert haben, ist die Verbreitung der Ausgleichungsrechnung im Liegenschaftskataster weiterhin als sehr gering einzustufen.

Dies war für die Arbeitsgemeinschaft Anlass, sich nun intensiver diesem Thema zu widmen, denn die Ausgleichung als einheitliche, durchgängige Auswertetechnik enthält Potentiale, die bisher nur wenig genutzt werden. Diese Eigenschaften können die Arbeitsprozesse der Vermessungsstellen und der Katasterbehörden transparenter gestalten. Des Weiteren ist die Arbeitsgemeinschaft davon überzeugt, dass die Ausgleichung als Standardanwendung wirtschaftliche Vorteile bietet.

Mit dieser Motivation „wollen wir es mal angehen“.

2. Warum Ausgleichungsrechnung? (Stand April 2014)

In den klassischen Aufmessungsmethoden des Liegenschaftskatasters (orthogonale Messelemente und Einbindeverfahren) wurden zusätzliche Maße zur Kontrolle des Aufmaßes bestimmt. Dabei wurden diese redundanten Differenz- und Spannmaße ausschließlich zur **Kontrolle des Aufmaßes** verwendet. Seit dem Aufkommen der tachymetrischen (polaren) Aufnahme werden auch doppelte Aufmaße durchgeführt. Eine **Kontrolle des Aufmaßes und der Berechnung** ergibt sich hier aus der Differenz der berechneten Koordinaten, die eine größte zulässige Abweichung nicht übersteigen darf – ein einfacher statistischer Test. Solche Mehrfachberechnungen werden in der Regel durch eine Mittelbildung zu einer Koordinate zusammengeführt – eine einfache Ausgleichung.

Mit dieser Möglichkeit kann zum Beispiel bereits im Außendienst die Koordinatenberechnung durch geeignete Vermessungssysteme vorgenommen werden. Allerdings unterbleibt hierbei und allgemein bei hierarchischen/linearen Koordinatenberechnungen die Würdigung unterschiedlicher Genauigkeiten der gemessenen Beobachtungsgruppen. So haben z.B. tachymetrische Messelemente i.d.R. eine höhere Genauigkeit als orthogonale Messelemente. Sie sind deswegen bei einer linearen Auswertehierarchie möglichst vor den orthogonalen Messelementen auszuwerten. Dies gelingt aber nicht bei jeder Aufnahmegeometrie.

Um dieses Problem zu umgehen wurden oft tachymetrische in orthogonale Messwerte umgewandelt. Es ist gängige Praxis, die aus nachträglicher Linearisierung (Umformung) gewonnenen, abgeleiteten Messungselemente in den Fortführungsriss zur Dokumentation der Grenzuntersuchung (Abarbeitung der Aufnahmegeometrien des Katasternachweises) einzutragen. Dabei wird der Nachteil in Kauf genommen, dass zum einen die durch die tachymetrische Aufnahme gewonnene Genauigkeit und zum anderen die Nachbarschaftsbeziehungen der aufgenommenen Punkte nicht oder nur zum Teil in den Katasternachweis gelangen.

Detaillierte Beschreibungen von Berechnungsabläufen der linearen Koordinatenberechnung gibt es in den Verwaltungsvorschriften nicht. Diese werden durch die Regeln der „Messkunst“ gesteuert. Sie baut auf individuellem Ermessen und überbrachten Traditionen auf. Dies führt zu uneinheitlichen Strategien in der Bearbeitung und Prüfung von Liegenschaftsvermessungen. Die Katasterbehörden sind bestrebt, innerhalb ihres Bezirkes unter Berücksichtigung des bestehenden Katasternachweises und den angestrebten Zielen im Rahmen der Verwaltungsvorschriften einheitliche Anforderungen durchzusetzen. Vermessungsstellen, die in ihrem Arbeitsbereich mit den unterschiedlichen Anforderungen verschiedener Katasterbehörden konfrontiert sind, fühlen sich daher gelegentlich ungleich behandelt.

Die Ausgleichung kann die dargestellten Probleme lösen. Für die Berechnung der Koordinaten werden alle gemessenen Elemente herangezogen. Jedes Element trägt abhängig von seiner Genauigkeit mehr oder weniger stark zur Koordinatenfindung bei. Eine Bearbeitungsreihenfolge muss nicht festgelegt werden, da die Berechnung in „einem Guss“ erfolgt. Hierdurch können sich zufällige Fehleranteile nicht systematisch fortpflanzen. Die Berechnung wird durch wenige in Verwaltungsvorschriften

beschriebene Einflussfaktoren gesteuert, wodurch die Berechnung und Beurteilung einer Liegenschaftsvermessung weitestgehend frei von individuellem Ermessen und unabhängig von uneinheitlichen Auswertestrategien sind.

Das Resultat einer Ausgleichung sind Koordinaten, die die in die Berechnung eingegangenen Messwerte, Bedingungen und Einflussfaktoren optimal repräsentieren. Aus diesen Koordinaten entsteht im Laufe der Zeit das flächendeckende Koordinatenkataster. Zu jeder ausgeglichenen Koordinate erhält man zudem Angaben zu deren Genauigkeit und Zuverlässigkeit (Kontrolliertheit). Anhand dieser stochastischen Angaben lässt sich erkennen, ob die gewünschte oder vorgeschriebene Genauigkeit und Zuverlässigkeit erreicht wurde und ob das Berechnungsergebnis übernahmefähig ist. Eine detaillierte Beurteilung des Aufmaßes im Vermessungsriss und des Rechenweges kann bei Anwendung der Ausgleichungsrechnung eingespart werden. An ihre Stelle tritt die Beurteilung statistischer Prüfkriterien, die vom Ausgleichungsprogramm in Protokollen zusammengefasst werden. Die Ausgleichung liefert für alle Beobachtungen (Messwerte) Angaben zur Genauigkeit und Zuverlässigkeit. Mit Hilfe dieser Angaben und weiteren Funktionalitäten, die von den meisten Softwareprodukten angeboten werden, können mögliche grobfehlerhafte Beobachtungen lokalisiert, ihr Einfluss auf das Ergebnis beurteilt und – falls notwendig – isoliert werden. Hierzu werden durch die Verwaltungsvorschriften ebenfalls Grenzwerte vorgegeben. Ihre korrekte Anwendung wird in den Auswerteprotokollen übersichtlich zusammengefasst.

Bei großen Datenmengen erlaubt die Ausgleichung eine einfachere Beurteilung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Beobachtungen und der Berechnungsergebnisse (Koordinaten). Damit stellt die Ausgleichung für die Vermessungsstelle und die übernehmende Katasterbehörde ein geeignetes Mittel zur Qualitätssicherung dar. Der Qualitätssicherung kommt im Koordinatenkataster eine wichtige Rolle zu. Sie kann durch die Ausgleichung in einfacher und standardisierter Form erreicht werden. Durch die genormten Begriffe in der Ausgleichungsrechnung lassen sich die Ergebnisse jeder Ausgleichung mit den gleichen Parametern in derselben Weise beurteilen. Vorteilhaft dafür ist die einheitliche Darstellung gemäß Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM. Diese wurde schon von einigen Anbietern von Ausgleichungssoftware realisiert. Der künftige Erhebungserlass wird voraussichtlich eine einheitliche Dokumentation – unabhängig vom eingesetzten Auswerteprogramm – verbindlich vorschreiben.

Bei einer optimalen Installation des Datenflusses kann bereits bei kleinen Liegenschaftsvermessungen ein wirtschaftlicher Vorteil erzielt werden.

Fazit:
Die wesentlichen Vorteile der Ausgleichung sind:

- Die gleichzeitige Auswertung von z.B. Messband-, Tachymeter- oder GNSS-Messungen mit unterschiedlichen Genauigkeiten.
- Die simultane Verarbeitung komplexer Aufnahmegeometrien ohne Bildung von Auswertehierarchien bzw. Auswertereihenfolgen.
- Die Anschlusspunkte können individuell oder generell für Analysen der Aufmessung und des Katasternachweises oder zur endgültigen Berechnung von Koordinaten als frei, beweglich oder mit Zwang angehalten werden. Die dazu notwendigen Wiederholungen des Berechnungsablaufes erfolgen ohne nennenswerten Arbeitsaufwand.
- Die Berechnung der Koordinaten mit einem **eindeutigen** Ansatz unter Berücksichtigung aller Messwerte und Bedingungen.
- Die Ausgleichung lässt sich mit wenigen nachprüfbaren Einflussfaktoren steuern.
- Die Lokalisierung von groben Fehlern wird durch aussagefähige Angaben unterstützt.
- Die Beurteilungen von Auswertungen einzelner Aufnahmegeometrien entfallen.
- Für die Beurteilung der Berechnungsergebnisse stehen verlässliche Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsangaben zur Verfügung.
- Die Berechnungsergebnisse lassen sich sehr gut, unabhängig vom eingesetzten Softwareprodukt, einheitlich darstellen.
- Die Einpassung des Vermessungsergebnisses in den Katasternachweis bei gleichzeitiger Minimierung von bestehenden Netzspannungen ist möglich.

Die Hauptanwendung der flächenhaften Ausgleichung ist die Berechnung von neuen Koordinaten bei Liegenschaftsvermessungen. Weiterhin kann die Ausgleichungsrechnung auch anderweitig vielfältig eingesetzt werden:

- Für die Analyse des Katasternachweises (auf Widersprüche, Kontrolliertheit) zur Vorbereitung des Außendienstes.
- Für die Neuberechnung von Absteckkoordinaten für alte Vermessungspunkte unter Verwendung des bestehenden Katasternachweises (ggf. in Kombination mit neuen Beobachtungen).
- Für die Identitätsprüfung.
- Für die Berechnung von Absteck- bzw. von Sollkoordinaten (letztere im Koordinatenkataster) für neue Grenzpunkte.
- Für die Beurteilung von Aufnahmegeometrien (z.B. Feststellen von Netzdefekten wegen fehlender notwendiger Messelemente).

Auf die derzeitige Weiterentwicklung der Vorschriftenlage wird hingewiesen. Entscheidend ist eine einheitliche Auswertelinie mit einer einheitlichen Dokumentation und der zusätzlichen Gewinnung von Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsangaben. Es geht also nicht um eine bessere oder genauere Koordinate, sondern um deren Kontrolliertheit und Zuverlässigkeit. Der künftige Erhebungserlass wird für den alleinigen Einsatz der Ausgleichungsrechnung vermutlich eine Übergangsphase von voraussichtlich 2 Jahren vorsehen.

3. Grundlagen

3.1 Ausgleichungsrechnung (Stand Mai 2009)

Alle Messungen (Beobachtungen) sind unweigerlich mit zufälligen Fehlern behaftet. Dies gilt bei einer Liegenschaftsvermessung nicht nur für die eigene Messung, sondern auch für diejenigen, die bereits Bestandteil des Katasternachweises sind. Oft enthält dieser größere Ungenauigkeiten als die eigene Messung.

Da bei den Liegenschaftsvermessungen häufig verschiedene Messtechniken und Messverfahren kombiniert werden (z.B. Messband-, Tachymeter- und GNSS-Messungen) ist es sinnvoll, diese hybriden Messdaten mit ihren individuellen Genauigkeiten gemeinsam auszuwerten. Dies ist durch die Ausgleichungsrechnung gewährleistet.

In Kenntnis der Fehler (Beobachtungsfehler) in der eigenen Messung und im Katasternachweis misst man überschüssige Messungselemente (z.B. Polaraufnahme eines Neupunktes von mehreren Standpunkten, Messung von Steinbreiten bzw. Spannmaßen), die man üblicherweise als Kontrollen benutzt. Diese sollen in erster Linie die eigene Messung gegen grobe Fehler sichern. Teilweise werden diese auch schon zur Genauigkeitssteigerung eingesetzt (z.B. durch Koordinatenmittelungen). Des Weiteren muss man bei seiner Auswertung (Beobachtungs-)Bedingungen berücksichtigen. So sind z.B. alle Punkte einer im Kataster nachgewiesenen Vermessungslinie durch eine Geradheitsbedingung miteinander verbunden.

Aus dieser grundlegenden Erwägung heraus muss man eine Strategie finden, mit der die Messungsergebnisse zu einem optimalen Ergebnis (Koordinaten) ausgewertet werden.

Eine Koordinatenbestimmung unter Heranziehung aller Beobachtungen und Bedingungen ist mit den linearen/hierarchischen Berechnungsmethoden nicht möglich. Je nachdem in welcher Reihenfolge man die einzelnen Messungen auswertet entstehen andere Ergebnisse. Hier hat die Ausgleichungsrechnung Vorteile. Es wird keine Beobachtung zur Berechnung ausgewählt und gleichzeitig eine andere verworfen, sondern alle Beobachtungen – zu denen auch die Bedingungen (Geradlinigkeit etc.) gehören – werden unter Berücksichtigung ihrer Genauigkeit zur Berechnung herangezogen.

Um zu dem (oben genannten) optimalem Ergebnis zu kommen müssen an allen Messungen Veränderungsbeträge (Verbesserungen) angebracht werden. Aus geodätischer Sicht sollen das Ausgleichungsergebnis und damit auch die an den Beobachtungen anzubringenden Verbesserungen eindeutig sein. Nach welcher Gesetzmäßigkeit sich die Verbesserungen ergeben wird durch die so genannte Zielfunktion gesteuert. Von hervorragender Bedeutung ist die von C.F. Gauß entwickelte Methode der kleinsten Quadrate, die für gewichtete Beobachtungen mit folgender Zielfunktion bekannt ist [vgl. hierzu *Fröhlich1998, Fröhlich2003*]:

$$[pvv] = Min$$

Dabei wird die Verbesserungen mit ’v’ und die entsprechenden Gewichte bzw. Genauigkeiten der an der Ausgleichung teilnehmenden Beobachtungen mit ’p’ bezeichnet. In Worten:

„Die Summe der mit den Gewichten multiplizierten Quadrate der Verbesserungen ist zu minimieren.“

Diese Funktion ist neben „Methode der kleinsten Quadrate“ (engl. least mean squares = LMS) auch als „Gauß-Markoff-Modell“ oder „L2-Norm“ bekannt. Unter der Voraussetzung normal verteilter Beobachtungen liefert dieser Ansatz über alle Verbesserungen ausgeglichene Koordinaten mit maximierter Wahrscheinlichkeit und hat sich insofern als das Standardverfahren durchgesetzt, das in verschiedenen Varianten zum Einsatz kommt.

Die Notwendigkeit der Einpassung der Messung in den Katasternachweis kann die besondere Wertung der Koordinaten von Vermessungspunkten im Rechenverfahren erfordern. Der Umgang mit diesen Zwängen führt zur Anwendung verschiedener Ausgleichungstypen [vgl. hierzu *Roetzel2004*]:

- **freie Ausgleichung**
  Es werden nur die neuen Beobachtungen der Vermessung ohne äußere Zwänge ausgeglichen.
- **dynamische Ausgleichung**
  Die Beobachtungen der Vermessung werden gemeinsam mit den äußeren Zwängen ausgeglichen.
- **gezwängte Ausgleichung**
  Die äußeren Zwänge werden angehalten und die Ausgleichung passt die Beobachtungen ein.

Neben diesen „klassischen“ Ausgleichungstypen kann in einer Ausgleichung auch punktindividuell entschieden werden, ob eine Koordinate eines Vermessungspunktes aus dem Katasternachweis für die Ausgleichung lediglich eine Näherungskoordinate als Startwert für die Neuberechnung, eine gleichberechtigte Beobachtung oder eine Bedingung ist.

Für die Bearbeitung einer Liegenschaftsvermessung benötigte Funktionalitäten (z.B. Flächenberechnung, Einrechnung von Punkten in eine Gerade) werden i.d.R. durch externe Module der Ausgleichungssoftware erledigt.

Die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse ist im Gegensatz zum hierarchischen Auswerteverfahren unabhängig vom Rechenweg. Bei der Ausgleichung werden alle ermittelten Beobachtungen für die Koordinatenberechnung berücksichtigt; damit wird ein hohes Maß an Genauigkeit und Zuverlässigkeit erreicht. Die Qualität des Messungsergebnisses wird gesteigert, da man plausibelste, nachbarschaftstreue Koordinaten erhält. Dies kommt dem Aufbau des Koordinatenkatasters zu Gute, in das alle Beobachtungen mit ihrem angemessenen Gewicht einfließen sollten. Die Nachbarschaftsbeziehungen ergeben sich dann aus den Koordinaten in Koordinatenkatasterqualität.

3.2 Voraussetzungen (Stand Mai 2009)

Mann/Frau muss es wollen!

In vielen Vermessungsstellen und Katasterbehörden liegen die Voraussetzungen für die Anwendung der Ausgleichung bereits vor. Die mit dem Wechsel der Berechnungsmethode verbundenen Vorteile und Chancen werden nach Auffassung der Arbeitsgruppe jedoch vielfach verdrängt und unterschätzt. Teilweise werden Argumente ins Feld geführt, die einer Nachprüfung nicht standhalten. Auf der Entscheidungsebene ist eine objektive Auseinandersetzung mit der Berechnungsmethode überfällig.

In der laufenden Umstellungsphase kristallisieren sich 4 Problemfelder heraus:

3.2.1 Akzeptanz

Viele, die den Umgang mit Fehlergrenzen und größten zulässigen Abweichungen gelernt haben, glauben, dass sie die teilweise umfangreichen Protokolle und komplexen Auswertelisten der Ausgleichungsprogramme nicht lesen oder falsch interpretieren könnten. Bis heute stellt man sich deshalb lieber der intellektuellen Herausforderung einer Fehlergrenze, deren Überschreitung im Klarschriftprotokoll einer Koordinatenberechnung angezeigt wird. Und weil die Ausgleichungsrechnung ein gefährliches Werkzeug ist – die Fehler in der Messung werden nämlich bei dieser Art der Berechnung so verdrückt, dass sie bei der Prüfung nicht mehr auffallen –, muss der Kollege „Ben Ning“ die Berechnung prüfen, weil der an einem Lehrgang zur Ausgleichungsrechnung teilgenommen hat, der seinerzeit vom Softwarehersteller angeboten wurde. Man verharrt in der Annahme, dass früher jeder ganz normal gemessen und gerechnet hat, und man diese Berechnung auch noch prüfen konnte. Jetzt werden für die Übernahme einer normalen Liegenschaftsvermessung Spezialisten gebraucht, die sich mit Satellitenvermessung und Ausgleichung auskennen.

Stand lineare/hierarchische Auswertung:

Die lineare Auswertemethode steht in der Tradition der klassischen Koordinaten-berechnung im Liegenschaftskataster. Sie wird von der überwiegenden Anzahl der Vermessungsstellen als Standard angewendet und ist von allen Katasterbehörden akzeptiert.

Stand Ausgleichungsrechnung:

Die Ausgleichungsrechnung ist bei der Bearbeitung von Liegenschaftsvermessungen die Ausnahme und führt auch bei den Katasterbehörden als Sonderfall zu ungeliebtem Mehraufwand. Dieser entsteht dadurch, dass i.d.R. nur wenige Mitarbeiter über Kenntnisse und Erfahrungen in der Ausgleichungsrechnung verfügen.

Maßnahmen/Lösungswege: **Dieses Handbuch lesen und handeln!**

Abb. 3.1: Problemfeld Akzeptanz

3.2.2 Software

Bei der Portierung (Überführung) der Ausgleichungssoftware (z.B. von KAFKA) von Großrechnern auf DOS-PCs in den 90-er Jahren, entstanden um die Ausgleichungsmodule Routinen zur Datenerfassung. Die waren so komfortabel, dass der geübte Anwender die Auftragsdatei lieber gleich mit einem Texteditor bearbeitete, um dem Softwaredialog zu entgehen. Der weniger geübte Anwender tendierte spätestens bei der Datenerfassung zur Kapitulation vor der Ausgleichung, nachdem ihm die Einrichtung des Arbeitsspeichers und die Installation erforderlicher Treiber vielleicht noch gelungen waren. Die Datenerfassung wurde durch teilweise mehrstellig codierte Kennziffer-Kombinationen eines Datenblocks im HEADER gesteuert, deren Bedeutung sich ohne Handbuch auch dem regelmäßigen Anwender kaum dauerhaft erschloss. In der Folge musste es den Vermessungsstellen unmöglich erscheinen, unter dem Einsatz von Ausgleichungssoftware bei Standardanwendungen im Liegenschaftskataster wirtschaftlich arbeiten zu können. Lange fehlten noch wichtige Applikationen, wie die Möglichkeit der Flächenberechnung oder das nachträgliche Einrücken in eine Gerade. Daher war es nach Anwendung der Ausgleichung auch noch erforderlich, die ausgeglichenen Koordinaten wieder an eine hierarchische Vermessungs-Software zu übergeben, um den ausgeglichenen Koordinaten den „letzten Schliff“ zu geben und die abschließenden Berechnungen auszuführen.

Stand lineare/hierarchische Auswertung:

- **Der Entwicklungsstand und die Bedienungsergonomie der Softwareprodukte für die lineare Auswertemethode bewegen sich auf einem hohen Niveau.**
- **Die Softwareprodukte für eine lineare Koordinatenberechnung ist bei den Vermessungsstellen und Katasterbehörden flächendeckend vorhanden.**

Stand Ausgleichungsrechnung:

- **Die Softwareprodukte waren ursprünglich für Sonderanwendungen konzipiert. Die Anwendung bei Liegenschaftsvermessungen war vergleichsweise umständlich und erforderte viel Detailwissen über die Ausgleichung. Neue Produkte bzw. aktuelle Versionen sind ergonomischer in ihrer Bedienung, standardisierter in ihrer Anwendung und somit auch gut für die Anwendung bei Liegenschafts-vermessungen geeignet.**
- **Die Software ist bei Vermessungsstellen und Katasterbehörden oft vorhanden, wird allerdings selten benutzt.**

Maßnahmen/Lösungswege:

Die Leistungsfähigkeit der Softwareprodukte muss neu beurteilt werden: Viele marktgängige Softwareprodukte, die eine lineare Koordinaten-berechnung realisieren, können durch Ausgleichungsmodule erweitert werden. Auf diesem Weg wäre ein „schleichender Umstieg“ möglich. Aber auch Softwareprodukte, die für die Koordinaten-berechnung ausschließlich die Ausgleichungs-rechnung realisieren, genügen inzwischen hohen Ansprüchen hinsichtlich Bedienungsergonomie und Dokumentation.

Abb. 3.2: Problemfeld Software

3.2.3 Datenfluss

Wer vermessungsspezifische Software wie ein Ausgleichungsprogramm optimal in die verschiedenen Arbeitsabläufe einer (Liegenschafts-)Vermessung integrieren will, legt besonderes Augenmerk auf den Datenfluss. Es werden intern Schnittstellen zwischen den eingesetzten Produkten der Berechnungs-, CAD- und GIS-Programme benötigt. Die Kommunikation mit den Speichermedien der Tachymeter, Registriereinheiten und Feldrechnern diverser Hersteller muss auf der Hardwareseite reibungslos funktionieren. Die notwendige Konvertierung unterschiedlicher Datenformate muss beim Import oder Export von Daten von der jeweiligen Software unterstützt oder durch separate Programme bewerkstelligt werden. Die von den Katasterämtern digital bereit gestellten Daten sollen auf Mausklick in die Software einfließen können. Die örtlich mit Tachymetern oder anderweitig digital erfassten Daten, Messwerte oder Berechnungsergebnisse sollen von externen Speichermedien auf Mausklick eingespielt werden. Dabei muss in heterogener Systemumgebung softwarespezifisch die Konvertierung herstellergebundener Datenformate erfolgen und die Selektion von Datensätzen möglich sein. Die Aufbereitung der Messdaten für die Weiterverarbeitung (Korrektion, Horizontierung, Reduktion, Zentrierung, Satzmittel) muss für Liegenschaftsvermessungen dokumentiert werden. Zwischenstände der Berechnungen werden für weitere Außendienstarbeiten benötigt und müssen an externe Speichermedien, verschiedene Tachymeter und Erfassungsgeräte in spezifischen Formaten zurück übermittelt werden. Neben der Abgabe digitaler Berechnungsergebnisse an Katasterbehörden im jeweils amtseigenen Dialekt eines Standard-Datenformates wollen die Systeme von Architekten, Kommunen und Planungsbüros über diverse Softwareschnittstellen bedient werden. Selbstverständlich müssen die Daten auch in älteren Versionen eines Ausgabeformats abgegeben werden können; wer kann sich denn heutzutage noch den Wartungsvertrag für ein Softwarepaket oder die Pflege eines Schnittstellenmoduls leisten?

Ist die Arbeitsumgebung erst einmal nach all diesen Erfordernissen eingerichtet, kann im Vermessungsbüro wirtschaftlich produziert werden, wenn sich die Laufwege der Daten sowie die Programm- und Schnittstellenbedienung bei den Mitarbeitern eingespielt haben. Die Neueinbindung eines Ausgleichungsprogramms in den Produktionsablauf erfordert als Stand-Alone-Lösung Schnittstellen zu den übrigen eingesetzten Programmen sowie zu den Peripheriegeräten. Einfacher könnte die Erweiterung bestehender Softwarelösungen durch den Aufsatz von Ausgleichungsmodulen erscheinen; alternativ könnte eine Schnittstelle über die bereits vorliegende Auswertungen aus hierarchischen Berechnungsprogrammen im Leseformat einer Ausgleichungssoftware bereitgestellt werden. Weil in die Ausgleichung lediglich reine Messdaten ohne rechnerisch abgeleitete (umgeformte) Maße einfließen, muss die Trennung dieser Größen beim Datenfluss gewährleistet sein. Nicht alle bisher realisierten Lösungen für den Datenfluss sind nach den Anforderungen einer praktikablen Anwendung optimiert, weil sich die Anwendung der Ausgleichungsrechnung bei Liegenschaftsvermessungen heute immer noch als Exot darstellt.

Stand lineare/hierarchische Auswertung:

Durch die verbreitete Anwendung der linea-ren/hierarchischen Koordinaten-berechnung im Liegenschaftskataster ist bei den Vermessungs-stellen i.d.R. ein optimaler Datenfluss vorhan-den.

Stand Ausgleichungsrechnung:

Wegen der geringen Verbreitung und der sel-tenen Anwendung der Ausgleichungs-rechnung im Liegenschaftskataster ist der Datenfluss in diese Programmsysteme selten optimal.

Maßnahmen/Lösungswege:

Durch eine Optimierung aller Arbeitsprozesse und der Schnittstellen zwischen Außendienst und Innendienst sowie Vermessungsstelle und Katasterbehörde kann die Ausgleichungs-rechnung ohne Reibungsverluste zur Auswertung von Liegenschaftsvermessungen eingesetzt werden.

Abb. 3.3: Problemfeld Datenfluss

3.2.4 Fortbildung

Bis heute werden die Koordinaten von Vermessungspunkten noch überwiegend (bzw. zumindest teilweise) durch klassisches geodätisches Rechnen bestimmt. Geodätisches Rechnen ist Bestandteil sämtlicher Ausbildungswege vom Techniker bis zum Ingenieur. Bei der Lösung geodätischer Aufgaben haben sich seit den auf die Tafel- oder Rechenschieber gestützten Formularberechnungen nur die Rechenmittel geändert. Über mechanische und elektronische Rechenmaschinen, programmierbare Taschenrechner bis zu den heute im Außendienst eingesetzten Feldrechnern und der komfortablen Anwendung mit Datenbankanbindung, die auf der Workstation im Büro läuft, hat sich das geodätische Rechnen in der Ausbildung von Vermesser-Generationen in allen geodätischen Bildungsschienen etabliert.

Mit der Einführung der Ausgleichungsrechnung in die Liegenschaftsvermessung als Standardauswerteverfahren wird ein Methodenwechsel postuliert, der nicht durch eine in der Breite der Bildungswege angelegten Aus- und Fortbildung vorbereitet ist. Die Defizite liegen heute immer noch in der Ausbildung der Techniker, aber auch in der Fortbildung ausgebildeter Techniker und Ingenieure. Die innerhalb der Büros und Verwaltung für die Umsetzung Verantwortlichen zögern und halten am Vertrauten fest. Unsicherheiten und befürchtete Unwägbarkeiten werden mit dem Wechsel der Berechnungsmethode verbunden.

Stand lineare/hierarchische Auswertung:

Mindestens grundlegende Kenntnisse über Anwendung und Arbeitsabläufe bei einer linearen/hierarchischen Auswertung sind Bestandteil jeder Berufsausbildung im Vermessungswesen.

Stand Ausgleichungsrechnung:

Zur Anwendung der Ausgleichung sowie Bedienung der entsprechenden Software fehlt dem Personal oft die notwendige Ausbildung oder Praxis (oder Mut???). So werden in der Ausbildung von Vermessungstechnikern die notwendigen Grundlagen nicht vermittelt, und das Wissen der Ingenieure in den Vermessungsstellen und Katasterbehörden wird nicht weitergegeben.

Maßnahmen/Lösungswege:

Durch Fortbildungen, Schulungen, Workshops, Eigenstudium etc. kann das erforderliche Knowhow unter den Beschäftigten – unabhängig von ausbildungsbedingten Voraussetzungen – verbreitet werden. Auch die Ausgleichungsrechnung lässt sich in einzel-ne, einfach zu überblickende Prozeduren zerlegen. Jedoch sind Kenntnisse der Grundzüge der Fehler-lehre und der Ausgleichungsrechnung notwendig, um die Ausgleichungsrechnung mit Sachverstand anzuwenden. Dieses Wissen ist bei allen Vermessungsstellen und Katasterbehörden vorhanden.

Abb. 3.4: Problemfeld Fortbildung

3.3 Rechtliche Grundlagen (Stand Mai 2009)

Wenn man die zurückliegenden Abschnitte betrachtet, kann der Eindruck entstanden sein, dass die Ausgleichungsrechnung im Liegenschaftskataster ein Thema der Zukunft ist. Doch regelt(e) der *Vermessungspunkterlass [VPErl.] vom 12.01.1996 in der Nr. 21.1 (1)* bereits, dass die „flächenhafte Ausgleichung bevorzugt zu benutzen“ ist. Damit ist die Ausgleichungsrechnung im Liegenschaftskataster bereits als Standardverfahren festgelegt. In der *Anlage 3* werden dort u.a. für die Ausgleichungsrechnung die „Größten zulässigen Abweichungen“, die Einflussfaktoren und der Beurteilungsrahmen vorgegeben bzw. definiert. Auch in *Nr. 12.21 (1) Fortführungsvermessungserlass* [*FortfVErl.*] und in *Nr. 3.4.2 GPS-Richtlinien* wird auf die „flächenhafte Berechnung“ und den Vermessungspunkterlass verwiesen. Formell gesehen ist die Ausgleichung gegenwärtig das Standardverfahren für die Koordinatenberechnung. Allerdings muss man feststellen, dass in der Praxis regelmäßig von diesem Standard abgewichen wird.

Im Rahmen der anstehenden Veränderungen im Liegenschaftskataster (ALKIS®/ETRS89/ SAPOS®) werden auch die Ansprüche an den Arbeitsablauf bei Liegenschaftsvermessung neu definiert. In der *Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM* findet sich dafür eine Konkretisierung. Aus allen Liegenschaftsvermessungen sollen zukünftig Koordinaten in Koordinatenkatasterqualität hervorgehen. Damit dieser Anspruch wirtschaftlich vertretbar ist, müssen die Arbeitsabläufe im Liegenschaftskataster ökonomischer gestaltet werden. Dies soll mit einem Verbund an Maßnahmen geschehen:

- der Anschluss an den Lagebezug ETRS89/UTM soll über SAPOS® oder ein qualifiziertes Anschlusspunktfeld erfolgen (Anschlusszwang);
- die Dokumentation von Liegenschaftsvermessungen soll zur Vereinfachung und Reduzierung des Prüfungsaufwandes in standardisierten Protokollen erfolgen;
- die Ausgleichungsrechnung ist das Standardauswerteverfahren für Liegenschaftsvermessungen;
- die hierarchische/lineare Koordinatenberechnung ist nur noch bei Anwendung von wenigen Aufnahmegeometrien zulässig [vgl. hierzu *„Berechnung:“ Lfd. Nr. 1 Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM*].

Um eine systematische Fortpflanzung von zufälligen Fehlern in der Auswertung zu verhindern, ist die hierarchische/lineare Koordinatenberechnung nur noch für Aufnahmegeometrien zulässig bei denen Tachymeterstandpunkte direkt an temporäre Anschlusspunkte (SAPOS®) oder Anschlusspunkte aus dem Katasternachweis anschließen. Im *Handbuch „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“* der Arbeitsgemeinschaft werden diese in Anlage 2 „Struktur des VP-Feldes im ETRS89/UTM“ in zwei Bildern dargestellt. Durch diese Einschränkung wird die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Aufnahme und der Koordinatenberechnung sichergestellt, das Verfahren ist recht einfach zu protokollieren [vgl. hierzu *Dokument X Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM*].

Eine neue Verwaltungsvorschrift, die den Bereich Erhebung vollständig regelt, sollte nach Auffassung der Arbeitsgemeinschaft zukünftig die in der *Anlage 3 des Einführungserlasses ETRS89/UTM* dargestellten Regeln explizit aufgreifen.

4. Datenerhebung (AD) (Stand Mai 2009)

Auch mit dem Ziel einer späteren Ausgleichung der Vermessungsergebnisse unterscheiden sich die Arbeitsabläufe im Außendienst nicht von den klassischen Abläufen in der Liegenschaftsvermessung. Die erhobenen Messwerte können sowohl einer hierarchisch linearen Koordinatenberechnung als auch einer Ausgleichungsrechnung zugeführt werden. Die klassischen Methoden Spannmaße, Bogenschlag, orthogonales Absetzen etc. mit Messband (Messbandstrecke < 20m) und Winkelprisma können im Einzelfall durchaus die wirtschaftlichere Methode sein. Diese haben allerdings den Nachteil, dass die Messwerte von Hand zu erfassen und später zeitaufwändig und fehleranfällig in ein Berechnungsprogramm (hierarchisch linear oder Ausgleichung) einzugeben sind. Durch neue Messverfahren und Messgeräte ergibt sich die Chance, sofern noch nicht geschehen, die Datenerhebung zu optimieren.

Aktuelle Vermessungsergebnisse werden noch vielfach als orthogonales Aufmaß in Vermessungsrissen dokumentiert, obwohl die dargestellten orthogonalen Elemente oftmals umgerechneten Polaraufnahmen entstammen. Hierzu zählt ebenfalls das in vielen Tachymetern integrierte Verfahren „Point to Line“ – eine Polaraufnahme aus der die orthogonalen Elemente im Außendienst in Echtzeit abgeleitet werden [vgl. hierzu *Nr. 41.2 VPErl.*]. Gelegentlich werden diese umgerechneten Polaraufnahmen noch mit tatsächlich gemessenen orthogonalen Elementen ergänzt. Mit dem Nachweis der Ableitung orthogonaler Quasimesswerte aus durchgreifend kontrollierter Polaraufnahme und durch die kontrollierte Übertragung der orthogonalen Elemente in den Vermessungsriss entsteht jedoch ein vermeidbarer Mehraufwand.

Wenn Kontrollmaße aus der gleichen Aufnahme mit Tachymeter/GNSS abgeleitet werden, aus der auch die Orthogonalelemente durch Umformung entstanden sind, und dann als kontrollierendes Messelement orthogonal dargestellt und verwertet werden, wird billigend in Kauf genommen, dass die dargestellte Kontrolle tatsächlich gar nicht vorliegt. Diese Problematik ist nicht neu und aus klassischen Aufnahmemethoden bekannt, wenn gerechnete Spannmaße und Streben fälschlicherweise als Messwerte dargestellt und behandelt worden sind. Diese Pseudokontrollen lassen die gemessenen Elemente bis auf Rundungsungenauigkeiten als frei von zufälligen Fehlern erscheinen und führen zu einer falschen Bewertung der tatsächlichen Messwerte. Dies verbietet sich auch deswegen, weil Redundanzen vorgetäuscht werden. Diese Scheinredundanzen führen zu falschen Zuverlässigkeiten. In diesem Zusammenhang liefert auch die Verbindung von bestehendem Katasternachweis und Örtlichkeit (Identitätsprüfung) keine ausreichende Kontrolle, wenn das örtlich durchgeführte tachymetrische Aufmaß zusätzlich – umgerechnet in die lineare Aufnahmegeometrie des Nachweises – im Fortführungsriss – in hinreichender Übereinstimmung mit dem Nachweis – als gemessen orthogonal dokumentiert wird. Dabei wird verkannt, dass der bestehende Katasternachweis in der Regel nicht die Qualität hat, dass eine hinreichend gute Übereinstimmung zwischen Örtlichkeit und Katasternachweis ein hochgenaues tachymetrisches Aufmaß kontrollieren könnte. Wird eine solche berechnete Orthogonalaufnahme mit ausgeglichen, spiegelt das Ergebnis der Ausgleichung nicht die reelle Aufnahmesituation wieder. Die dargestellten „Kontrollen“ können ihre Kontrollfunktion nicht erfüllen, da sie lediglich aus den Messwerten der Polaraufnahme abgeleitet wurden. Solche „Kontrollen“ sind nicht unabhängig, sondern sehr stark mit den Messwerten korreliert. Als ein Ergebnis der Ausgleichungsrechnung würde man dann Angaben über die Kontrolliertheit der Beobachtungen (Messwerte) erhalten, welche nicht der tatsächlichen Aufnahmegeometrie entsprächen.

Sinnvoller ist daher eine Integration der originären Messwerte in den Arbeitsablauf, dazu zählen neben Richtungen und Strecken u.a. auch SAPOS®-Beobachtungen. Ein Ziel der Integration ist die unmittelbare Berechnung von Koordinaten, welche dann bereits im Außendienst genutzt werden können (z.B. für die Grenzuntersuchung, Umformungen oder Absteckungen). Durch die Verschiedenartigkeit der Messwerte (eine Kombination von Tachymeter- und GNSS-Messungen mit gegebenenfalls geringfügigen orthogonalen Ergänzungsmessungen) ist eine koordinatenbasierte Arbeitsweise sinnvoll. Für das Aufmaß sollen gemäß *Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM* zukünftig nur noch terrestrisch-polare und satellitengeodätische (SAPOS®) Aufmessungsmethoden verwendet werden. Messbandmessungen sind nur noch für Aufmaße zulässig, die kürzer als 20 m sind. Wegen der aufwändigen manuellen Datenerhebung sollten diese jedoch vermieden werden. Optimal erfolgt der Datenfluss zwischen den eingesetzten Geräten (Tachymeter- und SAPOS®-Echtzeitsystemen) über einen gemeinsamen Feldrechner (Controller) bzw. einer gemeinsamen Datenbank (Austausch z.B. über eine gemeinsame Speicherkarte). Der Vorteil ist hier der einheitliche Datenfluss trotz der kombinierten verschiedenartigen Messverfahren und Messgeräte. Ein gemeinsamer Feldrechner kann zudem die einheitliche Gerätesteuerung übernehmen, die originären Messwerte in definierten Formaten speichern und bietet vermessungstechnische Programme zur Absteckung, Aufnahme und Berechnung von (vorläufigen) Koordinaten unmittelbar im Außendienst. Selbstverständlich können aus diesen Koordinaten auch wieder orthogonale Elemente z.B. für einen Vergleich mit dem vorhandenen Katasternachweis oder für das Aufsuchen von orthogonal bestimmten Altpunkten abgeleitet werden. Die bisher bekannten Möglichkeiten zum Aufsuchen von Vermessungspunkten bleiben auch zukünftig bestehen. Sie werden jedoch durch den empfohlenen Einsatz von SAPOS®-Echtzeitmessungen erweitert und ergänzt. Die koordinatenbasierte Arbeitsweise eröffnet dabei das größte Potential an Einsparungen, Qualitätsgewinn und -kontrolle im Außendienst.

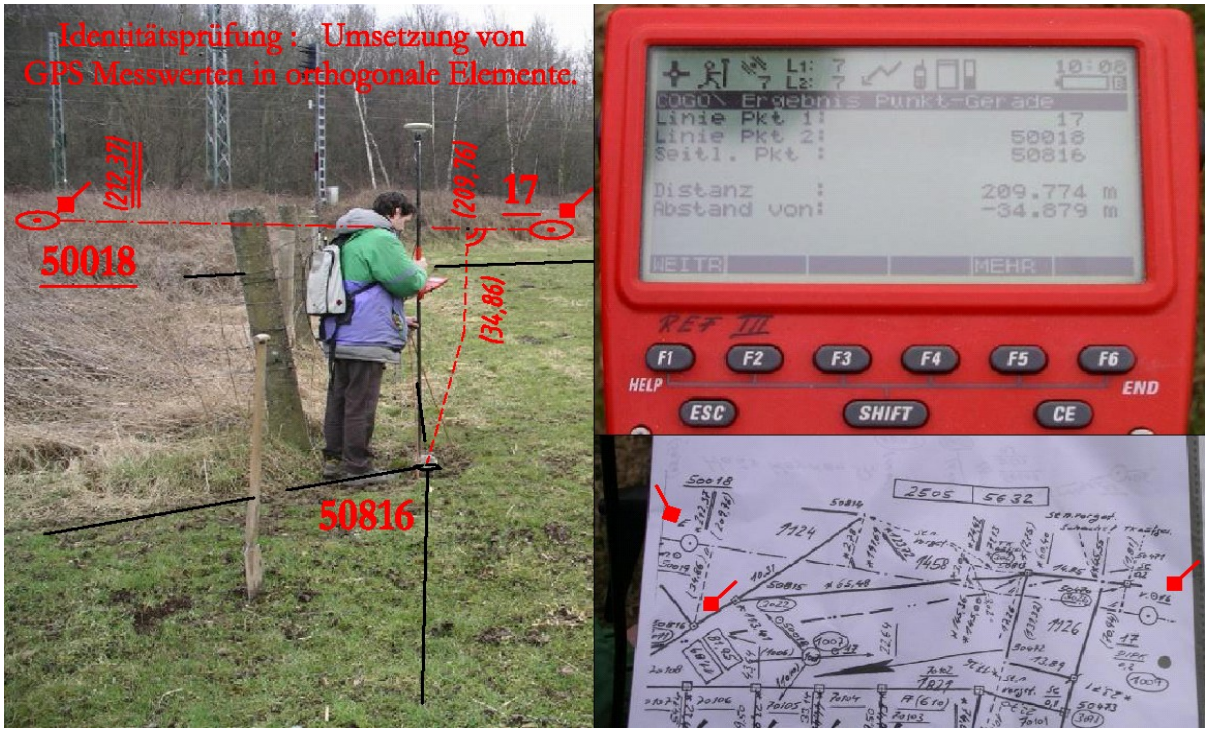


Abb. 4.1: Koordinatenbasierte orthogonale Identitätsprüfung

Im Vermessungsriss ist später die tatsächliche Aufnahmegeometrie darzustellen, abgeleitete Elemente sind zu kennzeichnen (z.B. gerechnete Maße). Mit Hilfe der Ausgleichungsrechnung kann unter Verwendung der originären Messwerte das Messverfahren bzw. die tatsächliche Aufnahmegeometrie auf hinreichende Kontrolliertheit überprüft werden. Nicht zu unterschätzen sind dabei die erheblichen Lerneffekte, die mit fortschreitender Erkenntnis aus der Ausgleichungsrechnung Einfluss auf zukünftige Messungsabläufe bzw. die Anlegung der Aufnahmegeometrie haben werden. Anhand der Ausgleichungsrechnung kann man erkennen, wann sich Messwerte (Beobachtungen) kontrollieren und welchen Einfluss die einzelnen Beobachtungen auf die endgültige Koordinatenbestimmung haben. Dies ist der zentrale Punkt, um die Qualität einer Vermessung zu beurteilen [vgl. hierzu *Abschnitt 6 AG2006*].

Die Empfehlungen für die Datenerhebung lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- terrestrisch-polare und satellitengeodätische Aufnahmeverfahren kombinieren;
- einen gemeinsamen Datenfluss über einen Feldrechner (Controller) anstreben, mindestens jedoch eine gemeinsame Datenbank realisieren;
- auf Messbandmessungen sowie auf die Erhebung orthogonaler Messelemente weitestgehend verzichten, da diese jeweils eine manuelle Eingabe erfordern;
- die koordinatenbasierte Arbeitsweise bevorzugen (Berechnung von vorläufigen Koordinaten bereits unmittelbar im Außendienst);
- die originären Messwerte in geeigneten Formaten speichern, um diese im Datenfluss an das Ausgleichungsprogramm übergeben zu können;
- die tatsächliche Aufnahmegeometrie im Vermessungsriss dokumentieren.

Bei der Ausgleichung des Vermessungsergebnisses ist dann nicht von den abgeleiteten orthogonalen Elementen auszugehen, sondern von der tatsächlichen Aufnahmegeometrie, dass heißt von den verschiedenartig kombinierten Aufnahmemethoden. Nur so sind die zu erwartenden (zeitlichen) Einsparungen bei gleichzeitigem Qualitätsgewinn und -kontrolle zu erreichen.

Im *Abschnitt 6* unseres *Handbuches „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“* [*AG2006*] ist die örtliche Durchführung der Vermessung ausführlich beschrieben und wird daher an dieser Stelle zur Vertiefung empfohlen. Der Lagebezug im Außendienst, die Grenzuntersuchung, die Absteckung sowie das Aufmaß werden dort anhand von Texten, Beispielen und Grafiken veranschaulicht. Die Handbücher I und II sowie diverse Konzeptpapiere sind im Internet der Bezirksregierung Köln unter

http://www.brk.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung03/dezernat_31/sapos/index.html
(Startseite / Organisation / Abteilung 03 / Dezernat 31 / SAPOS® im Liegenschaftskataster) zum Download verfügbar.

5. Datenverarbeitung (ID)

5.1 Datenfluss (Stand Mai 2009)

Die Erstellung eines leistungsfähigen Datenflusses kommt einer Sisyphos-Arbeit gleich. Sind doch die Bedingungen der Arbeitsabläufe sowie der im Außendienst und der im Innendienst eingesetzten Software zu berücksichtigen. Dies wird insbesondere dann schwierig, wenn die Hersteller der eingesetzten Software vorrangig eigene Interessen verfolgen. Dies gilt im gleichen Maße für die Ausgleichungsrechnung wie für einen linearen/hierarchischen Berechnungsansatz. Allerdings wird der hierarchische Berechnungsansatz meist von den Softwareanbietern aus Tradition bevorzugt und ist in den meisten Vermessungsstellen und Katasterbehörden über die letzten Dekaden organisch gewachsen. Eine optimale Struktur ist in der *Abbildung 5.1* durch einen roten Pfeil dargestellt – die direkte Übergabe aller im Außendienst gewonnen Beobachtungen an das Ausgleichungsprogramm, wobei dieses dann auch die notwendigen Korrekturen und Reduktionen vornimmt (der Datenfluss vom und in den Katasternachweis ist hierbei noch nicht berücksichtigt). Hierbei kommt ein wesentlicher Vorteil der Ausgleichung zum Tragen: Die Reihenfolge, in der die Beobachtungen der Ausgleichung zugeführt werden, spielt keine Rolle. Leider stehen diesem Optimum oftmals die mangelhaften Anpassungen der Schnittstellen der Ausgleichungsprodukte an die Datenformate der Vermessungsstellen entgegen. Nur eine bevorzugte Anwendung der Ausgleichungsrechnung, verbunden mit einer entsprechenden Kundennachfrage, wird die Schnittstellenangebote der Hersteller beeinflussen.

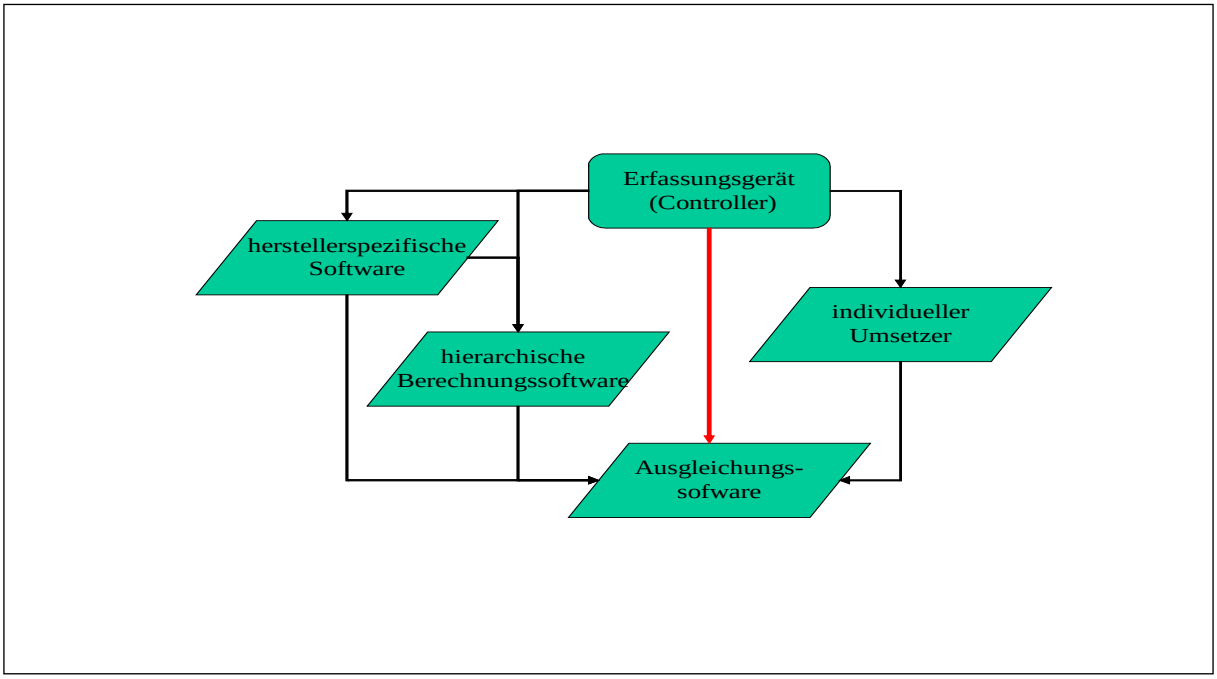


Abb. 5.1: Mögliche Wege des Datenflusses

Die vereinfachte Darstellung in *Abbildung 5.1* zeigt jedoch bereits das Dilemma: In der Regel sind sehr viele Produkte an dem Datenfluss beteiligt, die allesamt spezielle Formate/Dateien benötigen und produzieren. Umgesetzt werden tachymetrische und SAPOS®/GNSS-Beobachtungen. Eine für den Datenfluss umständliche Ausnahme stellen orthogonale Elemente dar. Sie werden im Außendienst aufgeschrieben und erst später im Innendienst durch händische Erfassung „digitalisiert". Diese Handeingaben sind zusätzlich durch entsprechende Kontrollen gegen Fehleingaben zu sichern. Ein automatisierter Datenfluss ist hier somit die Ausnahme. Da es sich hierbei aber um eine etablierte Tradition handelt, wird dieser Vorgang nicht kritisch hinterfragt. In *Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM* wird verfügt, dass zukünftig nur noch Spannmaße zulässig sind, die kürzer als eine Messbandlänge von 20 m sind. Ein Aufmass orthogonaler Art, auch von tachymetrischen Aufnahmen abgeleitet, wird nicht mehr zugelassen. Aus diesem Grund werden zukünftig durch einen zunehmenden Einsatz von Tachymetern die meisten Beobachtungen im elektronischen Datenfluss zur Verfügung stehen. In der folgenden Aufzählung werden beispielhaft Produkte aufgezählt, die in den in *Abbildung 5.1* aufgezeigten Arbeitsschritten des Datenflusses eingesetzt werden können:

Erfassungsgeräte (Controller/Software):

- Trimble GmbH: ACU, TSCe, TCU, TSC2 (Software: TSC, TSM)
- Leica Geosystems GmbH: System 500, 1200 (Software: Leica fieldPro)
- Topcon Deutschland GmbH: SC200, SC2000 (GART2000)
- Ing.-Büro Burg: KIVID- Feld

Herstellerspezifische Office-Software:

- Trimble GmbH: TGO, TTC
- Leica Geosystems GmbH: LGO
- Topcon Deutschland GmbH: GART2000
- IPG: GPS-Doku (Besonderheit: setzt auf Daten von Leica und Trimble auf)

Hierarchische Berechnungssoftware:

- HHK Datentechnik GmbH: KIVID
- GOS GmbH: KAVDI
- GEOSOFT Vermessungssysteme GmbH: Geo8
- Ing.-Büro Burg: KIVID

Individuelle Umsetzter:

- Systemanalyse im Vermessungswesen Dipl.-Ing. Wolfgang Ernst: AMKA
- div. Einzellösungen in Vermessungsstellen und Katasterbehörden

Ausgleichungssoftware:

- Geodätisches Institut der RWTH Aachen: KAFKA
- Technet GmbH: SYSTRA
- GeoTec GmbH: PANDA

In Anlehnung an die *Abbildung auf Seite 25* sind folgende Varianten des Datenflusses realisiert:

Variante 1:

Die Ausgleichungssoftware KAFKA bietet einige geräte-/herstellerspezifische Importoptionen [vgl. *Abb. unten*] zur Übernahme der Beobachtungen aus deren Formaten an.

Abb. 5.2: KAFKA, Auswahlfeld Importformate

Variante 2:
Die meisten linearen/hierarchischen Berechnungsprogramme bieten einen Export der Beobachtungen zur Verarbeitung in einem Ausgleichungsprogramm an. In der untenstehenden *Abbildung* ist der Export einer Auftragsdatei für das Ausgleichungsprogramm KAFKA aus dem linearen/hierarchischen Berechnungsprogramm KAVDI dargestellt. Die Daten, die durch diese Schnittstellen übergeben werden, bedürfen jedoch oft der Nacharbeit. Manchmal werden Standardeinstellungen für die Ausgleichung nicht korrekt oder unvollständig übermittelt. In dem Fall, dass zunächst die Berechnungsabläufe bei der linearen/hierarchischen Auswertung durchlaufen werden, werden die Beobachtungen oft mehrfach übergeben. Dies muss dann leider in aufwändiger Handarbeit korrigiert werden.

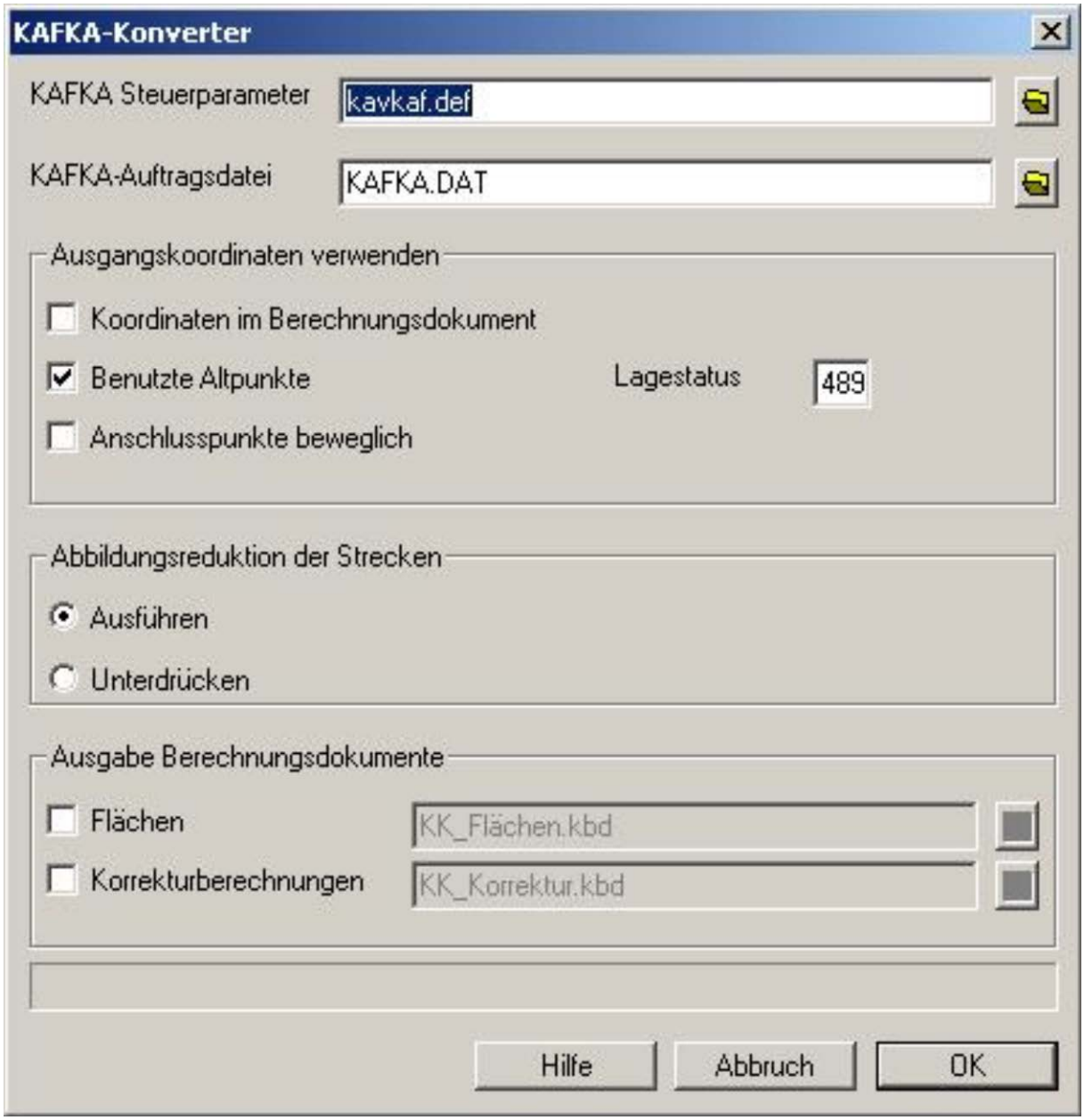


Abb. 5.3: KAVDI, Ausgabe einer KAFKA-Auftragsdatei

Trotzdem stellt diese Variante einen interessanten Einstieg in die Ausgleichungsrechnung dar, da sie von den meisten linearen/hierarchischen Berechnungsprogrammen angeboten wird. Für einen wirtschaftlichen Produktionsbetrieb mit der Ausgleichung ist eine vollständige und vorgeschaltete lineare/hierarchische Berechnung zu aufwändig und auch nicht notwendig.

Variante 3:

Das Ausgleichungsmodul wird in ein lineares/hierarchisches Berechnungsprogramm integriert. Dies ist zum Beispiel bei KAVDI mit dem Ausgleichungsmodul PANDA realisiert.

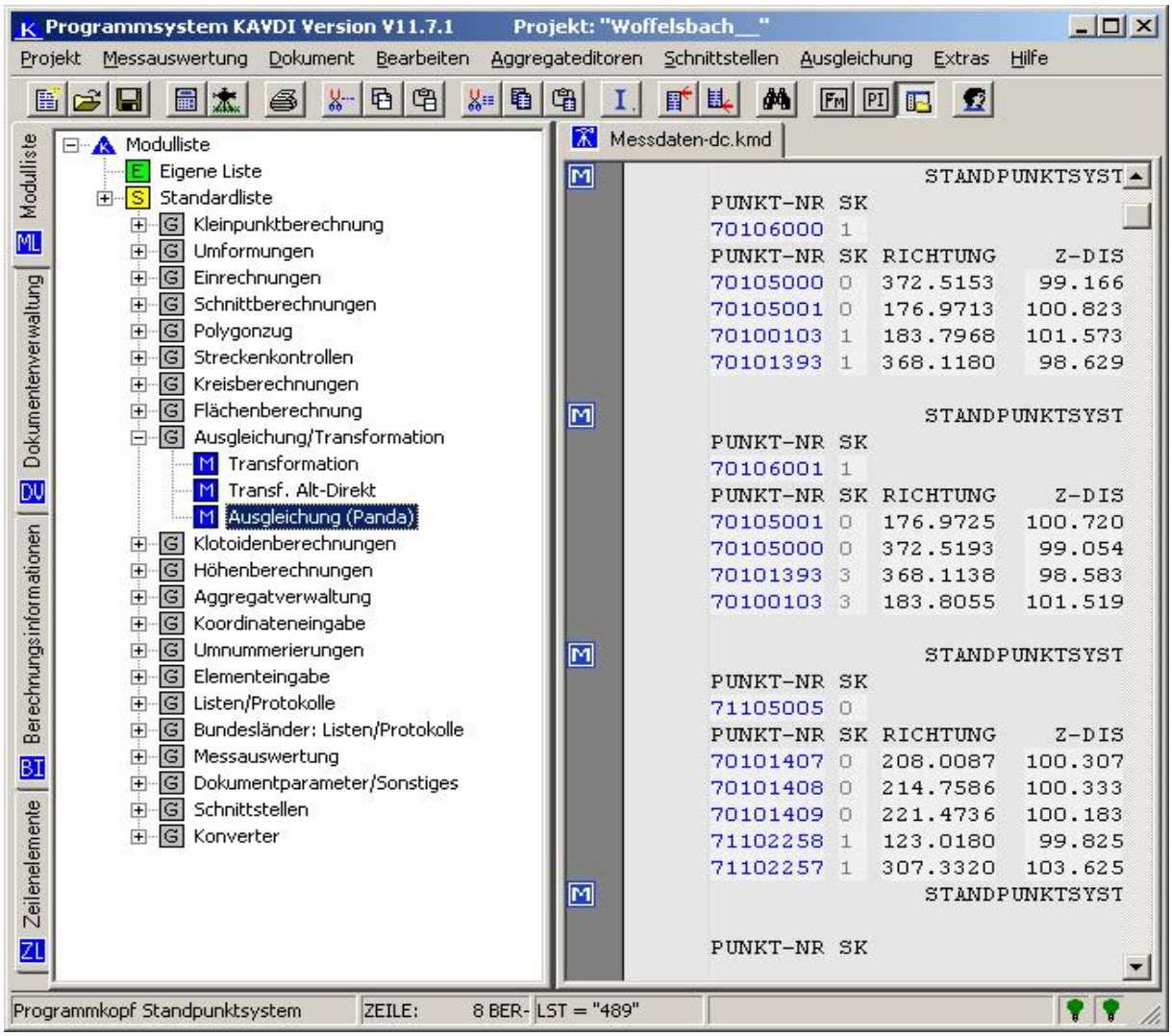


Abb. 5.4: KAVDI, Auswahl Ausgleichungsmodul PANDA

5.2 Berechnung der Koordinaten (Stand Mai 2009)

Bereits im *Abschnitt 3.1 (Grundlagen/Ausgleichungsrechnung)* wurden die unterschiedlichen Ausgleichungstypen eingeführt. Für die Anwendung in einem Berechnungsablauf hat die Arbeitsgemeinschaft den klassischen Weg „durch alle Instanzen“ verlassen und versucht einen pragmatischen Ansatz zu verfolgen, der auf Prämissen aufbaut, die bereits im letzten Handbuch sehr ausführlich behandelt wurden. So wird für den hier gezeigten Ablauf davon ausgegangen, dass ein Anschluss der Liegenschaftsvermessung an das Lagebezugssystem ETRS89/UTM über SAPOS® oder über ein konventionelles Anschlusspunktfeld in LGA H oder 1 (neu: GST 2000 oder GST 2100) erfolgt. Ebenso soll keine Einpassung in ein VP-Feld erfolgen, dass nicht in LGA H oder 1 (neu: GST 2000 oder GST 2100) vorliegt.

Eine inhomogene Ausgangssituation im Katasternachweis wird immer eine komplexe Auswertestrategie erfordern. Dies gilt für die Ausgleichung ebenso wie für den hierarchisch/linearen Auswerteweg.

Die dargestellten Abläufe sollen bei einfacher Darstellung die aktuellen Zielsetzungen widerspiegeln und so den Einstieg erleichtern.

Nachdem alle Beobachtungen über den Datenfluss oder über eine Handeingabe in ein Projekt bzw. Verfahren der Ausgleichungssoftware eingelesen wurden, kann der eigentliche Prozess der **Ausgleichung** erfolgen.

Ausgleich, **Ausgleichen** oder **Ausgleichung** bezeichnet die Milderung von Gegensätzen oder Benachteiligungen, das Herstellen eines Gleichgewichts oder die Abschaffung einer Ungerechtigkeit. In technischen Disziplinen bedeutet es auch die Glättung von Oberflächen und die Angleichung divergierender Messwerte oder Modelle.

Abb. 5.5: http://de.wikipedia.org (Wikipedia, Die freie Enzyklopädie)

Vermesser verstehen unter Ausgleichung ein Verfahren zur simultanen Berechnung von Koordinatenunbekannten unter Einbeziehung von überschüssigen Beobachtungen. Dabei werden Messwerte, die mit zufälligen Fehlern der Beobachtung behaftet sind, durch Anbringen von Verbesserungen, die einer mathematischen Zielfunktion genügen, in der Weise angepasst, dass sich die verbesserten Messwerte mit funktionalen Modellen für alle Beobachtungen aus den ausgeglichenen Koordinaten widerspruchsfrei berechnen lassen. Die Messwerte finden entsprechend der Beobachtungsgenauigkeit Berücksichtigung. Das Verfahren erlaubt die Wertung von Beobachtungen und Ergebnissen mit statistischen Methoden.

5.2.1. Näherungskoordinaten

Für die Ausgleichung werden Näherungskoordinaten benötigt. Sie liefern den Rechenalgorithmen die notwendigen Startwerte [vgl. hierzu *Abschnitt 5, 2b „Iteration“*]. Für die Praxis sind hinsichtlich der Näherungskoordinaten folgende Aspekte zu bedenken:

- Bei schlechten Näherungskoordinaten kann die Ausgleichung divergieren, oder nach Ablauf der Berechnung ohne Ergebnis enden.
- Je besser die Näherungskoordinaten, desto geringer der Rechenaufwand.

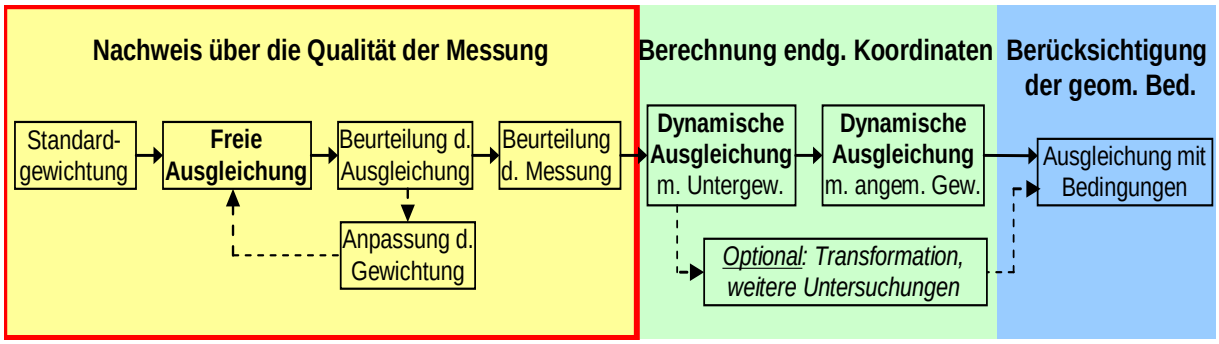
Als Quelle für Näherungskoordinaten kommen in Frage:

- Der Katasternachweis für Punkte mit Koordinaten unbekannter oder untergeordneter Lagegenauigkeit,
- Controller oder Feldrechner, in denen bei koordinatenbasierter Arbeitsweise im Feld die Koordinaten gespeichert sind, die durch Berechnung oder Aufmaß entstanden sind,
- Karten, aus denen Koordinaten durch Digitalisierung gewonnen werden können,
- Schätzungen auf der Basis der Koordinaten benachbarter Punkte,
- automatisierte Berechnungsverfahren, wie die Vorverarbeitung bei KAFKA, die gleichzeitig eine erste Plausibilitätsprüfung des Datenmaterials liefern,
- hierarchische Berechnung bei aufsetzenden Ausgleichungsmodulen.

Nachdem mit Beobachtungen, Ansätzen für die Standardabweichungen a priori und den Näherungskoordinaten alle Voraussetzungen für einen Rechenlauf vorliegen, kann mit der eigentlichen Auswertung begonnen werden.

Die dreistufige Strategie des Auswerteprozesses lässt sich anhand der graphischen Verfahrensleiste in den nachfolgenden Kapiteln verfolgen.

5.2.2 Nachweis über die Qualität der Messung



Erstes Ziel der Auswertung ist es zunächst, die innere Genauigkeit und die Kontrolliertheit der Liegenschaftsvermessung in einer Freien Ausgleichung zu analysieren und zu dokumentieren.

Anmerkung: SA*POS*®-Messungen werden bei den heutigen Ausgleichungsprogrammen (z.B. WinKAF-KA) nicht als Anschlusspunkte im klassischen Sinne sondern als „Direkte Koordinatenbeobachtung" dem Programm zugeführt. So kann jede einzelne SA*POS*®-Koordinate als Beobachtung berücksichtigt und beurteilt werden.

Eine Einpassung in den Katasternachweis, mit den daraus resultierenden Zwängen, erfolgt hierbei nicht („**Freie Ausgleichung**"). Um die Qualität der eigenen Messung abschließend beurteilen zu können müssen mit der Freien Ausgleichung zunächst korrupte[1] Daten (z.B. Punktnummernverwechselungen) aufgedeckt und ausgeschlossen werden sowie die a priori Genauigkeitsansätze an die Messung angepasst werden.

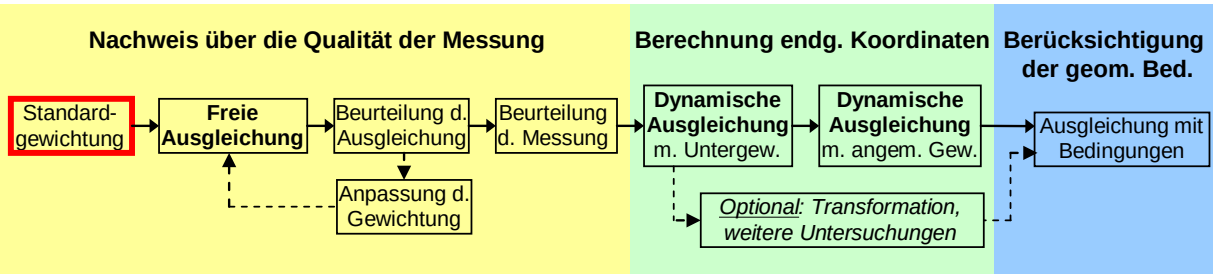
Meist fallen korrupte Daten bereits in der Berechnung der Näherungskoordinaten auf und können dort beseitigt werden. Sollten sie dennoch den Weg in die Ausgleichung gefunden haben, müssen sie nun beseitigt werden. Für diese Aufgabe bieten die Softwareprodukte verschiedene Möglichkeiten. Allgemein werden von der Software Hinweise auf „grobe Fehler" ausgewiesen. Diese beruhen auf einer Grenzwertüberschreitung der „Normierten Verbesserung". Treten diese vermehrt an Beobachtungen auf, die im Zusammenhang mit einem Vermessungspunkt stehen, so ist an diesem die Untersuchung, ausgehend von der Beobachtung mit der größten Normierten Verbesserung zu starten.

Neben dieser allgemeingültigen Variante sind in einigen Softwareprodukten weitere Hilfsmittel zur Suche dieser Fehler integriert (z.B. L1- Norm und Robuste Schätzung). Diese sind geeignete Hilfsmittel zur Lokalisierung „grober Fehler". Der Vorteil dieser Verfahren liegt darin, dass hier keine Verschmierungseffekte auftreten. Kleinere Fehler können bei diesen Verfahren schon mal durch das Raster fallen. Im Abschnitt 7 wird auf einige Verfahren, z.B. L1-Norm und robuste Schätzung, eingegangen.

---

[1] Zweitbedeutung: Wissensch. *fehlerhaft*: (Das digitale Wörterbuch der deutschen Sprache des 20. Jh. www.dwds.de).

a) Standardgewichtung



Sind alle korrupten Daten beseitigt kann mit der eigentlichen Berechnung begonnen werden.

Für eine erfolgreiche Ausgleichung ist eine angemessene Gewichtung aller Beobachtungen Voraussetzung. Ihr wird in den Verwaltungsvorschriften ein Rahmen gesetzt, der aus Erfahrungswerten und individuellen Beurteilungen der Messung gefüllt wird. Als erster Ansatz sollte hierfür eine „Standardgewichtung“ eingesetzt werden, die sich aus Erfahrungswerten und Genauigkeitsabschätzungen des individuell eingesetzten Instrumentariums ergibt. Anhaltspunkt für realistisch anzusetzende Standardabweichungen sind neben Herstellerangaben für Instrumente empirisch ermittelte Formeln, durch die Gesetzmäßigkeiten für zufällige Fehler beschrieben werden (z.B. die Formeln für die Fehlergrenze von Messbandmessungen, die mit 1/3 als Standardabweichung angesetzt werden können). Mindestens gleichwertig sind die eigene Erfahrung und das Gefühl des Außendienstlers für die beim Messvorgang erreichte Genauigkeit. Neben den Instrumenteneigenschaften finden Restfehler der Zentrierung in Instrumentenstandpunkt und Ziel, Identität, Schärfe und Ansprechgenauigkeit der Ziele in der Örtlichkeit sowie Beobachtereigenschaften Eingang in die Standardabweichung von Beobachtungen.

Die Arbeitsgemeinschaft hat für das Programm KAFKA einen Vorschlag erarbeitet der als Datei (standard.kpt) über folgende URL bezogen werden kann:

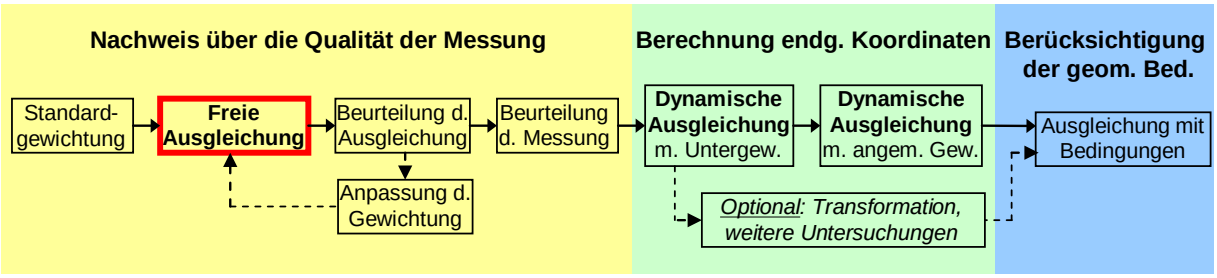
http://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung03/dezernat_31/liegenschaftskataster/handbuch_ausgleichung/index.html

(Startseite / Organisation / Abteilung 03 / Dezernat 31 / Liegenschaftskataster / Handbuch Ausgleichung).

Um die Ausgleichung zu starten, müssen a priori (lat. vorab) den Beobachtungen Standardabweichungen zugeordnet sein, damit die Bebachtungsgewichte berechnet werden können. Standardabweichungen können zusammen mit den Messwerten eingelesen werden, beim Einlesen der Messwerte mit implementierten Fehlerformeln zugeordnet werden oder bei händischer Erfassung der Messwerte im Dialog ausgewählt bzw. eingegeben werden.

Die verwendeten Genauigkeitsabschätzungen dürfen sich auf Erfahrungswerte stützen [vgl. hierzu *Nr. 21.1 (4) VPErl.*]. Die anzustrebenden Standardabweichungen des Vermessungspunkterlasses [vgl. hierzu *Nr. 2.31 (1) - (3) Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen"*] sollten dabei aber eingehalten werden.

b) Freie Ausgleichung



Der Start des Ausgleichungsalgorithmus löst eine iterative Programmschleife aus, bei dem die Berechnungsergebnisse der einzelnen Schleifen konvergieren (bis diese ein definiertes Abbruch- bzw. Zielkriterium erreichen). Ausgehend von den Näherungskoordinaten werden dabei bis zum Erreichen dieses Kriteriums in jeder Schleife Verbesserungen auf die Koordinaten des vorhergegangenen Laufes addiert, bis diese Verbesserungen einen Grenzwert unterschreiten. Dann wird die Schleife beendet.

6. Iteration

7. ...

In der numerischen Mathematik bezeichnet sie eine Methode, sich der Lösung eines Rechenproblems schrittweise, aber zielgerichtet anzunähern. Sie besteht in der wiederholten Anwendung desselben Rechenverfahrens. ...

.... Die Ergebnisse eines Iterationsschrittes werden als Ausgangswerte des jeweils nächsten Schrittes genommen – bis das Ergebnis (beziehungsweise Veränderung einer Bestandsgröße) zufrieden stellt. ....

Es muss anschließend noch bewiesen werden, dass die Iterationsfolge konvergiert und dass der Grenzwert mit der gesuchten Lösung übereinstimmt. Die Geschwindigkeit der Konvergenz ist ein Maß dafür, wie brauchbar die Iterationsmethode ist.

Abb. 5.6: http://de.wikipedia.org (Wikipedia, Die freie Enzyklopädie)

Die Ausgleichungsrechnung stellt in den Fehler- oder Verbesserungsgleichungen die Messwerte mit anzubringenden Verbesserungen den mathematischen Funktionen für die Beobachtungen in Abhängigkeit von den Koordinatenvariablen gegenüber. Bei geodätischen Beobachtungen besteht, wie es anhand der Funktionen der Beobachtungen Strecke $s=\sqrt{((Y_E-Y_A)^2+(X_E-X_A)^2)}$ oder orientierte Richtung $r=\arctan((Y_E-Y_A)/(X_E-X_A))$ leicht erkennbar ist, keine lineare Abhängigkeit zwischen den Beobachtungen und den Koordinatenvariablen als Parameter mathematischer Funktionen. Die für lineare Gleichungssysteme bekannten Lösungsstrategien können also nicht ohne Weiteres eingesetzt werden. Deshalb werden die Funktionen linearisiert:

Nach dem Satz des englischen Mathematikers Brook Taylor lässt sich eine stetige, beliebig oft differenzierbare Funktion in der Umgebung eines bestimmten Entwicklungspunktes der Funktion an der Stelle a als Potenzreihenentwicklung darstellen:

$$T_n(x) := f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \cdots + \frac{f^{(n)}(a)}{n!}(x-a)^n$$

Linearisierung oder 1. Näherung nennt man das 1. Taylorpolynom, das die Funktion im Entwicklungspunkt durch die 1. Ableitung mit der Tangente im Entwicklungspunkt als Gerade aproximiert:

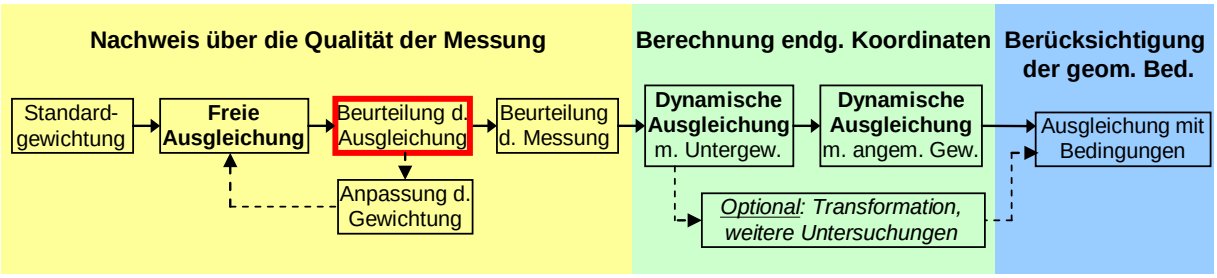
$$T_1(x) := f(a) + f'(a)(x-a)$$

Der Entwicklungspunkt, die Stelle a, wird in der Ausgleichungsrechnung durch vorgegebene Näherungskoordinaten festgelegt. Mit den Näherungskoordinaten lassen sich die Funktionswerte, z.B. die Strecke zwischen zwei Punkten, berechnen und vom Messwert auf der einen Seite der Verbesserungsgleichung in Abzug bringen. Auch der numerische Wert für die 1. Ableitung der Funktion kann berechnet werden. Er gibt an, wie sich in erster Näherung der Funktionswert bei geringfügigen Änderungen der Näherungskoordinaten ändert. Der lineare Term (x-a) stellt die Zuschläge zu den Näherungskoordinaten dar. Sie werden durch Lösung des Gleichungssystems ermittelt. Durch Anbringen der Koordinatenzuschläge können die Näherungskoordinaten nachgeführt werden. Weil bei der Linearisierung die Taylorpolynome ab der 2. Ordnung vernachlässigt worden sind, muss der Vorgang mit nachgeführten Näherungskoordinaten (geänderter Entwicklungspunkt) so oft wiederholt werden, bis die gegen Null tendierenden Koordinatenzuschläge eine voreingestellte Schranke (Konvergenzkriterium) erreichen.

Dieser Vorgang soll hier als „innere Schleife“ bezeichnet werden. Sie wird vollständig von der Ausgleichungssoftware erledigt.

Führt die Berechnung nicht dazu, dass die Änderungen der Koordinaten mit zunehmender Anzahl von Iterationen konvergieren, kann die Software nur selten Hilfestellung leisten. Meistens ist das Datenmaterial noch korrupt. Der oder die Fehler müssen dann eliminiert werden. Nur selten treten in der Berechnung noch gravierende Fehler auf, nachdem die Vorverarbeitung bei der Berechnung von Näherungskoordinaten ohne Fehlermeldungen abgeschlossen wurde. Neben extrem unterschiedlichen Beobachtungsgewichten, die dem Computer Probleme mit der Rechenschärfe bereiten können, kommen mangelnde Kontrolliertheit von Beobachtungen, qualitativ schlechte Näherungskoordinaten oder ein fehlendes oder unvollständiges Datum (z.B. zwei Messbereiche ohne Verknüpfung oder ohne Lagebezug) als Ursache in Betracht, wenn die Koordinatenwerte nicht konvergieren oder gar divergieren [vgl. hierzu *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel Fantasia*].

c) Beurteilung der Ausgleichung



In der Regel werden die Iterationen konvergieren. Trotzdem können sich im ersten Berechnungslauf unzulängliche Ergebnisse ergeben, die noch auf korrupten Daten beruhen, aber auch auf Mängel in der Gewichtung zurückzuführen sein können. Die Bezeichnung „**Gewicht**“ ist leider etwas irreführend. Gemeint ist in unserem Zusammenhang der eher seltene Wortsinn „Bedeutung“. Je genauer eine Beobachtung eingeschätzt wird, desto höher ist ihr Gewicht und damit der Einfluss auf das Berechungsergebnis. Um die Gewichte aller Beobachtungen für das Berechnungsergebnis in ein angemessenes Verhältnis zu bekommen, müssen die „Gewichtseinheitsfaktoren“ bzw. „Varianzkomponenten“ der Beobachtungsgruppen a posteriori eines zurückliegenden Berechnungslaufes beurteilt werden. Ggf. erfolgt ein weiterer Berechnungslauf mit angepassten a priori Ansätzen.

Unter **Wichtung** (auch **Gewichtung**, **Gewichtungsfaktor**, **Wägungsschema**) versteht man die Bewertung einzelner Faktoren eines Lösungsansatzes hinsichtlich ihrer Wichtigkeit. Damit bewirkt man, dass relevantere Faktoren größeren Einfluss auf das Ergebnis haben.

Abb. 5.7: http://de.wikipedia.org (Wikipedia, Die freie Enzyklopädie)

Zur Gewichtung der Beobachtung innerhalb der Ausgleichung dient die Varianz, die als Quadrat der Standardabweichung definiert ist. Je kleiner die Varianz der Beobachtung ist, umso stärker fällt die Beobachtung bei der Berechnung der unbekannten Koordinaten ins Gewicht. Gewicht und Varianz verhalten sich zueinander umgekehrt proportional. Anstelle der Varianz liefert jedoch die Standardabweichung als +/- Wert in der Einheit des Messwertes eine anschauliche Vorstellung von der Genauigkeit. Für die Standardabweichung σ wird die Beziehung zum Beobachtungsgewicht p mit $p= 1/\sigma^2$ ausgedrückt.

Anzustreben ist eine Balance der Gewichtung der verschiedenen Beobachtungsgruppen, die erreicht ist, wenn die „**Gewichtseinheitsfaktoren**“ bzw. „**Varianzkomponenten**“

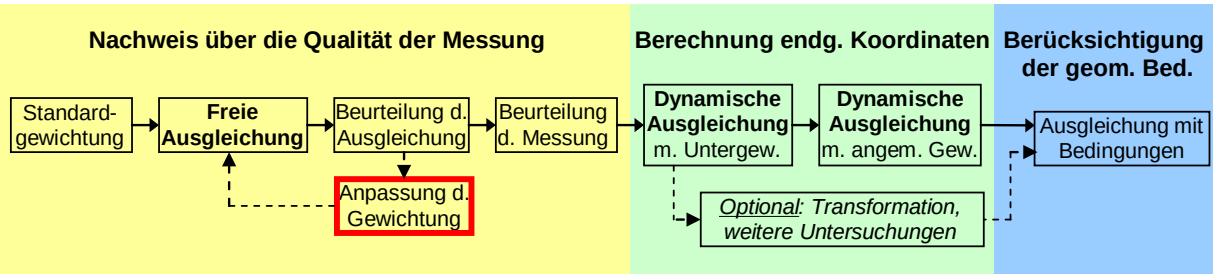
- etwa gleich groß sind, (d.h. nicht mehr als etwa 0,3 differieren)

und

- möglichst nahe 1,0 sind.

Hierzu kann ein iterativer Prozess erforderlich sein, der vom Sachbearbeiter interaktiv durch die Anpassung der Gewichtungen der Beobachtungsgruppen gesteuert wird. Diesen Vorgang bezeichnen wir als „äußere Schleife“.

d) Anpassung der Gewichtung



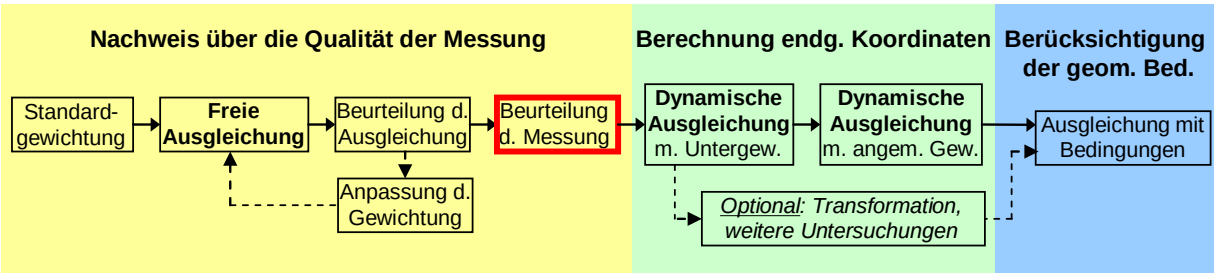
Die Gewichtseinheitsfaktoren eines abgeschlossenen Ausgleichungslaufes geben das Verhältnis zwischen den vorab abgeschätzten Genauigkeiten (a priori) und den in der Ausgleichung ermittelten (a posteriori) an. Wenn die genannten Kriterien nicht erfüllt wurden, folgt in der „äußeren Schleife“ ein weiterer Berechnungslauf, wobei die a priori Ansätze der Genauigkeiten, und damit auch die Gewichtungen der Beobachtungen, so angepasst werden, dass sich die Varianzkomponenten im nächsten Berechnungslauf den zuvor genannten Kriterien annähern. Dieser Vorgang wird bis zur hinreichenden Einhaltung der Kriterien wiederholt.

Sind die Varianzkomponenten < 1,0 ist die abgeschätzte Genauigkeit des letzten Berechnungslaufes zu pessimistisch – die Beobachtungen sind genauer als geschätzt. Sind die Varianzkomponenten > 1,0 ist die abgeschätzte Genauigkeit des letzten Berechnungslaufes zu optimistisch – die Beobachtungen sind ungenauer als geschätzt. Für die Varianzkomponenten werden die Beobachtungen in der Regel in **Beobachtungsgruppen** zusammengefasst. Das heißt, es gibt für Messbandmessungen, EDM-Strecken, SAPOS®-Koordinaten etc. jeweils eine Varianzkomponente. Ebenso lassen sich diese Beobachtungen in der Regel gemeinsam in Ihrer Genauigkeitsabschätzung mit einem Faktor auf- oder abgewichten. Mit etwas Übung stellt man schnell die Balance zwischen den Beobachtungsgruppen bzw. den Varianzkomponenten zu ca. 1,0 her. Allerdings muss man dieses Ziel nicht zu akribisch verfolgen; eine hinreichende Annäherung reicht aus. So wird für die Koordinatenberechnung von Grenz- und Gebäudepunkten und AP(2) in *Nr. 2.31 (5) Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“* eine Bandbreite von 0,6 bis 1,4 für die Varianzkomponenten als hinreichende Annäherung vorgegeben. In der Regel sollten sie innerhalb dieser Grenzen liegen. Als untere Grenzen für die Standardabweichung sollten die mit dem verwendeten Instrumentarium erzielbaren Genauigkeiten gelten. Wird ein fehlerfreies Netz ausgeglichen, haben alle Beobachtungen die Verbesserung 0. Hier werden die Varianzkomponenten immer Werte kleiner 0,6 haben. Dies ist legitim. Standardabweichungen sollten als untere Schranke die Genauigkeit des Instruments und als obere Schranke die Vorgaben des *VPErl.* haben. Gewichtsveränderungen innerhalb dieser Bandbreite bleiben vernachlässigbar. Insbesondere Vermessungen geringen Umfanges, hoher innerer Genauigkeit in spannungsfreien Netzen oder mit vielen verschiedenen Beobachtungsgruppen können den Idealwert (1,0) der Varianzkomponenten oft nicht erreichen.

Es ist wichtig, die Gewichtung nur in der Freien Ausgleichung zu prüfen! Die Varianzkomponenten werden in der Ausgleichung unter Zwang bei unverändertem Ausgleichungsmodell anders geschätzt. Je größer die Netzspannungen, desto gravierender die Abweichungen vom anvisierten Erwartungswert. Die Beurteilung der Gewichtung kann nur in der Freien Ausgleichung zu sachgerechten Aussagen führen.

Der unter „Standardgewichtung“ benannte Rahmen, der durch die Verwaltungsvorschriften gesetzt wird, darf dabei nicht überschritten werden.

e) Beurteilung der Messung



Wurden die o.g. Kriterien der Gewichtung erreicht, kann die innere Genauigkeit der Messung beurteilt werden.

Das individuelle Verhältnis der Verbesserung jeder Beobachtung aus der Ausgleichung zur vorab geschätzten Genauigkeit wird in der „**Normierten Verbesserung (NV)**“ ausgedrückt. Diese individuellen, normierten Verbesserungen können an einem Grenzwert getestet werden. Der *VPErl.* gibt in *Nrn. 1.2 (1) und 2.32 (1) Anlage 3 „Größte zulässige Abweichungen“* hierzu einen Grenzwert von **k=2** vor, das heißt den doppelten Wert der Standardabweichung (hier: vorab geschätzte Genauigkeit der Beobachtung). Überschreitungen werden als „**Grobe Fehler**“ ausgewiesen. Dieser Grenzwert kann von der Ausgleichungssoftware variabel verarbeitet werden und ist bereits in der von der Arbeitsgemeinschaft erarbeiteten *.kpt für das Programm KAFKA mit k=2 eingetragen. Grundsätzlich sind grobe Fehler in einer Ausgleichung nichts Ungewöhnliches, weil die Beobachtungen der Gaußschen Normalverteilung unterliegen. Grobe Fehler sind allerdings einzeln zu analysieren und fachlich zu bewerten

2.34* Einfluss des Messwertes auf die Punktlage (äußeres Zuverlässigkeitsmaß)

(1) Der Einfluss des Messwertes l_i auf die Punktlage EP_i ist der Betrag, um den sich die Lage der Punkte, die l_i verbindet, ändert, wenn l_i nicht an der Ausgleichung teilnimmt (äußere Zuverlässigkeit). Bei hinreichender Redundanz soll EP_i bei AP(1) ≤0,02 m, bei AP(2), GP und GebP ≤0,03 m sein. Ist der Wert größer, ist zu untersuchen, ob ein grober Fehler vorliegt.

(2) Zur Beurteilung und Entscheidung über die Eignung der Vermessungs-ergebnisse dient die folgende Zusammenstellung:

NV_i	$EP_{i\,(AP(1))}$	$EP_{i\,(GP/GebP)}$	Folgerung
>2	>0,02 m	>0,03 m	Fehler im Messwert l_i wird vermutet; nachmessen.
>2	≤0,02 m	≤0,03 m	Fehler im Messwertes l_i wird vermutet; l_i kann in der Ausgleichung belassen werden, da die Auswirkung von l_i auf den Punkt gering ist. l_i ist entsprechend zu kennzeichnen.
≤2	>0,02 m	>0,03 m	Fehler im Messwert l_i könnte vorliegen; Verbesserung der Netzgeometrie; ggf. Wiederholungsmessung.
<2	<0,02 m	<0,03 m	Messwert l_i ist (statistisch) in Ordnung

Abb.5.8: Modifizierter Auszug Anlage 3 VPErl.

Wie ist der Einfluss der Beobachtung auf das Ausgleichungsergebnis? Hierzu gibt die Ausgleichung mit den Werten „**Einfluss auf die Punktlage (EP)**“ und „Redundanz" hilfreiche Angaben. Der "EP-Wert" beschreibt die Differenz der Punktlagen zwischen den Ausgleichungsläufen unter Verwendung und Nicht-Verwendung der bezeichneten Beobachtung. Die Größe des Einflusses auf die Punktlage ist auch abhängig von der Anzahl der vorhandenen Beobachtungen im Verhältnis zur Anzahl der zu berechnenden Unbekannten (Koordinaten, Orientierungen, etc.) – dieses Verhältnis ist die Überbestimmung (**Redundanz**). Je nach Punktart kann ein EP bis zu 2 cm bzw. 3 cm toleriert werden [vgl. hierzu *Nr. 2.34 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. Sollte der grobe Fehler auf Grund dieser Erwägung in der Berechnung verbleiben, so muss er in der Dokumentation (im Protokoll) entsprechend kommentiert werden. Ist die Genauigkeitsabschätzung in Ordnung und der Einfluss der mit einem groben Fehler behafteten Beobachtung auf die Punktlage groß (signifikant), so ist die Beobachtung für die Berechnung nicht geeignet. Bei einem Berechnungslauf ohne diese Beobachtung kann geprüft werden, ob die Berechnung der Koordinaten trotzdem hinreichend genau und zuverlässig ist. Ein solches Ergebnis ist zu kommentieren. In der Regel bedeutet eine solche mit einem groben Fehler behaftete Beobachtung mit signifikantem Einfluss auf die Punktlage, dass diese durch Nachmessung neu bestimmt bzw. kontrolliert werden muss [vgl. *Abb. 5.8*].

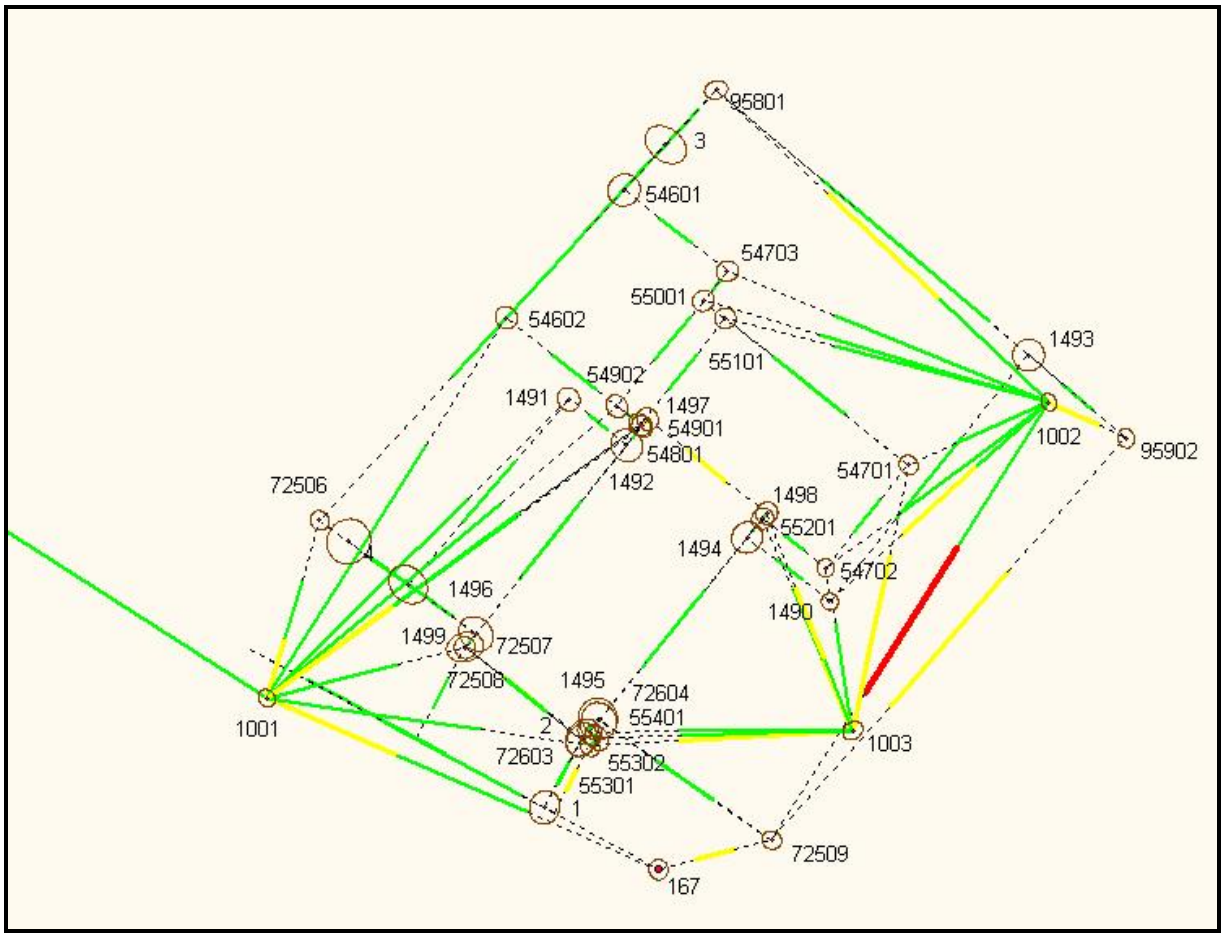


Abb. 5.9: Darstellung von Normierten Verbesserungen und Fehlerellipsen mit ZeiBer

Die Beurteilung der groben Fehler wird durch eine grafische Darstellung immens erleichtert. *Abb. 5.9* zeigt eine farbige Darstellung der normierten Verbesserungen. Grün sind NV < 1, gelb sind 1 < NV < 2, rot NV > 2 (=>Grober Fehler). *Abb. 5.10* zeigt einen ähnlichen Plot für den Einfluss auf die Punktlage. Grün sind EP < 2 cm, gelb sind 2 cm < EP < 3 cm und rot EP > 3 cm.

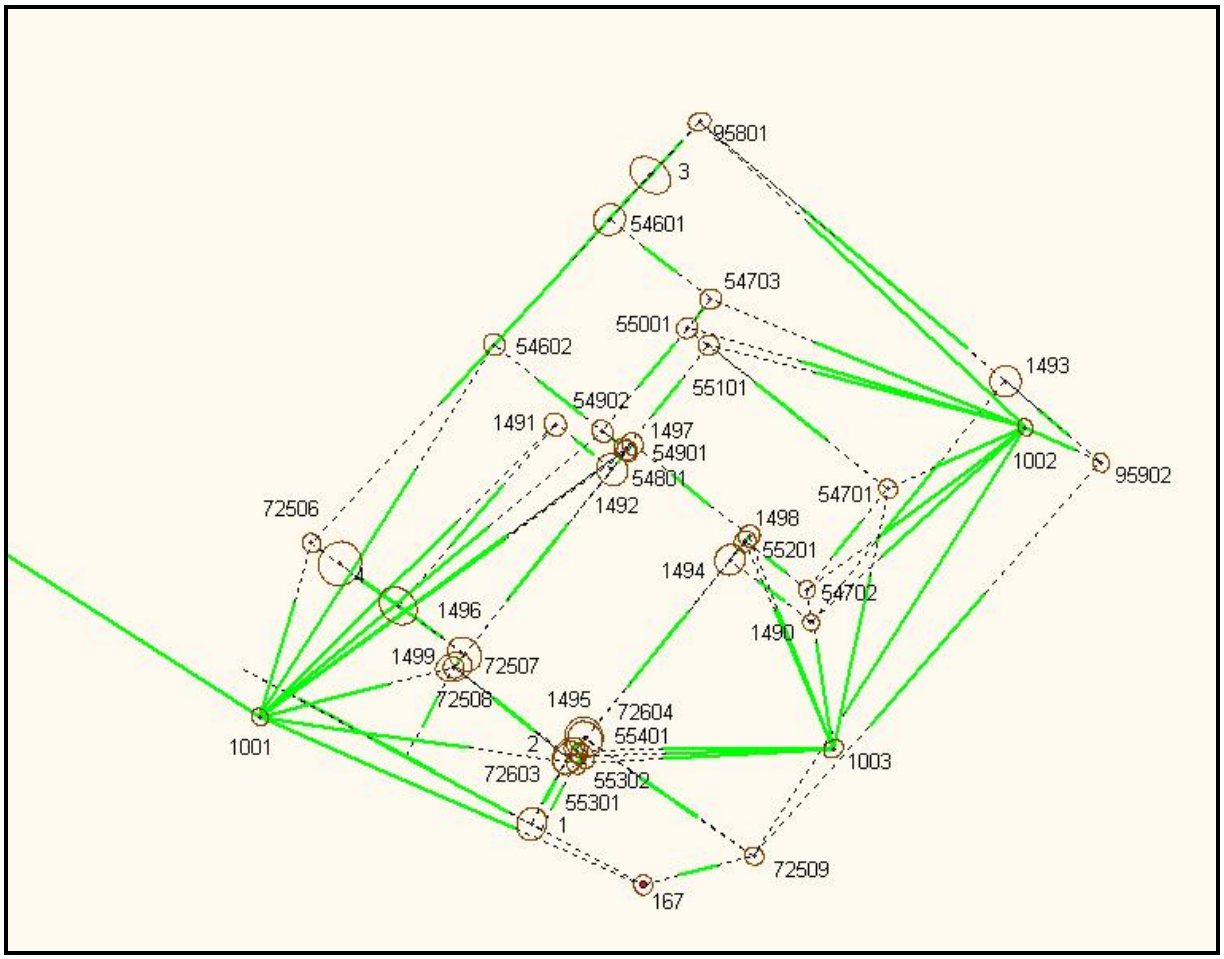


Abb. 5.10: Darstellung des Einflusses auf die Punktlage und Fehlerellipsen mit ZeiBer

Ein weiteres wichtiges Prüfinstrument der Ausgleichungsrechnung ist die Kontrolliertheit. Sie wird im Wert EV individuell zu jeder Beobachtung berechnet [vgl. hierzu: *Nr. 2.33 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*].

Eine Aufnahmegeometrie sollte so angelegt sein, dass sich die Beobachtungen gegenseitig kontrollieren. Dies ist typischerweise bei orthogonalem Aufmass mit Streben, bei polarem Aufmass mit Spannmaßen, doppeltem polarem Aufmass oder der doppelten polaren GNSS-Bestimmung (SAPOS®) der Fall. In der Regel besteht eine Messung aus der Kombination verschiedener Aufmessungsmethoden. Die Prüfung an Hand eines Vermessungsrisses, ob ein Aufmass kontrolliert ist, bedarf eines erfahrenen Sachbearbeiters. Der Vermessungsriss liefert hierzu nicht immer eine abschließende Aussage. Ein weiteres Instrument zur Prüfung der Kontrolliertheit des Aufmasses ist die Berechnung der Koordinaten. Diese sollte durchgreifend kontrolliert sein, was wiederum ein durchgreifend kontrolliertes Aufmass bedingt. Auch hier sind die Prüfprozeduren zeitaufwändig und erfordern eine hohe Kompetenz.

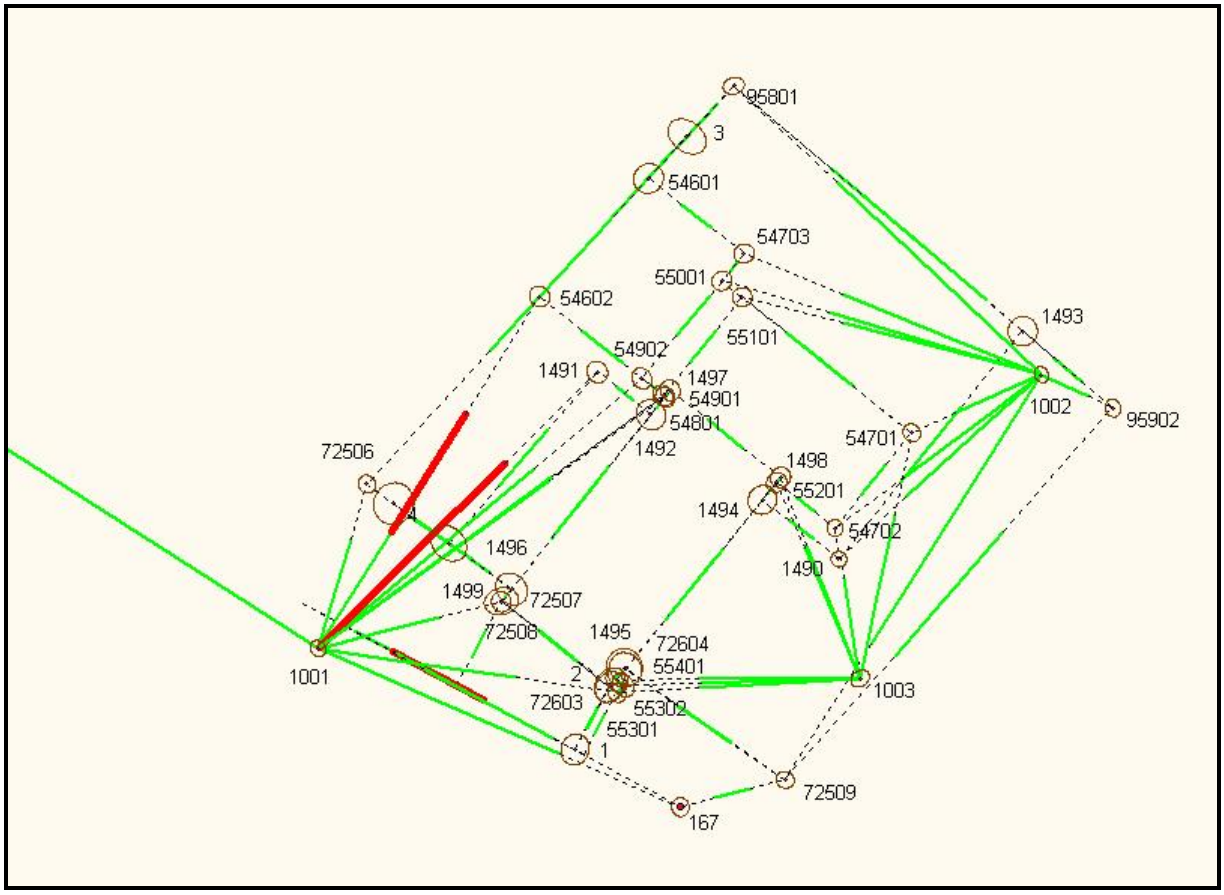
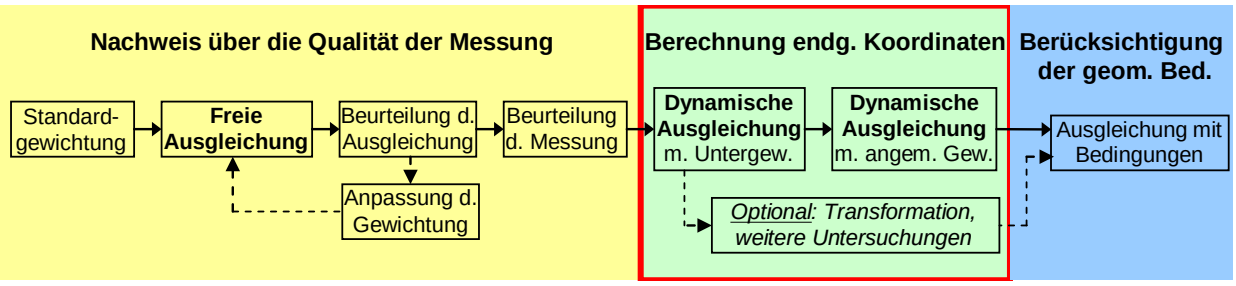


Abb. 5.11: Darstellung der Kontrolliertheit und Fehlerellipsen mit ZeiBer

Der Wert der Kontrolliertheit EV kann hier eine deutliche Erleichterung bringen. Er wird von der Ausgleichungsrechnung automatisiert geliefert. Beobachtungen, deren EV größer oder gleich 10% ist, gelten nach Nr. 2.33 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“ als hinreichend kontrolliert. Trotzdem kann es bei offensichtlich kontrolliertem Aufmass zu einer Unterschreitung des Grenzwertes kommen. Die Ursache hierfür ist oft das Zusammentreffen von unterschiedlichen Beobachtungstypen mit stark abweichenden Genauigkeiten. Die Methode, ein einfaches polares Aufmass mit einem Tachymeter durch Messbandstrecken zu kontrollieren, ist ein gutes Beispiel dafür. EDM-Strecken erreichen in der Regel eine Standardabweichung, die um die 5 mm liegt. Selbst Messbandstrecken unter 20 m erreichen selten eine Standardabweichung, die eine EDM-Strecke oder Richtung hinreichend kontrollieren kann, denn gegenseitig kontrollieren können sich nur Beobachtungen vergleichbarer Genauigkeit. Was die Sache noch komplizierter macht ist die Tatsache, dass einige Spannmaße und orthogonale Aufmasse mit dem EDM ermittelt werden, aber weder so dokumentiert werden, noch in der Auswertung so behandelt werden. Ziel sollte es sein, originäre Beobachtungen zu dokumentieren und auszuwerten.

Sind die zuvor genannten Kriterien erfüllt, ist der Nachweis über die Qualität der Messung erbracht und die freie Ausgleichung abgeschlossen. Als nächster Schritt folgt eine dynamische Ausgleichung.

5.2.3. Berechnung endgültiger Koordinaten

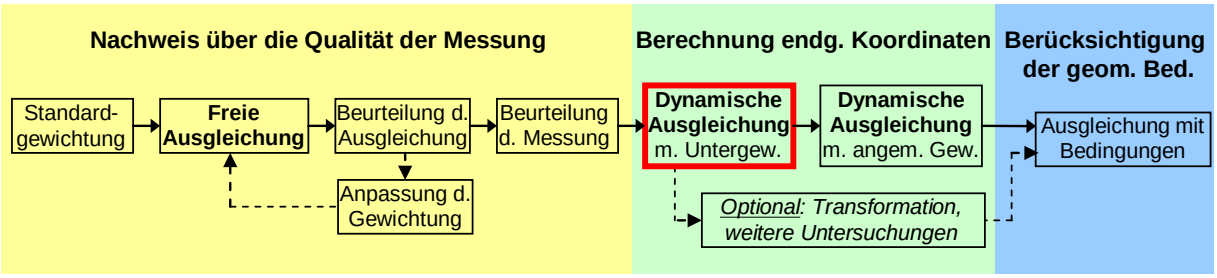


Unter den Prämissen zukünftiger Arbeitsmethodiken, die bereits im *Einführungserlass ETRS89/UTM* und im *Handbuch „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“* [*AG2006*] der Arbeitsgemeinschaft aufgezeigt wurden, bekommt die dynamische Ausgleichung eine neue Bedeutung – die der Berechnung der „Endgültigen Koordinaten“. **Hierzu ist die Messung an den amtlichen Lagebezug anzuschließen (Anschlusszwang). Dies erfolgt durch SAPOS®-Messungen und/oder den Anschluss an das Anschlusspunktfeld individuell und spannungsarm/-frei innerhalb der Messung.** Trifft dies auch für Grenz- oder Gebäudepunkte zu, können auch diese den amtlichen Lagebezug herstellen. Die dynamische Ausgleichung schafft eine unübertroffene homogene Verbindung zwischen Beobachtungen hoher Nachbarschaftsgenauigkeit (Tachymeter), hoher globaler Genauigkeit (SAPOS®) und den sonstigen Messelementen.

Für die dynamische Ausgleichung wird auf die Gewichtung der Beobachtungen der freien Ausgleichung aufgesetzt. Die anzuhaltenden Koordinaten des Katasternachweises werden nun mit einer Gewichtung – Genauigkeitsabschätzung (Standardabweichung) – in die Ausgleichung einbezogen. Mit dieser Abschätzung und den unveränderten Ausgleichungsparametern der freien Ausgleichung wird nun die innere Schleife gestartet. So nehmen diese Koordinaten in der ihnen gegebenen Bedeutung an der Ausgleichung teil. Die Anschlusskoordinaten und die neuen Messungsbeobachtungen üben einen gegenseitigen Einfluss aufeinander aus. Hierdurch sind diese Koordinaten „**dynamisch**“ (=beweglich). Diese in der Ausgleichung neu berechneten Koordinaten (für Altpunkte) sind **nicht** in den Katasternachweis zu übernehmen.

Die Gestaltung der Gewichtung kann verschiedenen Zielen dienen: Im traditionellen Bearbeitungsablauf wird die dynamische Ausgleichung für die Prüfung des Anschlusspunktfeldes auf Spannungen angewendet. Dieses Ziel setzt eine umfangreiche Netzmessung und ein kontrolliertes Aufmass der Anschlusspunkte voraus. Bei Liegenschaftsvermessungen ist das Aufmass in der Regel nicht netzförmig angelegt, oft auch nicht hinreichend ausgedehnt und ein kontrolliertes Aufmass der Anschlusspunkte nicht zwingend erforderlich. Eine signifikante Aussage über mögliche Spannungen im Anschlusspunktfeld wird deswegen nur selten möglich sein. Singuläre Fehler wie die mangelhafte Identität einer Vermarkung oder eine fehlerhafte Koordinierung können hingegen festgestellt werden.

a) Dynamische Ausgleichung mit Untergewichtung



Für den weiteren Verlauf der Bearbeitung ist es wichtig sich ein Bild darüber zu verschaffen, wie gut sich die Messung in den Katasternachweis einfügt. Für einen routinierten Sachbearbeiter erzeugt dieser Berechnungslauf nur einen geringen Aufwand.

Hierbei ist relevant, ob der Katasternachweis bereits in Koordinatenkatasterqualität vorliegt oder ob bereits eine Strategie zur Einpassung von der Katasterbehörde vorgegeben wird.

Sollen z.B. in einem Gebiet, in dem das VP-Feld bisher nicht in Koordinatenkatasterqualität vorliegt, neue Koordinaten in Koordinatenkatasterqualität eingeführt werden, so ist diese Untersuchung nur von nachrichtlicher Bedeutung und hat keinen Einfluss auf den Standardablauf (immer Fall a, s.u.).

Eine Berechnung von Klaffen zwischen **Katasternachweis** und neuer Messung kann mit einer deutlichen **Untergewichtung** der zu untersuchenden Nachweiskoordinaten erfolgen. Hierbei kommt in der Ausgleichung den untergewichteten Koordinaten nur wenig Bedeutung (und damit ein geringes Gewicht) zu. Dies wird mit einer a priori Standardabweichung für die Anschlusskoordinaten erreicht, die deutlich über der tatsächlichen Lagegenauigkeit liegt (z.B. 0,5 m). Durch die Untergewichtung der Koordinaten des Katasternachweises werden in den Verbesserungen der Koordinaten die tatsächlichen Klaffen zwischen der eigenen Messung und dem Katasternachweis sichtbar. Anhand dieser Klaffen wird die weitere Auswertestrategie festgelegt [vgl. hierzu: *Nr. 4.3 Anlage 4 VPErl.*].

Die Anschlusspunkte (LGA H und 1, neu GST 2000 und GST 2100) und SAPOS®-Messungen, die den **Lagebezug herstellen**, erhalten dabei **immer** eine **angemessene Gewichtung** (z.B.: 0,02 m für PA=1 und LGA=1 (GST 2100) und 15 mm für SA*POS*®-HEPS-Messungen)!

Durch die Ausgleichung mit Untergewichtung nicht zu überprüfen und folglich nicht abzugewichten sind Anschlusspunkte (vgl. Einführungserlass ETRS89/UTM), deren Lage bereits im AD auf Übereinstimmung mit dem Lagebezug geprüft wurden!

- Anschlusspunkte aus AP-Karte (LGA H/1, neu: GST 2000/2100)
- Punkte (LGA H/1, neu: GST 2000/2100) die innerhalb der Messung durch SAPOS®-Messungen überprüft wurden
- VP die durch kontrolliertes Aufmass mit SAPOS® neu koordiniert werden (auch „temporäre Anschlusspunkte“)

Durch die Ausgleichung mit Untergewichtung zu überprüfen und folglich abzugewichten sind alle Punkte (Koordinaten) der Messung, für die eine Berechnung der Klaffen zwischen Messung und Nachweis und eine Aussage über die Einpassung der Messung in den Nachweis sinnvoll ist.

Die berechneten Klaffen werden zur Analyse der Maßnahmen zur Einpassung der Messung in den Katasternachweis oder zum Nachweis der Identität von Vermessungspunkten genutzt, die bereits in Koordinatenkatasterqualität im Katasternachweis vorhanden sind. Probleme bei der Einpassung in den Katasternachweis können hierdurch frühzeitig aufgedeckt werden.

Um eine gesicherte Aussage über den Zustand der untersuchten Vermessungspunkte tätigen zu können, müssen diese innerhalb der eigenen Messung **kontrolliert aufgemessen** sein.

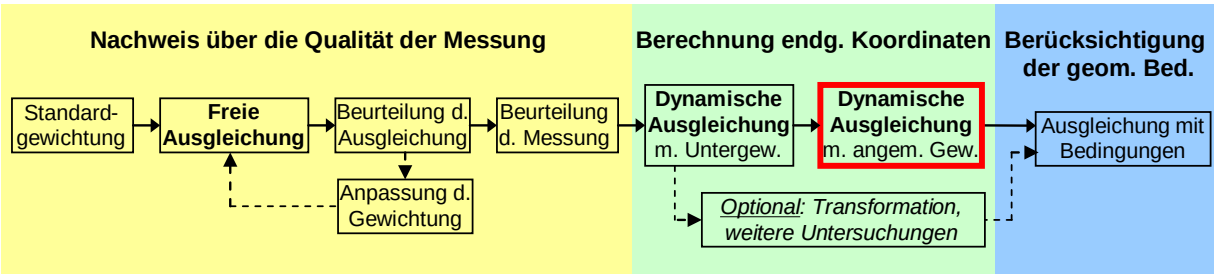
Die weitere Bearbeitung wird anhand der Ergebnisse unterschieden [anlehnend an *Nr. 4.3-4.5 Anlage 4 VPErl. „Verfahren Freie Stationierung“*]:

a. Klaffen bis zu 3 cm im Koordinatenkataster können als zufällige Fehler angesehen werden. Ein Berechnungslauf „Dynamischen Ausgleichung mit angemessener Gewichtung“ aller Koordinaten des Katasternachweises wird als „Endgültige Berechnung“ und Einpassung der Neupunkte in den Katasternachweis durchgeführt (siehe Dynamische Ausgleichung mit angemessener Gewichtung). Liegt kein Koordinatenkataster im Nachweis vor, sollte dieser Lauf als endgültige Berechnung angehalten werden, es sei denn die Katasterbehörde wünscht die Einpassung in den Katasternachweis, der schlechter als LGA1 (GST 2100) ist!

b. Bei Klaffen von 4 cm – oder besser 3 cm – bis zu 6 cm zum Koordinatenkataster muss eine nachbarschaftliche Einpassung durch eine Transformation über die Anschlusspunkte mit Restklaffenverteilung erfolgen. Hierzu sind die Koordinaten der freien Ausgleichung zu verwenden. In diesem Fall geht das hohe Maß an absoluter Lagegenauigkeit der neuen Koordinierungen verloren. Liegt kein Koordinatenkataster im Nachweis vor, sollte auch hier dieser Lauf als endgültige Berechnung angehalten werden, es sei denn die Katasterbehörde wünscht die Einpassung in den Katasternachweis, der schlechter als LGA1 (GST 2100) ist!

c Sind die Klaffen größer als 6 cm müssen die Ursachen untersucht werden, etwaige Fehler sind zu beheben. Sofern diese mit vertretbarem Aufwand nicht zu finden sind, kann unter Angabe einer stichhaltigen Begründung wie unter b. verfahren werden.

b) Dynamische Ausgleichung mit angemessener Gewichtung



Dieser Berechnungslauf greift die Ergebnisse der Ausgleichung mit Untergewichtung sowie die Vorgaben der Katasterbehörde auf und stellt den eigentlichen Berechnungslauf der „Endgültigen Koordinaten“ dar.

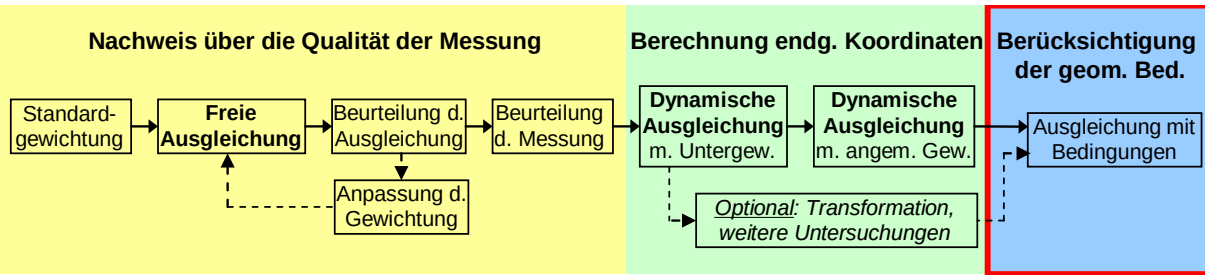
Angemessen gewichtet werden Koordinaten des Katasternachweises, die den Lagebezug herstellen und in deren Nachbarschaft die Messung eingepasst werden soll. Sie sind Anschlusskoordinaten im Sinne der Berechnung und setzen sich neben den für die Herstellung des Lagebezuges maßgeblichen Anschlusspunkten und SAPOS®-Messungen [vgl. hierzu: *AG2006, Abschnitt 6.1 Lagebezug im Außendienst, Herstellung des Lagebezuges im Außendienst*] auch aus Koordinaten weiterer Vermessungspunkte zusammen, die im Katasternachweis im LGA H oder 1 (neu: GST 2000 oder 2100) vorliegen („Einpassung in die Nachbarschaft“) [vgl. hierzu: *AG2006, Abschnitt 7.5, letzter Absatz*]. Koordinaten des Katasternachweises, die keinen Einfluss auf das Berechnungsergebnis ausüben sollen, müssen untergewichtet oder deaktiviert werden.

Auch bei diesem Berechnungslauf werden die Gewichtungen der Messwerte aus der Freien Ausgleichung angehalten.

Soll die Messung in eine spannungsbehaftete Nachbarschaft eingepasst werden, wird eine Transformation mit Restklaffenverteilung der Berechnungsergebnisse der freien Ausgleichung in das VP-Feld notwendig (siehe Fall b, Dynamische Ausgleichung mit Untergewichtung).

Die Ergebnisse der Berechnung der Endgültigen Koordinaten werden anschließend der Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen zugeführt.

5.2.4 Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen



Nr. 40.6 VPErl. fordert die Einrechnung der Koordinaten neuer Grenzpunkte in den nachgewiesenen Grenzverlauf. Nur bei einer orthogonalen Aufnahme ergibt sich dies automatisch aus der Berechnung. Bei allen anderen Aufmessungsmethoden ist hierzu ein weiterer Arbeitsschritt notwendig. Dies ist sowohl bei einer hierarchischen Berechnung als auch bei einer Ausgleichung der Fall.

Die Ausgleichungssoftware kann diesen Anspruch äußerst elegant mit einer nachgeschalteten Ausgleichung mit Bedingungen als „**Berücksichtigung geometrischer Bedingungen**“ erledigen. Dabei ist es vorteilhaft, wenn bereits die Dokumentation der Identitätsprüfungen über eine Ausgleichung durchgeführt wurde [vgl. hierzu: *Abschnitt 7.4*]. In diesem Fall können die dort bereits erfassten Bedingungen für die Einrechnung der Neupunktkoordinaten verwendet werden.

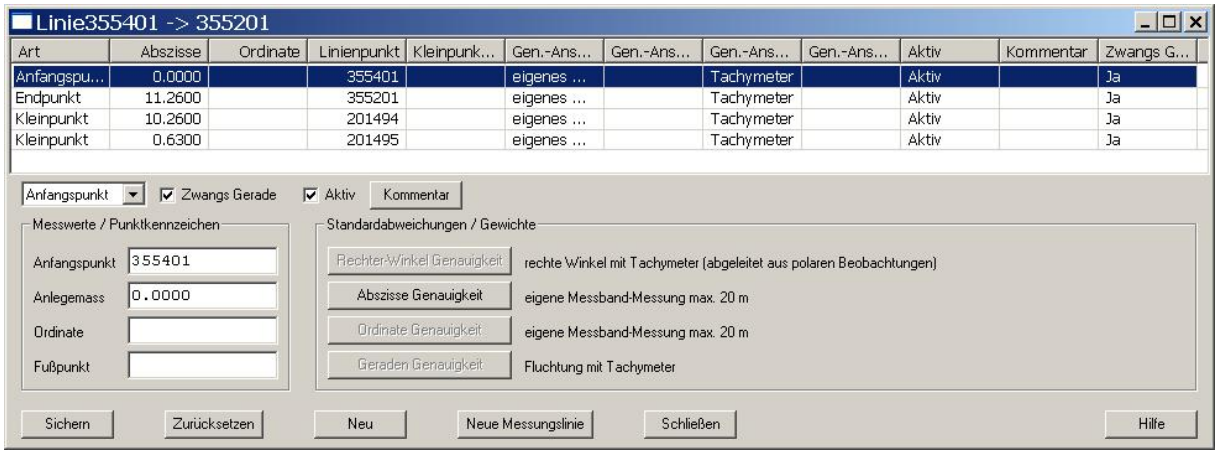


Abb. 5.12: WinKAFKA, Bedingungen aus dem Katasternachweis

Für die „Berücksichtigung geometrischer Bedingungen“ ist auf das Ergebnis der endgültigen Ausgleichung („Berechnung endgültiger Koordinaten“) aufzusetzen. Hierbei werden lediglich die Koordinaten der Punkte verändert, die einer geometrischen Bedingung (z.B. Einrechnen von Punkten in Geraden) unterliegen. Die größte zulässige Abweichung von 4 cm kann als Schranke definiert werden und darf nicht überschritten werden [vgl. hierzu: *Nr. 3.4 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*].

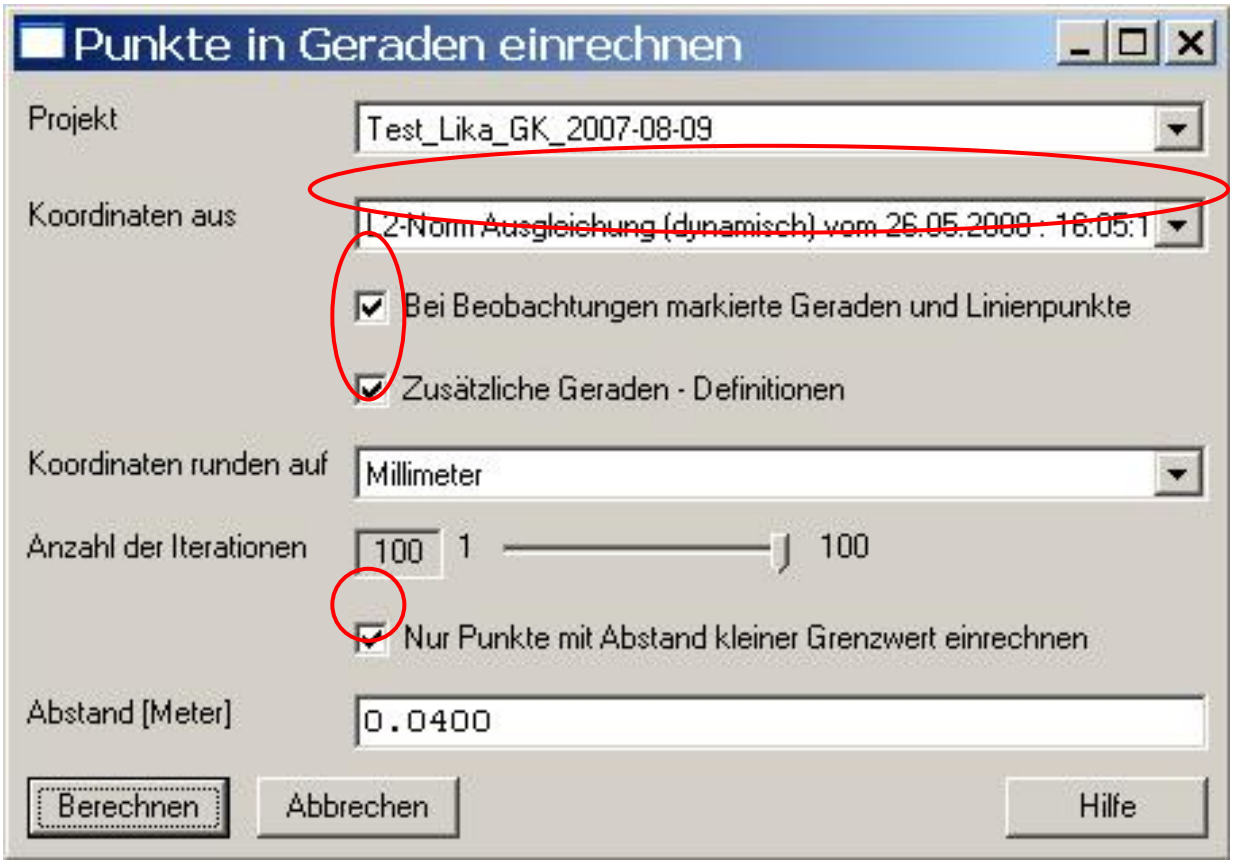


Abb. 5.13: WinKAFKA, Punkte in Geraden einrechnen

Der Umfang und die Ergebnisse werden in einer Statistik und einem Vorher-/Nachher-Vergleich dargestellt. Eventuelle Grenzwertüberschreitungen werden ausgewiesen.

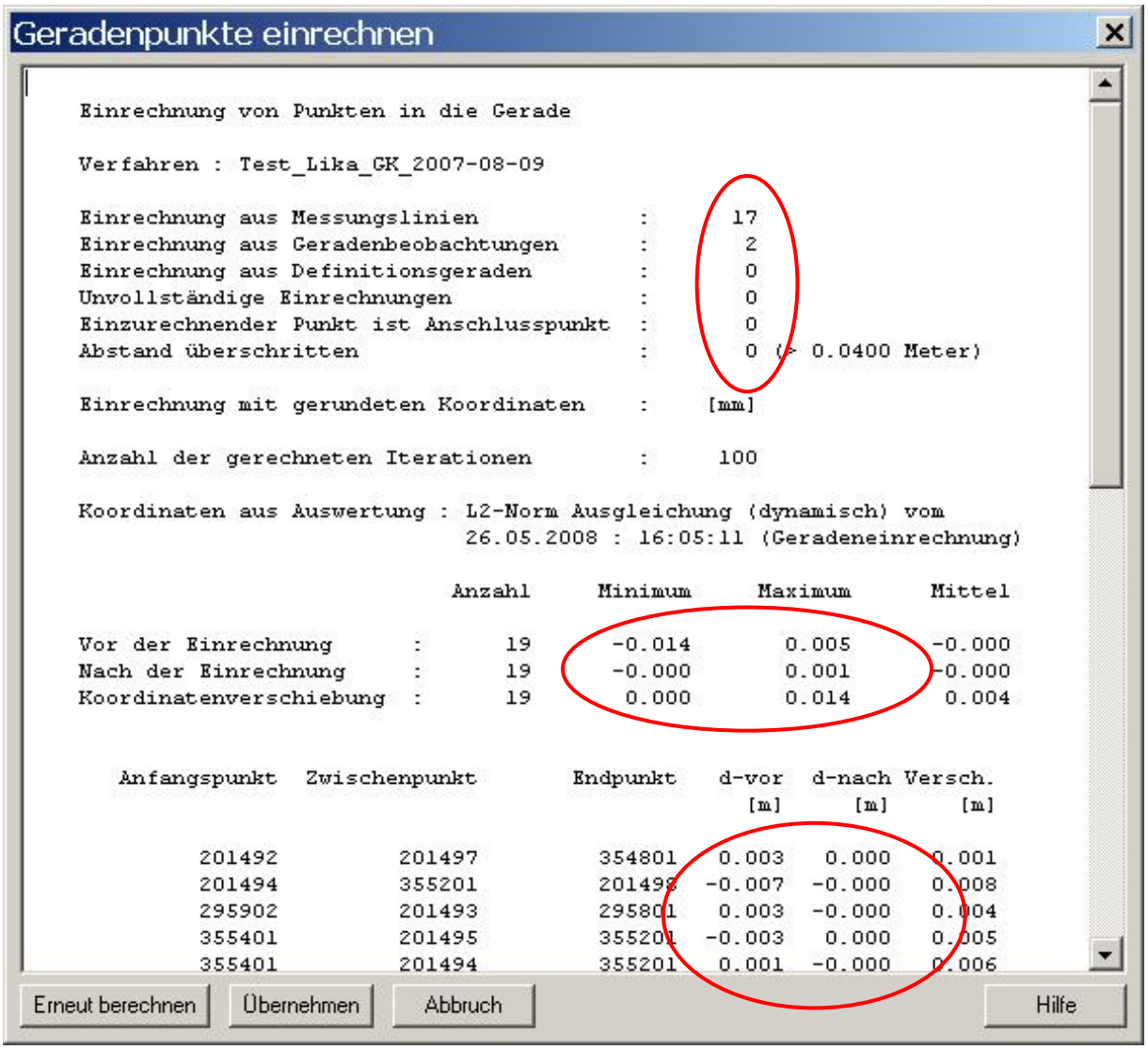


Abb. 5.14: WinKAFKA, Geradenpunkte einrechnen

5.3 Dokumentation (ID) (Stand Mai 2009)

Die Dokumentation soll das Ergebnis einer Vermessung in der Gesamtheit der Schritte, Maßnahmen und Entscheidungen mit dem Anspruch der Nachvollziehbarkeit darstellen.

5.3.1 Authentizität der Messwerte

Der Fortführungsriss gibt den realen Messvorgang mit der tatsächlichen Aufnahmegeometrie wieder. Abgeleitete Maße sind als gerechnete Maße zur Kennzeichnung geklammert. Umgeformte Maße, wie die aus einer Polaraufnahme berechneten orthogonalen Elemente oder Spannmaße, sind solche abgeleiteten und gerechneten Maße. Bei der Umformung von Messdaten ist der funktionale Zusammenhang, mit dem sich die Genauigkeit originärer Messungselemente auf abgeleitete Maßangaben überträgt (Dispersion, Fehlerfortpflanzung) abhängig von der Aufnahmegeometrie. Erst mit der Dokumentation der Aufnahmegeometrie wird erkennbar, wenn ein 10 cm Spannmaß, das im Display von Tachymeter oder Controller mit 0.104 m angezeigt wurde, aus polarer Aufnahme von einem 200 m entfernten Standpunkt aus abgeleitet ist. Es versteht sich natürlich von selbst, dass kein Leser dieses Handbuches eine solche Messanordnung wählen würde oder jemals gewählt hätte. Das Beispiel soll aber die Wesentlichkeit einer authentischen Geometrie verdeutlichen und dafür sensibilisieren, dass mit dem Übergang auf die Auflösung cm im Maß ein Genauigkeitsabfall verbunden ist, der für sich gesehen unbeachtlich ist, in der Summe aber Auswirkung auf das Ergebnis haben kann. Die Eintragung abgeleiteter Maßangaben in den Fortführungsriss kann in Ausnahmefällen durchaus sinnvoll sein, um das neue Aufmass mit der Nachweisgeometrie unmittelbar vergleichbar zu machen. Maßangaben, die durch Umformung von Messwerten des realen Messvorgangs entstanden sind, müssen aber auch deshalb gekennzeichnet werden, weil sie für die Punktbestimmung nicht relevant sind. Rechentechnisch kann lediglich die Richtigkeit der örtlich oder häuslich durchgeführten Berechnung und die ggf. händische Übertragung von einem Display in den Fortführungsriss überprüft werden. Die im Fortführungsriss und in den zugehörigen Zusatzprotokollen dokumentierten Messwerte werden in der Ausgleichung punktbestimmend verarbeitet, abgeleitete Maßangaben aus der Punktbestimmung können als abgewichtete fingierte Beobachtungen im gleichen Rechengang auf Richtigkeit geprüft werden [vgl. hierzu: *Abschnitt 7.5*].

5.3.2 Korrektheit

Insbesondere bei der simultanen Verarbeitung hybrider Messdaten aus verschiedenen Vermessungssystemen, die oft noch nicht über einheitliche Controller gesteuert und integriert verwaltet werden, muss darauf geachtet werden, dass die in der Berechnung zusammengeführten Messwerte und Anschlusspunkte einen einheitlichen Bezug aufweisen. Die von den Tachymetern registrierten Messwerte sind meist schon von systematischen Fehlereinflüssen durch das Anbringen von Korrekturen befreit. Die Parameter der Kalibrierung des Entfernungsmessteils und die in einer Vorspannmessung festgestellten Achs- und Zeigerfehler des Tachymeters sind in den meisten Instrumenten permanent hinterlegt, die atmosphärischen Bedingungen werden von Sensoren erfasst und die entsprechenden Korrekturen angebracht. Die so bereits korrigierten Daten müssen noch geometrisch reduziert werden. Tachymeterstrecken werden horizontiert und die Zulegemaße von Exzentren berücksichtigt, Richtungsbeobachtungen zu Exzentren werden zentriert. Wegen der Höhenlage des Messgebiets (ellipsoidische Höhe = NHN + Undulation ca. 46 m) muss in die Rechenfläche des Ellipsoids reduziert werden und auf dem Ellipsoid muss die Anpassung an das Koordinatengitter der Abbildung erfolgen. Es muss auch klar sein, an welcher Stelle im Prozess die entsprechenden Maßnahmen getroffen werden, und wie die Daten beschaffen sind, die aus dem/den Feldcontrollern an die Schnittstelle der Ausgleichungssoftware übergeben werden. Die Korrektion und Reduktion von Rohdaten ist auch in Einlesemodulen der Ausgleichungssoftware (z.B. KAFKA C) möglich, wobei auch die Datenaufbereitung (Zentrierung, Winkelbücher mit Reduktion und Satzmittel) erfolgen und dokumentiert werden kann. Sinnvoll ist es, die geometrischen Reduktionen bezüglich der Höhe des Messgebietes über dem Bezugsellipsoid und bezüglich der Abbildung im Ausgleichungsvorgang vom Ausgleichungsprogramm anbringen zu lassen, da hier vorab ohnehin Bezugsfläche und Abbildung auszuwählen sind. Korrektur, Horizontierung und Zentrierung der Tachymeterdaten sind außerhalb der Ausgleichung zu dokumentieren. Wünschenswert ist die Verwendung eines standardisierten Ergebnisprotokolls der Tachymeterdaten vergleichbar der Dokumentation von GNSS-Messungen [vgl. hierzu: *Anlage 4 GPS-Richtlinien, Blatt 2 und 3a*], wodurch der Weg der Datenaufbereitung ab Rohdatenerzeugung mit Bezugnahme auf Eichzeugnisse und Instrumentenprüfungen dokumentiert wird [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokumente D1 und D2*]. Dieses Protokoll wäre von der Katasterbehörde zu archivieren.

Im Unterschied zu hierarchischen Auswertungen setzt die Ausgleichungsrechnung neben korrekten Messwerten auch zutreffende Genauigkeitsabschätzungen für die unterschiedlichen Beobachtungsgruppen voraus. Zur Überprüfung der Eingabedaten, Anschlusspunkte und der Gewichtsansätze kann eine Klarschriftliste der Eingabedaten hilfreich sein [vgl. *Abb. 5.15*].

```
Hermann-Seger-Strasse Gemarkung Frechen Flur 8 Flurstueck 756 GE
 110 4 1   .0005   .0025      2.      1.      1.      0.     50.   .0033      2.
 199 0 0    .016   .0001   .0026     .02     .02      1.     .15      .5      0.
2 (I1,2(1X,A14),2F14.4,4F8.4)
C
C Lage (Import vom 02.08.2007 15:45:15)
C
C
C Daten aus Datei 114_06.rec
C
3         800001 25585643100994            0.       327.647      2.      2.                  8400
3                25585643100995        4.7034      69.58947      2.      2.                  8401
3                       800002      208.1256        41.303      2.      1.                  8424
3                       800003     128.49622        30.527      2.      1.                  8425
3                       306830     195.76932      40.73076      2.      2.                  8404
3                       306831     191.56777      18.60959      2.      2.                  8405
3                       306832     175.98582      19.74857      2.      2.                  8406
3                       306833     137.78113      32.44643      2.      2.                  8407
3         800003        800001            0.                    2.                          8426
3                       306831     358.40134      25.60449      2.      2.                  8409
3                       306832     355.62242       20.8901      2.      2.                  8410
3                       306833     279.50287       4.97309      2.      2.                  8411
3                       306834     272.37605      27.14627      2.      2.                  8412
3         800002        800001            0.                    2.                          8427
3                       306834       90.6673      32.41651      2.      2.                  8414
3                       306835      89.94461      12.79599      2.      2.                  8415
3                       306830      89.22629       7.97344      2.      2.                  8416
3                25585643100994     392.78275     368.64943      2.      2.                  8417
3                25585643100995     397.85217     110.85532      2.      2.                  8418
3                25575643150303     204.29644      361.2776      2.      2.                  8419
3         800004 25575643150303            0.     360.46342      2.      2.                  8420
3                       800001     195.63482      42.12215      2.      2.                  8421
3                       306830     278.52777       8.11834      2.      2.                  8422
3                       306835     281.61502      12.91345      2.      2.                  8423
             -99
7 (I1,1X,A14,2F14.4,F7.4,F10.4,3(1X,I1),A)
C LST = 177 ; LGA = 1 manuelle Eingabe
1 25585643100994    2558454.05   5643691.123    .03           0 0 0                        7741
C LST = 177 ; LGA = 1
1 25585643100995   2558213.974   5643595.801    .03           0 0 0                        7742
C LST = 177 ; LGA = 1 manuelle Eingabe
1 25575643150303   2557750.461   5643508.322    .03           0 0 0                        7743
             -99
0
Ende der Datei
```

Abb. 5.15: Beispiel einer WinKAFKA.dat Datei

5.3.3 Integrität

Die Integrität des Datenmaterials wird durch einen möglichst vollständigen, kontrollierten Datenfluss gewährleistet [vgl. hierzu: *Abschnitt 5.1*]. Die üblicherweise verbleibenden Widersprüche innerhalb des Datenmaterials gehen in den seltensten Fällen auf fehlerhafte Messwerte zurück. Die überwiegenden Fehlerquellen sind Nummerierungsfehler. Eine Vertauschung von Punktnummern löst grobe Geometriefehler aus. Hilfsmittel zur automatisierten Fehlersuche wie die L1-Norm oder die robuste Schätzung können bei der Aufdeckung dieser Fehler wertvoll sein [vgl. hierzu: *Abschnitt 7.1*]. Doppelnummerierungen verringern die Redundanz (Verlust von Kontrolle). Hilfsroutinen wie die Erkennung nahezu identischer Punktlagen mittels Fangradius helfen diese Fehler aufzuspüren. Die Bereinigung des Datenmaterials wird nicht dokumentiert.

Vor der Ausgleichung sind noch Beobachtungen zu mitteln, die sonst typischerweise Scheinredundanzen herbeiführen würden. Mehrfachmessungen, wie gegenseitige Streckenmessungen, führen bestenfalls zur Steigerung der Präzision bei Einführung des aus Mittelbildung gewonnenen Messwertes. Scheinredundanzen können ansonsten dazu führen, dass die Genauigkeitsansätze unzutreffend gewählt werden. Die Mittelung von Doppelmessungen sollte deshalb dokumentiert werden. Messwerte, die statistisch als grenzwertig mit groben Fehlern behaftet erkannt werden, müssen dann von der Ausgleichung ausgeschlossen werden, wenn ein maßgeblicher Einfluss auf das Ausgleichungsergebnis festzustellen ist. Die Maßgaben des *VPErl.* geben hierfür verbindliche Entscheidungskriterien vor [vgl. hierzu: *Abschnitt 5.2, 2d*]. Entscheidungen sind im Einzelfall auch hiervon abweichend möglich, dann aber durch geeignete Erläuterungen zu begründen. Die Abgewichtung einer grob fehlerhaften Beobachtung führt zur Verdeckung eines groben Fehlers und soll zur Vermeidung von Scheinredundanzen unterbleiben. Eine begründete Ausnahme für eine Abgewichtung könnte eine unvermeidbare Beobachtung zu einem verlängerten Prismenstab oder die unscharfe Kontur einer Gebäudeecke sein. Die Abgewichtung einzelner Beobachtungen sollte dokumentiert und plausibel begründet werden.

5.3.4 Vollständigkeit

In der Ausgleichung werden alle Messwerte verarbeitet, auch diejenigen, die klassisch nur kontrollierende Funktion haben, wie das Spannmaß auf der Messungslinie. Außerdem sind messtechnisch ermittelte Geometrien wie Kontinuität von Gerade und Kreisbogen, Rechtwinkligkeit, Abstand und Parallelität auch als Messung zu erfassen und mit entsprechenden Genauigkeitsansätzen zu gewichten.

Neben den gemessenen Beobachtungen ist es unverzichtbar, in die Berechnung fingierte Beobachtungen einzufügen, um Sachverhalte zu testen [vgl. hierzu: *Abschnitt 7.5*]. Fingierte Beobachtungen werden so schwach gewichtet, dass das Ausgleichungsergebnis nicht von diesen Beobachtungen beeinflusst wird. Typische Anwendungen sind:

- Prüfung augenscheinlicher oder vermuteter Gerad- oder Grenzständigkeit,
- Überprüfung der Einpassung der Nachweisgeometrie (Messungszahlen des Nachweises) in das getätigte Aufmass,
- Koordinatenvergleich zur Prüfung von Punkten des Koordinatenkatasters,
- Koordinatenvergleich für Punkte des Nachweises als Nachbarschaftskriterium, falls noch kein Koordinatenkataster vorliegt,
- Kontrolle der richtigen Ermittlung und Übertragung abgeleiteter (berechneter) Maßangaben in den Fortführungsriss.

Zur Vollständigkeit bedarf es noch der Eingabe von Beobachtungen, welche die Einhaltung von Bedingungen gewährleisten. Diese beziehen sich insbesondere auf das Einhalten eigentumsrechtlich relevanter, geometrischer Bedingungen für Punkte in Geraden oder auf Kreisbögen. Bedingungsbeobachtungen für Geradlinigkeiten können teilweise automatisiert generiert werden, indem bei der Eingabe der gemessenen Geometrie die Zwangsbedingung als Schalter gesetzt wird [vgl. *Abb. 5.16*].

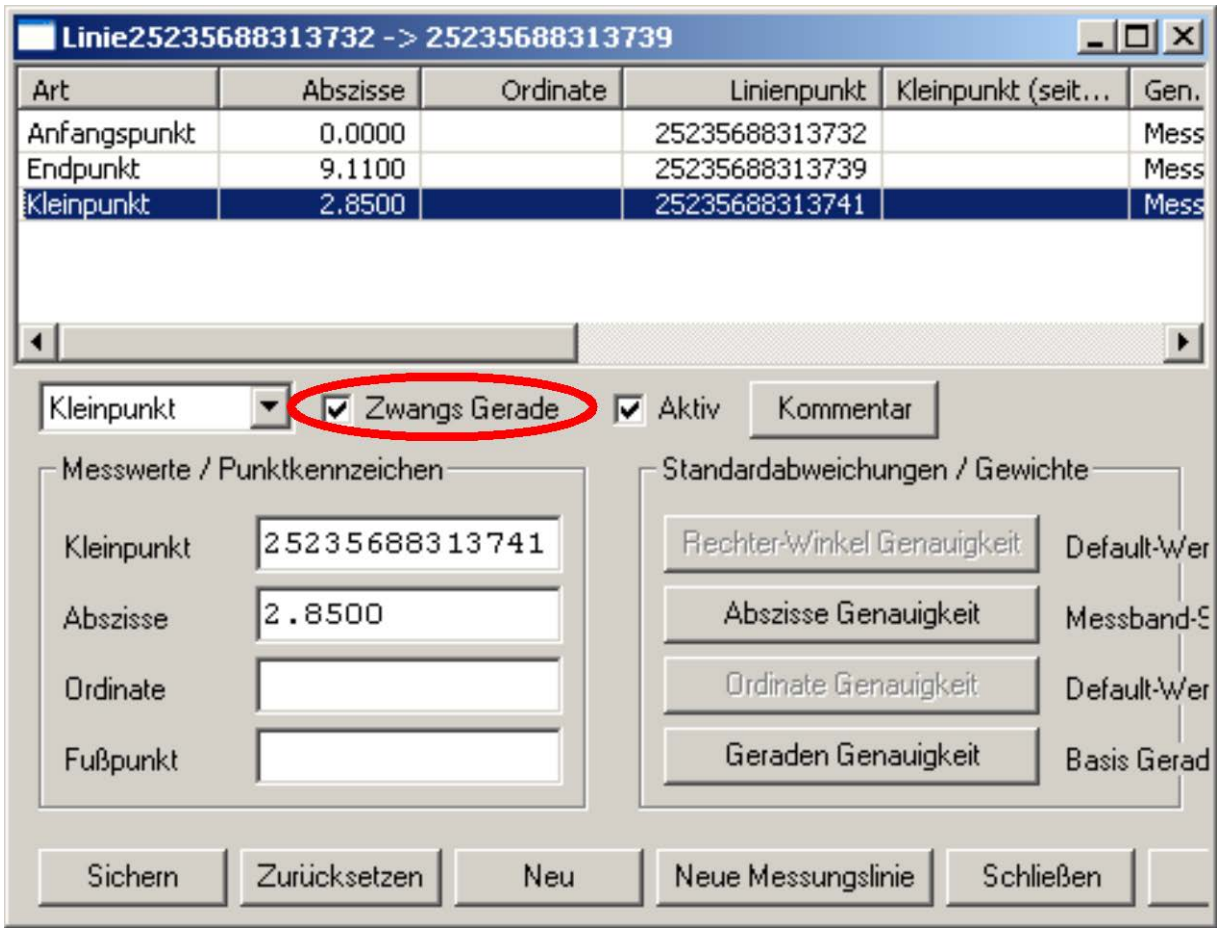


Abb. 5.16: Setzen einer Zwangs Gerade in KAFKA

Auch die Einhaltung der in Teilungsgenehmigung oder Grenzniederschrift verbindlich dokumentierten Geometrien in den Ergebniskoordinaten kann mit Zwangsbeobachtungen gesteuert werden [vgl. hierzu: *Abschnitt 7.5*].

5.3.5 Übersichtlichkeit

Weil in der Ausgleichungsrechnung Daten verschiedener Beobachtungsgruppen unterschiedlicher Herkunft mit verschiedenen Intentionen zusammengeführt werden, sollten Kommentierungsmöglichkeiten genutzt werden, die von der Software angeboten werden. Die Messwerte können nach Ihrer Herkunft geordnet erfasst werden (in Ordnern) [vgl. *Abb. 5.17*].

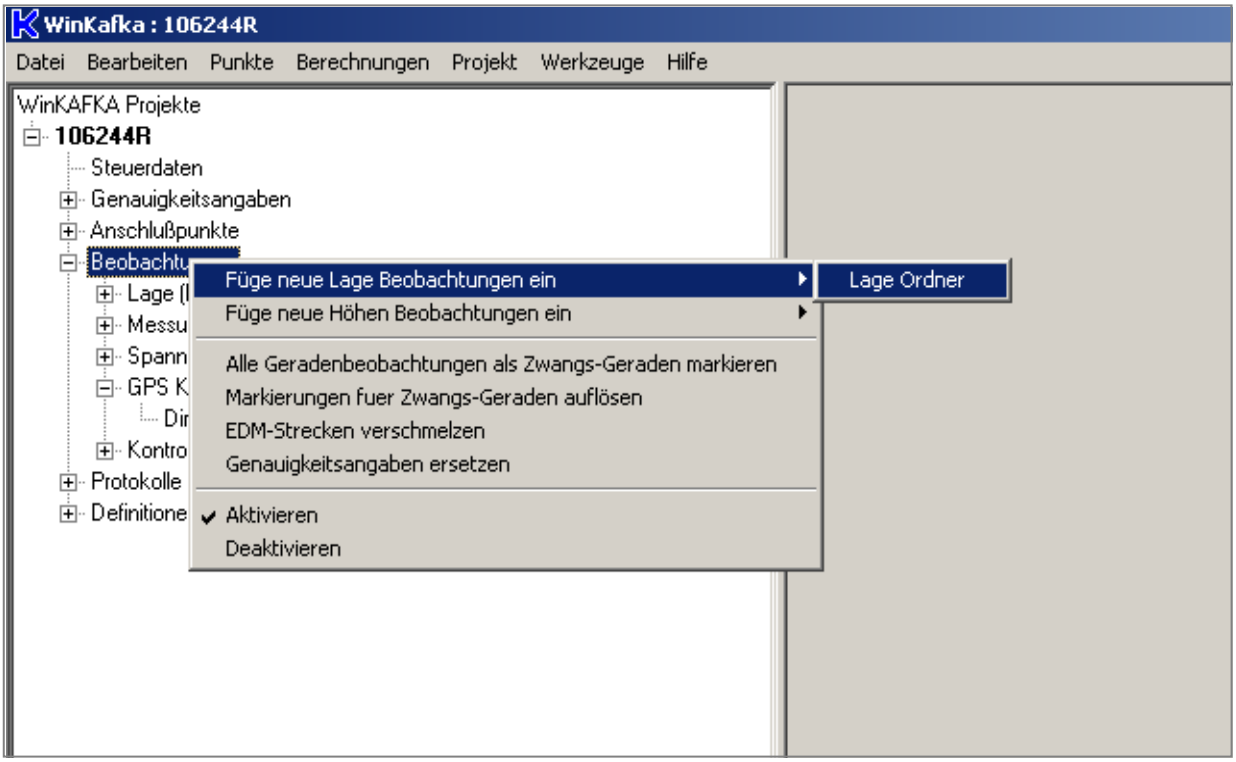


Abb. 5.17: Anlegen neuer Ordner in WinKAFKA für verschiedene Beobachtungsgruppen

Die Ordner können anschließend umbenannt werden.

Es empfiehlt sich eine Rissweise Zusammenstellung der Beobachtungen, wenn Messungszahlen verschiedener Risse in die Ausgleichung eingeführt werden sollen. Die Übersichtlichkeit in den Daten erleichtert die Prüfung und gewährleistet eine schnelle Editierbarkeit. In der Berechnung können dann auch die Verbesserungen und statistischen Merkmale der Beobachtungen eines Ordners zusammengefasst eingesehen werden.

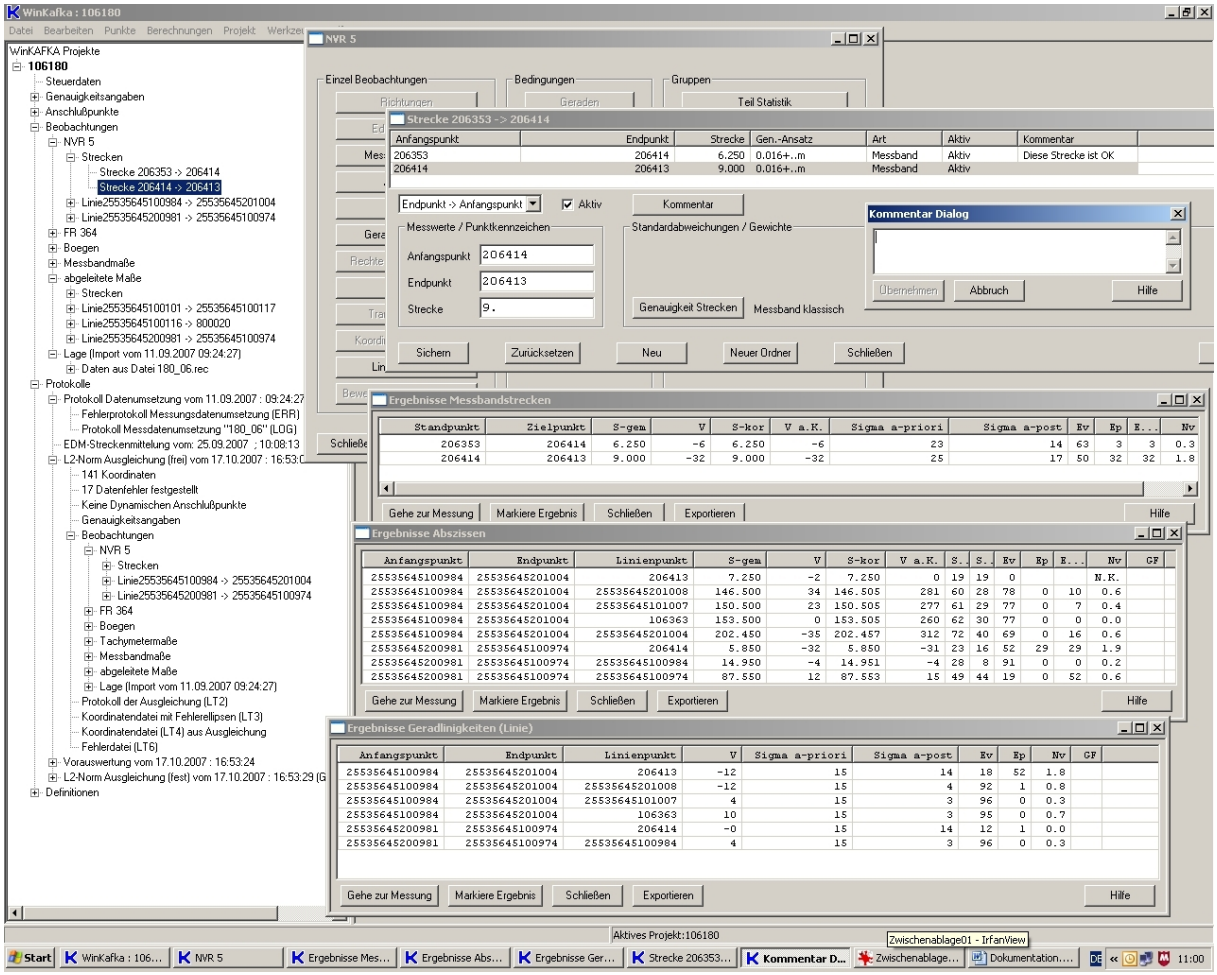


Abb. 5.18: Die Ergebnisse eines Ordners können in WinKAFKA in je einem Fenster dargestellt und editiert werden.

5.3.6 Strukturiertheit, Nachvollziehbarkeit und Übersichtlichkeit

Die Nachvollziehbarkeit einer Dokumentation setzt als Struktur einen zielgerichteten, möglichst schematisierten Auswerteweg (Standardauswerteweg) voraus, der in einer übersichtlichen Zusammenstellung unter Angabe der prüf- und beurteilungsrelevanten Sachverhalte nachgewiesen wird. Diese Zusammenstellung ist mit der *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM* gelungen, die in KAFKA mit den *Dokumenten F-J* implementiert worden ist. Hier werden auch die, aufgrund statistischer Tests, vermuteten Defizite der Vermessung zusammengestellt, die von der Vermessungsstelle erläutert werden müssen.

Fazit:
Die Arbeitsgemeinschaft unterstützt die einheitliche Dokumentation von Arbeitsergebnissen bei Liegenschaftsvermessungen. Bereits im Handbuch „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“ [*AG2006*] ist eine vollständige Dokumentation einer Ausgleichungsrechnung dargestellt worden. In ihrer Vollständigkeit sind die Protokolle der Berechnung, wie sie in der *Anlage 6 Einführungserlasses ETRS89/UTM* gefordert werden, anfangs sehr erdrückend. Allerdings ist der alltägliche Umgang mit Ihnen durchaus anders als die anfängliche Wahrnehmung. Die Aufstellung der Protokolle erfolgt automatisiert mit einer Software wie z.B. KAFKA. Für die Beurteilung der Berechnung sind während der Bearbeitung nur zwei Protokolle wichtig:

- *Dokument F, „Nachweis über die Qualität der Messung“* (freie Ausgleichung)
- *Dokument H, „Berechnung endgültiger Koordinaten“* (dynamische Ausgleichung mit angemessener Gewichtung)

In diesen Protokollen sind alle wichtigen Fakten kompakt und übersichtlich zusammengefasst. Der Blick in diese Protokolle macht die Suche nach Details in langschriftlichen Protokollen weitestgehend entbehrlich. Es wäre töricht, andere Protokolle zu benutzen, wenn das verwendete Softwareprodukt in der Lage ist diese zu erzeugen.

Die Ergänzung der weiteren Protokolle zu vollständigen Vermessungsschriften unterscheidet sich nicht von der herkömmlichen hierarchischen Auswertung:

- *Dokument A, „Verwaltungsdaten“*
- *Dokument C1 „Allgemeine Daten zur GPS-Messung“*
- *Dokument C2 „GPS-Messwerte“*
- *Dokument D1 „Allgemeine Daten zur Tachymetermessung“*
- *Dokument D2 „Korrigierte und reduzierte polare Messwerte“*
- *Dokument I „Berücksichtigung geometrischer Bedingungen“*
- *Dokument J „ VP-Liste“*

Die Inhalte dieser Protokolle finden sich bereits heute in jeder Vermessungsschrift, allerdings in sehr individuellen Darstellungen. Vielleicht sollte man versuchen, die einheitliche Form der Protokollierung Schritt für Schritt umzusetzen und immer, wenn ein neues Softwareprodukt eingesetzt werden soll, darauf zu achten, dass dieses Ziel unterstützt wird.

Einige Ausgleichungsprogramme bieten die Möglichkeit der Flächenberechnung zur Vervollständigung der Vermessungsschriften.

Auf der Homepage der Bezirksregierung Köln steht eine vollständige Dokumentation und das dazugehörige WinKAFKA-Projekt zum herunterladen bereit [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1*].

6. Qualifizierung und Übernahme ins Kataster

6.1 Datenfluss (Stand April 2014)

Auch wenn auf die Papierform aus formalen Gründen noch nicht ganz verzichtet werden kann, ist aus Sicht der Arbeitsgemeinschaft unabhängig vom Auswerteweg ein digitaler Datenaustausch anzustreben. Folgende Umsetzung ist denkbar:

- Messdatenprotokolle als ASCII-Dateien;
- Berechnungsprotokolle als PDF-Dateien;
- Ergebnisse (Koordinaten) als NAS-ERH (Stufe 1);
- Projektdateien (z.B. aus KAFKA).

Jede Katasterbehörde sollte zu diesem Zweck eine zentrale E-Mailadresse einrichten, an welche die Daten gesendet werden können. Neben den Protokollen und den Koordinaten der Neupunkte sowie der neu berechneten Altpunkte sollte das komplette KAFKA-Projekt übertragen werden. Die Katasterbehörde entscheidet dann über den Umfang und die Art der Archivierung. Die KAFKA-Auftragsdateien können von der Katasterbehörde bei Bedarf für eigene Auswertungen verwendet werden.

Neben dem digitalen Datenaustausch sind bis auf weiteres folgende Teile der Vermessungsschriften im Original bei der Katasterbehörde zur Archivierung einzureichen:

- Fertigungsaussage;
- Grenzniederschriften;
- unterzeichnete Messdatenprotokolle;
- Fortführungsrisse;
- Teilungsgenehmigungen bzw. Festlegungen.

Weitergehende Berechnungen sowie das Flächenberechnungsprotokoll/-heft können ebenfalls als Datei übertragen werden.

6.2 Umfang (Stand April 2014)

Als Ergebnis der Fortführungsvermessung sind im Rahmen der hier bearbeiteten Thematik unter dem Anspruch Koordinatenkataster insbesondere die durch Ausgleichung berechneten Koordinaten neuer Punkte und neue (verbesserte) Koordinatenwerte für Punkte des Nachweises zu verstehen. Für die Neupunkte sowie für die Altpunkte, deren Anhebung in der Lagegenauigkeit mit verbesserten Koordinatenwerten vorgeschlagen wird, sind auch die Angaben zur Genauigkeit (Präzision und Zuverlässigkeit) als Ergebnis zu betrachten (VP-Liste [vgl. hierzu: *Anlage 3 FortfVErl. und Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument J*]). Neben einem konkreten Maß für die individuelle Genauigkeit eines Punktes (mittlerer Punktfehler / Achsen der Fehlerellipse als Wert der Lagegenauigkeit) kommt als Ergebnis auch die Einordnung eines Punktes in diskrete Genauigkeitsklassen (Genauigkeitsstufe GST) in Frage, die von der Vermessungsstelle vorzuschlagen wäre.

In der folgenden Liste sind die wichtigsten Punkte aufgeführt, die nach Auffassung der Arbeitsgemeinschaft zur Beurteilung der Ausgleichungsergebnisse (Koordinatenberechnung) herangezogen werden sollten.

6.2.1 Messprotokolle

- **GNSS-Messungen** (richtlinienkonforme GNSS-Dokumentationen im Bezugssystem ETRS89/UTM; inkl. der vorgenommenen Vorabeinstellungen sowie der Antennenkalibrierung [vgl. hierzu: *Anlage 4 GPS-Richtlinien, Blatt 2 & 3a; Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument C1 & C2*])
- **Polarmessungen** (Protokolle der Polarmessungen mit entsprechender Auswertung; beizufügen sind Eichprotokolle der benutzten Geräte, sofern die aktuellen Eichprotokolle der Katasterbehörde nicht bereits aus früheren Messungen vorliegen [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument D1 & D2*]))
- **ggf. orthogonale Messelemente** (im Fortführungsriss dokumentiert)
- **Fortführungsriss** (Zuordnung der verschiedenen Messprotokolle anhand des Risses)
- **benutzte Anschlusspunkte** (Kontrolle und Beurteilung des Anschlusszwangs)
- **Kontrollpunkt** (bei GNSS-Messungen erforderlich zur Kontrolle der Systemfunktionalitäten)

6.2.2 Auswertung

- **Lauffähige Auftragsdateien** (per E-Mail, z.B. KAFKA-Auftragsdatei)
- **Auswerte- bzw. Berechnungsprotokolle** (die Protokolle müssen verständlich und nachvollziehbar sein, einheitliche Protokolle sind zu bevorzugen; Grenzwertüberschreitungen müssen deutlich zu erkennen sein und kommentiert werden)
- **Koordinatendateien** (per E-Mail übersendete Koordinatendateien müssen im NAS-ERH Format sein)

6.3 Qualifizierung durch die Vermessungsstelle und Übernahme durch die Katasterbehörde (Stand April 2014)

Als Hilfsmittel für die Prüfung der Ausgleichungsberechnung im Rahmen der Qualifizierung der Vermessungsschriften bei der Übernahme durch die Katasterbehörden haben die Arbeitsgemeinschaften bei den Bezirksregierungen Köln und Düsseldorf die als Anhang 4 (Kapitel 13) beigefügte Checkliste mit den entsprechenden Erläuterungen entwickelt. Geprüft werden darin die Angaben in den Dokumenten F, G, H, I und J der Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM im Liegenschaftskataster (NRW-Dokumentation). Auch die Vermessungsstellen können diese Checkliste nutzen, um vor der Fertigungsaussage ihre Ausgleichungsberechnung zu prüfen.

Grundlage für die Prüfung ist der hier beschriebene Berechnungsablauf. Die Anwendung der Checkliste kann bei alternativen Berechnungswegen zu Fehleinschätzungen führen.

Treffen bei der Prüfung durch die Checkliste grau hinterlegte Felder mit roter Schrift zu, würde dies zu einer Beanstandung der Berechnung führen. Daher sind notwendige Abweichungen von der Checkliste zu begründen und mit der Katasterbehörde abzustimmen.

Maßgebend für die Übernahmeentscheidung bleibt immer die Vorschriftenlage. Die Checkliste ersetzt nicht die Dokumentation gem. Anl. 6 EinfErl. ETRS89/UTM und ist nicht Bestandteil der Vermessungsschriften.

In die Ausgleichung dürfen nur Beobachtungen/ Messungselemente eingeführt werden, die auch tatsächlich im Rahmen der aktuellen Liegenschaftsvermessung erhoben wurden. D.h. es dürfen zum Beispiel keine orthogonalen Elemente verwendet werden, die aus den örtlich bestimmten (polaren) Messungselementen abgeleitet wurden. Messungselemente, die aus dem Katasternachweis stammen, dürfen nur in begründeten Ausnahmen (mit Kommentierung) verwendet werden. Notwendige Geradheitsbedingungen sind erst nach der „Berechnung endgültiger Koordinaten“ herzustellen. Vgl. hierzu auch die Kapitel 4 und 7.

Innerhalb des Berechnungslaufs ist auf eine korrekte Korrektion und Reduzierung der Messelemente zu achten. Vgl. hierzu auch Kapitel 7.

Im Einzelnen wird nachfolgend in den einzelnen Protokollen auf die zu prüfenden Einstellungen und Ergebnisse ausführlich hingewiesen:

Im *Abschnitt 5.2 (Datenverarbeitung (ID), Berechnung der Koordinaten)* wurde bereits die Aufstellung und die Durchführung der Berechnung beschrieben. Zur Überprüfung der eigenen Messung wurde dabei als erste Ausgleichung der Typ „freie Ausgleichung“ durchgeführt. Hierzu muss eine zuverlässige Berechnung mit ausgewogener Gewichtung der Beobachtungsgruppen aufgestellt und dokumentiert werden (Dokument F).

Die **Qualifizierung des „Nachweises über die Qualität der Messung**“ (freie Ausgleichung) beinhaltet die abschließende Prüfung des fachgerechten Einsatzes der Steuerparameter, der Zuverlässigkeit der Berechnung und der Qualität der Messung (Beobachtungen). Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Beobachtungen und die Steuerparameter werden bei der Ausgleichungsrechnung in einen engen funktionalen Zusammenhang gebracht. Die Ergebnisse der Ausgleichung, Koordinaten und statistische Angaben gewinnen an Aussagekraft, je homogener die Beobachtungen und je höher die Redundanz ist. Allgemein sollte man bei der Wahl der a priori Gewichte Erfahrungswerte benutzen. Insbesondere bei kleineren Messungen entspricht die Stichprobe der Beobachtungen nicht immer einer Normalverteilung.

Wichtiger als eine optimale Statistik ist (in solchen Fällen) eine realistische a priori Gewichtung.

***1. Prüfung des fachgerechten Einsatzes der Steuerparameter (Steuerdaten)*:**

- zutreffende Abbildung / Reduktion auf die Rechenebene
- Abbruchkriterium der Iteration: maximaler Konvergenzfortschritt
- Zulässige Gewichtung der Beobachtungsgruppen
- Grenzwerte für die Dokumentation von unkontrollierten (EV<10%) und grob fehlerhaften Beobachtungen (NV>2)

Den äußeren Rahmen für die Steuerparameter bilden dabei die Vorgaben des VPErl. [vgl. hierzu: *Nr. 2 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. Überschreitungen dieser Vorgaben sind nicht zulässig. Meist werden Erfahrungswerte eingesetzt, um optimale Ergebnisse zu erreichen. Diese müssen innerhalb der Grenzen des VPErl. liegen. Von der Arbeitsgruppe wurde eine *.kpt erarbeitet, die solche Werte enthält. Diese *.kpt enthält praktikable Steuerparameter, die die Vorgaben des VPErl. einhalten.

Wichtig ist auch einen Blick auf das in der Berechnung voreingestellte Bezugssystem mit der dazugehörigen Abbildungsreduktion zu werfen, denn die Strecken werden in der Regel unreduziert übernommen und erst zur Berechnung auf die Abbildungsebene reduziert.

Reduktion auf die Rechenfläche	mittlere Gebietshöhe	70	m
Abbildung	Art der Abbildung	UTM	
	Ellipsoid	GRS 80	
	Streifen- / Zonenbezeichnung	32	
	Abstand vom Hauptmeridian	161.2	km

Abb. 6.1: Reduktion auf die Rechenebene; [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Ein erfolgreicher Ausgleichungslauf beinhaltet in der Regel mehrere Iterationen. Für den Konvergenzfortschritt der Iterationen [vgl. *Abschnitt 5.2*] muss ein geeignetes Abbruchkriterium definiert sein. Dies wird zum Beispiel bei KAFKA über einen zulässigen maximalen Konvergenzfortschritt festgelegt. Wird dieser unterschritten, wird keine weitere Iteration gestartet. Leider wird dieser Steuerparameter in der Dokumentation der *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM* nicht aufgeführt. In *Abb. 6.2* ist der Parameter in der Erfassungsmaske des Programms KAFKA dargestellt. Der Konvergenzfortschritt zwischen den Ergebnissen der letzten beiden Iterationen wird protokolliert und kann beurteilt werden [vgl. *Abb. 6.5*].

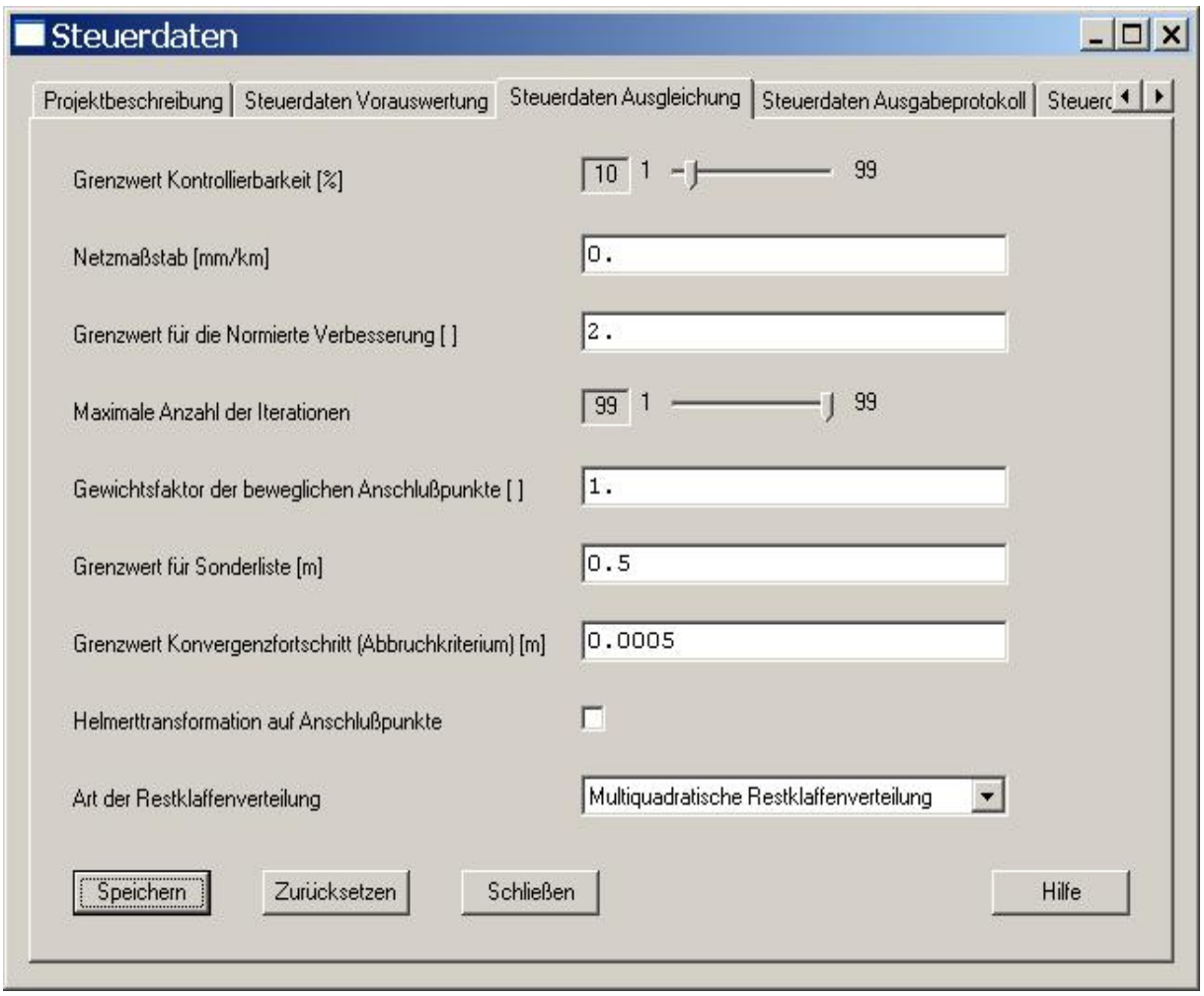


Abb. 6.2: WinKAFKA, Steuerdaten

Eine zentrale Rolle bei der Ausgleichungsrechnung spielt die Gewichtung der Beobachtungen, deswegen kommt ihr auch bei der Qualifizierung der Messung und Berechnung eine besondere Bedeutung zu. Zunächst müssen die a priori Gewichtungen geprüft werden. Die ihnen zu Grunde liegenden Genauigkeitsabschätzungen der Beobachtungsgruppen müssen die Vorgaben des VPErl. [vgl. hierzu: *Nr. 2 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. einhalten. Die benutzten Erfahrungswerte und die Optimierungen für die Ausgleichungsberechnung dürfen die im VPErl. dargestellten Grenzwerte nicht überschreiten. In der Regel werden die Abschätzungen der Standardabweichungen sehr viel tiefer angesetzt. Neben den Standardabweichungen werden die Gewichte noch durch Überhöhungsfaktoren gesteuert. Diese gehen mit ihrer Wurzel in die Gewichtung ein. Es können auch individuelle Gewichtungen angebracht werden. Diese sollten immer mit einer Begründung kommentiert sein. Auch hier müssen die Grenzen des VPErl. eingehalten werden.

Gewichtung der Beobachtungen

	Standardabweichungen der Beobachtungsgruppen a priori	Varianzkomponenten der Beobachtungsgruppen a posteriori
Messband-Strecken	+-(0.016 + 0.0001 S + 0.0026 S **1/2) M * 0.40825	0.826
Edm-Strecken	+-(0.0100 M + 1.00 PPM) * 1.00000 * 0.70711	0.955
Richtungen	+-(0.00050 GON + 0.0027 M * RHO / S) * 1.00000 * 1.82574	0.852
Transformationen	+-(0.0150 M)	0.827
Linienmaßstäbe	+-(0.1500 M/100M) * 1.00000	
Geraden	+-(0.0100 M) * 1.00000	0.697
Rechte Winkel	+-(0.0100 M) * 1.00000	

Gewichtseinheitsfaktor sigma-0² der Messung 0.818

Redundanz 82

Individuelle Gewichtung Keine

Abb. 6.3: Standardabweichungen der Beobachtungsgruppen a priori bei KAFKA; [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Mit den hier dargestellten Prüfungen können die wichtigsten Einflüsse auf eine Ausgleichungsberechnung hinsichtlich der Steuerparameter geprüft werden. Es gibt sicherlich noch weitere Steuerparameter und Wechselwirkungen, die man darstellen könnte. Die Arbeitsgemeinschaft möchte darauf verzichten, da es hierzu bereits Literatur gibt.

Grenzwert für NV	2.0	
Grenzwert der Kontrollierbarkeit EV	10	%
Zieleinstellfehler	0.003	m
Anzahl der zu rechnenden Iterationen	99	

Abb. 6.4: Grenzwerte NV und EV sowie Anzahl der maximal durchzuführenden Iterationen [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Für die Detektierung von Groben Fehlern und unkontrollierten Beobachtungen müssen in den Steuerparametern Grenzwerte gesetzt werden. Diese sind für die Ausgleichungsrechnung im Liegenschaftskataster im VPErl. [vgl. hierzu: *Nr. 2.32 & 2.33 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. festgelegt. Werden diese bei einzelnen Beobachtungen überschritten, so werden sie in einer Liste aufgeführt. Wie dort verfahren wird, ist im dritten Teil (s.u.) beschrieben.

***2. Prüfung der Zuverlässigkeit der Berechnung*:**

- Rechenkontrolle der Redundanz
- Anzahl der gerechneten Iterationen, maximaler Konvergenzfortschritt
- Balance der Gewichtung der Beobachtungsgruppen anhand der Varianzkomponenten der Beobachtungsgruppen a posteriori

Im zweiten Teil der Ausführungen soll nun auf die Interpretation der statistischen Ergebnisse, die die **Zuverlässigkeit der Berechnung** beschreiben, eingegangen werden.

Die „Kontrolle der Redundanz“ sollte übereinstimmen. Abweichungen könnten an einer nicht ausreichenden Anzahl an Iterationen, unzureichenden Näherungskoordinaten, zu vielen groben Fehlern oder einem Netzdefekt liegen. Diese Mängel sind allesamt grundlegender Natur und sollten bereits in der Aufstellung der Berechnung beseitigt worden sein. Bei der Prüfung muss die „Kontrolle der Redundanz“ immer übereinstimmen.

Zuverlässigkeit der Berechnungen

Kontrolle der Redundanz	82.0	Redundanz	82
gerechnete Iterationen	9	Max. Konvergenzfortschritt	0.000

Abb. 6.5: Zuverlässigkeit der Berechnungen; [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Die Angabe „gerechnete Iterationen“ zeigt die Anzahl der durchgeführten Iterationsschritte [vgl. hierzu: *Abschnitt 5.2*], die benötig wurden, um den als Grenzwert definierten „Maximalen Konvergenzfortschritt“ zwischen den Ergebniskoordinaten der letzten und vorletzten Iteration zu unterschreiten. Voraussetzung hierfür ist eine konvergierende Iteration und eine hinreichend große Anzahl zulässiger Iterationen (z.B. 99, siehe auch *Abbildung 6.4*) in den Steuerparametern.

Gewichtung der Beobachtungen

	Standardabweichungen der Beobachtungsgruppen a priori	Varianzkomponenten der Beobachtungsgruppen a posteriori
Messband-Strecken	+-(0.016 + 0.0001 S + 0.0026 S **1/2) M * 0.40825	0.826
Edm-Strecken	+-(0.0100 M + 1.00 PPM) * 1.00000 * 0.70711	0.955
Richtungen	+-(0.00050 GON + 0.0027 M * RHO / S) * 1.00000 * 1.82574	0.852
Transformationen	+-(0.0150 M)	0.827
Linienmaßstäbe	+-(0.1500 M/100M) * 1.00000	
Geraden	+-(0.0100 M) * 1.00000	0.697
Rechte Winkel	+-(0.0100 M) * 1.00000	

Gewichtseinheitsfaktor sigma-0² der Messung	0.818
Redundanz	82
Individuelle Gewichtung	Keine

Abb. 6.6: Varianzkomponenten der Beobachtungsgruppen a posteriori bei KAFKA; [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Die Gewichtseinheitsfehler (Varianzkomponenten) der Beobachtungsgruppen sollen möglichst gleich groß sein. Geringe Redundanz, inhomogene Messwerte oder zu wenige Beobachtungen führen zu einer Streuung. Der VPErl. [vgl. hierzu: *Nr. 2.31 (5) Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*] erlaubt eine Bandbreite von 0,6 bis 1,4. Abweichungen vom Wert 1,0 können dazu führen, dass grobe Fehler und unkontrollierte Beobachtungen nicht erkannt oder unzutreffend ausgewiesen werden [vgl. hierzu: *Abschnitt 5.2*].

***3. Prüfung der Qualität der Messung*:**

- Kontrolliertheit der Beobachtungen anhand der dokumentierten Grenzwertunterschreitungen (s.o.), auch für das Aufmaß der Anschlusspunkte! Ggf. Kommentierungen
- Genauigkeit der Beobachtungen anhand der dokumentierten Grenzwertüberschreitungen (s.o.), wenn der Einfluss auf die Punktlage >2 cm ist, ggf. Kommentierungen
- 2/3 der Beobachtungen sollen normierte Verbesserungen < 1 haben [vgl. hierzu: *Nr. 1.2 Absatz 1 Anlage 3 VPErl.*]

Die statistischen Angaben zur Qualität der Messung können nur nach korrekter Einsetzung der Steuerparameter und erfolgreicher (zuverlässiger) Ausgleichung erfolgen.

Die Dokumentation von unkontrollierten Beobachtungen erfolgt bei Unterschreitung des Wertes EV unter 10% [vgl. hierzu: *Nr. 2.33 Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. Neben einer tatsächlich fehlenden Kontrolle können aber auch legitime Ursachen für eine Unterschreitung vorliegen.

Bei einem Aufmaß von zwei Tachymeterstandpunkten kann durch die unterschiedliche Charakteristik der a priori Genauigkeitsformeln und der daraus resultierenden Differenz in den Gewichten der Beobachtungen das EV unter 10% sinken. [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Gymnich“*]. Gleiches gilt insbesondere für Tachymetermessungen, die durch Messbandmessungen kontrolliert werden sollen. Durch den Wert EV werden die Kontrolliertheit der Beobachtungen und nicht die der Punktlagen dargestellt!

Ebenfalls gelistet werden einfache Aufmaße von Vermarkungen zur Identitätsprüfung. Eine entsprechende Kommentierung der gelisteten Beobachtungen sollte vorhanden sein.

Liste der unkontrollierten Beobachtungen [2)]	Beob.Nr.	EV (%)	Bearbeitungsvermerk
Gerade Punkt 700002	2	0	Hilfspunkte!
Gerade Punkt 700001	70	0	

Abb. 6.7: Liste der unkontrollierten Beobachtungen; [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Überschreitungen des Grenzwertes (k = 2) der Normierten Verbesserung (NV) werden als grobe Fehler gelistet, wenn ihr Einfluss auf die Punktlage (EP) größer als 2 cm ist [vgl. hierzu: *Nr. 2.32 & 2.34 (2) Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“*]. Nur in diesem Fall ist der Einfluss signifikant. Eine Kommentierung ist unabdingbar.

Grobe Datenfehler

Liste der groben Datenfehler (GF) [2)] (NV>2.0 und EP > 2cm (AP) bzw. > 3cm (GP,GebP))	Beob.Nr.	GF (m / gon)	NV	EP (m)

Abb. 6.8: Grobe Datenfehler [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Unter optimalen Bedingungen entsprechen die Beträge der Normierten Verbesserungen einer Normalverteilung. Ein Kriterium hierfür ist, wenn 2/3 der Normierten Verbesserungen einen Wert von <=1 haben. Für eine zutreffende a priori Gewichtung spricht, wenn mindestens 2/3 der normierten Verbesserungen unter 1 liegen.

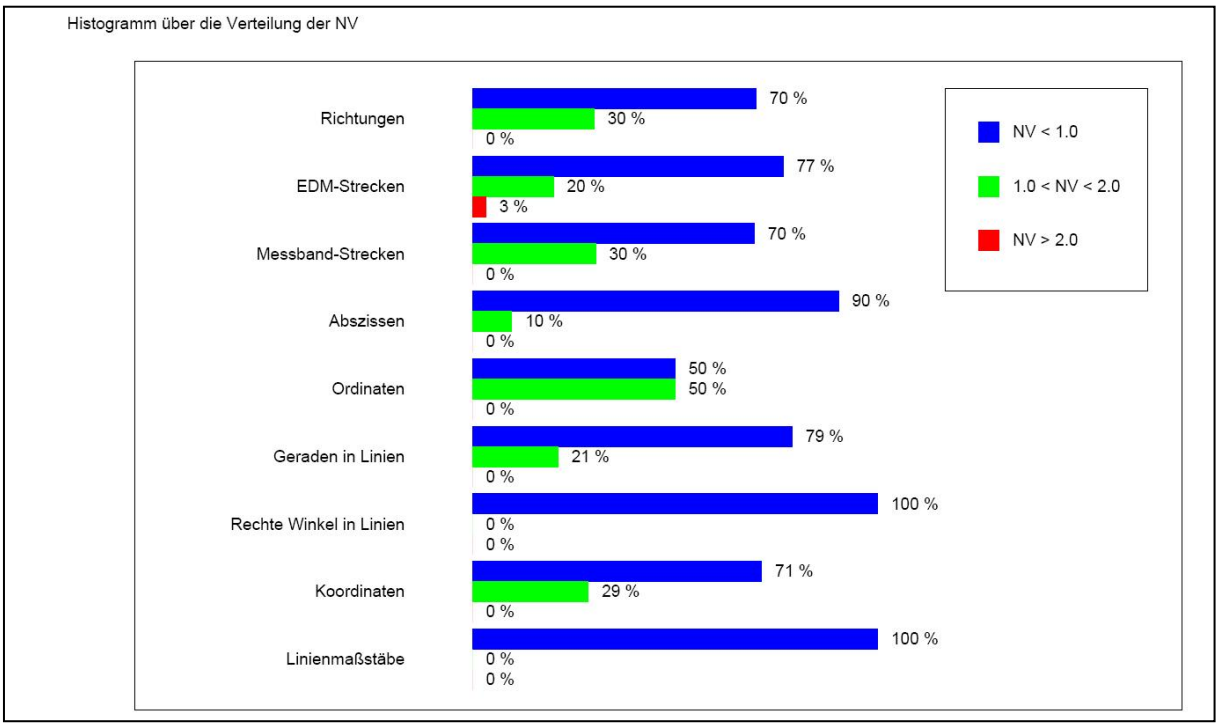


Abb. 6.9: Histogramm über die Verteilung der NV bei KAFKA [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument F*]

Sofern der Anschluss an das ETRS89/UTM nur über SAPOS-Messungen erfolgt, ist das Ergebnis der freien Ausgleichung auch gleich das Ergebnis für die endgültige Koordinatenberechnung. Erfolgt der Anschluss an das amtliche Raumbezugssystem auch durch Beobachtungen zu Anschlusspunkten aus dem Katasternachweis sind die nachfolgend dargestellten Berechnungsläufe notwendig. Es werden alle Beobachtungen zusammengeführt und endgültige Koordinaten berechnet. Dies geschieht einerseits in den Dokumentationen „**Nachweis über die Qualität des Netzanschlusses“** und andererseits in der „**Berechnung endgültiger Koordinaten**“.

Klassischerweise wurde für die Berechnung der endgültigen Koordinaten die gezwängte Ausgleichung verwendet. Die Arbeitsgemeinschaft empfiehlt in Erwartung von nur geringen Klaffen in den Koordinaten der Anschlusspunkte und Differenzen in den Koordinaten von Objektpunkten, die bereits im Katasternachweis vorhanden sind, die **„dynamische Ausgleichung mit angemessener Gewichtung der Anschlusskoordinaten“**. Sie stellt eine große innere Homogenität in der Koordinierung der Liegenschaftsvermessung her bei einer guten nachbarschaftlichen Einpassung. Da die Dokumentation der *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM* den klassischen Abläufen der Ausgleichungsrechnung folgt, werden für eine Dokumentation dieser Berechnung zwei Dokumente benötigt:

- *Dokument G „Nachweis über die Qualität des Netzanschlusses“ und*
- *Dokument H „Berechnung endgültiger Koordinaten“.*

Den Dokumenten G und H liegen dabei zwei Berechnungsläufe der dynamischen Ausgleichung zugrunde.

***1. Prüfung des fachgerechten Einsatzes der Steuerparameter (Steuerdaten)*:**

- o die Steuerparameter der freien Ausgleichung werden **<u>ausnahmslos</u>** übernommen und dürfen nicht mehr verändert werden.
- o dynamische Anschlusspunkte sollten mit einer Standardabweichung a priori von 1,5 cm in die Ausgleichung eingehen, damit bei einem k = 2 Abweichungen > 3 cm als grobe Fehler gekennzeichnet werden

Beim ersten Berechnungslauf werden die Anschlusspunkte untergewichtet (siehe Kapitel 5.2 Nr. 3 a). Vor der abschließenden Berechnung der endgültigen Koordinaten sind dann die Anschlusspunkte wieder ihrer Genauigkeit entsprechend zu gewichten (siehe Kapitel 5.2 Nr. 3 b). Nach dem erneuten Berechnungslauf der dynamischen Ausgleichung ist darauf zu achten, dass das Protokoll des vorherigen Laufs nicht überschrieben wird, da dieses Protokoll für das Dokument G benötigt wird. Ob die Anschlusspunkte für die endgültige Berechnung der Koordinaten wieder „umgewichtet“ wurden, lässt sich anhand des Dokuments H nicht direkt erkennen, da hier die Gewichtung der Anschlusspunkte nicht aufgeführt wird. Lediglich anhand der in den Dokumenten protokollierten Uhrzeiten (inkl. Datum) kann überprüft werden, ob bei den Dokumenten G und H unterschiedliche Berechnungsläufe Grundlage der Daten sind. Letztendlich ist darauf zu vertrauen, dass die Vermessungsstelle dann auch die Anschlusspunkte wieder „umgewichtet“ hat. Alternativ hierzu könnte auch das Dokument G zweimal, also auf Grundlage beider Berechnungsläufe mit dynamischer Gewichtung, erstellt werden. Anhand der gleichen dokumentierten Zeit der Protokolle in den Dokumenten G (2) und H kann dann die Gewichtung der Anschlusspunkte für die endgültige Berechnung der Koordinaten kontrolliert werden (siehe Abb. 6.10).

In der dynamischen Ausgleichung werden die Koordinaten der Anschlusspunkte als Beobachtungen behandelt. Zu diesem Zweck muss für sie eine angemessene Gewichtung eingeführt werden. Wird die Standardabweichung der Punktlage a priori mit 1,5 cm eingeführt, wird eine Verbesserung der Lage größer 3 cm automatisch als grober Fehler ausgewiesen. Dieser Ansatz ist für alle Anschlusspunkte zu prüfen.

Gewichtung der beweglich gesetzten Anschlusspunkte bei ...

	... Untergewichtung (Regelfall)	... angemessener Gewichtung (Koordinatenklaffungen > 3 cm, zur Grobfehlersuche in den Anschlusskoordinaten)
Gruppengewichtung aller beweglichen Anschlusskoordinaten als Standardabweichung der Koordinaten in m		0.020
Gewichtsfaktor der bewegl. Anschlusspunkte		1.0000
Varianzkomponente der beweglichen Anschlusspunkte a posteriori		1.233
Gewichtseinheitsfaktor Sigma-0² der Messung		0.728

Abb. 6.10: Gewichtung der beweglich gesetzten Anschlusspunkte [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument G*]

***2. Einpassung der Messung in den Nachweis des Liegenschaftskatasters*:**

- Varianzkomponente der beweglichen Anschlusspunkte a posteriori $0{,}6 < s_0 < 1{,}4$ [vgl. hierzu: *Nr. 2.31 (5) Anlage 3 VPErl.*]
- verbliebene grobe Fehler in den Anschlusspunkten müssen plausibel kommentiert sein
- die Grenzwerte der lokalen Standardabweichung der Punktlage gemäß *Nr. 2.31 (1) Anlage 3 VPErl.* sind einzuhalten

Der Wert der Varianzkomponente der beweglichen Anschlusspunkte sollte sich den Werten der Varianzkomponenten der weiteren Beobachtungsgruppen in der freien Ausgleichung annähern. Aber auch hier können eine geringe Redundanz, inhomogene Messwerte oder zu wenige Beobachtungen zu einer Abweichung führen. Eine Bandbreite von 0,6 – 1,4 sollte dennoch eingehalten werden.

Grobe Fehler in den Koordinaten der Anschlusspunkte sollten plausibel kommentiert sein.

Grobe Datenfehler

Liste der groben Datenfehler) (NV>2.0 und EP > 2cm (AP) bzw. > 3cm (GP,GebP))	Beob.Nr.	GF (m / gon)	NV	EP (m)
Beweglicher Punkt X-Koordinate 100036		-0.0299	2.4	

Abb. 6.11: Grobe Datenfehler [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument G*]

Ein notwendiges Feld für Kommentierungen ist in der Vorlage [vgl. hierzu: *Abbildung 6.11*] nicht vorgesehen. Eine Kommentierung kann zurzeit nur mit entsprechenden Tools, handschriftlich in einem Ausdruck oder in einem begleitenden Bericht erfolgen.

Qualität und Eignung der Anschlusspunkte bei ...

	... Untergewichtung	... angemessener Gewichtung	
Maximal- und Durchschnittswerte der Koordinatenklaffungen in den beweglichen Anschlusspunkten		lineare Klaffung VS (cm)	Punktnummer
maximale Klaffung		2.3	100036
durchschnittliche Klaffung		2.3	
Verteilung der Koordinatenklaffungen		Anzahl	%-Anteil
< 3 cm		1	100
3 bis 6 cm		0	0
> 6 cm		0	0
Anzahl grob fehlerhaft geschätzter Anschlusspunkte		1	
Liste der grob fehlerhaften Anschlusspunkte			
Punktnummer		GF (NV>2.0) (m)	NV
100036 Hochwert		-0.0299	2.4

Abb. 6.12: Qualität und Eignung der Anschlusspunkte [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument G*]

Abschließend sind die erreichten Genauigkeiten der berechneten Koordinaten zu prüfen. Nach *Nr. 2.31 Absatz 1 Anlage 3 VPErl.* sind für Grenz- und Gebäudepunkte eine lokale Standardabweichung von 3 cm und für AP(1) (Anschlusspunkte) eine lokale Standardabweichung von 2 cm einzuhalten. Wird die Messung über SAPOS®-Beobachtungen gelagert, darf in WinKAFKA keine Restklaffenverteilung aktiviert sein, wenn die lokalen Standardabweichungen der Punktlage berechnet werden sollen.

Maximalwerte und Durchschnittswerte der Standardabweichung der Punktlage	Lokale Standardabw. der Punktlage (LSP)			Standardabw. der Punktlage (SP)		
	maximale LSP (m)	Punkt-Nummer	durchschnittl. LSP (m)	maximale SP (m)	Punkt-Nummer	durchschnittl. SP (m)
		nicht berechnet		0.016	800004	0.010
Liste der Grenzwertüberschreitungen bei der Lokalen Standardabweichung der Punktlage (LSP)	LSP (m)	Punkt-Nummer				

Abb. 6.13: Standardabweichung der Punktlage [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument H*]

Bei dem hier dargestellten Arbeitsablauf erfolgt die **Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen** durch „Linienweise Einrechnung in die Gerade“ innerhalb der Ausgleichung. Hierbei ist auch anzumerken, dass weitere Bedingungen auftreten können (z. B. Kreisbögen), die in der Vorlage noch nicht berücksichtigt sind. Alternativ können die Geraden auch erst im Anschluss an die endgültige Berechnung durch einen weiteren Berechnungslauf realisiert werden.

Berechnungsablauf

- [x] Linienweise Einrechnung in die Gerade
- [ ] Alle Anfangs- und Endpunkte der Bedingungen sind Neupunkte, so dass die Bedingungen in einem gemeinsamen Rechenlauf mit den Neupunkten ausgeglichen werden (Ausgleichung)
- [ ] Einer, mehrere oder alle Anfangs- und Endpunkte der Bedingungen sind bereits amtlich koordinierte Altpunkte, die in einer Ausgleichung als Anschlusspunkte anzuhalten sind. Die Berechnung der endgültigen Koordinaten der Neupunkte und die Einhaltung der geometrischen Bedingungen erfolgt in zwei gesonderten Rechenläufen. (Ausgleichung)

Abb. 6.14: Einrechnung in die Gerade [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument I*]

Die Abweichung von Punkten aus definierten Geraden ist vor und nach der Einrechnung anhand der Grenzwerte von 4 cm zu prüfen.

Einrechnung der geometrischen Bedingungen [Voraussetzung: die Abweichung ist kleiner als 4 cm]

Anzahl definierter Bedingungen	19
Anzahl der eingerechneten Bedingungen	19

Maximalwert der Abweichung vor der Einrechnung	1.4	cm	
Maximalwert der Abweichung nach der Einrechnung	0.6	mm	[max. zulässig sind 1,4 mm]

Liste der Bedingungen, die nicht einzurechnen sind (Abweichung aus der Geraden > 4 cm)

lfd. Nummer	Anfangspunkt	Zwischenpunkt	Endpunkt	Abweichung (cm)

Abb. 6.15: Einrechnung der geometrischen Bedingungen Gerade [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument I*]

VP-Liste

Für die Einschätzung der individuellen Punktlage wird im Falle von KAFKA in die Spalte „Standardabweichung der Koordinate…..“ die lokale Standardabweichung der Punktlage eingetragen. Die Vorgaben der Nr. 2.31 (1) Anlage 3 VPErl. „Größte zulässige Abweichungen“ sollen eingehalten werden. Die Angabe der lokalen Standardabweichung der Punktlage kann als Hinweis für die Einordnung in die richtige GST genutzt werden.

J	VP - Liste	Arbeitsgebiet / Projekt AG - Beispiel Freilingen	Seite 1 von (1)
		Identifikationsmerkmal / Jobname Test_Lika_GK_2007-08-09	

zum Fortführungsriß	vom			Datum
Freilingen, Flur 6	07.12.2006			10.06.2008
Ordnungssystem der Vermessungsrisse		Abbildung UTM	Streifen / Zone 32	Lagestatus (2. und 3. Stelle)

NBZ	PAT	PNR	Festgesetzte / Soll- / gemittelte Koordinaten		IST - Koordinaten		Kennung M* A* T*	Klaffung/ lineare Abweichung (m)	Standardabw. der Koord., Grenzwert DK*, DSp* (m)	Bemerkungen
			Ost, Rechts	Nord, Hoch	Ost, Rechts	Spannmaß, Nord, Hoch				
Anschlusspunkte										
	1	00036	338677.472	5586883.548						
Standpunkte										
		1001			338737.437	5586841.658				vernetzte Messung
		1002			338769.881	5586852.490				vernetzte Messung
		1003			338761.330	5586839.362				vernetzte Messung
Objektpunkte										
	1	00167			338753.167	5586833.999	A		0.011	
	2	00001			338760.604	5586844.689	A		0.009	
	2	01490			338760.595	5586844.677	A		0.002	

Abb. 6.16: VP-Liste Gerade [vgl. hierzu: *Anlage 6 Einführungserlass ETRS89/UTM, Dokument J*]

7 Weitere Anwendungen der Ausgleichung

7.1 L∞-Norm (Stand Mai 2009)

Bisher wurde das Standardverfahren zur Auswertung von Liegenschaftsvermessungen betrachtet, die **Ausgleichungsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate** mit der Zielfunktion **[vv] = Minimum**. Im Vermessungswesen kommt die Ausgleichungsrechnung auch mit anderen Zielfunktionen zum Einsatz:

Als **Mini-Max-Methode** oder **L∞-Norm** wird die Ausgleichung mit der Zielfunktion **max|v| = Minimum** bezeichnet. Bei dieser Methode wird der Betrag der maximalen Verbesserung minimiert. Das Verfahren kann gut für Transformationsaufgaben eingesetzt werden. Es liefert das beste Einpassungsergebnis, weil der Betrag der maximalen Klaffe minimiert wird. Die Methode ist auch unter dem Namen ihres Entwicklers „Tschebyschew“ bekannt [vgl. hierzu: *Fröhlich 2003*]. Die Methode liefert brauchbare Ergebnisse, wenn die Beobachtungen frei von Ausreißern und groben Fehlern sind.

7.2 L1-Norm, Robuste Schätzverfahren, Fehlersuche (Stand Mai 2009)

Eine Trennung von Ausreißern und groben Fehlern ist meistens nicht möglich. Als Ausreißer werden Messwerte bezeichnet, die nicht zu den anderen Messwerten eines Datensatzes zu passen scheinen. Ausreißer legen die Vermutung nahe, dass sie durch grobe Messabweichungen verursacht sind und bei ordnungsgemäßer Funktion der Messgeräte und sorgfältiger Arbeitsweise des Beobachters nicht eingetreten wären. Nicht jeder Ausreißer ist aber Folge eines groben Fehlers. Mit der Anzahl der Beobachtungen steigt bei normalverteilten Beobachtungen auch die Wahrscheinlichkeit, dass Messwerte mit größeren Abweichungen vorkommen. Umgekehrt ist nicht jeder grobe Fehler als Ausreißer im Datenmaterial erkennbar, denkt man beispielsweise an die Verwechslung von Schrägstrecken mit horizontierten Strecken im nahezu ebenen Gelände. Grundsätzlich muss jedoch verhindert werden, dass grobe Fehler das Ergebnis (die Koordinaten) verfälschen. Gleichzeitig sollen brauchbare Messdaten nach Möglichkeit nicht von der Berechnung ausgeschlossen werden.

Das Aufdecken von groben Fehlern und Ausreißern in den Beobachtungen ist bei Berechnung einer Ausgleichung mit der Methode der kleinsten Quadrate nur bedingt möglich. Grobe Datenfehler werden zusammen mit den zufälligen Fehlern der übrigen Beobachtungen über die Zielfunktion quadratisch minimiert. Dabei werden grobe Datenfehler „verschmiert“: Sie finden ihren Niederschlag in den neu bestimmten Koordinaten und auch in Verbesserungen von Beobachtungen, die frei von groben Fehlern sind. Unter der L2-Norm werden grobe Fehler nicht in voller Größe in den Verbesserungen aufgedeckt. Brauchbare Ergebnisse liefert die Ausreißersuche mit dem von Baarda entwickelten „Data-Snooping“, wenn das Datenmaterial nur einen Ausreißer enthält [vgl. hierzu: *Fröhlich1998*]. Baarda berechnet im Anschluss an die Ausgleichung die normierte Verbesserungen als Quotient von Betrag und Standardabweichung jeder Verbesserung. Übersteigt die Beobachtung mit der größten normierten Verbesserung eine voreingestellte Schranke, wird der Ausreißer als grob fehlerhaft beurteilt und im nächsten Rechenlauf nicht verwendet. Datasnooping ist in den meisten Ausgleichungsprogrammen als unerlässliche Qualitätskontrolle implementiert.

Eine geeignete Methode, grobe Fehler in den Bebachtungen aufzuspüren, ist die Berechnung der Ausgleichung als **L1-Norm** [vgl. hierzu: *Fröhlich2003*]. Bei dieser Ausgleichungsmethode lautet die Zielfunktion **[|v|] = Minimum**; sie wird auch als **Absolutsummenminimierung** bezeichnet. Die für die L2-Norm typischen Verschmierungseffekte treten nicht auf. Bei Berechnung der Ausgleichung als L1-Norm erhalten Ausreißer eine Verbesserung, die dem tatsächlichen Fehlerbetrag nahe kommt. Ausreißer ergeben sich dadurch sicherer zu erkennen. Anders als bei der L2-Norm führt ein grober Datenfehler in der L1-Norm nicht zu großen normierten Verbesserungen für Beobachtungen, die in der L1-Norm hinsichtlich grober Fehler unverdächtig bleiben. Allgemein werden Schätzverfahren wie die L1-Norm, die nicht sensitiv auf Ausreißer reagieren, als **robust** bezeichnet. Diese Verfahren, bei denen es sich nicht zwangsläufig um Ausgleichungsverfahren handeln muss, sind gegen eine gewisse Anzahl von Ausreißern unempfindlich. An dieser Stelle kann nicht der Versuch unternommen werden, auf die verschiedenen **robusten Schätzverfahren** einzugehen. Für den Anwender bleibt aber festzuhalten, dass ein in der Ausgleichungssoftware implementiertes, robustes Schätzverfahren, das Aufsuchen grober Datenfehler wesentlich leichter machen kann. Ausreißer können treffsicherer lokalisiert werden, insbesondere auch dann, wenn mehrere grobe Fehler im Datenmaterial vorliegen. Die robusten Schätzverfahren liefern allerdings keine guten Ergebnisse für die auszugleichenden Unbekannten und sind somit für die Koordinaten- und Höhenberechnung nicht geeignet. Sie eignen sich ausschließlich zur Fehlersuche [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Martinusstraße - Grober Fehler“*].

7.3 Schlecht lokalisierbare Fehler (Stand Mai 2009)

Die als Ausreißer und grobe Messfehler in den Beobachtungsdaten enthaltenen Fehler können von Abweichungen überlagert sein, die ihre Ursache beispielsweise in einer falschen Verknüpfung der Beobachtungen über das Punktkennzeichen haben können oder auch auf Bedienfehler des Benutzers zurückgehen. Diese „Bearbeitungsfehler“ können beim Rechenvorgang fälschlich als Ausreißer in Erscheinung treten.

Die Arbeitsgemeinschaft hat festgestellt, dass Fehler teilweise schlecht zu lokalisieren sind, wenn sie nicht ausschließlich auf Ausreißer in den Beobachtungen basieren. Die nachfolgende Liste kann eine Hilfestellung sein, dem Fehler auf die Spur zu kommen. Weil Fehler häufig in Kombinationen auftreten, lassen sich die Phänomene nicht konkret zuordnen, die das Spektrum von der Feststellung von Ausreißern bis zum Abbruch der Berechnungen abdecken.

- Punktnummernverwechselungen *(z.B. gleiche Punktnummern in verschiedenen Nummerierungsbezirken)*
- fehlerhafte Formateinstellungen beim Datenimport *(Punktkennzeichen, Koordinaten, Beobachtungen)*
- Fehler in der Vorverarbeitung wurden nicht erkannt *(z.B. fehlerhafte Zielung im Satzmittel wurde nicht ausgeschlossen)*

- fehlerhafte Korrektion / Reduktion in der Vorverarbeitung oder falsche Einstellungen des Korrektions- bzw. Reduktionsstandes im Ausgleichungsprogramm *(z.B. Abbildungsreduktion*) [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Baulandaufteilung - Fehlerhafte Abbildungskorrektion,…“*]
- fehlerhafte Exzentrizitäten *(z.B. Vorzeichenfehler, Maßfehler)*
- Tippfehler bei manueller Eingabe *(Punktkennzeichen, Koordinaten, Beobachtungen)* [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Martinusstraße - Grober Fehler“*]
- fehlende Verfügung über das Datum bei freier Ausgleichung *(Auffelderungstyp z.B. Helmert-Transformation)*
- Netzdefekte *(z.B. fehlende Verbindungsmessungen zwischen Teilnetzen); Hinweis: dynamisch ausgleichen*
- geometrisch falsche Näherungskoordinaten *(z.B. falsche Punktlage rechts/links zur Messungslinie); Hinweis: ggf. sind auch vorhandene Nachweiskoordinaten zu ungenau und deshalb auszuschließen* [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Fantasia - Iterationen ohne Konvergenz, …“*]
- fehlende Näherungskoordinaten *(z.B. sind in der Vorauswertung nicht alle Punkte koordinierbar); Hinweis: ggf. sind die Näherungskoordinaten grafisch zu ermitteln*
- grob fehlerhafte Gewichtung *(z.B. Default-Wert, Tippfehler)*
- Verwechselungen bei Netzgrundlage der Anschlusspunkte *(z.B. PrLa oder Netz 77)*

7.4 Ausgleichung von aktuellen Beobachtungen mit Elementen des Katasternachweises (Stand April 2014)

Durch die Anwendung der Ausgleichungsberechnung lässt sich die gemeinsame Verarbeitung von neuen Beobachtungen mit Elementen aus dem Katasternachweis sehr vorteilhaft gestalten. In der Regel werden dabei orthogonale Messelemente aus historischen Vermessungsrissen händisch erfasst. Denkbar sind auch die Verwendung von polaren Messelementen aus ergänzenden Belegen und „Koordinatenblöcke“ aus der Entstehung, wenn originäre Beobachtungen nicht mehr verfügbar sind.

Angewendet werden kann das Verfahren zum Beispiel bei:

- der Berechnung von Koordinaten aus dem Katasternachweis unter Berücksichtigung von neuen Messelementen
  (z.B. zur Verbesserung der Genauigkeit der Koordinaten für das Aufsuchen von Vermarkungen für die Grenzuntersuchung),
- der Ergänzung der Örtlichkeit durch Geometrien aus dem Katasternachweis
  (z.B. Koordinierung von Punkten, die für die Grenzuntersuchung verwendet werden sollen, sich aber in der Örtlichkeit nicht mehr herstellen lassen) und
- der Dokumentation der Grenzuntersuchung
  (z.B. als Vergleich von Katasternachweis mit der aktuellen Aufnahmegeometrie).

Auf den letzten Spiegelstrich wird im Kapitel (7.5) näher eingegangen.

Berechnung von Koordinaten aus dem Katasternachweis unter Berücksichtigung von neuen Messelementen

Im Rahmen häuslicher Vorbereitung liefert uns der Katasternachweis für das Messgebiet meist schon Koordinaten mit Genauigkeitsinformationen, mit deren Hilfe wir die örtliche Grenzuntersuchung angehen können.

Soweit der bestehende Nachweis noch nicht für alle Punkte Punktobjekte mit hinreichender Genauigkeit liefert, lassen sich fast immer durch Auswertung der Messungszahlen genäherte Koordinaten vorberechnen.

Für das Aufsuchen von Grenzzeichen ist es zunächst belanglos, ob die Koordinaten, die örtlich abgesetzt werden sollen, hierarchisch oder durch Ausgleichung vorberechnet werden. Die zum Aufsuchen der Grenzzeichen erforderliche „Spatengenauigkeit“ sollte auf beiden Wegen erreichbar sein, wenn die geometrischen Abhängigkeiten vom Anschlusspunktfeld her nicht zu tief geschachtelt sind. Mit jeder Verdichtungsstufe nimmt die Zuverlässigkeit berechneter Koordinaten ab, weil zu den sich fortpflanzenden Fehlern vorhergehender Berechnungsstufen die Ungenauigkeiten hinzukommen, die den Messungselementen anhaften, mit denen abhängig neue Punkte koordiniert werden. Eine Ausgleichung bietet bei Berücksichtigung sämtlicher Geometrieelemente grundsätzlich Vorteile. Die geometrischen Abhängigkeiten und zufälligen Fehler der Beobachtungen, aber auch nicht erkannte grobe Fehler führen dazu, dass die Güte einer Punktbestimmung aus dem Nachweis mit linienhaften Aufnahmeverfahren im Allgemeinen für die Anforderungen des Koordinatenkatasters nicht ausreichend ist. Die Standardabweichungen der berechneten Koordinaten bzw. die Punktfehler genügen meist nicht den Anforderungen des Koordinatenkatasters.

Für die Berechnung von Koordinaten zum Aufsuchen von Vermarkungen in der Örtlichkeit ist keine ausgefeilte Gewichtung notwendig. Jedoch sollte darauf Augenmerk gelegt werden, dass eine „altersgerechte“ Gewichtung der Beobachtungen untereinander gewährleistet ist und grobfehlerhafte Beobachtungen angemessen beurteilt und behandelt werden. Sie können bereits Hinweise auf die zu erwartenden Schwierigkeiten in der Örtlichkeit liefern.

Die örtliche Grenzuntersuchung kann durch Berechnungsarbeiten unterstützt, erleichtert jedoch nicht ersetzt werden.

Die Berechnung von Koordinaten zur Vorbereitung einer Grenzuntersuchung stellt einen eigenen Berechnungslauf dar. Bei einer Übernahme von Beobachtungen in die Berechnungsabläufe zur Fertigstellung der Liegenschaftsvermessung ist kritisch zu prüfen in wieweit hierdurch ein Einfluss auf das Berechnungsergebnis ausgeübt wird (s.a. Kapitel 7.5).

In der neueren Fachliteratur finden sich weitergehende Ansätze für die gemeinsame Ausgleichung von neuen Aufnahmeelementen zusammen mit Aufnahmeelementen des Nachweises. So wurde u.a. ein Verfahren vorgestellt, das auf dem Weg zum Koordinatenkataster als Alternative zur flächenhaften Neuvermessung dazu geeignet sein kann, um bei partieller Identitätsprüfung Teile eines bestehenden Katasters ins Koordinatenkataster zu überführen oder zumindest den bestehenden Nachweis deutlich zu verbessern (Gielsdorf und Hoffmann in BdVI-Forum, 39. Jahrgang, 2013, Heft 3).

Die für die Fortführung des Liegenschaftskataster benötigte Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Koordinaten wird in der Regel nur durch ein neues Aufmaß auf Identität geprüfter Abmarkungen, Vermarkungen oder nach dem Nachweis kontrolliert wiederhergestellter Vermessungspunkte erreicht.

Ergänzung der Geometrie

Wenn in der Grenzuntersuchung festgestellt wird, dass in der Örtlichkeit notwendige Vermarkungen von Vermessungspunkten fehlen und diese sich nicht (z.B. überbaut) oder nur unter unverhältnismäßig großem Aufwand oder Gefahr (z.B. unter starkem Verkehr) wieder herstellen lassen, kann eine koordinatenbasierte Untersuchung der vorhandenen Vermarkungen durch Berechnung von Koordinaten mit Elementen aus dem Katasternachweis erfolgen.

Bei den hier behandelten Ergänzungen aus dem Katasternachweis handelt es sich von der Theorie her nur um Hilfsgeometrien, die nur mittelbar mit den neuen Beobachtungen verbunden sind. Jedoch ist nicht auszuschließen, dass bei komplexen Zusammenhängen innerhalb der Ausgleichung doch ein Einfluss auf die neuen Beobachtungen ausgeübt wird. Deswegen erfordert ein solches Verfahren einen aufmerksamen Blick auf die Balancierung der Beobachtungsgewichte. Dieser Problematik kann man sich entziehen, wenn diese Elemente an der endgültigen Berechnung der Koordinaten für die Liegenschaftsvermessung nicht teilnehmen.

Wie bereits im vorangegangenen Absatz dargestellt wird dabei für die mit Messelementen aus dem Katasternachweis berechneten Koordinaten in der Regel keine Koordinatenkatasterqualität erreicht.

7.5 Dokumentation der Grenzuntersuchung (Stand April 2014)

7.5.1 Ziel der Grenzuntersuchung

Bei unseren örtlichen Vermessungsarbeiten muss fast immer der Bezug zu bestehenden Grenzen oder Gebäuden hergestellt werden. Regelmäßig ist dabei nachzuweisen, dass die Vermarkung eines Grenzpunktes oder die Ecke eines Gebäudes gegenüber vorhergehenden Vermessungen unverändert, also in Übereinstimmung mit dem Katasternachweis angetroffen wurde. Der Nachweis der Punktidentität wird klassisch geführt, indem die, im Liegenschaftskataster nachgewiesenen Elemente, die die Punktlage geometrisch festlegen, mit örtlich aktuell ermittelten geometrischen Beziehungen verglichen werden.

Natürlich ziehen wir bei der Identitätsprüfung auch weitere beschreibende Angaben ins Kalkül: Bei Grenzzeichen liefern uns die Art oder Höhenlage einer Vermarkung erste Hinweise auf eine mögliche Punktidentität. Bei Gebäuden sind Hinweise auf den Gebäudezustand bei der früheren Ein- oder Anmessung (z.B. Rohbau, Sockelmaße, aufgehender Putz, Klinker usw.) wertvoll. Sie können festgestellte Maßabweichungen plausibel machen. Zwischenzeitliche bauliche Veränderungen an Gebäuden wie aufgebrachte Wärmedämmverbundsysteme, vorgesetzte Mauerschalen, Natursteinfassaden, Latten, Fliesen, schlicht das Ganze in Baumärkten verfügbare Sortiment zur Fassadenverschönerung und Sockelgestaltung, kann uns nicht davon abhalten, eine vor 50 Jahren ursprünglich angemessene Gebäudeecke virtuell vor unserem geistigen Auge hinter der Fassade erscheinen zu lassen. Es gelingt uns sogar irgendwie, die Phantom-Ecke zentimetergenau anzumessen, wenn die baulichen Veränderungen halbwegs regelmäßig ausgeführt wurden.

Traditionell besteht die Identitätsprüfung im „Nachmessen“ früher ermittelter, im Liegenschaftskataster bereits nachgewiesener Aufnahmeelemente. In den Fällen, in denen ein örtliches Hindernis dem Nachmessen früher im Wege stand, wurden Hilfsgeometrien wie paralleles Absetzen angewendet. Heute ist an die Stelle des „Nachmessens“ allein schon aus wirtschaftlichen Gründen bei den meisten Vermessungsstellen die tachymetrische, flächenhafte Aufnahme mit Koordinatenberechnung im Felde getreten. Ursache dafür ist, dass ein „Nachmessen“ vielfach gar nicht mehr möglich ist: Die anno dazumal für die Aufnahme der Grenzen neuer Bauplätze auf grüner Wiese eingerichteten Messungslinien sind heute verbaut oder der Vegetation zum Opfer gefallen. Außerdem liegt der Grenzstein ja bekanntlich immer auf der anderen Seite des Bretterzauns und macht eine polare Aufnahme von mindestens einem Instrumentenstandpunkt auf dem Nachbargrundstück notwendig.

Heute wird im Feld durch Transformations-, Umformungs-, Schnitt- und Spannmaßberechnungen, teilweise auch mit Hilfe weiterer noch zu berechnender Hilfspunkte überprüft, ob sich die ursprünglich gemessenen geometrischen Beziehungen zwischen Vermessungspunkten aus den Koordinaten der aktuell aufgenommenen Objektpunkte in hinreichender Übereinstimmung errechnen lassen. Diese Prüfung wird aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglichst immer direkt vor Ort erfolgen und stellt als Teil der Grenzuntersuchung meist den wesentlichen und zeitintensivsten Teil einer Liegenschaftsvermessung dar.

7.5.2 Dokumentation der Grenzuntersuchung…

Nach dem Auffinden der Vermarkung in der Örtlichkeit wird die tatsächliche Lage aufgemessen. Anschließend wird der aufgemessene Punkt spätestens dann umgeformt, wenn weitere Punkte in der Örtlichkeit aufgefunden werden konnten, die gemäß Nachweis mit ihm in geometrischer Beziehung stehen. Letztlich muss die Identitätsprüfung auch in den eingereichten Vermessungsschriften dokumentiert werden. Wir erinnern uns: „…vollständig, übersichtlich, nachvollziehbar…“. Der Nachweis abgeleiteter Messungselemente im Fortführungsriss ist dabei kaum ökonomisch, weil neben den erneuten bereinigten Rechenansätzen für die endgültigen Umformungen auch die kontrollierte Übertragung der Ergebnisse in den Riss sowie der Vergleich mit dem Nachweis zu leisten sind.

Bei umfangreicheren Arbeiten oder wenn zur Vorbereitung des Außendienstes schon häuslich die Berechnung genäherter Koordinaten nach alten Aufnahmeelementen erfolgt, kann es durchaus sinnvoll sein, bereits die genäherten Koordinaten der Punkte für den Außendienst mit dem Ausgleichungsprogramm zu berechnen und das Rechenprojekt mit den erfassten alten Aufnahmeelementen auf einem Feldrechner verfügbar zu haben. Nach Übernahme der örtlich gemessenen Koordinaten ins Projekt kann dann vor Ort die Überprüfung der Aufnahmeelemente simultan erfolgen und gleichzeitig für fehlende und noch abzumarkende alte Punkte eine optimale Lage im örtlichen Gefüge berechnet werden. Bei der späteren häuslichen Auswertung der Vermessung können die vorab für die Berechnung genäherter Koordinaten erfassten Messungselemente für den Identitätsnachweis ohne eine erneute Eingabe wieder verwendet werden.

Zeitgemäß ist es den Identitätsnachweis in systematisierten Listen zu führen. Dabei wird wie bisher ein Bezug zum maßgeblichen Fortführungsriss hergestellt. Neu ist die Dokumentation der Abweichung zum Grundmaß und die Einhaltung der spezifischen Qualitätskriterien (historische Fehlergrenzen für historische Messungszahlen) für Maße und geometrische Bedingungen in einer vergleichenden Liste. Diese wird in Anlage 3 Einführungserlass ETRS89/UTM bereits beschrieben. Dort wird zusätzlich eine graphische Berechnungsübersicht, die z.B. in einer Kopie des Risses erstellt werden kann, gefordert. Dabei ist es nach Auffassung der Arbeitsgemeinschaft ausreichend, wenn in der Berechnungsübersicht die Liniengeometrie mit den entsprechenden Punktnummerierungen dargestellt wird.

… mit Hilfe der Ausgleichungsrechnung

Noch sind nicht alle Ausgleichungsprogramme in der Lage, eine Identitätsprüfung in geeigneter und übersichtlicher Form zu dokumentieren.

Will man für den Identitätsnachweis von Vermessungspunkten bei der Verarbeitung von Messungszahlen und geometrischen Definitionen aus dem Nachweis voraussetzen, dass innerhalb der Ausgleichung nicht das Ergebnis für neu berechnete Punkte beeinflusst ist, wäre zum „Nachrechnen“ innerhalb der Ausgleichung streng die Integration einer Gruppe von Beobachtungen erforderlich, die ohne Redundanzanteil mit dem Beobachtungsgewicht p=0 einzuführen wäre, also an der Ausgleichung gar nicht teilnähme [pvv] = [0vv].

Eine andere Sichtweise auf die Identitätsprüfung innerhalb der Ausgleichung ergibt sich, wenn die Fragestellung lauten kann:

„Lassen sich die hochgenauen Messungselemente des neuen Aufmaßes zusammen mit den ungenaueren geometrischen Beziehungen aus dem bestehenden Nachweis für die alten Vermessungspunkte ohne grobe Fehler verarbeiten, wenn ich den alten Messungselementen empirisch ermittelte oder aus Erfahrungswerten bekannte Standardabweichungen zu Grunde lege?“.

Diese Sichtweise würde dazu führen, dass Beobachtungen aus dem Nachweis als normale, gewichtete Beobachtung in die Ausgleichung eingeführt werden können. Über schwache Korrelationen ist eine geringfügige Einflussnahme auf das Koordinatenergebnis möglich. Aufgrund der deutlich höheren Genauigkeit moderner Aufnahmemethoden kann davon ausgegangen werden, dass die ungenaueren Messungselemente des Nachweises das numerische Ergebnis kaum beeinflussen können und dabei durch die neuen genaueren Beobachtungen sehr gut kontrolliert sind [vgl. hierzu: Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Frauenberg – Identitätsprüfung“].

In Vermessungsgebieten, in denen für die Vermessungspunkte bereits Koordinaten in der Qualität Koordinatenkataster vorliegen, erfolgt die Identitätsprüfung durch Koordinatenvergleich. Der VPErl. gibt dazu als Maß für die Strecke zwischen dem SOLL (Nachweis) und dem IST der Punktlage (Ergebnis des aktuellen Aufmaßes) die maximal zulässige lineare Abweichung vor. Punkte, deren Lageidentität geprüft werden soll, werden in die Ausgleichung als bewegliche Anschlusspunkte eingeführt. Die Soll-Koordinaten werden damit zu Beobachtungen, deren Gewicht durch die Standardabweichung der Punktlage (Gaußscher Punktfehler) bestimmt ist.

Der Punktfehler stellt – einem Gummiband vergleichbar – eine dynamische Beziehung zwischen der Koordinatenbeobachtung (SOLL) und den übrigen Beobachtungen her. Eine kleinere Standardabweichung für die Punktlage (strafferes Gummiband) zieht die Ergebniskoordinate stärker zum Sollpunkt hin.

Für den endgültigen Rechenlauf war im Abschnitt 5.2 bereits empfohlen worden, Neupunkte durch Lagerung der Messung auf die beweglichen Anschlusspunkte des Nachweises zu bestimmen und dabei empirisch ermittelte oder nach Erfahrungswerten abgeschätzte, in jedem Fall aber realistische Ansätze für die Standardabweichung der Punktlage zu verwenden. Nach Ansicht der Arbeitsgemeinschaft ist es zur Erhaltung der Qualität des Koordinatenkatasters unumgänglich, im Rahmen einer Identitätsprüfung die Messung ausschließlich in Punkten zu lagern, die entweder bei der Vermessung direkt an SAPOS® angeschlossen wurden oder als klassische Aufnahmepunkte gegeben waren, deren Identität bei der Vermessung mittels besonders sicher, exakt und gegen Veränderungen geschützt vermarkten Sicherungspunkten örtlich geprüft werden konnte.

Weder das seinerzeit frisch in das gepflügte Feld gedrückte 20 cm lange Eisenrohr mit grenzsteinähnlichem Kopf noch der klassische Grenzstein mit millimeterscharf ansprechbarem Kreuz, der bei Gartenarbeiten schief gedrückt worden ist und dem die Ablage zur unterirdischen Sicherung in der Größenordnung von 5 cm sicherlich nicht anzusehen ist, sind hinsichtlich ihres Einflusses auf die Berechnung von Neupunkten kritisch zu werten und unter Umständen für eine endgültige Lagerung im Nachweis nicht zu verwenden!

Für die Punkte, deren Identität bezogen auf maßgebliche Anschlusspunkte geprüft werden soll, liefern abgewichtete Nachweiskoordinaten den vollen Vektor zur gemessenen Punktlage (ausgeleiertes Gummiband). Erfahrungsgemäß errechnet sich der volle Vektor bei angesetzten Standardabweichungen von 0,10 m bis 0,15 m bei nahezu vollständiger Kontrolliertheit der Soll-Koordinate(nbeobachtung).

… außerhalb der Ausgleichungsrechnung

Alternativ kann sich das rechnerische Nachvollziehen an die Ausgleichung anschließen. Einige Programme bieten die Möglichkeit orthogonale Listen zu erfassen und mittels Umformung Nachweiselemente dem Berechnungsergebnis mit Dokumentation der größten zulässigen Abweichungen gegenüberzustellen. Wenn diese Funktionalität im Ausgleichungsprogramm implementiert ist, kann man sich diese Ergebnisse innerhalb der Programmumgebung anschauen oder den Einfluss alternativer Rechenläufe schnell beurteilen.

Beispielsweise bietet WINKAFKA die Erfassung orthogonaler Listen an, die mit Ergebniskoordinaten eines auswählbaren Rechenlaufs ausgewertet werden können.

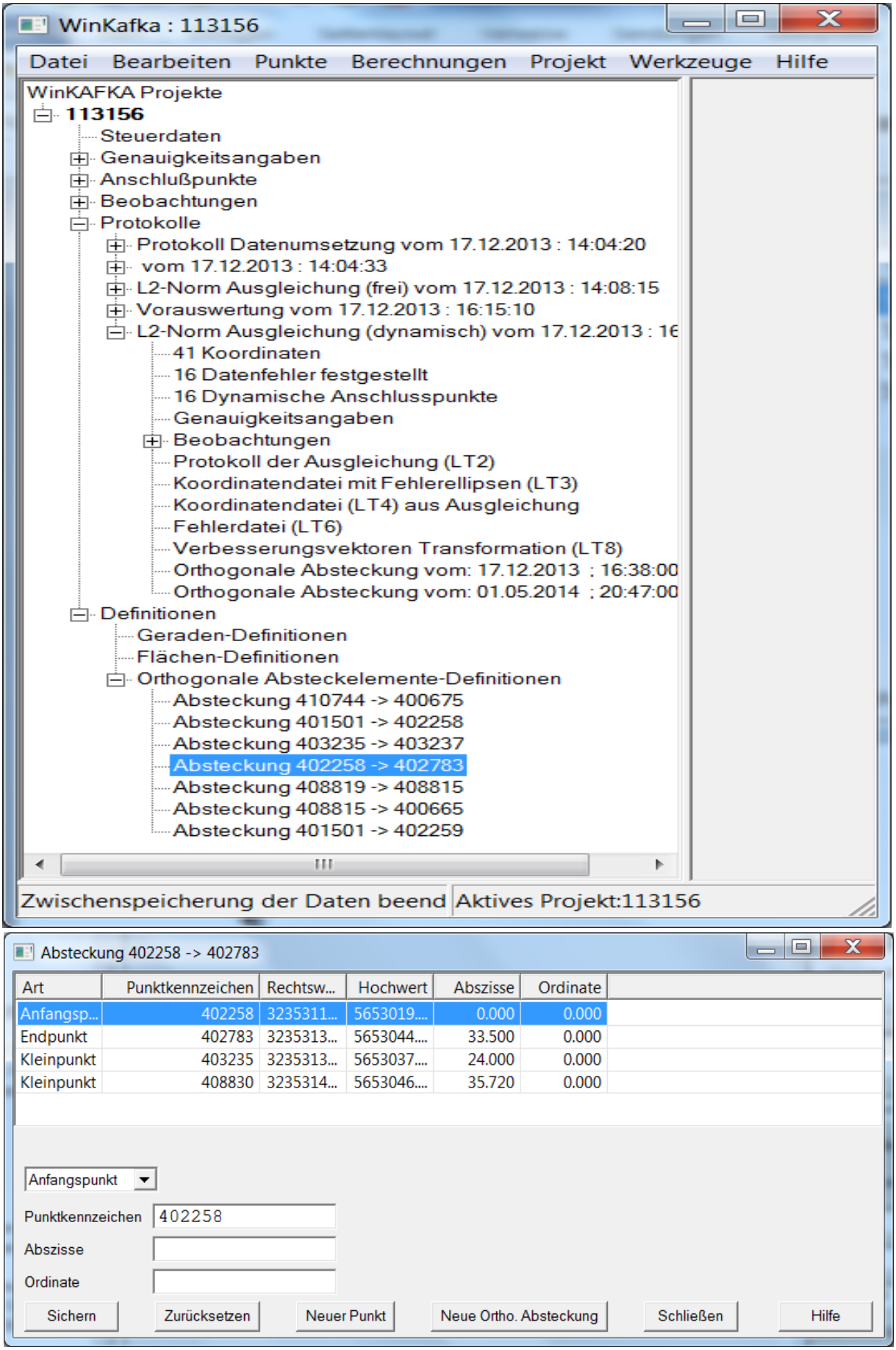


Abb. 7.1 / 7.2: Eingabe der orthogonalen Elemente aus dem Katasternachweis

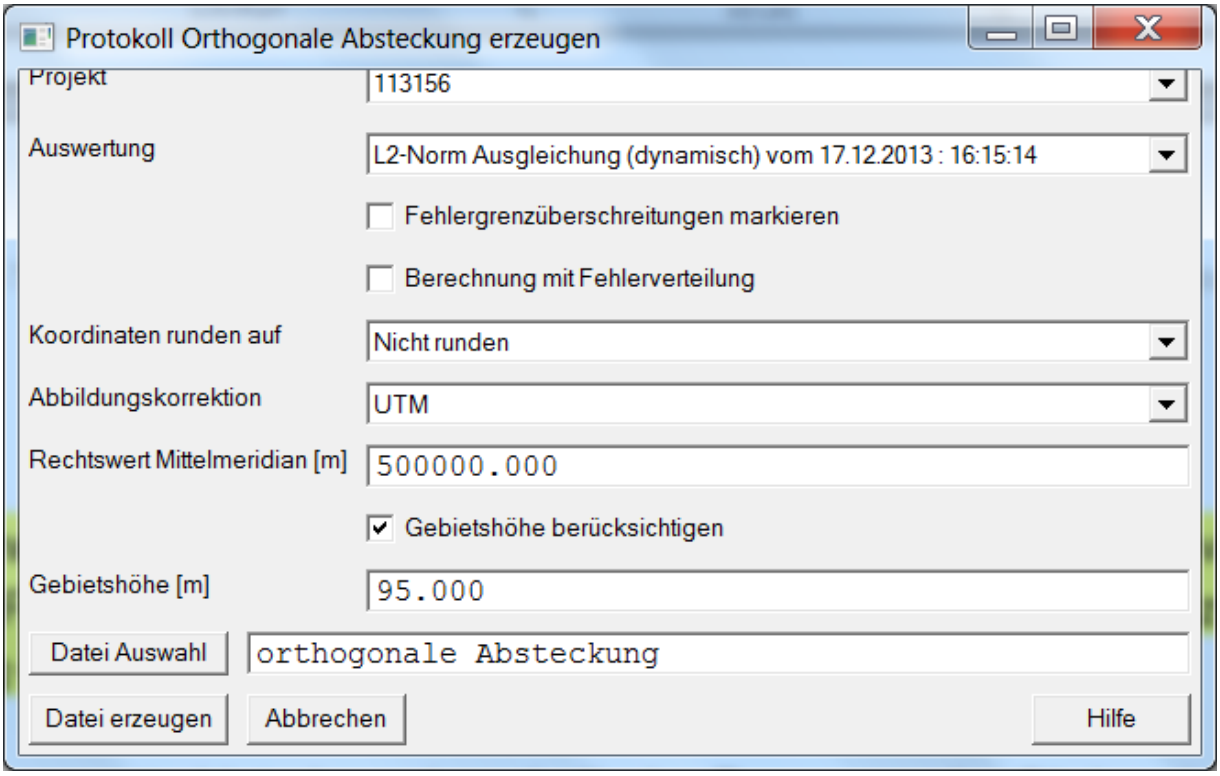


Abb. 7.3: Einstellungen für die Erzeugung der vergleichenden Liste

Die erzeugte Liste kann innerhalb der Programmoberfläche eingesehen werden. Mit der Liste kann festgestellt werden, wie gut die jetzt neu aufgemessene Örtlichkeit mit den aus dem Katasternachweis erfassten Aufnahmeelementen übereinstimmt. Die Liste dokumentiert welche Abweichungen vorliegen. Bei der Beurteilung sind die historisch zutreffenden Fehlergrenzen der Entstehung zu berücksichtigen.

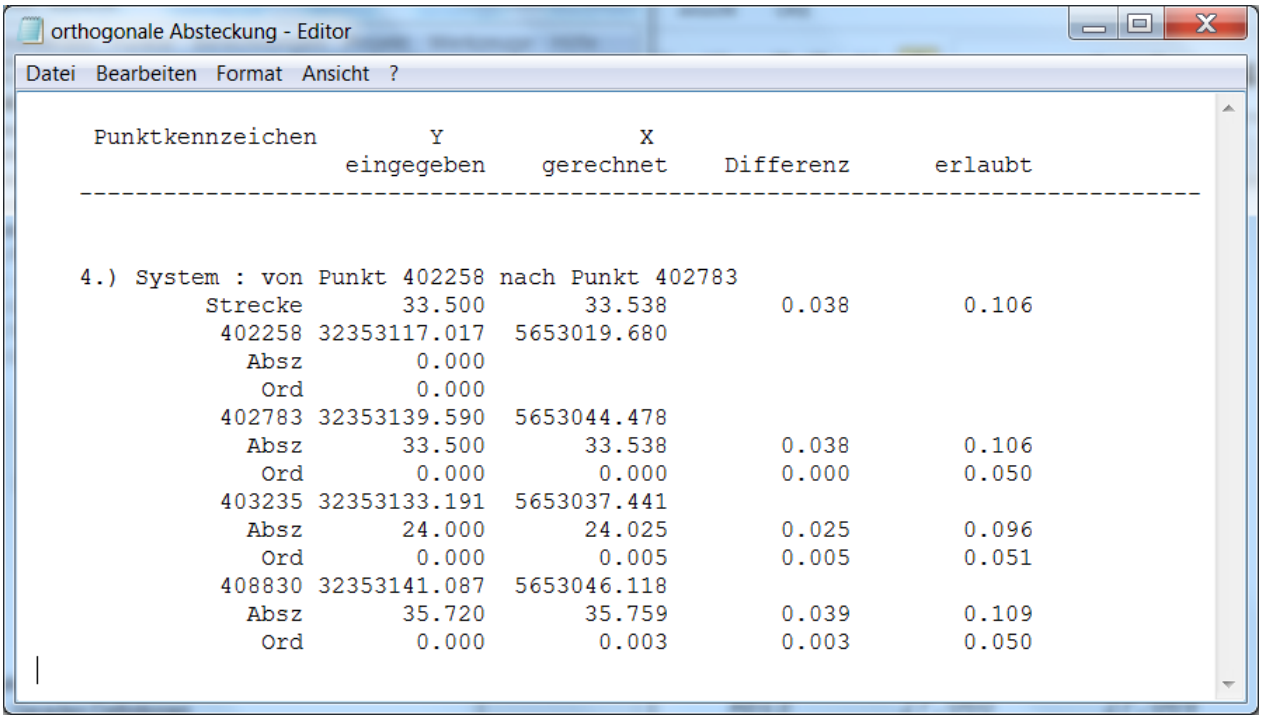


Abb. 7.4: Anzeige der vergleichenden Liste im Editor

Eine Überschreitung von größten zulässigen Abweichungen kann dabei optional durch Sternchenzusatz dokumentiert werden, was die Geschwindigkeit der Ergebnisinterpretation erhöhen kann. Die Liste wird Bestandteil der mit dem Rechenverlauf verbundenen Dokumentationen. Sie wird im Projektbaum angezeigt und kann von dort aus eingesehen oder ausgedruckt werden.

7.6 Fingierte Beobachtungen, Ableitung von Grenzabständen, Absteckelementen, Geometrien etc. (Stand April 2014)

Neben der für die Grenzuntersuchung heranzuziehenden Geometrie des Nachweises sind auch bei der Ermittlung neuer Grenzen häufig geometrische Festlegungen zu beachten. Sie ergeben sich aus der Antragsstellung entweder mit individuellen Wünschen (z.B. Einrichtung einer neuen Grenze # 6,5 m zum Giebel eines Gebäudes) oder aus geometrischen Festlegungen einer Planung und teilweise allgemeinverbindlich (z.B. Vermessung der Straßenbegrenzungslinien eines Bebauungsplanes).

Die geometrischen Festlegungen werden nur selten vollständig örtlich beobachtet. In der Regel werden die Bezugspunkte für die Festlegungen aufgemessen und die geometrischen Elemente rechnerisch zu Koordinaten verarbeitet. Anschließend wird die Geometrie durch Absetzen der berechneten Koordinaten ins Feld übertragen. Liegt der Umring des Messgebietes bereits in der Qualität Koordinatenkataster vor, können Sollkoordinaten (endgültige Koordinaten im aktuellen Lagebezug) häuslich vorab berechnet werden, ansonsten ist die Umsetzung geometrischer Festlegungen zumindest partiell im Außendienst zu leisten.

Bei den, aus dem unabhängigen Schlussaufmass gewonnenen, Koordinaten stellen sich unvermeidbar geringfügige Abweichungen gegenüber der Absteckung ein. Ursache sind neben den zufälligen Fehlern der Messwerte auch Unterschiede in der Aufnahmegeometrie mit geänderten Instrumentenstandpunkten oder einer gegenüber der Absteckung geänderten Auswahl der Anschlusspunkte.

Im Ergebnis ist die Umsetzung des Kundenwunsches oder die Einhaltung verbindlicher Festlegungen zu prüfen oder herzustellen. Für die Übernahme der Vermessungsschriften in das Liegenschaftskataster muss die Einhaltung geometrischer Festlegungen, die in Riss oder Grenzniederschrift eingetragen sind, prüfbar dokumentiert werden [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Villa-Rustica - Fingierte Beobachtungen, Ermittlung Grenzabstand“*].

Um dies im Rahmen der Ausgleichungsrechnung zu leisten, können die geometrischen Festlegungen als „fingierte“ Beobachtungen erfasst werden. Im Unterschied zu den realen Beobachtungen (Messwerten) handelt es sich dabei um virtuelle Beobachtungen. Neben den gewöhnlichen Beobachtungstypen kommen vor allem geometrische Elemente wie z.B. Kollinearität, Kreiskontinuität, Orthogonalität, Parallelität oder Abstände zur Anwendung.

Mit dem Ansatz für die Beobachtungsgewichte der fingierten Beobachtungen lassen sich verschiedene Auswertestrategien verfolgen:

Simulation

Bei unzureichender Kontrolliertheit der Messwerte oder unzureichender Genauigkeit des Koordinatenergebnisses kann der Einfluss einer eventuell nachzuholenden zusätzlichen Beobachtung auf das Ausgleichungsergebnis abgeschätzt werden, wenn die Beobachtung versuchsweise als fingierter Messwert mit realistischem Gewichts-/ Genauigkeitsansatz in die Beobachtungsdaten aufgenommen wird.

Verifizierung und Diagnose

Werden die fingierten Beobachtungen deutlich schwächer gewichtet als die realen Messwerte, so können diese Beobachtungen kaum Einfluss auf die Ergebniskoordinaten nehmen. Der Einfluss der exakteren, realen Beobachtungen überwiegt den der fingierten Beobachtungen. In der Folge lässt sich in den Verbesserungen der fingierten Beobachtungen ablesen, mit welchen Abweichungen die in den abgewichteten fingierten Beobachtungen formulierte Geometrie im Koordinatenergebnis realisiert ist. So kann z.B. geprüft werden, ob ein Gebäude auf der Grenze steht, wie es etwa der Nachweis dokumentiert oder in örtlicher Ansehung vermutet wurde. In freier Ausgleichung würde der örtliche Grenzabstand als Verbesserung errechnet.

Zwang

Wenn die exakte Einhaltung einer geometrischen Festlegung in den Ergebniskoordinaten erzwungen werden soll, muss in der Ausgleichung die Umverteilung der Verbesserungen von den fingierten Beobachtungen auf die tatsächlichen Beobachtungen gesteuert werden. Entgegen der vorhergehend beschriebenen Diagnoseberechnung wird für diese fingierten Beobachtungen angestrebt, dass sich die Verbesserungen mit den Ergebniskoordinaten numerisch zu 0 ergeben. Um dies zu gewährleisten müssen die fingierten Beobachtungen mit deutlich höherem Gewicht in die Ausgleichung eingeführt werden, als die tatsächlichen Beobachtungen, die im Rahmen der Ausgleichung mit entsprechenden Verbesserungen auf ein „Wunschergebnis“ angepasst werden sollen.

Allgemein ist anzumerken, dass die Einführung fingierter Beobachtungen zur rechentechnischen Berücksichtigung geometrischer Festlegungen Einfluss auf die Schätzung der Varianzkomponenten hat. Durch zusätzliche Beobachtungen zu oder zwischen den Neupunkten wird einerseits der Freiheitsgrad künstlich angehoben, andererseits wird der Fehlerhaushalt beeinflusst, indem für Beobachtungen mit Diagnosefunktion zusätzliche Verbesserungen entstehen oder weil in der Folge von Beobachtungen, die Zwang auf das Ergebnis ausüben, zu einzelnen Messwerten realer Beobachtungen größere Verbesserungen errechnet werden. Ist das Ausgleichungsprogramm in der Lage, im Anschluss an die Ausgleichungsberechnung orthogonale Listen auszuwerten, sollte aus den genannten Gründen nach Ansicht der Arbeitsgemeinschaft immer diese Funktion genutzt werden, wenn Abstände oder parallele Breiten zu kontrollieren sind. Zwangsbedingungen lassen sich alternativ im Rahmen einer Ausgleichung als Transformation bewerkstelligen. Das Einrechnen von Punkten in bestehende Grenzen kann auch im Anschluss an die Ausgleichung mit separaten Programmen erfolgen, optimal durch ein aus der Benutzeroberfläche des Ausgleichungsprogramms zu startendes Softwaremodul, an das die einzuhaltenden Bedingungen aus der Ausgleichung übergeben werden.

Dieses Programm sollte zum Ausgleichungsergebnis neben Koordinatenänderungen insbesondere das Einrücken in Geraden und Kreisbögen dokumentieren können und die Überschreitung von Grenzwerten (aktuell 0,04 m) als Fehler ausweisen. Beispielsweise kann aus der KAFKA-Oberfläche das Programm „Geradenpunkte einrechnen“ gestartet werden. Hier fehlt jedoch zurzeit noch die Möglichkeit, Punkte in Kreisbögen einzurücken, indem z.B. Punkte in radialer Richtung so verschoben werden, dass der Abstand zum jeweiligen Kreismittelpunkt auf den maßgeblichen Radius angepasst wird. Wie es für Geradlinigkeiten eingerichtet ist, könnte ein äquivalenter Schalter „Zwangs-Kreis“, der einer Kreisbeobachtung in der Ausgleichung zugeordnet wird, das automatisierte Herstellen der Kreiskontinuität unterstützen.

7.7 Soll- und Absteckkoordinaten (Stand Mai 2009)

Die Herkunft von Soll-/Absteckkoordinaten *(siehe Handbuch II „Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS®“, AG2006, Abschnitt 1, Seite 3*), die von den Vermessungsstellen zur Übernahme in das Liegenschaftskataster eingereicht werden, ist für die übernehmende Katasterbehörde allgemein nicht von Interesse. Allerdings müssen auch bei der Anwendung von Sollkoordinaten die in Grenzniederschrift oder Fortführungsriss dargestellten geometrischen Beziehungen prüfbar dokumentiert sein. Die Dokumentationspflicht erstreckt sich auch auf die geometrischen Bedingungen, denen neue Vermessungspunkte beim Einrücken in bestehende Grenzen unterliegen. Soweit Sollkoordinaten aus anderen Applikationen wie beispielsweise einem CAD-Programm stammen, kann bei Übernahme der Koordinaten in das Ausgleichungsprojekt eine Diagnose geometrischer Festlegungen mit fingierten Beobachtungen erfolgen.

Eine interessante Variante stellt die Berechnung von Sollkoordinaten mit Hilfe des Ausgleichungsprogramms dar. Diese Vorgehensweise kann sich bei der Aufteilung von Baugebieten anbieten, wenn die Grenzpunkte alter Grenzen noch nicht in der Qualität Koordinatenkataster vorliegen und die neuen Grenzen nach geometrischen Festlegungen einer Planung und von bestehenden Grenzen abhängig zu berechen sind [vgl. hierzu: *Abschnitt 10 Anhang 1, Beispiel „Frauenberg – Absteckkoordinaten“*]. Es empfiehlt sich, die Abmarkung von Punkten nach Sollkoordinaten in einem zweiten Projekt zu bearbeiten, analog der Vorgehensweise bei einer zurückgestellten Abmarkung. Im ersten Projekt können die Beobachtungen des neuen Aufmaßes ausgeglichen werden und mittels erfasster Beobachtungen aus dem Nachweis und fingierten Beobachtungen für die neuen Grenzen alle erforderlichen Koordinaten simultan berechnet werden.

Eine Berechnung von Sollkoordinaten für alte, bestehende Vermessungspunkte nach Messungszahlen aus dem Nachweis setzt voraus, dass die Einhaltung aller nachbarschaftlich relevanten Kriterien durch den Umfang von örtlicher Untersuchung und Aufmessung gewährleistet ist.

Wenn die Qualität der eigenen Messung geprüft ist, muss noch untersucht werden, ob sich die in die Ausgleichung eingefügten Messungselemente des Katasternachweises mit ausreichender Güte in das neue Aufmaß eingliedern lassen. Wenn zur Berechnung von Sollkoordinaten Messungszahlen aus früheren Fortführungsvermessungen herangezogen werden, sollten diese Beobachtungen bei realistischen Gewichtsansätzen in freier Ausgleichung zusammen mit den neuen Messungselementen nach Möglichkeit eine hinreichende Lagegenauigkeit für die jeweiligen Vermessungspunkte liefern können.

8. Epilog (Stand Mai 2009)

Die Ausgleichungsrechnung bei Liegenschaftsvermessungen hat es bis heute schwer, sich gegenüber den hierarchischen bzw. linearen Berechnungsmethoden durchzusetzen. Viele bestehende Vorurteile, wie etwa eine schlechte Bedienungsergonomie der Ausgleichungsprogramme, ein mangelhaft realisierter Datenfluss oder nicht lesbare Ergebnisprotokolle, halten heute jedoch einer näheren Nachprüfung nicht mehr Stand. Wie bei jedem neuen Programm gilt es, sich zunächst mit dessen Erscheinungsbild und Funktionen vertraut zu machen, um effiziente Arbeitsergebnisse erzielen zu können. Erst dann ist ein realistischer Vergleich bezüglich Qualität und Effizienz mit der bisher verwendeten Berechnungsmethode möglich.

Diesen Anlauf- oder Anschubaufwand darf ich nicht scheuen, denn die Ausgleichungsrechnung bietet wie dargestellt auch einige Vorteile.

9. Quellenverzeichnis / Ansprechpartner

9.1 Literatur (Stand Mai 2009)

- **AdV1985**
  AdV: Koordinatenkataster – Grundsätze und Aufbau (1985).
- **AdV2001**
  AdV**:** Koordinatenbasierte Führung des Liegenschaftskataster (2001).
- **AG2006**
  Arbeitsgemeinschaft „Anwendung satellitengeodätischer Verfahren“: Arbeitsabläufe bei Liegenschaftsvermessungen mit SAPOS® (2006).
- **Benning1994**
  Benning, Wilhelm: Zur Koordinatentransformation im Ausgleichungsmodell hybrider Beobachtungen (FORUM 3/1994).
- **Benning1995**
  Benning, Wilhelm: Nachbarschaftstreue Restklaffenverteilung für Koordinatentransformationen (ZfV 1/1995).
- **Benning1996**
  Benning, Wilhelm: Zur nachbarschaftstreuen Einpassung von GPS-Messungen ins AP-Feld (FORUM 1/1996).
- **Benning2006**
  Benning, Wilhelm: Programmsystem KAFKA (Handbuch zur Windows-Version 2.1.0, 2006).
- **Derenbach2007**
  Derenbach, Heinrich u.a.: Ausgleichungsrechnung – Theorie und aktuelle Anwendungen aus der Vermessungspraxis (Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformatik der Universität Karlsruhe, 2007,4).
- **Einführungserlass ETRS89/UTM**
  Innenministerium NRW: Einführung des Europäischen Terrestrischen Referenzsystems 1989 mit Universaler Mercator Abbildung (ETRS89/UTM) als amtliches Bezugssystem für das Liegenschaftskataster in NRW (Einführungserlass ETRS89/UTM), RdErl. v. 09.08.2004 – 37 – 7170.
- **FortVErl.**
  Innenministerium NRW: Das Verfahren bei den Fortführungsvermessungen in Nordrhein-Westfalen (Fortführungsvermessungserlass – FortfVErl. –), RdErl. v. 23.03.2000 – III C 4 – 8110.
- **Fröhlich1998**
  Fröhlich, Hans / Körner, Hubert: Refreshkurs Ausgleichungsrechnung (Vorlesungsunterlagen, 1998).

- **Fröhlich2003**
  Fröhlich, Hans: Praxisorientierte Ausgleichungsrechnung für Vermessungsingenieure (Selbstverlag Fröhlich, 2003).
- **GPS-Richtlinien**
  Innenministerium NRW (Hrsg.): Richtlinien zum Einsatz von satellitengeodätischen Verfahren im Vermessungspunktfeld (– GPS-Richtlinien – vom 02.09.2002 (Stand 15.04.2003)).
- **Jäger/Mattiseck1996**
  Jäger, Ulrich / Mattiseck, Klaus: Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Bestimmung von Vermessungspunkten des Lagepunktfeldes (NÖV 2/1996).
- **Roetzel2004**
  Roetzel, Bernd: Flächenhafte Ausgleichung von Katastervermessungen mit KAFKA (NÖV 1/2004).
- **Rüger/Seydich1986**
  Rüger, Hans-Herbert / Seydich, Werner: Programmsystem KAFKA – Durchführung und Ergebnisse eines umfangreichen Tests (NÖV 4/1986).
- **VPErl.**
  Innenministerium NRW: Die Bestimmung von Vermessungspunkten der Landesvermessung in Nordrhein-Westfalen (Vermessungspunkterlass – VPErl. –), RdErl. v. 21.01.1996 – III C 4 – 7136.
- **Wanjura2004**
  Wanjura, Joachim: Qualitätssicherung und Effizienz – ein Widerspruch? (FORUM 4/2004).
- **Wikipedia**
  Wikipedia, Die freie Enzyklopädie: http://de.wikipedia.org

9.2 Abbildungsverzeichnis (Stand April 2014)

- Arbeitsgemeinschaft „Anwendung satellitengeodätischer Verfahren“
    - Abbildungen: 3.1 - 3.4, 5.1
- Matthiak, ÖbVI Kroll, Aachen
    - Abbildung: 4.1 (wurde auch im Handbuch II [*AG2006*] als Abb.6.17 verwendet)
- Screenshot aus dem Programm WinKAFKA
    - Abbildungen: 5.2, 5.12 – 5.18, 6.1 – 6.16, 7.1 7.4
- Screenshot aus dem Programm KAVDI
    - Abbildungen: 5.3, 5.4
- Aus Wikipedia, Die freie Enzyklopädie
    - Abbildungen: 5.5 - 5.7
- Modifizierter Auszug aus dem VPErl., Anlage 3
    - Abbildung: 5.8
- Screenshot aus dem Programm ZeiBer
    - Abbildungen: 5.9 – 5.11

9.3 Ansprechpartner (Stand April 2014)

Geschäftsstelle der Arbeitsgemeinschaft „Anwendung satellitengeodätischer Verfahren“

bei der Bezirksregierung Köln, Dezernat 31.2 – Katasterwesen, Zeughausstraße 2-10, 50667 Köln:

Dipl.-Ing. Philipp Steinrücken	Bezirksregierung Köln Dezernat 31 0221 / 147-3535 philipp.steinruecken@brk.nrw.de

Weitere Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. Stefan Drüppel	Bezirksregierung Düsseldorf Dezernat 31.2 Cecilienallee 2 40474 Düsseldorf 0211 / 475-2122 stefan.drüppel@brd.nrw.de
Dipl.-Ing. Ulrich Epp	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur Kaiser-Wilhelm-Platz 12 53721 Siegburg 02241 / 592930 info@vermessung-epp.de
Dipl.-Ing. Jürgen Keller	Der Landrat des Rhein-Sieg-Kreises Amt 62 - Katasteramt Kaiser-Wilhelm-Platz 1 53721 Siegburg 02241 / 13-2864 juergen.keller@rhein-sieg-kreis.de
Dipl.-Ing. Klaus Kochs	Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur Kölner Straße 22 50226 Frechen 02234 / 52910 klaus.kochs@ing-kochs.de
Dipl.-Ing.Peter Reifenrath	Bezirksregierung Köln Dezernat 71 0221 / 147 4363 peter.reifenrath@brk.nrw.de

Dipl.-Ing. Jürgen Richert

Der Landrat des Rheinisch-Bergischen Kreises
Vermessungs- und Katasteramt
Am Rübezahlwald 7
51434 Bergisch Gladbach
02202 / 13-2609
Juergen.Richert@rbk-online.de

Dipl.Ing.'in Susanne Thielen

Der Oberbürgermeister der Stadt Köln
Amt 23 – Amt für Liegenschaften, Vermessung und Kataster
Willy-Brandt-Platz 2
50679 Köln
0221 / 221-23220
susanne.thielen@stadt-koeln.de

Dipl.-Ing. Franz-Josef Wielpütz

Der Landrat des Rhein-Sieg-Kreises
Amt 62 - Katasteramt
Kaiser-Wilhelm-Platz 1
53721 Siegburg
02241 / 13-2856
franz-josef.wielpuetz@rhein-sieg-kreis.de

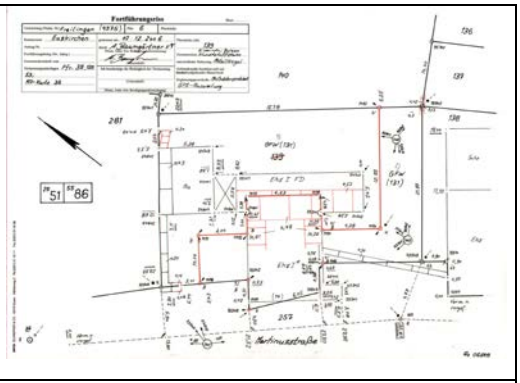
10. Anhang 1: Beispiele (Stand Mai 2009)

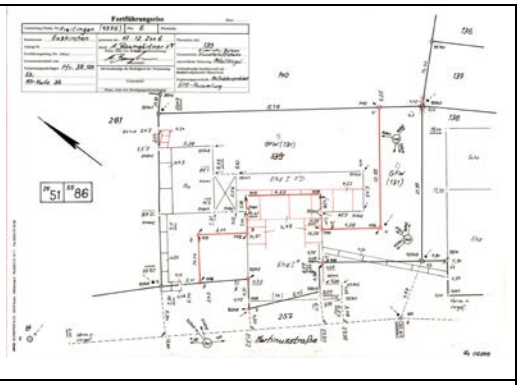
Hinweis: Für die Fortbildungsveranstaltung im Jahr 2014 werden neuere Beispiele verwendet, die dann außerhalb dieses Handbuchs zur Verfügung gestellt werden.

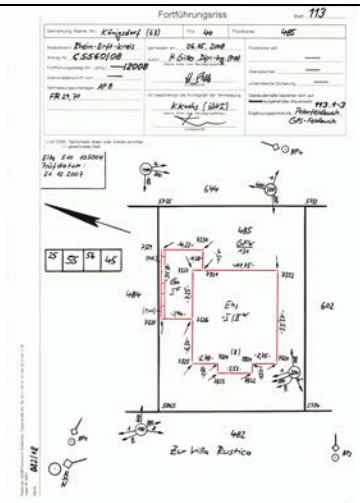
Die nachfolgenden Beispiele werden unter der Internetadresse zum Download bereit gestellt:

http://www.brk.nrw.de/brk_internet/organisation/abteilung03/dezernat_31/liegenschaftskataster/handbuch_ausgleichung/index.html

(Startseite / Organisation / Abteilung 03 / Dezernat 31 / Liegenschaftskataster / Ausgleichung im Liegenschaftskataster)

Beispiel 1: Euskirchen, Freilingen, Martinusstraße	
Thema: Beispiel – ohne Fehler und Besonderheiten	
Abschnitt: 5	
Hier handelt es sich um ein Beispiel, das glatt durchläuft. Die Teilung im Bestand mit erstmaliger Bestimmung im ETRS89/UTM hat keine Besonderheiten. Hinweis: Der Riss enthält Orthogonalmaße über 20 m, was nach heutiger Vorschriftenlage unzulässig ist.	

Beispiel 2: Euskirchen, Freilingen, Martinusstraße	
Thema: „Grober Fehler“	
Abschnitt: 7.2	
Aus dem ersten Beispiel abgeleiteter Fall eines „Groben Fehlers“. Dabei wurde bei der Übertragung einer gemessenen Einzelstrecke die Grenzlänge (hier Strecke zwischen GP 1497 und GP 1498 – gemessen mit 6,23 m, aber mit 6,13 m) falsch in den Datenfluss übernommen. Die L1-Norm Ausgleichung – als Robustes Schätzverfahren für Grobe Fehler – liefert tatsächlich nur einen Fehler in dieser Strecke. Bei der L2-Norm Ausgleichung hingegen werden 5 Fehler lokalisiert. Die betroffene Strecke ist ebenso dabei, wie die Strecke vom Freien Standpunkt 1003 zum GP 1498 und die Richtungen zu GP 1498 und GebP 54701 sowie die Richtung auf dem Freien Standpunkt 1001 zum GP 1497.	

Beispiel 3: Villa-Rustica	
Thema: Fingierte Beobachtungen, Ermittlung Grenzabstand	
Abschnitt: 7.5	

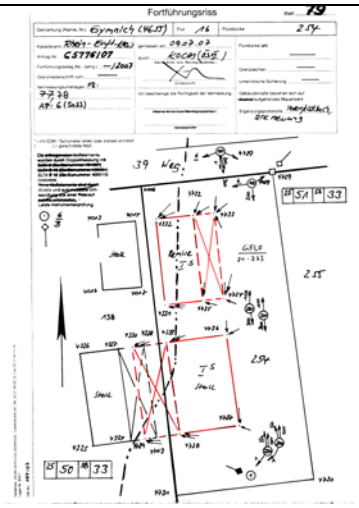
In diesem Beispiel liegt bereits Koordinatenkataster vor. Das Gebäude kann deshalb ohne örtliche Grenzuntersuchung eingemessen werden. Die Katasterämter verlangen teilweise auch im Koordinatenkataster die Ermittlung von Grenzabständen und die Eintragung in den Riss. Der Grenzabstand kann als Verbesserung aus einer untergewichteten Fluchtbeobachtung oder mittels einer Abstandsbeobachtung mit schwachem Gewicht ermittelt werden. Im Unterschied zur Fluchtbedingung wird bei der Abstandsbeobachtung ein Abstand (<>0) vorausgesetzt. Wählt man hier beispielsweise 1/10 mm als fiktiv gemessenen Abstand, so zeigt die Verbesserung den Abstand im Hinblick auf die Auflösung im Liegenschaftskataster ausreichend an.

Um zu gewährleisten, dass einerseits das Ausgleichungsergebnis weitgehend unbeeinflusst bleibt und andererseits der berechnete Wert der Realität entspricht, muss der Genauigkeitsansatz bei fingierten Beobachtungen so gewählt werden, dass die Kontrolliertheit fingierter Beobachtungen möglichst hoch und ideal bei 100% liegt. Gleichzeitig soll der Einfluss die Punktlage (EP) bei 0 liegen.

Beispiel 4: Gymnich

Thema: Gewichtung und Kontrolliertheit

Abschnitt: 5



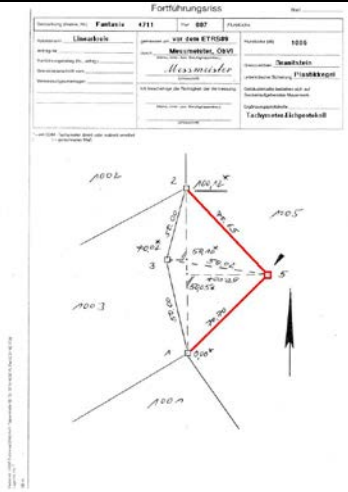
Das Beispiel zeigt die SAPOS gestützte Einmessung eines landwirtschaftlichen Gebäudes. Die Gebäudeecken sind überwiegend durch doppelt polare Aufnahme bestimmt. Einzelne Punkte sind ausschließlich durch Richtungsmessung festgelegt. Der Abgleich der Gewichtseinheit der Beobachtungsgruppen EDM-Strecken und Richtungen bei jeweils 1,0 zeigt hier instrumententypisch, dass die ungenauere Streckenmessung die präzisere Richtungsmessung nicht kontrollieren kann. Inwieweit diese Effekte auftreten, ist von der konkreten Aufnahmekonstellation abhängig. Besonders deutlich wird der Zusammenhang in den Punkten, in denen die „Polarpfeile“ annähernd orthogonal zueinander auftreffen. Durch eine Verschiebung der Gewichtung innerhalb der Grenzen der Vorschriften kann die Kontrolliertheit herbeigerechnet werden.

Bedenkt man, dass die Problematik bei Verwendung eines Tachymeters mit ungenauerem Winkelmessteil nicht entstanden wäre, so wird deutlich, dass eine isolierte Betrachtung dieses Qualitätskriteriums unsinnig ist. An die Stelle der Kontrolliertheit von Beobachtungen muss im Koordinatenkataster eine plausible Aussage über die Kontrolliertheit der berechneten Koordinatenwerte treten.

Beispiel 5: Fantasia

Thema: Iterationen ohne Konvergenz, unzureichender Lagebezug, fehlende Kontrolle

Abschnitt: 5.2, 5.3, 7.3



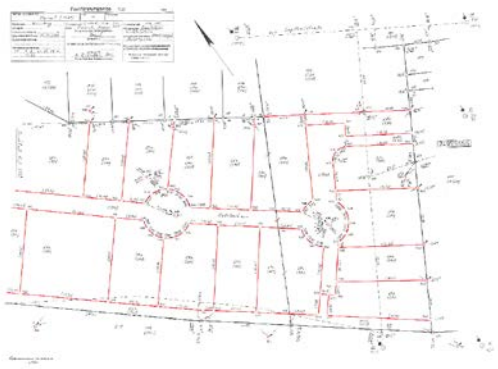
Die Vermessung erfolgte hier ohne die Herstellung eines unabhängigen Lagebezugs. Der Riss enthält aus Polaraufnahme abgeleitete Maßangaben. Grenzmaße und Diagonale sind länger als 20 m und entgegen den Vorschriften mit dem Messband ermittelt. Für die Grenzpunkte 1, 2 und 3 liegen bereits Koordinaten in Koordinatenkatasterqualität vor. Die Koordinaten von P1 und P2 sind zur Anschaulichkeit so gewählt worden, dass mit identischen Rechtswerten die Messungslinie streng ausgenordet ist (Gitternord). Der Rechtswert von P3 ist gegenüber den Punkten 1 und 2 um 1 mm größer gewählt. Bei einer Umformung liegt P3 1 mm östlich der Messungslinie P1-P2. Beim orthogonalen Aufmaß hat sich die Lage von P3 örtlich 2 cm westlich der Messungslinie in guter Übereinstimmung mit der „rechnerischen Geradlinigkeit“ aus Koordinatenwerten ergeben.

Liegen bei Messungslinien Widersprüche in der Ordinatenorientierung zwischen der Geometrie von Messung und Anschlusskoordinaten vor, so wird im Beispiel bei fester Ausgleichung das Konvergenzkriterium nicht erreicht. Mit dynamischen Anschlusspunkten treten diese Probleme nicht auf. Liegt P3 nach Koordinaten streng auf der Linie oder ergibt sich das gleiche Vorzeichen wie bei der Messung für die Ordinate, so wird das Abbruchkriterium auch bei fester Ausgleichung erreicht.

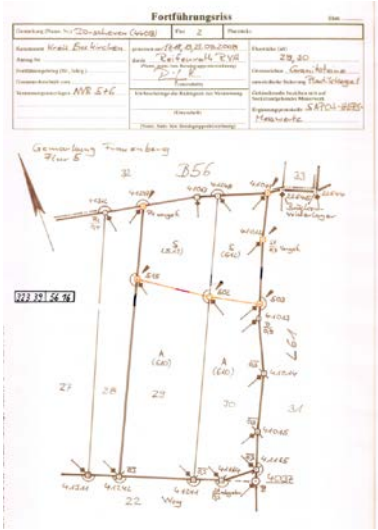
Wenn für eine erneute dynamische Ausgleichung P1 durch Änderung der Anschlusskoordinaten um 15 cm nach Osten verschoben wird, ergibt sich P5 mit einer linearen Abweichung von 91 mm zum ursprünglichen Ergebnis, ohne dass in den Messwerten Fehler auftreten. Die erhobenen Messwerte reichen für die Grenzuntersuchung nicht aus. Für den Neupunkt können die Koordinaten nicht in einer für das Koordinatenkataster ausreichenden Qualität bestimmt werden.

Diagonale und Spannmaße könnten - ausreichende Genauigkeit vorausgesetzt - lediglich den Betrag der Zahlenwerte des orthogonalen Aufmaßes kontrollieren, jedoch nicht die Orientierung von Messungslinie und Ordinaten (Vorzeichen). Tauscht man bei der definierten Messungslinie die Punktnummern von Anfangs- und Endpunkt gegeneinander aus, meldet die Berechnung der dynamischen Ausgleichung keine Fehler in den Messdaten auch wenn zusätzlich noch die Vorzeichen der Ordinaten geändert werden. Damit wird die Unwirksamkeit der „Kontrollmaße“ und die stets vorausgesetzte Richtigkeit von Darstellung und Aufschrieb im Riss deutlich. Es ist erkennbar, dass Fehler vermieden werden, wenn bei der Vermessung ein geeigneter Lagebezug unabhängig hergestellt wird und die polaren Messwerte im Datenfluss der Berechnung zugeführt werden können.

Um den Ansprüchen des Lagebezugswechsels gerecht zu werden, müssen die praktizierten Mess- und Berechnungsverfahren kritisch hinterfragt werden.

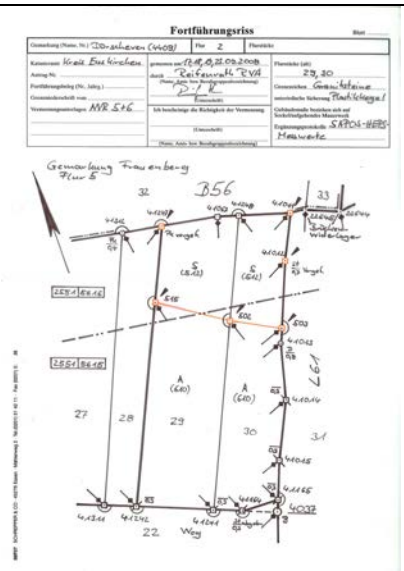
<table>
<tr><td>Beispiel 6: Baulandaufteilung</td><td rowspan="3">  </td></tr>
<tr><td>Thema: Fehlerhafte Abbildungskorrektion, falsches Lagebezugssystem</td></tr>
<tr><td>Abschnitt: 7.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">Das Beispiel zeigt die SAPOS gestützte Aufteilung eines Baugebietes (hier ein Ausschnitt). In den Steuerdaten ist unter dem Punkt Abbildungskorrektion die „Gauss-Krüger-Korrektion“ voreingestellt gewesen. Dies ist natürlich falsch, da die Koordinaten (SAPOS-Beobachtungen) im ETRS89/UTM bestimmt wurden. Diese falsche Einstellung in den Steuerdaten wurde jedoch zunächst nicht bemerkt. Die Vorauswertung zeigt 19 Fehler und 3 Warnungen. Bei der anschließenden freien Ausgleichung (L2-Norm) werden 20 Fehler und 2 Warnungen angezeigt! Bei den Datenfehlern wird ein maximaler Einfluss auf die Punktlage (EP) von 46 mm ausgewiesen.

Nun wird bei den Steuerdaten die hier zutreffende Abbildungskorrektion „UTM-Abbildung (Datum GRS80)“ eingestellt und mit „Speichern“ übernommen. Die erneute Vorauswertung zeigt noch 17 Fehler und 2 Warnungen an. Die anschließende freie Ausgleichung (L2-Norm) weist nun aber lediglich 2 Fehler und 0 Warnungen aus. Bei den Datenfehlern wird nun ein maximaler Einfluss auf die Punktlage von 6 und 5 mm ausgewiesen.</td></tr>
<tr><td colspan="2">Auf eine zutreffende Einstellung der Steuerdaten ist zu achten.</td></tr>
</table>

Beispiel 7: Frauenberg	
Thema: Identitätsprüfung	
Abschnitt: 7.4	

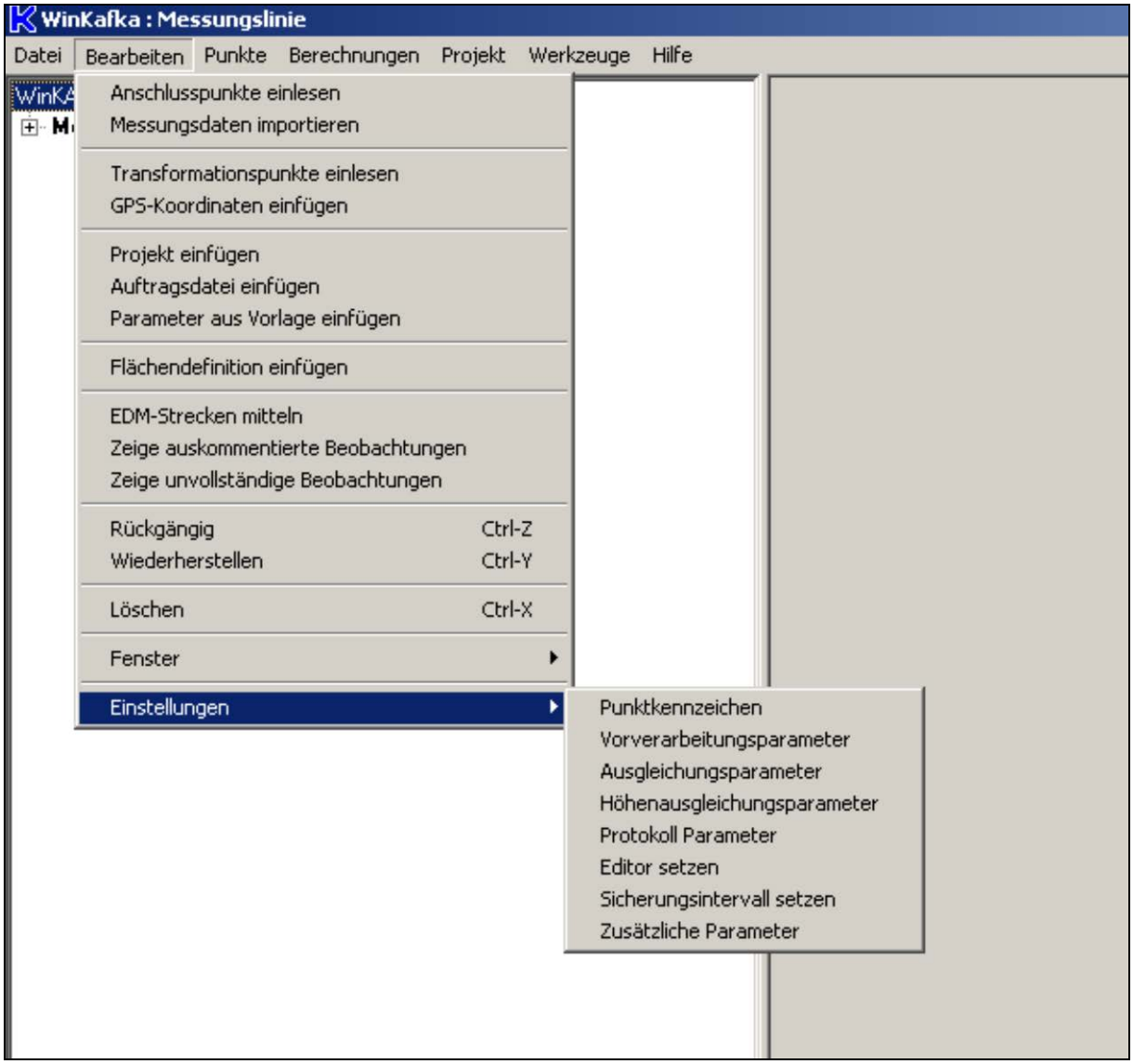
Das Beispiel behandelt eine Teilung von zwei Flurstücken. Die Messung wurde vollständig unter der Verwendung des SAPOS-HEPS-Dienstes durchgeführt. Für Die Überprüfung der Identität der vorgefundenen Vermarkungen ist ein Vergleich mit dem Nachweis notwendig. Im Außendienst wurden hierzu Linienumformungen mit dem Controller des GNSS-Rovers durchgeführt. Die Abweichungen lagen beim Auffinden alle im zulässigen Bereich.

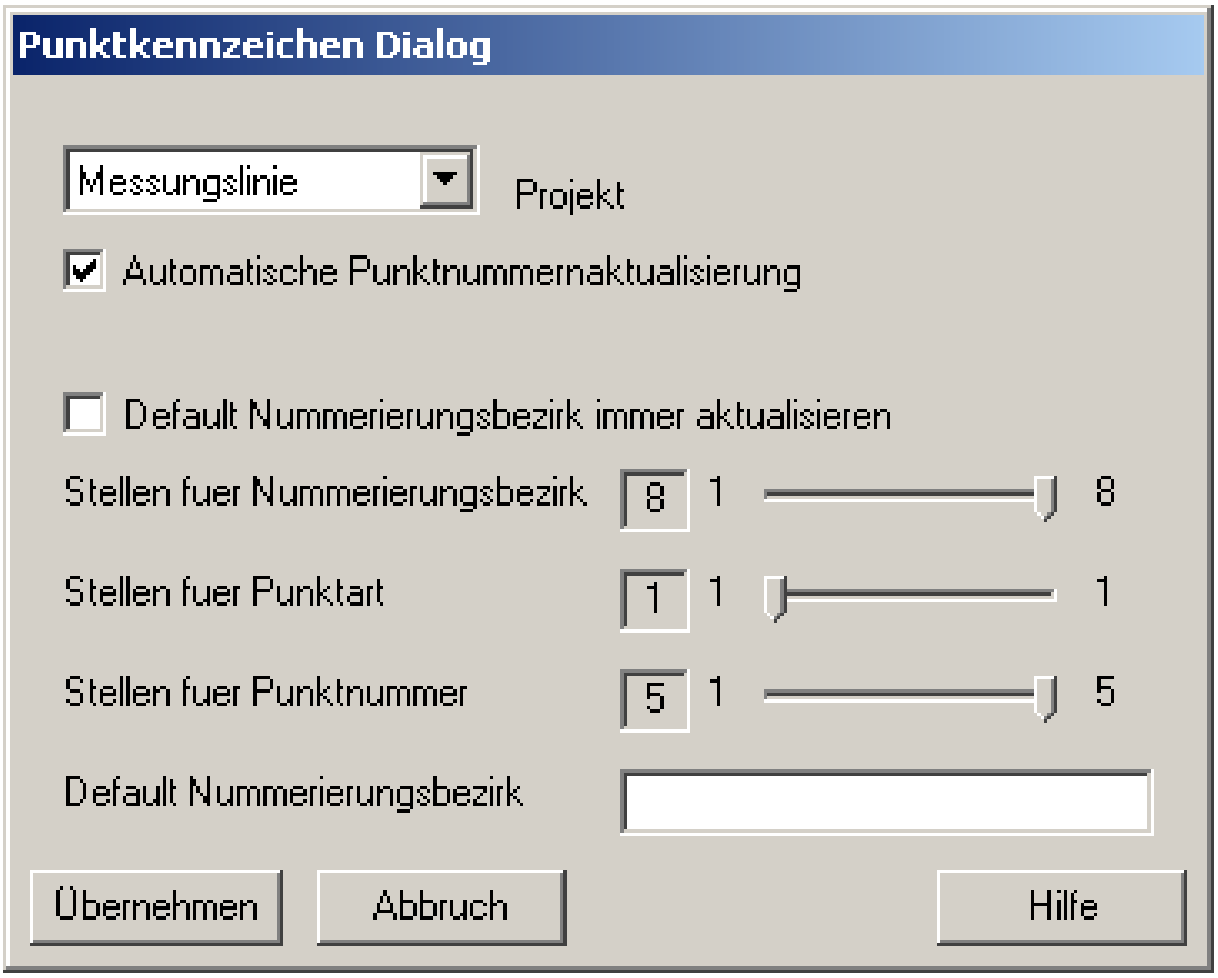
Für den Nachweis der Identitätsprüfungen im Rahmen der Berechnungsdokumentation wurden die Entstehungsmaße und Bedingungen in KAFKA erfasst und deutlich untergewichtet. In der Regel wurden dabei orthogonale Elemente benutzt. Für die Punkte 41011 und 41012 sowie den Punkten 41013, 41014 und 41015 wurden zwei Transformationen zu den Nachweiskoordinaten mit deutlicher Untergewichtung angesetzt, da hierfür keine orthogonalen Elemente verfügbar sind. In einer freien Ausgleichung können die Differenzen zwischen dem neuen Aufmaß und dem Katasternachweis berechnet werden. Sie werden in den Verbesserungen der Nachweiselemente ausgewiesen. Der Punkt 41242 wird nun mit einer leichten Überschreitung der zulässigen Abweichung zur Geraden (von 41311 nach 4037) ausgewiesen, da alle Elemente der Messung eingehen und nicht nur jeweils eine Bestimmung pro Punkt, wie in der hierarchischen Berechnung im Außendienst.

Beispiel 8: Frauenberg	
Thema: Absteckkoordinaten	
Abschnitt: 7.6	

Das Beispiel behandelt die gleiche Teilung wie das Beispiel zur Identitätsprüfung. In der Regel liegen, wenn Absteckkoordinaten berechnet werden sollen, nur der Katasternachweis und Absteckungselemente oder -bedingungen vor. In diesem Fall sind Koordinaten des Katasternachweises und orthogonale Absteckungselemente vorgegeben. Da der Katasternachweis noch im Netz77 vorliegt erfolgte die Berechnung mit der „Steuerdaten Abbildungsreduktion“ „Gauss-Krüger-Reduktion“. Näherungskoordinaten für die Absteckpunkte werden für die Ausgleichung automatisiert berechnet. Die Ausgleichung erfolgt hier unter Zwang, da der Katasternachweis für die Berechnung angehalten werden soll.

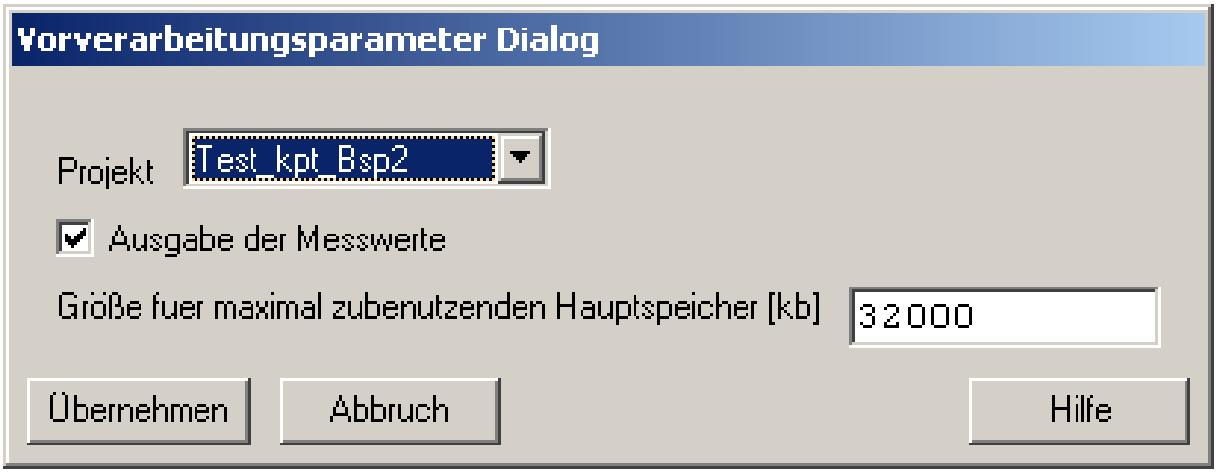
11. Anhang 2: Einstellungen in WINKAFKA (Stand Mai 2009)

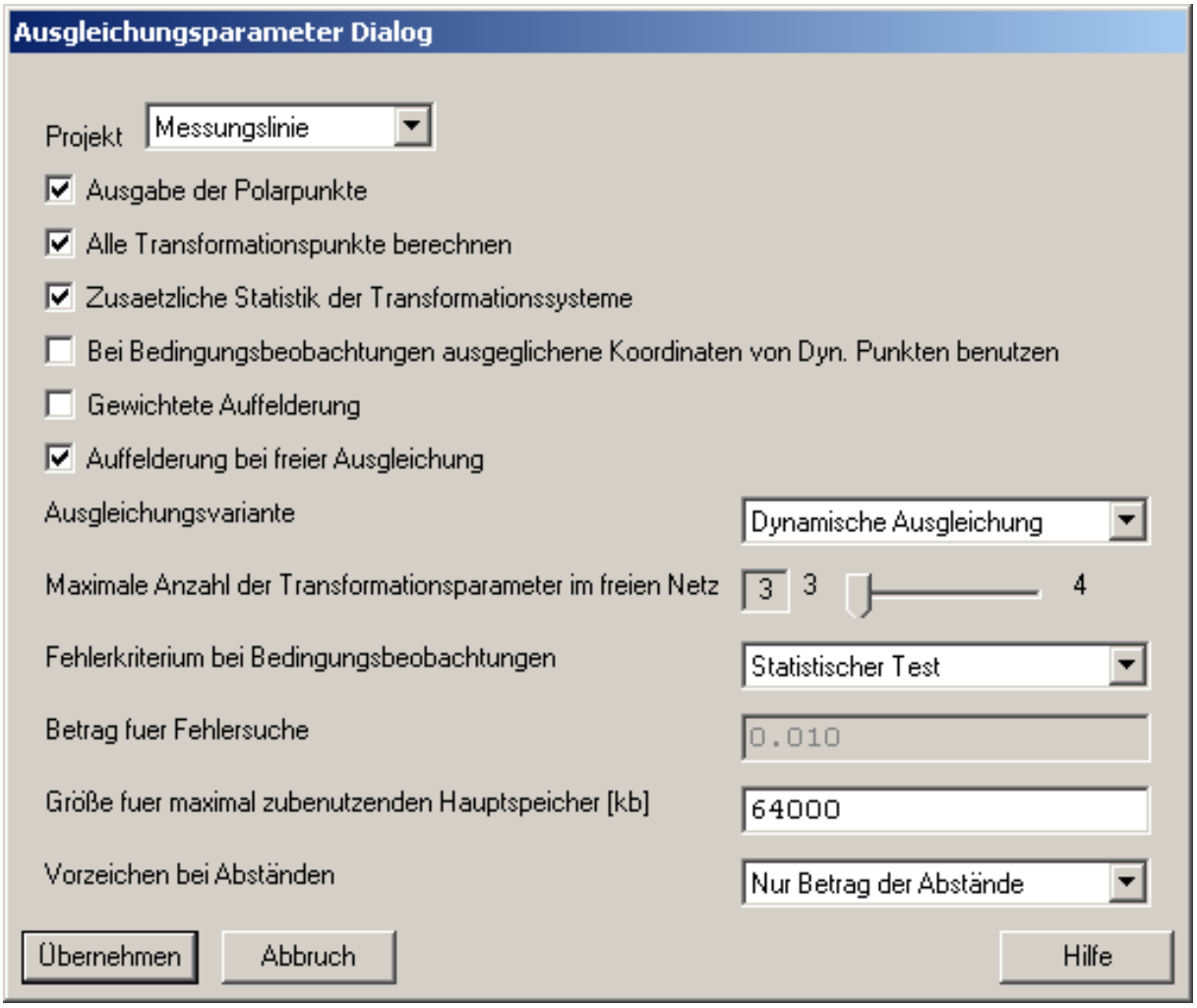




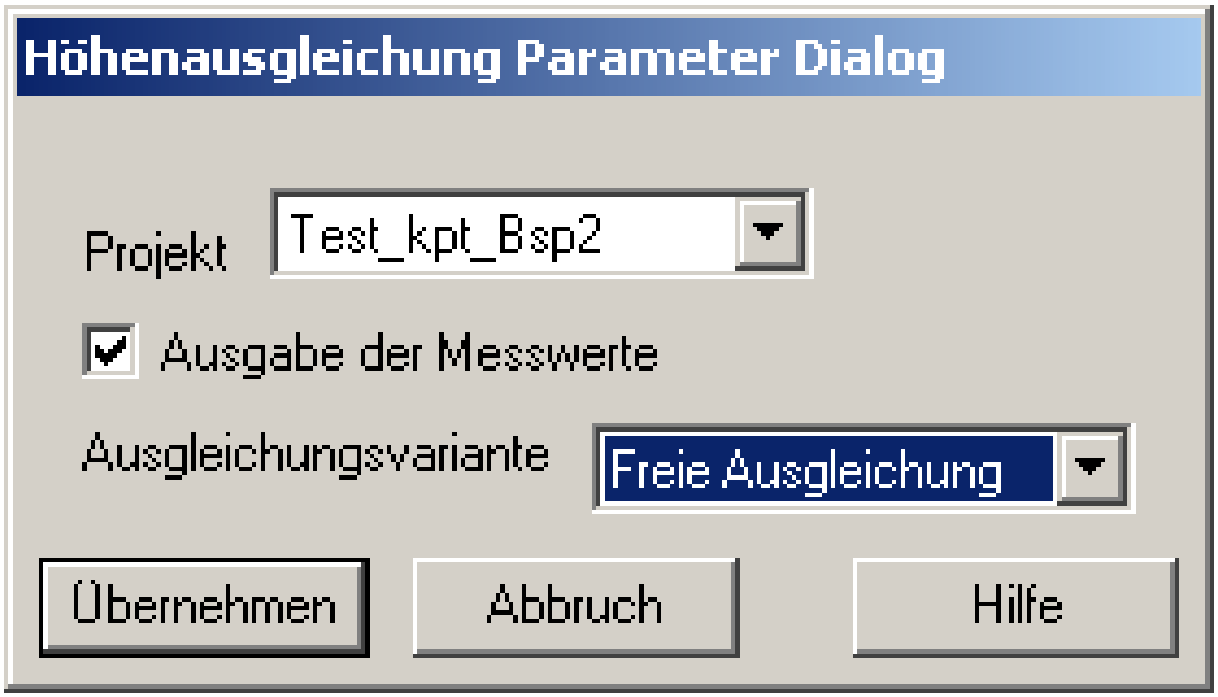
Wozu dient hier die Projektauswahl? Bei mehreren gleichzeitig geöffneten Projekten kann hier zwischen den Projekten ausgewählt werden.

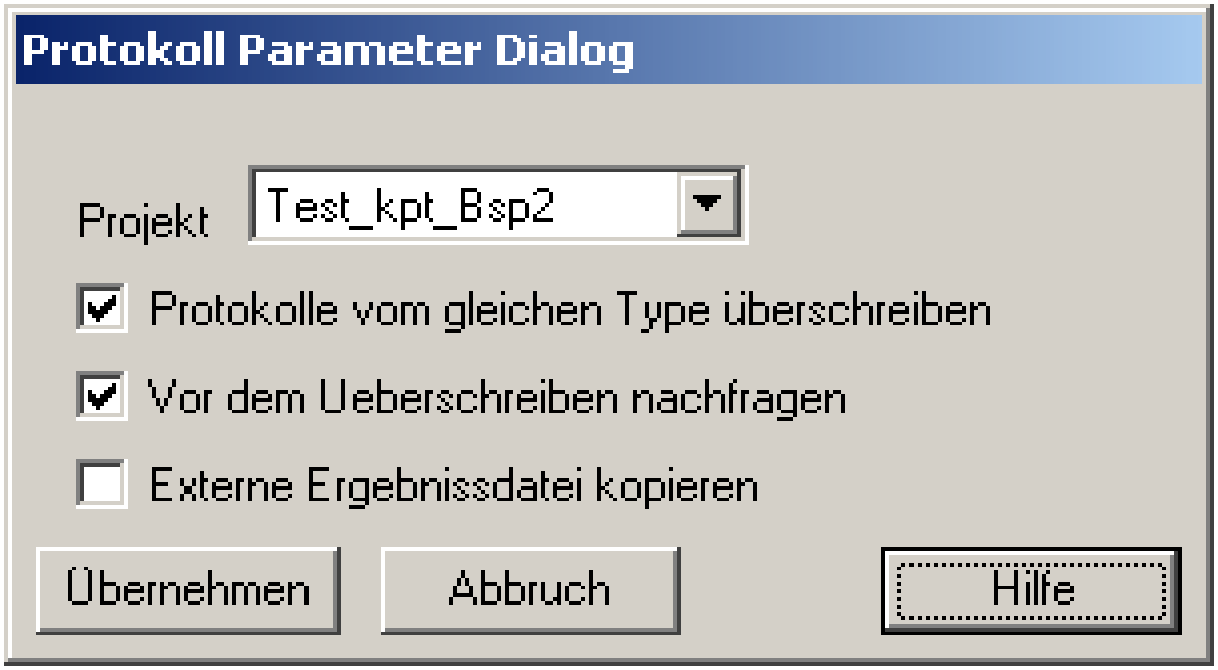
Das Feld „Default Nummerierungsbezirk immer aktualisieren“ sollte bei Berechnung im ETRS89 nicht ausgewählt werden. Eine automatisierte Generierung des Nummerierungsbezirkes im Punktkennzeichen aus ETRS89/UTM ist derzeit nicht möglich (Version WinKAFKA 6.0.0).

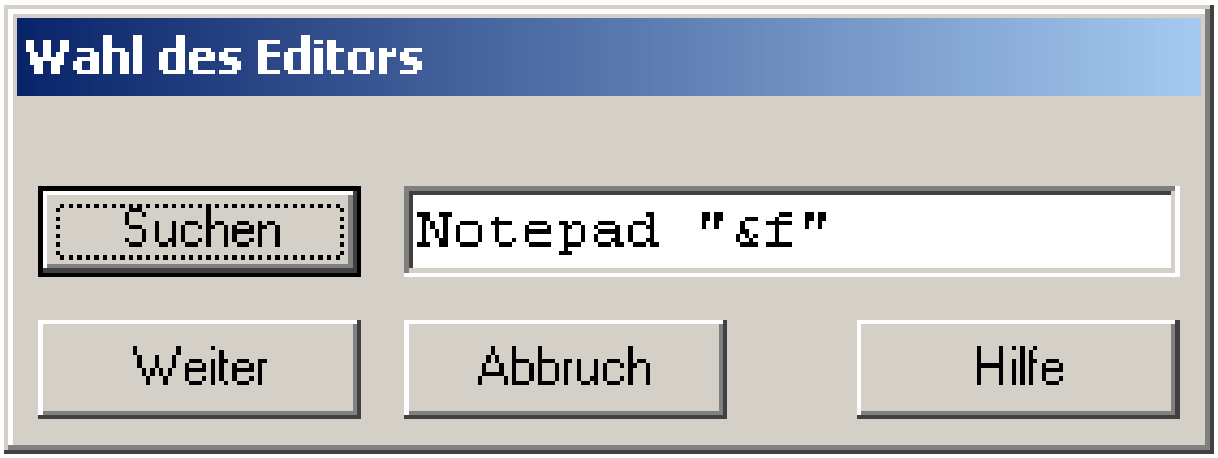




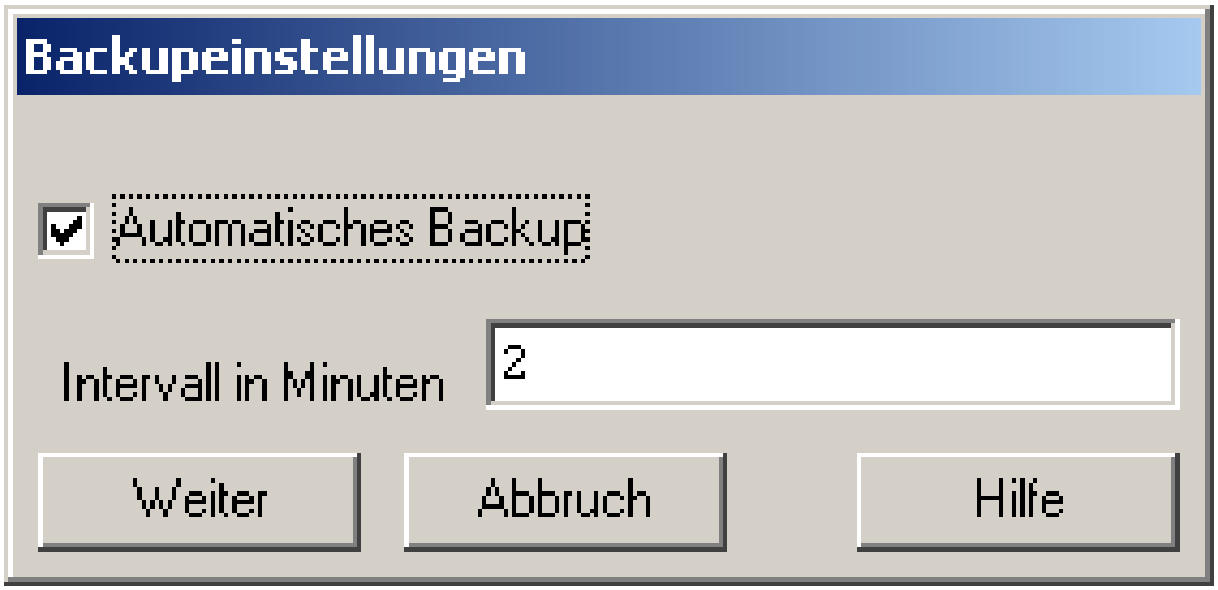
Findet im Liegenschaftskataster keine Anwendung:

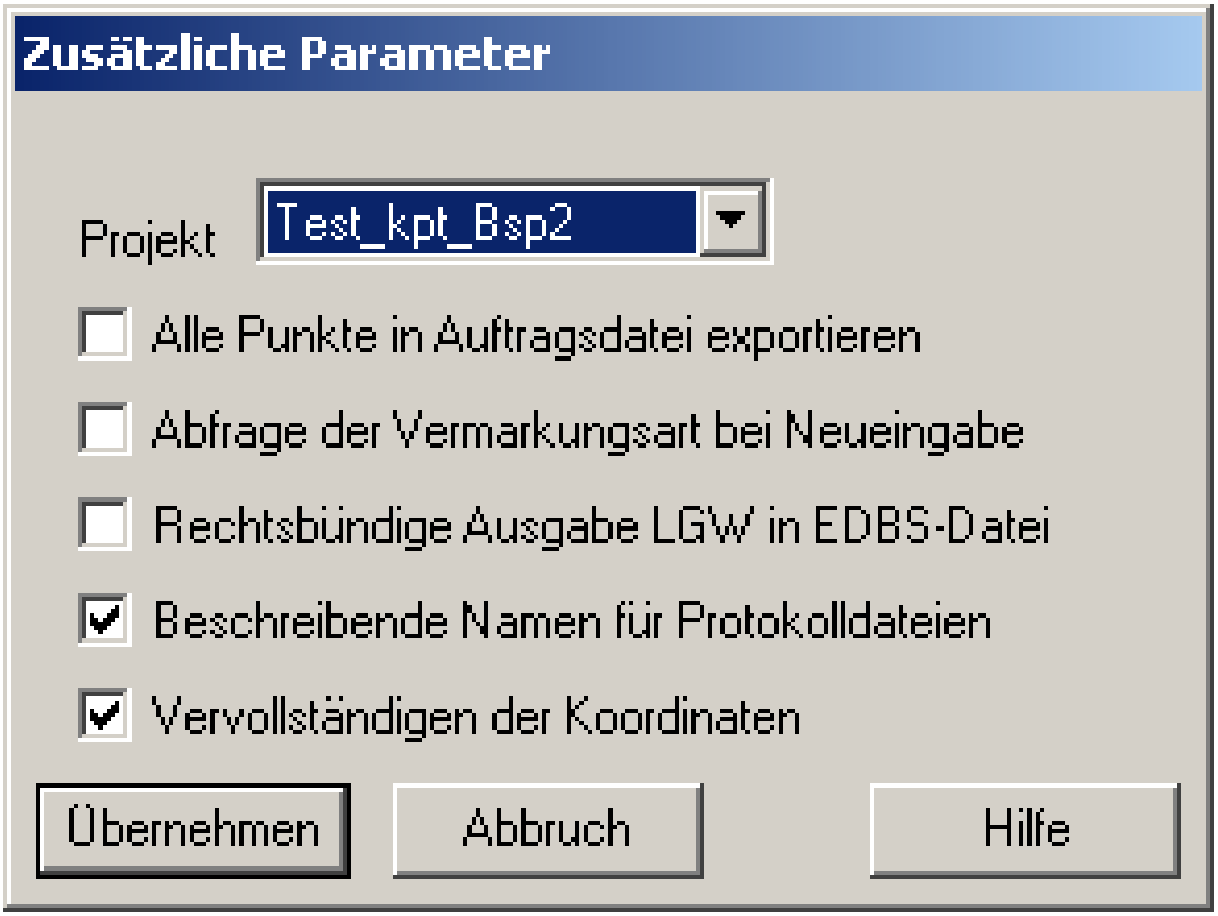


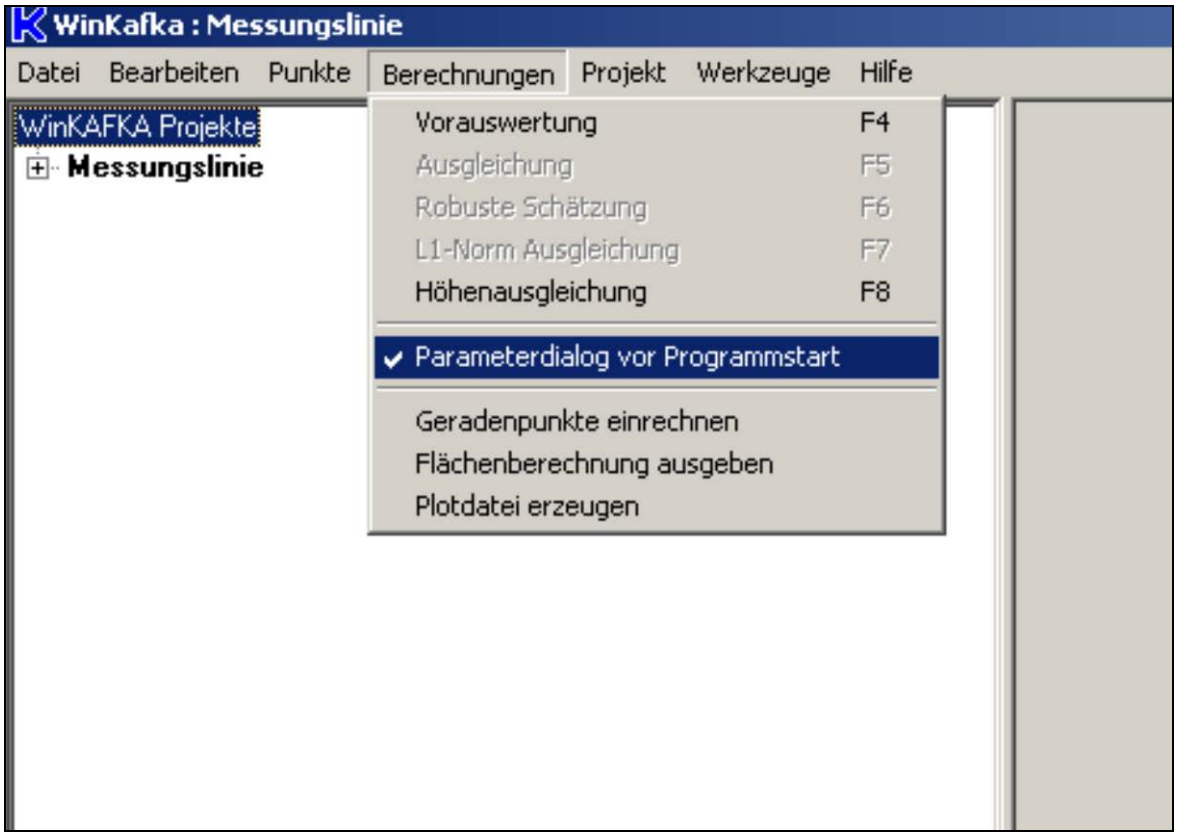




Den bevorzugten Editor auswählen.

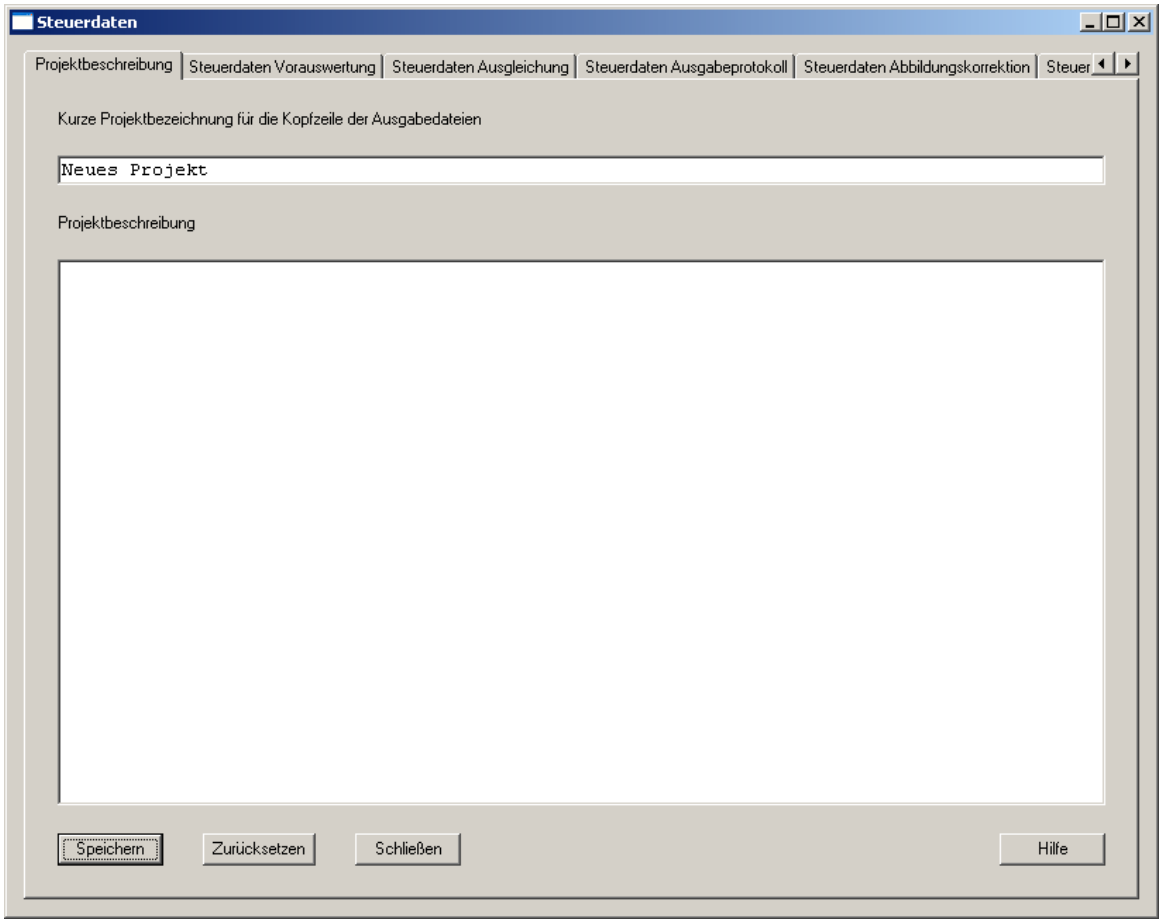


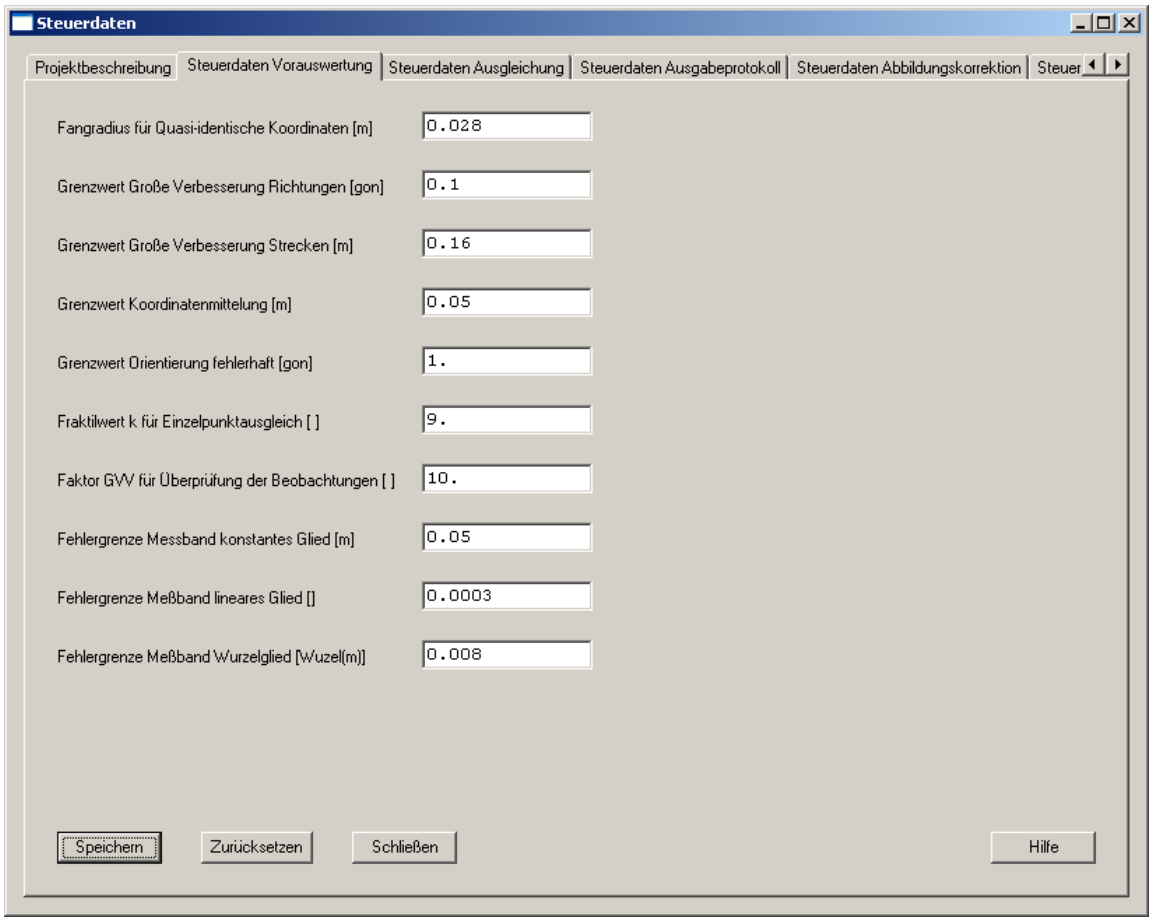


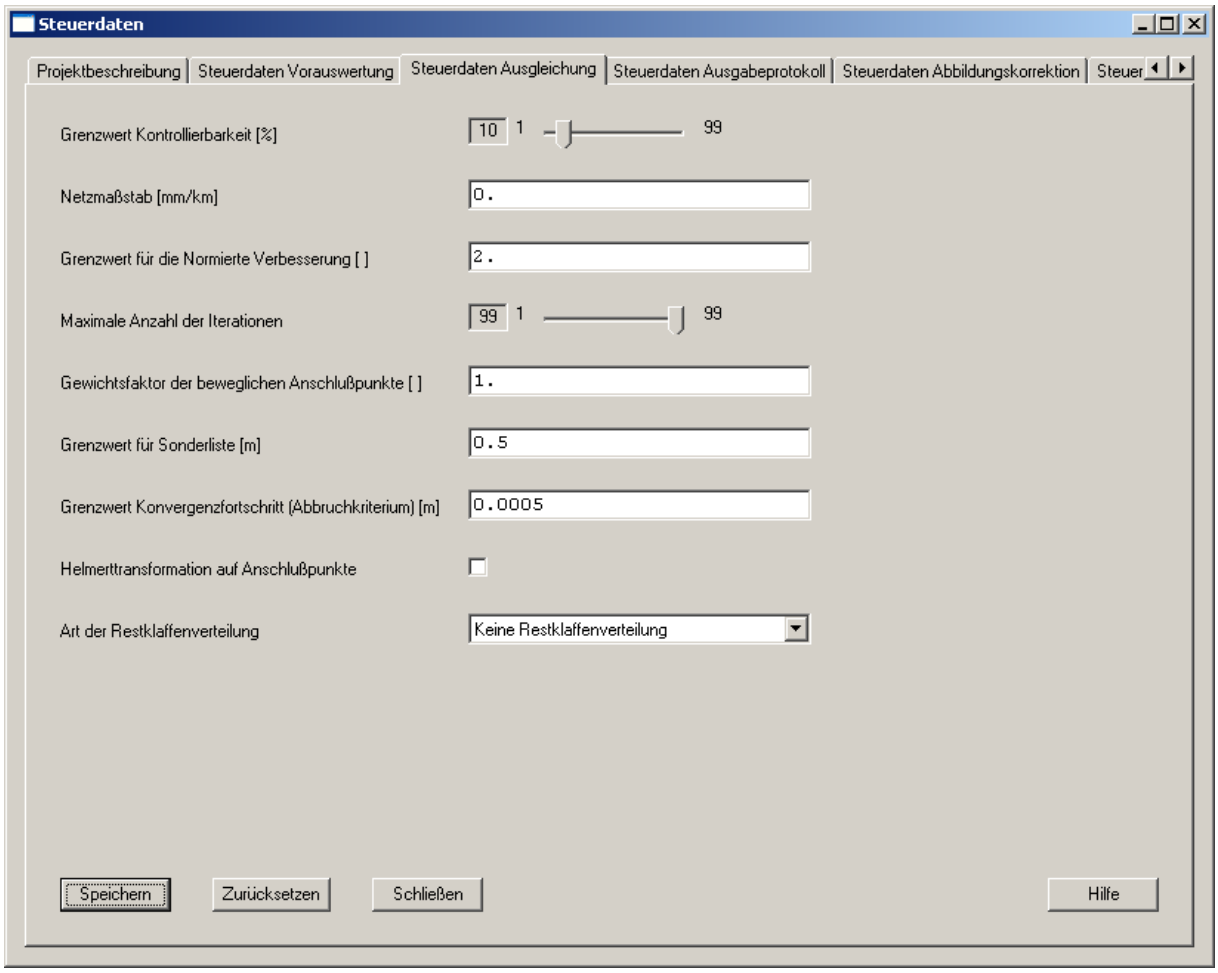


Der Haken sollte gesetzt sein.

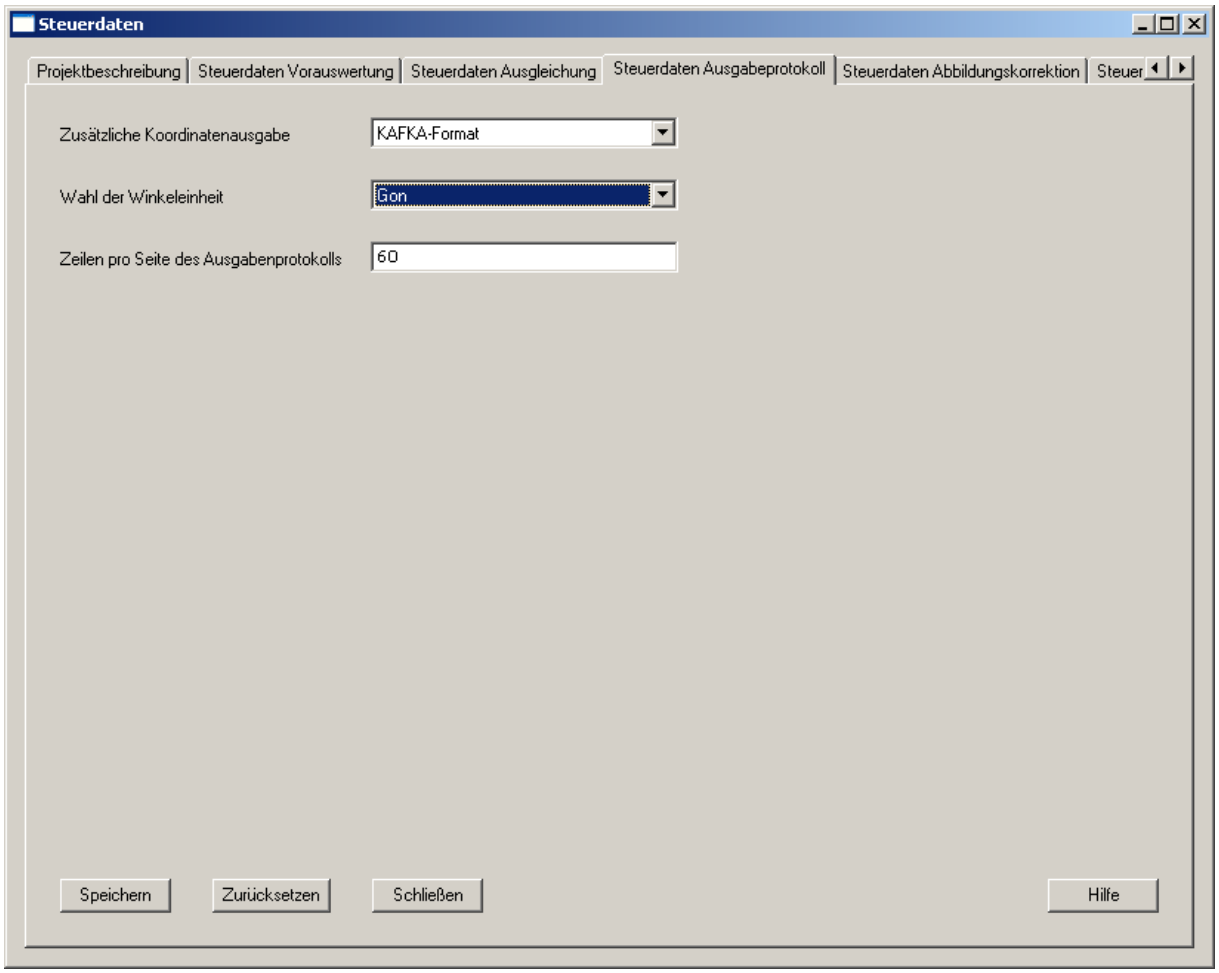
12. Anhang 3: Steuerdaten in WINKAFKA (Stand Mai 2009)

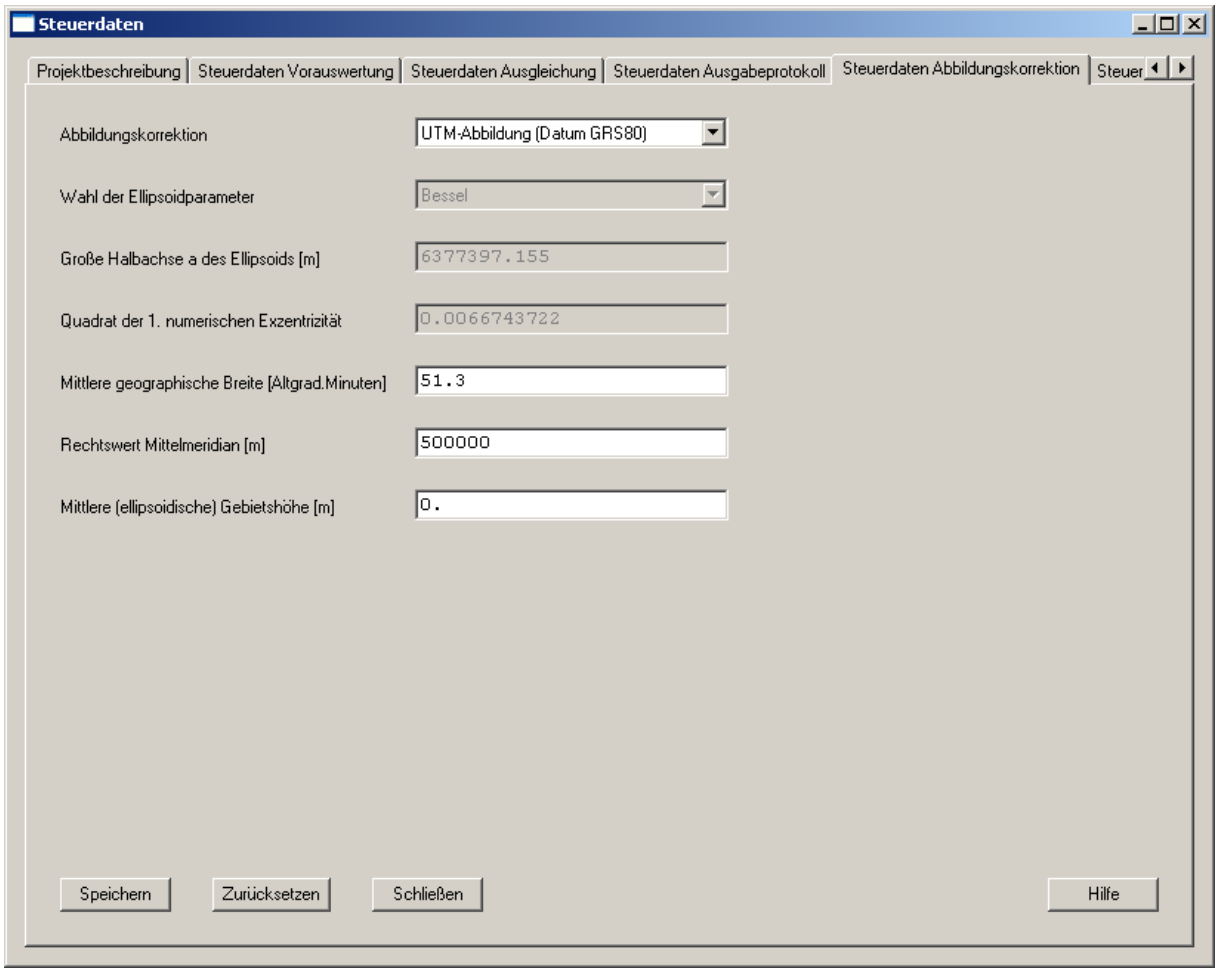




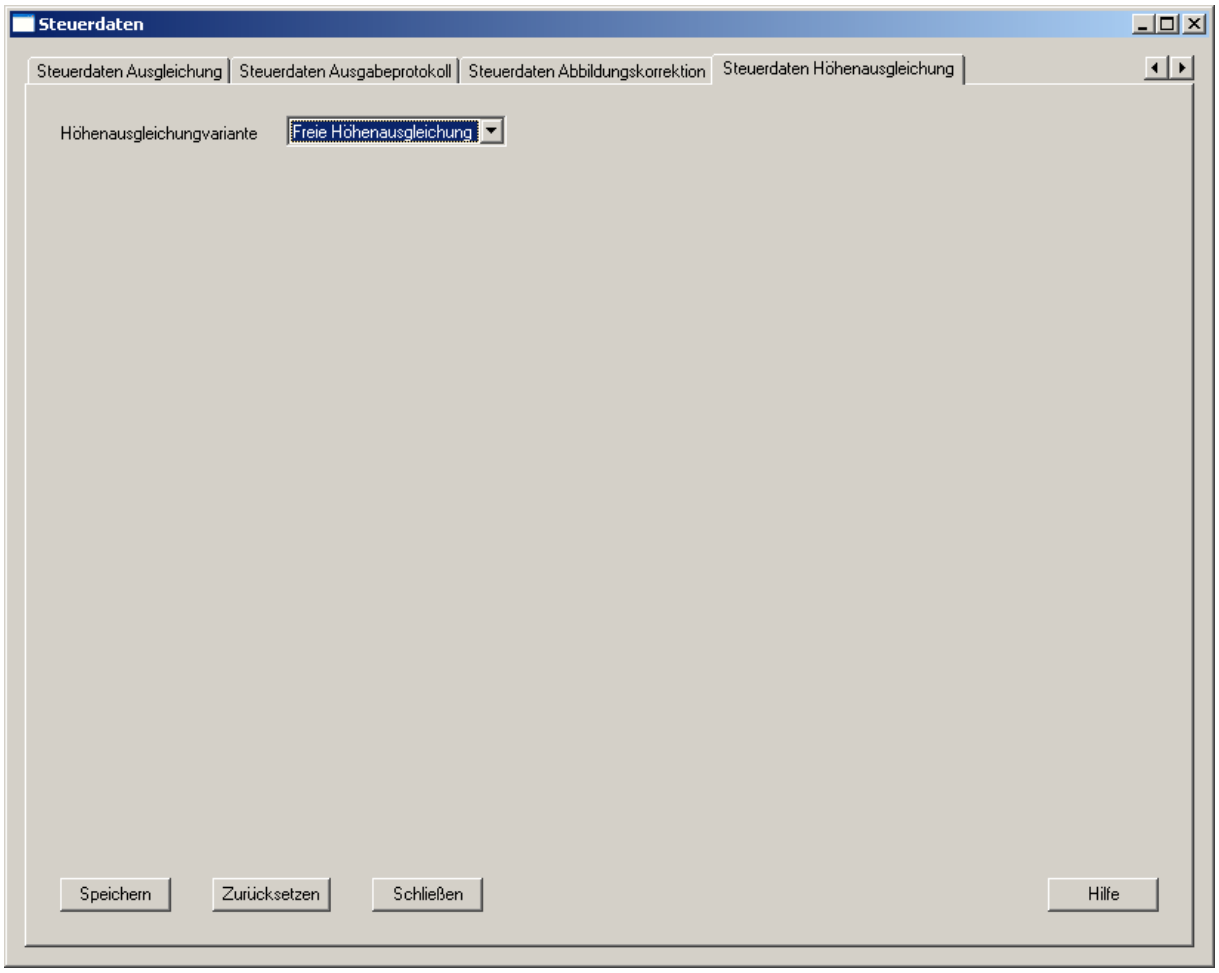


Wird die Messung über SAPOS®-Beobachtungen gelagert, darf keine Restklaffenverteilung aktiviert sein, wenn die lokalen Standardabweichungen der Punktlage berechnet werden sollen.


Steuerdaten
Projektbeschreibung
Steuerdaten Vorauswertung
Steuerdaten Ausgleichung
Steuerdaten Ausgabeprotokoll
Steuerdaten Abbildungskorrektion
Steuer
Zusätzliche Koordinatenausgabe
KAFKA-Format
Wahl der Winkeleinheit
Gon
Zeilen pro Seite des Ausgabenprotokolls
60
Speichern
Zurücksetzen
Schließen
Hilfe



Die zutreffende Abbildungskorrektion ist auszuwählen. **Die Gebietshöhe ist zwingend zu ergänzen (Einfluss: ca. 16 ppm / 100 m ellipsoidische Höhe).**



Ist für das Liegenschaftskataster nicht relevant (2D).

13. Anhang 4: Checkliste (Stand 10.07.2013)

Prüfung der Ausgleichungsberechnung

Stand 10.07.2013

anhand der Dokumentation gem. Anl. 6 Einführungserlass ETRS89/UTM (nur neue Beobachtungen)

Die in den einzelnen Dokumenten dargestellten Sachverhalte dürfen für nachfolgende (aufbauende) Ausgleichungsläufe (-berechnungen) nicht verändert werden!

C-Nr.

Dokument F: Nachweis über die Qualität der Vermessung (Freie Ausgleichung)			
	Grenzwert für NV = 2	☐ ja	☐ nein
	Grenzwert der Kontrollierbarkeit: EV >= 10%	☐ ja	☐ nein
	Auffelderung aktiviert?	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 1
	Mittlere ellipsoidische Gebietshöhe (in etwa NHN + 48 m)	☐ korrekt	siehe Anm. 2
	Ellipsoid: GRS80, Art der Abbildung: UTM, Zonenbezeichnung: 32	☐ ja	☐ nein
	Histogramm NV, mehr als 66% sollen NV < 1 haben	☐ ja	siehe Anm. 3
	Standardabweichung a priori <= Vorgabe, Gewichtseinheitsfaktor = 1	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 4
	Varianz der Beobachtungsgruppen max. 1,4 (und min. 0,6)	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 5
	individuelle Gewichtung	☐ nein	☐ ja siehe Anm. 6
	Grobe Datenfehler NV > 2 und EP > 3 cm	☐ nein	☐ ja
	unkontrollierte Beobachtungen kommentiert	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 7
	Kontrolle der Redundanz = Redundanz, xx.o = xx	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 8
	Max. Konvergenzfortschritt <= 0.020	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 9
Dokument G: Nachweis über die Qualität des Netzanschl. (dynamische Ausgl. mit Untergewichtung), *siehe Anm. 10*			
	Anschlusspunktkoordinaten ausreichend untergewichtet	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 11
	Abweichende Standardabweichung einzelner beweglicher Anschlusspunkte	☐ nein	☐ ja
	Kontrolle der Redundanz = Redundanz, xx.o = xx	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 8
	Max. Konvergenzfortschritt <= 0.020	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 9
Dokument H, Berechnung der endgültigen Koordinaten			
	Dok. G fehlt (siehe Anm. 10) => Freie Ausgleichung ohne Auffelderung (siehe Anm. 1) als dynamische Ausgleichung dokumentiert	☐ ja	☐ nein
	alle Klaffen in Dok. G < 0,030m => dyn. Ausgl. mit angemessener Gewichtung	☐ ja	
	Min. eine Klaffe in Dok. G > 0,060m	☐ nein	☐ ja siehe Anm. 12
	min. eine Klaffe in Dok. G von 0,030 bis 0,060m => Transformation der freien Ausgleichung mit Restklaffenverteilung	☐ ja	
	Standardabweichung der Punktlage (SP) <= 0.030 m	☐ ja	☐ nein
	Keine neuen groben Fehler	☐ ja	☐ nein
	Kontrolle der Redundanz = Redundanz, xx.o = xx	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 8
	Max. Konvergenzfortschritt <= 0.020	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 9
Dokument I, Berücksichtigung geometrischer Bedingungen			
	Linienweise Einrechnung in die Gerade	☐ ja	☐ nein
	Maximalwert der Abweichung vor der Einrechnung <= 4.0 cm	☐ ja	☐ nein
	Maximalwert der Abweichung nach der Einrechnung <=1.4 mm	☐ ja	☐ nein
Dokument J, VP-Liste			
	Kennung = A (Ausgleichung)	☐ ja	☐ nein s. Anm. 13
	Standardabweichung der Koordinate <= 0.030 m	☐ ja	☐ nein
	Sollkoordinatenvergleich: alle Differenzen <= 0,060m	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 14
	Grenzuntersuchung (GST 2000, 2100): alle Differenzen <= 0,080m	☐ ja	☐ nein siehe Anm. 15
Weitere Hinweise			
	Einrechnen geometrischer Bedingungen mit Riss abgeglichen	☐ ja	☐ nein
	NAS-ERH - Datei und VP-Liste mit den Koordinaten der Berechnung der endgültigen Koordinaten (ggf. nach Berücksichtigung geom. Bed.) gefüllt?	☐ ja	☐ nein
	Berechnungsdatei (z. B. *.kpf) mitgeliefert?	☐ ja	☐ nein
	geprüft am:		SB:

Erläuterungen der Anmerkungen

1. Wenn nur GNSS-Beobachtungen (direkte Koordinatenbeobachtung) als Lageanschluss verwendet wurden, ist die Auffelderung auszuschalten, da hierfür kein weiterer Lageanschluss (AP) vorhanden ist.
2. Mittlere Geländehöhe: wenn keine reduzierten Strecken verwendet wurden (siehe Polarfeldbuch), dann sollte die Geländehöhe des Messgebietes eingehalten sein (+- 50m). Wenn mehr als 100 m Abweichung vorliegt → Einzelfallprüfung
3. Histogramm NV: wenn Anzahl der Beobachtungen >=10 ist, müssen mehr als 66% NV<1 haben; wenn die Anzahl der Beobachtungen < 10: nicht beanstanden.
4. Standardabweichungen der Beobachtungsgruppen:
   Max. anzuhaltende Werte für aktuellen Beobachtungen (vgl. VP-Erl.):

   - Messband-Strecken +- (0.020 M)

   - Edm-Strecken +- (0.020 M)

   - Richtungen+-(0,002 Gon + 0.008 M * RHO/S)

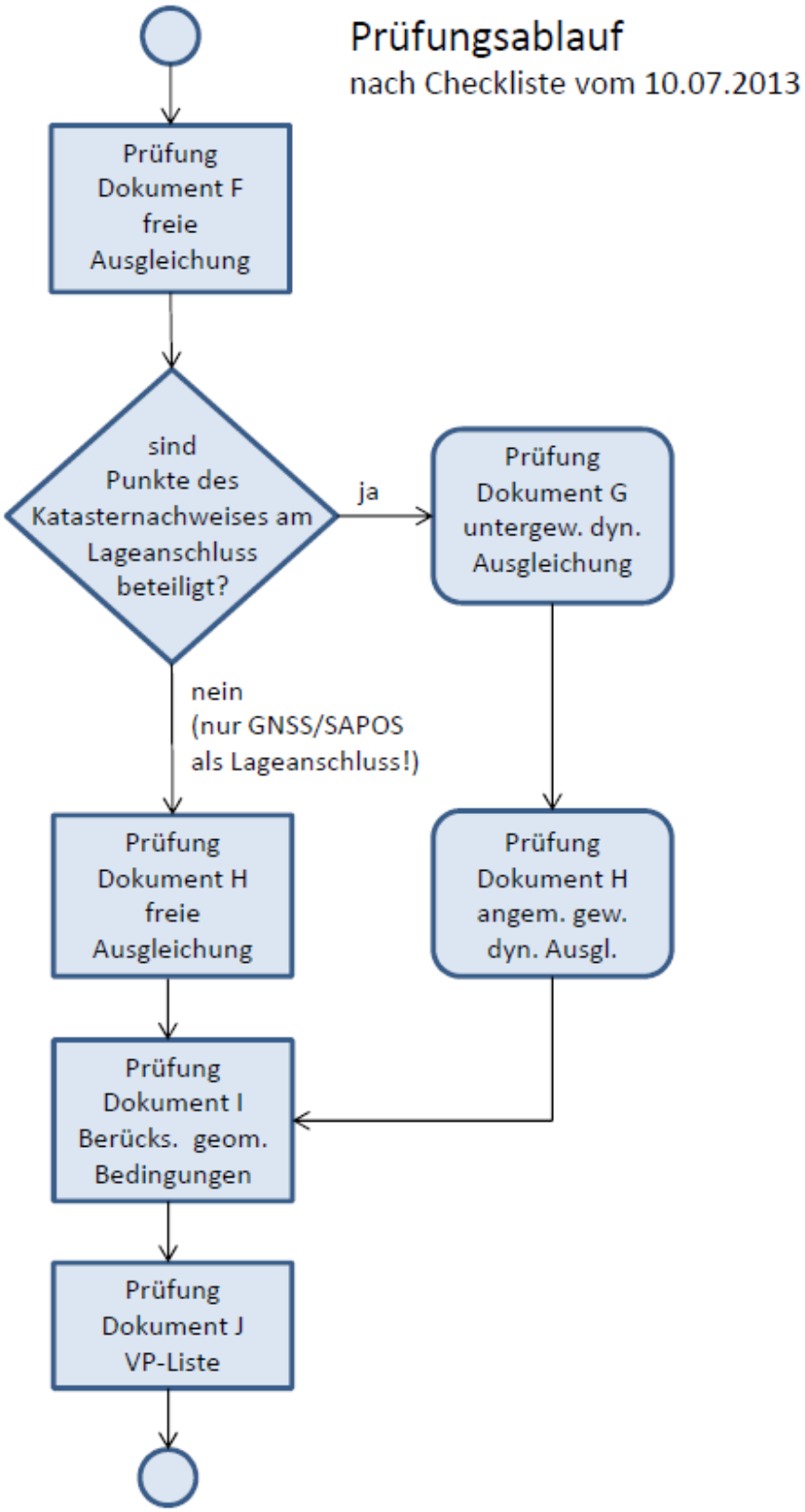
   - Koordinatenbeobachtungen (Transformation) +- (0.020 M)

   Wenn alte Elemente aus Messungen vor 1996 (VPErl.) in der Ausgleichung verwendet werden, sind die Fehlergrenzen für Längenmessungen mit +- (0.016 + 0.0001 S + 0.0026 S **1/2) anzusetzen. Diese Elemente dürfen nicht der Punktbestimmung dienen.
5. Varianzen von >1,4 in einer Beobachtungsgruppe führen zu einer Beanstandung. Bei Varianzen < 0,6 und Differenzen > 0,3 zwischen der höchsten und niedrigsten Varianz sind die Gewichtungen (Standardabweichungen) der Beobachtungsgruppen kritisch zu prüfen und ggf. Kommentierungen hierzu auszuwerten. Die Verwendung realistischer Gewichtungen für die jeweiligen Beobachtungsgruppen ist wichtiger als die Einhaltung der unteren Grenze der Varianzen oder deren Balance!
6. Eine individuelle Gewichtung sollte nicht stattfinden. Ausnahmen müssen begründet sein. (z. B.: KAFKA-C, Gegenseitig gemessene EDM-Strecken werden bei gemeinsamen Import gemittelt und mit einer individuellen Gewichtung versehen – vermeiden!).
7. Unkontrollierte Beobachtungen erläutern: Anschlussrichtung oder Topographie (z. B. Gewässer) sind unkritisch.
8. Bei der Redundanzkontrolle müssen die beiden Werte in den Vorkommastellen übereinstimmen.
9. Konvergenzfortschritt: Grenzwert für eine Beanstandung ist 0,020 m, Einstellungsempfehlung 0,0005 m. (Wenn der Grenzwert überschritten ist, kann dies auch an der zu geringen Anzahl der voreingestellten max. Iterationen liegen →-Beanstandung!)
10. Dokument G wird nur erstellt wenn Anschlusspunkte des Katasternachweises verwendet wurden. Wenn nur GNSS-Beobachtungen (direkte Koordinatenbeobachtung) als Lageanschluss verwendet wurden, entfällt Dokument G.
11. Untergewichtung der Anschlusspunktkoordinaten: Die Standardabweichung ist auf mindestens 0,200 m zu setzen, um eine Untergewichtung zu erzielen. Dies kann über eine Veränderung der Standardabweichung auf diesen Wert bei Gewichtsfaktor 1 oder mit Hilfe des Gewichtsfaktors (z. B. 0,02 x 10) erfolgen.

12. Sind die Klaffen in Dok. G > 0,060 m muss die Ursache und der weitere Berechnungsablauf erläutert sein.
13. Alle in der VP-Liste mit A gekennzeichneten Punkte erhalten (falls von KB geführt) im ALKIS den VWL= 1100
14. Beim „Sollkoordinatenvergleich“ sind die Differenzen zwischen den von der Vermessungsstelle ermittelten Sollkoordinaten mit GST 2000/2100 und denen aus der Berechnung der örtlich aufgenommenen Abmarkung zu beachten.
15. Bei „Grenzuntersuchung“ sind die Differenzen aus der Grenzuntersuchung aus 5.41 (1) FortfVErl. i.V.m. VP-Erl. Anl. 3 (Grenzuntersuchung im Koordinatenkataster) anzuhalten.

Ab Dokument H wird auf die Standardabweichung der Punktlage (SP) Bezug genommen und nicht, wie es der VPErl. von 1996 noch fordert, auf die lokale Standardabweichung der Punktlage (lsp). Die lokale Standardabweichung der Punktlage leitet sich aus den lokalen Beobachtungen ab, die zum jeweiligen Punkt gehören (somit ein punktbezogenes Genauigkeitsmaß). Darüber hinaus repräsentiert die Standardabweichung der Punktlage die endgültige Genauigkeit des Punktes im amtlichen Raumbezugssystem. Diese Zielgröße ist zum Aufbau des Koordinatenkatasters in NRW einzuhalten. Soweit bei der Übernahme der Vermessungsergebnisse eine nachbarschaftliche Anpassung des Liegenschaftskatasters erforderlich ist, wird das hochgenaue Vermessungsergebnis angehalten und der umliegende Bereich der Liegenschaftskarte durch die Katasterbehörde homogenisiert. Eine „gezwängte“ Einpassung von hochgenauen Vermessungsergebnissen in den Katasternachweis erfolgt in der Regel nicht mehr. Wenige Ausnahmen, z. B. bei der Übernahme von Vermessungsergebnissen in Bodenbewegungsgebieten, sind möglich.

14. Anhang 5: Flussdiagramm “Prüfungsablauf nach Checkliste“



Sind Sie daran interessiert, mehr über die Arbeit der Bezirksregierung Köln zu erfahren? Wir senden Ihnen gerne weiteres Informationsmaterial zu - rufen Sie uns an oder schicken Sie uns eine eMail:

Öffentlichkeitsarbeit
Telefon 0221/147-4362
oeffentlichkeitsarbeit@brk.nrw.de

Pressestelle
Telefon 0221/147-2147
pressestelle@brk.nrw.de

Gedruckt auf Papier aus nachhaltiger Waldwirtschaft.
Die Bezirksregierung Köln legt Wert auf den verantwortungsvollen Umgang mit dem Rohstoff Holz. Der Einsatz von entsprechenden Papieren gibt der Bezirksregierung Köln die Möglichkeit, Verantwortung zu übernehmen und ihr diesbezügliches Engagement sichtbar zu machen.

Bezirksregierung Köln
Zeughausstraße 2-10
50667 Köln
Telefon 0221/147-0
Fax 0221/147-3185
eMail poststelle@brk.nrw.de
www.brk.nrw.de