



Automatisierte Digitalisierungseinheit der MFB MusterFabrik Berlin GmbH

Zerstörte Banknoten: digital rekonstruiert

Immer wieder werden mutwillig zerstörte oder versehentlich beschädigte Geldscheine sichergestellt oder bei Banken vorgelegt. Nationalbanken sind dabei in bestimmten Fällen verpflichtet, den Gegenwert zu erstatten.

Von Jan Schneider und Bertram Nickolay

Können Besitzer oder Finder mehr als die Hälfte einer Banknote vorlegen oder nachweisen, dass die fehlende Hälfte endgültig vernichtet ist, wird in der Regel Ersatz geleistet. Doch vor jeder Erstattung ist der jeweils zu erstattende Betrag exakt zu ermitteln. In der Vergangenheit mussten deshalb Bankmitarbeiter mit teils enormem (Zeit-)Aufwand die häufig nur wenige Zentimeter kleinen Banknotenfragmente von Hand zusammensetzen. Bei großen Fundkomplexen ist eine manuelle Rekonstruktion häufig gar nicht mehr möglich.

Neuartiges System zum digitalen Puzzeln

Im Sommer 2018 hat die Deutsche Bundesbank das Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK mit der Entwicklung eines Gesamtsystems zur digitalen Wiederherstellung hochgradig beschädigter Euro-Banknoten beauftragt. Das Ergebnis der Entwicklungsarbeiten, die in Kooperation mit der Firma MFB MusterFabrik Berlin GmbH durchgeführt wurden, ist ein neuartiges System zum digitalen Puzzeln von zerschnittenen und/oder zerrissenen Banknoten. Die sogenannte RECO-Appliance besteht aus einem automatisierten Scansystem und einem skalierbaren Client-Server-System, auf dem eine Software zum digitalen Puzzeln, das sogenannte Puzzle-Assistenzsystem, implementiert ist.

Das von der MusterFabrik entwickelte Scansystem ermöglicht eine gleichzeitig akkurate, performante und bestandsschonende Digitalisierung von fragilem Scangut und erfüllt hinsichtlich farb- und geometrietreuer Abbildung der Originale die hohen Anforderungen digitaler Bildverarbeitungsalgorithmen. Herzstück des Scansystems ist eine automatisierte

Digitalisierungseinheit, die über einen Scan-PC bedient wird und über eine performante Netzwerkverbindung mit dem Puzzle-System verbunden ist. Das von der MusterFabrik mitentwickelte Puzzle-Assistenzsystem setzt auf der am Fraunhofer IPK entwickelten Technologie zur virtuellen Rekonstruktion von Papierfragmenten auf. Dafür wurden ausgewählte Verfahren der IPK-Rekonstruktionstechnologie adaptiert und zusammen mit ebenfalls am Institut entwickelten Verfahren der Dokumentenanalyse in ein automatisiertes Puzzle-Assistenzsystem integriert.

Workflow des digitalen Puzzels

Mit der MFB-Digitalisierungseinheit können Banknotenfragmente verschiedener Größen mit Kantenlängen von wenigen Millimetern bis hin zu gängigen Banknotengrößen digitalisiert werden. Das Scangut kann gewellt, geknickt oder anderweitig beschädigt sein. Vor der Digitalisierung werden die Banknotenfragmente in transparente Objektträger eingelegt, die in zwei Größen vorliegen: Große Objektträger haben eine nutzbare Scanfläche von 45x60 cm² und kleine Objektträger eine Scanfläche von 45x27 cm². Die Aufnahmetechnik der Digitalisierungseinheit erfasst alle in den Objektträgern befindlichen Banknotenfragmente beidseitig in nur einem Scandurchgang mit einer nativen Auflösung von 1.200 dpi. Mithilfe zusätzlicher Durchlichtaufnahmen erfolgt bereits während der Digitalisierung eine pixelgenaue und farbinvariante Maskierung der Einzelfragmente.

Nach der Digitalisierung werden die Abbilder der Banknotenfragmente vom Puzzle-Assistenzsystem automatisch verarbeitet. Dabei werden die einzelnen Fragmente zunächst auf dem Puzzle-Serversystem automatisch klassifiziert, d.h. ihrer zugehörigen Banknoten-Vorlage zugeordnet und anschließend automatisch virtuell auf dieser positioniert. Dabei werden Vorschlagslisten generiert,



die vom Bediener im Rahmen sogenannter Puzzle-Jobs an einem oder mehreren Puzzle-Client-PCs abgearbeitet werden. Der Bediener kann Vorder- und Rückseite der Vorschläge stufenlos zoomen und die einzelnen Fragmente zur Feinausrichtung zueinander verschieben und drehen. Zudem können bei Bedarf Überlappungen oder Lücken der Fragmente angezeigt werden. Im Trefterfall nimmt der Bediener einen Vorschlag an, der dann digital verklebt wird. Daraufhin wird automatisch der nächste Vorschlag angezeigt.

Seit Oktober 2019: RECO-Appliance im Einsatz

Die RECO-Appliance wurde im Herbst 2019 im Nationalen Analysezentrum der Deutschen Bundesbank (NAC) installiert und wird seitdem dort von NAC-Mitarbeitern eigenverantwortlich betrieben. Mit der RECO-Appliance werden die Bankmitarbeiter in die Lage versetzt, große Mengen kleinteilig zerrissener und/oder zerschnittener Euro-Banknoten aller aktuell gültigen Stückelungen performant und akkurat mit einer Auflösung von 1.200 dpi zu digitalisieren und im Anschluss digital wiederherzustellen. Dabei kann das System automatisch für jedes Fragment und jede Rekonstruktionsbaustufe den prozentualen Größenanteil an einer vollständigen Banknote angeben. Zudem kann vor der Rekonstruktion der vermeintliche Erstattungswert ermittelt werden, indem vom System aus den je Stückelung vorliegenden Fragmenten automatisch die Mindestanzahl der zu rekonstruierenden Banknoten

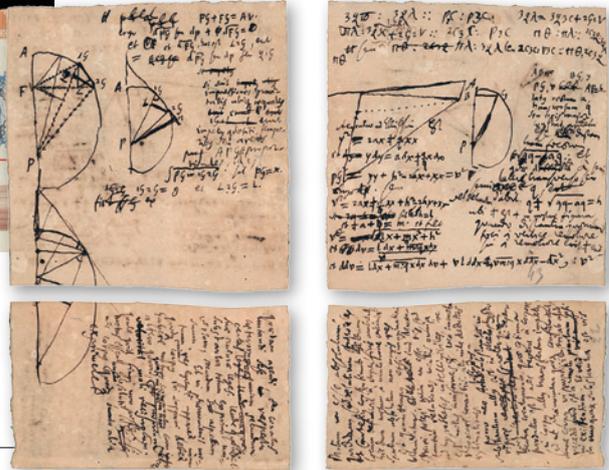
abgeleitet wird. Hilfreich bei komplexen Fundsituationen ist die Funktion, ebenfalls bereits vor der Rekonstruktion aus der Anzahl und Verteilung der je Stückelung vorliegenden Fragmente den Grad der Vollständigkeit der jeweiligen Rekonstruktionsaufgabe abzuschätzen.

Das System ist so ausgelegt, dass es dahingehend erweitert werden kann, auch künftig erscheinende Stückelungen von Euro-Banknoten zu verarbeiten, sofern diese bezüglich ihrer Merkmalscharakteristik mit denen aktuell vorliegender Euro-Banknoten vergleichbar sind.



Digitale Rekonstruktion einer zerschnittenen 50-Euro-Banknote“

Beispiele rekonstruierter Handschriften, LH 35 („Mathematica“), Gottfried Wilhelm Leibniz Bibliothek



**Umsetzung:
MusterFabrik Berlin**

Die MFB MusterFabrik Berlin GmbH ist ein junges Unternehmen mit Sitz in Berlin, das sich dem Erhalt und der Wiederherstellung von beschädigtem Kulturgut verschrieben hat.

In der MusterFabrik Berlin werden automatisierte Scansysteme entwickelt, die eine bestandsschonende und mengentaugliche Digitalisierung von fragilen und historisch wertvollen Kulturgütern und vergleichbaren Objekten ermöglichen. Die akkuraten Abbilder der Originale gleichen „digitalen Zwillingen“, welche die realen Objekte bei der digitalen Weiterverarbeitung vollständig ersetzen (können).

Zudem entwickelt und implementiert die MusterFabrik Berlin automatisierte Assistenzsysteme, die der Visualisierung, Analyse und Annotierung sowie der Rekonstruktion und Reposition digitalisierter Objekte dienen. Diesen IT-Systemen liegen komplexe Methoden der digitalen Bildverarbeitung und Mustererkennung zugrunde, die in Teilen auf den vom Fraunhofer IPK entwickelten Methoden zur virtuellen Re-

konstruktion aufsetzen und mit deren Hilfe bis dato verloren geglaubtes Kultur- und Schriftgut wieder nutz- und lesbar gemacht werden kann.

Der Entwicklungsanspruch der MusterFabrik Berlin geht über das Bereitstellen von reinen Stand-alone-Systemen hinaus. Wo erforderlich implementiert die MusterFabrik Berlin Lösungen, die sich aufgabenspezifisch in bereits bestehenden, übergeordnete Prozesse einfügen. Die Integration erfolgt überall dort, wo es möglich ist, medienbruchlos, um hinsichtlich der Zeit- und Kosteneffizienz optimale Durchsatzraten zu erzielen.

Aktuelle Projekte der MusterFabrik Berlin beschäftigen sich mit der digitalen Rekonstruktion der beschädigten Bestände des Historischen Archivs der Stadt Köln oder der zerschnittenen Manuskripte von Gottfried Wilhelm Leibniz. Darüber hinaus arbeitet die MusterFabrik Berlin gemeinsam mit dem Landesdenkmalamt des Landes Saarland an der Entwicklung eines prototypischen Systems, welches die Digitalisierung, Visualisierung und virtuelle Reposition von 2,5-D-Fragmenten mit römischen Wandmalereien ermöglichen soll.



DR. BERTRAM NICKOLAY

Fraunhofer IPK, gilt als „Vater“ der Rekonstruktions-technologie



JAN SCHNEIDER

ist Entwicklungsleiter der MFB MusterFabrik Berlin GmbH