

---

Weber, Lukas; Schenk, Daniela

## **Automatische Zusammenführung zertrennter Konstruktionspläne von Wasserbauwerken**

---

**Originalveröffentlichung / Original Publication:**

<https://doi.org/10.1002/bate.202200010>

**Verfügbar unter / Available at:**

<https://hdl.handle.net/20.500.11970/112696>

**Vorgeschlagene Zitierweise / Suggested citation:**

Weber, Lukas; Schenk, Daniela (2022): Automatische Zusammenführung zertrennter Konstruktionspläne von Wasserbauwerken. In: Bautechnik 99 (5). S. 330-340.

**Zugehörige Daten / Related Data:**

<https://doi.org/10.48437/02.2022.B.9800.0001>

**Erstveröffentlichung in Bautechnik Heft 5 (2022).  
S. 330-340. Verfügbar unter DOI:10.1002/bate.202200010**

## **Automatische Zusammenführung zertrennter Konstruktionspläne von Wasserbauwerken**

Lukas Alexander Weber<sup>a</sup>, Daniela Schenk<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Bautechnik

Beim Planen, Bauen und Betreiben von Verkehrswasserbauwerken sind Bestandspläne von großer Bedeutung. Gerade für Instandsetzungen oder Ersatzneubauten, die im Wasserbau einen Großteil der Baumaßnahmen darstellen, beinhalten sie zentrale Informationen u. a. zur Konstruktion der bestehenden Bauwerke. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hat Anfang des Jahrtausends daher alle Pläne mit hohem Aufwand digitalisiert. In dem Digitalisierungsprozess wurden aus technischen Gründen etwa 35.000 Dokumente in Teilaufnahmen (TA) zerstückelt, was deren Übergabe und Nutzung erheblich stört. Diese, im Rahmen eines FuE-Projekts der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) entstandene, Arbeit zeigt, dass mit Image Stitching, einer Methode aus dem Bereich des computerbasierten Sehens (Computer Vision), die Pläne zum Großteil automatisiert zusammengeführt werden können. Mit einem merkmalsbasierten Ansatz werden dafür die Zusammenhänge zwischen den einzelnen TA modelliert und diese in einer gemeinsamen Bildebene aneinander ausgerichtet. Beim Zusammenfügen zu einem Gesamtplan wird mit einer nahtbasierten Methode sichergestellt, dass die Elemente im Plan möglichst am Stück erhalten bleiben. Es wird gezeigt, wie mit innovativen Methoden die Gesamtqualität des Baubestandswerks der WSV automatisiert verbessert werden kann und diskutiert, wie weitere Techniken aus dem Bereich der Computer Vision eingesetzt werden können, um die Ergebnisse noch weiter zu verbessern.

**Keywords:** Digitalisierung; Computer Vision; Image Stitching

### ***Automatic stitching of fragmented construction plans of hydraulic structures***

*Inventory plans are of great importance during planning, construction and operation of hydraulic structures. Particularly for repairs or replacements, which represent a large part of the construction measures in hydraulic engineering, they contain central information on the construction of the existing structures. At the beginning of the millennium, the German Federal Waterways and Shipping Administration (WSV) therefore digitized all plans at great expense. In the digitization process, about 35,000 documents were fragmented into partial images for technical reasons, which significantly disturb their transfer and use. This work, which is a result of a R&D-project of the Federal Waterways Engineering and Research Institute (BAW), shows that with image stitching, a method from the field of computer vision, the plans can be stitched automatically for the most part. Using a feature-based approach, the relationships between the individual fragments are modeled and aligned in a common image plane. When merging to an overall plan, a seam-based method ensures that the elements in the plan are preserved. It is shown how innovative methods can be used to improve the overall quality of the WSV's*

*inventory documents in an automated manner, and it is discussed how further techniques from the field of computer vision can be used to improve the results even further.*

**Keywords:** *digitalization; computer vision; image stitching*

## **1 Einführung**

### **1.1 Bedeutung von Bestandsunterlagen**

Über 80 % der Infrastrukturinvestitionen in Bundeswasserstraßen fließen in die Aufrechterhaltung des Bestands [1]. Um einem drohenden Investitionsstau entgegenzuwirken, müssen Planungs- und Genehmigungsverfahren von Erhaltungsmaßnahmen effizienter organisiert werden [2, 3]. Die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) befindet sich dazu in der digitalen Transformation ihrer Planungs-, Bau- und Betriebsprozesse [3– 6], die von der BAW intensiv begleitet wird. Building Information Modeling (BIM) soll dabei der Standard für digitales Bauen werden [3]. Jedoch führen fehlende Datengrundlagen durch mangelnde Dokumentation zu Unsicherheiten bei Bestandsobjekten. Eine gut gepflegte Bauwerksdokumentation über Bestandsunterlagen kann hier helfen, Ungewissheiten des Bauwerkszustands zu überbrücken [7].

Konstruktionspläne, wie sie in dieser Arbeit untersucht werden, sind ein Teilbereich der Bestandsunterlagen von Verkehrswasserbauwerken. Aus dem Längsschnitt einer Wehranlage können bspw. Informationen zur Konstruktionsweise der Schwelle oder das Verschlussystem abgelesen werden [8].

### **1.2 Problemstellung**

Das Baubestandswerk der WSV wird im IT-System Digitale Verwaltung technischer Unterlagen (DVtU) nach der Verwaltungsvorschrift VV-WSV 2116 [9] vorgehalten und gepflegt. Grundlegend für das Baubestandswerk ist der Objektkatalog nach VV-WSV 11 02 [10], welcher die Identifikation und Gliederung aller Objektarten und Objektteile im Zuständigkeitsbereich der WSV vorgibt.

Im Jahr 2005 bildete sich der initiale Datenbestand der DVtU aus dem Scan aller auf Mikrofilm bzw. -fiche vorliegenden Verfilmungen. Die Verfilmungen dienten als Langzeitarchivierung der Originaldokumente. Die maximale Aufnahmegröße lag bei DIN A0. Überschritt eine Originalzeichnung diese Maße, wurde die Zeichnung von links oben nach rechts unten aufgeteilt. Circa 35.000 Zeichnungen konnten so nicht am Stück digitalisiert werden, sondern wurden in Teilaufnahmen (TA) zertrennt. Es sind etwa 16.000 zerstückelte Pläne an Wehren und Schleusen zu erwarten. Die Trennung in TA stört die Übergabe und Nutzung der Pläne teilweise erheblich. Da die WSV verstärkt mit Personalknappheit zu kämpfen hat, ist eine manuelle Zusammenführung der Pläne nicht realistisch [2]. Eine automatische Methode zum Zusammenfügen dieser Pläne hätte somit großes Potenzial, die Nutzung

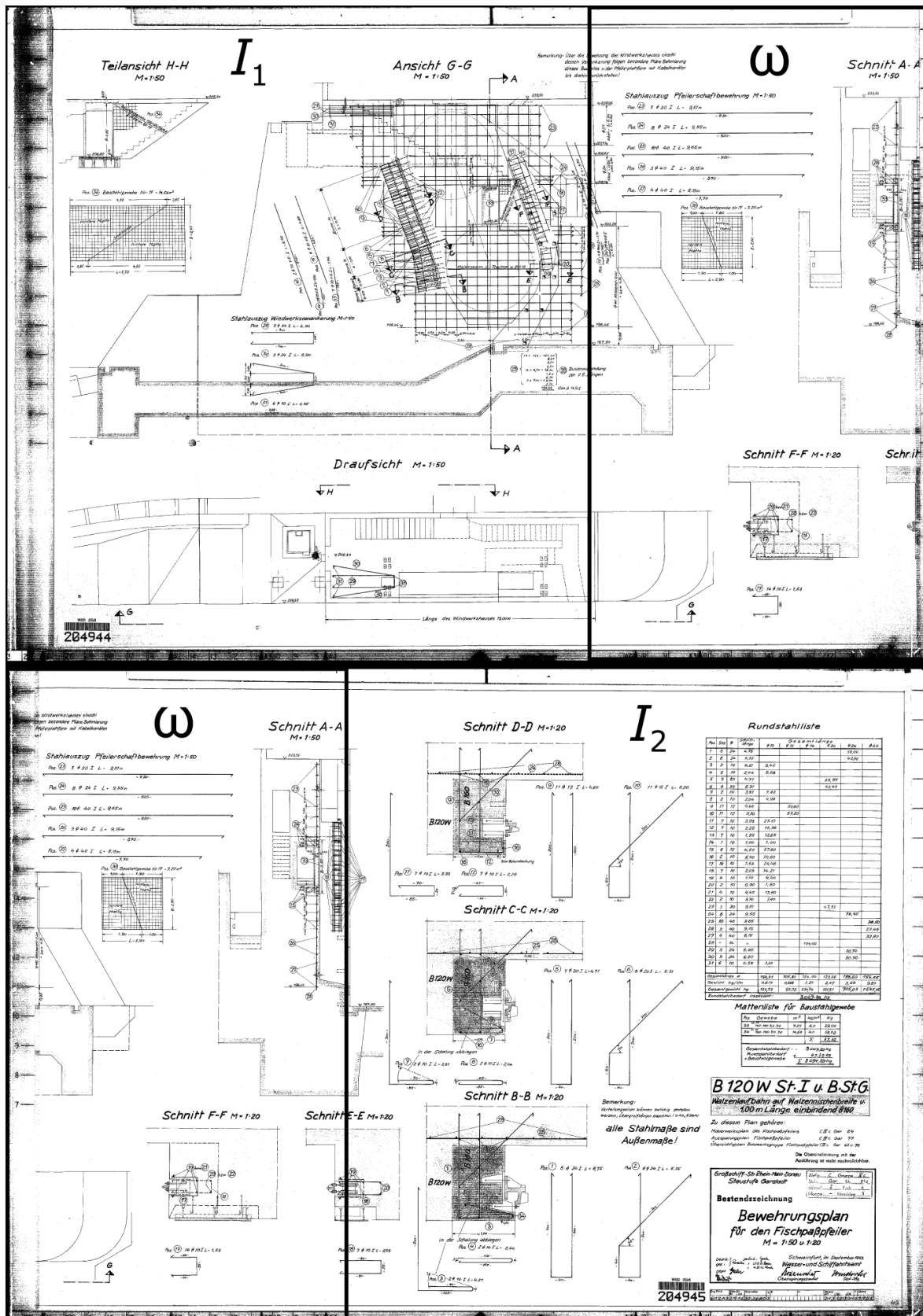


Bild 1: Zwei TA  $I_1$ ,  $I_2$  eines Konstruktionsplans mit einem Überlappungsbereich  $\omega$   
Two partial images (PI)  $I_1$ ,  $I_2$  of a construction plan with an overlap region  $\omega$

dieser Pläne zu erleichtern. Auf Basis dieser Motivation wurde in der BAW ein entsprechendes FuE-Projekt initiiert.

### **1.3 Untersuchungsziel**

Image Stitching ist eine Technik zum Zusammenfügen mehrerer Bildaufnahmen mit überlappenden Ausschnitten zu einem einzelnen Bild. Aus dem Alltag ist die Technik zum Aufnehmen von Panoramafotos mit dem Smartphone oder einer Digitalkamera bekannt. Die Methodik ist in der Praxis weitverbreitet [11]. Ein Großteil der zertrennten DVtU-Pläne hat einen Überlappungsbereich, der für die Anwendung von Image Stitching ausreicht. Bild 1 zeigt dazu ein Beispiel.

Diese Arbeit untersucht, wie erfolgreich Image Stitching auf die gescannten Mikrofilme anwendbar ist. In allen recherchierten Image-Stitching-Anwendungsfällen wurden die Bilder bisher speziell mit Hinblick auf die spätere Zusammenführung aufgenommen. Besonders zu beachten ist daher, dass die Scans nicht im Hinblick auf das spätere Zusammenfügen erzeugt wurden.

## **2 Grundlagen des Image Stitching**

Die Mindestvoraussetzung für die Anwendung von Image Stitching sind zwei Bilder, die einen Überlappungsbereich haben. Die Erstellung eines zusammengeführten Bilds kann in drei sequenzielle Schritte gegliedert werden [11, 12]:

1. Modellierung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Bildern
2. Transformation der Bilder in eine gemeinsame Bildebene
3. Zusammenfügen zu einem gemeinsamen Bild ohne sichtbare Übergänge

Als Qualitätskriterien ergeben sich, dass das resultierende Bild geometrisch und fotometrisch so gut wie möglich mit den Eingabebildern übereinstimmt und die Übergänge zwischen den Bildern nicht zu sehen sind [13].

Zur Modellierung der Zusammenhänge wird zwischen pixelbasierten und merkmalsbasierten Methoden unterschieden. Aufgrund schnellerer Berechnungszeiten und robusterer Zuordnungen hat sich der merkmalsbasierte Ansatz bei den meisten Stitching-Algorithmen durchgesetzt und wird nachfolgend erläutert [11].

Merkmalsbasierte Ansätze versuchen, die traditionelle fotogrammetrische Vorgehensweise zum Ausrichten von Bilddaten zu automatisieren. Bei diesem werden manuell Referenzpunkte markiert, die in den jeweiligen Bildpaaren identisch sind. Mit den Referenzpunkten können Transformationsparameter zum Ausrichten der Bilder abgeleitet werden. Dies zeigt z. B. [14] in Abbildung 15.22.

Der computerbasierte Ansatz erkennt Linien, Konturen und Kanten in den Bildern und gleicht diese Merkmale mit gefundenen Merkmalen in anderen Bildern ab. Dazu ist eine Kombination aus einem Merkmalsdetektor und einem Merkmalsdeskriptor erforderlich. Der Detektor erkennt signifikante Punkte im Bild und der Deskriptor beschreibt deren Eigenschaften. Die Deskriptoren aller

Einzelbilder werden abgeglichen und Zuordnungen auf Basis ihrer Ähnlichkeiten getroffen [12, 14]. Für die Weiterverarbeitung ist wichtig, dass ermittelte Zuordnungen eindeutig sind. Es müssen Zuordnungen aussortiert werden, bei denen ein Merkmal in einem Bild mehrere Merkmale in einem anderen Bild gut beschreibt. Dazu hat sich der Verhältnis-Test nach [15] etabliert.

Zu der Entscheidungsfindung, ob ein Bildpaar einen Zusammenhang hat, wird in [16] ein probabilistisches Modell zur Verifizierung der getesteten Bildpaare vorgestellt. Jedes Bildpaar erhält einen Kennwert, der die statistische Zuverlässigkeit eines Zusammenhangs beschreibt.

Mit den ermittelten Referenzpunkten können die Parameter einer Transformation geschätzt werden. Die Auswahl der geeigneten Projektion muss dabei an die gegebene Problemstellung angepasst werden [12]. Die Anzahl der automatisch zugewiesenen Referenzpunkte übersteigt meist deutlich die für die Transformation benötigten Freiheitsgrade. Die Transformationsparameter werden daher geschätzt. Falsch zugeordnete Punkte können die korrekte Bestimmung der Transformationsparameter verfälschen. Zur Lösung dieses Problems sind robuste Lernmethoden erforderlich, die Ausreißer identifizieren und entfernen [14]. Für Image Stitching wird dazu häufig die RANSAC-Regression [17] verwendet [12, 14].

Anschließend kann eine gemeinsame Bildebene definiert werden. Ein Bild dient als Referenz, an der die Abmessungen der anderen Bilder mithilfe der Transformationsparameter angeglichen werden [12]. Dabei wird eine regelmäßige, rechteckige Begrenzung der Bildebene angestrebt [18].

Um im letzten Schritt die Bilder zu einem gemeinsamen Bild zusammenzufügen, gibt es mehrere kombinierbare Strategien. Innerhalb eines Überlappungsbereichs kann der Durchschnitt der Einzelbild-Pixelwerte als Pixelwert der finalen Bildebene verwendet werden [12]. Bei einem gewichteten Durchschnitt erhalten die Pixelwerte des näheren Einzelbilds an den Rändern des Überlappungsbereichs einen größeren Einfluss [19]. Eine weitere, häufig verwendete Strategie ist die Ermittlung einer Linie im Überlappungsbereich, entlang derer möglichst wenig Bildinhalt geschnitten wird. Anhand dieser Linie werden die Bilder dann „zusammengenäht“ (engl. stitched). Auf jeder Seite der Linie werden die Pixelwerte des jeweils angrenzenden Einzelbilds in die finale Bildebene übertragen [20–22]. Des Weiteren können Artefakte kompensiert werden, die durch unterschiedliche Belichtungen oder bewegliche Objekte entstehen [23].

### **3 Image Stitching zur Zusammenführung zertrennter Konstruktionspläne**

#### **3.1 Datensatz**

Als repräsentativer Untersuchungsdatensatz dienen Bewehrungspläne von Wehrpfeilern. Dazu wurden nach dem Objektkatalog [10] alle Pläne des Objektteils 130 (Wehrwangen, Wehrpfeiler) der Objektuntergruppe 213 (Wehranlagen) selektiert. Die Pläne beinhalten „[Bb]wehrung“ in der Beschreibung und sind in zwei oder mehr TA zertrennt. Insgesamt werden 233 Pläne untersucht, davon sind 219 in zwei und 14 in drei Teile zertrennt. Somit besteht der Datensatz aus 480 TA. Die Dateien liegen im TIF-Format vor und sind binär im CCITT-Fax-4-Format komprimiert. Die



Identifikation erfolgt über die ID der Technischen Unterlage (TU), der TU-ID. Jede TU-ID besteht aus 3 + 7 Ziffern, getrennt durch einen Bindestrich. Die TA-Nummer ist mit einer fortlaufenden Zahl markiert, getrennt durch einen Punkt (z. B. 999-9999999.1).

Der komplette Datensatz ist im Datenrepository-BAW unter der <https://doi.org/10.48437/02.2022.B.9800.0001> veröffentlicht.

### 3.2 Workflow

Am in Bild 2 gezeigten schematischen Übersichtsplan wird der angewandte Workflow beschrieben.

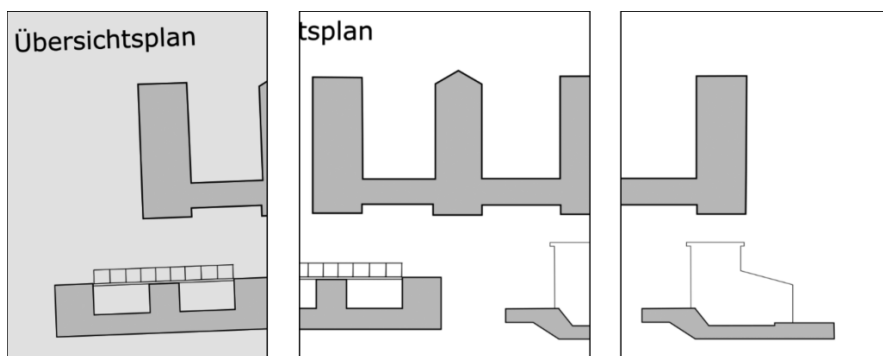


Bild 2:       Drei schematische TA eines Übersichtsplans  
              *Three schematic PI of an overview plan*

Ein durchschnittlicher Scan hat 240 Mio. px. Experimentell wurde ermittelt, dass die Modellierung der Zusammenhänge zwischen den einzelnen TA bei auf 10 Mio. px heruntergerechneten Bildern am besten funktioniert. Zur Merkmalerkennung und -zuweisung wird der ORB-Algorithmus [24] verwendet (Bild 3). Dieser ist quelloffen und erzielt in der Praxis schnelle und gute Ergebnisse [24, 25]. Auf jeder TA werden 2500 Merkmale ermittelt.

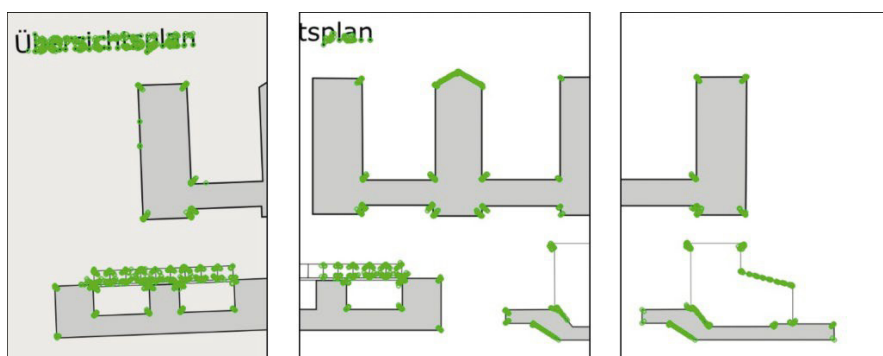


Bild 3:       Mit ORB erkannte Merkmale  
              *Features detected with ORB*

In Bild 4 wird die Zuordnung der Merkmale visualisiert. Zunächst wird jedem Merkmal das nächst-ähnliche Merkmal einer anderen TA zugewiesen. Anschließend werden mit dem Verhältnis-Test nur die Merkmale behalten, die sich ausreichend vom nächstähnlichen Merkmal abgrenzen. In diesem Fall wird festgelegt, dass die Distanz der Zuordnung kleiner als 0,3-mal der Distanz der zweitbesten

Zuordnung sein muss. Die Distanz ist ein Kennwert zur Beschreibung der Ähnlichkeit zweier Merkmale. Je niedriger die Distanz, desto ähnlicher sind die Merkmale. Bei binären Merkmaldeskriptoren wie ORB wird die Distanz mittels Hamming-Abstand gemessen [26].

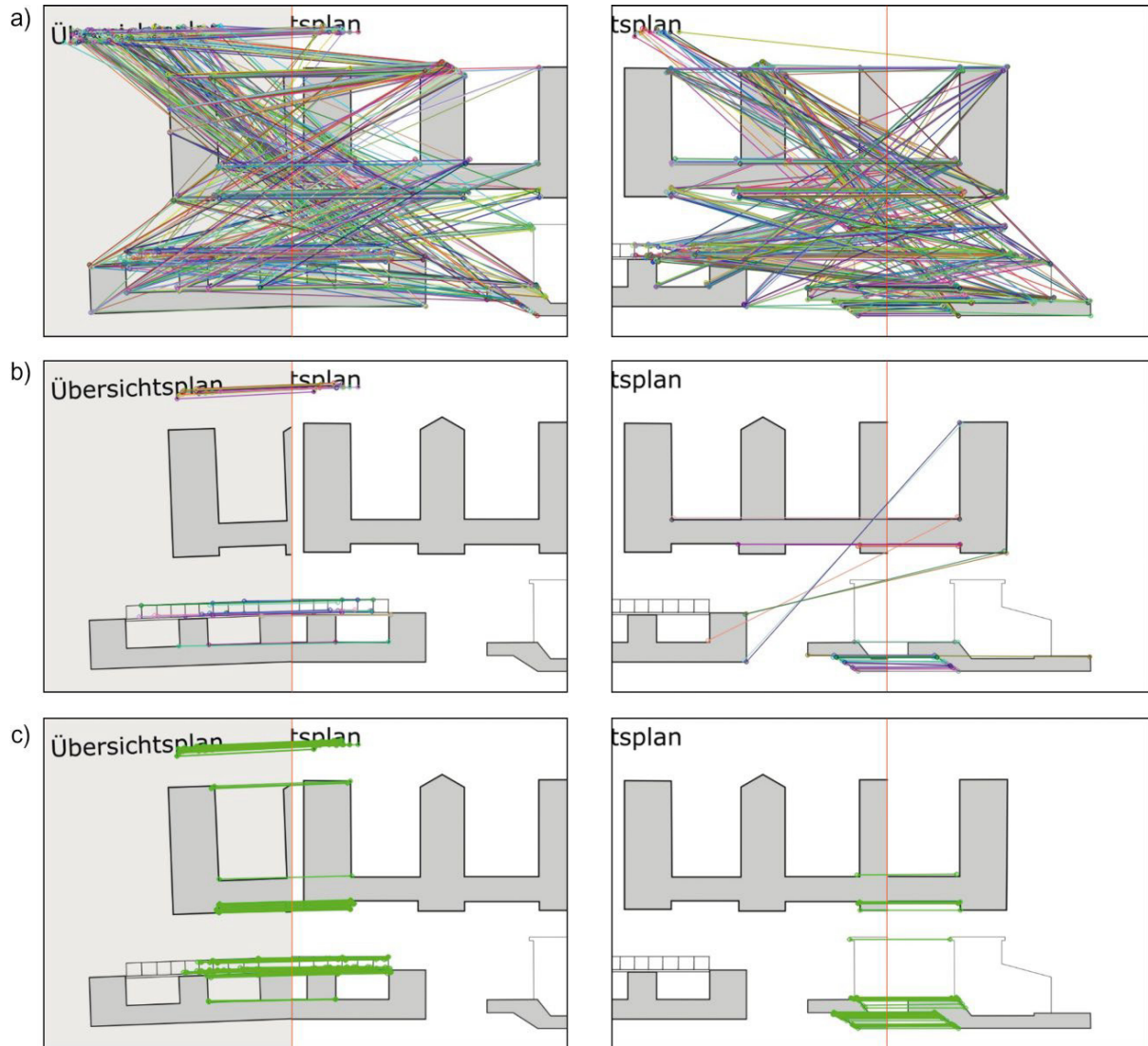


Bild 4: a) Zuordnung aller Merkmale, b) Zuordnungen nach dem Verhältnis-Test, c) Referenzpunkte nach der Entfernung von Ausreißern mit RANSAC  
*a) Mapping of all features, b) reference points after the ratio test, c) reference points after removal of outliers with RANSAC*

Mit den ermittelten Referenzpunkten werden die Transformationsparameter berechnet. Als Projektion wird eine zweidimensionale Ähnlichkeitstransformation genutzt, mit der die Bilder zueinander verschoben, skaliert und rotiert werden können. Bei einer Ähnlichkeitstransformation werden die Bildinhalte weder geschert noch verzerrt, sodass die Planinhalte nicht manipuliert werden. Die Parameter werden mit einer RANSAC-Regression geschätzt, die – wie in Bild 4 zu sehen – Ausreißer in der Datenmenge bereinigen kann.



Wenn die Zuverlässigkeit des Zusammenhangs eines Bildpaars nach [16] 0,2 unterschreitet, wird angenommen, dass kein Zusammenhang existiert.

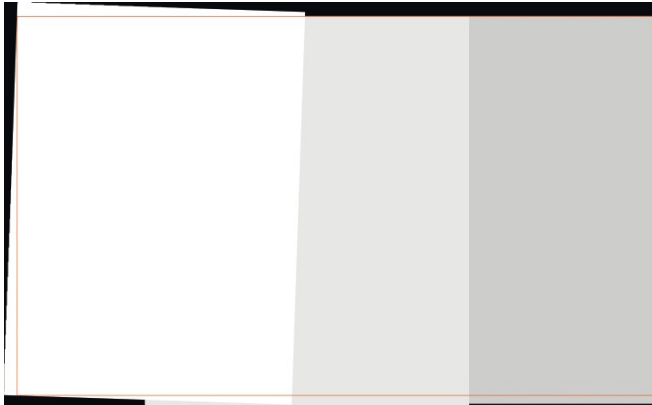


Bild 5: Gemeinsame Bildebene mit erkanntem Rechteck (rot)  
*Panorama image plane with recognised rectangle (red)*

Mit den Transformationsparametern und den Bildabmessungen wird die gemeinsame Bildebene definiert. Bei zwei TA wird der rechte Scan am linken ausgerichtet, bei drei TA die äußeren Scans am mittleren. In Bild 5 ist die gemeinsame Bildebene des Beispiels zu sehen. Die Ebene hat keinen regulären Begrenzungsrahmen. Um ein visuell ansprechendes, rechteckiges Ergebnis zu erhalten, wird das größte innere Rechteck nach [27] ermittelt und die Eingabebilder daran zugeschnitten.

Die Bilddaten selbst werden danach in die Bildebene transformiert. Zum Zusammenführen wird der nahtbasierte Ansatz von [20] verwendet. Dies ist in Bild 6 zu sehen. Um final auch die hoch aufgelösten Daten zusammenzuführen, werden die auf den verkleinerten Bilddaten ermittelten Transformationsparameter und Nahtlinien skaliert.

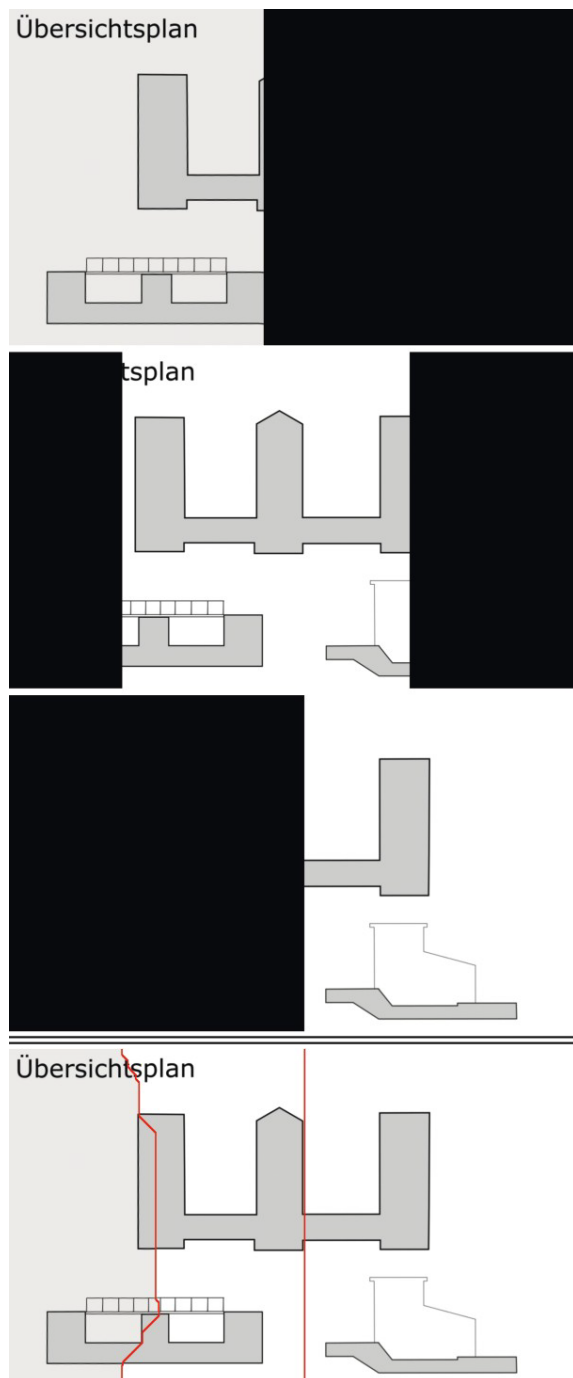


Bild 6: In die gemeinsame Bildebene transformierte TA werden entlang der Nähte (rot) zusammengeführt  
*PI transformed into the common image plane are stitched along the seams (red)*

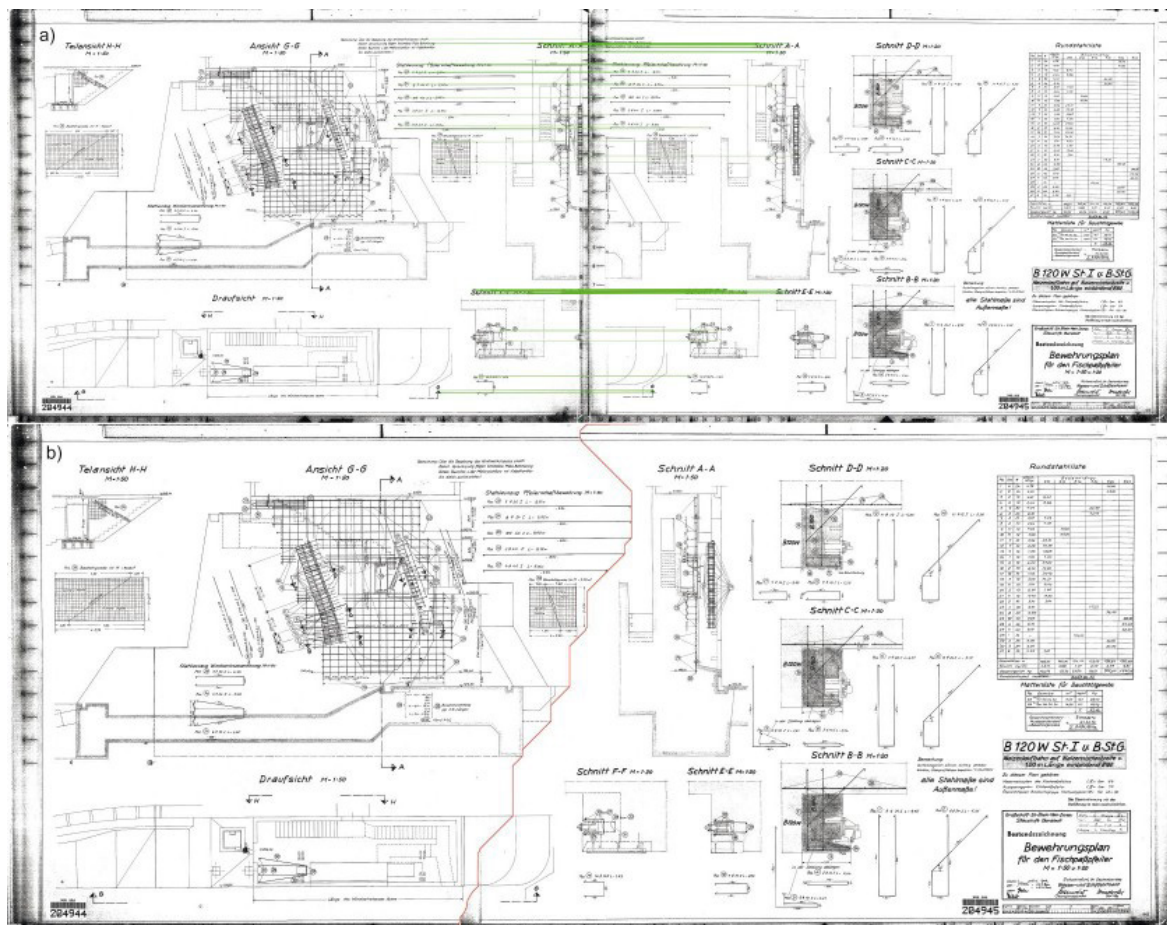
### 3.3 Implementierung

Zur praktischen Anwendung wurde eine existierende Implementation ([https://github.com/opencv/opencv/blob/master/samples/python/stitching\\_detailed.py](https://github.com/opencv/opencv/blob/master/samples/python/stitching_detailed.py)) innerhalb der Open Source Software OpenCV [28] weiterentwickelt ([https://github.com/opencv/opencv/tree/master/apps/opencv\\_stitching\\_tool](https://github.com/opencv/opencv/tree/master/apps/opencv_stitching_tool)). Der Fokus lag dabei auf der Modularisierung der einzelnen Arbeitsschritte. So können die Zwischenergebnisse analysiert, visualisiert und gespeichert werden. Auch die Ermittlung des größten inneren Rechtecks wurde im Rahmen dieser Arbeit implementiert (<https://github.com/lukasalexanderweber/lir>) und in den OpenCV-Stitching-Algorithmus integriert. Zudem entstand ein detailliertes Tutorial, welches die einzelnen Arbeitsschritte im Detail erläutert ([https://github.com/lukasalexanderweber/opencv\\_stitching\\_tutorial](https://github.com/lukasalexanderweber/opencv_stitching_tutorial)).

## 4 Ergebnisse

170 von 233 Plänen (73 %) wurden erfolgreich zusammengeführt.

In Bild 7 sind stellvertretend eine korrekte Merkmalszuweisung und die Zusammenführung in eine gemeinsame Bildebene entlang ermittelter Nahtlinien dargestellt. Bild 8 zeigt, dass auch in drei TA geteilte Pläne erfolgreich zusammengeführt werden. Die Vorteile des nahtbasierten Ansatzes sind gut erkennbar. Die einzelnen Elemente im Plan werden möglichst nicht zertrennt.



*Stitched construction plan of TU 999-0132034 separated into three PI*

Alle (Zwischen-)Ergebnisse sind in dem in Abschn. 3.1 vorgestellten Datensatz mit veröffentlicht. Anhand der Zwischenergebnisse wird bewertet, ob das Ergebnis der Zusammenführung erfolgreich ist. Korrekte Ergebnisse stehen hoch aufgelöst und ohne visualisierte Naht zur Verfügung. In der Datensatz-Tabelle ist die Bearbeitung der 233 Pläne dokumentiert. In dieser sind auch Graphen in der DOT-Beschreibungssprache gelistet, die die jeweilige Merkmalszuordnung beschreiben. In Bild 9 ist der zur in Bild 8 gezeigten TU gehörige Graph visualisiert. Darin ist die Topologie der Zuordnungen gezeigt und zu sehen, wie hoch die Zuverlässigkeit der Zuordnung eines Bildpaars ist. Im Überlappungsbereich von TA 1 und TA 2 sind nach dem Verhältnis-Test 282 Referenzpunkte ( $N_m$ ) vorhanden, nach der RANSAC-Ausreißererkennung noch 160 ( $N_i$ ). Die daraus nach [16] ermittelte Zuverlässigkeit einer korrekten Zuordnung beträgt 1,73 (C).

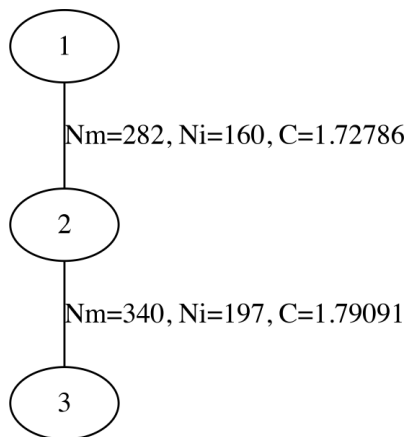


Bild 9: DOT-Graph der TU 999-0132034  
*DOT graph of TU 999-0132034*

Die Fehlerquellen der verbleibenden 27 % der Pläne sind in Bild 10 klassifiziert und werden nachfolgend erläutert.

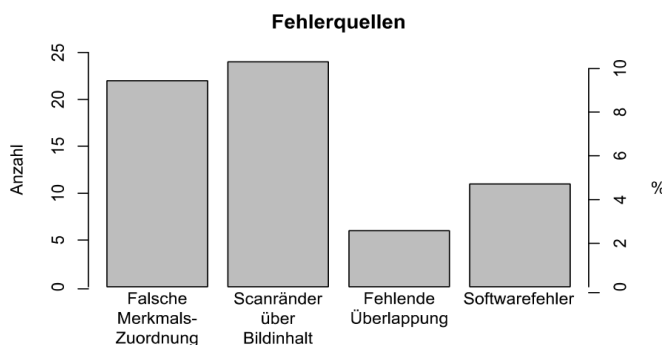


Bild 10: Fehlerquellen der 63 fehlgeschlagenen Pläne  
*Sources of error of the 63 failed plans*

Nachträglich unstrukturiert auf die Originaldokumente oder Mikrofilme platzierte Elemente wie Linneale, Barcodes oder Stempel werden einander zugewiesen. Diese Elemente weisen eine hohe Anzahl

homogener Referenzpunkte auf, welche teilweise die Anzahl der am eigentlichen Planinhalt ermittelten Referenzpunkte übersteigt.

Dadurch wird bei 22 Dokumenten die korrekte Merkmalszuweisung verhindert. Bild 11 zeigt typische Störelemente.



Bild 11: Typische Störelemente: a) Lineale (TU 999-0004612), b) Barcodes (TU 999-0024844), c) Stempel (TU 999-0151221)  
*Typical interfering elements: a) rulers, b) barcodes, c) stamps*

Problematisch ist auch, wenn die Naht entlang eines Scanrands identifiziert wird. Je nach Seite gelangt so der Scanrand einer TA auf den eigentlichen Planinhalt einer anderen TA. Unterschiedliche Ausprägungen solcher Überlagerungen sind in den Bildern 12–14 visualisiert. Dabei wird die Überlagerung an nicht signifikanten Stellen (Bild 12) noch als korrektes Ergebnis bewertet. Wenn Planinhalt überdeckt ist (Bilder 13, 14), wird das Ergebnis als fehlgeschlagen dokumentiert.

In sechs Dokumenten wurden die Pläne ohne Überlappungsbereich eingescannt, dementsprechend schlägt das Image Stitching fehl. Bei elf weiteren Dokumenten verhindert ein bisher ungelöster Softwarefehler die korrekte Zusammenführung in die gemeinsame Bildebene, obwohl die Zusammenhänge korrekt modelliert werden.



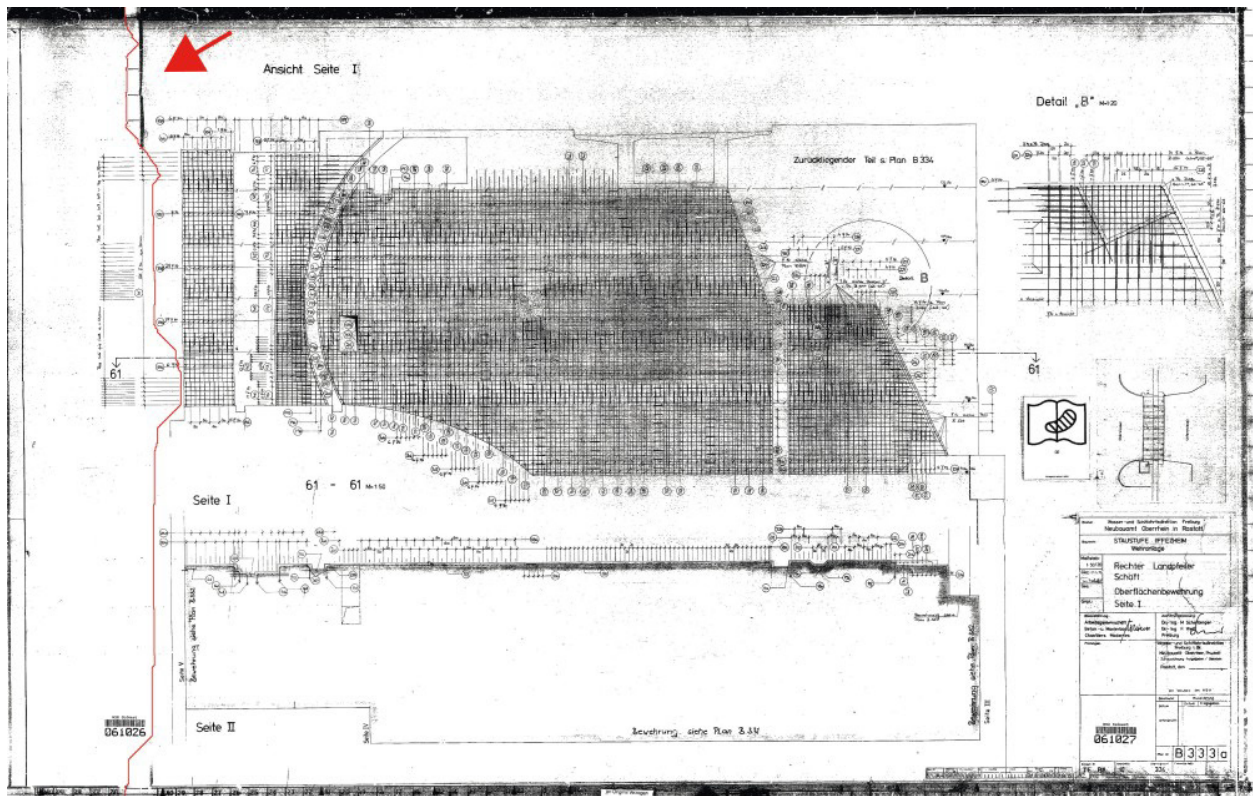


Bild 12: Überlagerung an nicht signifikanten Stellen (TU 999-0107936)  
Overlay at non-significant regions (TU 999-0107936)

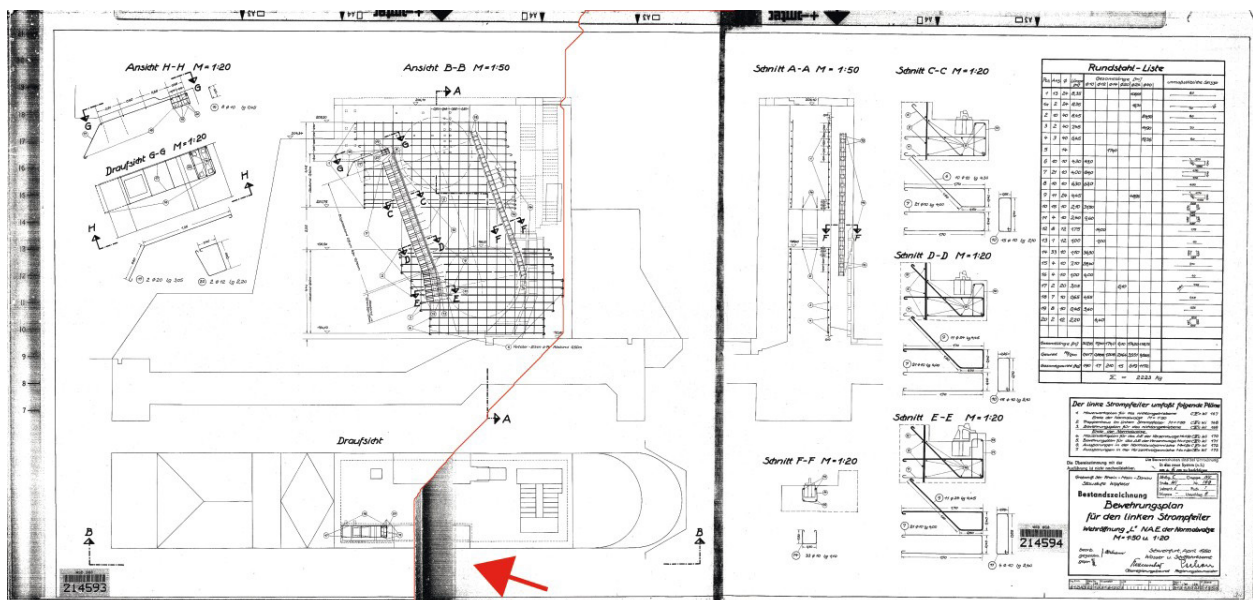


Bild 13. Kleinere Überlagerung an signifikanten Stellen (TU 999-0240897)  
Minor overlay at significant regions (TU 999-0240897)

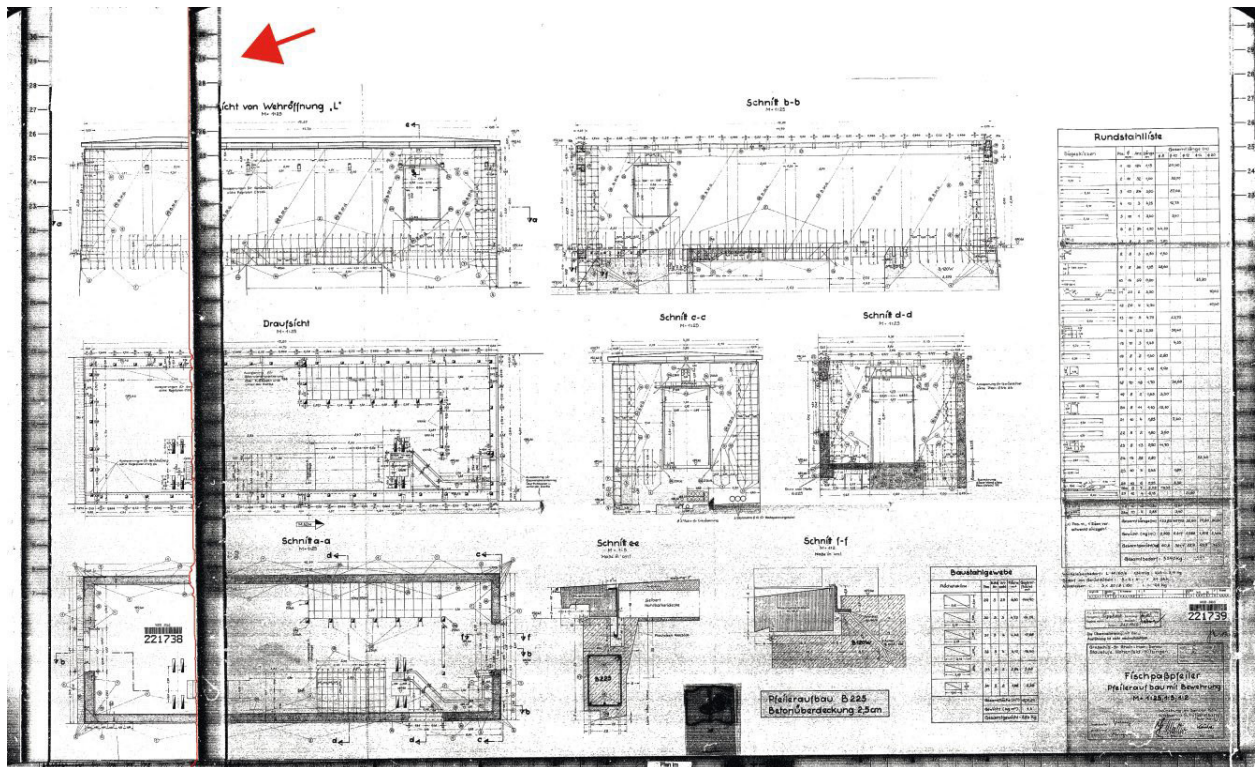


Bild 14. Überlagerung über kompletten Planinhalt (TU 999-0241811)  
*Overlay over complete plan content (TU 999-0241811)*

## 5 Diskussion

Die Zusammenführung von Scans mit Image Stitching hat grundlegende Vorteile. Da ein mit dem Scanner aufgenommenes Bild der zweidimensionalen Oberfläche des Dokuments entspricht, kann eine zweidimensionale Ähnlichkeitstransformation als Projektion genutzt werden. Dadurch sind die teilweise deutlich komplexeren Herausforderungen, die beim Zusammenfügen von Bildaufnahmen mit einer Lochkamera entstehen, nicht zu lösen [29, 30]. Auch Belichtungsunterschiede und Artefakte durch sich im Bild bewegende Objekte (Geisterbilder) sind nicht zu erwarten.

Da die Scans jedoch nicht im Hinblick auf eine spätere Zusammenführung aufgenommen wurden, müssen andere Schwierigkeiten betrachtet werden:

1. Scans können ohne Überlappung aufgenommen sein.
2. Störelemente können eine korrekte Merkmalszuordnung verhindern.
3. Scanränder können den eigentlichen Planinhalt überlagern.

Fehlende Überlappungen wurden mit dem probabilistischen Modell nach [16] bei fünf der sechs betroffenen Dokumente erkannt. Mit der Erhöhung der Mindestzuverlässigkeit auf 0,3 wurde auch der sechste Plan korrekt abgefangen.

Versuche zeigen, dass die Zusammenführung der Pläne nach dem manuellen Entfernen der Störelemente korrekt funktioniert. Die aktuellen Erfolge im Bereich der Objekterkennung legen nahe, dass die Erkennung und (temporäre) Entfernung dieser Elemente automatisiert werden kann.

Auch für das Problem der Scanränder könnte Objekterkennung zur Lösung des Problems beitragen. Wie in [31] gezeigt, können Elemente auf Bildern erkannt werden, die möglichst nicht durchtrennt werden sollen. Diese Informationen fließen in die Kostenfunktion zur Ermittlung der Nahtlinien mit ein.

Nach [18] kann das rechteckige Ausschneiden eines zusammengeführten Bilds zum Datenverlust führen. In dieser Arbeit wurden mit dem Ansatz des größten inneren Rechtecks die Bilddaten automatisiert zugeschnitten. Dabei entstand nie ein Datenverlust im eigentlichen Planinhalt. Erweiterte Ansätze, wie sie in [18] vorgestellt werden, würden den Planinhalt verzerren, was nicht erwünscht ist.

## **6 Zusammenfassung und Ausblick**

Zur Infrastrukturerhaltung im Wasserbau sind Bestandsdokumente wie Konstruktionspläne von großer Bedeutung. Im Baubestandswerk der WSV sind jedoch viele Pläne während der Archivierung zertrennt worden. Die Scans wurden nicht mit dem Fokus einer späteren Zusammenführung erzeugt. Am Beispiel von Bewehrungsplänen an Wehrpfeilern wurde gezeigt, dass diese Pläne mit Image Stitching dennoch zum Großteil automatisiert zusammengeführt werden können. Unstrukturiert auf den Plänen befindliche Objekte verhindern jedoch bei etwa einem Fünftel der Pläne eine korrekte Zuordnung oder verdecken Teile des Planinhalts. Die Integration von Objekterkennungs-Algorithmen ist Gegenstand einer zukünftigen Kooperation mit dem Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung im Rahmen des AI Innovation Seed „KI-Anomalieerkennung mit begrenzten Datensätzen“.

## **Literatur**

- [1] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020) Investitionsrahmenplan 2019–2023 für die Verkehrsinfrastruktur des Bundes.
- [2] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019) Masterplan Binnenschifffahrt.
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2015) Stufenplan Digitales Planen und Bauen – Einführung moderner, IT-gestützter Prozesse und Technologien bei Planung, Bau und Betrieb von Bauwerken.



- [4] Heinzlmann, C.; Duric, Z. (2020) Wege zur Digitalisierung im Verkehrswasserbau in: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik [Hrsg.] Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresden: TUD, S. 11–20.
- [5] Schenk, D.; Laursen, C. (2020) Digitalisierung im Verkehrswasserbau – Aktuelle Entwicklungen in: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik [Hrsg.] Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresden: TUD, S. 89–98.
- [6] Bödefeld, J. (2020) Digitalisierung im Verkehrswasserbau – Stand und Perspektiven in: Wasserbau, B. f. [Hrsg.] Digitalisierung in der Geotechnik – Von der Entwicklung zur Anwendung eines digitalen Baugrundmodells. S. 7–9.
- [7] Volk, R.; Stengel, J.; Schultmann, F. (2014) Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs. *Automation in Construction* 38, pp. 109–127.
- [8] DIN 4048-1 (1987) Wasserbau; Begriffe; Stauanlagen. Berlin: Beuth.
- [9] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2013) Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV) 2116 Baubestandswerk.
- [10] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2005) Verwaltungsvorschrift der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (VV-WSV) 1102 Objektkatalog.
- [11] Wei, L. et al. (2019) A survey on image and video stitching. *Virtual Reality & Intelligent Hardware* 1, No. 1, pp. 55–83. <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0008>
- [12] Szeliski, R. (2011) *Computer vision – Algorithms and applications*. London: Springer.
- [13] Levin, A. et al. (2004) Seamless Image Stitching in the Gradient Domain in: Pajdla, T.; Matas, J. [eds.] *Computer Vision – ECCV 2004. Proceedings, Part IV. 8th European Conference on Computer Vision, Prague, Czech Republic, May 11–14, 2004*. Berlin, Heidelberg: Springer, pp. 377–389.
- [14] Prince, S. J. D. (2012) *Computer vision – Models, learning, and inference*. New York, NY: Cambridge Univ. Press.
- [15] Lowe, D. G. (2004) Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision* 60, No. 2, pp. 91–110. <https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000029664.99615.94>

- [16] Brown, M.; Lowe, D. G. (2007) Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features. *International Journal of Computer Vision* 74, No. 1, pp. 59–73. <https://doi.org/10.1007/s11263-006-0002-3>
- [17] Fischler, M. A.; Bolles, R. C. (1981) Random sample consensus. *Communications of the ACM* 24, No. 6, pp. 381–395. <https://doi.org/10.1145/358669.358692>
- [18] He, K.; Chang, H.; Sun, J. (2013) Rectangling panoramic images via warping. *ACM Transactions on Graphics* 32, No. 4, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1145/2461912.2462004>
- [19] Burt, P. J.; Adelson, E. H. (1983) A multiresolution spline with application to image mosaics. *ACM Transactions on Graphics* 2, No. 4, pp. 217–236. <https://doi.org/10.1145/245.247>
- [20] Avidan, S.; Shamir, A. (2007) Seam carving for content-aware image resizing. *ACM Transactions on Graphics* 26, No. 3. <https://doi.org/10.1145/1276377.1276390>
- [21] Kwatra, V. et al. (2003) Graphcut textures. *ACM Transactions on Graphics* 22, No. 3, pp. 277–286. <https://doi.org/10.1145/882262.882264>
- [22] Gao, J. et al. (2013) Seam-Driven Image Stitching in: Otaduy, M.-A.; Sorkine, O. [eds.] *The Eurographics Association*. Hoboken: The Eurographics Association and John Wiley & Sons Ltd, pp. 45–48.
- [23] Uyttendaele, M.; Eden, A.; Skeliski, R. (2001) Eliminating ghosting and exposure artifacts in image mosaics in: *IEEE Computer Society [eds.] Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Kauai, HI, USA, Dec. 8–14, 2001. II-509-II-516.
- [24] Rublee, E. et al. (2011) ORB – An efficient alternative to SIFT or SURF in: *IEEE [eds.] 2011 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*. Barcelona, Spain, Nov. 6–13, 2011. pp. 2564–2571.
- [25] Wang, M.; Niu, S.; Yang, X. (2017) A novel panoramic image stitching algorithm based on ORB in: Meen, T.-H. [ed.] *2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*. Sapporo, Japan, May 13–17, 2017. Piscataway, NJ: IEEE, pp. 818–821.
- [26] Bostanci, E. (2014) Is Hamming distance only way for matching binary image feature descriptors? *Electronics Letters* 50, No. 11, pp. 806–808. <https://doi.org/10.1049/el.2014.0773>

- [27] Marzeh, Z.; Tahmasbi, M.; Mirehi, N. (2019) Algorithm for finding the largest inscribed rectangle in polygon. *Journal of Algorithms and Computation* 51, No. 1, pp. 29–41. <https://doi.org/10.22059/jac.2019.71280>
- [28] Bradski, G. (2000) The OpenCV Library. *Dr. Dobb's Journal of Software Tools* 25, No. 11, pp. 120–123.
- [29] Zaragoza, J. et al. (2013) As-Projective-As-Possible Image Stitching with Moving DLT in: IEEE [eds.] 2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Portland, OR, USA, June 23–28, 2013. pp. 2339–2346.
- [30] Zhang, F.; Liu, F. (2014) Parallax-Tolerant Image Stitching in: IEEE [eds.] 2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Columbus, OH, USA, June 23–28, 2014. pp. 3262–3269.
- [31] Herrmann, C. et al. (2018) Object-centered image stitching in: Ferrari, V. et al. [eds.] *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)*. Munich, Germany, Sept. 8–14, 2018. Cham: Springer Nature, pp. 821–835.

## **Autoren**

Lukas Alexander Weber

Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Bautechnik, Referat Infrastrukturmanagement  
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
E-Mail: Lukas.Weber@baw.de

Daniela Schenk

Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Bautechnik, Referat Infrastrukturmanagement  
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe  
E-Mail: Daniela.Schenk@baw.de