

Master Thesis

im Rahmen des

Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“
(UNIGIS MSc) am Interfakultären Fachbereich für GeoInformatik (Z_GIS)
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

„Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95“

Stadt Winterthur

vorgelegt von

Markus Brunner

U1477, UNIGIS MSc Jahrgang 2010

Zur Erlangung des Grades

„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:

Ao. Univ. Prof. Dr. Josef Strobl

Zürich, 22. April 2013

Eigenständigkeitserklärung

"Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden sind entsprechend gekennzeichnet."

Zürich, 22. April 2013

Markus Brunner

Kurzfassung

Der Bezugsrahmen aus der Landesvermessung 1903 ist eine zentrale Grundlage für die Amtliche Vermessung und damit für die meisten Geodaten. Die Schweiz plant 2016 einen neuen Bezugsrahmen aus der Landesvermessung 1995 in die Amtliche Vermessung und 2020 bei den restlichen offiziellen Geodaten ein zu führen. Von diesem Bezugsrahmen sind also grosse Teile der Geodaten betroffen.

Diese Arbeit zeigt wie dieser Bezugsrahmenwechsel für die Daten der Amtlichen Vermessung über das Stadtgebiet von Winterthur realisiert werden kann. Hauptbestandteil dieser Arbeit ist ein Konzept für den Bezugsrahmenwechsel für die Stadt Winterthur. Ein weiterer Bestandteil dieser Arbeit ist die Umsetzung der ersten Schritte dieses Konzepts in einem sogenannten Pilotgebiet von Winterthur. Bei den ersten Schritten handelt es sich um die Homogenisierung der Amtlichen Vermessungsdaten als vorbereitende Massnahme für den Bezugsrahmenwechsel. Hauptaugenmerk beim Test im Pilotgebiet sind Effizienz und Praxistauglichkeit der im Konzept beschlossenen Massnahmen.

Abstract

The reference frame of the national survey (1903) is the main basis for the official cadastral surveying and therefore, for the most of the geo-data. 2016, in Switzerland there is the plan to change the reference frame to the national survey of 1995. Furthermore, until 2020 all of the official geo data will be transformed into the new reference frame.

On the example Winterthur, the master thesis describes, how the change process of the reference frames of the cadastral surveying data can be done. The main part of the work is the description of the concept of the process. Furthermore, on a pilot area the realization of the process is described. Particularly, the first steps in the process, such as homogenization of the surveying data, are shown. The main focus is thereby on efficiency and practicability of the defined concept.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
1. Einführung	1
1.1. Ausgangslage.....	2
1.1.1. Bezugsrahmenwechsel Schweiz.....	2
1.1.2. Bezugsrahmenwechsel Winterthur	3
1.2. Fragestellung	5
1.3. Aufbau der Arbeit.....	7
2. Theorie/Methoden.....	9
2.1. AV-Daten Stadt Winterthur.....	9
2.2. Koordinatensysteme / Bezugsrahmen.....	11
2.2.1. Bezugssystem.....	11
2.2.2. Projektionssystem.....	12
2.2.3. Bezugsrahmen LV03	13
2.2.4. Bezugsrahmen LV95	18
2.2.5. Bezugsrahmenwechsel.....	19
2.3. Messmethoden und Auswertungen	23
2.3.1. GNSS.....	25
2.3.2. Tachymetrie.....	27
2.3.3. Ausgleichung	28
2.3.4. Transformation	30
3. Bezugsrahmenwechsel LV03 - LV95 in Winterthur	32
3.1. Entstehung der Amtlichen Vermessung in Winterthur	32
3.1.1. Erstvermessung	33
3.1.2. Zweitvermessung.....	33
3.1.3. Fixpunktrevision LFP3 Oberwinterthur	34
3.1.4. AV93.....	36
3.1.5. Fixpunktrevision LFP1 und LFP2	37
3.1.6. Nachführung der Amtlichen Vermessung.....	37
3.2. Problemstellungen Bezugsrahmenwechsel Stadt Winterthur	38

3.3. Konzept für den Bezugsrahmenwechsel der AV-Daten der Stadt Winterthur	39
3.4. Los 1	41
3.4.1. Vorbereitung.....	42
3.4.2. Problemgebiete.....	44
3.4.3. Messung und Auswertung.....	47
3.4.4. Aufwandsabschätzung und Terminplanung.....	48
3.4.5. Abgabe Los 1.....	51
4. Messungen und Auswertungen	52
4.1. Feldvorbereitungen	52
4.2. Messung und Auswertung GNSS	54
4.2.1. Messungen.....	54
4.2.2. Auswertungen.....	57
4.3. Messung und Auswertung Tachymeter	59
4.3.1. Messungen.....	59
4.3.2. Auswertung NEPTAN.....	59
4.4. Auswertungen Kombiniertes Netz	61
4.4.1. LTOP.....	61
4.4.2. Vergleich LTOP - NEPTAN/Excel - rmNETZ.....	63
4.5. Transformation	65
5. Interpretation	67
5.1. Analyse Stadt Winterthur	67
5.2. Konzept für den Bezugsrahmenwechsel	68
5.3. Messung und Ausgleichung	68
5.3.1. Messungen.....	68
5.3.2. Ausgleichung.....	69
5.3.3. Transformation.....	69
6. Schlussfolgerungen	70
7. Literaturverzeichnis	71
8. Anhang	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Plan 2.01 Fixpunktrevision Übergeordnetes Fixpunktnetz [VAW, 2012_1].	4
Abbildung 2: Ebenen der AV-Daten [VAW, 2011].	9
Abbildung 3: Darstellung Geoid [swisstopo, 2006].	11
Abbildung 4: Darstellung Ellipsoid mit Längen und Breitengrad [swisstopo, 2006].	11
Abbildung 5: Darstellung schiefachsige Zylinderprojektion [swisstopo, 2006].	12
Abbildung 6: Darstellung geografisches Bezugssystem und schweizerisches Projektionssystem [swisstopo, 2006].	12
Abbildung 7: Landestriangulation 1.-3. Ordnung Kanton Schwyz [Matthias, 1983].	14
Abbildung 8: Polygonnetzplan von Oberwinterthur [VAW 1918_1].	15
Abbildung 9: Polygonzugsberechnung von Oberwinterthur [VAW, 1918_2].	16
Abbildung 10: LV95-Netz [swisstopo, 2005_2].	18
Abbildung 11: Dreiecksvermaschung CHENyx06 [swisstopo, 2013_3].	20
Abbildung 12: Verzerrungen des Bezugsrahmen LV03 [swisstopo, 2013_3].	21
Abbildung 13: GNSS Trimble R8-3 [allnav, 2006].	26
Abbildung 14: Tachymeter Trimble S6 [allnav, 2006].	27
Abbildung 15: Numerische Lösung der FINELTRA Transformation [swisstopo, 2003]	30
Abbildung 16: Planausschnitt Ersterfassung [VAW, 2012_2].	33
Abbildung 17: Plan mit dem Perimeter der Fixpunktrevision Oberwinterthur.	34
Abbildung 18: Planausschnitt Fixpunktrevision Oberwinterthur [VAW, 2013_3]	35
Abbildung 19: Schema für den Ablauf des Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 der Stadt Winterthur.	40
Abbildung 20: Planausschnitt Problemgebiete Kategorie 2.	43
Abbildung 21: Planausschnitt Problemgebiete Kategorie 3 und 4 [VAW, 2012_4].	45
Abbildung 22: Feldplanausschnitt LFP und Problemgebiete.	52
Abbildung 23: Planausschnitt GNSS Messungen im Pilotgebiet [VAW, 2013_1].	58
Abbildung 24: Planausschnitt Ausgleichung NEPTAN im Pilotgebiet [VAW, 2013_1].	60
Abbildung 25: Planausschnitt Ausgleichung LTOP im Pilotgebiet [VAW, 2013_2].	62
Abbildung 26: Planausschnitt mit den gemessenen Punkten inkl. Punktnummern.	63
Abbildung 27: Planausschnitt Restklaffungen im Pilotgebiet [VAW, 2013_3].	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Relevante Bezugsrahmen für das Stadtgebiet von Winterthur.	3
Tabelle 2: Toleranzstufen der AV [VBS, 1994].	10
Tabelle 3: Genauigkeitsanforderung an die Transformierten Punkte (LV95) [swisstopo, 2009].	22
Tabelle 4: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen für LFP [VBS, 1994].....	24
Tabelle 5: Statistik Abschlussfehler von Polygonzügen [VAW, 1986].....	36
Tabelle 6: Bewertungsblatt für AV Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen [swisstopo, 2007].	44
Tabelle 7: Auszählung der zu messenden Punkte pro Problemgebiet.	48
Tabelle 8: Aufwandsabschätzung Los 1.	49
Tabelle 9: Terminplanung für die Realisierung vom Los 1 sowie Einleitung der nächsten Schritte.	50
Tabelle 10: Auswertung Resultat Verbesserung durch Epochenerhöhung [Egli S, 2012].	55
Tabelle 11: Auswertung Referenzpunkt [Egli S, 2012].	56
Tabelle 12: Ausschnitt aus der GNSS Koordinatenberechnung im Excel.	57
Tabelle 13: Ausschnitt aus der GNSS Koordinatenberechnung im Excel.	58
Tabelle 14: Resultate Vergleich LTOP, NEPTAN/Excel, rmNETZ.	64
Tabelle 15: Restklaffung Toleranzausnützung.	65

 Abkürzungsverzeichnis

AGNES	Automatisches GNSS-Netz Schweiz (swisstopo)
AV93	Qualitätsstandart der AV, Digitale Daten gemäss den eidgenössischen Vorschriften von 1993 (VAV, TVAV)
AV	Amtliche Vermessung
CHENyx06	Dreiecksvermaschung für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
ETRS89	European Terrestrial Reference System 89
FINELTRA	Transformationsprogramm für bijektive maschenweis affine Koordinatentransformation von der swisstopo
GeoIG	Bundesgesetz über Geoinformation
GeoSuite	Zentrale Programm-Plattform für geodätische Berechnungen von der swisstopo
GLONASS	Globales Satellitennavigationssystem von Russland
GNSS	Global Navigation Satellite System (Satelliten Navigationssystem)
GP	Grenzpunkte
GPS	Globales Satellitennavigationssystem von den USA
KVA	Kantonales Vermessungsamt
KVA ZH	Kantonales Vermessungsamt vom Kanton Zürich
LFP	Lagefixpunkt
LV03	Landesvermessung 1903
LV03.Win	Zu revidierender, mit Spannungen behafteter, heutiger Bezugsrahmen der AV der Stadt Winterthur
LV03.ZH06	Vom KVA ZH zwischen 1995 und 2000 nahezu spannungsfrei verbesserter Bezugsrahmen
LV95	Landesvermessung 1995
LTOP	Ausgleichsprogramm von der swisstopo
NEPTAN	Ausgleichsprogramm von der Firma cplan
NTv2	Gitterbasierte Interpolation für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95
OW	Oberwinterthur

rmDATA	Hersteller für Vermessungsprogramme aus Pinkafeld, Österreich
rmNETZ	Ausgleichsprogramm von der Firma rmDATA
RTK VRS	Real Time
s	Standardabweichung von der Einzelmessung
s ₀	Standardabweichung vom Mittel
Swipos-GIS/GEO	Swiss Positioning Service von der swisstopo (Mess- und Korrekturdaten von den AGNES-Stationen)
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
TRANSINT	GeoSuite-Berechnungsmodul für Lage-Transformationen und Punktinterpolationen
TS	Toleranzstufe
TSP	Transformationsstützpunkt
TVAV	Technische Verordnung über die Amtliche Vermessung
VBS	Eidgenössisches Departement für Verteidigung, Bevölkerungsschutz und Sport.
VAV	Verordnung über die Amtliche Vermessung.
VAW	Vermessungsamt Winterthur.

1. Einführung

Seit der Einführung der Amtlichen Vermessung (AV) vor rund 100 Jahren in der Schweiz haben diverse technologische aber auch gesellschaftliche Entwicklungen die AV und die Anforderungen an das Vermessungswerk grundlegend geändert.

Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit dem Wechsel des Bezugsrahmen der Landesvermessung 1903 (LV03) in den Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95) im Gebiet der Stadt Winterthur.

Der Bezugsrahmen bildet das Fundament für die AV. Auf der Grundlage der AV bauen nahezu alle Geodaten der Schweiz auf. Die Koordinaten im Neuem Bezugsrahmen können vom Alten Bezugsrahmen wie folgt unterschieden werden: Der Nullpunkt des Neuen Bezugsrahmen LV 95 bei der Sternwarte in Bern hat die Koordinaten $Y = 2'600'000\text{m}$ und $X = 1'200'000\text{m}$. Im Alten Bezugsrahmen LV 03 war der Nullpunkt mit der Koordinate $Y = 600'000\text{m}$ und $X = 200'000\text{m}$ definiert.

Der Bezugsrahmen LV95 wurde vom Bundesamt für Landestopographie (swisstopo) mittels Vermessung auf Basis satellitengestützter Positionierungsverfahren im Zeitrahmen 1989- 1995 durchgeführt. Die erzeugten Messdaten dienen als Grundlage für die Definition des Neuen Bezugsrahmen. Mit dem Neuen Bezugsrahmen LV95 ist die Landesvermessung besser an den Europäischen Bezugsrahmen European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) angeschlossen und Messung mit GNSS-Technologien (Global Navigation Satellite System) können in den spannungsarmen Bezugsrahmen einfach transformiert werden.

Durch den Bezugsrahmenwechsel, insbesondere die damit verbundene lokale Entzerrung steigt die Qualität der AV. Die hohe absolute Genauigkeit in Kombination mit der internationalen Einbindung des neuen Bezugsrahmens führt zu einem vereinfachten Umgang mit den Daten der AV.

1.1. Ausgangslage

Die swisstopo beabsichtigt bis 2016 den neuen Bezugsrahmen LV95 in die AV in der Schweiz flächendeckend einzuführen. Die rechtlichen Grundlagen für diesen Bezugsrahmenwechsel sind im Bundesgesetz über Geoinformation (GeoIG) definiert.

1.1.1. Bezugsrahmenwechsel Schweiz

Die Grundlagen für dieses Kapitel sind aus dem Konzept [swisstopo, 2005] sowie aus der Dokumentation [swisstopo, 2009] entnommen.

Der alte Bezugsrahmen LV03 wurde zu Beginn des 20. Jahrhunderts erstellt. LV03 weist aufgrund der Mess- und Berechnungsmethoden eine sehr gute Nachbarschaftsgenauigkeit¹ im cm-Bereich auf. Es sind jedoch Spannungen bis 1.6m über die ganze Schweiz betrachtet, vorhanden. Diese Spannungen führen zu Einschränkungen und Mehraufwendungen durch lokale Einpassungen beim Einsatz mit GNSS. Der neue Bezugsrahmen LV95 hat eine sehr hohe absolute Genauigkeit in der Grössenordnung von 1-2 cm. Weitere Vorteile beim neuen Bezugsrahmen ergeben sich durch die Einpassung in die europäischen Bezugsrahmen.

Die Transformations- und Interpolationsparameter für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 auf der Ebene Bund und Kanton und damit das übergeordnete Fixpunktnetz sind berechnet, dokumentiert und werden durch die swisstopo zur Verfügung gestellt. Für die Realisierung auf Stufe Bund und Kanton wurden Fixpunkte aus dem übergeordneten Fixpunktnetz LFP1 und LFP2 in der ganzen Schweiz mittels GNSS-Technologie gemessen. Durch diese Messungen sind alle LFP 1 und LFP 2 Punkte im Bezugsrahmen LV03 und LV95 bekannt. Auf Basis dieser Fixpunkte wurde eine Dreiecksdefinition (Dreiecksvermaschung) erstellt. *Die Dreiecksdefinition und die Eckpunkte der Dreiecke mit den Koordinaten in LV03 und LV95 bilden zusammen mit den Algorithmen der Affintransformation den offiziellen und obligatorischen Transformationsdatensatz sämtlicher Geodaten des Bundesrechts (CHENyx06).*

Aufgrund der Messung und Berechnung von Kontrollpunkten durch kantonale Vermessungsämter (KVA) ist bekannt, dass mit der Dreiecksvermaschung CHENyx06 in den meisten Gebieten in der Schweiz eine sehr gute Genauigkeit im cm-Bereich bei

¹ Nachbarschaftsgenauigkeit entspricht der Genauigkeit zwischen benachbarten Fixpunkten

der Umrechnung vom Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95 erreicht werden kann.

Es sind jedoch auch Gebiete bekannt, in denen die geforderten Genauigkeiten mit der Dreiecksvermaschung CHENyx06 nicht erreicht werden können. In diesen sogenannten Spannungsgebieten müssen vorgängig die AV-Daten von den Spannungen befreit werden, um die Genauigkeitsanforderungen von LV95 zu erreichen.

1.1.2. Bezugsrahmenwechsel Winterthur

Die Grundlagen für diesen Absatz ist die [KVA ZH, 2004] die Grundlage. Dabei handelt es sich um Messresultate in Form von Tabellen (Koordinatenvergleich LV03-LV95) vom übergeordneten Fixpunktnetz sowie Vektorpläne und die Dreiecksvermaschung CHENyx06.

Im Rahmen des Wechsels von LV03 zu LV95 haben swisstopo und das KVA ZH das übergeordnete Fixpunktnetz über das ganze Kantonsgebiet neu vermessen.

In dieser Masterarbeit wird zwischen den in der Tabelle 1 aufgeführten - für das Verständnis der Vermessung Winterthur wesentlichen - Bezugsrahmen unterschieden:

Bezugsrahmen	Definition
LV95	Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (Bezugssystem CH1903+)
LV03	Vom KVA ZH bis ins Jahr 2000 fortgeführter Bezugsrahmen der Landesvermessung 1903 (Bezugssystem CH1903)
LV03.ZH06	Vom KVA ZH zwischen 1995 und 2000 nahezu spannungsfrei verbesserter Bezugsrahmen
LV03.Win	Zu revidierender, mit Spannungen behafteter, heutiger Bezugsrahmen der AV der Stadt Winterthur

Tabelle 1: Relevante Bezugsrahmen für das Stadtgebiet von Winterthur.

Grundlage für die Beurteilung der LFP3 bilden die LFP1 und LFP2-Operate des KVA ZH [KVA ZH, 1995]:

1. Operat Winterthur - Lindau - Weisslingen 2004,
mit Einbezug von LFP3 der Stadt Winterthur
2. Operat Thalheim - Ellikon 2002
3. Operat Schlatt - Hofstetten 2000

Die Erneuerung des übergeordneten Fixpunktnetzes durch Bund und Kanton dient als Basis für den Datensatz CHENyx06 für die direkte Koordinatentransformation LV03.ZH06 - LV95.

Diese Koordinatentransformation gewährleisten durchschnittliche Genauigkeiten von +/- 2 cm bei homogenen AV-Daten. Die Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt des Plans 2.01. Darin abgebildet sind die Ergebnisse der Fixpunktrevision des Übergeordneten Fixpunktnetzes.

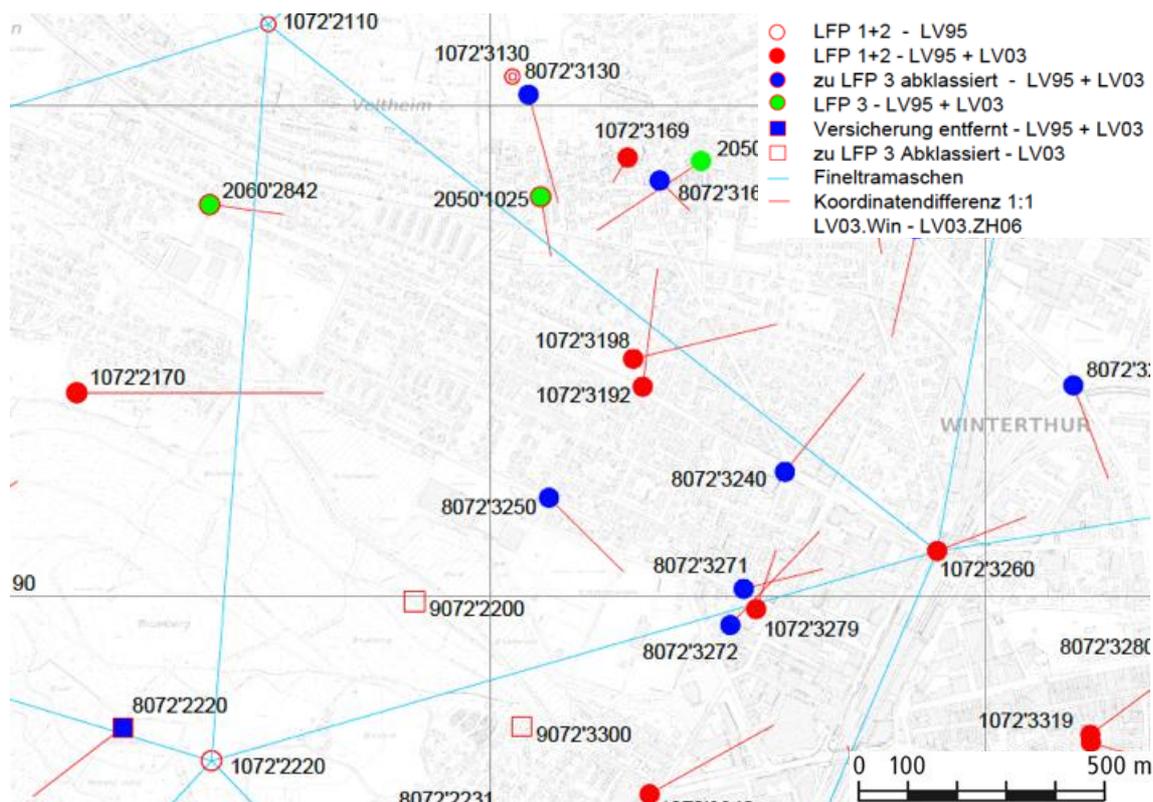


Abbildung 1: Plan 2.01 Fixpunktrevision Übergeordnetes Fixpunktnetz [VAW, 2012_1].

1.2. Fragestellung

Das Vermessungsamt der Stadt Winterthur (VAW) hat den Auftrag den neuen Bezugsrahmen LV95 für die AV Daten über das Stadtgebiet von Winterthur bis im Jahr 2016 einzuführen. Im Rahmen dieser Masterarbeit werden verschiedenen Problemstellungen des Bezugsrahmenwechsels LV03 – LV95 im Allgemeinen und für das Gebiet der Stadt Winterthur untersucht.

Zum Einem soll ein Konzept für den Bezugsrahmenwechsel für die Stadt Winterthur erstellt und zum Anderen die geometrischen Problemstellungen des Bezugsrahmenwechsels untersucht werden.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen folgende Schwerpunkte untersucht werden:

Grundsätzliches für das ganze Stadtgebiet

- Wie können die Konzepte von der swisstopo und vom KVA ZH für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 auf den Bezugsrahmenwechsel der AV-Daten der Stadt Winterthur übertragen werden?
- Wie sieht das Konzept für den Bezugsrahmenwechsel der AV-Daten für die Stadt Winterthur aus? Was für Arbeiten beinhaltet der Bezugsrahmenwechsel für die AV-Daten der Stadt Winterthur?
- Die AV der Stadt Winterthur sind im Bezugsrahmen LV03 vorhanden. Swisstopo und KVA ZH haben die Dreiecksvermaschung CHENyx06 für den Bezugsrahmenwechsel LV03.ZH06 – LV95 erstellt. Wie kommen die AV Daten der Stadt Winterthur in den spannungsarmen Bezugsrahmen LV03.ZH06?
- Sind Spannungen in den AV-Daten der Stadt Winterthur vorhanden? Wenn ja, wo liegen diese? Wie können diese Spannungsgebiete am effizientesten identifiziert und deren Spannungen beseitigt werden?

Pilotgebiet in Oberwinterthur

- Anwendung des erstellten Konzepts für das ganze Stadtgebiet auf ein Teilgebiet des Stadtkreises Oberwinterthur. Wie bewährt sich hierbei das Konzept in Bezug auf die Praxistauglichkeit?

- Im Detail sollen die eingesetzten Messmethoden und das eingesetzte Feldmaterials analysiert werden. Können die Vorgaben in Bezug auf Genauigkeit mit den verwendeten Messgeräten und Methoden erreicht werden?
- Auswertung der im Pilotgebiet gemachten Messungen umfasst die Koordinatenberechnung (Ausgleichsprogramm) sowie die der Auswertung betreffenden lokalen Spannungen (Transformation/Interpolationsprogramm). Was für Ausgleichs- und Transformationsprogramme kommen zur Anwendung?
- Was können diese Programme, Vor und Nachteile von den verschiedenen Programmen?

Was wird im Rahmen dieser Masterarbeit nicht untersucht:

Die Masterarbeit beschäftigt sich nicht mit dem Bezugsrahmenwechsel der Geodaten der Stadt Winterthur mit all seinen Problemstellungen wie zum Beispiel Beeinflussung der Topologien aufgrund der Transformation. Diese Untersuchungen werden im Rahmen des Projektes Bezugsrahmenwechsel im Vermessungsamt bis 2016 und nach deren Einführung Gegenstand der laufenden Arbeiten sein.

1.3. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit zeigt wie der Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 für die Daten der AV über das Stadtgebiet von Winterthur realisiert werden kann. Hauptbestandteil der Arbeit ist ein Konzept für den Bezugsrahmenwechsel für die Stadt Winterthur. Ein weiterer Bestandteil dieser Arbeit ist die Umsetzung der ersten Schritte des Konzepts in einem sogenannten Pilotgebiet von Winterthur. Bei den ersten Schritten handelt es sich um die Homogenisierung der Amtlichen Vermessungsdaten als vorbereitende Massnahme für den Bezugsrahmenwechsel. Hauptaugenmerk beim Test im Pilotgebiet sind die Effizienz und die Praxistauglichkeit der im Konzept beschlossenen Massnahmen.

Im Kapitel 2 *Theorie / Methoden* werden die theoretischen Grundlagen zu den verschiedenen Hauptthemen der Arbeit erarbeitet.

Im Kapitel 3 *Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 in Winterthur* wird ein Konzept für den Bezugsrahmenwechsel LV03 - LV95 der Stadt Winterthur für die AV-Daten vorgestellt. Dieses Kapitel soll einen Überblick über die noch anstehenden Arbeiten für den Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 geben.

Im Kapitel 4 *Messungen und Auswertungen* sind die Messung und Auswertung in einem Pilotgebiet von Oberwinterthur dokumentiert. Für das Pilotgebiet wurde das Teilgebiet von Winterthur ausgewählt welches die grössten und flächenhaft ausgedehntesten bekannten Spannungen aufweist. Bei dem Pilotgebiet handelt es sich um ein repräsentatives Gebiet von Winterthur (Überbauung und Bewuchs) und damit betreffend der zu erwartenden Horizontalabdeckung für die GNSS-Messungen.

Es werden die eingesetzten Messmethoden und Ausgleichungsverfahren auf ihre Funktionalität in Bezug auf den Bezugsrahmenwechsel untersucht. Darüber hinaus werden im Pilotgebiet die Spannungen dokumentiert und beurteilt.

Im Kapitel 5 *Interpretation* werden die Erkenntnisse aus den erzielten Ergebnissen der Kapitel 3 bis 5 zusammengefasst und interpretiert.

Im Kapitel 6 *Schlussfolgerungen* wird das weitere Vorgehen und die notwendigen Änderungen im Konzept aufgrund der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln erläutert.

2. Theorie/Methoden

In diesem Kapitel werden die benötigten theoretischen Grundlagen für die in dieser Arbeit relevanten Theorien und Arbeitsschritte erklärt.

2.1. AV-Daten Stadt Winterthur

Die AV-Daten der Stadt Winterthur sind flächendeckend in AV93 vorhanden. Die wichtigsten Merkmale von AV93 bezogen auf den Bezugsrahmenwechsel werden in diesem Abschnitt erläutert. Die wichtigsten Grundlagen von AV93 und damit für den Abschnitt sind die beiden Verordnungen [Schweizerischer Bundesrat, 1992] und [VBS, 1994].

Digitale Struktur AV93

Die AV-Daten sind in unabhängige Ebenen gegliedert. Die Abbildung 2 zeigt diese Ebenen.

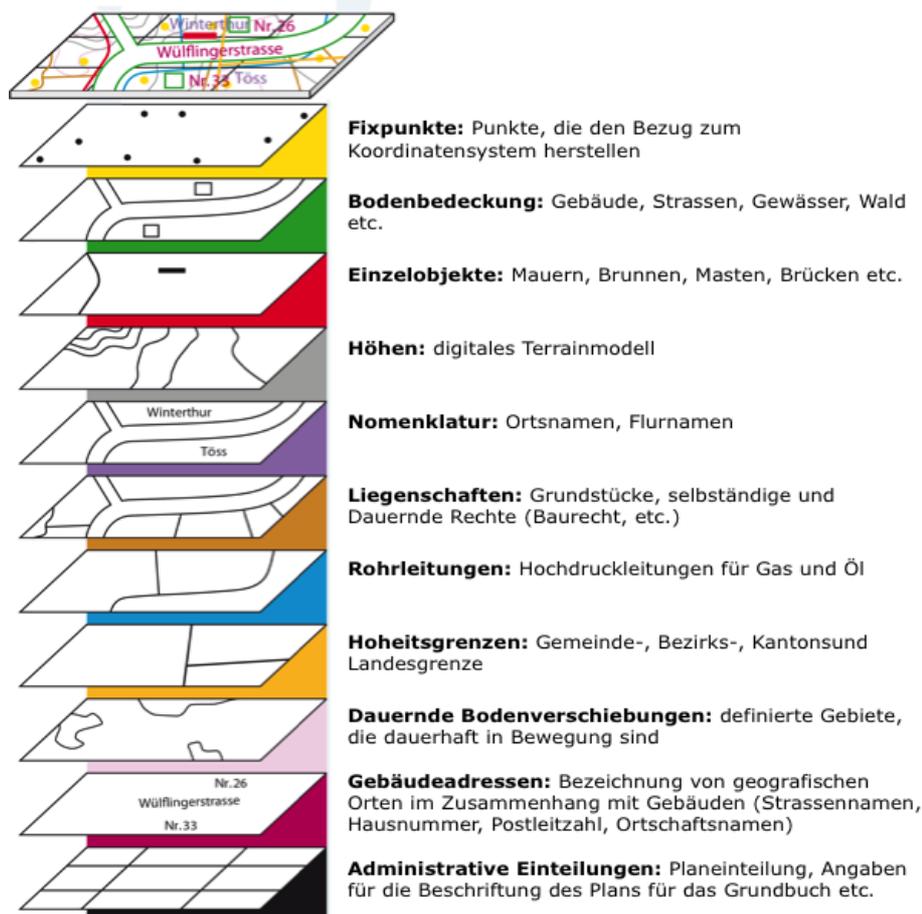


Abbildung 2: Ebenen der AV-Daten [VAW, 2011].

Vermarkung

Alle Fixpunkte der AV sind in der Örtlichkeit vermarktet und werden in dieser Form für Feldtätigkeiten in der AV, Ingenieursvermessung und für andere Vermessungsarbeiten zur Verfügung gestellt.

Toleranzstufen

Die Anforderungen an die Genauigkeit sind nicht über die ganze Schweiz einheitlich. Geregelt werden diese Genauigkeitsanforderungen über die Toleranzstufe (vgl. Tabelle 2). Die Stadt Winterthur befindet sich in der Toleranzstufe 2 und 3.

TS1:	Stadtgebiete
TS2:	Überbaute Gebiete und Bauzonen
TS3:	Intensive genutzte Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsgebiete
TS4:	Extensiv genutzte Landwirtschafts- und Forstwirtschaftsgebiete
TS5:	Das Sömmerungsgebiet und unproduktive Gebiete

Tabelle 2: Toleranzstufen der AV [VBS, 1994].

2.2. Koordinatensysteme / Bezugsrahmen

In dem Kapitel 2.1.1. und Kapitel 2.1.2. werden die Begriffe Koordinatensystem, Bezugssystem und Bezugsrahmen erläutert. Beim Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 geht es nicht um die Einführung eines neue Koordinatensystems für die Schweiz. Es geht um die Änderung des Bezugsrahmens. Diese Begriffserklärung soll nur als Überblick dienen. In den Kapiteln 2.1.3., 2.1.4. und 2.1.5. werden die beiden Bezugsrahmen LV03 und LV95 sowie der Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 erklärt.

2.2.1. Bezugssystem

Die Physikalische Form der Erde wird Geoid genannt. Das Geoid hat eine sehr komplexe Form, welche sich nicht als mathematische Bezugsfläche eignet. Die Abbildung 3 zeigt die Physikalische Form der Erde in stark überhöhter Darstellung. Je nach Genauigkeitsanforderungen wird deshalb die Erde vereinfacht als Ellipsoid mit einem geografischen Koordinatensystem dargestellt. Dieses enthält Längen, Breiten und Höhen über dem Ellipsoid. Die Abbildung 4 zeigt ein solches Ellipsoid. In der Schweiz wird als Bezugssystem näherungsweise das Besselipsoid 1841 verwendet [swisstopo, 2006].

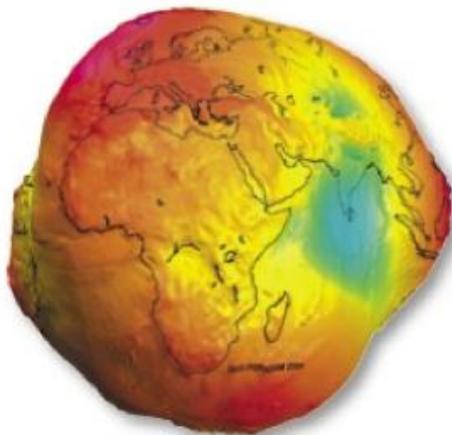


Abbildung 3: Darstellung Geoid [swisstopo, 2006].



Abbildung 4: Darstellung Ellipsoid mit Längen und Breitengrad [swisstopo, 2006].

2.2.2. Projektionssystem

Ein Projektionssystem bildet die Erdoberfläche oder einen Teil davon auf eine ebene Fläche ab. Aufgrund der Krümmung der Erde in allen Richtungen ist das nur mit Einschränkungen möglich.

Im praktischen Gebrauch verwendet man zweckmässigerweise ebene und rechtwinklige Koordinaten. Längen und Breiten, die «gebogenen» geografischen Koordinaten des Bezugssystems, eignen sich schlecht. Ein rechtwinkliges Koordinatennetz entsteht durch Projektion des Ellipsoides d.h. Abbildung auf einen streng geometrischen Körper wie Kugel, Zylinder, Kegel und Ebene oder eine Kombination davon.

Beim offiziellen schweizerischen Projektionssystem überträgt man Punkte auf der Erdoberfläche auf einen Zylinder und erhält so die „schiefsachsige, winkeltreue Zylinderprojektion“. Die Abbildung 5 zeigt einen schiefsachsigen Zylinder über der Erdkugel. Der Berührungspunkt von Zylinder und Kugel entspricht dem Nullpunkt des Koordinatensystems. Er liegt bei der alten Sternwarte in Bern. Durch das gedankliche Abrollen des Zylinders entsteht die gewünschte Abbildung der Erde auf eine Fläche.

In der Abbildung 6 ist das schweizerische Projektionssystem (schwarz) und das geografische Bezugssystem (rot) dargestellt [swisstopo, 2006].

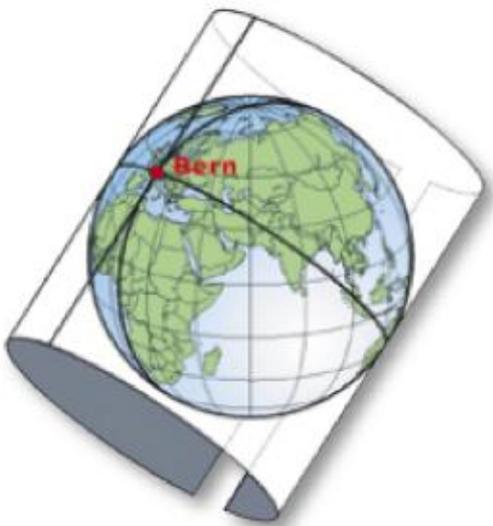


Abbildung 5: Darstellung schiefachsige Zylinderprojektion [swisstopo, 2006].

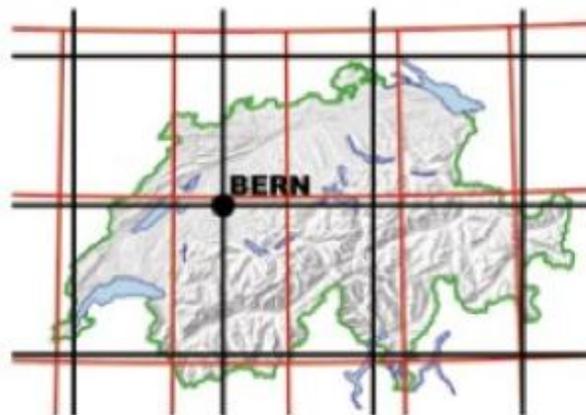


Abbildung 6: Darstellung geografisches Bezugssystem und schweizerisches Projektionssystem [swisstopo, 2006].

2.2.3. Bezugsrahmen LV03

Als Grundlage für das folgende Kapitel dienten die Bücher Amtliche Vermessungswerke I und II [Herbert J, 1980; Herbert J, 1983].

Der Bezugsrahmen basiert auf dem Fixpunktnetz, welches zu Beginn des 20. Jahrhunderts über die ganze Schweiz erstellt wurde. Das Fixpunktnetz baut sich hierarchisch in vier verschiedene Netze auf:

- Landstriangulation 1. Ordnung, erstellt 1910 – 1917. Die 1. Ordnung umfasst 50 Fixpunkte mit 100 Dreiecken und einer Seitenlänge im Alpengebiet von ca. 30 km und ca. 50 km in den restlichen Gebieten der Schweiz.
- Landstriangulation 2. Ordnung erstellt 1896 – 1925. Die 2. Ordnung umfasst 150 Fixpunkte.
- Landstriangulation 3. Ordnung erstellt 1896 – 1925. Die 3. Ordnung umfasst 4'800 Fixpunkte.

Die Fixpunkte der Landstriangulation 1. – 3. Ordnung werden von der swisstopo nachgeführt und unterhalten. Ein Beispiel von der Landstriangulation 1. – 3. Ordnung ist in der Abbildung 7 dargestellt. Diese Abbildung zeigt das übergeordnete Fixpunktnetz vom Kanton Schwyz. Gut zu erkennen ist der hierarchische Aufbau der Landstriangulation.

- Landstriangulation 4. Ordnung erstellt 1910-1950. Die 4. Ordnung umfasst 67'000 Fixpunkte und wird von den KVA nachgeführt und unterhalten.

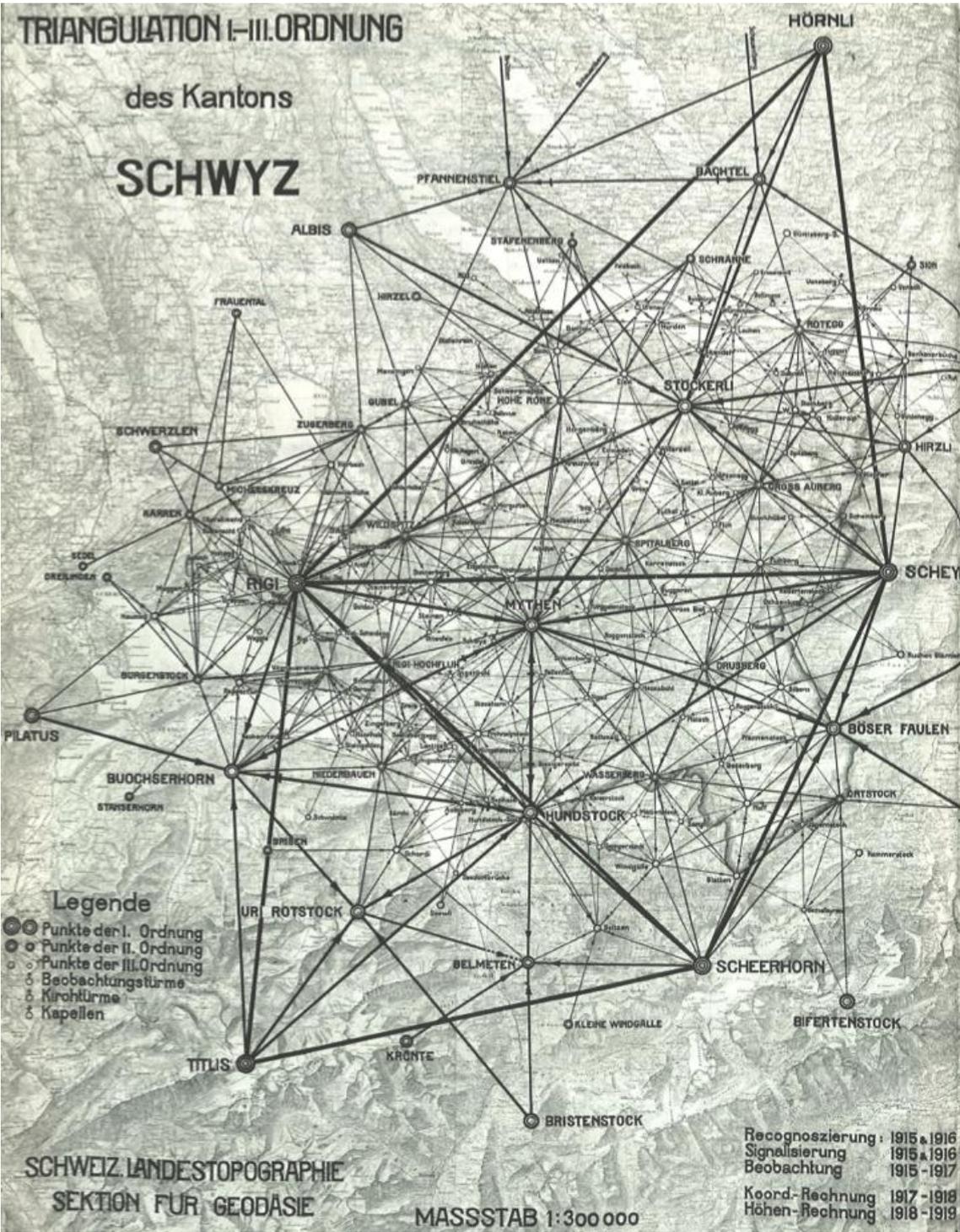


Abbildung 7: Landestriangulation 1.-3. Ordnung Kanton Schwyz [Matthias, 1983].

Auf Basis der Landestriangulation wurden im Stadtgebiet von Winterthur rund 10'000 Polygonpunkte gemessen und gerechnet. Für die Messung der Polygonpunkte wurden Polygonhauptzüge zwischen die Triangulationspunkten gelegt. Zusätzlich wurden zwischen den Polygonhauptzügen noch Polygonnebenzüge gelegt.

In der Abbildung 8 ist ein Ausschnitt vom Polygonnetzplan von Oberwinterthur, Sektion 2² dargestellt. In der Abbildung ist ein Beispiel von einem Polygonhauptzug Nr. 125, zwischen den Triangulationspunkten 32 und 25 zu erkennen. Die Situation (Gebäude, Strassen, usw.) wurde bei Polygonnetzplänen nur sehr rudimentär dargestellt. Daher ist der Bezug zur Örtlichkeit ohne weiteres Wissen nicht herstellbar.

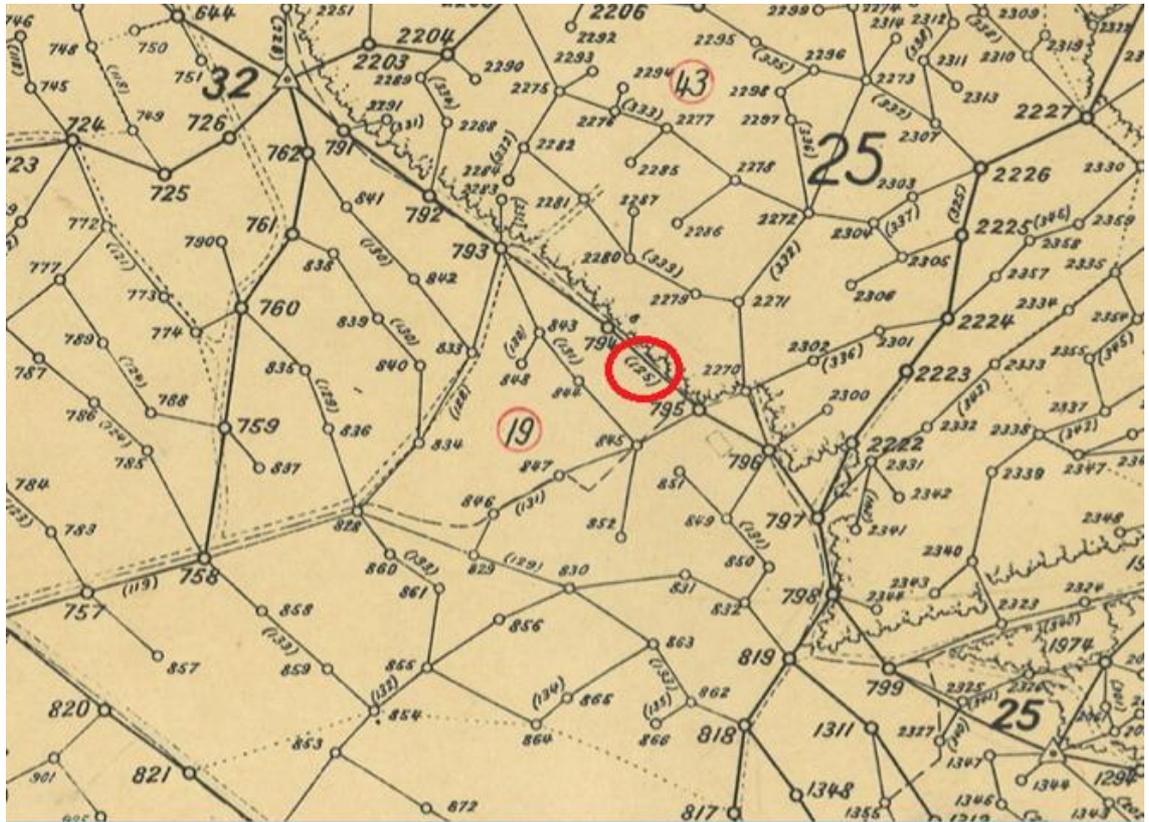


Abbildung 8: Polygonnetzplan von Oberwinterthur [VAW 1918_1].

Die Abbildung 9 zeigt die Polygonzugsberechnung des Polygonhauptzuges Nr. 125. In der Berechnung sind die Punktnummern, die Azimute der Polygonseiten und die Koordinaten gut erkennbar, da diese mit Tinte geschrieben wurden. Die eigentlichen Rechengrössen wurden mit Bleistift festgehalten. Der Polygonzug weist einen sogenannten Abschlussfehler auf (vgl. Abbildung 9). Die Grösse des Abschlussfehlers musste eine bestimmte Genauigkeit (Toleranz) einhalten. Die einzuhaltende Toleranz war Abhängig von der Länge und von der Art des Polygonzugs (Polygonhaupt- oder Polygonnebenzug) sowie von der Anzahl der Polygonpunkte und der massgebenden Toleranzstufe (vgl. Tabelle 2).

² Die Sektion 2 steht für eine alte Gebietsunterteilung in Oberwinterthur.

Der Aufbau des Bezugsrahmens ist also hierarchisch. Die Landestriangulation 2. Ordnung baut zum Beispiel auf der Landestriangulation 1. Ordnung auf. Dabei werden neben den Koordinaten auch die Widersprüche und Ungenauigkeiten der Landestriangulation 1. Ordnung in die Landestriangulation 2. Ordnung übernommen. Die Fixpunkte vom Bezugsrahmen LV03 verfügen über eine sehr gute Nachbargenauigkeit im 0.5 - 1.5 cm Bereich (4. Ordnung).

Heute werden die Punkte der Landestriangulationspunkte 1 - 4 Ordnung neu LFP1 und LFP2 genannt. Die Polygonpunkte werden neu als LFP3 bezeichnet. Auf den nachfolgenden Seiten wird nur noch die Abkürzung LFP benutzt.

2.2.4. Bezugsrahmen LV95

Als Grundlage für den folgenden Abschnitt diente die Dokumentation [swisstopo, 2009] und die Dokumentation [swisstopo, 2005_2]. Als weitere Informationsquelle wurde die Homepage der swisstopo. [swisstopo, 2013_3] verwendet.

Die Fixpunkte des neuen Bezugsrahmens LV95 haben eine sehr hohe absolute Lagegenauigkeit und gelten als spannungsfrei. *Die Fixpunkte des neuen Bezugsrahmens gewährleisten ein satellitengestütztes, hochgenaues und widerspruchsfreies Grundlagennetz* [swisstopo, 2013_3].

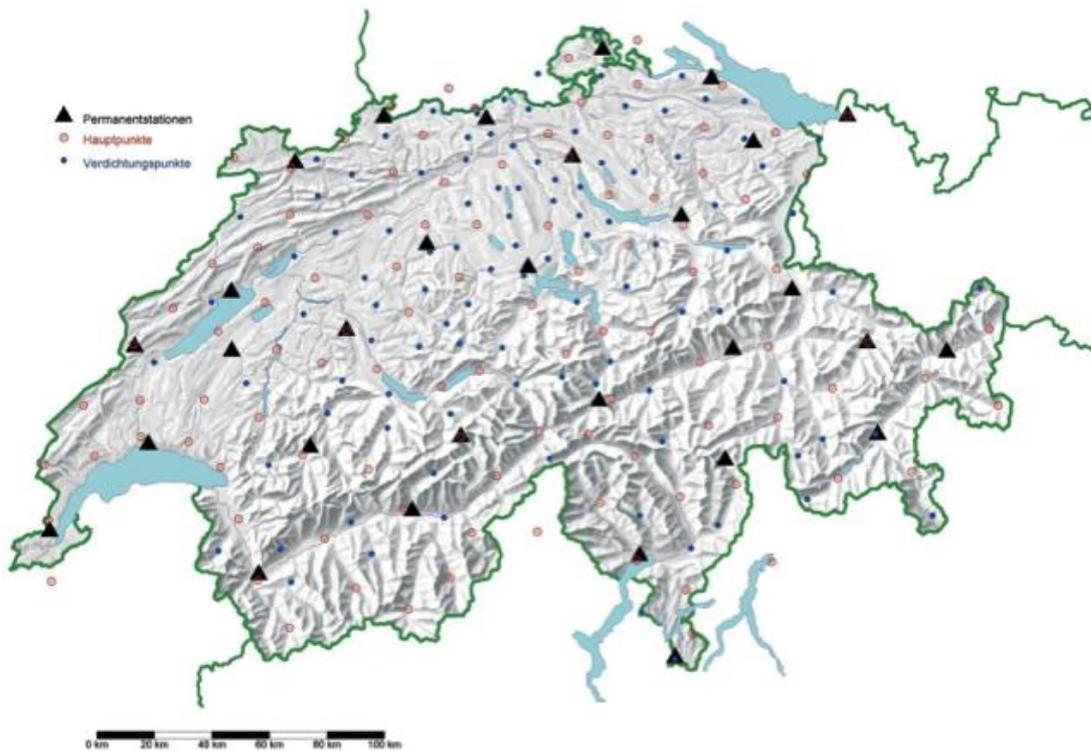


Abbildung 10: LV95-Netz [swisstopo, 2005_2].

Das LV95-Netz bestehend aus 106 Hauptpunkten, 102 Verdichtungspunkten (LV95 basiert auf diesen Punkten vgl. Abbildung 10). Die Genauigkeit der Haupt- und Verdichtungspunkten ist für die Lage $\pm 7\text{mm}$ und für die Höhe $\pm 20\text{mm}$.

Der Bezugsrahmen LV95 umfasst nicht nur die Punktprotokolle und genaue Koordinaten der Haupt- und Verdichtungspunkte. Der neue Bezugsrahmen wird auch über permanente und stabil verankerte GNSS-Stationen zur Verfügung gestellt.

Die in der Abbildung 10 dargestellten Permanentstationen sind die Basis für das automatische GNSS-Netz Schweiz (AGNES). AGNES umfasst 30 Permanentstationen die flächendeckend über die ganze Schweiz verteilt sind. Betrieben wird die Dienstleistung von der swisstopo und über den Positionierungsdienst swipos-GIS/GEO (für hohe Genauigkeitsanforderungen) können zahlende Kunden den Positionierungsdienst nutzen.

2.2.5. Bezugsrahmenwechsel

Als Grundlage für den folgenden Abschnitt diene die Dokumentation [swisstopo, 2009], sowie das Konzept [swisstopo, 2007]. Als weitere Informationsquelle wurde die Homepage der swisstopo [swisstopo.ch] genutzt.

Die Parameter für den Bezugsrahmenwechsel sind im übergeordneten Fixpunktnetz (LFP1-LFP2) schon bestimmt. Die Parameter sind mit der nationalen Dreiecksvermaschung CHENyx06 definiert.

Dabei steht CHENyx 06 für :

CH	Gebiet der Schweiz
EN	Ostwert (E) und Nordwert (N) der Koordinaten in LV95
yx	y- und x-Werte der Koordinaten in LV03
06	Jahr der Entstehung

Die Dreiecksvermaschung CHENyx06 besteht aus insgesamt 11'882 Dreiecken und 5'944 Transformationsstützpunkten (TSP).

Die Parameter der Dreiecksvermaschung CHENyx06 werden wie folgt zur Verfügung gestellt:

- FINELTRA Transformation (vgl. Kapitel 2.2.4.) für eine Hohe Genauigkeit im cm Bereich.
- NTv2 gitterbasierte Interpolation für eine Genauigkeit < 1dm.
- Block-Translation³ für eine Genauigkeit im dm-Bereich.

³ Individueller Shift (Translation) pro Block

Für die Transformation der AV-Daten wird voraussichtlich ausschliesslich die FINELTRA Affin-Transformation verwendet. In wie weit mit den oben erwähnten Parametern der Bezugsrahmenwechsel für die Ebene Fixpunkte und die restlichen Ebenen der AV-Daten gemacht werden kann, hängt vom Zustand⁴ dieser Daten ab.

In der Abbildung 11 ist die Dreiecksvermaschung von CHENyx06 abgebildet. Die Dreiecksvermaschung auf Stufe Landesvermessung ist in schwarz erkennbar (FINELTRA-LV). Diese wurde in den Neunziger Jahren fertig gestellt und ermöglichte, Geodaten von LV03 nach LV95 und umgekehrt mit einer Genauigkeit von ungefähr einem Dezimeter zu transformieren. In den letzten Jahren wurde diese Dreiecksvermaschung durch die KVA systematisch verdichtet (rote Dreiecke). Die Verdichtungen der KVA wurden durch die swisstopo zu einem Datensatz mit der Bezeichnung CHENyx06 vereint. Mit CHENyx06 können Geodaten im Durchschnitt mit einer Genauigkeit von 2cm von LV03 nach LV95 und umgekehrt transformiert werden.

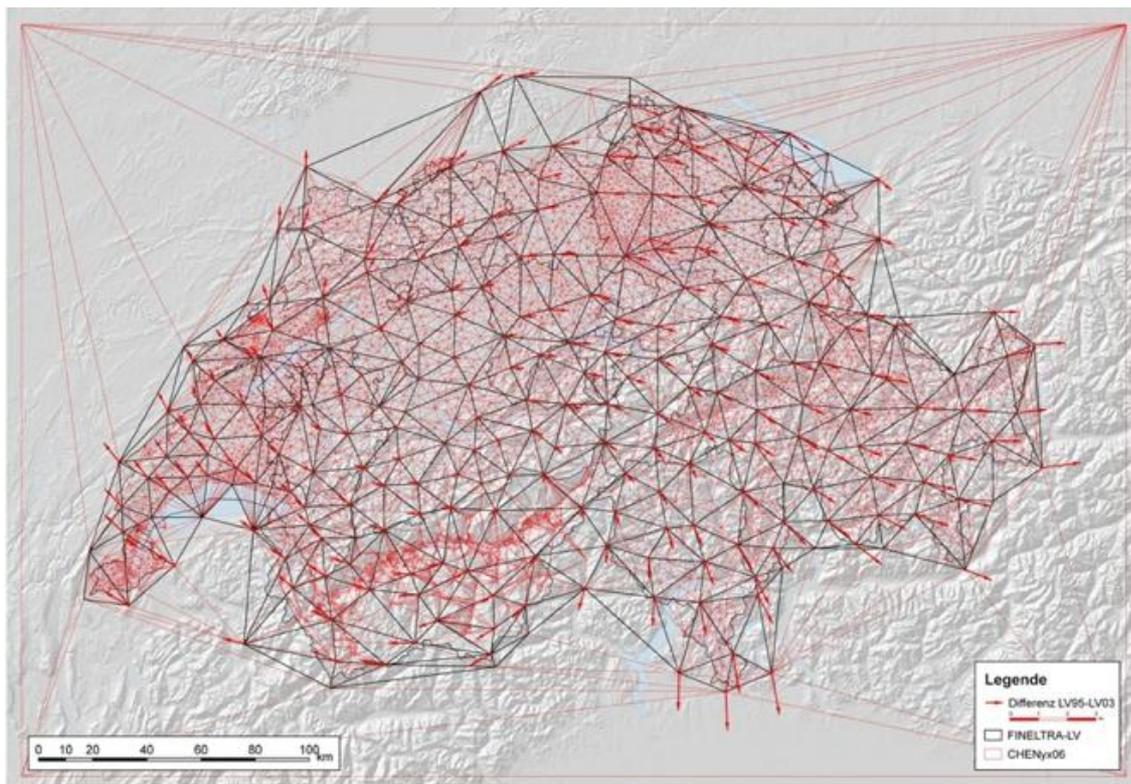


Abbildung 11: Dreiecksvermaschung CHENyx06 [swisstopo, 2013_3].

⁴ Lokale Spannungen vorhanden oder nicht?

Die Abbildung 12 zeigt die Verzerrungen des aktuellen verwendeten Bezugsrahmens von 1903 (LV03 = rotes Gitter) im Vergleich zum neuen, praktisch fehlerfreien Bezugsrahmen von 1995 (LV95 = graues Gitter).

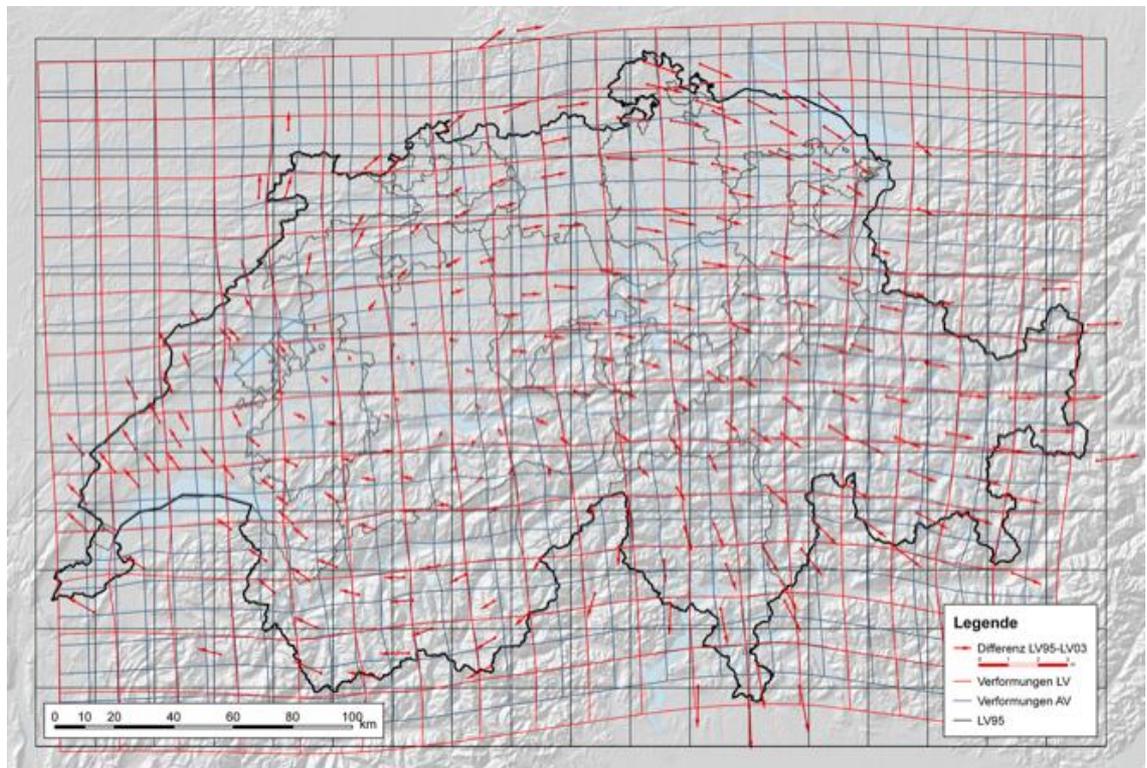


Abbildung 12: Verzerrungen des Bezugsrahmens LV03 [swisstopo, 2013_3].

In sogenannten Spannungsgebieten mit Verzerrungen und Widersprüchen im LFP3 Netz oder in den restlichen Ebenen der AV wird mit der nationalen Dreiecksvermaschung CHENyx06 keine Verbesserung erreicht. Diese Spannungen müssen im Rahmen von lokalen Transformations- und Interpolationsarbeiten oder wenn nicht anders möglich durch eine Neuvermessungen beseitigt werden. Die Beseitigung dieser Spannungen wird auch Homogenisierung genannt.

Von Spannungsgebieten wird gesprochen wenn nach der FINELTRA Transformation mit CHENyx06 die Differenzen (Restklaffungen) zwischen den gemessenen Koordinaten und den AV-Daten grösser als die der jeweiligen zulässigen Toleranzen sind. In der Tabelle 3 sind die Standardabweichungen⁵ der Toleranzstufen 2 und 3 aufgelistet. Die Toleranz entspricht jeweils der dreifachen Standardabweichung.

⁵ Mass für die Streuung der Werte um ihren Mittelwert (wird als Genauigkeitsangabe verwendet).

Toleranzstufe (TS)	Fixpunkte 1/2 [cm]	Fixpunkte 3 [cm]	Grenzpunkte [cm]
2	3	5	5
3	3	5	7

Tabelle 3: Genauigkeitsanforderung an die Transformierten Punkte (LV95) [swisstopo, 2009].

Für eine Kontrolle von CHENyx06 haben die swisstopo und KVA's Schweiz weit rund 45'000 Kontrollpunkte im Bezugsrahmen LV95 gemessen. Die Auswertung der Kontrollpunkte ergibt eine durchschnittliche Koordinatendifferenz von 2 cm. Mit diesem Ergebnis sind die Anforderungen für die AV bei weitem erfüllt werden. Diese Koordinatendifferenzen sind ein guter Indikator für die gute Qualität der Transformation CHENyx06. In Gebieten mit einer grossen Koordinatendifferenz dienen diese Kontrollpunkte auch als Indikatoren für lokale Spannungen. Zusätzlich zu den Ergebnissen der Kontrollpunkte gibt die Entstehungsgeschichte der AV und die Erfahrungen aus der Nachführung der AV entscheidende Hinweise über die Existenz von lokalen Spannungen.

2.3. Messmethoden und Auswertungen

Die Punktbestimmung für AV-Daten ist in den beiden Verordnungen [Bundesrat, 1992] und in der [VBS, 1994] geregelt. Eine weitere Grundlage für die Planung und Realisierung der Messkampagne ist die Richtlinie [swisstopo, 2005_1] sowie die [KVA ZH, 2010].

Bei der Punktbestimmung für die AV gilt grundsätzlich die Methodenfreiheit. Die Methode zur Punktbestimmung wird durch die Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen (vgl. Tabelle 4) eingeschränkt.

Die folgenden Methoden zur Fixpunktbestimmung (Passpunkte, Kontrollpunkte) in der AV werden in der heutigen Praxis angewendet:

- GNSS (Global Navigation Satellite System)
- Trigonometrische Punktbestimmung
- Nivellement⁶
- Kombinationen dieser Methode

Die Messmethoden die für diese Masterarbeit verwendeten Koordinatenbestimmungsverfahren sind GNSS und tachymetrische Messmethode. Beide Methoden zeichnen sich dadurch aus, dass Koordinaten damit im mm/cm Bereich bestimmt werden können. Beide Systeme haben Ihre Vor- und Nachteile und wurden diesen entsprechend eingesetzt.

⁶ Beim Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 geht es nur um eine Transformation der Lage. Die Höhe ist für diese Aufgabenstellung nicht von Bedeutung.

Die folgenden Genauigkeiten und Zuverlässigkeiten sind in der TVAV definiert:

Art. 28⁵⁷ Informationsebene «Fixpunkte»					
¹ Die absolute Lagegenauigkeit (grosse Halbachse der Konfidenzellipse [mittlere Fehlerellipse MFA, 1 Sigma] in cm) beträgt:					
Punktkategorie	TS1	TS2	TS3	TS4	TS5
LFP2	3	3	3	8	8
LFP3	*	5	5	10	10
HFP 1/2/3**	*	10	20	50	100
* gemäss kantonalen Vorschriften, mindestens aber wie TS2					
** gemäss Genauigkeitsanforderungen für die Informationsebenen «Bodenbedeckung» und «Einzelobjekte»					
³ Die erreichten Genauigkeiten sind rechnerisch nach der Methode der kleinsten Quadrate nachzuweisen. Sie dürfen die Werte nach den Absätzen 1 und 2 nicht überschreiten.					
⁴ Als Toleranzwert für die Beurteilung einzelner Koordinaten- resp. Höhenwidersprüche gilt der dreifache Betrag der Werte nach den Absätzen 1 und 2.					
Art. 34 Informationsebene «Fixpunkte»					
Die äussere Zuverlässigkeit jedes einzelnen Punktes ist durch geeignete statistische Kenngrössen nachzuweisen. Verfälschungen der Ergebnisse durch nicht erkennbare grobe Fehler dürfen den dreifachen Wert für die in Artikel 28 festgelegte Lage- bzw. Höhengenaugigkeit nicht überschreiten.					

Tabelle 4: Genauigkeits- und Zuverlässigkeitsanforderungen für LFP [VBS, 1994].

Im Rahmen dieser Arbeit wird davon ausgegangen, dass die Messungen von zukünftigen Pass- und Kontrollpunkten die Anforderungen von LFP3 erfüllen müssen.

Ähnlich wie die Fixpunkte sind auch die Grenzpunktanforderungen in der TVAV geregelt.

2.3.1. GNSS

Für den folgenden Abschnitt wurden die Grundlagen aus dem Buch [Ingensand, 2012], der Trimble Gerätebeschreibung [Allnav, 2006], sowie der Homepage von swipos [swisstopo, 2013_1] erstellt.

Grundprinzip der GNSS Messung:

Das Grundprinzip der GNSS Messungen ist die Koordinatenbestimmung von einem GNSS-Empfänger über die Distanzmessung zu den GPS- und GLONASS-Satelliten. Die dreidimensionalen Koordinaten können durch das Messen der Distanzen auf drei bekannte Punkte (Satelliten) geometrisch gelöst werden. Dies entspricht dem Schnittpunkt von drei Kugeln mit der GNSS Antenne als erstem Schnittpunkt. Der zweite Schnittpunkt befindet sich im Weltraum, wodurch er aufgrund der auffälligen Koordinaten ausgeschlossen werden kann.

Das im Rahmen der Masterthesis verwendete GNSS Messprinzip ist das Realtime Kinematic GNSS (RTK) mit einer Virtuellen Referenzstation (VRS). Der verwendete GNSS-Satellitenempfänger von Trimble empfängt sowohl GPS (USA) so wie GLONASS (Russland) Satellitensignale. Für die VRS wurde der Positionierungsdienst swipos-GIS/GEO verwendet. Swipos-GIS/GEO beruht auf dem automatischen GNSS Netz Schweiz (AGNES).

Das KVA ZH hat in der Technischen Weisung [KVA ZH, 2010] detailliert definiert, wie mit der GNSS-Messmethode Fixpunkte bestimmt werden müssen, damit die Anforderungen (vgl. Tabelle 4) aus der Verordnung [VBS, 1994] erreicht werden können. Die Punkte müssen in zwei unabhängigen Sessionen, die mindesten $\frac{1}{2}$ Stunde auseinander liegen, bestimmt werden. Durch die zeitliche Verschiebung der beiden Sessionen ergeben sich bei der Messung unterschiedliche Satellitenkonstellationen, und damit unabhängige Messungen. In der technischen Weisung vom Kanton wurde auch eine Empfehlung betreffend der Standardabweichung für die GNSS-Messung gemacht: *Die Standardabweichung bei der Registrierung soll in der Lage = 10 mm und Höhe = 20 mm nicht überschreiten* [KVA ZH, 2010].

Für die ausgeglichene Koordinate aus 2 Sessionen wurden die folgenden Anforderungen definiert: *Zur Erreichung der Genauigkeitsanforderung gemäss TVAV sind für die mit GNSS gemessenen Punkte die folgenden Standardabweichungen einzuhalten: Lage = 10 mm Höhe = 20 mm* [KVA ZH, 2010].

Verwendetes Instrumentarium:

Für die Messungen mit GNSS wurde ein Trimble R8-2 GNSS Gerät (vgl. Abb. 13) mit der Seriennummer 4629119056 eingesetzt.

Genauigkeit:

Im RTK VRS Modus wird aufgrund von Mehrfachmessungen eine Genauigkeit als Attribut der Koordinate mitgespeichert. Die Genauigkeit entspricht ca. +/- 1 cm.



Abbildung 13: GNSS Trimble R8-3 [Allnav, 2006].

2.3.2. Tachymetrie

Für den folgenden Abschnitt wurden die Grundlagen aus den Büchern [Ingensand, 2012] und [Fricke, 1975] sowie die Trimble Gerätebeschreibung [Allnav, 2006] verwendet.

Grundprinzip der Tachymetrie:

Das Grundprinzip der Tachymetrie ist die Richtungs- und Distanzmessung. Die gemessenen Richtungen und Distanzen werden auch polare Koordinaten genannt. Die polaren Koordinaten können in rechtwinklige Koordinatensysteme umgerechnet werden. Im Falle von Überbestimmungen⁷ werden die Koordinaten in einem Ausgleichungsprogramm berechnet (vgl. Kapitel 2.3.3.).

Im Rahmen der Masterthesis wurden die Punkte jeweils in 2 Fernrohrlagen gemessen, was bei grossen Genauigkeitsanforderungen aufgrund der Genauigkeitssteigerung und der Instrumentenfehlerbeseitigung (Ziehlachs-, Kippachsfehler- und Höhenindexfehler) üblich ist. Bei der Messung in 2 Fernrohrlagen wird das Fernrohr um 200gon gedreht und der Punkt wird in der zweiten Fernrohrlage ein zweites Mal gemessen.

Verwendetes Instrumentarium:

Für die tachymetrischen Messungen wurde ein Trimble S6 1" High Precision Totalstation (vgl. Abb. 14) mit der Seriennummer 92110146 eingesetzt.

Genauigkeit Richtungsmessung = 0.3 mgon (oder 1")

Genauigkeit Distanzmessung = 2 mm + 2 ppm



Abbildung 14: Tachymeter Trimble S6 [allnav, 2006].

⁷ Mehr Messungen als Unbekannte

2.3.3. Ausgleichung

Für den folgenden Abschnitt diente die Richtlinie [swisstopo, 2005] als Grundlage.

Ziel der Berechnung ist es, die Lagekoordinaten und Höhen der Punkte zu erhalten und den Nachweis zu erbringen, dass die in der TVAV gestellten Anforderungen bezüglich Genauigkeit und Zuverlässigkeit erfüllt sind. [swisstopo, 2005]

Bei der Auswertung werden aus den Messungen (Beobachtungen), je nach Messmethode Koordinaten (GNSS vgl. Kapitel 2.2.1.) oder Richtung und Distanz (Tachymetrie vgl. Kapitel 2.2.2.), Landeskoordinaten berechnet. Die Auswertung wird nach der Methode der kleinsten Quadrate mit einem Ausgleichungsprogramm berechnet. Bei der Methode der kleinsten Quadrate wird die Summe der Fehlerquadrate minimiert. Mit dem stochastischen Modell können die theoretischen Standardabweichungen der Beobachtungen (Tachymeter- und GNSS-Genauigkeit) im Ausgleichungsprogramm mitberücksichtigt werden. Ein wichtiger statistischer Indikator für die Beurteilung einer Ausgleichung ist der Quotient zwischen theoretischer und empirischer Standardabweichung (Standardabweichung a priori und Standardabweichung a posteriori). Für diesen Quotient sollten die Werte zwischen 0.7 und 1.2 liegen. Der Quotient gibt eine Aussage in wie weit die theoretischen Standardabweichungen in der Praxis erreicht wurden.

Die Berechnungen wurden mit den folgenden Ausgleichungsprogrammen gemacht:

- NEPTAN von der Firma cplan. NEPTAN ist das Ausgleichungsprogramm welches das VAW für Fixpunktnetzrechnungen bis anhin verwendet. Im NEPTAN ist diese Möglichkeit nicht vorgesehen Koordinatenwerte als Beobachtungen mit den dazugehörigen, individuellen Genauigkeiten einzuführen.
- Excel Tabellenkalkulation (Microsoft). Die Koordinatenberechnung der GNSS Messungen wird in einer Exceltabelle erstellt.

Bei der Ausgleichung mit diesen beiden Programmen können die Anforderungen betreffend dem geforderten stochastische Modell nicht erfüllt werden. Zusätzlich ist auch die Dokumentation der Resultate mit den beiden erwähnten Programmen schwierig.

Aufgrund dieser Einschränkungen vom Ausgleichsprogramm NEPTAN in Kombination mit Excel werden im Rahmen dieser Masterarbeit die folgenden zusätzlichen Ausgleichsprogramme getestet:

- LTOP von der swisstopo
- rmNETZ von der Fima rmDATA

Betreffend Funktionalität können mit diesen beiden Ausgleichsprogrammen die Anforderungen an die Punktbestimmung für die AV, inklusive stochastischem Modell, erfüllt werden.

2.3.4. Transformation

Für das folgende Kapitel diene das Manual von Fineltra [swisstopo, 2003_2] als Grundlage. Bei der „FINELTRA Transformation“ handelt es sich um die bijektive maschenweise affine Koordinatentransformation zwischen den Landeskoordinaten aus dem Bezugsrahmen LV03 und den Landeskoordinaten aus dem Bezugsrahmen LV95.

Bijektive, affine Koordinatentransformation zeichnet sich dadurch aus, dass die Kollinearität, Parallelität und Teilverhältnisse bewahrt bleiben.

Für die Transformation wird das gesamte Gebiet der Schweiz in finite dreieckige Elementarflächen unterteilt, innerhalb derer affine Koordinatentransformationen durchgeführt werden. Für diese Transformation wird die offizielle nationalen Dreiecksvermaschung CHENyx06 verwendet.

Bei der FINELTRA Transformation werden die Interpolationsverbesserungen (DY und DX) gemäss der Abbildung 15 und den folgenden Formeln berechnet:

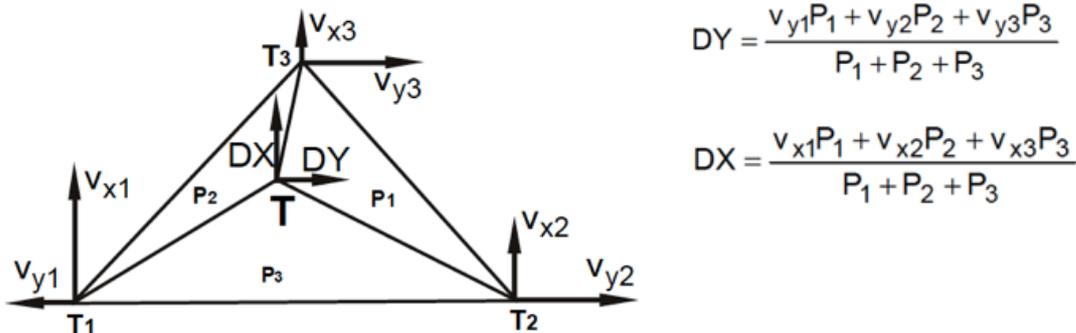


Abbildung 15: Numerische Lösung der FINELTRA Transformation [swisstopo, 2003]

Dabei gelten die folgenden Beschriftungen:

- T_1 , T_2 und T_3 entsprechen den TSP.
- v_{y1} und v_{x1} entsprechen den Verbesserungen vom Ursprünglichen- ins Zielsystem.
- T ist ein Punkt von welchem die Koordinaten im Zielsystem gesucht sind. T muss sich im Dreieck (T_1 , T_2 , T_3) oder auf der Dreieckslinie befinden.
- P_1 entspricht der Dreiecksfläche vom Dreieck T_1, T_2, T_3 .
- DX und DY entsprechen den Verbesserungen für einen beliebigen Punkt T .

Hauptmerkmale der Transformation

- *Die Transformation ist eindeutig und umkehrbar, so dass stets durch Rücktransformation wieder identische Koordinaten generiert werden.*
- *Die Transformation der Passpunkte ergibt exakt die bekannten Zielkoordinaten.*
- *Die Zwischenpunkte werden homogen und ohne Überkorrekturen transformiert.*
- *Eine Passpunkt-Verdichtung in einem Dreieck beeinflusst die anderen Dreiecke nicht. Eine sukzessive Verbesserung ist daher möglich.*
- *Die Berechnung ist wenig aufwändig und kann durch alle Benutzer durchgeführt werden.*
- *Die Transformation über finite Elemente kann mit jeder anderen komplexeren Vortransformation kombiniert werden.*

[swisstopo, 2003_2]

3. Bezugsrahmenwechsel LV03 - LV95 in Winterthur

Das folgende Konzept wurde mit Unterstützung vom KVA ZH erarbeitet. Ein Teil der Ausführungen und Pläne aus diesem Kapitel wurden im Pflichtenheft zur Dienstanweisung 39A mitverwendet.

3.1. Entstehung der Amtlichen Vermessung in Winterthur

Das Stadtgebiet von Winterthur besteht aus 7 Stadtkreisen⁸. Die Stadtkreise waren teilweise eigenständige Gemeinden bevor sie sich mit der Stadt Winterthur vereinigten. Die AV wurde innerhalb der Perimeter von den Stadtkreisen Erstvermessen. Die Erstvermessung der AV erfolgte über mehrere Jahrzehnte (vgl. Abb. 16). Im Rahmen der Nachführung wird auch heute noch an der AV weitergearbeitet. Aufgrund von Entwicklungen über die Zeit sind die dabei eingesetzten Methoden und Technologien sehr unterschiedlich. Das AV Werk der Stadt Winterthur ist daher aufgrund seiner Entstehungsgeschichte ein sehr inhomogenes Werk.

Für die Aufrechnung der Daten der AV in den Qualitätsstandart AV93 wurde das Fixpunktnetz der Stadt Winterthur beurteilt und im Bericht [VAW 1986] dokumentiert. Kern dieser Untersuchung bilden die verschiedenen „Polygonnetze“ welche aufgrund der Statistik der Abschlussfehler von den Polygonzügen beurteilt. Im Rahmen des Berichts wurde die Entstehungsgeschichte der AV der Stadt Winterthur dokumentiert. Die Erkenntnisse des Berichts dienen dem Kapitel 3.1. als Grundlage. Eine weitere Grundlage für die folgenden Kapitel ist die Dokumentation [VAW, 2006].

⁸ Winterthur, Oberwinterthur, Seen, Töss, Veltheim, Wülflingen und Mattenbach

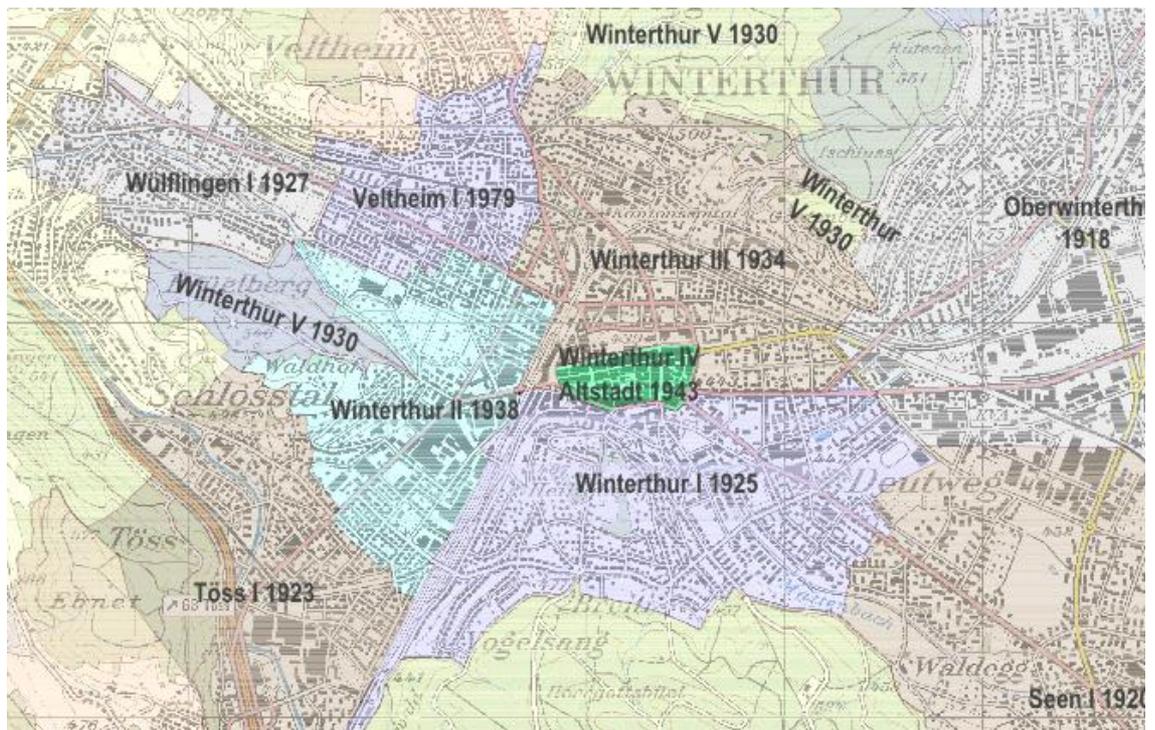


Abbildung 16: Planausschnitt Ersterfassung [VAW, 2012_2].

3.1.1. Erstvermessung

In der Stadt Winterthur wurde die Erstvermessung der AV vor 1945 abgeschlossen. Die Erstvermessung wurde in Teilgebieten realisiert und umfasste eine halbgrafische AV mit Koordinatenkataster. Die Fixpunkte und Grenzpunkte wurden in Koordinaten verwaltet. Die restlichen Daten auf einem grafischen Grundbuchplan mit den dazugehörigen Stationsblättern⁹.

3.1.2. Zweitvermessung

Aufgrund von Mängeln in der AV oder im Rahmen von grösseren Landzusammenlegungen¹⁰ wurden in Teilgebieten der Stadt Winterthur Zweitvermessungen durchgeführt. Eine Zweitvermessung wurde in Teilgebieten von Oberwinterthur, Seen und Veltheim gemacht.

⁹ Aufnahmeprotokoll von tachymetrischen Aufnahmen.

¹⁰ Für eine effizientere Bewirtschaftung des Land- und Forstwirtschaftsland werden die Eigentumsparzellen der einzelnen Grundeigentümer über Landabtausch vergrössert.

3.1.4. AV93

Die Fixpunkte und Grenzpunkte der halbgrafischen Vermessung der Stadt Winterthur wurden in Vorbereitung auf die Katastererneuerung (Los 29 – 35 von 1999 bis 2005) beurteilt und als genügend eingestuft. Die Ergebnisse dieser Beurteilung wurden im Bericht [VAW, 1986] festgehalten. Der Bericht dient als Grundlage für das folgende Kapitel.

Entsprechend wurden im Rahmen der Katastererneuerung (Lose 29 – 35) die bestehenden Koordinaten der Fixpunkte und Grenzpunkte unverändert belassen. Die Koordinaten der Ebene Bodenbedeckung und Einzelobjekte wurden mit den auf den Stationsblättern protokollierten Messungen berechnet. Heute gelten somit über grosse Gebiete der Stadt Winterthur AV-Daten, die Ihren Ursprung in einer der Ersterhebungen haben.

Im Bericht [VAW, 1986] ist ein wesentlicher Aspekt bei der Beurteilung der alten Netze die statistische Auswertung von den Abschlussfehlern aller Polygonzüge. Beurteilt wird dabei der Abschlussfehler in Bezug auf die Toleranzausnutzung. Die Tabelle 5 zeigt diese Auswertung von der Erstvermessung am Beispiel von Oberwinterthur. Die Abschlussfehler der Polygonzüge wurden in den Polygonzugsberechnungen ausgewiesen. Im Kapitel 2.2.3. ist in der Abbildung 9 eine Polygonzugsberechnung abgebildet. In der Abbildung ist der Abschlussfehler des Polygonzugs gut zu erkennen.

Neuvermessungen Zusammenfassung der Zugsabschlüsse FS		Toleranzausnutzung, Anz. Züge		
		erstes Drittel	zweites Drittel	drittes Drittel
Messkanpagne				
Erstvermessung 1918	Hauptzüge	54	13	0
	Nebenzüge	198	50	2
	Total Züge	252	63	2
	Prozent	78 %	21 %	1 %
GZ Ricketwil Erstvermessung 1958	Hauptzüge	2	1	0
	Nebenzüge	31	8	0
	Total Züge	33	9	0
	Prozent	79 %	21 %	0 %

Tabelle 5: Statistik Abschlussfehler von Polygonzügen [VAW, 1986].

3.1.5. Fixpunktrevision LFP1 und LFP2

Die Fixpunktrevision des übergeordneten Fixpunktnetzes wurde im Rahmen der Messungen und Berechnungen für CHENyx06 von der swisstopo und dem KVA ZH durchgeführt. Die Arbeiten wurden in der Dokumentation [KVA ZH, 2004] festgehalten (vgl. Kapitel 1.1.1. und 1.1.2.)

3.1.6. Nachführung der Amtlichen Vermessung

Seit der Erstvermessung werden die Daten der AV laufend nachgeführt. Je nach Thema geschieht dies periodisch oder aufgrund eines Meldewesens kontinuierlich.

Aufgrund von reger Nachführungstätigkeit in den vergangenen Jahren und einer über Jahre hinweg gleichbleibenden Personellen Besetzung in der Nachführung durch sogenannte Gebietsverantwortliche¹¹ hat sich in den vergangenen Jahren ein enormes Wissen über Spannungsgebiete in Winterthur bei den Verantwortlichen angesammelt. Dieses Wissen wurde für die Einteilung der Stadt in sogenannte Problemgebiet bei den jeweiligen Vermessungsfachleuten durch Interviews recherchiert.

¹¹ Vermessungsfachleute die für die Nachführung eines Stadtkreises verantwortlich sind

3.2. Problemstellungen Bezugsrahmenwechsel Stadt Winterthur

Die AV der Stadt Winterthur weist Spannungen auf, die genügend gross sind, dass heutige und künftige Anforderungen nicht mehr erfüllt sind. Auf Grundlage der Revisionsarbeiten des Kantons am übergeordneten Fixpunktnetz sind die Fixpunkte sowie das amtliche Vermessungswerk der Stadt Winterthur auf den Bezugsrahmenwechsel LV95 vorzubereiten. Handlungsbedarf ergibt sich insbesondere aus folgenden 5 Gründen:

- 1) Im Verlauf der Zeit sind im LFP3-Netz der Stadt Winterthur aufgrund von Nachführungsmängeln, Rutschungen etc. zum Teil grössere Spannungen entstanden.
- 2) Im Rahmen der LFP3-Nachführung wurden zum Teil neue Fixpunktkoordinaten eingeführt, ohne die Nachbarschaftsgenauigkeit zu weiteren Fixpunkten oder Ebenen der AV zu berücksichtigen.
- 3) Die nach Revision des übergeordneten Fixpunktnetzes in LV03.Win und LV03.ZH06 vorliegenden Passpunkte weisen eine zu geringe Dichte auf.
- 4) Die vorliegenden Passpunkte wurden nicht oder ungenügend ans lokale LFP3-Netz angeschlossen, um über deren Eignung als Transformationsstützpunkte abschliessend entscheiden zu können (siehe auch Punkt 5).
- 5) Zum Teil wurden die neuen LV03.ZH06-Koordinaten von LFP2 aufgrund grosser Spannungen im amtlichen Vermessungswerk nicht eingeführt.

3.3. Konzept für den Bezugsrahmenwechsel der AV-Daten der Stadt Winterthur

Aufgrund der Bestandsaufnahme im Kapitel 3.1 und Kapitel 3.2 ist ersichtlich, dass in der Stadt Winterthur für eine erfolgreiche Realisierung des Bezugsrahmenwechsels von LV03 auf LV95 diverse vorbereitende Massnahmen notwendig sind. Die einzelnen Massnahmen entsprechen den aufgeführten Losen 1 – 5 aus dem Schema in der Abbildung 19.

Aufgrund von neuen Erkenntnissen ist es auch durchaus denkbar, dass an diesem Schema sowie auch an dem Konzept mit fortschreitenden Arbeiten Anpassungen angebracht werden müssen.

Schema

Prozess	Verantwortlicher	Resultate / Dokumente
	VAW KVA ZH und swisstopo	Pflichtenheft / Konzept Dienstanweisung Los 1
	VAW	Koordinatenliste
	VAW	Vektorplan
	VAW	provisorische Transformationsdreiecke Plan mit Resklaffungen
	VAW KVA ZH und swisstopo	Pflichtenheft / Konzept Dienstanweisungen Los 2 und Los 3
	VAW	Koordinatenliste
	VAW KVA ZH und swisstopo	definitive Transformationsdreiecke Plan mit Resklaffungen Los 4
	VAW	
	VAW	

Abbildung 19: Schema für den Ablauf des Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 der Stadt Winterthur.

3.4. Los 1

Gegenstand von Los 1 sind einerseits die Vorarbeiten, welche zur Festsetzung des vorliegenden Vorgehenskonzeptes sowie der Dienstanweisung zur Umsetzung des ersten Realisierungsschrittes (Los 1) notwendig waren. Andererseits sind die Verdichtungs- und Anschlussmessungen und deren Auswertung mit nachfolgenden Ergebnissen Gegenstand von Los 1:

- Neuberechnung und Revision des Fixpunktnetzes in Teilgebieten
- Klärung der lokalen Abstützung und Aussagekraft der verfügbaren Passpunkte des Bezugsrahmens LV03.ZH06
- Messung, Festsetzung und Verdichtung der Transformationsstützpunkte LV03.Win -> LV03.ZH06
- Überprüfung der Dimension der lokaler Spannungen zwischen der Ebene Fixpunkte und der Ebene Liegenschaften respektive Bodenbedeckung
- Festsetzung des weiteren Vorgehens (Lose 2 und 3)

3.4.1. Vorbereitung

Für das Los 1 wurde das ganze Stadtgebiet in Teilgebiete unterteilt. Die Kategorisierung wurde auf Basis der Empfehlungen des Bundes vorgenommen. Die zu den Kategorien gehörenden Massnahmen wurden vom VAW in Zusammenarbeit mit dem KVA ZH definiert. Die einzelnen Kategorien sind wie folgt definiert:

Unproblematische Gebiete:

Kategorie 1 Spannungsarme Teilgebiete in denen keine Massnahmen notwendig sind.

Problemgebiete:

Kategorie 2 Kleine Teilgebiete in denen im Durchschnitt acht LFP3 gemessen werden. Diese Teilgebiete werden aufgrund der in der Revision des übergeordneten Fixpunktnetzes festgestellten Restklaffen und deren Verteilung ausgewählt.

Kategorie 3 Je nach Grösse des Teilgebiets werden verschiedene Spots definiert in denen im Durchschnitt fünf LFP3 und zehn Grenzpunkte gemessen werden. Die Abgrenzung dieser Teilgebiete sowie die Auswahl der Punkte basiert auf konkreten Hinweisen auf Spannungen aus vorgenommenen Nachführungsarbeiten. Die Spannungen können auch zwischen AV-Ebenen bestehen. Eine repräsentative Verteilung wird angestrebt.

Kategorie 4 In diesen Gebieten werden alle LFP 3 neu bestimmt. Die Teilgebiete wurden aufgrund von grossen und heterogenen Spannungen definiert, die im Rahmen der Nachführung festgestellt wurden. Zusätzlich werden Spots definiert, bei denen Grenzpunkte gemessen werden.

Basis für die Gebietseinteilung ist das Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen [swisstopo, 2007] welches in der Tabelle 3 im Kapitel 3.4.2. abgebildet ist.

Zusätzlich wurden die folgenden Grundsätze definiert: Gebiete ausserhalb der Bauzone werden nur aufgrund von Spannungen im übergeordneten Netz zusätzlich entzerrt, es sind folglich nur Gebiete der Kategorie 1 und der Kategorie 2 in der Land- und Forstwirtschaftszone möglich (vgl. Abb. 21).

Besonderes Augenmerk gilt entlang der Abgrenzung Baugebiet - Land- und Forstwirtschaftszone. Zusätzliche Spannungen können entlang der Stadtkreisgrenzen und entlang von trennenden Objekten (Bahnschienennetz der SBB, Autobahnnetz, Fluss/Bach) auftauchen.

Auf den folgenden Seiten sind die Problemgebiete und deren Kategorie für jeden Stadtkreis separat beschrieben. Ausnahme bildet die Kategorie 2. Diese Kategorie entstand durch die Spannungen im übergeordneten Fixpunktnetz. Diese Teilgebiete wurden vom KVA und VAW definiert und in einem Plan dokumentiert. Die Abbildung 20. zeigt einen Planausschnitt mit den Problemgebieten der Kategorie 2. Die Problemgebiete sind gelb dargestellt.



Abbildung 20: Planausschnitt Problemgebiete Kategorie 2.

3.4.2. Problemgebiete

Bei der Kategorisierung der Stadt Winterthur in Problemgebiete und unproblematische Gebiete diente das Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen als Basis. Das Bewertungsblatt ist in der Tabelle 6 abgebildet.

Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen
 Ein einziges Minus (-) genügt, um weitere Untersuchungen anstellen zu müssen
 Gemeinde:
 Los:
 Teilgebiet

Bewertung	(+)	(-)
Ersterhebung (Entstehungszeit der Originalvermessung) bzw. Datum der letzten strengen Netzausgleichung bei erneuerten Operaten: Datum / Bemerkung / Begründung		
Messmethode, insbesondere der Distanzmessung: Bemerkung / Begründungen:		
Berechnungsart der Fixpunktkoordinaten: Bemerkung / Begründungen:		
Art der Aufarbeitung auf AV93-Standard: Bemerkung / Begründungen:		
Veränderungen bei übergeordneten Anschlusspunkten: Bemerkung / Begründungen:		
Realisierung der Verknüpfung der Fixpunkte zu den übrigen Informationsebenen: Bemerkung / Begründungen:		
Erfahrungen aus der Nachführung: Bemerkung / Begründungen:		
Bekannte Spannungszonen vorhanden: Bemerkung / Begründungen:		
Ursache der Spannungszonen bekannt: Bemerkung / Begründungen / Erklärungen:		

Tabelle 6: Bewertungsblatt für AV Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen [swisstopo, 2007].

Für jedes Teilgebiet mit unterschiedlicher Entstehungsgeschichte wurde ein solches Bewertungsblatt ausgefüllt. Schon bei einem Minus (-) im Bewertungsblatt müssen zusätzliche Untersuchungen in dem betroffenen Gebiet gemacht werden. Die meisten Gebiete der Stadt Winterthur haben mehrere Minus (-) Symbole.

Dank grosser Nachführungstätigkeit im Baugebiet der Stadt Winterthur und der damit einhergehenden Erfahrungen mit den Koordinaten der AV ist das Hauptaugenmerk bei der Kategorisierung bei den letzten drei Punkten des Bewertungsblattes. Es wird daher davon ausgegangen dass potentielle Spannungsgebiete aufgrund von Nachführungstätigkeiten bekannt sind. Die Abbildung 21 zeigt einen Ausschnitt des Plans 3 (vgl. Anhang) mit den verschiedenen Teilgebieten. Die Problemgebiete sind gelb dargestellt und durchnummeriert. Die erste Nummer steht für den Stadtkreis, der zweite Teil der Nummer ist Stadtkreisweise durchnummeriert.

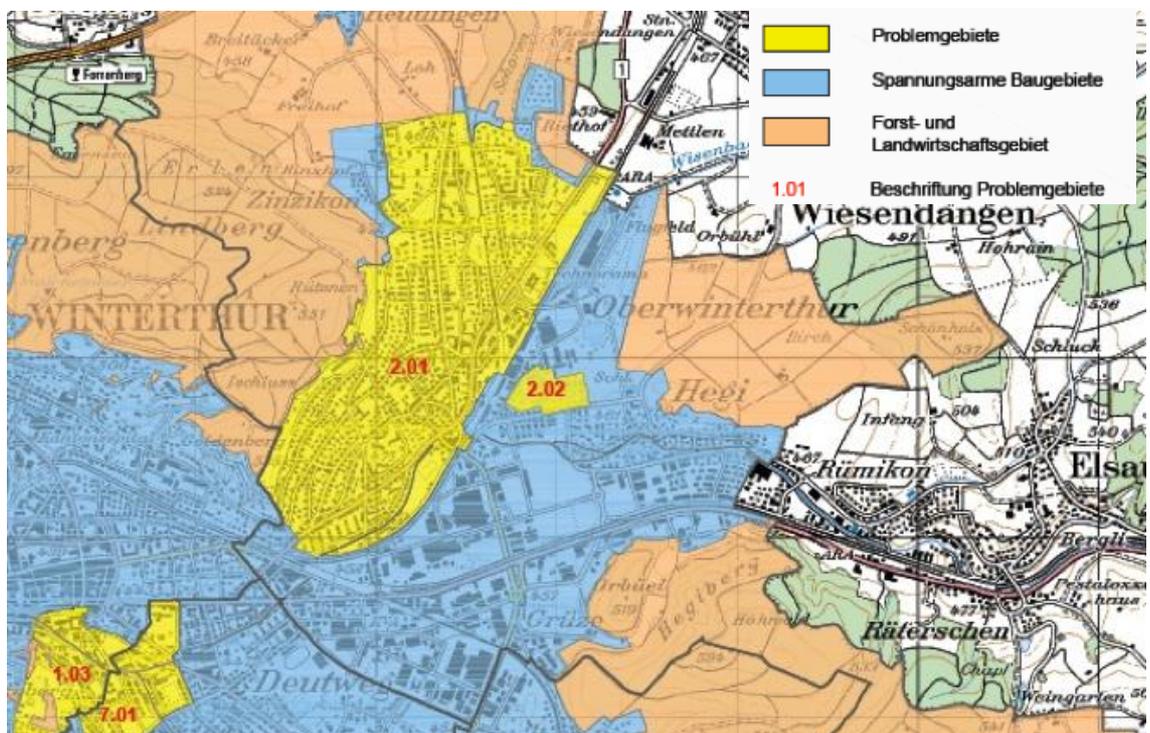


Abbildung 21: Planausschnitt Problemgebiete Kategorie 3 und 4 [VAW, 2012_4].

Auf der nachfolgenden Seite sind die wichtigsten Ausschnitte aus dem Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen für die Problemgebiete des Pilotgebiets aufgelistet.

Teilgebiet 2.01, Problemgebiet Kategorie 4:

In diesem Teilgebiet sind grosse Spannungen in der Ebene Fixpunkte und zwischen der Ebene Fixpunkte und den restlichen AV Ebenen im Rahmen der Nachführung festgestellt worden. Die Ursachen für die grossen Differenzen liegen zum einen im alten Fixpunktnetz aus dem Jahr 1918. Eine weitere Ursache für diese Spannungen liegt auch in der teilweisen Einführung von neuen LFP Koordinaten im Rahmen der Fixpunktrevision.

Teilgebiet 2.02, Problemgebiet Kategorie 4:

Die Ersterhebung geht auf das Jahr 1918 zurück und ist deshalb kritisch zu betrachten. Dieses Teilgebiet wurde mit Oberwinterthur I erfasst.

In diesem Teilgebiet sind grosse Spannungen in der Ebene Fixpunkte und zwischen der Ebene Fixpunkte und den restlichen AV Ebenen im Rahmen der Nachführung festgestellt worden. Die Ursachen für die grossen Differenzen liegen zum einen im alten Fixpunktnetz aus dem Jahr 1918. Eine weitere Ursache für diese Spannungen liegt auch in der teilweisen Einführung von neuen LFP Koordinaten im Rahmen der Fixpunktrevision.

3.4.3. Messung und Auswertung

Die Fixpunkte werden wo immer möglich mit GNSS gemessen. Die Anforderungen an die Punktbestimmung sind im Kapitel 2.3. dokumentiert. Im Wesentlichen führen diese Anforderungen dazu, dass die Punkte in zwei unabhängigen GNSS-Sessionen mit der RTK VRS Methode gemessen werden. Auch die Ausgleichung der Messungen ist im Kapitel 2.2. beschrieben.

Die so bestimmten neuen Koordinaten der Fixpunkte können bei Bedarf als LFP in die AV übernommen werden. Ausgewählte LFP können als Transformationsstützpunkte für die restlichen AV-Daten gebraucht werden. Die Grenzpunkte werden, soweit möglich, analog zu den Fixpunkten bestimmt. Sie dienen ausschliesslich als Indikatoren (Kontrollpunkte) für Spannungen zwischen der Ebene Fixpunkte und den restlichen Ebenen der AV.

Bei geschätzten 10% der LFP wird die GNSS Methode nicht die erforderlichen Resultate betreffend Genauigkeit und Zuverlässigkeit liefern. Diese LFP werden tachymetrisch nachgemessen.

3.4.4. Aufwandsabschätzung und Terminplanung

Um den Aufwand vom Los 1 abschätzen zu können, wurden die Punkte, welche gemessen werden sollen, gezählt. In der Tabelle 7 sind die Resultate dieser Auszählung Problemgebietsweise dargestellt. Es handelt sich dabei um eine Schätzung. Nicht mitgezählt sind die Punkte der Kategorie 2. Rot markiert sind die Problemgebiete welche im Rahmen der Masterarbeit als Pilotgebiete dienen.

Problemgebiet	1.01	1.02	1.03	2.01	2.02	usw.	K 2	Total
Fläche (ha)	27	32	27	230	8		-	511
Total Anzahl LFP	78	77	45				-	1007
Anzahl LFP die mit GNSS gemessen werden	78	10	10	460	30		200	1013
Anzahl LFP die tachymetrisch nachgemessen werden	7.8	1	1	46	3		10	81
Anzahl GP die mit GNSS gemessen werden	20	20	20	80	10			310

	Allgemeine Informationen zu den Problemgebieten (ohne K2)
	Auszählungen zu den Problemgebieten (inkl. K2)
	Masterarbeit (Pilotgebiet)
	K2 gleich Problemgebiete Kategorie 2

Tabelle 7: Auszählung der zu messenden Punkte pro Problemgebiet.

Aufgrund der Ergebnisse der Auszählung in der Tabelle 7 konnte eine Aufwandsabschätzung gemacht werden. In der Tabelle 8 sind die Ergebnisse dieser Abschätzung dargestellt. Für die Aufwandsabschätzung wurden die folgenden Annahmen aufgrund von Erfahrungswerten aus der Feld- und Büroarbeit in der Vermessung erstellt:

- 40 Punkte mit Doppelaufnahme pro Feldtag (Messequipe) die mit GNSS gemessen werden können.
- In Städtischen Gebieten wird davon ausgegangen, dass 10% der Punkte wegen zu grosser Horizontabdeckung Tachymetrisch nachgemessen werden müssen.
- Bei den tachymetrischen Messungen wird mit 7 Punkte pro Feldtag gerechnet, wobei pro Punkt mit 3 Stationen gerechnet wird.

Stadtkreis	Altstadt	OW	usw.		
Teilgebiet	1.x	2.x		Total Pkt.	Total AT
Auswahl Punkte	2.0	4.0			26.0
Einsatzplanung	1.0	1.0			9.0
Anzahl LFP die mit GNSS gemessen werden	98.0	490.0		1013.0	25.3
Anzahl LFP die tachymetrisch nachgemessen werden	9.8	49.0		91.3	13.0
Anzahl GP die mit GNSS gemessen werden	60.0	90.0		310.0	7.8
Auswertung LFP und GP Stadtkreisweise (Koordinatenliste, Vektorplan)	2.0	2.0			17.0
Definition der Dreiecksvermaschung (lokale Entzerrung)	3.0	3.0			26.0
Gebietskategorisierung gemäss Prozessdiagramm	1.0	2.0			8.0
Schlussbericht und Pflichtenheft für Lose 2 und 3	1.0	3.0			10.0
Total AT					142
				AT Feld	46
				AT Büro	96
	Auszählung Punkte				
	Auszahlungen in Feldtagen (Feldequipe)				
	Auszahlungen in Bürotagen (Techniker)				
	AT gleich Anzahl Tage				

Tabelle 8: Aufwandsabschätzung Los 1.

Das VAW rechnet für das Los 1 mit einem Aufwand von 46 Feldtagen (zwei Personen) für die Messung der Punkte und 96 Bürotagen für die Auswertungen der Messungen und Planung der weiteren Lose 2 und 3.

Auf Basis der Aufwandsabschätzung wurde, unter Berücksichtigung der Ressourcen beim VAW eine Terminplanung für das Los 1 erstellt. Die Terminplanung ist in der Tabelle 9 dargestellt.

Arbeiten	Verantwortlicher	Resultate / Abgaben	Termin
Vorarbeiten DA 39A	VAW (Bewilligung KVA ZH und swisstopo)	Pflichtenheft Los 1	31.03.12
Messungen	VAW	Koordinatenliste	28.02.13
Dokumentation Messresultate	VAW	Vektorplan	30.04.13
Berechnungen / prov. Transformation	VAW (Bewilligung KVA ZH und swisstopo)	Dokumentation Restklaffungen / technischer Bericht	31.07.13
Vorarbeiten Los 2 und Los 3	VAW (Bewilligung KVA ZH und swisstopo)	Pflichtenheft Los 2 und Los 3	30.09.13

Tabelle 9: Terminplanung für die Realisierung vom Los 1 sowie Einleitung der nächsten Schritte.

3.4.5. Abgabe Los 1

Die folgenden Ergebnisse werden von der Ausführung vom Los 1 erwartet:

Koordinatenberechnung, Koordinaten und Dokumentation der GNSS- und Tachymetermessungen.

Vektorplan, für eine bessere Beurteilung der Messresultate werden die Koordinatendifferenz zwischen den neu gemessenen Koordinaten und den Koordinaten der AV in einem Vektorplan dargestellt. Dieser Vektorplan dient als Entscheidungsgrundlage für die weiteren Arbeiten.

Transformationsparameter (provisorische Transformation), Auf Grundlage des Vektorplans werden die Transformationsstützpunkte und die Transformationsdreiecke definiert. Als Indikator für die Qualität der Transformation dient in erster Linie die Restklaffung (Koordinatendifferenz zwischen LV03.Win transformiert – LV03.ZH06). Die Toleranz für die Restklaffungen bei den Fixpunkten wird auf 5 cm festgesetzt. Wenn die Restklaffungen grösser sind, werden zusätzliche Stützpunkte eingeschaltet.

Gebietskategorisierung, aufgrund der Auswertung wird das Gebiet der Stadt Winterthur neu kategorisiert und in folgende Teilgebiete aufgeteilt:

- Teilgebiete mit genügend Transformationsstützpunkten
- Teilgebiete in denen zusätzliche Transformationsstützpunkte benötigt werden
- Teilgebiete mit grossen Spannungen zwischen der Ebene Fixpunkte und den restlichen Ebenen der AV

Pflichtenheft für die Lose 2 und 3, Aufgrund der Ergebnisse aus Los 1 ist das weitere Vorgehen im Rahmen eines Pflichtenheftes für die Lose 2 und 3 vorzuschlagen.

4. Messungen und Auswertungen

Wie im Kapitel 3.4.3. bereits erwähnt, kommen bei der Messkampagne in erster Linie GNSS-Messungen zum Einsatz. In Gebieten wo die erforderliche Genauigkeit und Zuverlässigkeit durch GNSS-Messungen nicht eingehalten werden können, kommt die Tachymetrie zum Einsatz.

4.1. Feldvorbereitungen

Als Vorbereitende Massnahmen wurde zu jedem Problemgebiet ein Übersichtsplan im Massstab 1:5'000 erstellt, auf welchem die zu Messenden LFP's sowie die Problemgebiete (vgl. Abb. 21) ersichtlich sind. In der Abbildung 22 ist ein Ausschnitt des Plans abgebildet. Die LFP sind farblich nach LFP1 und LFP2 schwarz, LFP3 mit Höhe blau und LFP3 ohne Höhe rot unterschieden. Als Plangrundlage dient der Übersichtsplan welcher einem generalisierten Auszug aus den AV-Daten entspricht.



Abbildung 22: Feldplanausschnitt LFP und Problemgebiete.

Auf dem Feld wurden die gemessenen LFP markiert und die gelaufene Route für die GNSS-Messungen eingetragen. Zusätzlich zum Feldplan wurde eine Tabelle geführt.

In der Tabelle wurden die folgenden Attribute zu jedem gemessenen Punkt aufgeschrieben: die Uhrzeit und das Datum der Aufnahme, Genauigkeitsangabe vom GNSS-Empfänger.

Zusätzlich konnte bei Problemen mit der Genauigkeit die horizontale Abdeckung festgehalten werden, oder falsch registrierte Reflektorhöhe, sowie falsch registrierte Punktnummern.

Für die Grenzpunktmessungen wurde ein Grundbuchplanausschnitt mit den zu messenden Grenzpunkten vorbereitet. Der Grundbuchplanausschnitt wurde im Massstabe 1:1000 ausgedruckt und hat die Ebenen der AV als Grundlage.

4.2. Messung und Auswertung GNSS

Für das folgende Kapitel dienen der Praktikumsbericht von Sandra Egli [Egli S, 2012] und die GNSS Messungen im Herbst 2012 der Pilotgebieten in Oberwinterthur als Grundlage.

4.2.1. Messungen

Die GNSS Messkampagne startete am 25.9.12. Die Messungen erfolgten nach der RTK-VRS Methode, welche im Kapitel 2.2.1. beschrieben wurde.

Die folgenden Messdaten wurden im Rahmen der Messkampagne täglich gespeichert:

- Jobdateien (*.job)
Aus der Jobdatei können jederzeit die Koordinatenliste sowie das Messprotokoll wieder hergestellt werden. In den Jobdateien werden die Daten Trimble intern verwaltet.
- Koordinaten (*.asc)
Diese Datei beinhaltet eine reine Koordinatenliste mit der Punktnummer, Artcode, den Koordinaten (Lage und Höhe)
- Messprotokolle (*.txt)
Im Messprotokoll werden alle für die Messungen relevanten Daten mitgespeichert. Neben der Koordinate, dem Koordinatensystem, Projektionssystem usw. sind für Weiterverarbeitung der Messungen die Genauigkeit und der Aufnahmezeitpunkt wichtig.

Im Verlauf der Messungen im Pilotgebiet wurden die Resultate kontinuierlich geprüft. Teilweise mussten die Messeinstellungen oder die Messdisposition aufgrund der Resultate geändert werden. Wesentliche Änderungen wurden auch durch eine Besprechung mit Wissenschaftlern des IGPs der ETH Zürich injiziert. Auf den folgenden Seiten ist der Verlauf der GNSS-Messungen im Pilotgebiet beschrieben.

Messeinstellungen für die GNSS-Messungen:

Die Messdauer wurde zu Beginn der Messkampagne auf 30 Epochen je Punkt definiert, was den Voreinstellungen im Fixpunktmodus beim GNSS Gerät vom VAW entspricht.

Die Sessionen wurden mindestens mit einer Stunde Differenz gemessen um Korrelation aufgrund von ähnlichen Satellitenkonstellationen zu vermeiden. Aufgrund von ungenügenden Messresultaten (vgl. Tabelle 10), wurde zwei Wochen nach Messkampagnenstart die Anzahl gemessener Epochen von 30 auf 120 erhöht. Durch die Erhöhung der Messdauer konnte die mittleren Fehler der GNSS-Messung $\leq 1\text{cm}$ von 44% der Messungen auf 94% der Messungen erhöht werden. Die Verbesserung der Resultate ist in der Tabelle 10 dokumentiert. Der mittlere Fehler einer GNSS-Messung soll gemäss der Technischen Weisung vom KVA nicht grösser als 1cm sein (vgl. Kapitel 2.3.1.).

Anz. Epochen	Total Messungen	Tol. KVA ZH 10 mm	Anz. Messungen	prozentualer Anteil
30	131	≤ 10	58	44.30%
		> 10	73	55.70%
120	131	≤ 10	123	93.90%
		> 10	8	6.10%

Tabelle 10: Auswertung der Resultate der Verbesserungen durch die Epochenerhöhung [Egli S, 2012].

Referenzpunkt

Um systematische Verschiebungen bei den GNSS-Messungen detektieren zu können wurde im Pilotgebiet von Oberwinterthur ein Referenzpunkt definiert. Dieser Referenzpunkt wird jeweils am Morgen als erstes sowie am Abend als letztes gemessen. Der Referenzpunkt hat wenig horizontale Abdeckung, wodurch sich dieser Punkt gut für die GNSS-Messung eignet.

Der Referenzpunkt zum Pilotgebiet in Oberwinterthur wurde 50 mal mit GNSS gemessen. Aufgrund der vielen GNSS-Messungen auf den Referenzpunkt kann die Genauigkeit des GNSS über die ganze Zeitspanne der Messkampagne kontrolliert werden. In der Tabelle 11 ist die Auswertung des Referenzpunktes dokumentiert. Die Tabelle 11 zeigt die Standardabweichungen der Koordinaten (Y, X). Wobei s_0 jeweils die Standardabweichung von der Einzelmessung und s jeweils der Standardabweichung vom Mittel entspricht. V_{\max} entspricht der maximalen Abweichung über alle GNSS-Messungen.

LFP	Y			X		
	s_0 [mm]	s [mm]	v_{\max} [mm]	s_0 [mm]	s [mm]	v_{\max} [mm]
20210713	5.5	0.8	14.5	5.1	0.7	-12.18

Tabelle 11: Auswertung Referenzpunkt [Egli S, 2012].

Sessionen

Aufgrund der Besprechung vom 22. Oktober 2012 mit den Vertretern des IGPs der ETH Zürich wurde die Messkampagne angepasst. Um Korrelation zwischen den Sessionen zu vermeiden wurde empfohlen die Sessionen nicht nur mit einer Stunde Differenz zu messen. In der Folge wurden die Punkte nicht mehr am selben Tag in 2 Sessionen gemessen. In einem ersten Durchgang wurden alle Punkte Gebietsweise in einer Session gemessen und erst Wochen später in der zweiten Session. Bei diesem Messablauf wurde zusätzlich die tägliche zeitliche Verschiebung von identischen Satellitenkonstellationen, die sich durch die Satellitenumlaufbahn von 1h 58min ergibt, berücksichtigt.

Im Rahmen der Beurteilung der Messergebnisse wurden die Standardabweichungen der GNSS-Messungen beurteilt. Bei Standardabweichungen über 1.2 cm wurde eine 3. und je nach Genauigkeit eine 4. Session gemessen. Das Ziel war für jeden Punkt zwei GNSS-Messungen zu haben die eine Standardabweichung ≤ 1.2 cm haben. Der Grenzwert von 1.2 cm ist als Kompromiss (Wirtschaftlichkeits- und Genauigkeitsanforderungen) aus der Empfehlung von KVA ZH (vgl. Kapitel 2.3.1.) entstanden. Neben der Standardabweichung der GNSS-Messungen wurden die Differenzen zwischen den Sessionen beurteilt. Hierfür wurde die Toleranz für die Differenz von den Sessionen auf 3 cm festgesetzt (dreifache Empfehlung von der Standardabweichung vom KVA ZH). Im Falle einer Toleranzüberschreitung wurde eine 3. und teilweise eine 4. Session gemessen.

4.2.2. Auswertungen

Im Pilotgebiet in Oberwinterthur wurden 379 Fixpunkte mit GNSS gemessen. Die Koordinaten dieser Fixpunkte wurden in 2 bis 4 Sessions, mit einer mittleren Standardabweichung für die GNSS-Messung von 1 cm bestimmt.

Bei 27 Fixpunkten, also rund 7 % der Punkte, konnte mit dem GNSS-Empfänger keine Initialisierung erreicht werden. Diese Punkte sind aufgrund der horizontalen Abdeckung für die GNSS-Messung ungeeignet und wurden zu einem späteren Zeitpunkt tachymetrisch nachgemessen.

Die GNSS-Messungen sowie die Resultate der Mittelung wurden in einer Excel Tabelle zusammengestellt. Die Tabelle enthält die Punktnummer, die Koordinaten, die Standardabweichung der GNSS-Messung (sYX), die Aufnahmezeit und das Aufnahmedatum. Für jede Session werden jeweils die oben erwähnten Attribute dokumentiert. Einen Ausschnitt der Exceltabelle ist in der Tabelle 12 und 13 abgebildet.

Pktnr.	Y	X	H	sYX	Datum	Zeit
20103651	698300.633	262261.437	512.649	0.010	25.09.12	09:03:00
20103650	698390.538	262207.907	511.591	0.016	25.09.12	08:59:04
20215460	698418.059	262208.164	511.046	0.013	25.09.12	08:56:59
20215459	698435.127	262244.512	510.557	0.011	25.09.12	08:55:00
20215458	698452.660	262315.171	509.899	0.011	25.09.12	08:52:05
20213791	698472.021	262162.290	492.664	0.007	25.09.12	10:25:38
20215457	698475.298	262394.164	510.815	0.012	25.09.12	08:48:53
20213792	698478.692	262250.425	493.957	0.011	25.09.12	10:22:24
20213793	698503.580	262325.466	493.244	0.011	25.09.12	10:19:46
20215456	698514.581	262503.038	511.299	0.011	25.09.12	08:45:17
20215455	698535.263	262573.024	511.720	0.011	25.09.12	08:38:38
20213794	698549.591	262382.110	488.918	0.010	25.09.12	10:16:17

Tabelle 12: Ausschnitt aus der GNSS Koordinatenberechnung im Excel.

Die Tabelle 13. zeigt einen Ausschnitt der Tabelle mit den gemittelten Koordinaten. Für die Mittelung der Koordinaten sind jeweils die nicht durchgestrichenen Sessions verwendet worden. Die Tabelle zeigt die Punktnummer, die Standardabweichung der GNSS-Messungen der verschiedenen Sessions (sYX), die Koordinatendifferenz der verwendeten Sessions (fs) und die gemittelten Koordinaten. Die Standardabweichung der GNSS-Messung wurde bei dieser Berechnung mit dem Excel nicht berücksichtigt.

Pktnr.	Session1 sYX	Session2 sYX	Session3 sYX	Session4 sYX	fs	Mittel	
						Y	X
20103651	0.010	0.007			0.007	698300.637	262261.438
20103650	0.016	0.008	0.015	0.006	0.019	698390.526	262207.931
20215460	0.013	0.009	0.008		0.026	698418.091	262208.145
20215459	0.011	0.016	0.007		0.014	698435.133	262244.508
20215458	0.011	0.007			0.017	698452.664	262315.164
20213791	0.007	0.007			0.019	698472.025	262162.299
20215457	0.012	0.009	0.010		0.004	698475.302	262394.175
20213792	0.011	0.009			0.016	698478.698	262250.431
20213793	0.011	0.008			0.020	698503.585	262325.458
20215456	0.011	0.014	0.010		0.018	698514.590	262503.039
20215455	0.011	0.011			0.015	698535.270	262573.022
20213794	0.010	0.009			0.021	698549.598	262382.118

Tabelle 13: Ausschnitt aus der GNSS Koordinatenberechnung im Excel.

Eine Standardabweichung der gemittelten Koordinaten wird nicht berechnet. Die Abbildung 23 zeigt einen Ausschnitt des Plan 8. Im Plan dargestellt sind die mit GNSS gemessenen Punkte. Die Standardabweichung der GNSS-Messung ist farblich in drei Kategorien dargestellt. Dargestellt ist die Standardabweichung mit dem grösseren Wert.

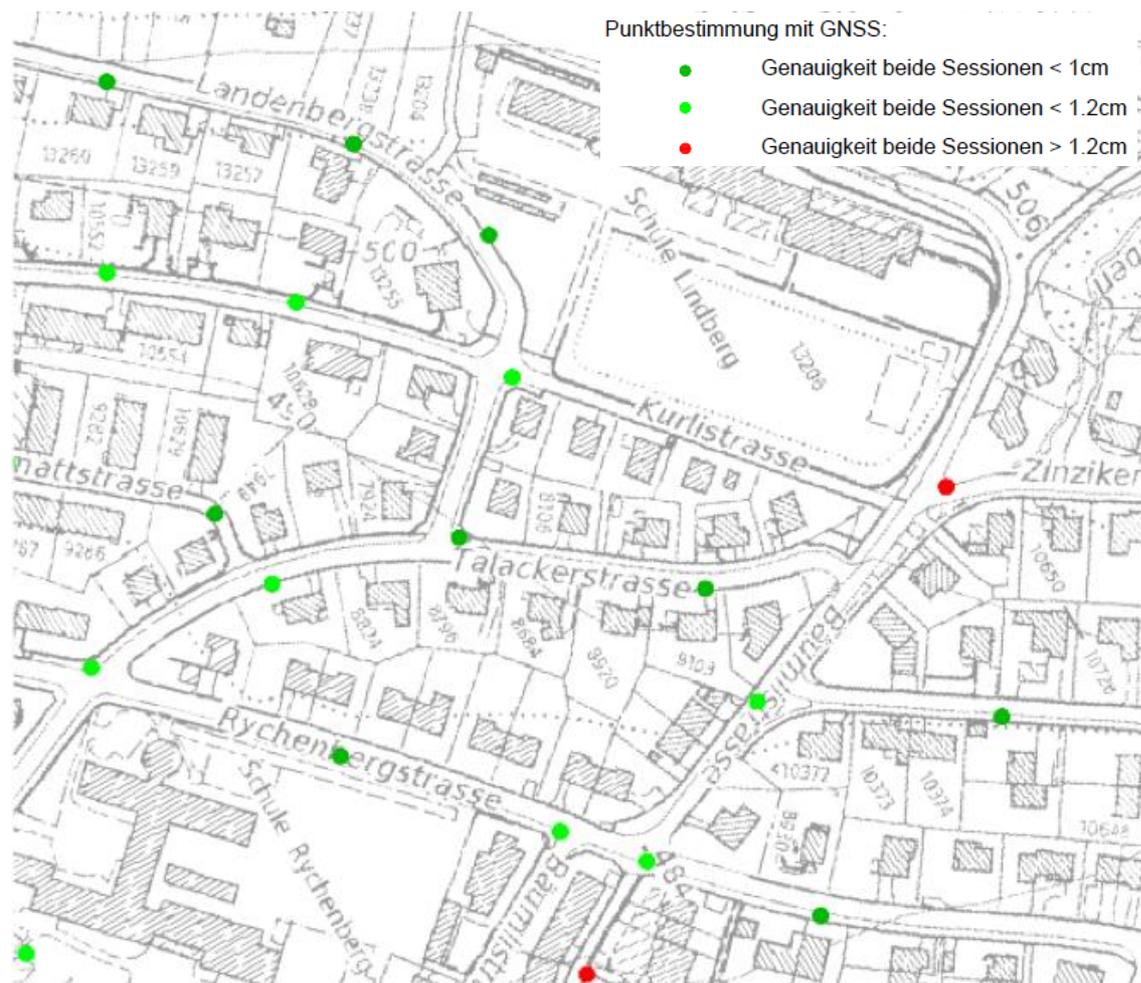


Abbildung 23: Planausschnitt GNSS Messungen im Pilotgebiet [VAW, 2013_1].

4.3. Messung und Auswertung Tachymeter

Für das folgende Kapitel dienen die tachymetrischen Messungen vom Herbst 2012 im Pilotgebiet in Oberwinterthur als Grundlage.

4.3.1. Messungen

Die Tachymetrie Messkampagne startete am 29.11.2012. Die Grundsätze der tachymetrischen Messungen sind im Kapitel 2.2.2. beschrieben wurde.

Die folgenden Messdaten wurden im Rahmen der Messkampagne gespeichert:

- Jobdateien (*.job)
- Rohdaten (*.roh)

Insgesamt wurden 39 Punkte tachymetrisch gemessen. Zu den 27 Fixpunkte die nicht mit GNSS gemessen werden konnten, mussten noch zusätzlich 12 Hilfspunkte mit Tachymeter gemessen werden. Die Hilfspunkte sind notwendig da zwischen diversen Fixpunkten keine direkte Sichtverbindung vorhanden war.

4.3.2. Auswertung NEPTAN

Wie schon im Kapitel 2.3.3. erwähnt, können bei der Berechnung mit dem Ausgleichsprogramm NEPTAN den Koordinatenbeobachtungen (GNSS) keine individuellen Standardabweichungen zugeordnet werden. Um der Genauigkeit von den GNSS-Messungen trotzdem Rechnung zu tragen, wird allen Festpunkten pauschal eine Genauigkeit von 1 cm gegeben.

In der Abbildung 24 sind die Resultate der GNSS-Messungen (vgl. Abbildung 23) sowie die Auswertung der Tachymetermessungen. Zusätzlich ist die Fehlerellipse¹² im Plan dargestellt Die Fehlerellipsen sind im Plan 1:1 dargestellt.

¹² Grafische Darstellung der Standardabweichung

4.4. Auswertungen Kombiniertes Netz

Um ein kombiniertes Fixpunktnetz gemäss den Anforderungen aus der TVAV zu berechnen wurde zu Testzwecken die Berechnung der GNSS-Messungen und Tachymetermessungen im Pilotgebiet mit dem Ausgleichsprogramm LTOP berechnet. Ein kleines Teilgebiet im Pilotgebiet wurde zusätzlich mit dem Ausgleichsprogramm rmNETZ berechnet. Bei dieser Auswertung des kombinierten Netzes (GNSS- und Tachymetermessungen) wird zu jeder Koordinatenbeobachtung die dazugehörige, im Rahmen der GNSS-Messung miterfasste Standardabweichung mit berücksichtigt. Bei der Ausgleichung wurden die GNSS-Messungen nur gemäss den Standardabweichungen gemittelt (keine Transformation). Dank der Berücksichtigung der Standardabweichungen konnten alle GNSS-Messungen unabhängig von der Grösse der Standardabweichungen mitberücksichtigt werden. Die tachymetrischen Beobachtungen werden gemäss den theoretischen Standardabweichungen von der Richtungs- und der Distanzmessung in die Berechnung einbezogen.

4.4.1. LTOP

Alle 406 Fixpunkte und 12 Hilfspunkte die gemessen wurden konnten mit dem LTOP berechnet werden. Die durchschnittliche Fehlerellipse weist für die grosse Halbachse einen Wert von 5.6 mm und für die kleine Halbachse einen Wert von 5.3 mm aus. Bei 3 Punkten ist die grosse Halbachse unwesentlich grösser als die geforderten 10 mm (vgl. Kapitel 2.3.1.) und bei 1 Punkt ist die grosse Halbachse 28 mm. In der Abbildung 25 ist ein Ausschnitt vom Plan 9 (vgl. Anhang) dargestellt. Die blauen Punkte wurden mit GNSS bestimmt und die schwarzen Punkte mit Tachymetrie. Bei den blauen Punkten haben allfällig vorhandene tachymetrische Messungen auch einen Einfluss auf die Resultate.

Gut zu erkennen sind bei den mit GNSS gemessenen Punkten die Fehlerkreise (rote Kreise) und bei den Tachymeter Punkten die Fehlerellipsen (rote Ellipsen). Der Fehlerkreis für die GNSS-Messungen kommt daher, dass die Standardabweichung für die Y und die X Koordinaten gleich gross sind. Bei der Fehlerellipse von der Tachymetermessung wirkt sich die Distanzstandardabweichung anders aus als die Richtungsstandardabweichung, in der Folge gibt es eine Ellipse und kein Kreis. Die Fehlerellipse wie auch der Fehlerkreis sind im Massstab 1:1 dargestellt.

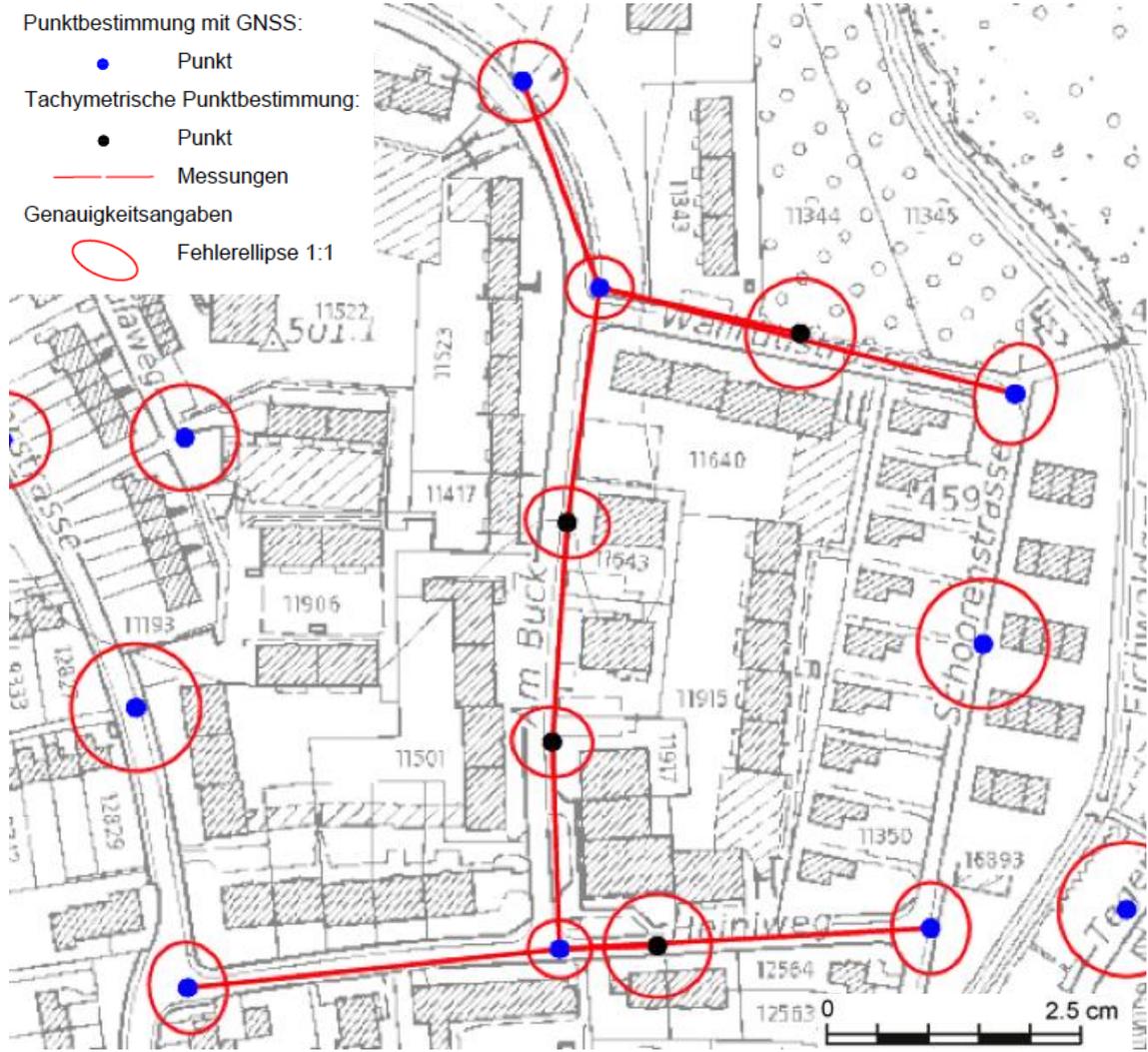


Abbildung 25: Planausschnitt Ausgleichung LTOP im Pilotgebiet [VAW, 2013_2].

4.4.2. Vergleich LTOP - NEPTAN/Excel - rmNETZ

In einem Teilgebiet vom Pilotgebiet von Oberwinterthur wurden zusätzlich zur NEPTAN/Excel und LTOP Ausgleichung die Messungen mit rmNETZ ausgeglichen. Auf dem Situationsplan in der Abbildung 26 ist das Teilgebiet abgebildet. Die Ergebnisse und Differenzen wurden in der Tabelle 14 zusammengestellt.

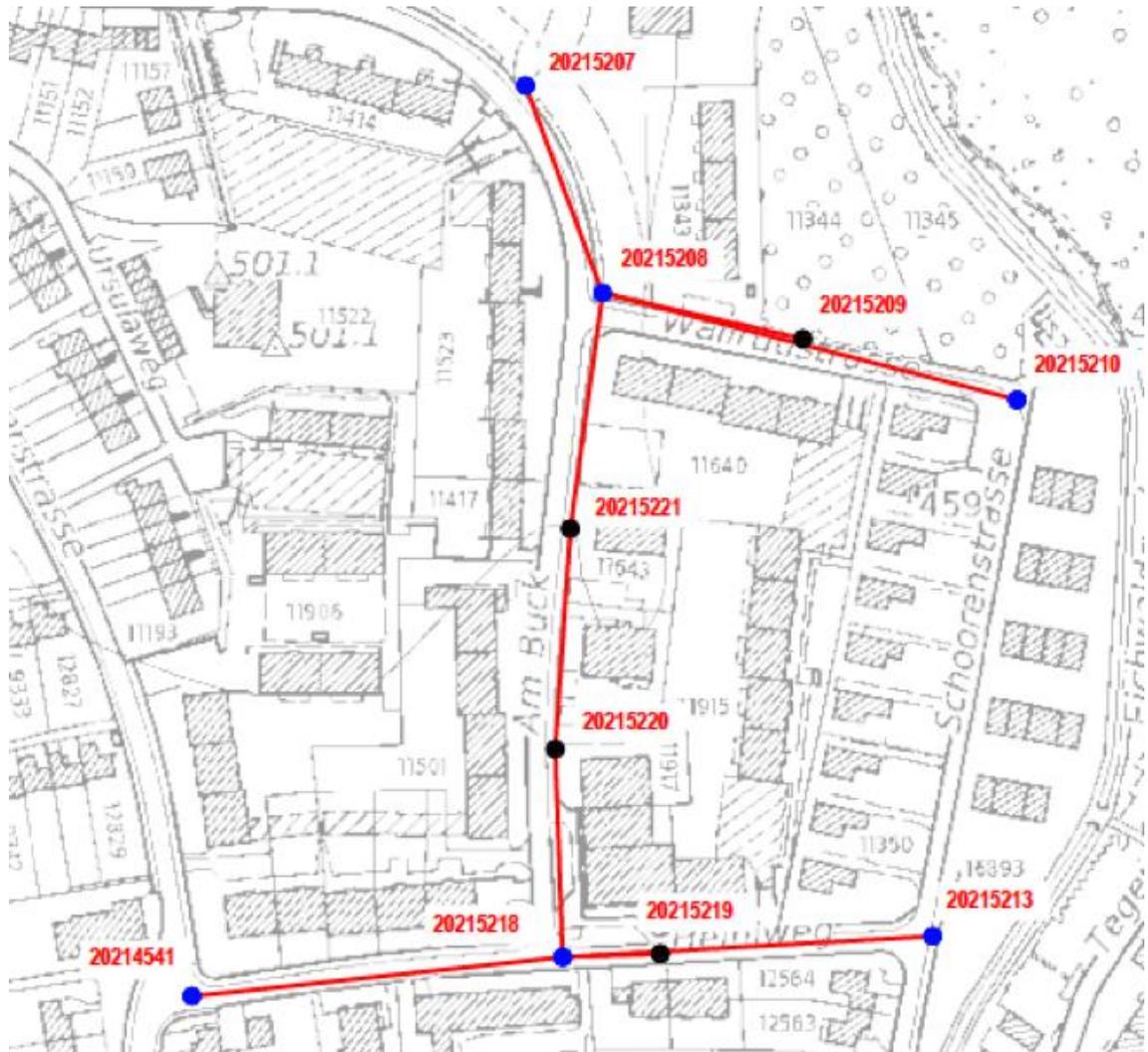


Abbildung 26: Planausschnitt mit den gemessenen Punkten inkl. Punktnummern.

LTOP				
Pkt. Nr.	Y	X	A	B
20214541	699689.085	263872.032	5	5
20215207	699786.376	264139.696	5	5
20215208	699808.831	264078.731	4	4
20215209	699867.217	264065.242	7	6
20215210	699929.718	264047.331	6	5
20215213	699905.112	263889.638	5	5
20215218	699797.219	263883.498	4	3
20215219	699825.691	263884.459	6	6
20215220	699795.044	263944.637	5	4
20215221	699799.445	264009.416	5	4

NEPTAN / Excel					Differenz LTOP-NEPTAN	
Pkt. Nr.	Y	X	A	B	ΔY	ΔX
20214541	699689.083	263872.041			0.002	-0.009
20215207	699786.379	264139.693			-0.003	0.003
20215208	699808.828	264078.733			0.003	-0.002
20215209	699867.217	264065.247	6	5	0.000	-0.005
20215210	699929.715	264047.336			0.003	-0.005
20215213	699905.113	263889.647			-0.001	-0.009
20215218	699797.220	263883.493			-0.001	0.005
20215219	699825.691	263884.461	6	5	0.000	-0.002
20215220	699795.044	263944.640	4	4	0.000	-0.003
20215221	699799.445	264009.420	4	4	0.000	-0.004

rmNETZ					Differenz LTOP-rmDATA	
Pkt. Nr.	Y	X	A	B	ΔY	ΔX
20214541	699689.085	263872.034	4	5	0.000	-0.002
20215207	699786.375	264139.699	4	4	0.001	-0.003
20215208	699808.830	264078.733	3	3	0.001	-0.002
20215209	699867.216	264065.244	5	5	0.001	-0.002
20215210	699929.717	264047.333	4	5	0.001	-0.002
20215213	699905.111	263889.639	4	5	0.001	-0.001
20215218	699797.218	263883.500	3	3	0.001	-0.002
20215219	699825.690	263884.460	5	5	0.001	-0.001
20215220	699795.043	263944.639	4	3	0.001	-0.002
20215221	699799.444	264009.419	4	4	0.001	-0.003

Tabelle 14: Resultate Vergleich LTOP, NEPTAN/Excel, rmNETZ.

4.5. Transformation

Im Rahmen dieser Masterarbeit wird das Pilotgebiet in Oberwinterthur mit der FINELTRA-Transformation und dem offiziellen Datensatz CHENyx06 vom Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95 transformiert. Dies wird mit den Koordinaten aus den AV-Daten und mit den neu gemessenen und berechneten Koordinaten gemacht. Durch einen Vergleich der beiden transformierten Koordinaten kann eine Aussage betreffend Spannungsgebiet.

In einem weiteren Schritt können mit der Software TRANSINT zusätzliche Passpunkte, zur offiziellen Dreiecksvermaschung CHENyx06 eingefügt werden. Durch diese Verdichtung der Passpunkte kann versucht werden, die Spannungsgebiete zu entzerren. Diese Untersuchungen sind nicht mehr Bestandteil dieser Masterarbeit.

Die Restklaffungen sind im ganzen Pilotgebiet wesentlich kleiner als die Toleranz (vgl. Tabelle 3) von der swisstopo. Da diese Toleranz für Gebrauchskoordinaten im Stadtgebiet viel zu gross ist wurde im Rahmen der Besprechungen mit dem KVA ZH eine Toleranz für das Stadtgebiet von Winterthur von 5 cm gesetzt (vgl. Kapitel 3.4.5. Abschnitt Transformationsparameter). Die Resultate bezogen auf die Toleranzausnutzung der Restklaffungen sind für die Variante Toleranz 15 cm sowie für die Variante Toleranz 5 cm gerechnet und in der Tabelle 15 dargestellt.

	Standartabweichung 1.67 => Toleranz 5				Standartabweichung 5 => Toleranz 15		
	s	2*s	3*s (T)	3*s (T)	s	2*s	3*s (T)
Genauigkeit	< 1.67	< 3.33	< 5	≥ 5	< 5	< 10	< 15
Anzahl Pkt.	128	310	383	23	383	406	406
Prozent	32	76	94	6	94	100	100

Tabelle 15: Restklaffung Toleranzausnutzung.

Für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 im Stadtgebiet Winterthur ist die Toleranz von 5 cm massgebend.

Die Abbildung 27 zeigt einen Ausschnitt des Plan 10 (vgl. Anhang). Darin abgebildet sind die Koordinatendifferenzen im Masstab 1:1 (rote Vektoren).



Abbildung 27: Planausschnitt Restklaffungen im Pilotgebiet [VAW, 2013_3].

5. Interpretation

Die Thematik vom Bezugsrahmenwechsel LV03 – LV95 ist in diversen Dokumentation, Richtlinien und anderen Publikationen beschrieben. Bei diesen Publikationen handelt es sich in der Regel um Teilaspekte zum Bezugsrahmenwechsel. Im Rahmen dieser Arbeit sollte ein Überblick über die Vorbereitenden Arbeiten (Homogenisierung der AV-Daten) für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 für die AV-Daten der Stadt Winterthur beschrieben werden. Einige Teilaspekte der Vorbereitenden Massnahmen wurden vertieft betrachtet.

Die vorbereitenden Massnahmen beinhalten eine Zustandsanalyse der AV-Daten. Aufgrund dieser Zustandsanalyse wird ein Massnahmenkatalog definiert. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser Massnahmenkatalog in einem Pilotgebiet getestet.

5.1. Analyse Stadt Winterthur

Für die Zustandsanalyse der AV-Daten der Stadt Winterthur wird von der swisstopo das Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen zur Verfügung gestellt. Dieses Bewertungsblatt ist hilfreich für die Einteilung der AV-Daten in spannungsarme Gebiete und in Gebiete mit lokalen Spannungen. Für das Bewertungsblatt muss die Entstehungsgeschichte inklusive Nachführung der AV analysiert werden.

Für das detektieren von spannungsarmen Gebieten ist die Entstehungsgeschichte der AV in einem Gebiet sehr hilfreich. Alle Gebiete die nach 1975 entstanden sind, sind aufgrund der angewendeten Erfassungsmethoden (EDM Distanzmessung und Netzausgleichung), als spannungsarm betrachtet. Einen Überblick über die Entstehungsgeschichte der AV der Stadt Winterthur ist im Plan 1 (vgl. Anhang) ersichtlich.

Der Fokus für die Detektierung von potentiellen Spannungsgebieten ist bei den Erfahrungswerten aus der Nachführung der AV im überbauten Gebiet der Stadt Winterthur (Bauzone). Aufgrund von grosser Nachführungstätigkeit im Gebiet der Stadt Winterthur sind viele Erfahrungswerte betreffend lokaler Spannungen vorhanden. Die Perimeter dieser Spannungsgebiete wurden im Plan 3 (vgl. Anhang) festgehalten.

Die detektierten potentiellen Spannungsgebiete umfassen eine Fläche von 511 ha. Was ca. 8 % von der Gesamtfläche von Winterthur entspricht. Grosse Gebiete von Winterthur gelten als spannungsarm.

5.2. Konzept für den Bezugsrahmenwechsel

Aufgrund der Zustandsanalyse der AV-Daten der Stadt Winterthur wurde ein Konzept für den Bezugsrahmenwechsel LV03-LV95 für die AV-Daten der Stadt Winterthur erstellt. Das Konzept umfasst fünf Lose (Projektaufteilungen). Das Los 1 wurde im Rahmen dieser Arbeit detailliert ausgearbeitet. Die weiteren Lose wurden definiert, die Details zu diesen Losen ergeben sich aufgrund der Ergebnisse vom Los 1.

5.3. Messung und Ausgleichung

Die im Konzept zum Bezugsrahmenwechsel beschlossenen Methoden für die Messungen ergeben im Pilotgebiet gute Resultate. Die Anforderungen an die Genauigkeit und Zuverlässigkeit können eingehalten werden.

5.3.1. Messungen

Die Messeinstellungen bei den GNSS-Messungen mussten im ersten Monat etwas angepasst werden. Die Anpassungen umfassen die Anzahl der Epochen die registriert werden bei den GNSS-Messungen. Die Erhöhung von 30 Epochen auf 120 Epochen brachte eine signifikante Steigerung der Genauigkeit. Weiter wurde die zeitliche Differenz zwischen den zwei Sessionen von einem halben Tag auf eine Woche erhöht, wodurch die Korrelation verkleinert wird.

Im Pilotgebiet von Oberwinterthur wurden 379 LFP mit GNSS in mindestens 2 Sessionen gemessen. Die GNSS-Messungen haben eine mittlere Genauigkeit von 1.1 cm. Bei 27 LFP konnte mit dem GNSS keine Initialisierung erreicht werden. Die 27 Punkte wurden über tachymetrische Nachmessungen bestimmt. Die veranschlagten 7% tachymetrischen Nachmessungen entsprechen der Praxis im Pilotgebiet Oberwinterthur. Auffallend bei den tachymetrischen Nachmessungen ist, dass diese Messungen im Vergleich zu den GNSS-Messungen sehr zeitintensiv sind.

5.3.2. Ausgleichung

Die Ausgleichung der kombinierten GNSS- und Tachymetermessungen mit den Programmen NEPTAN und Excel ist zeitintensiv. Die Dokumentation sowie die Resultate bei den Berechnungen mit NEPTAN und Excel erfüllen die Anforderungen an die Fixpunktbestimmung für die AV nicht.

Mit den Ausgleichungsprogrammen LTOP und rmNETZ werden die Anforderungen an die Fixpunktberechnung für die AV in jeglicher Hinsicht erfüllt. Die ganze Ausgleichung der kombinierten Messungen kann in einem Durchgang gerechnet werden. Die Beobachtungen (Koordinaten und Winkel/Distanz) können gemäss der Erfassungsmethode mit den Standardabweichungen (stochastisches Modell) versehen werden. Die Dokumentation ist einheitlich und für alle neu gemessenen Punkte identisch (Fehlerellipse, Zuverlässigkeitsrechteck).

Die Ausgleichung vom kombinierten Netz mit dem LTOP ergibt sehr gute Ergebnisse, die auch sehr gut dokumentiert sind. Die durchschnittliche Fehlerellipse der 418 neu bestimmten Punkte hat eine grosse Halbachse von 5.6 mm. Auffallend ist, dass die kombiniert (GNSS und Tachymeter) bestimmten LFP eine bessere Genauigkeit aufweisen als LFP die nur mit GNSS bestimmt wurden. Nur knapp 1 % der neu bestimmten LFP erfüllt die Anforderungen der Technischen Weisung vom KVA ZH nicht.

5.3.3. Transformation

Mit dem Programm TRANSINT konnten sowohl die 406 neu bestimmten LFP Koordinaten sowie die 406 AV LFP Koordinaten vom Bezugsrahmen LV03 in den Bezugsrahmen LV95 transformiert werden. Die Koordinatendifferenzen von den beiden Koordinaten dienen als Indikatoren für lokale Spannungen. Rund 6 % der Koordinatendifferenzen sind gemäss den Toleranzen vom VAW / KVA ZH zu gross. Es sind also im Pilotgebiet von Oberwinterthur lokale Spannungen vorhanden.

Die Koordinatendifferenzvektoren weisen in sehr unterschiedliche Richtungen mit unterschiedlichen Längen. Aufgrund der Entstehungsgeschichte dieses Problemgebiets (Altes Fixpunktnetz, Fixpunktrevision 1989/90) sind die Resultate in den zu erwartenden Grössenordnungen. In wie weit mit Transformation / Interpolation eine massgebliche Verbesserung erreicht wird müssen weitere Untersuchungen zeigen.

6. Schlussfolgerungen

Die GNSS-Messkampagne für die Homogenisierung der AV-Daten geht weiter. An der Messmethode sowie an den Messeinstellungen muss nichts geändert werden. Bis Ende Mai sollte die Messkampagne zum Los 1 beendet sein.

Die tachymetrische Nachmessungen werden nicht wie im Konzept zum Bezugsrahmenwechsel der Stadt Winterthur vorgesehen weiter geführt. In den beiden Pilotgebieten von Oberwinterthur waren diese Messungen notwendig, da alle Fixpunkte neu bestimmt werden mussten. In den restlichen Problemgebieten wird nur eine Auswahl von LFP gemessen. Bei einem nicht GNSS tauglichen LFP (zu grosse horizontale Abdeckung) kann auf einen anderen LFP in der Nähe ausgewichen werden. Der Grund für diesen Entscheid liegt an der zeitintensiven tachymetrischen Messmethode.

Für die Berechnungen des kombinierten Fixpunktnetzes wird für alle Messungen mit Ausgleichsprogramm `rmNETZ` von der Firma `rmDATA` wiederholt. Die Ausgleichung wird nach Abschluss der letzten Messungen in einem Durchgang gemacht.

Für eine Verbesserung der Genauigkeit der Fixpunktberechnung im Pilotgebiet ist zu prüfen, in wie weit die tachymetrischen Messungen aus der Nachführung der LFP aus den vergangenen Jahren in die Berechnungen einfließen könnten. Aus den vergangenen zehn Jahre sind die Messfiles der gemessenen LFP Netze digital vorhanden was eine relativ einfache Integration dieser Daten in die Fixpunktberechnung bedeutet.

Die Berechnung der Restklaffungen mit `TRANSINT` (`CHENyx06`) war sehr einfach. Weitere Interpolationen/Transformationen mit zusätzlichen TSP wurden noch nicht gemacht. In wie weit dies zu einer Verbesserung der Resultate führt muss noch untersucht werden. Sicher ist dass in den Pilotgebieten von Oberwinterthur eine Verbesserung der Koordinatendifferenzen notwendig ist.

Weiter muss getestet werden in wie weit mit dem Ausgleichsprogramm `rmNETZ` die Interpolationen/Transformationen gemacht werden können.

7. Literaturverzeichnis

Herbert J., 1980. Amtliche Vermessungswerke, Band 1: Geschichte und Grundlagen, Herbert J. Matthias, Paul Kasper und Dieter Schneider.

Herbert J., 1983. Amtliche Vermessungswerke, Band 2 Triangulation IV. Ordnung. Herbert J. Matthias, Paul Kasper und Dieter Schneider aus dem Jahr 1983.

Ingensand H., 2012. Einführung in die Geodätische Messtechnik von Prof. Dr. Hilmar Ingensand.

Fricke K, 1975. Der Vermessungstechniker, Messen / Rechnen / Zeichnen. Karl Fricke, Joachim Richter, Kurt Schneider.

Schweizerische Bundesversammlung, 2007. Bundesgesetz über Geoinformation GeoIG (Stand am 1. Oktober 2009).

Schweizerische Bundesrat, 1992. Verordnung über die amtliche Vermessung VAV (Stand am 1. Juli 2008)

VBS, 1994. Technische Verordnung des VBS über die amtliche Vermessung TVAV (Stand am 1. Juli 2008)

Allnav, 2006. Submission Ersatz Vermessungsgeräte (Gerätebeschreibung)

Im weiteren sind die aktuell gültigen technischen Weisungen, Richtlinien, Empfehlungen und Dokumentationen von der swisstopo und vom KVA ZH für die vorgenommenen Arbeiten im Rahmen dieser Masterarbeit massgebend. Insbesondere sind dies:

swisstopo, 2003_1. Broschüre Neue Koordinaten für die Schweiz, Der Bezugsrahmen LV95.

swisstopo, 2003_2. Manual Fineltra.

swisstopo, 2005_1. Richtlinien zur Bestimmung von Fixpunkten der Amtlichen Vermessung, aktualisiert Dezember 2009.

swisstopo, 2005_2. Neumessung und Auswertung des GPS-Landesnetzes der Schweiz LV95.

swisstopo, 2007. Konzept Überführung der amtlichen Vermessung in den Bezugsrahmen der Landesvermessung 1995 (LV95) inkl. Bewertungsblatt für AV-Werke bezüglich der Existenz lokaler Spannungen.

swisstopo, 2009. Dokumentation Aufbau der neuen Landesvermessung der Schweiz LV95.

swisstopo, 2013_1. Manual GeoSuite, Modul Transint.

swisstopo, 2013_2. Homepage swiposs

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/services/swipos.html>

swisstopo, 2013_3. Homepage von der swisstopo, Vermessung / Geodäsie

<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/topics/survey.html>

KVA ZH, 2010. Technische Weisung Lagefixpunktnetze (LFP3), Netzanlage – Messungen – Auswertungen.

KVA ZH, 2004. Fixpunktrevision vom Vermessungsamt des Kanton Zürich (KVA ZH) aus den Jahren 1995 – 2004: Operat Winterthur – Lindau – Weisslingen 2004, Operat Thalheim – Ellikon 2002 und Operat Schlatt – Hoffstetten 2000.

Vom VAW wurden die folgenden Berechnungen, Pläne und Berichte für diese Masterarbeit verwendet:

VAW, 1918. Polygonnetzplan von Oberwinterthur, Sektion 2.

VAW, 1918. Oberwinterthur, Sektion 2, Buch mit den Koordinaten-u. Höhenberechnung.

VAW, 1986. Amtliche Vermessung der Stadt Winterthur, Fixpunktnetzberuteilung.

VAW, 1990. Oberwinterthur, LFP3, Berechnungsordner mit Terrestrische Messungen 1989-1990 (Fixpunktrevision Oberwinterthur).

VAW, 2005. Ordner, Katastererneuerung AV93, Los 29 – 35 / 1999-2005, Beurteilung der Fixpunktnetze

VAW, 2006. Technischer Bericht des Ingenieur-Geometers, Erneuerung der Amtlichen Vermessung Los 29-35.

VAW, 2011. Themenplakat zum 100 Jahr Jubiläum der AV.

VAW, 2012_1. Plan 2.01. Fixpunktrevision des übergeordneten Fixpunktnetz.

VAW, 2012_2. Plan 1. Fixpunktrevision Winterthur, Ersterfassung.

VAW, 2012_3. Plan 2.02. Fixpunktrevision Oberwinterthur.

VAW, 2012_4. Plan 3. Problemgebiete Kategorie 3 und 4.

Auswertung von den Messungen im Pilotgebiet Oberwinterthur:

VAW, 2013_1. Plan 8. GNSS und Tachymeterauswertungen (NEPTAN/Excel)

VAW, 2013_2. Plan 9. GNSS und Tachymeterauswertungen (LTOP)

VAW, 2013_3. Plan 10. Restklaffungen

8. Anhang

- Plan 3: Problemgebiete Kategorie 3 und 4, ganze Stadt, Massstab 1:40'000
- Plan 9: GNSS und Tachymeterauswertungen mit LTOP,
Pilotgebiet Oberwinterthur, Massstab 1:2'500
- Plan 10: Restklaffungen (Koordinatendifferenzen LV95 gemessen – LV95 AV),
Pilotgebiet Oberwinterthur, Massstab 1:2'500

!!! Digitale Version ohne Anhang !!!