

Verkettete Transformation

Die Projektgruppe FALKE [1] hat sich die flächendeckende Bereitstellung der Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) im Land Brandenburg zum Ziel gesetzt.

Um die 12 000 Fluren im ländlichen und forstwirtschaftlichen Bereich in der visierten Zeit auf einen digitalen Nachweis umzustellen, konnten die bisherigen Methoden nicht zum Einsatz kommen. Auf der Grundlage der Vorüberlegungen der Projektgruppe wurde in einer Zusammenarbeit zwischen der Technischen Universität Berlin Fachgebiet Geodäsie und Ausgleichsrechnung und dem Landesvermessungsamt Brandenburg eine „Mustertechnologie zur Verketteten Transformation“ [4] entwickelt.

Das Grundprinzip

Grundlage zur Umstellung der analogen Liegenschaftskarten in eine digitale Form sind Passpunkte zur Georeferenzierung dieser Flurkarten. Die bisherigen Methoden zur Erfassung der ALK sahen eine Mindestanzahl von 6 Passpunkten je Flur vor. Da im Land Brandenburg im land- und forstwirtschaftlichen Bereich kaum Passpunkte vorhanden sind und im Zeitraum von einigen Jahren nicht mehr als 70 000 Passpunkte katasterteknisch bestimmt werden können, musste nach einer anderen Möglichkeit gesucht werden. Dies führte zu der Methode der Verketteten Transformation, die sich als Standardverfahren für verschiedene Aufgabenstellungen im Umfeld von Geo-Informationssystemen (GIS) mit großmaßstäbigem Anwendungsbezug bereits etabliert hatte. Exemplarisch seien hier zwei Anwendungsfelder benannt; die flächenhafte Untersuchung des Zahlen- und Kartenwerks im Liegenschaftskataster [2] sowie die Ersterfassung und Fortführung von digitalen Betriebsmitteldaten im Bereich der Versorgungswirtschaft [5].

Allgemein geht die Methode davon aus, dass unterschiedliche Geometriebereiche verschiedenster Maßstäbe über gemeinsame Punkte verknüpft bzw. verkettet und über ausgleichungstechnische Verfahren mit vorhandenen Passpunkten in einen homogenen Lagebezug überführt werden können. Als unterschiedliche Geometriebereiche sind die einzelnen Flurkarten mit deren Beiblättern und Nebenzeichnungen zu verstehen. Auf Grund der hohen Anzahl von Nebenzeichnungen in verschiedenen Landkreisen ist zu vermuten, dass sich in der Summe 30 000 - 40 000 lokale Koordinatensysteme ergeben. Die genaue Anzahl wurde nicht ermittelt, da sie keine zentrale Bedeutung hat. Da eine vollständige Ausgleichung aller Systeme nicht praktikabel oder technisch realisierbar ist und auch die Anforderung an die Genauigkeitsverhältnisse unbekannt waren, musste nach einer Möglichkeit gesucht werden, den allgemeinen Weg für das brandenburger Liegenschaftskataster technisch umsetzbar zu gestalten.

Auf Grundlage dieser Überlegungen erarbeitete das Landesvermessungsamt Mit-

te 1999 die Technologiebeschreibung „*Umsetzung der analogen Liegenschaftskarten in die digitale Liegenschaftskarte im ländlichen Raum*“ [3], die als Hilfsmittel zur Bestimmung der Passpunkte eine Brandenburger Variante der Verketteten Transformation vorsieht. In einer Zusammenarbeit zwischen der Technischen Universität Berlin, Fachgebiet Geodäsie und Ausgleichsrechnung, und der Technischen Stelle ALK im Landesvermessungsamt wurde eine Möglichkeit erarbeitet, das Hilfsmittel Verkettete Transformation in einer brandenburger Variante zielgerecht zum Einsatz zu bringen. Die ersten Ergebnisse wurden in der Technologiebeschreibung „*Mustertechnologie - Verkettete Transformation*“ [4] niedergeschrieben.

In den folgenden Abschnitten möchten wir die mathematischen Grundlagen anreißen, die Variante als Theorie und programmtechnische Umsetzung kurz vorstellen sowie durch Erfahrungen aus dem praktischen Einsatz in einem brandenburger Landkreis und einer Diplomarbeit an der TU Berlin beweisen, dass sich die Methode hervorragend zur Umstellung der ALK im Land Brandenburg eignet.

Mathematische Grundlagen

Die Betrachtung soll hier auf den zweidimensionalen Fall beschränkt bleiben. In diesem Fall lassen sich die Beziehungen von Koordinaten im Ausgangs- und Zielsystem durch zwei Abbildungsgleichungen darstellen.

$$\begin{aligned} X &= f_1(x, y) \\ Y &= f_2(x, y) \end{aligned}$$

Die Koordinaten des Ausgangssystems werden im weiteren in Kleinbuchstaben x bzw y und die des Zielsystems in Großbuchstaben X bzw. Y angegeben.

Die Helmert-Transformation als Ausgleichungsproblem

Das Grundproblem jeder Transformation besteht in der Bestimmung der zunächst unbekanntem Transformationsparameter. Liegen genau so viele Koordinatenpaare X_i, x_i bzw. Y_i, y_i identischer Punkte vor, wie Transformationsparameter gesucht sind, so ist das Problem eindeutig lösbar. In einem solchen Fall würden auch keine Restklaffungen entstehen. Im allgemeinen Fall liegen jedoch mehr Koordinatenbeobachtungen als unbekanntem Transformationsparameter vor, die Bestimmung der Transformationsparameter ist daher ein Ausgleichungsproblem. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf den Ausgleichungsansatz nach vermittelnden Beobachtungen. Für die einfache, nicht verkettete, Helmert-Transformation stellt sich das Ausgleichungsproblem folgendermaßen dar:

Gegeben: sind n Beobachtungen in Form von lokalen digitalisierten Koordinaten. Jedes Kartenblatt bzw. jede Nebenzeichnung repräsentiert ein lokales Koordinatensystem. Jeder digitalisierte Punkt liefert zwei Beobachtungen x_i und y_i . Die Zahl der Beobachtungen ist also genau doppelt so groß wie die der digitalisierten Punkte $n_i = 2n_p$.

Gesucht: sind die unbekanntem Transformationsparameter X_0, Y_0, a, o . Die Zahl der Unbekanntem beträgt demnach $u = 4$.

Problem: Beim Vorhandensein von genau zwei identischen Punkten also 4 Beobachtungen ließe sich ein Gleichungssystem mit 4 Gleichungen und 4 Unbekanntem aufbauen, welches eindeutig lösbar wäre. Da aber im allgemeinen

mehr als nur zwei identische Punkte digitalisiert wurden, ist das Problem überbestimmt mit der Redundanz $r = n - u = 2n_p - 4$.

Die Verbesserungsgleichungen lauten:

$$\begin{aligned}x_i + v_{xi} &= a \cdot (X_i - X_0) - o \cdot (Y_i - Y_0) \\y_i + v_{yi} &= o \cdot (X_i - X_0) + a \cdot (Y_i - Y_0)\end{aligned}$$

Für den Fall, dass alle Beobachtungen x_i und y_i gleich genau sind, liefert die Ausgleichung nun genau die Unbekannten X_0 , Y_0 , a , o für welche gilt:

$$\sum_{i=1}^{n_p} v_{xi}^2 + v_{yi}^2 \stackrel{!}{=} \min$$

Im Falle der Verketteten Transformation sind die Verbesserungsgleichungen identisch mit denen der einfachen Helmert-Transformation. Der Unterschied besteht darin, dass weitere Unbekannte in die Ausgleichung eingeführt werden. Bei diesen zusätzlichen Unbekannten handelt es sich um die Koordinaten der Verknüpfungspunkte X_i und Y_i im Zielkoordinatensystem der Transformation. Weiterhin kann bei der Verketteten Transformation nicht davon ausgegangen werden, dass alle Beobachtungen gleich genau sind, da im allgemeinen Karten unterschiedlicher Maßstäbe in eine gemeinsame Ausgleichung eingehen werden. Dieser Umstand erfordert eine entsprechende Gewichtung der Beobachtungen, auf welche weiter unten noch näher eingegangen wird.

Mögliche Transformationsansätze

Vier-Parameter-Transformation (Helmert-Transformation)

Die Vier-Parameter-Transformation (4-P-T) ist gekennzeichnet durch einen Transformationsansatz mit Parametern für zwei Translationen einer Rotation und einen Maß-

stab. Die Translationen bewirken eine Verschiebung in X - bzw. Y -Richtung, die Rotation bewirkt eine Drehung um den Koordinatenursprung des Ausgangssystems und der Maßstab eine entsprechende Vergrößerung oder Verkleinerung.

In den Verbesserungsgleichungen sind X_0 und Y_0 die Translationsparameter. Die Parameter für die Rotation j und den Maßstab m werden durch die Ersatzunbekannten a und o ausgedrückt:

$$\begin{aligned}a &= \cos \varphi \cdot m \\o &= \sin \varphi \cdot m\end{aligned}$$

Fünf-Parameter-Transformation

Bei der Fünf-Parameter-Transformation (5-P-T) werden, anders als bei der 4-P-T, separate Maßstäbe, m_x und m_y , für die x - und y -Komponenten des Ausgangssystems angesetzt. Die Verbesserungsgleichungen lauten hier

$$\begin{aligned}x_i + v_{xi} &= \cos \varphi \cdot m_x \cdot (X_i - X_0) - \sin \varphi \cdot m_x \cdot (Y_i - Y_0) \\y_i + v_{yi} &= \sin \varphi \cdot m_y \cdot (X_i - X_0) + \cos \varphi \cdot m_y \cdot (Y_i - Y_0)\end{aligned}$$

Dieser Ansatz führt auch bei der einfachen Transformation auf ein nichtlineares Ausgleichungsproblem. Im Gegensatz zur Helmert- oder Affin-Transformation können die unbekanntenen Transformationsparameter X_0 , Y_0 , j , m_x , m_y nicht in geschlossenen Formeln berechnet werden. Aus diesem Grund kam die 5-P-T in der Vergangenheit nur selten zum Einsatz.

Sechs-Parameter-Transformation (Affin-Transformation)

Die Sechs-Parameter-Transformation (6-P-T) verwendet wie auch die 5-P-T separate Maßstäbe für die x - und y -Komponenten des Ausgangssystems. Anders als bei letzterer werden aber auch noch separate Drehwinkel j_x und j_y eingeführt. Das bedeutet,

die 6-P-T bewirkt eine gegenseitige Verschwenkung der Koordinatenachsen des Ausgangssystems. Wie bei der 4-P-T werden bei der 6-P-T Ersatzunbekannte eingeführt. Die Verbesserungsgleichungen lauten:

$$\begin{aligned}x_i + v_{x_i} &= a \cdot (X_i - X_0) + b \cdot (Y_i - Y_0) \\y_i + v_{y_i} &= c \cdot (X_i - X_0) + d \cdot (Y_i - Y_0)\end{aligned}$$

Hierin sind wiederum X_0 und Y_0 die Translationsparameter, die Rotationen j_x und j_y sowie die Maßstäbe m_x und m_y stecken in den Parametern a , b , c und d :

$$\begin{aligned}a &= \cos \varphi_x \cdot m_x & b &= -\sin \varphi_x \cdot m_x \\c &= \sin \varphi_y \cdot m_y & d &= \cos \varphi_y \cdot m_y\end{aligned}$$

Wahl des Transformationsansatzes

Für den gesamten Prozeß der Analyseausgleichung wird der Ansatz der 4-Parameter-Transformation empfohlen. Die Wahl anderer Ansätze führt erfahrungsgemäß zu Problemen bei der Fehlerlokalisierung. Bei der endgültigen Ausgleichung mit festen Blockgrenzen ist es jedoch von Vorteil, für geeignete lokale Systeme den Ansatz der 5-P-T einzuführen. Dieser erlaubt eine bessere Modellierung des Kartenverzugs und bewirkt daher in vielen Fällen eine Genauigkeitssteigerung. Voraussetzung für den Ansatz einer 5-P-T ist eine entsprechend günstige Verteilung der Pass- bzw. Verknüpfungspunkte. Diese Punkte sollten nicht entlang einer Linie angeordnet sein, sondern eine Fläche aufspannen. Nur bei einer solchen Konfigu-

ration ist es möglich, unterschiedliche Maßstäbe für die x- und y-Achsen eines lokalen Systems zu berechnen. Aus dem genannten Grund sollte auch die Ausgleichung eines Kartenbands zur Fixierung einer Blockgrenze nur mit dem Ansatz der 4-Parameter-Transformation erfolgen.

Die Brandenburger Variante

Das Ziel des Verfahrens besteht darin, die globalen Koordinaten der Umringspunkte aller beteiligten Flurkarten im Land Brandenburg zu bestimmen. Das Polygon der Umringspunkte einer jeden Flurkarte bildet dann den festen Rahmen für die Digitalisierung und die nachbarschaftstreu Restklaffenverteilung des Karteninhalts.

Erster Verfahrensschritt ist die Passpunktanalyse im Verfahrensgebiet, in der Regel das vollständige Gebiet eines Landkreises (1 200-3 000 km²). Hierzu wird eine vorher digitalisierte und georeferenzierte Flurübersicht mit allen vorhandenen Passpunkten als thematische Karte aufbereitet (siehe Abb. 1 mit einem Kreisgebiet, exemplarischen Verkettungsblöcken und Sollpunkthäufungen). In den Landkreisen sind Passpunkte vornehmlich in den Ortschaften zu finden. Um Extrapolationen im

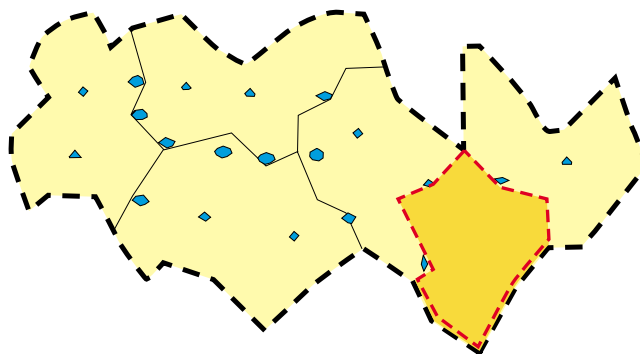


Abb. 1: Übersichtskarte zur Passpunktanalyse

Vorfeld möglichst auszuschließen, ist die Festlegung der verschiedenen Verkettungsblöcke auf Grund deren Lage festzusetzen. Liegen Passpunkte, z.B. in einem Neubaugebiet, sehr eng in Form einer Wolke zusammen, so sollten nur soviel verfügbare Punkte herangezogen werden, dass eine ausreichende gegenseitige Kontrolle gewährleistet ist. Eine Berücksichtigung aller Punkte in dieser Bearbeitungsphase ergibt keinen Genauigkeitsgewinn bei der Bestimmung der Transformationsparameter. Von entscheidender Bedeutung ist eine hinreichende Anzahl von gleichmäßig über das Verfahrensgebiet verteilten Passpunkten sowie ein fest koordinierter Gebietsrand, um - wie gesagt - Extrapolationen auszuschließen. Als nächstes erfolgt die Festlegung der Grenzen von Verkettungsblöcken, Startwert sind 50 - 100 Flurkarten unter Zuhilfenahme der vorliegenden Feinkonzeption des KVA. Bei der Blockfestlegung sollte nach dem Prinzip "So groß wie möglich und so klein wie nötig" verfahren werden. Je größer ein Verkettungsblock ist, desto geringer ist der Bearbeitungsaufwand im Verhältnis zur einzelnen Flurkarte.

Die Berechnung erfolgt nach dem Prinzip „Vom Großen ins Kleine“. Es ist daher erforderlich, zunächst die vordefinierten Blockgrenzen zu fixieren. Zu diesem Zweck wird ein Verkettungsband (siehe Abb. 2) entlang der Blockgrenze einer verketteten Transformation gelegt. Hierzu sind alle Passpunkte innerhalb des Kartenbands hinzuzuziehen, eventuell sollte die Breite des Verkettungsbands an einigen Stellen vergrößert werden, um zusätzliche Passpunkte berücksichtigen zu können. Bei einer unzureichenden Passpunktdichte sind örtliche Vermessungen vorzunehmen, um zusätzliche Passpunkte zu bestimmen. Dabei sind

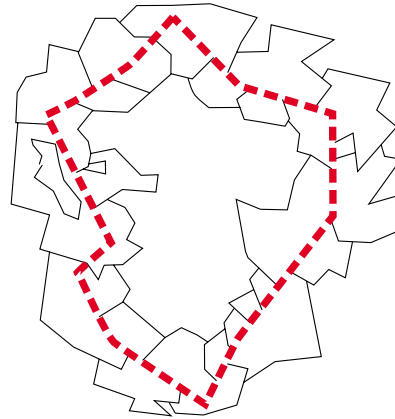


Abb. 2: Verkettungsband

kartenidentische Punkte zu wählen, die mit geringst möglichem Aufwand auf Identität zu prüfen und im globalen Koordinatensystem bestimmt werden können (z.B. GPS). Ergebnis der Verketteten Transformation sind die globalen Koordinaten der Punkte der Blockgrenze. Die Blockgrenze ist für den Anschluss eines Nachbarbands als fest anzuhalten, um großflächige Randanpassungen möglichst auszuschließen.

Die nachfolgende Verkettung des Gebiets erfolgt also mit einem festen Blockrand (siehe Abb. 3). Erster Schritt der Verketteten Transformation ist immer die Digitalisierung der Randpunkte sowie der vorhandenen Passpunkte und der Reservepunkte der Flurkarten (Grenzpunkte im Flurinneren die ggf. nachträglich koordiniert werden). Für die hierbei zu vergebenen Punktnummern besteht eine eindeutige Vorschrift, welche sich an die bestehende Nummerierung von Gemarkung und Flur anlehnt. Das Ergebnis dieses ersten Schritts sind lokale Koordinaten für alle Umringspunkte, Passpunkte und Reservepunkte einer jeden Flurkarte oder Nebenzeichnung, die jeweils ein eigenes lokales Koordinatensystem bilden (siehe Abb. 4). Durch die

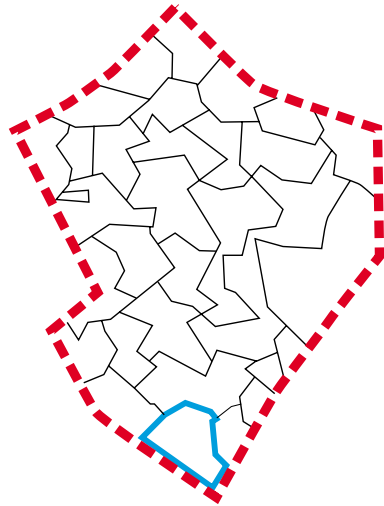


Abb. 3: Verkettungsblock

Verkettung identischer Punkte in mehreren lokalen Systemen wird eine Transformation in ein System realisiert. Mit der Einbeziehung von Passpunkten erfolgt dann (ausgleichstechnisch in einem Zuge) die Transformation in das Lagebezugssystem ETRS89.

Als Kriterium für die Bewertung der Ergebnisse wurde der mittlere Punktfehler festgesetzt. Dieses Genauigkeitsmaß spiegelt sowohl die Nachbarschaftsgenauigkeit innerhalb einer Karte als auch die Genauigkeit in Beziehung zum Datum des Landesnetzes wieder.

Sollte die Genauigkeit in bestimmten Bereichen nicht ausreichend sein, so sind an diesen Stellen Reservepunkte oder Umringpunkte als Passpunkte einzuführen, was eine örtliche Bestimmung dieser Punkte erforderlich macht. Je nach Art des Gebiets (Feldlage, Waldlage, Ortsrandlage) sind verschiedene Genauigkeitsklassen anzuhalten. Der maximale mittlere Punktfehler (absolute Lagegenauigkeit des Punkts) darf jedoch niemals 5m überschreiten. Liegenschaftsvermesser werden bei diesem

Wert drei Mal schlucken und den Kopf schütteln. Für einen Grenzstein im geschlossenen Waldgebiet von mehreren Quadratkilometern ergibt sich trotz des hohen mittleren Punktfehlers jedoch ein erheblicher Qualitätsgewinn gegenüber der analogen Flurkarte im Maßstab 1:5 000 - 1:8 000 ohne Lagebezug. Viele Kunden benötigen keine ALK im Zentimeterbereich. Hier hat zum Beispiel eine gemeinsame Nutzung der ALK und digitaler Orthophotos eine höhere Gewichtung. Gerade im Ressort Landwirtschafts- und Forstwesen ist eine schnelle Verfügbarkeit zum Aufbau deren GIS von eminenter Bedeutung.

Ziel des Projekts FALKE ist die beschleunigte Umstellung der ALK im Land. Entsprechend der Anforderungen unserer Kunden hat die Geschwindigkeit eine höhere Bedeutung als eine hochgenaue Karte (im land- und forstwirtschaftlichen Bereich), welche die Anforderungen der interessierten Kunden im Land bei Weitem überschreitet. Voraussetzung war und ist jedoch das Prinzip einer nachbarschaftsgereuten Umstellung der analogen Karten.

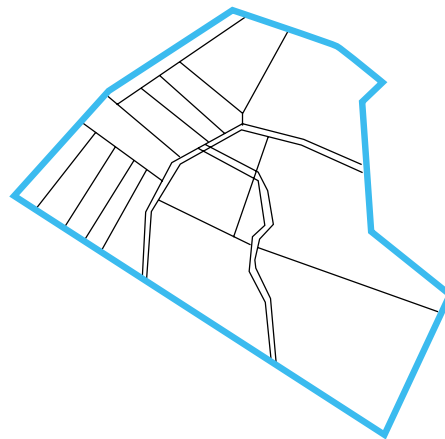
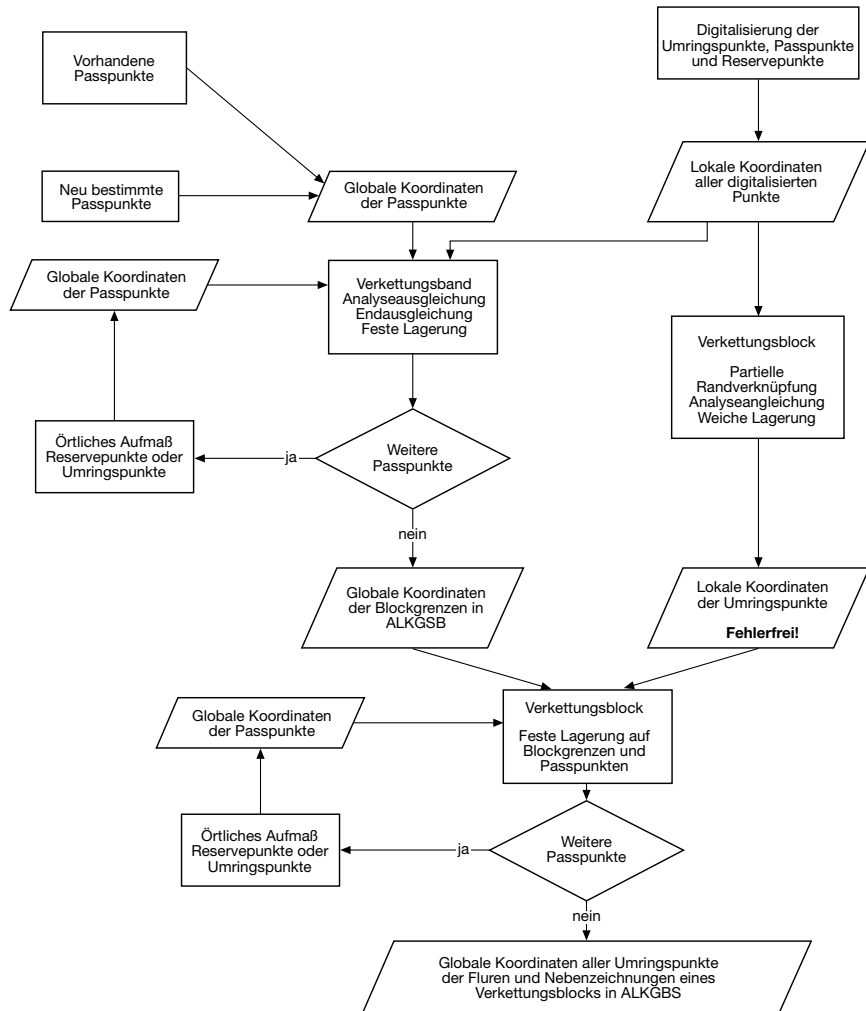


Abb. 4: Flur innerhalb eines Verkettungsblocks



Programmtechnische Realisierung

Die programmtechnische Realisierung der Verketteten Transformation erfolgte in den Technischen Stellen ALB/ALK des Landesvermessungsamtes. Zwei Restriktionen mussten eingehalten werden. Es standen nur begrenzt finanzielle Mittel zur Verfügung und die bestehenden Programmsysteme ALKGSB, ALK-GIAP und KAFKA

waren einzubeziehen. Als Bearbeitungsplattform wurde das Betriebssystem UNIX ausgewählt. Hierfür sprachen neben der Verfügbarkeit der Programmsysteme ALK-GIAP und KAFKA besonders die einfache und effiziente Entwicklung mit der UNIX-Kommandosprache (shellscript) und der universellen Programmiersprache ANSI-C.

- Bestandteil der Realisierung waren:
- \$ Verwaltung der Daten zu den Verkettungsbändern und -blöcken (nachfolgende einheitlich als Gebiete bezeichnet)
 - \$ Verwaltung der Sollpunkte
 - \$ Generierung, Digitalisierung und Aufbereitung der lokalen Koordinatensysteme (nachfolgend als Verfahren bezeichnet)
 - \$ Umsetzung der Grundlagedaten (Sollpunkte und Verfahren) in das Programmsystem KAFKA
 - \$ Programmtechnische Unterstützung bei der Verkettung, der Bearbeitung mit KAFKA
 - \$ Ausgabe der Punktdaten (Verfahrens- und Gebietsränder)

Aus der Oberfläche heraus können die Programmsysteme ALK-GIAP und KAFKA bedient werden. Die verschiedenen Datenkonvertierungen zwischen den Datenformaten PDB (aus ALKGSB), ALK-GIAP Ladedatei sowie die KAFKA-Formate DAT und LT4 wurden als ANSI-C-Programme realisiert, die im Batchlauf verarbeitet werden. Aus der Dokumentation des Programms [8] sollen an dieser Stelle nur die Features Erstellung einer KAFKA-Auftragsdatei, Visualisierung der Ausgleichungsergebnisse mit dem ALK-GIAP, Generierung eines lokalen Koordinatensystems und Verkettung der digitalisierten Punkte mit automatisierter Objektnamengenerierung beschrieben werden.

```

VETRAS (Verkettete Transformation Steuerprogramm) v1.1-0 - 000000 : 000000
-----
10 Bestehende Gebiete ANZEIGEN      20 Bestehende Verfahren ANZEIGEN
11 Neues Gebiet ANLEGEN            21 Neues Verfahren ANLEGEN
12 Bestehendes Gebiet AUSWAHLLEN  22 Bestehendes Verfahren AUSWAHLLEN
13 Sollpunkte bereitstellen        23 Einpassung
14 Sollpunkte suchen              24 Bearbeitung
                                   25 Abschluss

30 KAFKA-Auftrag erzeugen          40 GEBIETS-Verfahren erstellen
31 Auftragsdatei editieren         41 Datenabgabe LFE
32 Handpunkte nachladen            42 Datenabgabe LVERKA
33 Ausgleichung                    43 Datenabgabe Gebietsrand
34 Anpassung der Auftragsdatei
35 GIAP-Visualisierung            90 Gebiet auf Band SICHERN
36 Abschluss der Ausgleichung      91 Gebiet von Band HERSTELLEN
   und Programmende              99 GEBIET LÖSCHEN

(Waitere Befehle: 80=ana 81=lt1 82=lt2 84=lt4 86=lt6 87=kaf 70=info)
-----
Befehl:

```

Die UNIX-Kommandosprache wurde zur Realisierung einer Benutzeroberfläche genutzt. Das Programm wurde VETRAS genannt (**VER**kettete **TRANS**formation **ST**euerprogramm). Es wurde erreicht, dass alle Verwaltungs- und Bearbeitungsabläufe in die Oberfläche integriert wurden.

Erstellung einer KAFKA-Auftragsdatei

Als Grundlagedaten zur Ausgleichung stehen eine Datei der Sollpunkte (im Format PDB-Punktdatenformat des Landes Brandenburg) sowie eine beliebige Anzahl von ALK-GIAP Verfahren zur Verfügung.

Die Sollpunkte sind Bestandteil des amt-

lichen Nachweises der Punktdaten, Sie wurden aus der IDB entladen und mit dem Programm ALKGSB in das Format PDB umgesetzt. Die Sollpunkte definieren das Lagebezugssystem (hier ausschließlich ETRS89), in das die lokalen, verketteten Koordinatensysteme nach der Ausgleichung überführt werden.

Die ALK-GIAP-Verfahren sind die lokalen Koordinatensysteme, die aus den Angaben der analogen Flurkarte generiert (Befehl 23), mit dem Programm ALK-GIAP digitalisiert (Befehl 24) und in eine ALK-GIAP-Ladedatei entladen (Befehl 25) wurden.

Auf Grund einer festgesetzten Namenskonvention und Verzeichnisstruktur generiert ein Hilfsprogramm automatisch aus der Sollpunktdaten und allen gefundenen ALK-GIAP-Ladedateien eine KAFKA-Auftragsdatei. Die resultierende Auftragsdatei kann, nach Einarbeitung einiger weniger Verknüpfungen, sofort zur Vorausgleichung (Kontrolle zur Koordinierung aller Neupunkte) und einer anschließenden Visualisierung genutzt werden.

Visualisierung der Ausgleichungsergebnisse mit dem ALK-GIAP

Ein weiterer Bestandteil von VETRAS ist die Möglichkeit, die transformierten Koordinaten aller Punkte im Landessystem inklusive der mit KAFKA berechneten mittleren Punktfehler mit dem Programm ALK-GIAP zu visualisieren. Grundlage für das Datengenerierungsprogramm sind die KAFKA-Dateien DAT und LT4. Hierdurch wurde die Verknüpfung der Randpunkte erheblich beschleunigt.

Generierung eines lokalen Koordinatensystems

Grundlage jedes Verfahrens ist ein lokales Koordinatensystem mit der Maßeinheit Me-

ter, in die jede Flurkarte, Nebenzeichnung oder Beiblatt zu überführen ist. Die Maßeinheit Meter berechnet sich aus dem Maßstab der Karte bzw. seiner Nebenzeichnungen. Mit dem Programm ALK-GIAP lässt sich die Generierung eines lokalen Verfahrens am einfachsten mit einem Hilfsprogramm realisieren, welches die notwendigen Passpunkte im Programmablauf erfragt und für die nachträgliche Einpassung speichert. Mit diesem Hilfsprogramm kann auf einfache Art und Weise eine sichere Grundlage für die nachfolgende Einpassung / Transformation der analogen Flurkarte gelegt werden.

Verkettung der digitalisierten Punkte mit automatisierter Objektnamengenerierung

Um die Digitalisierung der Randpunkte in den analogen Flurkarten zu beschleunigen, wurde eine automatisierte Generierung der Punktobjektnamen für das Programm ALK-GIAP erstellt. Die praktische Auswirkung liegt darin, dass mit einem Klick ein Punkt (inkl. Objektname) erzeugt werden kann. Somit ist es möglich, eine größere Anzahl von Flurrändern an einem Tag zu digitalisieren. Das sogenannte VETRAS-Punktzeichen setzt sich zusammen aus dem Gemarkungskennzeichen, der Flurnummer, einer Punktart, der laufenden Nummer der Nebenzeichnung einer Flur sowie der laufenden Nummer innerhalb des Verfahrens.

Es kann somit gewährleistet werden, dass jeder Punkt

- \$ eindeutig nummeriert werden, und
- \$ mehrere Kennzeichen erhalten kann.

Diese Features des Programms bilden nur einen kleinen Teil des Leistungsspektrums, welches im Handbuch [8] detailliert erläutert wurde.

Praktische Erfahrungen

Katastertechnische Erfahrungen aus dem Landkreis Oberhavel

Im Landkreis Oberhavel wurde im ersten Halbjahr 2000 eine vollständige Verkettete Transformation durchgeführt. Auf Grundlage der Erfahrungen dieses Amtes sollen hier die wichtigsten Aspekte diskutiert werden.

Vorab wird das Verfahren in Zahlen kurz vorgestellt:

- \$ 32 Randfluren für die Blockrandausgleichung
- \$ 27 Fluren für die Gebietsausgleichung (bei 97 Verfahren),
- \$ ca. 100 km² Gebietsgröße,
- \$ ca. 10 200 Punkte im Verfahren,
- \$ ca. 17 000 Datenzeilen in der Auftragsdatei.

Für das erste größere Verfahren, was annähernd nach der Technologiebeschreibung des Projektes FALKE bearbeitet werden konnte - das Produkt VETRAS stand vorher nicht zur Verfügung -, sind die praktischen Erfahrungen besonders wichtig, da die gesamte Methode in Frage gestellt werden sollte. Es erfreut uns natürlich, dass der Erfahrungsbericht die Methode in wesentlichen Teilen bestätigte und des Weiteren gute konstruktive Verbesserungsvorschläge technischer Natur lieferte.

Die eigentliche Durchführung der Methode besteht aus drei Vorgängen:

- \$ Arbeitsvorbereitung
 - o Gebietsauswahl
 - o Ausarbeitung der Vorlagen
 - o Zusammenstellung der notwendigen Unterlagen
 - o Visuelle Prüfung der Verfahrensrandgeometrien
 - o Ermittlung der zu bestimmenden Passpunkte

- o Technische Vorbereitungen mit VETRAS

\$ Digitalisierung der Randpunkte, Sollpunkte und Reservepunkte aller beteiligter Fluren

\$ Verkettung und Ausgleichung

Als erste Korrektur der Methode ist festzuhalten, dass die Abschätzung der Gebietsgröße detaillierter durchzuführen ist. Ein zu großes Gebiet - wie in diesem Fall - führt zu einer fast exponentiell wachsenden Aufwandssteigerung bei der Anpassung des stochastischen Modells. Das hauptsächlichste Problem lag hierbei in der hohen Anzahl von Nebenzeichnungen und Beiblättern (70 an der Zahl, bei nur 27 Fluren). Die Größe des Gebiets sollte zukünftig so gewählt werden, dass ca. 50 Verfahren (lokale Systeme) verkettet werden.

Allgemein muss festgehalten werden, dass die Arbeitsvorbereitung wesentlichen Einfluss auf die Qualität des Produkts und auf den Zeitraum der Ausgleichungsphase hat. Das Katasteramt stellte eindeutig fest, dass die Zeit der Digitalisierung im Vergleich zur Gesamtzeit eines Projekts als unbedeutend angesehen werden kann. Die klare Trennung von Vorbereitungsarbeiten, Digitalisierung der Flurränder und Ausgleichungsphase (in dieser Reihenfolge) und deren exakter Umsetzung bestimmt maßgeblich die Zeit einer Verkettung.

Die Probleme der „nicht ähnlichen“ Geometrien zu Nachbarfluren, Nebenzeichnungen und Beiblättern (Zeichenfehler, Widersprüche in den Aufnahmeelementen, ...) sind zweckmäßigerweise möglichst im Vorfeld zu bereinigen, denn eine Randanpassung und -bereinigung der ALK-Objektgeometrie in einem Verfahren von 100 km² Größe ist sehr zeitaufwendig. Gerade die Probleme in den Nebenzeichnungen erfordern oft die Zuhilfenahme des Risswerks.

Eine nachträgliche Beseitigung mit dem ALK-GIAP ist hierbei aufwendiger als eine vorherige Klärung. Abgesehen davon ist es aus ausgleichungstechnischer Sicht nicht korrekt, grobe Fehler mit zufälligen Fehlern zu mischen, da hierdurch das Prinzip der Nachbarschaft in Frage gestellt wird. Die allgemeinen Grundsätze dürfen auch im Projekt FALKE nicht verworfen werden.

Die Ursachen der „nicht ähnlichen“ Geometrien im Flurrandbereich sind vermutlich in der Entstehung der Flurkarten (1861-1865) zu suchen. Mit Einführung des preußischen Steuerkatasters wurden in den damaligen östlichen Provinzen nur wenige Karten durch Vermessung bestimmt [9]. Die meisten Karten wurden durch Zusammenkopieren von Separationskarten erstellt. Diese Gemarkungskarten bilden die Grundlage für die heute noch gültigen Flurkarten. Da es zu dieser Zeit in Preußen noch keine Ausbildung für Vermesser gab (F.-G. Gauss begann damit erst kurze Zeit später), kann die Qualität der Karte nicht mit heutigen Maßstäben gemessen werden. Im Nachhinein wurde festgestellt, dass dieses Problem erheblich unterschätzt wurde und zusätzlicher Anstrengungen bedarf.

An dieser Stelle soll das Ziel in Erinnerung gebracht werden. Nicht der Aufbau eines Koordinatenkatasters mit allgemein hoher Genauigkeit, sondern die schnelle Umstellung aller Flurkarten unter Beibehaltung oder leichter Verbesserung der lokalen Genauigkeitsverhältnisse macht das Wesen des Projekts FALKE aus.

Im vorliegenden Bericht des Katasteramtes wurde weiterhin explizit darauf hingewiesen, dass die Koordinierung von Punkten mittels SAPOS® erhebliche Zeitvorteile bringt. Es wurde weiterhin ausgleichungstechnisch festgestellt, dass ein mittlerer Punktfehler von 0,30 m für Punkte in land-

und forstwirtschaftlichem Gebiet genau genug ist.

An dieser Stelle soll hinzugefügt werden, dass ein Passpunkt mit einem mittleren Punktfehler von 3,0 m besser ist, als eine Flurrand-Verknüpfung ohne Passpunkte, die mehrere Kilometer überbrückt. Die absolute Lage sollte nicht vernachlässigt werden, denn Lageverbesserungen von mehr als 5 m sind durch Fortführungshomogenisierung technisch nur sehr aufwendig realisierbar. Ein Passpunkt, z.B. aus einem Digitalen Orthophoto ermittelt, erreicht eine Genauigkeit von ca. 3 m. Er stützt die absolute Lage, ohne negative Auswirkungen auf die relative Lage zu haben. Passpunkte im bebauten Gebiet sollten jedoch unterhalb eines Dezimeters liegen.

Die zweite größere Korrektur der Methode betrifft die Ausgleichungsphase. Die bisherigen 2 Stufen (Weiche Lagerung und Endausgleichung) sollten differenzierter betrachtet werden. Entsprechend der Erfahrungen sollten folgende Stufen durchgeführt werden:

\$ **Verknüpfungstest** zur Aufdeckung von Identitätsfehlern (vornehmlich bei Passpunkten). Hierzu sollten im Vorfeld je Verfahrensrand 2 bis 3 Hauptverknüpfungspunkte (visuell eindeutige Verknüpfungen aus der Vorbereitungsphase) eingearbeitet werden, damit für alle Punkte des Verfahrens im ersten KAFKA-Lauf bereits Näherungskordinaten bestimmt werden können.

\$ **Verdichtungstest** zur Lokalisierung weiterer Verknüpfungen inkl. Anpassung der apriori-Genauigkeiten. Die apriori-Genauigkeiten der digitalisierten Punkte ist abhängig vom Maßstab der Vorlage (im Beispiel 1:375 für Nebenzeichnungen 1:8000) und der allgemeinen Qualität der Karte. Durch eine

verfahrensweise Abschätzung und Integration der entsprechenden Werte ergeben sich unterschiedlich große Verbesserungen zwischen der Vorausgleichung (Bestimmung der Näherungskordinaten) und der Gesamtausgleichung. Mit einer entsprechenden Abschätzung lassen sich die Verknüpfungen einfacher lokalisieren.

\$ **Ausgleichung „Weiche Lagerung“** inkl. Beseitigung der Fehler. Nach Einarbeitung der Verknüpfungen sind diese auf Fehler zu prüfen. Indiz für die Fehlerhaftigkeit einer Beobachtung ist die Normierte Verbesserung [10], die in dem Verfahren data snooping von Baarda (einem statistischen Hypothesentest) durchgeführt wird.

\$ **Verdichtungstest** zur Lokalisierung weiterer Verknüpfungen inkl. Anpassung der apriori-Genauigkeiten (bei weiterer Verdichtung erneute Ausgleichung „weiche Lagerung“)

\$ **Endausgleichung**
Weiterhin kann festgehalten werden, dass die Vorbereitungsphase von Personen mit großer Katastererfahrung erfolgen sollte. Die Ausgleichungsphase wiederum erfordert ein hohes Maß an Erfahrungen in der Ausgleichungsrechnung, da ggf. die digitalisierten Koordinatensysteme durch gezieltes Einfügen von vereinzelt Bedingungen oder vorliegenden „weiteren lokalen Systemen“ unterstützt werden müssen. „Alles sollte so einfach wie möglich gemacht werden, aber nicht einfacher“ (Albert Einstein).

Testprojekt Ostprignitz-Ruppin

An der TU Berlin wurde der Verfahrensweg zur verketteten Transformation von Flurkarten im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht. Die digitalisierten Koordinaten

der Kartenrandpunkte und die Amtlichen Koordinaten einiger Passpunkte wurden durch das KVA Ostprignitz-Ruppin zur Verfügung gestellt.

Die Aufgabenstellung der Diplomarbeit war insbesondere auf zwei Fragen ausgerichtet:

\$ Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Kartenmaßstab und der Genauigkeit der digitalisierten Koordinaten?

\$ Welchen Kriterien müssen Anzahl und Verteilung von Passpunkten genügen, damit die in der Mustertechnologie festgelegten Genauigkeitsforderungen eingehalten werden?

Weiterhin sollte der in der „Mustertechnologie Verkettete Transformation“ beschriebene Verfahrensweg sowie die dort verankerten Genauigkeitsforderungen an Hand der im Testprojekt gewonnenen Erfahrungen diskutiert werden.

Vorstellung des Testgebiets

Das Testgebiet befindet sich im Südosten des Landkreises Ostprignitz-Ruppin und grenzt an den Landkreis Oberhavel. Es umfasst die 9 Gemarkungen Herzberg, Lindow, Keller, Klosterheide, Rühnick, Schönberg, Seebeck, Strubbensee und Vielitz. Die Ausdehnung des Gebiets beträgt in Nord-Süd-Richtung ca. 18 km und in Ost-West-Richtung ca. 9 km. Digitalisiert wurden die Rän-

Tabelle 1:
Relation von Karten und Punkten

Maßstabsgruppe	Flurkarten	Punkte
1 : 1 000	10	1 114
1 : 2 500	21	3 445
1 : 3 000	12	2 164
1 : 4 000	6	1 276
1 : 5 000	5	1 285
Gesamtanzahl	54	9 284

der von 54 zusammenhängenden Fluren. Die Flurkarten lassen sich in 5 verschiedene Maßstabsgruppen einteilen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Verteilung von Flurkarten und digitalisierten Punkten.

Untersuchung des stochastischen Modells

Das funktionale Modell der Ausgleichung für die verketteten Transformationen wurde bereits im Abschnitt „Mathematische Grundlagen“ dargestellt. Für ein optimales Ausgleichungsergebnis ist aber auch ein stochastisches Modell erforderlich, welches die Realität möglichst gut abbildet. Im vorliegenden Fall wird dieses Modell durch die Beobachtungsgewichte der digitalisierten Koordinaten repräsentiert.

Das Gewicht p_i einer Beobachtung errechnet sich als Quotient der Varianzen der Gewichtseinheit und der Beobachtung:

$$p_i = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_i^2}$$

Hierin taucht die Standardabweichung s_i einer digitalisierten Koordinate als Maß für die Genauigkeit der Erfassung auf. Ganz offensichtlich ist die Digitalisiergenauigkeit eine Funktion der Maßstabszahl der digitalisierten Karte:

$$\sigma_i = f(M)$$

Das Problem bestand nun in der möglichst realitätsnahen Beschreibung dieses Zusammenhangs. In der Mustertechnologie wird eine, aus Erfahrung resultierende, Faustformel angegeben. Die Formel für die Berechnung lautet:

$$\sigma_{xy} = \sigma_K \cdot M \quad (A)$$

Hierin bedeuten:

- σ_{xy} Standardabweichung der lokalen Koordinatenbeobachtung
- σ_K Kartiergenauigkeit
- M Maßstabszahl

Für die Kartiergenauigkeit werden die Werte in Tabelle 2 festgelegt:

Tabelle 2: Kartiergenauigkeit in Abhängigkeit von der Qualität

Kartenqualität	gut	mittel	schlecht
σ_K [mm]	0,3	0,5	0,7

Im Rahmen der Diplomarbeit wurden nun die stochastischen Eigenschaften der, im Projekt verarbeiteten, digitalisierten Koordinatenbeobachtungen eingehender untersucht. Dazu wurden die Beobachtungen nach dem betreffenden Kartenmaßstab gruppiert. Für die so entstandenen Beobachtungsgruppen wurde eine Varianzkomponentenschätzung durchgeführt. Ergebnis dieser Schätzung waren die mittleren Beobachtungsfehler in Abhängigkeit vom Kartenmaßstab. Die erhaltenen mittleren Fehler dienten nun als Stützstellen der Funktion $s_i = f(M)$. Als Ansatz für $f(M)$ wurde zunächst ein Polynom zweiten Grades gewählt, dessen Koeffizienten durch Ausgleichung ermittelt wurden. Dabei zeigte sich, dass der Koeffizient des linearen Glieds nicht signifikant von null verschieden war. Der vereinfachte Ansatz lieferte die Funktion:

$$\sigma_i = (0,146 + 7,51 \cdot 10^{-8} \cdot M^2)m \quad (B)$$

Abbildung 5 zeigt das Ergebnis der Varianzkomponentenschätzung sowie die Graphen von (A) und (B). Ausserdem ist der Vertrauensbereich von (B) für eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 1\%$ angegeben.

Die Varianzkomponentenschätzung liefert in diesem Projekt wesentlich kleinere Werte für die s_i der Koordinatenbeobachtungen als ursprünglich vermutet. Es sollte allerdings in Betracht gezogen werden, dass das Kartenmaterial, auch bei gleichem Maßstab, von sehr heterogener Qualität

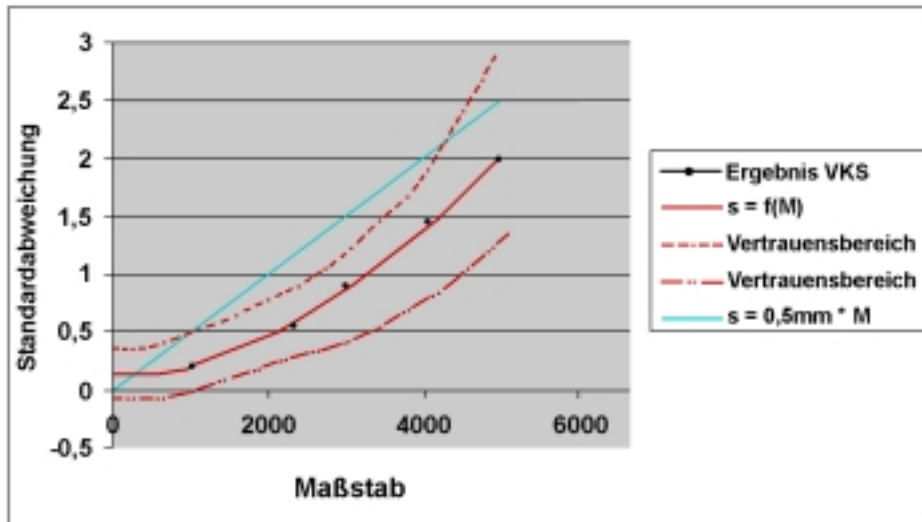


Abb. 5: Graph der Funktion $\sigma_i = f(M)$

sein kann. Inwieweit sich die ermittelten Werte verallgemeinern lassen, muss die Untersuchung weiterer Stichproben zeigen. Der Verlauf der in der Mustertechnologie angegebenen Funktion (A) entspricht annähernd dem der oberen Sicherheitsgrenze der neu ermittelten Funktion (B). Hier zeigt sich, dass die ursprüngliche Modellierung der Beobachtungsfehler keineswegs zu optimistisch war. Die geometrische Qualität der Flurkarten ist offensichtlich besser als ihr Ruf. Anscheinend beruht die landläufige pessimistische Einschätzung ihrer Genauigkeit darauf, dass sich bei Anwendung der einfachen Helmert-Transformation Extrapolationseffekte im Randbereich der Karte sehr negativ auswirken. Diese Effekte beruhen darauf, dass durch die Nichtbeachtung der Randverknüpfung bereits im Ansatz das Prinzip der Nachbarschaft verletzt wird.

Auswirkungen der Passpunktverteilung

In den Vorschriften des Landes Brandenburg zur ALK-Ersterfassung ist festgelegt,

dass die geometrische Qualität einer digitalisierten Karte nicht schlechter sein darf als die der analogen Vorlage. Wendet man dieses Qualitätskriterium auf die Bewertung der Ergebnisse einer verketteten Transformation an, so kann es als erfüllt gelten, wenn der Nachweis erbracht wird, dass das Beobachtungsmaterial ausreichend kontrolliert und frei von groben Fehlern ist. Dieser Nachweis gelingt mit Hilfe der Kenngrößen EV (Redundanzanteil) und NV (normierte Verbesserung).

Für die Übernahme der ermittelten Koordinaten in ein Geoinformationssystem ist das oben beschriebene Qualitätskriterium jedoch nicht ausreichend. Entscheidend ist hier vielmehr die Frage nach der Reproduzierbarkeit der Punktlage in Bezug auf das übergeordnete Koordinatensystem. Als Genauigkeitsmaß dieser Reproduzierbarkeit eignet sich u.a. der mittlere Punktfehler.

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \sqrt{m_a^2 + m_b^2}$$

Der mittlere Punktfehler hängt im wesentlichen von folgenden Faktoren ab:

\$ Beobachtungsgenauigkeit in Abhängigkeit vom Kartenmaßstab

\$ Konfiguration des Verkettungsblocks und daraus resultierende Redundanz

\$ Verteilung der Passpunkte

In der „Mustertechnologie Verkettete Transformation“ werden die, in Tabelle 3 aufgeführten, zulässigen mittleren Punktfehler festgelegt.

Tabelle 3: Zulässige mittlere Punktfehler

	Blockgrenze	Innenbereich
Ortslage	0,3 m	0,3 m
Ortsrand	1 m	2 m
Landwirtschaft	2 m	5 m
Wald	3 m	10 m

Anhand des vorliegenden Projekts sollte untersucht werden, welchen Einfluss unterschiedliche Passpunktverteilungen auf die mittleren Punktfehler haben. Zu diesem Zweck wurde der vorliegende Verkettungsblock mit drei verschiedenen Passpunkt-konfigurationen ausgeglichen.

1. Minimalkonfiguration

Der Verkettungsblock wurde auf vier Passpunkte im Innern des Blocks gelagert. Im Ergebnis zeigten sich insbesondere im Randbereich des Blocks erhebliche Extrapolationseffekte. Von sehr negativem Einfluss war ebenfalls der Bereich um den Gudelacksee der eine Art Loch im Kartenverbund darstellte. Mit dieser Konfiguration konnten nur in wenigen Kartenblättern der festgelegte Schrankenwert für den mittleren Punktfehler unterschritten werden.

2. Einführung zusätzlicher Passpunkte

Im zweiten Versuch wurden 21 weitere Passpunkte in die Ausgleichung eingeführt. Mit den neuen Punkten wurden das Ufer des Gudelacksees und die äußersten Rand-

punkte des Verkettungsblocks fixiert. Außerdem wurden Passpunkte in Karten mit dem Maßstab 1:1 000 eingeführt, um an dieser Stelle eine genauere Festlegung des Datums zu erreichen, denn die Lagerung des Verkettungsblocks auf die Passpunkte kann nur so genau sein wie die Karte in der sie digitalisiert wurden. Durch diese Maßnahme konnte das Ergebnis entscheidend verbessert werden. Die Fehlergrenzen wurden in allen Karten unterschritten und lagen in einigen Karten sogar erheblich darunter.

3. Fixierung des Blockrandes

Im letzten Schritt wurden alle Randpunkte des Verkettungsblocks als Passpunkte eingeführt. Dies führte zu einer weiteren Verkleinerung der mittleren Punktfehler. Der maximale durchschnittliche mittlere Punktfehler einer Karte lag bei 1,46 m. Es handelte sich hierbei um eine Flurkarte im Maßstab 1:5 000 bei der ein mittlerer Punktfehler von 7,50 m zulässig gewesen wäre.

Zusammenfassend lassen sich folgende Schlüsse für die Anzahl und Verteilung von Passpunkten ziehen:

\$ Entscheidend für das Ergebnis ist nicht die Anzahl, sondern die Verteilung der Passpunkte. Für die Lagerung eines relativ großen Verkettungsblocks reicht eine geringe Anzahl von Passpunkten aus. Im vorliegenden Projekt wurden für 54 Flurkarten mit 9 284 Randpunkten 25 Passpunkte benötigt.

\$ Die Passpunkte sollten möglichst im Randbereich des Verkettungsblocks liegen. Als Rand sind auch Gewässergrenzen anzusehen deren Punkte nicht mit anderen verknüpft werden können.

\$ Die geforderten mittleren Punktfehler können in Flurkarten mit großem Maßstab (1:500, 1:1 000) nur dann erreicht

werden, wenn sich in den betreffenden Karten auch Passpunkte befinden.

Zusammenfassung

Die Methode der Verketteten Transformation ist ein Hilfsmittel, welches sich für verschiedene Aufgaben der Erfassung und Pflege von Daten in Geo-Informationssystemen bewährt hat. Die Variante des Landes Brandenburg zeigt, dass auch analoge Flurkarten des Liegenschaftskatasters (in ländlichen- und forstwirtschaftlichen Gebieten ohne ausreichenden Sollpunktbezug) mit dieser Methode beschleunigt und entsprechend der geodätischen Grundsätze in die ALK überführt werden können. Die Methode ist schneller und besser als eine herkömmliche Digitalisierung (mit oder ohne Homogenisierung) und genauer, weil die Probleme in den Flurrändern vor der Digitalisierung, methodisch bedingt, aufgedeckt werden. Letztendlich wird die Automatisierte Liegenschaftskarte im Land Brandenburg hierdurch einen großen Qualitätssprung erfahren, nicht zuletzt auch deshalb, weil sie zeitlich gesehen beschleunigt erstellt wird. Die resultierende Frage der Lageverbesserung wird vermutlich nach Beendigung des Projekts FALKE das zentrale Thema der Brandenburger Vermessungs- und Katasterverwaltung werden.

Literaturhinweise

- [1] Blaser, F., Dreßler, U., Killiches, C. (1999): Forcierte ALK - Einrichtung - eine Zwischenbilanz Vermessung Brandenburg 2/1999
- [2] Borgmann, H., Gründig, L. (1993): Wirtschaftliche Erneuerung des Vermessungszahlenwerkes durch flächenhafte Ausgleichung AVN 7/1993, S. 266-277
- [3] Landesvermessungsamt Brandenburg: Projekt FALKE, Umsetzung von analogen Liegenschaftskarten in die digitale Liegenschaftskarte im ländlichen Raum, Technologiebeschreibung, unveröffentlicht
- [4] Landesvermessungsamt Brandenburg: Verkettete Transformation – Mustertechnologie, unveröffentlicht
- [5] Scheu, M. (1997): Fortführungsaspekte großmaßstäbiger GIS, 2. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 1997, TU München
- [6] Wanjura, J. (1994): Einsatzmöglichkeiten für Ausgleichungsverfahren im Liegenschaftskataster, BDVI - FORUM 1/1994, S. 257-264
- [7] Land Brandenburg, Ministerium des Innern: ALK-Richtlinien
- [8] Landesvermessungsamt Brandenburg: Handbuch zum Programm VETRAS, unveröffentlicht
- [9] Ruhbach: Die Entwicklung des preußischen Katasters von den Anfängen bis zur Gegenwart, DVW-Vortrag am 18.05.2000 in Potsdam
- [10] Benning, W.: Programmsystem KAFKA, Handbuch zur Version 4.0 vom Nov. 1999
- [11] Kersten, Andreas: Untersuchung zur verketteten Systemtransformation am Beispiel der ALK-Ersterfassung im Land Brandenburg, Diplomarbeit an der TU Berlin, 2000

