

Georeferenzierung alter topographischer Karten – Crowdsourcing versus Bildverarbeitung

Ralf Bill, Nils Koldrack und Kai Walter

Professur für Geodäsie und Geoinformatik, Universität Rostock · ralf.bill@uni-rostock.de

Full paper double blind review

Zusammenfassung

Umfassende topographisch-geographische Aufnahmen durch Vermessung und durch maßstäbliche Darstellung eines Landesgebiets in (amtlichen) Kartenwerken verschiedener Maßstäbe entstanden so ab Ende des 18. Jahrhunderts – als Vorstufe der heutigen topographischen Kartenwerke in vielen Ländern Europas. Ihre Aufbereitung und Georeferenzierung hat für raum-zeitlich arbeitende Disziplinen eine große Bedeutung, z. B. wenn es darum geht den Landschaftswandel über lange Zeiträume zu studieren. An der Sächsischen Landesbibliothek – Staats- und Universitätsbibliothek Dresden (SLUB) wurden u. a. rund 6.000 Messtischblätter im Maßstab 1:25.000 aus dem Zeitraum 1868 bis 1965 sowie die Karten des Deutschen Reiches im Maßstab 1:100.000 gescannt und im Kartenforum der Deutschen Fotothek im Sinne eines flächendeckenden kartographischen Basisangebots für die wissenschaftliche Nutzung aus allen Disziplinen bereitgestellt. Das DFG-Projekt „Virtuelles Kartenforum 2.0“ hat zum Ziel, diese gescannt vorliegenden topographischen Karten in der Gebietsausdehnung des ehemaligen Deutschen Reiches georeferenziert für Raum-Zeit-Forscher über einen Web Map Service (WMS) bereitzustellen. Für den Schritt der Georeferenzierung wird in diesem Beitrag ein Crowdsourcingansatz und ein Bildverarbeitungsansatz vorgestellt und verglichen. Die erreichten Ergebnisse nach beiden Varianten werden hinsichtlich der Datenqualität untersucht und gegenübergestellt.

1 Motivation

1.1 Altkarten

Alte Karten üben seit eh und je eine große Faszination auf den Betrachter aus. Sie zeigen, wie eine Landschaft früher aussah, sind in frühen Zeiten oftmals künstlerisch geprägt und sehr ästhetisch anzusehen. Zumeist sind sie aber in Bibliotheken und Museen nur aus der Ferne zu betrachten oder in Archiven konserviert. Für eine wissenschaftliche oder praktische Nutzung in raum-zeitlich arbeitenden Disziplinen, um z. B. Landschaftsveränderungen über die Zeit auswerten zu können, müssen die Altkarten für eine rechnergestützte Verarbeitung aufbereitet werden, wozu einerseits das Scannen zur Analog-Digital-Wandlung und andererseits eine Georeferenzierung des dann als Rasterbild vorliegenden Kartenbildes gehört. Gemeinsam mit neueren Daten kann dieses danach in einem Geo-Informationssystem verarbeitet werden. Der Zugriff auf Altkarten in digitaler georeferenzierter Form stellt eine wichtige Basis für kollaboratives Arbeiten in der heutigen e-Science und in virtuellen Forschungsumgebungen dar (BILL 2014).

Der Begriff „Altkarten“ umfasst im vorliegenden Beitrag topographische oder thematische Karten seit Beginn der ersten topographischen Landesaufnahmen mittels Vermessung und maßstäblicher Darstellung gesamer Landesgebiete in (amtlichen) Kartenwerken. Diese entstanden ab Ende des 18. Jahrhunderts. Die auf dem Gebiet Deutschlands in den Nationalstaaten durchgeführten Aufnahmen wurden mit der Gründung des Deutschen Reiches im Laufe der Zeit in ein mittel- bis kleinmaßstäbliches amtliches topographisches Landkartenwerk überführt (Maßstäbe 1:5.000 bis 1:1.000.000), welches auch noch im digitalen Zeitalter der amtlichen Geoinformationen – dann als Digitale Topographische Karte – Bestand hat und fortgeführt wird.

Altkarten werden in Bibliotheken und Archiven aufbewahrt, zumeist in analoger Form. Daneben verfügen auch nationale Vermessungsbehörden über umfangreiche Sammlungen alter Karten. Zunehmend werden Altkarten auch gescannt, um einen einfacheren Zugang zumeist über Portale zu ermöglichen und um die analogen Karten zu schützen. So wurde z. B. im DFG-Projekt „Historisch-statistische Grundkarte“ aus den 1990er-Jahren der gesamte Bestand an Thudichum'schen Karten der Sächsischen Landesbibliothek für Sachsen eingescannt und gerefenzert. Maßstäbe im internationalen Vergleich setzen insbesondere die privatbetriebenen Portale „David Rumsey Map Collection“¹ und „Old Maps Online“², die neben einer thematischen Suche auch eine Recherche von Karten auf Basis ihrer räumlichen und zeitlichen Ausdehnung ermöglichen. Möglichkeiten zur Onlinerecherche nach Altkarten haben sich im letzten Jahrzehnt in Deutschland etabliert, zu nennen sind insbesondere die sammlungsübergreifenden Datenbanken IKAR³ und GEO-LEO⁴.

1.2 Das Kartenforum

Eine der größten und wichtigsten Sammlungen von alten Karten 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 Bestände zu schonen, entwickelte die SLUB seit 2005 das Kartenforum. Laut SLUB (2014) ist „... das Kartenforum ... 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 Sachsens – 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 Karten des Deutschen Reiches im Maßstab 1:100.000 im Sinne eines flächendeckenden kartographischen Basisangebots für die wissenschaftliche Nutzung aus allen Disziplinen bereitgestellt.“⁵ Das Kartenforum ermöglicht mithilfe einer interaktiven Suchmaske den Zugriff auf einen schnell wachsenden Bestand digitalisierter Karten und Ansichten. Dazu gehört auch der gescannte Bestand topographischer Karten. Zu dem im Kartenforum bereitstehenden flächendeckenden karto-

¹ <http://www.davidrumsey.com/> (14.01.2015).

² <http://www.oldmapsonline.org> (14.01.2015).

³ <http://ikar.staatsbibliothek-berlin.de> (14.01.2015).

⁴ <http://geo-leo.de/en/> (14.01.2015).

⁵ <http://www.slub-dresden.de/sammlungen/karten/> (14.01.2015).

graphischen Basisangebot gehört auch der erwähnte Bestand topographischer Karten. Das Scannen geschah in dem oben genannten DFG-Projekt, bei welchem eine Vielzahl an Originalen der Kartensammlung der SLUB hochauflösend (ca. 120 Megapixel, 24 Bit Color, TIF unkomprimiert, Pixelauflösung von ca. 400 dpi bzw. ca. 160 Pixel/cm bei einer Bodenauflösung von 1,6 m im Maßstab 1:25.000) digitalisiert wurden.

Im DFG-Projekt „Virtuelles Kartenforum 2.0 – Eine Service-orientierte virtuelle Forschungsumgebung in der Deutschen Fotothek“ wurde ein integrativer und nutzerfreundlicher Zugang zu der dann georeferenziert vorliegenden Kartensammlung entwickelt, der die gescannt vorliegenden topographischen Karten in der Gebietsausdehnung des ehemaligen Deutschen Reiches georeferenziert für Raum-Zeit-Forscher über standardisierte Dienste, z. B. dem vom Open Geospatial Consortium (OGC) spezifizierten Web Map Service (WMS), bereitstellt.⁶ (vgl. BILL, WALTER & MENDT 2014).

2 Datenlage und Georeferenzierungsmethoden

2.1 Topographische Karten 1:25.000

Die heute insbesondere von den Landesvermessungsbehörden bereitgestellten aktuellen Topographischen Karten 1:25.000 sind in ihrer zweihundertjährigen Geschichte auf die ehemaligen Messtischblätter zurückzuführen. Als Rahmenkartenwerke decken sie ein Landesgebiet flächendeckend und nach einheitlichen Erfassungs- und Darstellungsvorschriften ab, weshalb sie für Auswertungen der Veränderungen von Landschaften von hoher Bedeutung sind. Zwar haben sich Inhalt und Darstellung über die Jahrhunderte durchaus verändert, dennoch sind die wesentlichen Landschaftselemente/Objektklassen heute wie auch damals enthalten.

Bei den etwa ab 1820 entstandenen Messtischblättern im Maßstab 1:25.000 handelt es sich um ein erstes flächendeckendes topographisches Kartenwerk, welches dann mit der Gründung des Deutschen Reiches zwischen den Nationalstaaten harmonisiert und vereinheitlicht wurde und für das Gebiet in den Grenzen des ehemaligen Deutschen Reiches vorliegt. In der Weimarer Republik wurde dieses Kartenwerk vom Reichsamt für Landesaufnahme unter dem Begriff Topographische Karten 1:25.000 (TK25) geführt. Der Maßstab 1:25.000 blieb auch in der DDR wie auch der alten BRD bestehen und ist in Form der DTK25 (Digitale Topographische Karte 1:25 000) integraler Bestandteil des heutigen ATKIS-Vorhabens (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem), sodass über diesen Maßstab eine raum-zeitliche Analyse von Landschaftsveränderungen über nunmehr 150 bis 200 Jahre möglich ist.

„Die Kartenblätter sind als Gradabteilungskarten nach geographischen Koordinaten beschnitten“ (http://de.wikipedia.org/wiki/Topografische_Karte). Der Blattschnitt jeder Karte umfasst geographisch je 10 Längenminuten mal 6 Breitenminuten. „Die gedruckten Topographischen Karten im Maßstab 1:25.000 tragen in Deutschland zur eindeutigen Zuordnung seit 1937 eine meist vierstellige Blattnummer und eine Benennung, meist nach dem jeweils größten oder (historisch) bedeutendsten Ort. Die Nummerierung folgt dabei einem tabella-

⁶ <http://www.deutschefotothek.de/cms/kartenforum.xml> (14.01.2015).

rischen System: Die ersten beiden Ziffern geben die Zeile an (von Nord nach Süd durchnummeriert), die letzten beiden (oder drei) Ziffern die Spalte (von West nach Ost durchnummeriert). Das Nummernsystem wurde ausgerichtet auf die Grenzen des Deutschen Reiches bis 1914“ (http://de.wikipedia.org/wiki/Topografische_Karte) (bzw. Mitte 1939), das sich weiter nach Osten und Norden erstreckte als die heutige Bundesrepublik Deutschland in den Grenzen seit 1990. Über die eindeutige Identifizierung des einzelnen Messtischblattes mittels Blattnummer sind die vier Eckpunktkoordinaten in geographischen Koordinaten auf dem damals verwendeten Bessel-Ellipsoid bekannt.

Im topographischen Kartenbestand der SLUB zum Maßstab 1:25.000 liegen über 6.000 solcher Kartenblätter vor, für bestimmte Gebiete tlw. bis zu 10 Zeitschnitte über den Zeitraum von 1868 bis 1965 (Abb. 1). Gut 40 % der Altkarten entstammt der Zeit des kaiserlichen Deutschlands, gut ein Drittel von 1933 bis 1945, hier insbesondere die östlichen Gebiete. Die ältesten drei Karten stammen von 1868, etwa 800 Karten liegen für die Zeit der DDR bzw. der alten BRD vor.

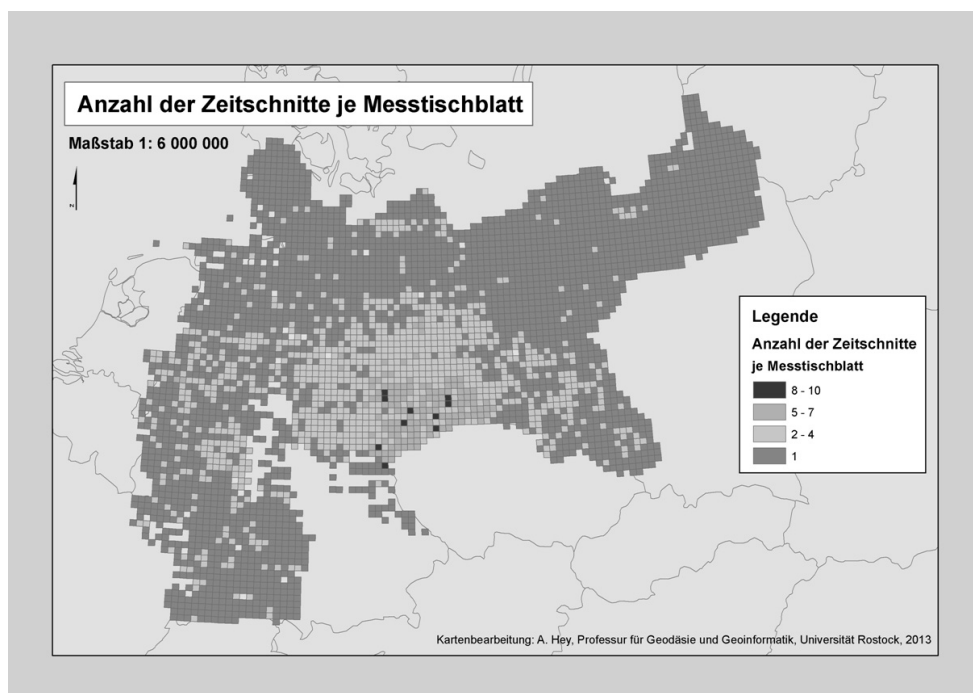


Abb. 1: Gebietsabdeckung und Anzahl der Zeitschnitte je Messtischblatt resp. TK 25

2.2 Georeferenzierungsverfahren

„Georeferenzierung kann als räumliches Metakonzept betrachtet werden, womit räumliche Referenzinformation einem Datensatz mitgegeben wird. Hierzu gehören die Wahl des geodätischen Bezugssystems und die Festlegung der Passpunkte, die zur Überführung verwendet werden sollen. Den eigentlichen Überführungsschritt leistet dann die Geokodierung.

Geokodierung behandelt den tatsächlichen Transformationsschritt, der notwendig ist, um Daten verschiedenartiger Georeferenzierung in ein gewünschtes Referenzsystem umzurechnen. Bei Rasterdaten schließt dies z. B. das Resampling der Bildelemente mit ein (BILL & ZEHNER 2001).

Im Ablauf bezogen auf das Virtuelle Kartenforum 2.0 bedeutet dies die Festlegung des Koordinatenreferenzsystems (hier EPSG-Code 4314 – Deutsches Hauptdreiecksnetz, geographische Koordinaten mit Datum Potsdam und dem Ellipsoid von Bessel). Konkret werden die vier Gitterpunkte am Kartenrand gemessen und als Passpunkte verwendet. Untersucht werden vier ebene überbestimmte Transformationen mit 4 bis 6 Parametern. Das Rasterbild wird anschließend einem Resampling mit der Methode „nearest neighbour“ unterzogen. Das einzelne georeferenzierte Kartenblatt kann dann via WMS-Schnittstelle in eigenen GIS-Umgebungen eingebunden werden. Zwei Wege der Georeferenzierung wurden besprochen: 1) Crowdsourcing und 2) Bildverarbeitung.

2.2.1 Crowdsourcing

Für die Georeferenzierung durch mehr oder weniger Fachfremde wurde im Projekt ein möglichst intuitiv bedienbarer Web-Client zur Georeferenzierung erstellt⁷. Der Nutzer wählt nach Interessenslage über Ortsname oder Blattnummer und Zeitangabe ein zu georeferenzierendes Kartenblatt aus. Auf Basis der per Zoomify-Technologie kachelbasiert ausgelieferten Scans der Kartenblätter ermöglicht der Georeferenzierungs-Webclient die Erfassung durch Messung der vier Eckpunktkoordinaten der Kartenbildrahmen. Die bekannte Methodik des Aufbaus des Blattschnittmusters der Messtischblätter, mit jeweils einer Ausdehnung von 10 Gradminuten geographischer Länge und 6 Gradminuten geographischer Breite, gestattet die Realweltkoordinaten der vier Eckpunkte im Voraus zu berechnen, in einer Datenbank nebst weiteren Metadaten abzuspeichern und diese mit den vier gemessenen Eckpunkten der jeweiligen Kartenblätter in Referenz zu setzen. Die Berechnung der Georeferenzierung nach der Messung der vier Eckpunkte wird mittels einer Funktion der Softwarebibliothek Geospatial Data Abstraction Library (GDAL) als polynomiale Transformation ersten Grades durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Vorgangs werden sowohl dynamisch zur Validierung an den Nutzer des Georeferenzierungs-Webclients zurückgeliefert, als auch im Anschluss persistent in der Datenhaltung (Backend) abgelegt. Dem Nutzer wird sofort ein visuelles Ergebnis seiner Arbeit auf dem räumlich passenden aktuellen OpenStreetMap-Datenbestand gezeigt, in dem er sich selbst von der Qualität seiner Arbeit überzeugen kann. Ausgerichtet auf die Verwendung in einem Crowdsourcingumfeld werden die Leistungen einzelner Nutzer systematisch gesammelt, in Form einer Nutzerhistorie visualisiert und in Form von Akkreditierungspunkten angerechnet, um so eine Art Wettbewerb zwischen den Nutzern zu stimulieren. Nach einer ersten Testphase fand eine Evaluierung der Georeferenzierungswerkzeuge statt, die zu einer Vereinfachung der Arbeitsabläufe, Verbesserung der Nutzeroberfläche und Performanzoptimierung der Georeferenzierungswerkzeuge führte.

2.2.2 Bildverarbeitung

RÖHM (2011) stellt in seiner Diplomarbeit einen Ansatz vor, der die manuelle Georeferenzierung gescannter topographischer Karten automatisieren soll. Die automatisierte Messung

⁷ <http://kartenforum.slub-dresden.de/vkviewer/> (14.01.2015).

der Eckpunkte ist eingebettet in einen manuellen Prozess und aufgeteilt auf Arbeitsschritte in der GIS-Software ArcGIS und der Bildverarbeitungssoftware Halcon Version 10.0⁸. RÖHM (2011) entwickelt einen Grundalgorithmus zur automatischen Messung der Eckpunkte und zur Erkennung des Blattnamens und untersucht dies vergleichend 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 genutzten Bildverarbeitungsansatz werden die Ideen von RÖHM (2011) auf die heterogeneren Kartenblätter aus früheren Zeiten adaptiert und weiterentwickelt, wobei insbesondere die Umgebungsbedingungen im Kartenforum (siehe Kapitel 1.2) anders sind. Das Bildverarbeitungsverfahren wird in KOLDRACK & BILL (2015) ausführlich beschrieben. Verwendet wird die Software Halcon Version 10.0 der MVTec Software GmbH, eine umfassende Standardsoftware für vielfältige Anwendungen in der industriellen Bildverarbeitung und weltweit umfassend im Einsatz.

3 Qualitätsanalysen der beiden Georeferenzierungsverfahren

3.1 Gewählte Transformationsansätze

Zur Bestimmung der Transformationsparameter zwischen den durch die 1) Crowd oder mittels 2) Bildverarbeitung gemessenen Kartenrandpunktkoordinaten und den Weltkoordinaten wurden – neben der in GDAL gewählten Variante – auch mathematisch aufwendigere Verfahren 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 6 unbekannte Parameter, die zu schätzen sind. Vier überbestimmte 2D-Transformationsansätze wurden mittels der Methode der kleinsten Quadrate an allen bisher georeferenzierten Kartenblättern getestet und verglichen (ebene Ähnlichkeitstransformation (Helmert-Transformation mit 4 Parametern) und ebene Affintransformation mit 5 und 6 Parametern, vgl. LUHMANN 2003, 29 ff.). Hierzu wurde die in Java programmierte Open Source Software „CoordTrans – The Open Source Similarity Transformation Program“ von Michael Lösler genutzt⁹. Diese überbestimmten Transformationen erlauben neben der eigentlichen Geokodierung 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 vier untersuchten Transformationsvarianten sind: [M1]: 2 Translationen, 1 Rotation, 1 Maßstab; [M2]: 2 Translationen, 2 Rotationen, 1 Maßstab; [M3]: 2 Translationen, 2 Rotation, 2 Maßstäbe und [M4]: 2 Translationen, 1 Rotation, 2 Maßstäbe. Zwei Maßstäbe bilden

⁸ <http://www.halcon.de/halcon/brochures/pdf/halcon-12-brochure-german.pdf> (14.01.2015).

⁹ <http://derletztekick.com/> (14.01.2015).

unterschiedliche Deformationen der Kartenblätter in Längs- und Querrichtung nach, zwei Rotationen können eine Scherung des Kartenblattes, d. h. die Nichtrechtwinkligkeit des Koordinatensystems des alten Kartenblatts berücksichtigen. Die Variante [M3] entspricht der polynomialen Transformation ersten Grades bzw. der oben genannten Affintransformation mit sechs Parametern, die im Georeferenzierungs-Client genutzt wird.

Die Messtischblätter und topographischen Karten haben den Maßstab 1:25.000, d. h. eine Zeichengenauigkeit von 0,1-0,2 mm unter heutigen Qualitätsmaßstäben würde zu einem Lagefehler von etwa 2,5 bis 5 m (die Scanqualität der Messtischblätter liegt mit 1,6 m ebenfalls in dieser Größenordnung) führen. 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 diese Altkarten bestenfalls eine Koordinatengenauigkeit von etwa 5 bis 10 m zu erwarten, die im Einzelfall auch deutlich schlechter sein kann.

3.2 Ergebnisse der beiden Verfahren

3.2.1 Crowdsourcing

Untersucht wird die für die vier Gittereckpunkte aus der Ausgleichung ermittelte Koordinatengenauigkeit σ_x und σ_y sowie eine daraus ermittelte Punktgenauigkeit σ_p . Bei den untersuchten 5.681 Blättern ergeben sich durchschnittliche Koordinatengenauigkeiten zwischen 3,5 m und 5.811 m.

Tabelle 1: Statistische Auswertung aller Georeferenzierungen mittels Crowdsourcing

	[M1]	[M2]	[M3]	[M4]
Stichprobenumfang	5.681	5.681	5.681	5.681
Mittlere Koordinatengenauigkeit	30,65	19,52	11,27	9,89
Mittlere Punktgenauigkeit [m]	43,34	27,60	15,93	13,99
Standardabweichung Koordinatengenauigkeit [m]	289,36	40,25	6,52	6,23
Standardabweichung Punktgenauigkeit [m]	409,21	56,98	9,22	8,82
Max. Koordinatengenauigkeit [m]	5.810,76	2.277,71	238,75	186,72
Min. Koordinatengenauigkeit [m]	3,72	3,53	3,44	3,58
Globaltest: H_0 verworfen	34,7 %	34,4 %	2,1 %	3,3 %

Mittels Globaltest (vgl. NIEMEYER 2008, 167 ff, 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 zueinander getestet. Die Nullhypothese wird bei den Varianten M1 und M2 in über einem Drittel der gemessenen Blätter verworfen, d. h. die einfachen Modelle mit 2 Translationen, 1 oder 2 Rotationen und einem Maßstab reichen nicht zur Koordinatenüberführung aus. Hingegen erbringt die Einführung eines zweiten Maßstabs [M4, 3,3 % verworfen] oder zusätzlich einer zweiten Rotationskomponente [M3, 2,1 % 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 Koordinatengenauigkeit 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 weniger als 1 % der Georeferenzierungen eine Genauigkeit schlechter als 100 m. Damit kann die Georeferenzierung mittels Crowdsourcing als erfolgreich interpretiert werden. Im Schnitt dauert eine Messung und Georeferenzierung über die vier Karteneckpunkte weniger als 40 Sekunden. Weitere Untersuchungen, z. B. nutzer- und zeitbezogene Auswertungen, beschreiben BILL & WALTER (2015).

3.2.2 Bildverarbeitung

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

Untersucht wird ebenfalls die für die vier mittels Bildverarbeitungsalgorithmen gemessenen Gittereckpunkte aus der Ausgleichung ermittelte Koordinatengenauigkeit σ_x und σ_y sowie eine daraus ermittelte Punktgenauigkeit σ_p . Bei den untersuchten 5.742 Blättern ergeben sich durchschnittliche Koordinatengenauigkeiten zwischen 3,4 m und 6.285 m.

Tabelle 2: Statistische Auswertung aller Georeferenzierungen mittels Bildverarbeitung

	[M1]	[M2]	[M3]	[M4]
Stichprobenumfang	5.742	5.742	5.742	5.742
Mittlere Koordinatengenauigkeit [m]	29,77	35,94	20,80	17,71
Mittlere Punktgenauigkeit [m]	42,10	50,86	29,42	25,06
Standardabweichung Koordinatengenauigkeit [m]	175,10	192,67	194,53	155,87
Standardabweichung Punktgenauigkeit [m]	247,63	272,86	275,15	220,89
Max. Koordinatengenauigkeit [m]	4.654,61	5.007,09	6.284,75	5.206,47
Min. Koordinatengenauigkeit [m]	3,72	3,67	3,44	3,49
Globaltest: H_0 verworfen ($\alpha = 0,1 \%$, $\beta = 80 \%$)	44,0 %	43,8 %	4,6 %	6,3 %

Die beste Koordinatengenauigkeit liegt in allen Varianten bei unter 4 m, also wiederum im Bereich des maximal Erreichbaren. 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 Crowdsourcingvariante (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. Zahlreiche weitere Untersuchungen sind in KOLDRACK & BILL (2015) beschrieben.

3.3 Qualitätsvergleich Crowdsourcing zur Bildverarbeitungslösung

Da eine Großzahl der Messtischblätter (insgesamt 5.395) sowohl durch Crowdsourcing (gesamt 5.681, vgl. BILL & WALTER 2015) als auch durch die Bildverarbeitungslösung (gesamt 5.742, vgl. KOLDRACK & BILL 2015) georeferenziert wurden, können die einzelnen Blätter und deren Qualitäten miteinander verglichen werden. Die Differenz der erreichten Koordinatenlagegenauigkeit in beiden Verfahren wird hier gegenübergestellt. In 40 % der Georeferenzierungen erreicht der Rechner eine bessere Lagegenauigkeit, in 60 % der Mensch. Die dargestellte Verteilung der Differenzen ist leicht rechtsschief, d. h. die Bildverarbeitungslösung hat gegenüber der Crowdsourcinglösung etwas größere Abweichungen. Die Unterschiede zwischen beiden Georeferenzierungen liegen jedoch in knapp 93 % aller Fälle unter ± 10 m, also im Bereich des maximal Erreichbaren.

Klassengrenzen [m]	Häufigkeit
-200 bis -100,01	1
-100 bis -50,01	9
-50 bis -25,01	14
-25 bis -10,01	83
-10 bis -0,01	2047
0 bis 10	2951
10,01 bis 25	228
25,01 bis 50	38
50,01 bis 100	24

5395

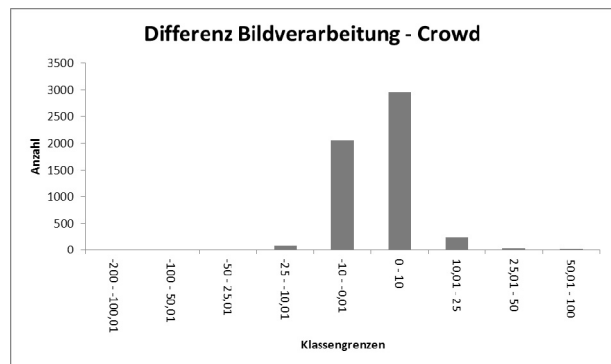


Abb. 2: Abweichungen Bildverarbeitungs- und Crowdsourcinglösung je Kartenblatt

4 Stand und Ausblick

Beide Varianten der Messung der Koordinatengitterpunkte haben sich als robust erwiesen. Karten unterschiedlichster Rahmengestaltungen können zuverlässig bestimmt werden. Die geringe Zahl an Ausreißern sind detektierbar, die Gründe dafür sind zumeist nachvollziehbar (gefaltete Kartenblätter, falsch gewählter Eckpunkt bei Mehrfachrandlinien usw.). Mit den im Virtuellen Kartenforum 2.0 angebotenen Werkzeugen zur Administration können die Ergebnisse gut evaluiert werden und bei Bedarf ein Blatt auch wieder zur neuen Georeferenzierung freigeschaltet werden.

Die Qualität der Bildverarbeitungslösung ist in gleicher Größenordnung wie die Crowdsourcinglösung. Der Mensch kann bei bestimmten Konstellationen bezüglich der Rahmengestaltung leicht besser entscheiden als der Automat. Der Algorithmus soll nun 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 freigeschalteten dienstebasierten Web-Portal „Virtuelles Kartenforum 2.0“ sollen nach und nach weitere Altkarten zugänglich gemacht werden (BILL, WALTER & MENDT 2014). Das mehrsprachige Portal unterstützt eine raum-zeitliche Suche und Visualisierungen von georeferenzierten historischen Messtischblättern und topographischen Karten. Die raumzeitliche Suche nutzt einen Web Feature Services (WFS) als Suchindex und stellt die ausgewählten Messtischblätter via Tile Map Service-Layer auf einer OpenStreetMap-Karte dar. Mithilfe 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-OpenSource-basierenden Katalog ist möglich. Mithilfe einer Permalink-Funktion können außerdem Kartenansichten oder Kartenauswahlen mit anderen Nutzern oder Datenhaltungen geteilt werden.

Danksagung

Die Autoren danken der DFG für die Förderung des Projektes (Förderkennzeichen BU 2228/14-1 und Bi 467/22-1). Dank geht auch an die Kollegen des SLUB-Teams.

Literatur

- BILL, R. (2014), Geoinformatik im Kontext der E-Science. In: *gis.Science*, 4/2014, 123-128.
- BILL, R. & WALTER, K. (2015), Crowdsourcing zur Georeferenzierung alter topographischer Karten – Ansatz, Erfahrungen und Qualitätsanalyse (eingereicht in zfv).
- BILL, R., WALTER, K. & MENDT, J. (2014), Virtuelles Kartenforum 2.0 – Verfügbarmachung von Altkarten über eine räumliche Portalanwendung. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. & ZAGEL, B. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2014. Beiträge zum 24. AGIT-Symposium Salzburg*. Wichmann Verlag, Berlin/Heidelberg, 684-693.
- BILL, R. & ZEHNER, M. L. (2001), *Lexikon der Geoinformatik*. Wichmann Verlag, Heidelberg, 312 S.
- JAESCHKE, U. & MUELLER, M. (1999), Zur Problematik der Anpassung historischer Karten an moderne Koordinatensysteme. In: EBELING (Hrsg.), *Historisch-thematische Kartographie, Konzepte, Methoden, Anwendungen*. Bielefeld, Verlag für Regionalgeschichte.
- KOLDRACK, N. & BILL, R. (2015), Automatisierte Georeferenzierung alter topographischer Karten – Algorithmus und Qualitätsanalyse (eingereicht in zfv).
- LUHMANN, T. (2003), *Nahbereichsphotogrammetrie. Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichmann, Heidelberg. 586 S.
- NIEMEYER, W. (2008), *Ausgleichsrechnung. Statistische Auswertemethoden*. De Gruyter Verlag, Berlin/New York. 493 S.
- RÖHM, P. (2011), *Automatische Georeferenzierung gescannter deutscher Topographische Karten im Maßstab 1:25000*. Diplomarbeit an der TU Dresden (unveröffentlicht).