

## **Die Anwendung geophysikalischer Methoden bei der Lösung von Altbergbau-Problemen**

**Edward Popiołek, Zygmunt Niedojadło**

Berg- und Hüttenakademie, Kraków

**Zenon Pilecki**

Polnische Akademie der Wissenschaften, Kraków

### **ZUSAMMENFASSUNG :**

*In dem Artikel werden die Möglichkeiten der Nutzung geophysikalischer Untersuchungen zur Lokalisierung und der Vorhersage des Auftretens von un stetigen Deformationen in Gebieten mit untiefer Abbautätigkeit besprochen. Diese Möglichkeiten werden anhand der physikalischen Ursachen der Entstehung von un stetigen Deformationen charakterisiert. Es wird auf grundsätzliche Vorteile und Beschränkungen solcher Methoden wie: die gravimetrische, seismische, geoelektrische und Geo-Radar-Methode hingewiesen. Entworfen wird eine Klassifizierung gefährdeter Gebiete und auf die Zweckmäßigkeit der Durchführung von geophysikalischen Untersuchungen aufmerksam gemacht.*

## 1 Einführung

Jene Bergbaugengebiete, wo in der Vergangenheit untiefer Abbau durchgeführt wurde, sind äußerst schwer für die Bauzwecke zu nutzen. Die Oberfläche der Gebiete, wo in kleinen Teufen Steinkohle, Blei-, Zink- oder Eisenerze gefördert wurde, ist von un stetigen Deformationen (die als Sackungen bezeichnet werden) gefährdet. Diese Gefährdung tritt insbesondere in Revieren älterer Abbautätigkeit auf, die über Jahrhunderte geführt wurden [23]. In der Bewertung dieser Gefährdung bereitet der veränderliche und endgültig nicht geklärte Mechanismus der Entstehung von un stetigen Deformationen. Abhängig von den Gebirgsverhältnissen kann dieser Prozess verschiedenartig verlaufen. Daraus resultieren unterschiedliche Beschreibungen und Klassifizierungen dieser Gefährdung.

Um eine un stetige Deformation lokalisieren und voraussehen zu können, bedient man sich geophysikalischer Methoden. Eine ausführlichere Beschreibung der Ergebnisse einer solchen Erkundung wurde in den Arbeiten von Fajklewicz dargestellt [7 u. 8]. Am effektivsten sind folgende Methoden: die gravimetrische, seismische, Geo-Radar- bzw. Elektrowiderstandsmethode. In den Untersuchungslochern können auch Verwendungen von Bohrlochgeophysik nützlich sein.

In dem folgenden Artikel wird die Anwendungsart der geophysikalischen Methoden zur Bewertung der Nutzbarkeit von gefährdeten Gebiete dargestellt. Es wird eine Klassifizierung vorgenommen, die auf die Anwendbarkeit der geophysikalischen Methoden in Abhängigkeit von der Gefährdungskategorie des Gebietes hinweist.

## 2 Physikalische Ursachen der Entstehung von diskontinuierlichen Deformationen auf Gebieten mit untiefer Abbautätigkeit

Auf der Oberfläche der Gebiete einer untiefen Abbautätigkeit können je nach den Gebirgsverhältnissen un stetige Deformationen in Form von Trichtern, Sackungen, Spalten und stufen entstehen [Abb. 1]. Viele Forscher haben sich mit der theoretischen Betrachtung und Beschreibungen der geomechanischen Prozesse beschäftigt, die zur Entstehung jener Deformationen führen. Alle werden in der Arbeit [14] ausführlich zitiert. In Polen haben diese Probleme vom Gesichtspunkt der geophysikalischen Erkundung Fajklewicz [5,6,7,u. 8], Goszcz [11] und Marcak [16] untersucht.

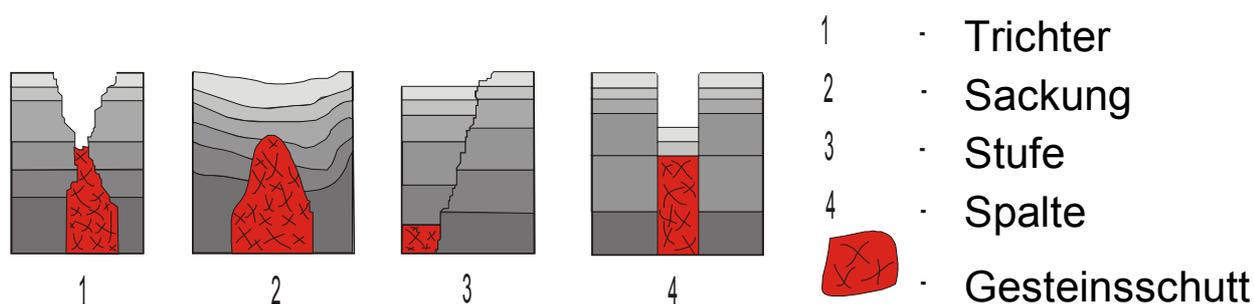


Abb.1 : Formen der diskontinuierlichen Deformationen [12]

Die meisten Probleme, die in Verbindung mit der Gefährdung der Oberfläche durch un stetige Deformationen auftreten, bereiten jene Abbauverfahren, in denen nicht versetzte und nicht zubruchgeworfene Abbauhohlräume zurückgelassen werden. Die un stetigen Deformationen treten nicht über jedem Gebiet untiefer Abbautätigkeit auf. Zeit und der Ort des Auftretens sind schwer vorauszusehen. Die bisher beobachteten Deformationen traten sowohl nach sehr kurzer Zeit nach

dem Abbau als auch nach hundert und mehr Jahren auf [23]. Das Vorhandensein eines nicht versetzten Hohlraumes im Gebirge bewirkt eine ständige, zeitlich nicht bestimmbare Geländegefährdung, die oft zu Baukatastrophen führt. Im Allgemeinen sind ältere untiefe Abbauhohlräume auf vorhandenen zugänglichen Karten nicht dokumentiert.

Über die Art und Ausdehnung der Deformation entscheiden geologisch-bergbauspezifische Faktoren, und insbesondere der Wassergehalt und die damit verbundene Suffosion. Ein besonders gefährlicher Zustand entsteht dann, wenn eine Infiltration in die Abbauhohlräume möglich ist. Der Hohlraum kann sich mit Wasser füllen, das als Versatz funktioniert. Wenn dieser Hohlraum entwässert wird, z.B. infolge von in der Nähe durchgeführter Arbeiten, so kann die Suffosion eingeleitet werden und zu Zerstörungen in der Umgebung des Hohlraumes führen [12]. Auf diese Weise können sich neue Hohlräume bilden, die sich zur Tagesoberfläche verlagern. Die Materialausspülung aus den Gebirgsrissen kann auch Ursache für Abbrüche sein, was zur Bildung un stetiger Deformationen auf der Oberfläche führen kann.

Ein anderes Problem, das mit Wassereinwirkung zusammenhängt, ist die Infiltration in das Gebirge durch die über dem Abbau entstandene Spalten. Aus diesem Grund kann sogar ein in großer Tiefe geführter Abbau Ursache für die Bildung eines Hohlraumes sein, der viel höher als die Abbau sohle liegt. Solche Hohlräume können Brüche hervorrufen, und im Fall deren untiefen Lagerung können ihre Folgen an der Oberfläche sichtbar werden.

Die Abbauführung in der Nähe alter Abbauhohlräume kann deren Reaktivierung verursachen. Die Entwicklung eines Hohlraumes erfolgt, wenn in entsprechender senkrechter Entfernung eine neue Abbauf ront geführt wird. Die Aktivierung der alten Hohlräume kann auch als Folge der durch Sprengarbeit hervorgerufenen Erschütterungen erfolgen. Der Betrieb schwerer Fahrzeuge kann ebenfalls die Schwingungen des Mediums verursachen und somit die Reaktivierung der Abbauhohlräume.

Im Allgemeinen können folgende Faktoren die Entstehung der un stetigen Oberflächendeformationen beeinflussen:

- Änderungen der hydrogeologischen Verhältnisse, verbunden mit der Wasserinfiltration in das Gebirge,
- Abbauführung in der Nähe der alten Abbauhohlräume,
- Dynamische Belastung des Gebirges mit Verkehrsschwingungen, abbaubedingten Schlägen u.a.,
- Übermäßige statische Belastung des Geländes,
- Abschwächung der Gebirgseigenschaften infolge rheologischer und Verwitterungsprozesse,
- Verlust der Ausbaustützkraft der alten, untief liegenden Abbauhohlräume.

### **3 Die Erkundung der Absenkungsgefährdung mit geophysikalischen Methoden**

#### **3.1 Das geophysikalische Modell des Abbauhohlraumes**

Die Arbeitsweise der geophysikalischen Untersuchungen erfordert – vom Gesichtspunkt der Mess- und Auswertungsmöglichkeiten – deutliche Änderungen der physikalischen Eigenschaften des Mediums. Im Gesteinsgebirge werden diese Änderungen entscheidend durch das Zerklüftungssystem beeinflusst, das den Hohlraum umgibt. Abb. 2 zeigt charakteristische Zonen der geophysikalischen Darstellung des Abbauhohlraumes [16]. Die Zone I stellt meistens einen Hohlraum, der mit Wasser und den von der Firste und den Stößen abfallenden Gesteinsbrocken verfüllt ist. In der Zone II entwickelt sich ein Zerstörungsprozess, der eine Verschiebung des Hohlraumes nach oben ermöglicht. Die Zone III ist eine abbaubedingte charakteristische Zerklüftungszone, die sich infolge rheologischer und Witterungsprozesse weiter entwickelt. Die Grenze zwischen den Zonen III und IV beschreibt wesentliche Änderungen der physikalischen Eigenschaften und bildet damit die Basislinie der geophysikalischen Erkundung. Diese Grenze kann im Grunde nicht eindeutig bestimmt werden, denn sie stellt eigentlich eine Übergangsphase dar, die mit der Änderung der Zerklüftungsintensität

zusammenhängt. Das beeinflusst auch die geophysikalische Darstellung dieser Zone. Die Zerklüftungen um den Hohlraum herum haben meistens Geschwindigkeitsverringering der seismischen Wellen, der Dichte des Mediums und eine Änderung der Dielektrizitätskonstante zur Folge, was ein anormaler Effekt im geophysikalischen Feld verursacht.

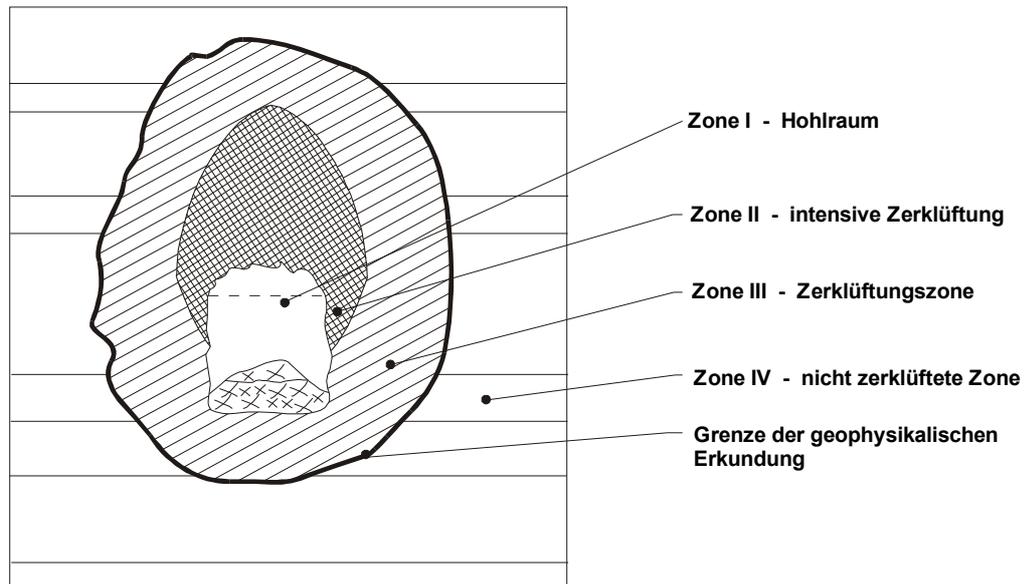


Abb.2 : Geophysikalisches Modell des Abbauhohlraumes (anhand [16])

### 3.2 Die gravimetrische Methode

Verschiedenartige Hohlräume, darunter auch Abbauhohlräume, werden in der Verteilung der Schwerkraft oder deren senkrechten Schwergradienten sichtbar. Die Änderungen der Lage und Form der Gesteinshohlräume können anhand der periodischen Messungen der Schwereanomalien [4] beobachtet werden. Vereinfacht dargestellt beruht diese Methode auf der Messung der Änderungen der Schwerkraft  $\Delta g$  in jenen Punkten, die in der Nähe des durch Absenkungen gefährdeten Gebietes lokalisiert sind, und in Folge der Analyse der Differenzanomalien  $\Delta g_{i+1} - \Delta g_i$ . Die in der Verteilung der Differentialanomalien der Schwerkraft und des senkrechten Schweregradienten auftretenden negativen Anomalien weisen auf das Vorkommen von Gesteinshohlräumen und der sie umgebenden Zonen der Dichteänderungen (Abb. 3) hin. Die Beobachtung der Steigerung dieser Anomalien ermöglicht, sowohl die Entwicklungsphasen der Hohlräume als auch die der Zerklüftungszonen, die sie umgeben, zu bestimmen [9]. Die Hohlräume samt diesen Zonen werden als Singularpunkte des Schwerefelds behandelt. Die Verlängerung der Differentialanomalien der Schwerkraft und ihres Gradienten nach unten ermöglicht, die Hohlräume zu lokalisieren und die Richtung ihrer Verschiebung zu bestimmen. Mit zunehmender Tiefe wird das Auflösungsvermögen der Methode kleiner. Eine größere Tiefe verursacht auch die Verminderung der Werte der mit dem Hohlraum zusammenhängenden Anomalie  $\Delta g$  sowie das „Abflachen“ der Verteilungskurve  $\Delta g$ .

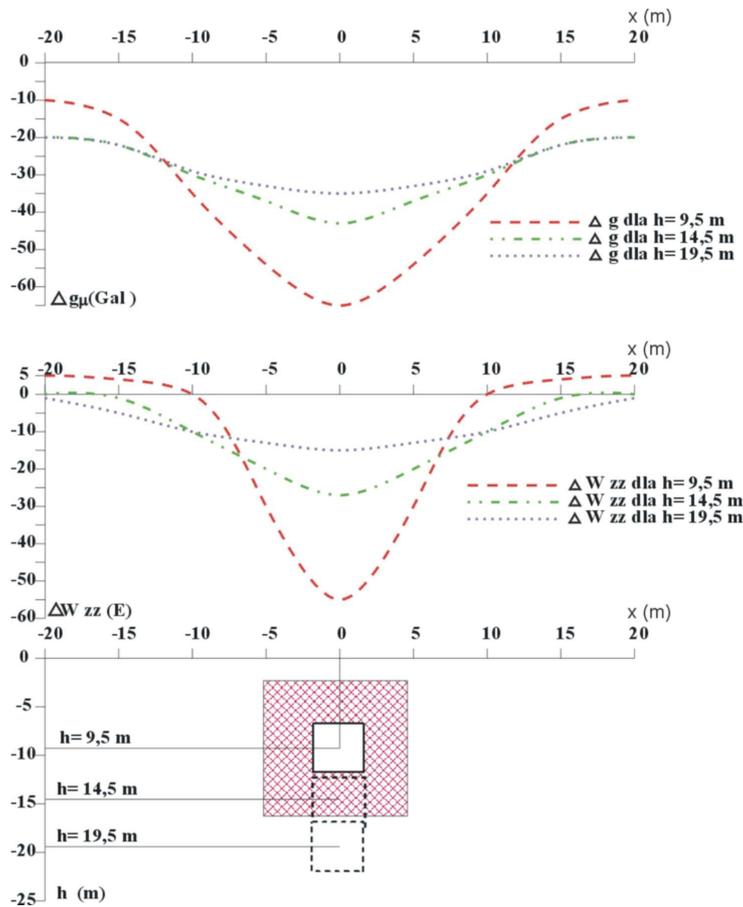


Abb.3 : Verteilung der modellierten Werte der Mikroanomalien der Schwerkraft  $\Delta g$  und deren senkrechten Gradienten  $\Delta W_{zz}$  in der Funktion der Teufe  $h$  über der 4,5m-breiten Strecke [5].

### 3.3 Die seismische Methode

In den seismischen Untersuchungen treten die Zerklüftungszonen und Hohlräume auf den Seismogrammen in Form von Diffraktionswellen, Geschwindigkeitsverminderung der seismischen Wellen und Dämpfung der seismischen Wellen aller Art (besonders der Wellen vom Typ  $S$ ), manchmal sogar Wellenschwung auf. Die Ergebnisse werden als Verteilungskarten von Geschwindigkeit, Elastizitätsmodul oder Dämpfungsfaktoren dargestellt. Das Problem der Lokalisierung der Hohlräume findet breitere Anwendung in der seismischen Tomographie (Abb. 4) [13].

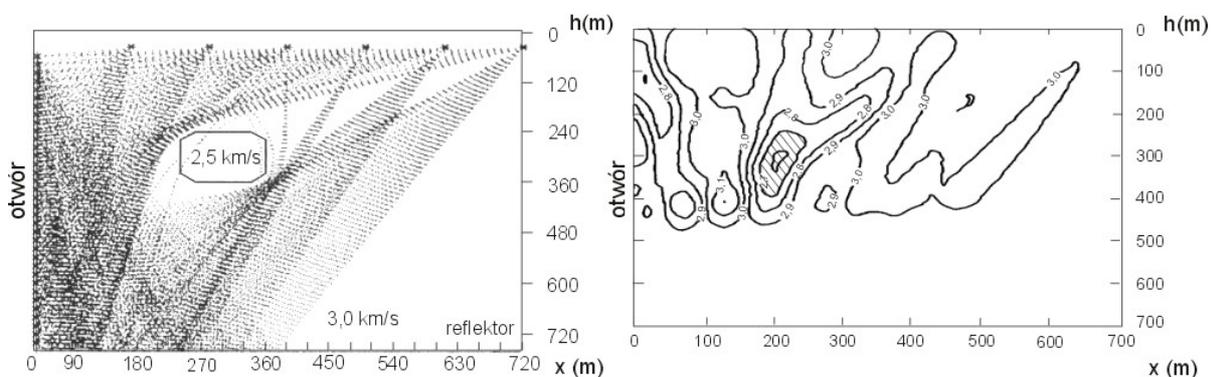


Abb.4 : Tomographische Inversion der modellierten Zone mit der verminderten Geschwindigkeit 2,5 km/s [13]

In den 70er Jahren wurden im Główny Instytut Górnictwa (Hauptinstitut für Bergbau) Modelluntersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, Möglichkeiten der Anwendung seismischer Durchleuchtung als Hohlraumnachweis zu überprüfen [26]. Diese Untersuchungen bewiesen, dass dies möglich ist, sofern die Länge der verwendeten Welle mindestens dreimal kleiner ist, als der Hohlraumdurchmesser. Die Untersuchungen des Modells der Zerklüftungszone zeigten ähnlichen Änderungen der Durchleuchtungswellen, also die Verminderung ihrer Geschwindigkeit und der Amplitude. Es stellte sich auch heraus, dass im Fall einer Spalte (um so mehr bei Zerklüftungszone), das Verhältnis der Länge der seismischen Welle zur Breite der Störung nicht so wichtig ist, wie im Falle eines Hohlraumes. Beim Durchleuchten eines Hohlraumes beeinflusst seine Lokalisierung zum Empfänger oder Sender das Entstehen des sog. akustischen Schattens.

Interessante Ergebnisse erreicht man bei der Verbindung der seismischen und seismisch-akustischen Methode im Schema der lokalen Beobachtungen. Die gegenseitige Ergänzung beider Methoden ermöglicht die Lokalisierung von Hohlräumen und das Monitoring Stabilität [10]

### **3.4 Die geoelektrische Methode**

Für Hohlräume mit Zerklüftungszone ist eine Änderung der geoelektrischen Parameter wie der elektrische Widerstand oder die Dielektrizitätskonstante charakteristisch im Vergleich mit den Eigenschaften des umgebenden Mediums. Ähnlich wie im Fall der seismischen oder gravimetrischen Parameter, ist hier nicht nur der Hohlraum wesentlich, sondern auch die Zerklüftungszone um ihn herum. Von den geoelektrischen Methoden wird die Elektro-Widerstandsmethode am häufigsten zur Lokalisierung von Hohlräumen angewendet, und zwar in der Profilierungsversion. [18, 19]. Die Informationen über die Lagerungsteufe und die Ausmaße der Hohlräume werden von den Elektro-Widerstandsuntersuchungen mit Hilfe einer Durchleuchtung angefertigt. Zwecks der Beurteilung der dynamischen Entwicklung des Hohlraumes in der Zeit können Beobachtungen der zeitlichen Änderungen des elektrischen Widerstandes des geologischen Mediums durchgeführt werden. Der Prozess der Entwicklung der Hohlräume und der Zerklüftungszone zeigt sich in der Änderung des Unterschiedes zwischen dem maximalen und minimalen Wert des Scheinwiderstandes sowie in den Änderungen dessen Durchschnittswertes in der Zeit. Diese Untersuchungen werden als Elektro-Widerstand-Profilierung auf mehreren Niveaus durchgeführt.

Miecznik und Antoniuk [17] erörtern Probleme der Elektro-Widerstand-Profilierung der Oberfläche an einer undurchlässigen eingedeckten Kugel, die das Modell eines Hohlraumes darstellt. Nach der Analyse der erreichten Ergebnisse kamen sie zu folgenden Schlussfolgerungen:

Die Elektro-Widerstand-Methode in der Modifizierung der Oberflächeprofilierung eignet sich zur Lokalisierung nicht tief liegender dreidimensionaler Inhomogenitäten des untersuchten Mediums; die Effizienz der Methode sinkt, wenn das Verhältnis der Ausmaße des zu untersuchenden Objektes zu der Lagerungsteufe nicht groß ist,

Der Hauptparameter, der über die Größe der Widerstandsanomalie entscheidet, bildet das Verhältnis der Lagerungsteufe des Objektes zu seinen Ausmaßen, zweitrangig sind dagegen Art und die Ausmaße des Messsystems.

### **3.5 Die Geo-Radar-Methode**

Als Hochfrequenz-Methode von hohem Auflösungsvermögen bei geringem Tiefbereich eignet sich diese Methode zur Bestimmung von Unstetigkeiten in oberflächennahen Mediumsschichten. Die elektromagnetische Welle unterliegt beim Durchdringen des Mediums einer Veränderung abhängig von: Dielektrizitäts- und magnetischen Konstanten, der Durchlässigkeit sowie der elektrischen Leitfähigkeit. Auf diese Weise werden Informationen über den geologischen Bau des Mediums gesammelt. Wichtig für die Art der Wellenausbreitung sind Phänomene wie Reflexion, Diffraction und Dämpfung. Jede Störung unter der Oberfläche von geringen Ausmaßen sowie die Störung der Dielektrizitätskonstante, die sich von der Umgebung unterscheidet, produziert eine

Diffractionsquelle, die von großer Bedeutung zur Erkennung oberflächennaher Strukturen ist. Im geologischen Medium werden die Wellen stark gedämpft. Es wurde experimentell Folgendes festgestellt: für die meisten Minerale der oberflächennahen Gesteinsschichten steigt die Wellendämpfung mit der Steigerung der Frequenz und der Feuchtigkeit dieser Formationen. Aus der Größe der Dämpfung und deren Abhängigkeit von der Frequenz geht hervor, dass für die Erkennungsgrenze des bestimmten Signals die maximale Untersuchungstiefe abrupt mit dem Frequenzanstieg fällt. In der Arbeit von Marcak et. al. [15] werden die Forschungstiefen und maximale Frequenzen angegeben, für die diese Tiefen erreicht werden können - bei Annahme der gleichen Signalstärke. Die Abhängigkeit der Tiefe von der Frequenz hängt mit dem Ausmaß des zu erkundenden Objekts zusammen. Die Verteilungsebenen zwischen den einzelnen geologischen Schichten werden in den Niederfrequenzen in der Größenordnung von einigen Zehntel MHz erkannt. Kleine Objekte erfordern höherer Frequenzen, was die Erkennungstiefe beschränkt.

Die Geo-Radar-Methode ist der seismischen Methode, sowohl in der Visualisierungsart der Messergebnisse (das Echogramm entspricht dem seismischen Zeitprofil) als auch in der Datenverarbeitung sehr ähnlich.

#### **4 Die Klassifizierung der Eignung der durch unstetige Deformationen gefährdeten Gelände für die Bebauung mit Berücksichtigung der geophysikalischen Erkundung**

Die bisherigen Erfahrungen im Bereich der Erkennung von unstetigen Deformationen über untiefen Abbaugeländen ließen eine Klassifizierung der Gelände nach dem Ausmaß zu erwartenden Deformationen formulieren [1]. Diese Klassifizierung teilt die diskontinuierlichen Deformationen in Klassen, je nach dem größtmöglich zu erwartenden Trichterdurchmessers bzw. der Breite der Risse oder Höhe des Abbruchs.

Auf den Gebieten über den untiefen Hohlräumen des Blei- und Zinkerzbergbaus wurden viele getrennte Klassifizierungen für konkrete Gebirgsverhältnisse angefertigt. Die allgemeinen Prinzipien der Formulierung solcher Klassifizierungen wurden in der Arbeit von Popiolek und Ostrowski [22,26] vorgestellt. Diese Klassifizierungen unterscheiden hauptsächlich drei Kategorien der Geländegefährdung [20, 24]

- **Kategorie A**

Das Gelände eignet sich zur Bewirtschaftung, es gibt keine Gefährdung durch unstetige Deformationen. Es soll jedoch angemerkt werden, dass dieses Gebiet innerhalb der Grenzen eines Grubenfeldes liegt, unter dem sich alte, historische Abbauhohlräume befinden können. Daher ist die Lokalisierung eines Bauobjektes auf diesem Gelände nur unter der Bedingung möglich, dass die Baugrube von einem erfahrenen Geologen abgenommen wird.

- **Kategorie B**

Auf diesem Gelände Bau- und technische Objekte zu lokalisieren, wird nicht empfohlen. Die Bebauung ist nur unter speziellen Bedingungen möglich. Das Gelände ist durch unstetige Deformationen wie kleine und mittelgroße Trichter und Sackungen (Durchmesser bis zu 6,0 m) gefährdet. Das sind Gebiete über einem alten, historischen Abbau, der kartographisch dokumentiert ist. Die Bauobjekte sollen außerhalb der Konturen der Abbaufelder lokalisiert werden. Falls notwendig wird, über den Abbauhohlräumen zu bauen, sind ausführliche geotechnisch-geologische Untersuchungen unentbehrlich.

- **Kategorie C**

Die Bebauung dieses Geländes ist ausgeschlossen, es wird Bewaldung empfohlen. Dieses Gebiet ist durch Trichter und Sackungen mit sehr großen Ausmaßen gefährdet (von Durchmessern über 9,0 m). Das hängt mit dem Vorhandensein von Abbauhohlräumen zusammen, die unter dem Einfluss verschiedener ungünstiger Faktoren zerstört werden können und somit zum Auftreten der unstetigen Deformationen an der Oberfläche führen können.

Eine allgemeinere Klassifizierung, mit Berücksichtigung des Mehrflözbaus von Blei- und Zinkerz bzw. Steinkohle sowie der Möglichkeit von geophysikalischen Untersuchungen, wurde in der Arbeit von Popiolek und Trzcionka [21] vorgestellt. Diese Klassifizierung, die von Pilecki und Popiolek [23] modifiziert wurde, stellt Tabelle 1 dar.

Tab.1 : Eignungsklassifizierung von durch unetige Deformationen gefährdetem Gelände für eine Bebauung unter Berücksichtigung einer geophysikalischen Erkundung [23]

Kategorie	Gefährdungsstufe	Gebirgsverhältnisse
A Auf diesem Gelände sind keine geophysikalischen Untersuchungen erforderlich	A <sub>1</sub> – keine Gefährdung A <sub>2</sub> – geringe Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lagerstätte nicht vorhanden</li> <li>- Abbau nicht vorhanden</li> <li>- Versatzabbau</li> <li>- Alter Zn-Pb-Bergbau</li> <li>- „ruhiges“ Gelände über dem Steinkohlenabbau</li> <li>- Streckensysteme</li> <li>- Nicht registrierte Gesenke</li> </ul>
B Auf diesem Gelände sind geophysikalische Untersuchungen und Kontrollbohrungen zweckmäßig	B <sub>1</sub> – mittelgroße Gefährdung B <sub>2</sub> – große Gefährdung	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dokumentierter Bruchbau einer dünnen Zn-Pb-Lagerstätte</li> <li>- Gelände über den Steinkohlenflözen mit Möglichkeit der Reaktivierung von Zn-Pb-Abbauhöhlenräumen</li> <li>- Nicht dokumentierter Bruchbau einer dicken Zn-Pb-Lagerstätte</li> <li>- Nicht verfüllte registrierte Gesenke</li> <li>- Dünnes Deckgebirge aus losem Gestein</li> </ul>
C Auf dem Gelände werden geophysikalische Untersuchungen nach Bedarf durchgeführt	Sehr große Gefährdung Für Bauzwecke ungeeignetes Gelände	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dokumentierter Bruchbau einer dicken Zn-Pb-Lagerstätte</li> <li>- Scheibenabbau einer Zn-Pb-Lagerstätte</li> <li>- Mächtiges Deckgebirge aus lockerem Gestein</li> <li>- Auftreten von Absenkungen von großen Ausmaßen</li> </ul>

In der Kategorie B ist es z.B. notwendig, geophysikalische Untersuchungen mit Kontrollbohrungen durchzuführen. Diese Kategorie wird in die Gefährdungsstufen B1 und B2 unterteilt. In der Kategorie B1 tritt eine mittelgroße Gefährdung auf, da das Gelände über dem Bruchbau einer dünnen Zn-Pb-Lagerstätte liegt oder unter dem Zn-Pb-Abbau unter tieferem Abbau von Steinkohle geführt wurde. Dagegen kann die Gefährdungsstufe B2 (große Gefährdung) mit dem nicht dokumentierten Abbau von großen Feldern in der Zn-Pb-Lagerstätte zusammenhängen oder mit registrierten und nicht verfüllten Gesenken oder dünnem Deckgebirge von losem Gestein über dem laufenden Abbau.

In der Kategorie A sind keine geophysikalischen Untersuchungen vorgesehen, da das Gelände außerhalb der Abbaueinflüsse liegt oder aber dort Versatzbau durchgeführt wird. Das gilt auch für die Gebiete von geringer Gefährdung, z.B. „ruhiges“ Gelände oder Gebiete über altem Bergbau.

Man nimmt an, dass auf den Gebieten der Kategorie C, die durch unetige Deformationen sehr gefährdet sind, geophysikalische Untersuchungen in besonderen Situationen durchgeführt werden können. Beispielsweise können solche Untersuchungen notwendig werden, um den Stand der „Beruhigung“ des Geländes zu beurteilen.

Es soll auch unterstrichen werden, dass der Informationsstand der geophysikalischen Methoden mit der Konzentration der Messungen (Messprofile) steigt. Im Fall kleinerer Ausmaße (von einigen Metern) der Objekte kann die Verminderung der Informationsqualität zu nicht zuverlässigen Ergebnissen führen. In solchen Situationen sollten die Untersuchungen sehr genau und an die Größe des geplanten Gebäudes angepasst geführt werden.

Die vorgestellte Klassifizierung kann zur Planung geophysikalischer Untersuchungen und Kontrollbohrungen auf den gefährdeten Gebieten angewendet werden. Falls solche Untersuchungen unternommen werden sollten, wäre eine ausführliche Analyse der Gebirgsverhältnisse und der vorhandenen Dokumentation der registrierten Änderungen des Oberflächenbildes unentbehrlich.

## 5 Schlußfolgerung

In dem Vortrag wurden Probleme der Nutzung geophysikalischer Methoden zur Untersuchung von un stetigen Deformationen auf Gebieten mit untiefer Abbautätigkeit besprochen. Die Wirksamkeit dieser Methoden hängt wesentlich von den Gebirgsverhältnissen ab. Zur Verbesserung der Wirksamkeit können diese Untersuchungen komplex, bei Anwendung verschiedener Methoden durchgeführt werden, deren Erkundungsbereiche sich gegenseitig ergänzen.

Bei Projektierung und Bestimmung der Methodik der geophysikalischen Arbeiten spielt die Optimalisierung der Auswahl von Untersuchungsmethoden in den gegebenen Gebirgsverhältnissen sowie die Kenntnis der Faktoren, die das Gleichgewicht im Gebirge stören, eine Rolle. Man soll in dem Fall genau die Parameter des durchgeführten Abbaus wie: Lagerungsteufe, Mächtigkeit des abgebauten Flözes (der Flöze), Abbauverfahren, Mächtigkeit und Lithologie des Deckgebirges kennen. Von großer Bedeutung für die Auswertung der beobachteten geophysikalischen Anomalien ist das Kennenlernen des Mechanismus der Hohlrumentwicklung. Daher besteht die Notwendigkeit, Zeitmessungen der Änderungen der physikalischen Eigenschaften vorzunehmen. Solche längere Zeit über durchgeführte Messungen können eine Form von „geotechnischem Monitoring“ bilden.

Die im Artikel vorgestellte Klassifizierung der gefährdeten Gebiete und deren Untersuchung mit Hilfe der geophysikalischen Methoden hängt mit der Bautätigkeit, die sich in den Bergbaugebieten entwickelt, zusammen. Die Klassifizierung unterstreicht die Notwendigkeit von Untersuchungen in Kategorie B-Gebieten, wo die Gefährdung mittelgroß bis groß ist. Ratsam wäre, die geophysikalischen Untersuchungen auf diese ausführlichen Messungen zu begrenzen, die mit der Lösung eines konkreten Problems oder mit der Realisierung einer geplanten Investition verbunden sind.

### Literatur

1. *Chudek M., Janusz W., Zych J.*: Studium dotyczące stanu rozpoznania tworzenia się i prognozowania deformacji nieciągłych pod wpływem podziemnej eksploatacji złóż. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, z. 141, Gliwice 1988.
2. *Fajkiewicz Z.*: O podziemnych pomiarach grawimetrycznych w zastosowaniu do górnictwa węglowego. Wyniki prac na kopalni Miechowice. Arch. Górn., t.1, z.4, 1956,
3. *Fajkiewicz Z.*: Mikrograwimetria górnicza. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1980.
4. *Fajkiewicz Z.*: Prognozowanie metodą mikrograwimetryczną gwałtownych zaburzeń powierzchni terenów górnicznych. Ochrona Terenów Górnicznych 60, rok XVI, 1982, 10 – 15.
5. *Fajkiewicz Z.*: Geneza anomalii siły ciężkości i jej pionowego gradientu nad pustkami występującymi w skałach kruchych. Ochrona Terenów Górnicznych 73/3 – 74/4, rok XIX, 1985, 3 – 13.
6. *Fajkiewicz Z.*: Origin of the anomalies of gravity and its vertical gradient over cavities in brittle rock. Geophysical Prospecting vol. 34, No 6, 1986, 1233 – 1254.
7. *Fajkiewicz Z.*: Znaczenie badań geofizycznych w procesie przywracania wartości użytkowych terenom naruszonym dokonaną eksploatacją górnictwem. Mat. Symp. Warsztaty 2001 nt. Zagrożeń naturalnych w górnictwie, Wyd. IGSMiE PAN, Kraków, 2001a, 45 – 86.
8. *Fajkiewicz Z.*: Mikrograwimetria górnicza, W: Badania geofizyczne w kopalniach (red. red. J. Dubiński, Z. Pilecki i W. M. Zuberek), Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2001b.

9. *Fajkiewicz Z., Radomiński J.*: Prognozowanie grawimetryczne możliwości wystąpień deformacji nieciągłych powierzchni terenu, w wyniku ekspansji pustek i wyrobisk górniczych. Konferencja: Ekologia w górnictwie, a geofizyka., 143 – 152.
10. *Hardy H. R. and Belesky R. M.*: Use of Acoustic Emission and Seismic Tomography Techniques to Study Sinkhole Development. Japanese J. of Applied Physics. Vol. 26, Supplement 26 – 1, 1987, 3 – 8.
11. *Goszcz A.*: Metody geofizyczne w problemach ochrony powierzchni i innych zagadnieniach technicznych kopalń. Mat. I Kraj. Konf. Nauk. Techn. „Zastosowanie metod geofizycznych w górnictwie kopalni stałych: t. II, Wyd. AGH, Kraków, 1985, 9 – 22.
12. *Goszcz A.*: Powstawanie zapadlisk i innych deformacji nieciągłych powierzchni na obszarach płytkiej eksploatacji górniczej. Mat. Konf.: Szkoła Eksploatacji Podziemnej '96. Wyd. CPPGSMiE PAN, Kraków, , 1996, 119 – 137.
13. *Kasina Z.*: Wybrane aspekty teorii i zastosowań tomografii sejsmicznej, Mat. V Konf. Nauk. – Techn. nt. Geofizyka w geologii, górnictwie i ochronie środowiska, 1999, 157–168.
14. *Kwiatkiewicz J. (red.)*: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych, Wyd. GIG, Katowice 1997.
15. *Marcak H., Karczewski J., Ziętek J.*: Analiza możliwości wykorzystania metod georadarowych do określania zmian ekologicznych w ośrodku geologicznym. Technika Poszukiwań Geologicznych nr 2, 1996, 5 – 12.
16. *Marcak H.*: Powstawanie zapadlisk i innych form deformacji nieciągłych powierzchni spowodowanych występowaniem pustek. Mat. Symp. „Warsztaty '99”, 1999, 71 – 84.
17. *Miecznik J., Antoniuk J.*: Profilowania elektrooporowe nad modelem kawerny. Przegląd Górniczy nr 3, 1973.
18. *Mościcki W. J.*: Czasowe zmiany oporności elektrycznej utworów przypowierzchniowych w rejonie katastrofy w kopalni soli w Wieliczce. Zesz. Nauk. AGH, ser. Geofizyka Stosowana, z. 13, Kraków 1993.
19. *Podio R., Sobczyk J., Szpura R.*: Lokalizacja starych szybów górniczych metodą geoelektryczną. Przegl. Górn. 7–8, 1978, 303 – 308.
20. *Popiołek E. i in.*: Ocena zagrożenia powierzchni terenu w zasięgu O.G. „Bolesław” z tytułu prowadzonej eksploatacji podziemnej przed 1945 r. oraz eksploatacji współczesnej, w aspekcie ograniczenia tego zagrożenia. Kraków 1993, Opracowanie niepublikowane.
21. *Popiołek E., Trzcionka P.*: Zagospodarowanie przestrzenne terenów górniczych. III Konf. Nauk. Techn.: Ochrona Środowiska na Terenach Górniczych, Ustroń-Jaszowiec 1998.
22. *Popiołek E., Ostrowski J.*: Propozycja klasyfikacji zagrożonych terenów pogórnich likwidowanych kopalń. Konf. Nauk. Techn. V Dni Miern. Górn. i Ochrony Terenów Górniczych. Prace Naukowe GIG nr 30, 1999.
23. *Pilecki Z., Popiołek E.*: Wpływ eksploatacji rud na zagrożenie powierzchni deformacjami nieciągłymi i jego badanie za pomocą metod geofizycznych. Studia, Rozprawy, Monografie 84, Wyd. IGSMiE PAN 2000.
24. *Popiołek E., Ostrowski J., Sepiał J., Olas Z., Włodarz B., Kubański W.*: Ocena wpływu likwidowanego rejonu Olkusz kopalni „Olkusz – Pomorzany” na środowisko i obiekty powierzchniowe. SITG, Katowice 2000, Praca niepublikowana.
25. *Popiołek E., Niedojadło Z., Ostrowski J.*: Klassifizierung der Tagesoberfläche im Hinblick auf die zukünftige Nutzung beim Altbergbau. 1.Altbergbau-Kolloquium. Freiberg 2001.
26. *Zakolski R.*: Określenie nieciągłości górotworu metodami geofizycznymi na obszarze GZW. Praca GIG, Komunikat nr 622, 1974.