



HOCHSCHULE
NEUBRANDENBURG
University of Applied Sciences

Hochschule Neubrandenburg

Fachbereich Landschaftswissenschaften und Geomatik

Studiengang Geodäsie und Messtechnik

**Ausgleichung als Problemlöser –
Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters
durch Ausgleichung mit Anwendungsbeispiel**

Bachelorarbeit

vorgelegt von: Ede Zabel

geboren am: 15. Januar 1999

zum Erlangen des akademischen Grades

„Bachelor of Engineering“ (B.Eng.)

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Karl Foppe
Zweitprüfer: M. Eng. Uwe Köster

2. Januar 2026

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2025-0250-0

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit mit dem Titel *Ausgleichung als Problemlöser - Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters durch Ausgleichung mit Anwendungsbeispiel* eigenständig erbracht, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde nicht, auch nicht in Teilen, unter Verwendung eines textbasierten Dialogsystems (wie ChatGPT) oder auf andere Weise mit Hilfe einer künstlichen Intelligenz von mir verfasst. Die Arbeit habe ich in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise noch keiner Prüfungsbehörde zu Prüfungszwecken vorgelegt. Des Weiteren bestätige ich, dass die schriftliche und die elektronische Version der Arbeit identisch sind. Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandlungen gegen den Inhalt dieser Erklärung einen Täuschungsversuch darstellen, der grundsätzlich das Nichtbestehen der Prüfung zur Folge hat.

Neubrandenburg, den 2. Januar 2026

Ede Zabel

Kurzfassung

Das Liegenschaftskataster bildet einen zentralen Teil des Eigentumssicherungssystems der Bundesrepublik Deutschland (BRD) und stellt somit als amtliches Geobasisinformationssystem hohe Anforderungen an die geometrische Genauigkeit der Liegenschaften. Besonders auf dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) weist das Kataster aufgrund historischer Ereignisse eine sehr heterogene Qualität auf. Vor diesem Hintergrund gewinnt das Verfahren der Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters (QL) zunehmend an Bedeutung.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Ausgleichsrechnung als wesentliches Instrument zur QL darzustellen und ihre Leistungsfähigkeit sowohl anhand eines fiktiven Referenzbeispiels als auch eines praxisnahen Anwendungsbeispiels zu untersuchen. Zunächst werden die rechtlichen, historischen und technischen Rahmenbedingungen sowie die theoretischen Grundlagen der Ausgleichsrechnung, insbesondere die Methode der kleinsten Quadrate und Verfahren der Qualitätsanalyse, erläutert.

Im Rahmen des fiktiven Referenzbeispiels werden typische Ausgleichsprobleme des Liegenschaftskatasters, wie das Vorhandensein grober Fehler, die Bedeutung der Referenzpunktauswahl sowie die Anwendung unterschiedlicher Ausgleichsarten, systematisch simuliert und analysiert. Darauf aufbauend wird die Ausgleichsrechnung an einem historischen Festpunktnetz in der Gemarkung Minzow angewendet. Die Ergebnisse werden bewertet und durch eine außendienstliche Überprüfung ergänzt. Die Untersuchungen zeigen, dass durch den gezielten Einsatz der Ausgleichsrechnung eine deutliche Verbesserung hinsichtlich der Übereinstimmung zwischen Katasterkarten- und Katasterzahlenwerk erreicht werden kann. Damit stellt der Einsatz der Ausgleichung ein geeignetes und notwendiges Verfahren zur QL dar.

Abstract

The land cadastre constitutes a central part of the property protection system of the Federal Republic of Germany (FRG) and, as an official geospatial information system, therefore places high demands on the geometric accuracy of cadastral objects. Especially in the territory of the former German Democratic Republic (GDR), the cadastre shows a highly heterogeneous quality as a result of historical developments. Against this background, the procedure of quality improvement of the land cadastre (QL) is gaining increasing importance.

The aim of this thesis is to present adjustment computation as an essential instrument for quality improvement and to examine its performance using both a fictitious reference example and a practical application example. First, the legal, historical and technical framework conditions as well as the theoretical foundations of adjustment computation, in particular the method of least squares and methods of quality analysis, are described.

Within the fictitious reference example, typical adjustment problems of the land cadastre, such as the presence of gross errors, the importance of reference point selection and the application of different adjustment types, are systematically simulated and analysed. Building on this, adjustment computation is applied to a historical control point network in the cadastral district of Minzow. The results are evaluated and supplemented by an on-site verification. The investigations show that the targeted use of adjustment computation can achieve a significant improvement in the consistency between the cadastral map and the cadastral numerical data. Thus, the application of adjustment computation represents a suitable and necessary method for quality improvement of the land cadastre.

Danksagung

Diese Bachelorarbeit entstand durch die Unterstützung zahlreicher Personen, denen ich an dieser Stelle meinen aufrichtigen Dank aussprechen möchte.

Besonders danken möchte ich meinen Betreuern, Herrn Prof. Dr.-Ing. Karl Foppe und Herrn M. Eng. Uwe Köster, für die sehr gute fachliche Betreuung dieser Arbeit. Durch konstruktive Hinweise, fachliche Anregungen und wertvolle Ratschläge haben sie maßgeblich zur Erstellung und Fertigstellung dieser Bachelorarbeit beigetragen.

Ebenso bedanken möchte ich mich bei meinen Arbeitskolleginnen und Arbeitskollegen Antje Klein, Karina Karwath sowie Martin Haacker für die durchgehende fachliche Unterstützung und Begleitung im dienstlichen Umfeld. Ein besonderer Dank gilt Hans Mau für die Bereitstellung der Chronik von Minzow, welche in die historische Betrachtung eingeflossen ist. Ebenso danke ich Bernd Asschoff für die unkomplizierte und kostenfreie Bereitstellung der Software *Systra*.

Für die langjährige Unterstützung sowie eine sehr gute und ausführliche berufliche Ausbildung danke ich Eckbert Levenhagen ausdrücklich. Seine fachliche Begleitung hat meine berufliche Entwicklung nachhaltig geprägt und wesentlich zu meinem heutigen Wissensstand beigetragen.

Darüber hinaus gilt mein Dank meinen Kommilitoninnen und Kommilitonen des Moduls Auswerte- und Analysemethoden im Liegenschaftskataster für die Unterstützung bei den Außendienstarbeiten sowie für den fachlichen Austausch während des Studiums. Ebenso möchte ich Sascha Albrecht für seine wertvollen Ratschläge im Umgang mit und bei der Anwendung von \LaTeX danken.

Mein Dank gilt außerdem dem Prüfungsamt der Hochschule Neubrandenburg für die Möglichkeit der Hochschulzugangsprüfung. Nur durch diese war mir ein Studium ohne Abitur überhaupt möglich. In diesem Zusammenhang danke ich Rita Nötzel für die Möglichkeit eines privaten Mathematik-Vorbereitungskurses, der eine wichtige Grundlage für einen erfolgreichen Studieneinstieg darstellte.

Abschließend danke ich meiner Familie, meinen Freunden und insbesondere meiner Freundin für die durchgehende Unterstützung, das Verständnis und die Motivation während des gesamten Studiums sowie der intensiven Phase der Bachelorarbeit.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|------------|
| Eidesstattliche Erklärung | I |
| Kurzfassung | III |
| Abstract | IV |
| Danksagung | V |
| Abkürzungsverzeichnis | X |
| 1. Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters | 1 |
| 1.1. Notwendigkeit und Motivation des QL-Verfahrens | 2 |
| 1.1.1. Erstellung und Bedeutung der Mutterpausen im Einheitskataster | 2 |
| 1.1.2. Das Soll-Konzept der AdV zur Automatisierung des Liegenschaftskatasters . . | 4 |
| 1.1.3. Digitalisierung und Georeferenzierung der analogen Flurkarten | 7 |
| 1.1.4. Migration zum Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) | 15 |
| 1.2. Rechtliche Grundlagen | 16 |
| 2. Ausgleichsrechnung | 23 |
| 2.1. Fehlerlehre und Statistik geodätischer Beobachtungen | 23 |
| 2.2. Methode der kleinsten Quadrate | 25 |
| 2.3. Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen | 26 |
| 2.4. Funktionales Modell | 27 |
| 2.5. Stochastisches Modell | 31 |
| 2.6. Ausgleichsalgorithmus | 33 |
| 2.7. Qualitätsanalyse | 35 |
| 2.7.1. Globaltest und Konfidenzbereich | 36 |
| 2.7.2. Genauigkeitskriterien | 38 |
| 2.7.3. Zuverlässigkeitskriterien | 41 |
| 2.8. Ausgleichsarten | 44 |
| 2.8.1. Zwangsfreie Netzausgleichung | 45 |
| 2.8.2. Freie Netzausgleichung | 45 |
| 2.8.3. Netzausgleichung unter Zwang | 47 |
| 2.8.4. Dynamische Netzausgleichung | 47 |
| 3. Referenzbeispiel zur Ausgleichsrechnung | 49 |
| 3.1. Wahl des stochastischen Modells | 50 |
| 3.2. Simulation und Analyse praxisnaher Ausgleichsprobleme im Liegenschaftskataster | 55 |
| 3.2.1. Fall 1: Existenz von groben Fehlern | 56 |
| 3.2.2. Fall 2: Integration eines korrekten Referenzpunktes | 61 |
| 3.2.3. Fall 3: Integration eines fehlerhaften Referenzpunktes | 64 |
| 3.2.4. Fall 4: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung | 67 |

| | |
|--|------------|
| 4. Historische Entwicklung des Katasters in Mecklenburg-Schwerin | 73 |
| 4.1. Ständeverfassung und territoriale Gliederung Mecklenburgs | 73 |
| 4.2. Überblick über die zeitliche Entwicklung von den Anfängen bis zur Gegenwart | 75 |
| Anfänge der Vermessung, Registrierung und Bonitierung | 75 |
| Direktorialvermessung in Mecklenburg | 75 |
| Feldmarksregulierung in Mecklenburg | 76 |
| Neue Feldmesserordnung | 78 |
| Einführung der Grundbuchordnung | 80 |
| Vereinheitlichung des Katasters durch die 1912er Anweisungen | 80 |
| Einführung des Reichskatasters | 83 |
| Bodenreform in Mecklenburg | 84 |
| Entwicklung des Liegenschaftskatasters in der DDR | 86 |
| Entwicklung des Liegenschaftskatasters nach der Wiedervereinigung | 89 |
| Liegenschaftskataster als Geobasisinformationssystem | 90 |
| 4.3. Historische Entwicklung des Ortes Minzow im Kontext des Katasters | 93 |
| 4.4. Neumessung im Rahmen der Feldmarksregulierung | 94 |
| 5. Anwendungsbeispiel: Ausgleichung in der Gemarkung Minzow | 95 |
| 5.1. Ausgangssituation und Problemstellung in der Gemarkung Minzow | 95 |
| 5.2. Vorbereitende Arbeiten zur Ausgleichung | 97 |
| 5.2.1. Analyse des historischen Richtungsnetzes mittels freier Netzausgleichung | 97 |
| 5.2.2. Festlegung der Referenzpunkte für die Ausgleichung | 99 |
| 5.3. Ausgleichung zur Bestimmung von Suchkoordinaten | 101 |
| 5.3.1. Analyse der Ausgleichungsergebnisse und Grobfehlerprüfung | 102 |
| 5.4. Außendienstliche Überprüfung der Ausgleichungsergebnisse | 105 |
| 5.5. Zusammenfassung der Ausgleichungsergebnisse des Festpunktnetzes | 108 |
| 5.6. Untersuchung des historischen kleinteiligen Liniennetzes | 110 |
| 5.6.1. Außendienstliche Überprüfung des Liniennetzes | 111 |
| 5.6.2. Zusammenfassung der Ergebnisse des Liniennetzes | 112 |
| 6. Fazit | 113 |
| Literatur | 115 |
| Abbildungsverzeichnis | 121 |
| Tabellenverzeichnis | 122 |
| A. Netzkarte: 131374-001-0971-01 | 123 |
| B. Vermessungsriß: 131374-003-0970-29 | 125 |
| C. Winkelprotokoll: 131374-002-0971-01 | 127 |
| D. Ergebnisprotokoll der freien Netzausgleichung | 131 |

Abkürzungsverzeichnis

A

| | |
|--------------|---|
| AdV | Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland |
| AFIS | Amtliches Festpunkt Informationssystem |
| ALB | Automatisiertes Liegenschaftsbuch |
| ALK | Automatisierte Liegenschaftskarte |
| ALKIS | Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem |
| ATKIS | Amtliches Topographisch Kartographisches Informationssystem |

B

| | |
|------------|----------------------------|
| BGH | Bundesgerichtshof |
| BRD | Bundesrepublik Deutschland |

C

| | |
|---------------|--|
| Colido | Computergestützte Liegenschaftsdokumentation |
|---------------|--|

D

| | |
|------------|---------------------------------|
| DDR | Deutsche Demokratische Republik |
|------------|---------------------------------|

E

| | |
|---------------|--|
| EDBS | Einheitliche Datenbankschnittstelle |
| EDV | Elektronische Datenverarbeitung |
| ETRS89 | European Terrestrial Reference System 1989 |

G

| | |
|--------------|------------------------------------|
| GNSS | Global Navigation Satellite System |
| GRS80 | Geodätisches Referenzsystem 1980 |
| GST | Genauigkeitsstufe |

I

| | |
|------------|---|
| ISO | Internationale Organisation für Normung |
|------------|---|

K

| | |
|------------|------------------------------|
| KVA | Kataster- und Vermessungsamt |
|------------|------------------------------|

M

| | |
|------------|------------------------|
| M-V | Mecklenburg-Vorpommern |
|------------|------------------------|

N**NSDAP** Nationalsozialistische Deutsche Arbeiterpartei**O****ÖbVI** Öffentlich bestellter Vermessungsingenieur**OGC** Open Geospatial Consortium**Q****QL** Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters**S****SAPOS** Satellitenpositionierungsdienst der Deutschen Landesvermessung**SBZ** Sowjetische Besatzungszone**U****UTM** Universale Transversale Mercatorprojektion**uVGB** untere Vermessungs- und Geoinformationsbehörde

1. Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters

Das Verfahren Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters (QL) dient der kontinuierlichen Verbesserung des Liegenschaftskatasters hinsichtlich seiner geometrischen Genauigkeit und der damit verbundenen Ansprüche als Teil des amtlichen Geobasisinformationssystems. Ziel dieser Methode ist es, unter Beachtung katasterrechtlicher Aspekte, des Offenkundigkeitsprinzips sowie des öffentlichen Glaubens des Grundbuchs, insbesondere die Qualität der Geometrie der Liegenschaften (Flurstücke und Gebäude) zu erhöhen.

Im Rahmen des QL-Verfahrens steht die Erfassung und Auswertung des Katasterzahlenwerkes im Vordergrund. Damit soll die bessere Übereinstimmung zwischen Liegenschaftskarte und dem zugrunde liegenden Katasterzahlenwerk hergestellt werden. Die daraus resultierende Qualitätssteigerung trägt nicht zuletzt dazu bei, den gestiegenen rechtlichen, verwaltungstechnischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Anforderungen der Nutzer an die Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters gerecht zu werden.

In den vergangenen Jahren hat sich die Inanspruchnahme von Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters erhöht. Dabei handelt es sich nicht mehr wie überwiegend früher um Vermessungs- bzw. andere Fachleute, die die vorhandene geometrische Qualität der Geobasisdaten einschätzen konnten, sondern zunehmend auch um Personengruppen, die weniger mit den individuellen Besonderheiten vertraut sind. Dies ist nicht zuletzt eine Folge moderner Produkte wie ALKIS-Web-Diensten sowie einer offenen Datenpolitik (Open Source). Vor diesem Hintergrund wird eine Verbesserung der geometrischen Qualität der Geobasisdaten notwendig. (vgl. IM BB 2018, S. 5; QL-MV 2020, S. 2)

Zusammengefasst sind die übergeordneten Ziele von QL-Verfahren:

- Übereinstimmung zwischen Katasterzahlen- und Kartenwerk
- Beschleunigung des Fortführungsprozesses von Liegenschaftsvermessungen
- Optimierung der Qualität, Verfügbarkeit und Nutzbarkeit der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters (vgl. Masur 2017, S. 5)



Abbildung 1: Auszug aus der Liegenschaftskarte: Präsentation des Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS)-Bestandes in Verbindung mit dem digitalen Orthophoto (© Vermessungs- und Geoinformationsbehörde Mecklenburg-Vorpommern)

1.1. Notwendigkeit und Motivation des QL-Verfahrens

Der folgende Sachstand verdeutlicht die Notwendigkeit und Motivation für geometrieverbessernde Maßnahmen im Rahmen der Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters. Er zeigt auf, welche wesentlichen Ergebnisse vorliegen, die ergänzend zu den in einem späteren Kapitel behandelten historischen Entwicklungen zu betrachten sind. Gleichzeitig wird deutlich, dass die heterogene Qualität des Liegenschaftskatasters bis in die Gegenwart fortbesteht.

1.1.1. Erstellung und Bedeutung der Mutterpausen im Einheitskataster

Auf dem Gebiet der ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) sollte ein einheitliches Liegenschaftskataster entstehen. Der entsprechende Entstehungsprozess kann im Abschnitt auf Seite 86 und den nachfolgenden Seiten entnommen werden. Für den Aufbau eines solchen Katasters bestand die Notwendigkeit, die unterschiedlichen Katastersysteme der ehemaligen Länder und Regionen der DDR in eine neue, einheitliche Form zu überführen. Die größte Herausforderung dabei war der Zeitfaktor, da eine Umstellung innerhalb weniger Jahre erfolgen sollte (vgl. Greve 2015, S. 142).

Das geplante Katasterkartenwerk des Einheitskatasters sollte aus zwei Karten bestehen:

- einer Flurkarte im Sinne des § 2 Abs. 3 GBO
- und
- einer Schätzungskarte, welche die Ergebnisse der Bodenschätzung nachweist (vgl. Pichlmayer 1951, S. 20).

Diese Karten waren nach dem *Leitfaden für die Anfertigung von Mutterpausen für das Einheitskataster* anzufertigen. Die Mutterpausen wurden von den Urkarten auf Zeichenkarton übertragen. Die Übertragung erfolgte durch Kartierung. Format und Optik waren eindeutig vorgegeben, wie Abbildung 2 auf Seite 3 zeigt. Das Kartenbild sollte so orientiert werden, dass Norden oben oder links lag, also parallel oder rechtwinklig zum Kartenrand.

Der Inhalt der Flurkarten sollte sich auf folgende Informationen beschränken (vgl. Bezirk NB 1956, Nr. 13):

- a) die Quadratnetzecken,
- b) die Polygon- und Kleinpunkte sowie die Grenzpunkte,
- c) die Grenzen und Grenzbezeichnungen der Bezirke, Grundstücke, Flurstücke und Nutzungsarten,
- d) die Gebäude und sonstigen Bauwerke,
- e) die topographischen Einzelheiten, soweit sie sich in der Karte darstellen lassen; die Knickpunkte in den Grenzlinien sind mit aufzunehmen,
- f) die Nummern der Polygonpunkte (unterstrichen),
- g) die Flurstücksnummern und Zugehörigkeitshäkchen, soweit sie zur Vermeidung von Irrtümern über Flurstücksgrenzen erforderlich sind,
- h) die Namen der Ortsteile, Gewannen, Straßen, Wasserläufe, Bauwerke, Hausnummern, Entfernungsangaben der Kilometersteine usw.,
- i) die Randbeschriftung.

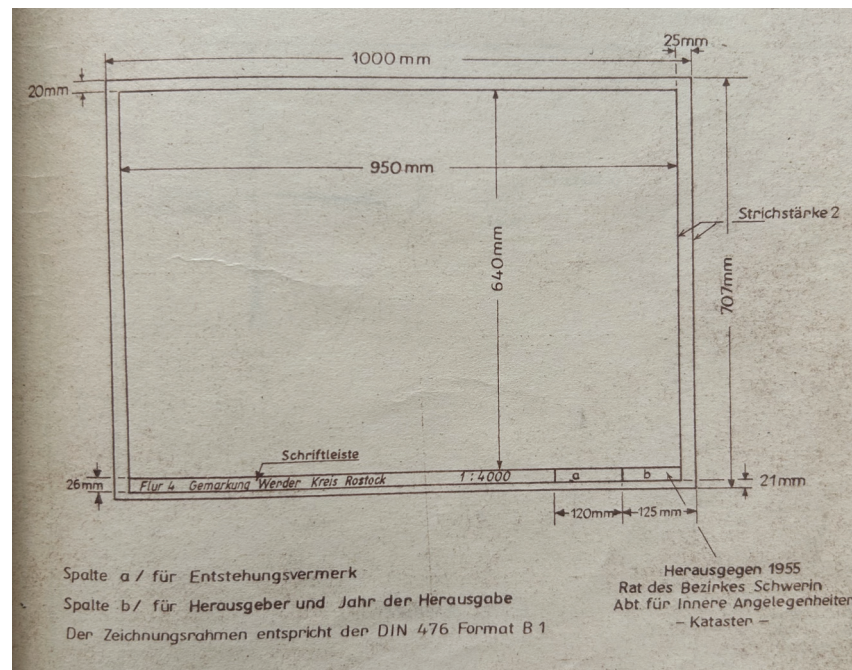


Abbildung 2: Formatvorlage der Mutterpause mit Beschriftungshinweisen (Bezirk NB, 1956, Nr. 1)

Mit der Beschränkung des Informationsgehalts der Karten ging eine Generalisierung sowie eine Vereinheitlichung der Signaturen und der zeichnerischen Darstellung einher. Die zu verwendenden Signaturen und Darstellungen richteten sich nach den Vorgaben der *Anleitung für die Ausführung von Neumessungen* (vgl. Bezirk NB 1954). Auch die je nach Epoche und Herkunft der Urkarte unterschiedliche künstlerische Gestaltung sollte nicht in das Einheitskataster einfließen.

In Abbildung 3 auf Seite 4 ist zur Veranschaulichung das Ergebnis einer Abzeichnung dargestellt. Es wurde überwiegend angestrebt, den Maßstab der Urkarte auf die Mutterpause zu übertragen. Nachfolgend sollen einzelne Generalisierungsmaßnahmen aus dem Leitfaden zur Mutterpausenerstellung (vgl. Bezirk NB 1956) benannt werden.

Nummer 3a

„[...] flächenmäßig dargestellten Grenzobjekten [wie Gräben, Hecken], die gemeinschaftliches Eigentum der Angrenzer sind, ist künftig die Mittellinie als Eigentumsgrenze darzustellen.“

Nummer 19.4

„[...] nicht vermarktete Grenzpunkte [sind] auf den Mutterpausen durch einen Punkt darzustellen.“

Nummer 19.7

„Abgehende Flur - und Gemarkungsgrenzen nicht willkürlich zeichnen, sondern Grenzrichtung über einstimmend mit den Darstellungen der angrenzenden Blätter eintragen. Desgleichen abgehende Wege und Gräben maßstabstreu anreißen.“

Nummer 19.9

„Die Gradlinigkeit der Grenzen mit Zwischensteinen beachten.“

Nummer 19.20

„Gebäude stets schraffieren, wenn ihre Art aus den vorliegenden Vermessungswerken klar erkennbar ist.“

Bei der Erstellung der Mutterpausen auf Grundlage der Urkarten verschiedener Epochen sowie der jeweils gültigen Vorschriften, Standards und Qualitäten wurden bestehende Mängel des historischen Kartenwerks in das Einheitskataster übernommen.

Abhängig von Region und politischem System basierten die Grundlagen der Mutterpausenerstellung teils auf den Ergebnissen der Direktorialvermessung im Gebiet der Ritterschaften in Mecklenburg, teils auf den qualitativ wenig hochwertigen Resultaten der Bodenreform, die denselben Standard wie die Direktorialvermessung aufwiesen, sowohl in Mecklenburg als auch im Gebiet Pommern. In einzelnen Fällen bildeten qualitativ hochwertigere Neumessungen aus den 1930er-Jahren die Grundlage für die Flurkarten des Einheitskatasters.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass das Kartenwerk des Einheitskatasters der DDR aufgrund der heterogenen Qualität der Urkarten sowohl die vorhandenen Spannungen an den Rändern der sogenannten Inselkarten als auch deren innere Substanz übernommen hat (vgl. Greve 2015, S. 143).



(a) Beispiel: Urkarte

(b) Beispiel: Mutterpause

Abbildung 3: Im linken Bild ist ein Auszug der Urkarte aus dem Jahre 1878, während im rechten Bild die Abzeichnung dieser als Mutterpause dargestellt ist. (Bezirk NB, 1956, Nr. 11)

1.1.2. Das Soll-Konzept der AdV zur Automatisierung des Liegenschaftskatasters

Vor rund 50 Jahren entstanden in der Bundesrepublik Deutschland (BRD) durch die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) erste Grundideen zur Einführung eines digitalen Abbildungssystems des Liegenschaftskatasters. Ziel war die Automatisierung des Liegenschaftskatasters in Form einer Grundstücksdatenbank. Die Umsetzung basierte auf einem Rahmen-Soll-Konzept aus dem Jahr 1971 für das *Automatisierte Liegenschaftskataster als Basis einer Grundstücksdatenbank*. Dieses Konzept sah für das Automatisierte Liegenschaftskataster die Funktion eines flächendeckenden Informationssystems vor, das grundstücksbezogene digitale Daten als Basisdaten bereitstellt (vgl. Schüttel 2003, S. 185; LAiV 2003, S. 73).

Im Vordergrund standen bei der Erstellung der Grundstücksdatenbank folgende Ziele und Anforderungen:

- „Das Liegenschaftskataster bildet die Basis der Grundstücksdatenbank.
- Die Grundstücksdatenbank soll Basissystem für andere grundstücksbezogene Fachinformations-

- systeme sein (Vermeidung von Mehrfach- und Sekundärnachweisen, einheitliches Datenformat).
- Die jeweiligen Grundstücksdaten werden von der jeweils zuständigen Stelle erfasst und fortgeführt, bei der diese originär entstehen.
 - Die in der Datenverarbeitungsanlage gespeicherten Daten des Liegenschaftskatasters stellen das Original dar und sind von hoher Aktualität. Für die Führung der Grundstücksdaten wird die Datenfernverarbeitung eingeführt.
 - Durchführung der Integration mit dem Grundbuch. Die Buchungsbezirke von Grundbuch und Liegenschaftskataster müssen übereinstimmen.
 - Die Form der Auswertemöglichkeiten soll schnell, universell und nutzerorientiert sein.“
(LAIv, 2003, S. 73)

Das Liegenschaftskataster besteht aus dem darstellenden, graphischen Teil, dem Katasterkartenwerk sowie dem Katasterzahlenwerk und dem beschreibenden, textlichen Teil, dem Katasterbuchwerk. Der Arbeitskreis *Automation* der AdV war 1973 mit der Erarbeitung einer Soll-Konzeption für die Automatisierung des Vermessungszahlenwerks und des Flurkartenwerks beauftragt. Daraus ergab sich eine klassische Aufteilung des Liegenschaftskatasters in Liegenschaftsbuch und Liegenschaftskarte. Für das Buchwerk wurde die Konzeption 1973 mit dem Teilbereich Automatisiertes Liegenschaftsbuch abgeschlossen und für das Kartenwerk 1975 mit der Automatisierten Liegenschaftskarte, welche das bisherige Vermessungszahlen- und Flurkartenwerk ablösen. Die Verknüpfung beider Systeme erfolgt über das Flurstückskennzeichen als bundesweit eindeutiges Ordnungsmerkmal sowie über die Flurstückskordinaten. Beide Basisinformationssysteme bilden die Verfahrenslösungen zur digitalen Datenführung des Liegenschaftskatasters (vgl. LAiV 2003, S. 72, 73).

Infolge des AdV-Soll-Konzepts für die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) erfolgte eine Projektspezifikation. Eine wesentliche Aufgabe war die Modellierung der Grundrissdatei, deren Fertigstellung im Jahr 1986 abgeschlossen war. Damit waren die Entwicklungen für datenverarbeitungstechnische Realisierungen beendet. Diese Arbeiten erfolgten im Rahmen einer Verwaltungsvereinbarung der Bundesländer unter der Federführung von Nordrhein-Westfalen. Im Jahr 1992 trat auch Mecklenburg-Vorpommern dieser Verwaltungsvereinbarung bei.

Das konzipierte Gesamtsystem der ALK bestand aus einem Datenbank- und einem Verarbeitungsteil, die zusammen mit der Antragsbearbeitung über die Einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS) miteinander kommunizieren. Der schematische Aufbau ist in der Abbildung 4 dargestellt (vgl. LAiV 2003, S. 77).

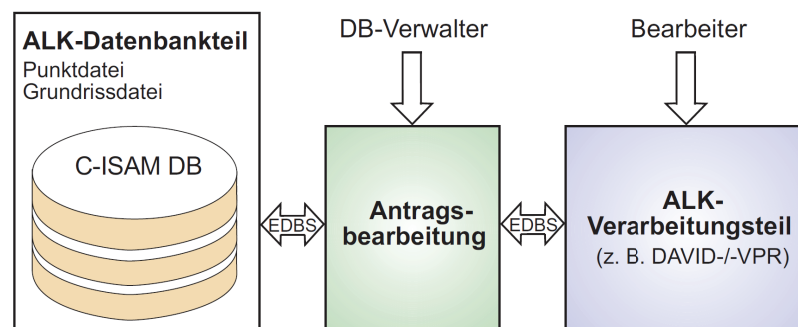


Abbildung 4: Systemkonzeption der ALK in Mecklenburg-Vorpommern (LAIv, 2003, S. 77)

In Mecklenburg-Vorpommern sollte mit der ALK die Umstellung und Einrichtung des zuvor klassisch, analog geführten Flurkartenwerks hin zu einem amtlichen, digitalen, blattschnittfreien, raum- und objektbezogenen Informationssystem als Basisinformationssystem erfolgen. Um dieses Ziel zu erreichen, bestand die Aufgabe darin, die für die Landesfläche vorhandenen Inselkarten, etwa 11 600 Flurkarten, in digitale Form zu überführen (vgl. LAiV 2003, S. 76).

Der Aufbau der ALK in Mecklenburg-Vorpommern richtete sich nach den Verwaltungsvorschriften, die ab 1998 Anwendung fanden:

- Anweisung zur Erstellung der Automatisierten Liegenschaftskarte in Mecklenburg-Vorpommern mittels Digitalisierung - Digitalisieranweisung Mecklenburg-Vorpommern (DigA M-V),
- Vorschriften für die Verschlüsselung der Grundrissobjekte des Liegenschaftskatasters in Mecklenburg-Vorpommern - Objektschlüsselkatalog Liegenschaftskataster Mecklenburg-Vorpommern (OSKA M-V),
- Vorschriften für die Bildung und Abbildung von Objekten der Automatisierten Liegenschaftskarte in Mecklenburg-Vorpommern - Objektabbildungskatalog Liegenschaftskataster Mecklenburg-Vorpommern (OBAK M-V),
- Vorschriften für das automatisierte Zeichnen der Liegenschaftskarte in Mecklenburg-Vorpommern - Zeichenvorschrift-Aut Mecklenburg-Vorpommern (ZV-Aut M-V).

Das Standardverfahren der Datenerfassung für die ALK war die Digitalisierung der Flurkarten, genauer: der Mutterpausen des Einheitskatasters. Dabei kamen die landesweit einheitlichen Programmsysteme *VPR* und *DAVID* zum Einsatz. Das Vorgehen bei der Digitalisierung wird im Unterunterabschnitt 1.1.3 näher erläutert.

Im Jahr 2001 wurde die Verwaltungsvorschrift *ALK-Grundstufe Mecklenburg-Vorpommern (VwV-ALK/1 M-V)* erlassen. Sie hatte das Ziel, die Ersterfassung der ALK zu beschleunigen. Die Einrichtung der ALK-Grundstufe erfolgte auf Grundlage der Verfahrenslösung der AdV (Systemarchitektur, Verfahrenshierarchie, Folienprinzip usw.). Die Daten der ALK-Grundstufe sollten im amtlichen Lagebezugssystem S42/83-3° (Gauß-Krüger-Koordinaten, 3°-Meridianstreifen, Krassowski-Ellipsoid) vorliegen. Der Anspruch an die ALK-Grundstufe war, dass sie grundsätzlich alle Informationen der herkömmlichen analogen Liegenschaftskarte enthält.

Die Karteninformationen erfuhren eine Strukturierung in logische Objekte (z. B. Objekt „Flurstück“ oder Objekt „Gebäude“). Sie liegen in verschiedenen Folien (Ebenen) im Grunddatenbestand vor und ermöglichen damit Selektions- und Zugriffsmöglichkeiten. Die Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Inhalte des Grunddatenbestands.

Tabelle 1: Grunddatenbestand der ALK-Grundstufe in Mecklenburg-Vorpommern (LAIv, 2003, S. 80)

| ALK-Folie | Bedeutung | Bemerkung |
|------------------|------------------|--|
| Folie 001 | Flurstücke | Flurstück allgemein und in Verkehrsanlagen |
| Folie 002 | Gemarkung, Flur | Grenzen der Gemarkungen und Fluren |

Tabelle 1: Grunddatenbestand der ALK-Grundstufe in Mecklenburg-Vorpommern (LAIv, 2003, S. 80) (Fortsetzung)

| ALK-Folie | Bedeutung | Bemerkung |
|-------------------------|--|--|
| Folie 003 | Politische Grenzen | Staats-, Landes-, Kreis- und Gemeindegrenzen, weiter Stadt- und Landgemeinde, Gemeindeteil |
| Folie 011 | Gebäude | Differenzierung nur nach Informationsgehalt der Flurkarte, ansonsten Gebäude allgemein, ohne Bezug zur Flurstücksgrenze |
| Folie 021 | Tatsächliche Nutzung | vollständig, soweit Bestandteil der Flurkarte |
| Folie 022 | Topographie | Topographie in dem Umfang, soweit sie zur Orientierung in der Liegenschaftskarte notwendig ist (Straßen- und Gewässernamen, Gewannnamen) |
| Folie 050 | Nummerierter Punkt der Punktart 0 (TP) | im Umfang des nachrichtlichen Nachweises (Punktdatei) |
| Folie 051 bis Folie 054 | Nummerierter Punkt der Punktart 1 (AP), 2 (GP), 3 (GbP), 4 (ToP) | im Umfang des amtlichen Nachweises (Punktdatei) |
| Folie 085 | Graphische Punkte der Punktarten 1 (PP) bis 4 (TopP) | Punkte der Punktarten 1 (PP) bis 3 (GbP) vollständig, Punkte der Punktart 4 (TopP) im erforderlichen Umfang |

Seit 2010 ist die ALK flächendeckend in Mecklenburg-Vorpommern implementiert. Dadurch konnten Fortführung, Erneuerung und Auskunftersuchen digital bearbeitet und bereitgestellt werden (vgl. LAiV 2003, S. 78, 80, 81).

1.1.3. Digitalisierung und Georeferenzierung der analogen Flurkarten

Zu Beginn der Erstellung der ALK bis 1998 erfolgte die Datenerfassung überwiegend durch Liegenschaftsvermessungen und Katastererneuerungen. Diese Vorgehensweise musste jedoch aufgegeben werden, da den Anforderungen an einen ALK-Grunddatenbestand eine immer größere Bedeutung zugeschrieben wurde.

Als Ergebnis dieses Drucks erfolgte ein grundsätzlicher Wandel in der Datenerfassung. Stattdessen kam das Verfahren der Digitalisierung der vorhandenen analogen Flurkarten einschließlich ihrer Beiblätter und Nebenzeichnungen zum Einsatz.

Der Ansatz einer flächendeckenden Digitalisierung der analogen Flurkarten innerhalb einer vergleichsweise kurzen Zeitspanne von knapp zehn Jahren war der damals qualitativ und quantitativ geeignete Weg, das geforderte amtliche, digitale, blattschnittfreie, raum- und objektbezogene Informationssystem als Basisinformationssystem der ALK zu realisieren (vgl. LAiV 2003, S. 79).

Die Digitalisierung der analogen Flurkarten, insgesamt etwa 11 600 in Mecklenburg-Vorpommern (M-V), basierte auf der Georeferenzierung¹ mittels Passpunkten.

Um ein einheitliches Vorgehen bei der Digitalisierung sicherzustellen, wurden in Mecklenburg-Vorpommern folgende Verwaltungsvorschriften erlassen:

- Anweisung zur Erstellung der Automatisierten Liegenschaftskarte in Mecklenburg-Vorpommern mittels Digitalisierung - Digitalisieranweisung Mecklenburg-Vorpommern (DigA M-V)
- Verwaltungsvorschrift zum beschleunigten Aufbau der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in Mecklenburg-Vorpommern bis zum Jahr 2007 - Verwaltungsvorschrift ALK-Grundstufe Mecklenburg-Vorpommern (VwV-ALK/1 M-V)

Nachfolgend soll anhand dieser Vorschriften und weiterer Quellen die allgemeine Verfahrensweise der Digitalisierung beschrieben werden.

Digitalisierung Unter Digitalisierung ist die Überführung des vorhandenen Katasterkartenwerks in eine maschinenlesbare Form zu verstehen. Praktisch bedeutet dies, dass die analoge Liegenschaftsgeometrie (Flurstücke und Gebäude) nach erfolgter Georeferenzierung der Flurkarte abgezeichnet wird. Dieses Abzeichnen umfasst die Erstellung von Punkt-, Linien- und Flächenobjekten mittels geeigneter Digitalisierungsverfahren.

Diese Objekte basieren auf Koordinaten, die durch die Georeferenzierung im damals amtlichen Lagebezugssystem S42/83-3° ermittelt wurden. Die Anforderung an die Digitalisierung bestand darin, dass das Ergebnis, die ALK, den bereits im vorherigen Unterunterabschnitt 1.1.2 genannten Vorschriften entspricht. Hinsichtlich der Vollständigkeit war mindestens der gesamte Inhalt der analogen Karte zu übernehmen, wobei die geometrische Genauigkeit der Karten beizubehalten war.

Digitalisierungsverfahren In der DigA M-V erfolgte die Festlegung von drei unterschiedlichen Verfahren zur Digitalisierung. Diese sind:

Punkt 2 DigA M-V

„*Tischdigitalisierung*:

Die analoge Flurkarte wird auf einem Digitalisiertisch fixiert und mittels manueller Abtastung über einen Sensor in digitale Form übertragen (Vektorisierung).“

„*Bildschirmdigitalisierung*:

Von der Flurkarte wird mittels Scanner eine Rasterdatei [(z. B. .tiff)] erstellt, die anschließend am Grafikbildschirm manuell (z. B. mit der Maus) oder halbautomatisch (Linienverfolgung) in eine Vektorgrafik überführt wird.“

„*Automatische Digitalisierung und Mustererkennung*:

Die Flurkarte wird mittels Scanner in eine Rasterdatei überführt und anschließend mit einer Vektorisierungssoftware bearbeitet. Danach erfolgt durch Verfahren der Mustererkennung die Klassifizierung der Vektoren.“

¹Georeferenzierung bezeichnet den Prozess der Ausrichtung räumlicher Daten, wie Karten, Luftbilder oder Scans, auf ein bestimmtes Koordinatensystem, sodass sie den abgebildeten realen Standorten entsprechen.

Das Verfahren der *Bildschirmdigitalisierung* kam in den Kataster- und Vermessungsämtern (KVA) in M-V grundsätzlich flächendeckend zum Einsatz.

Georeferenzierung Die Grundlage jeder Georeferenzierung bilden Passpunkte. An diese Punkte waren folgende Anforderungen gestellt:

Punkt 3.6 DigA M-V

„Als Paßpunkte für die Einpassung der Karte werden Punkte verwendet, die in der Karte eindeutig identifiziert werden können und im amtlichen Landeskoordinatensystem [S 42/83] vorliegen.“

„Bei der Auswahl ist auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung über das gesamte Kartenblatt zu achten. Punkthäufungen, punktleere Räume und Punktansammlungen in einer dominierenden Richtung sind zu vermeiden.“

„Als Paßpunkte sind vorrangig Vermessungs- und Grenzpunkte zu verwenden. Sofern die Sicherheit besteht, daß Gebäude im Zuge von Fortführungsmessungen in die Flurkarte gelangt sind, können auch Gebäudepunkte als Paßpunkte gewählt werden.“

„Falls erforderlich, sind Paßpunkte durch örtliche Vermessungen zu bestimmen. Örtlich bestimmte Paßpunkte unterliegen den Genauigkeitsbestimmungen für Katastermessungen.“

Die genannten Anforderungen an die Passpunkte konnten insbesondere im land- und forstwirtschaftlich geprägten Bereich nicht immer vollständig erfüllt werden, sodass teilweise unveränderbare topografische Merkmale als Passpunkte verwendet wurden. Beispiele hierfür sind markante Wasserlöcher auf Äckern oder Wiesen sowie Wegkreuzungen. (vgl. IM BB 2001, S. 15)

Transformation Eine Transformation dient der Überführung von Koordinatensätzen eines kartesischen Systems von einem lokalen Quellsystem $\{x_i, y_i\}$ in ein entsprechendes Zielsystem $\{X_i, Y_i\}$. Um ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten, muss die Auswahl der Transformationsfunktion sorgfältig erfolgen. Der allgemeine funktionale Zusammenhang zwischen den Systemen gilt sowohl für die Passpunkte einer Transformation als auch für die zu transformierenden Punkte (vgl. Niemeier 2008, S. 342):

$$(X, Y) = \Phi(x, y) \quad (1)$$

Mit

| | | |
|----------|----|------------------------------|
| (X, Y) | := | Koordinaten des Zielsystems |
| (x, y) | := | Koordinaten des Quellsystems |
| Φ | := | Funktionaler Zusammenhang |

Für den zweidimensionalen Fall einer Transformation kommt in der Regel die Helmert-Transformation, auch konforme oder Ähnlichkeitstransformation genannt, zum Einsatz. Die grundlegende geometrische Ausgangssituation ist in Abbildung 5 auf Seite 10 dargestellt.

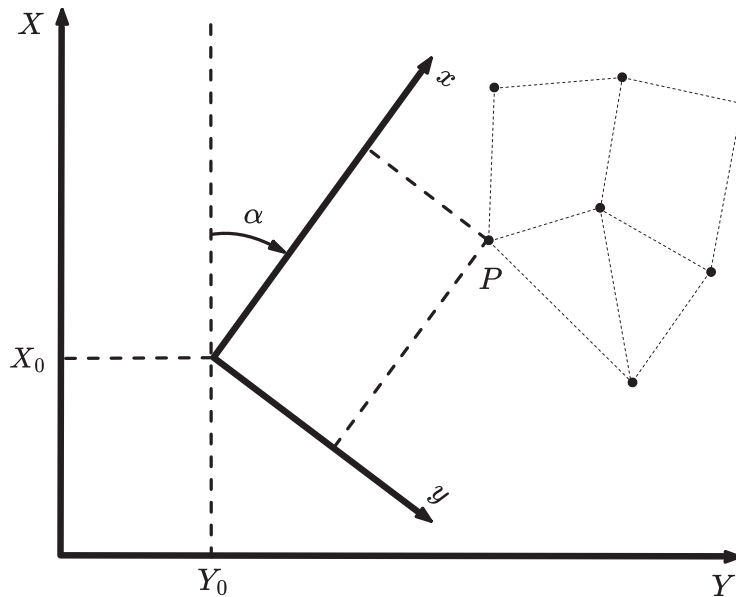


Abbildung 5: Modell der Helmert-Transformation (Niemeier, 2008, S. 343)

Für diesen Fall ergeben sich die Transformationsgleichungen für $\{X_i, Y_i\}$ wie folgt:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0 + m \cdot (\cos \alpha) \cdot x_i - m \cdot (\sin \alpha) \cdot y_i \\ Y_i &= Y_0 + m \cdot (\sin \alpha) \cdot x_i + m \cdot (\cos \alpha) \cdot y_i \end{aligned} \tag{2}$$

Die vier Parameter dieser Gleichungen sind:

- X_0, Y_0 := „Translationen längs der X- und Y-Achse zwischen den Ursprüngen der beiden Koordinatensysteme.“
- α := Rotationswinkel der Achsen des x, y -Systems in Bezug auf das X, Y -System.
- m := Maßstabsfaktor zwischen den beiden Koordinatensystemen.“ (Niemeier, 2008, S. 344)

Eine Erweiterung der allgemeinen Helmert-Transformation von vier auf sechs Parameter ergibt die sogenannte Affin-Transformation. Die Parameter der Transformationsgleichungen dieser Methode lauten:

$$\begin{aligned} X_i &= X_0 + m_{x_i} \cdot (\cos \alpha) \cdot x_i - m_{y_i} \cdot (\sin \beta) \cdot y_i \\ Y_i &= Y_0 + m_{x_i} \cdot (\sin \alpha) \cdot x_i + m_{y_i} \cdot (\cos \beta) \cdot y_i \end{aligned} \tag{3}$$

- „Für jede Koordinatenrichtung x, y im Ausgangssystem wird ein eigener Maßstabsfaktor m_x bzw. m_y eingeführt.“
- Die Rechtwinkligkeit zwischen den Achsen des Quellsystems wird aufgehoben; für die x -Achse wird ein Rotationswinkel α , für die y -Achse ein weiterer Rotationswinkel β definiert.
- Die Translationsterme zwischen den Ursprüngen der Koordinatensysteme bleiben erhalten.“ (Niemeier, 2008, S. 345)

Die Karteneinpassung (Georeferenzierung) ist ein typisches Anwendungsbeispiel für die Affin-Transformation. Sie war auch in der DigA M-V zur Orientierung der Flurkarte vorgeschrieben. Diese Methode eignet sich besonders für die Georeferenzierung analoger Flurkarten, da ihre Parameter

den ungleichmäßigen Papierverzug in den Achsrichtungen erfassen und berücksichtigen können. (vgl. Niemeier 2008, S. 345)

Durch die Einbeziehung von mindestens sechs Passpunkten, wie in der Vorschrift gefordert, handelt es sich um eine überbestimmte Transformation. Im Fall der Georeferenzierung bilden die Koordinaten der Passpunkte im amtlichen Lagebezugssystem das Zielsystem, während die Koordinaten der Karte als Rasterdatensatz das Quellsystem darstellen. Wichtig ist hierbei, dass die Passpunkte gleichmäßig über die Flurkarte verteilt sind, um bei der anschließenden Digitalisierung keine Extrapolationen vornehmen zu müssen (vgl. DigA M-V, Pkt. 4.1.1).

Durch die Überbestimmung liefert die Transformation zusätzlich Restklaffen der Passpunkte, die zur Qualitätsbeurteilung herangezogen werden können. Diese Restklaffen stellen die lineare Abweichung zwischen den Koordinaten der Passpunkte beider Systeme dar. Die DigA M-V legt für die Restklaffen einen vom Maßstab abhängigen Grenzwert fest: allgemein $0,8 \text{ mm} \cdot \text{Maßstabszahl}$ und für Kartenmaterial guter Qualität, beispielsweise Rahmenkarten, $0,4 \text{ mm} \cdot \text{Maßstabszahl}$. Die Tabelle 2 zeigt die entsprechenden Grenzwerte für verschiedene Maßstäbe (vgl. Stahl 2002, S. 70; DigA M-V, Pkt. 4.1.4).

Tabelle 2: Übersicht der Restklaffengrenzwerte für verschiedene Maßstäbe bei der Digitalisierung

| Maßstab | Grenzwert [0,8 mm] | Grenzwert [0,4 mm] |
|----------|--------------------|--------------------|
| 1 : 1000 | 0,80 m | 0,40 m |
| 1 : 2000 | 1,60 m | 0,80 m |
| 1 : 3000 | 2,40 m | 1,20 m |
| 1 : 4000 | 3,20 m | 1,60 m |
| 1 : 5000 | 4,00 m | 2,00 m |

Geometrieerfassung Bei der Bildschirmdigitalisierung muss der Bearbeiter in der georeferenzierten Flurkarte die entsprechenden Objekte, zum Beispiel Flurstücke und Gebäude, identifizieren und mit einem Fadenkreuz anfahren. Zur Unterstützung bei der Identifikation kann die gescannte Katasterkarte, eine Rasterdatei, bei Bedarf beliebig vergrößert werden, um eine genaue und sorgfältige Einstellung des zu erfassenden Punktes zu gewährleisten. Parallel zur Erfassung können die Objektbildung, die Erfassung der Topologie sowie geometrische Zwangsbedingungen wie Geradlinigkeit oder Rechtwinkligkeit umgesetzt werden (vgl. Stahl 2002, S. 68).

Grundsätzlich galt beim Digitalisieren das Prinzip *Vom Großen ins Kleine*. Die Objektklassen sollten in folgender Reihenfolge abgearbeitet werden (vgl. DigA M-V, Pkt. 4.2):

1. Grenzen der Bundesrepublik Deutschland
2. Grenzen des Landes Mecklenburg-Vorpommern
3. Kreisgrenzen
4. Gemarkungen
5. Flurgrenzen
6. Flurstücksgrenzen
7. Gebäudeumringe
8. Grenzen der tatsächlichen Nutzung
9. Ausgestaltungen an Gebäuden
10. Topographie

Des Weiteren sollten folgende Erfassungsgrundsätze eingehalten werden:

- „Beibehaltung von Rechtwinkligkeit, Geradheit (zuerst Digitalisierung der Geradenendpunkte, dann der Zwischenpunkte) oder Parallelität durch das Setzen der entsprechenden Bedingungen,
- dicht beieinanderliegende Punkte nicht zu einem Punkt vereinigen (eventuelle Fangmechanismen ausschalten),
- redundanzfreie Erfassung der Kartenelemente,
- geschlossene Linienführung bei Flurstücken und Gebäuden,
- besondere Beachtung der Randpunkte bei Rahmenkarten.“ (DigA M-V, Pkt. 4.2)

Genauigkeit Die Anforderungen an die geometrische Genauigkeit der in der ALK durch Digitalisierung dargestellten Liegenschaften (Flurstücke und Gebäude) sollen mindestens der Genauigkeit der herkömmlichen analogen Flurkarte entsprechen (vgl. VwV-ALK/1 M-V, Pkt. 2.2.4).

Die Genauigkeit der Digitalisierung hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab: zum einen von der Kartiergenauigkeit des zugrunde liegenden Kartenmaterials und zum anderen von der Digitalisiergenauigkeit.

Die Digitalisiergenauigkeit hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- *Einfluss der Scannerauflösung:*
Je nach Auflösungsparameter des verwendeten Scanners wurde der Scan der analogen Karte in einer bestimmten Qualität erzeugt. In der Regel lag die Scanqualität bei 300 oder 400 dpi. *Dpi* steht für *dots per inch* und beschreibt, wie viele einzelne Pixel auf einer Länge von 1 Zoll (25,4 mm) dargestellt werden können. Bei einer Auflösung von 300 dpi ergibt sich somit eine Pixel-Arbeitsgenauigkeit von etwa 0,0846 mm.
- *Einfluss der spezifischen Erfassung:*
Dieser Einfluss ist vom jeweiligen Bearbeiter abhängig. Die Genauigkeit der manuellen Arbeiten wird im Allgemeinen mit einem Pixel angenommen.

Die Kartiergenauigkeit einer manuell hergestellten Katasterkarte wird üblicherweise mit $\pm 0,2$ mm angesetzt. Karten, die durch Hochzeichnungen, wie im Fall der Mutterpausen, entstanden sind, sind mit dem doppelten Wert der allgemeinen Kartiergenauigkeit zu berücksichtigen. Daher ist mit einem mittleren Kartierfehler von etwa 0,4 mm zu rechnen. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass diese Genauigkeit in Abhängigkeit vom Maßstab der Karte zu bewerten ist (vgl. Stahl 2002, S. 72 ff).

Bewertung der Digitalisiergenauigkeit Die Beurteilung der Genauigkeit der digitalisierten Koordinaten der Liegenschaftsgeometrien ist eine elementare Fragestellung, die nicht einheitlich und eindeutig beantwortet werden kann. Das Hauptproblem liegt in der heterogenen Qualität des Kartenmaterials, da, wie oben ersichtlich, die Genauigkeit im Wesentlichen von der Kartiergenauigkeit abhängt. Die Genauigkeit der digitalisierten Koordinaten $\sigma_{x,y}$ ist eine Funktion der Maßstabszahl der jeweiligen Karte:

$$\sigma_i = \Phi(M) \quad (4)$$

σ_i := Genauigkeit der digitalisierten Koordinaten
 Mit M := Maßstabszahl
 Φ := Funktionaler Zusammenhang

Zur Einordnung der Genauigkeit wird die folgende Faustformel verwendet:

$$\sigma_{x,y} = \sigma_K \cdot M \quad (5)$$

$\sigma_{x,y}$:= Genauigkeit der digitalisierten Koordinaten
 Mit σ_K := Kartiergenauigkeit
 M := Maßstabszahl

Das Problem dieser Faustformel besteht darin, dass für eine realitätsnahe Einschätzung der Genauigkeit Kenntnisse über die Kartiergenauigkeit erforderlich sind. Das Ministerium des Innern des Landes Brandenburg IM BB (2001) hat dafür die in Tabelle 3 dokumentierten Werte empfohlen.

Tabelle 3: Empfohlene Kartiergenauigkeiten in Abhängigkeit der Kartenqualität IM BB (2001)

| Kartenqualität | gut | mittel | schlecht |
|----------------|-----|--------|----------|
| σ_K mm | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

Um diese Einschätzung der Faustformel zu überprüfen, führte das IM BB (2001) anhand einer Stichprobe eine Varianzkomponentenschätzung durch und bestätigte maßstabsabhängige Beobachtungsfehler. Für $\Phi(M)$ erfolgte die Annahme eines Polynoms zweiten Grades, dessen Koeffizienten durch Ausgleichung bestimmt wurden. In Abbildung 6 sind sowohl der Funktionsgraph der Faustformel als auch der des Polynoms dargestellt.

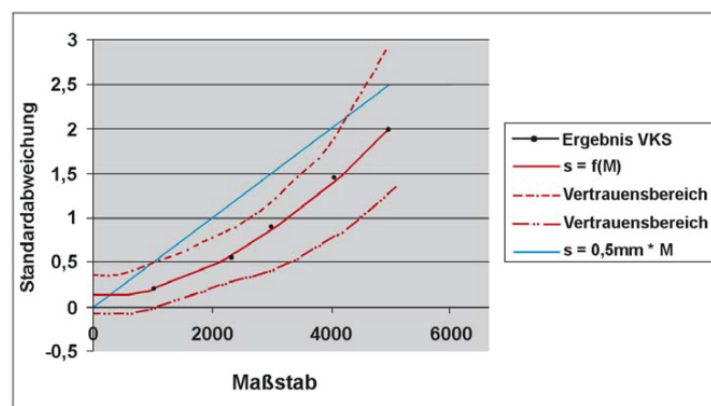


Abbildung 6: Vergleich der Funktionsgraphen: in blau der Graph der Gleichung 5, in rot das Polynom zweiten Grades $\sigma_{x,y} = (0,146 + 7,51 \cdot 10^{-8} \cdot M^2)$ m mit einem Konfidenzbereich mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 1% (IM BB, 2001, S. 28)

Natürlich kann aufgrund einer Stichprobe nicht umfassend auf die Qualität von Digitalisierungen im Zuge der ALK-Erstellung geschlossen werden. Sie hat jedoch gezeigt, dass die Faustformel (Gleichung 5) eine gute Näherung darstellt (vgl. IM BB 2001, S. 27, 28).

Randanpassung Die Randanpassung war ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu einem blattschnittfreien digitalen Kartenwerk. Die Ergebnisse der Digitalisierung der einzelnen benachbarten Fluren sollten miteinander verbunden werden. Als Vorzugsverfahren kam in Mecklenburg-Vorpommern das Verfahren der *Verketteten Transformation* zum Einsatz, das auf einer klassischen Helmert-Transformation basiert.

Das Zusammenführen der einzelnen digitalisierten Fluren erforderte die Berücksichtigung der Qualität der jeweiligen Digitalisierungsergebnisse sowie deren Maßstab. Ziel war es, die Ergebnisse homogen in das amtliche Lagebezugssystem (S 42/83) zu überführen. Diese Anforderungen machten es notwendig, die „Verkettete Transformation“ als ausgleichungstechnisches Verfahren durchzuführen. Nach der Gleichung 2 auf Seite 10 ergeben sich für die Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen folgende Verbesserungsgleichungen:

$$x_i + v_{x_i} = m \cdot \cos \alpha \cdot (X_i - X_0) - m \cdot \sin \alpha \cdot (Y_i - Y_0) \quad (6)$$

$$y_i + v_{y_i} = m \cdot \sin \alpha \cdot (X_i - X_0) + m \cdot \cos \alpha \cdot (Y_i - Y_0)$$

$$\sum_{i=1}^{n_p} (v_{x_i}^2 + v_{y_i}^2) \stackrel{!}{=} \min \quad (7)$$

Mit v_{x_i} := Verbesserung der x_i -Koordinate,
 v_{y_i} := Verbesserung der y_i -Koordinate,
 n_p := Punktzahl.

Die Wahl des Transformationsansatzes war dabei sorgfältig zu prüfen. Ob in M-V der Ansatz der Vier- oder Sechs-Parameter-Transformation Anwendung fand, lässt sich heute nicht mehr eindeutig bestimmen. Für die Transformation waren nach der Verwaltungsvorschrift VwV-ALK/1 M-V mindestens zwei Passpunkte bei einer Mindestanzahl von fünf digitalisierten Flurkarten erforderlich. Außerdem sollten möglichst viele eindeutig identifizierte gemeinsame Randpunkte zu jeder benachbarten Flurkarte Berücksichtigung finden.

Durch den Ansatz der Ausgleichung konnten und mussten die unterschiedlichen Maßstäbe sowie Genauigkeiten der benachbarten Flurkarten in die Randanpassung einbezogen werden. Generell erfolgte das Vorgehen bei der Randanpassung nach dem Prinzip *Vom Kleinen ins Große*: Aus einzelnen Fluren wurden Gemarkungen, aus Gemarkungen Gemeinden und aus Gemeinden schließlich Kreise (vgl. Stahl 2002, S. 74, 75; DigA M-V, Pkt. 5.2; VwV-ALK/1 M-V, Pkt. 2.2.3; IM BB 2001, S. 17, 18 ff.).

Das Ergebnis dieser Arbeiten war eine bemerkenswerte Leistung, die Bereitstellung des Programmsystems ALK. Neben der reinen geometrischen Erfassung mussten auch Aufgaben der Datenhaltung und Datenattribuierung gemäß den im Unterunterabschnitt 1.1.2 genannten Vorschriften durchgeführt werden, um die ALK-Grundstufe nach VwV-ALK/1 M-V fertigzustellen. Im historischen Kontext kann die Bewältigung dieser flächendeckenden Aufgabe hinsichtlich des zeitlichen Aufwands mit den Arbeiten der Bodenreform in der Nachkriegszeit verglichen werden.

1.1.4. Migration zum Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS)

Der Grunddatenbestand der ALK sollte in den Datenbestand von ALKIS migriert werden. Im Abschnitt 4.2 auf Seite 90 sind Erläuterungen aufgeführt, welche die rechtlichen und technischen Gründe eines Übergangs von den Programmsystemen Automatisiertes Liegenschaftsbuch (ALB) und ALK hin zu Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem darstellen. ALKIS ist Teil des AAA-Konzepts der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) zur Neumodellierung der amtlichen Geobasisdaten. AAA steht dabei für die Abkürzungen Amtliches Festpunkt Informationssystem (AFIS), Amtliches Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) und Amtliches Topographisch Kartographisches Informationssystem (ATKIS).

- *AFIS*
Dient dem Nachweis der Daten des geodätischen Raumbezugs (Lage-, Höhen- und Schwerefestpunkte).
- *ALKIS*
Vereint die zuvor getrennt geführten Daten des Automatisierten Liegenschaftsbuchs (ALB) und der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK).
- *ATKIS*
Beinhaltet die Geobasisdaten, die zur Beschreibung der Erdoberfläche (Relief, Siedlung, Verkehr) benötigt werden.

Am 26. Januar 2015 erfolgte die Einführung von ALKIS als amtliches System. Mit dieser Umstellung sollte ebenso ein Wechsel des amtlichen Bezugssystems vollzogen werden. Bis 2014 war das amtliche Lagebezugssystem S42/83-3° (Gauß-Krüger-Koordinaten, 3°-Meridianstreifen, Krassowski-Ellipsoid) für die Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters vorgeschrieben. Mit der Migration wurden sämtliche Geobasisdaten auf das European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89) mit GRS80-Ellipsoid und der Universale Transversale Mercatorprojektion (UTM) mit 6° breiten Zonen und einem Maßstabsfaktor von 0,9996 überführt (vgl. LK VR 2025).

Gegenwärtig ist ALKIS nach der aktuellen Version der GeoInfoDok 7.1 ein Teil des Eigentumssicherungssystems der Bundesrepublik Deutschland. Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle nochmals betont, dass der heutige grafische Bestand von ALKIS in Mecklenburg-Vorpommern auf den Ergebnissen der Mutterpausenerstellung basiert. Diese Mutterpausen bildeten die analogen Flurkartenvorlagen, die für die Digitalisierung und somit die Erstellung der ALK verwendet wurden.

Seit der Einführung der ALK im Jahr 2010 wurden zahlreiche Liegenschaftsvermessungen durchgeführt, die dem modernen technischen Genauigkeitsniveau entsprechen. Trotzdem beruhen große Teile der Ergebnisse des amtlichen Geobasisinformationssystems ALKIS weiterhin auf den Daten der ursprünglichen ALK-Erstellung. Mit dem Wissen aus den vorangegangenen Unterabschnitten wird deutlich, dass in Zukunft der Verbesserung der Qualität des Liegenschaftskatasters eine höhere Bedeutung beigemessen und entsprechender Handlungsbedarf abgeleitet werden muss. Das Mittel der Wahl für eine flächendeckende Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters stellt dabei das Verfahren der Ausgleichsrechnung dar.

1.2. Rechtliche Grundlagen

Neben der vorhandenen Notwendigkeit von QL-Verfahren stellt sich die Frage nach der Legitimation für die Durchführung einer daraus entstehenden Qualitätssteigerung. Oder ist es nicht vielmehr absolut erforderlich, diese Maßnahmen zu ergreifen, um der Aufgabe und den Ansprüchen als Teil des Eigentumssicherungssystems im Sinne des amtlichen Verzeichnisses der Grundstücke gerecht zu werden?

In diesem Abschnitt soll die legitimierende Paragraphenkette zur Durchführung von QL-Verfahren für das Land Mecklenburg-Vorpommern aufgezeigt werden.

Grundgesetz (GG)

Stand: 22. März 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 94)

Das Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland schafft die Grundlage für die Gewährleistung und Sicherung von Eigentum. Es ist eine Rechtsnorm des öffentlichen Rechts, welche die Rechtsverhältnisse der Bürger zum Staat regelt. Der Staat ist damit verpflichtet, die Gewährleistung des Eigentums der Bürger zu garantieren. Konkret heißt es im Gesetzestext:

Artikel 14 Abs. 1 GG

«Das Eigentum und das Erbrecht werden gewährleistet.»

Die Sicherung von Grund und Boden sowie die Rechte und Pflichten der Eigentümer durch die öffentliche Hand haben in der Bundesrepublik Deutschland somit einen so großen Stellenwert, dass sie im Grundgesetz verankert sind.

Der daraus abgeleitete Anspruch bildet die Grundlage und Notwendigkeit für ein System zur Sicherung des Grundeigentums durch die öffentliche Hand. Das Eigentum an Grundstücken wird durch öffentliche Einrichtungen (Register) garantiert:

- **Grundbuch** mit dem Grundstück als Buchungseinheit des Privatrechts
und
- **Liegenschaftskataster** mit dem Flurstück als Buchungseinheit des öffentlichen Rechts (vgl. Hoffmann 2011, S. 10).

Diese beiden Einheiten sind wie folgt definiert:

Ein Grundstück ist

- jeder selbstständige, räumlich von anderen Teilen abgegrenzte Teil der Erdoberfläche,
- der auf einem besonderen Grundbuchblatt für sich allein oder auf einem gemeinschaftlichen Grundbuchblatt unter einer besonderen Nummer aufgeführt ist.

Urteil des V. Zivilsenats vom 12.03.1914, Rep. V. 368/13 (Reichsgericht, 1914, S. 270)

Ein Flurstück ist

- ein geometrisch eindeutig begrenzter Teil der Erdoberfläche,
- der im Liegenschaftskataster unter einer besonderen Bezeichnung geführt wird.

§ 22 Abs. 2 GeoVermG M-V

Grundbuchordnung (GBO)

Stand: 25. Februar 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 63)

Die Grundlage für die Existenz beider Register schafft im übertragenen Sinne das Grundgesetz und im engeren Sinne die Grundbuchordnung.

§ 1 Abs. 1 GBO

«Die Grundbücher, die auch als Loseblattgrundbuch geführt werden können, werden von den Amtsgerichten geführt (Grundbuchämter). Diese sind für die in ihrem Bezirk liegenden Grundstücke zuständig.»

§ 2 Abs. 2 GBO

«Die Grundstücke werden im Grundbuch nach den in den Ländern eingerichteten amtlichen Verzeichnissen benannt (Liegenschaftskataster).»

Ein Grundstück als Buchungseinheit des Grundbuchs besteht aus einem oder mehreren Flurstücken. Das Flurstück ist somit die kleinste Flächenbegrenzungseinheit des Eigentumssicherungssystems. Die Verbindung zwischen Grundbuch und Liegenschaftskataster bildet das Flurstück mit seiner eindeutigen Nummerierung. Die Flurstücke werden durch die Flurkarten des Liegenschaftskatasters geführt und gesichert, heute erweitert als Geobasisinformationen aus ALKIS.

Die Verbindung des Grundbuchs mit der Flurkarte wird

- unmittelbar durch § 2 Abs. 3 GBO,
- mittelbar durch § 2 Abs. 2 GBO

hergestellt (vgl. Bengel u. Simmerding 2000, S. 224, 225, 365).

§ 2 Abs. 3 GBO

«Ein Teil eines Grundstücks darf von diesem nur abgeschrieben werden, wenn er im amtlichen Verzeichnis unter einer besonderen Nummer verzeichnet ist oder wenn die zur Führung des amtlichen Verzeichnisses zuständige Behörde bescheinigt, dass sie von der Buchung unter einer besonderen Nummer absieht, weil der Grundstücksteil mit einem benachbarten Grundstück oder einem Teil davon zusammengefasst wird.»

§ 2 Abs. 2 GBO in Verbindung mit der Verordnung des Reichsministers für Justiz RGBl. I (1940) bestimmt die Flurkarte als Bestandteil des Liegenschaftskatasters und zugleich als wesentlichen Bestandteil des amtlichen Verzeichnisses der Grundstücke im Sinne der Grundbuchordnung (vgl. Bengel u. Simmerding 2000, S. 365).

Die Hauptaufgabe der Flurkarte besteht darin, die Lage der Grundstücke eindeutig zu bezeichnen und den Verlauf der Eigentumsgrenzen aufgrund von Vermessungen mit der graphisch erreichbaren Genauigkeit wiederzugeben. Die in der Karte dargestellten Flurstücksgrenzen sind zugleich die Grenzen des Grundstücks im Sinne des Grundbuchs. (vgl. Bengel u. Simmerding 2000, S. 368)

Bürgerliches Gesetzbuch (BGB)

Stand: 17. Juli 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 163)

Aufgrund der bestehenden Verbindung von Flurkarte und Grundbuch folgt, dass die Flurkarte an der Schutzwirkung des Grundbuchs teilnimmt. Es kann daher vermutet werden, dass die Darstellung der Eigentumsgrenzen in der Flurkarte dem rechtmäßigen Bestand entspricht und somit als richtig gilt gemäß:

§ 891 Abs. 1 BGB Gesetzliche Vermutung

«Ist im Grundbuch für jemand ein Recht eingetragen, so wird vermutet, dass ihm das Recht zustehe.»

Diese abgeleitete Richtigkeitsvermutung besteht bis zum Nachweis der Unrichtigkeit. Gleichermaßen gilt für die Flurkarte der:

§ 892 Abs. 1 BGB Öffentlicher Glaube des Grundbuchs

«Zugunsten desjenigen, welcher ein Recht an einem Grundstück oder ein Recht an einem solchen Recht durch Rechtsgeschäft erwirbt, gilt der Inhalt des Grundbuchs als richtig, es sei denn, dass ein Widerspruch gegen die Richtigkeit eingetragen oder die Unrichtigkeit dem Erwerber bekannt ist. [...]»

Wer im Vertrauen auf die Richtigkeit von Grundbuch und Flurkarte das Eigentum an einem Grundstück durch Rechtsgeschäft erwirbt, wird auch dann in diesem Umfang Eigentümer, wenn die Karte unrichtig ist. (vgl. Bengel u. Simmerding 2000, S. 366)

Die Flurkarte dient der Identifizierung der Grundstücke und der Feststellung ihrer Grenzen in der Örtlichkeit. Ihre Legitimation als Bestandteil des amtlichen Verzeichnisses erlaubt und erfordert es, neben der Interpretation der Karte auch die zugehörigen Unterlagen mit einzubeziehen.

Der graphisch-beschreibende Teil des Liegenschaftskatasters besteht aus dem Katasterkartenwerk, der Flurkarte und dem Katasterzahlenwerk. Dieses umfasst vielfältige Zahlen- und Kartennachweise (Risse, Koordinaten usw.), die an der Entstehung und Weiterentwicklung der Flurkarte beteiligt sind. Somit nimmt auch das vorhandene Zahlenmaterial am öffentlichen Glauben teil, selbst dann, wenn die Ergebnisse aus Vermessungen stammen, die nicht zu neuen Grundbucheintragungen geführt haben und somit nicht zum Zweck der Teilung oder Vereinigung vorgenommen wurden (vgl. Bengel u. Simmerding 2000, S. 370, 371, 429).

Reichsgericht

Urteil Rep. V. 72/09 des V. Zivilsenats vom 12. Februar 1910

Dass auch die Flurkarte am öffentlichen Glauben des Grundbuchs teilnimmt, hat das Reichsgericht in seinem Urteil vom 12. Februar 1910 (Reichsgericht, 1910, S. 129) endgültig entschieden. Mit diesem wegweisenden Urteil wurde die Bedeutung der Grundstücksgrenzen für das Grundbuch verdeutlicht.

Denn das Eigentum wird durch immaterielle, mathematische Linien begrenzt.

**Urteil des V. Zivilsenats vom 12. Februar 1910, Rep. V. 72/09
(Reichsgericht, 1910, S. 129)**

«Welche Fläche aber das Grundstück ausmacht, das ist von entscheidender Bedeutung. Eigentum an einem Grundstücke kann man sich nicht anders vorstellen als in Beziehung auf eine bestimmte Grundfläche. Soll daher das Rechtsverhältnis des Eigentums an einem Grundstück Gegenstand des öffentlichen Glaubens des Grundbuchs sein, so muß aus diesem ersehen werden können, auf welchen abgegrenzten Teil der Erdoberfläche sich das Eigentum bezieht, und das Ersichtliche muß maßgebend sein, weil sonst der öffentliche Glaube gegenstandslos sein würde. Und was so vom Eigentum gilt muß auch gelten von anderen Rechten an einem Grundstück und von Rechten an solchen Rechten, über die das Grundbuch Auskunft gibt.»

«Ob der Inhalt des Grundbuchs der Voraussetzung, eine bestimmte Grundfläche als Gegenstand der eingetragenen Rechte nachzuweisen, genügt, das ist in jedem einzelnen Falle zu prüfen.»

Ebenso diese Informationen des amtlichen Verzeichnisses über den Verlauf der Grundstücksgrenzen können ausschließlich durch die Ergebnisse des Liegenschaftskatasters geliefert werden (vgl. Reichsgericht 1910, S. 129; Bengel u. Simmerding 2000, S. 217).

Bundesgerichtshof

Urteil V ZR 11/05 des V. Zivilsenats vom 2. Dezember 2005

Der Bundesgerichtshof (BGH) hat die Richtigkeitsvermutung des Grundbuchs nach § 891 BGB auch auf die Ergebnisse des Liegenschaftskatasters bestätigt. Das Gericht legte dabei sein Hauptaugenmerk auf den sich aus dem Liegenschaftskataster ergebenden Grenzverlauf.

**Urteil des V. Zivilsenats vom 2. Dezember 2005, V ZR 11/05
(Bundesgerichtshof, 2005, S. 4)**

«Für den Gutglaubenschutz sei der durch die Bestandsangaben des Grundbuchs [...] ausgewiesene Grenzverlauf maßgebend, der sich aus dem Liegenschaftskataster ergebe.»

Daraus folgt, dass im Rechtsverkehr von Grundstücken Klarheit darüber bestehen muss, welcher konkrete Teil der Erdoberfläche Gegenstand eines Rechtsgeschäfts ist. Die Bestimmung dieses terrestrischen Bereichs obliegt dem amtlichen Verzeichnis nach § 2 Abs. 2 GBO.

**Urteil des V. Zivilsenats vom 2. Dezember 2005, V ZR 11/05
(Bundesgerichtshof, 2005, S. 4)**

«Da im Rechtsverkehr Klarheit darüber bestehen muss, auf welchen kon-

kreten Teil der Erdoberfläche sich ein eingetragenes Recht bezieht, besteht heute Einigkeit darüber, dass sich die Richtigkeitsvermutung des Grundbuches auch auf den sich aus dem Liegenschaftskataster ergebenden Grenzverlauf erstreckt.»

«Nach § 2 Abs. 2 GBO werden die Grundstücke im Grundbuch nach dem Liegenschaftskataster benannt. Der Grenzverlauf kann danach in aller Regel über die in Spalte 3 b des Bestandsverzeichnisses des Grundbuches eingetragene Parzellennummern in Verbindung mit der Katasterkarte erschlossen werden.»

Das Gericht stellte damit klar, dass neben der Darstellung eines Grundstücks in der Flurkarte insbesondere die maßgeblichen Katasterzahlen für die genaue Gestalt und Lage eines Grundstücks entscheidend sind.

Verwaltungsgericht Greifswald

Urteil 5 A 4/12 vom 22. April 2013

Das Verwaltungsgericht Greifswald hat mit seinem Urteil erneut die Bedeutung der zugrunde liegenden Katasterzahlen als Ergebnis des Liegenschaftskatasters hervorgehoben.

Urteil vom 22. April 2013, 5 A 4/12 (Verwaltungsgericht Greifswald, 2013, S. 6)

«Die Vermessungsstellen haben für ihre Tätigkeit die Nachweise des Liegenschaftskatasters, insbesondere das Katasterzahlenwerk und die Flurkarte, anzuhalten. Maßgeblich für den Verlauf einer Flurstücksgrenze und die Lage der Grenzpunkte ist in erster Linie der Nachweis der Entstehungsvermessung.»

«Maßgeblich für die Grenze ist nicht die Position eines Grenzsteins, sondern der Grenznachweis des Liegenschaftskatasters.»

Daraus lässt sich ableiten, dass zur sachgerechten Aufgabenerfüllung und im Sinne der Ansprüche als amtliches Verzeichnis der Grundstücke die Auswertung und Analyse der maßgeblichen Katasterzahlen der Flurstücksgrenzen und damit der übertragenen Grundstücksgrenzen erforderlich ist.

Geoinformations- und Vermessungsgesetz GeoVermG M-V

Stand: 22. Mai 2018 (GVOBl. M-V S. 193, 204)

Das Gesetz über das amtliche Geoinformations- und Vermessungswesen des Landes Mecklenburg-Vorpommern legt ebenso wie die Grundbuchordnung fest, dass das Liegenschaftskataster das amtliche Verzeichnis der Grundstücke ist.

§ 23 Abs. 1 GeoVermG M-V

«Das Liegenschaftskataster ist das amtliche Verzeichnis der Grundstücke nach § 2 Absatz 2 der Grundbuchordnung. Es unterstützt die Sicherung des Eigentums und anderer Rechte an Grundstücken und Gebäuden und dient dem Grundstücksverkehr und der Ordnung von Grund und Boden. [...]»

Bei einer rückblickenden Betrachtung der historischen Entwicklung des heutigen Liegenschaftskatasters und der hohen rechtlichen Bedeutung seiner Ergebnisse für den Grundstücksverkehr wird deutlich, dass der Gesetzgeber des Landes Mecklenburg-Vorpommern besonderen Wert auf die Gewährleistung des Eigentumssicherungssystems gelegt hat.

§ 32 Abs. 3 GeoVermG M-V

«Das Liegenschaftskataster ist zu erneuern, wenn es nicht mehr geeignet ist, als amtliches Verzeichnis der Grundstücke nach der Grundbuchordnung zu dienen oder wenn es den Anforderungen an ein Geobasisinformationssystem nicht entspricht.»

Damit wird die Aufgabenerfüllung des Liegenschaftskatasters im Land Mecklenburg-Vorpommern ausdrücklich abgesichert.

Prioritäten im Liegenschaftskataster LiKatVV M-V

Stand: 21. Dezember 2020 (AmtsBl. M-V 2021 S. 2)

Um die Aufgabenerfüllung und Qualitätssteigerung des Liegenschaftskatasters langfristig zu sichern und zu verbessern, wurde die Verwaltungsvorschrift „Prioritäten im Liegenschaftskataster Mecklenburg-Vorpommern“ LiKatVV M-V erlassen. Durch sie wurden geltende Aufgabenstandards für die zukunftsorientierte Führung des Liegenschaftskatasters festgelegt. Diese sollen durch die unteren Vermessungs- und Geoinformationsbehörden (uVGB) umgesetzt werden, um eine landesweit vergleichbare und möglichst hohe Qualität zu gewährleisten. Im Hinblick auf die Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters und die aus der Paragraphenkette deutlich werdende rechtliche Notwendigkeit der Auswertung und Analyse des Katasterzahlenmaterials schafft diese Verwaltungsvorschrift die legitimierende Grundlage für eine flächendeckende Qualitätssteigerung des Liegenschaftskatasters in Mecklenburg-Vorpommern. Die Verwaltungsvorschrift bezeichnet diese elementare Aufgabe als «Durchführung geometrieverbessernder Maßnahmen im Liegenschaftskataster» (LiKatVV M-V, Nr. 2.5). Dabei wird sie wie folgt präzisiert:

Nr. 2.5.1 LiKatVV M-V

«Durch Verwendung der durch Digitalisierung der analogen Flurkarte ohne systematische Qualitätsverbesserung erstellten Automatisierten Liegenschaftskarte als Datengrundlage für die Migration nach ALKIS ist eine Identität zwischen Katasterzahlenwerk und digital geführtem Katasterkar-

tenwerk nach wie vor nicht in allen Fällen gegeben. Es sind daher weiterhin Maßnahmen erforderlich, die die geometrische Qualität im Liegenschaftskataster durch Beseitigung der Widersprüche zwischen Katasterzahlen- und Katasterkartenwerk verbessern, um den Anforderungen der Nutzer an die amtlichen Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters zu genügen (§ 1 Absatz 2 GeoVermG M-V).»

Nr. 2.5.2 LiKatVV M-V

«Grundsätzlich sind die unteren Vermessungs- und Geoinformationsbehörden bei der Durchführung geometrieverbessernder Maßnahmen in ihren Entscheidungsbefugnissen frei. Oberstes Ziel ist es dabei, derzeit noch bestehende erhebliche geometrische Ungenauigkeiten des Katasterkartenwerks schnellstmöglich zu beseitigen. Durch das Landesamt für innere Verwaltung wird unter Einbeziehung der unteren Vermessungs- und Geoinformationsbehörden ein Konzept zur flächendeckenden Geometrieverbesserung aufgestellt.»

Das in Nummer 2.5.2 festgelegte Konzept QL-MV (2020) wurde seit 2020 nicht über den Entwurfsstatus hinaus weiterentwickelt.

2. Ausgleichsrechnung

Die elementare Aufgabe der Geodäsie ist die Erfassung und Gewinnung geometrischer Informationen von Teilen der Erdoberfläche, des erdnahen Weltraums, von Gebäuden, Konstruktionen, Bauteilen usw. unter Anwendung fachspezifischer Messinstrumente und Messmethoden. Anhand der empirisch gewonnenen Messgrößen sollen in der Regel raumbezogene Informationen abgeleitet werden, die strengen Qualitätsanforderungen unterliegen.

Somit ergibt sich neben der geometrischen Beschreibung eine weitere zentrale Aufgabe der Geodäsie, die Beurteilung eigener und fremder Messgrößen sowie von noch höherer Bedeutung die Bereitstellung verständlicher, interdisziplinär verwendbarer Qualitätsmerkmale.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird ein mathematisch-statistisches Konzept benötigt. Ein solches Konzept wird traditionell als *Ausgleichsrechnung* bezeichnet, was weitgehend einem Synonym für die *Schätzung von Parametern in linearen Modellen* der Statistik entspricht. Dieses Verfahren ermöglicht durch die Anwendung geeigneter Lösungsalgorithmen bei überbestimmten Problemstellungen die Ermittlung aussagekräftiger Qualitäts- und Zuverlässigkeitsparameter, die disziplinübergreifend gefordert werden (vgl. Niemeier 2008, S. 1, 112).

2.1. Fehlerlehre und Statistik geodätischer Beobachtungen

Das Ergebnis geodätischer Arbeiten besteht darin, Teile der geometrisch-physikalischen Realität auf der Grundlage von Messungen zu beschreiben. Die Realisierung einer geometrischen Messgröße, beispielsweise einer Strecke, wird durch die Zufallsvariable \mathbf{L} dargestellt. Für \mathbf{L} liegen, abhängig von der jeweiligen Eintrittswahrscheinlichkeit $P(l_i)$, diskrete, n -fach bestimmte Messwerte l_i als Teil einer Stichprobe innerhalb der Grenzen der zugehörigen Wahrscheinlichkeitsverteilung vor.

Aus den Beobachtungen der Stichprobe kann der wahrscheinlichste Wert der gesuchten Messgröße abgeleitet werden, der sogenannte *Mittelwert*:

$$\bar{l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l_i \quad (8)$$

Mit \bar{l} := Mittelwert
 Mit n := Anzahl der Beobachtungen
 l_i := diskrete Beobachtung

Ein Maß für die Genauigkeit der diskreten Beobachtungen und des aus der Stichprobe ermittelten Mittelwerts liefert die *empirische Varianz*:

$$s_l^2 = \frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n v_i^2 \quad (9)$$

Mit s_l^2 := empirische Varianz
 v_i := Verbesserung

Das Genauigkeitsmaß einer einzelnen Beobachtung der Stichprobe ist die empirische Standardabweichung eines Einzelwerts, während die Standardabweichung des Mittelwerts die Genauigkeit der Gesamtheit der Beobachtungen und damit den wahrscheinlichsten Wert beschreibt.

$$s_l = \sqrt{s_l^2} \tag{10}$$

$$s_{\bar{l}} = \frac{s_l}{\sqrt{n}} \tag{11}$$

Mit s_l := empirische Standardabweichung des Einzelwerts
 $s_{\bar{l}}$:= empirische Standardabweichung des Mittelwerts

Die im Vektor **L** enthaltenen Beobachtungen unterliegen einem grundlegenden Problem. Vollkommen fehlerfreie Messungen (Beobachtungen) ohne jegliche Abweichungen sind de facto nicht möglich. Technisch-mechanische Unzulänglichkeiten, Geräteungenauigkeiten, die begrenzte Leistungsfähigkeit der menschlichen Sinne sowie äußere Einflüsse (Umwelt) führen stets zu Abweichungen.

Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ist dem Beobachtungsvektor ein gewisser Fehler- bzw. Abweichungshaushalt zuzuschreiben. Der Vektor kann mit groben Fehlern, zufälligen sowie systematischen Abweichungen behaftet sein. Diese sind in der nachfolgenden Tabelle 4 näher erläutert.

Tabelle 4: Übersicht: Fehlerarten bzw. Arten von Abweichungen (Foppe, 2024, S. 13)

| Fehlerart | Beschreibung | Ursache | Bekämpfung |
|--------------------------|--|--|---|
| Grobe Fehler (Ausreißer) | absolut fehlerhafte Messwerte, z. B. Irrtümer, Verwechslungen, Zahlendreher | meist zurückzuführen auf menschliches Versagen | unabhängige Kontrollmessungen und -rechnungen |
| Systematische Abweichung | nicht beherrschbare oder unbekannte Fehlereinflüsse, die bei gleichen Bedingungen immer mit dem gleichen Vorzeichen im selben Sinn wirken, z. B. Temperatur, Refraktion, Kalibrierfehler | fehlerhaft/unzureichende Kalibrierung, systematische Einflüsse (Temperatur, Wind, etc.), fehlerhafte Bedienung | lassen sich nicht durch Wiederholungsmessungen eliminieren |
| Zufällige Abweichung | nach Abzug der anderen Fehler verbleibende Einflüsse zufälliger Natur (unterschiedliche Vorzeichen) | Unvollkommenheit der menschlichen Sinne und der Messinstrumente, zufällige Veränderungen der Umweltbedingungen | Einfluss durch Messhäufung (Wiederholungsmessungen) zu mindern. |

Mit diesem Wissen müssen geodätische Messungen entsprechend ihrem jeweiligen Zweck mit einer anwendungsorientierten Genauigkeit ausgeführt werden (vgl. Foppe 2024, S. 13, 18, 24; Neitzel 2010, S. 1, 3; Niemeier 2008, S. 1–3).

2.2. Methode der kleinsten Quadrate

Das statistische Schätzverfahren *Methode der kleinsten Quadrate*, auch bekannt unter Synonymen wie *Fehlerquadratmethode*, *Schätzung nach L2-Norm* oder mathematisch ausgedrückt durch

$$\underset{n,1}{\mathbf{v}}^T \cdot \underset{n,n}{\mathbf{P}} \cdot \underset{n,1}{\mathbf{v}} \rightarrow \min,$$

ist das heute am häufigsten angewendete Ausgleichungsverfahren.

Diese Methode wurde zu Beginn des 19. Jahrhunderts nahezu zeitgleich von Carl Friedrich Gauß (* 30. April 1777, † 23. Februar 1855) und Adrien-Marie Legendre (* 18. September 1752, † 9. Januar 1833) entdeckt und zunächst auf astronomische Problemstellungen angewendet.

Bei der Anwendung der *Methode der kleinsten Quadrate* stellt sich die Frage nach dem zu verwendenden Ausgleichungsmodell. Grundsätzlich werden drei Modelle unterschieden: der *Allgemeinfall der Ausgleichungsrechnung*, die *Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen* und die *Ausgleichung nach bedingten Beobachtungen*. Die Wahl des jeweiligen Modells hängt von der Art des funktionalen Modells ab, durch das die Beobachtungen $\tilde{\mathbf{L}}$ mit den gesuchten Parametern $\tilde{\mathbf{X}}$ verknüpft sind.

In Abbildung 7 sind die Klassifizierungen der Modelle der *Methode der kleinsten Quadrate* dargestellt. Die nachfolgenden Ausführungen betrachten ausschließlich das Modell der *Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen* (vgl. Foppe 2009, S. 35; Neitzel 2010, S. 7; Niemeier 2008, S. 129).

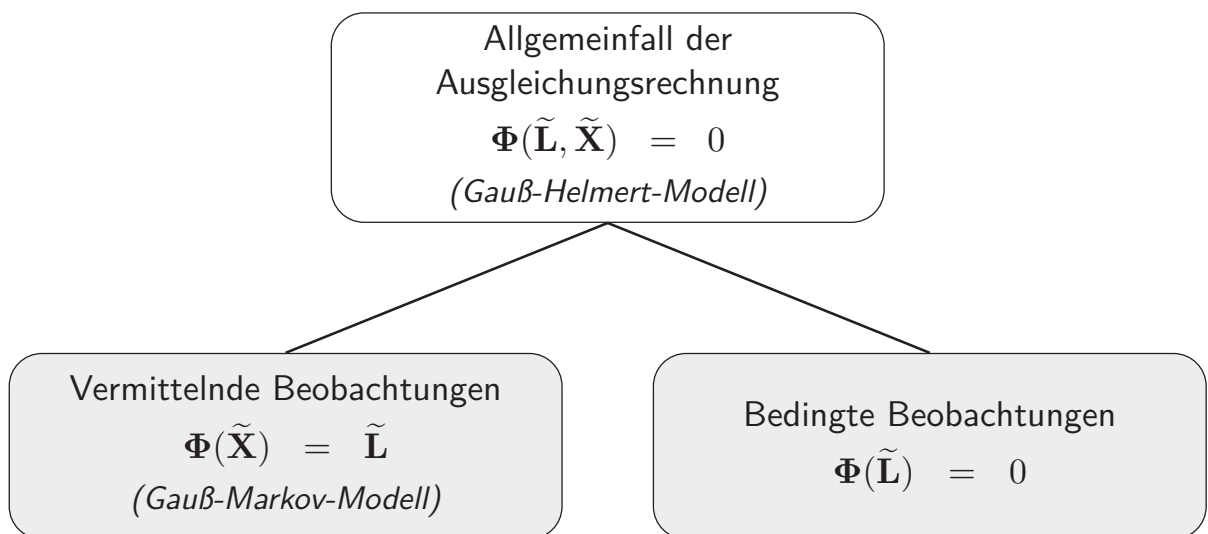


Abbildung 7: Übersicht der Modelle in der Ausgleichungsrechnung (Foppe, 2009, S. 35)

2.3. Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen (Gauß-Markov-Modell)

Vor der Anwendung der Ausgleichsrechnung ist zu prüfen, ob die zu bearbeitende Problematik überhaupt die Voraussetzung der Überbestimmung erfüllt! In der Geodäsie wird in diesem Zusammenhang der Begriff der Freiheitsgrade f verwendet. Er beschreibt das Verhältnis zwischen der Anzahl der Beobachtungen und der Unbekannten.

Im Allgemeinen liegt eine Anzahl n von Beobachtungen vor, die sich in Art und Genauigkeit unterscheiden und im Beobachtungsvektor L zusammengefasst sind. Jede dieser Beobachtungen stellt eine physikalisch definierte Zufallsvariable im Sinne der Ausführungen des Unterabschnitt 2.1 dar.

Die Anzahl u der Unbekannten, die in einem sachlogischen Zusammenhang mit den Beobachtungen stehen, ist im Unbekanntenvektor X enthalten (vgl. Niemeier 2008, S. 118).

$$L_{n,1} = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_n \end{bmatrix} \quad (12) \qquad X_{u,1} = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_u \end{bmatrix} \quad (13)$$

Mit $L_{n,1} :=$ Vektor der Beobachtungen Mit $X_{u,1} :=$ Vektor der Unbekannten
 $L_n :=$ Beobachtung $X_u :=$ Unbekannte

Das durch die vorhandenen Beobachtungen und zu bestimmenden Unbekannten gebildete System kann drei unterschiedliche Zustände annehmen:

- (i) $n > u \implies$ überbestimmtes System
- (ii) $n = u \implies$ eindeutig bestimmtes System
- (iii) $n < u \implies$ unterbestimmtes System

Ein überbestimmtes System und damit ein Ausgleichungsproblem im eigentlichen Sinn liegt nur im Fall (i) vor. Der Zustand (ii) beschreibt ein System, in dem die Unbekannten eindeutig berechenbar sind. Es ist jedoch nicht für die Anwendung der Ausgleichung geeignet. Fall (iii) ist unterbestimmt, das bedeutet, dass nicht genügend Beobachtungen zur Bestimmung aller Unbekannten zur Verfügung stehen.

In den weiteren Ausführungen wird zwischen den folgenden Werten für die Beobachtungen und Unbekannten unterschieden (vgl. Niemeier 2008, S. 119, 120):

Wahre theoretische Werte

$$\tilde{L}_{1,n}^T = [\tilde{L}_1 \quad \tilde{L}_2 \quad \cdots \quad \tilde{L}_n] \quad (14) \qquad \tilde{X}_{1,u}^T = [\tilde{X}_1 \quad \tilde{X}_2 \quad \cdots \quad \tilde{X}_u] \quad (15)$$

Mit $\tilde{L}_{1,n}^T :=$ Vektor der wahren Beobachtungen Mit $\tilde{X}_{1,u}^T :=$ Vektor der wahren Unbekannten
 $\tilde{L}_n :=$ wahre Beobachtung $\tilde{X}_u :=$ wahre Unbekannte

Näherungswerte

$$L_{1,n}^0{}^T = [L_1^0 \quad L_2^0 \quad \dots \quad L_n^0] \quad (16)$$

$$X_{1,u}^0{}^T = [X_1^0 \quad X_2^0 \quad \dots \quad X_u^0] \quad (17)$$

Mit

$L_{1,n}^0{}^T$:= Vektor der genäherten
Beobachtungen

L_n^0 := genäherte Beobachtung

Mit

$X_{1,u}^0{}^T$:= Vektor der genäherten
Unbekannten

X_u^0 := genäherte Unbekannte

Ausgegliche Werte (Schätzwerte)

$$\hat{L}_{1,n}{}^T = [\hat{L}_1 \quad \hat{L}_2 \quad \dots \quad \hat{L}_n] \quad (18)$$

$$\hat{X}_{1,u}{}^T = [\hat{X}_1 \quad \hat{X}_2 \quad \dots \quad \hat{X}_u] \quad (19)$$

Mit

$\hat{L}_{1,n}{}^T$:= Vektor der ausgeglichenen
Beobachtungen

\hat{L}_n := ausgeglichene Beobachtung

Mit

$\hat{X}_{1,u}{}^T$:= Vektor der ausgeglichenen
Unbekannten

\hat{X}_u := ausgeglichene Unbekannte

2.4. Funktionales Modell

Das funktionale Modell, welches die Beziehung zwischen den Beobachtungen und Unbekannten beschreibt und festlegt, ist ein elementarer Bestandteil, um die Ausgleichsrechnung überhaupt anwenden zu können. Im Fall der Ausgleichung nach vermittelten Beobachtungen wird jede einzelne Beobachtung durch eine Funktion der Unbekannten beschrieben, wie in Gleichung 20 zu erkennen ist. Der funktionale Zusammenhang zwischen diesen beiden Größen muss plausibel und eindeutig erfassbar sein.

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{L}} &= \Phi(\tilde{\mathbf{X}}) \\ \tilde{L}_i &= f_i(\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_u) \end{aligned} \quad (20)$$

Mit Φ, f := Funktionaler Zusammenhang

Aus der Gleichung 20 ist ebenfalls ersichtlich, dass ein solcher funktionaler Zusammenhang ausschließlich für wahre Beobachtungen \tilde{L}_n und Unbekannte \tilde{X}_u gilt. Das Aufstellen des funktionalen Zusammenhangs ist jedoch nicht immer problemlos oder schnell umsetzbar. Dieser Prozess kann durchaus komplex sein.

Exemplarisch für die Geodäsie folgen zwei grundlegende Beispiele: Die Gleichung 21 auf Seite 28 zeigt den *linearen* funktionalen Zusammenhang f_i eines messbaren Höhenunterschieds l_{ij} in Beziehung zu den Höhen H_i und H_j zweier vermarkter Punkte. Demgegenüber ist in Gleichung 22 auf Seite 28 ein *nichtlinearer* Zusammenhang dargestellt. Dabei handelt es sich um eine messbare Horizontalstrecke D_{ij} , die in funktionaler Beziehung zu den Unbekannten (X_i, Y_i) und (X_j, Y_j) steht, welche die

Punktkoordinaten des Anfangs- und Endpunktes der Strecke wiedergeben (vgl. Niemeier 2008, S. 120).

$$\tilde{l}_{ij} = \tilde{H}_j - \tilde{H}_i \quad (21) \quad \tilde{D}_{ij} = \sqrt{(\tilde{X}_j - \tilde{X}_i)^2 + (\tilde{Y}_j - \tilde{Y}_i)^2} \quad (22)$$

Aus dem Unterabschnitt 2.1 wird deutlich, dass in der Realität nicht die wahren Beobachtungen und Unbekannten vorliegen, sondern tatsächliche Messgrößen L_i mit einer entsprechenden Messgenauigkeit s_l^2 , bedingt durch den vorhandenen Fehler- bzw. Abweichungshaushalt. Aufgrund dieses Umstandes ist der zuvor aufgeführte funktionale Zusammenhang nicht mehr gültig. Das Wissen um die Unsicherheiten der tatsächlichen Messgrößen kann jedoch durch eine Kompensationsgröße, die sogenannte *Verbesserung* v_i , berücksichtigt werden. Ebenso wird für die wahren Unbekannten eine Ersatzgröße benötigt. Hierfür treten im Folgenden die ausgeglichen geschätzten Unbekannten ein. Damit ergibt sich für die tatsächlichen Verhältnisse folgender funktionaler Zusammenhang (vgl. Niemeier 2008, S. 121):

$$L_i + v_i = f_i(\hat{X}_1, \hat{X}_2, \dots, \hat{X}_u) \quad (23)$$

Mit diesem Wissen ergeben sich die folgenden *Verbesserungsgleichungen* für die beiden Beispiele:

$$l_{ij} + v_{ij} = \hat{H}_j - \hat{H}_i \quad (24) \quad D_{ij} + v_{ij} = \sqrt{(\hat{X}_j - \hat{X}_i)^2 + (\hat{Y}_j - \hat{Y}_i)^2} \quad (25)$$

Eine weitere Voraussetzung, die erfüllt sein muss, um die Ausgleichsrechnung durchführen zu können, ist eine lineare Beziehung zwischen den Beobachtungen und Unbekannten. Im Beispiel der Gleichung 24 ist ein solcher Zusammenhang gegeben. Dies stellt in der Geodäsie jedoch meist die Ausnahme dar, da in der Regel nichtlineare funktionale Zusammenhänge, wie in Gleichung 25, vorkommen. Um die geforderte Linearität herzustellen, muss eine Reihenentwicklung nach Taylor durchgeführt werden.

Durch diese Entwicklung kann der Funktionswert f an einer Stelle $X^0 + x$ bestimmt werden, sofern der Funktionswert f^0 in X^0 bekannt ist und ein hinreichend gleichmäßiger Funktionsverlauf gewährleistet ist bzw. der Fortschritt x klein bleibt. Der gesuchte Funktionswert $f(X^0 + x)$ ergibt sich somit durch die folgende, auf Taylor zurückzuführende Reihenentwicklung (vgl. Niemeier 2008, S. 122):

$$f(X^0 + x) = f(X^0) + \left(\frac{\partial f}{\partial X}\right)_{X=X^0} \cdot x + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial X^2}\right)_{X=X^0} \cdot x^2 + O(x^3) \quad (26)$$

| | | | |
|-----|--|----|--|
| | $f(X^0 + x)$ | := | lokale Approximation der Funktion $f(X)$ in der Umgebung des Entwicklungspunktes X^0 |
| | $f(X^0)$ | := | Funktionswert im Entwicklungspunkt X^0 |
| Mit | $\left(\frac{\partial f}{\partial X}\right)_{X=X^0} \cdot x$ | := | lineare Komponente (Gradientenanteil) |
| | $\frac{1}{2} \left(\frac{\partial^2 f}{\partial X^2}\right)_{X=X^0} \cdot x^2$ | := | quadratische Komponente (Krümmungsanteil) |
| | $O(x^3)$ | := | Restterm höherer Ordnung |

Die erste partielle Ableitung (die lineare Komponente) der Funktion in X^0 ist als Steigung der Tangente im Punkt $f(X^0)$ zu interpretieren. Abbildung 8 auf Seite 29 verdeutlicht, dass eine Beschränkung auf Glieder erster Ordnung (lineare Komponenten) nur dann eine hinreichende lokale Approximation $f(X^0 + x)$ liefert, wenn der Fortschritt in x klein ist.

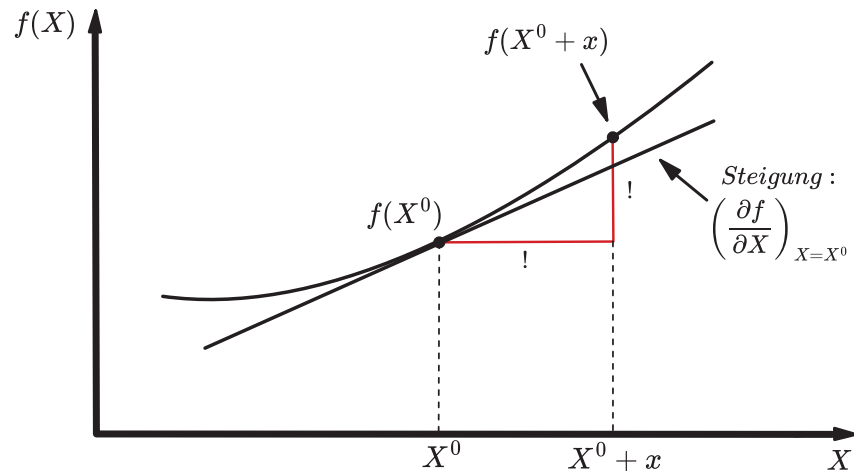


Abbildung 8: Prinzip der Taylorreihe für einen Parameter (Niemeier, 2008, S. 122)

Um diese Forderung zu erfüllen, müssen in der Geodäsie hinreichend passende Näherungswerte X^0 , meist in Form von Koordinaten, vorliegen. Diese Näherungskordinaten können auf unterschiedliche Weise bereitgestellt werden:

- Koordinaten aus geodätischen Messungen und Auswertungen,
- Ergebnisse von GNSS-Beobachtungen,
- graphische oder digitalisierte Koordinaten,
- Koordinaten aus dem Zahlenwerk des Liegenschaftskatasters,
- Schätzwerte.

Aufgrund der geforderten Linearität wird die Reihenentwicklung auf Glieder erster Ordnung begrenzt. Der Informationsgehalt höherer Glieder kann im Ausgleichungsansatz nicht berücksichtigt werden und wird daher in der Geodäsie nicht benötigt. Sollte die Genauigkeit der Näherungskordinaten nicht ausreichen, ist ein iterativer Prozess anzuwenden (vgl. Niemeier 2008, S. 122).

Die allgemeine Verbesserungsgleichung (Gleichung 23) des Ausgleichungsansatzes wird nun durch die Reihenentwicklung erweitert. Für alle n Beobachtungen L_i erhält man entsprechend n unterschiedliche Funktionen f_i mit u Ableitungen erster Ordnung an den Näherungsstellen X^0 , woraus sich folgende Darstellung ergibt:

$$L_i + v_i = f_i(X_1^0, X_2^0, \dots, X_u^0) + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_1}\right)_{X^0} \cdot \hat{x}_1 + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_2}\right)_{X^0} \cdot \hat{x}_2 + \dots + \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_u}\right)_{X^0} \cdot \hat{x}_u \quad (27)$$

Die partiellen Ableitungen werden verkürzt dargestellt durch:

$$a_{ij} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial X_j}\right)_{X^0} \quad (28)$$

Sie bilden in ihrer Gesamtheit eine Matrix mit der Dimension (n, u) , die als *Designmatrix* bezeichnet wird.

$$\mathbf{A}_{n,u} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1u} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2u} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nu} \end{bmatrix} \quad (29)$$

Mit $\mathbf{A}_{n,u} :=$ Designmatrix

Unter Berücksichtigung der vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass sich die ausgeglichenen Unbekannten \hat{X} , die das Ziel jeder Ausgleichung darstellen, aus den festen, nichtstochastischen Näherungswerten X^0 und den stochastischen Koordinatenzuschlägen \hat{x} zusammensetzen:

$$\hat{X} = X_0 + \hat{x} \quad (30)$$

Mit $\hat{x}_{u,1} :=$ gekürzter ausgeglichener Vektor der Unbekannten

Diese Koordinatenzuschläge sind die eigentlichen Unbekannten im linearisierten Ausgleichungsmodell, was auch in der Gleichung 27 auf Seite 29 deutlich zu erkennen ist. Aufgrund dieses Umstands ist es rechentechnisch erforderlich, die Näherungswerte der Beobachtungen L^0 nicht frei zu wählen, sondern sie auf Grundlage der Näherungskordinaten X^0 zu berechnen:

$$L_i^0 = f_i(X_1^0, X_2^0, \dots, X_u^0) \quad (31)$$

Die Beobachtungen werden somit analog zu den Unbekannten zerlegt:

$$L = L_0 + l \quad (32)$$

Aus diesem Zusammenhang kann der sogenannte *verkürzte Beobachtungsvektor* l gebildet werden:

$$l = L - L_0 \quad (33)$$

Dieser Vektor bildet in der weiteren Bearbeitung den eigentlichen Bestandteil der Beobachtungen im linearisierten Ausgleichungsmodell. Nach der Gleichung 27 ergibt sich somit folgende linearisierte Funktion:

$$\begin{aligned} L_i + v_i &= L_i^0 + a_{i1} \cdot \hat{x}_1 + a_{i2} \cdot \hat{x}_2 + \dots + a_{iu} \cdot \hat{x}_u \\ l_i + v_i &= a_{i1} \cdot \hat{x}_1 + a_{i2} \cdot \hat{x}_2 + \dots + a_{iu} \cdot \hat{x}_u \end{aligned} \quad (34)$$

Die so gebildete, endgültige linearisierte Form des funktionalen Modells kann in Matrixdarstellung überführt werden:

$$\mathbf{l}_{n,1} + \mathbf{v}_{n,1} = \mathbf{A}_{n,u} \cdot \hat{\mathbf{x}}_{u,1} \quad (35)$$

Diese Form bildet die Ausgangsbasis für den weiteren Berechnungsablauf der Ausgleichung (vgl. Niemeier 2008, S. 122–124).

2.5. Stochastisches Modell

Eine der Hauptaufgaben der Ausgleichung besteht darin, aussagekräftige und interpretierbare Qualitätsangaben in Form von Genauigkeiten der geschätzten Unbekannten \hat{X} bereitzustellen. Diese Genauigkeiten werden direkt durch die funktionale Beziehung sowie durch die Genauigkeitsangaben der Beobachtungen L beeinflusst. Daher ist eine realistische und zuverlässige Abschätzung der Genauigkeit bzw. Messunsicherheit der Beobachtungen erforderlich. Um die Genauigkeitsangaben im Ausgleichungsprozess voneinander abzugrenzen, wird für die Varianzen der Beobachtungen der Begriff *a priori*² Genauigkeiten verwendet.

Die Festlegung sollte auf Standardabweichungen basieren, entweder nach Herstellerangaben des verwendeten Instrumentariums oder auf Werten, die aus langfristigen Erfahrungen mit dem jeweiligen Messsystem gewonnen wurden. Eine weitere Möglichkeit sind Angaben, die aufgrund von Rechtsvorschriften gefordert werden. Sind für alle Beobachtungen Genauigkeitsmaße vorhanden, werden diese entsprechend der Dimension des $(n, 1)$ -Beobachtungsvektors L in einer Matrix (n, n) zusammengefasst. Diese wird als *Kovarianzmatrix der Beobachtungen* bezeichnet (vgl. Niemeier 2008, S. 124; Neitzel 2010, S. 5).

$$\Sigma_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \rho_{12}\sigma_1\sigma_2 & \dots & \rho_{1n}\sigma_1\sigma_n \\ \rho_{21}\sigma_2\sigma_1 & \sigma_2^2 & \dots & \rho_{2n}\sigma_2\sigma_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \rho_{n1}\sigma_n\sigma_1 & \rho_{n2}\sigma_n\sigma_2 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Auf der Hauptdiagonalen der Matrix befinden sich die Varianzen σ_i^2 der Beobachtungen L_i , während die Nebendiagonalelemente Angaben über mögliche Kovarianzen bzw. Korrelationen zwischen jeweils zwei Beobachtungen L_i und L_j enthalten. Die Werte der Nebendiagonale sollten ebenso sorgfältig gewählt werden wie die Varianzen. Meist kommen jedoch Abschätzungen oder Näherungen zum Einsatz. Wichtig ist hierbei zu beachten, dass auch diese Korrelationen die Genauigkeiten der Unbekannten beeinflussen können.

In der Praxis wird daher häufig auf die Angabe von Korrelationen verzichtet, wodurch sich die in Gleichung 37 dargestellte Form der Kovarianzmatrix ergibt. Dieser Ansatz kann ebenfalls verwendet werden, wenn ausschließlich gleich genaue und gleichartige Beobachtungen vorliegen. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich die in Gleichung 38 dargestellte Matrix (vgl. Niemeier 2008, S. 125).

$$\Sigma_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_n^2 = \sigma^2$$

$$\Sigma_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma^2 \end{bmatrix} = \sigma^2 \cdot \mathbf{I}_{n,n} \quad (38)$$

² „a priori“ bezeichnet Werte, die vor der Ausgleichung festgelegt bzw. bekannt sind.

Für den Ausgleichungsprozess wird die Kovarianzmatrix der Beobachtungen in die Kofaktormatrix der Beobachtungen überführt. Zur Durchführung dieser Berechnung wird die *Varianz der Gewichtseinheit* σ_0^2 eingeführt.

$$\mathbf{Q}_{LL} = \frac{1}{\sigma_0^2} \cdot \mathbf{\Sigma}_{LL} \quad (39)$$

Mit \mathbf{Q}_{LL} := Kofaktormatrix der Beobachtungen
 σ_0^2 := Varianz der Gewichtseinheit (a priori)

σ_0^2 wird auch als Varianzfaktor bezeichnet. Er dient der Normierung und liefert die normierte Kovarianzmatrix, also die Kofaktormatrix der Beobachtungen. In der Regel wird die Varianz der Gewichtseinheit mit $\sigma_0^2 = 1$ festgelegt.

Die Kofaktormatrix beschreibt die relative Genauigkeitsstruktur bzw. die Genauigkeitsrelationen der Beobachtungen zueinander ohne absolute Maßeinheit. Sie ermöglicht die Identifikation von Korrelationen zwischen den Beobachtungen und bildet zugleich die Grundlage für die Gewichtung im Ausgleichungsprozess. Die resultierende Gewichtsmatrix ergibt sich aus der Inversion der Kofaktormatrix:

$$\mathbf{P} = \mathbf{Q}_{LL}^{-1} \quad (40)$$

Mit \mathbf{P} := Gewichtsmatrix

Durch die standardmäßige Festlegung von $\sigma_0^2 = 1$ hängt die Gewichtung der Beobachtungen ausschließlich von ihrer jeweiligen Standardabweichung ab. Aus der Inversion der Kofaktormatrix ergibt sich für die einzelnen Gewichte $p_{ii} = 1/\sigma_i^2$. Daraus folgt, dass Beobachtungen mit größerer Standardabweichung und somit geringerer Genauigkeit ein kleineres Gewicht erhalten. Dies führt dazu, dass Messungen geringerer Qualität einen entsprechend geringeren Einfluss auf das geschätzte Gesamtergebnis ausüben (vgl. Niemeier 2008, S. 126).

2.6. Ausgleichsalgorithmus

Ist das linearisierte und stochastische Modell aufgestellt, kann die Berechnung der gesuchten geschätzten Unbekannten durchgeführt werden. Im Unterabschnitt 2.2 wurde bereits das am häufigsten verwendete Schätzverfahren erwähnt. Die *Methode der kleinsten Quadrate* kommt beim Ausgleichsansatz nach vermittelten Beobachtungen standardmäßig zum Einsatz. Dieses Prinzip sieht die Minimierung der Summe der Verbesserungsquadrate vor. Unter der Vorgabe $\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v} \rightarrow \min$ wird das entsprechende Lösungsverfahren aufgestellt.

Allgemein ist aus der Mathematik bekannt, dass zur Bestimmung eines Minimums die erste Ableitung einer Funktion gleich Null gesetzt wird. Wendet man dieses Prinzip sowie die Regeln der Matrizenrechnung auf das funktionale Modell (Gleichung 35) an, ergibt sich folgende Gleichung (vgl. Niemeier 2008, S. 133):

$$\mathbf{v}_{n,1}^T \cdot \mathbf{P}_{n,n} \cdot \mathbf{v}_{n,1} \rightarrow \min$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{u,1} = \left(\mathbf{A}_{u,n}^T \cdot \mathbf{P}_{n,n} \cdot \mathbf{A}_{n,u} \right)^{-1} \cdot \mathbf{A}_{u,n}^T \cdot \mathbf{P}_{n,n} \cdot \mathbf{l}_{n,1} \quad (41)$$

Die genauen Berechnungsschritte können Niemeier (2008) auf Seite 133 entnommen werden.

Die Gleichung 41 wird in der herkömmlichen Terminologie auch als Normalgleichung bezeichnet welche zu Null gesetzt die Form annimmt.

$$\mathbf{N} \cdot \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{n} = \mathbf{0} \quad (42)$$

$$\mathbf{N}_{u,u} = \mathbf{A}_{u,n}^T \cdot \mathbf{P}_{n,n} \cdot \mathbf{A}_{n,u} \quad (43) \quad \mathbf{n}_{u,1} = \mathbf{A}_{u,n}^T \cdot \mathbf{P}_{n,n} \cdot \mathbf{l}_{n,1} \quad (44)$$

Mit $\mathbf{N}_{u,u} :=$ Normalgleichungsmatrix Mit $\mathbf{n}_{u,1} :=$ Absolutgliedvektor

Die Normalgleichungsmatrix und der Absolutgliedvektor dienen der verkürzten Schreibweise. Im nächsten Schritt erfolgt die Bestimmung der Kofaktormatrix der Unbekannten, welche sich durch Inversion der Normalgleichungsmatrix ergibt. Am Rande sei erwähnt, dass diese Inversion in bestimmten Ausgleichsfällen spezielle Lösungsverfahren erfordert.

Der Kofaktormatrix der Unbekannten kommen zwei Aufgaben zugleich zu: Zum einen ist sie für die Berechnung der Unbekannten erforderlich, zum anderen bildet sie die Grundlage für die spätere Qualitätsbeurteilung derselben.

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}_{u,u}} = \mathbf{N}_{u,u}^{-1} \quad (45)$$

Mit $\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}_{u,u}} :=$ Kofaktormatrix der Unbekannten

Nach der Gleichung 30 und den zuvor beschriebenen Berechnungsschritten ergeben sich die ausgeglichenen, geschätzten Unbekannten wie folgt:

$$\hat{\mathbf{x}}_{u,1} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{X}}\hat{\mathbf{X}}} \cdot \mathbf{n}_{u,1} \quad (46)$$

$$\hat{\mathbf{X}}_{u,1} = \mathbf{X}_{0,u,1} + \hat{\mathbf{x}}_{u,1} \quad (47)$$

Mit der Berechnung des gekürzten ausgeglichenen Unbekanntenvektors $\hat{\mathbf{x}}$ sind alle Variablen der Gleichung 35 auf Seite 30 bekannt und ermöglichen die Berechnung der Verbesserungen:

$$\mathbf{v}_{n,1} = \mathbf{A}_{n,u} \cdot \hat{\mathbf{x}}_{u,1} - \mathbf{l}_{n,1} \quad (48)$$

Anschließend können die ausgeglichenen Beobachtungen bestimmt werden:

$$\hat{\mathbf{L}}_{n,1} = \mathbf{L}_{n,1} + \mathbf{v}_{n,1} \quad (49)$$

Mit $\hat{\mathbf{L}}_{n,1} :=$ ausgeglichener Vektor der Beobachtungen

Ein Grundsatz der Geodäsie betrifft die Kontrolle des Handelns, daher sollten auch Berechnungen stets Prüfungen und Kontrollen unterzogen werden. Für den Ausgleichsprozess ist dies die Haupt- bzw. Schlussprobe. Sie ist bei jeder Ausgleichung durchzuführen und überprüft sämtliche Berechnungsschritte nach der Aufstellung des funktionalen und stochastischen Modells.

$$\hat{\mathbf{L}}_{n,1} \stackrel{!}{=} \Phi(\hat{\mathbf{X}}_{n,1,u,1}) \quad (50)$$

Auf der linken Seite der Gleichung stehen die ausgeglichenen, geschätzten Beobachtungen, die mit den aus den nichtlinearen funktionalen Zusammenhängen der ausgeglichenen, geschätzten Unbekannten berechneten Werten verglichen werden. Die Abweichungen zwischen den einzelnen Werten sollten in der Regel im Bereich von 10^{-6} bis 10^{-8} liegen. Größere Differenzen können ein Hinweis auf zu ungenaue Näherungswerte sein (vgl. Niemeier 2008, S. 147).

2.7. Qualitätsanalyse

Eine zentrale Aufgabe der Geodäsie besteht darin, allgemein akzeptierte, nachvollziehbare und objektive Aussagen über die Qualität der Beobachtungen sowie der mithilfe des funktionalen Modells ermittelten ausgeglichenen Unbekannten zu treffen. Die Notwendigkeit solcher Angaben ergibt sich auch daraus, dass der Gesetzgeber im Bereich des öffentlichen Vermessungswesens (Liegenschaftskataster) Nachweise über die Qualität grundlegender Liegenschaftsvermessungen fordert. In Mecklenburg-Vorpommern legt die LiVermVV M-V unter der Nummer 10.2 numerische Werte für die zu garantierende Qualität von Vermessungen im Zusammenhang mit Liegenschaften fest (vgl. Neitzel 2010, S. 17; Niemeier 2008, S. 270).

Solche geforderten Qualitätsangaben zu gewährleisten, ist ohne den Einsatz von Schätzverfahren jedoch nicht immer ohne Weiteres möglich. Zwar liefern geodätische Rechenverfahren das gewünschte Ergebnis, die Koordinaten eines Punktes, jedoch nicht automatisch Angaben über die Qualität und Zuverlässigkeit der Lösung. Auch die Einbeziehung redundanter Beobachtungen erfolgt meist nur durch Mittelbildung innerhalb der Berechnungen. Ein weiteres Problem besteht darin, dass unterschiedliche Gewichtungen, also die Güte der Beobachtungen, dabei nicht berücksichtigt werden. Um diesen Problemen sowie den geforderten Qualitätsanforderungen gerecht zu werden, sollte die Möglichkeit der Ausgleichsrechnung genutzt werden.

Die Qualitätskriterien der Ausgleichsrechnung können nach Niemeier (2008) in zwei Kategorien unterteilt werden: *Genauigkeit* und *Zuverlässigkeit*. Die gebräuchlichen Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsmaße werden aus der Kofaktormatrix der Unbekannten $Q_{\hat{x}\hat{x}}$ abgeleitet. Damit die resultierenden Qualitätsparameter aussagekräftig und vertrauenswürdig angewendet werden können, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

I Die Modellbildung des Ausgleichungsverfahrens ist möglichst vollständig.

- Das bedeutet, die funktionalen Beziehungen zwischen den Beobachtungen und den zu schätzenden Unbekannten sind korrekt.
- Im stochastischen Modell müssen die *a priori*-Annahmen über die Standardabweichungen und Korrelationen der Beobachtungen zutreffen.

II Von entscheidender Bedeutung ist außerdem, dass das Ergebnis im Idealfall nicht oder nur in geringem Umfang durch grobe Fehler in den Eingangsdaten beeinflusst wird.

- In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass die Methode der kleinsten Quadrate bis zu einem prozentualen Anteil (Bruchpunkt³) von 3 % bis 5 % fehlerhafter Beobachtungen innerhalb der Gesamtdaten noch brauchbare Ergebnisse liefert. Bei einem größeren Anteil fehlerhafter Beobachtungen ist es ratsam, robustere Ausgleichsmethoden anzuwenden.

Nachfolgend werden die gebräuchlichen Qualitätskriterien erläutert, die zur Durchführung einer Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanalyse der Beobachtungen und geschätzten Unbekannten im Ausgleichsprozess herangezogen werden können (vgl. Neitzel 2010, S. 9, 18; Niemeier 2008, S. 218, 270).

³„Der Bruchpunkt eines Schätzverfahrens ist der Prozentsatz von fehlerhaften Daten beliebiger Größe, der erlaubt ist, bevor das Schätzverfahren falsche Werte liefert bzw. zusammenbricht.“ (Niemeier, 2008, S. 218)

2.7.1. Globaltest und Konfidenzbereich

Um die Einhaltung der zuvor genannten Voraussetzungen zu überprüfen bzw. sicherzustellen, bietet sich ein Globaltest oder ein Konfidenzbereich an. Die Korrektheit der Voraussetzungen nach Punkt I kann durch einen solchen Test eindeutig bestätigt werden. Dieses statistische Verfahren ermöglicht somit eine Beurteilung, insbesondere hinsichtlich der Richtigkeit des stochastischen Modells. Zudem liefert eine derartige Überprüfung bereits vor einer tiefergehenden Analyse Hinweise auf mögliche grobe Fehler im Datenmaterial.

Für die beiden statistischen Testverfahren wird ein erwartungstreuer Schätzwert benötigt:

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \cdot \mathbf{P} \cdot \mathbf{v}}{n - u} \tag{51}$$

$$s_0 = \sqrt{s_0^2}$$

Mit s_0^2 := Varianz der Gewichtseinheit (a posteriori)
 s_0 := Standardabweichung der Gewichtseinheit (a posteriori)

Mithilfe der Testverfahren wird überprüft, ob die *a priori*-Information (Varianz der Gewichtseinheit σ_0^2) im Rahmen einer Wahrscheinlichkeit von $1 - \alpha$ mit s_0^2 übereinstimmt oder nicht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wird bei den meisten Anwendungen mit $\alpha = 5\%$ festgelegt.

Das grundlegende Vorgehen eines statistischen Tests gestaltet sich wie folgt:

1. Aufstellen der Nullhypothese H_0 sowie Formulierung der Alternativhypothese H_A als ein- oder zweiseitige Fragestellung.
2. Festlegung der Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) α bzw. der Sicherheitswahrscheinlichkeit $P = 1 - \alpha$ sowie Bestimmung des tabellierten Quantils der Fisher-Verteilung entsprechend der Freiheitsgrade.
3. Berechnung der Testgröße.
4. Testentscheidung durch Vergleich der Testgröße mit dem Quantil.

| | |
|--|--|
| <p>1. Nullhypothese: $H_0 : E\{s_0^2\} = \sigma_0^2$</p> | <p>1. Alternativhypothese: $H_{A_1} : E\{s_0^2\} < \sigma_0^2$ $H_{A_2} : E\{s_0^2\} > \sigma_0^2$ $H_{A_3} : E\{s_0^2\} \neq \sigma_0^2$</p> |
| <p>2. Quantil: $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{\infty, f, 0,95}$</p> | <p>3. Testgröße: $\hat{F} = \frac{\sigma_0^2}{s_0^2}$</p> |
| <p>$\alpha = 0,05 = \text{signifikant}$ $\alpha = 0,01 = \text{hochsignifikant}$</p> | |
| <p>4. Entscheidung: $\hat{F} \leq F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \Rightarrow H_0$ annehmen $\hat{F} > F_{f_1, f_2, 1-\alpha} \Rightarrow H_A$ annehmen</p> | |

Kann die Nullhypothese H_0 angenommen werden, sind die Voraussetzungen nach Punkt I und II grundlegend erfüllt. Liefert die Testentscheidung hingegen das Ergebnis, die Alternativhypothese

anzunehmen, liegen Unstimmigkeiten in der Modellbildung oder eine zu hohe Anzahl fehlerhafter Beobachtungen vor. In diesem Fall ist eine Überprüfung erforderlich (vgl. Neitzel 2010, S. 14, 15; Niemeier 2008, S. 165, 169, 170).

Ein gleichwertiges Ergebnis wie der Globaltest liefert der Konfidenzbereich. Dieser ist als Sicherheitsbereich anzusehen, innerhalb dessen die Wahrscheinlichkeit $1 - \alpha$ gilt. Die Abbildung 9 zeigt eine grafische Darstellung eines Konfidenzbereichs.

$$P \left(s_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{\chi_{f,1-\frac{\alpha}{2}}^2}} \leq \sigma_0 \leq s_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{\chi_{f,\frac{\alpha}{2}}^2}} \right) = 1 - \alpha \quad (52)$$

| | | |
|-----|------------|--|
| | s_0 | := Standardabweichung der Gewichtseinheit (a posteriori) |
| | σ_0 | := wahre Standardabweichung der Gewichtseinheit (a priori) |
| Mit | f | := Freiheitsgrade ($n - u$) der Ausgleichung |
| | α | := Irrtumswahrscheinlichkeit |
| | χ^2 | := Quantil der Chi-Quadrat-Verteilung |

Bei der Verwendung eines Konfidenzbereichs gilt für die Entscheidungsfindung: Liegt die Standardabweichung der Gewichtseinheit (a priori) innerhalb der Grenzen, gelten die Voraussetzungen nach Punkt I und II als erfüllt. Tritt hingegen der gegenteilige Fall ein, ist Handlungsbedarf erforderlich. Da das funktionale Modell bei der Nutzung von Ausgleichungssoftware in der Regel hinreichend kontrolliert ist, sollte sich die Überprüfung auf das stochastische Modell sowie auf mögliche selbst verursachte grobe Fehler (Zahlendreher, Tippfehler oder Verwechslungen) beschränken.

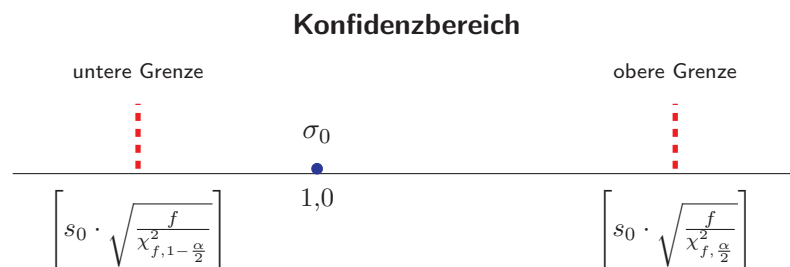


Abbildung 9: Allgemeine graphische Darstellung eines Konfidenzbereichs.

2.7.2. Genauigkeitskriterien

Die Genauigkeitsinformation der Ausgleichungsergebnisse und damit des geodätischen Netzes wird durch die Kovarianzmatrix der ausgeglichenen Unbekannten beschrieben.

$$\Sigma_{\hat{X}\hat{X}} = s_0^2 \cdot Q_{\hat{X}\hat{X}} \tag{53}$$

Mit $\Sigma_{\hat{X}\hat{X}}$:= Kovarianzmatrix der ausgeglichenen Unbekannten

Diese Kovarianzmatrix enthält sowohl lokale als auch globale Genauigkeitsmaße. Im Folgenden sollen die Erläuterungen auf die lokalen Genauigkeitsmaße beschränkt werden. *Lokal* bezieht sich dabei auf einen jeweils kleinen Teil der Kovarianzmatrix, also eine Submatrix, die sich auf einen gewählten Netzpunkt P_i mit seinen Koordinaten \hat{x}_i und \hat{y}_i bezieht:

$$\hat{\mathbf{x}}_i = \begin{bmatrix} \hat{x}_i \\ \hat{y}_i \end{bmatrix} \tag{54}$$

$$\Sigma_{ii} = \begin{bmatrix} s_{\hat{x}_i\hat{x}_i}^2 & s_{\hat{x}_i\hat{y}_i} \\ s_{\hat{y}_i\hat{x}_i} & s_{\hat{y}_i\hat{y}_i}^2 \end{bmatrix}$$

Mit \hat{x}_i, \hat{y}_i := ausgeglichene Koordinaten des Netzpunktes P_i
 $s_{\hat{x}_i\hat{x}_i}^2, s_{\hat{y}_i\hat{y}_i}^2$:= Varianz der ausgeglichenen Koordinaten
 $s_{\hat{x}_i\hat{y}_i}, s_{\hat{y}_i\hat{x}_i}$:= Kovarianz der ausgeglichenen Koordinaten

Im Weiteren wird auf die Angabe des Indexes i verzichtet, da sich die Erläuterungen auf einen beliebigen Netzpunkt beziehen (vgl. Neitzel 2010, S. 18, 19; Pelzer 1985, S. 158).

Punktgenauigkeit Aus den Elementen der Submatrix können skalare Maße zur Beurteilung der Punktgenauigkeit abgeleitet werden. Diese werden umgangssprachlich als sogenannte Punktfehler bezeichnet. Dabei wird zwischen zwei Punktfehlern unterschieden:

Helmertscher Punktfehler

$$s_P^H = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \tag{55}$$

Werkmeisterscher Punktfehler

$$s_P^W = \sqrt{s_x^2 \cdot s_y^2 - s_{xy}^2} \tag{56}$$

Beim *Helmertschen Punktfehler* wird nur die Spur der Kovarianzmatrix berücksichtigt, weshalb er auch als Spurkriterium bezeichnet wird. Der *Werkmeistersche Punktfehler* bezieht zusätzlich die Kovarianzen ein und beschreibt damit im 2D-Fall die Fläche und im 3D-Fall das Volumen einer Fehlerellipse (nach Gleichung 57). Aus diesem Grund wird er auch als Volumenkriterium bezeichnet (vgl. Neitzel 2010, S. 19; Niemeier 2008, S. 279; Pelzer 1985, S. 167).

Genauigkeitsbereich Neben einem allgemeinen Genauigkeitsmaß der Netzkpunktlage ist es von Interesse, für diese einen Genauigkeitsbereich anzugeben. Dieser Bereich wird durch eine Ellipse repräsentiert, die eine anschauliche und relativ einfache Interpretation ermöglicht. Dabei wird häufig die *Helmertsche Fehlerellipse* verwendet. Sie ist definiert durch die Parameter A_F und B_F , welche die große bzw. kleine Halbachse bezeichnen sowie durch den Richtungswinkel θ_F der großen Halbachse. Die Ellipsenparameter berechnen sich unter Verwendung einer Hilfsgröße w aus den Elementen der Submatrix wie folgt:

Helmertsche Fehlerellipse

$$\begin{aligned}
 w^2 &= (s_{\hat{x}}^2 - s_{\hat{y}}^2)^2 + 4s_{\hat{x}\hat{y}}^2 \\
 \theta_F &= \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2s_{\hat{x}\hat{y}}}{s_{\hat{x}}^2 - s_{\hat{y}}^2}\right) \\
 A_F^2 &= \frac{1}{2} (s_{\hat{x}}^2 + s_{\hat{y}}^2 + w) \\
 B_F^2 &= \frac{1}{2} (s_{\hat{x}}^2 + s_{\hat{y}}^2 - w)
 \end{aligned} \tag{57}$$

- Mit
- w^2 := Hilfsgröße
 - θ_F := Richtungswinkel der großen Halbachse
 - A_F^2 := große Halbachse der Fehlerellipse
 - B_F^2 := kleine Halbachse der Fehlerellipse

Die Fehlerellipse nach Helmert kann als zweidimensionale Erweiterung eines Vertrauensbereichs betrachtet werden (vgl. Gleichung 52). Allerdings gewährleistet diese Ellipse nur mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit zwischen 29 % und 39 %, abhängig von den Freiheitsgraden des Ausgleichungsprozesses, dass die wahre Punktlage innerhalb der Fehlerellipse liegt. Aufgrund der geringen Sicherheitswahrscheinlichkeit sollte in der praktischen Anwendung stets die Konfidenzellipse verwendet werden.

Konfidenzellipse

$$\begin{aligned}
 \theta_K &= \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2s_{\hat{x}\hat{y}}}{s_{\hat{x}}^2 - s_{\hat{y}}^2}\right) \\
 A_K^2 &= 2 \cdot F_{2,f,1-\alpha} \cdot \frac{1}{2} (s_{\hat{x}}^2 + s_{\hat{y}}^2 + w) \\
 B_K^2 &= 2 \cdot F_{2,f,1-\alpha} \cdot \frac{1}{2} (s_{\hat{x}}^2 + s_{\hat{y}}^2 - w)
 \end{aligned} \tag{58}$$

- Mit
- w^2 := Hilfsgröße
 - θ_F := Richtungswinkel der großen Halbachse
 - A_K^2 := große Halbachse der Konfidenzellipse
 - B_K^2 := kleine Halbachse der Konfidenzellipse

$$F_{2,f,1-\alpha} := \text{Quantil der Fisher-Verteilung}$$

Die Sicherheitswahrscheinlichkeit dieser Ellipse beträgt $(1 - \alpha) = 95\%$. Dies wird durch eine Vergrößerung der Ellipsenachsen erreicht, indem diese mit einem Quantilwert der Fisher-Verteilung multipliziert werden. Der Wert für $F_{2,f,1-\alpha}$ ergibt sich aus $f_1 = 2$, den Freiheitsgraden der gesuchten zwei Parameter im Lagenetz sowie f_2 , den Freiheitsgraden des Ausgleichsprozesses und der Irrtumswahrscheinlichkeit α (vgl. Köster 2023, S. 59; Neitzel 2010, S. 20; Niemeier 2008, S. 277; Pelzer 1985, S. 165).

Besonders in der Anwendung qualitätsverbessernder Maßnahmen im Liegenschaftskataster ist die Konfidenzellipse als Näherung für die zweidimensionale Ausdehnung von Suchlöchern von Netzpunkten sehr hilfreich. Abbildung 10 zeigt den Unterschied zwischen einer Fehlerellipse nach Helmert und einer Konfidenzellipse.

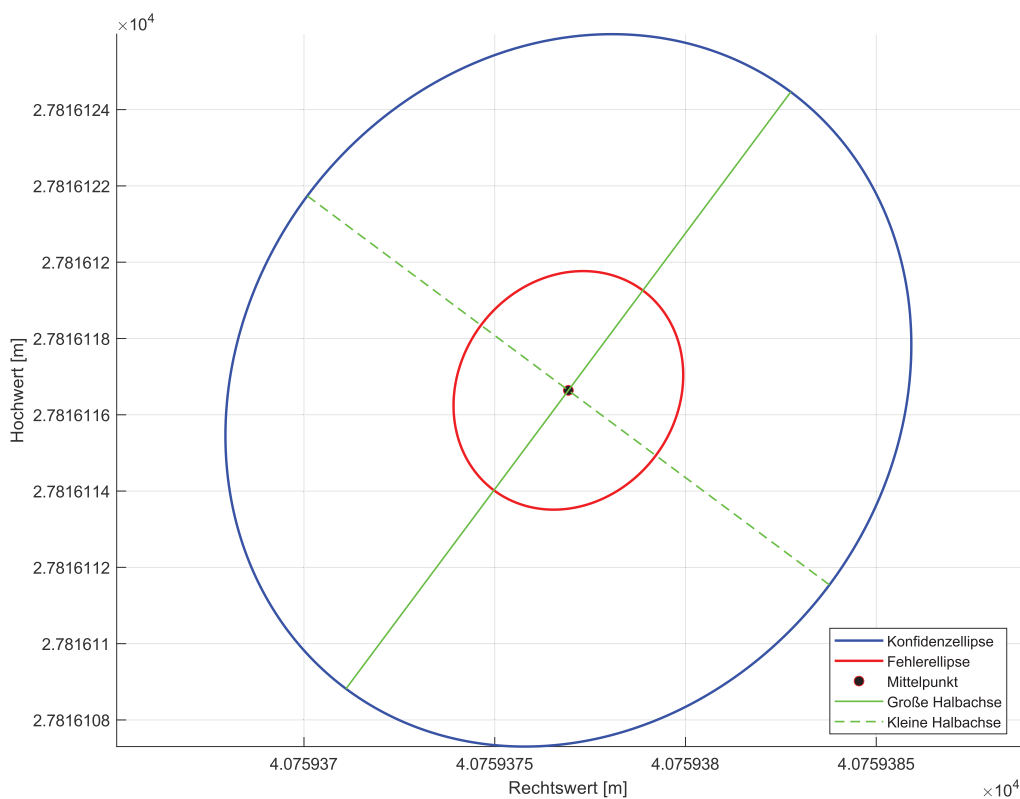


Abbildung 10: Darstellung der Fehlerellipse (rot) und der Konfidenzellipse (blau, 95%) für einen ausgleichenen Punkt. Der Mittelpunkt markiert die Lage eines Netzpunktes. Die große (grün durchgezogen) und kleine Halbachse (grün gestrichelt) beschreiben die Orientierung und Ausdehnung der Ellipsen.

2.7.3. Zuverlässigkeitskriterien

Die Zuverlässigkeit im Ausgleichungsmodell bezieht sich auf die Kontrolliertheit bzw. Kontrollierbarkeit von Beobachtungen und deren Auswirkungen sowie auf die Abschätzung des Einflusses nicht aufdeckbarer Messunsicherheiten und Fehler auf die zu schätzenden Unbekannten. (vgl. Niemeier 2008, S. 271)

Die Zuverlässigkeitsparameter, welche aus den Ergebnissen des Ausgleichungsprozesses resultieren, werden ebenso wie die Genauigkeitsparameter aus den Kovarianz- und Kofaktormatrizen abgeleitet. Hierfür sind die folgenden Gleichungen zu lösen:

$$\begin{aligned}
 Q_{\hat{L}\hat{L}} &= A \cdot Q_{\hat{X}\hat{X}} \cdot A^T \\
 \Sigma_{\hat{L}\hat{L}} &= s_0^2 \cdot Q_{\hat{L}\hat{L}} \\
 Q_{vv} &= Q_{LL} - Q_{\hat{L}\hat{L}} \\
 \Sigma_{vv} &= s_0^2 \cdot Q_{vv}
 \end{aligned}
 \tag{59}$$

- Mit
- $Q_{\hat{L}\hat{L}}$:= Kofaktormatrix der ausgeglichenen Beobachtungen
 - $\Sigma_{\hat{L}\hat{L}}$:= Kovarianzmatrix der ausgeglichenen Beobachtungen
 - Q_{vv} := Kofaktormatrix der Verbesserungen
 - Σ_{vv} := Kovarianzmatrix der Verbesserungen

Die Redundanzen dienen als Maß für die Zuverlässigkeit und zeigen, wie viele Beobachtungen über die zur eindeutigen Bestimmung der Unbekannten notwendigen hinaus vorhanden sind. Neben dem Begriff der Redundanz wird auch der Begriff der Freiheitsgrade verwendet. Dieser wurde bereits im Unterabschnitt 2.3 im Zusammenhang mit der Identifikation von Ausgleichungsproblematiken erwähnt.

Gesamtredundanz ist die Differenz zwischen der Anzahl der Beobachtungen n und der Unbekannten u und damit die Anzahl der überschüssigen Beobachtungen.

$$r_{Global} = f = n - u \tag{60}$$

- f := Freiheitsgrade
- Mit n := Anzahl der Beobachtungen
- u := Anzahl der Unbekannten

Bedingungsichte ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der Überbestimmungen und der Anzahl der Beobachtungen. Diese Größe kann im Hinblick auf ökonomische Ansätze bei der Bildung geodätischer Netze herangezogen werden (vgl. Köster 2023, S. 58).

$$B = \frac{f}{n} \tag{61}$$

Mit $B :=$ Bedingungsichte

Redundanzanteil beschreibt ein Maß für die Kontrolliertheit einer einzelnen Beobachtung. Er ergibt sich aus dem Quotienten des Elements der Kofaktormatrix *a posteriori* und des Elements der Kofaktormatrix *a priori*, welcher von 1 abgezogen wird.

$$r_i = 1 - \frac{q_{\hat{L}_i \hat{L}_i}}{q_{L_i L_i}} \tag{62}$$

Mit $r_i :=$ Redundanzanteil
 $q_{\hat{L}_i \hat{L}_i} :=$ Varianz der Kofaktormatrix *a posteriori*
 $q_{L_i L_i} :=$ Varianz der Kofaktormatrix *a priori*

Damit liegt er in den Grenzen zwischen 0 und 1. Die nachfolgende Tabelle 6 zeigt die Bedeutung einzelner Wertebereiche (vgl. Köster 2023, S. 58).

Tabelle 6: Interpretation der Redundanzanteile zur Beurteilung der Beobachtungskontrolle (vgl. Neitzel 2010, S. 22)

| Redundanzanteil r_i | Erläuterung |
|-----------------------|--|
| $0 \leq r_i < 0,01$ | nicht kontrolliert |
| $0,01 \leq r_i < 0,1$ | schlecht kontrolliert |
| $0,1 \leq r_i < 0,3$ | ausreichend kontrolliert |
| $0,3 \leq r_i < 0,7$ | gut kontrolliert |
| $0,7 \leq r_i < 1,0$ | Beobachtung kann ohne Verlust an Zuverlässigkeit entfallen |

normierte Verbesserung Im Unterunterabschnitt 2.7.1 wurde bereits festgehalten, dass, wenn als Ergebnis des Globaltests oder des Konfidenzbereiches s_0 signifikant von σ_0 abweicht, grobe Fehler im Beobachtungsmaterial vorhanden sein können. Um dieser Frage und der Analyse möglicher grober Fehler nachzukommen, ist ein *Lokaltest* durchzuführen. Dieser wird auch als *normierte Verbesserung* bezeichnet. Mithilfe dieses Tests können Beobachtungen als fehlerhaft identifiziert werden. Dies ist aufgrund der Annahme möglich, dass ein grober Fehler in der Beobachtung l_i hauptsächlich die zugehörige Verbesserung v_i beeinflusst.

$$NV_i = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}} \tag{63}$$

Mit $|v_i| :=$ Betrag der Verbesserung
 $\sigma_{v_i} :=$ Standardabweichung der Verbesserung

Im Fall des Lokaltests muss lediglich die Testgröße, welche sich als Quotient aus dem Betrag der Verbesserung $|v_i|$ und deren Standardabweichung σ_{v_i} ergibt, mit einem Quantil $y_{1-\alpha/2}$ verglichen

werden. Hierfür ist als quantilgebende Verteilung die standardisierte Normalverteilung $N(0, 1)$ zu verwenden. Diese kommt zum Einsatz, da Baarda (1967) nachgewiesen hat, dass die normierten Verbesserungen NV_i dieser Verteilung folgen, allerdings nur unter der Bedingung, dass keine Ausreißer bzw. groben Fehler in den Beobachtungen vorhanden sind. Somit kann festgehalten werden, dass eine Beobachtung l_i einen groben Fehler enthält, wenn die Testgröße N_i größer als das Quantil $y_{1-\alpha/2}$ bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,1\%$ ($y_{1-0,001/2} = 3,29$) ist (vgl. Baarda 1967, S. 13, 17; Neitzel 2010, S. 23, 24; Förstner 1979, S. 65).

Um eine vollständige Analyse durchzuführen, müssen n Lokaltests für die n Beobachtungen der Ausgleichungsproblematik vorgenommen werden. Für die Beurteilung haben sich aus der Praxis heraus folgende Wertebereiche für die Grenzen einer Fehlerinterpretation etabliert:

Tabelle 7: Bewertungsschema: normierte Verbesserung (vgl. Neitzel 2010, S. 24)

| Normierte Verbesserung NV_i | Bewertung |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| $NV_i < 2,5$ | Kein grober Fehler erkennbar |
| $2,5 \leq NV_i < 4,0$ | Grober Fehler möglich |
| $4,0 \leq NV_i$ | Grober Fehler sehr wahrscheinlich |

Grober Fehler Neben der normierten Verbesserung NV_i kann für jede Beobachtung l_i ein Schätzwert eines groben Fehlers bestimmt werden, welcher die entsprechende Verbesserung v_i verursacht hat. Dieser Wert GF_i ergibt sich aus dem Quotienten der Verbesserung und dem Redundanzanteil.

$$GF_i = -\frac{v_i}{r_i} \quad (64)$$

Mit $v_i :=$ Verbesserung
 $r_i :=$ Redundanzanteil

Die Gleichung 64 zeigt, dass geringe Redundanzanteile r_i zu großen Werten GF_i führen. Der Schätzwert GF_i verdeutlicht auch die hohe Bedeutung redundanter Beobachtungen im Ausgleichungsnetz. Der Redundanzanteil kann als Übertragungsfaktor angesehen werden, der angibt, wie stark ein Beobachtungsfehler auf die zugehörige Verbesserung übertragen wird. Das bedeutet, dass zur Erkennung und Einschätzung grober Fehler bzw. Ausreißer im Beobachtungsmaterial möglichst ausreichend hohe Redundanzanteile vorhanden sein müssen. Diese werden durch Beobachtungen und Messungen erreicht, die sich gegenseitig kontrollieren und geometrisch stützen. Bei einer hohen und unterschiedlichen Anzahl von Beobachtungstypen wird die Prüfung dieser Bedingungen zunehmend komplex (vgl. Neitzel 2010, S. 21; Förstner 1979, S. 65, 66).

2.8. Ausgleichungsarten

Die Anwendung der Ausgleichungsrechnung auf geodätische Netze bringt ein Problem mit sich. In der Regel liegt die Situation vor, dass herkömmliche terrestrische Beobachtungen wie Richtungen, Strecken, Azimute und andere Messgrößen vorliegen. Diese bilden und beschreiben letztendlich die relative Lage der Netzknoten und legen damit die sogenannte innere Netzgeometrie fest.

Die Beobachtungen allein verfügen jedoch nicht über die Fähigkeit, Neupunktkoordinaten in einem vorgegebenen Koordinatenrahmen zu bestimmen. Hierfür ist es erforderlich, die Lagerung und Orientierung eines Netzes in einem Koordinatensystem durch einen separaten Schritt, die Datumsfestlegung, umzusetzen.

Die Verknüpfung der inneren Netzgeometrie mit der Lagerung und Orientierung wird als *geodätisches Datum* bezeichnet. Ein zweidimensionales geodätisches Netz kann bis zu vier freie Datumparameter enthalten, welche durch das geodätische Datum festgelegt werden. Dazu zählen die *Translation in x*, *Translation in y*, *Drehung um die z-Achse* sowie der *Maßstabsfaktor*. Die Tabelle 8 zeigt, welche Beobachtungen genutzt werden können, um die Datumsfestlegung zu erfüllen (vgl. Niemeier 2008, S. 225, 231; Pelzer 1985, S. 194, 195).

Tabelle 8: Datumparameter durch Beobachtungen (vgl. Neitzel 2010, S. 233)

| Netzdimension | maximaler Datumdefekt | Beobachtungen, geeignet zur Bestimmung von Datumparametern | verbleibender Datumdefekt | verbleibende freie Parameter |
|-----------------|-----------------------|--|---------------------------|--|
| 2 (Lagenetz) | 4 | Richtungen + Strecken mit einer Maßstabsunbekannten | 4 | Translation in x Translation in y Rotation um z Maßstab |
| | | Strecke(n) (+Richtungen) | 3 | Translation in x Translation in y Rotation um z |
| | | Azimut(e) (+Richtungen) | 3 | Translation in x Translation in y Maßstab |
| | | Strecken + Azimute (+Richtungen) | 2 | Translation in x Translation in y |
| | | 2 Punkte mit „absoluten“ Koordinaten | 0 | keine |

Im Weiteren soll anhand unterschiedlicher Ausgleichungsarten aufgezeigt werden, wie die Datumsfestlegung eines Netzes gewährleistet werden kann und welche Folgen die jeweilige Art auf die innere Netzgeometrie hat. Dabei wird unterschieden in:

- zwangsfreie Netzausgleichung
- freie Netzausgleichung
 - Gesamtspurminimierung

- Teilspurminimierung
- Netzausgleichung unter Zwang
- dynamische Netzausgleichung

Bei den unterschiedlichen Methoden wird unterschieden in Festpunkten (Δ), Datumspunkten (\bullet) und Neupunkten (\circ).

2.8.1. Zwangsfreie Netzausgleichung

Die Methode der zwangsfreien Netzausgleichung bietet eine einfache Möglichkeit der Datumsfestlegung. Es müssen lediglich zwei varianzfreie Festpunkte im Netz vorhanden sein. Durch diese können die vier freien Datumparameter festgelegt werden.

Am Beispiel in der Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die Punkte 1 und 3 als Festpunkte klassifiziert wurden. Der Festpunkt 1 belegt die Translationen in x und y sowie durch die gemessene Richtung zum Punkt 3 wird die Orientierung, also die Rotation um z , definiert. Zusätzlich wird durch die absolute Lage der Punkte die Skalierung des Netzes festgehalten.

Wenn die gewählten Festpunkte als fehlerfrei anzunehmen sind, wird kein Einfluss auf die Beobachtungen und damit auf die innere Netzgeometrie ausgeübt (vgl. Pelzer 1985, S. 199).

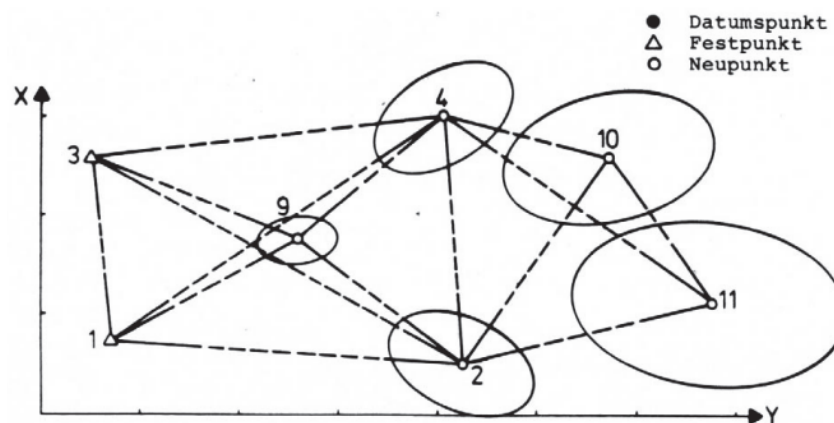


Abbildung 11: Zwangsfreie Netzausgleichung - Lagenetz mit Richtungsbeobachtungen (vgl. Foppe 2009, S. 23)

2.8.2. Freie Netzausgleichung

Die freie Netzausgleichung wird häufig bei geodätischen Netzen im Kontext der Ingenieurvermessung angewendet. Bei diesem Ansatz sind keine Festpunkte vorhanden. Die Datumsfestlegung muss daher anderweitig realisiert werden.

Gesamtspurminimierung Aufgrund der fehlenden Rechenbasis durch Festpunkte ist die innere Netzgeometrie auf die vorhandenen Näherungskoodinaten zu lagern. Hierbei unterstützen Beobachtungen bei der Festlegung einzelner Datumparameter nach der Tabelle 8 auf Seite 44 die Bestimmung des geodätischen Datums.

Kommen dabei alle Punkte als Näherungs- bzw. Datumspunkte zum Einsatz, so wird von der Gesamtspurminimierung gesprochen. Einen solchen Fall zeigt die Abbildung 12 auf Seite 46. Auf der Seite 33

im Unterabschnitt 2.6 wurde bereits erwähnt, dass es zu Problemen bei der Inversion der Normalgleichungsmatrix kommen kann. Im Allgemeinen ist dies bei der Methode der freien Netzausgleichung der Fall.

Um dieses Problem zu umgehen, ist als Lösungsverfahren die Bildung einer Pseudoinversen der Normalgleichungsmatrix erforderlich. Hierzu sollen keine weiteren Angaben gemacht werden. Es wird auf die Literatur Niemeier (2008) verwiesen.

Der Vorteil der Gesamtpurminimierung besteht darin, dass die Beobachtungen nicht beeinflusst werden und somit ein homogenes Netz als Ergebnis vorliegt (vgl. Pelzer 1985, S. 201).

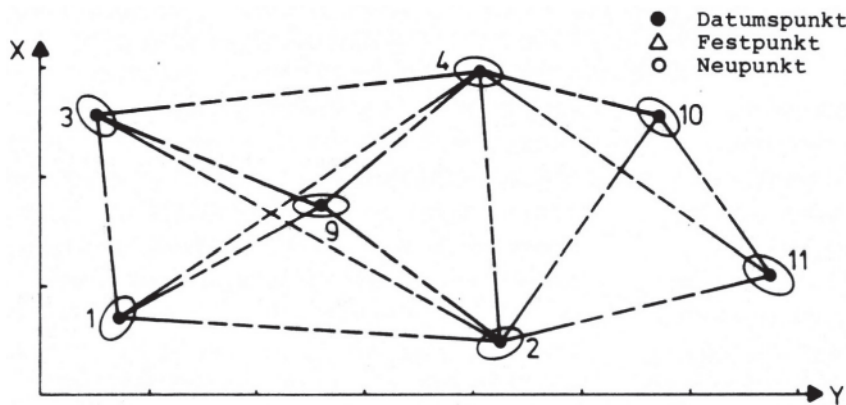


Abbildung 12: Freie Netzausgleichung - Gesamtpurminimierung - Lagenetz mit Richtungsbeobachtungen (vgl. Foppe 2009, S. 23)

Teilspurminimierung Bei einigen Ausgleichsproblematiken ist es sinnvoll, die innere Netzgeometrie nur auf einen Teil der Punkte zu lagern. Beispiele dafür können Netze sein, die teilweise untergeordnete Punkte oder einzelne Polarpunkte enthalten.

Besonders wichtig ist ein solcher Ansatz bei einer Deformationsanalyse. Dabei sollten ausschließlich Punkte zur Lagerung verwendet werden, die nicht im deformierten Bereich liegen. Wird ein solcher Ansatz verfolgt, wird eine freie Netzausgleichung mit Teilspurminimierung durchgeführt.

Im Beispiel der Abbildung 13 wurde das freie Netz auf die Punkte 2, 3 und 4 gelagert (vgl. Pelzer 1985, S. 203).

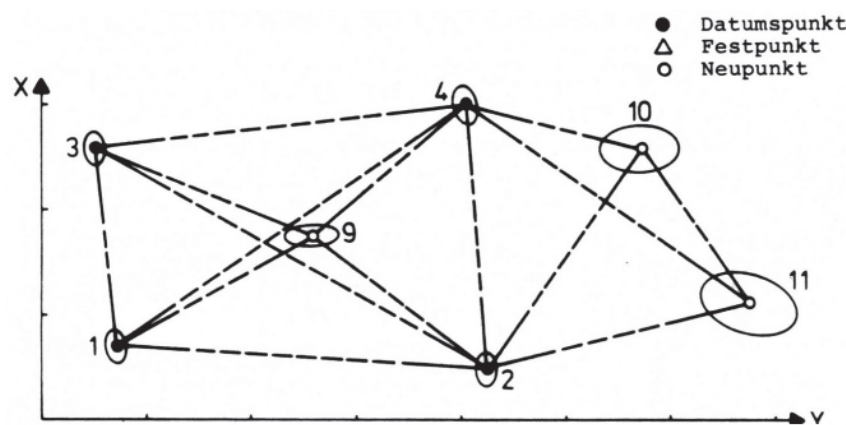


Abbildung 13: Freie Netzausgleichung - Teilspurminimierung - Lagenetz mit Richtungsbeobachtungen (vgl. Foppe 2009, S. 24)

2.8.3. Netzausgleichung unter Zwang

Im Liegenschaftskataster und der Landesvermessung besteht die Anforderung, dass unveränderliche Netzpunkte erhalten bleiben müssen. Sind solche Punkte Teil eines Ausgleichungsproblems, wird der gleiche Ansatz wie bei der zwangsfreien Netzausgleichung gewählt, allerdings mit dem Unterschied, dass es sich um eine Netzausgleichung unter Zwang handelt, sobald mehr als zwei varianzfreie Festpunkte definiert werden. Diese bietet den Vorteil, dass durch die Festpunkte die Datumsfestlegung eindeutig bestimmt ist. Allerdings bringt die Methode auch Nachteile mit sich: Auf die innere Netzgeometrie wird ein gewisser Zwang ausgeübt.

- Die innere Netzgeometrie wird je nach Qualität der Festpunktkoordinaten verändert bzw. zerstört. Es erfolgt eine Anpassung des inneren Netzes an das bestehende, übergeordnete Netz. Dabei werden auch bestehende Netzspannungen auf innere Netzteile übertragen!
- Für die Festpunkte können keine Genauigkeiten geschätzt werden. Damit ist auch keine Identitätsprüfung dieser Punkte möglich.
- Insgesamt werden die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitskriterien durch eine Netzausgleichung unter Zwang beeinflusst, wenn nicht verfälscht. Dies ist abhängig von der Güte der Festpunkte.

Die Abbildung 14 zeigt eine Netzausgleichung unter Zwang. Die Punkte 1, 3 und 11 sind Festpunkte. Anhand der neuen Form der Ellipsen wird deutlich, dass die innere Netzgeometrie beeinflusst wurde (vgl. Niemeier 2008, S. 258; Pelzer 1985, S. 205).

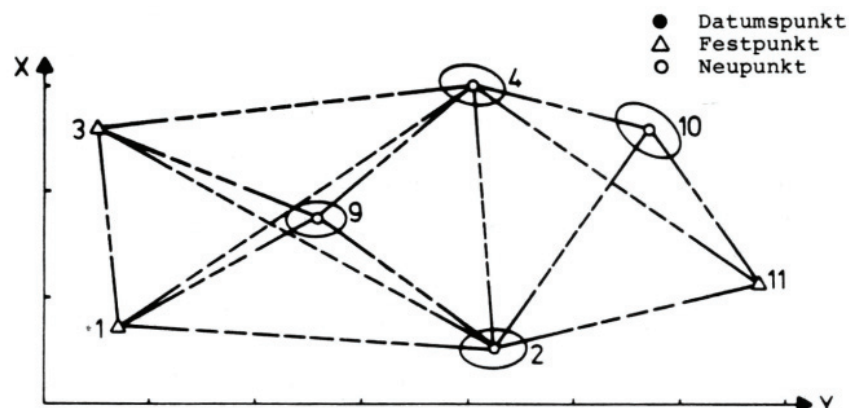


Abbildung 14: Netzausgleichung unter Zwang - Lagenetz mit Richtungsbeobachtungen (vgl. Foppe 2009, S. 24)

2.8.4. Dynamische Netzausgleichung

Um den Nachteilen der Netzausgleichung unter Zwang zum Teil Abhilfe zu schaffen, jedoch die grundlegende Eigenschaft beizubehalten, kann ein flexibles und heute zunehmend eingesetztes Instrument bei der Lagerung von Netzen angewendet werden. Diese Methode wird als sogenannte dynamische Netzausgleichung bezeichnet.

Bei diesem Ansatz wird den varianzfreien Festpunkten nicht mehr eine unendlich genaue Qualität zugesprochen; stattdessen erhalten sie ein eigenes stochastisches Modell. Dadurch werden die Festpunkte selbst zu Beobachtungen im Ausgleichungsmodell und nehmen an der Schätzung teil. Somit

können für diese Punkte Genauigkeits- und Zuverlässigkeitskriterien bestimmt und interpretiert werden (vgl. Niemeier 2008, S. 260).

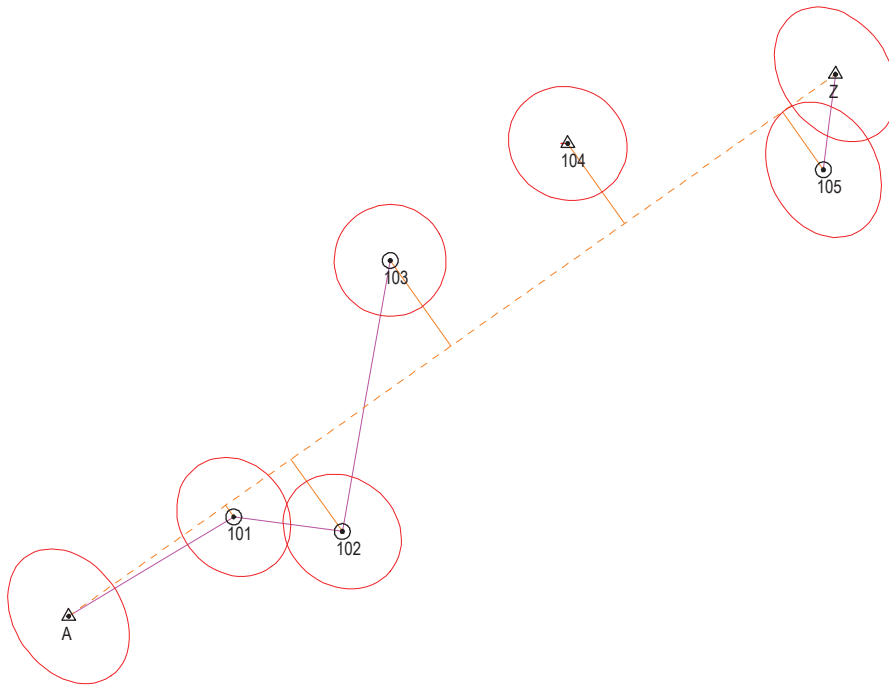


Abbildung 15: Dynamische Netzausgleichung - Lagenetz mit Orthogonal- und Streckenbeobachtungen

3. Referenzbeispiel zur Ausgleichsrechnung

In diesem Abschnitt wird ein praxisorientiertes Referenzbeispiel zur Anwendung der Ausgleichsrechnung im Rahmen der Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters (QL) vorgestellt. Dafür wird eine klassische Orthogonalaufnahme mit Steinbreiten und Spannmaßen zur Erfassung einer Flurstücksgrenze herangezogen. Die Ausgleichung wird nach dem Gauß-Markov-Modell durchgeführt und deren Ergebnisse analysiert und bewertet.

Es sollen Hinweise und Hilfestellungen im Umgang mit der Ausgleichung im Liegenschaftskataster vermittelt werden. Die Umsetzung der Ausgleichungsproblematik erfolgt im Programm *Systra* der Firma *technet GmbH*. Alle nachfolgenden numerischen Größen entstammen dem Berechnungsprotokoll. Das Beispiel ist so gewählt, dass eine Nachstellung ohne größeren Aufwand erfolgen kann.

Im vorliegenden fiktiven Beispiel (Abbildung 16) erfolgte eine orthogonale Aufnahme der Grenzpunkte 101, 102, 103, 104 und 105. Diese werden in *Systra* konstruiert und sind daher als Neupunkte klassifiziert. In einem realistischen Szenario können für die Punkte bereits Koordinaten vorliegen, entweder in Form digitalisierter Koordinaten oder auf Grundlage einer terrestrischen Aufnahme im amtlichen Lagebezugssystem.

Die Aufnahme wurde durch die Messungslinie der Aufnahmepunkte *A* und *Z* realisiert. Diese Aufnahmepunkte bilden im Beispiel die varianzfreien Referenzpunkte und lösen somit die Datumsfestlegung.

Tabelle 9: Referenzpunktkoordinaten im ETRS89 mit UTM-Abbildung

| Punktnummer | East [m] | North [m] |
|-------------|-----------------|----------------|
| <i>A</i> | 33 333 468, 921 | 5 916 706, 573 |
| <i>Z</i> | 33 333 513, 468 | 5 916 738, 068 |

Nachfolgend sind die Beobachtungen des Beispiels aufgeführt:

| Beobachtungsvektor: <i>L</i> | |
|------------------------------|-------|
| $d_{A,101}$ | 11,20 |
| $d_{Z,105}$ | 5,60 |
| $d_{101,102}$ | 6,37 |
| $d_{102,103}$ | 16,00 |
| x_A | 0,00 |
| y_A | 0,00 |
| x_{101} | 11,10 |
| y_{101} | 0,86 |
| x_{102} | 15,78 |
| y_{102} | 5,20 |
| x_{103} | 27,24 |
| y_{103} | -6,10 |
| x_{104} | 39,60 |
| y_{104} | -5,65 |
| x_{105} | 50,76 |
| y_{105} | 4,16 |
| x_Z | 54,56 |
| y_Z | 0,00 |

[m]

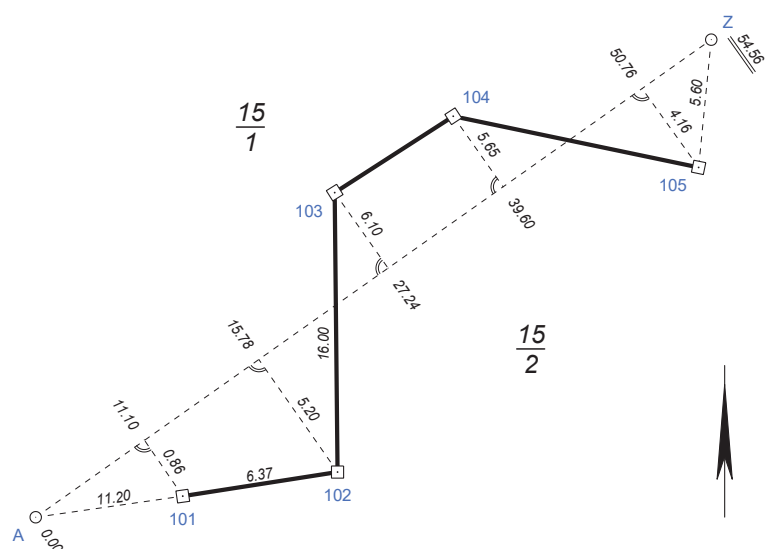


Abbildung 16: Referenzbeispiel

Als Genauigkeitsmaß wird die Standardabweichung einer Beobachtung verwendet. Diese sollte sich aus Erfahrungswerten und Genauigkeitsabschätzungen des individuell eingesetzten Instrumentariums oder Messverfahrens ergeben oder auf Herstellerangaben basieren. In Mecklenburg-Vorpommern (M-V) wurde in den QL-MV-Erfassungshinweisen eine Tabelle erstellt, welche wesentliche Messepochen berücksichtigt (vgl. BRK Köln 2014, S. 35; Neitzel 2010, S. 5).

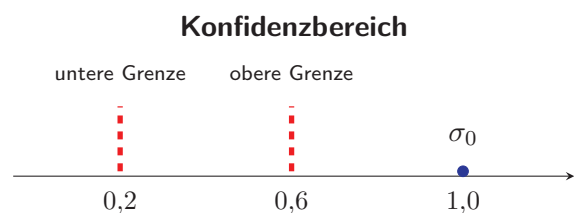
Neben den individuellen Standardabweichungen der Beobachtungen ist ebenfalls der Varianzfaktor σ_0 relevant. Allgemein ist σ_0 für ein entsprechendes Ausgleichsproblem frei wählbar. In *Systra* hingegen ist dieser Faktor unveränderbar standardmäßig auf $\sigma_0 = 1$ festgelegt, wodurch die Gewichtung der Beobachtungen ausschließlich von ihrer jeweiligen Standardabweichung abhängt. (vgl. BRK Köln 2014, S. 35; Neitzel 2010, S. 5).

Die Ausgleichsrechnung bietet die Möglichkeit, die Annahmen über die Genauigkeit der Beobachtungen stochastisch zu überprüfen und zu bestätigen. Das Mittel der Wahl ist dabei der im Unterunterabschnitt 2.7.1 vorgestellte Konfidenzbereich. Das Ergebnis des Konfidenzbereichs gibt Auskunft darüber, ob die *a priori*-Annahmen korrekt sind oder nicht. Eine gute Schätzung ist daran zu erkennen, dass σ_0 innerhalb der Grenzen liegt. Ist dies nicht der Fall, ist das stochastische Modell insgesamt nicht repräsentativ für die in der Ausgleichsproblematik enthaltenen Beobachtungen. In der Ausgleichsrechnung ist die gemeinsame Auswertung unterschiedlichster Beobachtungen möglich. Sie werden nach Art in Beobachtungsgruppen zusammengeführt. Für jede dieser Gruppen berechnet *Systra* einen eigenen Varianzanteil. Für jede Gruppe ließe sich ein eigener Konfidenzbereich aufstellen. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich. In der Praxis ist es ausreichend, einen Wert von 1,0 anzustreben. Des Weiteren sollte die Forderung erfüllt sein, dass sich die einzelnen Varianzanteile untereinander maximal um einen Wert von $\pm 0,3$ unterscheiden (vgl. BRK Köln 2014, S. 39).

Nachfolgend sind für das Referenzbeispiel einzelne *a priori*-Annahmen exemplarisch getroffen worden. Insgesamt wurden drei Szenarien simuliert, um den Prozess der Festlegung des stochastischen Modells zu verdeutlichen. Die Ergebnisse der Festlegungen sind unter Angabe der konkret verwendeten Standardabweichungen aufgeführt. Sie werden zusätzlich ergänzt um den resultierenden Konfidenzbereich sowie die Varianzanteile, um eine bessere Interpretation zu ermöglichen.

Szenario I: pessimistische Festlegung

| | | |
|---|---|------------|
| $\sigma_{\text{Abszissen}}$ | = | 12,0 cm |
| $\sigma_{\text{Ordinaten}}$ | = | 12,0 cm |
| $\sigma_{\text{Maßstab}}$ | = | 15,0 cm/km |
| $\sigma_{\text{Spannmaße (Absolutanteil)}}$ | = | 12,0 cm |
| $\sigma_{\text{Spannmaße (Relativanteil)}}$ | = | 15,0 cm/km |

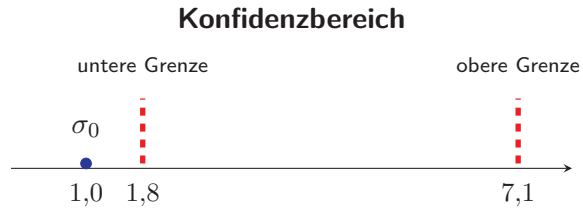


| | | |
|------------------------|---|-----------------|
| Varianzanteile: | { | Strecken: 0,27 |
| | | Abzissen: 0,25 |
| | | Ordinaten: 0,27 |

Unter dem Einfluss des gewählten stochastischen Modells ($\sigma_i = 12,0 \text{ cm}$) zeigt der Konfidenzbereich deutlich, dass die Schätzung zu pessimistisch war. Das ist daran zu erkennen, dass sich σ_0 rechts der Grenzen befindet. Ebenso zeigen dies die einzelnen Varianzanteile mit Werten $< 1,0$. In diesem Fall sind die Beobachtungen in Wirklichkeit genauer als angenommen.

Szenario II: optimistische Festlegung

- $\sigma_{\text{Abszissen}}$ = 1,0 cm
- $\sigma_{\text{Ordinaten}}$ = 1,0 cm
- $\sigma_{\text{Maßstab}}$ = 15,0 cm/km
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Absolutanteil)}}$ = 1,0 cm
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Relativanteil)}}$ = 15,0 cm/km

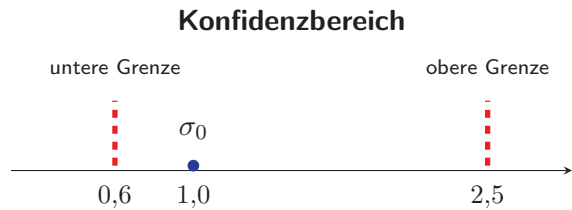


| | | |
|------------------------|------------|------|
| Varianzanteile: | Strecken: | 3,14 |
| | Abzissen: | 2,86 |
| | Ordinaten: | 2,97 |

Im Szenario II wurde eine Standardabweichung von 1,0 cm verwendet. Auch hier zeigt der Konfidenzbereich, dass die Schätzung für das Beispiel unbrauchbar ist. Ist eine Schätzung zu optimistisch, liegt σ_0 links der Grenzen und die Varianzanteile sind $> 1,0$. Eine zu optimistische Schätzung liegt vor, wenn die Beobachtungen ungenauer als vermutet sind.

Szenario III: realistische Festlegung

- $\sigma_{\text{Abszissen}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Ordinaten}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Maßstab}}$ = 15,0 cm/km
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Absolutanteil)}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Relativanteil)}}$ = 15,0 cm/km



| | | |
|------------------------|------------|------|
| Varianzanteile: | Strecken: | 1,07 |
| | Abzissen: | 0,97 |
| | Ordinaten: | 1,05 |

Zum Schluss hat sich für die vorliegende Orthogonal- und Streckenaufnahme ein stochastisches Modell mit Standardabweichungen von 3,0 cm bewährt. Diese Schätzung ist auch auf realistische Orthogonal-aufnahmen übertragbar. Beispiele hierfür sind Erneuerungs- bzw. Neumessungen aus den 1930er Jahren, welche mit entsprechender Sorgfalt und Professionalität ausgeführt worden sind. Sowohl der Konfidenzbereich als auch die Varianzanteile weisen auf eine realistische Schätzung der *a priori*-Annahmen hin.

Wichtig zu erwähnen ist, dass in den vorliegenden Szenarien keine fehlerhaften Beobachtungen vorhanden sind.

Wären grobe Fehler im Datenmaterial enthalten gewesen, hätten diese den Konfidenzbereich und die Varianzanteile verfälscht. Das bedeutet, es sollte nach Möglichkeit zu Beginn versucht werden, bekannte grobe Fehler bei der Eingabe zu vermeiden. In der Regel ist es allerdings erwartbar, dass grobe Fehler vorhanden sind. Dann muss ein iterativer Prozess angewendet werden, um ein korrektes stochastisches Modell auszumachen.

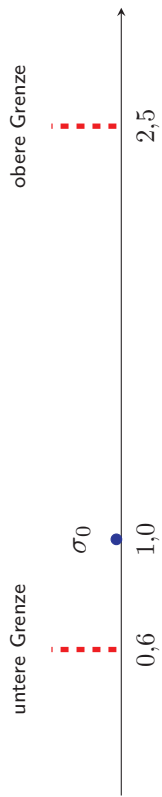
Da das im vorliegenden Szenario III gewählte stochastische Modell als korrekt angenommen werden kann, wurde dieses als Grundlage einer ersten Ausgleichung des Referenzbeispiels genutzt. Durch die Korrektheit der stochastischen Annahmen sind auch die in der Tabelle 10 auf Seite 54 aufgeführten Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter vertrauenswürdig.

Das Wissen über das Nichtvorhandensein grober Fehler wird durch den Vektor der normierten Verbesserungen (NV_i) bestätigt. Kein Wert übersteigt den Grenzwert von 4,0. Auch die Vektoren der Verbesserungen (v_i) und der groben Fehler (GF_i) weisen keine Auffälligkeiten auf. Die Redundanzanteile (r_i) liegen in einem guten Bereich und zeigen eine allgemein stabile innere Netzgeometrie der Orthogonal- und Streckenaufnahme.

Lediglich für die Beobachtungen y_A , x_{104} und y_{104} liegen keine Werte für die Zuverlässigkeitskriterien vor. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der zugehörige Redundanzanteil kleiner als 0,01 ist. Innerhalb der Berechnungsroutine von *Systra* werden Beobachtungen mit $r_i < 0,01$ als unkontrolliert klassifiziert und daher keine numerischen Werte ausgegeben. Dies ist jedoch eine Folge der schlechten Kontrolliertheit und bedeutet nicht zwingend, dass die Beobachtung geometrisch isoliert ist, wie es etwa bei einem unkontrollierten polaren Anhänger der Fall wäre. Für den Grenzpunkt 104 gilt jedoch, dass er tatsächlich keine weiteren Beobachtungen besitzt und daher geometrisch isoliert ist, weshalb hier keine Werte vorliegen können. Hingegen erfährt die Beobachtung y_A lediglich eine sehr schwache geometrische Stütze, wodurch keine Werte für die Zuverlässigkeitskriterien vorliegen. Dies liegt an der ungünstigen Geometrie des rechtwinkligen Dreiecks (3-4-5-Verhältnis), welches durch die Ordinaten, die Abszisse und die Strecke der Punkte A und 101 gebildet wird. Ein Beispiel für eine solide geometrische Stütze im 3-4-5-Verhältnis ist beim Aufnahmepunkt Z zu finden.

Tabelle 10: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter einer typischen Orthogonalaufnahme mit statistisch korrektem stochastischen Modell und ohne künstliche grobe Fehler.

Konfidenzbereich



| | | |
|------------------------|------------|------|
| Varianzanteile: | Strecken: | 1,07 |
| | Abzissen: | 0,97 |
| | Ordinaten: | 1,05 |

| Stochastisches Modell | Verbesserungen | Redundanzanteile | normierte Verbesserungen | grobe Fehler |
|--|--|--|--|--|
| $\text{tr} \begin{pmatrix} \Sigma_{LL} \\ n, n \end{pmatrix}$ | $\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$ | $r_i = 1 - \frac{q_{L_i, \hat{L}_i}}{q_{L_i, L_i}}$ | $NV_i = \frac{ v_i }{\sigma_{v_i}}$ | $GF_i = -\frac{v_i}{r_i}$ |
| $\begin{bmatrix} \sigma_{d_{A,101}} \\ \sigma_{d_{Z,105}} \\ \sigma_{d_{101,102}} \\ \sigma_{d_{102,103}} \\ \sigma_{x_A} \\ \sigma_{y_A} \\ \sigma_{x_{101}} \\ \sigma_{y_{101}} \\ \sigma_{x_{102}} \\ \sigma_{y_{102}} \\ \sigma_{x_{103}} \\ \sigma_{y_{103}} \\ \sigma_{x_{104}} \\ \sigma_{y_{104}} \\ \sigma_{x_{105}} \\ \sigma_{y_{105}} \\ \sigma_{x_Z} \\ \sigma_{y_Z} \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} v_{d_{A,101}} \\ v_{d_{Z,105}} \\ v_{d_{101,102}} \\ v_{d_{102,103}} \\ v_{x_A} \\ v_{y_A} \\ v_{x_{101}} \\ v_{y_{101}} \\ v_{x_{102}} \\ v_{y_{102}} \\ v_{x_{103}} \\ v_{y_{103}} \\ v_{x_{104}} \\ v_{y_{104}} \\ v_{x_{105}} \\ v_{y_{105}} \\ v_{x_Z} \\ v_{y_Z} \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} r_{d_{A,101}} \\ r_{d_{Z,105}} \\ r_{d_{101,102}} \\ r_{d_{102,103}} \\ r_{x_A} \\ r_{y_A} \\ r_{x_{101}} \\ r_{y_{101}} \\ r_{x_{102}} \\ r_{y_{102}} \\ r_{x_{103}} \\ r_{y_{103}} \\ r_{x_{104}} \\ r_{y_{104}} \\ r_{x_{105}} \\ r_{y_{105}} \\ r_{x_Z} \\ r_{y_Z} \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} NV_{d_{A,101}} \\ NV_{d_{Z,105}} \\ NV_{d_{101,102}} \\ NV_{d_{102,103}} \\ NV_{x_A} \\ NV_{y_A} \\ NV_{x_{101}} \\ NV_{y_{101}} \\ NV_{x_{102}} \\ NV_{y_{102}} \\ NV_{x_{103}} \\ NV_{y_{103}} \\ NV_{x_{104}} \\ NV_{y_{104}} \\ NV_{x_{105}} \\ NV_{y_{105}} \\ NV_{x_Z} \\ NV_{y_Z} \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} GF_{d_{A,101}} \\ GF_{d_{Z,105}} \\ GF_{d_{101,102}} \\ GF_{d_{102,103}} \\ GF_{x_A} \\ GF_{y_A} \\ GF_{x_{101}} \\ GF_{y_{101}} \\ GF_{x_{102}} \\ GF_{y_{102}} \\ GF_{x_{103}} \\ GF_{y_{103}} \\ GF_{x_{104}} \\ GF_{y_{104}} \\ GF_{x_{105}} \\ GF_{y_{105}} \\ GF_{x_Z} \\ GF_{y_Z} \end{bmatrix}$ |
| $\begin{bmatrix} 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \\ 3,0 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} -2,3 \\ 1,3 \\ -0,1 \\ 3,5 \\ -2,4 \\ -0,2 \\ 2,0 \\ 0,1 \\ 2,2 \\ -2,0 \\ -2,1 \\ 2,1 \\ 0,0 \\ -0,0 \\ 0,8 \\ -0,9 \\ -0,5 \\ 0,9 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 0,47 \\ 0,38 \\ 0,38 \\ 0,37 \\ 0,61 \\ - \\ - \\ 0,45 \\ 0,15 \\ 0,35 \\ 0,32 \\ 0,16 \\ 0,16 \\ - \\ - \\ 0,16 \\ 0,20 \\ 0,61 \\ 0,20 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 1,1 \\ 0,7 \\ 0,0 \\ 1,8 \\ 1,0 \\ - \\ - \\ 1,0 \\ 0,1 \\ 1,2 \\ 1,2 \\ 1,8 \\ 1,8 \\ - \\ - \\ 0,7 \\ 0,7 \\ 0,2 \\ 0,7 \end{bmatrix}$ | $\begin{bmatrix} 4,9 \\ -3,3 \\ 0,2 \\ -9,4 \\ 3,9 \\ - \\ - \\ -4,4 \\ -0,7 \\ -6,3 \\ 6,3 \\ 13,2 \\ -13,4 \\ - \\ - \\ -4,9 \\ 4,5 \\ 0,8 \\ -4,5 \end{bmatrix}$ |

3.2. Simulation und Analyse praxisnaher Ausgleichungsprobleme im Liegenschaftskataster

Im Folgenden werden einige Probleme und Herausforderungen simuliert und erläutert, welche typischerweise bei der Anwendung der Ausgleichungsrechnung im Liegenschaftskataster auftreten können. Die dargestellten Fälle unterliegen der Fiktion, können jedoch in der Realität vorkommen. Sie werden in einzelnen, aufeinander aufbauenden Fällen diskutiert:

3.2.1. *Fall 1*: Existenz von groben Fehlern

Dieser Fall stellt eine Situation dar, in der eine grobfalsche Beobachtung im Datenmaterial enthalten ist. Er zeigt auf, wie sich ein solcher Fehler auf die Ausgleichung auswirkt und mithilfe der Zuverlässigkeitskriterien identifiziert werden kann.

3.2.2. *Fall 2*: Integration eines korrekten Referenzpunktes

Im Fall 2 wird untersucht, wie sich die Einbindung eines korrekt bestimmten Referenzpunktes auf die Kontrolliertheit und Stabilität des Netzes auswirkt.

3.2.3. *Fall 3*: Integration eines fehlerhaften Referenzpunktes

Dieser Fall demonstriert die Auswirkungen der Einführung eines fehlerhaften Referenzpunktes auf das Orthogonalnetz. Er zeigt, dass ein Wechsel der Ausgleichungsart im Liegenschaftskataster sinnvoll sein kann.

3.2.4. *Fall 4*: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung

Der Fall 4 erläutert die Anwendung der dynamischen Netzausgleichung zur flexiblen Datumsfestlegung. Es wird aufgezeigt, wie durch die stochastische Behandlung der Referenzpunkte Modellfehler reduziert und eine realitätsnähere Lösung erzielt werden kann.

Die Auswirkungen und ebenso das Erkennen möglicher Probleme können durch die Ergebnisse der Genauigkeits- und Zuverlässigkeitskriterien der Ausgleichung interpretiert werden.

3.2.1. Fall 1: Existenz von groben Fehlern

Innerhalb von QL-Maßnahmen oder Grenzermittlungen ist es wahrscheinlich, dass die zur Anwendung kommenden maßgeblichen Katasterzahlen des Liegenschaftskatasters fehlerhafte Elemente enthalten. Der nachfolgende *Fall 1* soll eine Situation nachstellen, in der ein fehlerhaftes Element enthalten ist. Weiterhin wird exemplarisch aufgezeigt, wie eine Identifikation dieses groben Fehlers mithilfe der Zuverlässigkeitskriterien möglich ist. Das stochastische Modell des *Falls 1* richtet sich nach dem Szenario III des Unterabschnitt 3.1. In der Abbildung 18 ist die fehlerhafte Ordinate in roter Schrift markiert.

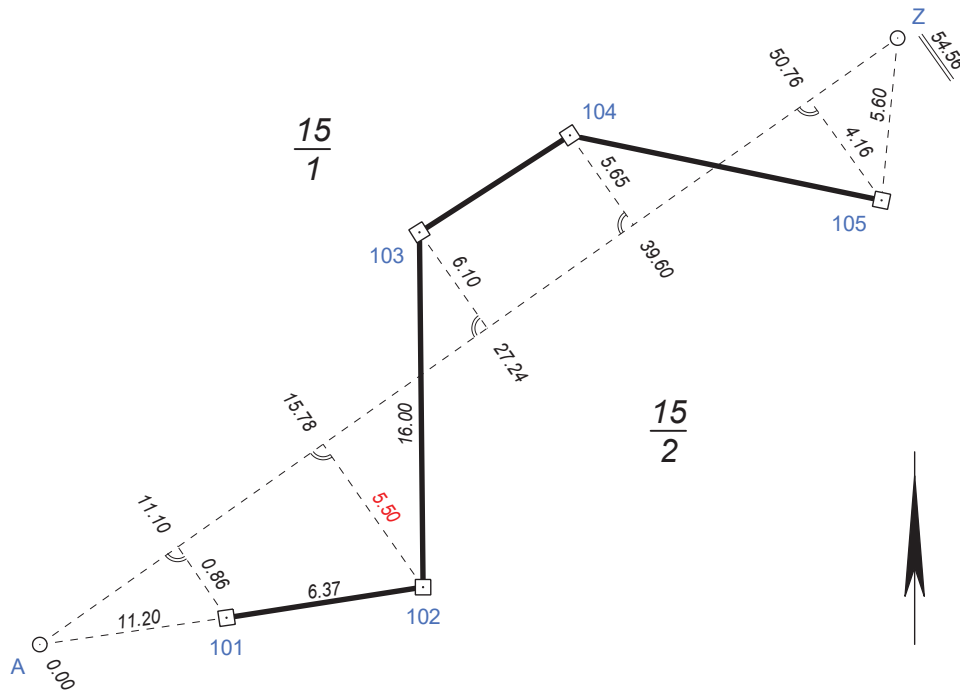


Abbildung 18: Referenzbeispiel: Darstellung einer klassischen Orthogonalaufnahme mit Steinbreiten zur Erfassung einer Flurstücksgrenze (vgl. Gärtner u. Hagebusch 1992, S. 54).

Die grobfalsche Beobachtung ist die Ordinate des Grenzpunktes 102. Hierbei wurden 30 cm auf das ursprünglich korrekte Maß von 5,20 m aufgeschlagen. In der Tabelle 11 auf Seite 60 ist das Ergebnis der Ausgleichung unter Verwendung des stochastischen Modells aus dem Szenario III in Unterabschnitt 3.1 dokumentiert.

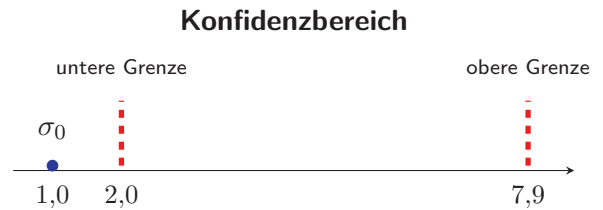
Der Konfidenzbereich zeigt eindeutig an, dass ein Modellfehler vorliegt. In diesem fiktiven Beispiel ist bekannt, dass ein grober Fehler vorhanden ist. In der Realität muss geprüft werden, ob und wie viele grobe Fehler vorliegen.

Auch die Varianzanteile liegen deutlich außerhalb des Sollbereichs (1,0). Sie können an dieser Stelle bereits Aufschluss darüber geben, welche Beobachtungsgruppen von einem groben Fehler betroffen sein könnten. Im *Fall 1* betrifft dies die Strecken und Ordinaten.

Nun stellt sich die Frage, warum die Varianzanteile einen Fehler widerspiegeln, der bekanntermaßen nur die Ordinaten betrifft, sich aber auch in den Strecken zeigt. Dies wird durch einen Verschmierungs-effekt ausgelöst. Ein solcher Effekt tritt beim Schätzverfahren mit der Forderung der Minimierung der gewichteten Verbesserungsquadrate immer auf. Geometrisch abhängige oder verbundene Beobachtungen werden durch diesen ebenfalls beeinflusst. Besonders gut ist dies an den nachfolgenden

Subvektoren zu erkennen.

- $\sigma_{\text{Abszissen}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Ordinaten}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Maßstab}}$ = 15,0 cm/km
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Absolutanteil)}}$ = 3,0 cm
- $\sigma_{\text{Spannmaße (Relativanteil)}}$ = 15,0 cm/km



| | | |
|------------------------|---|-----------------|
| Varianzanteile: | } | Strecken: 3,42 |
| | | Abzissen: 1,94 |
| | | Ordinaten: 4,80 |

$$\begin{bmatrix} v_{d_{101,102}} \\ v_{d_{102,103}} \\ v_{x_{101}} \\ v_{y_{101}} \\ v_{x_{102}} \\ \mathbf{v_{y_{102}}} \\ v_{x_{103}} \\ v_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7,7 \\ 11,3 \\ 5,1 \\ 5,0 \\ 1,6 \\ \mathbf{-11,9} \\ -6,8 \\ 6,9 \end{bmatrix} \text{[cm]} \quad \begin{bmatrix} NV_{d_{101,102}} \\ NV_{d_{102,103}} \\ NV_{x_{101}} \\ NV_{y_{101}} \\ NV_{x_{102}} \\ \mathbf{NV_{y_{102}}} \\ NV_{x_{103}} \\ NV_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{4,1} \\ \mathbf{5,8} \\ 2,5 \\ \mathbf{4,2} \\ 0,9 \\ \mathbf{6,9} \\ \mathbf{5,8} \\ \mathbf{5,8} \end{bmatrix} \text{[-]} \quad \begin{bmatrix} GF_{d_{101,102}} \\ GF_{d_{102,103}} \\ GF_{x_{101}} \\ GF_{y_{101}} \\ GF_{x_{102}} \\ \mathbf{GF_{y_{102}}} \\ GF_{x_{103}} \\ GF_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20,5 \\ -30,7 \\ -11,3 \\ -31,2 \\ -4,8 \\ \mathbf{36,0} \\ 43,5 \\ -43,4 \end{bmatrix} \text{[cm]}$$

In den Subvektoren sind für die von der fehlerhaften Beobachtung y_{102} geometrisch abhängigen Beobachtungen die Verbesserungen v_i , die normierten Verbesserungen NV_i sowie die groben Fehler GF_i aufgeführt. Es ist eindeutig zu erkennen, dass die Verbesserungen numerisch im Vergleich zur Tabelle 10 auf Seite 54 zugenommen haben. Eine solche Veränderung wird durch den Verschmierungseffekt verursacht. Dabei werden die umliegenden geometrisch abhängigen Beobachtungen beeinflusst.

Im *Fall 1* führt die grobfalsche Beobachtung y_{102} insbesondere bei den Strecken $d_{101,102}$ und $d_{102,103}$ zu größeren Verbesserungen. Der Verschmierungseffekt wirkt sich ebenso auf die Zuverlässigkeitskriterien NV_i und GF_i aus und kann dazu führen, dass anhand dieser nicht eindeutig festgestellt werden kann, welche Beobachtung den groben Fehler enthält.

Nach einer praktischen Analyse sollten im ersten Schritt die normierten Verbesserungen betrachtet werden. Im Subvektor überschreiten mehrere Werte den Grenzwert von 4,0. Besonders hervorzuheben ist dabei der Wert $\mathbf{NV_{y_{102}} = 6,9}$, was vermuten lässt, dass die zugehörige Beobachtung y_{102} fehlerhaft ist. Zur weiteren Unterstützung dieser Einschätzung kann der korrespondierende Wert $\mathbf{GF_{y_{102}} = 36,0}$ herangezogen werden.

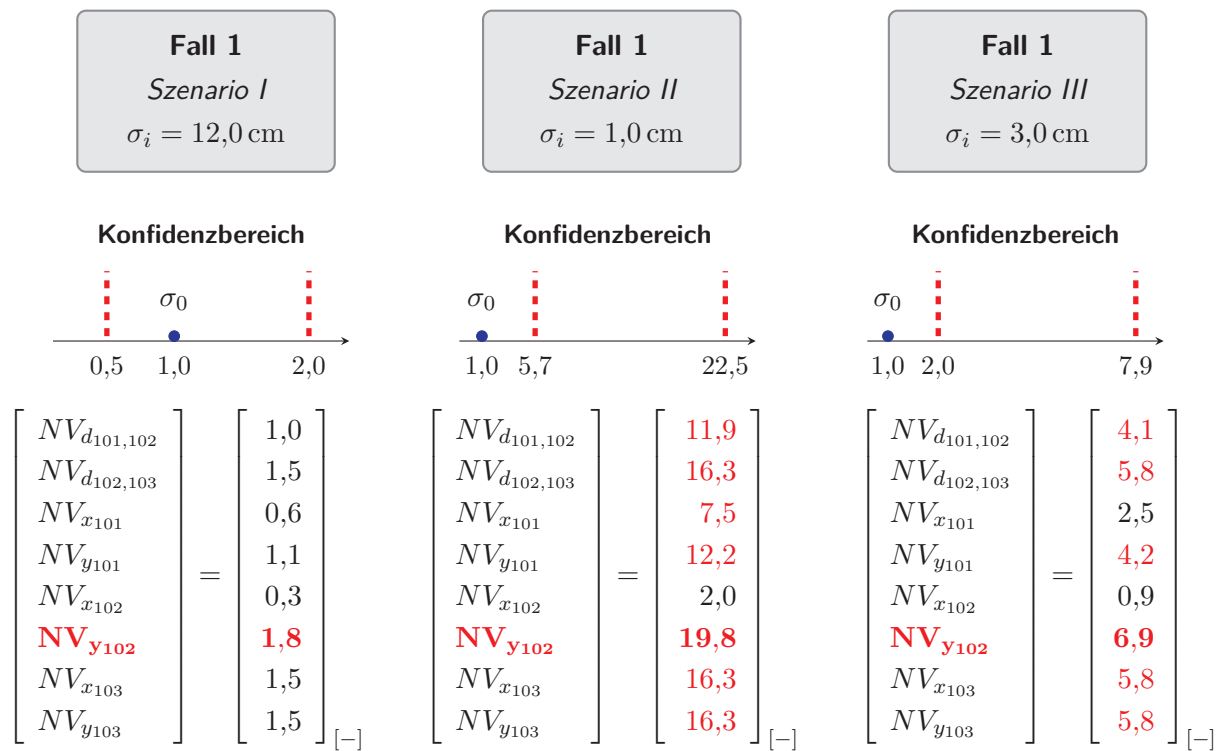
In Kombination weisen beide Werte eindeutig darauf hin, dass die Beobachtung grob falsch ist und stochastisch behandelt werden sollte. Das bedeutet, dass der grobe Fehler in y_{102} stochastisch ausgeschaltet wird. Dazu wird der Beobachtung eine sehr hohe Standardabweichung, hier 99,99 m, zugewiesen, wodurch sie ein sehr geringes Gewicht erhält und eine zum Fehlermaß passende Verbesserung berechnet wird. Die entsprechende stochastische Ausschaltung wird im *Fall 2* durchgeführt.

Das Prinzip des stochastischen Ausschaltens führt zwar in diesem fiktiven Fallbeispiel zur Lösung des Problems. Allerdings ist zu erwähnen, dass eine solche stochastische Behandlung im Liegenschaftskataster die Ausnahme in der Geodäsie darstellt. Im Gegensatz zu anderen Teilgebieten, beispielsweise der Ingenieurvermessung, werden grobfalsche Beobachtungen entfernt. Eine solche Entfernung ist im

Liegenschaftskataster jedoch nicht möglich. Aufgrund der hohen rechtlichen Wirkung der maßgeblichen Katasterzahlen können Beobachtungen nicht einfach gelöscht werden, es ist eine Untersuchung und Behandlung des vorherrschenden Widerspruchs notwendig.

Einfluss des stochastischen Modells auf die Zuverlässigkeitskriterien

Im Unterabschnitt 3.1 wurde die hohe Relevanz der Festlegung des stochastischen Modells verdeutlicht. Die nachfolgenden Ausführungen sollen daran anschließen. Es sind nun wieder Subvektoren mit den entsprechenden normierten Verbesserungen und groben Fehlern aufgeführt. Diese entstammen jeweils drei Ausgleichungen basierend auf dem *Fall 1*, also unter dem Vorhandensein des groben Fehlers in y_{102} . Jede der drei Berechnungen wurde unter Verwendung eines der drei unterschiedlichen stochastischen Modelle der jeweiligen Szenarien aus dem Unterabschnitt 3.1 durchgeführt.



Durch die vorliegende Betrachtungs- bzw. Darstellungsweise der Subvektoren können zwei Probleme bzw. Erkenntnisse abgeleitet werden. Das deutlichste Problem ist, dass eine vertrauenswürdige und eindeutige Interpretierbarkeit des Zuverlässigkeitskriteriums NV_i nur dann sinnvoll möglich ist, wenn die Korrektheit des stochastischen Modells gegeben ist.

Zu erkennen ist dies daran, dass die resultierenden NV_i -Werte im linken Subvektor nahezu keinen groben Fehler detektieren, obwohl wissentlich einer vorhanden ist. Ebenso liefert der zugehörige Konfidenzbereich das gleiche Ergebnis: Unter dem Einfluss des zuvor pessimistischen stochastischen Modells aus Unterabschnitt 3.1 geht die fehlerhafte Beobachtung unter. Nach den Zuverlässigkeitskriterien des Ausgleichsalgorithmus scheinen keine groben Fehler mehr vorhanden zu sein.

Hingegen sorgt die grobfalsche Beobachtung unter den Annahmen des Szenario II, das weiterhin zu optimistisch ist, für sehr hohe NV_i -Werte, was in Kombination mit dem Verschmierungseffekt steht. Aber auch das ursprünglich als realistisch korrekt eingestufte stochastische Modell des Szenario III ist nun stochastisch inkorrekt und gilt unter dem Vorhandensein des groben Fehlers als zu optimistische

Annahme. Aus diesen Beobachtungen kann folgende Erkenntnis gewonnen werden: Die Wahl des stochastischen Modells sollte stets mit großer Sorgfalt und vor allem in iterativer Weise angepasst werden, um das Genauigkeitsniveau der Beobachtungen korrekt abzubilden und grobe Fehler im Datenmaterial aufzuspüren.

Fall 1
Szenario I
 $\sigma_i = 12,0$ cm

Fall 1
Szenario II
 $\sigma_i = 1,0$ cm

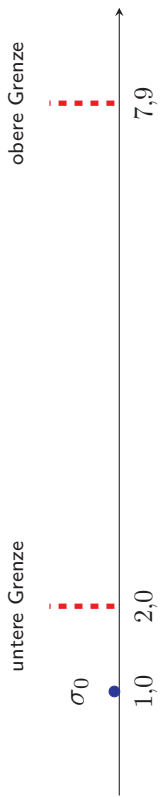
Fall 1
Szenario III
 $\sigma_i = 3,0$ cm

$$\begin{bmatrix} GF_{d_{101,102}} \\ GF_{d_{102,103}} \\ GF_{x_{101}} \\ GF_{y_{101}} \\ GF_{x_{102}} \\ \mathbf{GF}_{y_{102}} \\ GF_{x_{103}} \\ GF_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20,5 \\ -30,7 \\ -11,2 \\ -31,2 \\ -5,2 \\ \mathbf{36,1} \\ 43,5 \\ -43,4 \end{bmatrix} \text{ [cm]} \quad \begin{bmatrix} GF_{d_{101,102}} \\ GF_{d_{102,103}} \\ GF_{x_{101}} \\ GF_{y_{101}} \\ GF_{x_{102}} \\ \mathbf{GF}_{y_{102}} \\ GF_{x_{103}} \\ GF_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20,6 \\ -30,8 \\ -11,7 \\ -31,2 \\ -3,5 \\ \mathbf{36,0} \\ 43,6 \\ -43,4 \end{bmatrix} \text{ [cm]} \quad \begin{bmatrix} GF_{d_{101,102}} \\ GF_{d_{102,103}} \\ GF_{x_{101}} \\ GF_{y_{101}} \\ GF_{x_{102}} \\ \mathbf{GF}_{y_{102}} \\ GF_{x_{103}} \\ GF_{y_{103}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -20,5 \\ -30,7 \\ -11,3 \\ -31,2 \\ -4,8 \\ \mathbf{36,0} \\ 43,5 \\ -43,4 \end{bmatrix} \text{ [cm]}$$

Im Gegensatz zu den NV_i -Werten verhält sich das Zuverlässigkeitskriterium GF_i nahezu unberührt von einem wechselnden stochastischen Modell. Es unterliegt lediglich dem Verschmierungseffekt. Das bedeutet, dass den GF_i -Werten grundsätzlich mehr Vertrauen zugesprochen werden sollte als den NV_i -Werten. Allerdings sei erwähnt, dass bei der Fehleridentifikation stets die Kombination beider Werte herangezogen werden sollte. Besonders bei komplexeren Ausgleichsproblemen mit einer hohen Anzahl an Beobachtungen wird es zunehmend anspruchsvoller, fehlerhafte Beobachtungen eindeutig zu klassifizieren.

Tabelle 11: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter einer typischen Orthogonalaufnahme mit statistisch korrektem stochastischen Modell (Szenario III) und künstlichem groben Fehler.

Konfidenzbereich



Varianzanteile: $\left\{ \begin{array}{l} \text{Strecken: } 3,42 \\ \text{Abzissen: } 1,94 \\ \text{Ordinaten: } 4,80 \end{array} \right.$

| Stochastisches Modell | Verbesserungen | Redundanzanteile | normierte Verbesserungen | grobe Fehler |
|---|---|---|-------------------------------------|---------------------------|
| $\text{tr} \begin{pmatrix} \Sigma_{LL} \\ n, n \end{pmatrix}$ | $\mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l}$ $\begin{matrix} n,1 \\ n,u \\ u,1 \\ n,1 \end{matrix}$ | $r_i = 1 - \frac{q_{L_i, \hat{L}_i}}{q_{L_i, L_i}}$ | $NV_i = \frac{ v_i }{\sigma_{v_i}}$ | $GF_i = -\frac{v_i}{r_i}$ |
| $\sigma_{d_{A,101}}$ | 3,0 | 0,47 | 0,1 | -0,4 |
| $\sigma_{d_{Z,105}}$ | 3,0 | 0,38 | 0,8 | -4,1 |
| $\sigma_{d_{101,102}}$ | 3,0 | 0,38 | 4,1 | -20,5 |
| $\sigma_{d_{102,103}}$ | 3,0 | 0,37 | 5,8 | -30,7 |
| σ_{x_A} | 3,0 | 0,61 | 0,6 | 2,4 |
| σ_{y_A} | 3,0 | — | — | — |
| $\sigma_{x_{101}}$ | 3,0 | 0,45 | 2,5 | -11,3 |
| $\sigma_{y_{101}}$ | 3,0 | 0,16 | 4,2 | -31,2 |
| $\sigma_{x_{102}}$ | 3,0 | 0,34 | 0,9 | -4,8 |
| $\sigma_{y_{102}}$ | 3,0 | 0,33 | 6,9 | 36,0 |
| $\sigma_{x_{103}}$ | 3,0 | 0,16 | 5,8 | 43,5 |
| $\sigma_{y_{103}}$ | 3,0 | 0,16 | 5,8 | -43,4 |
| $\sigma_{x_{104}}$ | 3,0 | — | — | — |
| $\sigma_{y_{104}}$ | 3,0 | — | — | — |
| $\sigma_{x_{105}}$ | 3,0 | 0,16 | 0,8 | -6,1 |
| $\sigma_{y_{105}}$ | 3,0 | 0,20 | 0,8 | 5,6 |
| σ_{x_Z} | 3,0 | 0,61 | 0,3 | -1,0 |
| σ_{y_Z} | 3,0 | 0,20 | 0,8 | -5,6 |

3.2.2. Fall 2: Integration eines korrekten Referenzpunktes

Im *Fall 1* stand die beispielhafte Detektion grobfalscher Beobachtungen im Vordergrund. Der nun nachfolgende Unterunterabschnitt beschäftigt sich damit, welche Möglichkeiten und Schritte nach einer Fehlersuche und stochastischen Ausschaltung umgesetzt werden sollten, um das Ausgleichsergebnis zu verbessern.

In den Tabelle 10 auf Seite 54 sowie in Tabelle 11 auf Seite 60 ist besonders auffällig, dass für den Grenzpunkt 104 keine Parameter aus dem Ausgleichsalgorithmus vorliegen. Diese Situation ist noch einmal in den nachfolgenden Subvektoren aufgeführt:

| <i>Stochastisches Modell</i> | <i>Verbesserung</i> | <i>Redundanzanteil</i> |
|--|--|--|
| $\begin{bmatrix} \sigma_{x_{104}} \\ \sigma_{y_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3,0 \\ 3,0 \end{bmatrix}_{[cm]}$ | $\begin{bmatrix} v_{x_{104}} \\ v_{y_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,0 \\ 0,0 \end{bmatrix}_{[cm]}$ | $\begin{bmatrix} r_{x_{104}} \\ r_{y_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -- \\ -- \end{bmatrix}_{[%]}$ |
| <i>normierte Verbesserung</i> | | <i>grober Fehler</i> |
| $\begin{bmatrix} NV_{x_{104}} \\ NV_{y_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -- \\ -- \end{bmatrix}_{[-]}$ | | $\begin{bmatrix} GF_{x_{104}} \\ GF_{y_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -- \\ -- \end{bmatrix}_{[cm]}$ |

Die Vektoren zeigen eindeutig, dass die Koordinaten und Beobachtungen unkontrolliert sind. Zu erkennen ist dies daran, dass keine Redundanzanteile und Verbesserungen berechnet worden sind. Das liegt an der geometrisch isolierten Lage des Grenzpunktes 104. Die vorhandenen Beobachtungen (Abszisse und Ordinate) bestimmen dessen Lage eindeutig. Es existieren jedoch keine redundanten Beobachtungen oder Koordinaten, wie es im Vergleich für die übrigen Grenzpunkte 101, 102, 103 und 105 der Fall ist.

Stünden maßgebliche Katasterzahlen, zum Beispiel Strecken zu 103 oder 105, zur Verfügung, wären die Werte belegt. Um dieses Problem der Unkontrolliertheit zu lösen, sollte der Punkt in der Örtlichkeit aufgesucht werden. Ein solches Vorgehen spiegelt auch die Abbildung 19 wider.

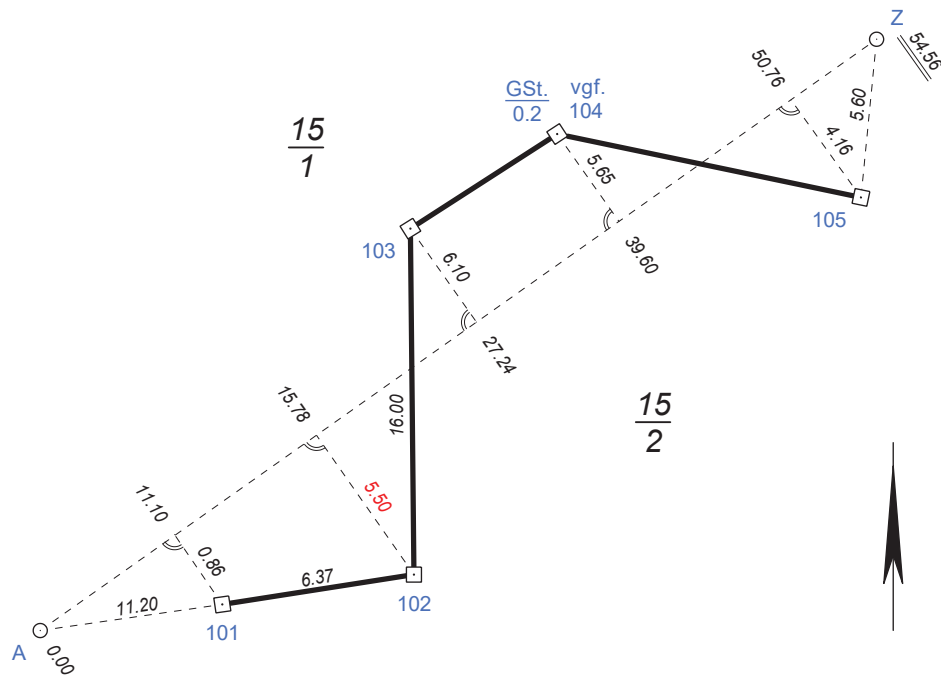


Abbildung 19: Referenzbeispiel: Darstellung einer klassischen Orthogonal Aufnahme mit Steinbreiten zur Erfassung einer Flurstücksgrenze (vgl. Gärtner u. Hagebusch 1992, S. 54).

Im fiktiven *Fall 2* wurde der Grenzpunkt 104 in der Örtlichkeit durch einen vermarkten Granitgrenzstein vorgefunden und entsprechend terrestrisch aufgemessen. Dadurch stehen Koordinaten im amtlichen Lagebezugssystem fest. Diese werden in *Systra* überführt und dienen damit als weiterer Referenzpunkt im Ausgleichungsbeispiel.

Tabelle 12: Referenzpunktcoordinate 104 im ETRS89 mit UTM-Abbildung (korrekt)

| Punktnummer | East [m] | North [m] |
|-------------|----------------|---------------|
| 104 | 33 333 497,914 | 5 916 734,051 |

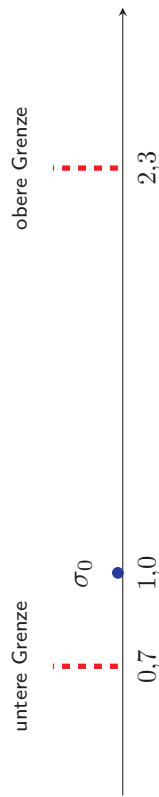
Das Ausgleichungsergebnis dieser Maßnahme unter Verwendung des stochastischen Modells des Szenarios III aus Unterabschnitt 3.1 kann der Tabelle 13 auf Seite 63 entnommen werden. Das Ergebnis des Konfidenzbereiches zeigt, dass keine Modellfehler vorhanden sind. Die Annahme des stochastischen Modells ist realistisch und es sind keine weiteren groben Fehler vorhanden. Somit ist das stochastische Ausschalten des groben Fehlers der Beobachtung y_{102} gelungen. Dies zeigt sich insbesondere in der Verbesserung $v_{y_{102}}$ mit einem Wert von $-35,7$ cm, welcher im Größenbereich des Fehlers von 30 cm liegt. Das Vorhandensein der entsprechenden Verbesserung zeigt, dass bei korrekter Anwendung der Ausgleichungsrechnung realistische und praxisnahe Lösungen erzeugt werden können.

Neben dem Konfidenzbereich sollten an dieser Stelle auch die Varianzanteile Berücksichtigung finden. Insgesamt kann das Ergebnis als positiv bewertet werden. Für die einzelnen Beobachtungen liegen die Werte sowie deren Differenzen in einem akzeptablen Bereich und stützen das Ergebnis des Konfidenzbereiches hinsichtlich einer realistischen Schätzung des stochastischen Modells.

Des Weiteren kann positiv gewertet werden, dass die Zuverlässigkeitskriterien NV_i und GF_i der Beobachtungen des Grenzpunktes 104 keine auffälligen Werte hervorbringen. Dies zeigt zum einen, dass im Außendienst der korrekte physische Punkt vorgefunden wurde und zum anderen bestätigt es die Übereinstimmung der koordinierten Lage mit den Beobachtungen durch die hohen Redundanzanteile $r_{x_{104}}$ und $r_{y_{104}}$. In diesem *Fall 2* kann das Ausgleichungsergebnis als abgeschlossen angesehen werden. Die ausgeglichenen Koordinaten der Grenzpunkte können gewissenhaft weiterverarbeitet werden.

Tabelle 13: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter einer typischen Orthogonalaufnahme mit statistisch korrektem stochastischen Modell (Szenario III), künstlichem groben Fehler und neu korrekt eingeführten Referenzpunkt.

Konfidenzbereich



| | | |
|------------------------|------------|------|
| Varianzanteile: | Strecken: | 1,37 |
| | Abzissen: | 1,17 |
| | Ordinaten: | 0,96 |

Stochastisches Modell

$$\text{tr} \left(\begin{matrix} \Sigma_{LL} \\ n, n \end{matrix} \right)$$

Verbesserungen

$$v = \begin{matrix} A \cdot \hat{x} - l \\ n, 1 \end{matrix} \begin{matrix} u \\ u, 1 \end{matrix} \begin{matrix} n, 1 \\ n, 1 \end{matrix}$$

Redundanzanteile

$$r_i = 1 - \frac{q_{L_i, \hat{L}_i}}{q_{L_i, L_i}}$$

normierte Verbesserungen

$$NV_i = \frac{|v_i|}{\sigma_{v_i}}$$

grobe Fehler

$$GF_i = -\frac{v_i}{r_i}$$

| | | | | | | | | | |
|------------------------|--------|-------------------|-------|-------------------|------|--------------------|-----|--------------------|-------|
| $\sigma_{d_{A,101}}$ | 3,0 | $v_{d_{A,101}}$ | -3,9 | $r_{d_{A,101}}$ | 0,48 | $NV_{d_{A,101}}$ | 1,8 | $GF_{d_{A,101}}$ | 8,2 |
| $\sigma_{d_{Z,105}}$ | 3,0 | $v_{d_{Z,105}}$ | 1,0 | $r_{d_{Z,105}}$ | 0,41 | $NV_{d_{Z,105}}$ | 0,5 | $GF_{d_{Z,105}}$ | -2,4 |
| $\sigma_{d_{101,102}}$ | 3,0 | $v_{d_{101,102}}$ | -1,8 | $r_{d_{101,102}}$ | 0,18 | $NV_{d_{101,102}}$ | 1,4 | $GF_{d_{101,102}}$ | 10,1 |
| $\sigma_{d_{102,103}}$ | 3,0 | $v_{d_{102,103}}$ | 1,9 | $r_{d_{102,103}}$ | 0,19 | $NV_{d_{102,103}}$ | 1,4 | $GF_{d_{102,103}}$ | -10,5 |
| σ_{x_A} | 3,0 | v_{x_A} | -0,6 | r_{x_A} | 0,71 | NV_{x_A} | 0,2 | GF_{x_A} | 0,9 |
| σ_{y_A} | 3,0 | v_{y_A} | -0,0 | r_{y_A} | 0,06 | NV_{y_A} | 0,0 | GF_{y_A} | 0,0 |
| $\sigma_{x_{101}}$ | 3,0 | $v_{x_{101}}$ | 2,2 | $r_{x_{101}}$ | 0,44 | $NV_{x_{101}}$ | 1,1 | $GF_{x_{101}}$ | -5,1 |
| $\sigma_{y_{101}}$ | 3,0 | $v_{y_{101}}$ | -0,9 | $r_{y_{101}}$ | 0,08 | $NV_{y_{101}}$ | 1,1 | $GF_{y_{101}}$ | 12,1 |
| $\sigma_{x_{102}}$ | 3,0 | $v_{x_{102}}$ | 2,5 | $r_{x_{102}}$ | 0,35 | $NV_{x_{102}}$ | 1,4 | $GF_{x_{102}}$ | -7,1 |
| $\sigma_{y_{102}}$ | 9999,0 | $v_{y_{102}}$ | -35,7 | $r_{y_{102}}$ | -- | $NV_{y_{102}}$ | -- | $GF_{y_{102}}$ | -- |
| $\sigma_{x_{103}}$ | 3,0 | $v_{x_{103}}$ | -1,2 | $r_{x_{103}}$ | 0,08 | $NV_{x_{103}}$ | 1,4 | $GF_{x_{103}}$ | 14,8 |
| $\sigma_{y_{103}}$ | 3,0 | $v_{y_{103}}$ | 1,2 | $r_{y_{103}}$ | 0,08 | $NV_{y_{103}}$ | 1,4 | $GF_{y_{103}}$ | -15,0 |
| $\sigma_{x_{104}}$ | 3,0 | $v_{x_{104}}$ | -4,9 | $r_{x_{104}}$ | 0,71 | $NV_{x_{104}}$ | 1,9 | $GF_{x_{104}}$ | 6,9 |
| $\sigma_{y_{104}}$ | 3,0 | $v_{y_{104}}$ | -2,8 | $r_{y_{104}}$ | 0,67 | $NV_{y_{104}}$ | 1,1 | $GF_{y_{104}}$ | 4,2 |
| $\sigma_{x_{105}}$ | 3,0 | $v_{x_{105}}$ | 0,6 | $r_{x_{105}}$ | 0,18 | $NV_{x_{105}}$ | 0,5 | $GF_{x_{105}}$ | -3,6 |
| $\sigma_{y_{105}}$ | 3,0 | $v_{y_{105}}$ | -0,7 | $r_{y_{105}}$ | 0,21 | $NV_{y_{105}}$ | 0,5 | $GF_{y_{105}}$ | 3,3 |
| σ_{x_Z} | 3,0 | v_{x_Z} | 1,4 | r_{x_Z} | 0,72 | NV_{x_Z} | 0,5 | GF_{x_Z} | -1,9 |
| σ_{y_Z} | 3,0 | v_{y_Z} | 3,2 | r_{y_Z} | 0,43 | NV_{y_Z} | 1,6 | GF_{y_Z} | -7,5 |

3.2.3. Fall 3: Integration eines fehlerhaften Referenzpunktes

Dieser Fall soll an die Überlegungen hinsichtlich der Verbesserung der Kontrolliertheit anschließen. Es gilt die Ausgangssituation, wie in der Abbildung 20 dargestellt.

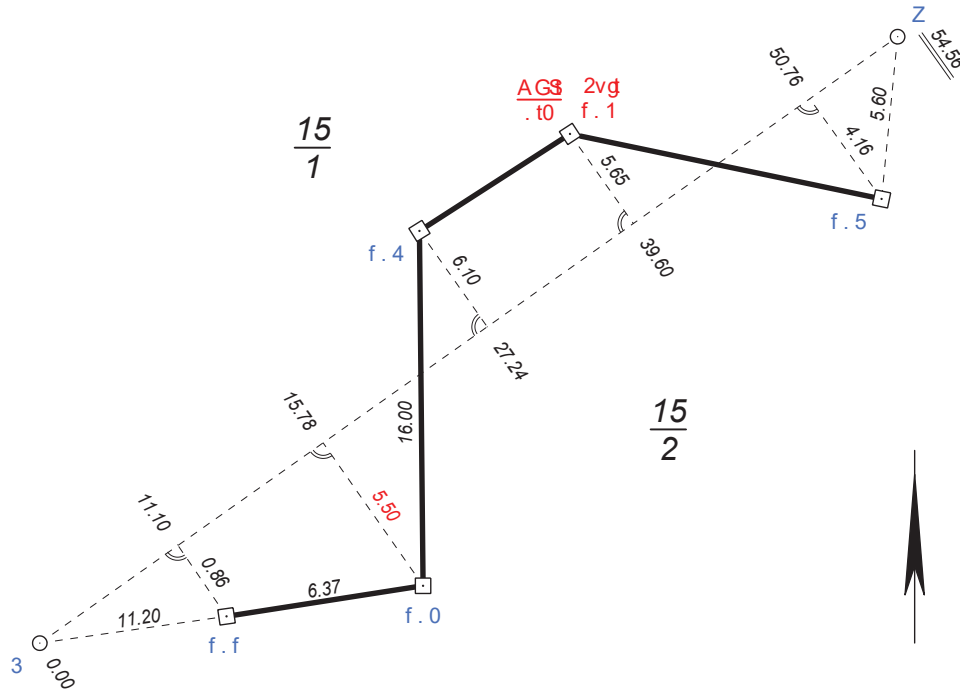


Abbildung 20: Referenzbeispiel: Darstellung einer klassischen Orthogonalaufnahme mit Steinbreiten zur Erfassung einer Flurstücksgrenze (vgl. Gärtner u. Hagebusch 1992, S. 54).

Auch im Fall 3 wurde eine physische Vermarkung für den Grenzpunkt 104 vorgefunden und aufgemessen die entsprechende Koordinate ist in der Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Referenzpunktkoordinate 104 im ETRS89 mit UTM-Abbildung (fehlerhaft)

| Punktnummer | East [m] | North [m] |
|-------------|-----------------|----------------|
| 104 | 33 333 499, 114 | 5 916 734, 051 |

Der Unterschied zum Fall 2 besteht darin, dass die Vermarkung nicht korrekt bei ihrer Entstehung oder einer späteren Wiederherstellung in die Örtlichkeit übertragen wurde. Im Beispiel liegt der aufgemessene Grenzpunkt 1,20 m östlicher als derselbe im Fall 2. Die sich ergebende Koordinate wurde ebenfalls in Systra überführt und führte zu dem in Tabelle 15 auf Seite 66 dargestellten Ausgleichsergebnis unter Anwendung des stochastischen Modells des Szenarios III aus Unterabschnitt 3.1.

Durch die Varianzanteile und den Konfidenzbereich wird sofort deutlich, dass es sich um einen Modellfehler handeln muss. Ungefähr die Hälfte der Beobachtungen besitzt eine normierte Verbesserung, die über dem Grenzwert von 4,0 liegt. Die höchsten Werte treten dabei bei den Beobachtungen des Grenzpunktes 104 auf. Aus der Logik des Fall 2 würden eben diese Beobachtungen stochastisch ausgeschaltet werden. An dieser Stelle sei vorweggenommen, dass dies nicht zum gewünschten Ergebnis führen würde und nicht ratsam ist.

In praktischen Fällen kann es häufig vorkommen, dass vermehrt fehlerhafte Beobachtungen vorhanden sind. Oft wird dann das stochastische Ausschalten als schnellste und einfachste Variante verwendet,

um sich des Problems zu entledigen. Allerdings kann dies zu einem gravierenden negativen Effekt führen, der umgangssprachlich als „AUF SOLL GEDREHT“ bezeichnet wird.

Das massenhafte stochastische Aufweichen fehlerhafter Beobachtungen führt dazu, dass das Ausgleichsergebnis verfälscht wird. Konkret passiert Folgendes: Aufgrund des stochastischen Ausschaltens erhalten sowohl die ausgeschalteten als auch umliegende geometrisch abhängige Beobachtungen beliebige Verbesserungen, die sich nicht mehr aus dem geometrischen Zusammenhang ergeben, sondern willkürlich entstehen. Das bedeutet, dass bei einer hohen Anzahl stochastischer Ausschaltungen das Verbesserungspotenzial nicht mehr im Einklang mit der Realität steht.

Da in der Realität grundsätzlich nicht bekannt ist, ob Grenzpunkte sich möglicherweise an einer falschen Position befinden, sollte hier die dynamische Ausgleichung nach Unterunterabschnitt 2.8.4 Anwendung finden.

3.2.4. Fall 4: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung

Der *Fall 4* soll die Möglichkeiten der Anwendung der dynamischen Netzausgleichung darstellen. Es wird weiterhin die Ausgangslage des *Falls 3* angenommen; siehe hierzu Abbildung 21.

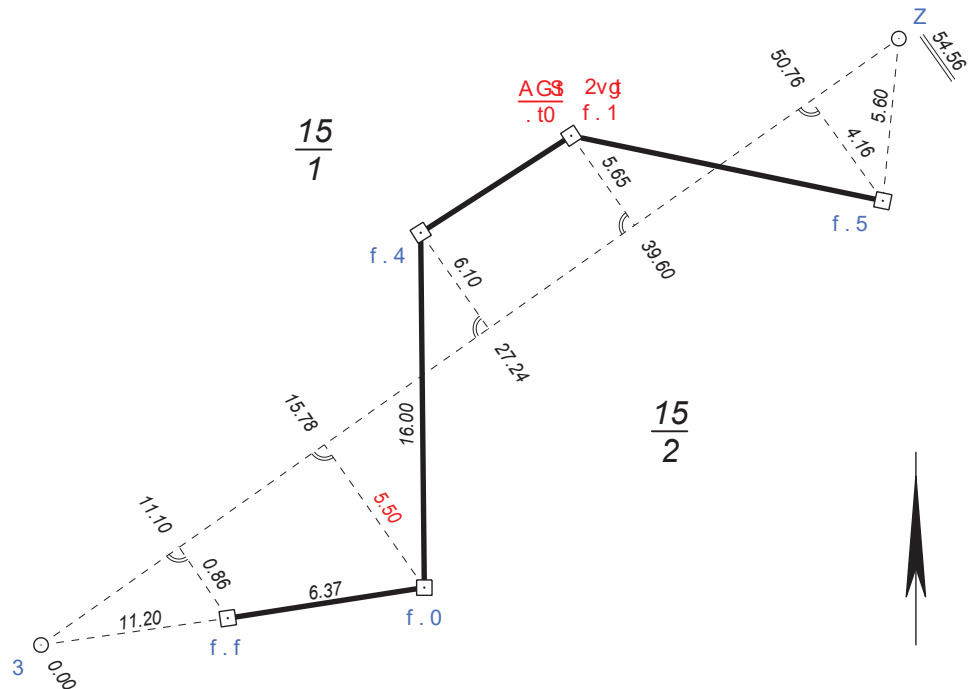


Abbildung 21: Anwendungsbeispiel: Darstellung einer klassischen Orthogonalaufnahme mit Steinbreiten zur Erfassung einer Flurstücksgrenze (vgl. Gärtner u. Hagebusch 1992, S. 54).

Der Grenzpunkt 104 wurde örtlich an einer vermutlich widersprüchlichen Position vorgefunden. Die bisherigen Ausgleichungsergebnisse basierten auf dem Ansatz der Netzausgleichung unter Zwang, so auch das Ergebnis, welches in der Tabelle 15 auf Seite 66 dokumentiert ist. Dieser Ansatz ist für die Anwendung im Liegenschaftskataster grundsätzlich sinnvoll, da Grenzpunkte und ihre Position rechtlichen Bestand haben und eine Änderung der Koordinaten ohne triftigen Grund nicht möglich ist.

Die Nachteile der Ausgleichung unter Zwang liegen darin, dass vorhandene Netzspannungen durch ungenaue oder falsche Koordinaten auf die gesamte Geometrie (innere Netzgeometrie) übertragen und diese verformt wird. Die geometrische Verformung bzw. der Zwang aufgrund der fehlerhaften Position des Grenzpunktes ist im *Fall 3* eindeutig erkennbar. Insbesondere die Verbesserungen v_i haben numerisch zugenommen. In diesem einfachen Beispiel ließe sich vermuten, dass der Grenzpunkt 104 das Problem verursacht. Eindeutig nachweisen lässt sich dies bei einer Netzausgleichung unter Zwang jedoch nur schwer.

Der dynamische Ansatz hingegen liefert die Möglichkeit, die Referenzpunkte ebenfalls mit einem Genauigkeitsniveau zu versehen. Dieses Vorgehen bietet zwei Vorteile: Erstens können aufgrund der Standardabweichung der Referenzpunkte Verbesserungen für deren Koordinaten berechnet werden und zweitens können ebenfalls Genauigkeits- und Zuverlässigkeitskriterien bereitgestellt werden.

In Tabelle 16 auf Seite 70 ist das dynamische Ausgleichungsergebnis dargestellt, unter Verwendung des stochastischen Modells aus Szenario III des Unterabschnitt 3.1 für die Beobachtungen sowie einer Standardabweichung von 2 cm für die Referenzpunkte. Die Wahl des stochastischen Modells

für die Referenzpunkte sollte ebenfalls nicht willkürlich erfolgen, sondern sich beispielsweise an Genauigkeitsangaben nach rechtlichen Vorgaben orientieren. Als rechtliche Grundlage ist die ALKIS VV M-V genutzt worden. Im fiktiven Referenzbeispiel erfolgte die Koordinatenerfassung mittels Global Navigation Satellite System (GNSS) unter Verwendung vom Satellitenpositionierungsdienst der Deutschen Landesvermessung (SAPOS). Weshalb die Punkte mit einer Genauigkeitsstufe (GST) von 2100, welche einen Punktfehler von < 3,0 cm codiert, klassifiziert wurden.

Unter Annahme eines Punktfehlers von < 3,0 cm, im gewählten Beispiel ≈ 2,8 cm, ergibt sich für die Koordinatenelemente X_{104} und Y_{104} eine Standardabweichung von 2,0 cm.

$$\begin{aligned}
 s_{104}^{GST} &\approx \sqrt{\sigma_{Y_{104}}^2 + \sigma_{X_{104}}^2} \\
 s_{104}^{GST} &\approx \sqrt{2,0^2 + 2,0^2} \\
 s_{104}^{GST} &\approx 2,8 \text{ cm}
 \end{aligned}
 \tag{65}$$

Im *Fall 4* ist bekannt, dass die Koordinate des Grenzpunktes 104 grob falsch ist. Allerdings liefert auch der Konfidenzbereich ein klares Bild: σ_0 liegt deutlich außerhalb der Grenzen, damit kann angenommen werden, dass Modellfehler vorhanden sind. Besonders wertvolle Informationen liefern die Varianzanteile. Hier ist als Beobachtungsgruppe die Referenzpunkte neu hinzugefügt.

Die Analyse der einzelnen Anteile zeigt, dass die Schätzung des stochastischen Modells im Prinzip zu optimistisch war, da der Einfluss der grobfalschen Position erhebliche Auswirkungen hat. Alle Varianzanteile überschreiten den Normbereich von 1,0. Interessant ist, dass die Referenzpunkte mit 15,25 den größten Anteil besitzen, was darüber Auskunft gibt, dass diese Beobachtungsgruppe wahrscheinlich den groben Fehler enthält. Der Vollständigkeit halber sollte eine tiefgründige Analyse der Lokaltests erfolgen, um den konkreten Ursachenbereich einzugrenzen.

Die nachfolgenden Subvektoren zeigen die Werte für die drei Referenzpunkte der Orthogonal Aufnahme aus der Tabelle 16 auf Seite 70.

| <i>Stochastisches Modell</i> | <i>Verbesserung</i> | <i>Redundanzanteil</i> |
|--|--|---|
| $ \begin{bmatrix} \sigma_{Y_A} \\ \sigma_{X_A} \\ \sigma_{Y_Z} \\ \sigma_{X_Z} \\ \sigma_{Y_{104}} \\ \sigma_{X_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,0 \\ 2,0 \\ 2,0 \\ 2,0 \\ 2,0 \\ 2,0 \end{bmatrix} \text{ [cm]} $ | $ \begin{bmatrix} v_{Y_A} \\ v_{X_A} \\ v_{Y_Z} \\ v_{X_Z} \\ v_{Y_{104}} \\ v_{X_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,8 \\ 3,1 \\ 7,4 \\ -2,6 \\ -13,2 \\ -0,5 \end{bmatrix} \text{ [cm]} $ | $ \begin{bmatrix} r_{Y_A} \\ r_{X_A} \\ r_{Y_Z} \\ r_{X_Z} \\ r_{Y_{104}} \\ r_{X_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,06 \\ 0,11 \\ 0,09 \\ 0,12 \\ 0,13 \end{bmatrix} \text{ [-]} $ |
| <i>normierte Verbesserung</i> | | <i>grober Fehler</i> |
| $ \begin{bmatrix} NV_{Y_A} \\ NV_{X_A} \\ NV_{Y_Z} \\ NV_{X_Z} \\ NV_{Y_{104}} \\ NV_{X_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 13,3 \\ 8,9 \\ 15,8 \\ 6,0 \\ 27,2 \\ 1,0 \end{bmatrix} \text{ [-]} $ | | $ \begin{bmatrix} GF_{Y_A} \\ GF_{X_A} \\ GF_{Y_Z} \\ GF_{X_Z} \\ GF_{Y_{104}} \\ GF_{X_{104}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -60,8 \\ -51,6 \\ -67,5 \\ 28,2 \\ 111,4 \\ 4,0 \end{bmatrix} \text{ [cm]} $ |

Zur Fehleridentifikation kommen in gewohnter Weise die Zuverlässigkeitskriterien zur Anwendung. Die NV_i -Werte liegen deutlich über dem Grenzwert, was zum einen am stochastischen Modell und dem groben Fehler liegt und zum anderen am Verschmierungseffekt. Besonders auffällig ist, dass die Y-Koordinate des Punktes 104 den größten Wert besitzt. Der $GF_{Y_{104}}$ weist mit 111,4 cm einen mögli-

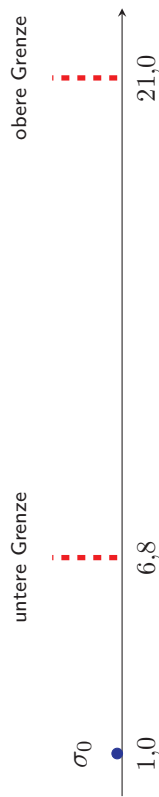
chen groben Fehler aus und spiegelt nahezu die östliche Verschiebung der Koordinate wider. Aufgrund der eindeutigen Feststellung der grobfalschen Position des Grenzpunktes 104 durch die Kombination aus NV_i und GF_i sollte dieser stochastisch ausgeschaltet werden, äquivalent zum *Fall 2*.

In der Tabelle 17 auf Seite 71 ist das Ergebnis der stochastischen Ausschaltung dokumentiert. Das Ergebnis liefert den Beweis dafür, dass die aufgenommene Position von 104 fehlerhaft ist. Ausschlaggebend ist, dass sowohl der Konfidenzbereich als auch die Varianzanteile ein positives Ergebnis liefern und die normierten Verbesserungen keine Auffälligkeiten aufweisen.

Als Konsequenz sollte in der Realität eine tiefgründigere Analyse des Grenzpunktes 104 hinsichtlich seiner Entstehung erfolgen. Ansonsten ist das Ausgleichsergebnis grundsätzlich als solide und annehmbar zu klassifizieren.

Tabelle 16: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter einer dynamischen Netzausgleichung einer typischen Orthogonalnaufnahme mit statistisch korrektem stochastischen Modell (Szenario III), künstlichem groben Fehler und neu eingeführtem fehlerhaften Referenzpunkt.

Konfidenzbereich

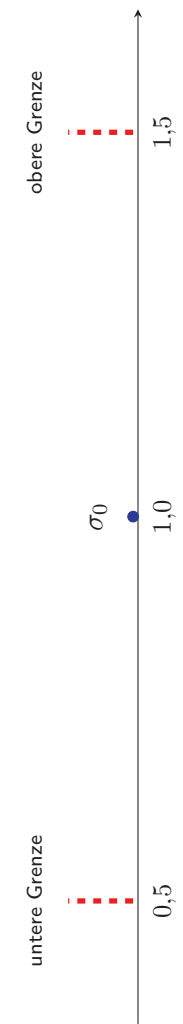


| | | |
|------------------------|-----------------|-------|
| Varianzanteile: | Referenzpunkte: | 15,25 |
| | Strecken: | 2,64 |
| | Abzissen: | 11,99 |
| | Ordinaten: | 8,99 |

| Stochastisches Modell | Verbesserungen | Redundanzanteile | normierte Verbesserungen | grobe Fehler |
|--------------------------------------|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| σ_{Y_A} | 2,0 | r_{Y_A} | NV_{Y_A} | GF_{Y_A} |
| σ_{X_A} | 2,0 | r_{X_A} | NV_{X_A} | GF_{X_A} |
| σ_{Y_Z} | 2,0 | r_{Y_Z} | NV_{Y_Z} | GF_{Y_Z} |
| σ_{X_Z} | 2,0 | r_{X_Z} | NV_{X_Z} | GF_{X_Z} |
| $\sigma_{Y_{104}}$ | 2,0 | $r_{Y_{104}}$ | $NV_{Y_{104}}$ | $GF_{Y_{104}}$ |
| $\sigma_{X_{104}}$ | 2,0 | $r_{X_{104}}$ | $NV_{X_{104}}$ | $GF_{X_{104}}$ |
| $\sigma_{d_{A,101}}$ | 3,0 | $r_{d_{A,101}}$ | $NV_{d_{A,101}}$ | $GF_{d_{A,101}}$ |
| $\sigma_{d_{Z,105}}$ | 3,0 | $r_{d_{Z,105}}$ | $NV_{d_{Z,105}}$ | $GF_{d_{Z,105}}$ |
| $\sigma_{d_{101,102}}$ | 3,0 | $r_{d_{101,102}}$ | $NV_{d_{101,102}}$ | $GF_{d_{101,102}}$ |
| $\sigma_{d_{102,103}}$ | 3,0 | $r_{d_{102,103}}$ | $NV_{d_{102,103}}$ | $GF_{d_{102,103}}$ |
| σ_{x_A} | 3,0 | r_{x_A} | NV_{x_A} | GF_{x_A} |
| σ_{y_A} | 3,0 | r_{y_A} | NV_{y_A} | GF_{y_A} |
| $\sigma_{x_{101}}$ | 3,0 | $r_{x_{101}}$ | $NV_{x_{101}}$ | $GF_{x_{101}}$ |
| $\sigma_{y_{101}}$ | 3,0 | $r_{y_{101}}$ | $NV_{y_{101}}$ | $GF_{y_{101}}$ |
| $\sigma_{x_{102}}$ | 3,0 | $r_{x_{102}}$ | $NV_{x_{102}}$ | $GF_{x_{102}}$ |
| $\sigma_{y_{102}}$ | 9999,0 | $r_{y_{102}}$ | $NV_{y_{102}}$ | $GF_{y_{102}}$ |
| $\sigma_{x_{103}}$ | 3,0 | $r_{x_{103}}$ | $NV_{x_{103}}$ | $GF_{x_{103}}$ |
| $\sigma_{y_{103}}$ | 3,0 | $r_{y_{103}}$ | $NV_{y_{103}}$ | $GF_{y_{103}}$ |
| $\sigma_{x_{104}}$ | 3,0 | $r_{x_{104}}$ | $NV_{x_{104}}$ | $GF_{x_{104}}$ |
| $\sigma_{y_{104}}$ | 3,0 | $r_{y_{104}}$ | $NV_{y_{104}}$ | $GF_{y_{104}}$ |
| $\sigma_{x_{105}}$ | 3,0 | $r_{x_{105}}$ | $NV_{x_{105}}$ | $GF_{x_{105}}$ |
| $\sigma_{y_{105}}$ | 3,0 | $r_{y_{105}}$ | $NV_{y_{105}}$ | $GF_{y_{105}}$ |
| σ_{x_Z} | 3,0 | r_{x_Z} | NV_{x_Z} | GF_{x_Z} |
| σ_{y_Z} | 3,0 | r_{y_Z} | NV_{y_Z} | GF_{y_Z} |

Tabelle 17: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsparameter einer dynamischen Netzausgleichung einer typischen Orthogonalnaufnahme mit statistisch korrektem stochastischen Modell (Szenario III), künstlichem groben Fehler und neu eingeführtem fehlerhaften Referenzpunkt.

Konfidenzbereich



| | |
|------------------------|------|
| Varianzanteile: | |
| Referenzpunkte: | 0,01 |
| Strecken: | 1,16 |
| Abzissen: | 0,93 |
| Ordinaten: | 0,50 |

| Stochastisches Modell | Verbesserungen | Redundanzanteile | normierte Verbesserungen | normierte Verbesserungen | grobe Fehler |
|------------------------|----------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|--------------|
| σ_{Y_A} | 2,0 | r_{Y_A} | NV_{Y_A} | GF_{Y_A} | -0,3 |
| σ_{X_A} | 2,0 | r_{X_A} | NV_{X_A} | GF_{X_A} | -0,4 |
| σ_{Y_Z} | 2,0 | r_{Y_Z} | NV_{Y_Z} | GF_{Y_Z} | -0,0 |
| σ_{X_Z} | 2,0 | r_{X_Z} | NV_{X_Z} | GF_{X_Z} | -0,1 |
| $\sigma_{Y_{104}}$ | 9999,0 | $r_{Y_{104}}$ | $NV_{Y_{104}}$ | $GF_{Y_{104}}$ | 111,5 |
| $\sigma_{X_{104}}$ | 9999,0 | $r_{X_{104}}$ | $NV_{X_{104}}$ | $GF_{X_{104}}$ | -0,4 |
| $\sigma_{d_{A,101}}$ | 3,0 | $r_{d_{A,101}}$ | $NV_{d_{A,101}}$ | $GF_{d_{A,101}}$ | 6,5 |
| $\sigma_{d_{Z,105}}$ | 3,0 | $r_{d_{Z,105}}$ | $NV_{d_{Z,105}}$ | $GF_{d_{Z,105}}$ | -3,2 |
| $\sigma_{d_{101,102}}$ | 3,0 | $r_{d_{101,102}}$ | $NV_{d_{101,102}}$ | $GF_{d_{101,102}}$ | 9,4 |
| $\sigma_{d_{102,103}}$ | 3,0 | $r_{d_{102,103}}$ | $NV_{d_{102,103}}$ | $GF_{d_{102,103}}$ | -9,8 |
| σ_{x_A} | 3,0 | r_{x_A} | NV_{x_A} | GF_{x_A} | 4,7 |
| σ_{y_A} | 3,0 | r_{y_A} | NV_{y_A} | GF_{y_A} | -- |
| $\sigma_{x_{101}}$ | 3,0 | $r_{x_{101}}$ | $NV_{x_{101}}$ | $GF_{x_{101}}$ | -3,3 |
| $\sigma_{y_{101}}$ | 3,0 | $r_{y_{101}}$ | $NV_{y_{101}}$ | $GF_{y_{101}}$ | 12,0 |
| $\sigma_{x_{102}}$ | 3,0 | $r_{x_{102}}$ | $NV_{x_{102}}$ | $GF_{x_{102}}$ | -6,6 |
| $\sigma_{y_{102}}$ | 9999,0 | $r_{y_{102}}$ | $NV_{y_{102}}$ | $GF_{y_{102}}$ | -- |
| $\sigma_{x_{103}}$ | 3,0 | $r_{x_{103}}$ | $NV_{x_{103}}$ | $GF_{x_{103}}$ | 13,8 |
| $\sigma_{y_{103}}$ | 3,0 | $r_{y_{103}}$ | $NV_{y_{103}}$ | $GF_{y_{103}}$ | -14,0 |
| $\sigma_{x_{104}}$ | 3,0 | $r_{x_{104}}$ | $NV_{x_{104}}$ | $GF_{x_{104}}$ | -- |
| $\sigma_{y_{104}}$ | 3,0 | $r_{y_{104}}$ | $NV_{y_{104}}$ | $GF_{y_{104}}$ | -- |
| $\sigma_{x_{105}}$ | 3,0 | $r_{x_{105}}$ | $NV_{x_{105}}$ | $GF_{x_{105}}$ | -4,8 |
| $\sigma_{y_{105}}$ | 3,0 | $r_{y_{105}}$ | $NV_{y_{105}}$ | $GF_{y_{105}}$ | 4,4 |
| σ_{x_Z} | 3,0 | r_{x_Z} | NV_{x_Z} | GF_{x_Z} | 1,4 |
| σ_{y_Z} | 3,0 | r_{y_Z} | NV_{y_Z} | GF_{y_Z} | -4,4 |

4. Historische Entwicklung des Katasters in Mecklenburg-Schwerin

Der Einsatz der Ausgleichsrechnung im Liegenschaftskataster ermöglicht die Anwendung und Nutzung epochenübergreifend zur Verfügung stehender maßgeblicher Katasterzahlen. Die resultierenden Beobachtungen stehen stets in Abhängigkeit der vorherrschenden gesellschaftlichen, politischen, rechtlichen und technologischen Voraussetzungen ihres Entstehungszeitraums. Um eine korrekte Interpretation und stochastische Einschätzung der Beobachtungen vornehmen zu können, ist das Wissen über die historische Entwicklung des Liegenschaftskatasters von entscheidender Bedeutung.

Aus diesem Grund soll in diesem Abschnitt der Fokus auf die geschichtlichen Gegebenheiten gelegt werden, welche zur Entwicklung des Katasters in Mecklenburg-Schwerin führten. Dabei wird sich bewusst auf das Gebiet des ehemaligen Großherzogtums Mecklenburg-Schwerin beschränkt, da das in Abschnitt 5 erläuterte Anwendungsbeispiel in dieses Territorium fällt.

4.1. Ständevertretung und territoriale Gliederung Mecklenburgs

Um einen Überblick über die historische Entwicklung des Liegenschaftskatasters auf dem Gebiet des ehemaligen Großherzogtums Mecklenburg-Schwerin, welches in der Abbildung 22 auf Seite 74 dargestellt ist, zu erhalten, muss zum Verständnis zunächst ein Blick auf die bis 1918 in Mecklenburg geltende Ständevertretung geworfen werden. In diesem Zeitraum bestand ein Ständelandtag, der durch den landesgrundgesetzlichen Erbvergleich von 1755 bis 1918 legitimiert war. Erst danach trat ein demokratisch gewähltes Landesparlament an seine Stelle (vgl. Greve 2015, S. 5).

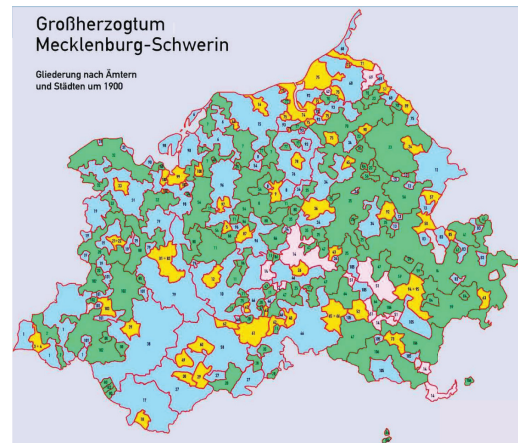
Der Staat setzte sich aus drei Territorien zusammen, deren einzelne Stände Teil des Ständelandtages waren:

- dem Domanium,
- der Ritterschaft und
- der Landschaft.

Es bestanden jeweils eigene Ämter für die Ritterschaft und das herzogliche bzw. königliche Besitztum, welches die Bezeichnung Domanium trug. Hinzu kamen die Magistrate für die Besitzstände der Städte, die weder zum Domanium noch zur Ritterschaft gehörten. Ergänzt wurde diese Verwaltungsstruktur durch die Klosterämter für die mecklenburgischen Landesklöster Ribnitz, Dobbetin und Malchow. „Eine weitere Gliederung, speziell in der Vertretung der Stände, ergab sich in Mecklenburg als Folge der historischen Entwicklung des Landes, das zwar in zwei Herzogtümer, ab 1815 Großherzogtümer, geteilt war, aber aus ständischer Sicht eine Einheit bildete.“ (Greve, 2015, S. 5) Die ständische Verfassung prägte die Historie des Katasters in Mecklenburg. Dieser Umstand war die Ursache dafür, dass das Vermessungswesen zersplittert war - jeweils für das Domanium, die Ritterschaft, die Landesklöster und die Landschaft. Ausschließlich für das landesherrliche Besitztum, das Domanium, einschließlich der Landesvermessung, bestand bis 1918 ein eindeutig gültiges Vorschriftenwerk (vgl. Greve 2015, S. 5).



(a) Historische Karte von Mecklenburg 1789 (Höckmann)



(b) Ständevertelung im Großherzogtum Mecklenburg-Schwerin (Schwenn)

Abbildung 22: Abbildung (a) zeigt das Territorium von Mecklenburg im Jahr 1789, während (b) die politische Ständevertelung im Großherzogtum Mecklenburg-Schwerin mit orangefarbenen Landschaftsämtern, grünen Ritterschaftsämtern, blauen Domanialämtern und pinken Klosterämtern darstellt.

4.2. Überblick über die zeitliche Entwicklung von den Anfängen bis zur Gegenwart

Die nachfolgenden zusammengefassten geschichtlichen Ausführungen beziehen sich auf das Gebiet des herzog- und später großherzoglichen Mecklenburg-Schwerin und sind genauer auf das Geschehen im Domanium, die spätere Deutsche Demokratische Republik (DDR) und das heutige Land Mecklenburg-Vorpommern beschränkt.

Anfänge der Vermessung, Registrierung und Bonitierung

Die heutige Bezeichnung *Kataster* und die Assoziationen, die damit verbunden werden, fanden in offiziellen Zusammenhängen erst spät Verwendung. Zuvor wurde der Begriff Register genutzt, da zu Beginn die Steuererhebung im Mittelpunkt stand. Im 12. Jahrhundert kam es zur Einführung der ersten Register der Bede (ordentliche Steuern) und der Landbede (außerordentliche Steuern) der jeweiligen Territorialherren. Die Grundlage dieser Register zur Steuer- und Abgabenerhebung war die Hufe⁴ nach der deutschen Hufenordnung. Die Hufen in Mecklenburg entsprachen zu dieser Zeit etwa 20,7 ha Acker.

Im Jahre 1628 ließ Wallenstein im Herzogtum Güstrow zum ersten Mal ein Landeskataster für Steuerzwecke anlegen. Das Wallensteinsche Kataster war rein verzeichnishaft und beruhte auf den Angaben der Besitzer, aufgrund dessen, wies es zahlreiche Fehler auf. Innerhalb des Domaniums war die Anlage summarisch für die einzelne Ämter (vgl. Greve 2015, S. 5, 6).

Im Jahr 1701 erfolgte die erste Vermessung Mecklenburgs. Die Notwendigkeit bestand, aufgrund der Feststellung der Fehlerhaftigkeit des Wallensteinschen Katasters und da es infolge des Dreißigjährigen Krieges zu Veränderungen in der Agrarstruktur kam. Daraufhin wurde 1703 durch eine Instruktion das Ziel einer Hufenrektifikation⁵ sowie die Vermessung und Bonitierung⁶ im Domanium festgelegt.

In diesem Zusammenhang erfolgte die Einführung eines neuen Maßstabs für die Bonitierung. Zur Anwendung kam nicht mehr die flächenbezogene, sondern die bonitierte Hufe. Die Instruktion enthielt dabei keine Vorschriften für das Messverfahren. Streckenmessungen wurden mit einer fünf Ruten (ca. 23,3 m) langen Messkette ausgeführt, die aus Gliedern von jeweils einer Fußlänge bestand.

Um die einzelnen Feldmarken⁷ legte man Umringe, deren Brechungswinkel mithilfe eines Messtisches (Mensula) rein grafisch ermittelt wurden. Die Messergebnisse dienten ausschließlich dem Zweck der Flächenberechnung. Ab 1725 erfolgte im Domanium eine erneute Hufenrektifikation (vgl. Greve 2015, S. 22–26).

Direktorialvermessung in Mecklenburg

Nach der Hufenrektifikation im Domanium herrschte große Unzufriedenheit über die Besteuerung der Hufen des Besitzes der Ritterschaft. Um ständigen Auseinandersetzungen als Folge dieser Unzufriedenheit ein Ende zu setzen, gab es einen Konvokationstag in Rostock, zu dem

⁴Dies war ein Anteil an der gemeinschaftlich genutzten Feldmark, aber auch eine Einheit zur Bemessung von Steuern und Abgaben.

⁵Neuordnung, Berichtigung oder Vermessung der Hufen.

⁶Steuerliche Bewertung von Liegenschaften wie beispielsweise Hufen.

⁷Feldmark entspricht der heutigen Bezeichnung Gemarkung, zunächst ohne Unterteilung in Fluren.

die Deputierten der Stände zusammengerufen wurden. Das Ziel war die Unterzeichnung eines Vergleichs, welcher die Beziehungen der Stände festlegte. Dies geschah am 18. April 1755. Das Dokument trägt die Bezeichnung *Landesgrundgesetzlicher Erbvergleich*.

Der Widerstand der Ritterschaft gegen die Besteuerung der ritterschaftlichen Hufen bestand auch nach der Unterzeichnung weiterhin. Im Vergleich kam es zur Festlegung, dass die Besitztümer der Ritterschaft durch die sogenannte *Direktorialvermessung* neu vermessen und bonitiert werden sollten.

Diese Rektifikation erhielt den Namen *Direktorial*, da die Herzogliche Direktorial-Landes-Vermessungs-Commission zu Rostock sie durchführte. Die Arbeiten der Vermessung und Bonitierung begannen im Jahr 1776 und wurden 1779 mit dem ritterschaftlichen Hufenkataster abgeschlossen.

Die Vorgehensweise ähnelte dabei dem Verfahren von 1703 im Domanium. Von jeder Feldmark sollten zwei Reinkarten angelegt und dazu ergänzend Feldregister erstellt werden (vgl. Greve 2015, S. 27–34).

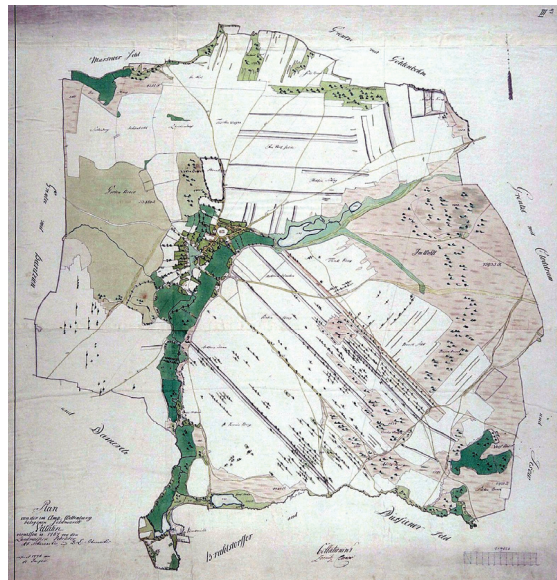


Abbildung 23: Direktorialvermessungskarte von Vellahn, im Amt Wittenburg (1774)
(Greve 2015, S. 31)

Feldmarksregulierung in Mecklenburg

Parallel zur Direktorialvermessung fanden im Domanium die ersten Regulierungen der Feldmarken statt. Zu Beginn wurden die Flächen der Feldmarken gemeinschaftlich bewirtschaftet und landwirtschaftlich genutzt. Die Notwendigkeit für die Regulierungen ergab sich unter anderem aus der Einführung sogenannter *Dorfs-Contracte* bzw. *Pachtversicherungen*. Diese wurden Ende des 18. Jahrhunderts eingeführt, um ein erhöhtes Steueraufkommen zu generieren.

Seit 1753 kam es vermehrt zur Schaffung sogenannter Kleinbauernstellen, um die Landflucht und Auswanderung zu verringern. Diese Kleinbauern, auch Büdner genannt, erhielten kleine Hofstellen mit Haus und Land zur Selbstversorgung. Für die Bereitstellung mussten die Büdner einen Erbenzins bzw. eine Erbpacht entrichten.

Ab dem Jahr 1820 kam es zur Abschaffung der Leibeigenschaft⁸ (Erbuntertänigkeit). 1827 entstanden im Zuge der gesellschaftlichen Entwicklungen vermehrt Erbpachthufen bzw. Erbpachtstellen. Die Bauern waren keine Leibeigenen mehr, sondern zahlten Pacht für ihr Land. Allerdings war die Auswirkung der Leibeigenschaft auch vor ihrer Abschaffung im Domanium insgesamt eher gering, da die Bauern in der Regel als Hauswirte auch Besitzer ihrer Hufen waren, die zudem vererbt wurden.

Die Einführung der Pachtversicherungen machte es notwendig, die *Kommunion*⁹ in den Feldmarken aufzuheben. Hierfür mussten in der Regel Vermessungs- und Bonitierungsarbeiten durchgeführt werden, um die Ländereien aufzuteilen.

Ein weiterer Aspekt der Regulierung ergab sich aus der geänderten und zunehmenden Ackerkultur. Die Einführung der mecklenburgischen Schlagwirtschaft erforderte die Aufteilung der landwirtschaftlichen Flächen in *Schläge*. Damit konnte festgelegt werden, welche Flächen brach lagen und welche bestellt wurden. Außerdem war hierdurch ein Wechsel der angebauten Erzeugnisse möglich. Auch hierfür waren Vermessungs- und Bonitierungsarbeiten notwendig. Zunächst erfolgte allerdings nur eine grobe Bonitierung in *katastrierte Hufen*. Das daraus hervorgegangene Hufenkataster blieb der Öffentlichkeit jedoch vorenthalten.

Im Zuge der Regulierungen kam es zunächst zur Einteilung der Feldmarken in Schläge, allerdings ohne Aufhebung der Kommunion. Ein Schlag wurde somit weiterhin von mehreren Bauern bewirtschaftet. Eine vollständige Separation, also die Aufhebung der Kommunion, erfolgte häufig noch nicht. Teilweise kam es lediglich zur Auflösung *kommuner Flächen* ohne vollständige Separation der Feldmark. In diesem Zusammenhang spricht man von sogenannten *Koppeln*. Dies sind Hufen mit mehreren Schlägen und unterschiedlicher Bodenqualität. Zum Ende jeder Zeitpachtperiode, die in der Regel 24 Jahre dauerte, kam es zu einer neuen Feldmarksregulierung sowie zu Bonitierungen und Neuberechnungen der Abgaben, beispielsweise der Pacht.

Als Folge der späteren Separationen entstanden Ausbauehöfte und zum Teil auch neue Orte. Die Errichtung der Erbpachthufen im Domanium erstreckte sich über den Zeitraum von 1820 bis zum Ende des Jahrhunderts.

Grundlage für die Feldmarksregulierung waren die im Rahmen der Direktionalvermessung und zum Teil auch der domanialen Vermessung gefertigten Karten im Maßstab 1:4800. Diese wurden im 19. Jahrhundert im Maßstab 1:3840 kopiert und dienten als Grundlage der neuen Feldmarkskarten und Feldregister. Die im 19. Jahrhundert entstandenen Karten durchliefen zum Teil eine Kartenerneuerung im 20. Jahrhundert und bildeten die Grundlage für das Einheitskataster in der DDR. Daraus lässt sich schließen, dass der Genauigkeitsgrad der Direktionalvermessung und zum Teil auch der domanialen Vermessung weitgehend in das rund 200 Jahre später aufgestellte Einheitskataster übernommen wurde.

Eine Vorform des heutigen Grundbuchs als Eigentumssicherung findet sich bereits im 19. Jahrhundert. 1814 kam es zum Erlass der ersten Hypothekenordnung. Sie forderte, dass jedes Erbzinshöft und jede Büdnerei ein besonderes Hypothekenbuch in drei Folien zu füh-

⁸Die Leibeigenschaft, auch Eigenbehörigkeit genannt, bezeichnet eine vom Mittelalter bis in die Neuzeit in Europa verbreitete persönliche Verfügungsbefugnis eines Leiherrn über seine Leibeigenen (auch Eigenleute genannt).

⁹Kommunion ist die gemeinschaftliche Bewirtschaftung der Flächen der Feldmark.

ren hat. Der Inhalt stellte sich wie folgt dar:

- Erstes Folium: Bezeichnung des Grundstücks und Beschreibung der Hypothek
- Zweites und drittes Folium: Name des Grundbesitzers, Zeit der Erwerbung des Eigentums und die Art derselben inklusive der folgenden Veränderungen

Im Anschluss wurden die *Schuldposten* (Schulden) und die Tilgungen der Hypotheken aufgeführt. 1827 entstand eine Anweisung für die Domänenbeamten, die das förmliche Verfahren zum Anlegen und Führen von Hypothekenbüchern regelte. 1854 kam es zur Erweiterung der Vorschriften durch das *Gesetz über die Grund- und Hypothekenbücher für den Privatgrundbesitz in den Großherzoglich Mecklenburg-Schwerinischen Domänen*. Ziel dieses Gesetzes war die Sicherung des Eigentums (vgl. Greve 2015, S. 34–43).

Hierfür sollte ein Grund- und Hypothekenbuch für jedes Grundstück des Domaniums angelegt werden, das in Nutz Eigentum gegeben war. Das Grund- und Hypothekenbuch besaß drei Abteilungen:

- „Erste Abteilung: Beschreibung des Grundstücks, insbesondere die Flächengröße und der Hufenstand (Bonität)
- Zweite Abteilung: Zuschreibung (Verlassung) des Nutz Eigentums, Beschränkungen innerhalb der dem Nutz Eigentümer zugestandenen Dispositionsbefugnis
- Dritte Abteilung: Für alle sonstigen Belastungen“ (Greve, 2015, S. 40)

Neue Feldmesserordnung

Am 24. Juni 1873 ist die *Neue Ordnung für die Feldmesser in den Großherzoglich Mecklenburg-Schwerinschen Kammergütern* in Kraft getreten. Mit ihr änderte sich die Längeneinheit von Ruthen auf Meter. Damit galt das Meter als Längeneinheit, wie in der Maß- und Gewichtsordnung für den Norddeutschen Bund vom 17. August 1868 festgelegt. Diese war am 1. Januar 1873 in Kraft getreten und galt nun auch für den Bereich der Domänenverwaltung. Dadurch kam anstelle der bisherigen Messkette mit einer Länge von 5 Ruthen ein Stahlmessband oder eine Messkette von 20 Metern Länge zur Anwendung (vgl. Greve 2015, S. 235).

Die *Neue Feldmesserordnung* setzte neue Standards, welche die Hebung des katastertechnischen Niveaus anstrebten und realisierten. So war vorgesehen, dass Neumessungen an das Dreiecksnetz der Landesvermessung anzuschließen seien. Der Maßstab der Feldmarkskarten wurde auf 1:4000 festgelegt. Allgemein sollten die Messungen auf trigonometrischer oder polygonometrischer Grundlage basieren.

Ein weiterer Aspekt der Ordnung war die Sorgfalt bei der Vermarkung der Festpunkte (Dreiecks- und Polygonpunkte) sowie eine akribische Prüfung sämtlicher Feldmarksgrenzen und die Klärung von Differenzen vor Vermessungen. In zweifelhaften Fällen wurde bei den entsprechenden Domänen-Behörden schriftliche Meldung gemacht und die Richtigstellung beantragt. Darüber hinaus traf man detaillierte Festlegungen zur Flächenberechnung und zur Kartierung. Weiterhin spielten zum ersten Mal auch Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit eine größere Rolle.

Durch weitere Herausteilungen von Büdnereien und Häuslereien aus den einzelnen Hufen war

die Fortführung der Karten und Register durch Radieren bzw. Korrigieren notwendig. Infolge vermehrter Fortführungen kam es jedoch zur Unbrauchbarkeit der Karten und Register. Daher wurden ab 1878 für jede Feldmark Grundverhältnisakten angelegt und fortgeführt. Diese enthielten:

- Angaben über Alter und Qualität der Karten, einschließlich einer photographischen Kopie der aktuellen Karte,
- „Einteilungsregister der Feldmark mit dem Stand zum 1. Juli 1878“,
- „Pläne und Spezialregister über die Veränderungen ab dem 1. Juli 1878“ (Greve, 2015, S. 98)

Neben der Führung der Grundverhältnisakten sah eine Instruktion vom 28.10.1880 Ausführungsbestimmungen der Verordnung vom 30. April 1878 vor. Dabei wurden insbesondere Festlegungen zu Neumessungen getroffen. Neumessungen sollten vorgenommen werden:

- „wenn das vorhandene Kartenmaterial nicht die erforderliche Genauigkeit besitzt,
- wenn Parzellen abgezweigt werden, die nur einen Teil der Kartenfiguren umfassen.“ (Greve, 2015, S. 98)

In den Fällen von Neumessungen sollten Kopien der vorhandenen Karten für die Erstellung von Spezialplänen genutzt werden. Die anzulegenden Spezialregister basierten auf den Einteilungsregistern. Diese waren nun zusammen mit den Einteilungsregistern und einem Kartenverzeichnis Teil der Grundverhältnisakten. Berichtigungen sollten seit 1878 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht mehr in den Feldkarten, sondern in den *photographischen Gebrauchskarten* erfolgen.

Am 22. August 1887 wurde eine *Neue Instruktion* erlassen, die unter anderem eine unmittelbare Berichtigung der Karten, Register und Vermessungsprotokolle vorsah. „Dazu sollten Streichungen und Zuschreibungen, wenn die Veränderungen ganze Kartenfiguren betrafen, ausreichend sein.“ (Greve, 2015, S. 99)

In Ausnahmefällen entschieden die zuständigen Distriktsingenieure über Neumessungen, wenn Messungszahlen oder vermarkte Fixpunkte nicht vorhanden waren. Die Anfertigung von Spezialplänen sollte zudem nur noch in Ausnahmefällen erfolgen. Außerdem wurde gefordert, dass die seit 1878 in den Grundverhältnisakten dokumentierten Veränderungen nun auch in die betreffenden Karten und Register übernommen werden. Auch die Vermessungsprotokolle sollten im Original den Grundverhältnisakten beigelegt werden. Des Weiteren mussten ausreichend photographische Gebrauchskarten zur Verfügung stehen.

Die Fortführung fand ursprünglich ausschließlich in Spezialplänen und -registern statt und besaß keine graphische Dokumentation. Dies führte schnell zu Unübersichtlichkeit. Rückblickend scheint die Instruktion von 1887 erlassen worden zu sein, um eine bessere Übersichtlichkeit gewährleisten zu können (vgl. Greve 2015, S. 96–99).

Einen relevanten Punkt zur Eigentumssicherung stellt der Prozess der Abmarkung¹⁰ dar, der

¹⁰Die Abmarkung ist ein beurkundender Verwaltungsakt, bei dem festgestellte Grenzpunkte von Flurstücksgrenzen, soweit sie zugleich Grundstücksgrenzen sind oder werden sollen, amtlich die Übereinstimmung der gekennzeichneten Grenzmarken mit dem festgestellten Grenzpunkt bestätigt werden. Sie stellt die physische Realisierung des Grenzpunktes in der Örtlichkeit dar und dient zugleich der Sicherung des Grenzfriedens (vgl. LiVermVV M-V, Nr. 6.6).

vor 1912 nicht vorgeschrieben war. Als Grenzmarkierungen dienten daher topografische Merkmale wie Hecken, Gräben und Wege. Zu dieser Zeit wurden Grenzen lediglich abgepfählt. Bereits 1880 thematisierte der Rheinisch-Westfälische Geometerverein in einer Diskussion die Notwendigkeit der Abmarkung. Dies geschah in einer Denkschrift mit dem Titel *Die Sicherung des Grundeigentums durch allgemeine Vermarkung und beweiskräftige Grundkarten* (vgl. Greve 2015, S. 99–100).

Einführung der Grundbuchordnung

Mit dem Erlass der *Grundbuchordnung* am 24. März 1897 war ein Wandel vom bisherigen Steuerkataster hin zum Eigentumskataster notwendig. Nach § 2 Absatz 2 GBO bestand die Forderung nach einem amtlichen Verzeichnis der Grundstücke. Ein solches Verzeichnis wurde mit den Flurbüchern eingeführt. Aufgrund der ständischen Verfassung in Mecklenburg mussten einzelne Flurbuchbehörden eingerichtet werden:

- im Domanium die Domanialämter,
- in der Ritterschaft die Grundbuchämter für ritterschaftliche Landgüter,
- in den Städten die Magistrate,
- in den Klöstern die Klosterämter.

Grundlage für die Führung der Flurbücher in Mecklenburg war die Verordnung vom 9. April 1899 zur Ausführung der Grundbuchordnung. Die Aufgabe der Flurbücher bestand in der Sicherung der Grundstücke. Die Verordnung sah vor, dass die Identität der Grundstücke durch eine Nummer, die Bezeichnung, den Flächeninhalt sowie die Bonität gewährleistet wurde. Weiterhin sollte der geometrische Zusammenhang zwischen Flurbüchern und Karten gegeben sein. Dafür erfolgte die Beschriftung der Grundstücke mit den entsprechenden Nummern in der Karte. Eine Neumessung der Grundstücke zur Erstellung der Flurbücher war nicht vorgesehen und nicht erforderlich (vgl. Greve 2015, S. 100–101).

Vereinheitlichung des Katasters durch die 1912er Anweisungen

Zur Zeit des Deutschen Kaiserreichs (1871–1918), siehe Abbildung 24 auf Seite 81, war eine Angleichung des domanialen Katasters an die anderen Bundesstaaten vorgesehen. Es kam zum Erlass entscheidender Anweisungen, die sowohl den speziellen landständischen Bedingungen Mecklenburgs als auch den Anforderungen der Zeit gerecht werden sollten:

- am 15. März 1912 die *Anweisung für die Herstellung neuer Feldmarkskarten und Flurregister in der Domanialverwaltung des Großherzogtums Mecklenburg-Schwerin* und
- am 15. Juni 1912 die *Anweisung für die Erhaltung und Fortführung der Vermessungswerke in der Domanialverwaltung des Großherzogtums Mecklenburg-Schwerin*

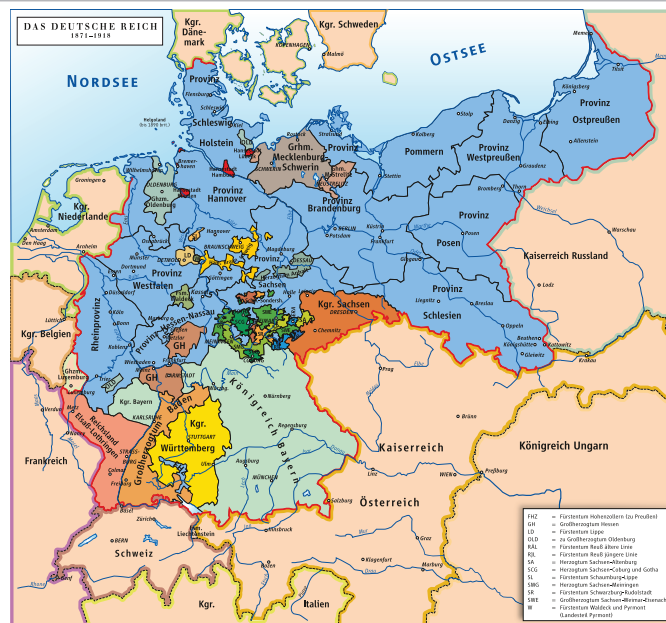


Abbildung 24: Historische Karte des Deutschen Reiches von 1871 bis 1918 (Ziegelbrenner 2008)

Die Anweisung zur Herstellung neuer Feldmarkskarten und Flurregister war keine Neumesungsanweisung. Allerdings wurden auf ihrer Grundlage bis in die 1930er-Jahre hinein zahlreiche Neumessungen vorgenommen. Die Anweisung gliederte sich in drei Abschnitte:

- „Herstellung neuer Feldmarkskarten und Flurregister durch Neuvermessung der ganzen Feldmark,
- Herstellung neuer Feldmarkskarten und Flurregister auf Grund vorhandener Karten und Register sowie
- Herstellung neuer Feldmarkskarten und Register auf Grund teilweiser Neumessung und teilweiser Benutzung vorhandener Karten und Register.“ (Greve, 2015, S. 102)

Die Feldmarkskarten und Flurregister sollten für die Flurbuchbezirke angelegt werden. Die Karten durften aus mehreren Blättern bestehen, ebenso wie die Register aus mehreren Bänden, jeweils für eine Flur¹¹. Feldmarkskarten, die durch Neukartierungen entstanden, hatten ausnahmslos im Maßstab 1:4000 zu erfolgen. Nebenzeichnungen und Teilkarten als Bestandteil waren im Maßstab 1:2000 oder 1:1000 zu fertigen. Bei Karten, die auf Grundlage vorhandener Unterlagen erstellt wurden, richtete sich der Maßstab nach den Ursprungskarten. Zudem sollte der Anschluss aller Feldmarkskarten an das Liniennetz der Landesvermessung gewährleistet sein.

In den Feldmarkskarten sollten unter anderem folgende Informationen nachgewiesen werden:

- die Grenzen aller auf der Feldmark belegenen Grundstücke,
- die Grenzen und Bezeichnungen der Bonitierungsabschnitte,
- die Lage der Gebäude,

¹¹1912 eingeführte Bezeichnung für einen Teil einer Feldmark.

- die Bezeichnung der Grundstücke mit römischen Zahlen,
- die Bezeichnung der Kartenstücke (heute Flurstücke) mit arabischen Zahlen,
- vorhandene trigonometrische und polygonometrische Netzpunkte mit ihren Bezeichnungen,
- der Kartenmaßstab, die Nordrichtung, ortsübliche Flurnamen,
- die Bezeichnung der angrenzenden Feldmarken,
- die Bezeichnung der öffentlichen Verkehrswege sowie die Fließrichtung größerer Wasserläufe,
- Angaben zum Ursprung der Karte.

Die Anweisung sah vor, dass die Flurregister alle Grundstücke, welche eine rechtliche und wirtschaftliche Einheit bildeten, der jeweiligen Flur enthalten sollten. In abgeschlossenen Flächenregistern wurden die detaillierten Informationen zu jeweils einem Grundstück geführt.

Diese waren:

- die Flurnummer,
- die Kartenstücknummer (heute Flurstücksnummer),
- die Kulturart,
- die Flächengrößen der Kartenfiguren und Bonitierungsabschnitte,
- die Bonität in Scheffel Einsaat und Fuder Heu,
- Vermerke über streitige Grenzen,
- die Gesamtflächengröße und Bonität des Grundstücks.

Ebenfalls in der Anweisung festgelegt war die örtliche Feststellung der Grenzen inklusive Grenzverhandlung unter Beteiligung der Grundstücksbesitzer (im Domanium der Landesherr als Obereigentümer) bei Fortführungsvermessungen (vgl. Greve 2015, S. 101–103).

Aus den Festlegungen der Anweisungen von 1912 lassen sich folgende Überlegungen ableiten:

- „Die in Mecklenburg vorliegenden Flurkarten im Maßstab 1:4000 dürften auf der Grundlage von Neumessungen nach der Feldmesserordnung von 1873 oder nach der Anweisung von 1912 entstanden sein.
- Analog kann angenommen werden, dass die Flurkarten im Maßstab 1:2000 als Teilkarten definiert waren, insbesondere bei uneinheitlichen Maßstäben innerhalb einer Gemarkung.
- Die vorhandenen Flurkarten in den Maßstäben 1:3840, 1:4800, 1:1920 und anderen beruhen auf einer Grundlage vor 1873, auch wenn sie teilweise auf der Basis der Anweisung von 1912 erneuert wurden.
- Aus ergänzenden Neumessungen für Teilkarten dürften die teilweise unterschiedlichen Maßstäbe innerhalb derselben Gemarkung herzuleiten sein.“ (Greve, 2015, S. 105)

Das Ziel, die Katasterführung im Domanium mit der in allen Ländern des Reiches zu vereinheitlichen, war nur in sehr begrenztem Maße erfolgreich. Die Begrenztheit dieser Vereinheitlichung war den politischen Umständen während des Ersten Weltkrieges sowie der Nachkriegszeit geschuldet. Beide Anweisungen blieben bis in die Jahre 1934 bis 1940 im Zusammenhang mit der Reichsbodenschätzung und neuen Vorschriften für ein Reichskataster gültig.

Im Jahr 1918 löste sich der Ständestaat auf. Die neue demokratische Staatsverfassung in Mecklenburg-Schwerin und Mecklenburg-Strelitz führte 1920 zu einer anderen Art der Besteuerung des Grundvermögens. Mit dem Grundsteuergesetz entfiel die Notwendigkeit zur Erhaltung des Hufenstandes.

Zahlreiche Neumessungen fanden aufgrund der in den 1920er-Jahren einsetzenden Siedlungstätigkeit statt. Ab 1940 gingen die ritterschaftlichen Vermessungswerke an die Kreisvermessungsämter über, die nach der Auflösung der Domanialämter bereits die domanialen Vermessungswerke übernommen hatten (vgl. Greve 2015, S. 106–107).

Einführung des Reichskatasters

Die Vereinheitlichung des Katasters und damit die Einführung eines Einheitskatasters wurde in der Weimarer Republik weiter behandelt. Hierfür wurde am 27.04.1921 der Beirat für das Vermessungswesen gegründet. Dieser bestand bis zu seiner Auflösung 1935 aus Fachleuten aller deutschen Länder.

Ein einheitliches Katastersystem für alle deutschen Bundesländer musste moderne Funktionen erfüllen und zugleich die Aufgabe als amtliches Verzeichnis der Grundstücke wahrnehmen:

- den tatsächlichen Nachweis aller Liegenschaften,
- die historisch primäre Funktion als Grundlage für die Besteuerung,
- die Grundlage für die Erhebung kommunaler Abgaben und Beiträge,
- die Grundlage für Planungen,
- die Grundlage für das Verwaltungshandeln, einschließlich Statistik.

Um ein solches Kataster zu ermöglichen, beschloss die Reichsregierung unter Hitler am 3. Juli 1934 das „Gesetz über die Neuordnung des Vermessungswesens“. Darüber hinaus sollten mit diesem Gesetz Mängel verschiedener Art im Vermessungswesen beseitigt werden. Es war vorgesehen, das Gesetz schrittweise durch Verordnungen zu ergänzen. Bis 1940 entstand so ein komplexes Regelwerk aus Gesetzen, Ausführungsverordnungen und Runderlassen mit insgesamt 18 Erlassen.

Durch die Rechtsvorschriften wurde das Vermessungswesen Reichsangelegenheit und dem Reichsminister des Innern unterstellt. Zudem wurde der Begriff Liegenschaftskataster eingeführt. Das Reichskataster entstand durch den Runderlass vom 23. September 1936 „Übernahme der Bodenschätzungsergebnisse in die Liegenschaftskataster“. Dieser Erlass forderte eine einheitliche Form des Liegenschaftskatasters für das gesamte Reichsgebiet. Um diese Forderung zu erfüllen, musste ein Wandel von 40 unterschiedlichen Steuerkatastersystemen hin zu einem Liegenschaftskataster als Mehrzweckkataster geschaffen werden.

**Übernahme
der Bodenschätzungsergebnisse in die
Liegenschaftskataster (BodSchätzÜbernGrL.)**
RdGrL. des Reichsministers des Innern vom 23. Sept. 1936 —
VI A 13352/6833

Abbildung 25: Entstehung des Reichskatasters (Rösch u. Kurandt 1939)

„Als Liegenschaften im Sinne des Reichskatasters wurden «alle bebauten und unbebauten Flächen, die Gebäude, das Erbbaurecht, das Erbpachtrecht und das Stockwerkseigentum, wenn für dieses nach Landesrecht ein Grundbuchblatt geführt wird» bezeichnet.“ (Greve, 2015, S. 131)

Der Erlass legte Grundlagen fest, die im Wesentlichen noch heute Anwendung finden, etwa das Katasterkartenwerk und das Katasterbuchwerk. Das Kartenwerk sollte aus jeweils zwei Karten bestehen: einer Flurkarte im Sinne des § 2 Absatz 2 GBO sowie Schätzungskarten. Für das Buchwerk als beschreibenden Teil des Katasters wurden einheitliche Vordrucke eingeführt. Außerdem wurden feste Bezeichnungen mit Definitionen festgelegt:

- | | |
|-------------------------|---|
| – Liegenschaftskataster | – Nr. des Liegenschaftsbuches (Bestandsblatt) |
| – Gemarkung | – Gebäudebuch |
| – Flur | – Nr. des Gebäudebuches (Gebäudeblatt) |
| – Flurstück | – Eigentümerverzeichnis |
| – Lagebezeichnung | – Fortführung |
| – Nutzungsart | – Fortführungsmessung |
| – Flurkarte | – Fortführungsriss |
| – Katasterbücher | – Veränderungsnachweis |
| – Liegenschaftsbuch | – Grenzverhandlung |

Ebenso wurde die Flurstücksnummerierung eingeführt, die im Allgemeinen noch heute in den meisten deutschen Bundesländern Grundlage der gültigen Vorschriften ist.

Die Umsetzung der Rechtsvorschriften des Reichsministers des Innern in Mecklenburg machte Änderungen in der Form der Flurkarten und Register sowie in der Terminologie erforderlich. Daher wurde am 15. Dezember 1936 die *Bekanntmachung vom 7. November 1936 über Änderung der Anweisung vom 15. März 1912 für die Herstellung neuer Feldmarkskarten und Flurregister und der Anweisung vom 15. Juni 1912 für die Erhaltung und Fortführung der Vermessungswerke* im Regierungsblatt veröffentlicht. Diese glich sowohl die Form der Flurkarten und Register als auch die Begriffe dem Reichskataster an.

Die Durchführung der notwendigen Erneuerungen stand unter der Kontrolle des Landesvermessungsamtes. Dieses war seit 1925 Nachfolger des Messungsbüros der Kammer in Schwerin. Als Unterstruktur bestanden Vermessungsämter in den Kreisen Güstrow, Hagenow, Ludwigslust, Malchin, Parchim, Rostock, Schwerin, Waren und Wismar, ergänzt durch die strelitzschen Ämter Schönberg und Stargard. Hinzu kamen die städtischen Vermessungsämter in Rostock und Schwerin (vgl. Greve 2015, S. 129–132).

Bodenreform in Mecklenburg

Nach dem Ende des Zweiten Weltkriegs am 8. Mai 1945 mit der Kapitulation Deutschlands wurden auf der Potsdamer Konferenz am 2. August 1945 vier Besatzungszonen festgelegt, wie in Abbildung 26 auf Seite 85 erkennbar. Durch die neuen Landesgrenzen kam es zu erheblichen Gebietsverlusten, besonders im Osten. Dies hatte die Vertreibung und Umsiedlung von Millionen Deutschen in Richtung Westen zur Folge. Ein großer Teil ließ sich in der sowjetischen Besatzungszone nieder.

Diese Flüchtlingsströme brachten massive Probleme mit sich. Sie verschärften die ohnehin unsichere Ernährungs- und Wohnungssituation infolge der Zerstörungen des Zweiten Weltkriegs. Die Lösung war eine Umstrukturierung der Landwirtschaft.

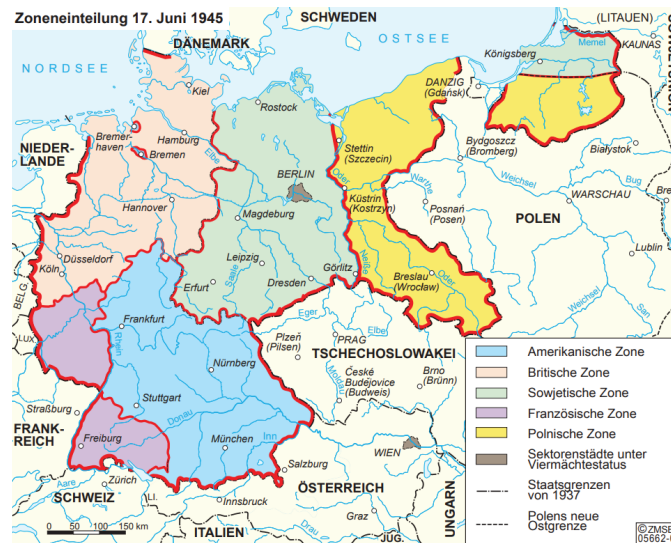


Abbildung 26: Zoneneinteilung Deutschlands nach 1945 (bpb)

Eine systematische Umstrukturierung und Umverteilung der landwirtschaftlichen Flächen sollte mit der Bodenreform einhergehen. Diese wurde am 5. September 1945 durch den Ministerpräsidenten des Landes Mecklenburg mit der *Verordnung über die Bodenreform im Land Mecklenburg-Vorpommern* erlassen. Ziel der Bodenreform war es, die landwirtschaftlichen Flächen, die sich im Besitz weniger (teils adliger) Familien befanden, welche auch als Junker bezeichnet wurden, neu zu verteilen. Betriebe aus diesen Familien mit über 100 ha Land hielten einen Anteil von 44 % der ostelbischen Gebiete. Diese Großgrundbesitzer sowie Betriebe von Personen, die als Kriegsverbrecher oder aktive Mitglieder der Nationalsozialistischen Deutschen Arbeiterpartei (NSDAP) eingestuft waren, enteignete man entschädigungslos. Insgesamt wurden so 7160 Betriebe enteignet und zusammen mit staatlichem sowie kommunalem Land in den sogenannten Bodenfonds aufgenommen und zur Verteilung bereitgestellt. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen gingen als persönliches, vererbbares und unveräußerliches Eigentum an Landarbeiter, Umsiedler, Kleinbauern, Neubauern, landarme Bauern sowie zu 3,5 % an selbstversorgende Arbeiter und Angestellte. Für den Erhalt von Bodenreformland war über mehrere Jahre eine Rente zu zahlen (vgl. Mehlitz 2010, S. 28–30; IUGR 2025). Die Durchführung der Bodenreform hatte höchste Priorität in der sowjetischen Besatzungszone. 1945 wurden in den Gemeinden, in den Kreisen und im Land Bodenkommissionen gebildet. „Die Gemeindebodenkommissionen hatten unmittelbar die Aufteilung des Grundbesitzes vor Ort durchzuführen. Dazu hatten sie Aufteilungspläne für den Acker und das Grünland zu erarbeiten, diese im Feld umzusetzen und durch Los zuzuteilen.“ (Greve, 2015, S. 133) Die Kreisbodenkommissionen waren für die Organisation, Überwachung und Sicherung der Aufteilungen sowie für die Übernahme in Kataster und Grundbuch zuständig. Zu Beginn war das Ziel, bis zum Jahresende 1945 die Flächen zu vermessen und in Kataster und Grundbuch zu übernehmen.

Am 1. Januar 1946 erließ die Verwaltung für Land- und Forstwirtschaft der sowjetischen Be-

satzungszone die *Richtlinien für den Einsatz des Vermessungswesens bei der Durchführung des Wiederaufbaus und bei der Durchführung der Bodenreform*. Der übergeordnete Zweck der Richtlinien war eine schnelle und einwandfreie vermessungstechnische Durchführung der Bodenreform sowie die Übernahme der aufgeteilten Liegenschaften in Kataster und Grundbuch.

Die Arbeiten fanden unter enormem Druck der sowjetischen Führung statt. Kommandanten forderten, die Bearbeitung ganzer Güter innerhalb eines Tages abzuschließen. Dies war angesichts der zu vermessenden Fläche und der geringen Zahl an Fachkräften besonders heikel: in Mecklenburg-Vorpommern mussten 972 000 ha von nur 260 Fachkräften bearbeitet werden. Am 5. September 1950 wurde in einem Abschlussbericht vom Innenminister der Abschluss der Bodenreform verkündet. Etwa 1 050 000 ha aus dem Bodenfonds wurden umverteilt. Hinsichtlich der Qualität der Vermessung für die Bodenreform war man teils sogar hinter die Anforderungen der Direktorialvermessung des 18. Jahrhunderts zurückgefallen. Insbesondere in der ehemaligen Ritterschaft kam es dadurch zu einer weiteren Verschlechterung des Katasters. In den 1950er-Jahren wurden daher in vielen Gemarkungen Neumessungen durchgeführt.

Am 2. März 1949 kam es zum Erlass einer *Anordnung über die Wiederherstellung und Fortführung des Liegenschaftskatasters*. Nach dieser provisorischen Vermessungs- und Katastervorschrift gab man 1952 die *Fortführungsanleitung für das Vermessungs- und Katasterwesen* heraus. Ihre Grundlage bestand im Wesentlichen auf dem Runderlass von 1940 *Fortführung des Liegenschaftskatasters* (vgl. Greve 2015, S. 133–139).

Entwicklung des Liegenschaftskatasters in der DDR

Nach dem Zweiten Weltkrieg richtet man auf dem Gebiet der Sowjetischen Besatzungszone (SBZ) als Verwaltungseinheit fünf Länder ein. Am 7. Oktober 1949 kam zur Gründung der DDR. Im Jahr 1952 entstand mit dem *Gesetz über die weitere Demokratisierung (...)* vom 23.07.1952 eine neue Verwaltungsstruktur:

Die bisherigen Einheiten wurden durch 14 Bezirke plus die Hauptstadt Berlin ersetzt.

Die Bezirke waren verwaltungstechnisch durch einzelne Kreise weiter untergliedert.

In der DDR sollte das Vermessungswesen vollständig in staatliche Hände gelegt werden. Die Organisation fand in staatlichen Betrieben und den Liegenschaftsdiensten statt. In den Räten der Kreise entstanden die Abteilung Kataster. (vgl. Greve 2015, S. 133, 139; Mehlitz 2010, S. 33)

Die *Verordnung über die Übertragung der Angelegenheiten der freiwilligen Gerichtsbarkeit* vom 15.10.1952 übertrug die Zuständigkeit, die zusammenhängenden Aufgaben sowie die Führung des Grundbuchs und der Grundakten auf die Abteilung Kataster. Erst 1991 waren wieder die Amtsgerichte zuständig. (vgl. Greve 2015, S. 139)

In den 1950er-Jahren kam es gemäß den Vorgaben der Reichsbodenschätzung zur Beendigung der durch den Zweiten Weltkrieg unterbrochenen Bodenschätzung. Eine zentrale Aufgabe war die Aufstellung eines Einheitskatasters. Zusätzlich wurden nun Anforderungen an das Kataster gestellt, um Aufgaben der staatlichen Landwirtschaftsplanung zu erfüllen und damit den Zweck eines Wirtschaftskatasters zu erreichen.

Zur Vereinheitlichung des Katasters strebte man zunächst durch die Hauptabteilung Vermessung im Ministerium für Landwirtschaft ein Überblick über die vorhandenen Vermessungsunterlagen angestrebt. Am Beispiel des Kreises Waren lagen folgende Unterlagen vor:

- „Direktorial- und sonstige Vermessungen aus dem 18. Jahrhundert: 8,3 %
- Vermessungen ohne Handrisse (1800–1865): 21,4 %
- Linienmessungen mit Handrissen: 1,2 %
- Anschluss an die alte Landestriangulation mit Handrissen (1874–1897): 1,0 %
- Anschluss an die neue Landestriangulation mit Handrissen (ab 1898): 25,4 %
- Bodenreformvermessungen mit Handrissen, Einmessungen zur Karte von 1945 an: 35,2 %
- Bodenreformvermessungen mittels Rundpolygon ohne Anschluss an die Landestriangulation ab 1945: 7,4 %“ (Greve, 2015, S. 141)

Durch diese Aufstellungen konnte die Qualität der Vermessungen flächenmäßig erfasst werden.

Im Februar 1953 erhielten die Kreise die Anweisung zur Aufstellung des Einheitskatasters. Hierfür waren die Durchführungsbestimmungen und Vorschriften des Reichskatasters nach Rösch u. Kurandt sowie die Ergänzungen und Arbeitsanleitungen der Hauptabteilung des Ministeriums des Innern der DDR maßgeblich.

Damit wurde bewusst an die Einführung des Einheitskatasters der 1930er-Jahre angeknüpft. Infolge der Vorbereitungen verglich man die Gemarkungsgrenzen der einzelnen Karten miteinander. Dabei traten die Spannungen der als Inselkarten vermessenen Feldmarkskarten erneut deutlich hervor. Trotzdem erfolgte die Anordnung, dass die Mutterpausen der Urkarten für das Einheitskataster als Inselkarten bei gleichbleibendem Maßstab zu erstellen seien, in dem Wissen, damit auch die Spannungen zu übernehmen.

Im *Leitfaden für die Anfertigung von Mutterpausen für das Einheitskataster* von 1955 wurden die Umarbeitungen des Kartenwerks festgelegt. Er enthielt zahlreiche Generalisierungen und Änderungen in den Signaturen gegenüber den Urkarten. Parallel zur Kartenumarbeitung erfolgte auch eine Erneuerung des Katasterbuchwerks: Bestehende Flurbücher gingen in eine neue Form über, fehlende Exemplare entstanden aus den Flurregistern (Feldregister, Einteilungsregister) neu. Daraus entstanden die Liegenschaftsbücher.

Der Aufbau des Einheitskatasters war durch die unterschiedlichen Katastersysteme der ehemaligen Länder und Regionen der DDR erschwert. Völlig verschiedene Kataster- und Vermessungsunterlagen mussten bearbeitet werden. Aufgrund des Umfangs und der verfügbaren Zeit war weder eine ausreichende Genauigkeitsanalyse noch eine umfassende Erneuerung möglich. Dies führte dazu, dass historische Mängel des Katasters in das Einheitskataster übernommen wurden.

1956/57 war die Kampagne zur Einführung des Einheitskatasters beendet. Damit bestand rein formal ein einheitliches Kataster, das jedoch aufgrund unterschiedlicher Grundlagen inhaltlich zu keiner Zeit vollständig einheitlich war. Hinsichtlich der Lagegenauigkeit der Grenzen und der Genauigkeit der Flächenangaben, vor allem wegen des fehlenden oder aufgegebenen Koordinatenbezugs, war es nicht zeitgemäß. Die Archivierung der Katasterdokumente erfolgte durch die Liegenschaftsdienste und andere Archive.

Durch einen Beschluss des Ministerrates der DDR *Veränderung der Leitung, Organisation und Arbeitsweise des Liegenschaftsdienstes* vom 8. Dezember 1964 fusionierten die Abteilungen Kataster in den Bezirken zu je einem Liegenschaftsdienst. In den Kreisen richtete man Arbeitsgruppen als Außenstellen ein. Aufgrund der rasanten baulichen und landwirtschaftlichen Entwicklung nach dem Zweiten Weltkrieg war eine laufende Fortführung des Katasters nicht möglich, da nicht genügend Kapazitäten vorhanden waren. So kam es, dass die sogenannten *Komplexen Wohnungsbauten* nicht in den Flurkarten erfasst waren bzw. nur durch die Änderung der Nutzungsart der betroffenen Flurstücke in grober Form dokumentiert wurden.

Die Grundbuchführung für private Grundstücke erfolgte auch nach der Verordnung vom 15.10.1952 weiterhin nach der Grundbuchordnung von 1897. Die volkseigenen Grundstücke waren weder veräußerbar noch belastbar. Aus diesem Grund hatte die sowjetische Administration bereits in den unmittelbaren Nachkriegsjahren die entsprechenden Grundbücher vernichten lassen. Die Grundbücher privater Grundstücke führte man in Grundbuchheften je Eigentümer, im Gegensatz zur historischen Buchform. Ab 1976 erfolgte per Anweisung die Umstellung auf eine Führung der Grundbücher mittels maschinenschriftlicher Loseblatt-Grundbuchblätter. In geringem Umfang galt dies auch für volkseigene Grundstücke.

Am 10. Juni 1971 wurde die Fortführungsanleitung aus dem Jahr 1952 außer Kraft gesetzt und durch eine neue *Fortführungsvermessungsordnung* ersetzt. Das *Zivilgesetzbuch* der DDR löste 1977 das *Bürgerliche Gesetzbuch* ab. Dieses führte neue Regelungen ein, etwa die Aufnahme des Nutzungsrechts an Grundstücken und Gebäuden in das verbindliche Recht. Damit war eine Nutzungsübertragung an Betriebe, Institutionen, Parteien usw. möglich. „Im Jahre 1979 war mit dem Aufbau des «Integrationsregisters» begonnen worden. Dazu wurden die registrativen Angaben des Katasters verschlüsselt und auf Lochkarten erfasst.“ (Greve, 2015, S. 146)

Am 20. August 1982 erfolgte der Erlass der *Liegenschaftsvermessungsordnung*. Diese berücksichtigte die durch das Zivilgesetzbuch getroffenen Regelungen. Ziffer 14 der Ordnung sah die Einführung und flächendeckende Anwendung des EDV-Typenprojekts Computergestützte Liegenschaftsdokumentation (Colido) vor. In diesem wurden die registrativen Bestandteile der Liegenschaftsdokumentation erfasst:

- das Integrationsregister,
- die Abteilung 0 des Grundbuchblattes,
- das Nutzungsgrundbuch,
- die Liegenschaftsstatistik,
- die Abteilung 1 des Grundbuchblattes.

Ziffer 24 legte fest, dass jede Liegenschaftsvermessung in einem Bezugssystem auszuführen ist. Dieses Bezugssystem bestand aus Anschlusspunkten, die nach dem Prinzip der Nachbarschaft auszuwählen waren. Ziffer 76 ordnete an, dass die Feststellung der bestehenden Flurstücksgrenzen (Grenzfeststellung) einen wesentlichen Bestandteil jeder Urkundsmessung bildet. Die Ziffern 119 bis 122 ermöglichten die Sonderungen nach der Karte, ein Verfahren, mit dem die Flurstücksbildung nach dem Zivilgesetzbuch schnell durchgeführt werden sollte.

In der „Anweisung über das Grundbuch und die Grundbuchverfahren unter COLIDO“, die am 1. März 1988 in Kraft trat, wurde festgelegt, dass die Angaben des Integrationsregisters in der Elektronische Datenverarbeitung (EDV) zu erfassen sind. Diese Dokumentation bildete die Grundlage für den Aufbau des ALBs (vgl. Greve 2015, S. 141–148).

Entwicklung des Liegenschaftskatasters nach der Wiedervereinigung

Die friedliche Revolution in der DDR ermöglichte den Beitritt zur BRD. Diese trat am 3. Oktober 1990 mit dem Vertrag über die Herstellung der Einheit Deutschlands vom 31. August 1990 in Kraft. In den Beitrittsgebieten galt fortan das Grundgesetz (GG) der BRD, welches die Gesetzgebungsbefugnis für das amtliche Vermessungswesen zurück an die einzelnen Bundesländer übertrug.

Durch die Wiedervereinigung musste das einheitliche Vermessungswesen der DDR neu organisiert werden. Hierfür wurde im neugegründeten Bundesland M-V, bestehend aus den Bezirken Neubrandenburg, Rostock und Schwerin sowie ohne die Landkreise Perleberg, Prenzlau und Templin, am 21. Dezember 1990 der Beschluss *zur Errichtung und Arbeitsweise des Landesvermessungsamtes und der Kataster-, Vermessungs- und Grundbuchämter* erlassen. Damit kam es zur Gründung des Landesvermessungsamtes M-V sowie zeitgleich der Kataster-, Vermessungs- und Grundbuchämter als Landeseinrichtungen in den Landkreisen.

Die Umorganisation des Kataster- und Vermessungswesens in Verbindung mit dem gestiegenen Bedarf an Vermessungsleistungen im Zuge der Wiedervereinigung erhöhte den Bedarf an Fachkräften aller Ebenen. Hierfür nahmen Vermessungsingenieure und -techniker aus den alten Bundesländern Tätigkeiten im Bereich der Landes- und Kreisverwaltungen auf.

Zudem kamen neue Aufgaben auf das amtliche Vermessungswesen zu, beispielsweise:

- Grundstücksbewertung mit dem Aufbau von Gutachterausschüssen und Kaufpreissammlungen,
- Bodenordnung mit dem Aufbau von Umlegungsausschüssen, um zunächst die Zusammenführung von Gebäude- und Grundstückseigentum in den Gebieten des Komplexen Wohnungsbaus aus der DDR zu bewältigen.

Parallel bildeten sich auf Landesebene weitere Verwaltungen heraus, etwa für Flurneuordnung und Dorferneuerung. Auch hier bestand ein hoher Bedarf an Fachkräften.

In den Jahren 1990 bis 1992 war eine vorrangige Aufgabe der Kataster- und Vermessungsämter die Schaffung der Voraussetzungen zur Klärung von Alteigentumsansprüchen.

1992 wurde eine einheitliche rechtliche Grundlage für das öffentliche Vermessungswesen in M-V geschaffen: das *Gesetz über die Landesvermessung und das Liegenschaftskataster des Landes Mecklenburg-Vorpommern - Vermessungs- und Katastergesetz (VermKatG) - vom 21. Juli 1992*.

„Auf der Grundlage des Vermessungs- und Katastergesetzes wurden zwei weitere Vorschriften erarbeitet, nämlich vom Innenministerium die im Entwurf vom 10.06.1993 den Ämtern übergebene «Anweisung für die technischen Arbeiten zur Durchführung von Liegenschaftsvermessungen», die nicht in Kraft gesetzt wurde und die «Anweisung für die Durchführung

von Liegenschaftsvermessungen (LiVermA)», in Kraft gesetzt am 1. Januar 1996.“ (Greve, 2015, S. 153)

Ebenfalls 1992 trat das Land M-V der ALB-Nutzungsvereinbarung bei. Die bereits elektronisch geführten Daten der Colido schufen die Grundlage für die Einführung des bundeseinheitlichen ALB. Bis 1994 sollten sämtliche Colido-Daten des Landes in das ALB überführt werden. Die Verwaltung der Daten erfolgte zentral im Datenverarbeitungszentrum in Schwerin.

Im ALB waren folgende Flurstücksangaben enthalten:

- Flurstückskennzeichen, Fläche und Lagebezeichnung,
- tatsächliche Nutzung mit gesetzlicher Klassifizierung,
- Ergebnisse der Bodenschätzung,
- öffentlich-rechtliche Festsetzungen
(Baulasten, Naturschutzgebiete, Widmungen u. a.),
- Grundstückseigentümer, Erbbau- und Nutzungsberechtigte gemäß Grundbuchbestand.

Als zweiter Schritt sollte ein bundesweites Gemeinschaftsprojekt der AdV zur automatisierten Katasterführung eingeführt werden: die ALK. Sie war als Soll-Konzept bereits 1975 von der AdV beschlossen worden und bestand aus einem Datenbankteil und einem Verarbeitungsteil, die über eine Einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS) miteinander verbunden waren.

Die Einführung der ALK verlief in den einzelnen Bundesländern und Katasterämtern sowohl methodisch als auch in der Intensität sehr unterschiedlich. 2001 trat die Verwaltungsvorschrift *Verwaltungsvorschrift zum beschleunigten Aufbau der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in Mecklenburg-Vorpommern bis zum Jahre 2007 (VwV-ALK/1 M-V)* in Kraft und sollte die Einführung sowie die Fertigstellung beschleunigen. Dabei wurde versucht, durch die Digitalisierung der Flurkarten des DDR-Einheitskatasters mittels verketteter Transformation die einzelnen Gemarkungen homogen zusammenzuführen. 2008 erfolgte weitestgehend der Abschluss der Digitalisierungsarbeiten. Die Mängel aus der heterogenen Historie der Katasterkarten Mecklenburgs überführte man damit in die ALK. Sie waren somit Bestandteil des Ergebnisses von Auskunftersuchen durch Ämter, Gemeinden und anderen Verwaltungen (vgl. Greve 2015, S. 148–157).

Liegenschaftskataster als Geobasisinformationssystem

Das VermKatG vom 21. Juli 1992 unterlag mehrfach Änderungen, bis es am 30. Dezember 2010 durch das *Geoinformations- und Vermessungsgesetz M-V (GeoVermG M-V)* ersetzt wurde.

Die Ansprüche an das Liegenschaftskataster übersteigen heute seine wichtigste Aufgabe, als amtliches Verzeichnis der Grundstücke zu fungieren. Vielmehr ist es ein Mehrzweckkataster, das ein breites Aufgabenspektrum in Form eines Geobasisinformationssystems wahrnimmt.

- Es ist amtliches Verzeichnis der Grundstücke nach § 2 Abs. 2 GBO für den Eigentumsnachweis im Grundbuch.

- Es erfüllt die Anforderungen des Rechtsverkehrs, der Verwaltung und der Wirtschaft und berücksichtigt insbesondere die Bedürfnisse der Landesplanung, der Bauleitplanung, der Bodenordnung, der Ermittlung von Grundstückswerten sowie des Umwelt- und Naturschutzes.
- Es bildet mit seinen Geobasisdaten einen wichtigen Bestandteil der Geodateninfrastruktur in Deutschland.
- Es dient dem Nachweis der Ergebnisse der amtlichen Bodenschätzung der Finanzverwaltung und wird von den Finanzämtern zur Bewertung des Grundeigentums herangezogen.
- Es bietet die Grundlage für die amtliche Statistik der Flächennutzungen, die für raumordnungs- und umweltrelevante Entscheidungen auf Bundes-, Länder- und Gemeindeebene (z. B. für die Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung) benötigt werden.

Damit das Liegenschaftskataster diese Anforderungen erfüllen kann, wurde sein Aufbau als Geobasisinformationssystem im GeoVermG M-V verankert. So heißt es in § 4 Abs. 2 GeoVermG M-V: „Die Ergebnisse des amtlichen Vermessungswesens sind Geobasisdaten. Sie sind in Geobasisinformationssystemen zu führen. Den Geobasisdaten zugrunde liegende Sammlungen analoger Urkunden, Karten und Bilder sind Bestandteil der Geobasisinformationssysteme.“

Mit der Jahrtausendwende begann die konzeptionelle Umsetzung und Einführung eines amtlichen Informationssystems mit geografischer Datenbank. Es sollte eine Umstellung von den Systemen ALK und ALB auf ALKIS erfolgen. Der Anspruch an ALKIS ist, ein Modell der realen Welt auf der Basis internationaler Standards und Normen (ISO, OGC) zu schaffen. Die Einführung von ALKIS in M-V wurde durch mehrere Erlasse bestimmt:

- 07/2004: Erlass des Innenministeriums zur Einführung des Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystems (ALKIS),
- 03/2013: Erlass des Ministeriums für Inneres und Sport zur landesweiten Einführung von ALKIS bis zum 31.12.2014,
- 10/2014: Beginn der konkreten Umstellungsarbeiten in den unteren Vermessungs- und Geoinformationsbehörden (uVGB).

Um die Überführung der vorhandenen ALB- und ALK-Bestände nach ALKIS möglichst reibungslos, also weitgehend automatisiert, zu gewährleisten, erfolgte die Erarbeitung eines übergreifenden Migrationskonzeptes für Mecklenburg-Vorpommern. Die dafür notwendigen Verwaltungsvorschriften wurden durch die Fachaufsicht im Innenministerium vorbereitet und in Kraft gesetzt. In Abbildung 27 auf Seite 92 ist die Migration graphisch dargestellt. Seit 2015 ist ALKIS mit einer zentralen Datenverwaltung im Land Mecklenburg-Vorpommern eingeführt.

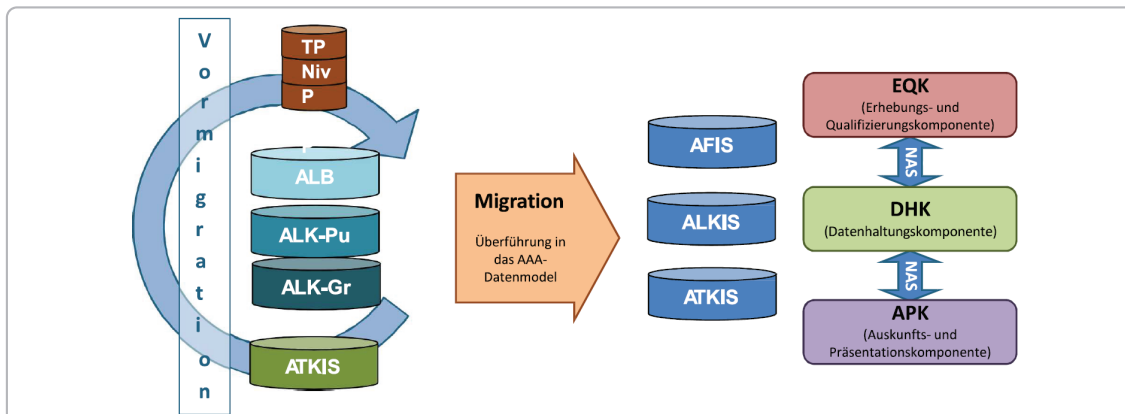


Abbildung 27: Schemata der Migration (Schwenn 2024)

Mit der Umstellung auf ALKIS schuf man ein zukunftsgerichtetes, nutzerorientiertes Geobasisinformationssystem des Liegenschaftskatasters. Dieses bedarf der ständigen Weiterentwicklung, um künftig eine Steigerung der Qualität und Aktualität der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters zu gewährleisten. Um diese Anforderungen zu erfüllen, wurden in einer Verwaltungsvorschrift vom 21. Dezember 2020 die Prioritäten im Liegenschaftskataster Mecklenburg-Vorpommern LiKatVV M-V festgelegt:

- Realisierung nutzerorientierter Vorbereitungs- und Übernahmezeiten,
- Umsetzung der Weiterentwicklung des Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystems (ALKIS),
- flächendeckende Erhebung und Aktualisierung des Gebäudebestandes,
- vollständige digitale Führung und Bereitstellung der Nachweise des Liegenschaftskatasters (außer Bodenschätzung),
- Durchführung geometrierverbessernder Maßnahmen im Liegenschaftskataster,
- Aktualisierung der tatsächlichen Nutzungen,
- Abstimmung der Geobasisdaten an den Verwaltungs- und Landesgrenzen,
- Übernahme, Führung und Bereitstellung der Ergebnisse der amtlichen Bodenschätzung.

Die Bearbeitung durch die untere Vermessungs- und Geoinformationsbehörde (uVGB) unterliegt weder einer festen Reihenfolge noch einer Gewichtung. Besonders die Durchführung geometrierverbessernder Maßnahmen im Liegenschaftskataster wird die zukünftigen Kapazitäten der uVGB vor Herausforderungen stellen, nicht zuletzt, weil die Historie des Katasters bei der Aufgabenerfüllung eine entscheidende Rolle spielen wird (vgl. AdV 2025, S. 1; Schwenn 2024, F. diverse; LaiV M-V 2011, S. 2; LiKatVV M-V, S. 23).

4.3. Historische Entwicklung des Ortes Minzow im Kontext des Katasters

Das Dorf Minzow, heute zur Gemeinde Leizen im Landkreis Mecklenburgische Seenplatte gehörig, bestand in kleinster Vorform bereits zur Wendenzeit (550 bis 1160 n. Chr.). Von 1160 bis 1164 fand die Vertreibung der Wenden durch Sachsenherzog Heinrich den Löwen statt. Dies hatte zur Folge, dass die Wenden flohen oder vollständig vernichtet wurden. Minzow erfuhr anschließend die Ansiedlung zahlreicher Deutscher aus Westfalen, welche die Gestalt des heutigen Dorfes entscheidend prägten. Es entstand ein längsgerichtetes Dorf, das sich vom Minzower See in Richtung Südwesten nach Nordosten erstreckte.

Nach den Wenden gehörte Minzow als Umland von Röbel zum Fürstentum Mecklenburg und von 1235 bis 1436 zum Fürstentum Werle. 1412 fand Minzow erstmals urkundliche Erwähnung. Zu dieser Zeit besaß die Familie von Below, die dem mecklenburgischen Uradel entstammte, 12 Hufen in Minzow. Nach dem Aussterben der Fürsten von Werle um 1436 ging Minzow in den Besitz des Herzogtums Mecklenburg-Stargard über. Nach dem Erlöschen der Stargarder Linie fiel Minzow 1471 an das Herzogtum Mecklenburg-Schwerin.

1667 schied Minzow aus dem landesherrlichen Besitz aus und wurde an den Geheimen Rat Andreas von Pritzbuer für 4500 Reichstaler käuflich überlassen. Nach seinem Tod erbten seine Söhne Gustav, Andreas und Joachim von Pritzbuer den Ort. 1704 forderte die herzogliche Landeskammer in Schwerin den Rückerwerb von Minzow von der Familie von Pritzbuer. Obwohl die Brüder dies ablehnten, ging Minzow am 2. Mai 1704 zurück in den herzoglichen Besitz von Mecklenburg-Schwerin. Damit ging das Dorf in den Status eines Domanialdorfes über und blieb bis zum Ende der Ständeversammlung Eigentum von Mecklenburg-Schwerin.

Vor dem Dreißigjährigen Krieg gab es in Minzow 14 Bauern und 6 Kleinbauern, mit dem Friedensschluss 1648 waren es nur noch 8 Bewohner. Die herzogliche Kommission legte fest, dass nur 7 Bauern mit je 2 Hufen angesiedelt werden durften. Diese Verordnung wurde bereits 1775 aufgeweicht: Zu diesem Zeitpunkt gab es wieder 14 Vollhüfner mit je einer Hufe sowie 6 Büdner als Grundbesitzer. Im Jahr 1819 fand eine Volkszählung in Minzow statt. Dabei zählte man 221 Einwohner, darunter 113 männliche und 108 weibliche Personen.

Ab 1839 kam es in Minzow zur Auflösung der Kommunal- und Dreifelderwirtschaft. Durch diese Änderungen erhielt jeder Bauernhof ein zusammenhängendes Feld und eine Wiese. Um eine gleichmäßige Verteilung zu ermöglichen, wurden Ausbauehöfte geschaffen, in Minzow war dies das Sockenfeld. 1850 erfuhr Minzow eine wesentliche Vergrößerung. Die wachsende Zahl der Dorfbewohner konnte nicht mehr vollständig in den Nebenwohnungen der Bauern und Büdner untergebracht werden. Daher erhielten zehn Familien die Erlaubnis zum Bau von Häuslereien.

Nach der Einführung der Gemeindeordnung im Jahre 1871 entstand in Minzow eine Gemeindevertretung.

Im Ersten Weltkrieg (1914–1918) waren mehrere Minzower beteiligt, 17 von ihnen verloren im Kriegsdienst ihr Leben. 1919 ergab eine erneute Volkszählung 260 Einwohner, 1925 waren es 284.

In den Jahren 1928/29 erfolgte der Anschluss Minzows an die elektrische Zentrale Rostock, wodurch die Dorfbewohner Zugang zur Elektrizität erhielten. Zwischen 1960 und 1979 wurde das Straßennetz in Richtung Dambeck, Woldzegarten sowie nach Röbel ausgebaut (vgl. Ginap 1929, S. diverse; Herberger 2025, S. 23, 41, 49, 75).

4.4. Neumessung im Rahmen der Feldmarksregulierung

Die Gemarkung Minzow (131374) war dem domanialen Amt Wredenhagen zugeordnet und erfuhr zur Zeit der Feldmarksregulierung im 19. Jahrhundert eine Neumessung. Diese erwies sich vermutlich aufgrund der zahlreichen Neuansiedlungen sowie der Aufhebung der Kommunal- und Dreifelderwirtschaft in Minzow um 1839 als erforderlich. Der historische Hintergrund dieser Epoche ist im Abschnitt *Überblick über die zeitliche Entwicklung von den Anfängen bis zur Gegenwart* und im Unterabschnitt *Historische Entwicklung des Ortes Minzow im Kontext des Katasters* dargestellt.

Diese Neumessung erfolgte unter dem mecklenburgischen Kammeringenieur Carl Gottfried Hermann Darjes im Mai 1869. Damit liegt die Messung in der Periode von 1865 bis 1873 im domanialen Bereich, in der die Verpachtungen grundsätzlich zu Ende geführt wurden, was Neumessungen erforderlich machte. Für das Jahr 1869 galt die Ordnung für die Feldmesser in den Großherzoglich Mecklenburg-Schwerinschen Kammergütern (*Revidierte Feldmesserordnung*) vom 21.06.1866.

Die Ordnung sah vor, dass bei hügeligem Gelände ein trigonometrisches Netz anzulegen ist. Ein solches Netz wurde aufgrund der vorhandenen Geländebewegung im Umkreis des Dorfkerns von Minzow angelegt. Dieses Netz ist in Anhang A deutlich zu erkennen. Bei der Anlage war die *Triangulierungsmethode* vorgesehen: Die Erfassung einiger weniger Dreiecksseiten erfolgte mit der Messkette, in diesem Fall noch in der Längeneinheit mecklenburgische Ruthen. Die Horizontalrichtungen und Winkel innerhalb der Dreiecke bestimmte man wie vorgeschrieben mittels Theodolit. Das Richtungsprotokoll liegt im Original vor und ist ausschnittsweise in Anhang C enthalten.

Die Festpunkte, die in Anhang A mit schwarzen Sternsymbolen gekennzeichnet sind, sollten durch etwa drei Fuß lange Steine vermarkt werden, die zu drei Vierteln in der Erde versenkt und an der Oberfläche mit einem Kreuz oder Bohrloch versehen waren. Das trigonometrische Netz wurde durch Hauptlinien verkettet, die die Festpunkte miteinander verbanden. Diese Linien sind in Anhang A an der roten Linienführung mit römischen Ziffern erkennbar. Für die Detailaufnahme des Dorfkerns, der Topografie, Wälder und Ackerflächen kamen zusätzlich Kontroll- und Sektionslinien zum Einsatz. Diese sind in Anhang A als schwarze Linien zu sehen.

Die Ergebnisse der Detailaufnahme sowie die Grenzen der Gehöfte, Häusler und Büdner wurden im Feldmessungsprotokoll (Riss) dokumentiert, das auch als Sectio-Riss bezeichnet wird. Die Feldmark war in einzelne Sectionen eingeteilt. Der Begriff *Sectio* kann mit Abschnitt bzw. Abteilung übersetzt werden und bezeichnete einen bestimmten Bereich, der im Detail durch mehrere Sectio-Risse erfasst wurde. Der Dorfkern von Minzow liegt in Anhang A im Zentrum und ist mit der Nummer V bezeichnet. Diesem Sectio sind mehrere Sectio-Risse mit arabischen Ziffern zugeordnet. Ein Beispiel hierfür ist der Anhang B, der die Ziffer 29 trägt und in Section V liegt.

Die Detailaufnahme erfolgte ebenfalls mit der Messkette. Ordinaten über zwei Ruthen Länge sollten mit einem Winkelspiegel abgesetzt werden. Der Umrechnungsfaktor in das metrische System beträgt für mecklenburgische Ruthen 1:4,656 (Ruthe:Meter) (vgl. Greve 2015, S. 42, 216).

Dem Kataster- und Vermessungsamt des Landkreises Mecklenburgische Seenplatte liegt nur ein Teil der umfangreichen Dokumentation der Neumessung der Gemarkung Minzow vor. Dieser umfasst das Liniennetz von Minzow (Anhang A), das Beobachtungsprotokoll der Theodolitenmessung (Anhang C), die Feldmessungsprotokolle bzw. Sectio-Risse (Anhang B) sowie die Flächenberechnungs-Manuale.

5. Anwendungsbeispiel: Ausgleichung in der Gemarkung Minzow

Im Abschnitt 3 *Referenzbeispiel zur Ausgleichsrechnung* lag der Fokus auf einer theoretischen und zugleich didaktischen Anwendung der Ausgleichsrechnung im Liegenschaftskataster. Der nun folgende Abschnitt beschäftigt sich mit einem realistischen Anwendungsfall aus dem Liegenschaftskataster.

In diesem Beispiel war die Möglichkeit einer epochübergreifenden Auswertung von Beobachtungen mittels der Ausgleichsrechnung der einzige Weg, um für das vorliegende Problem einen Lösungsweg aufzuzeigen. Es werden alle getätigten Arbeitsschritte im Detail beleuchtet, die notwendig waren, um das Problem zumindest im Umfang dieser Arbeit zu lösen.

5.1. Ausgangssituation und Problemstellung in der Gemarkung Minzow

Das bestehende Problem in der Gemarkung Minzow ist ein vorherrschender Versatz zwischen der aktuellen Liegenschaftsgeometrie (Flurstücksgrenzen) und den örtlichen tatsächlichen topografischen Gegebenheiten. Dieser Versatz bewegt sich in einem Bereich von 2 bis 3 Metern. Die Abbildung 28 zeigt für einen selektierten Bereich der Gemarkung die vorliegende Diskrepanz, welche aus dem Vergleich des ALKIS-Bestandes mit dem digitalen Orthophoto deutlich wird.



Abbildung 28: Gemarkungsauszug aus der Liegenschaftskarte: Präsentation des ALKIS-Bestandes in Verbindung mit dem digitalen Orthophoto (© Vermessungs- und Geoinformationsbehörde Mecklenburg-Vorpommern)

Der Versatz ist aufgrund einer flächenhaften Berechnung und Auswertung infolge eines Werkvertrags¹² entstanden. Im Jahre 2008 wurde im Zusammenhang mit der Erstellung der ALK-Grundstufe

¹²§ 631 BGB

(1) «Durch den Werkvertrag wird der Unternehmer zur Herstellung des versprochenen Werkes, der Besteller zur Entrichtung der vereinbarten Vergütung verpflichtet.»

(2) «Gegenstand des Werkvertrags kann sowohl die Herstellung oder Veränderung einer Sache als auch ein anderer durch Arbeit oder Dienstleistung herbeizuführender Erfolg sein.»

ein Werkvertrag an einen Öffentlich bestellten Vermessungsingenieur (ÖbVI) vergeben. Ziel des Vertrags war die Auswertung aller maßgeblichen Katasterzahlen bis 1990.

Der überwiegende Teil des vorhandenen Zahlenwerks entstammt den Resultaten der Neumessung der Gemarkung aus dem Jahre 1869. Die Besonderheiten und vorherrschenden Rahmenbedingungen dieser Neuaufnahme sind im Unterabschnitt 4.4 auf Seite 94 *Neumessung im Rahmen der Feldmarksregulierung* erläutert.

Es wurde eine systematische und vollständige Auswertung sowie Berechnung auf Grundlage der maßgeblichen Katasterzahlen durchgeführt. Da nach diesem Schritt der problematische Versatz vorlag und dieser in das Liegenschaftskataster übernommen wurde, liegen Koordinatenabweichungen zwischen der Realität und dem ALKIS-Bestand vor.

Es kann heute nicht mehr nachvollzogen werden, auf welcher Grundlage der ÖbVI seine Berechnung lagerte. Bekannt ist, dass durch das damalige Katasteramt Referenzpunkte mit Koordinaten bereitgestellt wurden. Allerdings gibt es keinerlei Informationen über die Qualität und Art dieser Punkte. Aus den damaligen Protokollen ist ersichtlich, dass entsprechende Referenzpunkte vorhanden gewesen sein müssen und diese für die Berechnung herangezogen wurden. Sie bildeten die Grundlage für die Auswertung der einzelnen Beobachtungen. Hierbei erfolgten jedoch lediglich aneinandergereihte, einfache geodätische Berechnungen, die für die gesamte Gemarkung ausgeführt wurden. Es ist nicht bekannt, inwieweit bei der Auswertung die Richtungsmessungen des übergeordneten Festpunktnetzes berücksichtigt wurden.

Durch die Aufrechnung der gesamten Gemarkung existieren keine graphisch digitalisierten Grenzpunkte. Sie besitzen im Grunde alle den Status eines Sollpunktes. Ein Vorteil des Werkvertrags besteht darin, dass alle Liniennetzpunkte der Neumessung ebenfalls koordiniert vorliegen und somit als Näherungswerte für eine Ausgleichung dienen können.

In der Zeit von 2008 bis in die Gegenwart sind Liegenschaftsvermessungen erfolgt. Für diese wurde in der Regel unter Wahrung des Prinzips der Nachbarschaft die vorherrschende Koordinatenabweichung gelöst. Dies erfolgte jedoch aufgrund der geringen Ausdehnung der jeweiligen Liegenschaftsvermessungen nur kleinteilig und zumeist in der Dorflage. Somit war es nicht möglich, eine Verbesserung der Situation in ihrer Gesamtheit zu erreichen.

Die dargestellte Situation erfordert daher einen Lösungsansatz, der in der Lage ist, unter Verwendung verschiedenster Beobachtungen die Koordinatenabweichung der gesamten Gemarkung zu beheben. Damit handelt es sich um eine Aufgabenstellung für die Ausgleichsrechnung. Da eine vollständige Berechnung der gesamten Gemarkung eine sehr große Herausforderung darstellt, soll zunächst der Nachweis erbracht werden, dass die Ausgleichsrechnung als Problemlöser eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund konzentriert sich das Anwendungsbeispiel auf die Beseitigung der Koordinatenabweichung für das vorliegende Festpunktnetz und in einem weiteren Schritt segmentweise auf das kleinteilige Liniennetz.

5.2. Vorbereitende Arbeiten zur Ausgleichung

Bevor die Ausgleichung erfolgen kann, müssen zunächst grundlegende Vorbereitungsarbeiten durchgeführt werden. Dazu zählt im ersten Schritt die Sichtung und Gewichtung der zur Verfügung stehenden Katasterunterlagen. Diese Arbeit war im Anwendungsbeispiel besonders herausfordernd. Es mussten Dutzende Risse berücksichtigt und die Struktur der historischen Unterlagen der Neumessung nachvollzogen werden.

Eine weitere zeitintensive Tätigkeit war die Recherche von Referenzpunkten, welche als Lagerungspunkte dienen können. Nach der Bewältigung dieser Arbeiten konnte mit der Auswertung und Eingabe der Beobachtungen begonnen werden. Im ersten Schritt wurde sich dabei den Richtungsbeobachtungen des historischen Festpunktnetzes gewidmet.

5.2.1. Analyse des historischen Richtungsnetzes mittels freier Netzausgleichung

Im Liegenschaftskataster kommt es eher selten vor, dass für eine gesamte Gemarkung ein historisches Festpunktnetz mit Richtungsbeobachtungen existiert. Aus diesem Umstand heraus erfolgte zunächst eine freie Netzausgleichung, um das Netz auf grobe Fehler zu untersuchen. Die Abbildung 29 zeigt eine Netzskizze des Festpunktnetzes.

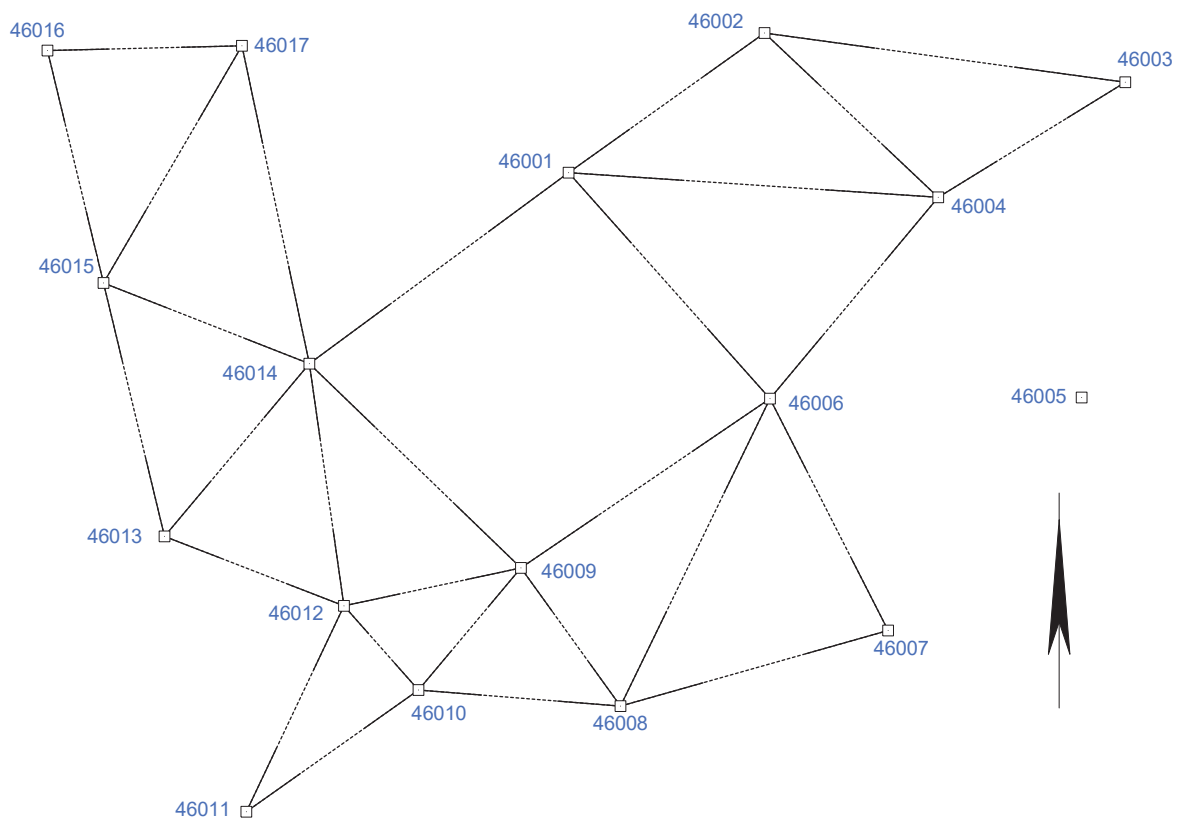


Abbildung 29: Netzskizze mit Richtungsbeobachtungen

Im Unterabschnitt 3.1 auf Seite 50 lag der Fokus auf der Wahl des stochastischen Modells. Für das vorliegende Netz ist ebenfalls ein Genauigkeitsniveau festzulegen. In der Regel sollten hierfür Erfahrungswerte oder Herstellerangaben des eingesetzten Messinstruments herangezogen werden.

Im Beispiel ist nicht bekannt, welcher Theodolit für die Richtungsmessungen zum Einsatz kam, noch liegen Genauigkeitsanforderungen aus rechtlichen Quellen aus dem Jahr 1869 vor. Aus diesem Grund erfolgte eine Neuauswertung des Richtungsprotokolls (Anhang C) nach Kahmen (2006), Seite 115–116. Die resultierenden Ergebnisse bildeten die Grundlage für die freie Netzausgleichung, die mit der Software *Cremer* durchgeführt wurde.

In der Tabelle 18 sind die jeweiligen Standardabweichungen der Richtungen aufgeführt, welche im ersten Schritt für das stochastische Modell Anwendung fanden.

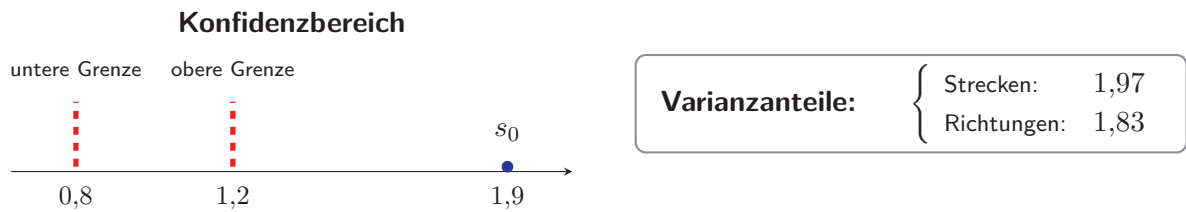
Tabelle 18: Übersicht: Standardabweichungen der Richtungsbeobachtungen

| Standpunkt | Anzahl Zielpunkte | Anzahl Vollsätze | s_{r_i} [mgon] | $s_{\bar{r}_i}$ [mgon] |
|-----------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| 333593418046001 | 5 | 4 | 2,1 | 1,1 |
| 333593418046002 | 4 | 4 | 1,9 | 0,9 |
| 333593518046003 | 3 | 4 | 0,9 | 0,4 |
| 333593518046004 | 5 | 4 | 1,2 | 0,6 |
| 333593417046006 | 6 | 4 | 2,4 | 1,2 |
| 333593517046007 | 3 | 4 | 0,5 | 0,3 |
| 333593417146008 | 5 | 4 | 6,6 | 3,3 |
| 333593417046009 | 6 | 4 | 2,9 | 1,5 |
| 333593317046010 | 5 | 4 | 2,9 | 1,5 |
| 333593316046011 | 3 | 4 | 0,5 | 0,3 |
| 333593317046012 | 6 | 4 | 1,7 | 0,8 |
| 333593317046013 | 4 | 4 | 2,8 | 1,4 |
| 333593317046014 | 7 | 4 | 6,5 | 3,2 |
| 333593318046015 | 5 | 4 | 5,4 | 2,7 |
| 333593218046016 | 3 | 4 | 10,5 | 5,2 |
| 333593318046017 | 4 | 4 | 2,6 | 1,3 |

Die ausgewerteten Richtungen und deren Standardabweichungen s_{r_i} bildeten zusammen mit sechs Horizontalstrecken mit einem Genauigkeitsniveau von $\sigma_{s_i} = 10,0$ cm sowie den Koordinaten der historischen Festpunkte als Näherungen die Eingabegrundlage in *Cremer*. Nachfolgend sind der Konfidenzbereich und die Varianzanteile des Ausgleichungsergebnisses dargestellt. Zu beachten ist, dass der Konfidenzbereich in *Cremer* abweichend definiert ist und der Gleichung 66 entspricht.

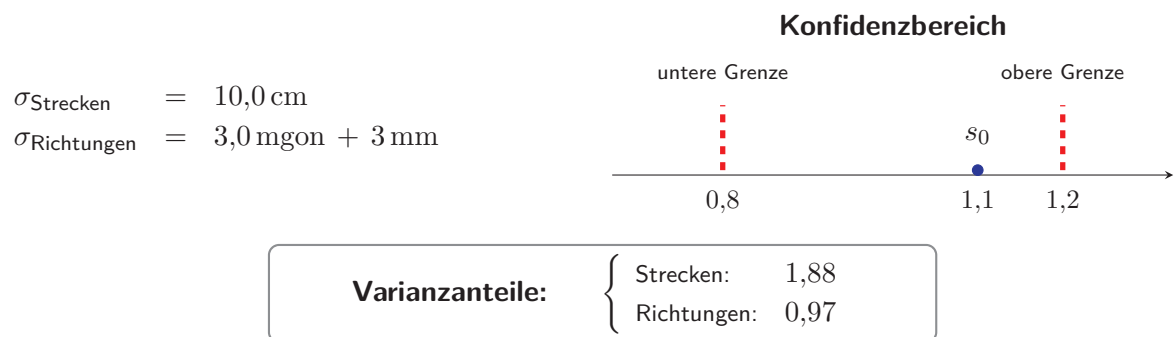
$$P \left(\sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{\chi_{f, \frac{\alpha}{2}}^2}} \leq s_0 \leq \sigma_0 \cdot \sqrt{\frac{f}{\chi_{f, 1 - \frac{\alpha}{2}}^2}} \right) = 1 - \alpha \quad (66)$$

Dieser vergleicht ebenfalls σ_0 (*a priori*) mit s_0 (*a posteriori*). Allerdings sind die Grenzen von σ_0 abhängig und es wird geprüft, ob s_0 innerhalb der Bereichsgrenzen liegt. Der Konfidenzbereich nach Gleichung 66 liefert ebenso ein zuverlässiges Ergebnis wie der in Gleichung 52 auf Seite 37 definierte Konfidenzbereich.



Das Ergebnis des Konfidenzbereiches zeigt, dass die stochastischen Annahmen der Tabelle 18 auf Seite 98 zu optimistisch waren, was auch durch die Varianzanteile bestätigt wird. Daraus ergab sich die Notwendigkeit einer Anpassung des stochastischen Modells. Nachfolgend erfolgte die Festlegung eines neuen Genauigkeitsniveaus für die Richtungen von $3,0 \text{ mgon} + 3 \text{ mm}$ Zentrierfehler. Die Strecken behielten ihr Genauigkeitsniveau von 10 cm .

Die neue Ausgleichung lieferte den Nachweis, dass diese Annahmen als stochastisch korrekt klassifiziert werden können.



Aufgrund des positiven Ergebnisses des Konfidenzbereiches gelten die Angaben der Zuverlässigkeitskriterien der Beobachtungen als vertrauenswürdig. Im Anhang D ist das Ausgleichsergebnis zu finden. Dort ist dokumentiert, dass keine groben Fehler enthalten sind. Keine Beobachtung besitzt einen NV_i -Wert oberhalb des Grenzwertes von $4,0$. Somit stand fest, dass die Richtungsbeobachtungen des historischen Festpunktnetzes sicher einsetzbar sind.

5.2.2. Festlegung der Referenzpunkte für die Ausgleichung

Ein weiterer wichtiger Schritt ist die Auswahl geeigneter Referenzpunkte für die Ausgleichung. Referenzpunkte sind in der Software *Systra* diejenigen Punkte, welche die Lagerung (Datumsfestlegung) der Netzausgleichung unter Zwang bzw. der dynamischen Netzausgleichung realisieren. Im Unterabschnitt 5.1 wurde dargestellt, dass eine Koordinatenabweichung zwischen Realität und ALKIS-Bestand das Hauptproblem darstellt. Daher ist die Auswahl der Referenzpunkte im Fall der Gemarkung Minzow von entscheidender Bedeutung.

Grundsätzlich gilt jedoch auch für andere Ausgleichungsproblematiken, dass die Lagerung eines Netzes nur durch vertrauenswürdige Punkte vorzunehmen ist. Die Auswahl sollte nach bestimmten Kriterien erfolgen, welche die einzelnen Referenzpunkte nach Möglichkeit alle erfüllen:

- I Es sind ausschließlich bereits vorgefundene Punkte zu verwenden.
- II Die Punktkoordinaten müssen in einem qualitativ höheren geodätischen Raumbezug bestimmt

worden sein.

III Die verwendeten Punkte müssen lageidentisch zu ihrer Entstehungsvermessung sein (vgl. Köster 2023, S. 62).

Die Recherche geeigneter Referenzpunkte für die Ausgleichung des Festpunktnetzes der Gemarkung Minzow gestaltete sich äußerst schwierig, da die vorhandenen Katasternachweise nicht immer Punkte enthielten, die alle zuvor aufgeführten Kriterien erfüllten. Es konnten dennoch 19 in ihrer Punktart unterschiedliche Referenzpunkte ausgewählt werden. Diese sind in der Tabelle 19 dokumentiert.

Tabelle 19: Übersicht: Referenzpunkte der Ausgleichung der Gemarkung Minzow

| Punktnummer | Punktart | Entstehungs- jahr | Erfassungs- jahr | Vermarkung |
|--------------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| 333593317001010 | Grenzpunkt | 1869 | 2008 | Lochstein |
| 333593317001042 | Grenzpunkt | 1869 | 2008 | Lochstein |
| 333593317001014 | Grenzpunkt | 1869 | 2008 | Granitstein |
| 333593217001030 | Grenzpunkt | 1869 | 2008 | Lochstein |
| 333593417001650 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Rohr mit Kappe |
| 333593417001651 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Rohr mit Kappe |
| 333593417001528 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Feldstein |
| 333593417001524 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Feldstein |
| 333593417001534 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Feldstein |
| 333593417001535 | Grenzpunkt | 1869 | 1997 | Feldstein |
| 333593317000003 | Aufnahmepunkt | 1992 | 1997 | Rohr |
| 333593417000008 | Aufnahmepunkt | 1996 | 1997 | Nagel |
| 333593417000009 | Aufnahmepunkt | -- | 1997 | Nagel |
| 333593417000010 | Aufnahmepunkt | -- | 1997 | Rohr |
| 333593417000050 | Aufnahmepunkt | 1995 | 1997 | Nagel |
| 333593518002034 | Gebäudepunkt | 1869 | 2005 | Gebäudepunkt |
| 333593518002033 | Gebäudepunkt | 1869 | 2005 | Gebäudepunkt |
| 333593518001028 | Gebäudepunkt | 1869 | 1997 | Gebäudepunkt |
| 1374003X00002 | Gebäudepunkt | 1869 | 1997 | Gebäudepunkt |

Die aufgeführten Referenzpunkte verteilen sich über die gesamte Gemarkung und damit auch über das historische Festpunktnetz. Es konnten sowohl im Südwesten im Dorfkern als auch im Nordosten vorgefundene Grenzpunkte, Aufnahmepunkte und Gebäudepunkte recherchiert werden.

Eine weitere wichtige Bedingung bestand darin, dass die Punkte indirekt oder direkt in die Geometrie des historischen Linien- und Richtungsnetzes integriert sind.

5.3. Ausgleichung zur Bestimmung von Suchkoordinaten

Nachdem die Vorbereitungsarbeiten abgeschlossen waren, standen sowohl die Ergebnisse der freien Netzausgleichung des Festpunktnetzes als auch die recherchierten Referenzpunkte fest. Nun konnten die Arbeiten in der Ausgleichungssoftware *Systra* begonnen werden.

Im ersten Schritt erfolgte der Import der Referenzpunkte aus Tabelle 19 auf Seite 100, der Festpunkte des historischen Richtungsnetzes als Neupunkte sowie vereinzelt von Vermessungspunkten des Liniennetzes der Neumessung. Diese Liniennetzpunkte, ebenfalls als Neupunkte klassifiziert, waren notwendig, um die Festpunkte geometrisch miteinander zu verbinden.

Anschließend erfolgte die Eingabe der Beobachtungen. Dazu zählten die ausgewerteten Horizontalrichtungen, Horizontalstrecken und Orthogonalbeobachtungen. Dabei war zu beachten, dass die Strecken- und Orthogonalbeobachtungen der Neumessung von 1869 nicht in Metern, sondern in mecklenburgischen Ruten vorlagen. Dies stellte jedoch kein größeres Problem dar, da in *Systra* in den Einstellungen eine automatische Umrechnung in Meter festlegbar ist. Hierzu ist lediglich der entsprechende Umrechnungsfaktor anzugeben. Im Fall der Umrechnung von Ruten in Meter beträgt dieser 1:4,656 (Meter:Ruten).

Die nachfolgende Abbildung 30 zeigt das Resultat der Arbeiten des Eingabeprozesses.

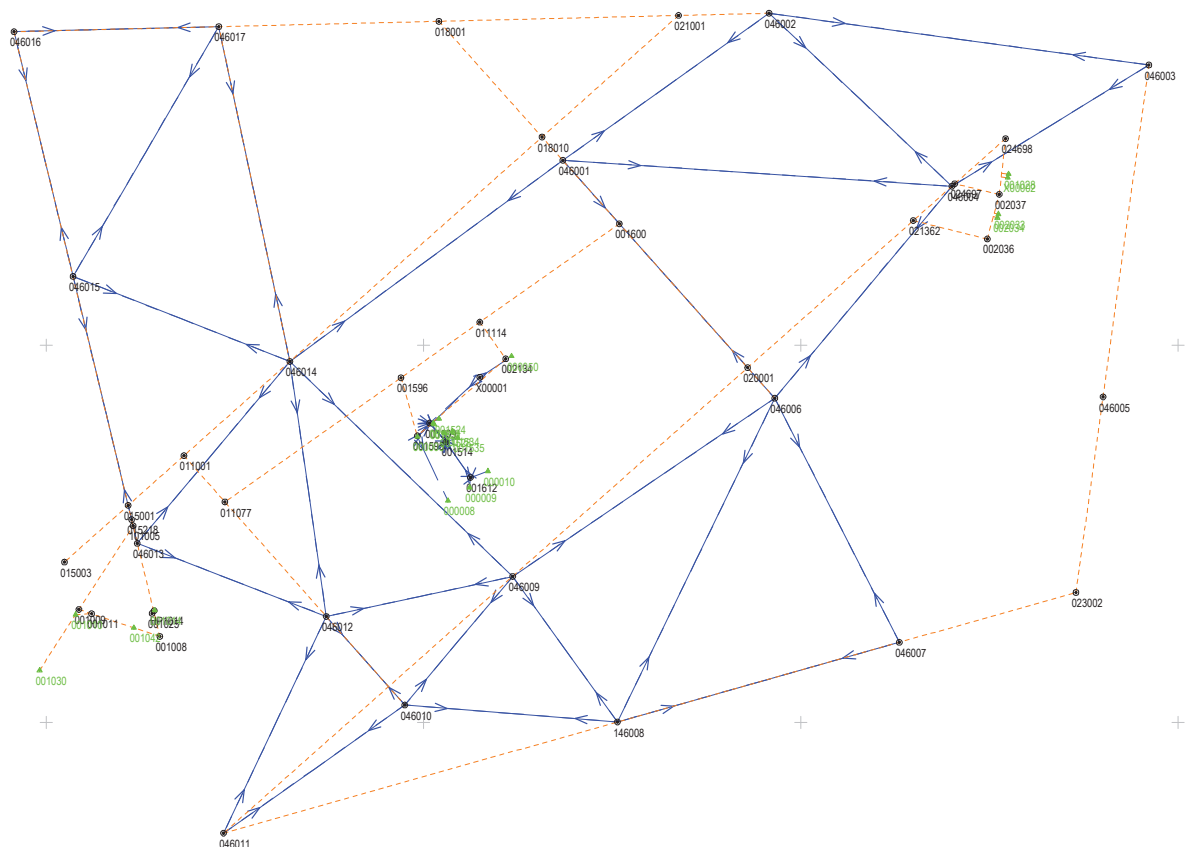


Abbildung 30: Darstellung des Ausgleichungsnetzes mit polaren Beobachtungen (blau), Orthogonalbeobachtungen (orange), Referenzpunkten (grün) sowie Neupunkten (schwarz).

Um die Modellbildung vollständig abzuschließen, erfolgte im nächsten Schritt die Festlegung der *a priori*-Annahmen für die einzelnen Beobachtungsgruppen. Das gewählte stochastische Modell ist nachfolgend aufgeführt.

Stochastisches Modell:

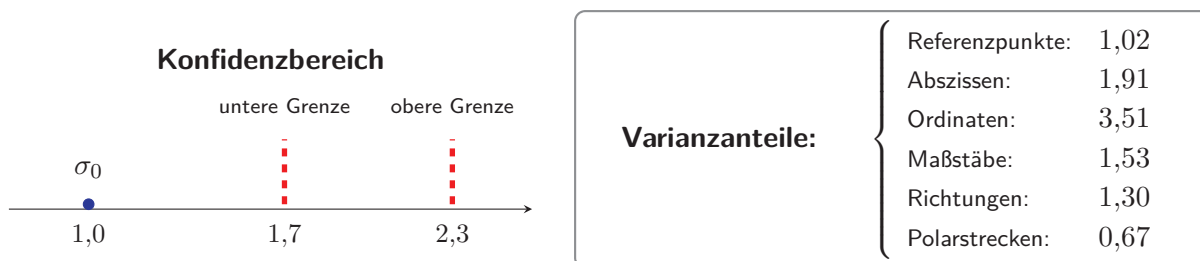
| | |
|--|--------------|
| $\sigma_{\text{Referenzpunkte}}$ | = 3,0 cm |
| $\sigma_{\text{Abszissen/Ordinaten}}$ | = 10,0 cm |
| $\sigma_{\text{Maßstab}}$ | = 20,0 cm/km |
| $\sigma_{\text{Richtung (1869)}}$ | = 3,0 mgon |
| $\sigma_{\text{Richtung (1869) (Relativanteil)}}$ | = 20,0 cm/km |
| $\sigma_{\text{Polarbeobachtung (ab 1990)}}$ | = 3,0 mgon |
| $\sigma_{\text{Polarbeobachtung (ab 1990) (Relativanteil)}}$ | = 5,0 cm |
| $\sigma_{\text{Polarbeobachtung (ab 1990) (Relativanteil)}}$ | = 15,0 cm/km |

Das Genauigkeitsniveau wurde entsprechend den Erkenntnissen der freien Netzausgleichung des historischen Festpunktnetzes sowie auf Grundlage von Erfahrungswerten festgelegt. Mit dem Abschluss dieser Arbeit kann das gesamte Netz ausgeglichen und zunächst einer kleinteiligen Grobfehleridentifikationsprüfung unterzogen werden.

5.3.1. Analyse der Ausgleichungsergebnisse und Grobfehlerprüfung

Eine tiefgründige Analyse und Grobfehleridentifikation gehören zu jeder Ausgleichung. Im Unterabschnitt 3.2 ab Seite 55 ist das theoretische Vorgehen zur Prüfung eines Ausgleichungsergebnisses anhand eines fiktiven Referenzbeispiels dargestellt. Äquivalent zu dem dort beschriebenen Vorgehen lässt sich nun auch im Anwendungsbeispiel verfahren. Aufgrund der höheren Komplexität des Netzes finden jedoch nur vereinzelte Beispiele Berücksichtigung.

Nachfolgend sind der Konfidenzbereich und die Varianzanteile der ersten Ausgleichung dargestellt. Deutlich zu erkennen ist, dass sich σ_0 links der Grenzen befindet und damit eine zu optimistische Schätzung der *a priori*-Annahmen vorliegt. Dies bedeutet, dass die Beobachtungen qualitativ schlechter sind oder noch grobe Fehler enthalten. Besonders interessant ist das Ergebnis der Varianzanteile, da diese ein ähnliches Bild liefern, jedoch bereits eine konkretere Auskunft ermöglichen. Die Werte der Ordinaten und Abszissen weisen die größten Abweichungen von 1,0 auf, womit der Bereich, in dem grobe Fehler enthalten sein können, eingegrenzt werden kann. Abschließend lässt sich dies jedoch nur durch eine tiefgründige Analyse der Zuverlässigkeitskriterien bestätigen.



Das Netz aus Abbildung 30 auf Seite 101 besitzt insgesamt 235 Unbekannte und 327 Beobachtungen und weist damit eine Bedingungsichte von $B = 28\%$ auf. Dieser Wert ist für Netzstrukturen im Liegenschaftskataster üblich.

Insgesamt konnten mithilfe der Zuverlässigkeitskriterien NV_i und GF_i lediglich vier grobfalsche Beobachtungen detektiert werden. Nachfolgend ist exemplarisch für eine grobfalsche Beobachtung ein

Auszug aus dem Berechnungsprotokoll dargestellt, welcher die numerischen Werte aufzeigt, die zur Identifikation geführt haben.

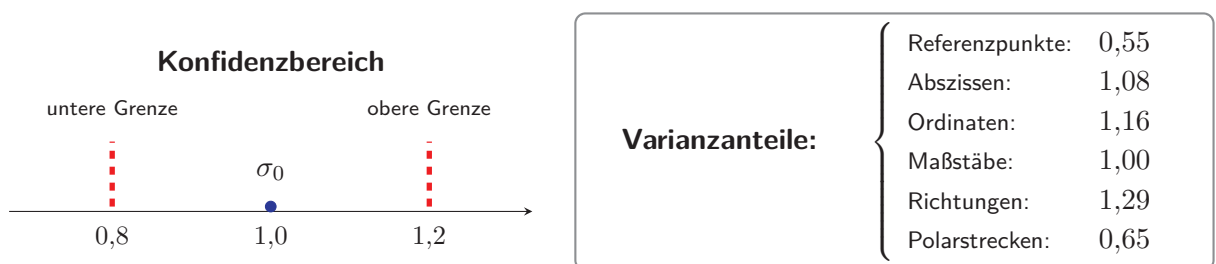
| Orthogonale Messwerte | | | | | | |
|-----------------------|----------|------|--------|------|-------|---------|
| Punkt-kennzeichen | Abszisse | S(v) | V-X | EV-X | GF-X | NV-X |
| | m | cm | cm | % | cm | |
| 333593417001524 | 238.387 | 10.0 | -37.4 | 64.8 | 57.6 | 4.6*** |
| | Ordinate | S(v) | V-Y | EV-Y | GF-Y | NV-Y |
| | m | cm | cm | % | cm | |
| | -2.328 | 10.0 | -100.1 | 67.8 | 147.7 | 12.2*** |

In *Systra* liegt der Grenzwert für die normierte Verbesserung bei 3,29. Überschreitet eine Beobachtung diesen Wert, wird dies durch *** optisch markiert. Die Orthogonalbeobachtungen des Referenzpunktes 333593417001524 besitzen beide einen NV_i -Wert über diesem Grenzwert und deuten damit auf einen groben Fehler hin. Die NV_i -Werte sind für dieses Beispiel besonders vertrauenswürdig, da die Beobachtungen gut kontrolliert sind, was durch Redundanzanteile r_i von etwa 70% nachgewiesen wird.

Aus den theoretischen Betrachtungen im Unterabschnitt 3.2 ist bekannt, dass nicht zwingend die Beobachtung grobfalsch sein muss, sondern auch der dazugehörige Referenzpunkt grob falsch sein kann. Daher sind auch die Zuverlässigkeitskriterien für den Punkt selbst dargestellt.

| Referenzkoordinaten | | | | | |
|---------------------|-------|-----|------|------|------|
| Punkt-kennzeichen | S(v)L | V-P | EV-P | GF-P | NV-P |
| | cm | cm | % | cm | |
| 333593417001524 | 3.0 | 2.7 | 42.7 | 11.1 | 2.5 |

Die Protokolleinträge für den Referenzpunkt selbst enthalten allerdings keine Auffälligkeiten. Aus diesem Grund erfolgte eine stochastische Ausschaltung der Orthogonalbeobachtungen dieses Punktes. Auch die zwei weiteren grobfalschen Beobachtungen erfuhren eine stochastische Behandlung. Anschließend erfolgte eine erneute Ausgleichung in *Systra*. Das neue Ausgleichungsergebnis lieferte den nachfolgend dargestellten Konfidenzbereich sowie die Varianzanteile.



Der Konfidenzbereich sowie die Varianzanteile deuten darauf hin, dass das stochastische Ausschalten erfolgreich war und die Annahmen des stochastischen Modells korrekt sind. Allerdings wurde auch hier erneut eine tiefgründigere Grobfehleridentifikationsprüfung durchgeführt. Diese ergab, dass es einen wahrscheinlich fehlerhaften Referenzpunkt gibt.

| Referenzkoordinaten | | | | | |
|---------------------|-------|-----|------|------|--------|
| Punkt-kennzeichen | S(v)L | V-P | EV-P | GF-P | NV-P |
| | cm | cm | % | cm | |
| 333593518001028 | 3.0 | 1.4 | 2.5 | 54.6 | 4.1*** |

Bei dem Punkt 333593518001028 handelt es sich um einen Gebäudepunkt. Es ist wahrscheinlich, dass es sich bei der physisch angemessenen Hausecke zwischen den Jahren 1869 und 1997 nicht um dieselbe gehandelt hat. Dies kann aufgrund baulicher Entwicklungen des Gebäudes über die Zeit durchaus der Fall sein.

Daher ist dieser Punkt als Referenzpunkt ungeeignet und als fehlerhaft einzustufen und wurde folglich ebenfalls stochastisch behandelt. Die Abbildung 31 zeigt in (a) einen Ausschnitt aus dem Entstehungsriß von 1869 und in (b) den Erfassungsriß.

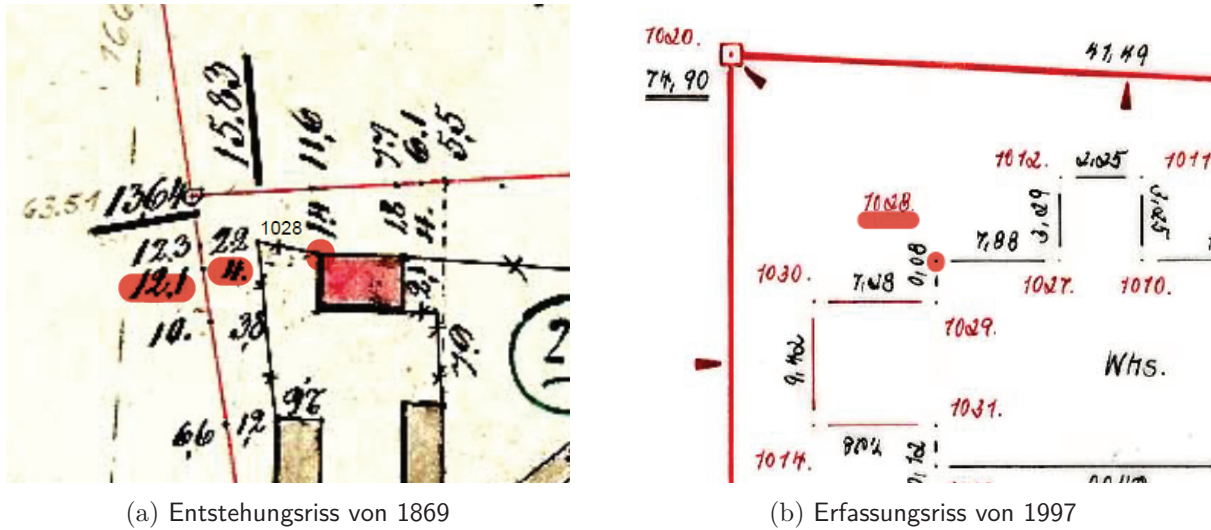
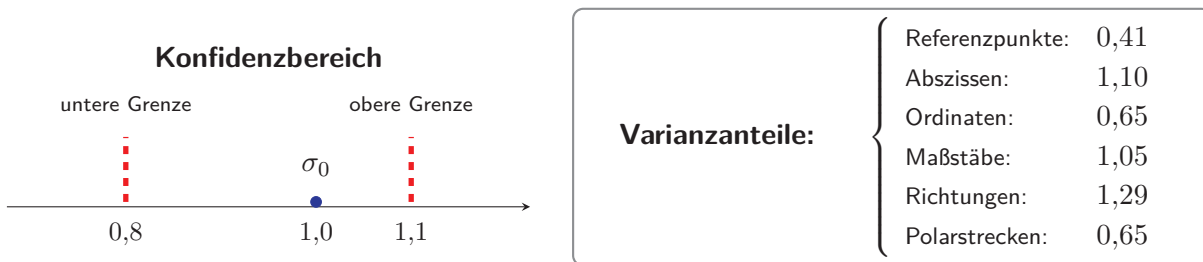


Abbildung 31: Vergleich der Gebäudedarstellung des Punktes 333593518001028 im Entstehungsriß von 1869 (a) und im Erfassungsriß von 1997 (b)

Insgesamt wurden lediglich sechs Elemente stochastisch ausgeschaltet, was angesichts der hohen Anzahl an Beobachtungen im Anwendungsbeispiel als vertretbar einzustufen ist. Dennoch sollte zu einem späteren Zeitpunkt eine weiterführende Prüfung der widersprüchlichen Orthogonalbeobachtungen erfolgen. Nach Abschluss der Grobfehleridentifikation kann eine erneute Ausgleichung durchgeführt werden. Das Ergebnis dieser Ausgleichung wird im folgenden Konfidenzbereich sowie anhand der Varianzanteile dargestellt.



Das Ergebnis des Konfidenzbereiches sowie die Varianzanteile spiegeln ein stabiles und stochastisch korrektes Ausgleichungsergebnis wider. Damit standen ausgeglichene Koordinaten für das historische Festpunktnetz bereit. Diese konnten anschließend für die Festpunktsuche im Außendienst in der Feldlage eingesetzt werden. Die Abbildung 32 auf Seite 105 zeigt das Ausgleichungsnetz vor der Außendiensttätigkeit mit berechneten Fehlerellipsen.

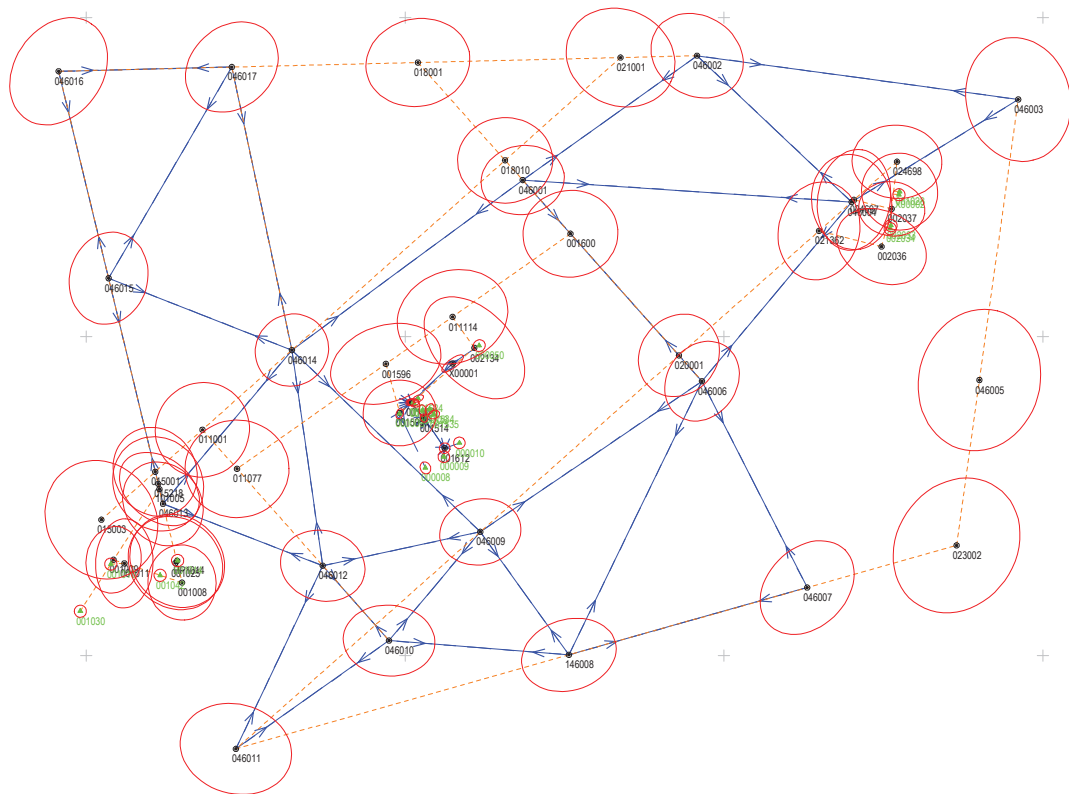


Abbildung 32: Darstellung des Ausgleichsnetzes mit polaren Beobachtungen (blau), Orthogonalbeobachtungen (orange), Referenzpunkten (grün) sowie Neupunkten (schwarz) und Fehlerellipsen mit einem Skalierungsfaktor von 1000.

5.4. Außendienstliche Überprüfung der Ausgleichsergebnisse

Die Außendienstaktivitäten zur Untersuchung der historischen Festpunkte erstreckten sich über fünf Arbeitstage. Im ersten Schritt stand die Kontrolle der verwendeten Referenzpunkte im Fokus. Dabei richtete sich die Überprüfung auf die Übereinstimmung der Lage der Punkte zwischen dem digitalen ALKIS-Bestand und der Örtlichkeit.

Alle Referenzpunkte wurden aufgesucht, jedoch ließen sich nicht alle vorfinden. Die fehlenden Punkte sind möglicherweise durch Baumaßnahmen zerstört worden. Die Tabelle 20 zeigt die vorgefundenen und aufgemessenen Referenzpunkte mit ihren linearen Abweichungen zwischen dem ALKIS-Bestand und der Örtlichkeit.

Tabelle 20: Übersicht: Referenzpunktüberprüfung

| Punktnummer | Punktart | Status | Abweichung [cm] | Vermarkung |
|-----------------|------------|-------------|--------------------|-------------|
| 333593317001010 | Grenzpunkt | vorgefunden | 22,4 | Lochstein |
| 333593317001042 | Grenzpunkt | vorgefunden | 5,3 | Lochstein |
| 333593317001014 | Grenzpunkt | vorgefunden | 5,9 | Granitstein |
| 333593217001030 | Grenzpunkt | vorgefunden | 7,7 | Lochstein |
| 333593417001528 | Grenzpunkt | vorgefunden | 0,9 | Feldstein |
| 333593417001524 | Grenzpunkt | vorgefunden | 6,2 | Feldstein |

Tabelle 20: Übersicht: Referenzpunktüberprüfung (Fortsetzung)

| Punktnummer | Punktart | Status | Abweichung [cm] | Vermarkung |
|-----------------|---------------|-------------|--------------------|------------|
| 333593417001534 | Grenzpunkt | vorgefunden | 2,9 | Feldstein |
| 333593417001535 | Grenzpunkt | vorgefunden | 2,3 | Feldstein |
| 333593417000009 | Aufnahmepunkt | vorgefunden | 1,8 | Nagel |
| 333593417000010 | Aufnahmepunkt | vorgefunden | 7,6 | Rohr |
| 333593417000050 | Aufnahmepunkt | vorgefunden | 1,0 | Nagel |

Für den Großteil der insgesamt 11 von 19 Referenzpunkten liegt eine Lageübereinstimmung nach den Vorgaben der LiVermVV M-V mit 6,0 cm vor. Lediglich drei Punkte überschreiten diesen Wert. Nichtsdestotrotz ist die Auswahl der Referenzpunkte für das Ausgleichsnetz unter Berücksichtigung der schwierigen Punktauswahl als positiv einzuschätzen.

Die nächsten Arbeiten widmeten sich dem Abstecken und Aufsuchen der historischen Festpunkte. Ziel war es dabei, alle Festpunkte zu berücksichtigen. Diese Arbeiten erstreckten sich über vier Außendiensttage und hatten als Resultat das Auffinden von vier vermarkten Festpunkten der insgesamt 16 zur Folge. Für jeden Festpunkt wurden Suchlöcher mit einem Durchmesser von 1,20 m und einer Tiefe von 1,00 m ausgehoben. Die Abbildung 33 enthält zwei Bilder von vorgefundenen Festpunkten. Die bestimmten Koordinaten dieser Festpunkte wurden als Referenzpunkte in *Systra* überführt.



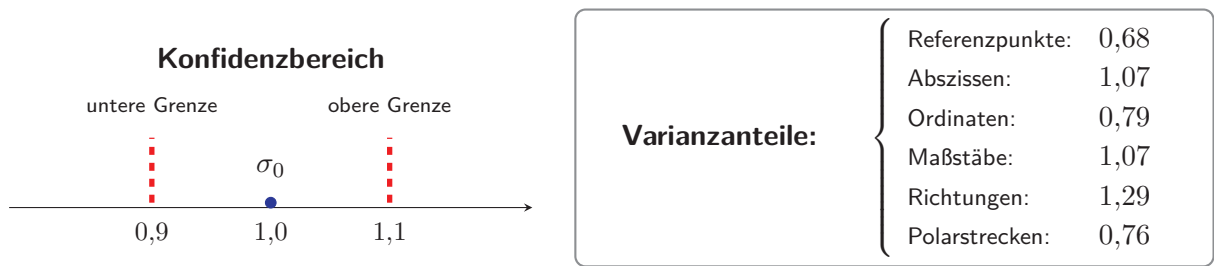
(a) Festpunkt: 46005



(b) Festpunkt: 46011

Abbildung 33: Vorgefundene Festpunkte des historischen Richtungsnetzes der Neumessung von 1869, vermarkt durch Lochsteine und Drainrohre.

Der Vollständigkeit halber sollte die Integration der historischen Festpunkte als Referenzpunkte kontrolliert werden. Dieses Vorgehen folgt auch den theoretischen Überlegungen des Unterabschnitt 3.2. Nach dem Import der vier neuen Referenzpunkte erfolgte eine erneute Ausgleichung. Nachfolgend sind der Konfidenzbereich sowie die resultierenden Varianzanteile aufgeführt.



Der Konfidenzbereich sowie die Varianzanteile liegen im Normbereich. Die einzelnen Anteile bewegen sich um den Sollwert von 1,0 mit einer Differenz von $\pm 0,3$. Daher kann davon ausgegangen werden, dass die Annahmen des stochastischen Modells korrekt sind und die Zuverlässigkeitskriterien vertrauenswürdig sind. Dies deutet bereits darauf hin, dass die neu importierten Referenzpunkte nicht grobfalsch sind.

Dennoch soll an dieser Stelle exemplarisch eine Grobfehleranalyse für einen der vorgefundenen Punkte erfolgen. In diesem Fall wurde der Referenzpunkt 333593318046015 ausgewählt. Nachfolgend sind die Zuverlässigkeitskriterien des Punktes aus dem Berechnungsprotokoll aufgeführt.

Referenzkoordinaten

| Punktzeichen | S(v)L | V-P | EV-P | GF-P | NV-P |
|-----------------|-------|-----|------|------|------|
| | cm | cm | % | cm | |
| 333593318046015 | 3.0 | 0.9 | 5.0 | 17.9 | 1.4 |

Orthogonale Messwerte

| Punktzeichen | Abszisse | S(v) | V-X | EV-X | GF-X | NV-X |
|-----------------|----------|------|-----|------|------|------|
| | m | cm | cm | % | cm | |
| 333593318046015 | 945.354 | 10.0 | 4.1 | 67.2 | -6.0 | 0.5 |

| | Ordinate | S(v) | V-Y | EV-Y | GF-Y | NV-Y |
|--|----------|------|------|------|------|------|
| | m | cm | cm | % | cm | |
| | 0.000 | 10.0 | -2.8 | 69.6 | 4.0 | 0.3 |

Richtungen

| Standpunkt | Zielpunkt | Richtung | S(v) | V | EV | GF | NV |
|-----------------|-----------------|----------|------|------|------|------|-----|
| | | gon | mgon | mgon | % | mgon | |
| 333593218046016 | 333593318046015 | 0.0000 | 3.0 | -1.9 | 21.8 | 8.9 | 1.4 |
| 333593317046013 | 333593318046015 | 261.4468 | 3.0 | 2.5 | 28.6 | 8.7 | 1.5 |
| 333593317046014 | 333593318046015 | 79.3607 | 3.1 | 0.3 | 36.7 | 0.8 | 0.2 |
| 333593318046017 | 333593318046015 | 335.1883 | 3.1 | -3.0 | 37.0 | 8.2 | 1.6 |

Keine der dargestellten Beobachtungen sowie die Koordinate selbst besitzen NV_i -Werte über dem Grenzwert von 4,0. Im Gegenteil, sie liegen deutlich darunter. Ein weiteres Indiz für die Korrektheit der Position des Punktes sind die hohen Redundanzanteile r_i der Orthogonalbeobachtungen mit etwa 70%. Aus diesen Gründen gilt der Referenzpunkt 333593318046015 als korrekt. Diese Einschätzung trifft ebenso auf die restlichen drei historischen Festpunkte zu.

Im letzten Arbeitsschritt des Außendienstes wurden netzstützende Maßnahmen durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf Einmessungen von Gebäuden, die nach Möglichkeit seit dem Jahr 1869 keine Veränderungen im Grundriss erfahren haben. Hierzu zählte unter anderem die Kirche im Dorfkern.

Die Ergebnisse der Gebäudeeinmessungen wurden ebenfalls in *Systra* überführt und durch weitere Beobachtungen geometrisch in das Ausgleichungsnetz eingebunden.

5.5. Zusammenfassung der Ausgleichungsergebnisse des Festpunktnetzes

Mit dem Abschluss der Außendienstarbeiten sowie der Auswertung und Integration der gewonnenen Daten in das Ausgleichungsnetz stehen nun homogene Koordinaten für alle historischen Festpunkte zur Verfügung. Der nachfolgend aufgeführte Konfidenzbereich und die resultierenden Varianzanteile bestätigen ein solides und stochastisch korrektes Ausgleichungsergebnis.



Die Tabelle 21 dokumentiert die ausgeglichenen Koordinaten der Festpunkte mit dem jeweiligen Helmertschen Punktfehler.

Tabelle 21: Ausgeglichenen Koordinaten der historischen Festpunkte und Helmertsche Punktfehler im ETRS89 mit UTM-Abbildung.

| Punktnummer | Status | East (Y) [m] | North (X) [m] | s_P^H [cm] |
|-----------------|----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 333593418046001 | nicht gefunden | 33 334 368,351 | 5 918 490,380 | 7,3 |
| 333593418046002 | nicht gefunden | 33 334 915,198 | 5 918 880,231 | 9,8 |
| 333593518046003 | nicht gefunden | 33 335 922,100 | 5 918 742,850 | 14,0 |
| 333593518046004 | nicht gefunden | 33 335 400,015 | 5 918 421,650 | 8,5 |
| 333593517046005 | vorgefunden | 33 335 800,321 | 5 917 862,846 | 2,5 |
| 333593417046006 | nicht gefunden | 33 334 930,404 | 5 917 859,646 | 4,9 |
| 333593517046007 | vorgefunden | 33 335 260,160 | 5 917 212,422 | 2,4 |
| 333593417146008 | nicht gefunden | 33 334 513,155 | 5 917 001,381 | 4,4 |
| 333593417046009 | nicht gefunden | 33 334 235,335 | 5 917 387,139 | 4,1 |
| 333593317046010 | nicht gefunden | 33 333 949,386 | 5 917 046,259 | 3,8 |
| 333593316046011 | vorgefunden | 33 333 468,915 | 5 916 706,572 | 2,5 |
| 333593317046012 | nicht gefunden | 33 333 741,381 | 5 917 281,204 | 3,7 |
| 333593317046013 | nicht gefunden | 33 333 240,521 | 5 917 475,111 | 4,2 |
| 333593317046014 | nicht gefunden | 33 333 644,808 | 5 917 957,244 | 4,1 |
| 333593318046015 | vorgefunden | 33 333 070,240 | 5 918 182,501 | 2,5 |
| 333593218046016 | nicht gesucht | 33 332 913,863 | 5 918 831,286 | 7,7 |
| 333593318046017 | nicht gefunden | 33 333 456,627 | 5 918 844,553 | 7,6 |

Die resultierenden Punktfehler spiegeln in ihrer Gesamtheit eine sehr gute Genauigkeit für das ausgeglichene Netz wider. Bei dieser Einschätzung muss das Alter der Richtungsmessungen sowie das damals zur Verfügung stehende Messinstrumentarium berücksichtigt werden. Auffällig ist der Wert des Festpunktes 333593518046003 mit 14,0 cm. Dieses Ergebnis lässt sich auf die schlechte geometrische Anbindung des Punktes im Netz zurückführen.

Das im Unterabschnitt 5.1 auf Seite 95 benannte Problem sowie das Ziel der Beseitigung der Koordinatenabweichung zwischen Realität und ALKIS-Bestand für das historische Festpunktnetz ließen sich durch den Einsatz der Ausgleichsrechnung erreichen. Dies zeigen insbesondere die vier vorgefundenen Festpunkte. Nur durch die Möglichkeit einer zusammenhängenden Auswertung epochübergreifender Beobachtungen ließ sich dieser Erfolg erzielen. Damit steht fest, dass die Ausgleichsrechnung im Liegenschaftskataster durchaus als Problemlöser benannt werden darf. Die Abbildung 34 zeigt die erreichten Verschiebungsvektoren des Festpunktnetzes.

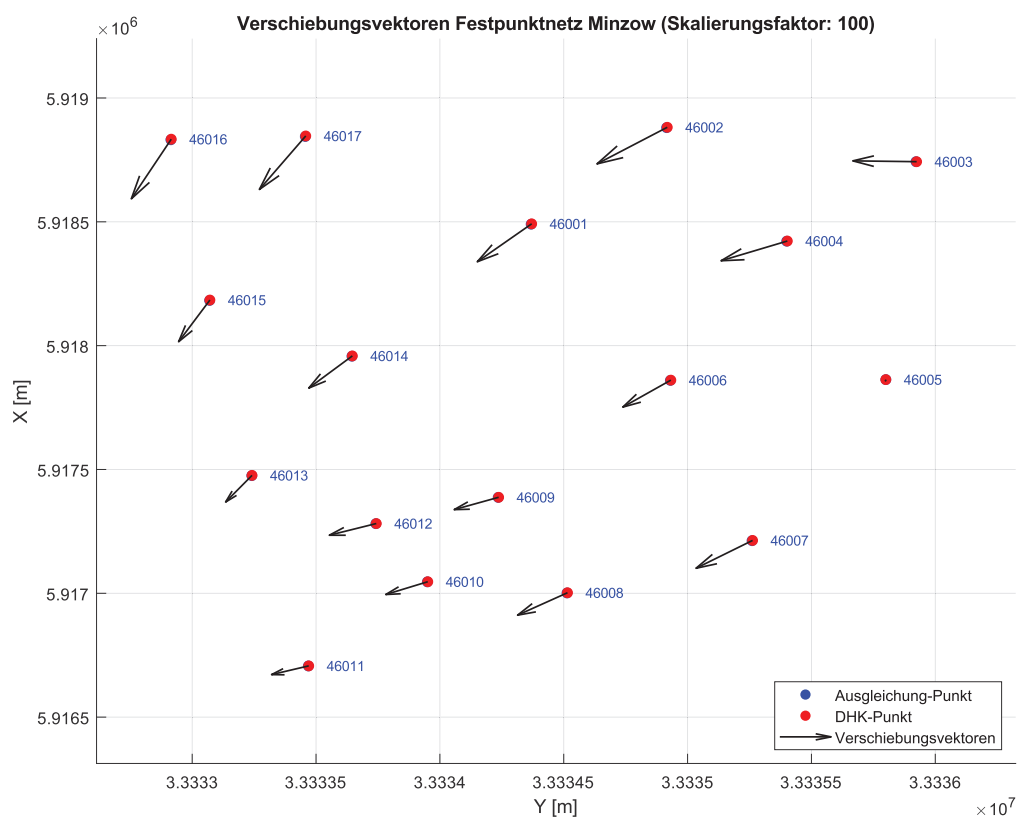


Abbildung 34: Darstellung der Koordinatenabweichung der historischen Festpunkte mit Verschiebungsvektoren (schwarz, Faktor 100), ALKIS-Koordinaten (rot) und ausgeglichenen Koordinaten (blau).

Es ist eindeutig zu erkennen, dass zwischen den Koordinaten des ALKIS-Bestandes und dem Ausgleichsergebnis eine homogene Verschiebung in Richtung Südwesten stattgefunden hat. Dabei lag die durchschnittliche Lageänderung bei 2,3 m in einem Bereich von maximal 3,2 m bis minimal 1,5 m. Die gewonnenen Ergebnisse können in das Liegenschaftskataster übernommen werden und durch die Ausgleichung stehen zusätzlich vertrauenswürdige und realistische Genauigkeits- und Zuverlässigkeitskriterien zur Verfügung.

5.6. Untersuchung des historischen kleinteiligen Liniennetzes

Neben der Lösung der Koordinatenabweichung für das historische Festpunktnetz sollte auch das kleinteilige Liniennetz der Neumessung behandelt werden. Dieses Liniennetz ist detailliert in den Feldmessprotokollen (Rissen) der Neumessung dokumentiert und liefert die maßgeblichen Katasterzahlen für die entsprechenden Grenzpunkte der Gemarkung.

Ebenso sollte der Nachweis erbracht werden, dass die Ausgleichsrechnung in der Lage ist, das kleinteilige Liniennetz der Neumessung zu berücksichtigen und damit die Koordinatenabweichung für die Grenzpunkte der Gemarkung zu lösen. Ziel war es, durch die Eingabe weiterer Beobachtungen in das bestehende Ausgleichsnetz Grenzpunkte aus dem Jahr 1869 aufzufinden und zu bestimmen. Dafür musste eine erneute, tiefgründige Recherche der Katasterunterlagen erfolgen. Ein vorherrschendes Problem dabei war, dass in den Rissen keine eindeutigen Signaturen vorlagen, mit denen Grenzpunkte eindeutig identifiziert werden konnten oder aus denen hervorging, ob und wie diese vermarktet waren. Dieser Umstand ist besonders gut in der Abbildung 35 zu erkennen.

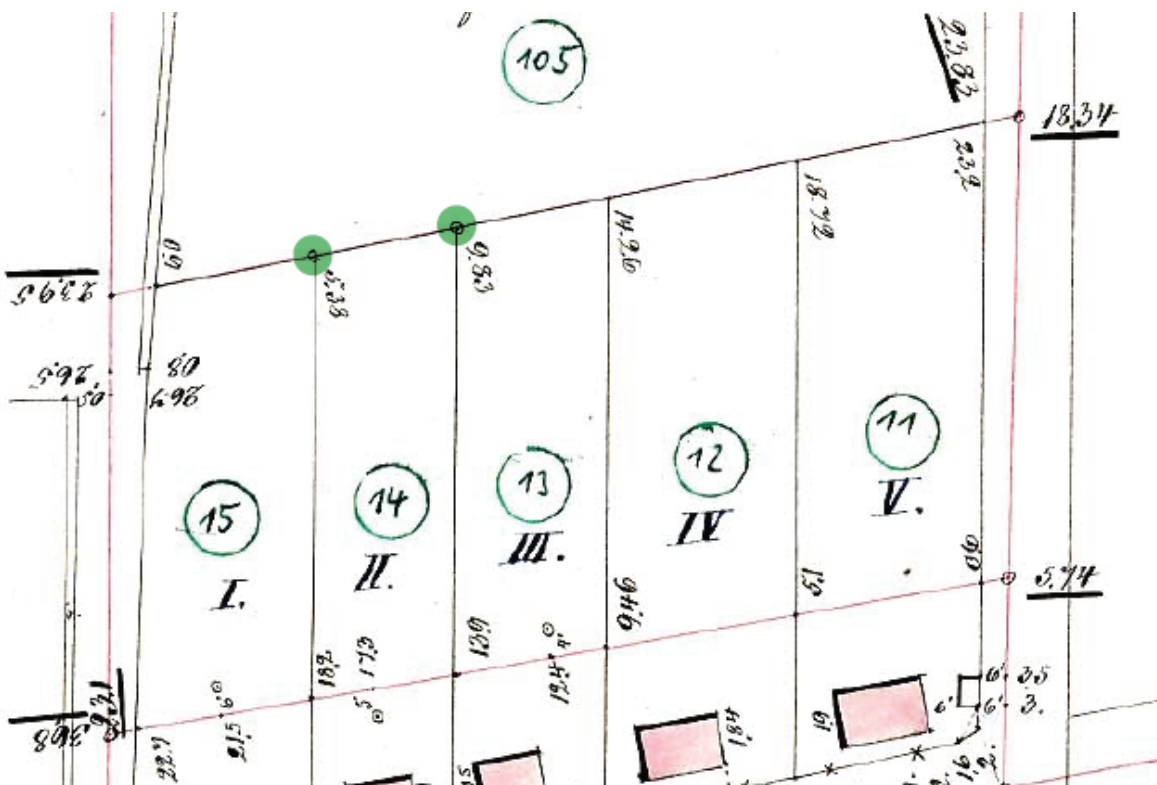


Abbildung 35: Auszug aus einem Feldmessprotokoll (Riss) der Neumessung von 1869

Auffällig waren dabei, wie in Abbildung 35 grün markiert, entsprechende kreisrunde Signaturen. Diese hoben sich deutlich von den sonst vorkommenden Punktdarstellungen ab. Es wurde daher entschieden, besonders jene Punkte in das Ausgleichsnetz zu integrieren, welche eben diese Signatur aufwiesen. Die Abbildung 36 auf Seite 111 präsentiert das Ergebnis der Recherche und des Eingabeprozesses für das kleinteilige Liniennetz.

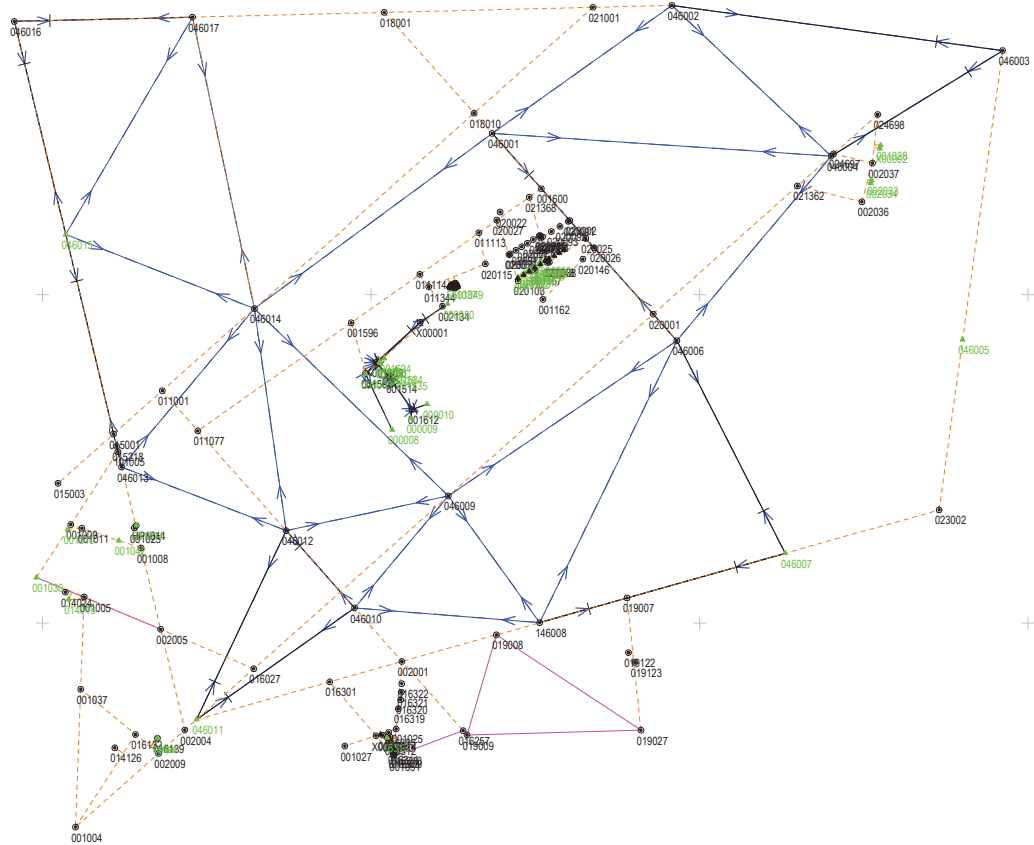


Abbildung 36: Darstellung des Ausgleichsnetzes mit polaren Beobachtungen (blau), Orthogonalbeobachtungen (orange), Spannmaßen (pink), Referenzpunkten (grün) sowie Neupunkten (schwarz).

5.6.1. Außendienstliche Überprüfung des Liniennetzes

Aufgrund der vertieft durchgeführten Eingabe- und Analysearbeiten am Ausgleichsnetz standen für zahlreiche Punkte, welche mit einer entsprechenden Signatur in den Rissen vorlagen, ausgeglichene Suchkoordinaten bereit. Es handelte sich dabei um 20 potenzielle Grenzpunkte, die über die Gemarkung verteilt lagen.

Durch insgesamt drei Außendiensttage wurden die entsprechenden möglichen Grenzpunkte abgesteckt. Dabei konnte lediglich ein Grenzpunkt aus dem Jahr 1869 vorgefunden werden. Dieser ist in der Abbildung 37 zu sehen.



Abbildung 37: Vorgefundener Grenzpunkt der Neumesung von 1869, vermarktet durch einen Granitstein mit eingehauenen Kreuz.

5.6.2. Zusammenfassung der Ergebnisse des Liniennetzes

Das Auffinden des Grenzpunktes aus der Abbildung 37 auf Seite 111 liefert den Nachweis, dass es möglich ist, die Koordinatenabweichung auch im kleinteiligen Liniennetz zu korrigieren. Der vorgefundene Punkt 20038 besitzt eine Verschiebung von 1,3m zwischen dem ALKIS-Bestand und der vorgefundenen Position in südwestlicher Richtung.

Dieser Sachstand kann der Abbildung 38 entnommen werden. Der mit einem rechteckigen Kästchen markierte Bereich enthält den vorgefundenen Grenzpunkt.

Die Erkenntnisse aus der Untersuchung des kleinteiligen Liniennetzes sowie des zuvor betrachteten historischen Festpunktnetzes zeigen deutlich, dass alle Punkte des ALKIS-Bestandes der Gemarkung Minzow einer Koordinatenabweichung unterliegen.

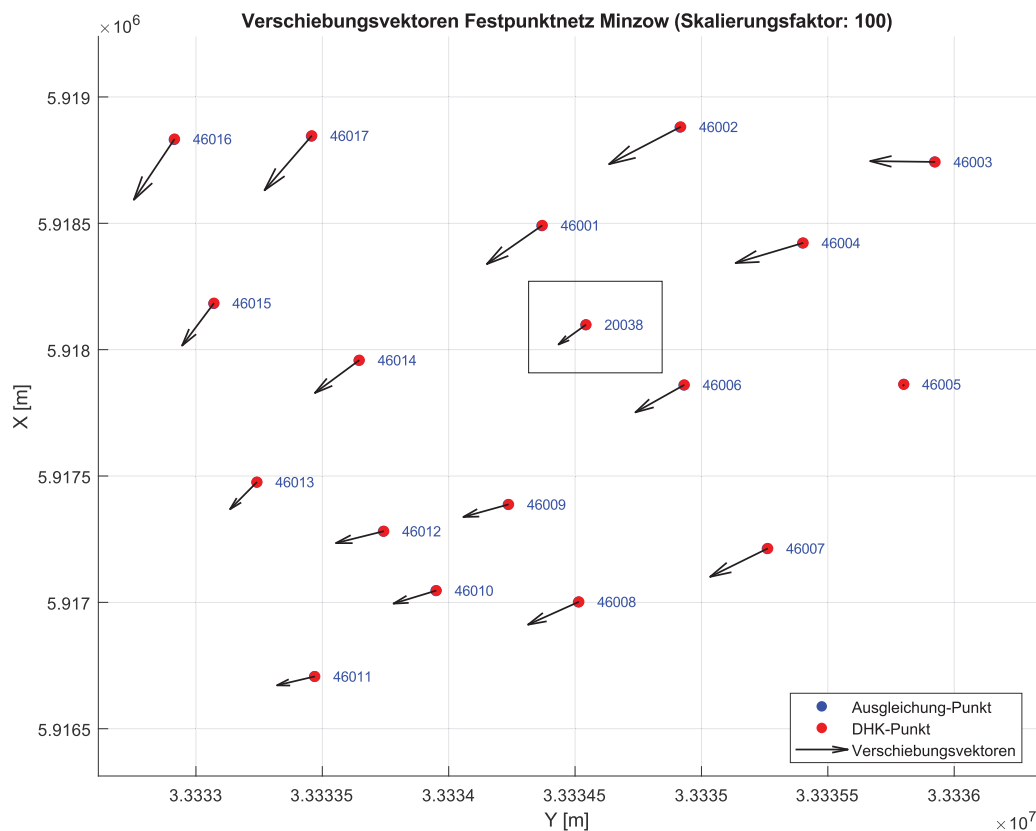


Abbildung 38: Darstellung der Koordinatenabweichung historischer Festpunkte sowie eines Grenzpunktes mit Verschiebungsvektoren (schwarz, Skalierungsfaktor 100), ALKIS-Koordinaten (rot) und ausgeglichenen Koordinaten (blau).

6. Fazit

Die vorliegende Bachelorarbeit befasste sich mit der Ausgleichsrechnung als mögliches Instrument für eine umfangreiche Qualitätsverbesserung des Liegenschaftskatasters (QL). Ausgangspunkt war die vorherrschende, historisch bedingte heterogene geometrische Qualität des Liegenschaftskatasters, welche trotz mehrerer Versuche in der katasterlichen Entwicklung durch Neuordnungen und Neumessungen auch nach der Migration im Jahr 2014 in das moderne Amtliche Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) fortbesteht. Auf dieser Grundlage wurde untersucht, inwiefern das Verfahren der Ausgleichsrechnung geeignet ist und genutzt werden kann, um geometrieverbessernde Maßnahmen im Liegenschaftskataster zur Anwendung zu bringen.

Im theoretischen Teil der Arbeit wurden zunächst die fachlichen, historischen und rechtlichen Grundlagen der QL dargestellt. Das Resultat dieser Betrachtungen zeigte, dass das Liegenschaftskataster als Bestandteil des Eigentumssicherungssystems einen eindeutigen und zugleich hohen Anspruch an die Qualität der Liegenschaftsgeometrie besitzt. Gleichzeitig verdeutlichte sich, dass ein erheblicher Teil der bestehenden maßgeblichen Katasterunterlagen in ihrer Genauigkeit und Dokumentationsqualität stark variiert. Vor diesem Hintergrund stellt insbesondere die Ausgleichsrechnung ein geeignetes Mittel dar, um unterschiedliche Genauigkeiten, Redundanzen und Widersprüche im Katasterzahlenwerk mathematisch homogen zu verarbeiten.

Aufbauend darauf erfolgte eine systematische Erläuterung der Theorie und Grundlagen der Ausgleichsrechnung, mit dem Fokus auf der Methode der kleinsten Quadrate, dem funktionalen und dem stochastischen Modell sowie Verfahren der Qualitätsanalyse. Im Rahmen eines fiktiven Referenzbeispiels wurde anschaulich der Einsatz der Ausgleichsrechnung im Liegenschaftskataster verdeutlicht. Dabei standen der Einfluss grober Fehler, die Bedeutung korrekt gewählter Referenzpunkte sowie die Leistungsfähigkeit verschiedener Ausgleichsansätze im Vordergrund. Insbesondere zeigte sich, dass die Wahl des stochastischen Modells einen entscheidenden Einfluss auf die Stabilität und Aussagekraft der Ergebnisse hat. Des Weiteren konnte nachvollzogen werden, dass dynamische Netzausgleichungen ein geeignetes Mittel darstellen, um eindeutigere Grobfehleridentifikationen zu ermöglichen.

Das zentrale Anwendungsbeispiel in der Gemarkung Minzow bestätigte die Annahmen und Erkenntnisse des Referenzbeispiels und konnte auf praxisnahe Bedingungen übertragen werden. Durch die Ausgleichung historischer Katasterzahlenwerke aus Festpunkt- und Liniennetzen konnten stabile Suchkoordinaten abgeleitet und im Außendienst überprüft werden. Die Ergebnisse zeigen, dass selbst bei kleinteiligen Netzen deutliche Verbesserungen der geometrischen Qualität erreicht werden können, insbesondere indem vorhandene Koordinatenabweichungen minimiert wurden.

Da innerhalb dieser Arbeit lediglich selektierte Bereiche der Gemarkung ausgleichstechnisch behandelt wurden, stellt sich zukünftig die Frage nach einer Gesamtlösung für die vorliegende Problematik. Die Ausgleichsrechnung könnte als Gesamtansatz für die vollständige Gemarkung stabile, zuverlässige und nachvollziehbare Ergebnisse liefern, allerdings nur dann, wenn ausreichend qualitativ hochwertige und homogen verteilte Referenzpunkte vorliegen. Alternativ könnten auch die Mittel und Verfahren der Bodenordnung gemäß FlurbG herangezogen werden, sofern die notwendigen rechtlichen Voraussetzungen für die Anordnung eines Flurbereinigungsverfahrens in der Gemarkung gegeben sind. Im Ergebnis könnten auch auf diesem Wege homogene Liegenschaftsgeometrien im amtlichen Lagebezug hergestellt werden.

Nichtsdestotrotz verdeutlicht die Arbeit, dass die Ausgleichsrechnung als leistungsstarker und zuverlässiger Problemlöser im Rahmen der QL anzusehen ist. Sie ermöglicht nicht nur die Bewertung der geometrischen Qualität der Liegenschaftselemente auf Grundlage der vorhandenen maßgeblichen Katasterzahlen, sondern schafft zugleich eine Entscheidungsgrundlage für weiterführende katasterliche Maßnahmen. Die Qualität der resultierenden Liegenschaftsgeometrien ergibt sich dabei insbesondere aus der Güte und Vollständigkeit der historischen Katasterunterlagen sowie aus unvermeidbaren Modellannahmen. Diese Einschränkungen unterstreichen jedoch zugleich die Bedeutung einer sorgfältigen fachlichen Begleitung ausgleichstechnischer Verfahren. Zusätzlich sind eine kritische Auseinandersetzung mit historischen Quellen sowie eine fachlich fundierte Interpretation durch den Anwender erforderlich.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Ausgleichsrechnung ein unverzichtbares Instrument für die notwendige und rechtlich geforderte Weiterentwicklung des Liegenschaftskatasters darstellt. Insbesondere im Kontext zukünftiger Qualitätsverbesserungsmaßnahmen bietet sie das Potenzial, die Übereinstimmung von Katasterkarten- und Katasterzahlenwerk wirksam flächendeckend herzustellen und somit die geometrische Qualität des amtlichen Geobasisinformationssystems langfristig zu sichern.

Literatur

- [AdV 2025] ADV: *Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) - AdV-Produkte: Liegenschaftskataster*. <https://www.adv-online.de/AdV-Produkte/Liegenschaftskataster/>. Version: 2025
- [ALKIS VV M-V] ALKIS VV M-V: *Verwaltungsvorschrift zur Führung des Liegenschaftskatasters im Amtlichen Liegenschaftskataster-Informationssystem (ALKIS) in Mecklenburg-Vorpommern (ALKIS VV M-V), Ministerium für Inneres, Bau und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern vom 04. April 2024*
- [Baarda 1967] BAARDA, Willem: *Statistical Concepts in Geodesy*. In: *Publications on Geodesy, New Series 2* (1967), Nr. 4, 1–74. <https://ncgeo.nl/wp-content/uploads/2024/06/08Baarda.pdf>
- [Bengel u. Simmerding 2000] BENGEL, Manfred ; SIMMERDING, Franz: *Grundbuch, Grundstück, Grenze: Handbuch zur Grundbuchordnung unter Berücksichtigung katasterrechtlicher Fragen*. 5., erweiterte Auflage. Neuwied ; Kriftel ; Berlin : Luchterhand, 2000. – ISBN 3–472–03586–2
- [Bezirk NB 1954] BEZIRK NB: *Anleitung für die Ausführung von Neumessungen*. Neubrandenburg, Deutschland, 1954. – Herausgeber: Regierung der Deutschen Demokratischen Republik, Ministerium des Inneren, Staatssekretariat für Innere Angelegenheiten, Hauptabteilung Vermessung und Katasterwesen
- [Bezirk NB 1956] BEZIRK NB: *Bezirk Neubrandenburg, Abteilung für Innere Angelegenheiten - Kataster - Leitfaden für die Anfertigung von Mutterpausen für das Einheitskataster*. Neubrandenburg, Deutschland, 1956. – Herausgegeben vom Rat des Bezirkes Neubrandenburg - Liegenschaftsdienst, Operative Gruppe
- [BGB] BGB: *Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) - Bürgerliches Gesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. Januar 2002 (BGBl. I S. 42, 2909; 2003 I S. 738), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 17. Juli 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 163) geändert worden ist*. <https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/BGB.pdf>
- [bpb 2025] BPB: *Bundeszentrale für politische Bildung (bpb) - Zoneneinteilung 17. Juni 1945*. https://www.bpb.de/system/files/dokument_pdf/Zoneneinteilung%201945.pdf. Version: 2025
- [BRK Köln 2014] BRK KÖLN: *Bezirksregierung Köln (BRK Köln) - Ausgleichung im Liegenschaftskataster: Integration der Ausgleichungsrechnung in die Arbeitsabläufe des Liegenschaftskatasters: ein Handbuch*. Köln, Deutschland, 2014. https://www.bezreg-koeln.nrw.de/system/files/media/document/file/kommunales_planung_bauen_und_verkehr_katasterwesen_kataster_auswertung_ausgleichung_liegenschaftskataster.pdf
- [Bundesgerichtshof 2005] BUNDESGERICHTSHOF: *Richtigkeitsvermutung des Grundbuchs bei Grenzverlauf nach dem Liegenschaftskataster*. Version: 2005. <https://juris.bundesgerichtshof.de/cgi-bin/rechtsprechung/document.py?Gericht=bgh&Art=en&nr=35207&pos=0&anz=1>. – V. Zivilsenat, Vorinstanzen: LG Stendal, AG Gardelegen. Leitsatz: Die Richtigkeitsvermutung des Grundbuchs erstreckt sich auch auf den sich aus dem Liegenschaftskataster ergebenden Grenzverlauf.

- [DigA M-V] DIGA M-V: *Anweisung zur Erstellung der Automatisierten Liegenschaftskarte in Mecklenburg-Vorpommern mittels Digitalisierung (Digitalisieranweisung Mecklenburg-Vorpommern - DigA M-V -)*, Stand: 01. März 1998
- [FlurbG] FLURBG: *Flurbereinigungsgesetz (FlurbG) - Flurbereinigungsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. März 1976 (BGBl. I S. 546), das zuletzt durch Artikel 17 des Gesetzes vom 19. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2794) geändert worden ist.* <https://www.gesetze-im-internet.de/flurbg/FlurbG.pdf>
- [Foppe 2009] FOPPE, Karl: *Repetitorium zur Fehlerlehre und Statistik und Ausgleichsrechnung.* Hochschule Neubrandenburg, Nachschlagewerk, März 2009
- [Foppe 2024] FOPPE, Karl: *Fehlerlehre und Statistik.* Vorlesungsskript: HS Neubrandenburg, Studiengang Geodäsie und Messtechnik, WS 2022/23, September 2024
- [Förstner 1979] FÖRSTNER, Wolfgang: Das Programm TRINA zur Ausgleichung und Gütebeurteilung geodätischer Lagenetze. In: *ZfV - Zeitschrift für Vermessungswesen* (1979), Nr. 2, 61–72. <https://www.ipb.uni-bonn.de/pdfs/Forstner1979Das.pdf>
- [GBO] GBO: *Grundbuchordnung (GBO) - Grundbuchordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. Mai 1994 (BGBl. I S. 1114), die zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 25. Februar 2025 (BGBl. 2025 I Nr. 63) geändert worden ist.* <https://www.gesetze-im-internet.de/gbo/GBO.pdf>
- [GeoVermG M-V] GEOVERMG M-V: *Gesetz über das amtliche Geoinformations- und Vermessungswesen des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Geoinformations- und Vermessungsgesetz) vom 16. Dezember 2010 (GVObI. M-V 2010, 713), letzte berücksichtigte Änderung: Inhaltsübersicht, §§ 15, 22, 33, 36 geändert, § 24 neu gefasst durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Mai 2018 (GVObI. M-V S. 193, 204).* <https://www.landesrecht-mv.de/bsmv/document/jlr-GeoInfVermGMVrahmen>
- [GG] GG: *Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland (GG) - Grundgesetz der Bundesrepublik Deutschland in der im Bundesgesetzesblatt Teil III, Gliederungsnummer 100-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 19. Dezember 2022 (BGBl. I S. 2478) geändert worden ist.* <https://www.gesetze-im-internet.de/gg/GG.pdf>
- [Ginap 1929] GINAP, Ludwig: *Die Geschichte von Minzow - Dorfchronik von Minzow.* Schwerin, Deutschland, 1929
- [Greve 2015] GREVE, Dieter: *Ruthen, Hufen und Erben: Vermessung und Kataster in Mecklenburg und Vorpommern. Eine historische Darstellung zur Entwicklung seit dem 16. Jahrhundert bis zur Einführung von Geobasisinformationssystemen in der Landesvermessung und im Liegenschaftskataster.* Erweiterte Neufassung. Schwerin, Deutschland : Deutscher Verein für Vermessungswesen e.V. (DVW) Landesverein Mecklenburg-Vorpommern, 2015 <https://www.laiv-mv.de/serviceassistent/download?id=1673127>. – ISBN 978–3–86402–036–4
- [Gärtner u. Hagebusch 1992] GÄRTNER, Michael ; HAGEBUSCH, Alfred: *Fachkunde für Vermessungstechniker.* 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. Köln : Rheinland-Verlag GmbH, 1992. – ISBN 3–7927–1324–1

- [Herberger 2025] HERBERGER: *Güter und Aemter der Mecklenburg-Schwerin'schen Domänen : ein Beitrag zum einheimischen Staats- und Verwaltungsrecht*. https://rosdok.uni-rostock.de/download/recordIdentifier/rosdok_ppn769060102/rosdok_ppn769060102.pdf. Version: 2025
- [Hoffmann 2011] HOFFMANN, Helmut: *Die Funktion des Liegenschaftskatasters als amtliches Verzeichnis der Grundstücke - Für den Bund der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure BDVI - Landesgruppe Mecklenburg-Vorpommern*. 1. Auflage. Bund der Öffentlich bestellten Vermessungsingenieure e.V. - Landesgruppe Mecklenburg-Vorpommern, 2011. – ISBN 978–3–941681–17–0
- [Höckmann 2025] HÖCKMANN, Thomas: *Karte Mecklenburg (historische Deutschlandkarte, 1789)*. <http://www.hoeckmann.de/imagesdeutsch/mecklenburg.gif>. Version: 2025
- [IM BB 2001] IM BB: Ministerium des Innern des Landes Brandenburg (IM BB) - Vermessung Brandenburg - Ausgabe Nr. 1/2001, 6. Jahrgang. In: *Vermessung Brandenburg (2001)*. https://geobasis-bb.de/sixcms/media.php/9/vbb_101.pdf. – ISSN 1430–7650. – Schriftleitung: Ministerialrat H. Tilly; Redaktion: B. Ehlers, M. Oswald, B. Sorge; Redaktionsschluss: 28. Februar 2001
- [IM BB 2018] IM BB: *Ministerium des Innern und für Kommunales des Landes Brandenburg (IM BB) - QL-Aktionsplan Brandenburg: Für das Projekt „Geometrieverbesserung der Liegenschaftskarte“*. Potsdam, Deutschland: Referat 13, 2018. https://mik.brandenburg.de/sixcms/media.php/9/2018-09-12_QL-Aktionsplan-2018.3959726.pdf. – Stand: 1. August 2018
- [IUGR 2025] IUGR: *Hochschule Neubrandenburg, Institut für Umweltgeschichte und Regionalentwicklung (IUGR) - Bodenreform - Von der Bodenreform bis zur Kollektivierung in der Landwirtschaft (Baugeschehen in Hohenzieritz)*. <https://www.hs-nb.de/iugr/landschaft-hat-geschichte/kulturlandschaftselemente/eine-reise-durch-die-siedlungsgeschichte/baugeschehen-in-hohenzieritz/bodenreform/>. Version: 2025
- [Kahmen 2006] KAHMEN, Heribert: *Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde*. 20., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin : Walter de Gruyter, 2006. – ISBN 978–3–11–018464–8
- [Köster 2023] KÖSTER, Uwe: Verbesserung der Koordinatenqualität von Geobasisdaten im Amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystem. In: *GeoForum MV 2023 - Geoinformation - Gefragter denn je!* (2023), S. 55–65. https://archiv.geomv.de/geoforum/2023/doc/Tagungsband_GeoForum-MV-2023_eBook.pdf
- [LAIv 2003] LAIV: *Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern (LAIv) - Festschrift „150 Jahre Mecklenburgische Landesvermessung 1853–2003“*. Schwerin, Deutschland, 2003. <https://www.laiv-mv.de/static/LAIV/Abt3.Geoinformation/Dateien/Festschrift.pdf#page=60>. – Enthält Beitrag zur Geschichte der Landesvermessung (S. 60 ff.)
- [LaiV M-V 2011] LAIV M-V: *Migrationskonzept für Mecklenburg-Vorpommern*. Schwerin, Deutschland, 2011. – Version 3.0 Stand: 20.07.2011, Basierend auf GeoInfoDok V. 6.0.1, Bearbeitet vom Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern Amt für Geoinformation, Vermessungs und Katasterwesen

- [LiKatVV M-V] LIKATVV M-V: *Prioritäten im Liegenschaftskataster Mecklenburg-Vorpommern (LiKatVV M-V) Vom 21. Dezember 2020 - AmtsBl. M-V 2021 S. 23.* <https://www.landesrecht-mv.de/bsmv/document/VVMV-VVMV000010013>
- [LiVermVV M-V] LIVERMVV M-V: *Verwaltungsvorschrift zur Durchführung von Liegenschaftsvermessungen in Mecklenburg-Vorpommern (LiVermVV M-V), Ministerium für Inneres, Bau und Digitalisierung Mecklenburg-Vorpommern vom 15. September 2014, letzte Änderung am 26. September 2022.* https://www.laiv-mv.de/static/LAIV/Geoinformation/Dateien/LiVermVV_M-V_gesamt.pdf
- [LK VR 2025] LK VR: *Landkreis Vorpommern-Rügen (LK VR) - Kataster und Vermessung - Informationen des Landkreises Vorpommern-Rügen.* <https://www.lk-vr.de/Kreisverwaltung/Kataster-und-Vermessung/>. Version: 2025
- [Masur 2017] MASUR, Klemens: *Geometrische Qualitätsverbesserung der Liegenschaftskarte im Land Brandenburg.* Berlin, Deutschland, 2017. <https://www.adv-online.de/Veroeffentlichungen/Vortraege-Praesentationen/INTERGEO/binarywriterservlet?imgUid=0c2205d5-71de-0f51-09b3-266605d1cbf2&uBasVariant=11111111-1111-1111-1111-111111111111&isDownload=true>. – Vortrag auf der INTERGEO 2017
- [Mehlitz 2010] MEHLITZ, Björn: *Bachelorarbeit - Durchführung einer Geometrieverbesserung der Liegenschaftskarte der Flur 1 der Gemarkung Neuglobsow unter Verwendung des Liegenschaftszahlenwerks.* Hochschule Neubrandenburg (HS-NB), 2010 https://digibib.hs-nb.de/resolve/id/dbhsnb_thesis_0000000409
- [Neitzel 2010] NEITZEL, Frank: *Ausgleichsrechnung - Modellbildung, Auswertung, Qualitätsbeurteilung.* In: *Qualitätsmanagement geodätischer Mess- und Auswertungsverfahren, Beiträge zum 93. DVW-Seminar am 10. und 11. Juni 2010 in Hannover, DVW-Schriftenreihe Band 61/2010, (2010).* https://www.researchgate.net/profile/Frank_Neitzel/publication/228854878_Ausgleichsrechnung-Modellbildung_Auswertung_Qualitaetsbeurteilung/links/581b5d1908ae12715aefd79f/Ausgleichsrechnung-Modellbildung-Auswertung-Qualitaetsbeurteilung.pdf
- [Niemeier 2008] NIEMEIER, Wolfgang: *Ausgleichsrechnung: Statistische Auswertemethoden.* 2nd ed., überarbeitete und erweiterte Auflage. Walter de Gruyter, 2008. – ISBN 978-3-11-019055-7
- [Pelzer 1985] PELZER, Hans (Hrsg.): *Vermessungswesen bei Konrad Wittwer.* Bd. Bd. 13: *Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung II: Vorträge des Kontaktstudiums Februar 1985 in Hannover.* Stuttgart : Konrad Wittwer, 1985. – ISBN 3-87919-140-9
- [Pichlmayer 1951] PICHLMAYER, Herbert: *Das Einheitskataster: Einheitlicher Nachweis und Beschreibung der Liegenschaften.* Berlin, Deutschland : Verlag Technik, 1951 (Schriftenreihe des Verlages Technik, Band 19). – SVT - Schriftenreihe des Verlages Technik
- [QL-MV 2020] QL-MV: *Erfassungshinweise für das Verfahren der geometrischen Verbesserung der Liegenschaftskarte (QL-MV).* Schwerin, Deutschland, 2020. – Entwurfs-Stand: 10. März 2020

- [Reichsgericht 1910] REICHSGERICHT: *Gehören zum Inhalt des Grundbuchs im Sinne des § 892 BGB auch Angaben aus dem Steuerkataster, die in das Grundbuch übertragen worden sind?* 1910. – Urteil des V. Zivilsenats vom 12. Februar 1910, i. S. S. & Co. (Bekl.) w. Fürst v. B. (Kl.), Rep. V. 72/09, Vorinstanzen: LG Osnabrück, OLG Celle.
- [Reichsgericht 1914] REICHSGERICHT: *Zwangshypothek. Veräußerungsverbote. Unfallversicherungsbeiträge.* 1914. – Urteil des V. Zivilsenats vom 12. März 1914, i. S. Preuß. Fiskus (Bekl.) u. D. (Nebeninterven.) v. Steinbruchs-Berufsgenossenschaft in Ch. (Kl.), Rep. V. 368/13, Vorinstanzen: LG Osnabrück, OLG Celle.
- [RGL. I 1940] RGL. I: *Verordnung über die Einführung des Reichskatasters als amtliches Verzeichnis der Grundstücke im Sinne des § 2 Abs. 2 der Grundbuchordnung vom 23. Januar 1940 (RGL. I S. 240).* https://www.servat.unibe.ch/dns/RGLI_1940_I_240_G_Vertretung_Reichstag_Ostgebiete.pdf. Version: 1940. – Reichsgesetzblatt Teil I, ausgegeben zu Berlin am 23. Januar 1940
- [Rösch u. Kurandt 1939] RÖSCH, Albrecht ; KURANDT, Friedrich: *Reichsbodenschätzung und Reichskataster: Gesetze mit amtlicher Begründung, Durchführungsbestimmungen und Verwaltungsvorschriften nach dem neuesten Stand.* Berlin, Deutschland : Carl Heymann Verlag, 1939. – Zweiter Teil: Reichskataster
- [Schwenn 2023] SCHWENN, Mirko: *Geschichte - Entwicklung des mecklenburgischen Liegenschaftskatasters.* Vorlesungsskript: HS Neubrandenburg, Studiengang Geodäsie und Messtechnik, WS 2023/24, September 2023
- [Schwenn 2024] SCHWENN, Mirko: *Geobasisinformationssystem Liegenschaftskataster.* Vorlesungsskript: HS Neubrandenburg, Studiengang Geodäsie und Messtechnik, WS 2024/25, September 2024
- [Schüttel 2003] SCHÜTTEL, Marcel: ALB und ALK - Fit für ALKIS®? In: *zfv - Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement* 128 (2003), Nr. 3, 185–192. https://geodaesie.info/system/files/privat/zfv_2003_3_Schuettel.pdf
- [Stahl 2002] STAHL, Michael: *Diplomarbeit - Zur Qualitätsverbesserung des digitalen / analogen ALK-Datenbestandes.* Hochschule Neubrandenburg (HS-NB), 2002
- [Verwaltungsgericht Greifswald 2013] VERWALTUNGSGERICHT GREIFSWALD: *Urteil im Verwaltungsstreitverfahren einer Vermessungsangelegenheit.* Version: 2013. https://www.bdvi.de/application/files/7815/6959/6739/Urteil_VG-Greifswald_5A_4-12.pdf
- [VwV-ALK/1 M-V] VwV-ALK/1 M-V: *Verwaltungsvorschrift zum beschleunigten Aufbau der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in Mecklenburg-Vorpommern bis zum Jahr 2007 (Verwaltungsvorschrift ALK-Grundstufe Mecklenburg-Vorpommern - VwV-ALK/1 M-V -), Stand: 04. Mai 2001*
- [Ziegelbrenner 2008] ZIEGELBRENNER: *Karte des Deutschen Reiches 1871–1918.* [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deutsches_Reich_\(1871-1918\)-de.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Deutsches_Reich_(1871-1918)-de.svg). Version: 2008. – Eigenes Werk

nach: Putzger, F. W. (1965), Historischer Weltatlas (89. Auflage); Lizenz: GNU FDL; Version 2025

Abbildungsverzeichnis

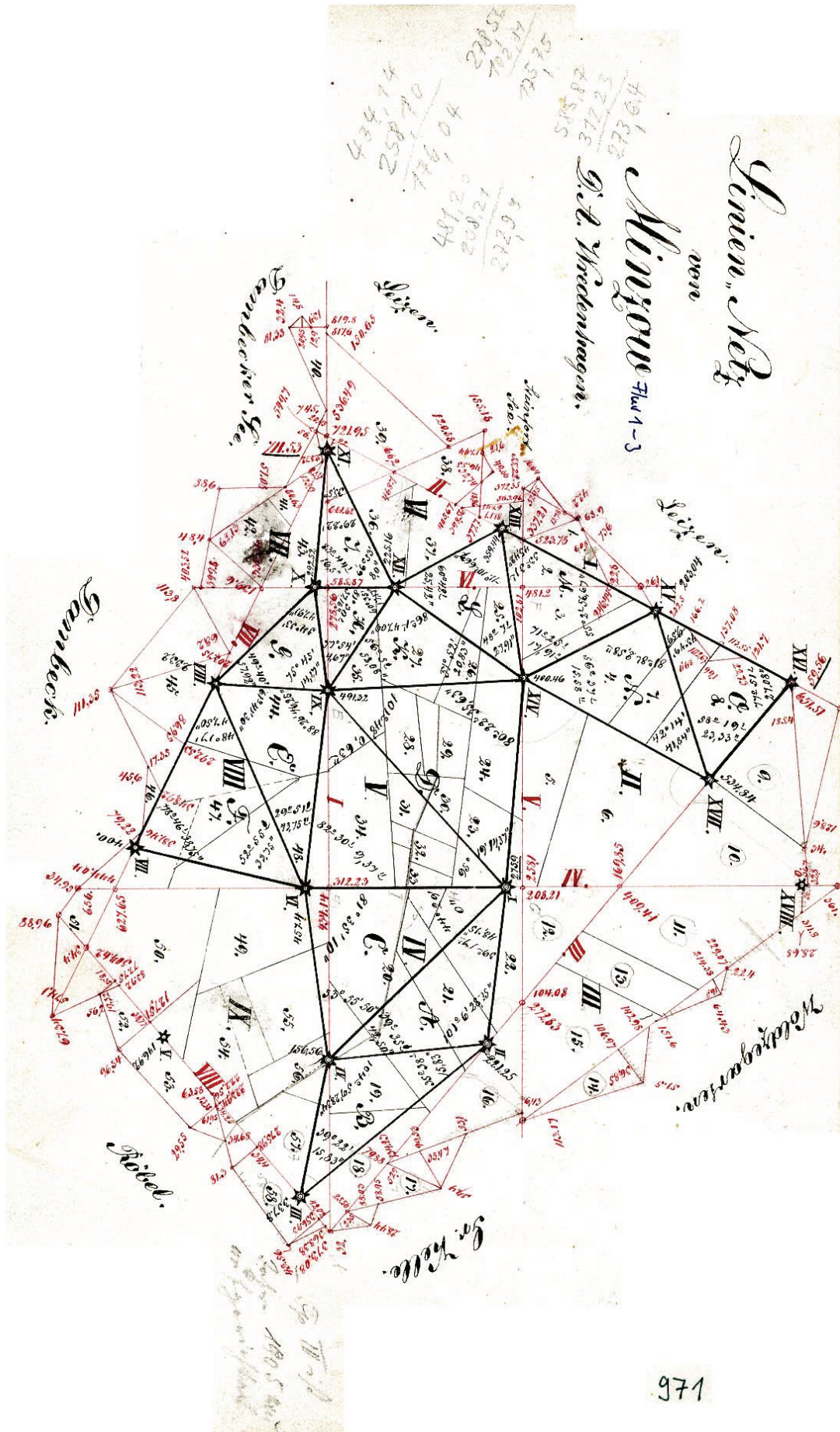
| | | |
|-----|--|-----|
| 1. | Auszug: Liegenschaftskarte | 1 |
| 2. | Format der Mutterpausen | 3 |
| 3. | Vergleich zwischen Urkarte und Mutterpause | 4 |
| 4. | Systemkonzeption der ALK in Mecklenburg-Vorpommern | 5 |
| 5. | Modell der Helmert-Transformation | 10 |
| 6. | Digitalisiergenauigkeit | 13 |
| 7. | Modellübersicht der Ausgleichsrechnung | 25 |
| 8. | Prinzip der Taylorreihe | 29 |
| 9. | Allgemeine graphische Darstellung eines Konfidenzbereichs. | 37 |
| 10. | Vergleich: Fehler- und Konfidenzellipse | 40 |
| 11. | Zwangsfreie Netzausgleichung | 45 |
| 12. | Freie Netzausgleichung - Gesamtpurminimierung | 46 |
| 13. | Freie Netzausgleichung - Teilspurminimierung | 46 |
| 14. | Netzausgleichung unter Zwang | 47 |
| 15. | Dynamische Netzausgleichung | 48 |
| 16. | Referenzbeispiel | 49 |
| 17. | Referenzbeispiel: Wahl des stochastischen Modells | 50 |
| 18. | Referenzbeispiel: Existenz von groben Fehlern | 56 |
| 19. | Referenzbeispiel: Integration eines korrekten Referenzpunktes | 61 |
| 20. | Referenzbeispiel: Integration eines fehlerhaften Referenzpunktes | 64 |
| 21. | Anwendungsbeispiel: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung | 67 |
| 22. | Politische Karten von Mecklenburg | 74 |
| 23. | Direktorialvermessungskarte Vellahn | 76 |
| 24. | Deutsches Reich (1871 – 1918) | 81 |
| 25. | Entstehung des Reichskatasters | 83 |
| 26. | Zoneneinteilung Deutschlands nach 1945 | 85 |
| 27. | Schemata der Migration | 92 |
| 28. | Liegenschaftskarte: Gemarkung Minzow | 95 |
| 29. | Netzskizze | 97 |
| 30. | Ausgleichungsnetz | 101 |
| 31. | Vergleich des Gebäudepunktes 1869 und 1997 | 104 |
| 32. | Ausgleichungsnetz vor dem Außendienst | 105 |
| 33. | Festpunkte des historischen Richtungsnetzes von 1869 | 106 |
| 34. | Koordinatenabweichung historischer Festpunkte | 109 |
| 35. | Feldmessprotokoll Neumessung 1869 | 110 |
| 36. | Ausgleichungsnetz mit kleinteiligem Liniennetz | 111 |
| 37. | Grenzpunkte der Neumessung von 1869 | 111 |
| 38. | Koordinatenabweichung historischer Punkte | 112 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|-----|---|-----|
| 1. | Grunddaten der ALK | 6 |
| 2. | Restklaffengrenzwertübersicht | 11 |
| 3. | Kartiergenauigkeiten in Abhängigkeit der Kartenqualität | 13 |
| 4. | Fehlerarten bzw. Arten von Abweichungen | 24 |
| 6. | Redundanzanteilwertebereich | 42 |
| 7. | Bewertungsschema: normierte Verbesserung | 43 |
| 8. | Datumparameter durch Beobachtungen | 44 |
| 9. | Referenzpunktkoordinaten | 49 |
| 10. | Referenzbeispiel: Wahl des stochastischen Modells | 54 |
| 11. | Referenzbeispiel: Existenz von groben Fehlern | 60 |
| 12. | Referenzpunktkoordinate 104 (korrekt) | 62 |
| 13. | Referenzbeispiel: Integration eines korrekten Referenzpunktes | 63 |
| 14. | Referenzpunktkoordinate 104 (fehlerhaft) | 64 |
| 15. | Referenzbeispiel: Integration eines fehlerhaften Referenzpunktes | 66 |
| 16. | Referenzbeispiel: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung (Variante 1) | 70 |
| 17. | Referenzbeispiel: Anwendung der dynamischen Netzausgleichung (Variante 2) | 71 |
| 18. | Standardabweichungen der Richtungen | 98 |
| 19. | Referenzpunkte der Gemarkung Minzow | 100 |
| 20. | Übersicht: Referenzpunktüberprüfung | 105 |
| 21. | Koordinaten historischer Festpunkte | 108 |

A. Netzkarte

| | |
|--------------------|--|
| Gemeinde: | Leizen |
| Gemarkung: | Minzow (1374) |
| Flur: | 1 |
| Rissnummer: | 971 |
| Blattnummer: | 1 |
| Art der Unterlage: | Netzübersicht |
| Vermessungsstelle: | KVA Mecklenburgische Seenplatte |
| Messjahr: | 1869 |



971

B. Vermessungsriß: 970

| | |
|--------------------|--|
| Gemeinde: | Leizen |
| Gemarkung: | Minzow (1374) |
| Flur: | 3 |
| Risnummer: | 970 |
| Blattnummer: | 29 |
| Art der Unterlage: | Vermessungsriß |
| Vermessungsstelle: | KVA Mecklenburgische Seenplatte |
| Messjahr: | 1869 |

C. Winkelprotokoll

| | |
|--------------------|--|
| Gemeinde: | Leizen |
| Gemarkung: | Minzow (1374) |
| Flur: | 2 |
| Rissnummer: | 971 |
| Blattnummer | 1 |
| Art der Unterlage: | Winkelprotokoll |
| Vermessungsstelle: | KVA Mecklenburgische Seenplatte |
| Messjahr: | 1869 |

Winkel Protocoll

von

Minzow

D. A. Wredenhagen.

~~Geprüft im Mai 1860 von C. Darris G.~~ 971

| Stand | Nover | Aufstellung I von $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ von der Uebersetzung | | | | | | | | Aufstellung II von $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{4}$ von der Uebersetzung | | | | | | | |
|-------|-------|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| | | A. | | B. | | A. | | B. | | A. | | B. | | A. | | B. | |
| | | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. | Gr. | M. L. |
| I. | 2 | 151 | 40 40 | 331 | 37 30 | 331 | 40 40 | 151 | 37 30 | 21 | 40 40 | 211 | 37 40 | 211 | 40 40 | 31 | 37 40 |
| | 4 | 190 | 58 50 | 10 | 55 40 | 10 | 58 40 | 190 | 55 30 | 70 | 58 30 | 260 | 55 40 | 250 | 58 30 | 70 | 55 40 |
| | 6 | 235 | 27 30 | 55 | 24 20 | 55 | 27 30 | 235 | 24 20 | 115 | 27 50 | 295 | 24 40 | 295 | 27 40 | 115 | 24 40 |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | 330 | 46 40 | 150 | 43 50 | 150 | 46 40 | 330 | 43 40 | 210 | 47 0 | 30 | 44 10 | 20 | 47 0 | 20 | 44 10 |
| | 2 | 151 | 40 40 | 331 | 37 30 | 331 | 40 40 | 151 | 37 30 | 21 | 40 40 | 211 | 37 40 | 211 | 40 40 | 31 | 37 30 |
| II. | 1 | 129 | 1 20 | 308 | 57 50 | 309 | 1 10 | 128 | 57 50 | 9 | 1 20 | 188 | 58 20 | 189 | 1 20 | 8 | 58 20 |
| | 3 | 252 | 16 10 | 172 | 12 40 | 172 | 16 0 | 252 | 12 30 | 232 | 16 20 | 52 | 12 30 | 52 | 16 10 | 232 | 12 30 |
| | 4 | 27 | 54 30 | 207 | 51 50 | 207 | 54 20 | 27 | 51 40 | 267 | 54 30 | 87 | 51 30 | 87 | 54 30 | 267 | 51 30 |
| | 1 | 129 | 1 20 | 308 | 57 50 | 309 | 1 10 | 128 | 57 50 | 9 | 1 20 | 188 | 58 20 | 189 | 1 20 | 8 | 58 20 |
| III. | 2 | 90 | 45 0 | 270 | 41 50 | 270 | 44 50 | 90 | 42 0 | 330 | 44 30 | 150 | 42 30 | 150 | 44 30 | 330 | 42 30 |
| | 4 | 51 | 33 50 | 281 | 19 40 | 281 | 22 40 | 51 | 19 40 | 291 | 23 | 111 | 19 50 | 111 | 23 0 | 291 | 19 40 |
| | 2 | 90 | 44 50 | 270 | 41 50 | 270 | 44 50 | 90 | 42 0 | 330 | 44 30 | 150 | 42 30 | 150 | 44 40 | 330 | 42 30 |
| IV. | 3 | 285 | 47 20 | 105 | 44 20 | 105 | 47 20 | 285 | 44 20 | 165 | 47 20 | 345 | 43 50 | 345 | 47 20 | 165 | 43 50 |
| | 6 | 87 | 16 20 | 267 | 13 10 | 267 | 16 20 | 87 | 13 10 | 327 | 15 50 | 147 | 13 30 | 147 | 15 50 | 327 | 13 20 |
| | 1 | 141 | 11 50 | 321 | 9 30 | 321 | 11 50 | 141 | 9 30 | 21 | 11 30 | 201 | 9 20 | 201 | 11 30 | 21 | 9 20 |
| | 2 | 180 | 48 | 0 | 44 50 | 0 | 48 0 | 180 | 44 50 | 60 | 47 50 | 240 | 44 50 | 240 | 47 40 | 60 | 44 50 |
| | 3 | 285 | 47 20 | 105 | 44 30 | 105 | 47 20 | 285 | 44 30 | 165 | 47 20 | 345 | 43 50 | 345 | 47 20 | 165 | 43 50 |
| V. | 4 | 118 | 12 40 | 298 | 10 0 | 298 | 12 40 | 118 | 9 50 | 358 | 12 50 | 178 | 9 50 | 178 | 12 50 | 358 | 9 10 |
| | 7 | 221 | 19 40 | 57 | 17 20 | 57 | 19 40 | 221 | 17 10 | 111 | 19 50 | 291 | 16 50 | 291 | 19 40 | 111 | 16 50 |
| | 8 | 284 | 15 20 | 104 | 13 0 | 104 | 15 20 | 284 | 12 50 | 164 | 15 0 | 344 | 12 30 | 344 | 14 50 | 164 | 12 30 |
| | 9 | 314 | 7 30 | 134 | 4 20 | 134 | 7 20 | 314 | 4 10 | 194 | 7 20 | 4 | 4 30 | 14 | 7 10 | 194 | 4 30 |
| | 1 | 36 | 37 30 | 216 | 34 30 | 216 | 37 20 | 36 | 34 30 | 276 | 37 30 | 96 | 35 0 | 96 | 37 30 | 276 | 34 50 |
| | 4 | 118 | 12 40 | 298 | 10 0 | 298 | 12 40 | 118 | 10 0 | 358 | 12 50 | 179 | 9 50 | 178 | 12 40 | 368 | 9 50 |
| VI. | 6 | 288 | 16 40 | 108 | 14 0 | 108 | 16 40 | 288 | 14 0 | 168 | 17 50 | 348 | 14 50 | 348 | 17 40 | 168 | 14 50 |
| | 8 | 209 | 30 10 | 29 | 24 20 | 29 | 30 10 | 209 | 24 20 | 89 | 31 20 | 269 | 28 0 | 269 | 31 10 | 89 | 28 0 |
| | 6 | 288 | 16 40 | 108 | 14 0 | 108 | 16 40 | 288 | 14 0 | 168 | 17 50 | 348 | 14 50 | 348 | 17 40 | 168 | 14 50 |
| VIII. | 7 | 191 | 25 10 | 11 | 22 10 | 11 | 25 0 | 191 | 22 10 | 71 | 25 40 | 251 | 22 10 | 251 | 25 30 | 71 | 22 10 |
| | 10 | 31 | 44 30 | 211 | 41 0 | 211 | 44 30 | 31 | 41 0 | 271 | 45 10 | 91 | 42 10 | 91 | 45 10 | 271 | 42 0 |
| | 9 | 81 | 26 0 | 261 | 22 10 | 261 | 25 50 | 81 | 22 10 | 321 | 26 0 | 141 | 23 0 | 141 | 26 0 | 321 | 23 0 |
| | 6 | 143 | 7 10 | 323 | 4 30 | 323 | 7 10 | 143 | 4 30 | 23 | 7 30 | 203 | 4 50 | 203 | 7 30 | 23 | 4 40 |
| | 7 | 191 | 22 10 | 11 | 22 10 | 11 | 25 0 | 191 | 22 10 | 71 | 25 40 | 251 | 22 10 | 251 | 25 30 | 71 | 22 10 |
| IX. | 8 | 101 | 5 50 | 281 | 2 30 | 281 | 5 50 | 101 | 2 30 | 341 | 3 30 | 161 | 0 40 | 161 | 3 30 | 341 | 0 30 |
| | 10 | 176 | 51 0 | 356 | 47 40 | 356 | 51 0 | 176 | 47 40 | 56 | 49 20 | 286 | 45 50 | 286 | 49 20 | 56 | 45 50 |
| | 12 | 244 | 45 0 | 34 | 41 50 | 34 | 45 0 | 244 | 41 50 | 94 | 42 30 | 274 | 40 30 | 274 | 42 20 | 94 | 40 30 |
| | 14 | 270 | 50 | 90 | 48 10 | 90 | 50 0 | 270 | 48 10 | 150 | 49 0 | 330 | 46 0 | 330 | 48 50 | 150 | 46 0 |
| | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 6 | 12 | 38 50 | 192 | 35 50 | 192 | 38 50 | 12 | 35 50 | 252 | 36 20 | 72 | 34 30 | 72 | 36 20 | 252 | 34 20 |
| | 8 | 101 | 5 50 | 281 | 2 30 | 281 | 5 40 | 101 | 2 30 | 341 | 3 30 | 161 | 0 40 | 161 | 3 30 | 341 | 0 30 |
| X. | 9 | 41 | 43 10 | 221 | 39 30 | 221 | 43 0 | 41 | 39 30 | 281 | 42 40 | 101 | 39 50 | 101 | 42 40 | 281 | 39 40 |
| | 8 | 96 | 17 10 | 276 | 13 20 | 276 | 17 0 | 96 | 13 20 | 336 | 17 0 | 156 | 13 20 | 156 | 17 0 | 336 | 13 10 |
| | 11 | 286 | 24 40 | 56 | 24 50 | 56 | 24 40 | 286 | 24 50 | 116 | 23 0 | 296 | 24 40 | 296 | 27 50 | 116 | 24 40 |
| | 12 | 320 | 11 50 | 140 | 8 40 | 140 | 11 50 | 320 | 8 30 | 200 | 12 30 | 20 | 9 0 | 20 | 12 30 | 200 | 9 0 |
| | 9 | 41 | 43 10 | 221 | 39 30 | 221 | 43 0 | 41 | 39 30 | 281 | 42 40 | 101 | 39 50 | 101 | 42 30 | 281 | 39 40 |

| Stand | Wur | Aufstellung I. <i>mon. und woch. woch.</i> <i>der Ueberschuldung</i> | | | | | | | | Aufstellung II. <i>mon. und woch. woch.</i> <i>der Ueberschuldung</i> | | | | | | | |
|-------|-----|--|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|---|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|
| | | A. | | B. | | A. | | B. | | A. | | B. | | A. | | B. | |
| | | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. | Op. | M. S. |
| XI | 12 | 119 | 41 30 | 299 | 38 30 | 299 | 41 30 | 119 | 38 30 | 359 | 41 30 | 179 | 39 10 | 179 | 41 40 | 359 | 39 0 |
| | 10 | 149 | 4 20 | 329 | 0 50 | 329 | 4 10 | 149 | 0 50 | 29 | 4 30 | 209 | 1 30 | 209 | 4 30 | 29 | 1 20 |
| | 12 | 119 | 41 30 | 299 | 38 30 | 299 | 41 30 | 119 | 38 30 | 359 | 41 30 | 179 | 39 10 | 179 | 41 40 | 359 | 39 0 |
| XII | 10 | 254 | 11 20 | 74 | 7 30 | 74 | 11 20 | 264 | 7 20 | 134 | 11 0 | 314 | 6 30 | 314 | 11 0 | 134 | 6 30 |
| | 11 | 321 | 3 50 | 141 | 1 0 | 141 | 3 50 | 321 | 1 0 | 201 | 3 40 | 21 | 0 10 | 21 | 3 30 | 201 | 0 10 |
| | 13 | 46 | 51 50 | 226 | 48 30 | 226 | 51 50 | 46 | 48 30 | 286 | 51 10 | 106 | 48 0 | 106 | 51 10 | 286 | 48 0 |
| | 14 | 107 | 33 50 | 287 | 30 50 | 287 | 33 40 | 107 | 30 50 | 347 | 33 30 | 167 | 30 30 | 167 | 33 30 | 347 | 30 30 |
| | 9 | 193 | 35 40 | 13 | 32 | 13 | 35 40 | 193 | 32 0 | 73 | 35 20 | 253 | 31 40 | 253 | 35 10 | 73 | 31 40 |
| | 10 | 264 | 11 20 | 74 | 7 30 | 74 | 11 20 | 264 | 7 30 | 134 | 11 0 | 314 | 6 30 | 314 | 11 0 | 134 | 6 30 |
| XIII | 12 | 24 | 5 0 | 204 | 1 50 | 204 | 5 0 | 24 | 1 50 | 264 | 5 20 | 84 | 2 10 | 84 | 5 20 | 264 | 2 10 |
| | 15 | 289 | 22 50 | 79 | 20 | 79 | 22 50 | 289 | 20 0 | 139 | 23 20 | 319 | 20 40 | 319 | 23 20 | 139 | 20 40 |
| | 14 | 312 | 34 50 | 132 | 51 40 | 132 | 34 50 | 312 | 51 30 | 192 | 55 40 | 12 | 52 30 | 12 | 55 40 | 192 | 52 30 |
| | 12 | 24 | 5 0 | 204 | 1 50 | 204 | 5 0 | 24 | 1 50 | 264 | 5 20 | 84 | 2 10 | 84 | 5 20 | 264 | 2 10 |
| XIV | 13 | 217 | 31 40 | 37 | 29 10 | 37 | 31 40 | 217 | 29 10 | 97 | 32 0 | 277 | 28 50 | 277 | 31 50 | 97 | 28 50 |
| | 15 | 288 | 57 10 | 108 | 54 40 | 108 | 57 40 | 288 | 54 40 | 168 | 57 30 | 348 | 54 0 | 348 | 57 20 | 168 | 54 0 |
| | 17 | 345 | 35 0 | 165 | 32 0 | 165 | 35 0 | 345 | 31 50 | 225 | 34 30 | 45 | 31 30 | 45 | 34 30 | 225 | 31 30 |
| | 1 | 51 | 10 10 | 231 | 6 50 | 231 | 10 10 | 51 | 6 50 | 291 | 9 30 | 111 | 7 0 | 111 | 9 30 | 291 | 7 0 |
| | 9 | 131 | 32 40 | 311 | 39 40 | 311 | 32 30 | 131 | 29 40 | 11 | 32 20 | 191 | 29 40 | 191 | 32 20 | 11 | 29 30 |
| | 12 | 169 | 25 0 | 349 | 2 7 | 349 | 25 0 | 169 | 21 30 | 49 | 24 30 | 229 | 20 | 229 | 24 30 | 49 | 21 20 |
| | 13 | 217 | 31 40 | 37 | 29 10 | 37 | 31 40 | 217 | 29 10 | 97 | 32 0 | 277 | 28 50 | 277 | 31 50 | 97 | 28 50 |
| XV | 14 | 131 | 45 10 | 311 | 42 0 | 311 | 45 10 | 131 | 42 0 | 11 | 45 30 | 191 | 42 30 | 191 | 45 30 | 11 | 42 30 |
| | 13 | 186 | 47 50 | 6 | 46 | 6 | 47 50 | 186 | 46 20 | 66 | 48 40 | 246 | 45 50 | 246 | 48 40 | 66 | 45 50 |
| | 16 | 6 | 47 40 | 186 | 44 50 | 186 | 47 40 | 6 | 44 10 | 246 | 47 20 | 66 | 44 40 | 66 | 47 20 | 246 | 44 40 |
| | 17 | 50 | 36 40 | 230 | 33 40 | 230 | 36 40 | 50 | 33 40 | 290 | 36 30 | 110 | 34 20 | 110 | 36 50 | 290 | 34 20 |
| | 14 | 131 | 45 10 | 311 | 42 0 | 311 | 45 10 | 131 | 42 0 | 11 | 45 30 | 191 | 42 30 | 191 | 45 30 | 11 | 42 30 |
| XVI | 15 | 326 | 35 20 | 146 | 33 10 | 146 | 35 20 | 326 | 33 10 | 206 | 35 20 | 26 | 32 20 | 26 | 35 20 | 206 | 32 20 |
| | 17 | 248 | 44 10 | 68 | 41 20 | 68 | 44 10 | 248 | 41 10 | 128 | 44 0 | 308 | 44 30 | 308 | 44 0 | 128 | 40 30 |
| | 15 | 326 | 35 20 | 146 | 33 10 | 146 | 35 20 | 326 | 33 0 | 206 | 35 20 | 26 | 32 20 | 26 | 35 20 | 206 | 32 20 |
| XVII | 16 | 213 | 3 10 | 33 | 0 10 | 33 | 3 10 | 213 | 0 10 | 93 | 2 0 | 272 | 59 10 | 272 | 2 0 | 92 | 59 10 |
| | 14 | 112 | 28 20 | 292 | 25 30 | 292 | 28 20 | 112 | 25 30 | 352 | 27 40 | 172 | 24 30 | 172 | 27 40 | 352 | 24 30 |
| | 15 | 154 | 43 10 | 234 | 40 0 | 234 | 43 10 | 154 | 40 0 | 314 | 43 40 | 214 | 39 20 | 214 | 42 40 | 314 | 39 20 |
| | 16 | 213 | 3 10 | 33 | 0 10 | 33 | 3 10 | 213 | 0 10 | 93 | 2 0 | 272 | 59 10 | 272 | 2 0 | 92 | 59 10 |

D. Ergebnisprotokoll der freien Netzausgleichung

Der Anhang D enthält das Berechnungsprotokoll der freien Netzausgleichung des historischen Festpunktnetzes infolge einer Feldmarksregulierung um 1869. Dieses Ergebnisprotokoll entstammt der Software *Cremer*.

```

1
2 * ZUSAMMENSTELLUNG DER NETZDATEN *****
3
4 Die Messwerte werden zusammengestellt und bei entsprechender Option gemittelt. Dabei
5 werden auch die a-priori Standardabweichungen zugeteilt. Die gemessenen bzw. gemit-
6 telten Werte werden den aus (Näherungs-)Koordinaten berechneten Werten gegenüberge-
7 stellt. Die Differenzen werden in der jeweils letzten Spalte ausgewiesen.
8
9 Größere Abweichungen der Messwerte gegenüber den Näherungskoordinaten werden durch
10 ein oder mehrere Fragezeichen kenntlich gemacht (1 Fragezeichen = mehr als 10-fache
11 Std.abweichung a priori). Da die Näherungskoordinaten im Rahmen der Ausgleichung
12 verbessert werden, sind auch größere Abweichungen in der Regel ohne Bedeutung.
13
14
15 REDUKTION DER POLAREN MESSWERTE =====
16
17 Koordinatensystem für die Reduktion
18 -----
19 Name des Datums      : ETRS89
20 Referenzellipsoid    : GRS 1980
21 Projektion UTM / GK : Abbildungsmaßstab des Mittelmeridians= 15°00'00": 0.99960000
22 Rechtswert          : Im Mittelmeridian = 33 500000.000
23 Hochwert            : Im Ursprung      =          0.000 mit Breite = 0°00'00"
24 -----
25
26 Wenn die Lagekoordinaten oder die Höhen nicht vorliegen (mit ? gekennzeichnet), wer-
27 den folgende Ersatzwerte zugrunde gelegt:
28
29 Rechtswert:33334420 m  Hochwert: 5917794 m  Höhe: 117 m  Mittlerer Erdradius 6384 km
30 -----
31
32 Mittlerer Abbildungsmaßstab: 0.9999303 bzw. -69.7 ppm
33 -----
34
35      Standpunktname      Ori.winkel
36      Zielpunktname      Reduktion der Entfernungen      Ori. / Reduktion der Richtungen
37 -----
38      333593218046016      184.98592
39      333593318046015      668.0470 -0.0549 667.9921 ? 184.98592 -0.00010 184.98581
40      333593318046017      543.2190 -0.0451 543.1739 ? 98.48472 -0.00002 98.48470
41      333593318046015      184.98552 -0.00010 184.98541
42 -----
43      333593316046011      28.21790
44      333593317046012      28.21790 0.00006 28.21795
45      333593317046010      60.85760 0.00002 60.85762
46      333593317046012      28.21790 0.00006 28.21795
47 -----
48      333593317046010      44.45247
49      333593417046009      44.45247 0.00002 44.45249
50      333593417146008      105.08057 -0.00003 105.08054
51      333593316046011      260.84177 -0.00006 260.84170
52      333593317046012      353.88267 0.00001 353.88268
53      333593417046009      44.45247 0.00002 44.45249
54 -----
55      333593317046012      153.89157
56      333593317046010      313.6300 -0.0269 313.6031 ? 153.89157 -0.00005 153.89152
57      333593316046011      228.20797 -0.00009 228.20788
58      333593317046013      323.53627 0.00001 323.53628
59      333593317046014      390.98567 0.00007 390.98574
60      333593417046009      86.56907 -0.00001 86.56907
61      333593317046010      153.89197 -0.00005 153.89192
62 -----
63      333593317046013      123.54318
64      333593317046012      123.54318 -0.00004 123.54313
65      333593318046015      384.98998 0.00007 384.99005
66      333593317046014      44.47028 0.00004 44.47032
67      333593317046012      123.54318 -0.00004 123.54313
68 -----
69      333593317046014      244.44663
70      333593317046013      244.44663 -0.00008 244.44655
71      333593318046015      323.80733 0.00001 323.80734
72      333593318046017      386.72133 0.00010 386.72143
73      333593418046001      59.59443 0.00005 59.59448

```

| | | | | | | | |
|-----|------------------------------|----------|---------|------------|-----------|----------|-----------|
| 74 | 333593417046009 | | | | 148.90303 | -0.00009 | 148.90294 |
| 75 | 333593317046012 | | | | 190.99213 | -0.00011 | 190.99203 |
| 76 | 333593317046013 | | | | 244.44663 | -0.00008 | 244.44655 |
| 77 | ----- | | | | | | |
| 78 | 333593318046015 | | | | 123.81455 | | |
| 79 | 333593317046014 | | | | 123.81455 | -0.00005 | 123.81450 |
| 80 | 333593317046013 | 728.2030 | -0.0604 | 728.1426 ? | 184.98975 | -0.00011 | 184.98964 |
| 81 | 333593218046016 | | | | 384.96845 | 0.00007 | 384.96852 |
| 82 | 333593318046017 | | | | 33.65865 | 0.00007 | 33.65872 |
| 83 | 333593317046014 | | | | 123.81455 | -0.00005 | 123.81450 |
| 84 | ----- | | | | | | |
| 85 | 333593318046017 | | | | 298.47082 | | |
| 86 | 333593218046016 | | | | 298.47082 | -0.00002 | 298.47080 |
| 87 | 333593317046014 | | | | 186.71852 | -0.00014 | 186.71839 |
| 88 | 333593318046015 | | | | 233.65912 | -0.00011 | 233.65902 |
| 89 | 333593218046016 | | | | 298.47082 | -0.00002 | 298.47080 |
| 90 | ----- | | | | | | |
| 91 | 333593417046006 | | | | 44.30466 | | |
| 92 | 333593518046004 | | | | 44.30466 | 0.00005 | 44.30471 |
| 93 | 333593517046007 | | | | 169.99136 | -0.00010 | 169.99126 |
| 94 | 333593417146008 | | | | 228.79776 | -0.00013 | 228.79763 |
| 95 | 333593417046009 | | | | 261.98176 | -0.00008 | 261.98168 |
| 96 | 333593418046001 | | | | 353.65266 | 0.00006 | 353.65272 |
| 97 | 333593518046004 | | | | 44.30506 | 0.00005 | 44.30511 |
| 98 | ----- | | | | | | |
| 99 | 333593417046009 | | | | 160.25605 | | |
| 100 | 333593417146008 | | | | 160.25605 | -0.00007 | 160.25598 |
| 101 | 333593317046010 | | | | 244.42955 | -0.00006 | 244.42948 |
| 102 | 333593317046012 | | | | 286.54465 | -0.00003 | 286.54461 |
| 103 | 333593317046014 | | | | 348.87025 | 0.00005 | 348.87030 |
| 104 | 333593417046006 | | | | 61.98295 | 0.00004 | 61.98299 |
| 105 | 333593417146008 | | | | 160.25565 | -0.00007 | 160.25558 |
| 106 | ----- | | | | | | |
| 107 | 333593417146008 | | | | 82.45213 | | |
| 108 | 333593517046007 | 776.6260 | -0.0699 | 776.5561 ? | 82.45213 | 0.00001 | 82.45214 |
| 109 | 333593317046010 | | | | 305.03433 | -0.00001 | 305.03432 |
| 110 | 333593417046009 | | | | 360.24653 | 0.00003 | 360.24656 |
| 111 | 333593417046006 | | | | 28.78973 | 0.00009 | 28.78983 |
| 112 | 333593517046007 | | | | 82.45213 | 0.00001 | 82.45214 |
| 113 | ----- | | | | | | |
| 114 | 333593418046001 | | | | 60.61033 | | |
| 115 | 333593518046004 | | | | 104.27703 | -0.00003 | 104.27701 |
| 116 | 333593417046006 | 845.0690 | -0.0752 | 844.9938 ? | 153.70173 | -0.00010 | 153.70163 |
| 117 | 333593317046014 | | | | 259.61533 | -0.00009 | 259.61525 |
| 118 | 333593418046002 | | | | 60.60993 | 0.00003 | 60.60996 |
| 119 | 333593418046002 | | | | 60.61033 | 0.00003 | 60.61036 |
| 120 | ----- | | | | | | |
| 121 | 333593418046002 | | | | 260.63350 | | |
| 122 | 333593418046001 | | | | 260.63350 | -0.00007 | 260.63343 |
| 123 | 333593518046003 | | | | 108.69210 | -0.00004 | 108.69206 |
| 124 | 333593518046004 | | | | 148.28780 | -0.00008 | 148.28772 |
| 125 | 333593418046001 | | | | 260.63350 | -0.00007 | 260.63343 |
| 126 | ----- | | | | | | |
| 127 | 333593517046007 | | | | 369.97328 | | |
| 128 | 333593417046006 | | | | 369.97328 | 0.00006 | 369.97334 |
| 129 | 333593417146008 | | | | 282.44318 | -0.00005 | 282.44313 |
| 130 | 333593417046006 | | | | 369.97328 | 0.00006 | 369.97334 |
| 131 | ----- | | | | | | |
| 132 | 333593518046003 | | | | 308.72910 | | |
| 133 | 333593418046002 | | | | 308.72910 | 0.00000 | 308.72910 |
| 134 | 333593518046004 | | | | 264.98530 | -0.00006 | 264.98524 |
| 135 | 333593418046002 | | | | 308.72830 | 0.00000 | 308.72830 |
| 136 | ----- | | | | | | |
| 137 | 333593518046004 | | | | 64.95520 | | |
| 138 | 333593518046003 | | | | 64.95520 | 0.00002 | 64.95522 |
| 139 | 333593417046006 | | | | 244.38040 | -0.00009 | 244.38031 |
| 140 | 333593418046001 | | | | 304.30200 | -0.00001 | 304.30199 |
| 141 | 333593418046002 | | | | 348.30010 | 0.00004 | 348.30014 |
| 142 | 333593518046003 | | | | 64.95520 | 0.00002 | 64.95522 |
| 143 | ----- | | | | | | |
| 144 | | | | | | | |
| 145 | | | | | | | |
| 146 | HORIZONTALENTFERNUNGEN ===== | | | | | | |

147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219

Std.abweichung a priori: Std.abw. von Messwertspeicher

| Standpunktname | Zielpunktname | Anzahl | Messwert (m) | Std.abw. (m) | Berechnet (m) | Differenz (m) ?? |
|-----------------|-----------------|--------|--------------|--------------|---------------|------------------|
| 333593218046016 | 333593318046015 | 1x | 667.9921 | 0.1000 | 667.9873 | -0.0048 |
| | 333593318046017 | 1x | 543.1739 | 0.1000 | 543.1811 | 0.0072 |
| 333593317046012 | 333593317046010 | 1x | 313.6031 | 0.1000 | 313.6241 | 0.0210 |
| 333593318046015 | 333593317046013 | 1x | 728.1426 | 0.1000 | 728.1403 | -0.0023 |
| 333593417146008 | 333593517046007 | 1x | 776.5561 | 0.1000 | 776.5624 | 0.0063 |
| 333593418046001 | 333593417046006 | 1x | 844.9938 | 0.1000 | 844.9847 | -0.0091 |

HORIZONTALE RICHTUNGEN =====

Std.abweichung a priori: 3.00 mgon + 3.0 (mm Zentrierfehler)
Die Std.abw. ergibt sich aus der Summe der einzelnen Komponenten

| Standpunktname | Zielpunktname | Gemessen (gon) | Orientiert (gon) | Std.abw. (mgon) | Berechnet (gon) | Diff. (gon) ?? |
|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| 333593218046016 | 333593318046015 | -0.00010 | 184.98589 | 3.29 | 184.99113 | 0.00525 |
| | 333593318046017 | 313.49878 | 98.48477 | 3.35 | 98.47388 | -0.01089 |
| | 333593318046015 | 399.99950 | 184.98549 | 3.29 | 184.99113 | 0.00565 |
| 333593316046011 | 333593317046012 | 0.00006 | 28.20543 | 3.30 | 28.21790 | 0.01247 |
| | 333593317046010 | 32.63972 | 60.84510 | 3.32 | 60.82016 | -0.02494 |
| | 333593317046012 | 0.00006 | 28.20543 | 3.30 | 28.21790 | 0.01247 |
| 333593317046010 | 333593417046009 | 0.00002 | 44.43418 | 3.43 | 44.44791 | 0.01374 |
| | 333593417146008 | 60.62807 | 105.06223 | 3.34 | 105.01057 | -0.05166 ? |
| | 333593316046011 | 216.38924 | 260.82339 | 3.32 | 260.82016 | -0.00323 |
| | 333593317046012 | 309.43021 | 353.86436 | 3.61 | 353.89177 | 0.02741 |
| | 333593417046009 | 0.00002 | 44.43418 | 3.43 | 44.44791 | 0.01374 |
| 333593317046012 | 333593317046010 | -0.00005 | 153.88742 | 3.61 | 153.89177 | 0.00435 |
| | 333593316046011 | 74.31631 | 228.20378 | 3.30 | 228.21790 | 0.01412 |
| | 333593317046013 | 169.64471 | 323.53218 | 3.35 | 323.54661 | 0.01443 |
| | 333593317046014 | 237.09417 | 390.98164 | 3.28 | 390.96512 | -0.01652 |
| | 333593417046009 | 332.67749 | 86.56497 | 3.38 | 86.54465 | -0.02032 |
| | 333593317046010 | 0.00035 | 153.88782 | 3.61 | 153.89177 | 0.00395 |
| 333593317046013 | 333593317046012 | -0.00004 | 123.54313 | 3.35 | 123.54661 | 0.00348 |
| | 333593318046015 | 261.44687 | 384.99004 | 3.26 | 384.99074 | 0.00069 |
| | 333593317046014 | 320.92714 | 44.47032 | 3.30 | 44.46266 | -0.00765 |
| | 333593317046012 | -0.00004 | 123.54313 | 3.35 | 123.54661 | 0.00348 |
| 333593317046014 | 333593317046013 | -0.00008 | 244.44658 | 3.30 | 244.46266 | 0.01608 |
| | 333593318046015 | 79.36071 | 323.80737 | 3.31 | 323.80425 | -0.00312 |
| | 333593318046017 | 142.27480 | 386.72146 | 3.21 | 386.71594 | -0.00552 |
| | 333593418046001 | 215.14785 | 59.59451 | 3.21 | 59.57813 | -0.01639 |
| | 333593317046009 | 304.45631 | 148.90297 | 3.23 | 148.92278 | 0.01981 |
| | 333593317046012 | 346.54539 | 190.99206 | 3.28 | 190.96512 | -0.02694 |
| | 333593317046013 | -0.00008 | 244.44658 | 3.30 | 244.46266 | 0.01608 |
| 333593318046015 | 333593317046014 | -0.00005 | 123.81452 | 3.31 | 123.80425 | -0.01027 |
| | 333593317046013 | 61.17509 | 184.98965 | 3.26 | 184.99074 | 0.00108 |
| | 333593218046016 | 261.15397 | 384.96853 | 3.29 | 384.99113 | 0.02260 |
| | 333593318046017 | 309.84417 | 33.65873 | 3.25 | 33.65559 | -0.00315 |
| 333593318046017 | 333593317046014 | -0.00005 | 123.81452 | 3.31 | 123.80425 | -0.01027 |
| | 333593218046016 | -0.00002 | 298.47087 | 3.35 | 298.47388 | 0.00301 |
| | 333593317046014 | 288.24756 | 186.71846 | 3.21 | 186.71594 | -0.00252 |
| | 333593318046015 | 335.18819 | 233.65909 | 3.25 | 233.65559 | -0.00350 |
| | 333593218046016 | -0.00002 | 298.47087 | 3.35 | 298.47388 | 0.00301 |
| 333593417046006 | 333593518046004 | 0.00005 | 44.33047 | 3.26 | 44.37892 | 0.04845 ? |
| | 333593517046007 | 125.68660 | 170.01702 | 3.26 | 169.97328 | -0.04374 ? |
| | 333593417146008 | 184.49297 | 228.82339 | 3.20 | 228.79776 | -0.02563 |
| | 333593417046009 | 217.67702 | 262.00744 | 3.23 | 261.96049 | -0.04695 ? |
| | 333593418046001 | 309.34806 | 353.67848 | 3.23 | 353.69829 | 0.01981 |
| | 333593518046004 | 0.00045 | 44.33087 | 3.26 | 44.37892 | 0.04805 ? |
| 333593417046009 | 333593417146008 | -0.00007 | 160.24860 | 3.40 | 160.20942 | -0.03918 ? |
| | 333593317046010 | 84.17344 | 244.42210 | 3.43 | 244.44791 | 0.02581 |
| | 333593317046012 | 126.28857 | 286.53723 | 3.38 | 286.54465 | 0.00741 |
| | 333593317046014 | 188.61425 | 348.86292 | 3.23 | 348.92278 | 0.05986 ? |
| | 333593417046006 | 301.72694 | 61.97561 | 3.23 | 61.96049 | -0.01512 |
| | 333593417146008 | 399.99953 | 160.24820 | 3.40 | 160.20942 | -0.03878 ? |
| 333593417146008 | 333593517046007 | 0.00001 | 82.44469 | 3.25 | 82.46000 | 0.01531 |
| | 333593317046010 | 222.58219 | 305.02687 | 3.34 | 305.01057 | -0.01630 |
| | 333593417046009 | 277.79443 | 360.23912 | 3.40 | 360.20942 | -0.02970 |

| | | | | | | | |
|-----|-----------------|-----------------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|
| 220 | | 333593417046006 | 346.33769 | 28.78238 | 3.20 | 28.79776 | 0.01538 |
| 221 | | 333593517046007 | 0.00001 | 82.44469 | 3.25 | 82.46000 | 0.01531 |
| 222 | 333593418046001 | 333593518046004 | 43.66667 | 104.26959 | 3.18 | 104.27810 | 0.00851 |
| 223 | | 333593417046006 | 93.09130 | 153.69422 | 3.23 | 153.69829 | 0.00407 |
| 224 | | 333593317046014 | 199.00491 | 259.60783 | 3.21 | 259.57813 | -0.02971 |
| 225 | | 333593418046002 | 399.99963 | 60.60255 | 3.28 | 60.61132 | 0.00876 |
| 226 | | 333593418046002 | 0.00003 | 60.60295 | 3.28 | 60.61132 | 0.00836 |
| 227 | 333593418046002 | 333593418046001 | -0.00007 | 260.63155 | 3.28 | 260.61132 | -0.02023 |
| 228 | | 333593518046003 | 248.05856 | 108.69019 | 3.19 | 108.72870 | 0.03852 ? |
| 229 | | 333593518046004 | 287.65422 | 148.28584 | 3.29 | 148.28780 | 0.00195 |
| 230 | | 333593418046001 | -0.00007 | 260.63155 | 3.28 | 260.61132 | -0.02023 |
| 231 | 333593517046007 | 333593417046006 | 0.00006 | 369.97892 | 3.26 | 369.97328 | -0.00564 |
| 232 | | 333593417146008 | 312.46985 | 282.44871 | 3.25 | 282.46000 | 0.01129 |
| 233 | | 333593417046006 | 0.00006 | 369.97892 | 3.26 | 369.97328 | -0.00564 |
| 234 | 333593518046003 | 333593418046002 | 0.00000 | 308.71933 | 3.19 | 308.72870 | 0.00937 |
| 235 | | 333593518046004 | 356.25614 | 264.97547 | 3.31 | 264.95594 | -0.01954 |
| 236 | | 333593418046002 | 399.99920 | 308.71853 | 3.19 | 308.72870 | 0.01017 |
| 237 | 333593518046004 | 333593518046003 | 0.00002 | 64.94798 | 3.31 | 64.95594 | 0.00795 |
| 238 | | 333593417046006 | 179.42511 | 244.37307 | 3.26 | 244.37892 | 0.00585 |
| 239 | | 333593418046001 | 239.34679 | 304.29475 | 3.18 | 304.27811 | -0.01665 |
| 240 | | 333593418046002 | 283.34494 | 348.29290 | 3.29 | 348.28780 | -0.00511 |
| 241 | | 333593518046003 | 0.00002 | 64.94798 | 3.31 | 64.95594 | 0.00795 |

242
243
244
245

246 * LAGENETZ-AUSGLEICHUNG *****

247
248
249
250

Titel des Lagenetzes: Lagenetz (Minzow_arabisch)
Art der Ausgleichung: Frei

251
252

Definition des Koordinatensystems

253
254
255
256
257
258

Name des Datums : ETRS89
Referenzellipsoid : GRS 1980
Projektion UTM / GK : Abbildungsmaßstab des Mittelmeridians= 15°00'00": 0.99960000
Rechtswert : Im Mittelmeridian = 33 500000.000
Hochwert : Im Ursprung = 0.000 mit Breite = 0°00'00"

259
260

Modellüberprüfung (Sigma Null a posteriori / a priori): 1.10 -----

261
262

Die Grenzwerte u/o von 0.77 / 1.23 beim Chi-Quadrat-Test (5.00%) wurden eingehalten

263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274

Statistische Angaben: Beobachtete Horizontalstrecken : 6
Beobachtete Hz-Richtungen : 74
Beobachtete Kreiselazimute : 0
[Anschlusskoordinaten (fixiert) : 0]
Anschlusskoordinaten (Std.abw) : 0
Defekte (zusätzl. Bedingungen) : 3
- Unbekannte Koordinaten : 32
- Unbekannte Add.konstanten : 0
- Unbekannte Streckenmaßstäbe : 0
- Orientierungsunbekannte : 16

275
276

Redundanz (Überbestimmung) : 35

277
278

Näherungskordinaten und Zuschläge =====

279
280

Datumspunkte bzw. dynamische Anschlußpunkte sind mit '*' gekennzeichnet.

281
282

Punktbezeichnung-----Rechtswert-----Hochwert-----Höhe--D-Rechts---D-Hoch-----

283
284
285
286
287
288
289
290
291
292

| | | (m) | (m) | (nur Info) | (m) | (m) |
|-----|-----------------|---------------|--------------|------------|---------|---------|
| 284 | 333593218046016 | 33332915.4750 | 5918833.6940 | | -0.0494 | -0.3370 |
| 285 | 333593316046011 | 33333470.4150 | 5916706.9250 | | -0.0140 | 0.6208 |
| 286 | 333593317046010 | 33333951.0820 | 5917046.7760 | | -0.0826 | 0.3170 |
| 287 | 333593317046012 | 33333743.2790 | 5917281.6760 | | -0.2540 | 0.4648 |
| 288 | 333593317046013 | 33333241.5880 | 5917476.1880 | | 0.3531 | 0.0485 |
| 289 | 333593317046014 | 33333646.5680 | 5917958.5440 | | 0.0391 | -0.0853 |
| 290 | 333593318046015 | 33333071.5040 | 5918184.1850 | | 0.2173 | -0.1409 |
| 291 | 333593318046017 | 33333458.5000 | 5918846.7140 | | 0.0716 | -0.2498 |
| 292 | 333593417046006 | 33334932.3440 | 5917860.7350 | | 0.2800 | -0.2489 |

| | | | | | |
|-----|-----------------|---------------|--------------|---------|---------|
| 293 | 333593417046009 | 33334237.1300 | 5917387.6370 | 0.0101 | 0.3497 |
| 294 | 333593417146008 | 33334515.1710 | 5917002.2870 | -0.2251 | -0.2680 |
| 295 | 333593418046001 | 33334370.5480 | 5918491.9120 | 0.0642 | -0.3444 |
| 296 | 333593418046002 | 33334918.0370 | 5918881.7090 | -0.3254 | -0.3598 |
| 297 | 333593517046007 | 33335262.4450 | 5917213.5470 | -0.1280 | -0.6323 |
| 298 | 333593518046003 | 33335924.6770 | 5918742.8170 | 0.2067 | 0.8223 |
| 299 | 333593518046004 | 33335402.6920 | 5918422.4470 | -0.1637 | 0.0432 |

300

301

302 Ausgeglichenen Koordinaten und Konfidenzellipsen =====

303

304 A,B = GroÙe, kleine Halbachse der Konfidenzellipse (S = 95.00 %)

305 Phi = Richtungswinkel der groÙen Halbachse

306 '*' = Datumspunkt bzw. dynamischer AnschluÙpunkt

307

308 Punktbezeichnung-----Rechtswert-----Hochwert--Lagefehler----Phi-----A-----B-----

| | | (m) | (m) | (m) | (gon) | (m) | (m) |
|-----|-----------------|---------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| 309 | | | | | | | |
| 310 | 333593218046016 | 33332915.4256 | 5918833.3570 | 0.1355 | 139.14 | 0.3031 | 0.1676 |
| 311 | 333593316046011 | 33333470.4010 | 5916707.5458 | 0.1601 | 44.81 | 0.3839 | 0.1419 |
| 312 | 333593317046010 | 33333950.9994 | 5917047.0930 | 0.0838 | 33.51 | 0.1825 | 0.1119 |
| 313 | 333593317046012 | 33333743.0250 | 5917282.1408 | 0.0766 | 62.50 | 0.1681 | 0.1005 |
| 314 | 333593317046013 | 33333241.9411 | 5917476.2365 | 0.0904 | 81.42 | 0.2151 | 0.0846 |
| 315 | 333593317046014 | 33333646.6071 | 5917958.4587 | 0.0659 | 100.20 | 0.1474 | 0.0817 |
| 316 | 333593318046015 | 33333071.7213 | 5918184.0441 | 0.0981 | 116.65 | 0.2258 | 0.1094 |
| 317 | 333593318046017 | 33333458.5716 | 5918846.4642 | 0.1194 | 160.94 | 0.2526 | 0.1715 |
| 318 | 333593417046006 | 33334932.6240 | 5917860.4861 | 0.0892 | 59.03 | 0.1968 | 0.1153 |
| 319 | 333593417046009 | 33334237.1401 | 5917387.9867 | 0.0594 | 50.91 | 0.1097 | 0.1049 |
| 320 | 333593417146008 | 33334514.9459 | 5917002.0190 | 0.0890 | 172.30 | 0.1954 | 0.1164 |
| 321 | 333593418046001 | 33334370.6122 | 5918491.5676 | 0.1040 | 55.85 | 0.2390 | 0.1163 |
| 322 | 333593418046002 | 33334917.7116 | 5918881.3492 | 0.1360 | 50.50 | 0.3212 | 0.1334 |
| 323 | 333593517046007 | 33335262.3170 | 5917212.9147 | 0.1213 | 132.79 | 0.2784 | 0.1366 |
| 324 | 333593518046003 | 33335924.8837 | 5918743.6393 | 0.2019 | 70.90 | 0.4978 | 0.1362 |
| 325 | 333593518046004 | 33335402.5283 | 5918422.4902 | 0.1292 | 69.87 | 0.3184 | 0.0872 |

326

327 Die Stand.abw. in Lage betragt durchschnittlich (auÙer Fixpunkten)110.0 mm.

328 Die groÙte Standardabweichung wurde im Punkt 333593518046003 mit 201.9 mm gefunden.

329

330

331

332

333

334 BERECHNUNG DER AUSGEGLICHENEN BEOBACHTUNGEN *****

335

336 Sigma: Std.abweichung a-priori (+ = modifiziert)

337 Korr.: Korrektur durch Unbekannte (MaÙstab usw.)

338 Verb.: Verbesserung

339 G : Beobachtungsgruppe (0=leer, 1-9)

340 RA : Redundanz-Anteil (Kontrolliertheit)

341 NV : Normierte Verbesserung

342 EP : Einfluss auf die relative Punktlage

343

344

345 VERBESSERUNG DER HORIZONTALSTRECKEN =====

346

347 Von Standpunkt

348 Nach Zielpunkt-----beobachtet--Korr--Verb--ausgeglichen----G-Sigma---RA---EP---NV-

| | | (m) | (mm) | (mm) | (m) | (mm) | % | (mm) |
|-----|-----------------|----------|------|-------|----------|------|----|-----------|
| 349 | | | | | | | | |
| 350 | 333593218046016 | | | | | | | |
| 351 | 333593318046015 | 667.9921 | 0.0 | -133. | 667.8589 | 100. | 56 | 105.8 1.8 |
| 352 | 333593318046017 | 543.1739 | 0.0 | 130.2 | 543.3042 | 100. | 70 | -54.6 1.6 |
| 353 | | | | | | | | |
| 354 | 333593317046012 | | | | | | | |
| 355 | 333593317046010 | 313.6031 | 0.0 | 245.3 | 313.8484 | 100. | 85 | -43.5 2.7 |
| 356 | | | | | | | | |
| 357 | 333593318046015 | | | | | | | |
| 358 | 333593317046013 | 728.1426 | 0.0 | -155. | 727.9879 | 100. | 63 | 91.2 2.0 |
| 359 | | | | | | | | |
| 360 | 333593417146008 | | | | | | | |
| 361 | 333593517046007 | 776.5561 | 0.0 | 0.7 | 776.5568 | 100. | 29 | -1.7 0.0 |
| 362 | | | | | | | | |
| 363 | 333593418046001 | | | | | | | |
| 364 | 333593417046006 | 844.9938 | 0.0 | 63.0 | 845.0568 | 100. | 44 | -79.1 0.9 |
| 365 | | | | | | | | |

366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438

VERBESSERUNG DER HORIZONTALRICHTUNGEN =====

| Von Standpunkt | Orientierung | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------|--------|--------------|-------|-------|---------|----|-------|-----|--|
| Nach Zielpunkt | beobachtet | Verb- | ausgeglichen | Entf- | Qabw- | G-Sigma | RA | EP | NV | |
| | (gon) | (mgon) | (gon) | (m) | (mm) | (mgon) | % | (mm) | | |
| 333593218046016 | | | 184.96328 | | | | | | | |
| 333593318046015 | -0.00010 | -1.13 | 184.96204 | 668 | -12 | 3.29 | 57 | -3.0 | 0.5 | |
| 333593318046017 | 313.49878 | 1.94 | 98.46401 | 543 | 17 | 3.35 | 28 | 35.5 | 1.1 | |
| 333593318046015 | 399.99950 | -0.73 | 184.96204 | 668 | -8 | 3.29 | 57 | -2.0 | 0.3 | |
| 333593316046011 | | | 28.20289 | | | | | | | |
| 333593317046012 | 0.00006 | -0.05 | 28.20289 | 636 | -1 | 3.30 | 56 | -0.1 | 0.0 | |
| 333593317046010 | 32.63972 | 0.10 | 60.84271 | 588 | 1 | 3.32 | 23 | 2.8 | 0.1 | |
| 333593317046012 | 0.00006 | -0.05 | 28.20289 | 636 | -1 | 3.30 | 56 | -0.1 | 0.0 | |
| 333593317046010 | | | 44.45358 | | | | | | | |
| 333593417046009 | 0.00002 | 1.46 | 44.45506 | 445 | 10 | 3.43 | 61 | 3.9 | 0.5 | |
| 333593417146008 | 60.62807 | -4.20 | 105.07746 | 566 | -37 | 3.34 | 30 | -76.9 | 2.3 | |
| 333593316046011 | 216.38924 | -0.10 | 260.84271 | 588 | -1 | 3.32 | 23 | -3.0 | 0.1 | |
| 333593317046012 | 309.43021 | 1.80 | 353.88560 | 314 | 9 | 3.61 | 40 | 11.6 | 0.8 | |
| 333593417046009 | 0.00002 | 1.46 | 44.45506 | 445 | 10 | 3.43 | 61 | 3.9 | 0.5 | |
| 333593317046012 | | | 153.88648 | | | | | | | |
| 333593317046010 | -0.00005 | -0.84 | 153.88560 | 314 | -4 | 3.61 | 60 | -2.0 | 0.3 | |
| 333593316046011 | 74.31631 | 0.10 | 228.20289 | 636 | 1 | 3.30 | 22 | 3.3 | 0.1 | |
| 333593317046013 | 169.64471 | -4.57 | 323.52662 | 537 | -39 | 3.35 | 30 | -82.2 | 2.5 | |
| 333593317046014 | 237.09417 | 4.26 | 390.98491 | 683 | 46 | 3.28 | 35 | 74.2 | 2.2 | |
| 333593417046009 | 332.67749 | 1.83 | 86.56581 | 505 | 15 | 3.38 | 36 | 23.1 | 0.9 | |
| 333593317046010 | 0.00035 | -1.24 | 153.88560 | 314 | -6 | 3.61 | 60 | -3.0 | 0.4 | |
| 333593317046013 | | | 123.52542 | | | | | | | |
| 333593317046012 | -0.00004 | 1.24 | 123.52662 | 537 | 10 | 3.35 | 58 | 4.2 | 0.5 | |
| 333593318046015 | 261.44687 | 3.03 | 384.97533 | 728 | 35 | 3.26 | 29 | 74.0 | 1.7 | |
| 333593317046014 | 320.92714 | -5.52 | 44.44705 | 630 | -55 | 3.30 | 43 | -55.2 | 2.6 | |
| 333593317046012 | -0.00004 | 1.24 | 123.52662 | 537 | 10 | 3.35 | 58 | 4.2 | 0.5 | |
| 333593317046014 | | | 244.44420 | | | | | | | |
| 333593317046013 | -0.00008 | 2.93 | 244.44705 | 630 | 29 | 3.30 | 59 | 15.2 | 1.2 | |
| 333593318046015 | 79.36071 | 0.72 | 323.80563 | 618 | 7 | 3.31 | 40 | 9.1 | 0.3 | |
| 333593318046017 | 142.27480 | -3.22 | 386.71578 | 908 | -46 | 3.21 | 27 | -115. | 1.9 | |
| 333593418046001 | 215.14785 | 1.90 | 59.59395 | 899 | 27 | 3.21 | 21 | 93.4 | 1.3 | |
| 333593417046009 | 304.45631 | -0.41 | 148.90010 | 821 | -5 | 3.23 | 36 | -8.4 | 0.2 | |
| 333593317046012 | 346.54539 | -4.68 | 190.98491 | 683 | -50 | 3.28 | 34 | -87.4 | 2.4 | |
| 333593317046013 | -0.00008 | 2.93 | 244.44705 | 630 | 29 | 3.30 | 59 | 15.2 | 1.2 | |
| 333593318046015 | | | 123.80503 | | | | | | | |
| 333593317046014 | -0.00005 | 0.65 | 123.80563 | 618 | 6 | 3.31 | 60 | 2.7 | 0.3 | |
| 333593317046013 | 61.17509 | -4.79 | 184.97533 | 728 | -55 | 3.26 | 30 | -115. | 2.7 | |
| 333593218046016 | 261.15397 | 3.05 | 384.96204 | 668 | 32 | 3.29 | 26 | 81.0 | 1.8 | |
| 333593318046017 | 309.84417 | 0.51 | 33.64970 | 767 | 6 | 3.25 | 31 | 12.0 | 0.3 | |
| 333593317046014 | -0.00005 | 0.65 | 123.80563 | 618 | 6 | 3.31 | 60 | 2.7 | 0.3 | |
| 333593318046017 | | | 298.46448 | | | | | | | |
| 333593218046016 | -0.00002 | -0.45 | 298.46401 | 543 | -4 | 3.35 | 57 | -1.7 | 0.2 | |
| 333593317046014 | 288.24756 | 3.73 | 186.71578 | 908 | 53 | 3.21 | 30 | 103.4 | 2.1 | |
| 333593318046015 | 335.18819 | -2.97 | 233.64970 | 767 | -36 | 3.25 | 38 | -46.2 | 1.5 | |
| 333593218046016 | -0.00002 | -0.45 | 298.46401 | 543 | -4 | 3.35 | 57 | -1.7 | 0.2 | |
| 333593417046006 | | | 44.33328 | | | | | | | |
| 333593518046004 | 0.00005 | -0.27 | 44.33306 | 733 | -3 | 3.26 | 57 | -1.8 | 0.1 | |
| 333593517046007 | 125.68660 | 0.50 | 170.02038 | 727 | 6 | 3.26 | 25 | 15.7 | 0.3 | |
| 333593417146008 | 184.49297 | 1.24 | 228.82750 | 955 | 19 | 3.20 | 41 | 22.8 | 0.6 | |
| 333593417046009 | 217.67702 | -0.85 | 262.00945 | 841 | -11 | 3.23 | 39 | -15.3 | 0.4 | |
| 333593418046001 | 309.34806 | 0.02 | 353.68137 | 845 | 0 | 3.23 | 29 | 0.7 | 0.0 | |
| 333593518046004 | 0.00045 | -0.67 | 44.33306 | 733 | -8 | 3.26 | 57 | -4.4 | 0.3 | |
| 333593417046009 | | | 160.28246 | | | | | | | |
| 333593417146008 | -0.00007 | 0.95 | 160.28334 | 476 | 7 | 3.40 | 59 | 3.6 | 0.4 | |
| 333593317046010 | 84.17344 | -0.83 | 244.45506 | 445 | -6 | 3.43 | 38 | -8.4 | 0.4 | |
| 333593317046012 | 126.28857 | -5.22 | 286.56581 | 505 | -41 | 3.38 | 37 | -62.6 | 2.5 | |
| 333593317046014 | 188.61425 | 3.39 | 348.90010 | 821 | 44 | 3.23 | 33 | 77.6 | 1.8 | |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|-----------|-------|-----------|------|-----|------|----|-------|-----|
| 439 | 333593417046006 | 301.72694 | 0.05 | 62.00945 | 841 | 1 | 3.23 | 32 | 1.4 | 0.0 |
| 440 | 333593417146008 | 399.99953 | 1.35 | 160.28334 | 476 | 10 | 3.40 | 59 | 5.1 | 0.5 |
| 441 | ----- | | | | | | | | | |
| 442 | 333593417146008 | | | 82.49114 | | | | | | |
| 443 | 333593517046007 | 0.00001 | -0.24 | 82.49091 | 777 | -3 | 3.25 | 56 | -1.5 | 0.1 |
| 444 | 333593317046010 | 222.58219 | 4.13 | 305.07746 | 566 | 37 | 3.34 | 28 | 83.6 | 2.3 |
| 445 | 333593417046009 | 277.79443 | -2.24 | 360.28334 | 476 | -17 | 3.40 | 42 | -19.5 | 1.0 |
| 446 | 333593417046006 | 346.33769 | -1.34 | 28.82750 | 955 | -20 | 3.20 | 33 | -35.4 | 0.7 |
| 447 | 333593517046007 | 0.00001 | -0.24 | 82.49091 | 777 | -3 | 3.25 | 56 | -1.5 | 0.1 |
| 448 | ----- | | | | | | | | | |
| 449 | 333593418046001 | | | 60.59001 | | | | | | |
| 450 | 333593518046004 | 43.66667 | -1.44 | 104.25524 | 1034 | -23 | 3.18 | 30 | -47.4 | 0.8 |
| 451 | 333593417046006 | 93.09130 | 0.06 | 153.68137 | 845 | 1 | 3.23 | 29 | 1.7 | 0.0 |
| 452 | 333593317046014 | 199.00491 | -0.98 | 259.59395 | 899 | -14 | 3.21 | 22 | -46.0 | 0.7 |
| 453 | 333593418046002 | 399.99963 | 1.45 | 60.59109 | 672 | 15 | 3.28 | 58 | 7.6 | 0.6 |
| 454 | 333593418046002 | 0.00003 | 1.05 | 60.59109 | 672 | 11 | 3.28 | 58 | 5.5 | 0.4 |
| 455 | ----- | | | | | | | | | |
| 456 | 333593418046002 | | | 260.59241 | | | | | | |
| 457 | 333593418046001 | -0.00007 | -1.25 | 260.59109 | 672 | -13 | 3.28 | 58 | -5.4 | 0.5 |
| 458 | 333593518046003 | 248.05856 | -0.15 | 108.65082 | 1017 | -2 | 3.19 | 24 | -7.0 | 0.1 |
| 459 | 333593518046004 | 287.65422 | 2.66 | 148.24929 | 668 | 28 | 3.29 | 31 | 53.0 | 1.5 |
| 460 | 333593418046001 | -0.00007 | -1.25 | 260.59109 | 672 | -13 | 3.28 | 58 | -5.4 | 0.5 |
| 461 | ----- | | | | | | | | | |
| 462 | 333593517046007 | | | 370.02056 | | | | | | |
| 463 | 333593417046006 | 0.00006 | -0.25 | 370.02038 | 727 | -3 | 3.26 | 57 | -0.8 | 0.1 |
| 464 | 333593417146008 | 312.46985 | 0.49 | 282.49091 | 777 | 6 | 3.25 | 26 | 13.8 | 0.3 |
| 465 | 333593417046006 | 0.00006 | -0.25 | 370.02038 | 727 | -3 | 3.26 | 57 | -0.8 | 0.1 |
| 466 | ----- | | | | | | | | | |
| 467 | 333593518046003 | | | 308.65114 | | | | | | |
| 468 | 333593418046002 | 0.00000 | -0.32 | 308.65082 | 1017 | -5 | 3.19 | 56 | -1.4 | 0.1 |
| 469 | 333593518046004 | 356.25614 | -0.17 | 264.90711 | 613 | -2 | 3.31 | 26 | -3.9 | 0.1 |
| 470 | 333593418046002 | 399.99920 | 0.48 | 308.65082 | 1017 | 8 | 3.19 | 56 | 2.0 | 0.2 |
| 471 | ----- | | | | | | | | | |
| 472 | 333593518046004 | | | 64.90701 | | | | | | |
| 473 | 333593518046003 | 0.00002 | 0.08 | 64.90711 | 613 | 1 | 3.31 | 56 | 0.4 | 0.0 |
| 474 | 333593417046006 | 179.42511 | 0.95 | 244.33306 | 733 | 11 | 3.26 | 27 | 27.2 | 0.6 |
| 475 | 333593418046001 | 239.34679 | 1.44 | 304.25524 | 1034 | 23 | 3.18 | 30 | 47.2 | 0.8 |
| 476 | 333593418046002 | 283.34494 | -2.66 | 348.24929 | 668 | -28 | 3.29 | 31 | -55.2 | 1.5 |
| 477 | 333593518046003 | 0.00002 | 0.08 | 64.90711 | 613 | 1 | 3.31 | 56 | 0.4 | 0.0 |
| 478 | ----- | | | | | | | | | |
| 479 | | | | | | | | | | |
| 480 | | | | | | | | | | |
| 481 | BAARDA-TEST ===== | | | | | | | | | |
| 482 | | | | | | | | | | |
| 483 | Maximale normierte Verbesserung: 2.69 | | | | | | | | | |
| 484 | Schwellenwert für Baarda-Test : 3.29 (entspricht Irrtumsw. von 0.1000 %) | | | | | | | | | |
| 485 | Beobachtungstyp : Horizontalrichtung | | | | | | | | | |
| 486 | Von Punkt - Nach Punkt : 333593318046015 - 333593317046013 | | | | | | | | | |
| 487 | Möglicher grober Fehler : Es wurde kein grober Fehler gefunden. | | | | | | | | | |
| 488 | ----- | | | | | | | | | |
| 489 | | | | | | | | | | |
| 490 | | | | | | | | | | |
| 491 | STATISTIK IN DEN BEOBACHTUNGSGRUPPEN ===== | | | | | | | | | |
| 492 | | | | | | | | | | |
| 493 | (Die Standardabweichung der Gewichtseinheit a-priori wurde mit 0.001000 vorgegeben) | | | | | | | | | |
| 494 | | | | | | | | | | |
| 495 | Beobachtungstyp---Gruppe---Anzahl---Red.anteil-----[pvv]-----Sigma0---Faktor-- | | | | | | | | | |
| 496 | Horizontalstrecken 0 6 3.471 0.00001228 0.00188083 1.88 | | | | | | | | | |
| 497 | Horizontalrichtungen 0 74 31.529 0.00002978 0.00097186 0.97 | | | | | | | | | |
| 498 | ----- | | | | | | | | | |
| 499 | Summe / Gesamt 80 35.000 0.00004206 0.00109620 1.10 | | | | | | | | | |
| 500 | ----- | | | | | | | | | |
| 501 | | | | | | | | | | |