

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 89 (1991)

Heft: 7

Artikel: Verteilte räumliche Datenbank der Stadt Zürich : 2. Teil : Die Umtransformation

Autor: Smehil, G.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-234594>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 18.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Verteilte räumliche Datenbank der Stadt Zürich

2. Teil: Die Umtransformation

G. Smehil

Die Stadt Zürich hat 1985 ein Projekt unter dem Namen «Ingenieurdatensystem Vermessung und Werkkataster» (IVW) gestartet, das zum Ziel hatte, die Problematik der räumlichen Daten in der städtischen Verwaltung mit Computermitteln vollständig zu lösen. Im Jahre 1990 passierte das Projekt den Kulminationspunkt, indem eine distribuierte (verteilte) Datenbank für räumliche Daten implementiert und in einer produktiven Umgebung eingeflochten wurde. Die digitalen Grundkasterdaten stehen ab sofort den Interessenten online zur Verfügung.

Das interdisziplinäre Projekt IVW umfasste Phasen, die den verschiedenen Problemaspekten Rechnung trugen; Aufbau vom zugrundeliegenden Computer- und Kommunikationssystem, die Datenaufbereitung und die räumliche Datenbank. Um das Gesamtbild über den Projektumfang zu erhalten, wird den einzelnen Aspekten nähere Aufmerksamkeit in separaten Teilberichten gewidmet.

Im ersten Teil wurde die historische Entwicklung des Vermessungswerkes in der Stadt Zürich sowohl im Vermessungsamt, als auch bei Industriellen Betrieben vorgestellt. Ferner wurde die Zielsetzung, das Konzept und der Zustand des IVW-Projektes aufgezeigt.

Im zweiten Teil wird nun die Projektphase «Umtransformation» vorgestellt. Durch die Umtransformation, die innerhalb des Vermessungsamtes als das Projekt «Vereinheitlichung der Koordinatensysteme in der Stadt Zürich» bezeichnet wurde, entstand eine einheitliche geodätische Basis mit hoher Genauigkeit und Homogenität. Sie bildet eine hochqualitative Grundlage für den Aufbau des digitalen Grundkasters im Vermessungsamt und für verschiedene andere digitale Kataster in mehreren städtischen Organisationen.

En 1985 la ville de Zurich a mis en route un projet sous le nom de «Ingenieurdatensystem Vermessung und Werkkataster» (IVW) ayant pour but de résoudre entièrement le problème des données à référence spatiale dans l'administration à l'aide de l'ordinateur.

Ce projet d'envergure atteignait son point culminant en 1990, dufait qu'il offrait une base informatique pour des données géographiques et qu'il entraînait dans une phase productive.

Le service des mensurations de la ville de Zurich offre aux autres services non seulement ses données, mais il leur permet également de se relier directement à son réseau.

Ce projet interdisciplinaire englobait plusieurs phases, qui elles-mêmes tenaient compte des différents aspects du problème: développement des systèmes de communications et d'ordinateurs, de la préparation des informations et des données à référence spatiale.

Pour faciliter une vision globale de ce projet, les différents aspects seront traités séparément dans des exposés.

Dans la première partie, il était question de l'historique du développement du cadastre dans la ville de Zurich, ceci autant au service des mensurations que dans les différents services industriels ainsi que le but, le concept, et l'état actuel du projet IVW.

Dans la deuxième partie sera présentée la phase «retransformation», laquelle sert de base à un cadastre informatisé sur toute la ville et qui solutionne les aspects géodésiques du projet IVW. Par cette phase du projet, appelée «unification des systèmes de coordonnées» au service des mensurations, il en résulte un cadastre informatisé de hautes précision et homogénéité.

Drei Koordinatensysteme auf dem Stadtgebiet

Das Projekt «Vereinheitlichung der Koordinatensysteme» – kurz «Umtransformation» genannt – stellte innerhalb des Aufgabenbereiches des Vermessungsamtes

der Stadt Zürich ein Schlüsselprojekt vor, da es einen Umbau am Fundament des gesamten Vermessungswerkes und die Umrechnung von etwa 2 Millionen digital vorhandenen Koordinatenpaaren umfasste. Die Durchführung dieses umfangrei-

chen Projektes wäre ohne rigorose Nutzung der Informatikmittel undenkbar.

Die verschiedenen Koordinatensysteme auf dem Gebiet der Stadt Zürich widerspiegeln die Geschichte der Stadtentwicklung. Wie bereits im 1. Teil aufgeführt wurde, stand die Uneinheitlichkeit der Koordinatensysteme der Automation im Wege.

Das älteste städtische Koordinatensystem mit dem Nullpunkt in der Turmspitze der St. Peters-Kirche entstand zwischen 1857–1870 auf dem Gebiet der Altstadt. Das einschlägige Vermessungswerk wurde nur provisorisch anerkannt und sollte anfangs der 80er Jahre durch eine Katastererneuerung saniert werden. Dieses Projekt wurde später, in einer Übereinstimmung mit den Aufsichtsbehörden, zugunsten einer Neuvermessung fallengelassen.

Das zweitälteste Koordinatensystem wurde nach der ersten Eingemeindung im Jahre 1893 eingeführt. In diesem sog. «Städtischen Koordinatensystem» mit dem Null-Punkt im Meridianinstrument der Eidgenössischen Sternwarte wurden elf Aussengemeinden aufgenommen. Mit der Ausführung wurde das im Jahre 1896 neugegründete Stadtvermessungsamt beauftragt. Das erstellte Vermessungswerk wurde jedoch nicht nur graphisch erstellt, sondern es wurden auch Koordinaten der Parzellengrenzpunkte gerechnet und in Büchern festgehalten.

Das Dritte war bereits das landesweit anerkannte Landeskoordinatensystem, in welchem die damaligen Nachbargemeinden vermessen wurden. Sie gingen durch die zweite Eingemeindung im Jahre 1934 zur Stadt über und wurden anschliessend auch teil-numerisch aufgearbeitet. Man bezeichnet dieses dritte Koordinatensystem als «Landeskoordinatensystem alt», da den ursprünglichen Gemeindevermessungen weniger genaue und uneinheitliche, jedoch auf dem Landeskoordinatensystem basierende Triangulationen zugrunde lagen.

In neuerer Zeit entstanden auf der Grundlage einer Neutriangulation (siehe weiter) zwei Operate im «neuen» Landeskoordinatensystem: Die Waldzusammenlegung Witikon und die Neuvermessung Altstadt. Während die Waldzusammenlegung Witikon mit bloss fünfstelligen Koordinatenwerten abgebildet wurde, war die Altstadtneuvermessung in militärischen Koordinaten aufgenommen.

Somit standen zur Startphase der Umtransformation vier verschiedene Gebiete zur Bearbeitung. Durch eine Translation des Witikoner Waldzusammenlegungsgebietes um 200 und 600 km entstanden zwei kleine Inseln im neuen Landeskoordinatensystem, zu welchen die restlichen Stadtgebiete «dazutransformiert» werden mussten (Abb. 1).

Mehrere Koordinatensysteme verursach-

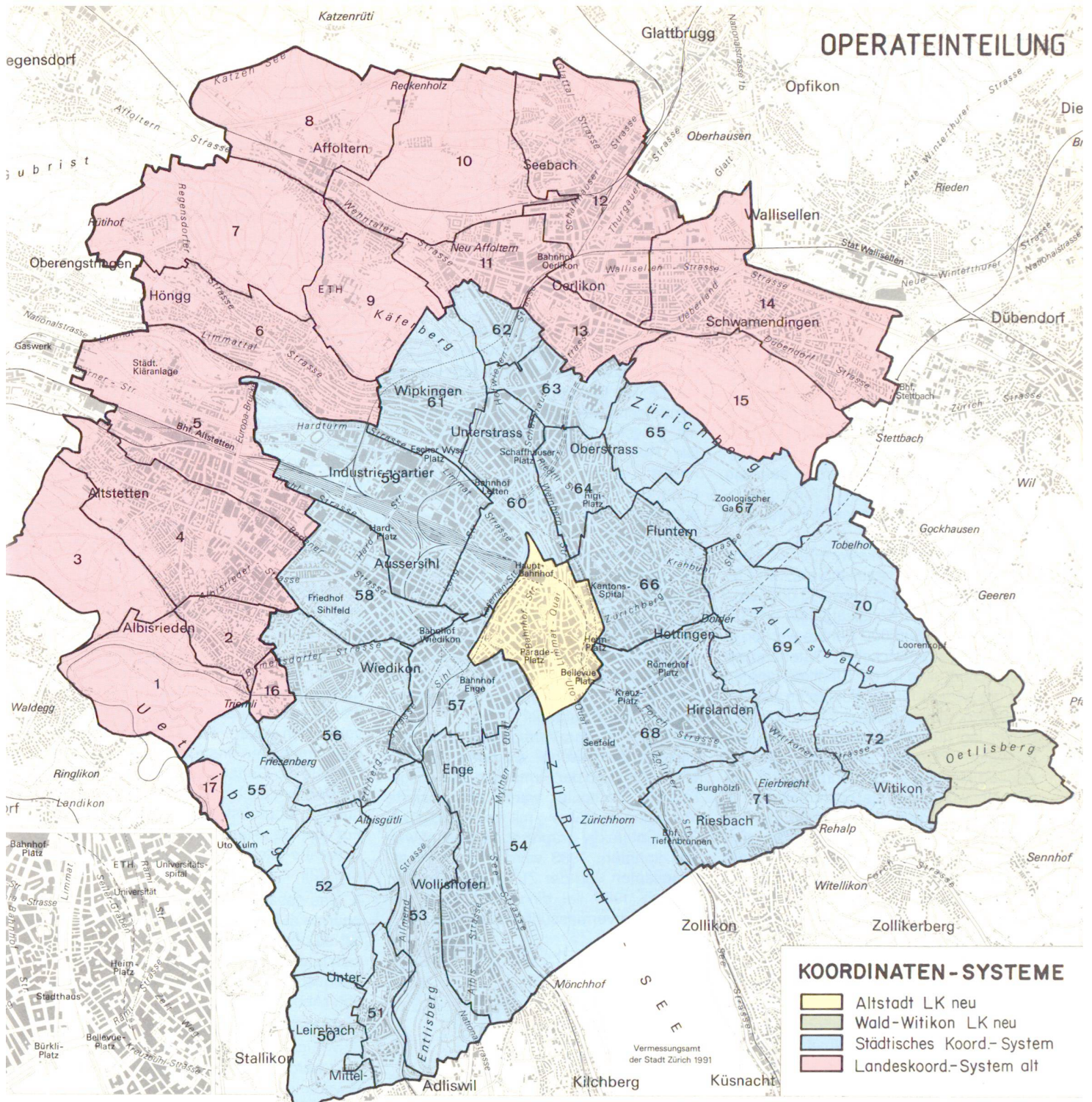


Abb. 1: Koordinatensysteme 1984.

ten im Vermessungsamt seit je einen konstanten Mehraufwand. Die Nachführungsarbeiten an den Koordinatensystemgrenzen haben doppelte Berechnungen notwendig gemacht. Durch die Intensivierung der Bautätigkeit anfangs der 70er Jahre nahm der Mehraufwand zu. Es zeigte sich auch, dass die Uneinheitlichkeit des geodätischen Bezugs nicht nur die Nachführung, sondern auch diverse Projektierungsarbeiten ausserhalb des Vermessungsamtes erschwerte. Auch die Planer und Bauingenieure, die damals grossräumige Bauprojekte (Projektierungsarbeiten für das Zürcher Metro) bearbeiteten, wur-

den durch die uneinheitlichen Grundlagen behindert.

Die Doppelspurigkeit bei der Nachführung und Projektierung an den Koordinatensystemgrenzen war aber nicht das einzige Hindernis, mit dem man sich herum-schlug. Neben der Alterung der Vermessungswerke stieg die Belastung durch die Überführung der Koordinatenbücher in eine computergerechte Form. Zum manuellen Mehraufwand kam die Nachführung mehrerer Datenbanken dazu.

Als das VAZ 1985 das Projekt «Ingenieur-datensystem Vermessung und Werkkata-ster – IVW» lancierte, wurde die Phase

«Umtransformation» miteinbezogen. Sie wurde im Frühjahr 1990 abgeschlossen.

Vorprojekte

Obwohl der Entscheid zur Durchführung der Umtransformation im Jahre 1984 ge-fallen war, fing das Vermessungsamt schon viel früher mit Vorarbeiten an, die ohnehin ausgeführt werden mussten und welche die Umtransformation als ein Fern-ziel verfolgten. Die wichtigste davon und gleichzeitig der Auslöser einer Reihe von Nachfolgeprojekten war die Numerisie-rung der Koordinatenwerte.

1. Numerisierung der Koordinatenwerte

Nachdem die Stadt Zürich in den 60er Jahren eine zentrale EDV-Stelle (ZEDV) gründete, hoffte man durch die Erfassung der in Büchern festgehaltenen Koordinatenwerte schnell zu den gewünschten Plangrundlagen zu kommen. Die Datenerfassung, damals auf der Basis von Lochkarten realisiert, konnte 1972 abgeschlossen werden.

Man glaubte danach, die Bedingungen für eine computerunterstützte Umtransformation erfüllt zu haben; zur eigentlichen Umrechnung der Koordinaten kam es jedoch damals nicht. Die Hard- und Softwaretechnologie der 70er Jahre war nicht leistungsfähig genug. Vor allem wurden aber die vermessungstechnischen Vorbedingungen zur Umtransformationsdurchführung nicht gegeben.

Es wurden gesamthaft etwa 550 000 Koordinatenpaare der Parzellengrenz- und Situationspunkte, sowie etwa 130 000 Koordinatenpaare des Kanalkatasters erfasst. Die insgesamt 680 000 Punkte wurden in zwei speziell entwickelten Datenbanken gespeichert; eine für die Stadtkoordinaten und die andere für die Punkte im «alten» Landeskoordinatensystem. Das Altstadtgebiet lag numerisch nicht vor; das einschlägige Planwerk stammte aus der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und deshalb wurde auf die nachträgliche numerische Aufarbeitung verzichtet. Die beiden digitalen Dateien wurden bis zum Jahre 1983 auf einer Honeywell-Bull-Anlage mit einem Teletype-ähnlichen Terminal nachgeführt.

2. Neutriangulation III. und IV. Ordnung 1971–1976

Im Sog der Planungsarbeiten an der U-Bahn wurde 1971 der erste konkrete Schritt – eine Neutriangulation – lanciert. Sie sollte den Grundstein zu einer einheitlichen geodätischen Grundlage für das gesamte Stadtgebiet legen.

Dieses Projekt markierte den eigentlichen Start einer zukünftigen Umtransformation. Die neuen Triangulationspunkte sollten als Basis für die Vereinheitlichung der sich in der Erfassung befindenden Daten verwendet werden.

1976, 4 Jahre nach dem Abschluss der Numerisierung der Koordinatenwerte, wurde dieses Projekt abgeschlossen. Das neue Triangulationsnetz umfasste 326 Neupunkte III. und IV. Ordnung mit der Genauigkeit $MF = \pm 7.2$ Millimeter [1].

3. Präzisionspolygonierung 1976–1977

Die Neutriangulation legte zwar den Grundstein für die zukünftige Umtransformation fest, die Anzahl der Neubestimmten Triangulationspunkte war jedoch viel zu gering. Deshalb musste eine Fixpunktverdichtung vorgenommen werden. Auf

der Basis der neuen Triangulation wurden in den bebauten Stadtgebieten Präzisionspolygonzüge gemessen.

1977 wurde die Vermessung von 150 Hauptzügen abgeschlossen. Es wurden 2642 Polygonpunkten mit $MF = \pm 11$ Millimeter neu bestimmt.

4. Beschaffung eines Computersystems

Ende der 70er Jahre stand fest, dass die Computeranlage der ZEDV für die Vermessungszwecke nicht eingesetzt werden konnte. Die 680 000 Koordinatenpaare im Zentralcomputer gespeichert, konnten nur mit grösster Mühe nachgeführt werden. Die Rechenkapazität für die bevorstehende Umtransformation war ungenügend; der Zugang zum Computer zu umständlich, oder gar unmöglich.

Im Jahre 1981 hatte der Zürcher Stadtrat der Beschaffung eigenständiger Vermessungssysteme zugestimmt. Der Beschaffungsbeschluss sah zwei Systeme für zwei verschiedene Einsatzbereiche vor; eines für befristete Infrastrukturprojekte (Umtransformation und Erneuerung der Altstadtvermessung) sowie eines für die Nachführung der Vermessungsoperante, als eine Daueraufgabe.

1982 erwarb das Vermessungsamt zwei interaktiv-graphische Systeme INFORMAP (IGS) von der Firma Wild. Die ausgelieferten Computer waren spezialisierte «Mapping-Systeme», mit welchen digitale Pläne interaktiv-graphisch bearbeitet werden konnten. 1983 wurden die Vermessungsdaten von der ZEDV übernommen und ab 1984 lief die Nachführung der Grundbuchvermessung produktiv an.

Vereinheitlichung der Koordinatensysteme

Die geschilderte Ausgangssituation vor dem Projektstart wurde durch eine riesige Datenmenge und ohne eine genaue Vorstellung über das Vorgehen und die zu erwartenden Resultate geprägt. Die Koordinaten der Grenzpunkte wurden zwar unvollständig aber immerhin nachgeführt. Als geodätische Ausgangsbasis standen die etwa 3000 Triangulations- und Polygonpunkte mit einem Mittelfehler um ± 1 cm zur Verfügung, also etwa ein Zehntel der gesamten Fixpunktmenge. Für die Realisierung der bevorstehenden Aufgabe standen zwei veraltete PDP11/70-Anlagen zur Verfügung, deren Leistung ein Bruchteil heutiger PCs war. Da die Umtransformation insbesondere für die nachfolgenden Digitalisierungsarbeiten des Leitungskatasters in den städtischen Werken notwendig war, wurde auch ein Zeitdruck spürbar. Deshalb wurde diese Aufgabe in das IVW-Projekt einbezogen.

1. Das Realisierungskonzept

Unter Berücksichtigung aller Randbedingungen wurde folgendes Vorgehenskonzept eingeplant:

1. Die dringendste Aufgabe vor dem Projektbeginn bestand aus der Steigerung der Leistungsfähigkeit der PDP-Computer, damit die notwendige Software-Entwicklung und die Umtransformation überhaupt stattfinden konnte.

2. Die Koordinaten der Vermessungspunkte mussten vor jeglicher Weiterbearbeitung in einen konsistenten Zustand gebracht werden. Nach der Übernahme der Daten von ZEDV wurde der Datenzustand katastrophal. Die «blind» verwalteten Dateien – 90 Jahre in Büchern und 12 Jahre mit einem Computer ohne Graphik – wurden mit zahlreichen Fehlern und Inkonsistenzen behaftet, so dass eine durchgreifende Datenbankbereinigung unumgänglich war.

3. Anschliessend musste die Vorgehensmethode festgelegt werden. Man wusste, dass durch eine einfache Helmert-Transformation – also durch formelle Angleichung der Koordinatenwerte über das ganze Gebiet – an den Koordinatensystemgrenzen Spannungen bis zu 20 cm vorhanden waren. Für ein Vermessungswerk im ersten Instruktionsgebiet sollte deshalb die Genauigkeit weiter gesteigert werden, um auch die kleinräumigen Spannungen möglichst reduzieren zu können. Für ihre Beseitigung wurde die Kleinste-Quadrate-Interpolation in Aussicht genommen [2].

4. Das gesamte Stadtgebiet sollte in Teiloperate aufgeteilt und diese sollten separat bearbeitet werden. Die Teilung sollte sich nach dem Verlauf der Fehlervektoren orientieren, die eine Gesamttransformation (Abb. 2) ergab.

5. Die gewählten Methoden sollten vor dem Einsatz auf ihre Praktikabilität verifiziert werden, um Voraussagen über die zu erwartenden Resultate zu erhalten. Deshalb wurde ein Testgebiet in einem der kritischen Teile des Stadtgebietes ausgewählt, in dem die Methoden ausprobiert und das weitere Vorgehen beschlossen werden konnten.

6. Parallel zu den geplanten Vermessungsarbeiten musste aber auch Spezialsoftware entwickelt werden, welche die gesamte Datenbank als eine Einheit nach einem festen Vorgehen verarbeiten könnte.

7. In der letzten Phase sollte die eigentliche Umrechnung der Koordinatenwerte nach dem programmierten Ablauf stattfinden. Für diese Phase war die Einstellung

Abb. 2: Fehlervektoren vor der Umtransformation, gebildet durch Differenzen zwischen altem und neuem Landeskoordinatensystem (rot) und durch eine Helmerttransformation (schwarz).



0 10 20 30 40 50 cm
Massstab der Fehlervektoren

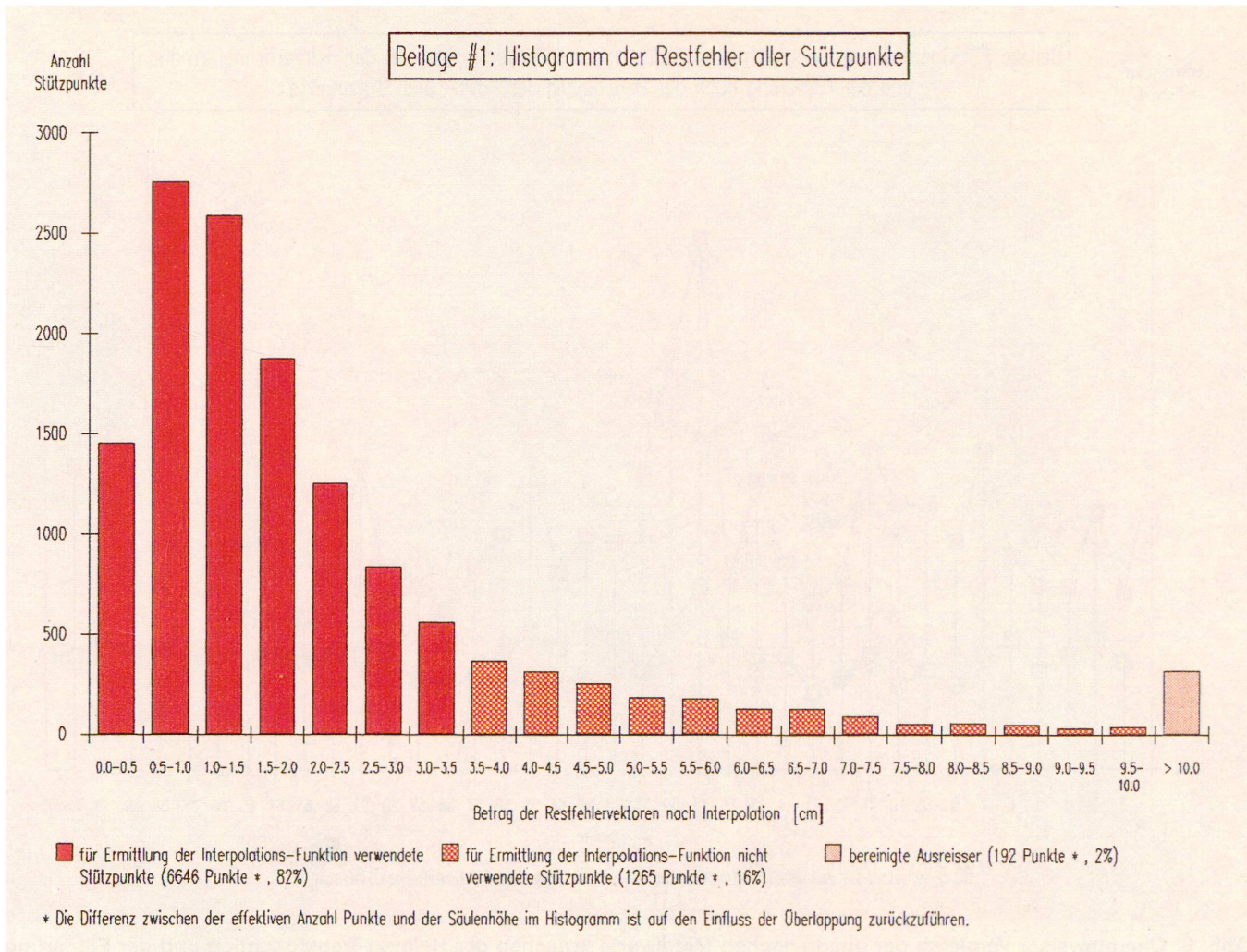


Abb. 4: Histogramm der Restfehler aller Stützpunkte (Resultathistogramm).

raumes von 64 auf etwa 80 Kilobytes, die Installation eines Disk-Cache-Programms für die Beschleunigung der Input/Output-Operationen usw. Zusammen mit dem dazumal neuesten Betriebssystem RSX11M-Plus wurde die Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit der PDP-Anlagen etwa verdoppelt sowie die beiden Computer vernetzt.

2. Software-Bereitstellung

Mit dem INFORMAP-System beschaffte das VAZ verschiedene Applikationsprogramme, darunter auch DATTRA und QINT von Herrn Prof. Dr. K. Kraus, TU Wien. Diese Programme unterstützten die des Nachführungsbetriebes vorgesehen damit die Umstellung in einem wohldefinierten Zustand stattfinden würde.

Aus der interdisziplinären Vielfalt der einzelnen Phasen ist die Projektkomplexität deutlich. Zur Leistungsverbesserung der Computer gehörte z.B. unter anderem die Anhebung des adressierbaren Speicher-

geplante Methode, mussten allerdings an die INFORMAP-Umgebung angepasst werden. Ausserdem konnten sie in der gelieferten Form nur mit einer eingeschränkten Zahl von Pass- bzw. Stützpunkten arbeiten.

Ausgehend von der erweiterten Systemkapazität wurden beide Programme verändert und die Einschränkungen beseitigt. Für die Transformation wurde die Limite für Passpunkte vollständig eliminiert und für die Kleinste-Quadrate-Interpolation wurde die Verarbeitung von bis zu 255 Stützpunkten möglich. Diesen Bemühungen kam später auch die Beschaffung eines neuen Computers VAX/8810 entgegen, der bis zu 500 Megabyte adressieren kann; die maximale Zahl der Stützpunkte wurde dann auf 1000 angehoben. Der Leistungszuwachs (Verkürzung der Verarbeitungszeiten für ein Vergleichsoperat) lag bei 1 : 60.

Mit der auf diese Weise angepassten Software konnten Versuche im Testgebiet gestartet werden. Die Funktionstüchtigkeit der modifizierten Programme wurde durch unabhängige Implementationen von Berechnungsalgorithmen kontrolliert, in dem gleiche Daten an mehreren Rechnern mit

verschiedener Software bearbeitet wurden.

3. Beschaffung weiterer Entscheidungsgrundlagen

Das Testgebiet in der Grösse von ca. 230 ha wurde an der Koordinatensystemgrenze im Raum «Milchbuck» bestimmt. Dieses durch Spannungen bekannte Gebiet erstreckte sich über fünf verschiedene Quartiere sowohl im städtischen als auch im alten Landeskoordinatensystem, so dass die Resultate den «worst case» darstellen dürften.

Zwischen 1983–1987 wurden in diesem Testgebiet alle 632 Polygonpunkte sowie auch 783 gut markierte Detailpunkte neu bestimmt. Danach wurde eine Vielzahl von Umtransformationen und Interpolationen mit jeweils veränderten Parameterwerten durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Versuche bestätigten die Richtigkeit des Verfahrens. Anhand der Resultate und unter der fachlichen Aufsicht der Experten, Herren Prof. Dr. Ing. K. Kraus und Dr. J. Jansa von der Technischen Universität Wien, wurden einige Grundsätze für die Ausdehnung der Methode auf das ganze Stadtgebiet aufgestellt.

Abb. 3: Restfehlervektoren nach operatsweiser Interpolation (Resultatsplan).

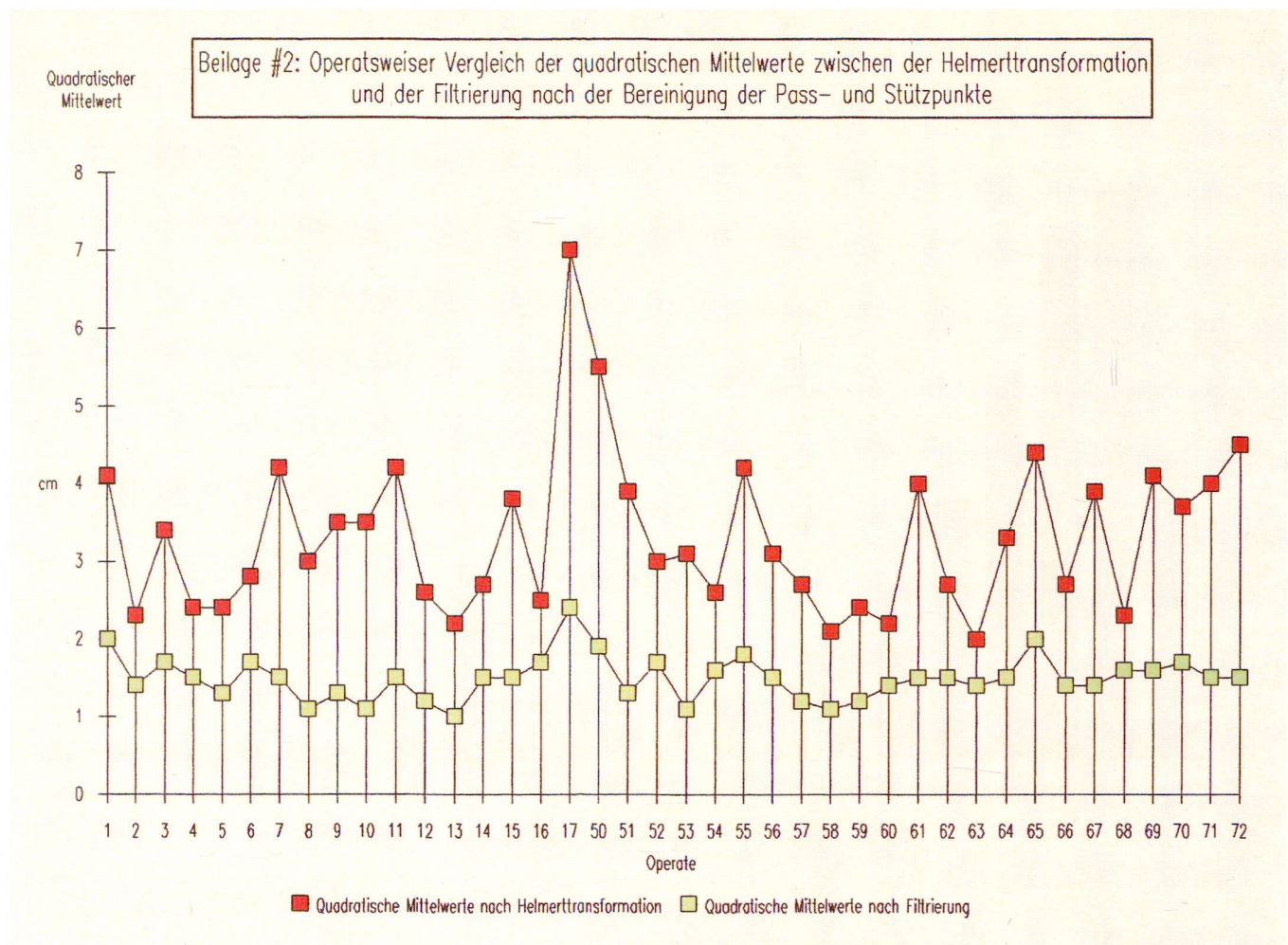


Abb. 5: Operatsweiser Vergleich der quadratischen Mittelwerte zwischen der Helmer-Transformation und der Filtrierung nach der Bereinigung der Pass- und Stützpunkte (Resultatsvergleich).

1. Anzahl der Passpunkte pro Transformationsoperat sollte die Zahl 50 nicht unterschreiten. Damit wurde die Operatsgrösse mit der Passpunktdichte korreliert. Die minimale Anzahl der Passpunkte in einem Operat erlaubte trotzdem noch statistische Aussagen.

2. Die Passpunktdichte von 20%, 100% und 230% aller Polygonpunkte ergab durch die Transformation Differenzen im Bereich von wenigen Millimetern. Deshalb wurden 20% der Fixpunkte als eine genügende Passpunktdichte akzeptiert.

3. Die Teilung des Gesamtoperates in Teiloperats erwies sich als wenig empfindlich. Die Interpolation ergab geringe Differenzen, ob ein Gebiet geteilt oder ungeteilt in die Berechnung einbezogen wurde. Die ermittelten Differenzen zweier unabhängiger Berechnungen lagen unter 1 cm an den Operatsgrenzen, und unter 3 cm an der Systemgrenze.

4. Die Verbesserung der Spannungen durch den Einsatz der Kleinste-Quadrate-Interpolation liess eine Verbesserung von etwa 33% gegenüber den Fehlervektoren nach der Transformation erwarten.

4. Flächendeckende Fixpunktverdichtung

Im Einklang mit den aufgestellten Grundsätzen wurden zwischen 1985–1988 weitere Passpunkte flächendeckend und mit einer gleichmässigen Masche aufgenommen, um für die Interpolationsmethode eine möglichst gute Stützpunktverteilung zu erreichen. Insgesamt wurden etwa 3400 zusätzliche Fixpunkte mit $MF = \pm 5-10$ mm an der Stadt- und Systemgrenze (Umrandungspolygone) sowie in Gebieten mit nur wenigen Passpunkten (Füllnetze) ermittelt. Der Ausgleich wurde mit dem Programmpaket Helmer77 durchgeführt.

Vor der eigentlichen Umtransformation wurden noch weitere Fixpunkte übernommen. Von der Altstadt-Neuvermessung sind etwa 400 Polygonpunkte sowie die neu vermessenen Grenzpunkte am Perimeterland, und von der Neuvermessung Witikon und Zollikon (Zürcher Grenzgemeinden) etwa 650 Polygon- und Stadtgrenzpunkte übernommen. Somit standen für die Umtransformation Koordinaten von den ca. 32 000 Fixpunk-

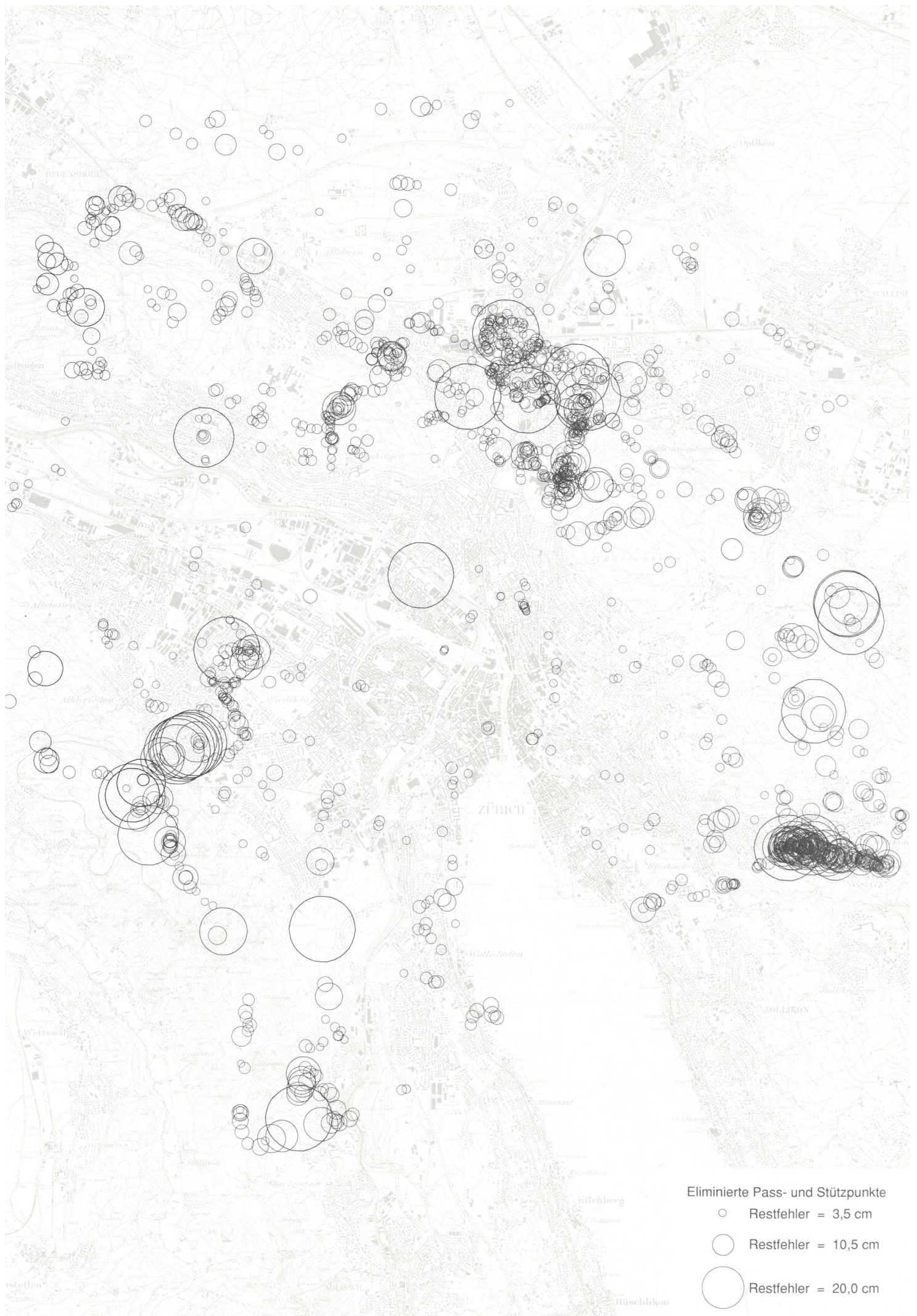
ten über 8000 als Passpunkte zur Verfügung, die in der Zeitperiode zwischen 1971 und 1988 im neuen Landeskoordinatensystem bestimmt wurden (Abb. 2).

5. Softwareentwicklung

Die bestehende Kernsoftware für die Umtransformation war einsatzfähig; sie wurde auch erfolgreich für die Versuchsarbeiten im Testgebiet eingesetzt. Damit konnte aber die Umtransformation noch lange nicht gestartet werden.

Erstens betrafen die Testarbeiten nur die Passpunktverarbeitung, also keine Massenpunkte, und zweitens, um die Datenbank als ein Ganzes zu transformieren, mussten vielfältige Schnittstellenprobleme gelöst werden. Um die etwa zwei Millionen speziell strukturierten Koordinaten umrechnen zu können, war eine massgeschneiderte Software notwendig, die in der Lage war, eine «Input»- in eine «Output»-Datenbank zu verarbeiten. Die Vor-

Abb. 6: Eliminierte Pass- und Stützpunkte (Massierung der Ausreisser).



teile dieses Vorgehens lagen in der Ausnutzung von wichtigen INFORMAP-Funktionen für das Gesamtverfahren und im Umgehen der vielen, sonst notwendigen Konversionsproblemen.

Diese Arbeiten starteten 1987 und dauerten über zwei Jahre. Es wurde der ganze Umtransformationsablauf softwaremässig nachgebildet und die neuen mit den bestehenden Softwarekomponenten integriert. Eine richtige Funktionsweise der bestehenden Nachführungs-Software mit den umtransformierten Daten war eine imperative Randbedingung.

Die Umtransformationssoftware lässt sich in drei Funktionsgruppen teilen:

1. Programme, welche die Berechnungen durchführten.
2. Teilung und Zusammenführung von einzelnen Operaten.
3. Die Datenverifikation, -bereinigung und -protokollierung.

Nach der Software-Erstellung im Jahre 1989 wurde das ganze Umtransformation-Softwarepaket nochmals global getestet. Es hat sich gezeigt, dass einige Programme auf den PDP-Computern zu langsam liefen, so dass die Extrapolation für die Datenbanksperrung einen Zeitbedarf über ein halbes Jahr ergab. Somit drängte sich ein weiterer Aufschub auf, um Optimierung einzelner Schritte und damit die Beschleunigung des Verfahrens zu erreichen. Durch Festlegung optimierter Datenstrukturen und Algorithmen konnten in der Folge mehrere Ablaufschritte bis zum Faktor 1000 beschleunigt werden.

Es wurden über 80 Einzelfunktionen realisiert, die durch 36 Makros gesteuert wurden.

6. Datenverifikation und -bereinigung

Während der Softwareentwicklung und der Testarbeiten stellte man fest, dass nicht nur die Software zum Erfolg des Projektes beitragen muss, sondern auch die Qualität der Daten. Es wurden einzelne Datenstrukturen entdeckt, die nicht einmal die Originalsoftware INFORMAP erkennen und richtig verarbeiten konnte.

Es ist immer wieder interessant festzustellen, wie ungeheuer vielfältig die räumlichen Datenstrukturen sein können. Die bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführten Reinigungsaktionen hatten das notwendige Konsistenzniveau noch nicht erreicht. Deshalb musste parallel zur Entwicklung der Umtransformationssoftware ein Softwarepaket zur Verifikation der digitalen Daten erstellt werden, mit dem die Fehlerdiagnose und -ortung möglich war.

Abb. 7: Darstellung der Differenzen mehrfach berechneter Operatsrandpunkte.

Die wichtigsten Datenbereinigungsbereiche waren:

- Überprüfung der Datenträger und der formalen Richtigkeit der Dateien- und Datenbankstrukturen sowie der Datenbank-Integrität
- Überprüfung der Ein-Eindeutigkeit der Zuordnungen zwischen Punktkoordinaten und ihren Referenzen
- Überprüfung der Grundbuchvermessungsdaten auf Vollständigkeit der zugrundeliegenden Grenzpunkte, der Parzellendefinitionen sowie der Flächendeckung.

Erst durch spezialisierte Verifikations-Software wurde es möglich, die VAZ-Daten global zu überprüfen und die vorhandenen aber versteckten Inkonsistenzen offenzulegen. In einem langen Prozess, bei dem alle Mitarbeiter des Vermessungsamtes geholfen haben, konnte die Datenbank bereinigt und auf ein hohes Qualitätsniveau gebracht werden, auf dem sie dank dieser Software in Zukunft bleiben wird.

7. Durchführung der Umtransformation

Die «scharfe» Umtransformation durchzuführen, bedingte die Sperrung des Nachführungsbetriebes. Um die Sperrzeit zu minimieren, war eine Detailplanung des Ablaufs sowie die Software-Optimierung notwendig.

Die Verarbeitung lief gemäss des Realisierungskonzeptes (s. oben) ab. Für jedes der 40 ausgeschiedenen Operate wurde eine Aktivitätsliste (Schritt-Tabelle) mit je ca. 100 Einzelschritten abgearbeitet. Nach jedem wichtigen Berechnungsschritt wurden alle Daten auf Magnetplatten oder Magnetbänder gesichert, um bei einem eventuellen Fehlschritt die Umstellung ab einem konsistenten Zustand wiederholen zu können. Die Daten mussten immer wieder ausführlich geprüft werden (Berechnungsprotokoll-Kontrolle und graphische Darstellung an der Arbeitsstation).

Die minutiöse Planung und die Software-Optimierung sowie die Operatsaufteilung und die Verarbeitung von Pass- und Stützpunkten (Ermittlung eines repräsentativen Pass- und Stützpunktfeldes für die Ermittlung der Transformationsparameter und Kovarianzfunktionen) nahmen etwa ein Jahr in Anspruch. Diese Arbeit legte die übriggebliebenen Verfahrensschwächen offen, so dass die nachfolgende Umrechnung der Original-Datenbank ohne nennenswerte Verzögerungen erfolgen konnte.

Die eigentliche Umrechnung der Koordinatenwerte dauerte vier Monate – vom November 1989 bis Ende Februar 1990. Während dieser Zeit haben zwei PDP-Computer ununterbrochen die etwa 1,1 Millionen graphischer Elemente (ca. 2 Millionen Koordinatenpaare) verarbeitet. Diese Zahlen dokumentieren die Grösse

und die Komplexität des Projektes am besten.

Vor und nach der Umtransformation wurde die gesamte INFORMAP-Datenbank mit der Verifikations-Software geprüft und ein vollständiges Koordinatenverzeichnis aller Vermessungspunkte und eine vollständige Parzellendefinition mit allen beteiligten Grenzpunkten erstellt sowie mikroverfilmt.

Die Bewältigung der geschilderten Aufgabe und eine erfolgreiche Reorganisation der Daten der amtlichen Vermessung stellten enorm hohe Ansprüche an alle Beteiligten dar. Ohne den persönlichen Einsatz vieler VAZ sowie externer Mitarbeiter und ohne den festen Glauben an einen erfolgreichen Arbeitsabschluss hätte die Umtransformation nicht abgeschlossen werden können.

Interpretation der Umtransformationsresultate

Die erzielten Resultate haben sowohl das gewählte Verfahren gerechtfertigt, als auch die Genauigkeitserwartungen erfüllt, ja sogar übertroffen (Abb. 3).

Während der Operatsausscheidung und Ermittlung der Transformations- und Interpolationsparametern wurden diejenigen 1265 Punkte aus der Passpunktmenge eliminiert, deren Fehlervektoren den von den Aufsichtsbehörden vorgeschriebenen Grenzwert 3,5 cm überstiegen. Dies entspricht einem Anteil von ca. 15% aller Passpunkte. Die 192 groben «Ausreisser» mit Abweichungen > 10 cm wurden im voraus eliminiert. Durch die Operatsaufteilung konnten grossräumige Spannungen abgebaut werden (Abb. 4).

Die 6646 zur Funktionsbestimmung berücksichtigten Passpunkte entsprechen dem in [3] postulierten Anteil von ca. 20% des gesamten Fixpunktnetzes der Stadt Zürich. Die Genauigkeit der Neubestimmten Fixpunkte war homogen genug, um keine Rücksicht auf ihre Herkunft nehmen zu müssen, obwohl diese zeitlich und methodisch unterschiedlich entstanden ist.

Der Effekt der Kleinste-Quadrate-Interpolation auf die Fehlervektoren ergab im Vergleich zur Helmert-Transformation eine Verbesserung der Einpassgenauigkeit von ca. 33–50% (Abb. 5). Diese Werte übertreffen die in [3] postulierte Erwartung (nur 33%).

Der Einfluss der Elimination von 1265 Punkten verursachte eine Verbesserung der Einpassgenauigkeit durch die Kleinste-Quadrate-Interpolation von über einem Zentimeter, ein entsprechender Verbesserungsanteil einer reinen Transformation wäre dagegen bescheiden ausgefallen.

Die 6646 Neubestimmten Punkte definieren für die Stadt Zürich ein neues geodätisches Modell. Es wurde nicht nur eine for-

male Vereinheitlichung der Koordinatensysteme erreicht, sondern auch die Genauigkeit der bestehenden Daten in Relation zu ihrem zugrundeliegenden Modell massiv verbessert. Die Verbesserungen erfolgten sowohl durch die Beseitigung grossräumiger Spannungen (Operatseinteilung und operatweise Transformation), als auch durch die Kleinste-Quadrate-Interpolation.

Nachfolgende Vermessungsmassnahmen

Der umtransformierte digitale Koordinatenkaster weist gegenüber den ursprünglichen Ausgangswerten eine wesentlich höhere innere Homogenität auf, da neben der formalen Vereinheitlichung auch eine Entzerrung der Koordinatenwerte über das ganze Stadtgebiet stattfand.

Während die vorhandenen Spannungen im ursprünglichen Kaster mehrheitlich unauffindbar waren, können sie heute relativ sicher geortet werden. Das neue geodätische Modell legt diejenigen Stadtgebiete offen, in denen diese Spannungen nach wie vor existieren (Abb. 6 und 7). In diesem einheitlichen und homogenen Modell können die betroffenen Gebiete gezielter und ohne Gefahr der Spannungsverschiebung durch das weginterpolierte «Rauschen» lokalisiert werden.

Aufgrund der Umtransformationsresultate wird die erste vermessungstechnische Massnahme die Klärung der Gründe für die 192 eliminierten groben «Ausreisser» sein. Diese Punkte wurden für die Nachführungsarbeiten gesperrt.

In Abbildung 6 ist die Massierung der 1265 nichtberücksichtigten Passpunkte abgebildet. Dieser Plan ist zugleich eine gute Vorlage für die Festlegung der Prioritäten bei den zukünftigen Sanierungsarbeiten. In der Umgebung dieser Fixpunkte müssen bei den zukünftigen Mutationen erhöhte Anstrengungen unternommen werden. Durch überbestimmte Aufnahmen kann es dann möglich sein, die Grenzen der Spannungsnester immer feiner zu bestimmen. Durch einen erhöhten Aufwand während der Nachführungsarbeiten kann das Vermessungswerk «sanft» saniert werden. Für die Ortung der lokalen Spannungen werden alle verfügbaren Methoden ausgenutzt. So wird beispielsweise bei der Digitalisierung der Originalpläne das jeweilige Passpunktfeld auch automatisch überprüft. Ergeben sich unproportionale relative Differenzen, steht ein weiteres Indiz für eine genauere Bestimmung verborgener Problemgebiete zur Verfügung.

Somit lässt sich voraussagen, dass das Zürcher Operat der amtlichen Vermessung durch die zukünftigen Arbeiten, im Gegensatz zum traditionellen Verfahren, in Zukunft laufend verbessert wird. Diese

Trendumkehr stellt in der Geschichte des Vermessungswesens ein einmaliges Ereignis dar.

Schlussbemerkungen

Das Projekt «Vereinheitlichung der Koordinatensysteme in der Stadt Zürich» konnte dank einer Reihe günstiger Umstände realisiert werden:

Das Stadtvermessungsamt hatte mit der Anlage eines teildigitalen Kastasters sehr früh begonnen – ab 1896. Deshalb war es nicht der Pioniergeist, sondern eine bittere Notwendigkeit, die Umtransformation der unter einer beträchtlichen Investition numerisierten Koordinaten für die weiteren Digitalisierungsarbeiten zu retten. Insbesondere muss hervorgehoben werden, dass der digitale Kaster aus den Originaldaten entstand, und deshalb keine Qualitätseinbussen, verursacht durch den Einsatz von minderwertigeren Erfassungsmethoden, hingenommen werden mussten.

Die Arbeitsresultate mehrerer Generationen von Vermessungsfachleuten waren präzise genug, um sie durch die gewählte Methode überhaupt verarbeiten zu können. Sie beweisen, dass das Vermessungsamt einen Datenbestand von einem dauerhaften Wert verwaltet.

Die Anschaffung des Computersystems, ohne das ein derartiges Projekt nie hätte durchgeführt werden können, sowie dessen konsequenter und zielorientierter Ausbau, konnten nur mit der grosszügigen Unterstützung der Zürcher Exekutive erfolgen. Dies einzuleiten, zu begründen und zu verantworten, war eine meisterhafte Managementleistung.

Die Fortschritte in der Informationstechnologie und insbesondere in der Softwareentwicklung hatten einen massgebenden Einfluss auf die Projektrealisierung. Ohne den Einsatz moderner Feldinstrumente in Verbindung mit einer integralen Datenauswertung im Büro, wäre eine Verdichtung der Passpunkte sowie die Verarbeitung des gesamten Datenbestandes innerhalb nützlicher Zeit nicht möglich gewesen.

Es ist gelungen, das entscheidende Know-how aus mehreren Fachbereichen zu bündeln. Das Projekt stellt eine interdisziplinäre Spitzenleistung der Bereiche Geodäsie, Informatik, Kommunikation, Systemtechnik, Gerätebau und des Managements dar. Insgesamt handelte es sich mit Sicherheit um das komplexeste Projekt in der Geschichte des Stadtvermessungsamtes.

Als Erfolg darf auch gewertet werden, dass die digitalen Daten – nach erfolgter behördlicher Verifikation – offiziell als Bestandteil der amtlichen Vermessung anerkannt werden. Andererseits muss auch erwähnt werden, dass die Vereinheitlichung der Koordinatensysteme eine extrem

schwierige logistische Aufgabe war, die nicht nur Kostensteigerungen, sondern auch zeitliche Verzögerungen auslöste. Die Ursachen dieser Verzögerungen lagen nur teilweise in der Projekt-Interdisziplinarität. Ein nicht unbeträchtlicher Anteil lag auch in der notwendigen fachlichen Auseinandersetzung der vielen Beteiligten, die in verschiedenen Zeiträumen in verschiedenen Projektbereichen mitgearbeitet oder das Projekt sonst in irgendeiner Art und Weise mitgetragen haben. Allen, die an den Vorprojekten sowie bei der eigentlichen Umtransformation mitgearbeitet haben, innerhalb und ausserhalb des Vermessungsamtes, gebührt ein grosser Dank und eine Anerkennung für ihren Beitrag.

Durch die formale Vereinheitlichung der Koordinatensysteme erübrigt sich ein systematischer, durch Mehrspurigkeiten und Reibungsverluste verursachter Mehraufwand im täglichen Vermessungsbetrieb. Nach der Produktionsumstellung auf das neue netzwerkbierte VAX-System steht den Benutzern des städtischen Vermessungswerkes ein einheitlicher, auf einem Informationsnetzwerk verfügbarer Parzellenkaster zur Verfügung. Die kommenden Arbeiten am digitalen Kaster werden auf dieser Basis in einem beschleunigten Tempo erfolgen können.

Literatur- und Dokumentationsverzeichnis:

- [1] Klingenberg, Leuenberger: «Triangulation 1971–1976 III. und IV. Ordnung der Stadt Zürich», Technischer Bericht.
- [2] Kraus: «Interpolation nach kleinsten Quadraten in der Photogrammetrie», BuL 1/1972.
- [3] «Vereinheitlichung der Koordinatensysteme in der Stadt Zürich – Entscheidungsgrundlagen und Vorgehenskonzept» (Interne VAZ-Dokumentation), September 1988.
- [4] Vereinheitlichung der Koordinatensysteme in Zürich, Technischer Bericht (Interne VAZ-Dokumentation), Mai 1990.

Adresse des Verfassers:

Georg Smehil, dipl. Vermessungsing.
Leiter des Geschäftsbereichs Informatik und Projektleiter des Projekts «IVW-Zukunft»
Vermessungsamt der Stadt Zürich
Werdmühleplatz 3, Postfach
CH-8023 Zürich