

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	10 (2003), 1/2	S. 19-28	7 Abb., 10 Lit.
----------------------------------	--------------	----------------	----------	-----------------

# Die Geomorphologie des Muskauer Faltenbogens im hochauflösenden digitalen Geländemodell (Airborne Laserscanning)

## Geomorphology of the Muskauer Faltenbogen in a high-resolution digital terrain model (Airborne Laserscanning)

MANFRED KUPETZ

### 1. Einleitung

Der Muskauer Faltenbogen mit seiner sich etwa 22 km in nord-südlicher und 20 km in west-östlicher Richtung erstreckenden Fläche ist als Gesamtstruktur am besten auf Satellitenbildern erkennbar (z. B. Titelblatt der Brandenburgischen Geowissenschaftlichen Beiträge Heft 1/1996). Geographisch liegt er im deutsch-polnischen Grenzgebiet und umfasst Teile des Landes Brandenburg, des Freistaates Sachsen und der Wojewodschaft Lubuskie (Lebuser Land; Lageskizze des Untersuchungsgebiets siehe Beitrag von STACKEBRANDT in diesem Heft). Infolge der überwiegenden Waldbedeckung des Gebiets treten hierbei vor allem die schmalen, der Stauchungsstruktur parallel verlaufenden Bergbaurestgewässer (Tagebaurestlöcher und Gewässer über Tagebruchgebieten) als lineare Signaturen auf. Die für die Geomorphologie charakteristischen Gieser (Senkenbildungen an über Tage austreichenden Kohleschuppen und -falten) stellen sich etwas besser in Luftbildern dar. Ursache dafür ist, dass die Gieser Feuchtstandorte repräsentieren und sich gegenüber den flächenhaften Kiefernauflorungen durch Laubvegetation (Birken, verschiedene Sträucher, Riedgräser) auszeichnen. Trotzdem maskiert die Waldvegetation die Detailmorphologie so stark, dass die typischen, die glazialtektonischen Tiefenstrukturen abbildenden Giesermuster (vgl. KUPETZ 1997) nicht ohne zumindest ergänzende klassische Feldkartierung vom Boden aus verfolgt werden können. Abgesehen von Einzelfällen erfasst die im Allgemeinen sehr genaue topographische Messtischblattkartierung aus dem ersten Drittel des 20. Jahrhunderts die Giesermorphologie nur recht ungenau.

Die zur Zeit flächenhaft angewendeten digitalen Geländemodelle (DGM) basieren auf der Digitalisierung von topographischen Karten oder auf satellitengestützten Laserscanningaufnahmen. Sie haben eine Auflösung (Rasterweite) in der Größenordnung von 20 bis 40 m. Damit sind die generelle Gestalt und die morphologischen Hauptelemente der Faltenbogenstruktur erkennbar. Dazu gehören das Streifenmuster innerhalb der Grundbruchmoräne, seine etwa 2 - 3 km breite Unterbrechung durch das Gletschertor im SW (Dübener Depression) und der sehr junge, weichselzeitliche Neißedurchbruch durch den elsterzeitlich angelegten und deshalb stark verebneten Faltenbogen.

Für einen Teilabschnitt des Faltenbogens hat erstmals KRENTZ (1995) eine geomorphologische Interpretation auf der Grundlage zweier DGM vorgelegt. Beide Modelle basieren in den ausgewerteten shaded relief-Darstellungen (Schummerungsbild) auf einem interpolierten 50 m-Raster. Entsprechend dieses Auflösungsvermögens erzielt der Autor einen Kenntniszuwachs bei morphologischen Strukturen, die in der Hundertmeter- bis Kilometerdimension liegen. Im Einzelnen betrifft das postmiozäne Störungen im Hinterland, Sölle sowie die Abgrenzungslinie der glazialtektonisch deformierten Schichtenfolge des Faltenbogens gegen sein Hinterland (Bahrener Becken).

Hingewiesen werden soll an dieser Stelle auf eine bemerkenswerte Satellitenbildinterpretation. BANKWITZ (1982) hat durch Auswertung einer sowjetischen Weltraumaufnahme aus dem Raumschiff Sojus 22 mit der Multispektralkamera MKF 6 (VEB Carl Zeiss Jena) geomorphologische Feinstrukturen einer Stauchendmoräne in Mecklenburg-Vorpommern interpretiert. Die Geländekontrolle dieses Befundes hat gezeigt, dass in einer baumfreien Landschaft (Feld) flache Bodenwellen mit einer Höhe von etwa 1 m und einem Kammabstand größer 100 m durch die Aufnahme erfasst wurden (freundliche mündliche Mitteilung von Herrn Prof. Peter Bankwitz).

### 2. Das hochauflösende digitale Geländemodell

#### 2.1 Zum Auflösungsvermögen

Das Messgebiet umfasst einen Ausschnitt aus dem NW-Teil des Muskauer Faltenbogens. Seine genaue Lage sowie die technischen Parameter des verwendeten DGM werden im Beitrag von STACKEBRANDT in diesem Heft dargestellt. Die Rasterweite beträgt  $\pm 0,5$  m, die Höhengenaugigkeit ist besser als 0,15 m. Für die geologische Interpretation ist es wesentlich, dass auswertemethodisch zwischen einem Oberflächenmodell (digital surface model – DSM) und einem Bodenmodell (digital terrain model – DTM) unterschieden wird. Die geomorphologisch interessanten Bereiche des Faltenbogens sind überwiegend Wälder, im Wesentlichen Kiefernforste. Das DSM ist hier ein Abbild der „Baumspitzenmorphologie“. Der 60 bis 80 Jahre alte Kiefernhochwald hat Baumhöhen

zwischen 17 m und 23 m, wobei die Bäume in den morphologischen Tallagen der Gieser durchschnittlich eine größere Höhe aufweisen (freundliche Mitteilung des Revierförsters des Reviers Reuthen, Herrn Uwe Walloßek). Der Wald maskiert die Bodenmorphologie dementsprechend in zweierlei Hinsicht. Zum einen führt die individuelle Baumhöhenvariation zu einer generellen „Rauigkeit“ des DSM und zum anderen wird die Giesermorphologie durch die durchschnittlich höheren Bäume an diesen Standorten „geglättet“. Gegenüber dem DSM „durchdringt“ das DTM den Wald und hebt seine maskierende Wirkung auf. Hierdurch offenbart sich ein morphologisches Feinrelief, das selbst durch einen Feldgeologen vor Ort in dieser Art nicht beobachtet werden kann (siehe Titelbild dieses Heftes; Abb. 3a,b, 4a, 5a, 6a und 7).

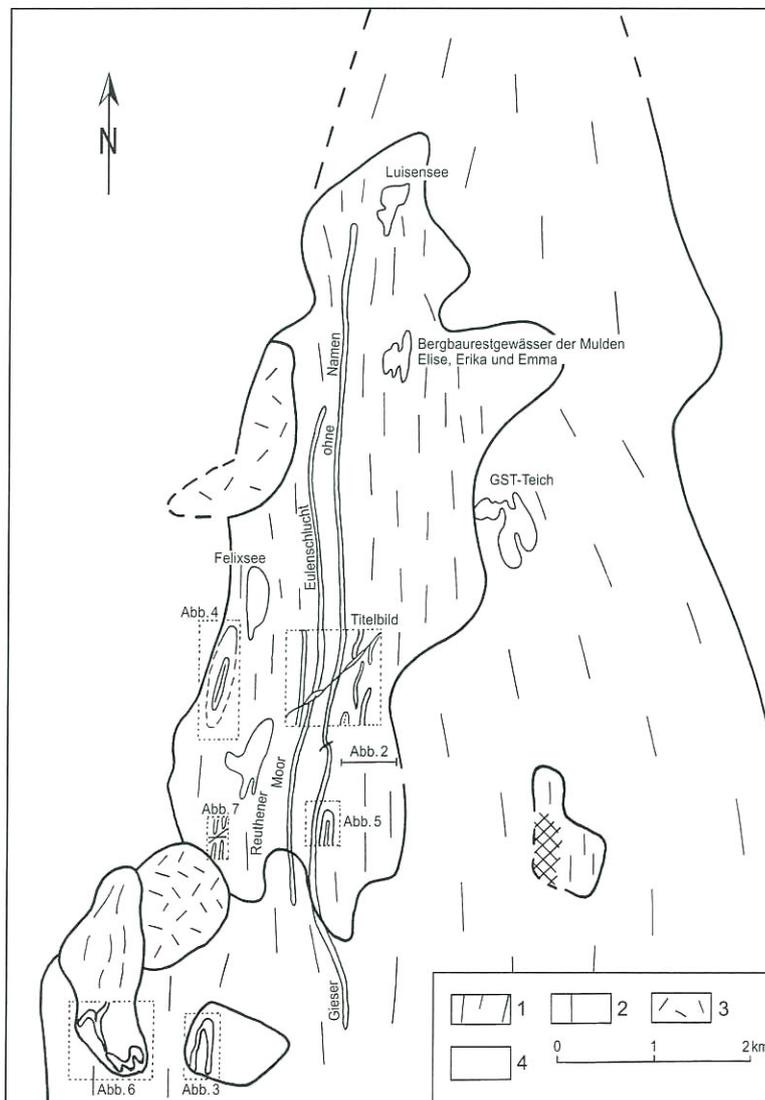
## 2.2 Grundzüge des geologischen Baus der Grundbruchmoräne Muskauer Faltenbogen

Die durch KUPETZ (1997, 2002) abgeleitete genetische Interpretation für den Muskauer Faltenbogen geht davon aus, dass zu Beginn des glazigenen Deformationsprozesses das allgemeine Geländeniveau im Untersuchungsgebiet etwa 40 -

100 m über dem heutigen lag und vor dem Rand des Muskauer Gletschers eine grundbruchartige Aufpressung des Vorlands erfolgte sowie unter dem Gletscher plastische Faltingsdeformationen stattfanden. Das heutige Relief repräsentiert einen horizontalen Anschnitt der Grundbruchmoräne etwa im Niveau der halben Höhe der ursprünglichen Deformationsstruktur. Ihre stark verebnete Oberfläche weist darüber hinaus eine junge Kleinmorphologie auf, die als Gieser Braunkohlenflöze in „negativer Morphologie“ widerspiegeln.

Zur Rekonstruktion der glazialtektonischen Falten und Schuppen werden die Kohlenflöze als Leithorizont benutzt. Sie bilden innerhalb der tertiären Schichtenfolge einen bzw. mehrere Horizonte. Nur wenn die Kohle im heutigen Anschnittsniveau der Erdoberfläche liegt, kann sich über ihr ein Gieser ausbilden. Die markanten Gieser werden durch die 10 - 14 m mächtige Braunkohle des 2. MFK (2. MFK = 2. Miozäner Flözkomplex innerhalb der Welzower Schichten, früher 2. Miozäner Flözhorizont = 2. MFH zur Unteren Briesker Folge gehörig; neue stratigraphische Gliederung nach STANDKE 2001) gebildet. Einige weitere, meist geringer mächtige Flöze können entsprechend kleinere Gieser bilden, spielen jedoch eine untergeordnete Rolle. Das detaillierte Schichtenprofil ist in KUPETZ (1997) erläutert.

Es sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen, dass hier nur glazialtektonische Großdeformationen betrachtet werden, die 50 bis 300 m in ihrer Tiefenreichweite und eine horizontale Erstreckung von einigen Hundert Metern bis wenigen Kilometern aufweisen.



*Abb. 1*  
Interne Flächensignaturen der Grundbruchmoräne des Muskauer Faltenbogens  
1 - stark reliefierte Gieserlandschaft  
2 - sehr schwach reliefierte Gieserlandschaft  
3 - morphologische sehr schwach, aber wirt strukturierte Landschaft  
4 - durch über- und/oder untertägigen Braunkohlenbergbau zerstörte natürliche Geomorphologie

*Fig. 1*  
Internal areal signature (?pattern) of the base failure moraine Muskauer Faltenbogen  
1 - hardly elevated type of Gieser landscape  
2 - elevated type of Gieser landscape  
3 - very weakly but irregular shaped surface  
4 - surface which natural geomorphology is destroyed by open cast and subsurface brown coal mining

### 2.3 Flächenhafte Morphotypen

Im DTM-Überblick sind drei verschiedene Flächensignaturen innerhalb der glazialtektonischen Faltenbogenstruktur, die von einem vierten umgeben werden, auszuhalten (Abb. 1):

1. eine stark reliefierte Gieserlandschaft,
2. eine sehr schwach reliefierte Gieserlandschaft,
3. eine morphologisch sehr schwach, aber wirt strukturierte Landschaft und
4. eine fast ebene Landschaft ohne lineare morphologische Elemente.

Die *stark reliefierte Gieserlandschaft* hat sich dort entwickelt, wo die deformierten Braunkohlenflöze unmittelbar an der Erdoberfläche austreichen oder unter nur einer geringen quartären Bedeckung liegen und das Grundwasser einige Meter Flurabstand aufweist. Letzteres ist notwendig, damit genügend lufteffüllter Porenraum vorhanden ist, von dem aus die mit Volumenverlust verbundene Kohleoxygenation stattfinden kann. Die Gieser haben hier Tiefen von 5 - 10 m, ausnahmsweise auch 12 – 15 m. Die Flurabstände des Grundwassers müssen dementsprechend etwas größer sein als die Giesertiefe.

Die *sehr schwach reliefierte Gieserlandschaft* repräsentiert höchstwahrscheinlich überwiegend ein Stauchungsgebiet mit oberflächennaher Kohle und gleichzeitig oberflächennahem Grundwasser. Entsprechend seines geringen Flurabstands sind die Bedingungen für eine Gieserbildung kaum noch gegeben. Aus Untersuchungen im sächsischen Teil des Faltenbogens ist ferner bekannt, dass die Gieserbildung auch mit zunehmender Überdeckung durch Quartärsedimente abnimmt, aber bei Quartärmächtigkeiten von 5 – 10 m noch schwach entwickelt ist.

Ein bisher nicht bekannter Morphotyp ist die nur *sehr schwach aber wirt strukturierte Landschaft*. Es handelt sich um eine sehr sanfte Morphologie mit sehr gering reliefierten, gestreckten Mulden und Hügeln, die aber keine Parallelität zum Eisrand des Muskauer Gletschers aufweisen. Das Gefüge erinnert an das einer Brekzie in der Dimension von mehreren Hundert Metern. Bisher wurden im Faltenbogen keine Anzeichen dafür gefunden, dass der Muskauer Gletscher auch gefrorenen Boden deformiert hat. Möglicherweise liegt hier ein Schollenfeld von ehemals oberflächennah gefrorenem Boden vor, das in eine größere Tiefe verfrachtet worden ist und deshalb trotz des tiefen erosiven Geländeanschnitts erhalten geblieben ist und damit die Ursache für die Bildung dieses besonderen Relieftyps sein könnte. Der Dauerfrostboden kann hierbei nur eine relativ geringe Mächtigkeit gehabt haben (?20 bis max. 50 m).

Die *faste ebene Landschaft ohne lineare morphologische Elemente* tritt sowohl außerhalb des Faltenbogens als auch innerhalb desselben auf. Im Bereich des Gletschertors (Dübener Depression) sind über den Stauchungsstrukturen Schmelzwassersande mit Mächtigkeiten von  $\geq 30$  bis 40 m

ausgebildet, die die glazialtektonische Struktur maskieren. Im Untersuchungsgebiet ist dies südlich des Liesekauer Sees der Fall. Ebenso haben flächenhafte Vermoorungen (z. B. Reuthener Moor) eine maskierende Wirkung. Schließlich kann eine Verdeckung der glazialen Strukturen am Innenrand des Faltenbogens mit zunehmender Mächtigkeit der Sedimente des Bahrener Beckens erfolgen.

### 2.4 Lineare Signaturen

#### 2.4.1 Großformen glazialtektonischer Deformationen

Die charakteristischen und am häufigsten auftretenden glazialtektonischen Großformen im Faltenbogen sind Schuppen (vorwiegend rupturrell deformiert) sowie verschiedenartige Falten und eisrandgeschiente Diapire (vorwiegend plastisch deformiert). Zwischen diesen Haupttypen existieren fließende Übergänge. Es wird auch die Fortsetzung rupturreller Deformation durch plastische Schichtverformungen beobachtet. Geomorphologisch werden sie in erster Näherung durch das Kohlenflöz, das in Form der Gieser in Erscheinung tritt, abgebildet (vgl. Punkt 2.2). Nach ihrer Form werden drei Giesertypen ausgehalten, der Schuppentyp, der Diapirtyp und der Flözfaltentyp (vgl. KUPETZ 1997).

Die markanteste Widerspiegelung glazialtektonischer Elemente erfolgt in den stark reliefierten Gebieten. Allerdings sind das auch die Areale, die stark vom historischen Braunkohlenbergbau betroffen sind. Es liegt umfänglicher Tiefbau mit ausgedehnten Bruchfeldern (zum Teil wassergefüllt) und Kleintagebaubetrieb mit zahlreichen Restgewässern vor. Gerade aus diesen Bergbaubereichen existieren aber die umfangreichsten Kenntnisse über den geologischen Tiefenbau. Gleichzeitig ist die natürliche Morphologie hier sehr stark verändert. Andererseits sind Geländeabschnitte mit intakter Morphologie bergbaufrei und der Kenntnisstand zum Tiefenbau fehlt meist. Für die nachfolgenden Interpretationsbeispiele wurden deshalb weitgehend bergbaufreie Gebiete bzw. solche mit relativ geringer Morphologiebeeinträchtigung ausgewählt. Die bildbeherrschenden Strukturen sind die relativ gerade verlaufenden *Gieser vom Schuppentyp* (Bildmitte in der Beilage zu diesem Heft). Leider existiert im Untersuchungsgebiet kein Areal mehr, in dem die natürliche Morphologie einer Schar parallel verlaufender Gieser vom Schuppentyp erhalten geblieben ist. Um diesen Typ dennoch hinreichend zu charakterisieren, wurde eine im Tief- und (Kleinst-)Tagebaubetrieb abgebaute Schuppenschar in der ehemaligen Grube „Julius bei Wolfshain/Friedrichshain“ zur Veranschaulichung ausgewählt. Die Giesermorphologie ist hier durch Tagebaurestgewässer sowie punktuelle und flächenhafte, wassergefüllte Tagesbrüche stärker verändert worden. Dennoch sind im Übersichtsbild (Beilage zu diesem Heft sowie Abb. 1) die morphologischen Hauptmerkmale des Schuppentyps noch zu erkennen. Die Abbildung 2 zeigt den Tiefenbau dieses Giesermusters.

An dieser Lokalität kann der glazialtektonische Tiefenbau in besonders gut dokumentierter Art demonstriert werden. Jede Schuppe hat von den Bergleuten einen eigenen Namen (Mulde oder Anlage) erhalten, von W nach E sind das „Wilhelm“, „Walter“, „Hermann“ und „Rudolf“. 200 m westlich des Giesers der „Mulde Wilhelm“ (außerhalb des Schnittes) tritt eine weiterer Gieser auf (siehe Beilage zu diesem

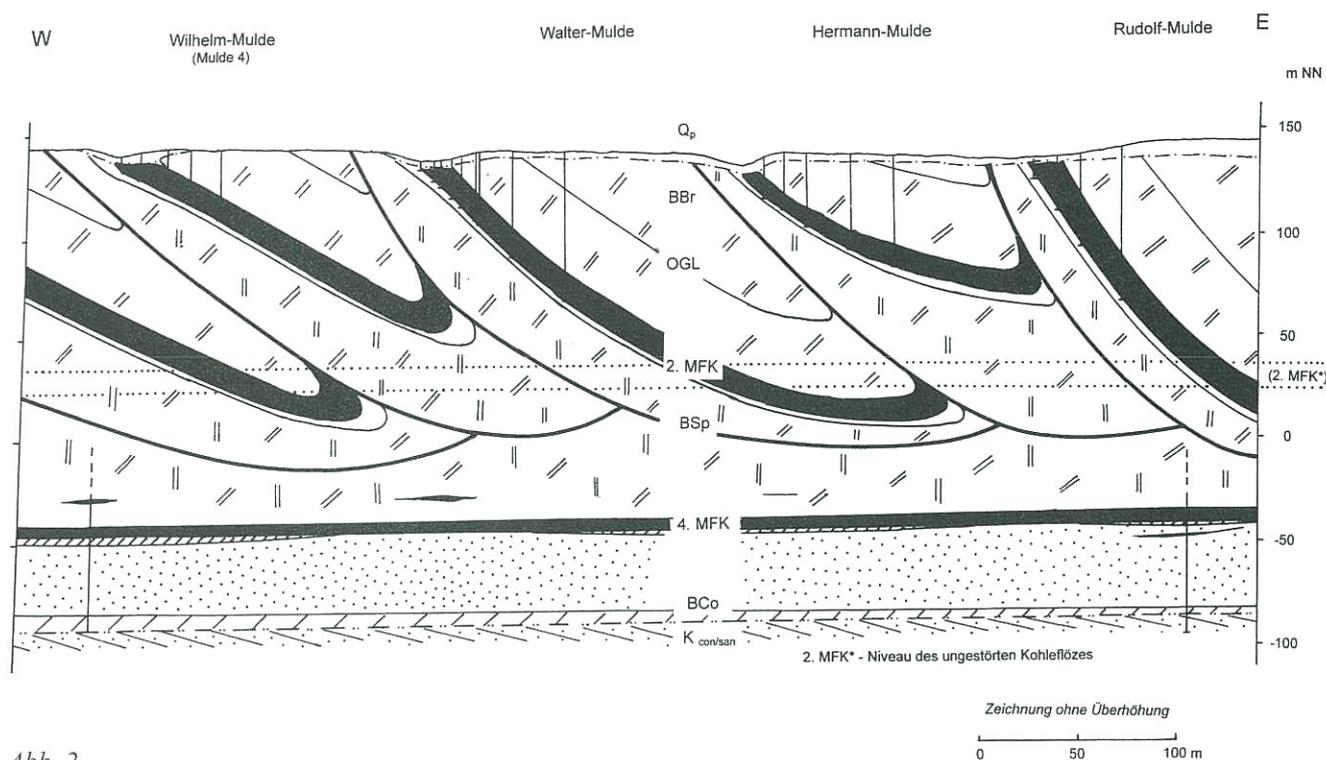


Abb. 2

Geologischer Schnitt durch eine Schuppenschar im Bereich der geologisch erkundeten und im Tief- und Tagebau abgebauten Mulden „Wilhelm“, „Walter“, „Hermann“ und „Rudolf“, 0,5 km östlich von Friedrichshain

Fig. 2

Cross section crossing a cluster of rafts at a locality where the structures (called "syncline" by the old miners) „Wilhelm“, „Walter“, „Hermann“ and „Rudolf“, 0,5 km east of Friedrichshain

Heft). Er repräsentiert eine relativ lange und deshalb flacher einfallende Schuppe. Ohne dass sie erbohrt worden ist, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf ihre Existenz in der im Schnitt westlich und teilweise unter der Struktur „Wilhelm“ dargestellten Form geschlossen werden. Etwa 600 m nördlich des Schnitts wurden zwei moderne Braunkohlenerkundungsbohrungen abgeteuft (OLAZ 153/81 und OLAZ 17/81). Die Auswertung des Bohrlochmeßprogramms ergab, dass die maximale glazialtektonische Deformationstiefe (tiefste Scherfläche) bei etwa 10 m bzw. 8 m unter NN liegt. Demzufolge reicht die Deformationstiefe bis ca. 160 m unter das heutige Geländeniveau. Parallel zum Streichen der glazialtektonischen Strukturen wurde aus diesen Bohrungen der 4. MFK, die Cottbuser Schichten und die Prätertiärbasis in den Schnitt projiziert.

An verlässlichen Angaben über die maximale Länge der Gieser bzw. des Schuppentyps fehlt es in der Literatur. Die Aussagen lauten: „sehr beträchtliche Entfernungen (bis zu ½ Meile weit)“ (GIEBELHAUSEN 1871), „viele hundert Meter, ja kilometerweit in auffallend gerader Richtung“ (POTONIÉ 1930) u. ä. Landläufig gilt bisher die Eulenschlucht als längster Gieser im Faltenbogen. Nach den vorliegenden topographischen Karten in Verbindung mit einer Luftbildauswertung bezifferte der Autor 1997 seine Länge einmal auf 4,8 km. Das vorliegende DTM ermöglicht es erstmals, die Eulenschlucht morphologisch sauber abzugrenzen (Beilage zu diesem Heft, Abbildung 1, Detailausschnitt siehe auch 2. Gieser von Westen her im Titelbild zu diesem Heft). Danach hat der Eulenschlucht-Gieser eine Länge von 5,0 km. 200 m östlich der Eulenschlucht verläuft allerdings ein namenloser Gieser, der mit einer Länge von 8,2 km tatsächlich der längste im Faltenbogen ist.

Gieserformen des *Diapirtyps* treten im Untersuchungsgebiet an etwa einem Dutzend Lokalitäten auf. Ohne nähere Kenntnisse zum tatsächlichen Tiefenbau der glazialtektonischen Einzelstruktur ist eine eindeutige Interpretation nicht immer möglich, weil durch die teilweise extreme eisrandparallele Schienung und Unregelmäßigkeiten bei der plastischen Deformation indifferente Gieserformen auftreten. Als erstes Diapirbeispiel wird deshalb die durch Braunkohlenexploration relativ gut untersuchte Struktur der ehemaligen Grube „Guter Anfang bei Lieskau“ vorgestellt (Abb. 3a-d).

Abb. 3

Diapirstruktur der Grube „Guter Anfang bei Lieskau“, 1,0 km nordöstlich von Lieskau, Größe des Bildausschnittes 350 m x 750 m

3a – DTM, Schummerungsbild

3b – DTM, farbkodierte 3D-Darstellung

3c – Schnitt

3d – Blockbild

Fig. 3

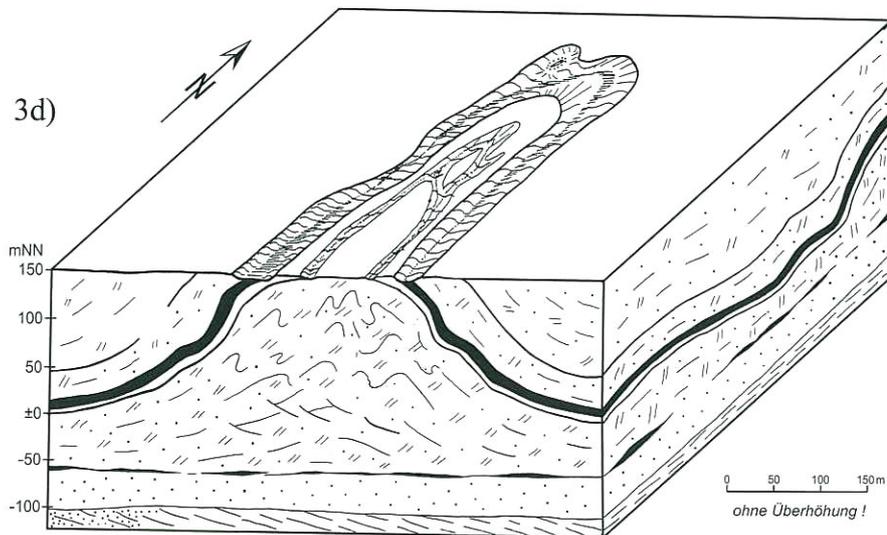
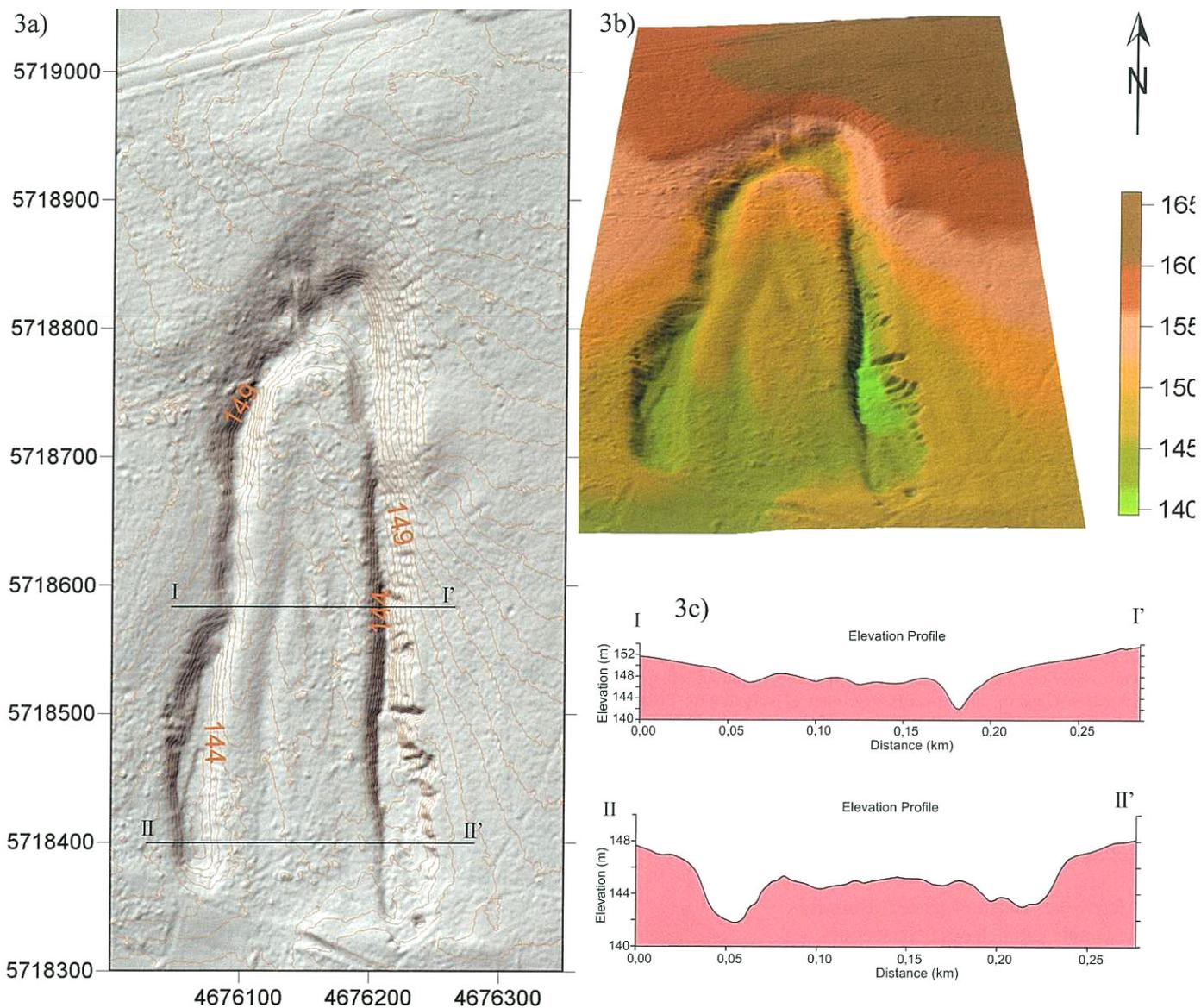
Diapir structure of mine „Guter Anfang bei Lieskau“, 1,0 km north-east of Lieskau, size of the detail 350 m x 750 m

3a – DTM, shaded relief

3b – DTM, colour-coded 3D-image

3c – morphological section

3d – bloc diagram



Die Grube „Guter Anfang bei Lieskau“ war von 1864 bis 1867 Gegenstand eines bescheidenen Bergbaus. Es existierten zwei Tiefbausohlen und ein kleiner Tagebau. Dadurch liegen Informationen vor, die in Verbindung mit dem Muster der auftretenden Gieser die Rekonstruktion einer aufrechten Flözfaule ermöglichen. Daraus leitet sich die Existenz einer Diapirstruktur ab (Abb. 3d). Aufgrund der relativ großen Breite im Verhältnis zur Höhe liegt vom Entwicklungsstadium her eine frühe Phase eines Diapirs („Beulenstruktur“) vor.

Das Hauptflöz (2. MFK) bildet einen markanten, umlaufenden Gieser in der Form eines 200 m breiten und 500 m langen, nach S geöffneten Hufeisens. Ein vollständiger Diapir hätte einen geschlossenen, in Form eines Ellipsoides umlaufenden Gieser erzeugt. Die Struktur „Guter Anfang“ bricht aber nach S, entlang einer von WNW nach ESE verlaufenden Linie, abrupt ab und das südliche Vorland ist gieserfrei. Es wird angenommen, dass diese Linie eine lokal begrenzte, glazialtektonische Querstörung darstellt. Da die südliche Fortsetzung der Struktur „Guter Anfang“ nicht horizontal versetzt wieder auftritt, wird angenommen, dass ihr S-Teil an der Störung abgesenkt wurde.

Infolge der nur geringen Bergbautätigkeit ist die natürliche Giesermorphologie nur wenig verändert worden. Am SE-Ende ist der Gieser durch einen kleinen Tagebau um wenige Meter verbreitert und vertieft worden. Kleine Erosionsrinnen weisen darauf hin, dass die heute weitgehend bewachsenen Tagebaukanten steiler sind, als es die natürlichen Gieserhänge wären. Die Gieserverbreiterung auf dem südwestlichen Gieserzweig hingegen ist natürlichen Ursprungs (Abb. 3a,b).

Innerhalb des Diapirs wurden die Schichten plastisch stark deformiert. Dies zeigt sich zum einen im undulierenden Gieserverlauf. Zum anderen ist aus dem Bergbau bekannt, dass der 2. MFK gegenüber dem undeformierten Zustand mit ca. 12 - 14 m hier eine durch plastische Deformation verursachte, auf etwa 10 m reduzierte Mächtigkeit aufweist. Bereiche der glazialtektonischen Flözausdünnung entsprechen schmalen Giesern und unveränderte oder (?) vergrößerte Flözmächtigkeiten zeigen breite und tiefe Gieserbildung.

Innerhalb des Hauptgiesers werden im Kern des Diapirs zwei weitere relativ flache und z. T. undeutlich ausgebildete Gieser beobachtet. Entsprechend des bekannten geologischen Normalprofils sind sie ursächlich einem zweiten Kohlenflöz (dem sogenannten Unterbegleiter: UGL, etwa 1 - 2 m mächtig, zu den Drebkauer Schichten gehörig) zugeordnet (Abb. 3c).

Als zweites Beispiel sei der „Bohsdorfer Diapir“ südlich des Felixsees genannt (Abb. 4a-c).

Der Hauptgieser bildet eine stark gestreckte 450 m lange und 40 - 50 m breite ideal gestal-

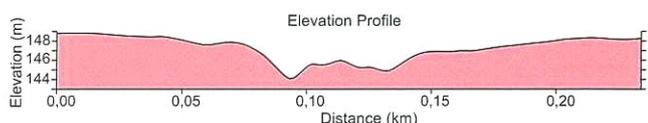
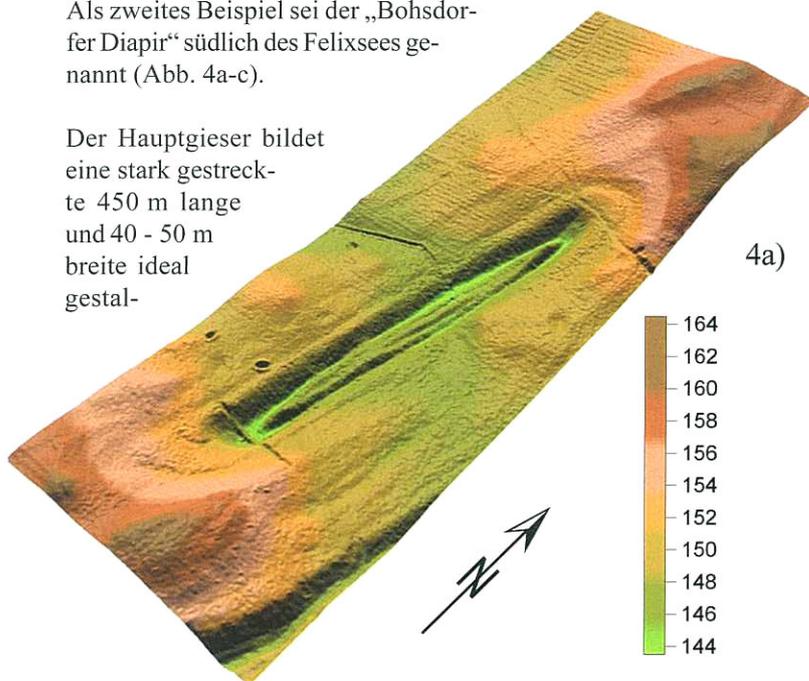


Abb. 4

„Bohsdorfer Diapir“, gelegen in einem geologisch nicht erkundeten und abgebauten Bereich des Faltenbogens, 2 km südlich von Bohsdorf. Die west-östlich gerichtete Liniensignatur im nordwestlichen und im südlichen Teil des Bildes bildet die zur Pflanzung des heute 40 Jahre alten Kiefernwaldes angelegten Pflugstreifen ab. Größe des Bildausschnittes 350 m x 1 000 m

4a – DTM, farbkodierte 3D-Darstellung

4b – Schnitt

4c – Foto vom Nordende des Diapirs, der Hauptgieser über dem 2. MFK hat hier ein elliptisch umlaufendes Streichen, Blick von Norden nach Süden (Aufnahme vom 30.03.1997)

Fig. 4

Bohsdorf diapir, situated in a part of the Muskauer Faltenbogen which is not researched and with no mining activities. 2 km south of Bohsdorf. The west to east directed lineation in the north-west and south part of image reflects a ploughing pattern resulting from reafforesting of a 40 years old pine wood. The size of the detail is 350 m x 1 000 m.

4a – DTM, colour-coded 3D-image

4b – morphological section

4c – The photo shows the north part of the diapir. The main Gieser structure reflects the seam 2. MFK. It runs in an elliptical shape. View from north to south (photo: March 30th 1997)

4a)

tete Ellipse (Abb. 4a). In seinem Kern verläuft ähnlich wie in der Struktur „Guter Anfang“ ein zweiter schmaler und flacher, insgesamt undeutlicher Gieser, der einem zweiten Flöz (Unterbegleiter) zugeschrieben wird (Abb. 4b). Das Besondere des Bohsdorfer Diapirs ist jedoch, dass die Gieser nur den Kernbereich einer zweiten Ellipsenstruktur von 1 400 m x 350 m Größe darstellen. Diese äußere Form wird nach dem stratigraphischen Normalprofil aus schluffigen Sanden der Greifenhainer Schichten (Teil der früheren Oberen Briesker Folge) gebildet. Bei der Verebnung des Faltenbogens wurde durch minimale Unterschiede in der Verwitterungsbeständigkeit innerhalb dieser Lockergesteinsfolge diese Form herausmodelliert (siehe auch Kapitel 3). Für den Bohsdorfer Diapir liegen aus der Kohlenexploration keine Untersuchungen vor. In Analogie zu der geomorphologisch stark zerstörten Diapirstruktur 200 m östlich des Felix-

4b)

sees, deren Tiefenbau bekannt ist (KUPETZ 1977, Abb. 5), ist mit einer Wurzeltiefe des Bohsdorfer Diapirs von etwa 150 m unter dem heutigen Geländeniveau zu rechnen.

Der Erwähnung wert erscheint schließlich der Friedrichshai-

ner Schichten liegt. Kenntnisse zum Tiefenbau des Friedrichshainer Diapirs existieren nicht.

Kenntniszuwachs zu den *Giesern des Flözfaltentyps* liefert das DTM nicht. Dies liegt darin begründet, dass es sich hierbei um flächenhafte Flözhochlagen handelt, über denen vermoorte Einsenkungen liegen. Ein solcher Fall existierte im Drogiske-Luch, das in den 20er Jahren des 20. Jahrhunderts im Tagebau der Grube „Felix bei Bohsdorf“, dem heutigen Felixsee, abgebaut worden ist (vgl. KUPETZ 1997, Abb. 5). Es wird angenommen, dass im Reuthener Moor eine ebensolche Situation vorliegt. Das Reuthener Moor war in den 60er Jahren des 19. Jahrhunderts ein Torfstich (KRAUTZ 1868). Zu einem nicht näher bekannten späteren Zeitpunkt wurde das Moor mit einem künstlichen Damm abgeriegelt, etwa 1 m über dem natürlichen Oberflächenwasserspiegel überstaut und der Renaturierung überlassen. Das DTM (Beilage zu diesem Heft) gibt deshalb hier keine natürlichen Verhältnisse wieder. Das orthogonale Muster im Moor zeichnet die ehemaligen Torfgewinnungsfelder nach.

#### 2.4.2 Tektonische Flächenelemente innerhalb von Großformen glazialtektonischer Deformationen

Innerhalb der Großformen der glazialtektonischen Deformationen sind im hochauflösenden DTM tektonische Flächenelemente sichtbar geworden. Es handelt sich dabei um Flächen mit Dehnungscharakter und um Flächen, an denen Dehnungen und Schichtversätze stattgefunden haben. Den „Alten Bergleuten“ waren derartige Strukturen unter den Namen „Verdrückungen“ und „Störungen“ (letzterer Begriff wurde dabei nicht im geologisch-tektonischen Sinne gebraucht) bekannt. Sedimentologisch handelt es sich um Sedimentgänge.

Die Großformen des Schuppen- und Faltenbaus im Muskauer Faltenbogens besitzen eine monokline Gefügesymmetrie, die sich mit den orthogonalen Referenzachsen *a*, *b* und *c* beschreiben lässt, wobei *b* senkrecht auf der einzig existierenden Symmetrieebene, der *ac*-Fläche, steht.

#### Flächen mit Dehnungscharakter ohne Verwerfungen

Als Flächen mit Dehnungscharakter werden Sedimentgänge ohne Seitenversatz beobachtet (vgl. KUPETZ 1997, S.11). Es handelt sich dabei um *ac*-Flächen und Diagonal-Flächen (der Begriff wird analog zu dem Terminus Diagonalkluft gebraucht) mit einer Öffnungsbewegung parallel *b*. Bedingt durch den Lockergesteinscharakter des deformierten Gebirges flossen klastische Sedimente in die sich öffnende *ac*- bzw. Diagonalstruktur ein. Gieser werden beim Vorliegen von Sedimentgängen in tektonischer *ac*- und Diagonalposition von diesen unterbrochen. Die Abbildung 7 zeigt ein besonders instruktives Beispiel im DTM. Ein parallel verlaufendes Gieserpaar wird senkrecht sowie unter einem Winkel von etwa 45° von Sandwällen durchschnitten. In SW-NE-Richtung verläuft genau auf dem diagonalen Sandwall ein Waldweg.

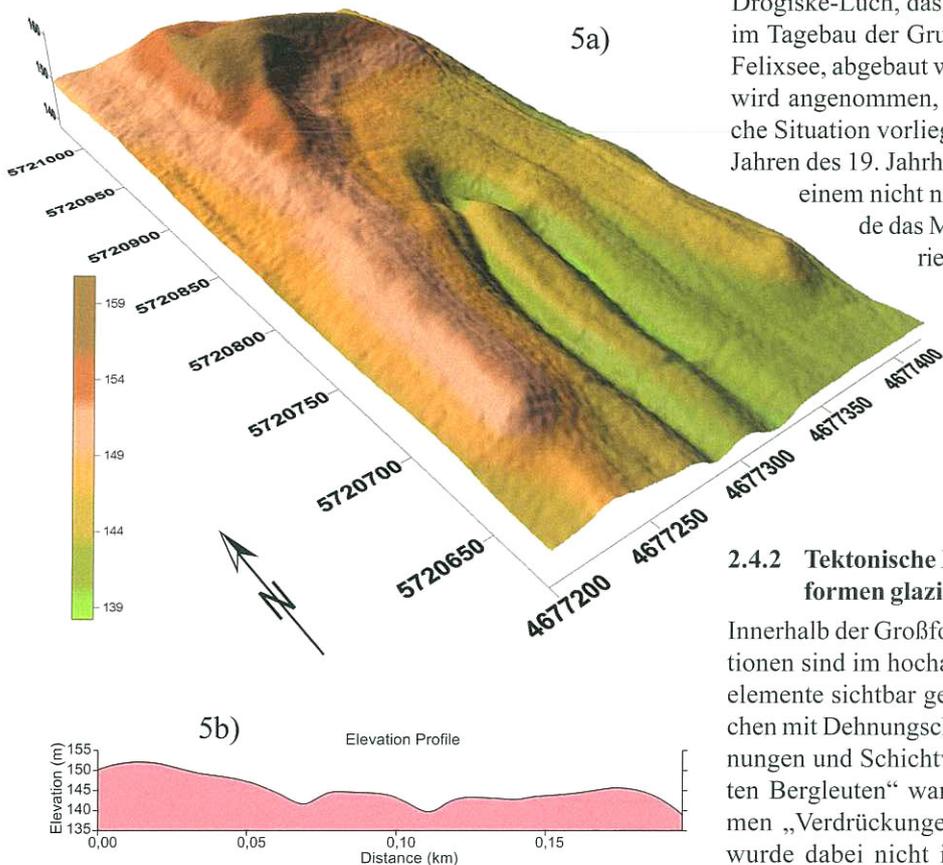


Abb. 5  
„Friedrichshainer Diapir“ gelegen in einem in einem geologisch nicht erkundeten und abgebauten Bereich der Grube „Julius bei Friedrichshain“

5a – DTM, farbkodierte 3D-Darstellung, der dunkelbraune Hügel im nördlichen Bildteil ist ein Erosionsrest glazifluvialer Kiese (weitere Erläuterungen dazu im Text)

5b – Reliefschnitt, zwischen den beiden Hauptgiesern sind zwei wesentlich kleinere Gieser ausgebildet (Erläuterung dazu im Text)

Fig. 5  
Friedrichshain diapir, situated in a part of mine “Julius bei Friedrichshain” which is not researched and with no mining activities.

Er befindet sich in einem kleinen, nicht vom Kohleabbau erfassten Bereich der ehemaligen Grube „Julius“ westlich von Friedrichshain. Neben dem ideal entwickelten, ellipsoiden Gieser über dem Hauptflöz (2. MFK) erscheint ein zweiter, schwach ausgebildeter Gieser außerhalb desselben (Abb. 5a). Hierbei kann es sich nur um den so genannten Oberbegleiter handeln. Das ist ein 2 m mächtiges Flöz, das etwa 20 - 25 m über dem 2. MFK in den schluffigen Sanden der Greifenhai-

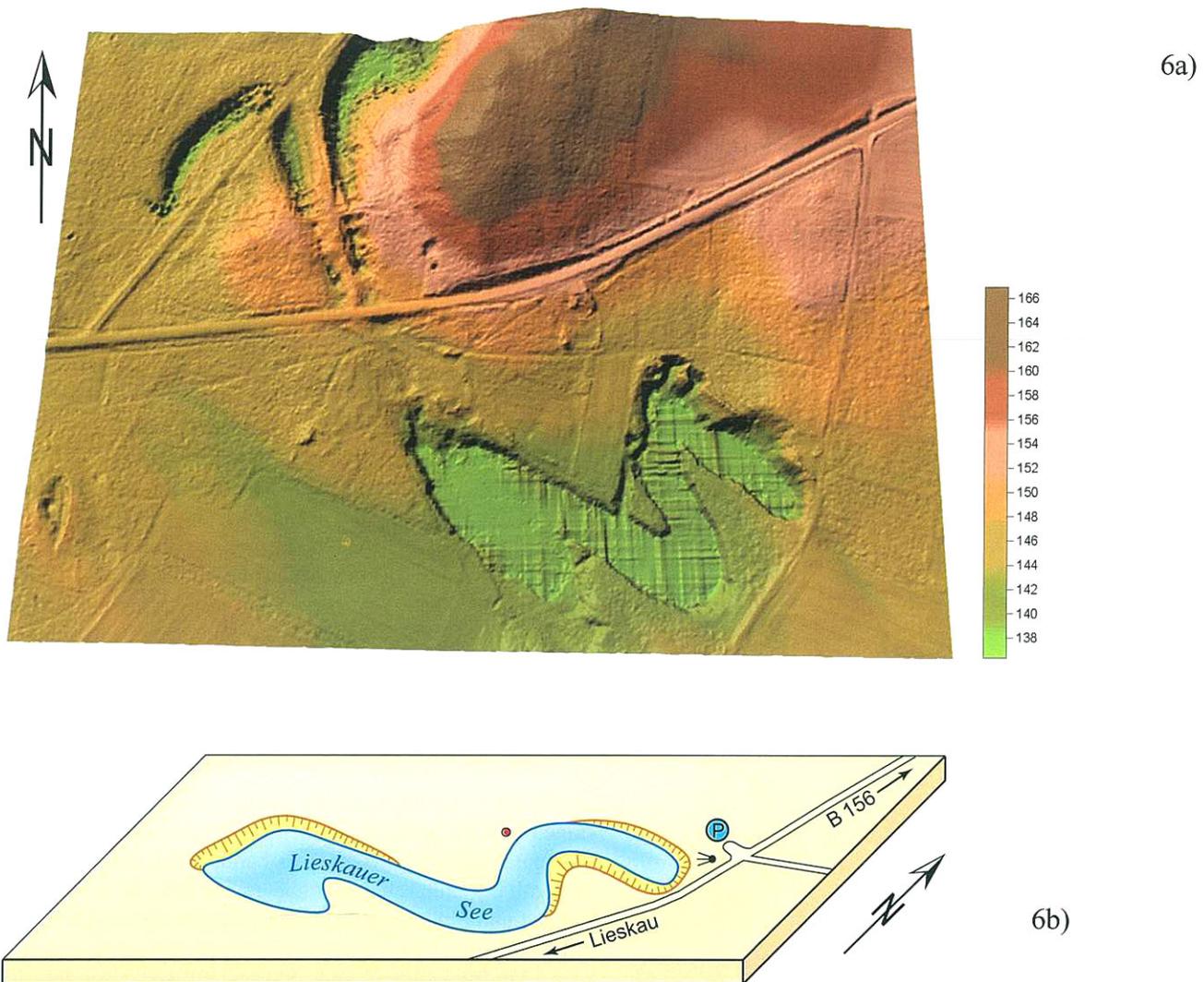


Abb. 6

Irreguläre Flözfalte in den Gruben „Mathilde bei Lieskau“ und „Anna bei Reuthen“. Die doppelt s-förmig gebogene Struktur ist der Lieskauer See (Tagebaurestsee „Mathilde“). Größe des Bildausschnitts 900 m x 670 m

6a - DTM, farbkodierte 3D-Darstellung

6b - Flözdeformation im engeren Bereich des Tagebaus „Mathilde“, eine stark gebogene Faltenachse in Verbindung mit einer streichenden Störung führte zu einer doppelt s-förmigen gestalteten Flözhochnage, deren Abbau den eigenartig geformten Restsee hinterließ. Das Autosymbol bezeichnet den Parkplatz für Badegäste des heutigen Lieskauer Sees.

Fig. 6

Irregular seam fold in the mines „Mathilde bei Lieskau“ and „Anna bei Reuthen“. The double s-shaped structure is reflected by the Lieskauer See (rest lake of open cast mine „Mathilde“). The size of the detail is 900 m x 670 m.

6a - DTM, colour-coded 3D-image

6b – deformed seam in the area open cast mine „Mathilde“: A hardly arcuated fold axis is connected with a striking fault. The result is a double s-shaped seam near the earth’s surface. This special situation is reflected in the shape of the rest lake. Parking at the pictogram.

Mögliche Einwände, dass der Wall zum Zwecke des Wegebau aufgeschüttet wurde, können damit entkräftet werden, dass der Wall wesentlich breiter ist, als es eine künstliche Aufschüttung erfordern würde.

#### Verwerfungen

Schichtversätze erscheinen im Oberflächenausstrich als Seitenverschiebungen. Es ist jedoch in Erwägung zu ziehen, dass bei einfallenden Schichten auch vertikale Schichtver-

sätze dasselbe Erscheinungsbild aufweisen wie Seitenverschiebungen. Möglich ist es auch, dass kombinierte Bewegungen auftreten.

Das Titelbild dieses Heftes gibt einen Ausschnitt aus einer größeren diagonalen Verwerfung wieder. Durchschnitten werden auf einer Länge von 1 100 m mindestens fünf Gieserstrukturen. Wahrscheinlich setzt sich die Ruptur nach SW unter dem Reuthener Moor fort und durchschneidet süd-

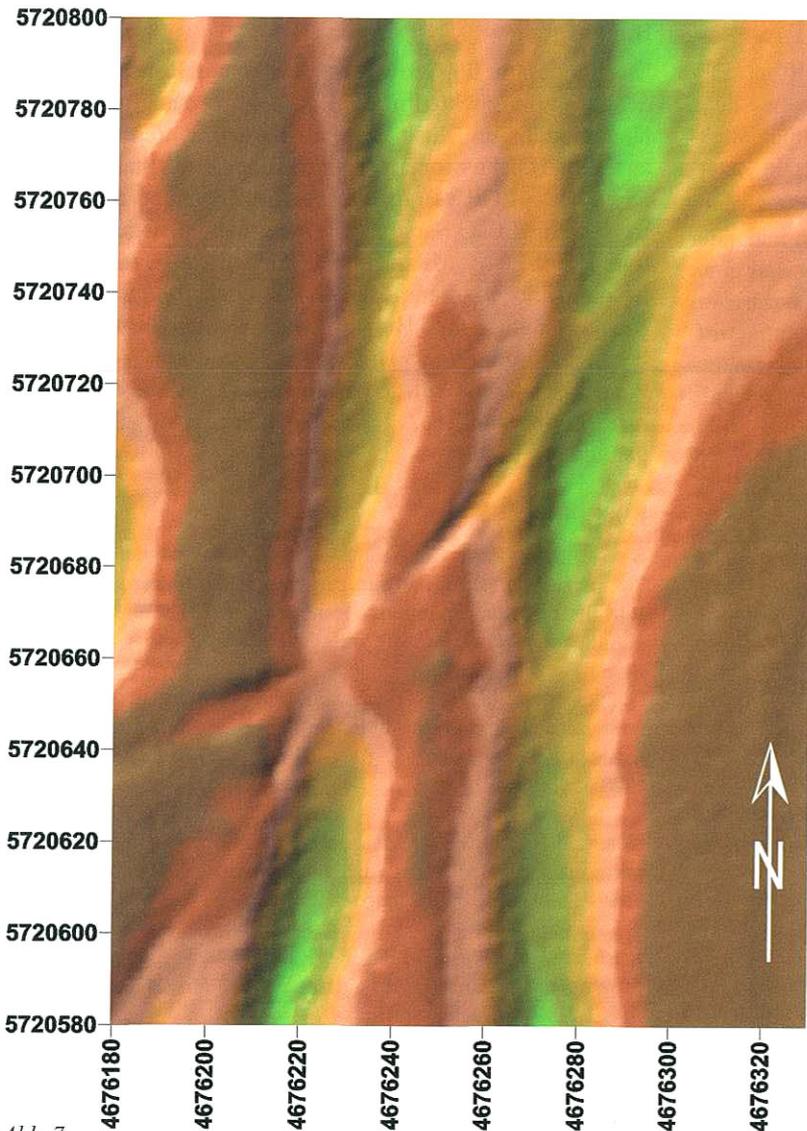


Abb. 7  
Glazialtektonische Dehnungsstrukturen (Sedimentgänge) in zwei benachbarten Giesern (ac- und Diagonalstrukturen), DTM, farbkodiert. Größe des Bildausschnittes 150 m x 220 m

Fig. 7  
Glaciotectonic dilatation structures (sedimentary dikes) in two neighbouring Gieser structures (ac and diagonal structures). DTM, colour-coded 3D-image. The size of the detail is 150 m x 220 m.

westlich desselben zwei weitere Gieser. Die Störung besitzt bei dieser Interpretation eine Erstreckung von 2 200 m als lineares Einzelelement. Nach NE schließt sich mit ähnlicher Streichrichtung südöstlich eine Parallelruptur an, die ebenfalls etwa 2 km lang ist. Hier liegt ein kompliziertes, durch die Bergbautätigkeit stärker verändertes, bruchtektonisches Bild vor, das einer gesonderten Untersuchung bedarf. Nach den deutlichen Schleppungen zu urteilen, liegt überwiegend eine Seitenverschiebung vor.

### 3. Diskussion der Geomorphologie

Bei detaillierter Betrachtung der stark reliefierten Gieserlandschaft in kleinen Geländeausschnitten (100 m bis max. 1 000 m-Dimension) können zwei voneinander verschiedene Formen

der Oberflächenmorphologie ausgehalten werden. Zum einen ist es die Formen­gruppe der Gieser. Sie ist (in der Regel) mit scharfem Gehängeknick auf kurze Entfernungen (10 m bis max. 50 m) grö­ßenordnungsmäßig 3 m bis max. 20 m tief eingeschnitten. Zum anderen ist es die Rumpffläche, in die sich die Gieser postglazial im Holozän eingeschnitten haben. Die Rumpffläche besitzt eine sehr viel sanftere Oberflächenmorphologie. Meist betragen die Gelände­undulationen nur wenige Dezimeter bis Meter auf 100 oder 200 m horizontaler Entfernung. Geländeknicke fehlen hier. Überraschenderweise bildet die sehr schwache Morphologie der Rumpffläche ähnliche Schuppen- und Faltenstrukturen ab, wie es sehr viel deutlicher die Gieser tun. Die kohlebegleitenden klastischen Sedimente (meist verschiedenartige Sande) bilden wie die Gieser abflusslose, also nicht fluviatile Geländeformen. Gleichzeitig weist die Rumpffläche eine ungewöhnlich dichte Bestreuung mit Windkantern auf (vgl. RASCHER u. a. 2000). Die intensive forstliche Bewirtschaftung des Gebiets hat die natürlichen Lagerungsverhältnisse der oberflächennahen Windkanter verändert, so dass bisher eine genetische Deutung ihres Auftretens nicht möglich war. Rumpfmorphologie und Windkanterbestreuung gemeinsam jedoch werden als Merkmale für eine Landschaftsgenese durch Deflation in nivalem Klima bei fehlender Vegetationsdecke angesehen. Unterschiedliche Winderosionsbeständigkeit der groben und feinen, tertiären Sande mit wechselndem Schluffgehalt führte zur Herausmodellierung einzelner Schichten bzw. Schichtgrenzen. Ein instruktives Beispiel hierfür ist der Bohsdorfer Diapir (Abb. 4). Lokal überragen

sandig-kiesige bis kiesige Schichtreste (glazifluviatil, wahrscheinlich warthezeitlich) das aus überwiegend feinklastischem Tertiär bestehende Relief. Das Quartär bildet lokal kuppenartige Erhebungen von 5 m bis 10 m Höhe. Dies ist z. B. am Nordrand des Friedrichshainer Diapirs der Fall (Abb. 5). Zeitlich erscheint die Zuordnung des Deflationreliefs der Vereisungsperiode in der jüngeren Weichselkaltzeit am wahrscheinlichsten. Mit einer durchschnittlichen Höhe von 150 m über NN, variierend zwischen 120 m und 180 m NN, bildete der Faltenbogen eine Hochlage und damit exponierte Position für den Angriff kaltzeitlicher Stürme. Es ist zu erwarten, dass örtlich ein derartiges äolisches Relief als Rumpffläche für die postweichselzeitliche Gieserbildung auch in den sächsischen und polnischen Faltenbogenabschnitten erhalten geblieben ist.

## Zusammenfassung

Das hochauflösende digitale Geländemodell eröffnet, insbesondere mit dem digital terrain model (DTM), eine neue Dimension in der Erkennung großmaßstäblicher glazialtektonischer Strukturen im Muskauer Faltenbogen. Die elsterzeitlich angelegte und nachfolgend stark verebnete Grundbruchmoränenstruktur tritt in zwei flächenhaft voneinander abgrenzbaren Verebnungsgraden auf, einer stark und einer sehr schwach reliefierten Gieserlandschaft. Darüber hinaus wurde ein wirr strukturierter Feinmorphologietyp angetroffen, der möglicherweise das Schollenmuster eines glazialtektonisch deformierten Dauerfrostbodens geringer Tiefe abbildet.

Als lineare Strukturen treten ausstreichende Schichten (so genannte Gieser: junge Eintalungen über Braunkohlenflözen) sowie tektonische Flächen (*ac*- und diagonale Dehnungsstrukturen, Seitenverschiebungen) mit bisher unbekannter Genauigkeit auf. An Einzelbeispielen wird der geologische Tiefenbau unter dem geomorphologischen Abbild durch Schnitte und Blockbilder ergänzt.

In der stark reliefierten Gieserlandschaft sind zwei Etappen quartärer Landschaftsentwicklung erkennbar. In einer älteren Etappe erfolgte eine Reliefbildung durch Winderosion (Deflation in vegetationsfreier Landschaft bei nivalem Klima, spätweichselzeitlich). In die äolisch geprägte Rumpffläche hat sich postglazial (Holozän) das Talsystem der Gieser eingesenkt.

## Summary

The high-resolution digital terrain model (DTM) opens a new extent in recognition of large scale glaciotectionic features in the Muskauer Faltenbogen (Muskau Arch). The Elsterian age deformed and subsequently eroded base failure moraine appears in DTM in two grades of unevenness. There is a hardly elevated and a very weakly elevated type of Gieser landscape. Furthermore is distinguished an very weakly but irregular shaped surface, which possibly represents a cluster of irregular arranged rafts of no deep reaching permafrost ground.

Straight geomorphogenic elements are striking lignite seams (so called Gieser: narrow valleys above outcropping lignite, which has been reduced in volume as a result of weathering under the influence of air and water) and tectonic planes (*ac* and diagonal extension structures, strike-slip faults). They are visible in DTM in so far not known degree of accuracy. Exemplarily the geological depth structures beneath the geomorphogenic appearance are supplemented by cross section or block diagrams.

There are two geomorphogenic stages in development of hardly elevated type of Gieser landscape. In an older phase deflation in nival climate without any vegetation formed a wind erosion the relief (late Weichselian age). In a younger phase the Gieser valley system cut into the eolian caused denudation surface (Holocene).

Anschrift des Autors:  
Dr. Manfred Kupetz  
Landesumweltamt Brandenburg, Außenstelle Cottbus  
PSF 100765, 03007 Cottbus

## Danksagung

Das Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg ermöglichte mir die Bearbeitung des digitalen Geländemodells im Muskauer Faltenbogen. Durch zahlreiche anregende Diskussionen förderten Herr Dr. W. Stackebrandt, Direktor des LGRB Brandenburg, Kleinmachnow sowie Herr Dr. P. Suhr, LfUG Sachsen, Freiberg den vorliegenden Beitrag. Herr S. Jany, Milan GmbH Bautzen, gab Unterstützung bei der Bildbearbeitung. Herr U. Walloßek, Revierförster des Reviers Reuthen, und Herr E. Kwast, Heidemuseum Spremberg, beförderten die Untersuchungen durch Vermittlung von Kenntnissen über den Waldbestand und die Recherche historischer Quellen. Allen Genannten möchte ich vielmals danken.

## Literatur

- BANKWITZ, P. (1982): In: SAGDEJEW, R. S., SALISTSCHEW, K. A. & H. KAUTZLEBEN (Hrsg.): Atlas zur Interpretation aerokosmischer Multispektralaufnahmen. Methodik und Ergebnisse. - 83 S., Akademie-Verlag Berlin / Verlag Nauka Moskau
- GIEBELHAUSEN (1871): Die Braunkohlenbildungen der Provinz Brandenburg und des nördlichen Schlesiens, ihre Lagerung und gegenseitige Stellung. - Z. Berg-, Hütten- und Salinenwesen **19**, S. 28 - 55, Berlin
- KUPETZ, M. (1996): Der Muskauer Faltenbogen - ein Geotop von europäischer Bedeutung. - Brandenburgische Geowiss. Beitr. **3**, 1, S. 125 - 136, Kleinmachnow
- KUPETZ, M. (1997): Geologischer Bau und Genese der Stauchendmoräne Muskauer Faltenbogen. - Brandenburg. Geowiss. Beitr. **4**, 2, S. 1 - 20, Kleinmachnow
- KUPETZ, M. (2002): Grundbruchmoränen – eine neue Form von glazialtektonischen Großdeformationen. - Uniwersytet Zielonogorski zeszyty naukowe nr. 129, budownictwo nr. 37 (IX International Glacitectonics Symposium: Glacitectonics Deformations in South-western Poland), S. 111 - 121, Zielona Gora
- KRAUTZ, T. (1868): Torf=Verkauf.- Anzeige im Spremberger Blatt, Nr. 81, Sonnabend, den 11. Juli 1868, S. 356
- KRENTZ, O. (1995): Nutzung des digitalen Höhenmodells für die geologische Landesaufnahme in Sachsen. - Publ. DGPF, **3**, S. 179 - 185, Berlin
- POTONIÉ, R. (1930): Über den Muskauer Faltenbogen, seine Oberflächenformen und deren Abhängigkeit von der Beschaffenheit und der Tektonik der Braunkohle. - Jb. Preuß. Geol. LA Berlin **51**, S. 392 - 416, Berlin.
- RASCHER, J., MEIER, J. & M. KUPETZ (2000): Der Geopark Muskauer Faltenbogen – Grundlagen, Stand, Perspektiven. - Geowiss. Mitt. Thüringen, Beih. **10**, S. 75 - 85, Weimar
- STANDKE, G. (2001): Paläogeographisch-fazielle Modellierung des Unter-/Mittelmiozän-Grenzbereichs in der Lausitz (Briesker Folge/Formation). - Dissertationsthesen, TU Bergakademie Freiberg, 22.06.2001, 7 S. (unveröff.)