

# Automatisierte Georeferenzierung alter topographischer Karten – Algorithmus und Qualitätsanalyse

Nils Koldrack und Ralf Bill

## Zusammenfassung

Im vorliegenden Beitrag wird ein auf digitaler Bildverarbeitung basierender Ansatz zur Messung der vier Eckpunkte im Kartenrahmen topographischer Karten aus dem Kartenforum der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) vorgestellt. Nach einer Erläuterung des Bildverarbeitungsalgorithmus wird die Georeferenzierung wiederum mittels vier überbestimmter Transformationsansätze berechnet und statistisch untersucht. Anschließend werden diese Qualitäten mit den im Beitrag Bill und Walter (2015) erzielten Ergebnissen der Crowdsourcing-Lösung verglichen.

## Summary

*In this paper, an image-based approach for automatic measuring the four corner points in the map frame of old topographic maps is described. The maps belong to the »Kartenforum« of the portal »Deutsche Fotothek«, a comprehensive collection of old maps at the Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB). After describing the image processing algorithm the corner points of nearly 6,000 maps are determined automatically. Then the georeferencing parameters are calculated using four overdetermined approaches for the transformation. The results are statistically analyzed. Subsequently these qualities are compared with the results obtained by Bill and Walter (2015) based on a crowdsourcing solution.*

**Schlüsselwörter:** Bildverarbeitung, Georeferenzierung, Altkarten

## 1 Motivation und Einordnung

Die Überführung von Kulturbeständen von der analogen in eine digitale Form hat in den letzten Jahren enorm an Bedeutung gewonnen. Zahlreiche Fördermittel fließen in die Digitalisierung ganzer Archiv- und Bibliotheksbestände, aber auch kommerzielle Firmen wie Microsoft oder Google überführen große analoge Bestände wie Bücher, Gemälde, alte Karten etc. in die digitale Form. Digital lassen sich solche Daten dann wesentlich einfacher einer großen Nutzer-, speziell aber auch einer interessierten Wissenschaftlergemeinde zugängig machen. Heute bedient sich die Wissenschaft verstärkt explorativer Methoden. Sie vereint Experiment, Theorie und Simulation. Man spricht auf der Grundlage der Exploration von massenhaft vorhandenen oder erhobenen Daten auch von der durch Daten getriebenen Wissenschaft (»data-driven science« oder »data-intensive science« (Gray 2005)).

In Bill (2015) wird die Rolle der Geoinformatik in der e-Science beleuchtet. Dabei ist es wichtig, dass Geoinformationen in digitaler Form vorliegen. Dies gilt auch für vorhandene Altkarten, also topographische oder thematische Karten aus früheren Zeitepochen, wobei der Betrachtungszeitraum im vorliegenden Beitrag mit der Entstehung und Zusammenführung der ersten topographischen Landesaufnahmen beginnt.

Eine der größten und wichtigsten Sammlungen von alten Karten, Stadtplänen und Ansichten in Deutschland befindet sich mit ca. 177.000 Einzelblättern im Besitz der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB). Um den Zugriff auf diese umfangreiche Kartensammlung zu verbessern und gleichzeitig die wertvollen analogen Bestände zu schonen, entwickelt die SLUB seit 2005 das Kartenforum. Laut SLUB ist »[...] das Kartenforum ist ein von der Deutschen Fotothek betreutes und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördertes Informationsportal von Bibliotheken, Museen und Archiven. Gegenwärtig werden rund 23.500 der wichtigsten, hochauflösend digitalisierten kartographischen Quellen – insbesondere zur Geschichte und Landeskunde Sachsen – aus den Sammlungen der beteiligten Partner angeboten. Im Rahmen des DFG-Projekts »Exemplarische Digitalisierung und Erschließung historischer Karten und Ansichten« (2009–2011) wurden u.a. rund 6.000 Messtischblätter im Maßstab 1:25.000 sowie die Karte des Deutschen Reiches im Maßstab 1:100.000 im Sinne eines flächendeckenden kartographischen Basisangebots für die wissenschaftliche Nutzung aus allen Disziplinen bereitgestellt.« (SLUB 2015).

Im DFG-Projekt »Virtuelles Kartenforum 2.0 – Eine Service-orientierte virtuelle Forschungsumgebung in der Deutschen Fotothek« wird ein Zugang zu der dann georeferenziert vorliegenden Kartensammlung konzipiert und entwickelt. Ziel ist es, die gescannt vorliegenden topographischen Karten in der Gebietsausdehnung des ehemaligen Deutschen Reiches georeferenziert für Raum-Zeit-Forscher über die Schnittstellen eines WebMapService (WMS) bereitzustellen.

In Bill und Walter (2015) wurden einerseits die Datengrundlage, die Messtischblätter und topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 aus der Zeit von 1868 bis 1965 beschrieben und als Weg der Georeferenzierung ein Crowdsourcing-Ansatz vorgestellt. Die erreichten Ergebnisse hinsichtlich der Datenqualität wurden anhand von knapp 5.800 georeferenzierten Karten statistisch untersucht. Die Georeferenzierung durch Fachfremde hat sich als verlässliche Methode dargestellt, die zu hohen

Genauigkeiten führt. Problemfälle können durch Administrationswerkzeuge erkannt und zur Nachdigitalisierung bereitgestellt werden. In Zukunft sollen mittels Crowdsourcing weitere topographische Karten, so die TK100, georeferenziert werden.

In diesem Beitrag wird ein digitaler auf Bildverarbeitung basierender Ansatz zur Messung der vier Eckpunkte im Kartenrahmen vorgestellt. Die vier automatisch gemessenen Eckpunkte fließen dann in die Georeferenzierung ein, die wiederum mittels vier überbestimmter Transformationsansätze berechnet und statistisch untersucht wird. Anschließend werden diese Qualitäten mit den im Beitrag Bill und Walter (2015) erzielten Ergebnissen der Crowdsourcing-Lösung verglichen.

## 2 Bildverarbeitungsalgorithmus zur automatisierten Messung der Kartenecken

### 2.1 Vorarbeiten und Software

Röhm (2011, vgl. auch Röhm, Herold und Meinel 2012) stellt in seiner Diplomarbeit einen Ansatz vor, der die manuelle Georeferenzierung gescannter topographischer Karten automatisieren soll. Die automatisierte Messung der Eckpunkte ist eingebettet in einen manuellen Prozess und aufgeteilt auf Arbeitsschritte in der GIS-Software ArcGIS und der Bildverarbeitungssoftware Halcon Version 10.0. Röhm entwickelt einen Grundalgorithmus zur automatischen Messung der Eckpunkte und zur Erkennung des Blattnamens. Vergleichend untersucht er dies an einer größeren Zahl topographischer Karten mehrerer Bundesländer aus der Zeit nach 1990, wenige auch zurückgehend bis 1950. Dabei erreicht er bei den neueren topographischen Karten Genauigkeiten (hier als Abweichungen zwischen den Soll- und den gemessenen Ist-Koordinaten definiert) im Bereich von 2 bis 7 m, wobei die manuell durchgeführte und die auf Bildverarbeitung beruhende Lösung in etwa gleiche Qualität besitzen.

In dem hier vorgestellten Bildverarbeitungsansatz werden die Ideen von Röhm auf die heterogeneren Kartenblätter aus früheren Zeiten adaptiert und weiterentwickelt, wobei insbesondere die Umgebungsbedingungen im Kartenforum anders sind. Verwendet wird die Software Halcon Version 10.0 der MVTec Software GmbH (HALCON 2014). Halcon ist eine umfassende Standardsoftware für vielfältige Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung und weltweit umfassend im Einsatz. Sie bietet ein großes Spektrum an Bildverarbeitungsfunktionalitäten (so z.B. einer Image Processing Library mit Operatoren zur Vorverarbeitung, geometrische, radiometrische und morphologische Operatoren, Matching über Korrelation, Form und Deskripto-

ren usw.). Halcon besitzt Schnittstellen zu verschiedenen Programmiersprachen und eine integrierte Entwicklungsumgebung. HDevelop ist eine interaktive Entwicklungsumgebung, die die schnelle Entwicklung von Prototypen unterstützt. Der Export in die Sprachen C++, VisualBasic, Visual Basic.NET, C# oder C ermöglicht die Nutzung als »stand alone«-Applikation.

### 2.2 Kartengrundlage und Methodik

Bei den vorliegenden topographischen Karten 1:25.000 handelt es sich um Rahmenkarten mit rechteckiger Begrenzung. Die Größe des Kartenfeldes ergibt sich aus dem für das Kartenwerk der TK25 definierten Blattschnitt. Das TK25-Kartenblatt besitzt eine räumliche Breite von 10 Minuten und eine Höhe von 6 Minuten. An den vier Blattecken werden die geographischen Koordinaten in Grad und Minute angegeben. Das Kartenbild wird vom Kartenrahmen umschlossen. Die an den Kartenrahmen angrenzende Fläche wird als Kartenrand bezeichnet. In neueren topographischen Karten ist der Kartenrahmen durch fünf Linien in die drei Bereiche Innenleiste, Mittelfeld und Außenleiste gegliedert. In den vorliegenden Karten der Jahre 1868 bis 1965 variiert die Gestaltung des Kartenrahmens im Unterschied zu den bei Röhm (2011) verwendeten Karten sehr stark (Abb. 1). Die Scanparameter für das einzelne Kartenblatt im Kartenforum der SLUB sind mit ca. 120 Megapixel, 24 Bit color, TIF unkomprimiert, Pixelauflösung von ca. 400 dpi bzw. ca. 160 Pixel/cm bei einer Bodenaufösung von 1,6 m im Maßstab 1:25.000 bekannt. Die gescannten Karten besitzen als definiertes Bezugssystem ein Gerätekordinatensystem. Die zentrale Aufgabe nach der Messung ist die Transformation der Gerätekordinaten in das Koordinatenreferenzsystem, in dem die Karte erzeugt wurde.

Der größte Teil der Karten besitzt im Außenbereich des Kartenrandes eine starke Mittellinie. Diese ist wichtig, um den Bereich des Kartenrahmens einzugrenzen. Nachdem die Karte in der Vorverarbeitung robust beschnitten wurde, um mögliche störende Legenden zu entfernen, wird die starke Mittellinie gesucht. Linienhafte gerade Strukturen lassen sich gut mittels der Hough-Transformation finden. Die Hough-Transformation ist ein robustes globales Verfahren zur Erkennung von Geraden, Kreisen oder beliebigen anderen parametrisierbaren geometrischen Figuren in einem binären Gradientenbild, also einem Schwarz-Weiß-



Abb. 1: Auszug verschiedener Rahmentypen

Bild, nach einer Kantenerkennung. Dieses Verfahren erkennt gerade Kanten, auch wenn diese durch Rauschen oder auf durch das Scannen zurückzuführende Lücken gestört sind. Die Punkte, die diese Kante repräsentieren, müssen zwingend auf einer Geraden liegen, die mittels Geradengleichung eindeutig beschrieben werden kann (Jähne 2005).

Mittels der morphologischen Operatoren Opening und Closing werden dann kleine störende Strukturen gelöscht und Lücken und Löcher in den Linien geschlossen. Die morphologische Basis-Operation Opening unterdrückt u.a. lokale Störungen durch helle Bildpunkte oder filtert kleinere Strukturen aus. Die zum Öffnen duale Operation ist das Closing, ein Operator zum Filtern von Bildern. Hierdurch lassen sich lokal begrenzte dunkle Störungen in einem Bild unterdrücken oder kleine dunkle Strukturen gezielt herausfiltern (Jähne 2005). Darauffolgend wird die starke Mittellinie mit Hilfe des Alleinstellungsmerkmals »Größe« hervorgehoben und von den restlichen Bildelementen abgegrenzt.

Die gefundenen Stücke der starken Mittellinie werden daraufhin zusammengeführt und eine zusammenhängende Region in Form eines Rechtecks, parallel zu den Koordinatenachsen, berechnet. Die Eckkoordinaten der starken Mittellinie werden nun entnommen, mit deren Hilfe sich im weiteren Prozess in der Karte orientiert wird.

Nachdem der Kartenrahmen in vier Seiten eingegrenzt wurde, werden dicke Strukturen wie beispielsweise Häuser und Schrift entfernt (Abb. 2). Um kleine entstandene Linien zu entfernen, werden die Strukturen in der Region verdünnt und in Konturdarstellungen umgewandelt.

Um die Innenleiste zu extrahieren, wird der Suchbereich ein weiteres Mal über die bekannten Koordinaten der starken Mittellinie verkleinert, um den äußeren Rahmen auszuschließen. Darauffolgend wird in Richtung Mittelpunkt der Karte die erste gefundene Linie, welche eine festgelegte Mindestlänge besitzt, als Innenleiste definiert. Durch diesen Schritt wird ausgeschlossen, dass dicht am Rand positionierte Koordinatengitternetzlinien als Innenleiste erkannt werden.

In dem Fall, dass die Innenleiste aus mehreren eng aneinander, parallel verlaufenden Linien besteht, wird die innerste Linie als Rahmenlinie extrahiert (Abb. 3). Die gesuchten Koordinaten in der Karte entsprechen den Schnittpunkten der in der Abbildung dargestellten sich direkt an das Kartenbild anschließenden inneren Linien der Innenleiste.

In dem Fall, dass in einem Prozess keine Rahmenlinie eindeutig identifiziert wird, wird die längste Linie im Suchbereich als Rahmenlinie definiert. Dies verhindert, dass der Prozess der Bildverarbeitung ohne Lösung abbricht.

Falls die eingelesene Karte keine starke Mittellinie besitzt, wird vom Mittelpunkt der Karte ausgehend, in alle vier Richtungen nach einer Rahmenlinie mit einer defi-



Abb. 2: Ausschnitt Rahmenbereich vor und nach Hough-Transformation und morphologischen Operatoren



Abb. 3: Extraktion der inneren Rahmenlinie

nierten Mindestgröße gesucht. Dass durch diese Variante fälschlicherweise Koordinatengitternetzlinien gefunden werden, kann ausgeschlossen werden, da umfangreiche Stichproben zeigten, dass Karten mit dieser Rahmenart keine Gitternetzlinien besitzen. Falls die gefundene Rahmenlinie nicht bis über die Blattecke reicht, wird der Anfangs- bzw. Endpunkt der Linie über die Eckpunktkoordinaten und Steigung der parallel verlaufenden starken Mittellinie berechnet. Zusätzlich werden die Rahmenlinien bis zur Außenkante der starken Mittellinie verlängert, um sicherzustellen, dass sich die Linien schneiden.

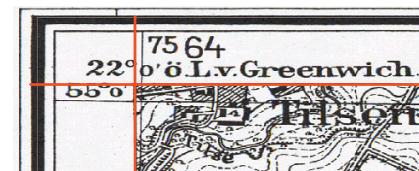


Abb. 4:  
Schnittstelle der  
Rahmenlinien

Dieser Bildverarbeitungsprozess wird jeweils für alle vier Rahmenbereiche durchgeführt. Abschließend werden über die Schnittstellen der Rahmenlinien die Eckpunktkoordinaten des Kartenbildes berechnet (Abb. 4).

Für jede erfolgreich prozessierte Karte wird zur visuellen Kontrolle der Ergebnisse ein Kontrollbild erzeugt, welches aus vier Ausschnitten der Karteneckpunkte besteht. Nachdem alle zu prozessierenden Karten den Prozess durchlaufen haben, erfolgt die Speicherung der Protokolldatei und der Bildverarbeitungsprozess ist beendet. Die Ergebnisdatei enthält zeilenweise die eingelesenen Kartenummern, den dazugehörigen Pfad zur Bildquelle, die Scanauflösung, die Eckpunktkoordinaten sowie die Eckwinkel. Die Abb. 5 zeigt zusammenfassend den schematischen Ablauf der automatischen Georeferenzierung.

### 3 Qualitätsanalyse der Bildverarbeitungslösung

#### 3.1 Mathematische Ansätze

Zur Bestimmung der Transformationsparameter zwischen den Bildkoordinaten und den Weltkoordinaten wurden – analog zur Crowdsourcing-Lösung in Bill und

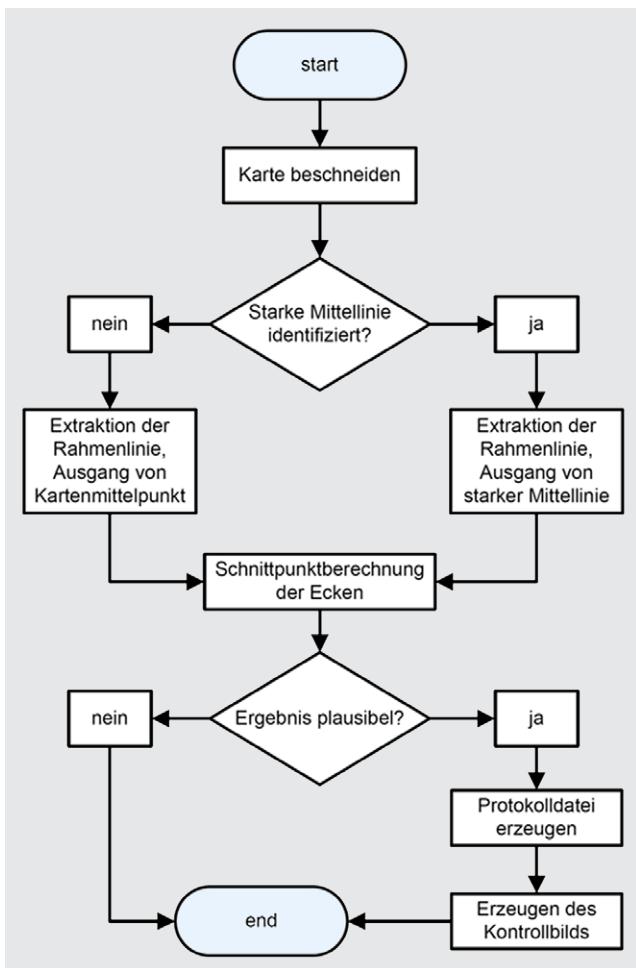


Abb. 5: Prozess der automatischen Georeferenzierung

Walter (2015) – vier überbestimmte Transformationen untersucht. Schlussendlich geht es um die Bestimmung von zwei Translationen, ein oder zwei Rotationen und einem oder zwei Maßstäben, also je nach gewählter Methode um vier bis sechs unbekannte Parameter, die zu schätzen sind. Vier überbestimmten 2D-Transformationsansätze wurden mittels der Methode der kleinsten Quadrate an allen bisher georeferenzierten Kartenblättern getestet und verglichen (Ähnlichkeitstransformation nach Helmert und Affintransformation mit fünf und sechs Parametern, vgl. Luhmann 2003). Hierzu wurde die in Java programmierte Open Source Software »CoordTrans – The Open Source Similarity Transformation Program« von Michael Lösler genutzt (JAG3D 2015). Diese überbestimmten Transformationen erlauben neben der Koordinatenüberführung noch die Berechnung von Qualitätsmaßen, die einerseits die Genauigkeit der Koordinatentransformation angeben und andererseits die Deformationen der Altkarten beschreiben. Die erreichte Genauigkeit lässt sich am besten durch Angabe der mittleren Koordinatengenauigkeit transformierter Punkte angeben, ein in der Geodäsie und Kartographie übliches Genauigkeitsmaß, welches auch leicht interpretierbar ist, da es einen Bezug zum Kartenmaßstab herstellen lässt.

Die Messtischblätter haben den Maßstab 1:25.000, d.h. eine Zeichengenauigkeit von 0,1 bis 0,2 mm unter

heutigen Qualitätsmaßstäben würde zu einem Lagefehler von etwa 2,5 bis 5 m führen. Die Scanqualität der Messtischblätter liegt mit 1,6 m ebenfalls in dieser Größenordnung. Die Qualität der Kartenerstellung vor fast 150 Jahren war jedoch geringer, zudem sind noch Lagerungseffekte, Deformationen des Originals sowie Qualitätsverluste beim Scannen zu berücksichtigen. Daher ist für die Messtischblätter bestenfalls eine Koordinatenengenauigkeit von etwa 5 bis 10 m zu erwarten, die im Einzelfall auch deutlich schlechter sein kann.

Die vier untersuchten Transformationsvarianten sind:

- M1: 2 Translationen, 1 Rotation, 1 Maßstab;
- M2: 2 Translationen, 2 Rotationen, 1 Maßstab;
- M3: 2 Translationen, 2 Rotationen, 2 Maßstäbe;
- M4: 2 Translationen, 1 Rotation, 2 Maßstäbe.

Zwei Maßstäbe bilden unterschiedliche Deformationen der Kartenblätter in Längs- und Querrichtung nach, zwei Rotationen können eine Scherung des Kartenblattes, d.h. die Nichtrechteckwinkligkeit des Koordinatensystems des alten Kartenblatts berücksichtigen. Die Variante M3 entspricht der polynomiaalen Transformation ersten Grades bzw. der oben genannten Affintransformation mit sechs Parametern, die im Georeferenzierungs-Client des Virtuellen Kartenforums 2.0 genutzt wird.

### 3.2 Statistische Analyse der erreichten Georeferenzierungsqualität

5.742 Kartenblätter wurden durch Bildverarbeitung vollautomatisch gemessen und georeferenziert. Abhängig von der Scanauflösung und der Kartengröße benötigt ein Durchlauf des Bildverarbeitungsprozesses mit der Software Halcon 10.0 über einen Terminalserver im Schnitt 34 Sekunden. Würden die zu prozessierenden Karten und die Software lokal und nicht über ein Netzlaufwerk eingebunden auf einem Rechner liegen, hätte dies positive Auswirkungen auf die Durchlaufzeit.

Untersucht wird die für die vier mittels Bildverarbeitungsalgorithmen gemessenen Gittereckpunkte aus der Ausgleichung ermittelte Koordinatengenauigkeit  $\sigma_x$  und  $\sigma_y$  sowie eine daraus ermittelte Punktgenauigkeit  $\sigma_p$ . Bei den untersuchten 5.742 Blättern ergeben sich durchschnittliche Koordinatengenauigkeiten zwischen 3,4 m und 6.285 m (s. Tab. 1).

Mittels Globaltest (vgl. Niemeier 2008, gewählte Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0,1\%$  und Güte des Tests  $\beta = 80\%$ ) werden die gewählte a priori Varianz und die sich aus der Ausgleichung ergebende a posteriori Varianz getestet. Die Nullhypothese wird bei den Varianten M1 und M2 in über 40 % der gemessenen Blätter verworfen, d.h. die einfachen Modelle mit zwei Translationen, einer oder zwei Rotationen und einem Maßstab reichen nicht zur Koordinatenüberführung aus. Hingegen erbringt die Einführung eines zweiten Maßstabs (M4, 6,3 % verworfen) oder zusätzlich einer zweiten Rotationskompo-

Tab. 1: Statistische Auswertung aller Georeferenzierungen mittels Bildverarbeitung

	M1	M2	M3	M4
Stichprobenumfang	5.742	5.742	5.742	5.742
Mittlere Koordinatengenauigkeit	29,77	35,94	20,80	17,71
Mittlere Punktgenauigkeit	42,10	50,86	29,42	25,06
Standardabweichung Koordinatengenauigkeit	175,10	192,67	194,53	155,87
Standardabweichung Punktgenauigkeit	247,63	272,86	275,15	220,89
Maximale Koordinatengenauigkeit	4.654,61	5.007,09	6.284,75	5.206,47
Minimale Koordinatengenauigkeit	3,72	3,67	3,44	3,49
Globaltest: $H_0$ verworfen	44,0 %	43,8 %	4,6 %	6,3 %

nente (M3, 4,6 % verworfen) eine deutliche Verbesserung zwischen Modellannahmen und Messung. Erwartungsgemäß fängt die Variante M3 mit sechs zu bestimmenden Parametern die Verschiebungen, Scherungen und Maßstabsunterschiede am besten auf. Die beste Koordinaten- genauigkeit liegt in allen Varianten bei unter 4 m, welches bei den optimistischsten Schätzungen der aus der Lagerung und dem Scannen abgeleiteten Qualitätsaussagen liegt. Bezogen auf die Variante M3 haben 99,5 % der Georeferenzierungen eine Koordinatengenauigkeit besser als 100 m. Damit ist die automatische Georeferenzierung mittels Bildverarbeitungsalgorithmen leicht besser als die

Crowdsourcing-Variante (hier hatten nur 99 % eine Koordinatengenauigkeit besser als 100 m). Neun automatische Georeferenzierungen können klar als nicht erfolgreich ausgeschlossen werden, weitere 17 liegen im Bereich zwischen 100 und 500 m. Ursachen für die Ungenauigkeiten sind z. B.

- fehlerhafte bzw. keine Identifizierung der starken Mittellinie,
- Interpretation der Gitternetzlinien als Rahmenlinie.

Für jede der vier Varianten wurden zwei Histogrammauswertungen hinsichtlich der erreichten Punktgenauigkeit durchgeführt (hier dargestellt am Beispiel der Variante M3):

1. Punktgenauigkeit Gesamtstichprobe (alle 5.742 Kartenblätter) (Abb. 6),
2. Punktgenauigkeit der Stichprobe mit den 5.716 Kartenblättern, die besser als 150 m gemessen wurden (Abb. 7).

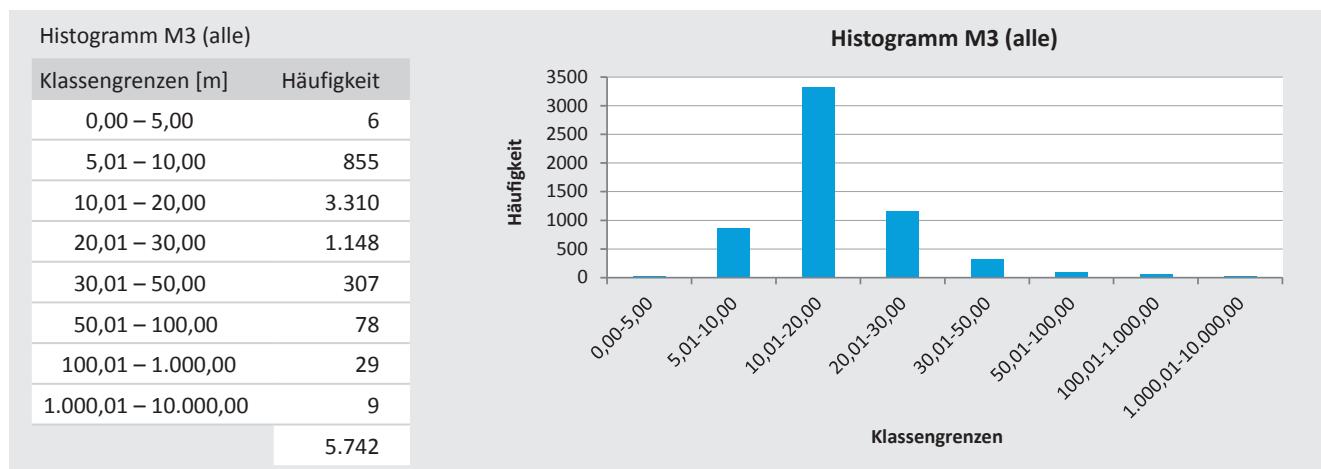


Abb. 6: Punktgenauigkeit aller Kartenblätter

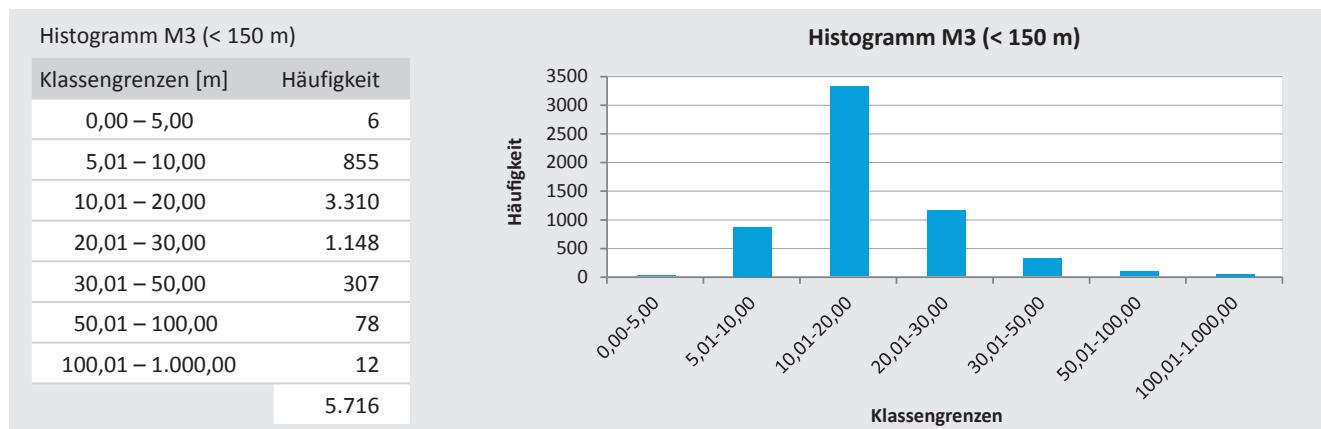


Abb. 7: Punktgenauigkeit der Stichprobe mit Lagegenauigkeiten besser als 150 m

### 3.3 Fehleranalyse zur Bildverarbeitungslösung

Erste Erkenntnisse zur Fehlerinterpretation der Georeferenzierung mittels Bildverarbeitung sind:

- Nur sehr wenige der mittels Bildverarbeitung erzeugten Georeferenzierungen sind nicht verwendbar.
- Einzelne Blätter waren zur Lagerung ein- bis mehrfach gefaltet. Die Faltungsbreite beträgt etwa 2 mm, welches bei dem Maßstab von 1:25.000 etwa 50 m Versatz ausmacht. Hier kann weder Automat noch der Mensch beim gewählten Verfahrensweg eine zufriedenstellende Lösung erreichen. Die einzelnen Kacheln müssten ausgeschnitten, ohne Falz erneut zusammengefügt und dann georeferenziert werden.
- Die Bestimmung der richtigen Gitterlinie stellt sich insbesondere für die dreiteiligen Kartenrandlinien als nicht triviales Problem dar. Bei einem Kartenrandgestaltungsbereich von etwa 1 cm ergibt dies beim Maßstab von 1:25.000 einen Versatz von 250 m. Hier werden anscheinend nicht immer die innersten Linien bestimmt, was zu den größeren Abweichungen zwischen 50 und 100 m führen kann.
- Zudem gibt es zahlreiche weitere Gründe für das Versagen des Bildverarbeitungsalgorithmus, wie die



Abb. 8: Problemfälle für die Bildverarbeitungslösung

Abbildungen des Kartenrandes ausgewählter Blätter demonstrieren (s. Abb. 8). So lagen z.B. Karten beim Scannen im knitterigen Zustand vor, Karten besaßen keine starke Mittellinie, aber dicke Faltlinien, es war kein Kartenrahmen vorhanden, Innenleisten sind nicht identifizierbar oder das Kartenbild geht über den Kartenrahmen hinaus.

### 4 Qualitätsvergleich Crowdsourcing zur Bildverarbeitungslösung

Da eine Großzahl der Messtischblätter (insgesamt 5.395) sowohl durch Fachfremde (gesamt 5.681, vgl. Beitrag Bill und Walter 2015) als auch durch die Bildverarbeitungslösung (gesamt 5.742) georeferenziert wurden, können die einzelnen Blätter und deren Qualitäten miteinander verglichen werden. Die Differenz der erreichten Koordinatengenauigkeit in beiden Verfahren wird hier gegenübergestellt. In 40 % der Georeferenzierungen erreicht der Rechner eine bessere Lagegenauigkeit, in 60 % der Mensch. Die Unterschiede zwischen beiden Georeferenzierungen liegen jedoch in knapp 93 % aller Fälle unter  $\pm 10$  m. Die dargestellte Verteilung der Differenzen ist im Vergleich zu einer zu erwartenden Normalverteilung leicht rechtsschief, d.h. die Bildverarbeitungslösung hat gegenüber der Crowdsourcing-Lösung etwas größere Abweichungen (s. Abb. 9).

### 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die automatische Messung der Kartenrahmeneckpunkte mittels Bildverarbeitungslösung hat sich als robust erwiesen. Karten unterschiedlichster Rahmengestaltungen können zuverlässig bestimmt werden. Die Qualität der

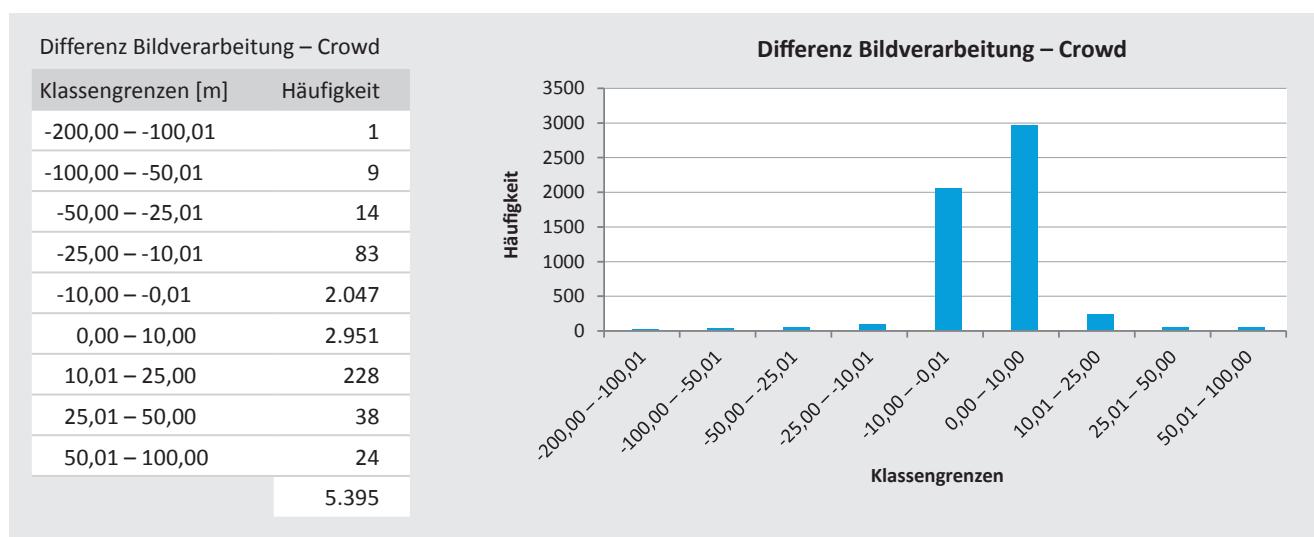


Abb. 9: Abweichungen zwischen Bildverarbeitungs- und Crowdsourcing-Lösung je Kartenblatt

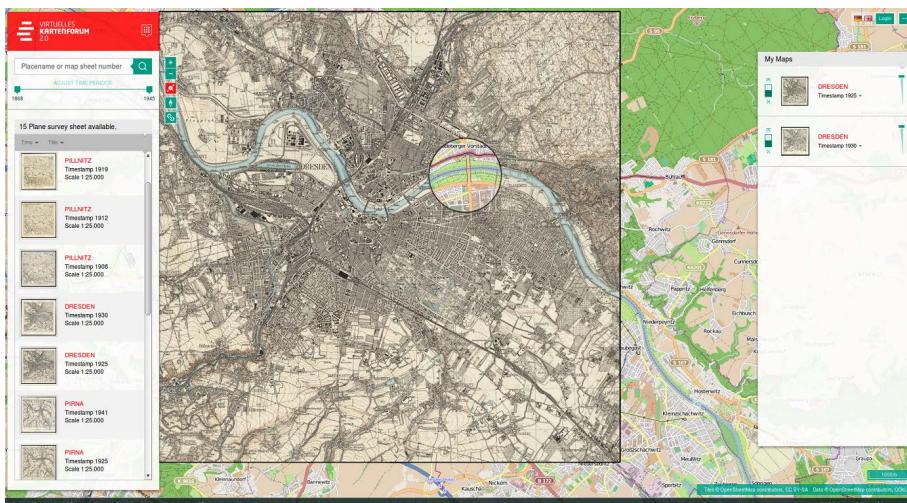


Abb. 10: Web-Client zur Suche und Visualisierung von Messtischblättern (Zeitschnitt 1925 Dresden)

Bildverarbeitungslösung ist in der gleichen Größenordnung wie die Crowdsourcing-Lösung. Der Mensch kann bei bestimmten Konstellationen bezüglich der Rahmengestaltung leicht besser entscheiden als der Automat. Der Algorithmus konnte inzwischen erfolgreich an weiteren Kartenserien, so z.B. an der topographischen Karte 1:100.000, die ebenfalls gescannt bei der SLUB vorliegt, getestet werden.

Im seit August 2014 verfügbaren dienstbasierten Web-Portal »Virtuelles Kartenforum 2.0« sollen nach und nach weitere Altkarten zugänglich gemacht werden (Bill, Walter und Mendt 2014). Das mehrsprachige Portal unterstützt eine raum-zeitliche Suche und Visualisierungen von georeferenzierten historischen Messtischblättern und topographischen Karten. Die raum-zeitliche Suche nutzt einen Web Feature Service (WFS) als Suchindex und stellt die ausgewählten Messtischblätter via Tile Map Service-Layer auf einer OpenStreetMap-Karte dar (s. Abb. 10). Mit Hilfe weiterer Werkzeuge (Vollbild-Ansicht, Lupen-Ansicht, Kartenrotation, Transparenz-Schieber usw.) können verschiedene Messtischblätter miteinander oder mit der aktuellen OpenStreetMap-Karte verglichen werden. Auch eine Weiterleitung zu den originalen Ansichten oder den umfangreichen Metadaten in einem auf GeoNetwork Open Source basierenden Katalog ist möglich. Mit Hilfe einer Permalink-Funktion können außerdem Kartenansichten oder Kartenauswahlen mit anderen Nutzern oder Datenhaltungen geteilt werden.

## Dank

Die Autoren danken der DFG für die Finanzierung des Projekts »Virtuelles Kartenforum 2.0« (Förderkennzeichen Bi 467/24-1 und Bu 2228/14-1). Dank geht auch an die Kollegen des SLUB-Teams.

## Literatur

Bill, R., Walter, K.: Crowdsourcing zur Georeferenzierung alter topographischer Karten – Ansatz, Erfahrungen und Qualitätsanalyse. *zfv* 140, Heft 3/2015, S. 172–170, 2015.

Bill, R.: Geoinformatik im Kontext der E-Science. In: *GIS SCIENCE*, 2014, Nr. 4, S. 123–128.

Bill, R.: Kulturlandschaftsforschung in einer virtuellen Forschungsumgebung auf Basis von Internet-GIS-Technologien. Wichmann Verlag, Berlin, 186 Seiten, 2012.

HALCON: [www.halcon.de/halcon/brochures/pdf/halcon-11-brochure-german.pdf](http://www.halcon.de/halcon/brochures/pdf/halcon-11-brochure-german.pdf), letzter Zugriff 05/2015.

Jähne, B.: Digitale Bildverarbeitung. 6. Auflage. Springer, Berlin, 642 Seiten, 2015.

JAG3D: <http://derletztekick.com> – JAG3D-Softwaredokumentation, letzter Zugriff 05/2015.

Luhmann, T.: Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Wichmann Verlag, Heidelberg, 586 Seiten, 2003.

Niemeier, W.: Ausgleichsrechnung. Statistische Auswertemethoden. DeGruyter Verlag, Berlin, 493 Seiten, 2008.

Röhlm, P.: Automatische Georeferenzierung gescannter deutscher Topographischer Karten im Maßstab 1:25000. Diplomarbeit an der TU Dresden (unveröffentlicht), 2011.

Röhlm, P., Herold, H., Meinel, G.: Automatische Georeferenzierung gescannter deutscher Topographischer Karten im Maßstab 1:25000. In: *Kartographische Nachrichten*, Nr. 4, S. 195–199, 2012.

SLUB: [www.deutschefotothek.de/cms/kartenforum.xml](http://www.deutschefotothek.de/cms/kartenforum.xml) – SLUB – Sächsische Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden – Kartenforum, letzter Zugriff 05/2015.

## Anschrift der Autoren

M.Sc. Nils Koldrack  
Prof. Dr.-Ing. Ralf Bill  
Universität Rostock, Professur für Geodäsie und Geoinformatik  
18051 Rostock  
nils.koldrack@uni-rostock.de  
ralf.bill@uni-rostock.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter [www.geodaezie.info](http://www.geodaezie.info).