

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	10 (2003), 1/2	S. 7 - 18	12 Abb., 11 Lit.
----------------------------------	--------------	----------------	-----------	------------------

## Airborne Laserscanning als Ergänzung der Erkundungsmethodik von Braunkohlen-Altbergbau

### Airborne Laserscanning, an additional technique for evaluation of hazards caused by underground lignite mining

UWE MÜNCH & PETER NESTLER

#### 1. Aufgabenstellung

Im Land Brandenburg existieren zahlreiche Relikte alten Braunkohlenbergbaus, der mehr als 150 Jahre zurück liegt. Gegenwärtig sind aus der Zeit des alten Braunkohlentiefbaus ca. 270 ehemalige Gruben bekannt. Daraus resultieren durch Zubruchgehen unverwahrter oder unzureichend verwahrter Strecken und Schächte erhebliche Gefahren für die öffentliche Sicherheit, denen möglichst präventiv durch Erkundung und Verwahrung zu begegnen ist. Auf brandenburgischem Gebiet konnten inzwischen rund 25 Jahre Erfahrungen bei der Gefahrenabwehr und planmäßigen Sicherung dieser Hinterlassenschaften gesammelt werden (NESTLER 2001). Vielfach bewährt hat sich folgende vereinfachte dargestellte Vorgehensweise

- Recherche nach alten Rissunterlagen aus der Betriebszeit des Bergbaus
- Prüfung der Plausibilität der inneren Logik und Genauigkeit der Altunterlagen
- Zulegen der Betriebsrisse zur aktuellen Topographie (Darstellung in der Regel 1 : 1 000)
- Gefährdungsbewertung für Schutzgüter an der Tagesoberfläche
- Durchführung von Erkundungs- und Verwahrungsarbeiten in Schwerpunktbereichen

Oftmals bestehen jedoch begründete Zweifel an der Vollständigkeit der Originalrisse. So wurden in den Betriebsphasen die Rissunterlagen z. T. nicht vollständig oder nicht korrekt nachgetragen. Gelegentlich ist auch das gesamte Risswerk von Gruben verschollen, so dass nur sehr vage Angaben über die Bergbauaktivitäten vorliegen, ohne das Grubenfeld in seiner Lage definieren zu können.

Es sind in der Vergangenheit bereits zahlreiche Schadensereignisse wie Tagesbrüche, Bodensenkungen etc. randlich oder außerhalb bekannter Einflussbereiche von Braunkohlentiefbauten mit z. T. erheblicher Gefährdung der öffentlichen Sicherheit aufgetreten, so dass dieser mangelnde Kenntnisstand nicht hinnehmbar ist. Zwar wird seit Jahren versucht, über indirekte Methoden zum Nachweis unterirdischer Hohlräume Kenntnis über die Lage von Grubenbauten zu erhalten, bislang jedoch ohne verwertbare Ergebnisse. So wurde zuletzt 1999 im Auftrag des LGRB in einem mit einer

Wohnsiedlung überbauten Bruchfeld der alten Braunkohlengrube „Lusatia/Concordia“ in Spremberg durch Einsatz der Geoelektrik der Versuch unternommen, Resthohlräume nachzuweisen, da mehrfach Tagesbrüche mit erheblichem Gefahrenpotenzial aufgetreten waren. Die relativ geringe Teufenlage der mutmaßlichen Hohlräume und die Tatsache, dass die Grubenbaue durch den Einfluss der Grundwasserabsenkung durch den Braunkohlentagebau Welzow-Süd zur Zeit trocken gefallen sind (üblicherweise liegen alte Braunkohlenabbau unterhalb des Grundwasserspiegels und sind damit wassergefüllt), schien der Einsatz der Geoelektrik Erfolg versprechend. Eine Messkampagne mit hoch auflösenden geoelektrischen Pseudosektionen lieferte jedoch keine Ergebnisse (STOLL 1999). Im Rahmen einer Diplomarbeit an der TU Berlin wurde der Stand der Technik zu den Möglichkeiten des indirekten Hohlraumnachweises einschließlich der Fernerkundungsmethoden recherchiert (MARTIN 2001). Außer aufwendigen bohrlochtomographischen Verfahren, die ihrerseits für einen großflächigen Nachweis von Altbergbaurelikten ebenfalls ungeeignet sind, ergaben sich auch hieraus keine neuen methodischen Ansätze.

Erste ermutigende Ergebnisse aus Fernerkundungsdaten zum Nachweis von Gefahren aus untertägigem Bergbau (KÜHN, TREMBICH et al. 1998) waren Anlass, die Anwendung eines hochauflösenden luftgestützten Laserscanning-Verfahrens zu testen, zumal mit dieser Methodik inzwischen Höhengenaugigkeiten im Bereich von  $\pm 15$  cm erreicht werden (LOHR 1998, WEHR & LOHR 1999). Die ebenfalls zur Diskussion stehende luftgestützte Photogrammetrie wurde auf Grund gravierender Nachteile gegenüber dem Laserscanning, insbesondere wegen der Nichtdarstellbarkeit der Geländeoberfläche bei Baumbestand, verworfen (BALSAVIAS 1999).

An einem ausgewählten Beispiel sollte ein im Meterbereich horizontal und im Dezimeterbereich vertikal auflösendes Geländemodell erstellt werden, um daraus Indikationen auf Gefährdungen durch Altbergbaurelikte durch Vergleich mit terrestrischen Daten zu verifizieren. Es sollte insbesondere geprüft werden, inwieweit sich vorhandene Streckenverläufe, Bruchtrichter, Abbaubereiche, Bruchfelder, versteckte Hochbrüche, Schächte und Kippenbereiche am digitalen

Geländemodell erkennen lassen. Darin eingeschlossen war eine spezielle Prüfung hinsichtlich der Übereinstimmung der Abbaugrenzen mit den Betriebsrissen, die Abgrenzung eventuell nicht risskundiger Abbaue usw.

Bei positivem Ergebnis sollen die luftgestützte Laserscanning-Aufnahme bzw. die daraus abgeleiteten Geländemodelle dort angewandt werden, wo keine oder nur mangelhafte Altbergbaurisswerke vorliegen. Mit Hilfe dieses indirekten Verfahrens soll möglichen Gefahren für die öffentliche Sicherheit präventiv begegnet werden können.

Für die als Testobjekt ausgewählte ehemalige Braunkohlengrube „Conrad“ bei Döbern liegt ein gut orientiertes aktuelles Altbergbaurisswerk in Form einer sogenannten „Bergschadenkundlichen Analyse“ vor (IHRKE & KLEITZ 1995), dessen Lagegenauigkeit durch bereits ausgeführte Sanierungsarbeiten bestätigt wurde.

Mit der Auswahl des großflächig von Altbergbau beeinflussten Gebietes um die Ortslage Döbern sollten gleichzeitig vorhandene Defizite bei der noch nicht flächendeckenden großmaßstäblichen topographischen Aufnahme der Altbergbauflächen beseitigt werden. Eine terrestrische Aufnahme war im Maßstab 1 : 1 000 bisher aus Kostengründen und wegen der oftmals fehlenden Sichtbeziehungen nur teilweise erfolgt. Schließlich wurde auch die Aussicht auf eine vielseitige Nutzung der Daten über die Altbergbauproblematik hinaus, z. B. für die strukturgeologische Auswertung der glazigen Lagerstörungen im Muskauer Faltenbogen (s. STÄCKEBRANDT und KUPETZ, dieses Heft), Nutzung für hydrographische Zwecke u. a., bei der Wahl des Testgebiets berücksichtigt.

## 2. Methodische Aspekte

### 2.1 Beschreibung der Geologie und Morphologie des Altbergbauobjektes

Die ehemalige Braunkohlengrube „Conrad“ bei Groß Kölzig liegt im Spree-Neiße-Kreis im südlichen Brandenburg zwischen den Gemeinden Bohsdorf-Vorwerk im Westen, der

Stadt Döbern im Osten, Groß Kölzig im Norden und Friedrichshain im Süden (siehe Lageskizze, Abb.1) Das Gebiet der ehemaligen Grube hat eine Nord-Süd-Ausdehnung von ca. 4 200 m und eine Ost-West-Er Streckung von ca. 1 500 m und gehört zum Landschaftsschutzgebiet „Wald- und Restseen-gebiet von Döbern“.

Bei dem hier beschriebenen Altbergbauobjekt „Conrad“ handelt es sich um die ehemals größte Braunkohlengrube der Lausitz, in welcher Braunkohle im Tiefbau gewonnen wurde. Der Grubenbetrieb begann im Jahre 1860, währte fast 100 Jahre und wurde 1959 geschlossen. Allein die Länge der vorhandenen untertägigen Strecken beträgt mehr als 39 km. Es wurden hier bis zu 22 Sohlen aufgefahren.

Die ehemalige Grube liegt am östlichen Rand des Niederlausitzer Grenzwalls. Bei diesem handelt es sich um einen von Nordost nach Südwest ziehenden Endmoränenzug mit glazigen aufgestauchten, tonig-sandigen miozänen Braunkohlenschichten. Das Untersuchungsgebiet gehört zum Westteil des Muskauer Faltenbogens. Durch einen Gletschervorstoß während der Elster-II-Kaltzeit wurden die vor der Gletscherzunge lagernden Sedimente bis unter das Niveau des 2. Lausitzer Braunkohleflöz intensiv gefaltet und verschuppt.

Spätere Eisvorstöße haben den mächtigen Stauchendmoränenbogen mehrfach überfahren und bis etwa die Hälfte der ursprünglichen Stauchungshöhe eingeebnet. Ausführliche genetische Interpretationen zum Muskauer Faltenbogen sind von KUPETZ (1997) vorgenommen worden.

Die einsetzende Verwitterung der in den Sattelköpfen und Kohleschuppen oberflächennah anstehenden Braunkohle führte durch die Volumenreduzierung zur Herausbildung einer Vielzahl langgestreckter, schmaler, kleiner Täler mit Nord-Süd-Streichen, der so genannten Gieser, welche die morphologische Grundstruktur des Gebietes kennzeichnen. Durch die über 100 Jahre währende bergbauliche Tätigkeit wurde die Landschaft darüber hinaus nachhaltig überprägt.

### 2.2 Braunkohlengewinnung und deren Hinterlassenschaft

Der Braunkohlenbergbau im Objekt „Conrad“ begann hier wie in einer Vielzahl weiterer Gruben im Muskauer Faltenbogen zunächst in den leicht gewinnbaren oberflächennahen Flözbereichen im Tagebau und folgte dann den meist ostwärts einfallenden Flözen als Tiefbau.

Die Ausrichtung der Lagerstätte erfolgte durch saigere oder tonnenlägige Schächte (schiefe Ebenen). Die durch die Vorrichtungsstrecken gebildeten Pfeiler wurden durch die Herstellung einzelner Abbaukammern, sogenannter „Brüche“ ausgekohlt. Der Abbau erfolgte versatzlos als Pfeilerbruchbau. Es entstanden Abbauorte von quadratischer oder rechteckiger Grundfläche (4x5 m oder kleiner) mit einer Höhe von maximal 4 m, die nach Beendigung des Abbaus durch Rauben der Zimmerung zu Bruch geworfen wurden. Dies erfolgte, im Gegensatz zu den Vorrichtungsstrecken und Schachtanlagen bereits systematisch während des aktiven Bergbaubetriebs. Nicht in jedem Fall konnte vor Beginn des Zubruchwerfens einer Abbaukammer der Ausbau völlig gegraubt werden. Problematisch sind die dabei verbliebenen

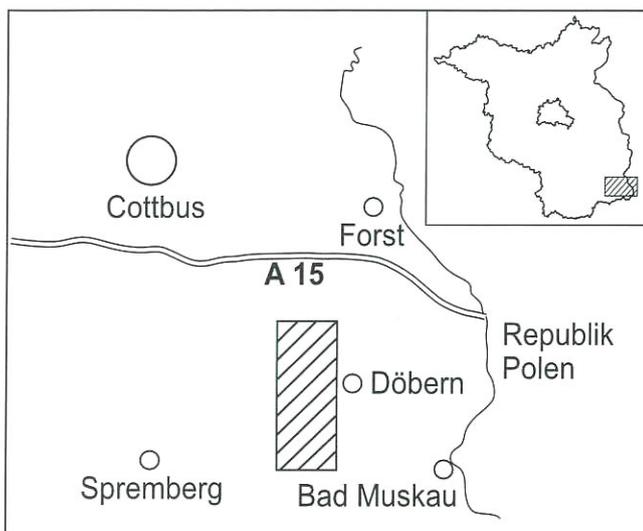


Abb.1 Lage des Untersuchungsgebietes  
Fig. 1 Location of the study area

Resthohlräume, die von Zeit zu Zeit Tagesbrüche (< 2 m) verursachen können.

In den Abbaufeldern kam es durch das Zubruchwerfen der ausgekohnten Abbaue und das damit verbundene Hochbrechen an die Erdoberfläche zu den teils heute noch deutlich sichtbaren Bruchfeldern. Diese stellen zwar eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit dar, Sanierungsarbeiten durch Verfüllung von Resthohlräumen sind aber in aller Regel nicht sinnvoll und wirtschaftlich nicht vertretbar. Der Sanierungserfolg wird dabei meist zweifelhaft sein, da die einzelnen Abbaukammern, Bruchstrecken und Pfeilerstrecken im Allgemeinen nicht der Dokumentationspflicht gemäß Vorschriften zum Bergmännischen Risswerk unterlagen und sie damit im Rahmen von so genannten Bergschadenkundlichen Analysen (BSA) bzw. Gefährdungsanalysen (GFA) in Bezug auf die Tagesoberfläche nicht darstellbar sind.

Die anstehenden Sedimente über den einzelnen Abbaukammern, die in der Regel durchschnittlich eine Fläche von 20 m<sup>2</sup> einnahmen, sind daher generell als aufgelockert zu betrachten. Die einzelnen Abbaukammern mussten, technologisch bedingt, durch Sicherheitspfeiler voneinander abgetrennt werden. Über diesen Bereichen sind die Lagerungsverhältnisse weniger verändert. Es ergibt sich somit auf kürzester Entfernung (<10 m) ein Wechsel von stark aufgelockerten und dichteren Bereichen. Damit ist neben großen Setzungsbeträgen vor allem auch mit sehr großen Setzungsdifferenzen zu rechnen.

Im Bereich der ehemaligen Grube „Conrad“ sind diese Bruchfelder noch heute gut sichtbar. Die betroffenen Flächen sind weder forstwirtschaftlich noch anderweitig nutzbar und sind wegen der noch immer bestehenden Tagesbruchgefahr gegen Betreten gesperrt.

Die Strecken wurden in Deutscher Türstockzimmerung ausgebaut oder als Wölbstrecken (ohne Ausbau) ausgeführt, einige gemauert. Letzteres erfolgte gelegentlich bei der Durchörterung von Sicherheitspfeilern für Wege, Straßen u. a. Schutzgüter. Die aufgefahrenen Strecken hatten einen Querschnitt von 2,7 - 3,5 m<sup>2</sup>. Es ist davon auszugehen, dass die Strecken innerhalb der Abbaubereiche wahrscheinlich mehrheitlich mit zu Bruch gegangen sind. Vorrichtungsstrecken außerhalb der Abbaue sind in der Regel unverwahrt geblieben. Der nur zeitlich begrenzt wirksame Ausbau verblieb meist in den Vorrichtungsstrecken, so dass nach dem Verrotten dieses Ausbaus ein verstärktes Bruchgeschehen einsetzte, welches ebenfalls seine Wirkung auf die Tagesoberfläche entfaltete. Dies dokumentiert sich in Form von Tagesbrüchen, Bodensenkungen und bruchgefährdeten Bereichen.

Unter Wegen und innerhalb von Sicherheitspfeilern wurden die Strecken teilweise noch während der Betriebsphase mit Sand versetzt. Die Grubenbaue sind zum größten Teil wassergefüllt.

Die durch die bergbauliche Tätigkeit verursachten Tagebaurestlöcher sowie die aus dem Tiefbau herrührenden Senkungs- und Bruchfelder bedingten nach Wiederaufgehen des Grundwassers eine Vielzahl von wassergefüllten, meist rinnenartigen Restlöchern und Restseen, die heute diese Landschaft prägen.

Inwieweit sich die Auswirkungen der untertägig vorhandenen Hohlräume in Deutlichkeit und Form an der Tagesoberfläche dokumentieren und dort dann mit den üblichen Technologien auch erkannt werden können, hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab, die gleichzeitig wirksam sein können, sich aber nicht zwangsläufig bedingen.

Hierzu zählen beispielsweise

- die Teufenlage der untertägigen Grubenbaue,
- die Volumina der ursprünglich vorhandenen untertägigen Hohlräume,
- das Vorhandensein eines Ausbaus und dessen Art der Ausführung sowie dessen aktueller Zustand (Funktionalität),
- die geologischen Lagerungsverhältnisse (gestört oder ungestört)
- die Art der hangenden Sedimente (geologische Schichtenfolge),
- die Art der Beanspruchung der Tagesoberfläche, z. B. anthropogene Veränderungen
- hydrologische Faktoren

### 2.3 Datengrundlagen

Die Technologie des Laserscannings wird in den letzten Jahren verstärkt zur Erkundung der Erdoberfläche, aber auch in der Höhlenforschung etc. angewandt. Die Systeme können sowohl terrestrisch als vom Flugzeug oder Hubschrauber aus betrieben werden. Wesentliche Anwendungsgebiete für diese vergleichsweise junge Technologie waren in den letzten Jahren die Geländeüberwachung sowohl in aktiven Tagebauen, von Deponien und bei der Bergbausanierung als auch in den Bereichen Wasserwirtschaft, Küsten- und Hochwasserschutz, Stadt-, Netz- und Trassenplanung sowie für forstwirtschaftliche Belange. Für den hier zu diskutierenden Anwendungsfall kommt ausschließlich eine luftgestützte Aufnahme in Betracht.

Die Grundlage für die vorliegenden Untersuchungen bildeten Messdaten von Laserscanning-Befliegungen im Bereich des Muskauer Faltenbogens.

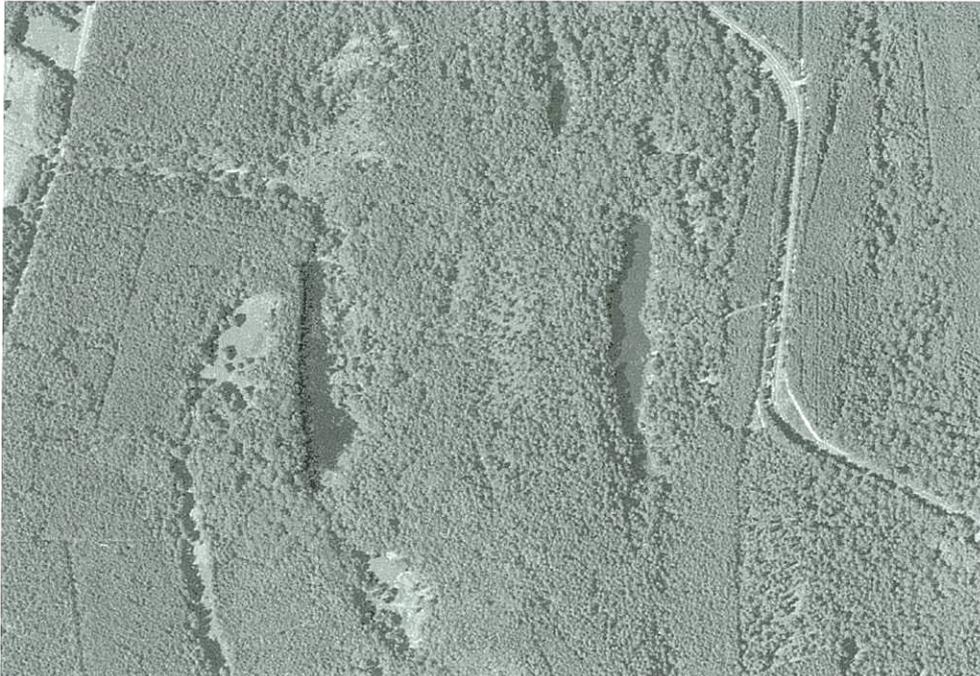
Voraussetzung war eine Befliegung außerhalb der Vegetationsperiode, um bei der anschließenden Auswertung möglichst viele Referenzpunkte auf der Erdoberfläche zu erhalten. Eine Wetterlage mit Schneebedeckung schied auch aus, da hierbei die Konturierung der Zielstrukturen verschwindet.

Aus organisatorischen Gründen musste eine Spaltung in zwei Messkampagnen in Kauf genommen werden, was zu erheblichem Zeitverlust und aufwendigen Nacharbeiten zur Datenhomogenisierung führte.

In einem ersten Schritt der Auswertung erfolgte die Erstellung des digitalen Höhenmodells DSM (Digital Surface Model), welches die Geländeoberfläche einschließlich der Vegetation, Bebauung usw. exakt beschreibt. Die darauf folgende Bearbeitung lieferte das Höhenmodell der Erdoberfläche DTM (Digital Terrain Model) ohne Vegetation und Bebauung.

### 3. Ergebnisse

Insbesondere in Gebieten mit hohem und dichtem Aufwuchs wie Waldgebieten ist es aufgrund der Unzugänglichkeit und schlechten Einsehbarkeit am Boden schwierig und sehr aufwendig, mit den konventionellen Methoden die Auswirkungen des untertägigen Bergbaus an der Erdoberfläche zu erkennen und zu dokumentieren.



*Abb. 2a  
Konventionelles  
Orthofoto  
Fig. 2a  
Conventional  
orthophoto*



*Abb. 2b  
Bild des DSM  
Fig. 2b  
Generated DSM*

Durch den vegetationsbedingten unterschiedlichen Aufwuchs in den Gelände-Mulden und -Sätteln kommt es darüber hinaus oft zu einer weitgehenden Nivellierung der Aufwuchsoberkante der Vegetation, so dass morphologische Unterschiede (und dazu zählen auch Bergbaurelikte) sowohl im konventionellen Orthofoto (Abb. 2a) als auch in Aufnah-

men des Laserscans mit Bebauung und Bewuchs (DSM) (Abb. 2b) nur schwer zu identifizieren sind. Erst nach weiterführender Bearbeitung durch datentechnische Eliminierung von Vegetation und Bebauung (DTM) wird das Raster der Tagesbrüche und Senkungsbereiche deutlich sichtbar (Abb. 2c).

Wie die Abbildungen 3a bis 3c zeigen, ist die Identifikation von ehemaligen untertägigen Abbaubereichen anhand der



Abb. 2c  
Gleicher Bild-  
ausschnitt des  
DTM

Fig. 2c  
Generated DTM  
(same area)

Abb. 2 a - c

Bergbaulich intensiv beeinflusste Region westlich der B 115 (rechter Bildteil) zwischen Ortslage Bohsdorf-Vorwerk und Döbern im Vergleich der verschiedenen Aufnahmetechniken, Maßstab etwa 1:14 000

Fig. 2 a - c

Former mining area west of main road B 115. Comparison of several measurement techniques (Scale about 1 : 14 000)



Abb. 3a  
Konventionelles  
Orthofoto

Fig. 3a  
Conventional  
orthophoto

DTM-Darstellungen der Laserscanning-Aufnahmen relativ einfach möglich. Voraussetzung ist jedoch, dass sich die Auswirkungen des ehemaligen Abbaus in Form der typischen Bruchfeldraster auch direkt an der Tagesoberfläche dokumentieren. Während auf dem Bild des konventionellen Orthofotos Bruchtrichter ausschließlich auf der unbewaldeten Fläche erkennbar sind und sich im umliegenden Waldgebiet

keine Anzeichen für eine ehemalige bergbauliche Tätigkeit finden, wird aus dem Bildausschnitt des DTM (ohne Bewaldung) eine Vielzahl von Bruchtrichtern vor allem im Waldgebiet südlich und östlich des waldfreien Areals erkennbar, welche sich auch flächenhaft gruppieren lassen. Aus der Darstellung des bergmännischen Risswerks sind die Grenzen des ursprünglichen Abbaus ableitbar.

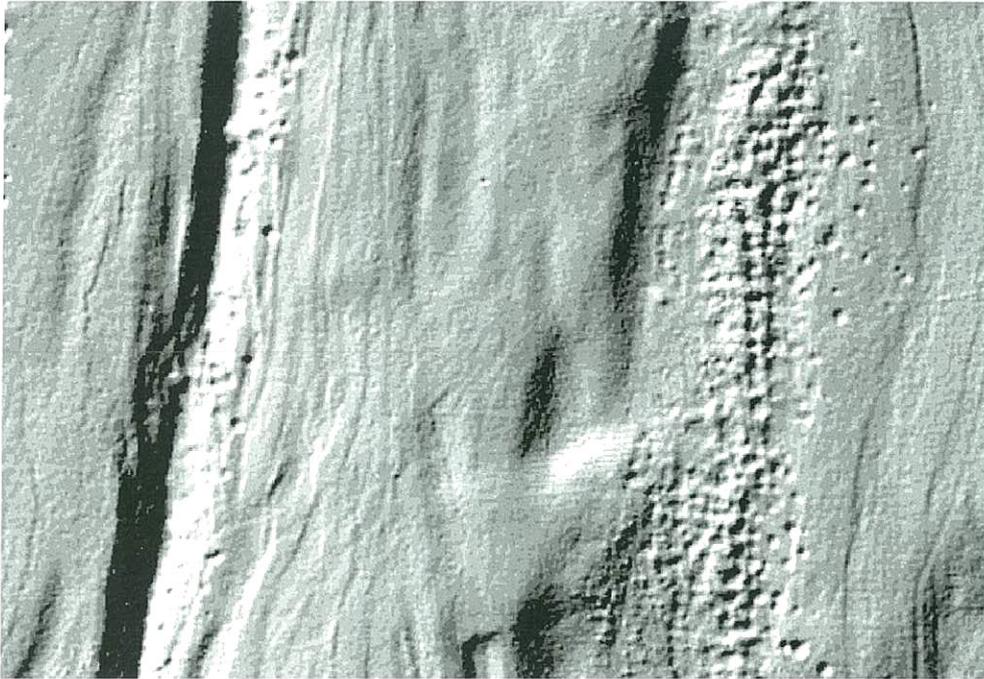


Abb. 3b  
Bild des DTM

Fig. 3b  
Generated DTM

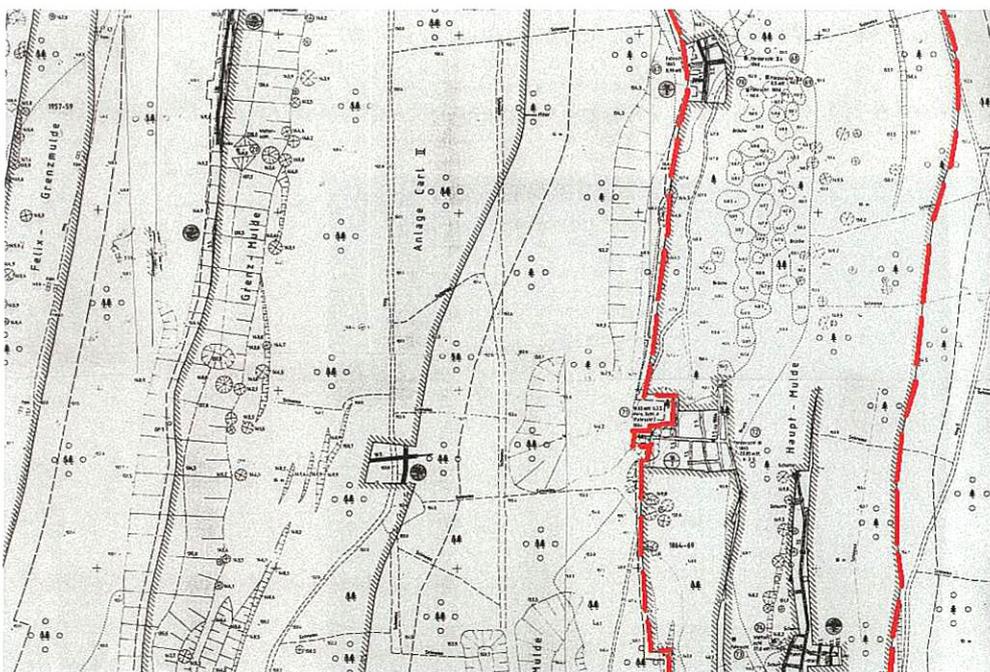


Abb. 3c  
Terrestrische Aufnahme (Ausschnitt aus dem Betriebsriss der Bergschadenkundlichen Analyse, rot gekennzeichnet ist der betrachtete Bergbaubereich)

Fig. 3c  
Detail of the mining map - Common terrestrial geodetic survey (red marked: the selected mining area)

Abb. 3 a - c

Vergleich der Informationsdichte für Altbergbaurelikte zwischen Orthofoto, DTM-Auswertung und terrestrischer Geländeaufnahme in Bereichen ohne höheren Aufwuchs (siehe v.a. rechte Bildhälfte, Gebiet zwischen Ortslage Döbern und Bohsdorf, Bereich Hauptmulde, Maßstab etwa 1 : 7 000)

Fig. 3 a - c

Comparison of information density about decommissioned mining facilities between ortho-photogrammetry, Laser-DTM and conventional terrestrial measurement (Scale about 1 : 7 000)

Der Vergleich der im Risswerk der bergschadenkundlichen Analyse dokumentierten Tagesbrüche mit dem Bild der DTM-Aufnahme offenbart den enormen Aufwand, der notwendig wäre, um alle bisher existierenden Brüche mit den konventi-

onellen Dokumentationsverfahren zu erfassen (Abb. 3a-c). Nicht immer wird es jedoch notwendig sein, all diese Brüche zu dokumentieren, insbesondere dann nicht, wenn eine aktuelle bergschadenkundliche Analyse vorliegt und keine

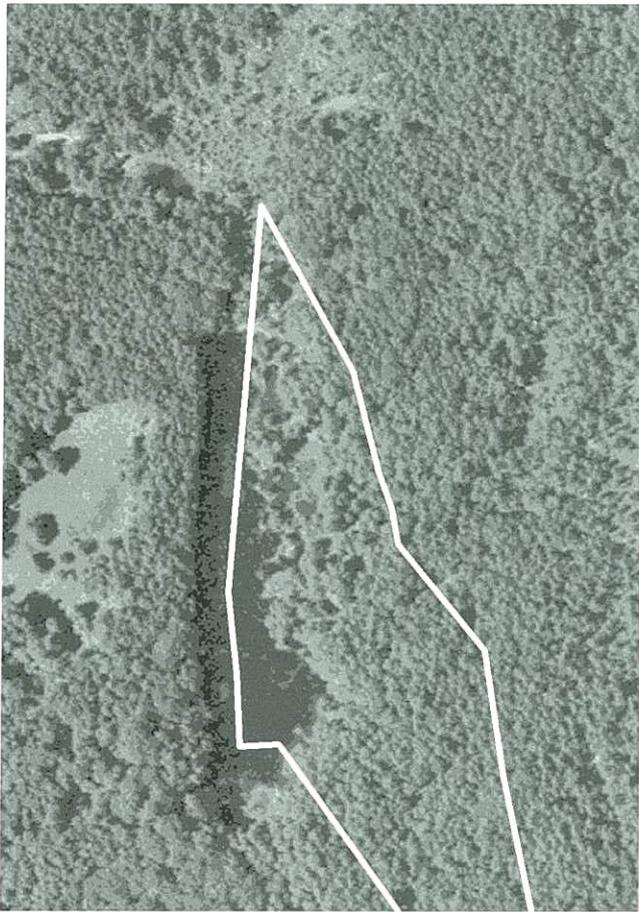


Abb. 4a Konventionelles Orthofoto  
Fig. 4a Conventional orthophoto

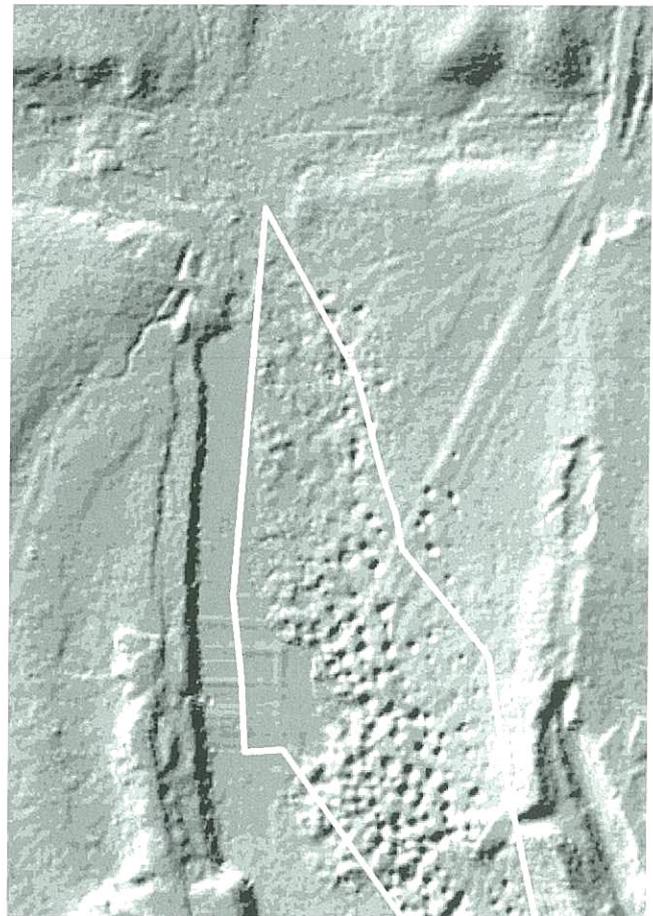


Abb. 4b Bild des DTM  
Fig. 4b Generated DTM

Abb. 4 a, b

Vergleich der Informationsdichte für Altbergbaurelikte zwischen Orthofoto und DTM-Auswertung: Außerhalb der weiß umrandeten risskundigen ehemaligen Abbaubereiche sind im Nordosten deutlich Bruchtrichter zu erkennen, die von weiter reichender bergbaulicher Inanspruchnahme zeugen (Maßstab etwa 1:4 500)

Fig. 4 a, b

Comparison of information density between ortho-photogrammetry and Laser-DTM for waste-areas: Outside of (white marked) well-known former extraction fields further sink holes could be seen which may be the evidence of extending of extraction in the north-east direction.

Anhaltspunkte dafür existieren, dass das Risswerk unvollständig sein könnte. Wenn aber eben diese Kenntnisse nicht vorliegen, kann die Erfassung und Dokumentation der gefallenen Brüche sowie der Geländeabsenkungen wichtige Hinweise zur Dokumentation und auf weitere, bislang unbekannte unterirdische Hohlräume liefern. Andererseits ist es bei Vorhandensein vollständiger Betriebsrisse zum Altbergbau möglich, Aussagen darüber zu treffen, in welchen Bereichen des ehemaligen Bergbaugebiets aufgrund der bisherigen Bruchtätigkeit und der vorhandenen Bruchtrichter zukünftig mit weiterem Bruchgeschehen zu rechnen sein wird. Dies wird dort der Fall sein, wo die vorhandenen Hohlräume nicht oder unvollständig zu Bruch gegangen sind bzw. sich sogenannte „hängende Brüche“ noch unter der Tagesoberfläche befinden und eine erhebliche Gefährdung für die öffentliche Sicherheit darstellen. Die Abbildungen 4a und 4b zeigen für einen Bereich westlich der B 115 Brüche bis 10 m Durchmes-

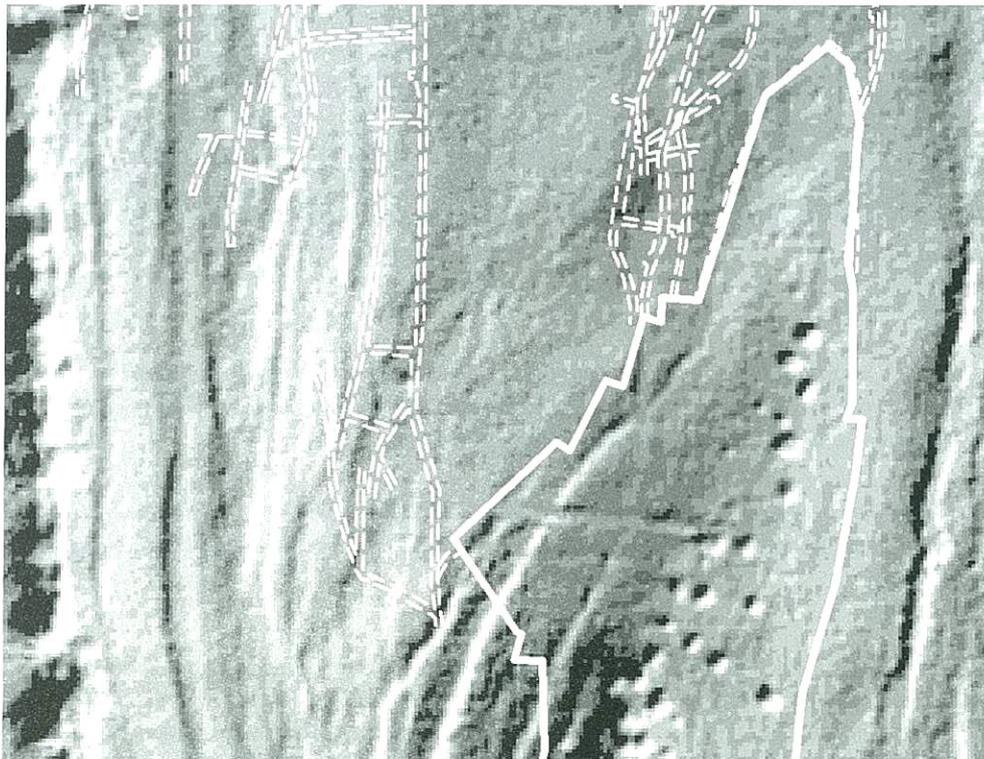
ser, welche entweder auf ehemalige Abbaubereiche oder nicht risskundige Strecken schließen lassen. Die im Bild weiß umrandete Fläche dokumentiert den risskundigen Bereich der ehemaligen Abbaue. Deutlich sichtbar ist die Vielzahl der nordöstlich dieser Fläche vorhandenen Brüche, für deren Interpretation keine risslichen Unterlagen existieren. Liegen für ein Untersuchungsgebiet entsprechende Aufnahmen des Laserscannings (DTM-Aufnahmen) vor, ist es relativ schnell möglich, jene Bereiche auszuhalten, in denen sich Unstimmigkeiten zwischen diesen und dem bisherigen vorhandenen Kenntnisstand aus den risslichen Unterlagen ergeben, die mit geeigneten anderen direkten oder indirekten Untersuchungsverfahren abzuklären sind.

Die einzelnen ausgekohlten Abbaukammern wurden entsprechend der angewandten Technologie des Pfeilerbruchbaus unmittelbar nach Beendigung der Gewinnung, gezielt und



*Abb. 5a  
Konventionelles  
Orthofoto*

*Fig. 5a  
Conventional  
orthophoto*



*Abb. 5b  
Bild des DTM*

*Fig. 5b  
Generated DTM*

*Abb. 5 a, b  
Vergleich des Informationsinhaltes zu Bergbaurelikten zwischen Orthofoto und DTM-Aufnahme innerhalb des umrahmten Abbaubereiches (Maßstab etwa 1 : 4 200)*

*Fig. 5 a, b  
Comparison of information density about decommissioned mining facilities between ortho-photogrammetry and Laser-DTM (scale about 1 4 200). Dashed lines: former mining roadway-systems.*

systematisch zu Bruch geworfen und damit in der Regel auch die mehr oder weniger vollständigen Bruchfelder an der Tagesoberfläche initiiert. Die Strecken dagegen wurden in der Regel weder versetzt noch anderweitig gesichert. Der unter

Tage verbliebene Ausbau verfällt jedoch, je nach örtlicher Situation unterschiedlich schnell im Laufe der Zeit und führt letztendlich dazu, dass es hier im Vergleich zu den Abbauen zu einem zeitlich deutlich verzögerten Bruchgeschehen

kommt. Selbst noch teils über 100 Jahre nach Beendigung des Bergbaus ist dies in einer Reihe von ehemaligen Bergbaubauobjekten im Lande Brandenburg auch aktuell der Fall und wird auch zukünftig ein Problem darstellen, welchem auch präventiv zur Gefahrenabwehr zu begegnen ist.

So lange dieses Bruchgeschehen jedoch nicht eingesetzt hat und auch Hochbrüche vom ursprünglichen Strecken- bzw. Abbauniveau noch nicht zu Tage gebrochen sind, lassen sich Bereiche mit ehemaligem untertägigen Bergbau auch nicht anhand von Sekundärmerkmalen erkennen. Auch wenn das Areal in einer großen Intensität und Dichte durchörtert ist, muss sich dies nicht an der Erdoberfläche dokumentieren, so dass es mittels der gewählten Methodik nicht erkennbar ist. Ein Beispiel für eine solche Fläche zeigen die Abbildungen 5a und 5b. Weder auf dem konventionellen Orthofoto, noch auf der Aufnahme des DTM lassen sich an der Tagesoberfläche Anzeichen des umgegangenen Bergbaus erkennen (vgl. die ausschnittsweise Darstellung der vorhandenen Strecken außerhalb des Abbaus). Selbst das Auffinden von untertägigen Streckenverläufen anhand einer Lineation von Tagesbrüchen, auch wenn der tatsächliche Verlauf im untersuchten Objekt durch das vorhandene Risswerk bereits bekannt ist, gelingt im vorliegenden Beispiel nicht.

Der Vergleich der für einen Teilbereich dieses ehemaligen Bergbaugesbietes exemplarisch dargestellten Grenzen des ehemaligen untertägigen Abbaus (weiß umrandete Fläche) und der bisher vorhandenen Tagesbrüche zeigt sehr deutlich, dass auch in den Abbaubereichen, in welchen die Abbaukammern planmäßig zu Bruch geworfen wurden, sich dieses Bruchgeschehen nach nunmehr über 65 Jahren nach Beendigung der Kohlegewinnung in diesem Feldesteil (Abbau 1932-1938) noch immer nicht flächendeckend an der Tagesoberfläche dokumentiert. Im Gegensatz zu vielen anderen ehemaligen Abbaubereichen, in denen die vorhandenen untertägigen Hohlräume zum Teil bereits vollständig durch Hochbrechen die Tagesoberfläche erreicht haben und sich dies überaus deutlich und in sehr charakteristischer Form in den Aufnahmen darstellt (Abbildungen 2 bis 4), ist in dem betreffenden Gebiet der Carl-I-Mulde in dieser Hinsicht ein deutliches Defizit erkennbar.

Prinzipiell ist in solchen Fällen auch der Frage nachzugehen, ob sich dieser Fakt eventuell auch durch eine nachträgliche Auffüllung vorhandener Brüche oder gar durch die Existenz einer Kippe erklären lässt. Der vorliegende Fall zeigt jedoch aufgrund der sich kontinuierlich fortsetzenden Geländestrukturen und der vollständig ausgeprägten Gieser, dass diese Interpretation im vorliegenden Fall ausscheidet.

Der Bereich dieser Mulde ist vom untertägigen Bergbau sehr intensiv beeinflusst. Die Gewinnung der Braunkohle erfolgte hier über mehrere Sohlen und erstreckte sich bis in den Bereich der 16. Sohle mit einer Teufe von ca. 80 m unter Gelände. Die 17. und 18. Sohle wurden in dieser Mulde jeweils nur als Strecken aufgeföhren. Um so interessanter ist hier die Tatsache, dass sich die intensive bergbauliche Inanspruchnahme bislang noch nicht in dem zu erwartenden Maß an der Tagesoberfläche dokumentiert. Aufgrund der Vielfältigkeit der wirkenden Faktoren wie z. B. der Sohlenteufe, der Art,

Mächtigkeit und Lagerung der hangenden Sedimente sowie des Zustandes des Ausbaus usw. kann das Bruchgeschehen in sehr unterschiedlichem Maß verlaufen.

Somit ist gerade für ehemalige unverwahrte Bergbaubereiche, in denen heute die typischen Auswirkungen an der Tagesoberfläche nur zu einem geringen Maß oder überhaupt noch nicht sichtbar sind, in der nahen oder fernerer Zukunft mit großer Gewissheit davon auszugehen, dass es, wenn auch verzögert, vermehrt zu weiteren Tagesbrüchen kommen wird, was einen erheblichen Einfluss auf die gegenwärtige und zukünftige Nutzung des jeweiligen Areals und auf die Festlegung von Sicherheitsmaßnahmen bis hin zu notwendigen Verwahrungsarbeiten hat.

Die in der Abbildung 6 erkennbare, fast ideale, die ursprünglichen Abbaukammern nachzeichnende rasterförmige Anordnung der gefallenen Tagesbrüche zeigt ein Trichter-Bruchfeld, welches ein fast vollständig abgeschlossenes Bruchgeschehen dokumentiert. Dies ist jedoch nicht die gewöhnlicherweise sichtbare Erscheinungsform dieser Bergbaufolge. Typisch sind dagegen die mehr oder weniger ausgeprägten und vergleichsweise unvollständigen Bruchfelder (Abb. 3 bis 5), die Indikationen auf noch zu erwartende Tagesbrüche sind, sofern nicht Bruchberechnungen z. B. nach FENK nachweisen, dass die Bruchvorgänge die Tagesoberfläche nicht erreichen können.

Auf Grund der Tatsache, dass unverwahrte, offene Schächte einen besonderen Gefahrenpunkt darstellen können, spielen diese in den Gefährdungsuntersuchungen der bergschadenkundlichen Analysen und bei den Sicherungsarbeiten zur Herstellung der öffentlichen Sicherheit über untertägigen Hohlräumen eine besondere Rolle. Die Überprüfung von über 220 Schachtstandorten in der vorliegenden Untersuchung zeigte jedoch keine neuen Ansatzpunkte für dahingehende weiterführende Arbeiten. Deshalb muss grundsätzlich beachtet werden, dass Hinweise auf die Existenz von Schächten im Gelände z.T. völlig fehlen können, obwohl sie ordnungsgemäß verwahrt wurden. Ist diese Verwahrung nicht oder unzureichend erfolgt, dokumentiert sich die Existenz der Schächte an der Tagesoberfläche trotz allem aber in der Regel erst mit dem Auftreten der charakteristischen Bergschäden in Form der Tagesbrüche. Befindet sich der Standort des Schachtes außerhalb der ehemaligen Abbaubereiche, sind andere Untersuchungsverfahren wie Rammsondierungsprofile oder geophysikalische Messprofile im Bereich vermuteter Schächte effizienter. Eine Zuordnung von aufgetretenen Tagesbrüchen zu Abbaubereichen oder Strecken ist allein durch deren Auftreten nicht möglich. Lediglich deren gehäuftes Auftreten (Abb. 6) und eine charakteristische Gruppierung von mehreren Brüchen, wie dies aus der Anlage der Abbaukammern resultieren kann, wird entsprechende Zuordnungen ermöglichen.

Kippenareale lassen sich im hier betrachteten Altbergbaubauobjekt anhand des DTM nicht identifizieren, da sie, bedingt durch die damalige Bergbautechnologie, in der Regel nicht durch die bekannten typischen Merkmale von Bergbau-Kippen aus der jüngeren Vergangenheit (Kipprippen, Schwenk-

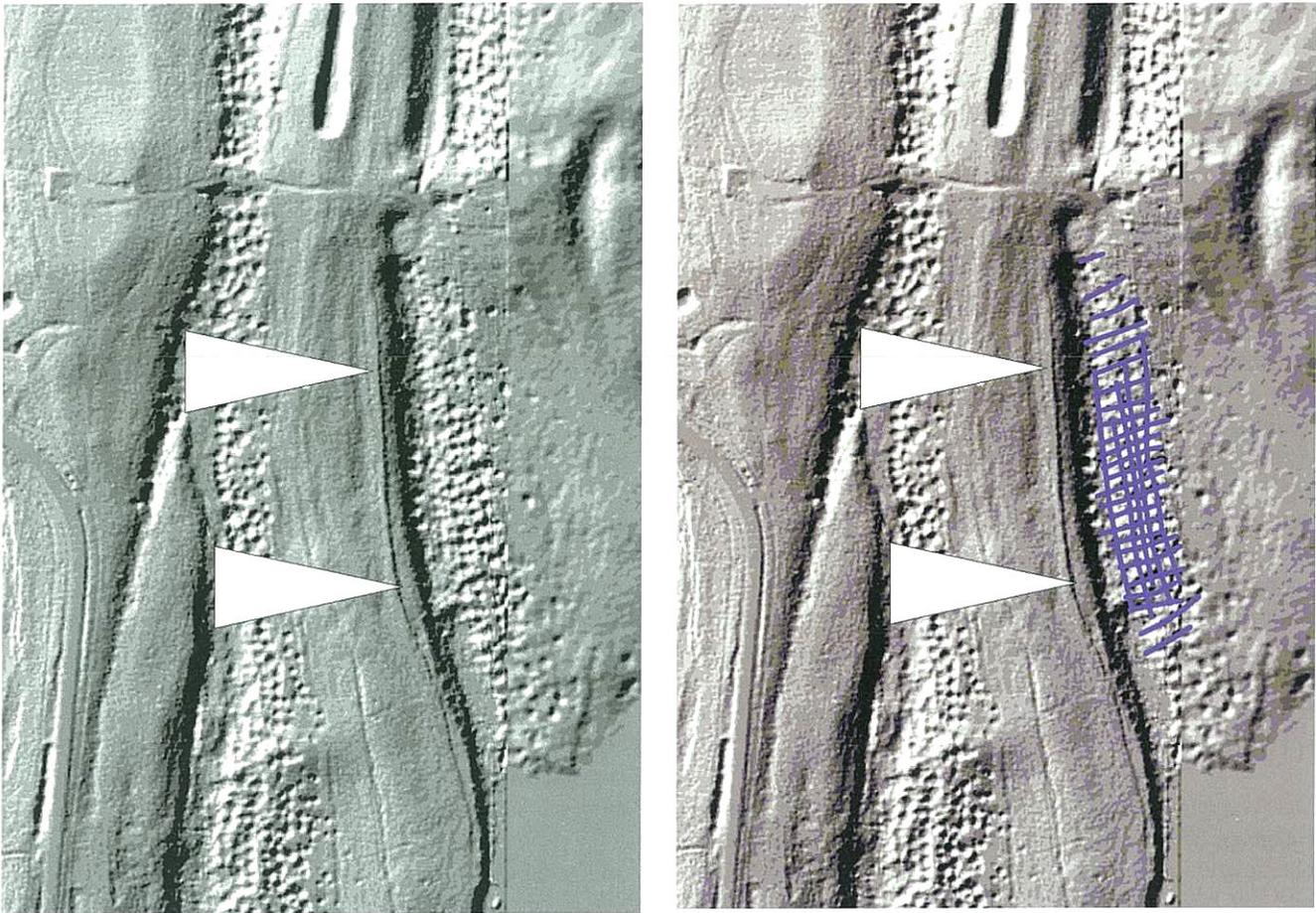


Abb. 6  
Bild des DTM: rasterförmige Anordnung der Bruchtrichter in einem ehemaligen Abbaufeld östlich der B 115  
(Maßstab etwa 1 : 6 4000, blau: alte Steckenführung)

Fig. 6  
DTM: Screen-like sink holes of former lignite mining, east of main road B 115  
(Scale about 1 : 6 400, blue: ancient galleries)

und Abwurfrahmen) kenntlich sind. Im Bereich anderer Altbergbauobjekte sind auch sie gut erkennbar. Ein Erkennen und die Abgrenzung nicht risskundiger Abbaue oder anderer untertägiger Hohlräume ist nur dann möglich, wenn sich durch deren Hochbrechen an die Tagesoberfläche die Auswirkungen des untertägigen Bergbaus auch morphologisch zeigen. Versteckte Hochbrüche dokumentieren sich zunächst im Gelände überhaupt nicht, es sei denn, sie liegen bereits oberflächennah und haben durch eine Veränderung der Wasser- und Nährstoffzufuhr Einfluss auf die Vegetation, was sich jedoch, wenn überhaupt, auch nur mittel- bzw. langfristig bemerkbar machen würde. Im vorliegenden Untersuchungsobjekt wurden derartige Fälle nicht identifiziert. Die für die Bewertung der Gefährdungslage erforderlichen flächenhaften Abgrenzungen werden aber auch in einem so speziellen Fall kaum zu realisieren sein. Als hilfreich bei der Erkennung nicht risskundiger Bergbaurelikte hat sich die hier angewandte Methodik insbesondere dadurch erwiesen, dass es im Gegensatz zur konventionellen terrestrischen Aufnahme im Maßstab 1 : 1 000 oder

1 : 2 000 möglich ist, nicht nur das eigentliche Bearbeitungsgebiet darzustellen, sondern auch gleichzeitig größere Randbereiche des bisher bekannten, vom Bergbau beeinflussten Gebietes, auf Hinweise einer weitergehenden bergbaulichen Inanspruchnahme hin zu untersuchen. Es ist somit möglich, bisher fragliche Grenzen der risslich dargestellten Markscheiden über ein Ausschlussverfahren zu verifizieren. Ein weiterer Vorteil der angewandten Methodik liegt darin, dass insbesondere in Gebieten mit einer starken Vegetation die konventionelle terrestrische Aufnahme durch mangelnde Sichtachsen mit einer Reihe von Nachteilen behaftet ist und durch die örtlichen Verhältnisse die Arbeiten deutlich verteuert werden.

Da für einige Bergbauobjekte im Lande Brandenburg keine oder nur unvollständige bergmännische Risswerke existieren, kann die Auswertung von digitalen Geländemodellen, generiert aus hochauflösenden Laserscanning-Aufnahmen ergänzende Kriterien für eine Gefährdungsbewertung bieten. Wie bei allen indirekten Untersuchungsverfahren sind

die aus dem DTM abgeleiteten Aussagen durch technische Arbeiten im Gelände zu verifizieren. Es muss jedoch ganz klar herausgestellt werden, dass auch dann nicht die Frage beantwortet werden kann, ob ein betreffendes Areal von alten Bergbaubereichen unterlagert wird oder nicht, sondern die Aussage wird dann anhand der bereits an der Erdoberfläche vorhandenen und durch die beschriebene Methodik sichtbar gemachten Bergbauauswirkungen dahin gehen können, die vom Bergbau definitiv betroffenen Areale abzugrenzen. Es wird jedoch nicht möglich sein, diese Grenzen im Sinne einer Sicherheitslinie zu beschreiben.

#### 4. Zusammenfassung und Ausblick

Die erste Anwendung des Laserscannings in Verbindung mit der Erstellung verschiedener digitaler Geländemodelle auf die spezielle Problematik des Altbergbaus im Lande Brandenburg hat gezeigt, dass diese Methode durchaus in der Lage ist, bei der Qualifizierung und Verbesserung des Kenntnisstands auf diesem Fachgebiet einen Beitrag zu leisten. Dies gilt insbesondere für Gebiete, die intensiv durch Vegetation bedeckt sind. Es wurde jedoch auch klar, dass diese Technologie nur einen ergänzenden Beitrag auf diesem Fachgebiet leisten kann und immer objektspezifisch ihren Platz im Instrumentarium der möglichen Untersuchungsverfahren auf dem Gebiet der Gefahrenabwehr im Bereich des Altbergbaus zugewiesen bekommen wird. Sie ist nicht in der Lage, die bewährte konventionelle Methodik abzulösen oder zu ersetzen. Sie wird immer als ein ergänzendes Werkzeug neben den bisher im Rahmen der Erstellung von Bergschadenkundlichen- bzw. Gefährdungsanalysen angewandten Schritten, einschließlich von Erkundungs- und Kontrollbohrungen vor Ort und abhängig von der örtlichen Situation zur Anwendung kommen können. Dies wird vor allem dann der Fall sein, wenn bei einem Objekt erhebliche Kenntnisdefizite bestehen und/oder ein Risswerk nicht vorhanden, unvollständig oder nicht endgültig aussagefähig ist.

Für die Zukunft ist davon auszugehen, dass mit zunehmender Verbesserung der Messtechnik, der Auflösung der Scanner, verbesserter Interpretationsverfahren und der damit auch zu erwartenden größeren Marktbreite der Laserscanning-Technologie sich auch die finanziellen Bedingungen insgesamt für die Anwendung dieses Verfahrens weiter verbessern werden.

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass es durch eine multivalente Anwendung des dargestellten Verfahrens nicht nur für die Zwecke des Altbergbaus in Zukunft möglich sein wird, den spezifischen Kostenanteil für den Bereich des Altbergbaus zu senken und somit das Verfahren auch bei der Erstellung von Gefährdungsanalysen in Altbergbaugebieten wirtschaftlich einzusetzen.

#### Summary

Airborne laserscanning has been tested for its effectiveness at detecting hazards by sink hole development due to collapse of underground cavities caused by former lignite mining. Information density about this subject was compared between conventional terrestrial geodetic surveying, orthophotogrammetry and creation of a Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM). The DTM cannot substitute the common analysis of former mining activities but may give some advices to the extend of exploitation additional to those which is recorded in the mine map. In this way hazards for the public safety may be recognized. For mining districts which surfaces are covered by forests or any other vegetation DTM will be the only efficient technique for recognition of mining effects to the ground.

#### Literatur

- BALTSAVIAS, E. P. (1999): A comparison between photogrammetry and laserscanning. - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **54** (1999), S. 83-93, Elsevier Science B.V., Amsterdam
- IHRKE, S. & T. KLEITZ (1995): Bergschadenkundliche Analyse Altbergbauobjekt „Conrad“ bei Groß-Kölszig. - 128 S., Bericht Bergsicherung Cottbus GmbH (unveröff.), 128 S.
- KÜHN, F., TREMBICH, G. & B. HÖRIG (1998): Remote sensing for evaluating hazards caused by underground mining. - Zeitschrift für Angewandte Geologie **44**, 3, S. 172-180, Stuttgart
- KUPETZ, M. (1997): Geologischer Bau und Genese der Stauendmoräne Muskauer Faltenbogen. - Brandenburgische Geowiss. Beitr. **4**, 2, S. 1-20, Kleinmachnow
- KUPETZ, M. (2003): Die Geomorphologie des Muskauer Faltenbogens im hochauflösenden digitalen Geländemodell. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. **10**, 1/2, S. 19-28, Kleinmachnow
- LOHR, U. (1998): DGM-Erstellung durch Laserscanning. - Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung **6** (1998), S. 189-194, Berlin
- MARTIN, U. (2001): Geotechnische Verfahren zur Ortung bergbaulicher Hohlräume im Lockergebirge am Beispiel der Grube „Georg“ bei Brieskow-Finkenheerd. - 72 S., Diplomarbeit, TU Berlin, Institut für Bauingenieurwesen und Angewandte Geowissenschaften (unveröff.)

NESTLER, P. (2001): Alter Braunkohlentiefbau in Brandenburg als Gefahr für die öffentliche Sicherheit – Ergebnisse und Probleme aus der Sanierungstätigkeit. - In: KLAPPRICH, M. et al.: Tagungsband 1 - Altbergbaukolloquium Freiberg/Sachsen, November 2001, S. 22-29, Essen (Glückauf)

STACKEBRANDT, W. (2003): Airborne Laserscanning für geologische Detailuntersuchungen und Abwehr bergbaubedingter Gefahren im Muskauer Faltenbogen, Südost-Brandenburg. - Brandenburg. Geowiss. Beiträge **10**, 1/2, S. 1-6, Kleinmachnow

STOLL, R. (1999): Ergebnisbericht Testmessungen zur geophysikalischen Hohlräumortung im Bereich des Braunkohlentiefbaues im Land Brandenburg - Testobjekt Grube Lusatia/Concordia Spremberg. - 34 S., Bericht C & E Consulting and Engineering GmbH Chemnitz (unveröff.)

WEHR, A. & U. LOHR (1999): Airborne laserscanning – an introduction and overview. - ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **54**, S. 68-82, Elsevier Science B.V., Amsterdam

Anschrift der Autoren:

Dr. Uwe Münch  
Dr. Peter Nestler  
Landesamt für Geowissenschaften  
und Rohstoffe Brandenburg  
Regionalbüro Cottbus  
Vom-Stein-Straße 30