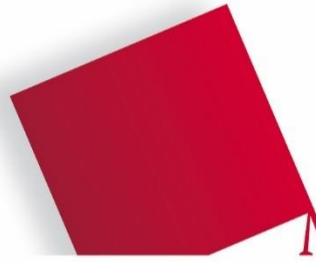


Fakultät für
Geoinformation



HOCHSCHULE
FÜR ANGEWANDTE
WISSENSCHAFTEN
MÜNCHEN

VERGLEICH DER AUSWIRKUNGEN VON
NETZSPANNUNGEN AUF DIE
GEOMETRIE VON GEBÄUDEN BEIM
DATUMSÜBERGANG MIT DEM ORTRA-
VERFAHREN UND DER KLASSISCHEN
TRANSFORMATION MIT
INTERPOLATION

ANDREAS KOCH

BACHELORARBEIT DER FAKULTÄT FÜR
GEOINFORMATIK
DER HOCHSCHULE MÜNCHEN

STUDIENGANG: GEOINFORMATIK UND SATELITENPOSITIONIERUNG

BETREUER: PROF. DR. GEORG LOTHER

DIE ARBEIT WURDE ANGEFERTIGT IN KOOPERATION MIT: CLEMENS GLOCK VOM LANDESAMT
FÜR DIGITALISIERUNG, BREITBAND UND VERMESSUNG

ABGABE AM 12. JULI 2017

COMPARISON OF THE EFFECTS ON THE GEOMETRIE OF BUILDINGS BETWEEN THE TRANSFORMATION WITH ORTRA AND CONVENTIONAL METHOD AND INTERPOLATION

Abstract

The aim of this thesis is to compare different interpolation approaches to transform from DHDN90 into ETRS89 and check the effects on the geometry of buildings.

For this purpose, different testcases with synthetical strains are created.

To compare the different effects on the geometry it compares the inner geometry and the outer geometry of each testcase and creates a scalar quantity.

In the end, this paper will try to reveal which transformation approach handles grid stress more efficiently.

DANKSAGUNG

Zu Beginn meiner Arbeit möchte ich mich gleich bei Herrn Clemens Glock vom LDBV bedanken. Er hat mir nicht nur das Thema vorgeschlagen, sondern unterstützte mich vom ersten Tag an auch mit der Umsetzung. So stellte er mir die Testdaten zur Verfügung, führte die Transformation mit dem ORTRA Verfahren durch und erklärte mir so verständlich wie möglich das ORTRA Verfahren. Aber besonders bedanken möchte ich ihm wegen der Geduld die er mir gegenüber bewies, wenn ich mir mal etwas schwer tat mit der Umsetzung.

Natürlich gilt auch meinem Betreuer Dr. Georg Lothar, Professor an der Hochschule München, besonderer Dank. Während meiner Arbeit konnte ich mich bei allen Fragen immer an ihn wenden. Dabei teilte er stets sein Fachwissen und seine Erfahrung, aber vor allem auch seine Freude an der Geodäsie mit mir. Besonders die Euphorie gegenüber der Geodäsie, die Herr Lothar stets ausstrahlt, war während dem Erstellen der Arbeit, aber auch schon während des Studiums, sehr ansteckend.

Auch danke ich meiner Frau, die mich stets unterstützt und, besonders wenn es stressig und eng wurde, immer genügend Geduld und Verständnis mir gegenüber aufgebracht hat.

Auch möchte ich mich bei meinen Freunden und Bekannten bedanken. Besonderes möchte ich mich bei meinem guten Freund Daniel Jess bedanken, der mich bei der Korrektur stets unterstützt hat.

INHALTSVERZEICHNIS

Abstract	II
Danksagung.....	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Begriffserklärung.....	VII
1. Einleitung.....	1
2. Definition DHDN90-3GK4 und ETRS89-UTM32.....	3
2.1 Koordinatenreferenzsystem (CRS).....	3
2.2 Ebene konforme Koordinaten.....	5
2.3 DHDN90-3GK4.....	8
2.4 ETRS89-UTM32.....	9
3. Transformations Ansätze.....	11
3.1 Translative Datumstransformation.....	11
3.2 Multiquadratische Interpolation.....	13
3.3 Projekt KanU mit dem ORTRA Ansatz	14
4. Das Testgebiet	16
5. Vergleich von Geometrien.....	20
6. Referenz Geometrie	22
7. Untersuchung verschiedener Testfälle.....	47
7.1 Testfall 1: Einzelner Netzkpunkt	47
Lagefehler von 5 cm	48
Lagefehler von 20 cm	68
Lagefehler von 50 cm	71
7.2 Testfall 2: Spannung zwischen zwei Polygonzügen	74
7.3 Testfall 3: Spannung bei einen Globalen Fehler	77

8.	Bewertung der Ergebnisse.....	79
8.1	Kantenlängen	79
8.2	Innenwinkel.....	85
8.3	Äußere Geometrie.....	91
9.	Fazit.....	95
	Literaturverzeichnis	XI
	Abbildungsverzeichnis	XII
	Tabellenverzeichniss	XV
	Verwendete Software	XVI
	Anhang	XVII
	Testfall 1: 5 cm	XVII
	Kernmatrix	XVII
	Innenwinkel	XVIII
	Äußere Geometrie	XIX
	Testfall 1: 20 cm	XX
	Kernmatrix	XX
	Innenwinkel	XXI
	Äußere Geometrie	XXII
	Testfall 1: 50 cm	XXIII
	Kernmatrix	XXIII
	Innenwinkel	XXIV
	Äußere Geometrie	XXV
	Testfall 2: Polygonzug	XXVI
	Kernmatrix	XXVI
	Innenwinkel	XXVII

Äußere Geometrie	XXVIII
Testfall 3: Globaler Drehung	XXIX
Kernmatrix	XXIX
Innenwinkel	XXX
Äußere Geometrie	XXXI
Datenanhang.....	XXXII
Selbstständigkeitserklärung.....	XXXIV

BEGRIFFSERKLÄRUNG

- KanU - Kataster nach UTM
- LDBV - Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung
- MQI - Multiquadratische Interpolation
- JaG3D - Java Graticule 3D
- GNSS - Globales Navigationssatellitensystem
- GPS - Global Positioning System, umgangssprachlich auch benutzt für GNSS
- GK - Gauß-Krüger, in dieser Arbeit auch benutzt für DHDN90 GK4
- ETRS89 - European Terrestrial Reference System 1989
- DHDN90 - Deutsches Hauptdreiecksnetz 1990
- UTM - Universal Transverse Mercator, in dieser Arbeit auch benutzt für ETRS89 UTM32
- AdV - Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder
- MQI - Multiquadratische Interpolation

1. EINLEITUNG

„Über die letzten 150 Jahre wurden aufgrund territorial abgegrenzter Aktivitäten, lokaler Besonderheiten und Anwendungen eine Vielzahl von geodätischen Bezugssystemen realisiert. Im Wesentlichen sind sie auf das Territorium eines Landes beschränkt. Erst mit der Einführung der satelliten-geodätischen Beobachtungen (GPS) gelang es, in den 60er und 70er Jahren einheitliche Bezugssysteme mit zunehmend höherer Genauigkeit kontinental und weltweit zu schaffen.“ (Lother, 2012 Kap. 11)

Im Mai 1991 beschloss die AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltung der Länder) ein modernes kontinental gestütztes Bezugssystem einzuführen. In Deutschland realisieren deshalb alle Bundesländer den Umstieg vom alten für Deutschland definierten Deutschen Hauptdreiecksnetz 1990, oder kurz DHDN90, in das neue für Europa definierte Bezugssystem, European Terrestrial Reference System 1989, kurz ETRS89. Das Besondere an diesem Umstieg ist der Umstand, dass von einem spannungsbehafteten System (DHDN90) in ein spannungsfreieres Netz (ETRS89) transformiert wird. Dieses neue System hat vor allem den Vorteil, dass Punkte mit Globalen Navigationssatellitensystem (GNSS) gestützten Methoden direkt gemessen und verortet werden können. Um diesen Vorteil nutzen zu können, müssen beim Bezugssystemwechsel diese Spannungen weitestgehend eliminiert werden. Dazu ist es nötig, die transformierten Punkte zu interpolieren. Das bedeutet, dass die anfallenden Residuen, die Unterschiede der Koordinaten von bekannten Punkten zu den Koordinaten dieser Punkte nach der Transformation, auf die Massepunkte verteilt werden müssen. Man spricht dabei von Homogenisierung des Bezugssystemwechsels. Allerdings können Interpolationsverfahren die Geometrie der Objekte verzerren. In Bayern hat das LDBV (Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung) sich dennoch entschlossen, diesen Schritt zu unternehmen und entwickelte mit dem Projekt KanU (Kataster nach UTM) einen neuen Homogenisierungsansatz: das ORTRA Verfahren.

Diese Arbeit untersucht nun die Auswirkung von Netzspannungen auf die Geometrie der Gebäude nach einem traditionellen Interpolationsverfahren im Vergleich zu dem vom Projekt KanU entwickelten ORTRA Verfahren.

Dazu werden in **Kapitel 2** die verschiedenen Bezugssysteme und ihre Eigenheiten zusammengefasst.

In **Kapitel 3** werden die verwendeten Transformationsansätze aufgezählt und vorgestellt.

In **Kapitel 4** wird ein Testgebiet definiert und die Test Geometrien erfasst.

Kapitel 5 beschäftigt sich mit der Frage wie Geometrien und vor allem die Änderungen der Geometrien erfasst und auf skalare Werte reduziert werden können.

Die Referenzgeometrien werden in **Kapitel 6** erstellt und unverändert in das ETRS89 transformiert.

In **Kapitel 7** werden die Testfälle vorgestellt und mit den veränderten Datensätzen die Transformation und Interpolation durchgeführt. Danach werden die Abweichungen ermittelt und festgehalten.

In **Kapitel 8** werden die Ergebnisse aus den Testfällen zusammengeführt und verglichen. Dabei wird versucht, Aussagen über den Geometrieerhalt der beiden Interpolationsansätze zu machen.

2. DEFINITION DHDN90-3GK4 UND ETRS89-UTM32

In dieser Arbeit wird der Bezugssystemwechsel vom DHDN90 mit den GK-Gebrauchskordinaten zum neueren ETRS89 mit UTM-Gebrauchskordinaten durchgeführt. Deshalb stellt sich die Frage, was ist ein Koordinatenreferenzsystem und was verbirgt sich hinter Begriffen wie DHDN90, UTM, oder ETRS89.

2.1 Koordinatenreferenzsystem (CRS)

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 3 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar¹

Mit Koordinaten lassen sich Positionen auf der Erde mittels Zahlen ausdrücken. Damit diese Zahlen sich eindeutig auf der Erde wiederfinden lassen, benötigt man ein Koordinatenreferenzsystem (CRS). Dieses besteht aus einem mathematischen Teil, dem Koordinatensystem, und einen physikalischen Teil, dem geodätischen Bezugssystem oder auch geodätisches Datum genannt.

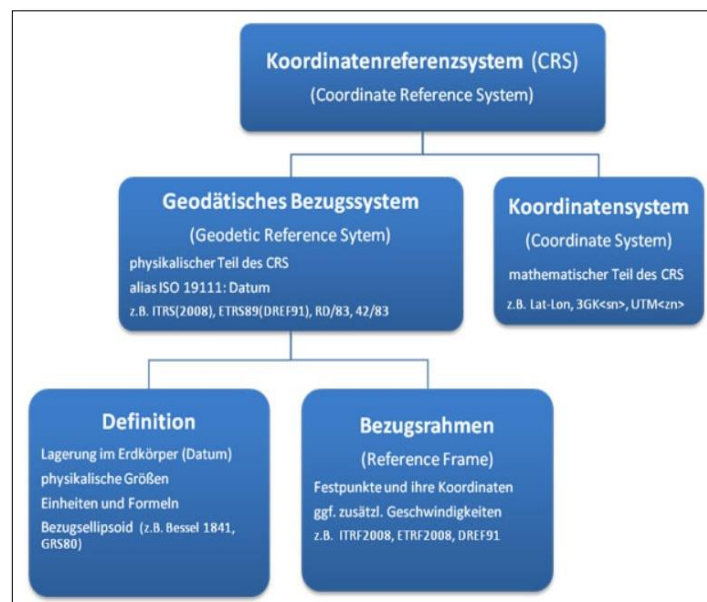


ABBILDUNG 1 KOORDINATENREFERENZSYSTEM AUFBAU²

¹ Lothar, 2012 Kap 3

Das Koordinatensystem gibt an, in welcher Einheit die Daten vorliegen.

Mit dem geodätischen Bezugssystem wird festgelegt, wie das CRS mit der Erde verbunden ist.

„Nach DIN 18709 sind Geodätische Bezugssysteme einheitliche erdfeste Bestimmungssysteme zur Festlegung der räumlichen Position, der Lage, der Höhe oder der Schwere. Sie sichern den Raumbezug für digitale Geoinformationen, topographische und thematische Karten sowie das Vermessungswesen.“ (Lother, 2012 Kap. 1-1)

Das geodätische Bezugssystem besteht aus dem Bezugsrahmen und der Definition. Der Bezugsrahmen legt das Referenzellipsoid, sowie die primären Koordinaten und die Lage zur Erde fest. Die Definition des Bezugssystems gibt Standards zur Reduktion von Daten mit ihren Parametern an.

Einfach ausgedrückt besteht das geodätische Bezugssystem aus der mathematischen Grundlage der Koordinaten (Referenzellipsoid) und der Realisierung auf der Erde.

Zur eindeutigen Angabe des CRS wird üblicherweise der Katalog der European Petroleum Survey Group, kurz EPSG, verwendet, oder die Definition der AdV.

Diese Arbeit befasst sich mit der Transformation vom DHDN90-3GK4³ (EPSG: 31468⁴) zu dem ETRS89-UTM32⁵ (EPSG: 25832⁶)

² Landesvermessung Sachsen

³ AdV, 2007 S. 3f

⁴ Online Katalog der EPSG: <http://spatialreference.org/ref/epsg/31468/>

⁵ AdV, 2007 S. 3ff

⁶ Online Katalog der EPSG: <http://spatialreference.org/ref/epsg/25832/>

2.2 Ebene konforme Koordinaten

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 4 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar⁷

Ebenen konforme Abbildungen des Ellipsoids nach Gauß sind die Grundlage für Gauß-Krüger-Koordinaten, kurz GK-Koordinaten, sowie Universal Transverse Mercator Koordinaten, kurz UTM-Koordinaten. Einfach gesprochen wandelt diese Art der Abbildung elliptische Koordinaten (Breite, Länge) in metrische Koordinaten um. Dazu werden die elliptischen Koordinaten, welche die Punkte auf den Bezugsellipsoiden beschreiben, auf eine 2-Dimensionale Ebene projiziert. Um Verzerrungen zu minimieren werden Meridianstreifensysteme verwendet. Diese Streifen haben eine feste Breite und verlaufen entlang der Längsmeridianen. Nach einer pragmatischen Modifizierung dieser Abbildung spricht man von Gebrauchskordinaten.

Bei GK-Koordinaten wird ein 3° breites Meridianstreifensystem verwendet.

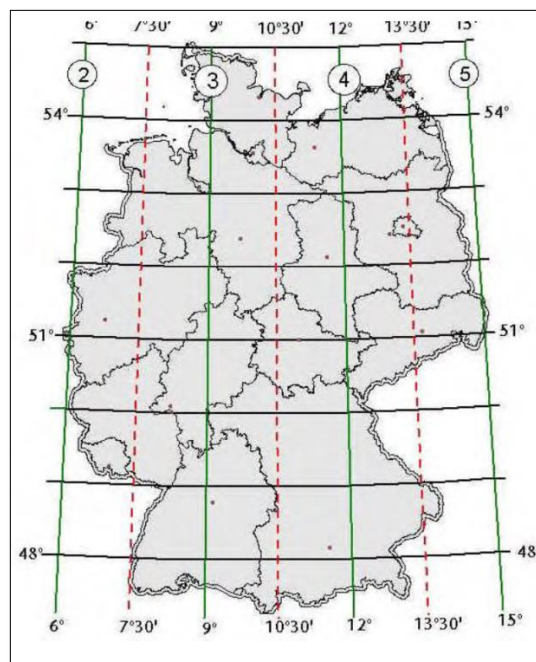


ABBILDUNG 2 GK-STREIFEN IN DEUTSCHLAND⁸

⁷ Lothar, 2012 Kap 4

GK-Koordinaten sind immer in einen 4° breiten Streifen um einen Hauptmeridian gültig, sprich die einzelnen Streifen überlappen sich gegenseitig um 0,5°. In GK Systemen werden den Streifen immer Kennziffern zugeordnet. Der Streifen mit der Kennziffer 1 beschreibt den Bezugsmeridian bei 3° Ost. In Bayern beziehen sich Geobasisdaten einheitlich auf den Bezugsmeridian 12° Ost. Also mit einer Kennziffer von 4. Die Ordinate beschreibt den Abstand des Punktes zum Bezugsmeridian. Um negative Werte zu vermeiden, werden den Ordinaten noch 500.000 hinzuaddiert. Stellt man nun der Ordinate die Kennziffer davor, bekommt man die bisher in Deutschland benutzten GK-Koordinaten. Bei GK-Koordinaten spricht man bei den Ordinaten Werten von Rechtswert und bei der nach Norden positiven Abszisse von Hochwert.

So hat die Frauenkirche in München die GK-Koordinaten im DHDN90⁹:

R: 4468373.503

H: 5333487.849

⁸ Lothar, 2012 Kap. 4-5

⁹ <https://www.deine-berge.de/Rechner/Koordinaten/Dezimal/48.138631,11.573625>

Bei UTM-Koordinaten wird als Meridiangitter ein 6° breites Netz benutzt, mit einer 0,5° breiten Überlappung der Streifen.

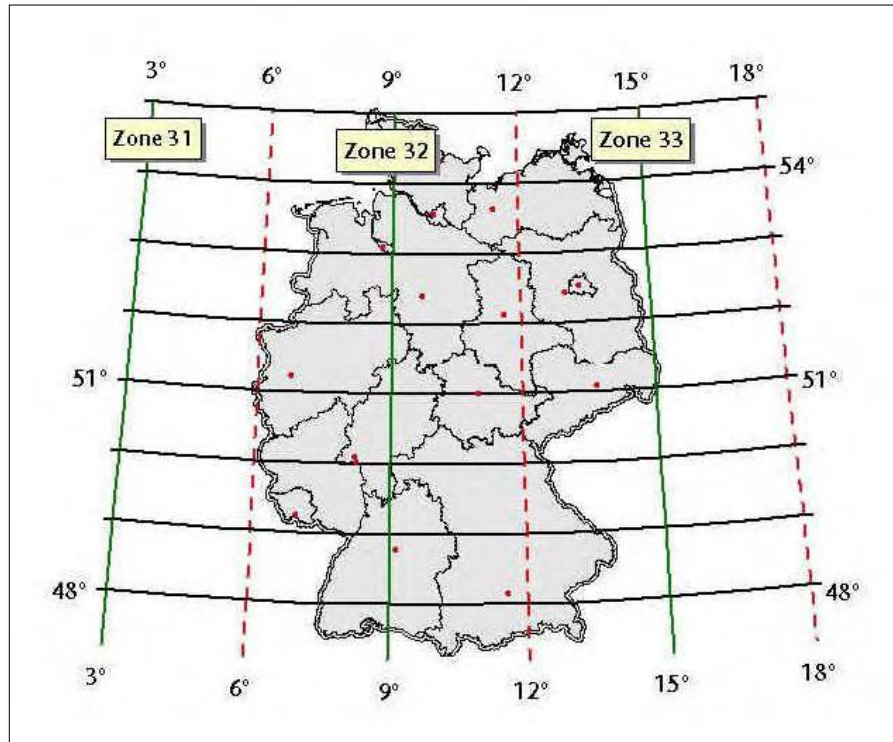


ABBILDUNG 3 UTM STREIFEN IN DEUTSCHLAND¹⁰

Es wird auch nicht mehr von Kennziffer geredet, sondern von Zonen. Die Zone 1 liegt bei 177° West. Die Abszisse wird als North Wert bezeichnet und die Ordinate als East Wert. Ansonsten läuft die Umwandlung ähnlich wie bei GK-Koordinaten. In Bayern wurde als Bezugsmeridian der Meridian bei 9° Ost ausgewählt. Dies entspricht der Zone 32.

So hat die Frauenkirche in München die UTM-Koordinaten¹¹ im ETRS89:

¹⁰ Lothar, 2012, Kap. 4-6

¹¹ <https://www.deine-berge.de/Rechner/Koordinaten/Dezimal/48.138631,11.573625>

E: 32691459

N: 5334912

2.3 DHDN90-3GK4

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 4 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar¹²

„Netzspannungen kann man sich vorstellen wie die Abstände zwischen Puzzleteile die nicht perfekt aneinanderpassen. Auf einem Puzzlestück kann man sehr gut und genau messen. Sobald man aber über ein Stück auf ein anderes Stück messen möchte, kommt der Spalt zwischen den Stücken in die Messung hinein.“ (mündliches Zitat Herr Professor Dr. Lothar)

Das Deutsche Hauptdreiecksnetz 1990 ist zurzeit noch das Bezugssystem des amtlichen Vermessungswesens. Als Referenzellipsoid dient das Bessel-Ellipsoid 1841, welches auf dem Zentralpunkt Rauenberg¹³ gelagert wird. Als Gebrauchskordinaten sind GK-Kordinaten üblich. Das Bezugssystem kommt, wegen seiner Lagerung, nur innerhalb Deutschlands auf eine ausreichende Genauigkeit.

Das seit 1935 geltende Bezugssystem in Bayern löste das bis damals gültige Soldnersystem ab. Bei dieser Umstellung wurde damals auf eine Homogenisierung weitestgehend verzichtet, deshalb finden sich auch heute noch Spannungen aus dieser Zeit im aktuell gültigen Netz.

Seit dieser Zeit haben sich aber auch immer mehr interne Spannungen in dem System eingeschlichen. So kommen durch die in Bayern so gut wie abgeschlossene Flurbereinigung weitere Spannungen ins Netz. Auch der Umstand das viele Netzpunkte durch unabhängig geführte Polygonzüge aufgenommen wurden, sorgt für Spannungen zwi-

¹² Lothar, 2012 Kap 4

¹³ Adv

schen diesen Netzpunkten. Das DHDN90 ist also ein klassisches spannungsbeladenes Bezugssystem, welches nur in Deutschland gültig ist.

DHDN90-3GK4 ist also die Kurzform von metrische Koordinaten auf der Referenzfläche des Bessel-Ellipsoiden, gelagert im Fundamentalpunkt Rauenberg, mit pragmatisch modifizierten Projektionskoordinaten, bezogen auf den Bezugsmeridian 12° Ost der Gauß-Krüger-Meridiansteifen Einteilung. Aus diesem Grund gilt in dieser Arbeit ab diesem Punkt: Immer, wenn von GK-Koordinaten geredet wird, sind DHDN90-3GK4 Koordinaten gemeint.

2.4 ETRS89-UTM32

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 4 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar¹⁴

Das European Terrestrial Reference System 1989, oder kurz ETRS89, benutzt als Referenzellipsoid das GRS80-Ellipsoid. Das Besondere daran ist, dass es das selbe Ellipsoid ist wie im WGS84 System. Das WGS84 System ist ein global gültiges, dynamisches Referenzsystem, welches die Grundlage für die Verordung und Navigation mittels GNSS, oder umgangssprachlich, GPS Messungen liefert. Anders als das dynamisch gelagerte WGS84 wird das ETRS89 durch das ITRF89 auf der eurasischen Kontinentalplatte gelagert. Das ITRF besteht aus ungefähr 400 weltweit verteilten Messstationen. Diese messen global plattentektonische Bewegungen. Seit Beginn des Jahres 1989 werden aus den Europäischen ITRF Stationen Koordinaten abgeleitet. Auf diesen Koordinaten wird die Lagerung des ETRS89 realisiert.

Dadurch, dass sich WGS84 und ETRS89 auf dasselbe geozentrisch gelagerte Referenzellipsoid beziehen, können mit GNSS Methoden gemessene Punkte sehr einfach und schnell absolut im ETRS89 verortet werden.

¹⁴ Lothar, 2012 Kap 3

Durch seine Lagerung und den Umstand, dass alle Lagerungspunkte und Netzpunkte über GNSS aufgenommen wurden, handelt es sich beim ETRS89 um ein europaweit gültiges, hochgenaues Bezugssystem, welches sehr spannungsarm ist.

ETRS89-UTM32 beschreibt metrische Koordinaten, die als Gebrauchskordinaten die UTM Schreibweise benutzen und sich auf den Hauptmeridian 9° Ost beziehen.

Ab diesem Punkt werden, in dieser Arbeit, diese Koordinaten der Einfachheit halber als UTM Koordinaten bezeichnet.

3. TRANSFORMATIONS ANSÄTZE

Eine Transformation beschreibt einen Vorgang, bei dem die Koordinaten eines Bezugssystems in Koordinaten eines anderen Bezugssystems umgewandelt werden. Man spricht auch von einem Datumsübergang oder einem Bezugssystemwechsel. Der Zusammenhang eines Punktes zu den Koordinaten in beiden Bezugssystemen wird über Transformationsgleichungen beschrieben.

Die Wahl des Transformationsansatzes ist bei jedem Bezugssystemwechsel der erste Schritt. Dabei spielen viele Faktoren eine Rolle. Zum einen die Art der zu transferierenden Punkte, zum Beispiel ob es sich um 2D oder 3D Koordinaten handelt, auch ob es ebene konforme Koordinaten oder elliptische Koordinaten sind, spielt eine Rolle. Genauso die Größe des zu transformierenden Systems und ob ein Meridianstreifenwechsel nötig ist.

3.1 Translative Datumstransformation

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 7 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar¹⁵

Von translativen Datumsübergängen spricht man, wenn Punkte auf einer Ebene transformiert werden. In der Regel benutzt man dabei eine 2D-Ähnlichkeitstransformation, mit 4 Parametern, oder eine 2D-Affintransformation, mit 6 Parametern.

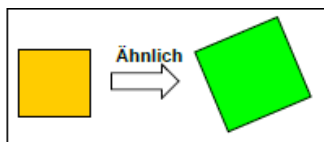


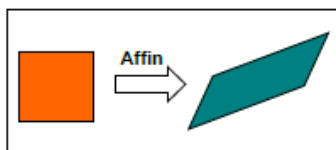
ABBILDUNG 4 ÄHNLICHE ABBILDUNG

Die 4 Parameter der Ähnlichkeitstransformation sind 2 Translationen (Verschiebung in X und Y Richtung) ein Maßstab (Veränderung von Strecken) und eine Rotation.

¹⁵ Lothar, 2012 Kap 7

Diese Art der Transformation wird auch 4 Parameter Helmertransformations oder auch Konforme Transformation genannt. Bei Datumsübergang von 2 ebenen konformen Koordinaten ist sie die gebräuchlichste Form der Transformation. Bei der Ähnlichkeits- transformation werden die Winkel nicht verzerrt und die relative Lage, sprich das Ab- standsverhalten benachbarter Punkte, bleibt erhalten.

Liegt zwischen Quell- und Zielsystem keine konforme Beziehung vor, kann die Affin- Transformation verwendet werden¹⁶.



So bekommt man für die Affin-Transformation 6 Parame- ter.

2 Translationen (Verschiebung in X und Y), 2 Maßstäbe (Streckenverzug in X und Y Richtung) und 2 Rotationen.

ABBILDUNG 5 AFFINE ABBILDUNG

Durch Aufstellen der Transformationsgleichungen und Einsetzen aller bekannten iden- tischen Punkte (Punkte, bei denen die Koordinaten in beiden Systemen bekannt sind) können die Parameter geschätzt werden. Falls man den Zusammenhang von Quell- und Zielsystem nicht kennt, wird mit dem Ansatz mit den meisten Parametern ange- fangen. Nach dem Schätzen der Parameter wird jeder Parameter nacheinander auf Signifikanz überprüft, sprich ob sein Wert relevant für die Transformation ist oder er nur das Ergebnis zufälliger Fehler ist, und gegebenenfalls eliminiert.

Dies wird in Kapitel 6 genauer beschrieben und durchgeführt.

¹⁶ Niemeier, Kap 10

3.2 Multiquadratische Interpolation

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 8 aus dem Vorlesungsskript „Geodätische Bezugssysteme“ Prof. Dr. Lothar¹⁷

Wenn es nur darum ginge, die Koordinaten von einem System in ein anderes System umzuwandeln, wäre dies hiermit erledigt. Allerdings wurde in Bayern beschlossen durch die Einführung des neuen Bezugssystems auch die Spannungen aus dem DHDN90 zu reduzieren. Um dies zu erreichen, muss für jeden transformierten Punkt eine lagebezogene Korrektur angebracht werden. Dafür wird nach der Transformation ein identischer Punkt mit den geschätzten Parametern transformiert und überprüft, wie weit sich die transformierten Koordinaten von den tatsächlichen Koordinaten unterscheiden. Dies wird für jeden identischen Punkt gemacht und man erhält für jeden Punkt eine Restklaffung in X und in Y Richtung. Restklaffung mit umgedrehten Vorzeichen werden Residuen genannt.

Diese Residuen müssen nun auf alle transformierten Massepunkte aufgeteilt werden. Diesen Schritt nennt man Interpolation der Restklaffung.

Dafür gibt es mehrere Verfahren. In dieser Arbeit wird dafür die Multiquadratische Interpolation (MQI) benutzt. Diese zählt zu den gebräuchlichsten Verfahren, da sie sich sehr leicht programmtechnisch umsetzen lässt.

Die MQI nach Hardy basiert auf der Grundlage einer Interpolationsfläche¹⁸. Hintergrund ist der Ansatz, dass jede glatte, aber unregelmäßige Fläche durch die Summe vieler kleiner, regelmäßiger Flächen approximiert werden kann. In der Kernfunktion der Interpolationsmatrix stecken die Abstände zwischen zwei Punkten und ein Glättungsfaktor G.

$$k_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 + G}$$

¹⁷ Lothar 2012, Kap. 8-9

¹⁸ Niemeier, Kap 10.5.4

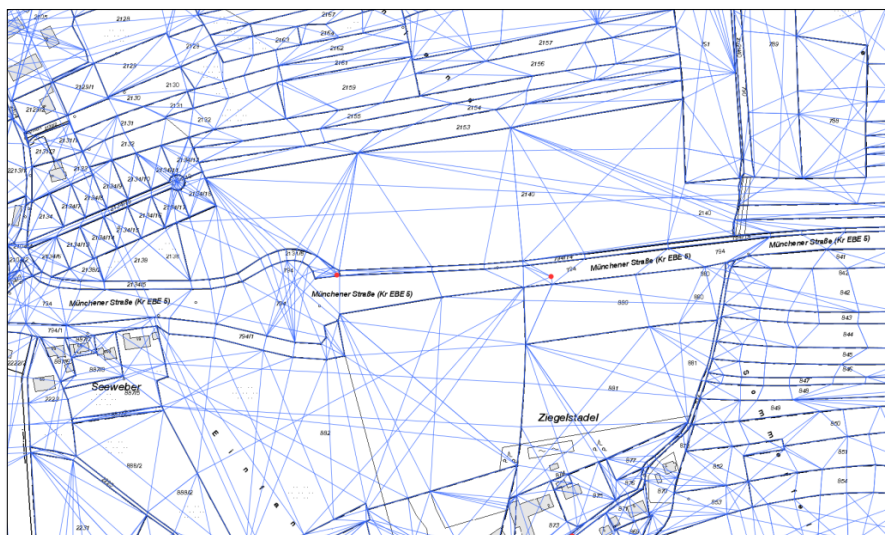
Mit $G = 0$ haben die Flächen Spitzen an den Stützstellen, mit $G > 0$ verlaufen sie glatter. In dieser Arbeit wurde für MQI ein Glättungsfaktor $G = 0$ gewählt, da dies den geringsten Einfluss auf die Geometrien hat und keine Korrekturen an den identischen Punkten ergibt.

3.3 Projekt KanU mit dem ORTRA Ansatz

Dieses Kapitel basiert auf Kapitel 2.5.3 aus dem „Leitfaden Bezugssystemwechsel auf ETRS89/UTM“¹⁹.

2012 wurde vom LDBV, damals noch Landesamt für Vermessung und Geoinformation, in Bayern das Projekt KanU (Kataster nach UTM) eingerichtet. Im Projekt Kanu wurde das neuartige Verfahren „Umformung durch Ausgleichung nach dem ORTRA-Ansatz“ oder kurz ORTRA, entwickelt. Dieses rechentechnisch sehr aufwändige Verfahren gibt an, Netzspannungen so zu verteilen, dass Nachbarschaftsgenauigkeiten und Geometrien bestmöglich erhalten bleiben. Dabei handelt es sich nicht um ein Interpolationsverfahren, sondern um einen Ausgleichungsansatz.

Beim ORTRA Verfahren wird ein Grundriss mit einer Vielzahl von Beobachtungen versehen. Dies bewirkt eine „Versteifung“ der Objekte.



¹⁹ Glock und Joos, 2016

Darin liegt auch der große Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Während die MQI nur Punkte und deren Abstand zueinander einbezieht, handelt es sich beim ORTRA Verfahren um ein objektbezogenes elastomechanisches Ausgleichungsverfahren.

²⁰ Glock und Joos, 2016, Seite 36

4. DAS TESTGEBIET

Das Testgebiet muss bestimmte Bedingungen erfüllen.

Es soll ein relativ spannungsfreies Gebiet sein. Groß genug, so dass die Interpolationen sich weiträumig verteilen können, aber klein genug, dass der Rechenaufwand nicht jeglichen Rahmen sprengt. Es muss auch viele gut verteilte identische Punkte vorweisen. Freundlicherweise durfte ich für die Bachelorarbeit das Testgebiet aus dem Projekt KanU, genannt Lurchingen, benutzen. Dies hatte auch den Vorteil das die Datensätze der Testfälle im ORTRA Verfahren schnell eingesetzt und umgesetzt werden konnten. Lurchingen ist ein fiktiver Ort bei Würzburg (siehe Abbildung 7).

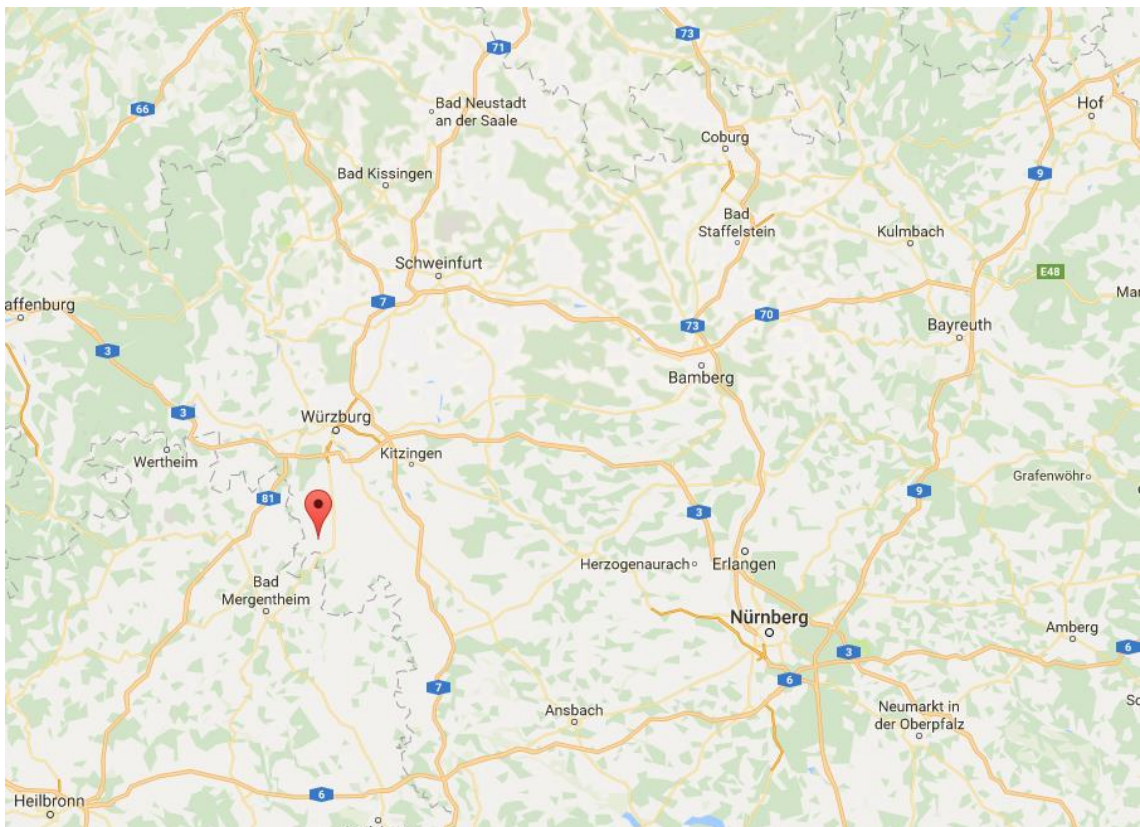


ABBILDUNG 7 LAGE LURCHINGEN IN GOOGLE MAPS

Der Datensatz besteht aus identischen Punkten, Flurstücken und Gebäude.



ABBILDUNG 8 (LINKS) ALLE FLURSTÜCKE UND GEBÄUDE IM TESTGEBIET

ABBILDUNG 9 (RECHTS) ZOOM AUF ZENTRUM DES TESTGEBIETS

In Abbildung 9 ist zu erkennen, dass im Zentrum zahlreiche und gut verteilte identische Punkte vorkommen.

Diese Datensätze wurden mir von Herrn Glock vom LDBV zur Verfügung gestellt. Als Obnr haben alle Punkte eine sehr lange Identifikationsnummer, gespeichert in der „obnr“. In dieser Arbeit werden als Identifikator der Punkte immer die letzten drei Stellen der „obnr“ als „Pkt“ bezeichnet. Dies genügt um in diesem Bereich alle Punkte eindeutig zu identifizieren.

So wird aus dem Punkt:

obnr	Pkt
DEBYvAAAAAAAAAWp2	Wp2

Es werden drei Testfälle erstellt.

Im ersten Testfall wird nur ein identischer Punkt um jeweils 5 cm, um 20 cm und um 50 cm verschoben. Dafür wurde der Punkt Wp2 ausgesucht.



ABBILDUNG 10 LURCHING MIT NETZPUNKT WP2

Seine Nähe zu einer Vielzahl von Gebäuden und der Umstand, dass in westlicher Richtungen sehr wenige nahe identische Punkte liegen, während in allen drei anderen Richtungen viele Punkte vorkommen, machen ihn zu einem sehr guten Kandidaten für Testfall 1. Als Testfall 2 werden zwei gedachte Polygonzüge auseinandergezogen.

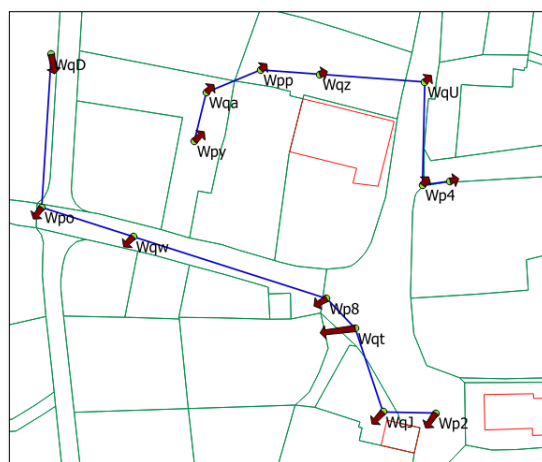


ABBILDUNG 11 LURCHINGEN MIT EINGEZEICHNETEN POLYGONZÜGEN UND ÜBERZEICHNETER VERSATZRICHTUNG

Als dritten Testfall wird eine Globale Drehung aller Netzknoten um $0,05^\circ$ durchgeführt. Im Zentrum des Gebiets kommt es zu einer Ballung von Gebäuden und identischen Punkten. Dort werden drei Gebäude als Testobjekte herausgesucht. Diese Gebäude sollten sich in Form und Lage unterscheiden. Auch die relative Lage zu den Testfällen ist von Bedeutung. So sollte für Testfall 1 ein Gebäude westlich des Netzknotens liegen, um die Auswirkungen eines recht isolierten Netzknotens auf das Gebäude zu zeigen. Ein Gebäude sollte weiter östlich sein, um genau das Gegenteil zu untersuchen. Und ein Gebäude sollte recht weit weg vom Netzknoten sein.

Da alle drei Gebäude in allen drei Testfällen benutzt und verglichen werden wird das dritte Gebäude so gewählt das es direkt zwischen den Polygonzügen liegt, um dort eine maximale Verzerrung zu erreichen.



ABBILDUNG 12 ABBILDUNG DER DREI TESTGEBÄUDE

Zur späteren Identifikation wurde allen drei Gebäude eine ID zugeordnet.

5. VERGLEICH VON GEOMETRIEN

Ziel der ganzen Arbeit ist die Verzerrung der Geometrie von Gebäuden nach den verschiedenen Ansätzen zu vergleichen. Dafür werden skalare Werte benötigt, die einander gegenübergestellt werden können.

Das „Konzept zur Umformung der Angaben zum Gebäude“ stellt mehrere Verfahren zum Aufdecken von groben Fehlern und Spannungen eines Transformationsnetzes vor²¹. Unter anderem wird ein „Punkt-Punkt Abstand“, ein „Winkelerhalt“ und „Abstand Gebäudepunkt zur nächsten Flurgrenze“ Test vorgestellt.

Diese Tests werden nun benutzt, um genau das Gegenteil zu zeigen. Also, wie wirken sich Spannung und Fehler eines Transformationsnetzes auf diese Tests aus.

Dabei wird zwischen „Innerer Geometrie“ und „Äußerer Geometrie“ unterschieden. Die Innere Geometrie wird durch die Kantenlängen und die Innenwinkel an den Gebäudeecken definiert. Sprich, sie beschreibt die Form des Gebäudes an sich. Die Äußere Geometrie beschreibt die relative Lage des Gebäudes. Dafür wird von jeder Gebäudeecke der orthogonale Abstand zur nächstliegenden Flurstücksgrenze gemessen. Auch werden Fläche und Umfang der Gebäude verglichen. Allerdings ist der Umfang nur die Summe der Kantenlänge und somit eine abgeleitete Größe von separat untersuchten Faktoren. Und die Fläche hängt von so vielen Faktoren ab, dass sich eigentlich keine Aussagen über die Veränderung der Flächen ableiten lassen können. Jedoch lassen sich diese beiden Größen heutzutage sehr einfach und schnell berechnen und bieten eine schnelle Kontrolle, ob es zu Veränderungen gekommen ist.

Um die Veränderungen in den verschiedenen Testfällen zu untersuchen und gegenüber zu stellen, wird zuerst das Testgebiet mit unverändertem Datensatz im GK untersucht und aufgenommen. Dafür werden Kantenlängen, Innenwinkel und der Abstand zur nächsten Flurstücksgrenze gemessen und festgehalten. Danach wird der Datensatz

²¹ Nießl, Glock 2016

transformiert und interpoliert. Dann werden dort auch alle Messgrößen gemessen und festgehalten. Die Differenzen dieser Parameter werden dann für die weitere Auswertung als Referenzwerte benutzt. Sprich, bei jedem Testfall wird zuerst der Unterschied zu den in GK gemessenen Werten festgestellt und dieser dann von den Referenzwerten abgezogen. So erhält man die Abweichung der Inneren und Äußeren Geometrie in den jeweiligen Testfällen.

6. REFERENZ GEOMETRIE

Die Referenzgeometrien werden in UTM erstellt und die transformierten Geometrien mit den in GK gelagerten Geometrien verglichen.

Jede Koordinatentransformation besteht aus drei Hauptschritten²². Der Konzeption der Transformation, der Schätzung der Parameter und die eigentliche Transformation der Massepunkte. Die Konzeption der Transformation wurde in Kapitel 3 behandelt. Für die Transformation benutze ich das Koordinatentransformations Modul der JaG3D-Software. Es werden DHDN90 GK-Koordinaten in ETRS89 UTM-Koordinaten transformiert. Mit diesem Tool können über die Identischen Punkte die Parameter der Transformation geschätzt werden. Nach der Parameterschätzung müssen die identischen Punkte auf grobe Fehler untersucht werden. Dies funktioniert über den Ausreissertest auf Grundlage des t-Tests²³. Dabei werden sogenannte normierte Verbesserungen NV_i eingeführt. Diese normierten Verbesserungen werden dem Quantil der t-Verteilung $t_{1-\alpha/2;f-1}$ gegenübergestellt. Falls $NV_i > t_{1-\alpha/2;f-1}$ gilt, kann mit dem Risiko α , von einem groben Fehler im identischen Punkt ausgegangen werden. Da es im Testgebiet 68 Identische Punkte gibt wird auf eine Softwarelösung zurückgegriffen. Das Programm JaG3D liefert beim Schätzen der Parameter und transformieren der Massepunkte einen ausführlichen Report, über den grobe Fehler sehr schnell aufgedeckt und eliminiert werden können. Laut JaG3D-Report (siehe Datenanhang 1.2) liegen in unseren unveränderten Daten keine groben Fehler bei den identischen Punkten vor. Nachdem grobe Fehler nacheinander ausgeschlossen sind, sollen die Parameter auf Signifikanz getestet werden. Parameter die nicht signifikant sind müssen aus der Transformationsgleichung ausgeschlossen werden²⁴. In der Regel geschieht dies über einen zweiseitigen Signifikanztest. Dieser gibt an ob der Parameter nur aus zufälligen Einflüssen besteht. Es wird bei dem Transformationsansatz mit den meisten Parametern begonnen und diese schrittweise eliminiert. Der erste getestete Parameter ist die Scherung S_z .

²² Lother 2012, Kap 6

²³ Lother, Strehle 2001, Kap 10-3-2

²⁴ Lother 2012, Kap 8-7

$$\frac{w_0 - \hat{x}}{s_{\hat{x}}} \quad \text{und} \quad \mu \approx \hat{x} \quad \text{und} \quad t_{(99\%, f=130)} = 2,36$$

Parameter	Wert = ω_0	σ
Sz	0,00001354	0,00001045

Als Nullhypothese gilt: $H_0: SZ = 0 = \mu$

Als alternative Hypothese gilt: $H_1: SZ \neq 0$

$$T = S_z / \sigma_{S_z} = 1,2954 < t \quad \Rightarrow \quad H_0 \text{ angenommen}$$

Sprich der Parameter S_z ist nicht signifikant und muss ausgeschlossen werden.

Als nächstes werden die Maßstäbe betrachtet. Genauer wird überprüft ob im Gebiet gilt:

$$M_x = M_y$$

Parameter	Wert	σ
MX	0,999378233	0,000006501
My	0,999395664	0,000007806
$\Delta M_x - M_y $	0,0000102	0,0000102

$$t_{(99\%, f=131)} = 2,36$$

Als Nullhypothese gilt: $H_0: \Delta M = 0 = \mu$

Als alternative Hypothese gilt: $H_1: \Delta M \neq 0$

$$T = \Delta M / \sigma_{\Delta M} = 1,71589 < t \quad \Rightarrow \quad H_0 \text{ angenommen}$$

Damit bleiben 4 Parameter über. Die Translationen in X und Y Richtung, 1 Maßstab und 1 Rotation.

Als Nullhypothese gilt: $H_0: M = 1 = \mu$

Als alternative Hypothese gilt: $H_1: M \neq 1$

Und

Als Nullhypothese gilt: $H_0: R = 0 = \mu$

Als alternative Hypothese gilt: $H_1: R \neq 0$

$t_{(99\%, f=132)} = 2,36$

	$T = P / \sigma$	$T < t$
Maßstab	205254,7677	FALSCH
Rotation	8186,255542	FALSCH

Bei Maßstab und Rotation wird die Nullhypothese verworfen und sie sind somit signifikant von 0, beziehungsweise 1 abweichend.

Da die Translationen sehr viel größer als 0 sind, kann man direkt davon ausgehen, dass diese Parameter signifikant sind. Damit handelt es sich bei der ersten Transformation um eine 4 Parameter Ähnlichkeitstransformation.

Bei der nun folgenden Transformation der Massepunkte werden diese Parameter in die Transformationsformel eingesetzt und umgewandelt. Es werden alle Gebäude- sowie Flurstücksgrenzpunkte transformiert.

Die Spannungen im Netz werden durch die stark überzeichneten Residuen verdeutlicht. Allerdings sind sie vor allem für den Vergleich mit den späteren Testfällen von



ABBILDUNG 13 RESIDUEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ, STARK VERLÄNGERT

größerer Bedeutung.

Diese Residuen gilt es nun auf die Massepunkte zu verteilen. Über die MQI werden die Verschiebungen der Massepunkte berechnet und somit ein spannungsfreieres Netz erzeugt.

Die Transformationen nach ORTRA wurden für diese Arbeit von Herrn Glock, Projektleiter des Projekts KanU des LDBV, freundlicherweise übernommen und mir zu Verfügung gestellt.

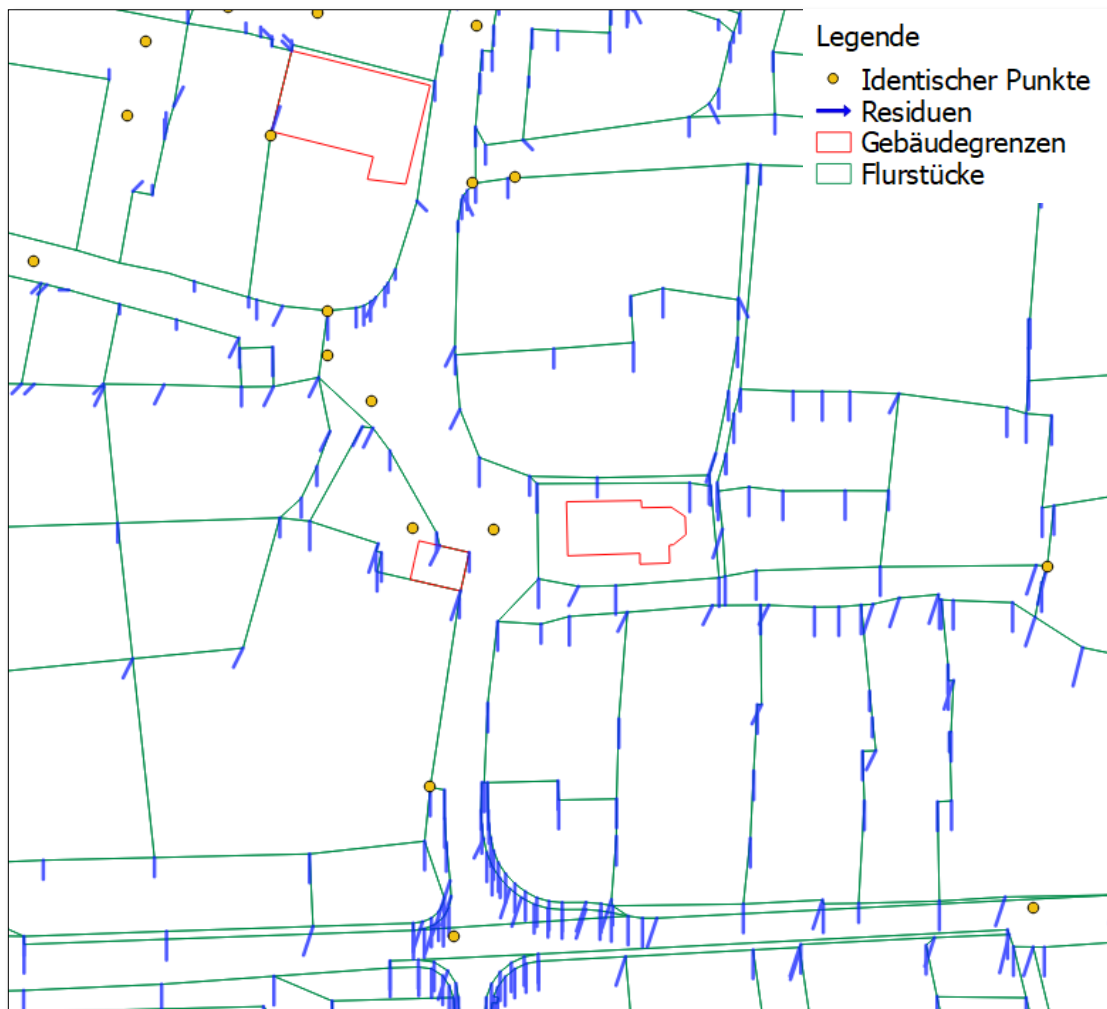


ABBILDUNG 14 ORTRA-RESIDUEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Der ORTRA Datensatz enthält die Verschiebung der Massepunkte.

Auch die Residuen der ORTRA Ausgleichung decken eine klare Spannung Richtung Süden auf, sprich die Identischen Punkte liegen in GK leicht nach Norden versetzt.

Die Unterschiede in den Koordinaten der beiden Verfahren sind für diese Arbeit relativ unerheblich. An dieser Stelle sei nur gesagt, dass sich die Koordinaten in East-Richtung meist nur um mm unterscheiden. In North-Richtung ist der Unterschied zwischen den beiden interpolierten Koordinatensätzen und dem nicht interpolierten Satz zwischen 1 und 3 cm, was zeigt wie sich das Netz in südlicher Richtung ausgleicht.

Um nun die Geometrie der drei Testgebäude zu vergleichen wird, wie in Kapitel 5 beschrieben, zuerst die Innere Geometrie und danach die Äußere Geometrie erstellt und

verglichen. Für die Innere Geometrie wird zuerst die sogenannte Kernmatrix aufgestellt.

Gebäude 1:

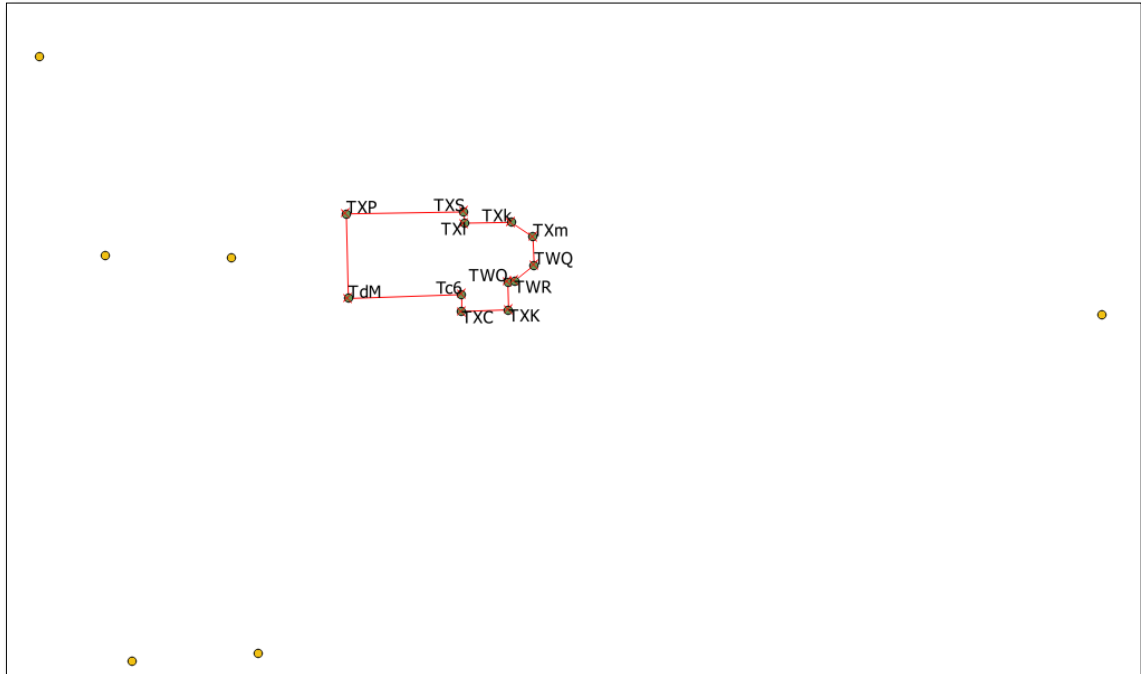


ABBILDUNG 15 GEBÄUDE 1 MIT IDENTISCHEN PUNKTEN

TABELLE 1 KERNMATRIX GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Distanz GK [m]	Distanz_ UTM	Distanz_ UTM	Distanz_ UTM
		[m]	[m]	[m]
		ORTRA	ol	MQI
Tc6 zu TXC	2,250	2,242	2,249	2,249
TDM zu Tc6	15,179	15,171	15,170	15,169
TWO zu TWR	0,880	0,885	0,879	0,879
TWQ zu TXm	3,763	3,763	3,761	3,761
TWR zu TWQ	3,400	3,395	3,398	3,398
TXC zu TXK	6,274	6,268	6,270	6,270
TXK zu TWO	3,702	3,699	3,699	3,700
TXk zu TXI	6,221	6,220	6,217	6,217
TXI zu TXS	1,502	1,497	1,501	1,501
TXm zu TXk	3,525	3,519	3,523	3,523
TXP zu TDM	11,303	11,293	11,296	11,298

TXS zu TXP	15,732	15,725	15,722	15,722
Umfang:	73,731	73,693	73,686	73,686
Fläche:	265,305 m ²	264,955 m ²	264,980 m ²	264,999 m ²

Da der Abbildungsmaßstab der UTM Abbildung nicht mit einbezogen wird, bieten die Fläche und der Umfang relativ schlechte Vergleichsmöglichkeiten. Für die Veränderung bei den Testfällen werden diese Testgrößen aber mit einbezogen.

Bei ORTRA schrumpft die Fläche um 0,13%, und der Umfang um 0,05%. Bei der Transformation ohne Interpolation und mit Interpolation ist es bei beiden jeweils eine Verkleinerung der Fläche von 0,12% und beim Umfang 0,06%.

Durch die Berechnung der Differenz zu den jeweiligen Strecken in GK wird eine noch detailliertere Betrachtung möglich.

TABELLE 2 STRECKENDIFFERENZ IM GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]	
	(GK - UTM)		(GK - UTM)		(GK - UTM)	
	ORTRA	ol	MQI			
Tc6 zu TXC	0,008	0,001	0,001		0,001	
TDM zu Tc6	0,008	0,009	0,010		0,010	
TWO zu TWR	-0,005	0,001	0,001		0,001	
TWQ zu TXm	0,001	0,002	0,002		0,002	
TWR zu TWQ	0,005	0,002	0,002		0,002	
TXC zu TXK	0,006	0,004	0,004		0,004	
TXK zu TWO	0,002	0,002	0,002		0,002	
TXk zu TXl	0,001	0,004	0,004		0,004	
TXl zu TXS	0,006	0,001	0,001		0,001	
TXm zu TXk	0,006	0,002	0,002		0,002	
TXP zu TDM	0,010	0,007	0,006		0,006	
TXS zu TXP	0,007	0,010	0,010		0,010	
σ:	0,0041	0,0269	0,0032		0,0032	
Mittelwert :	0,0054	0,0113	0,0038		0,0038	

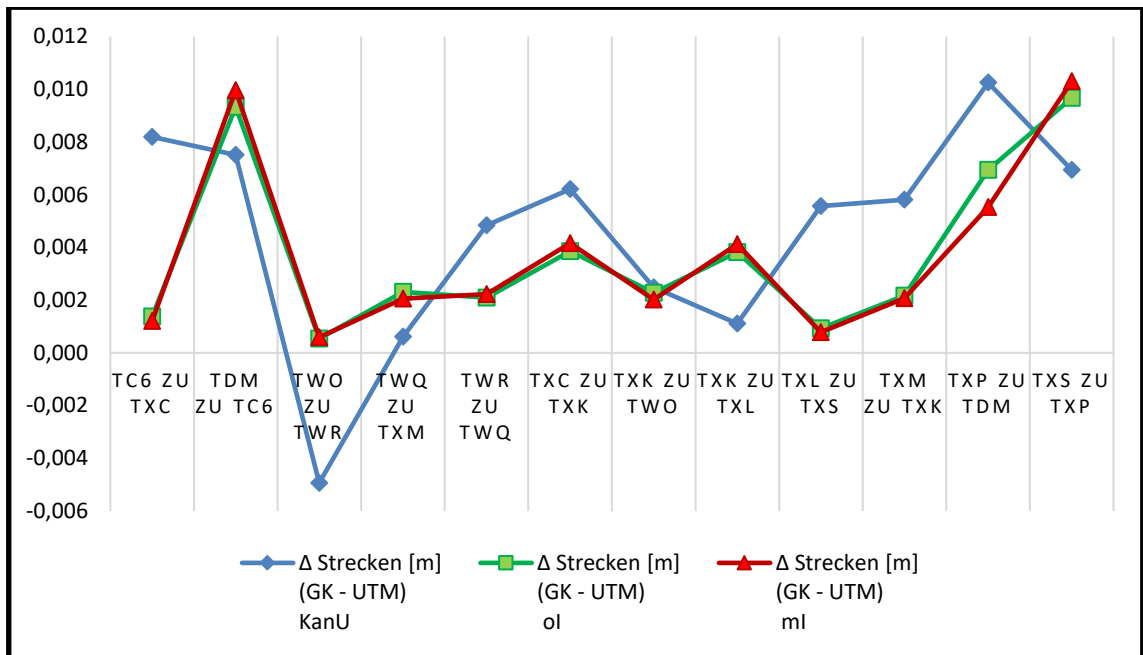


ABBILDUNG 16 STRECKENDIFFERENZEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ GEBÄUDE 1

Die Strecken des ORTRA transformierten Gebäudes haben in der Regel die größere Abweichung und fluktuieren, $\sigma_{\text{ORTRA}} > \sigma_{\text{traditionell}}$, minimal stärker. Aber zu sehen ist auch, dass sich bei den traditionellen Methoden die Strecken nur verkürzen. Beim ORTRA Verfahren sind es kürzere und längere Strecken. Die Strecken der Transformationen ohne MQI und mit MQI ähneln sich ziemlich. Insgesamt ist eine Abweichung von weniger als 1 cm, vor allem bei einer Katastergenauigkeit in Bayern von 3 cm, noch kein aussagekräftiges Ergebnis. Es lässt sich nur bestätigen, dass die Strecken des Gebäudes, in diesem Fall, von allen drei Methoden gut erhalten bleiben.

TABELLE 3 INNENWINKEL GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Winkel GK [gon]	Winkel [gon] ORTRA	UTM Winkel [gon] ol	UTM Winkel [gon] MQI
Tc6	302,181	302,148	302,1814	302,2076
TDM	99,340	99,358	99,3395	99,313
TWO	292,449	292,900	292,4492	292,4246
TWQ	140,394	140,370	140,3942	140,4119
TWR	166,341	165,958	166,3413	166,3486
TXC	97,767	97,778	97,7672	97,7427
TXk	161,341	161,391	161,3407	161,3269
TXK	100,341	100,300	100,3407	100,3651
TXI	297,734	297,620	297,7336	297,7585
TXm	140,241	140,275	140,241	140,2305
TXP	99,531	99,543	99,5313	99,556
TXS	102,340	102,359	102,339	102,315

Auf den ersten Blick lassen sich noch keine Aussagen treffen. Erst die Bildung der Differenzen der Winkel zu den in GK gemessenen Werten, gibt ein besseres Bild der Veränderung der Winkel.

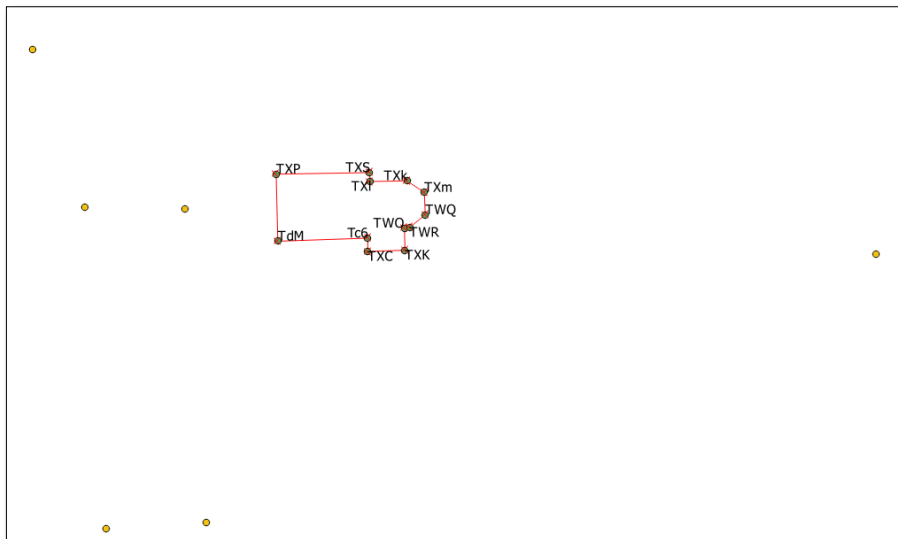


ABBILDUNG 17 GEBÄUDE 1 MIT IDENTISCHEN PUNKTEN

TABELLE 4 INNENWINKELDIFFERENZ GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Δ (GK – UTM) [gon] ORTRA	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon] MQI
Tc6	0,034	0,000	-0,026
TDM	-0,018	0,000	0,027
TWO	-0,450	0,000	0,025
TWQ	0,024	0,000	-0,018
TWR	0,384	0,000	-0,007
TXC	-0,011	0,000	0,024
TXk	-0,050	0,000	0,014
TXK	0,041	0,000	-0,024
TXI	0,114	0,000	-0,025
TXm	-0,034	0,000	0,011
TXP	-0,012	0,000	-0,024
TXS	-0,019	0,001	0,025
σ :	0,184	0,000	0,023
Mittelwert :	0,099	0,000	0,021

Gut zu erkennen ist, wie die Ähnlichkeitstransformation ihre winkeltreue Eigenschaft erfüllt und es zu keinen Abweichungen kommt. Der Fehler bei TXS von 0,001 gon kann man Fehlern beim Messen zuschreiben.

Die beiden Interpolationsverfahren greifen da schon deutlicher in die Winkel ein. Bei den Winkeln der MQI hat vor allem der Netzpunkt Wp2 einen großen Einfluss auf die Eckpunkte. Die westlichsten Winkel des Gebäudes, in dieser Richtung befinden sich kaum noch identische Punkte, werden kaum noch manipuliert und haben eine Differenz von weniger als 2 cgon. So haben wir zwei relativ große Abweichungen bei den Winkeln an TXP -0,0243 gon und bei TDM 0,0265 gon.

Beim ORTRA Verfahren stechen die beiden großen Verformungen an TWO und TWR mit -0,450 gon und 0,384 gon richtig ins Auge. Interessant daran ist, dass diese beiden Punkte direkt benachbart sind. Auch zu beachten ist wie die Strecke zwischen diesen beiden nur um 5 mm verzogen wurden und zu ihren Nachbarn nur um 2 mm.

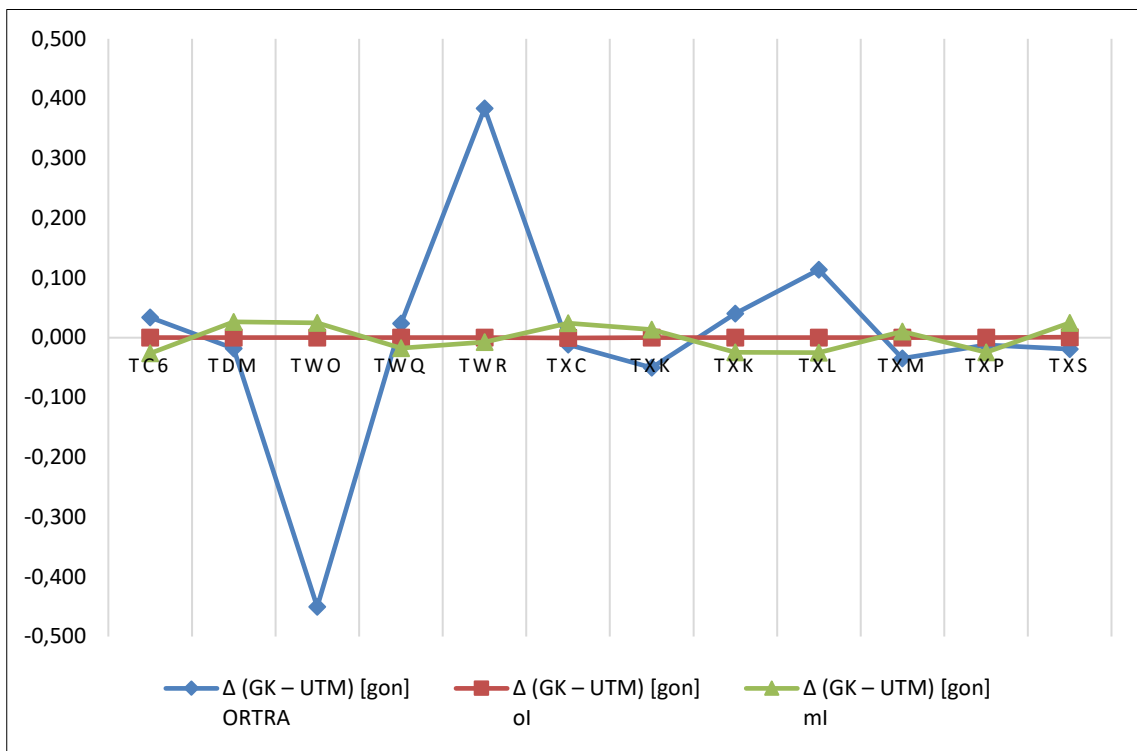


ABBILDUNG 18 GRAPH DER WINKELDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ

Am Graphen bekommt man den Eindruck, dass sich die Ausgleichung und das Interpolationsverfahren bewegen.

Zusammenfassend verzerren sich aber alle Winkel nur um 2 bis 3 cgon und eine Verformung lässt sich nicht erkennen.

Als nächstes gilt es die Äußere Geometrie zu beurteilen.

TABELLE 5 ÄUSSERE GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ

Pkt	Distanz GK [m]	Distanz UTM	Distanz UTM	Distanz UTM
		[m]	[m]	[m]
		ORTRA	ol	MQI
TXP	3,786	3,813	3,810	3,814
TDM	5,869	5,865	5,865	5,863
TXC	4,114	4,116	4,112	4,111
TXK	3,821	3,866	3,859	3,859
TWR	7,624	7,620	7,619	7,618
TWQ	6,100	6,097	6,096	6,096
TXm	5,914	5,912	5,910	5,910
TXk	5,059	5,059	5,056	5,058
TXS	3,636	3,633	3,634	3,636

TABELLE 6 DIFFERENZ ÄUSSERE GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ

Pkt	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]
	ORTRA	ol	MQI
TXP	-0,027	-0,025	-0,028
TDM	0,004	0,004	0,006
TXC	-0,002	0,002	0,003
TXK	-0,045	-0,039	-0,038
TWR	0,004	0,005	0,005
TWQ	0,003	0,004	0,004
TXm	0,002	0,004	0,004
TXk	0,001	0,003	0,002
TXS	0,003	0,002	0,001
σ :	0,017	0,016	0,016
Mittelwert :	0,010	0,010	0,010

Jede der drei Methoden hält es ähnlich mit der Nachbarschaftstreue. Alle 9 Strecken weichen bis auf wenige mm gleich ab, was der Graph in Abbildung 16 noch verdeutlicht.

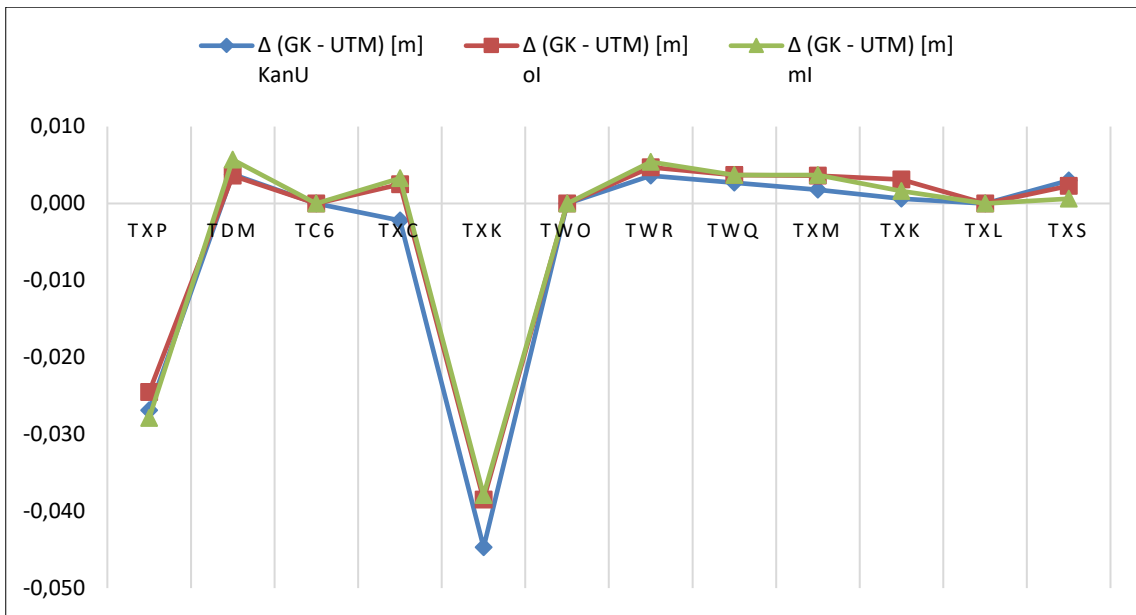


ABBILDUNG 19 GRAPH DER DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDER-
TEN DATENSATZ

Gebäude 2:

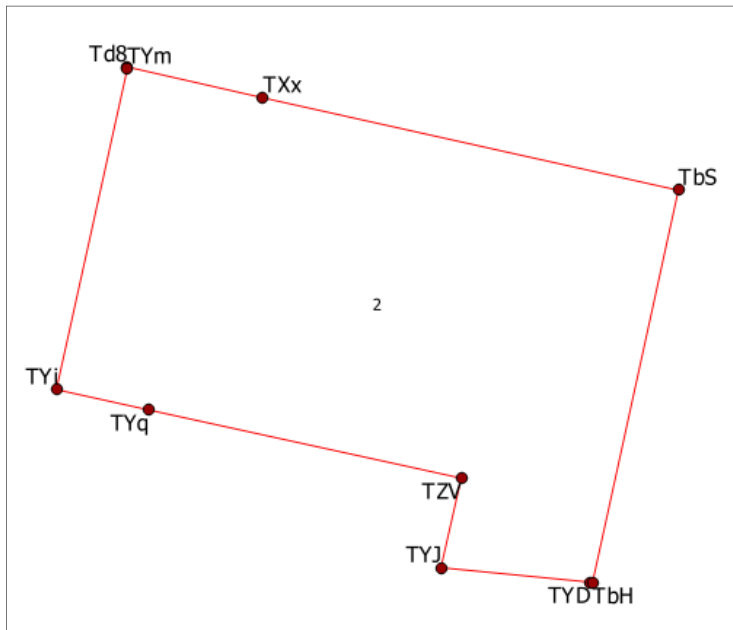


ABBILDUNG 20 GEBÄUDE 2

TABELLE 7 KERNMATRIX GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Distanz GK [m]	Distanz_ UTM [m]	Distanz_ UTM [m]	Distanz_ UTM [m]
Td8 zu TYm	0,110	0,110	0,110	0,110
TYm zu TYi	17,404	17,386	17,394	17,376
TYi zu TYq	5,008	5,005	5,005	5,005
TYq zu TZV	17,016	17,009	17,006	17,006
TZV zu TYJ	4,863	4,868	4,860	4,862
TYJ zu TYD	7,982	7,978	7,977	7,976
TYD zu TbH	0,114	0,114	0,114	0,114
TbH zu TbS	21,290	21,281	21,277	21,277
TbS zu TXx	22,612	22,601	22,598	22,600
TXx zu Td8	7,412	7,416	7,407	7,409
Umfang:	103,812	103,770	103,748	103,734
Fläche:	558,076 m ²	557,538 m ²	557,393 m ²	557,136 m ²

Die Fläche verhält sich, obwohl sie um einiges größer ist als in Gebäude 1, sehr ähnlich wie bei Gebäude 1. So ist sie beim ORTRA und beim nicht interpolierten Verfahren um

0,1% kleiner. Beim MQI Verfahren verkleinert sich die Fläche um 0,17%. Die Veränderungen im Umfang sind auch minimal und verkleinern sich.

TABELLE 8 STRECKENDIFFERENZ IM GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]	
	(GK	- UTM)	(GK	- UTM)	(GK	- UTM)
	ORTRA		ol		MQI	
TYm zu TYi	0,018		0,011		0,028	
TbH zu TbS	0,009		0,013		0,014	
TbS zu TXx	0,010		0,014		0,012	
TYq zu TZV	0,007		0,010		0,011	
TYJ zu TYD	0,003		0,005		0,006	
TXx zu Td8	-0,004		0,005		0,003	
TYi zu TYq	0,003		0,003		0,003	
TZV zu TYJ	-0,005		0,003		0,001	
Td8 zu TYm	0,000		0,000		0,000	
TYD zu TbH	0,000		0,000		0,000	
σ :	0,0070		0,0052		0,0088	
Mittelwert :	0,0060		0,0064		0,0078	

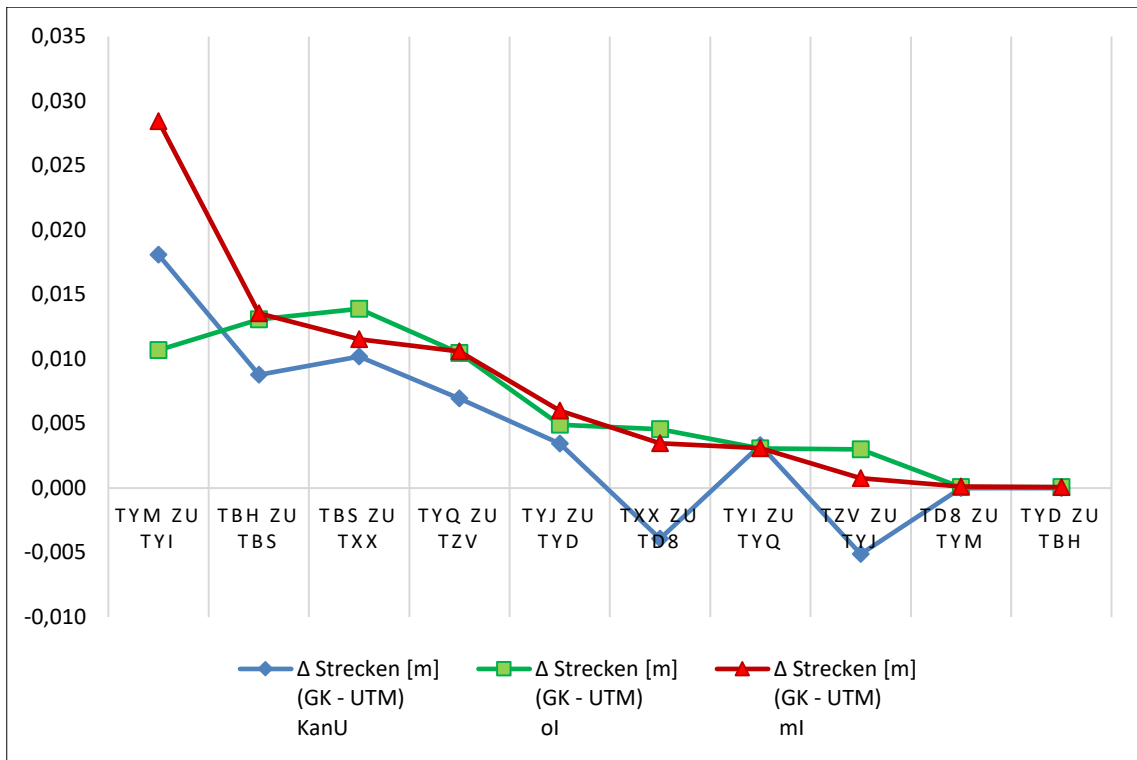


ABBILDUNG 21 GRAPH STRECKENDIFFERENZ UNVERÄNDERTER DATENSATZ GEBÄUDE 2

Interessant ist wie sich in diesem Gebäude alle drei Methoden von der Richtung ähnlich ausschlagen. Auch auffallend ist, dass das ORTRA Verfahren, wie in Gebäude 1, als einziges auch eine Verlängerung von zwei Strecken vorweist. Auch liegen fast alle Veränderungen unter 1,5 cm. Die Strecke, TYm zu TYi tanzt etwas aus der Reihe. Sie liegt bei ORTRA mit 1,8 cm. Diese Strecke liegt bei der Transformation mit MQI bei 2,8 cm und ohne Interpolation bei 1,1 cm.

Innenwinkel Analyse:

TABELLE 9 INNENWIKEL GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Winkel GK [gon]	Winkel UTM [gon] ORTRA	Winkel UTM [gon] ol	Winkel UTM [gon] MQI
Td8	78,2576	80,736	78,2578	78,1924
TYm	221,4384	218,862	221,4382	221,4513
TYi	99,8674	99,975	99,8674	99,9849
TYq	199,8802	199,861	199,8802	199,8705
TZV	300,5942	300,512	300,5942	300,4965
TYJ	91,9081	91,914	91,9081	91,9879
TYD	209,0334	211,598	209,0332	209,0303
TbH	98,5732	96,033	98,5734	98,519
TbS	100,1476	100,180	100,1476	100,2066
TXx	200,2999	200,329	200,2999	200,2806

TABELLE 10 DIFFERENZ INNENWINKEL IM GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]
	ORTRA	ol	MQI
Td8	-2,478	0,000	0,065
TYm	2,576	0,000	-0,013
TYi	-0,107	0,000	-0,118
TYq	0,019	0,000	0,010
TZV	0,082	0,000	0,098
TYJ	-0,006	0,000	-0,080
TYD	-2,564	0,000	0,003
TbH	2,540	0,000	0,054
TbS	-0,032	0,000	-0,059
TXx	-0,029	0,000	0,019
σ :	1,694	0,000	0,067
Mittelwert :	1,043	0,000	0,052

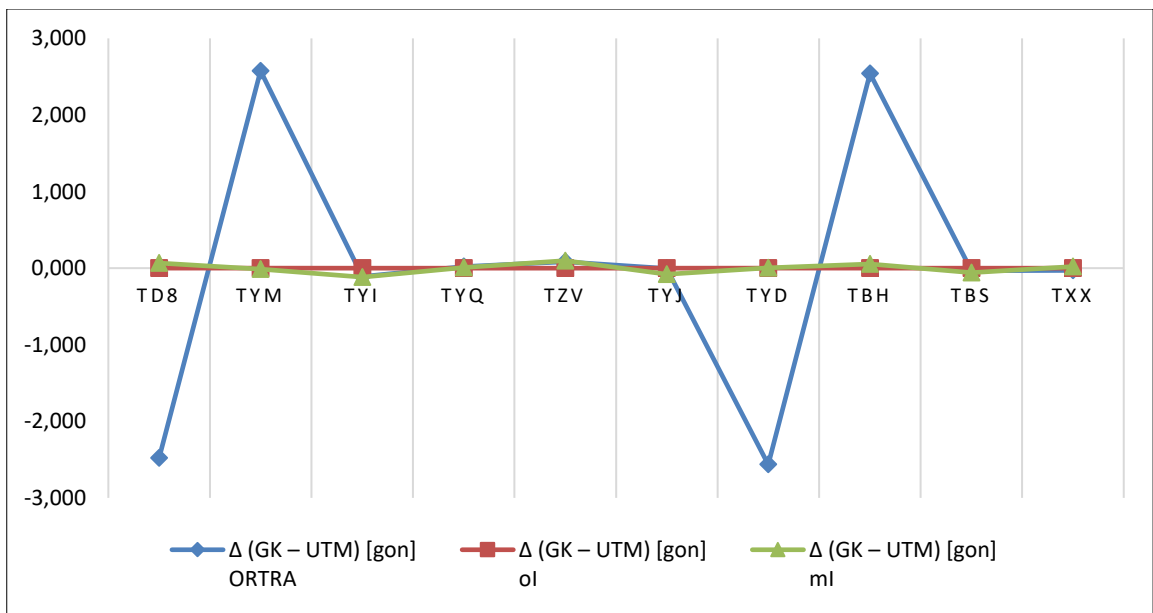


ABBILDUNG 22 GRAPH WINKELDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Auch in Gebäude 2 sticht die ORTRA Interpolation heraus. Mit einem Mittelwert von 1,6 gon und maximalen Veränderungen der Winkel von über 2,5 gon.

Bei der MQI sind die Winkelveränderungen relativ gering.

Äußere Geometrie:

TABELLE 11 STRECKEN ÄUSSERE GEOMETRIE GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Distanz GK [m]	Distanz UTM [m]	Distanz UTM [m]	Distanz UTM [m]
TYi	0,0014	-0,0025	0,001	0,0014
TZV	21,9886	21,9703	21,975	21,9714
TYJ	21,4213	21,4066	21,408	21,4059
TbH	2,8878	2,8873	2,886	2,8857
TbS	0,8537	0,8496	0,853	0,8531
TXx	1,1689	1,1424	1,169	1,1673

TABELLE 12 DIFFERENZ ÄUSSERE GEOMETRIE GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Δ (GK - UTM) [m]		
	ORTRA	ol	MQI
TYi	0,004	0,000	0,000
TZV	0,018	0,014	0,017
TYJ	0,015	0,013	0,015
TbH	0,000	0,002	0,002
TbS	0,004	0,001	0,001
TXx	0,027	0,000	0,002
σ :	0,010	0,007	0,008
Mittelwert :	0,011	0,005	0,006

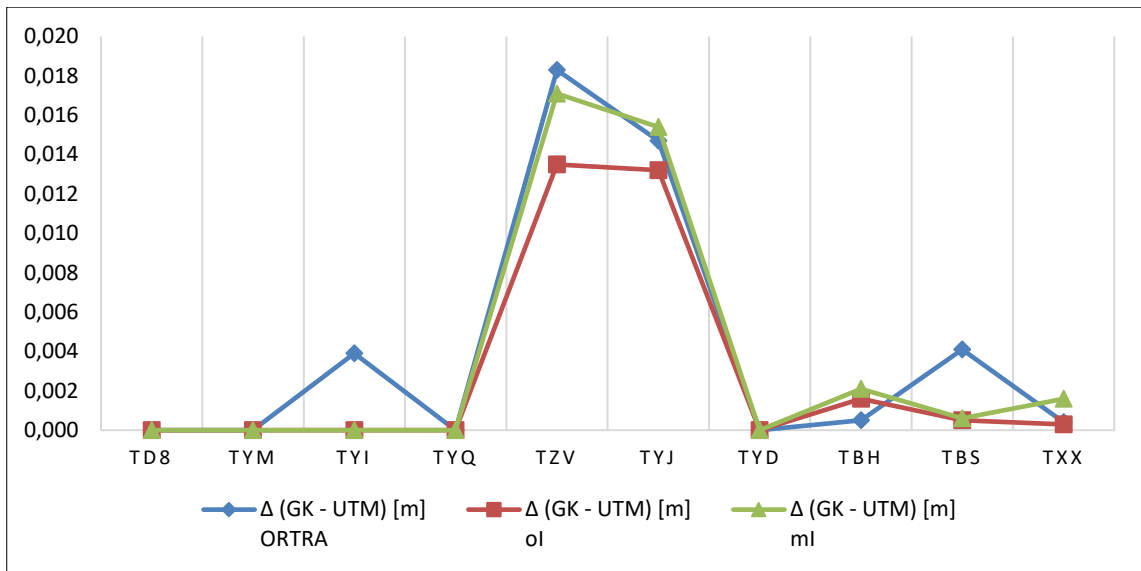


ABBILDUNG 23 GRAPH DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Auffallend ist hierbei, dass sich der Punkt TYI beim ORTRA Verfahren nun außerhalb des Flurstücks befindet. Das ORTRA Verfahren hat auch den größten Einfluss auf die Äußere Geometrie und die Strecken zu dem Grenzpunkt TbS fallen sofort auf. Besonders, da das traditionelle Verfahren dort eine sehr kleine Veränderung anzeigt (2 mm). Auch die Strecken zu den Kanten TZV und TYJ, in denen die beiden Verfahren größere Abweichungen haben (im Durchschnitt 1,5 cm), fallen direkt auf.

Gebäude 3:

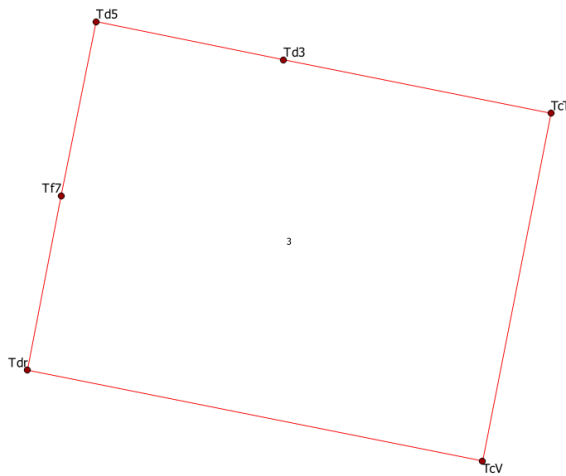


ABBILDUNG 24 GEBÄUDE 3

TABELLE 13 KERNMATRIX GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Distanz GK [m]	Distanz_ UTM	Distanz_ UTM	Distanz_ UTM
		[m]	[m]	[m]
		ORTRA	ol	MQI
TcV zu TcT	8,253	8,257	8,248	8,249
Tdr zu TcV	10,841	10,834	10,835	10,835
Tf7 zu Tdr	4,139	4,137	4,136	4,137
Td5 zu Tf7	4,136	4,132	4,133	4,134
Td3 zu Td5	4,466	4,458	4,463	4,463
TcT zu Td3	6,370	6,368	6,366	6,367
Umfang:	38,205	38,187	38,182	38,186
Fläche:	89,592 m ²	89,522 m ²	89,478 m ²	89,498 m ²

Auch hier verkleinert sich der Umfang sehr unbedeutend um 0,6 Promille. Und auch im flächenmäßig kleinsten Gebäude verkleinert sich die Fläche um knapp 0,1%.

TABELLE 14 DIFFERENZ DER STRECKEN IN GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Punkt [Von - Zu]	Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]		Δ Strecken [m]	
	(GK	- UTM)	(GK	- UTM)	(GK	- UTM)
	ORTRA		ol		MQI	
TcV zu TcT	-0,004		0,005		0,004	
Tdr zu TcV	0,007		0,007		0,006	
Tf7 zu Tdr	0,002		0,003		0,002	
Td5 zu Tf7	0,004		0,003		0,002	
Td3 zu Td5	0,008		0,003		0,002	
TcT zu Td3	0,002		0,004		0,004	
σ :	0,0043		0,0017		0,0016	
Mittelwert :	0,0044		0,0039		0,0033	

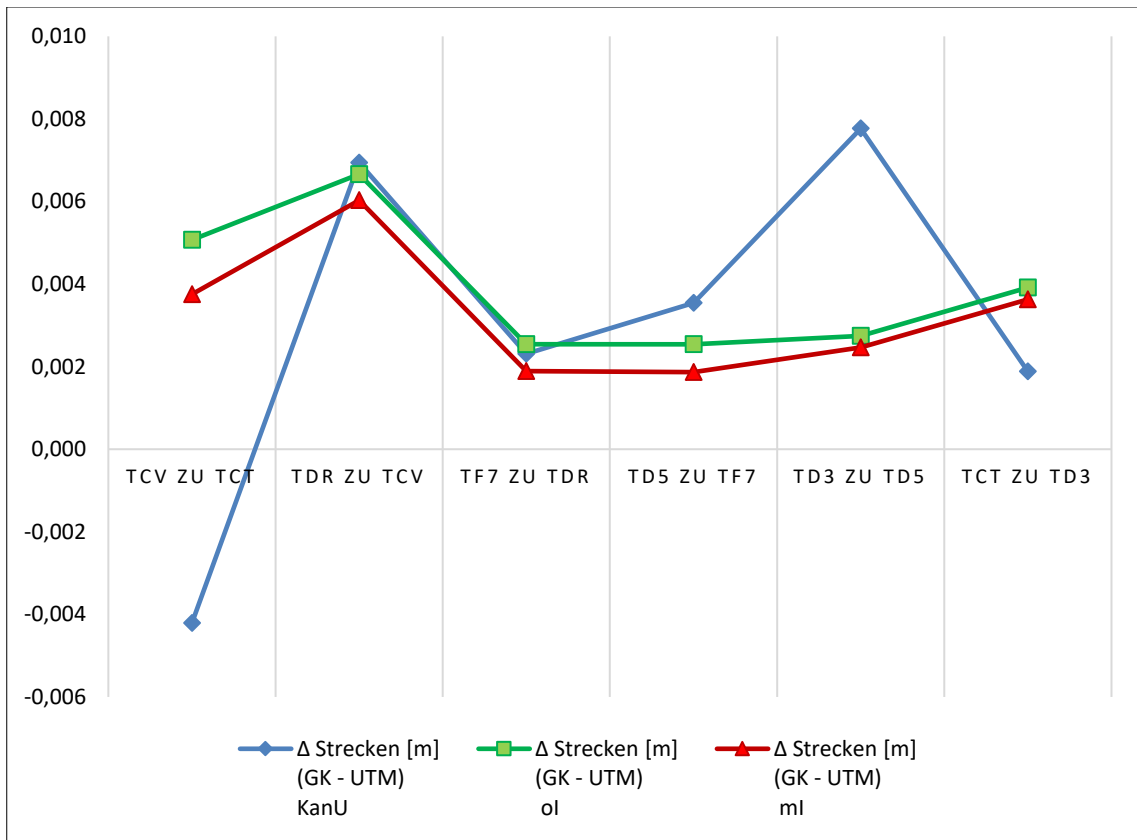


ABBILDUNG 25 DIFFERENZ DER STRECKEN IN GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Auffallend sind hier vor allem die wirklich kleinen Abweichungen. Es bleiben alle Abweichungen unter 1 cm.

TABELLE 15 INNENWINKEL GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Winkel GK [gon]	Winkel UTM [gon]		
		ORTRA	ol	MQI
Td5	99,915	100,010	99,9145	99,9097
Tf7	199,516	199,518	199,5158	199,5155
Tdr	100,317	100,310	100,3169	100,3225
TcV	99,884	99,869	99,8839	99,8781
TcT	100,156	100,134	100,156	100,1622
Td3	200,213	200,160	200,2128	200,2121

TABELLE 16 DIFFERENZ DER INNENWINKEL IM GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Δ (GK – UTM) [gon]		
	ORTRA	ol	MQI
Td5	-0,095	0,000	0,005
Tf7	-0,002	0,000	0,000
Tdr	0,007	0,000	-0,006
TcV	0,015	0,000	0,006
TcT	0,022	0,000	-0,006
Td3	0,053	0,000	0,001
σ :	0,050	0,000	0,005
Mittelwert :	0,032	0,000	0,004

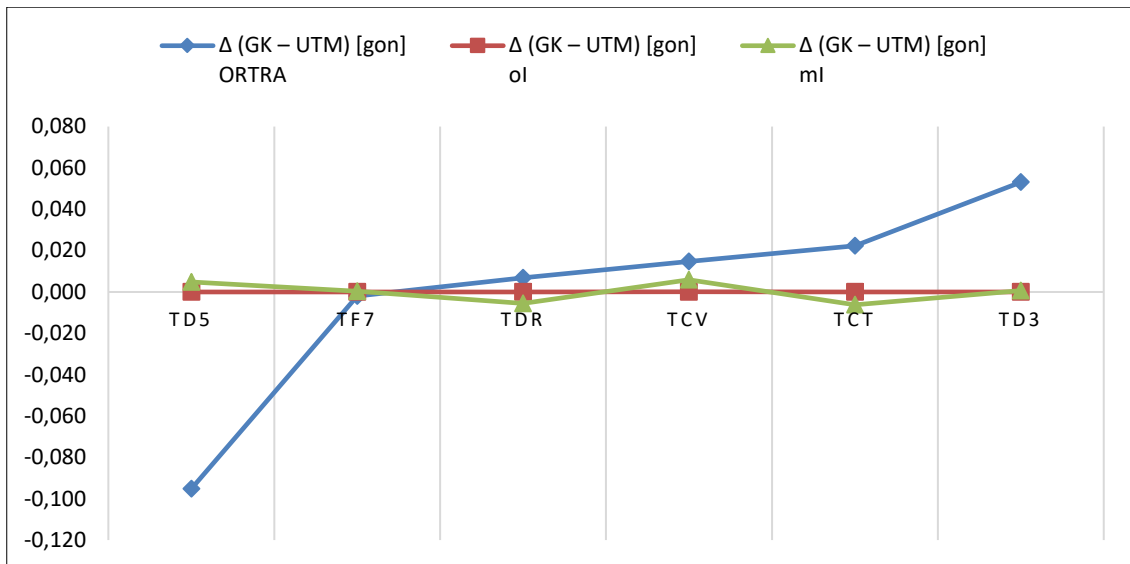


ABBILDUNG 26 GRAPH DER DIFFERENZ DER INNENWINKEL IM GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Auffallend sind die beiden Winkel bei TD3 und TD5. Diese haben nach der ORTRA Transformation eine Abweichung von 5,3 cgon und 9,5 cgon.

TABELLE 17 ÄUSSERE GEOMETRIE GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Distanz GK [m]		Distanz UTM [m]	
	ORTRA		ol	
	MQI			
Td5	4,0458	3,990	3,989	3,989
Tf7	7,1468	7,139	7,142	7,143
Tdr	0,0067	0,008	0,007	0,007

TABELLE 18 DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Pkt	Δ (GK - UTM) [m]		
	ORTRA	ol	MQI
Td5	0,055	0,057	0,057
Tf7	0,007	0,004	0,003
Tdr	-0,001	0,000	0,000
σ:	0,031	0,032	0,032
Mittelwert :	0,021	0,021	0,020

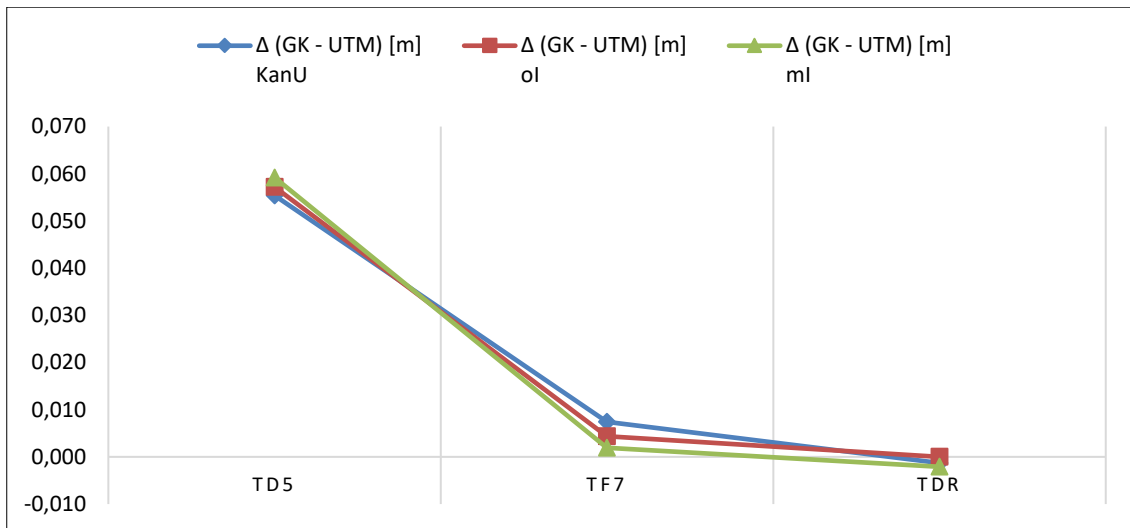


ABBILDUNG 27 GRAPH DER DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ

Der Abstand von Punkt TD5 zur Flurstücksgrenze ist mit einer Abweichung von fast 6 cm sehr auffallend.

Das ORTRA Verfahren verzieht bei Gebäude 3 die Winkel bei TYm, TYD, TbH, und Td8 jeweils um zirka 2,5 gon und verformt das Gebäude damit mehr als die anderen beiden Verfahren, welche eine maximale Abweichung von 28,1 cgon erreichen.

Flächen und Strecken werden von beiden Verfahren gut beibehalten. So liegt, wegen des nicht berücksichtigten Abbildungsmaßstabes, die maximale Abweichung bei allen Verfahren bei 2 cm bis 3 cm. Deshalb lässt sich sagen, dass in den Referenzgeometrien nur zufällige Fehler auftreten.

Die Ergebnisse dieser ersten Transformation dienen im weiteren Verlauf der Bachelorarbeit als Kenngrößen um die Auswirkungen der künstlich geschaffenen Lagefehler besser zu beurteilen.

In den Testfällen werden aus Gründen der Lesbarkeit alle drei Gebäude zusammen untersucht. Die Differenztabellen befinden sich im Anhang „Tabellen Anhang“ ab XI.

7. UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER TESTFÄLLE

Für die Testfälle wurden in dem unveränderten Datensatz künstlich Spannungen eingebaut. Diese Testfälle sollen Probleme und Situationen der Realität darstellen. Sie dienen dazu, anhand von bekannten Spannungen die Auswirkungen der Interpolationsverfahren auf den Erhalt der Geometrien aufzudecken.

7.1 Testfall 1: Einzelner Netzpunkt

Im ersten Testfall wird einem einzelnen Netzpunkt künstlich ein Lagefehler zugeordnet.

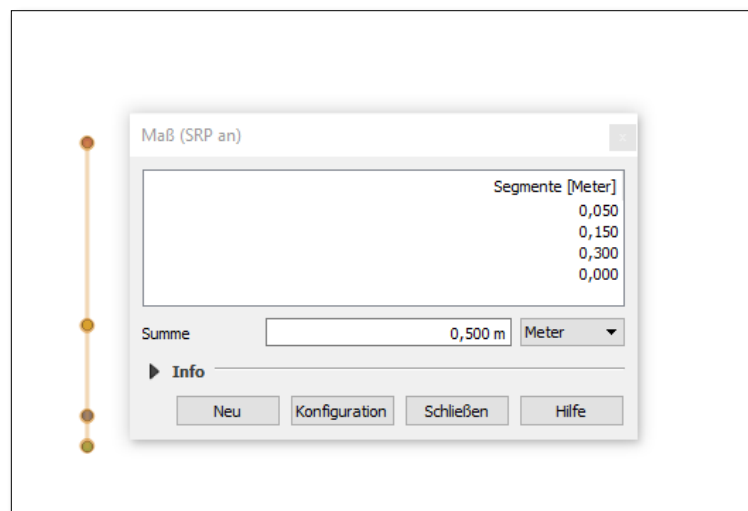


ABBILDUNG 28 LAGEVERSATZ DES PUNKTES WP2

Der Punkt wird um 5 cm, 20 cm und 50 cm im GK-System nach Norden verschoben. Es handelt sich um den Punkt Wp2. Dieser hat wegen der nahen Lage zu den Gebäuden 1 und 3 einen relativ hohen Einfluss auf diese Gebäude.

Auch seine isolierte Position, sprich das Fehlen von anderen Netzpunkten in unmittelbarer Nähe, hilft den Einfluss des Punktes zu erhöhen.

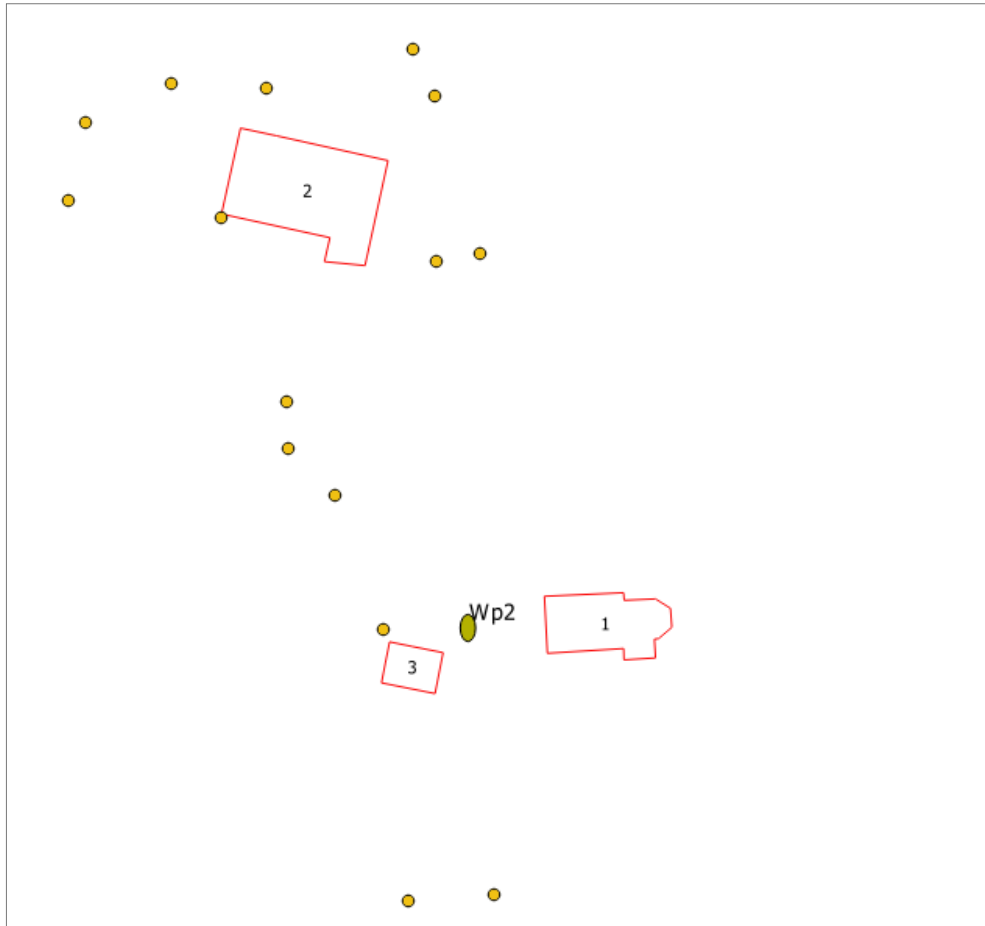


ABBILDUNG 29 IDENTISCHE PUNKTE HIGHLIGHT AUF WP2

Dies simuliert einen einfachen Lagefehler auf einem Punkt. Dies kommt in der Realität relativ häufig vor. Zum Beispiel, wenn beim GNSS Aufmessen nicht sauber aufgesetzt wird oder die Punktmarkierung sich über die Zeit verschoben hat.

LAGEFEHLER VON 5 CM

Dem Punkt Wp2 wird ein Lagefehler von 5 cm in Nördlicher Richtung verpasst.

	R original [m]	H original [m]	R manipuliert [m]	H manipuliert [m]
Wp2:	4348861,91	5498730,25	4348861,91	5498730,30

Für die Transformation werden zuerst die Parameter geschätzt und auf Signifikanz überprüft.

TABELLE 19 SINGIFIKANZTEST DER PARAMETER BEI LAGEFEHLER VON 0,05M

6 Parameter				
SZ = 0,00001431	$\sigma_{SZ} =$ 0,000010951	$T = Sz / \sigma_{SZ} =$ 1,3067	$t(\omega=99\%,f=126) =$ 2,36	$H_0: Sz = 0$ $H_1: Sz \neq 0$ H_0 : angenommen
5 Parameter				
Mx = 0,999378505	$\sigma_{Mx} =$ 0,000006811		$t(\omega=99\%,f=127) =$ 2,36	
My = 0,999396025	$\sigma_{My} =$ 0,000008182			
$\Delta Mx =$ 0,000017520	$\sigma_{\Delta M} =$ 0,000010646	$T = \Delta M / \sigma_{\Delta M} =$ 1,645706462		$H_0: \Delta M = 0$ $H_1: \Delta M \neq 0$ H_0 : angenommen
4 Parameter				
M = 0,99938577	$\sigma_M =$ 0,000005098	$T = M / \sigma_M =$ 196034,8705	$t(\omega=99\%,f=128) =$ 2,36	$H_0: M = 1$ $H_1: M \neq 1$ H_0 abgelehnt
R = 0,03988415	$\sigma_R =$ 0,000005101	$T = R / \sigma_R =$ 7818,889041		$H_0: R = 0$ $H_1: R \neq 0$ H_0 abgelehnt

Die Residuen an den Flurstücksgrenzpunkten verschieben sich in Richtung des Lagefehlers am Netzpunkt, sprich Richtung Süden. Dies ist ein gutes Indiz dafür, dass der Lagefehler des Punktes im ORTRA Algorithmus beachtet und umgesetzt wurde. Noch deutlicher wird es, wenn man sich die Residuen bei der Transformation ohne Lagefehler dazu anschaut.

In den Abbildungen 25 und 26 werden die neuen Residuen Rot eingezeichnet, die Blauen Linien stellen die Residuen im unveränderten Datensatz dar.



ABBILDUNG 30 RESIDUEN BEI ORTRA BEI LAGEFEHLER 5CM



ABBILDUNG 31 RESIDUEN DER TRADITIONELLEN TRANSFORMATION BEI LAGEFEHLER 5 CM

Eine schnelle optische Analyse der Gebäudegeometrien zeigt erstmal kaum eine Veränderung.

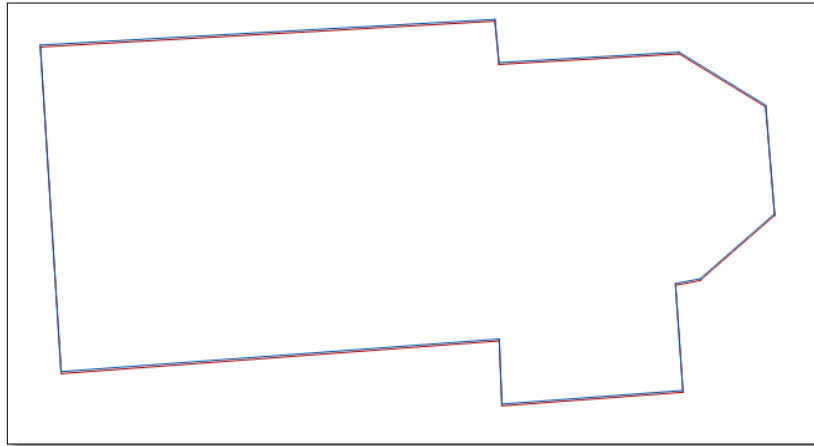


ABBILDUNG 32 GEBÄUDE 1 MIT ALLEN VERFAHREN

Erst bei einem sehr großen Maßstab fällt ein Unterschied auf.

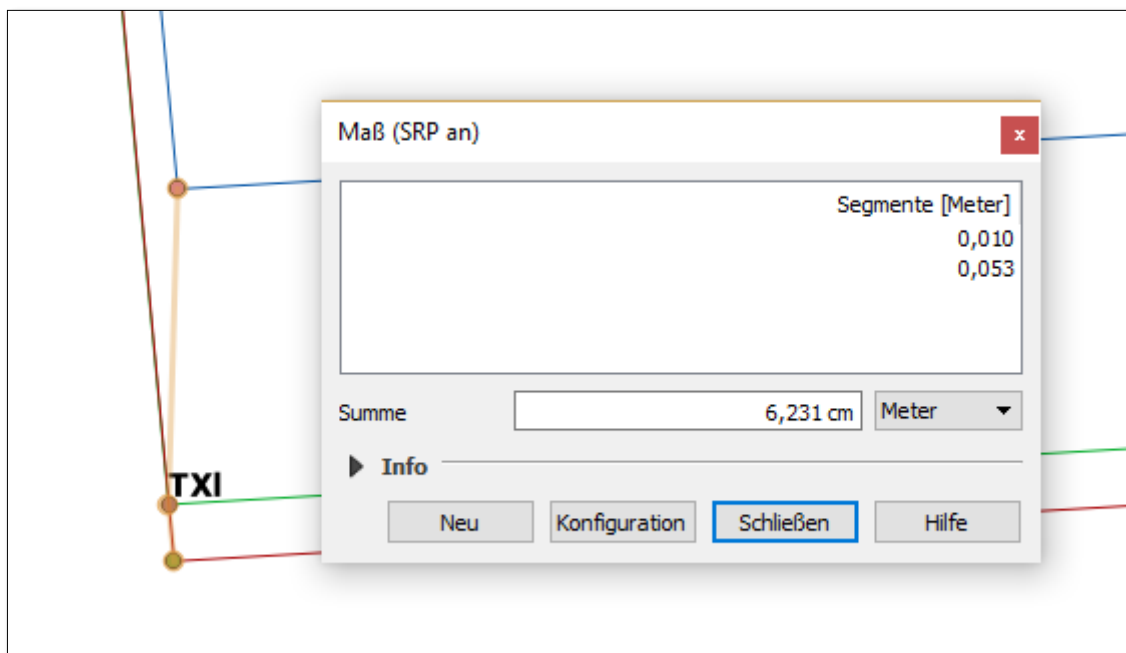


ABBILDUNG 33 ECKE TXI MIT GROSSEM MASSSTAB

Bei den beiden anderen Testgebäuden kommen sehr ähnliche Ergebnisse heraus.

Umfang

	ORTRA	MQI
Gebäude 1	0,05%	0,06%
Gebäude 2	0,04%	0,08%
Gebäude 3	0,06%	0,04%

Fläche

	ORTRA	MQI
Gebäude 1	0,13%	0,12%
Gebäude 2	0,10%	0,12%
Gebäude 3	0,12%	0,10%

Die Änderungen in Fläche und Umfang zeigt die gleiche Tendenz wie beim unveränderten Datensatz.

Um genauer ins Detail gehen zu können, wird eine Kernmatrix erstellt, um die Abweichungen der Strecken der Gebäudekanten genauer zu untersuchen.
Differenz der Kernmatrix:

TABELLE 20 STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5CM

Punkt [Von - Zu]	Δ Strecken [m]		
	$(GK - UTM)$		
	ORTRA	ol	MQI
TXS zu TXP	0,007	0,010	0,010
TDM zu Tc6	0,007	0,009	0,010
TXP zu TDM	0,010	0,007	0,005
TXC zu TXK	0,006	0,004	0,004
TXk zu TXl	0,011	0,004	0,004
TWQ zu TXm	0,001	0,002	0,002
TXK zu TWO	0,002	0,002	0,002
TXm zu TXk	-0,003	0,002	0,003
TWR zu TWQ	-0,002	0,002	0,002
Tc6 zu TXC	-0,002	0,001	0,002
TXl zu TXS	0,006	0,001	0,001
TWO zu TWR	-0,005	0,001	0,001
σ :	0,0052	0,0032	0,0032
Mittelwert:	0,005	0,004	0,004

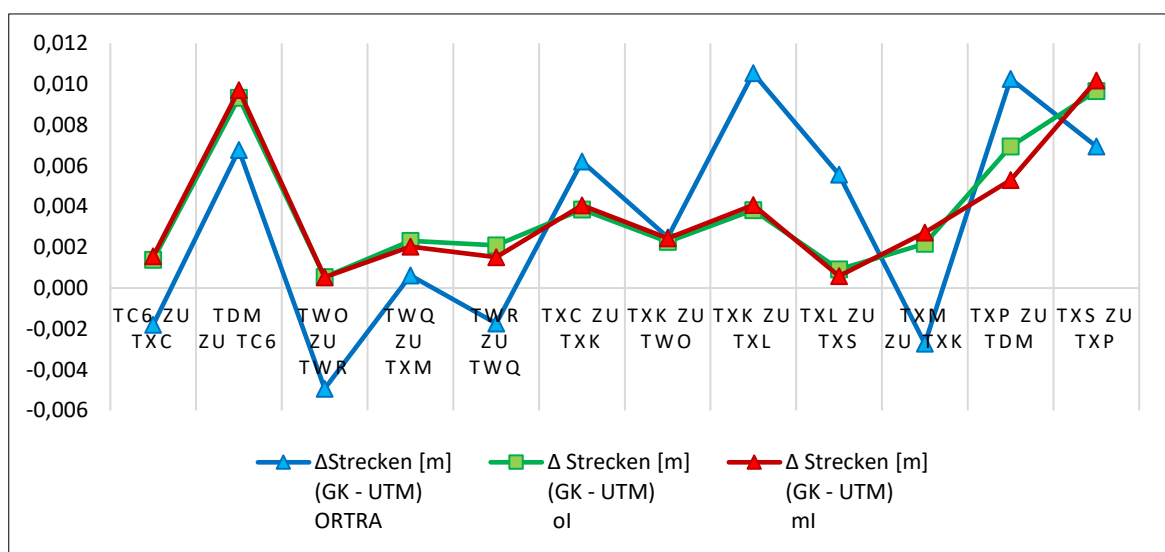


ABBILDUNG 34 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5CM

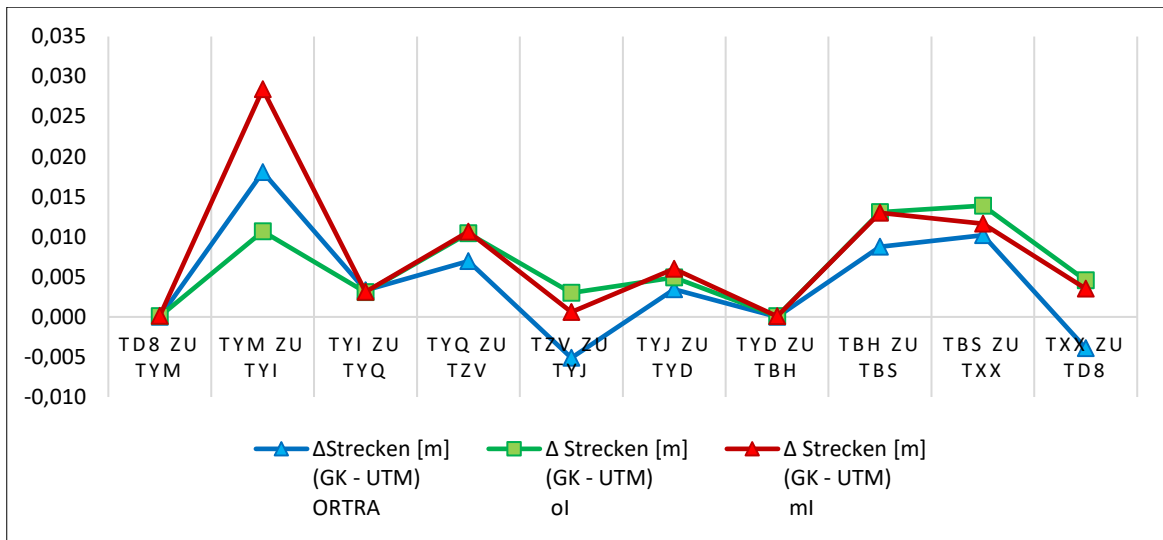


ABBILDUNG 35 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5CM

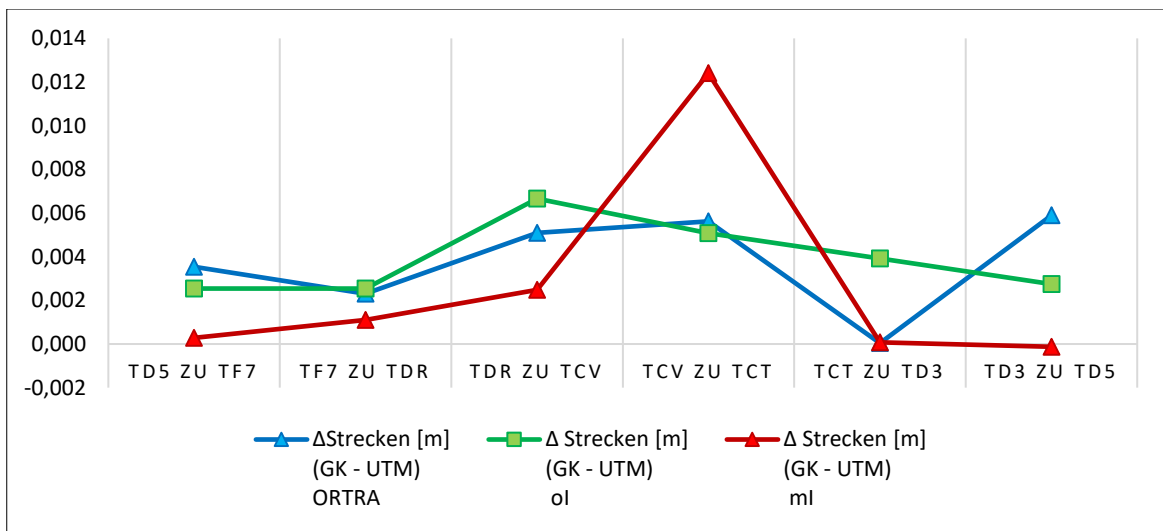


ABBILDUNG 36 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5CM

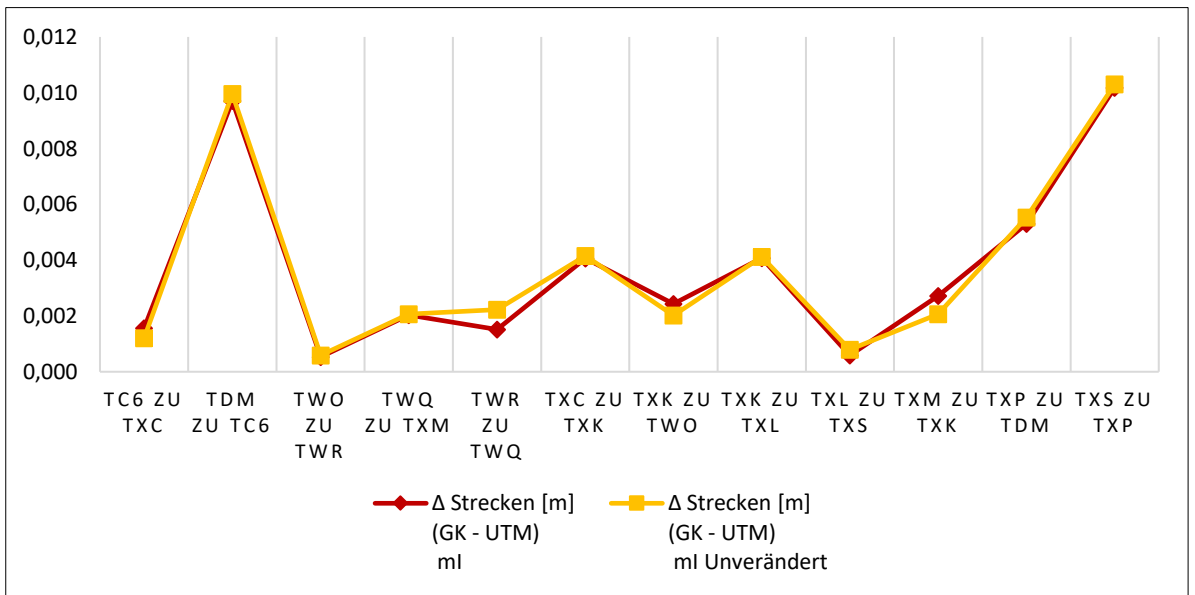
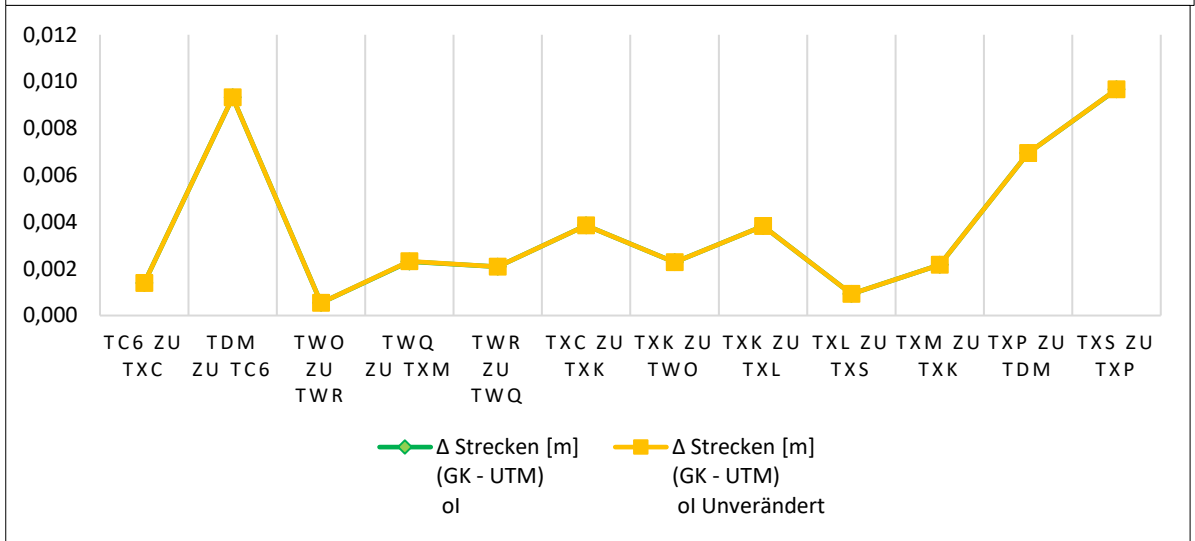
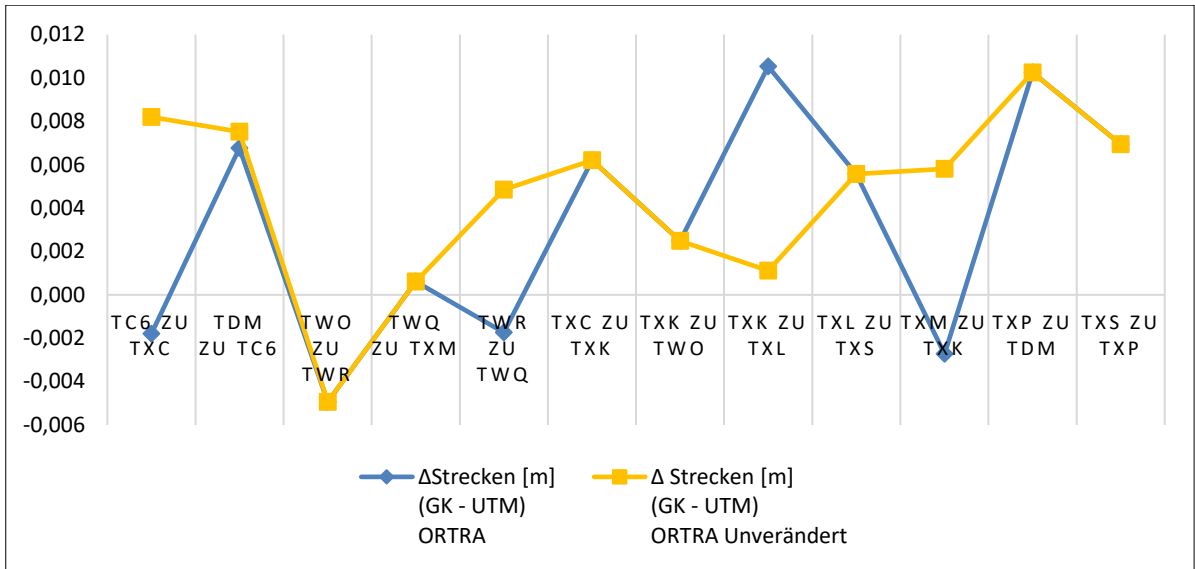
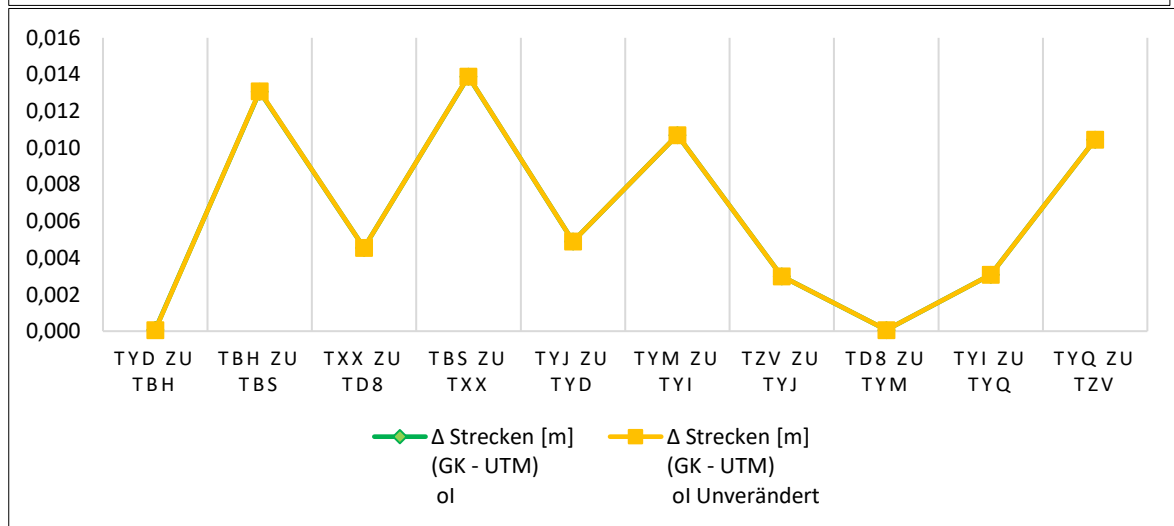
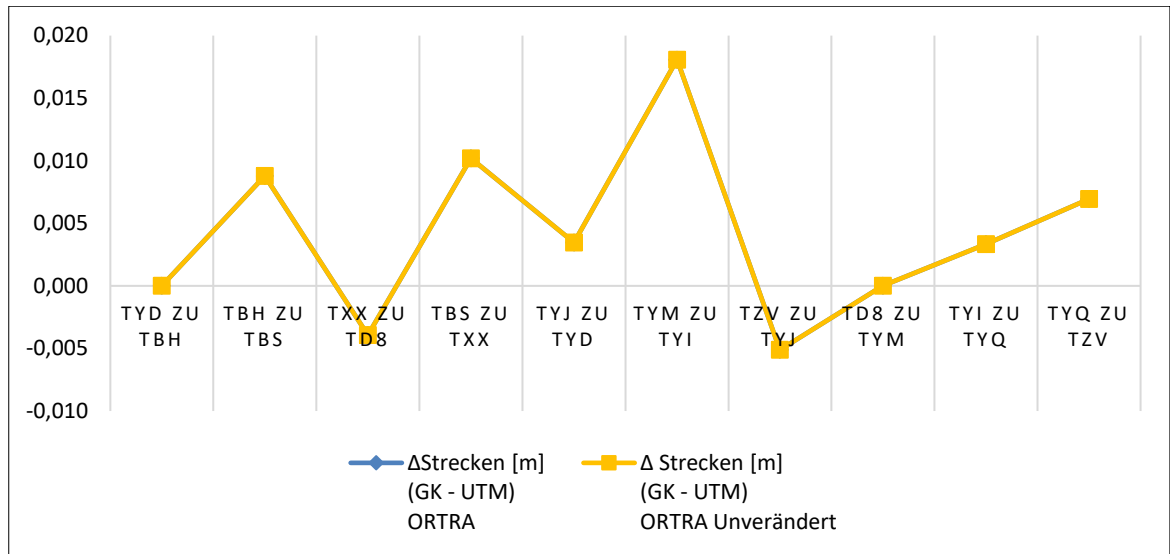


ABBILDUNG 37 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Der Einfluss des Lagefehlers auf die MQI ist nur geringfügig. Nur bei der ORTRA Methode ist ein klarer Unterschied zu erkennen. Aber alle Abweichungen bleiben gleich oder unter 1 cm.

Bei Gebäude 2 kommt es, wegen dem großen Abstand zum Netzpunkt Wp2 und den vielen näheren Netzpunkten, zu fast keiner Veränderung gegenüber den Differenzen des unveränderten Datensatzes.



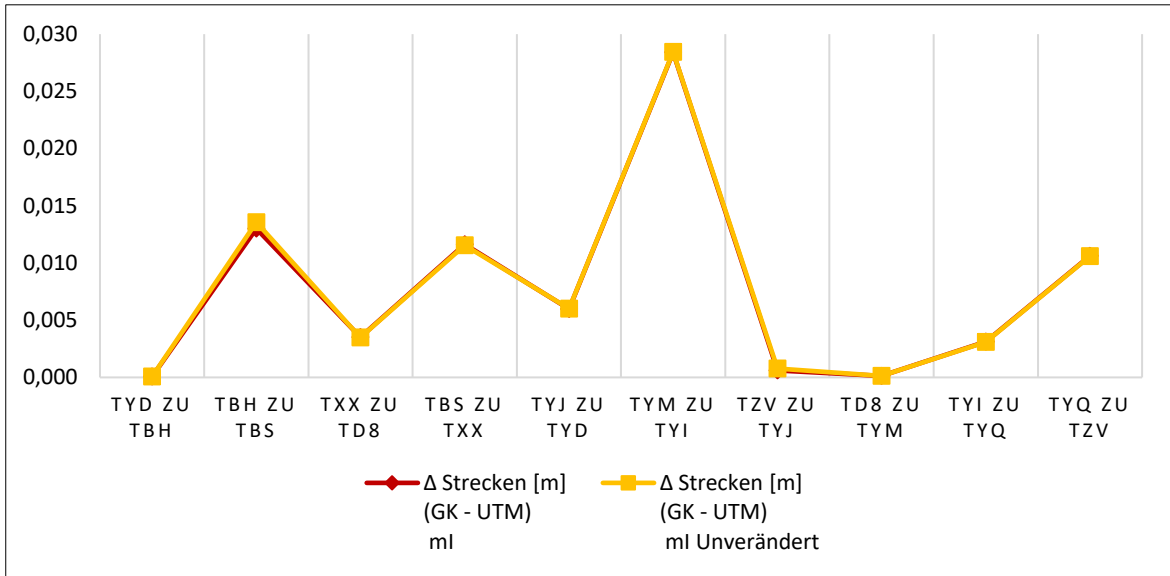
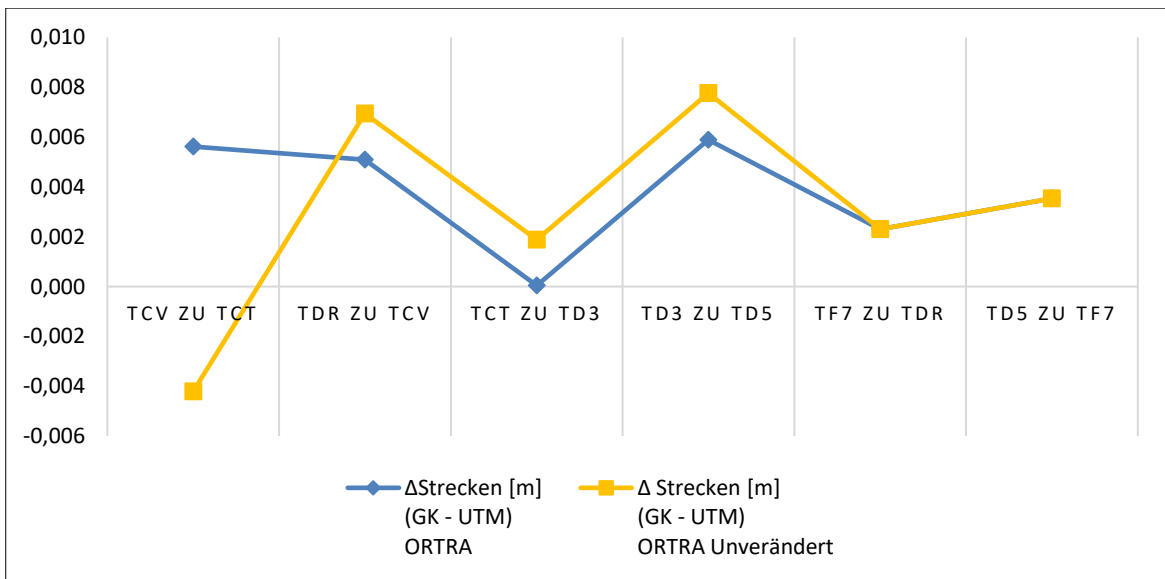


ABBILDUNG 38 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Bei Gebäude 3 ist der Einfluss des Netzpunktes schon deutlicher.



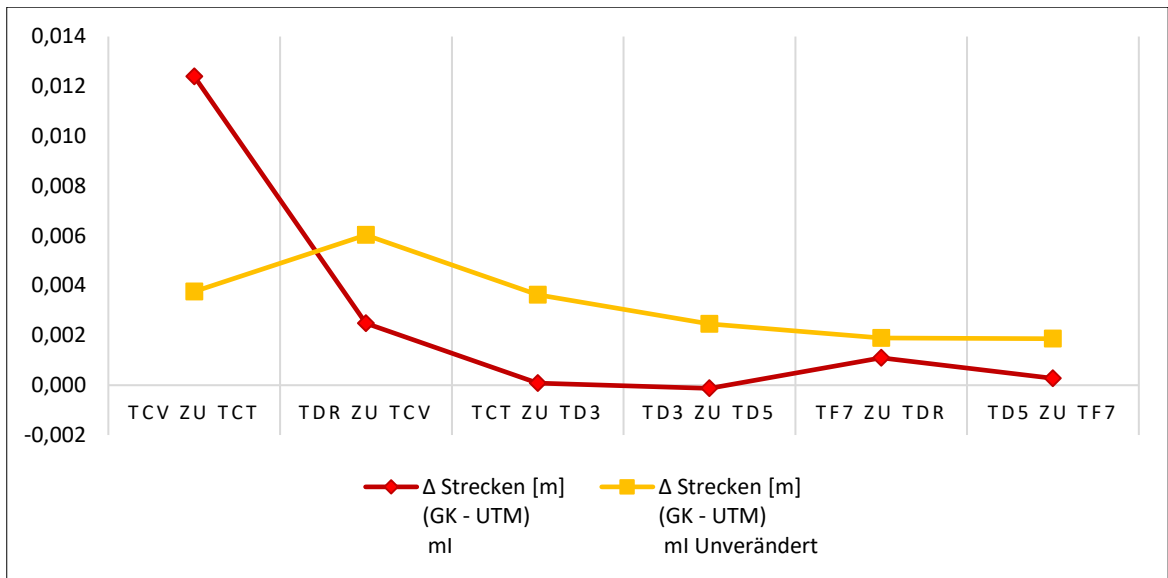


ABBILDUNG 39 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Die Strecken zu den Gebäudegrenzpunkt TCT werden besonders beeinflusst von dem Lagefehler. Im Satz mit MQI verzerrt es alle Strecken deutlich.

Zusammenfassend reagiert das ORTRA Verfahren bei den Strecken am stärksten auf den Lagefehler bei Wp2.

Auch deutlich wird, wie entscheidend der Abstand des Netzpunktes zum Gebäude ist.

Betrachtet man die Unterschiede beim unveränderten Datensatz und bei dem Datensatz mit Lagefehler 5 cm, erkennt man den Einfluss der 5 cm auf den mit ORTRA transformierten Datensatz.

Gebäude 1:	ORTRA [m]	MQI [m]	Ohne I [m]
Mittlere Abweichung	0,005	0	0
σ	0,005	0	0
Gebäude 2:			
Mittlere Abweichung	0	0	0
σ	0	0	0
Gebäude 3:			
Mittlere Abweichung	0,003	0,003	0
σ	0,005	0,005	0
Insgesamt:			

Mittlere Abweichung	0,002	0,001	0
σ	0,004	0,002	0

Bei dem Vergleich der Innenwinkel in Gebäude 1 hat, wie bei den Strecken, der Lagefehler kaum einen Einfluss auf die Transformation ohne Interpolation.

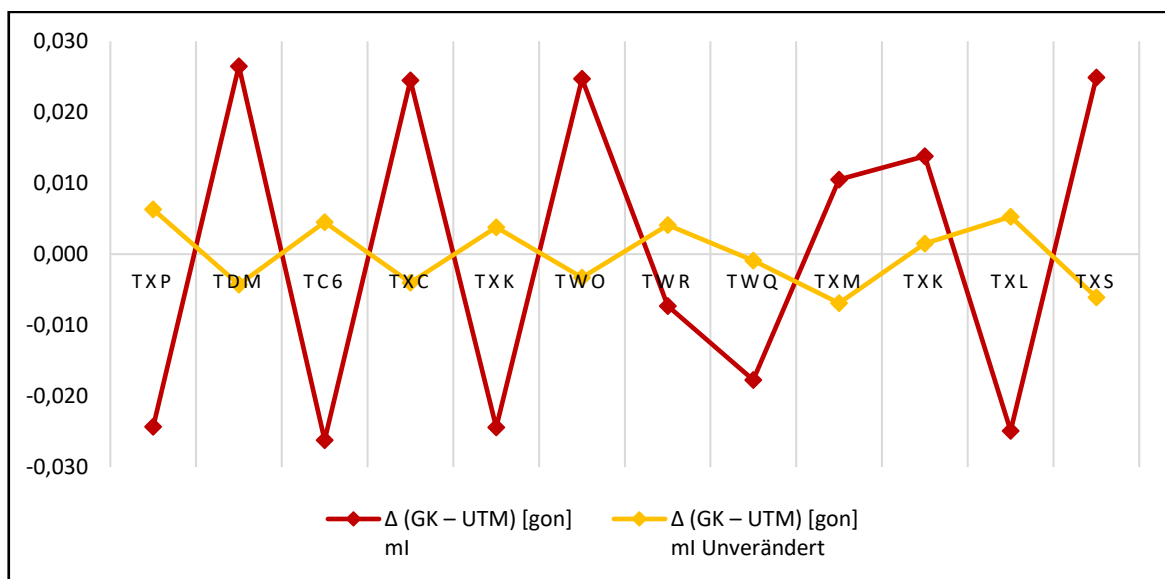
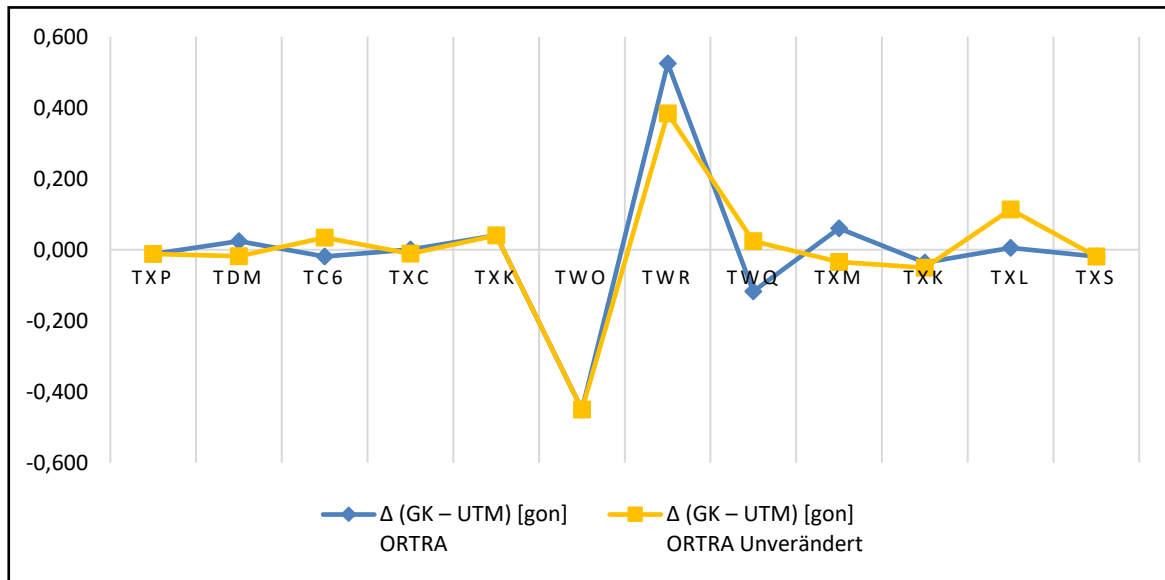


ABBILDUNG 40 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Beim ORTRA Verfahren verziehen sich die Innenwinkel immer noch etwas stärker (maximum von 52,5 cgon und einen Durchschnitt von 10,9 cgon Differenz zum Winkel in GK) als bei den anderen beiden Ansätzen. Nach der MQI gibt es eine maximale Abweichung von 2,6 cgon und eine durchschnittliche Abweichung von 2,1 cgon. Bei der MQI verzieht sich die Geometrie sichtbar. Zwar ist der Unterschied numerisch nicht so hoch, aber der Graph zeigt einen eindeutigen Einfluss des Lagefehlers.

In Gebäude 2 kommt es bei der MQI bei den Punkte TBS und TYJ zu einer Abweichung. Dafür habe ich keine Erklärung und schiebe es zufälligen Fehlern bei der Transformation zu. Die weiteren Testfälle werden zeigen, ob es nur ein zufälliger Fehler ist oder, ob sich bei der MQI ein Lagefehler 80 cm signifikant durchsetzt. Diese Punkte haben bei der MQI eine Abweichung vom GK-Winkel von:

	Unveränderter Datensatz	5 cm Lagefehler
TbS	28,1 cgon	5,9 cgon
TYD	-5,8 cgon	-8 cgon

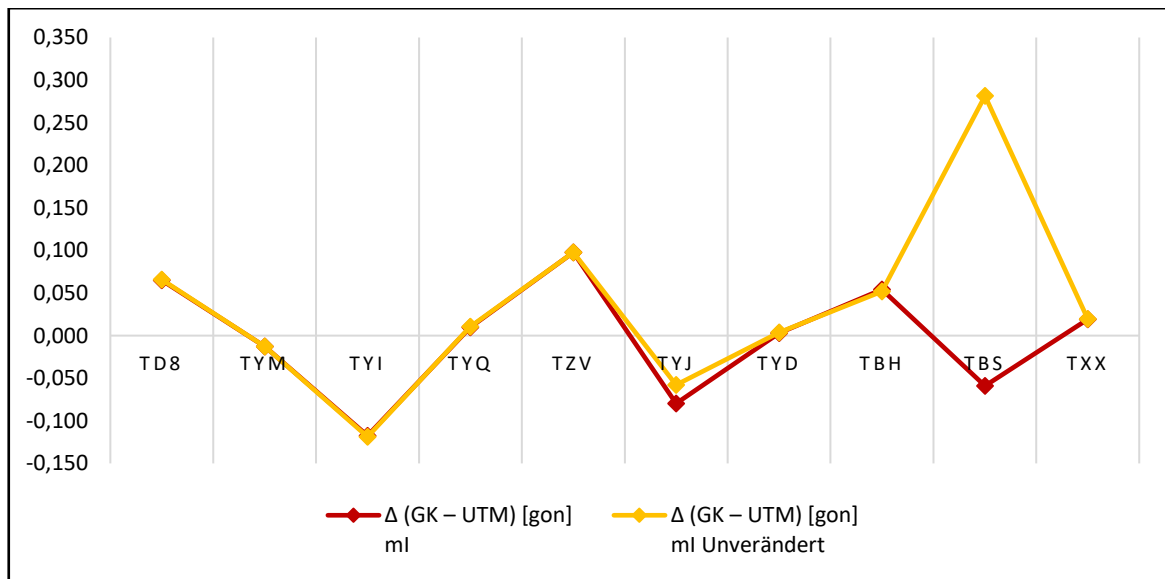


ABBILDUNG 41 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

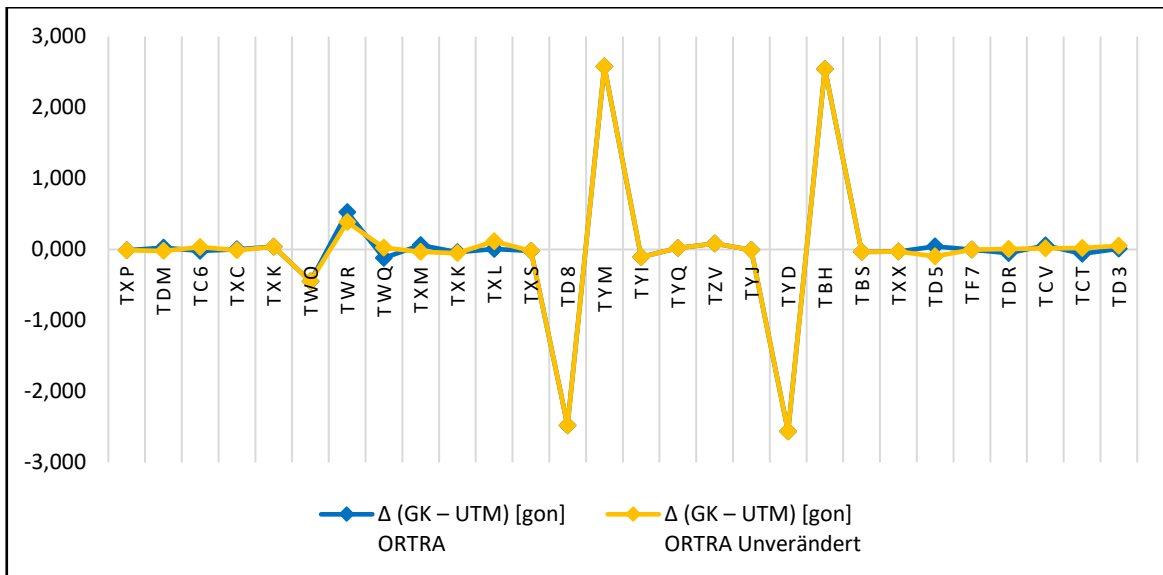


ABBILDUNG 42 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Bei Gebäude 3 sind die Auswirkungen dafür sehr ausgeprägt. Die Veränderungen, vom unveränderten Datensatz zu dem mit Lagefehler, gleichen sich bei beiden Interpolationen. Sie sind nur bei der MQI wesentlich größer. So gehen sie bis zu 17 cgon. Beim ORTRA Ansatz liegt die maximale Abweichung bei 6,2 cgon.

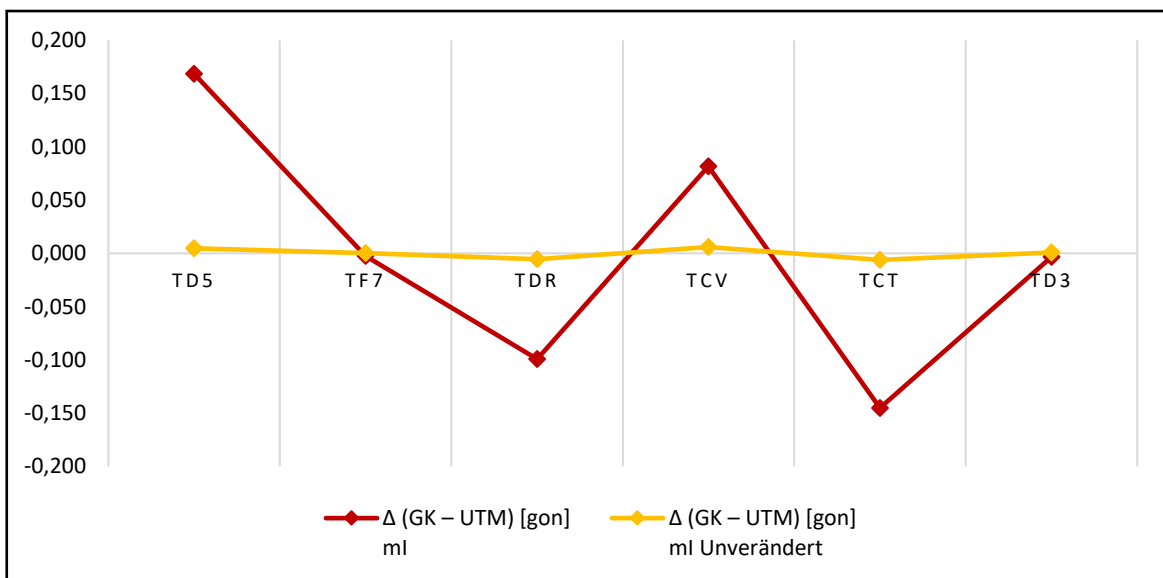
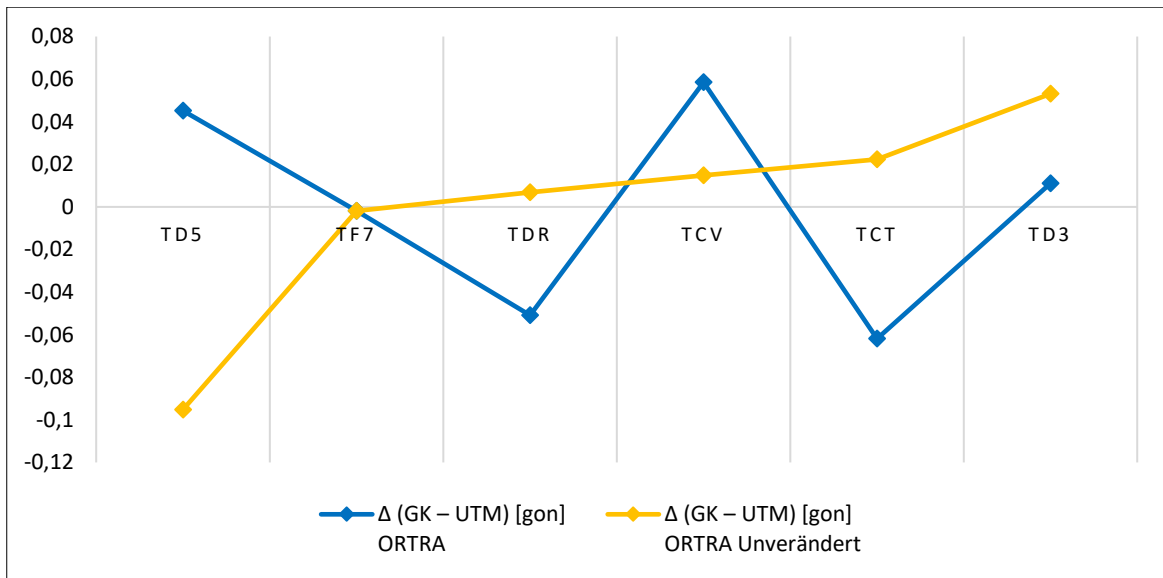


ABBILDUNG 43 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Zusammenfassend lässt sich damit sagen, dass die ORTRA Transformation und die MQI eindeutig auf den Lagefehler reagieren.

Gebäude 1:	ORTRA [gon]	MQI [gon]	Ohne I [gon]
Mittlere Abweichung	0,050	0,025	0
σ	0,077	0,027	0
Gebäude 2:			
Mittlere Abweichung	0	0,037	0

σ	0	0,107	0
Gebäude 3:			
Mittlere Abweichung	0,061	0,080	0
σ	0,082	0,110	0
Insgesamt:			
Mittlere Abweichung	0,035	0,041	0
σ	0,061	0,082	0

Bei Gebäude 3 zeigt die MQI größere Abweichungen von der Transformation des Datensatzes ohne hinzugefügter Spannung.

Bei Gebäude 1 sind die Auswirkungen noch sehr minimal.

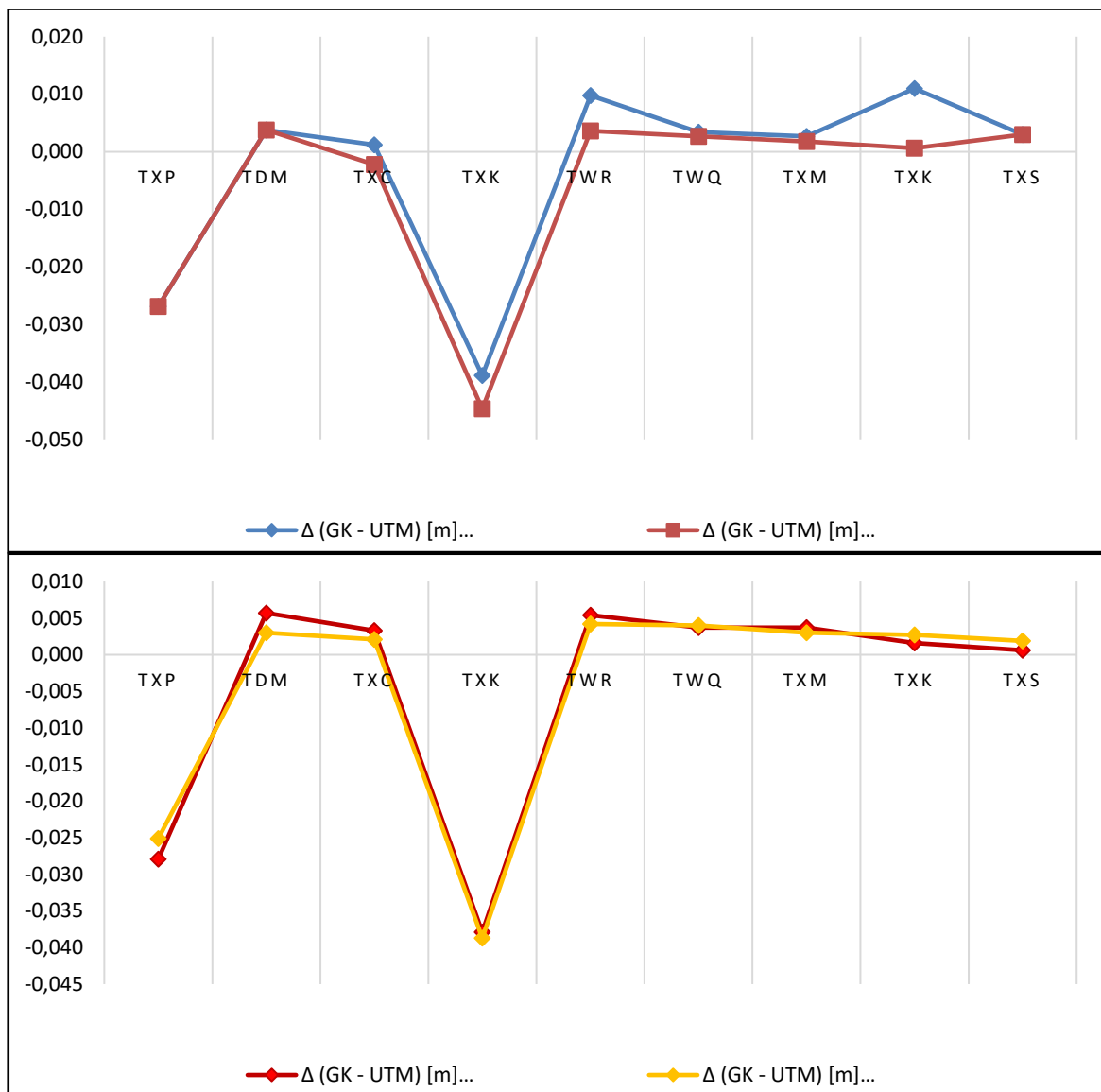


ABBILDUNG 44 VERGLEICH DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ

Beim ORTRA Verfahren rücken Flurgrenze und Gebäude näher zusammen.

Numerisch bedeutet das:

	ORTRA	MQI
TXk	-0,010	0,001
TWR	-0,006	-0,001
TXK	-0,006	-0,001

Interessant ist auch, dass sich beim ORTRA Verfahren bei den Punkten, die eher weiter weg sind vom Netzpunkt, die größeren Abweichungen zeigen. Anders als bei der MQI, wo der Effekt mit zunehmendem Abstand geringer wird.

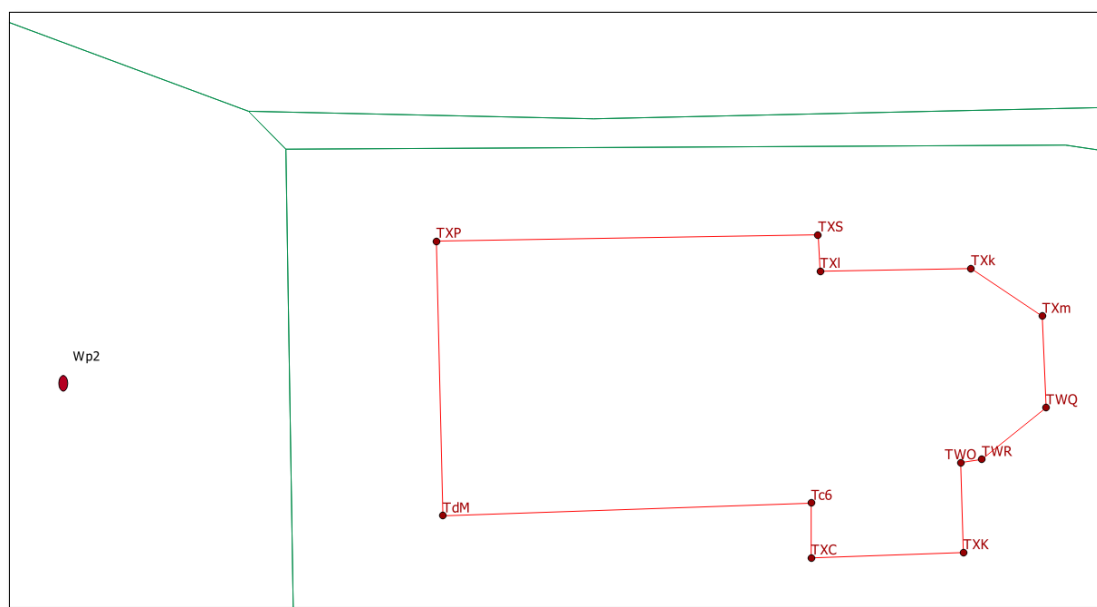


ABBILDUNG 45 GEBÄUDE 1 MIT ECKPUNKTEN UND NETZPUNKT WP2

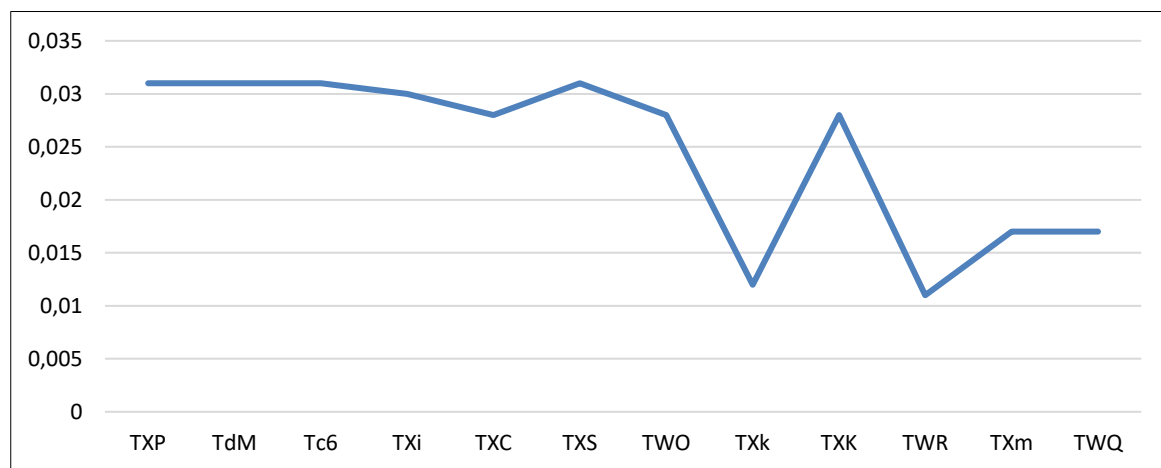


ABBILDUNG 46 VERGLEICH DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ DER MQI MIT NACH ABSTAND SORTIERTEN PUNKTEN

Bei Gebäude 2 ist der Einfluss nicht erkennbar oder messbar.

Auch bei Gebäude 3 sind die Einflüsse auf die Äußere Geometrie kaum merkbar. Nur beim Punkt TDR gibt es bei der Ausgleichung und dem Interpolationsverfahren Abweichungen von 4 mm.

Da der Lagefehler die Flurstücksgrenzen genauso beeinflusst wie die Gebäude, wird die Äußere Geometrie bei einem Lagefehler von 5cm kaum beeinflusst.

Gebäude 1:	ORTRA [m]	MQI [m]	Ohne I [m]
Mittlere Abweichung	0,003	0,001	0
σ	0,004	0,002	0
Gebäude 2:			
Mittlere Abweichung	0	0	0
σ	0	0	0
Gebäude 3:			
Mittlere Abweichung	0,001	0,001	0
σ	0,002	0,02	0
Insgesamt:			
Mittlere Abweichung	0,001	0,001	0
σ	0,003	0,001	0

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass vor allem die Innenwinkel die stärksten Veränderungen durchmachen. Die MQI hatte in Gebäude 1 Verzerrungen von bis zu 3 cgon und in Gebäude 3 bis zu 1,6 cgon. Festzuhalten ist auch die Verzerrung der Innenwinkel in Gebäude 2 bei den Punkten TbS (34 cgon) und TYJ (2,2 cgon). Das ORTRA Verfahren hatte in Gebäude 1 und 3 Verzerrungen von bis zu 14 cgon.

Bei den Strecken blieben die Ausgleichung und das Interpolationsverfahren unter 1 cm. Aber der Einfluss war zu erkennen.

LAGEFEHLER VON 20 CM

Der Punkt Wp2 wird um 20 cm in Nördlicher Richtung verschoben.

	R original [m]	H original [m]	R manipuliert [m]	H manipuliert [m]
Wp2:	4348861,91	5498730,25	4348861,91	5498730,45

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass ein Lagefehler von 20 cm ein sehr großer Fehler ist. Da der Netzknoten Wp2 von vornherein schon einen natürlichen, unbekanntem Fehler hat, könnte der Lagefehler noch größer sein. Man geht davon aus, dass es im Bayerischen Kataster Netzspannungen von 30 cm gibt ²⁵. Für die Transformation werden wieder zuerst die Parameter geschätzt und auf Signifikanz überprüft.

TABELLE 21 SIGNIFIKANZTEST DER PARAMETER BEI LAGEFEHLER VON 0,20 M

6 Parameter				
SZ = 0,0000000	$\sigma_{SZ} =$ 0,0,00048880	$T = SZ / \sigma_{SZ} =$ x	$t(\omega=99\%,f=128) =$ 2,36	SZ = 0, kein Test nötig, Sz nicht signifikant
5 Parameter				
Mx = 0,999386991	$\sigma_{Mx} =$ 0,000366393		$t(\omega=99\%,f=129) =$ 2,36	
My = 0,999386990	$\sigma_{My} =$ 0,000303095			
$\Delta Mx =$ 0,000000001	$\sigma_{\Delta M} =$	$T = \Delta M / \sigma_{\Delta M}$	Bei einen so kleinen Wert ist kein Test nötig	ΔM nicht signifikant
4 Parameter				
M = 0,999386991	$\sigma_M =$ 0,000225316	$T = M / \sigma_M =$ 4435,49056	$t(\omega=99\%,f=129) =$ 2,36	$H_0: M = 1$ $H_1: M \neq 1$

²⁵ Mündliche Aussage Herr Nießl

R = 0,03988585	$\sigma R =$ 0,000225454	T = R / $\sigma R =$ 176,9134724	H ₀ abgelehnt
			H ₀ : R = 0 H ₁ : R ≠ 0 H ₀ abgelehnt

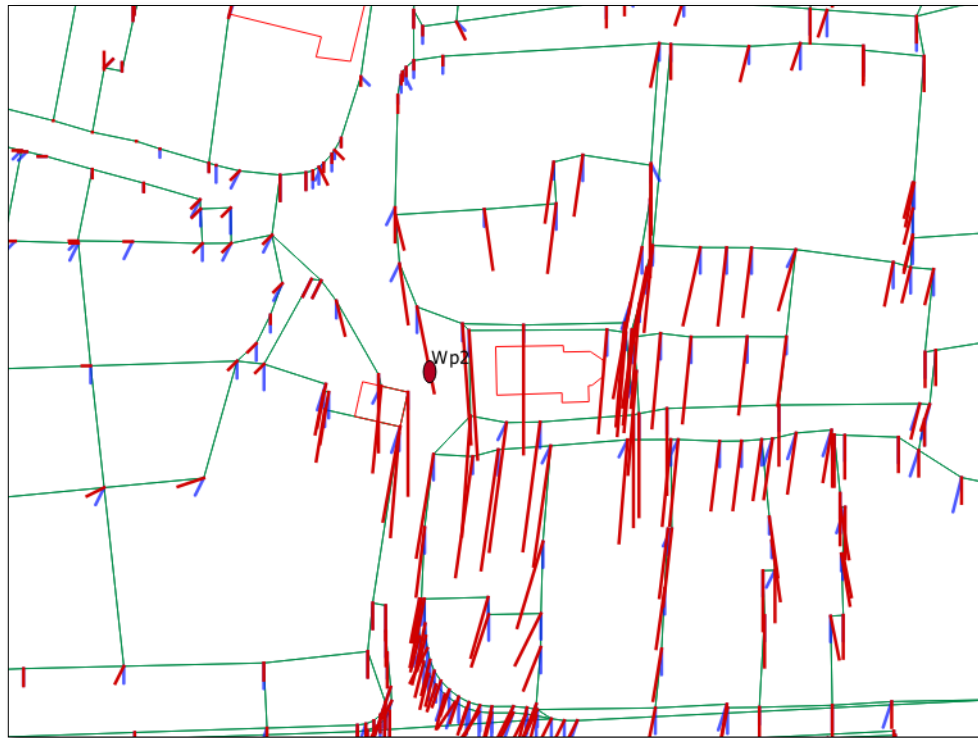


ABBILDUNG 47 VERGLEICH DER RESIDUEN BEI EINEM LAGEFEHLER VON 20 CM

Anhand der vom ORTRA Verfahren zur Verfügung gestellten Residuen an den Flurstücksgrenzpunkten, lässt sich der Einfluss des Lagefehlers in Wp2 auf die interpolierten Punkte zeigen. Die Residuen mit Lagefehler werden in Rot dargestellt und die Residuen aus der Transformation ohne künstlichen Lagefehler werden in Blau dargestellt.

Die restliche Analyse verläuft wie mit dem Datensatz mit Lagefehler von 5 cm.

Die Flächen und die Umfänge in allen drei Gebäuden verkleinern sich.

Bei den Kantenlängen kommen die größten Abweichungen zu dem unveränderten Datensatz besonders bei Gebäude 3 vor. Bei ORTRA beträgt das Maximum 1,8 cm und bei MQI 3,5 cm.

Bei einem Lagefehler von 20 cm kommen Winkel- und Streckenverzerrungen auch in Gebäude 2 vor, so dass von zufälligen Fehlern nicht mehr ausgegangen werden kann. Bei dem Innenwinkel kommt es im Durchschnitt beim ORTRA Verfahren zu Verzerrungen von 1,5 gon und bei der MQI im Durchschnitt von 0,12 gon. Beim ORTRA kommt es zu Ausschlägen im Gebäude 2 von bis zu 5,6 gon. Die größte Abweichung bei der MQI kommen in Gebäude 3 vor, mit bis zu 0,65 gon.

Die Abweichung der Äußeren Geometrie bleibt im Schnitt unter 1 cm. Zwei Ausreißer nach der ORTRA Interpolation sind die Punkte TWR in Gebäude 1, mit einer Abweichung von 1,3 cm, und TYJ in Gebäude 2, mit 1 cm.

Bei der MQI kommt es nur bei den Punkten TXP, TDM, mit jeweils einem Betrag von 1,1 cm, und TWR, mit einem Betrag von 1,3 cm, zu Werten über 1 cm.

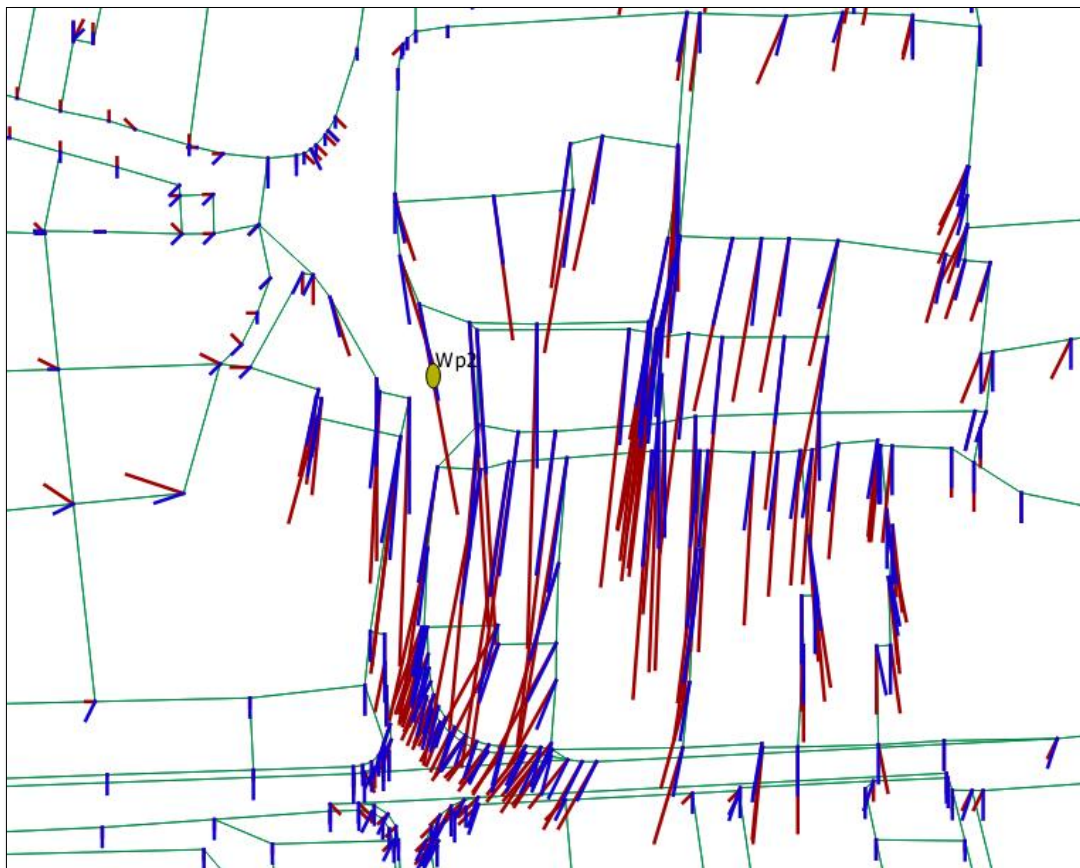
LAGEFEHLER VON 50 CM

Der Punkt Wp2 wird um 50 cm in Nördlicher Richtung verschoben.

	R original [m]	H original [m]	R manipuliert [m]	H manipuliert [m]
Wp2:	4348861,91	5498730,25	4348861,91	5498730,75

Ein Lagefehler von einem halben Meter wird als grober Fehler detektiert und ausgeschlossen. Zum Zeitpunkt der amtlichen Umstellung kann bei Anwendung des ORTRA-Verfahrens durch organisatorische Maßnahmen ausgeschlossen werden, dass ein identischer Punkt mit einem Lagefehler vom 50 cm in der Ausgleichung berücksichtigt wird. Deshalb erfolgt zuerst die Überprüfung der Residuen des ORTRA Verfahrens, ob dieser Lagefehler nicht automatisch eliminiert wurde.

Dabei sind die blauen Linien die Residuen bei einem Lagefehler von 20 cm und die Roten die des Datensatzes mit 50 cm Lagefehler.



Der Einfluss des Lagefehlers ist eindeutig und mit der traditionellen Transformation kann fortgeföhren werden.

Für die Transformation werden wieder zuerst die Parameter geschätzt und auf Signifikanz überprüft.

TABELLE 22 SIGNIFIKANZTEST DER PARAMETER BEI LAGEFEHLER VON 0,50 M

6 Parameter				
SZ = 0,000021265	$\sigma_{SZ} =$ 0,000021265	$T = Sz / \sigma_{SZ} =$ 0,85077	$t(\omega=99\%,f=126) =$ 2,36	H ₀ : Sz = 0 H ₁ : Sz ≠ 0 H ₀ : angenommen
5 Parameter				
Mx = 0,999379699	$\sigma_{Mx} =$ 0,000015486		$t(\omega=99\%,f=127) =$ 2,36	
My = 0,999403162	$\sigma_{My} =$ 0,000018603			
$\Delta Mx =$ 0,000023463	$\sigma_{\Delta M} =$ 0,000024205	$T = \Delta M / \sigma_{\Delta M} =$ 0,969340395		H ₀ : $\Delta M = 0$ H ₁ : $\Delta M \neq 0$ H ₀ : angenommen
4 Parameter				
M = 0,999389428	$\sigma_M =$ 0,000011516	$T = M / \sigma_M =$ 86782,68739	$t(\omega=99\%,f=128) =$ 2,36	H ₀ : M = 1 H ₁ : M ≠ 1 H ₀ abgelehnt
R = 0,039889246	$\sigma_R =$ 0,000011524	$T = R / \sigma_R =$ 3461,406283		H ₀ : R = 0 H ₁ : R ≠ 0 H ₀ abgelehnt

Im Jag3D Report taucht der Punkt Wp2 mit einem $T_{\text{posteriori}}$ von 291,10 auf. Dieser Wert deutet auf einen groben Fehler hin. Da das Netz schon benutzt wurde und vorher keine groben Fehler entdeckt wurden, kann man davon ausgehen, dass der Punkt Wp2

keine weiteren groben Fehler verdeckt. Aus Testzwecken wird mit einem groben Fehler weiter gerechnet, es sollte an dieser Stelle nur darauf hingewiesen werden.

Bei der weiteren Analyse der Gebäude beträgt die Änderung der Fläche und des Umfangs um die 1 Promille.

Bei den Strecken kommt es in Gebäude 1 und 2 bei der Ausgleichung und dem Interpolationsverfahren zu Abweichungen von unter 1 cm. Aber in Gebäude 3 hat die ORTRA Methode eine durchschnittliche Abweichung von 2,5 cm und bei der MQI kommt es zu durchschnittlich 3,5 cm Abweichung zu den Strecken im unveränderten Datensatz.

Die Innenwinkel werden vom ORTRA Verfahren wieder stärker verzogen, durchschnittlich um 0,54 gon, gleichzeitig verändern sich die Innenwinkel bei der MQI durchschnittlich um 0,29 gon.

Bei der Äußeren Geometrie bleibt das ORTRA Verfahren sehr stabil. Eine durchschnittliche Veränderung um die 3 mm bei einer Standardabweichung von 5 mm ist zu erkennen. Die MQI verzieht die Strecken zu den Flurstücken durchschnittlich um 8 mm bei einer Standardabweichung von 12 mm. Auch kommen öfters Abweichung von über 2 cm bei der MQI vor.

7.2 Testfall 2: Spannung zwischen zwei Polygonzügen

Der Gedanke dieses Testfalles ist es, einen der häufigsten Gründe für Spannungen im DHDN90 Netz zu simulieren. Diese Spannungen entstehen durch zwei unabhängig voneinander aufgenommene Polygonzüge. Hier wird das erreicht indem zwei gedachte Züge erstellt und auseinandergezogen werden. Der nördlich „Zug“ wird nach Nord-Osten verschoben und der südliche „Zug“ nach Süd-Westen.

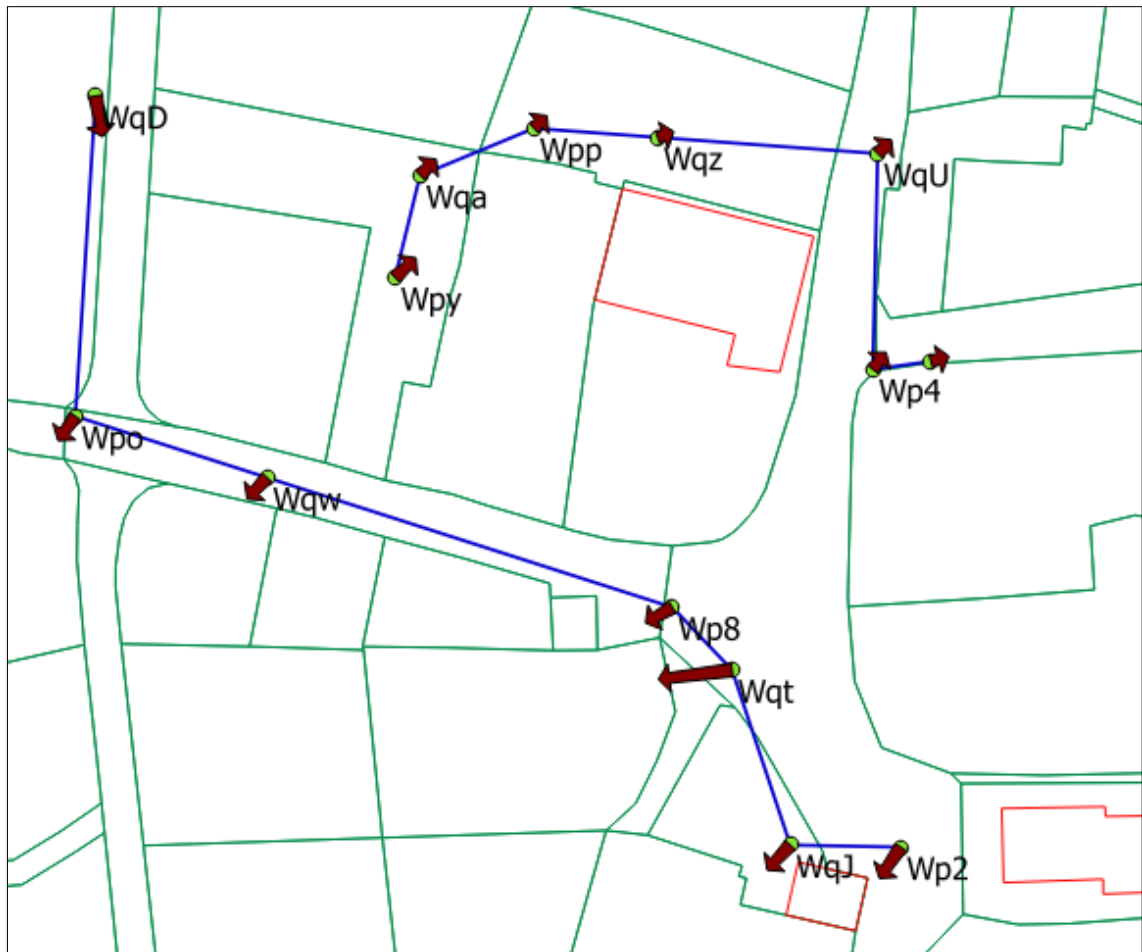


ABBILDUNG 49 POLYGON MIT ÜBERZEICHNETEN VERSCHIEBUNGSRICHTUNGEN

Um einen großen Effekt zu erhalten, wird jeder Punkt um jeweils 50 cm in X und Y Richtung verschoben. Dies macht einen Lagefehler von 70,7 cm. Bei zwei Punkten im südlichen Zug wurden noch größere Abweichungen eingebaut. Bei WqD ist ein Lagefehler von 2,5 m und bei Wqt ein Versatz von 4.5 m. Alles in allem ein

sehr großer Lagefehler, aber auch hier gilt dieselbe Ausnahme wie in den Testfällen zuvor.

An den Residuen aus dem ORTRA Verfahren lassen sich die Spannung zwischen den beiden Polygonzügen gut erkennen.

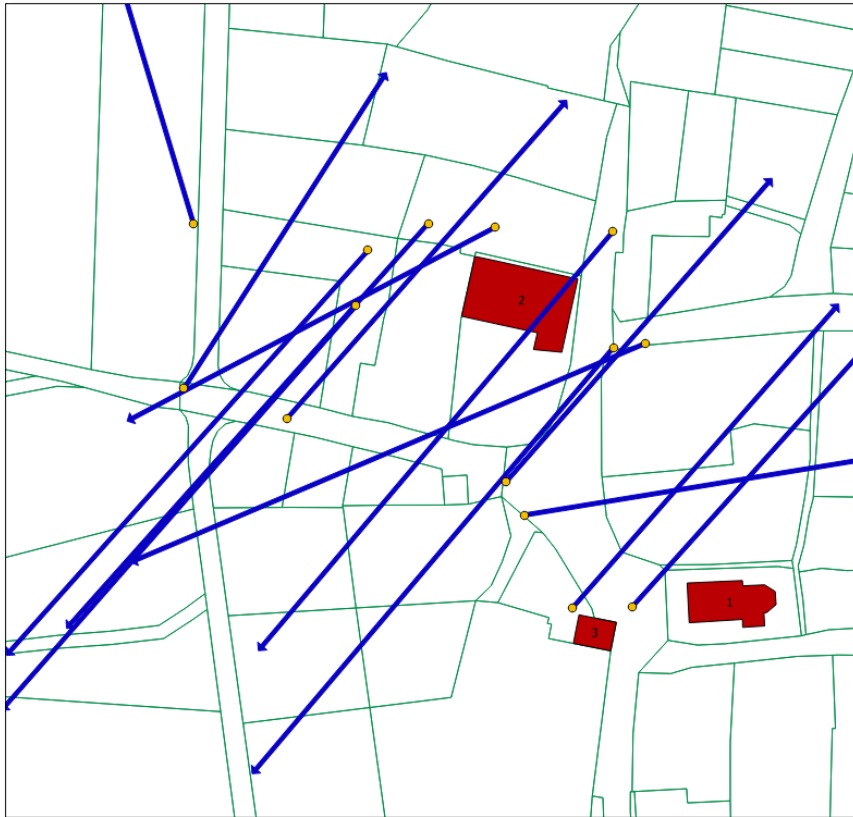


ABBILDUNG 50 ÜBERSPITZTE DARSTELLUNG DER RESIDUEN NACH ORTRA BEI TESTFALL 2

Die Abbildung ist etwas unübersichtlich, aber es ist zu erkennen wie die südlicheren Residuen nach Nord-Osten und die nördlicheren Grenzpunkt Residuen nach Süd-Westen zeigen.

Als nächstes wird mit den veränderten identischen Punkten das Gebiet transformiert.

TABELLE 23 SIGNIFIKANZTEST DER PARAMTER BEI LAGEFEHLER VON 0,50 M

6 Parameter

SZ	=	σ_{Sz}	=	$T = Sz / \sigma_{Sz}$	=	$t(\omega=99\%, f=130)$	=	$H_0: Sz = 0$
6,283057839		0,000244017		25748,4431		2,36		$H_1: Sz \neq 0$
								H_0 : abgelehnt

Eine Affintransformation ist sehr ungewöhnlich beim Datumsübergang von DHDN90 zu ETRS89. Dass die Scherung sich als signifikant herausgestellt hat, weist eindeutig auf einen sehr großen Fehler im Netz hin.

Es folgt aber trotzdem eine 6 Parameter Transformation.

Nach der Transformation und der Interpolation verändern sich Umfang und Flächen der Gebäude etwas deutlicher. So verkleinert sich die Fläche des Gebäudes 3 beim ORTRA Verfahren um 2,4% und des Gebäudes 2 nach der MQI um 1,5%.

Auch die Kantenlängen verändern sich deutlicher. So kommen beim ORTRA Verfahren Abweichungen von bis zu 22 cm, in Gebäude 2 und 3, vor. Nach der MQI kommt es zu den größten Abweichungen in Gebäude 1 (19 cm) und Gebäude 2 (32 cm).

Bei den Innenwinkeln kommt es beim ORTRA Verfahren zu extrem großen Abweichungen, von über 72 gon, an den Punkten TYD und TBH. Bei der MQI kommt es im Gebäude 2 zu unterschieden von bis zu 1,9 gon.

Die Äußere Geometrie verändert sich bei beiden Interpolationsverfahren durchschnittlich um 5 bis 6 cm. In Gebäude 2 kommt es zu Differenzen von über 20 cm.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Lagefehler die Innere und Äußere Geometrie stark beeinflusst.

7.3 Testfall 3: Spannung bei einen Globalen Fehler

Um die Auswirkungen eines globalen Netzfehlers zu ermitteln, wurde das gesamte Netz der identischen Punkte um $0,05^\circ$ ($0,056$ gon) gedreht. Dies kann in der Realität vorkommen, wenn ein in sich gut stimmendes, lokal aufgenommenes System, über schlechte Anschlusspunkte in das globale System eingepasst wurde. In der Abbildung 48 ist der Effekt sehr anschaulich an den Residuen nach einer Transformation mit dem ORTRA Verfahren zu erkennen.

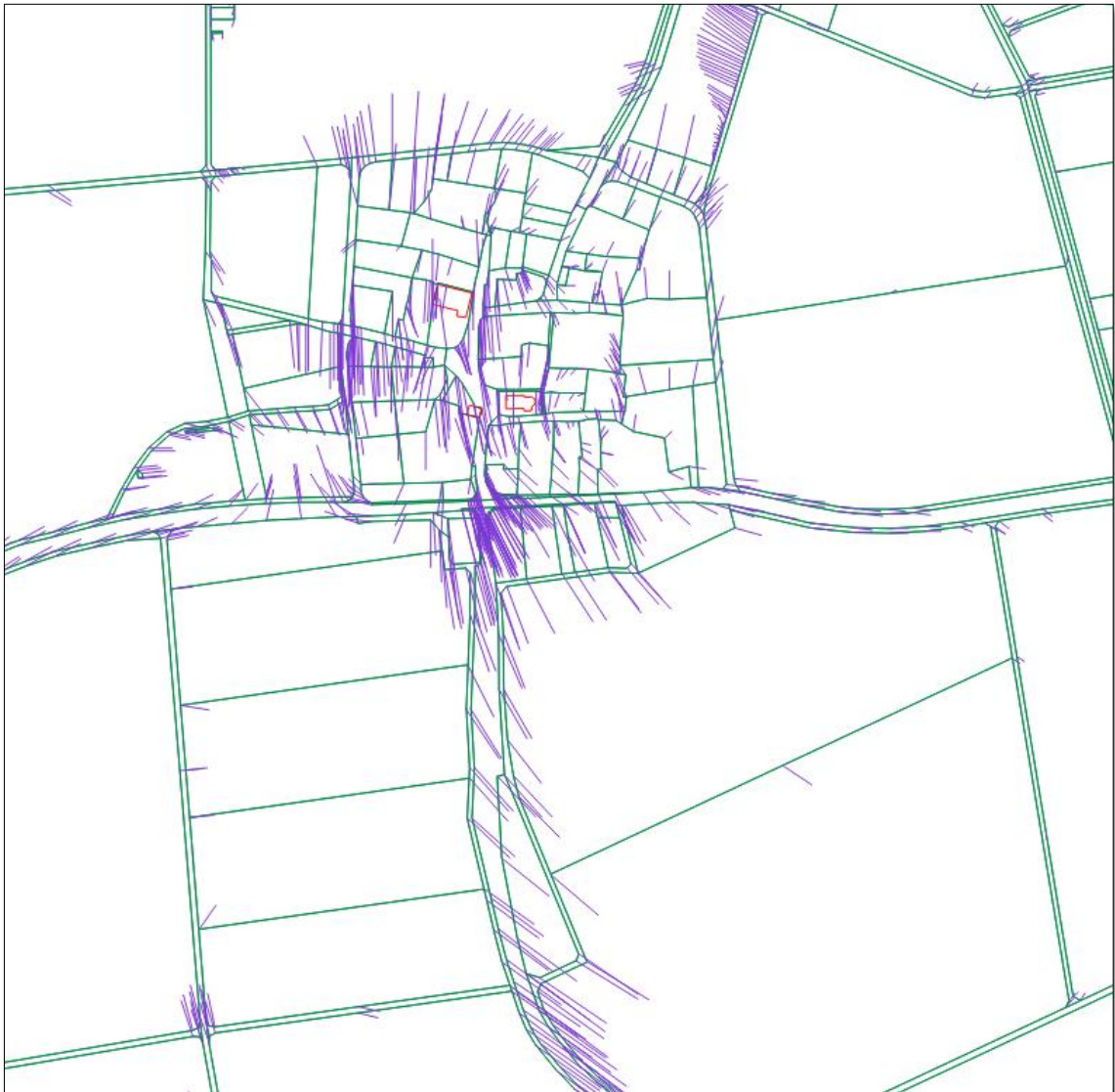


ABBILDUNG 51 RESIDUEN NACH DER ORTRA TRANSFORMATION DES GEDREHTEN DATENSATZES

Nach der Überprüfung, ob das ORTRA Verfahren die veränderten Netzpunkte umgesetzt hat, folgt das Schätzen der Parameter für den traditionellen Ansatz.

6 Parameter				
SZ =	σ_{Sz} =	$T = Sz / \sigma_{Sz} =$	$t(\omega=99\%,f=130) =$	$H_0: Sz = 0$
6,282998193	0,000087919	71463,48563	2,36	$H_1: Sz \neq 0$
				H_0 : abgelehnt

Es wird eine 6 Parameter Transformation durchgeführt. Auch hier gilt dasselbe wie im Testfall 2.

Flächen und Umfang verkleinern sich auch bei diesen Ausgangsdaten. Bei der MQI am meisten. So verkleinert sich die Fläche des Gebäudes 2 um 1,23 % und des Gebäudes 3 um 1,28%. Die Effekte sind beim ORTRA Ansatz kleiner, bei Gebäude 2 0,4 % und bei Gebäude 3 0,6 %.

Auch bei den Strecken sind die Auswirkungen bei der MQI größer. So verkürzen sich alle Kanten im Durchschnitt um 3 cm, gegenüber dem ORTRA Verfahren, wo der Durchschnitt bei 1,3 cm liegt.

Allerdings sind die Schwankungen der Innenwinkel beim ORTRA Ansatz wieder sehr viel größer. Sie betragen im Durchschnitt 0,7 gon bei maximalen Ausschlägen von bis zu 7 gon. Im Vergleich ist die Veränderungen der Innenwinkel nach der MQI durchschnittlich 0,32 gon, bei einem Maximum von 1,6 gon.

8. BEWERTUNG DER ERGEBNISSE

Nachdem alle Testfälle transformiert und zusammengefasst worden sind, werden nun alle Testfälle zusammengebracht und gegenübergestellt. Dafür werden immer die Differenzen der Abweichung vom veränderten Datensatz zu dem Datensatz mit eingebauter Spannung analysiert.

8.1 Kantenlängen

Beim Vergleich der Streckenabweichung des unveränderten Datensatzes und des Datensatzes mit den zugefügten Spannungen, kommt man beim ORTRA Ansatz zu folgender Tabelle:

Gebäude	Strecke	0,05 [m]	0,2 [m]	0,5 [m]	Zug	Drehung
1	TDM zu Tc6	0,001	0,001	-0,008	-0,066	-0,007
1	TXP zu TDM	0,000	-0,001	0,009	-0,046	0,001
1	TXK zu TWO	0,000	-0,001	0,000	-0,011	0,000
1	TWR zu TWQ	0,007	0,000	0,000	-0,021	0,000
1	TWO zu TWR	0,000	-0,008	0,002	-0,008	-0,008
1	Tc6 zu TXC	0,010	0,010	0,010	-0,001	0,000
1	TXC zu TXK	0,000	0,001	0,002	-0,023	0,001
1	TXm zu TXk	0,009	0,000	0,009	-0,012	-0,005
1	TXk zu TXl	-0,009	0,001	0,001	-0,031	0,001
1	TWQ zu TXm	0,000	0,000	0,000	-0,022	0,001
1	TXS zu TXP	0,000	-0,009	-0,009	-0,105	-0,008
1	TXl zu TXS	0,000	0,000	-0,001	0,008	0,000
2	TYD zu TbH	0,000	-0,002	-0,012	0,008	0,000
2	TbH zu TbS	0,000	0,002	0,002	-0,090	0,008
2	TXx zu Td8	0,000	0,000	0,000	-0,002	-0,008
2	TbS zu TXx	0,000	0,000	0,000	0,034	0,012
2	TYJ zu TYD	0,000	0,001	0,001	-0,051	0,003
2	TYm zu TYi	0,000	0,000	0,000	-0,214	-0,186
2	TZV zu TYJ	0,000	0,002	0,000	-0,025	0,000
2	Td8 zu TYm	0,000	0,000	0,000	-0,008	-0,008
2	TYi zu TYq	0,000	0,000	0,000	-0,117	0,019
2	TYq zu TZV	0,000	0,000	0,000	0,030	0,022
3	TcV zu TcT	-0,010	-0,018	-0,036	-0,026	-0,041
3	Tdr zu TcV	0,002	0,006	0,025	-0,136	-0,005
3	TcT zu Td3	0,002	0,006	0,015	-0,040	-0,002
3	Td3 zu Td5	0,002	0,015	0,031	-0,222	0,000
3	Tf7 zu Tdr	0,000	0,010	0,031	-0,014	-0,012
3	Td5 zu Tf7	0,000	0,000	-0,010	0,014	-0,010
	Maximum	0,010	0,018	0,036	0,222	0,186

Grafisch ausgedrückt:

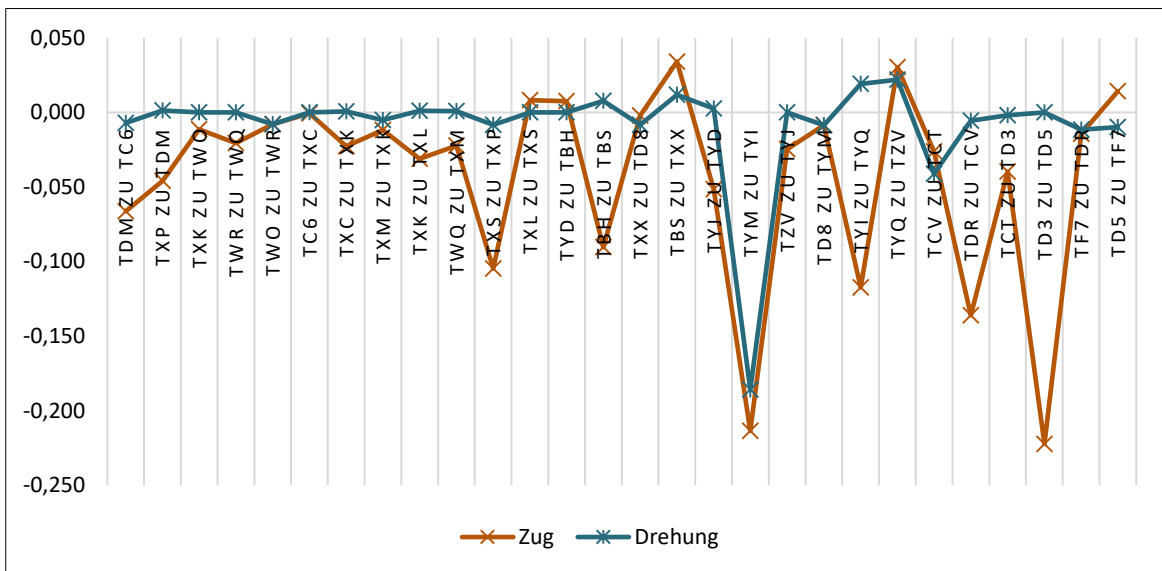
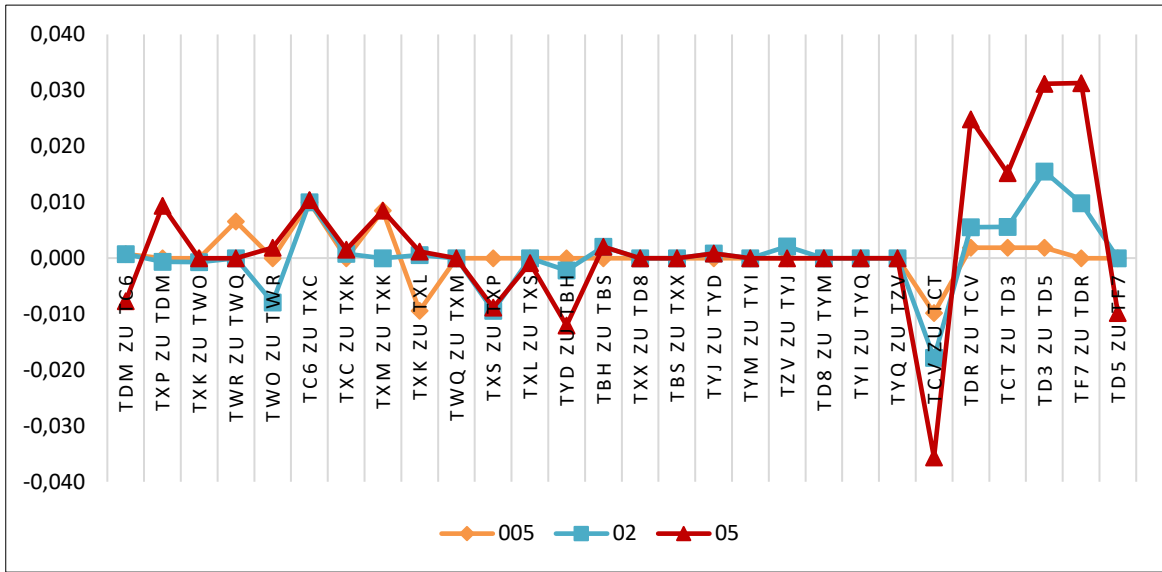


ABBILDUNG 52 ABWEICHUNGEN DER KANTENLÄNGE BEI ORTRA

Beim Datensatz der Multiquadratischen Interpolation kommt man zu folgender Tabelle:

Gebäude	Strecke	0,05 [m]	0,2 [m]	0,5 [m]	Zug	Drehung
1	TDM zu Tc6	0,000	0,001	0,003	-0,099	0,003
1	TXP zu TDM	0,000	0,000	-0,002	-0,005	-0,030
1	TXK zu TWO	0,000	-0,002	-0,004	0,001	-0,002
1	TWR zu TWQ	0,001	0,003	0,007	-0,014	-0,003
1	TWO zu TWR	0,000	0,000	0,001	-0,005	0,000
1	Tc6 zu TXC	0,000	-0,001	-0,004	0,002	-0,001
1	TXC zu TXK	0,000	0,000	0,001	-0,033	0,001
1	TXm zu TXk	-0,001	-0,003	-0,007	-0,017	0,000
1	TXk zu TXl	0,000	0,000	0,001	-0,055	0,001
1	TWQ zu TXm	0,000	0,000	0,000	-0,003	-0,004
1	TXS zu TXP	0,000	0,001	0,001	-0,199	0,001
1	TXl zu TXS	0,000	0,001	0,002	-0,003	-0,004
2	TYD zu TbH	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	TbH zu TbS	0,001	0,002	0,006	-0,107	-0,102
2	TXx zu Td8	0,000	0,000	0,000	0,001	-0,005
2	TbS zu TXx	0,000	0,000	-0,001	-0,049	0,016
2	TYJ zu TYD	0,000	0,000	0,000	-0,040	0,015
2	TYm zu TYi	0,000	0,000	0,000	-0,321	-0,322
2	TZV zu TYJ	0,000	0,001	0,002	-0,042	-0,035
2	Td8 zu TYm	0,000	0,000	0,000	-0,001	-0,002
2	TYi zu TYq	0,000	0,000	0,000	-0,057	0,009
2	TYq zu TZV	0,000	0,000	0,000	-0,143	0,039
3	TcV zu TcT	-0,009	-0,035	-0,087	0,088	0,017
3	Tdr zu TcV	0,004	0,014	0,036	-0,148	-0,055
3	TcT zu Td3	0,004	0,014	0,036	-0,036	-0,054
3	Td3 zu Td5	0,003	0,010	0,027	-0,015	-0,039
3	Tf7 zu Tdr	0,001	0,003	0,007	0,030	-0,035
3	Td5 zu Tf7	0,002	0,006	0,015	0,026	-0,039
	Maximum	0,009	0,035	0,087	0,321	0,322

Grafisch Ausgedrückt:

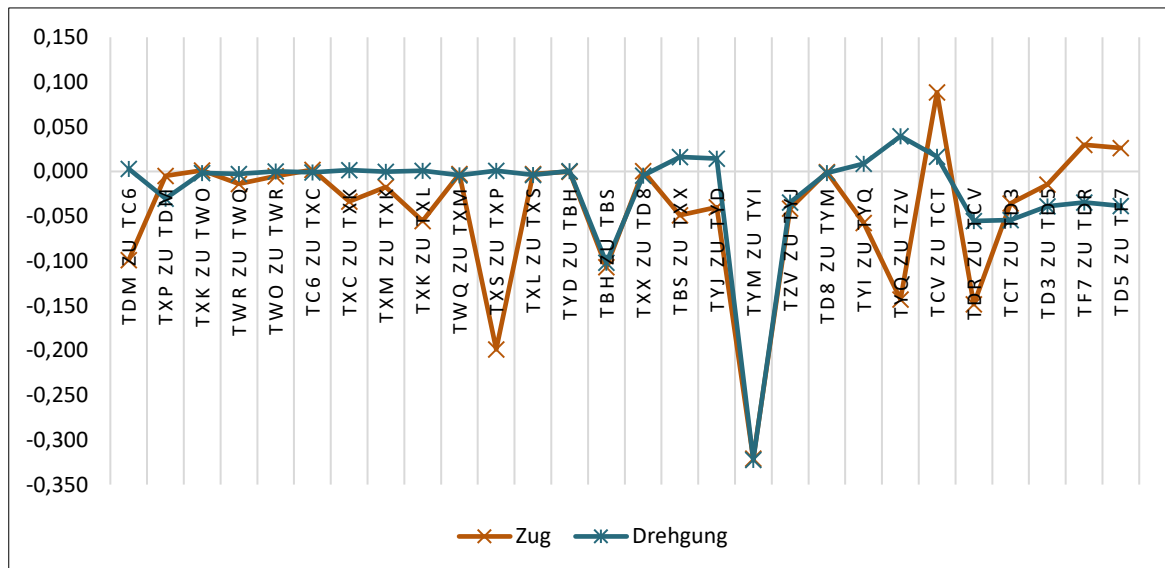
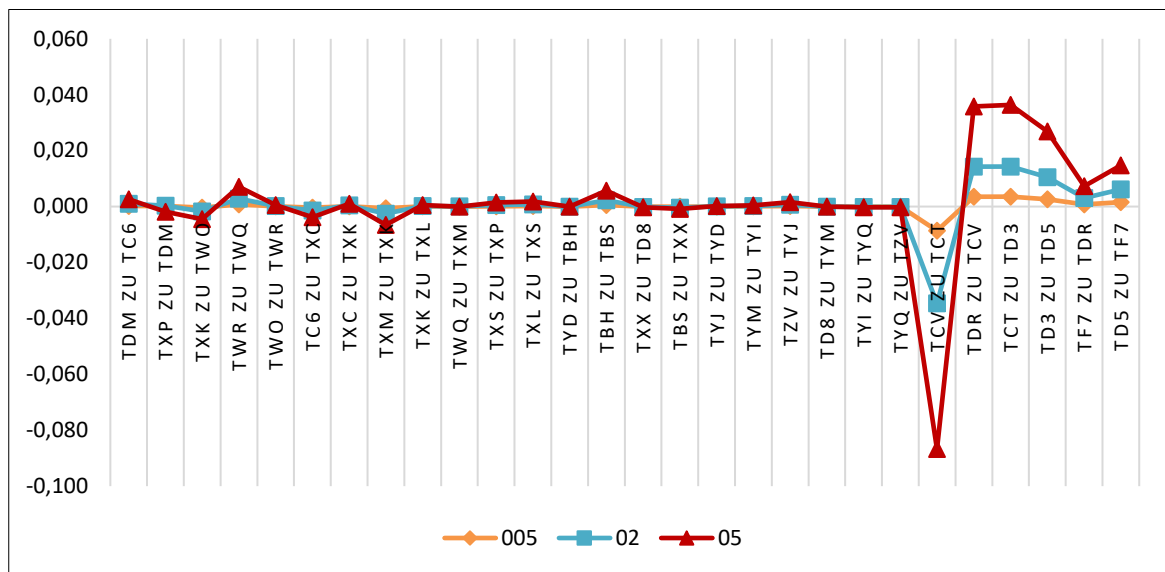


ABBILDUNG 53 ABWEICHUNGEN DER KANTENLÄNGE BEI MQI

An beiden Graphen kann man eindeutig erkennen wie bestehende Abweichungen mit Ansteigen der Spannung wachsen. Auch kommen die großen Abweichungen bei der MQI und dem ORTRA Verfahren in den selben Punkten vor. Beim ORTRA Verfahren kommt es schon bei kleineren Spannungen zu den größeren Abweichungen. Allerdings steigen bei der MQI die Beträge sehr viel steiler und schneller an. Interessant sind auch beim Testfall 1 die Änderungen in Gebäude 1 bei der ORTRA Ausgleichung. Diese wirken sehr zufällig. Nach der MQI steigen bei Testfall 1 in allen 3 Gebäuden die

Abweichungen mit zunehmender Spannung an. Allerdings bleiben sie bei den Gebäuden 1 und 2 immer unter 1 cm. Erst in Gebäude 3 wachsen sie sehr rasch und eindeutig an. Der Einfluss des Lagefehlers von Wp2 auf das Gebäude 3 ist bei beiden Verfahren zu beobachten. Beim ORTRA Verfahren zeichnet sich aber auch eine Art Dämpfung ab. So reguliert sich die Strecke TcV zu TcT bei 3,6 cm ein, während bei der MQI interpolation die Strecke um 8,7 cm verkürzt wird. Anhand der Standardabweichung zeigt sich auch dass die Schwankungen bei der MQI etwas größer sind.

	0,05 [m]	0,2 [m]	0,5 [m]	Zug	Drehung
σ ORTRA	0,004	0,006	0,013	0,065	0,037
σ MQI	0,002	0,008	0,020	0,081	0,065

Auch bei sehr großen Spannungen wie beim Testfall mit den Polygonzügen und der Drehung ist die Standardabweichung bei der MQI größer. Auch der maximale Ausschlag liegt nach dem ORTRA Verfahren nur bei 22 cm (Testfall 2) und 19 cm (Testfall 3). Nach der MQI liegt dieser jeweils bei 32 cm.

Zusammenfassend lässt sich ein Trend erkennen. Das ORTRA Verfahren verändert die Strecken der Geometrien auch schon bei kleineren Spannung stärker und verteilt die Spannung auch auf Gebäude die von einer traditionellen Methode kaum manipuliert werden. Allerdings werden mit zunehmender Spannung, egal ob singularär oder über ein Netz verteilt, die Strecken bei der MQI mit größerem Betrag stärker verzogen.

8.2 Innenwinkel

Die extrem großen Abweichungen bei den Punkten TbH und TYD führen zu Schwierigkeiten beim Auswerten des Innenwinkels. Die Winkel an diesen beiden Punkten werden beim ORTRA Verfahren beim Testfall 2 um über 70 gon verzerrt. Auf die Fläche und die Form des Gebäudes hat dies allerdings, wegen des kurzen Abstands von TYD zu TbH (11cm) und der extrem weiten Strecke von TbH zu TbS (über 21m), kaum Einfluss. Es sei an dieser Stelle aber gesagt, dass diese Winkel auch schon sehr früh aufgefallen sind. Schon im unveränderten Datensatz wichen diese Winkel um über 2 gon vom in GK gemessenen Winkel ab.

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung [gon]
2	TYD	0,000	-5,580	-4,463	72,663	-0,238
2	TbH	0,000	5,530	4,413	-73,277	-0,035

Die MQI geht sehr viel besser mit diesen Winkeln um:

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung [gon]
2	TYD	0,001	0,003	0,008	-0,090	-0,068
2	TbH	-0,002	-0,011	-0,027	-1,186	-0,563

Auch bei den Punkt Td8 sind die selben Bediengungen gegeben. So ist der Abstand zum Punkt TYm auch 11 cm und zum Punkt TXx 7,4 m. Auch hier geht ein sehr flacher Winkel in einen sehr spitzen Winkel über. Die Abweichungen liegen bei gerademal 5 bis 6 gon.

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung
2	Td8	0,000	0,000	0,000	-6,711	-6,459
2	TYm	0,000	0,000	0,000	5,675	6,939

Hier verhält sich die MQI sehr viel ruhiger:

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung
2	Td8	0,001	0,003	0,007	-0,561	0,090
2	TYm	0,000	0,000	0,000	-0,195	0,381

Bei der weiteren Analyse werden diese vier Ecken ignoriert. So ergibt sich die Abweichungstabelle bei ORTRA.

TABELLE 24 INNENWINKELABWEICHUNGEN BEI ORTRA

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung [gon]
1	TXP	0,000	0,099	0,143	0,207	0,011
1	TDM	-0,042	-0,098	-0,189	-0,191	-0,058
1	Tc6	0,053	0,053	-0,142	0,208	0,171
1	TXC	-0,011	-0,113	0,069	-0,176	-0,101
1	TXK	0,000	0,273	0,203	-0,059	0,101
1	TWO	0,000	-1,017	-0,706	-1,178	-0,846
1	TWR	-0,141	0,846	0,706	1,006	0,846
1	TWQ	0,141	0,000	0,000	0,320	-0,169
1	TXm	-0,094	0,000	-0,094	-0,136	0,014
1	TXk	-0,014	-0,102	-0,110	-0,156	-0,050
1	TXI	0,108	0,102	0,628	0,694	0,204
1	TXS	0,000	-0,043	-0,507	-0,539	-0,124
2	TYi	0,000	0,000	0,000	1,439	0,973
2	TYq	0,000	0,000	0,000	0,040	-0,904
2	TZV	0,000	0,128	0,000	-2,700	-0,212
2	TYJ	0,000	-0,048	0,079	2,215	0,238
2	TbS	0,000	-0,029	-0,029	0,922	0,057
2	TXx	0,000	0,000	-0,659	-0,265	-0,358
3	Td5	-0,140	-0,393	-0,754	-0,486	0,029
3	Tf7	0,000	-0,027	0,040	-0,540	-0,153
3	Tdr	0,058	0,201	0,382	-0,177	-0,049
3	TcV	-0,044	-0,069	-0,242	-0,533	0,153
3	TcT	0,084	0,190	0,576	-0,002	-0,078
3	Td3	0,042	0,098	-0,001	1,738	0,098

Grafisch dargestellt:

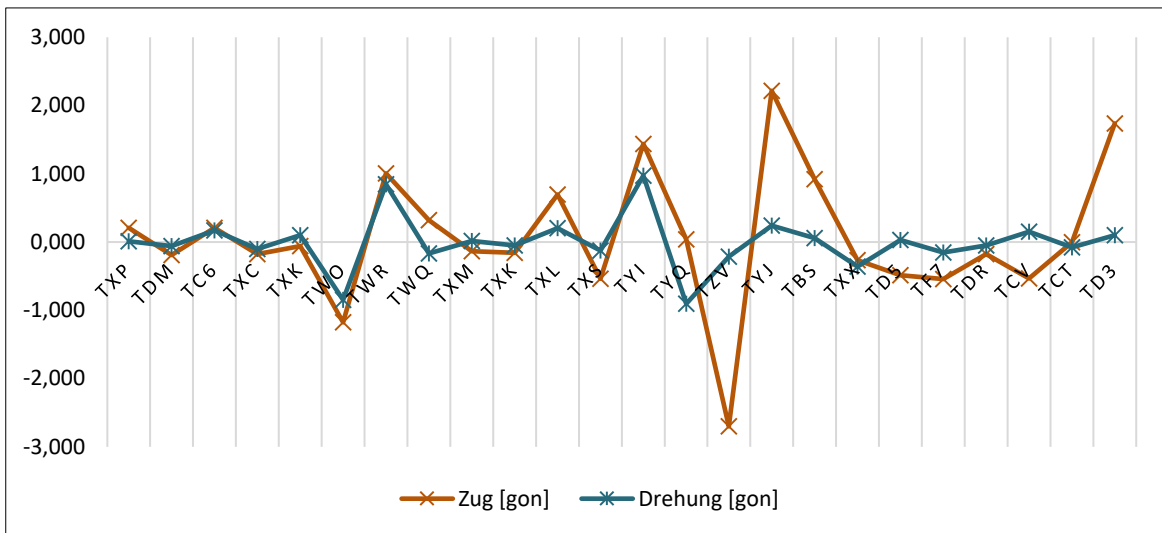
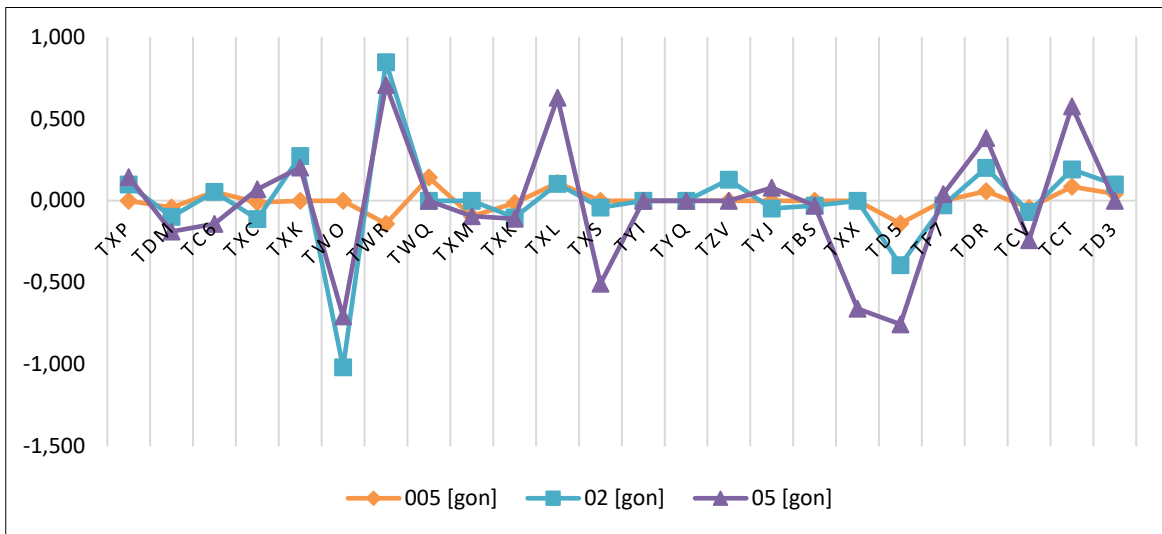


ABBILDUNG 54 ABWEICHUNGEN DER INNENWINKEL BEI ORTRA OHNE AUSREISSER

Und für die MQI:

TABELLE 25 INNENWINKELABWEICHUNG BEI DER MQI

Gebäude	Punkt	005 [gon]	02 [gon]	05 [gon]	Zug [gon]	Drehung [gon]
1	TXP	0,031	0,123	0,310	0,535	-0,043
1	TDM	-0,031	-0,122	-0,301	-0,555	0,093
1	Tc6	0,031	0,122	0,302	0,041	-0,118
1	TXC	-0,028	-0,113	-0,281	-0,120	0,110
1	TXK	0,028	0,112	0,279	0,016	-0,113
1	TWO	-0,028	-0,112	-0,278	-0,069	0,103
1	TWR	0,011	0,046	0,116	-0,149	-0,016
1	TWQ	0,017	0,067	0,164	0,130	-0,082
1	TXm	-0,017	-0,070	-0,178	0,224	-0,006
1	TXk	-0,012	-0,049	-0,121	-0,135	0,074
1	TXI	0,030	0,121	0,303	0,039	-0,057
1	TXS	-0,031	-0,125	-0,315	0,042	0,054
2	TYi	-0,001	-0,005	-0,012	1,902	0,227
2	TYq	0,001	0,003	0,008	0,185	0,081
2	TZV	0,000	0,000	-0,001	-1,498	-0,460
2	TYJ	0,022	0,008	0,020	1,356	0,575
2	TbS	0,340	0,339	0,336	1,375	0,409
2	TXx	0,000	0,001	0,002	-0,904	-0,329
3	Td5	-0,164	-0,652	-1,612	0,047	1,632
3	Tf7	0,003	0,011	0,027	-0,187	-0,031
3	Tdr	0,094	0,372	0,918	0,352	-1,056
3	TcV	-0,076	-0,301	-0,740	0,493	0,769
3	TcT	0,139	0,551	1,350	-0,668	-1,296
3	Td3	0,004	0,018	0,056	-0,036	-0,018

Grafisch:

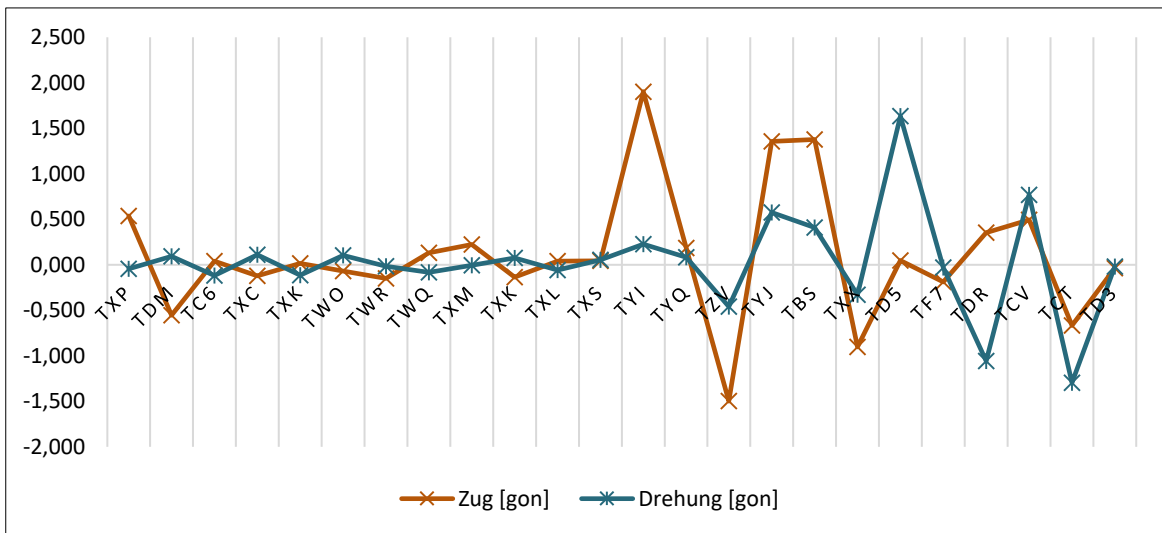
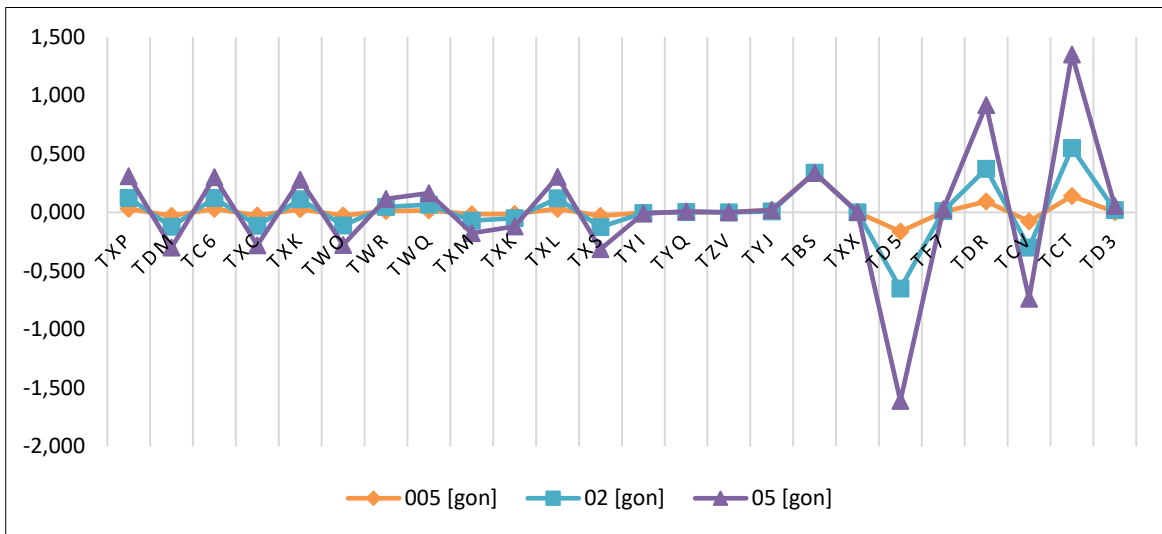


ABBILDUNG 55 ABWEICHUNGEN DER INNENWINKEL BEI MQI, OHNE AUSREISSER

Am mittleren Betrag und an den Standardabweichungen lässt sich gut erkennen, dass sich hier die beiden Verfahren kaum unterscheiden. Bei beiden steigen mit zunehmender Spannung die Winkeldifferenzen an und verteilen sich stärker im Gebäude.

Ohne Ausreißer:

TABELLE 26 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERENZ MITTEL OHNE AUSREISSER

		0,05 [gon]	0,2 [gon]	0,5 [gon]	Zug	Drehung
Mittel	ORTRA	0,042	0,098	0,001	1,738	0,098
Mittel	MQI	0,340	0,652	1,612	1,902	1,632

TABELLE 27 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERENZ STANDARDABWEICHUNG OHNE AUSREISSER

		0,05 [gon]	0,2 [gon]	0,5 [gon]	Zug	Drehung
σ	ORTRA	0,066	0,306	0,380	0,987	0,397
σ	MQI	0,088	0,228	0,540	0,716	0,551

Mit Ausreißern verzerrt das ORTRA Verfahren die Gebäude jedoch stärker.

TABELLE 28 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERENZ MITTEL MIT AUSREISSERN

		0,05 [gon]	0,2 [gon]	0,5 [gon]	Zug	Drehung
Mittel	ORTRA	0,035	0,537	0,541	6,223	0,702
Mittel	MQI	0,041	0,124	0,288	0,468	0,316

TABELLE 29 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERENZ STANDARDABWEICHUNG MIT AUSREISSERN

		0,05 [gon]	0,2 [gon]	0,5 [gon]	Zug	Drehung
σ	ORTRA	0,061	1,538	1,258	19,953	1,861
σ	MQI	0,082	0,210	0,499	0,714	0,526

8.3 Äußere Geometrie

Bei der Äußeren Geometrie verhalten sich beide Verfahren auch wieder recht ähnlich.

Während das ORTRA Verfahren den einzelnen Lagefehler gut abfängt und fast immer unter 1 cm bleibt, kommt es bei den Globalen Fehlern zu Abweichungen von 5 bis 10 cm. Beim Testfall 2 kommt es sogar zu Abweichungen von bis zu 10 cm bis 20 cm.

TABELLE 30 ÄUSSERE GEOMETRIE ABWEICHUNG ORTRA

Gebäude	Punkt	005 [m]	02 [m]	05 [m]	Zug [m]	Drehung [m]
1	TXP	0,000	-0,005	-0,009	-0,018	-0,013
1	TDM	0,000	0,006	0,014	-0,008	-0,003
1	TXC	-0,003	0,002	0,008	-0,011	-0,002
1	TXK	-0,006	0,004	0,007	-0,025	-0,006
1	TWR	-0,006	0,013	0,013	-0,022	0,002
1	TWQ	-0,001	0,005	0,002	-0,029	-0,003
1	TXm	-0,001	0,003	-0,002	-0,045	0,001
1	TXk	-0,010	-0,004	-0,007	-0,028	-0,001
1	TXS	0,000	0,000	0,001	-0,020	0,002
2	TYi	0,000	0,000	0,000	-0,042	0,048
2	TZV	0,000	0,000	0,000	-0,213	0,051
2	TYJ	0,000	-0,010	0,000	-0,135	0,045
2	TbH	0,000	0,001	0,001	-0,070	0,111
2	TbS	0,000	0,000	0,000	-0,031	0,001
2	TXx	0,000	0,000	0,000	0,041	-0,012
3	Td5	-0,003	0,003	0,005	-0,195	-0,007
3	Tf7	0,000	0,002	-0,004	-0,106	-0,002
3	Tdr	0,004	0,000	0,001	0,057	0,000

Als Grafik:

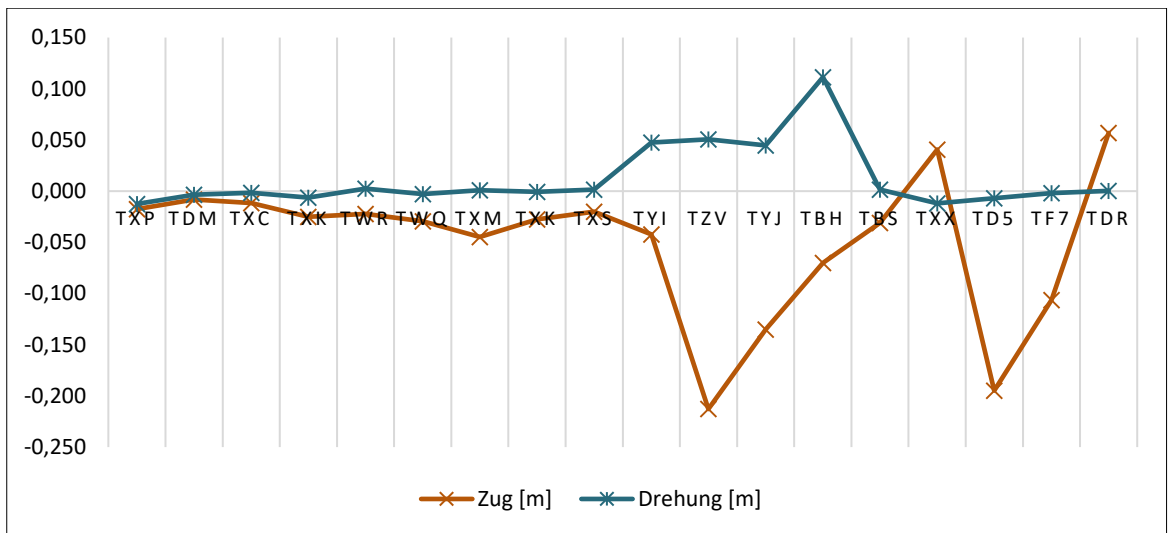
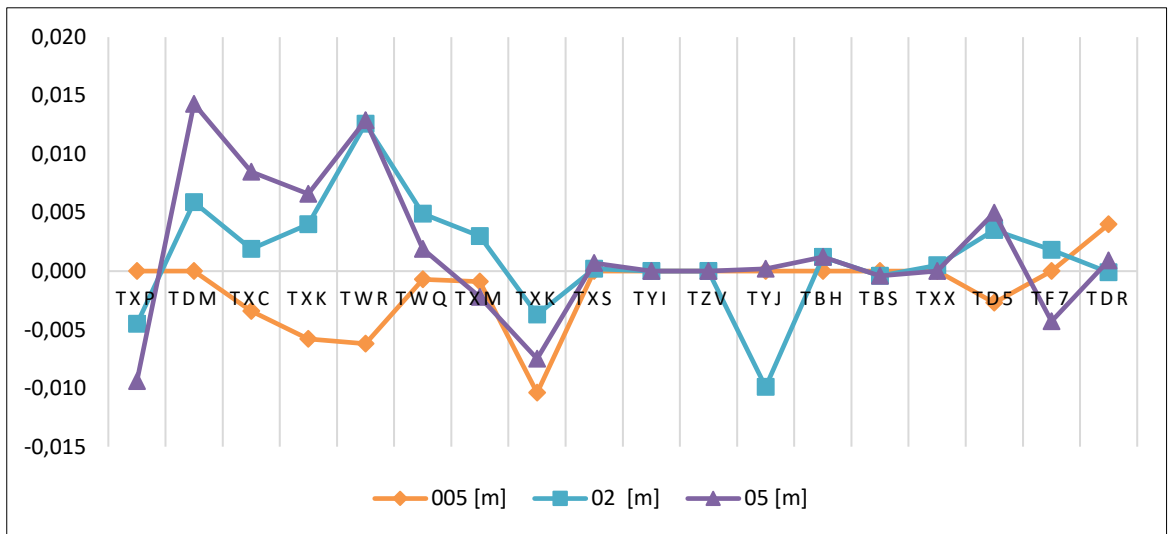
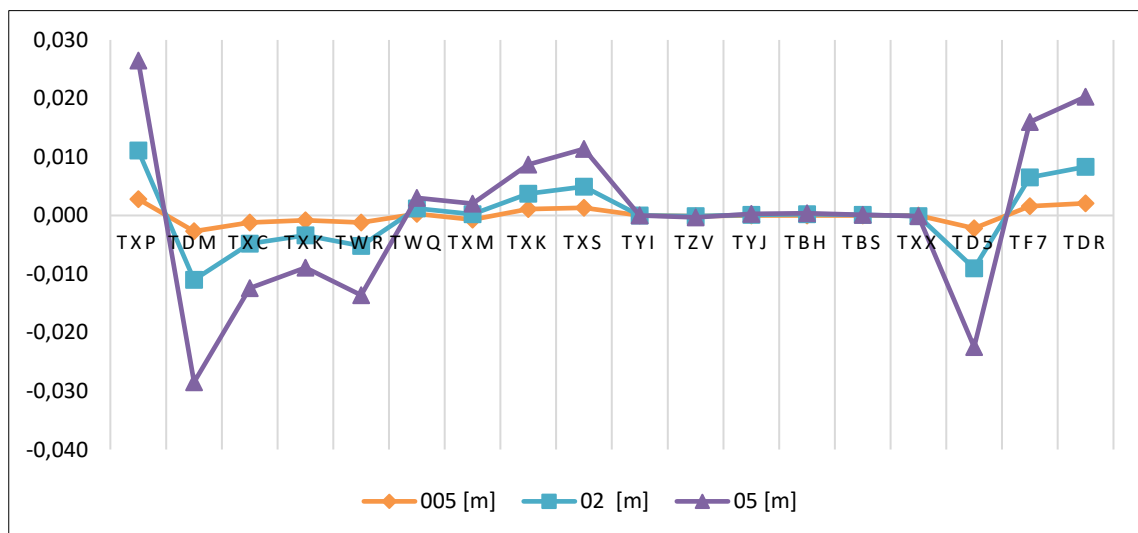


ABBILDUNG 56 ABWEICHUNG DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI ORTRA

Bei der MQI kommt es schon bei Testfall 1 zu größeren Abweichungen:

TABELLE 31 ÄUSSERE GEOMETRIE ABWEICHUNG MQI

Gebäude	Punkt	005 [m]	02 [m]	05 [m]	Zug [m]	Drehung [m]
1	TXP	0,003	0,011	0,027	-0,006	-0,028
1	TDM	-0,003	-0,011	-0,028	0,024	0,003
1	TXC	-0,001	-0,005	-0,012	-0,059	0,000
1	TXK	-0,001	-0,003	-0,009	0,000	-0,001
1	TWR	-0,001	-0,005	-0,014	0,006	-0,002
1	TWQ	0,000	0,001	0,003	-0,040	0,001
1	TXm	-0,001	0,000	0,002	-0,044	0,000
1	TXk	0,001	0,004	0,009	-0,004	-0,012
1	TXS	0,001	0,005	0,011	0,003	-0,014
2	TYi	0,000	0,000	0,000	-0,004	0,001
2	TZV	0,000	0,000	0,000	-0,266	0,026
2	TYJ	0,000	0,000	0,000	-0,243	0,017
2	TbH	0,000	0,000	0,000	0,019	0,004
2	TbS	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000
2	TXx	0,000	0,000	0,000	-0,004	-0,014
3	Td5	-0,002	-0,009	-0,023	0,051	0,005
3	Tf7	0,002	0,006	0,016	-0,346	-0,023
3	Tdr	0,002	0,008	0,020	-0,019	0,006



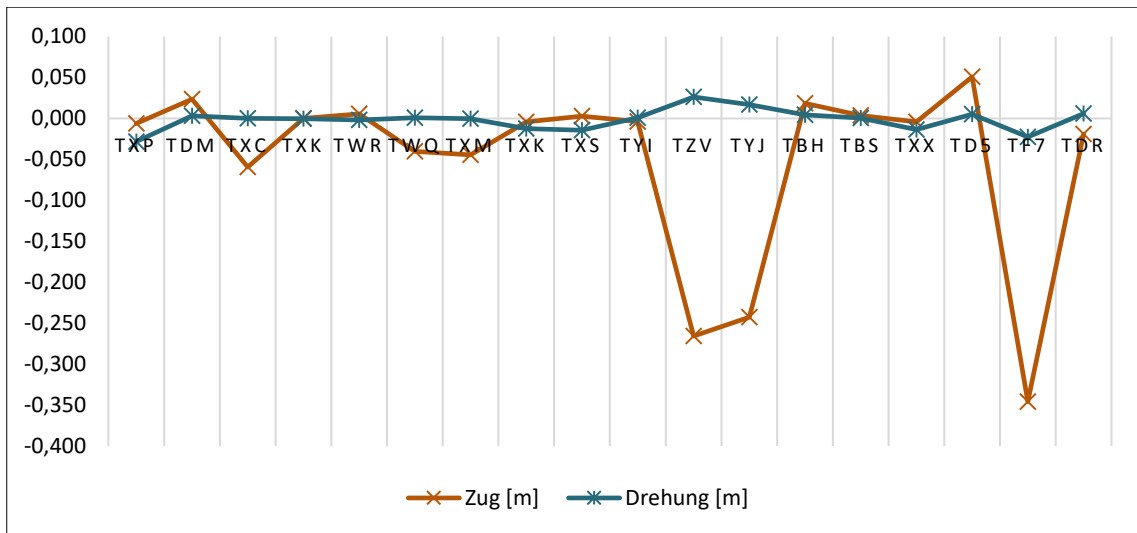


ABBILDUNG 57 ABWEICHUNG DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI MQI

Durch den Verlauf der Graphen wird beim Testfall 1 sehr deutlich wie sich der Lagefehler fast proportional auf die Äußere Geometrie auswirkt. Beim ORTRA Verfahren wird der Fehler stärker auf die gesamte Geometrie verteilt. Der Betrag der Abweichung ist im Testfall 1 im Durchschnitt bei dem ORTRA Verfahren auch wesentlich kleiner als nach einer MQI. Auch beim Polygonzugfehler verändert sich die äußere Geometrie bei der MQI sehr viel stärker als beim ORTRA Verfahren. Allerdings liegt er im Durchschnitt bei der MQI und beim ORTRA Verfahren bei zirka 6 cm. Es kommt jedoch bei der MQI zu Fehlern zwischen 20 und 30 cm, während im Gegenzug die maximale Differenz bei ORTRA bei 21,3 cm liegt. Beim globalen Lagefehler tut sich das ORTRA Verfahren sichtlich schwerer als die MQI. So liegt der Durchschnitt bei dem ORTRA Verfahren bei 17 cm und nach der MQI bei nur 0,9 cm.

	0,05 [m]	0,2 [m]	0,5 [m]	Zug	Drehung
σ ORTRA	0,003	0,005	0,006	0,071	0,032
σ MQI	0,001	0,006	0,014	0,112	0,013

Auch an den Standardabweichungen lässt sich ablesen wie die MQI beim Lagefehler eines einzelnen Punktes stetig ansteigt.

9. FAZIT

Um eine Homogenisierung von Netzen zu gewährleisten, muss man eine Verzerrung der Geometrie in Kauf nehmen. Interpolationsverfahren wirken sich dabei immer auch auf die Innere und die Äußere Geometrie aus. In dieser Arbeit wurde eines der gängigsten Interpolationsverfahren, die Multiquadratische Interpolation, dem Verfahren des Projekts KanU gegenübergestellt. Um einen Vergleich der beiden Methoden zu erzielen, wurde in dieser Arbeit die Verzerrung der Geometrie auf skalare Werte runter gebrochen und bei beiden Verfahren gegenübergestellt. Es sei zu bedenken, dass nie die absolute Lage oder die Genauigkeit der Transformation verglichen wurde. Auch andere Faktoren, wie zum Beispiel der Rechenaufwand oder Nachbarschaftstreue, die für die eine oder andere Anwendung sprechen, wurden nicht in Betracht gezogen.

Alle Testobjekte und Testfälle sollten die Realität widerspiegeln. Es kann sein, dass es bei anderen Objekten oder Gebieten zu abweichenden Ergebnissen kommt. Allerdings decken die Testfälle und die Testobjekte Trends und Tendenzen auf.

Nach 5 Testfällen an drei Gebäuden zeigt sich das Spannung auf beide Verfahren ähnliche Auswirkungen haben. Beide Verfahren unterscheiden sich meist nur geringfügig.

Während das ORTRA Verfahren schon bei sehr kleinen Lagefehlern die Strecken und Winkel verzerrt, zeigt es bei größer werdenden Spannung eine größere Stabilität beim Erhalt der Strecken. So wirken sich Spannungen auf die MQI fast direkt proportional auf Kantenlänge und Äußere Geometrie aus. Das ORTRA Verfahren hingegen verteilt Spannung über das gesamte Objekt. Die Innenwinkel werden von beiden Verfahren stark verändert. Vor allem das ORTRA Verfahren verzieht Winkel an manchen Stellen sehr. Besonders bei der Äußeren Geometrie bleibt das ORTRA Verfahren, im Gegensatz zur MQI, auch bei sehr großer Spannung sehr stabil.

So schneidet das ORTRA Verfahren vor allem bei Netzen mit größerer Spannung besser ab, da es stabiler ist und im Durchschnitt kleinere Verzerrungen vorweist. Allerdings lässt sich der Einfluss der MQI auf die Geometrie leichter voraussehen und planen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. **Bundesamt für Landestopografie Schweiz.** *Leitfaden für die Anwendung geometrischer Transformationsmethoden in der amtlichen Vermessung.* 2008.
2. **Niemeier, Wolfgang.** *Ausgleichsrechnung - Statistische Auswertemethoden.* 2008.
3. **Prof. Dr. Lothar, Georg und Prof. Strehle.** *Ausgleichsrechnung - Methode der kleinsten Quadrate.* s.l. : Vorlesungsskript Hochschule für angewandte Wissenschaften München, 2007.
4. **LDBV.** Gauß-Krüger- und UTM-Abbildung.
5. **Website der Adv.** [Online] <http://www.adv-online.de/Geodaetische-Grundlagen/>.
6. **Prof. Dr. Lothar, Georg.** *Geodätische Bezugssysteme - Grundlagen der Transformation.* s.l. : Vorlesungsskript Hochschule für angewandte Wissenschaften München, 2012.
7. **Glock und Joos.** *Leitfaden Bezugssystemwechsel auf ETRS89/UTM.* s.l. : Runder Tisch GIS e.V., 2016.
8. **Landesvermessung Sachsen.** [Online]
<http://www.landesvermessung.sachsen.de/inhalt/etrs/grund/grund.html>.
9. **Nießl und Glock.** *Konzept zur Umformung der "Angaben zum Gebäude"* unveröffentlicht. 2016.

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1 KOORDINATENREFERENZSYSTEM AUFBAU	3
ABBILDUNG 2 GK-STREIFEN IN DEUTSCHLAND	5
ABBILDUNG 3 UTM STREIFEN IN DEUTSCHLAND	7
ABBILDUNG 4 ÄHNLICHE ABBILDUNG	11
ABBILDUNG 5 AFFINE ABBILDUNG	12
ABBILDUNG 6 PSEUDOBEOBACHTUNGEN ORTRA AM BEISPIEL FLURSTÜCK	15
ABBILDUNG 7 LAGE LURCHINGEN IN GOOGLE MAPS.....	16
ABBILDUNG 8 (LINKS) ALLE FLURSTÜCKE UND GEBÄUDE IM TESTGEBIET ABBILDUNG 9 (RECHTS) ZOOM AUF ZENTRUM DES TESTGEBIETS.....	17
ABBILDUNG 10 LURCHING MIT NETZPUNKT WP2	18
ABBILDUNG 11 LURCHING MIT EINGEZEICHNETEN POLYGONZÜGEN UND ÜBERZEICHNETER VERSATZRICHTUNG	18
ABBILDUNG 12 ABBILDUNG DER DREI TESTGEBÄUDE	19
ABBILDUNG 13 RESIDUEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ, STARK VERLÄNGERT	25
ABBILDUNG 14 ORTRA-RESIDUEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ	26
ABBILDUNG 15 GEBÄUDE 1 MIT IDENTISCHEN PUNKTEN.....	27
ABBILDUNG 16 STRECKENDIFFERENZEN UNVERÄNDERTER DATENSATZ GEBÄUDE 1	29
ABBILDUNG 17 GEBÄUDE 1 MIT IDENTISCHEN PUNKTEN.....	30
ABBILDUNG 18 GRAPH DER WINKELDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ.....	32
ABBILDUNG 19 GRAPH DER DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ	34
ABBILDUNG 20 GEBÄUDE 2	35
ABBILDUNG 21 GRAPH STRECKENDIFFERENZ UNVERÄNDERTER DATENSATZ GEBÄUDE 2	37
ABBILDUNG 22 GRAPH WINKELDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	39
ABBILDUNG 23 GRAPH DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	41
ABBILDUNG 24 GEBÄUDE 3	42
ABBILDUNG 25 DIFFERENZ DER STRECKEN IN GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	43
ABBILDUNG 26 GRAPH DER DIFFERENZ DER INNENWINKEL IM GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	45
ABBILDUNG 27 GRAPH DER DIFFERENZ DER ÄUSSEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 3 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	46
ABBILDUNG 28 LAGEVERSATZ DES PUNKTES WP2	47

ABBILDUNG 29 IDENTISCHE PUNKTE HIGHLIGHT AUF WP2	48
ABBILDUNG 30 RESIDUEN BEI ORTRA BEI LAGEFEHLER 5CM	50
ABBILDUNG 31 RESIDUEN DER TRADITIONELLEN TRANSFORMATION BEI LAGEFEHLER 5 CM	50
ABBILDUNG 33 ECKE TXI MIT GROSSEM MASSSTAB	51
ABBILDUNG 32 GEBÄUDE 1 MIT ALLEN VERFAHREN.....	51
ABBILDUNG 34 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5CM.....	53
ABBILDUNG 35 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5CM.....	54
ABBILDUNG 36 GRAPH DER STRECKENDIFFERENZ BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5CM.....	54
ABBILDUNG 37 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	55
ABBILDUNG 38 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	57
ABBILDUNG 39 VERGLEICH DER STRECKENDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	58
ABBILDUNG 40 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	60
ABBILDUNG 41 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	61
ABBILDUNG 42 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 2 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	62
ABBILDUNG 43 VERGLEICH DER WINKELDIFFERENZEN BEI GEBÄUDE 3 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	63
ABBILDUNG 44 VERGLEICH DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	65
ABBILDUNG 45 GEBÄUDE 1 MIT ECKPUNKTEN UND NETZPUNKT WP2	66
ABBILDUNG 46 VERGLEICH DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5 CM UND UNVERÄNDERTEM DATENSATZ DER MQI MIT NACH ABSTAND SORTIERTEN PUNKTEN.....	66
ABBILDUNG 47 VERGLEICH DER RESIDUEN BEI EINEM LAGEFEHLER VON 20 CM.....	69
ABBILDUNG 48 RESIDUEN MIT LAGEFEHLER VON 20 CM UND VON 50 CM	72
ABBILDUNG 49 POLYGONZUG MIT ÜBERZEICHNETER VERSCHIEBUNGSRICHTUNG	74
ABBILDUNG 50 ÜBERSPITZTE DARSTELLUNG DER RESIDUEN NACH ORTRA BEI TESTFALL 2	75
ABBILDUNG 51 RESIDUEN NACH DER ORTRA TRANSFORMATION DES GEDREHTEN DATENSATZES	77
ABBILDUNG 52 ABWEICHUNGEN DER KANTENLÄNGE BEI ORTRA.....	81
ABBILDUNG 53 ABWEICHUNGEN DER KANTENLÄNGE BEI MQI.....	83
ABBILDUNG 54 ABWEICHUNGEN DER INNENWINKEL BEI ORTRA, OHNE AUSREISSER.....	87
ABBILDUNG 55 ABWEICHUNGEN DER INNENWINKEL BEI MQI, OHNE AUSREISSER.....	89
ABBILDUNG 56 ABWEICHUNG DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI ORTRA	92

ABBILDUNG 57 ABWEICHUNG DER ÄUSSEREN GEOMETRIE BEI MQI 94

TABELLENVERZEICHNISS

TABELLE 1 KERNMATRIX GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	27
TABELLE 2 STRECKEN DIFFERENZ IM GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ	28
TABELLE 3 INNENWIKEL GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	30
TABELLE 4 INNENWIKEL DIFFERENZ GEBÄUDE 1 UNVERÄNDERTER DATENSATZ	30
TABELLE 5 ÄUßERE GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ	33
TABELLE 6 DIFFERENZ ÄUßERE GEOMETRIE DES GEBÄUDES 1 IM UNVERÄNDERTEN DATENSATZ	33
TABELLE 7 KERNMATRIX GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ ZGEBÄUDE 2	35
TABELLE 8 STRECKEN DIFFERENZ IM GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ	36
TABELLE 9 INNENWIKEL GEBÄUDE 2 UNVERÄNDERTER DATENSATZ.....	38
TABELLE 10 DIFFERENZ INNENWINKEL IM GEBÄUDE 2 BEI UNVERÄNDERTEN DATENSATZ.....	39
TABELLE 11 STRECKEN ÄUßERE GEOMETRIE GEBÄUDE 2 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ	40
TABELLE 12 DIFFERENZ ÄUßERE GEOMETRIE GEBÄUDE 2 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ	40
TABELLE 13 KERNMATRIX GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	42
TABELLE 14 DIFFERENZ DER STRECKEN IN GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ	43
TABELLE 15 INNENWINKEL GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	44
TABELLE 16 DIFFERENZ DER INNENWINKEL IM GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	44
TABELLE 17 ÄUßERE GEOMETRIE GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ.....	45
TABELLE 18 DIFFERENZ DER ÄUßEREN GEOMETRIE GEBÄUDE 3 BEI UNVERÄNDERTEM DATENSATZ	45
TABELLE 19 SINGIFIKANZTEST DER PARAMTER BEI LAGEFEHLER VON 0,05M	49
TABELLE 20 STRECKEN DIFFERENZ BEI GEBÄUDE 1 MIT LAGEFEHLER 5CM	53
TABELLE 21 SINGIFIKANZTEST DER PARAMTER BEI LAGEFEHLER VON 0,20 M	68
TABELLE 22 SINGIFIKANZTEST DER PARAMTER BEI LAGEFEHLER VON 0,50 M	72
TABELLE 23 SINGIFIKANZTEST DER PARAMTER BEI LAGEFEHLER VON 0,50 M	75
TABELLE 24 INNENWINKEL ABWEICHUNGEN BEI ORTRA.....	86
TABELLE 25 INNENWINKELABWEICHUNG BEI DER MQI.....	88
TABELLE 26 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERNEZ MITTEL OHNE AUSREIßER.....	90
TABELLE 27INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERNEZ STANDARDABWEICHUNG OHNE AUSREIßER.....	90
TABELLE 28 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERNEZ MITTEL MIT AUSREIßER	90
TABELLE 29 INNENWINKEL ABWEICHUNGSDIFFERNEZ STANDARDABWEICHUNG MIT AUSREIßER.....	90
TABELLE 30 ÄUßERE GEOMETRIE ABWEICHUNG ORTRA	91
TABELLE 31 ÄUßERE GEOMETRIE ABWEICHUNG MQI	93

VERWENDETE SOFTWARE

Java Graticule 3D	Mit JaG3d wurden alle traditionellen Transformationen und Interpolationen durchgeführt
QGIS	Wurde dafür genutzt die Daten anzuzeigen und erste schnelle Analysen durchzuführen
Visual Studio	Diente als IDE bei der Entwicklung von Shape Konvertern
Autodesk AutoCAD	Mit diesem Programm wurden die Innenwinkel und Strecken gemessen
Microsoft Excel 365	Mit Excel wurden die Tabellen und Diagramme erstellt und ausgewertet
Microsoft Word 365	In Word wurde diese Arbeit erstellt.

ANHANG

Testfall 1: 5 cm

KERNMATRIX

Gebäude	Punkt [Von - Zu]	Distanz_	Distanz_	Δ Strecken	Δ Strecken [m]
		UTM [m]	UTM [m]	[m]	(GK - UTM)
(GK - UTM)					
1	TDM zu Tc6	15,172	15,169	0,007	0,010
1	TXP zu TDM	11,293	11,298	0,010	0,005
1	TXK zu TWO	3,699	3,699	0,002	0,002
1	TWR zu TWQ	3,402	3,398	-0,002	0,002
1	TWO zu TWR	0,885	0,879	-0,005	0,001
1	Tc6 zu TXC	2,252	2,248	-0,002	0,002
1	TXC zu TXK	6,268	6,270	0,006	0,004
1	TXm zu TXk	3,528	3,522	-0,003	0,003
1	TXk zu TXl	6,210	6,217	0,011	0,004
1	TWQ zu TXm	3,763	3,761	0,001	0,002
1	TXS zu TXP	15,725	15,722	0,007	0,010
1	TXl zu TXS	1,497	1,502	0,006	0,001
2	TYD zu TbH	0,114	0,114	0,000	0,000
2	TbH zu TbS	21,281	21,277	0,009	0,013
2	TXx zu Td8	7,416	7,409	-0,004	0,004
2	TbS zu TXx	22,601	22,600	0,010	0,012
2	TYJ zu TYD	7,978	7,976	0,003	0,006
2	TYm zu TYi	17,386	17,376	0,018	0,028
2	TZV zu TYJ	4,868	4,862	-0,005	0,001
2	Td8 zu TYm	0,110	0,110	0,000	0,000
2	TYi zu TYq	5,005	5,005	0,003	0,003
2	TYq zu TZV	17,009	17,006	0,007	0,011
3	TcV zu TcT	8,248	8,241	0,006	0,012
3	Tdr zu TcV	10,836	10,839	0,005	0,002
3	TcT zu Td3	6,370	6,370	0,000	0,000
3	Td3 zu Td5	4,460	4,466	0,006	0,000
3	Tf7 zu Tdr	4,137	4,138	0,002	0,001
3	Td5 zu Tf7	4,132	4,136	0,004	0,000

INNENWINKEL

Gebäude	Pkt	Winkel	UTM	Winkel	UTM	Δ (GK – UTM)	Δ (GK – UTM)
		[gon]		[gon]		[gon]	[gon]
		ORTRA		MQI		ORTRA	MQI
1	TXP	99,543		99,556		-0,012	-0,024
1	TDM	99,316		99,313		0,024	0,026
1	Tc6	302,201		302,2076		-0,019	-0,026
1	TXC	97,767		97,7427		0,001	0,025
1	TXK	100,300		100,3651		0,041	-0,024
1	TWO	292,900		292,4246		-0,450	0,025
1	TWR	165,816		166,3486		0,525	-0,007
1	TWQ	140,511		140,4119		-0,117	-0,018
1	TXm	140,181		140,2305		0,060	0,011
1	TXk	161,377		161,3269		-0,037	0,014
1	TXI	297,728		297,7585		0,005	-0,025
1	TXS	102,359		102,315		-0,019	0,025
2	Td8	80,736		78,1924		-2,478	0,065
2	TYm	218,862		221,4513		2,576	-0,013
2	TYi	99,975		99,9849		-0,107	-0,117
2	TYq	199,861		199,8705		0,019	0,010
2	TZV	300,512		300,4965		0,082	0,098
2	TYJ	91,914		91,9879		-0,006	-0,080
2	TYD	211,598		209,0303		-2,564	0,003
2	TbH	96,033		98,519		2,540	0,054
2	TbS	100,180		100,2066		-0,032	-0,059
2	TXx	200,329		200,2806		-0,029	0,019
3	Td5	99,869		99,7459		0,045	0,169
3	Tf7	199,518		199,5184		-0,002	-0,003
3	Tdr	100,368		100,4162		-0,051	-0,099
3	TcV	99,826		99,8022		0,058	0,082
3	TcT	100,218		100,3012		-0,062	-0,145
3	Td3	200,202		200,2162		0,011	-0,003

ÄUßERE GEOMETRIE

Gebäude	Pkt	Distanz [m]	UTM [m]	Distanz [m]	UTM [m]	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]
1	TXP	3,8128		3,8138		-0,027	-0,028
1	TDM	5,8652		5,8633		0,004	0,006
1	Tc6	x		x		x	x
1	TXC	4,1129		4,1108		0,001	0,003
1	TXK	3,8597		3,8587		-0,039	-0,038
1	TWO	x		x		x	x
1	TWR	7,6138		7,6182		0,010	0,005
1	TWQ	6,0964		6,0961		0,003	0,004
1	TXm	5,9113		5,9103		0,003	0,004
1	TXk	5,0484		5,0578		0,011	0,002
1	TXl	x		x		x	x
1	TXS	3,6331		3,6355		0,003	0,001
2	Td8	0		0		0,000	0,000
2	TYm	0		0		0,000	0,000
2	TYi	-0,0025		0,0014		0,004	0,000
2	TYq	x				x	x
2	TZV	21,9703		21,9714		0,018	0,017
2	TYJ	21,4066		21,4059		0,015	0,015
2	TYD	x		x		x	x
2	TbH	2,8873		2,8857		0,000	0,002
2	TbS	0,8496		0,8531		0,004	0,001
2	TXx	1,1685		1,1673		0,000	0,002
3	Td5	3,9877		3,9866		0,058	0,059
3	Tf7	7,1394		7,1449		0,007	0,002
3	Tdr	0,012		0,0088		-0,005	-0,002
3	TcV	0		0		0,000	0,000
3	TcT	0		0		0,000	0,000
3	Td3	0		0		0,000	0,000

Testfall 1: 20 cm

KERNMATRIX

Gebäude	Punkt [Von - Zu]	Distanz_	Distanz_	ΔStrecken	Δ Strecken [m]
		UTM	[m] UTM	[m]	(GK - UTM)
1	TDM zu Tc6	15,172	15,170	0,007	0,009
1	TXP zu TDM	11,292	11,298	0,011	0,005
1	TXK zu TWO	3,698	3,698	0,003	0,004
1	TWR zu TWQ	3,395	3,401	0,005	-0,001
1	TWO zu TWR	0,877	0,879	0,003	0,000
1	Tc6 zu TXC	2,252	2,247	-0,002	0,003
1	TXC zu TXK	6,268	6,270	0,005	0,004
1	TXm zu TXk	3,519	3,520	0,006	0,005
1	TXk zu TXl	6,220	6,217	0,001	0,004
1	TWQ zu TXm	3,763	3,761	0,001	0,002
1	TXS zu TXP	15,716	15,722	0,016	0,010
1	TXl zu TXS	1,497	1,502	0,006	0,000
2	TYD zu TbH	0,112	0,114	0,002	0,000
2	TbH zu TbS	21,283	21,278	0,007	0,011
2	TXx zu Td8	7,416	7,408	-0,004	0,004
2	TbS zu TXx	22,601	22,600	0,010	0,012
2	TYJ zu TYD	7,979	7,976	0,003	0,006
2	TYm zu TYi	17,386	17,376	0,018	0,028
2	TZV zu TYJ	4,870	4,863	-0,007	0,000
2	Td8 zu TYm	0,110	0,110	0,000	0,000
2	TYi zu TYq	5,005	5,005	0,003	0,003
2	TYq zu TZV	17,009	17,006	0,007	0,011
3	TcV zu TcT	8,240	8,215	0,014	0,038
3	Tdr zu TcV	10,840	10,849	0,001	-0,008
3	TcT zu Td3	6,374	6,381	-0,004	-0,011
3	Td3 zu Td5	4,473	4,474	-0,008	-0,008
3	Tf7 zu Tdr	4,147	4,140	-0,008	-0,001
3	Td5 zu Tf7	4,132	4,140	0,004	-0,004

INNENWINKEL

Gebäude	Pkt	Winkel [gon]	UTM [gon]	Winkel [gon]	UTM [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]
1	TXP	99,642	99,648	99,648	99,648	-0,111	-0,117
1	TDM	99,260	99,260	99,2216	99,2216	0,080	0,118
1	Tc6	302,201	302,201	302,299	302,299	-0,019	-0,118
1	TXC	97,666	97,666	97,6578	97,6578	0,102	0,109
1	TXK	100,573	100,573	100,4494	100,4494	-0,232	-0,109
1	TWO	291,882	291,882	292,3409	292,3409	0,567	0,108
1	TWR	166,803	166,803	166,3833	166,3833	-0,462	-0,042
1	TWQ	140,370	140,370	140,4617	140,4617	0,024	-0,067
1	TXm	140,275	140,275	140,1776	140,1776	-0,034	0,063
1	TXk	161,289	161,289	161,2903	161,2903	0,052	0,050
1	TXl	297,722	297,722	297,8492	297,8492	0,011	-0,116
1	TXS	102,316	102,316	102,2213	102,2213	0,023	0,119
2	Td8	80,736	80,736	78,1944	78,1944	-2,478	0,063
2	TYm	218,862	218,862	221,4514	221,4514	2,576	-0,013
2	TYi	99,975	99,975	99,9814	99,9814	-0,107	-0,114
2	TYq	199,861	199,861	199,8727	199,8727	0,019	0,007
2	TZV	300,640	300,640	300,4963	300,4963	-0,046	0,098
2	TYJ	91,866	91,866	91,9738	91,9738	0,043	-0,066
2	TYD	206,018	206,018	209,0329	209,0329	3,016	0,000
2	TbH	101,563	101,563	98,5108	98,5108	-2,989	0,062
2	TbS	100,151	100,151	100,2052	100,2052	-0,003	-0,058
2	TXx	200,329	200,329	200,2811	200,2811	-0,029	0,019
3	Td5	99,617	99,617	99,258	99,258	0,298	0,657
3	Tf7	199,490	199,490	199,5269	199,5269	0,026	-0,011
3	Tdr	100,511	100,511	100,6948	100,6948	-0,194	-0,378
3	TcV	99,800	99,800	99,577	99,577	0,084	0,307
3	TcT	100,324	100,324	100,7128	100,7128	-0,168	-0,557
3	Td3	200,258	200,258	200,2304	200,2304	-0,045	-0,018

ÄUßERE GEOMETRIE

Gebäude	Pkt	Distanz [m]	UTM	Distanz [m]	UTM	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]
1	TXP	3,8083		3,8221		-0,022	-0,036
1	TDM	5,8711		5,855		-0,002	0,014
1	Tc6	x		x		x	x
1	TXC	4,1182		4,1072		-0,004	0,007
1	TXK	3,8695		3,8561		-0,049	-0,035
1	TWO	x		x		x	x
1	TWR	7,6326		7,6142		-0,009	0,009
1	TWQ	6,102		6,097		-0,002	0,003
1	TXm	5,9152		5,9112		-0,001	0,003
1	TXk	5,0551		5,0604		0,004	-0,001
1	TXl	x		x		x	x
1	TXS	3,6333		3,6391		0,003	-0,003
2	Td8	0		0		0,000	0,000
2	TYm	0		0		0,000	0,000
2	TYi	-0,0025		0,0014		0,004	0,000
2	TYq	x		x		x	x
2	TZV	21,9703		21,9714		0,018	0,017
2	TYJ	21,3967		21,406		0,025	0,015
2	TYD	x		x		x	x
2	TbH	2,8885		2,8859		-0,001	0,002
2	TbS	0,8492		0,8532		0,005	0,001
2	TXx	1,169		1,1672		0,000	0,002
3	Td5	3,9939		3,9798		0,052	0,066
3	Tf7	7,1412		7,1498		0,006	-0,003
3	Tdr	0,0079		0,015		-0,001	-0,008
3	TcV	0		0		0,000	0,000
3	TcT	0		0		0,000	0,000
3	Td3	0		0		0,000	0,000

Testfall 1: 50 cm

KERNMATRIX

Gebäude	Punkt [Von - Zu]	Distanz_	Distanz_	ΔStrecken	Δ Strecken [m]
		UTM	[m] UTM	[m]	(GK - UTM)
(GK - UTM)					
1	TDM zu Tc6	15,164	15,172	0,015	0,007
1	TXP zu TDM	11,302	11,296	0,001	0,007
1	TXK zu TWO	3,699	3,695	0,002	0,007
1	TWR zu TWQ	3,395	3,405	0,005	-0,005
1	TWO zu TWR	0,886	0,880	-0,007	0,000
1	Tc6 zu TXC	2,252	2,245	-0,002	0,005
1	TXC zu TXK	6,269	6,271	0,005	0,003
1	TXm zu TXk	3,528	3,516	-0,003	0,009
1	TXk zu TXl	6,221	6,217	0,000	0,004
1	TWQ zu TXm	3,763	3,761	0,001	0,002
1	TXS zu TXP	15,716	15,723	0,016	0,009
1	TXl zu TXS	1,496	1,503	0,006	-0,001
2	TYD zu TbH	0,102	0,114	0,012	0,000
2	TbH zu TbS	21,283	21,282	0,007	0,008
2	TXx zu Td8	7,416	7,408	-0,004	0,004
2	TbS zu TXx	22,601	22,599	0,010	0,012
2	TYJ zu TYD	7,979	7,976	0,003	0,006
2	TYm zu TYi	17,386	17,376	0,018	0,028
2	TZV zu TYJ	4,868	4,864	-0,005	-0,001
2	Td8 zu TYm	0,110	0,110	0,000	0,000
2	TYi zu TYq	5,005	5,005	0,003	0,003
2	TYq zu TZV	17,009	17,005	0,007	0,011
3	TcV zu TcT	8,222	8,163	0,031	0,091
3	Tdr zu TcV	10,859	10,871	-0,018	-0,030
3	TcT zu Td3	6,384	6,403	-0,013	-0,033
3	Td3 zu Td5	4,489	4,490	-0,023	-0,024
3	Tf7 zu Tdr	4,168	4,144	-0,029	-0,005
3	Td5 zu Tf7	4,123	4,149	0,013	-0,013

INNENWINKEL

Gebäude	Pkt	Winkel [gon]	UTM [gon]	Winkel [gon]	UTM [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]
1	TXP	99,686		99,836		-0,155	-0,304
1	TDM	99,169		99,0424		0,170	0,297
1	Tc6	302,005		302,4785		0,176	-0,297
1	TXC	97,847		97,4897		-0,079	0,278
1	TXK	100,503		100,6161		-0,162	-0,275
1	TWO	292,193		292,1748		0,256	0,274
1	TWR	166,664		166,4535		-0,323	-0,112
1	TWQ	140,370		140,5589		0,024	-0,165
1	TXm	140,181		140,0697		0,060	0,171
1	TXk	161,281		161,2186		0,060	0,122
1	TXI	298,248		298,0313		-0,515	-0,298
1	TXS	101,852		102,0312		0,488	0,309
2	Td8	80,736		78,1986		-2,478	0,059
2	TYm	218,862		221,4515		2,576	-0,013
2	TYi	99,975		99,9741		-0,107	-0,107
2	TYq	199,861		199,8774		0,019	0,003
2	TZV	300,512		300,4959		0,082	0,098
2	TYJ	91,994		91,9858		-0,085	-0,078
2	TYD	207,135		209,0376		1,899	-0,004
2	TbH	100,446		98,4948		-1,873	0,078
2	TbS	100,151		100,2022		-0,003	-0,055
2	TXx	199,671		200,2822		0,629	0,018
3	Td5	99,255		98,298		0,659	1,617
3	Tf7	199,557		199,5428		-0,041	-0,027
3	Tdr	100,692		101,2402		-0,375	-0,923
3	TcV	99,628		99,1383		0,257	0,746
3	TcT	100,709		101,5124		-0,553	-1,356
3	Td3	200,159		200,2682		0,054	-0,055

ÄUßERE GEOMETRIE

Gebäude	Pkt	Distanz [m]	UTM	Distanz [m]	UTM	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]
1	TXP	3,8034		3,8375		-0,018	-0,052
1	TDM	5,8795		5,8375		-0,011	0,031
1	Tc6	x		x		x	x
1	TXC	4,1248		4,0996		-0,011	0,015
1	TXK	3,8721		3,8506		-0,051	-0,030
1	TWO	x		x		x	x
1	TWR	7,6329		7,6058		-0,009	0,018
1	TWQ	6,099		6,0988		0,001	0,001
1	TXm	5,91		5,913		0,004	0,001
1	TXk	5,0513		5,0654		0,008	-0,006
1	TXl	x		x		x	x
1	TXS	3,6338		3,6456		0,002	-0,010
2	Td8	0		0		0,000	0,000
2	TYm	0		0		0,000	0,000
2	TYi	-0,0025		0,0014		0,004	0,000
2	TYq	x		x		x	x
2	TZV	21,9703		21,9712		0,018	0,017
2	TYJ	21,4068		21,4062		0,014	0,015
2	TYD	x		x		x	x
2	TbH	2,8885		2,8861		-0,001	0,002
2	TbS	0,8492		0,8532		0,005	0,001
2	TXx	1,1685		1,1672		0,000	0,002
3	Td5	3,9954		3,9663		0,050	0,079
3	Tf7	7,1351		7,1593		0,012	-0,013
3	Tdr	0,0089		0,027		-0,002	-0,020
3	TcV	0		0		0,000	0,000
3	TcT	0		0		0,000	0,000
3	Td3	0		0		0,000	0,000

Testfall 2: Polygonzug

KERNMATRIX

Gebäude	Punkt [Von - Zu]	Distanz_	Distanz_	Δ Strecken	Δ Strecken
		UTM [m]	UTM [m]	[m]	[m]
				(GK - UTM)	(GK - UTM)
1	TDM zu Tc6	15,105	15,070	0,074	0,109
1	TXP zu TDM	11,247	11,293	0,056	0,010
1	TXK zu TWO	3,688	3,701	0,014	0,001
1	TWR zu TWQ	3,374	3,384	0,026	0,016
1	TWO zu TWR	0,877	0,874	0,003	0,006
1	Tc6 zu TXC	2,241	2,251	0,009	-0,001
1	TXC zu TXK	6,245	6,236	0,029	0,038
1	TXm zu TXk	3,508	3,506	0,018	0,019
1	TXk zu TXl	6,189	6,161	0,032	0,060
1	TWQ zu TXm	3,740	3,759	0,023	0,005
1	TXS zu TXP	15,620	15,523	0,112	0,209
1	TXl zu TXS	1,505	1,499	-0,003	0,004
2	TYD zu TbH	0,122	0,114	-0,008	0,000
2	TbH zu TbS	21,191	21,169	0,099	0,120
2	TXx zu Td8	7,414	7,409	-0,002	0,003
2	TbS zu TXx	22,635	22,551	-0,024	0,061
2	TYJ zu TYD	7,927	7,936	0,055	0,046
2	TYm zu TYi	17,173	17,055	0,232	0,349
2	TZV zu TYJ	4,843	4,821	0,020	0,042
2	Td8 zu TYm	0,102	0,110	0,008	0,001
2	TYi zu TYq	4,888	4,948	0,121	0,060
2	TYq zu TZV	17,040	16,863	-0,023	0,154
3	TcV zu TcT	8,231	8,338	0,022	-0,085
3	Tdr zu TcV	10,698	10,687	0,143	0,155
3	TcT zu Td3	6,329	6,331	0,042	0,039
3	Td3 zu Td5	4,236	4,449	0,230	0,017
3	Tf7 zu Tdr	4,122	4,167	0,017	-0,028
3	Td5 zu Tf7	4,147	4,160	-0,011	-0,024

INNENWINKEL

Gebäude	Pkt	Winkel	UTM	Winkel	UTM	Δ (GK – UTM)	Δ (GK – UTM)
		[gon]		[gon]		[gon]	[gon]
		ORTRA		MQI		ORTRA	MQI
1	TXP	99,751		100,061		-0,219	-0,529
1	TDM	99,167		98,7891		0,173	0,550
1	Tc6	302,356		302,2178		-0,174	-0,036
1	TXC	97,602		97,6508		0,166	0,116
1	TXK	100,241		100,3527		0,100	-0,012
1	TWO	291,722		292,3835		0,727	0,066
1	TWR	166,964		166,188		-0,622	0,153
1	TWQ	140,691		140,5253		-0,296	-0,131
1	TXm	140,139		140,4717		0,102	-0,231
1	TXk	161,235		161,2045		0,106	0,136
1	TXl	298,314		297,7676		-0,580	-0,034
1	TXS	101,820		102,3883		0,520	-0,048
2	Td8	74,025		77,6309		4,233	0,627
2	TYm	224,537		221,2561		-3,099	0,182
2	TYi	101,414		101,8883		-1,546	-2,021
2	TYq	199,901		200,055		-0,020	-0,175
2	TZV	297,813		298,9986		2,782	1,596
2	TYJ	94,129		93,3217		-2,221	-1,414
2	TYD	284,260		208,9394		-75,227	0,094
2	TbH	22,756		97,3356		75,817	1,238
2	TbS	101,102		101,2412		-0,954	-1,094
2	TXx	200,064		199,3765		0,236	0,923
3	Td5	99,524		99,9565		0,390	-0,042
3	Tf7	198,977		199,3284		0,538	0,187
3	Tdr	100,133		100,6744		0,184	-0,358
3	TcV	99,336		100,371		0,548	-0,487
3	TcT	100,132		99,4937		0,024	0,662
3	Td3	201,897		200,176		-1,685	0,037

ÄUßERE GEOMETRIE

Gebäude	Pkt	Distanz [m]	UTM	Distanz [m]	UTM	Δ (GK - UTM) [m]	Δ (GK - UTM) [m]
1	TXP	3,7952		3,8047		-0,009	-0,019
1	TDM	5,857		5,8897		0,012	-0,021
1	Tc6	x		x		x	x
1	TXC	4,1048		4,0526		0,009	0,061
1	TXK	3,8403		3,8596		-0,019	-0,039
1	TWO	x		x		x	x
1	TWR	7,5977		7,625		0,026	-0,001
1	TWQ	6,0678		6,0557		0,032	0,044
1	TXm	5,8675		5,8665		0,047	0,047
1	TXk	5,0312		5,0524		0,028	0,007
1	TXl	x		x		x	x
1	TXS	3,6129		3,6372		0,023	-0,001
2	Td8	0		0		0,000	0,000
2	TYm	0		0		0,000	0,000
2	TYi	-0,0449		-0,0024		0,046	0,004
2	TYq	x		x		x	x
2	TZV	21,7575		21,7059		0,231	0,283
2	TYJ	21,2715		21,1632		0,150	0,258
2	TYD	x		x		x	x
2	TbH	2,8171		2,9043		0,071	-0,017
2	TbS	0,8185		0,8566		0,035	-0,003
2	TXx	1,2092		1,1629		-0,040	0,006
3	Td5	3,7955		4,0396		0,250	0,006
3	Tf7	7,0331		6,7976		0,114	0,349
3	Tdr	0,0648		-0,0125		-0,058	0,019
3	TcV	0		0		0,000	0,000
3	TcT	0		0		0,000	0,000
3	Td3	0		0		0,000	0,000

Testfall 3: Globaler Drehung

KERNMATRIX

Gebäude	Punkt [Von - Zu]	Distanz_	Distanz_	Δ Strecken	Δ Strecken
		UTM [m]	UTM [m]	[m]	[m]
				(GK - UTM)	(GK - UTM)
1	TDM zu Tc6	15,164	15,172	0,014	0,007
1	TXP zu TDM	11,294	11,267	0,009	0,036
1	TXK zu TWO	3,699	3,698	0,002	0,004
1	TWR zu TWQ	3,395	3,395	0,005	0,005
1	TWO zu TWR	0,877	0,879	0,003	0,001
1	Tc6 zu TXC	2,242	2,248	0,008	0,002
1	TXC zu TXK	6,268	6,271	0,005	0,003
1	TXm zu TXk	3,514	3,523	0,011	0,002
1	TXk zu TXl	6,221	6,218	0,000	0,003
1	TWQ zu TXm	3,764	3,757	0,000	0,006
1	TXS zu TXP	15,717	15,723	0,015	0,009
1	TXl zu TXS	1,497	1,498	0,006	0,004
2	TYD zu TbH	0,114	0,114	0,000	0,000
2	TbH zu TbS	21,289	21,174	0,001	0,116
2	TXx zu Td8	7,408	7,404	0,004	0,008
2	TbS zu TXx	22,613	22,616	-0,002	-0,005
2	TYJ zu TYD	7,981	7,990	0,001	-0,009
2	TYm zu TYi	17,200	17,053	0,204	0,351
2	TZV zu TYJ	4,868	4,827	-0,005	0,036
2	Td8 zu TYm	0,102	0,109	0,008	0,002
2	TYi zu TYq	5,024	5,014	-0,016	-0,006
2	TYq zu TZV	17,031	17,045	-0,015	-0,029
3	TcV zu TcT	8,216	8,266	0,037	-0,013
3	Tdr zu TcV	10,829	10,780	0,012	0,061
3	TcT zu Td3	6,367	6,312	0,004	0,058
3	Td3 zu Td5	4,458	4,424	0,008	0,041
3	Tf7 zu Tdr	4,125	4,103	0,014	0,036
3	Td5 zu Tf7	4,123	4,095	0,013	0,040

INNENWINKEL

Gebäude	Pkt	Winkel [gon]	UTM [gon]	Winkel [gon]	UTM [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]	Δ (GK – UTM) [gon]
1	TXP	99,555	99,482	99,482	99,482	-0,023	0,049
1	TDM	99,300	99,437	99,437	99,437	0,040	-0,097
1	Tc6	302,318	302,059	302,059	302,059	-0,137	0,122
1	TXC	97,677	97,881	97,881	97,881	0,090	-0,114
1	TXK	100,401	100,224	100,224	100,224	-0,061	0,117
1	TWO	292,054	292,556	292,556	292,556	0,395	-0,107
1	TWR	166,803	166,321	166,321	166,321	-0,462	0,020
1	TWQ	140,202	140,313	140,313	140,313	0,193	0,081
1	TXm	140,290	140,242	140,242	140,242	-0,049	-0,001
1	TXk	161,341	161,413	161,413	161,413	0,000	-0,073
1	TXl	297,824	297,671	297,671	297,671	-0,091	0,063
1	TXS	102,236	102,400	102,400	102,400	0,104	-0,060
2	Td8	74,277	78,282	78,282	78,282	3,981	-0,024
2	TYm	225,801	221,832	221,832	221,832	-4,363	-0,393
2	TYi	100,948	100,213	100,213	100,213	-1,080	-0,345
2	TYq	198,956	199,951	199,951	199,951	0,924	-0,071
2	TZV	300,300	300,037	300,037	300,037	0,294	0,558
2	TYJ	92,152	92,541	92,541	92,541	-0,244	-0,633
2	TYD	211,359	208,961	208,961	208,961	-2,326	0,072
2	TbH	95,998	97,958	97,958	97,958	2,576	0,615
2	TbS	100,237	100,275	100,275	100,275	-0,090	-0,127
2	TXx	199,972	199,951	199,951	199,951	0,328	0,349
3	Td5	100,039	101,542	101,542	101,542	-0,124	-1,627
3	Tf7	199,365	199,485	199,485	199,485	0,151	0,031
3	Tdr	100,261	99,267	99,267	99,267	0,056	1,050
3	TcV	100,023	100,647	100,647	100,647	-0,139	-0,763
3	TcT	100,055	98,866	98,866	98,866	0,101	1,290
3	Td3	200,258	200,194	200,194	200,194	-0,045	0,019

ÄUßERE GEOMETRIE

Gebäude	Pkt	Distanz UTM		Δ (GK - UTM)	
		[m]	[m]	[m]	[m]
		ORTRA	MQI	ORTRA	MQI
1	TXP	3,800	3,783	-0,014	0,003
1	TDM	5,862	5,869	0,007	0,000
1	Tc6	x	x	x	x
1	TXC	4,115	4,112	-0,001	0,002
1	TXK	3,859	3,859	-0,039	-0,038
1	TWO	x	x	x	x
1	TWR	7,623	7,618	0,001	0,006
1	TWQ	6,094	6,097	0,006	0,003
1	TXm	5,913	5,911	0,001	0,003
1	TXk	5,058	5,044	0,001	0,015
1	TXl	x	x	x	x
1	TXS	3,635	3,620	0,001	0,016
2	Td8	0,000	0,000	0,000	0,000
2	TYm	0,000	0,000	0,000	0,000
2	TYi	0,045	0,002	-0,044	-0,001
2	TYq	x	x	x	x
2	TZV	22,021	21,998	-0,032	-0,009
2	TYJ	21,451	21,423	-0,030	-0,002
2	TYD	x	x	x	x
2	TbH	2,999	2,890	-0,111	-0,002
2	TbS	0,851	0,854	0,003	0,000
2	TXx	1,157	1,154	0,012	0,015
3	Td5	3,984	3,994	0,062	0,052
3	Tf7	7,138	7,121	0,009	0,026
3	Tdr	0,008	0,013	-0,002	-0,006
3	TcV	0	0	0,000	0,000
3	TcT	0	0	0,000	0,000
3	Td3	0	0	0,000	0,000

DATENANHANG

1. Bachelorarbeit
2. Präsentation
3. Koordinatenlisten
 - 3.1. Rohdatensatz in GK
 - 3.2. Unveränderter Datensatz in UTM
 - 3.2.1. MQI
 - 3.2.2. ORTRA
 - 3.3. Testfall 1
 - 3.3.1. 5cm
 - 3.3.1.1. MQI
 - 3.3.1.2. ORTRA
 - 3.3.2. 20 cm
 - 3.3.2.1. MQI
 - 3.3.2.2. ORTRA
 - 3.3.3. 50 cm
 - 3.3.3.1. MQI
 - 3.3.3.2. ORTRA
 - 3.4. Testfall 2
 - 3.4.1.1. MQI
 - 3.4.1.2. ORTRA
 - 3.5. Testfall 3
 - 3.5.1.1. MQI
 - 3.5.1.2. ORTRA
4. Shape zu JaG 3D Konverter
 - 4.1.1. Debug-Exe
 - 4.1.2. Release Exe
 - 4.1.3. Projekt Ordner mit Quellcode

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Hiermit erkläre ich gemäß § 35 Abs. 7 der Rahmenprüfungsordnung für Fachhochschulen in Bayern, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel:

„Vergleich der Auswirkungen von Netzspannungen auf die Geometrie von Gebäuden beim Datumsübergang mit dem ORTRA-Verfahren und der klassischen Transformation mit Interpolation“

selbständig verfasst, noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt, keine anderen als die angegebenen Quellen oder Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate als solche gekennzeichnet habe.

Ort, Datum

Unterschrift