

Entwicklung und operationelle Anwendung der halbautomatischen Kriegsflutbildanalyse zur Detektion von Blindgängern

CLAUDIA LÜCKE, CARSTEN CRUSE & ANDREAS MÜTERTHIES, Münster

Keywords: Automatic Image Analysis, UXO Detection, Neuronal Network

Summary: *Development and operational application of semi-automatic analysis of aerial photos of the 2nd World War for UXO detection.* This paper is concerned with the development of the software IMAGO and its operational application in two projects in the cities Oldenzaal and Zutphen, both located in the Netherlands. This software, developed by the company CLK, is employed to analyse aerial photos of the Second World War concerning unexploded ordnance devices (UXO). The detected “suspicious points” are visually checked by an expert. By means of this semi-automatic approach the overall handling time can be significantly reduced without a loss of quality.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag befasst sich mit der Entwicklung der Software IMAGO und ihrer operationellen Anwendung in zwei Projektgebieten in den Städten Oldenzaal und Zutphen in den Niederlanden. Mit dieser Software der Firma CLK werden Kriegsflutbilder hinsichtlich Blindgängern analysiert. Die erzeugten Verdachtspunkte müssen allerdings im Anschluss von einem Experten visuell überprüft werden. Durch dieses halbautomatische Verfahren kann die Bearbeitungszeit ohne Qualitätseinbußen deutlich verkürzt werden.

1 Einführung

Immer wieder erregen Unfälle von Blindgängern die öffentliche Aufmerksamkeit, wie zum Beispiel am 23. Oktober 2006, auf der Autobahn A3 in der Nähe von Aschaffenburg. Durch Bauarbeiten detonierte dort eine 5-Zentner-Bombe aus dem Zweiten Weltkrieg. Ein Toter, mehrere Verletzte und ein erheblicher Sachschaden waren die Folge. Nicht immer sind die Auswirkungen so weit reichend, aber die Gefahr, die von Blindgängern ausgeht, darf nicht unterschätzt werden. Durch Umwandlungsreaktionen, die besonders im Kontakt des Explosivstoffes mit dem Boden (Humus) zustande kommen, kann es zu einer Erhöhung der Schlag- und Reibempfindlichkeit kommen, wie die Untersuchungen von Herrn Dr. M. Bohn vom Fraunhofer Institut für Chemische Technologie an gealtertem Spreng-

stoff in Weltkriegs-Kampfmitteln zeigen (BOHN 1996).

Die Experten der Kampfmittelbeseitigung gehen davon aus, dass die Blindgängerrate bei zehn bis fünfzehn Prozent der insgesamt abgeworfenen Bomben liegt. Um das Gefahrenpotential zu reduzieren, wird gezielt mittels historischer Luftbildanalyse nach Blindgängern gesucht.

Dabei werden die Kriegsflutbilder der Alliierten stereoskopisch betrachtet und interpretiert. Diese Art der Auswertung erfordert ein hohes Maß an Expertenwissen und gestaltet sich als überaus zeitaufwendig. Mit Hilfe des entwickelten automatisierten Verfahrens, basierend auf dem Bildanalyseprogramm IMAGO der Firma CLK, kann die Bearbeitungszeit deutlich reduziert werden. Die operationelle Anwendung der Methode wie zum Beispiel in zwei von der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH

durchgeführten Projekten in den Niederlanden belegt die Praxistauglichkeit und Effizienz der neuen Technologie. Wie wichtig die Anwendung der halbautomatischen Blindgängerdetektion ist, belegt auch ein aktueller Fund bei Bauarbeiten der deutschen Bahn zur Gleisbatterneuerung auf der vielbefahrenen IC-Strecke zwischen Dülmen und Münster.

2 Automatische Bilderkennung mit IMAGO

2.1 Grundlagen

Die automatisierte Blindgängeranalyse erfolgt mit dem für diesen Zweck entwickelten Bildanalyse-System IMAGO der Firma CLK. Zur automatischen Suche nach möglichen Blindgängern bedarf es zunächst einer Übertragung der vorhandenen Fotografien auf ein elektronisches Speichermedium. Da die Kriegsluftbilder nicht mehr als Filmmaterial, sondern nur als Kontaktabzüge auf Barytpapier vorliegen, kann für die A/D-Wandlung kein photogrammetrischer Scanner eingesetzt werden. Wegen der unvermeidlichen Papierverzüge genügen handelsübliche Scanner für das DIN-A3-Format mit einer Mindestauflösung von 1200 dpi bei einem Maßstab von 1 : 8.000. Die entstehenden Bilddateien besitzen eine Größe von rund 100 Mbyte pro km². Der Durchmesser von Blindgängerkratern liegt bei 0,5

bis 3 Metern. Die Detailausschnitte der Blindgänger sind daher ca. 30 × 30 Pixel. Darüber hinaus ist eine Beschreibung der gesuchten Objekte erforderlich, die so allgemein ist, dass sie nach Möglichkeit alle Blindgänger-Krater erfasst, andererseits jedoch so scharf abgrenzt, dass nur möglichst wenige weitere Objekte fälschlich als derartige Krater interpretiert werden. Diese Beschreibung wird dazu verwendet, die Blindgänger automatisch im Bild zu finden. Eine manuell erstellte Beschreibung ist nur mit sehr großem Aufwand durchführbar. Daher bietet sich ein Verfahren zur automatischen Klassifikatorerstellung wie die Neuronale Netze an.

Die Erfahrungen und Kenntnisse aus der automatischen Analyse von Bombenkratern konnten hierzu herangezogen werden, wobei festzuhalten ist, dass die Merkmalsbestimmung und Analyse der Blindgänger deutlich komplexer ist als die der Bombenkrater.

Bombenkrater sind charakterisiert durch eine runde Form, eine „raue“ Begrenzungslinie (d. h. der Rand der aufgeworfenen Erde) und einen Schatten in der Kraterinnenfläche. Diese Begrenzungslinien können mit einem Kantenoperator, zum Beispiel dem Sobel-Operator erfasst werden. Allerdings werden auch die Begrenzungslinien anderer Objekte gefunden, welche die genannten Merkmale aufweisen. Eine Verfeinerung beziehungsweise eine Überarbeitung der Ob-

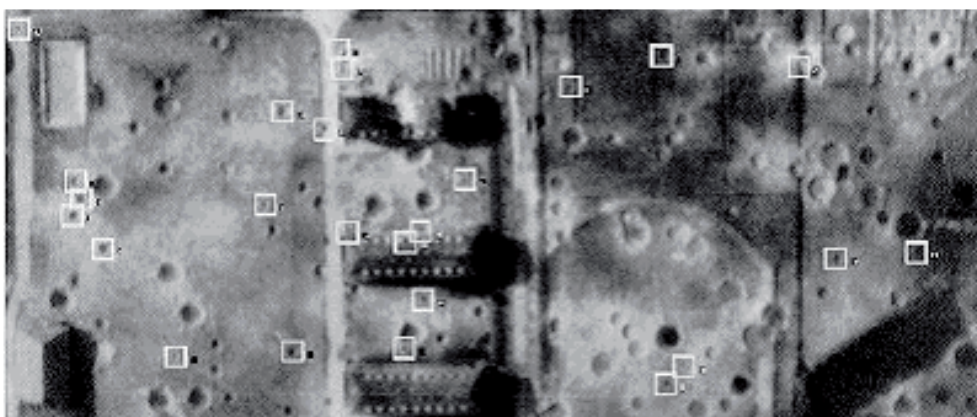


Abb. 1: Ergebnis einer automatischen Blindgängerauswertung mit einem Neuronalen Netz.

jektmerkmale und die Selektion der erfassten Strukturen im Anschluss an die automatisierte Erfassung ist notwendig (MÜTERTHIES et al. 2004).

Die Blindgänger können nicht allein mit einfachen Merkmalen wie Radius und Form definiert werden, sondern hauptsächlich durch die umfassende Erfahrung der Fachleute. Für die Entwicklung einer geeigneten Software stellen sich somit große Herausforderungen. Alternativ bietet es sich an, Beispiele, sowohl für Blindgängerkrater als auch für harmlose Objekte, zu verwenden und damit neuronale Netzwerke zu trainieren.

Pixel für Pixel wird jedes gescannte Bild für sich mit dieser Methode analysiert und die Bildkoordinaten der Verdachtspunkte werden abgespeichert. Im Anschluss werden die Verdachtspunkte visuell überprüft und die „Nicht-Blindgänger“ aussortiert.

2.2 Das Klassifikationsprogramm

Um die Informationen auf systematische und effiziente Weise zu verallgemeinern, die in der Menge der Beispieldaten enthalten sind, wird ein nichtlineares 3-schichtiges Entscheidungsnetzwerk konstruiert, das mit möglichst geringem Aufwand die beiden relevanten Objekt-Klassen „Blindgänger“ und „Nicht-Blindgänger“ voneinander trennt.

Wesentlich für den effizienten Aufbau ist hierbei insbesondere der Einsatz einer geeigneten Vorverarbeitung der Bildinformationen. So ist etwa für das Erkennen eines Kraters die Helligkeit der Umgebung wenig aussagefähig. Es bietet sich daher an, die Daten zunächst so vorzubereiten, dass diese Helligkeitsunterschiede beseitigt werden. Die wesentlichen Kratermerkmale sollen dabei selbstverständlich erhalten bleiben. Zu diesem Zweck eignet sich eine einfache lineare Filteroperation, die homogene Flächen auf einen mittleren Grauwert abbildet, radiale Helligkeitsvariationen jedoch hervorhebt. Dem eigentlichen Klassifikationsalgorithmus wird so die Aufgabe erheblich erleichtert: Um die unterschiedlichen Größen der vorkommenden Krater und möglichen

Maßstabunsicherheiten Rechnung zu tragen, verwendet das vollständige Analyseprogramm eine ganze Schar derartiger Radialfilter zur Aufbereitung des Bildinhaltes.

2.3 Der Trainingsprozess

Um das Entscheidungsnetzwerk trainieren zu können, ist es erforderlich, gemeinsam mit Experten der Luftbildauswertung geeignete Beispiele aus den Bildern auszuwählen und diese zu einem Trainingsdatensatz zusammenzufassen. Um die Blindgänger von anderen Objekten (wie z. B. Kamine, Dachfenster, Viehtränken) abzugrenzen, die im SW-Luftbild ähnliche Merkmale aufweisen können, müssen Beispiele aus den Bildern entnommen werden, die keine Blindgänger enthalten. Die Größe der Ausschnitte ist so bemessen, dass ein Blindgänger vollständig dargestellt werden kann. Das hier verwendete Entscheidungsnetzwerk ist ein 3-schichtiges Feed-Forward-Netzwerk, das mit dem so genannten MIKADO-Algorithmus trainiert wird (CRUSE 1996). Dieses Verfahren hat gegenüber anderen sonst häufig verwendeten Trainingsverfahren wie zum Beispiel Backpropagation, zwei Vorteile. Das resultierende Netzwerk kann den Trainingsdatensatz unter sehr allgemeinen Bedingungen fehlerfrei auf die zu erkennenden Klassen abbilden und das Netzwerk wird nur so komplex konstruiert, wie es für die Bewertung notwendig ist. Das bedeutet, dass die Blindgänger, die in dem Trainingsdatensatz enthalten sind, auf jeden Fall richtig erkannt werden. Aufgrund der sehr großen Menge der Bilddaten, die verarbeitet werden muss, ist die Anwendung eines möglichst einfachen und schnellen Verfahrens für die Auswertung notwendig. Die Größe des resultierenden Netzwerkes ist entscheidend für die Geschwindigkeit, mit der die Bilder ausgewertet werden können. Im Interesse einer möglichst hohen Auswertungsgeschwindigkeit sollten daher nur verhältnismäßig kleine Netzwerke zum Einsatz kommen.

Die Forderung nach einer korrekten Klassifikation der für das Training verwendeten Beispieldaten ist in der Regel nicht hinreichend, um ein Netzwerk eindeutig

festzulegen. Wiederholt man das Training mit vertauschter Reihenfolge der Beispieldaten, so resultiert daher in typischen Fällen eine Lösungsvariante, die zwar ebenfalls die Trainingsaufgaben beherrscht, deren Generalisierungseigenschaften jedoch von denen des ersten Netzwerkes abweichen. Beide Netzwerke werden nicht fehlerfrei verallgemeinern können. Daher bietet sich die Erzeugung mehrerer unabhängiger Netze an, wobei jeweils die gleichen Trainingsdaten verwendet werden. Alle auf diese Weise gewonnenen Netzwerke beherrschen auf Grund der Konstruktionsvorschriften die korrekte Klassifikation der Trainingsdaten. Ihre Verallgemeinerungsfähigkeiten sind jedoch verschieden. Durch eine kollektive Analyse vermögen diese Netzwerke nun zufällige Eigenarten einzelner Klassifikatoren auszugleichen. Das Resultat ist eine erhebliche Steigerung der Beurteilungsfähigkeit gegenüber einem Einzelnetz (CRUSE et al. 1997).

2.4 Qualitätsanalyse und Abschätzung der Bearbeitungszeitersparnis

Letztendlich sind Luftbildauswertungen bezüglich so kleiner Strukturen wie Blindgängerkrater mit viel Erfahrungswissen verbun-

den. Interne Studien mit Parallelbewertung durch mehrere Experten und anschließender Diskussion führen zwar zu besseren Ergebnissen, sind jedoch wegen des Zeit- und Kostenaufwands nicht in die Praxis zu übertragen. Gegenüber internen Tests mit drei Experten hat sich das IMAGO-System zusammen mit einem Experten durch eine Vervielfachung der Auswertungsgeschwindigkeit bei gleichzeitig verbesserter Auswertungsqualität bewährt.

3 Operationelle Anwendung

Die zuvor dargestellte Methode zur automatischen Bilderkennung wurde unter anderem erfolgreich in zwei operationellen Projekten in den Niederlanden angewandt. Für beide Projektgebiete wurden jeweils eine Blindgängeranalyse und eine Erfassung von kriegsbedingten Anlagen durchgeführt.

3.1 Projektgebiet Oldenzaal

Oldenzaal in der Provinz Overijssel liegt 10 Kilometer nördlich von Enschede. Im Zuge einer Gewerbeflächenerweiterung von ungefähr 130 Hektar im Südwesten der Stadt, ließ die Gemeinde die Blindgängeranalyse und Kriegsanlagenenerfassung durchführen.

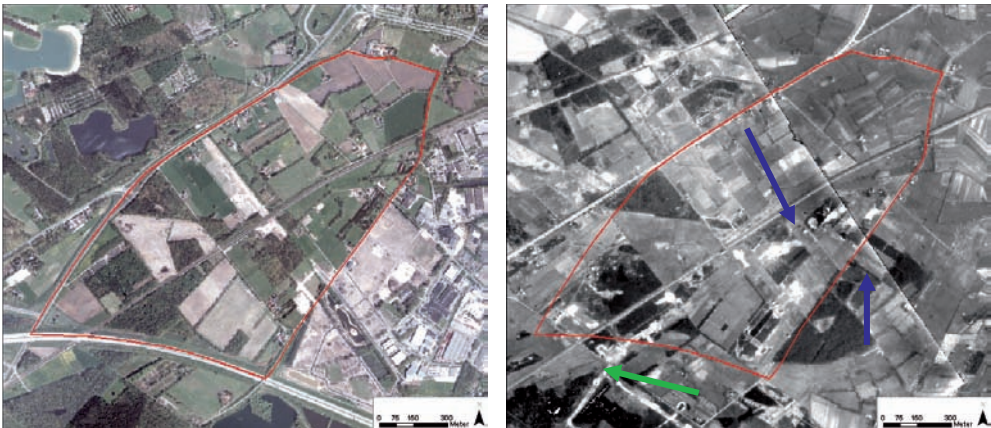


Abb. 2: Geplantes Gewerbegebiet Oldenzaal (rote Umrandung) links im Hintergrund Orthophotomosaik von 2001 und rechts Kriegsluftbild von 1945: Ausdehnung des Flughafens während des 2. Weltkrieges: Rollbahn (grüner Pfeil), ehemalige Tarnbereiche für die Wartung von Flugzeugen und Maschinen (blaue Pfeile).

Einen Kilometer südlich des Projektgebietes liegt der Flughafen „Enschede Airport Twente“, der bereits vor 1943 existierte. Während des Zweiten Weltkrieges wurde dieser mehrfach angegriffen, so dass im zwei Kilometer entfernten Projektgebiet getarnte Wartungsanlagen und ein Kommandostand im Wald errichtet wurden. In Abb. 2 ist die 1944 angelegte Verbindungsrollbahn (grüner Pfeil), die von den ehemals getarnten Wartungsbereichen für Maschinen und Flugzeuge (blaue Pfeile) zur Startbahn führt, gut erkennbar. Zusätzlich wurden unter anderem auch Radarstationen, Splitterboxen aber auch Attrappen vorgefunden.

Das zu untersuchende Gebiet weist auf den vorliegenden Luftbildern von 1943 bis 1945 keine Bombenkrater auf. Dennoch ist eine Blindgängeranalyse notwendig, da die Gefahr einzelner nicht detonierter Bomben besteht.

3.2 Projektgebiet Zutphen

Das zweite Projektgebiet liegt im Norden der Stadt Zutphen in der Provinz Gelderland. Im Abstand von 200 Metern um eine

neu geplante Bahntrasse wurden Krieglufbilder von 1944 bis 1945 hinsichtlich Blindgänger und Kriegsanlagen analysiert und digitalisiert. In dem 262 Hektar großen Untersuchungsgebiet wurden zahlreiche Anlagen wie Flakstellungen, Panzer- und Laufgräben, sowie Granateinschläge und vereinzelte Bombenkrater erfasst. Ein verstärktes Aufkommen von Kratern und Einmannlöchern ist im Bereich der Brücken über den Twentekanal festzustellen. Laufgräben und Flakstellungen sind im gesamten Untersuchungsgebiet verteilt, weisen allerdings eine höhere Dichte im näheren Umfeld zum Kanal auf.

3.3 Datenvorbereitung und Auswertung

Für die Bildauswertung wurden nach Recherchen von den niederländischen Archiven „Topografische Dienst Kadaster“ in Emmen und „Helpdesk Wageningen UR Library“ in Wageningen analoge Kopien der Krieglufbilder aus den Jahren 1943 bis 1945 ausgeliehen.



Abb. 3: Untersuchungsgebiet Zutphen (rote Umrandung) links im Hintergrund Orthophotomosaik von 1999 und rechts Krieglufbilder von 1944.

Für die Analyse standen für das Untersuchungsgebiet in Oldenzaal insgesamt 27, für Zutphen 34 Luftbilder aus den Jahren 1944 bis 1945 zur Verfügung. Zusätzlich wurde Oldenzaal komplett von einem Luftbild vom 04.05.1943 abgedeckt. Die Bilddaten lagen für die einzelnen Aufnahmezeitpunkte nicht immer flächendeckend vor und wiesen unterschiedliche Befliegungsmaßstäbe zwischen 1:7.600 und 1:8.000, in Oldenzaal bis 1:17.500 auf.

Die Bildkopien wurden von der EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH mit 1200 dpi gemäß der Vorgehensbeschreibung unter Abschnitt 2.1 gescannt und im Anschluss mit ERDAS Imagine 8.4 mit einer polynominalen Entzerrung 2. Ordnung mit Cubic Convolution in das Rijks Driehoeksystem (RD-System) transformiert. Für jedes Luftbild wurden 10 bis 15 Passpunkte verwendet. Die Referenzgrundlagen für die Entzerrung waren aktuelle Orthophotomosaik aus den Jahren 1999 (Zutphen) und 2001 (Oldenzaal). Die Auflösung der entzerrten historischen Luftbilder liegt bei 25 Zentimeter.

Parallel zur Georeferenzierung führte die Firma CLK GmbH die unter Kapitel 2 beschriebene automatische Bildererkennung der gescannten Luftbilder durch. Die von der Software IMAGO erzeugten Bildkoordinaten der Blindgängerverdachtspunkte wurden mit einer Fortran-Programmierung in die Koordinaten des RD-System umgewandelt. Die dafür verwendeten Parameter wurden zuvor während der Bildentzerrung in ERDAS Imagine exportiert.

Die gelieferten Verdachtspunkte wurden visuell überprüft und in unterschiedliche Klassen „Außerhalb des Projektgebietes“, „keine Blindgänger“, „Blindgänger mit geringer Wahrscheinlichkeit“, „Blindgänger mit mittlerer Wahrscheinlichkeit“ und „Blindgänger“ eingeteilt. Die letzten drei Klassen wurden kartografisch dargestellt.

Über die Internet-Seite diva.gisinternet.nl der Stiftung CAIRN ist es inzwischen möglich sich digitale Kriegsluftbilder für diverse Regionen in den Niederlanden mit einer reduzierten Auflösung, entsprechend ca. 100 dpi zu betrachten und zu bestellen.

3.4 Ergebnisse

Die Software IMAGO weist die möglichen Blindgängerobjekte mit einer hohen Empfindlichkeit aus, so dass sich der Bearbeiter bei der visuellen Kontrolle auf die Verdachtspunkte konzentrieren kann ohne das gesamte Luftbild überprüfen zu müssen. In der visuellen Kontrolle werden die Verdachtspunkte analysiert. In den hier beschriebenen Projekten wurden ungefähr 70% der im Projektgebiet liegenden Verdachtspunkte der Klasse „keine Blindgänger“ zugeordnet. Bei der automatischen Analyse wird jedes Bild für sich betrachtet. Erst bei der visuellen Kontrolle kann der Vergleich von überlappenden Luftbildern des gleichen Befliegungstages erfolgen. Wie die Abb. 4 zeigt, weisen die Luftbilder auf der linken Seite Strukturen auf, die zu einer Ausweisung von Verdachtspunkten geführt hat. Auf den rechten Bildausschnitten, die zum Vergleich herangezogen werden, sind die Strukturen nicht erkennbar. Bei diesen Strukturen handelt es sich um Bildstörungen, die fälschlicherweise als Verdachtspunkte erfasst worden sind.

Die häufigste Fehlklassifikation in Zutphen war die Erfassung von Einmannlöchern als Blindgängerverdachtspunkte (siehe Abb. 5). In diesen Fällen kam es zusätzlich zu einer mehrfachen Ausweisung von Verdachtsflächen identischer Objekte durch die Teilüberlagerung von Bilddaten.

Die übrigen 30% der Verdachtspunkte wurden aufgrund von Struktur, Form und Farbe und im Vergleich mit anderen Bilddaten als Blindgänger mit der Bewertung „Blindgänger mit geringer Wahrscheinlichkeit“ eingeordnet (siehe Abb. 6). Die Wahrscheinlichkeit auf Blindgänger in den Projektgebieten zu stoßen ist aufgrund des geringen Bombardements, wie bereits in den Abschnitten 3.1 und 3.2 beschrieben, äußerst gering. Die Entscheidung zur Überprüfung der noch bestehenden Verdachtsflächen vor Ort durch Experten der Kampfmitelbeseitigung wurde den Auftraggebern überlassen.

Die erzielten Erkenntnisse aus beiden Projekten, wie zum Beispiel die systemati-

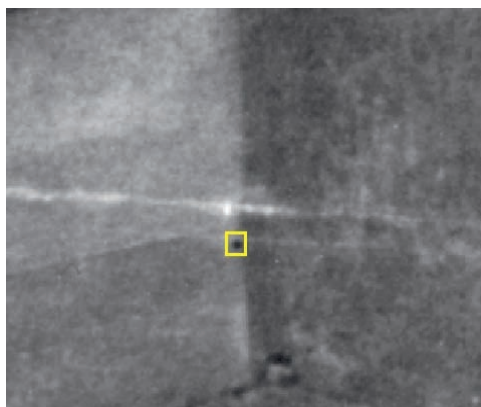


Bild 4065 (15.03.1945)

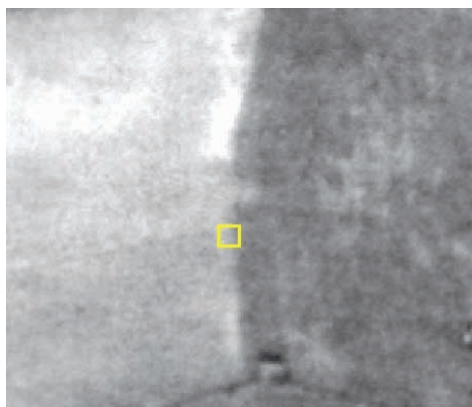


Bild 3064 (15.03.1945)

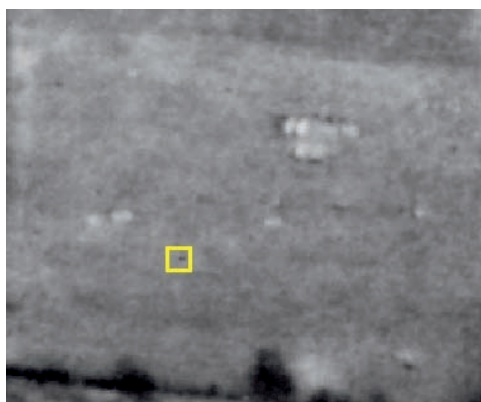


Bild 3064 (15.03.1945)

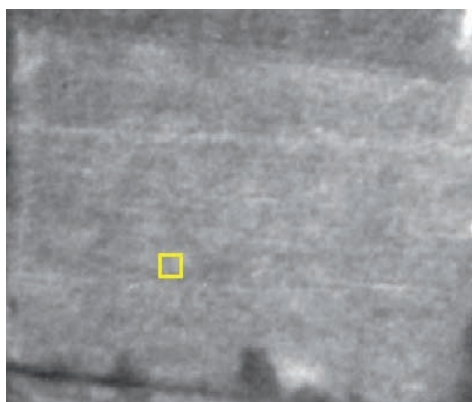


Bild 4065 (15.03.1945)

Abb. 4: Vergleich verschiedener Luftbilder vom gleichen Befliegungstag. Auf den linken Bildausschnitten sind Strukturen erkennbar, die zur Ausweisung von Verdachtspunkten geführt haben. Die rechten Bildausschnitte weisen diese Strukturen nicht auf.

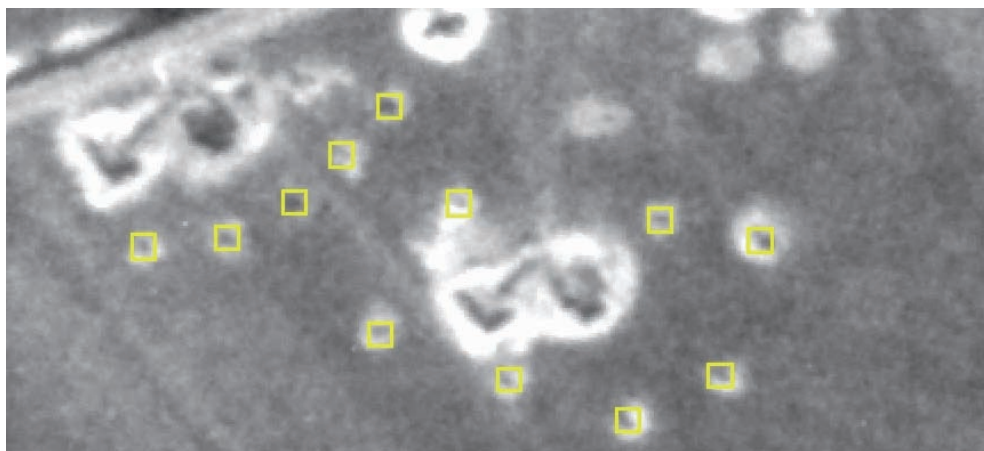


Abb. 5: Erfassung von Einmannlöchern als Blindgänger-Verdachtspunkte.

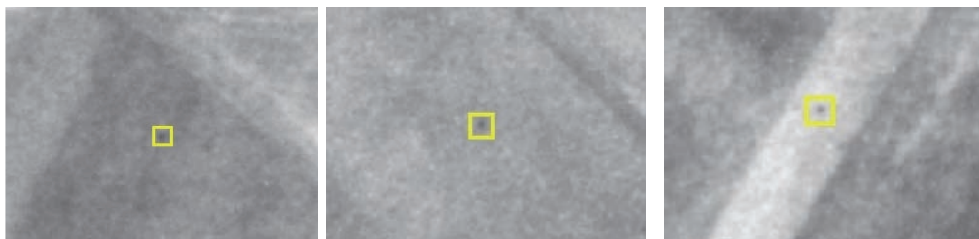


Abb. 6: Beispiele für ausgewiesene Verdachtspunkte als „Blindgänger mit geringer Wahrscheinlichkeit“.

sche Fehlklassifikation der „Einmannlöcher“ wurden in die Software- und Prozessentwicklung integriert. Im Beispiel der Einmannlöcher wurden diese als Trainingsdatensätze „Nicht-Blindgänger“ für die Neuronalen Netze verwendet.

Trotz der hohen Anzahl an Verdachtspunkten, die verworfen wurden, hat sich die Verwendung der Software IMAGO zeitlich und damit auch finanziell rentiert. Mit den durch die Software erzeugten Verdachtspunkten ist es für den Bearbeiter möglich, sich auf die ausgewiesenen Objekte zu konzentrieren. Objekte, die durch die visuelle Betrachtung schnell übersehen werden, werden in den Focus des Betrachters gerückt.

4 Ausblick

Dank der Arbeitsbeschleunigung durch die Anwendung von IMAGO verspricht die neue Technologie hohe Potenziale im operationellen Betrieb. Eine praxisorientierte Weiterentwicklung der Technologie wird durch beide Unternehmen angestrebt. Eine Anwendung der Technologie außerhalb der Blindgängerauswertung wird derzeit erprobt und ist viel versprechend.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich im Namen der Firmen Cruse Leppelmann Kognitionstechnik GmbH und EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH bei allen beteiligten Partnern (EFTAS Nederland v.o.f., Topografische Dienst Kadaster in Emmen, Helpdesk Wageningen UR Library in Wageningen, Provinzie Gelderland, Stadt Oldenzaal) für die gute Zusammenarbeit.

Literatur

- BOHN, M., 1996: Gefährdungsabschätzung von Altmunition und Boden-Sprengstoff-Gemischen. – Vortrag im Rahmen des CCG-Seminar WB 7.12 „Probleme der Kampfmittelbeseitigung“ vom 17–21. Juni 1996 in Weil am Rhein, 37 S.
- CRUSE, C., 1996: Konzepte zur Optimierung der Effizienz künstlich intelligenter Systeme. – Dissertation Universität Münster.
- CRUSE, C., LEPPELMANN, S., BURWICK, A. & BODE, M., 1997: Applications of the constructive Mikado algorithm on remotely sensed data. – Neurocomputing in Remote Sensing Data Analysis, Springer, Berlin.
- MÜTERTHIES, A., THIADENS, H., JANSEN, J., CRUSE, C. & DRIEßEN, S., 2004: Automatische internetgestützte Identifikation von Gebieten mit Kampfhandlungen im zweiten Weltkrieg zur Blindgängerdetektion. – Schlussbericht zum KIIB Projekt M13-D-05/04-5.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geografin CLAUDIA LÜCKE und Dr. ANDREAS MÜTERTHIES, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: Claudia.Luecke@eftas.com, Andreas.Mueterthies@eftas.com

Dr. CARSTEN CRUSE, Cruse Leppelmann Kognitionstechnik GmbH, Technologiehof Mendelstraße 11, D-48149 Münster, Tel. +49-251-980-2087, Fax: +49-251-980-2089, email: info@clkgmbh.de

Manuskript eingereicht: August 2007
Angenommen: September 2007