

Dipl.-Ing. Peter Vosen  
Abteilungsleiter Geoinformation  
Deutsche Steinkohle AG, Herne

Dr.-Ing. Christian Fischer  
Wissenschaftlicher Assistent  
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen  
Technische Universität Clausthal-Zellerfeld

## **Umweltüberwachung in Bergbaugebieten unter Nutzung hyperspektraler Fernerkundungsdaten**

### **Kurzfassung:**

Im Rahmen des von der Europäischen Union geförderten Forschungsprojektes MINEO wurden seitens der Deutschen Steinkohle AG (DSK) Methoden für den operationellen Einsatz von Fernerkundungsdaten und Geoinformationssystemen (GIS) für die regelmäßige Beobachtung, Erfassung und Bewertung von Umwelteinflüssen in Bergbaugebieten entwickelt. Für das DSK-Testgebiet „Kirchheller Heide“ (Bergwerk Prosper Haniel) sind aufgrund des untertägigen Steinkohlenabbaus nur indirekte Umwelteinflüsse des Bergbaus zu beobachten, die sich insbesondere aus senkungsbedingten Veränderungen der hydrologischen Situation (Flurabstand, Vorflut) und den daraus resultierenden Beeinflussungen auf die Vegetation und Landnutzung ergeben können. Der Schwerpunkt der Auswertungen der Fernerkundungsdaten (hyperspektraler Sensor HyMap™) lag daher auf der Entwicklung von Methoden zur Erfassung und Analyse des Vegetationszustandes und auftretender Veränderungen. Damit bildet MINEO einen Baustein für das DSK-Umweltinformationssystem DSK-UMIS.

### **Text:**

Die europäische Bergbauindustrie trägt ca. 7% zum EU-Bruttosozialprodukt bei und liefert wichtige Rohmaterialien für einen weiteren Teil der europäischen Industrie. Zugleich führt der Bergbau aber unausweichlich zu Umweltveränderungen mit bisweilen beträchtlichem Gefährdungspotential. Aus diesem Grund sieht sich die europäische Bergbauindustrie mit einem erhöhten Umweltbewusstsein und verschärften gesetzlichen Bestimmungen konfrontiert.

Ein zukunftsorientiertes Umweltmanagement schließt das Verständnis der in der Umwelt stattfindenden Prozesse sowie deren Überwachung (Monitoring) mit ein - und hilft damit sowohl die natürlichen Ressourcen schonend zu nutzen und negative Eingriffe möglichst zu vermeiden als auch die Sanierungs- und Renaturierungskosten zu minimieren. Um diese Aufgabe zu erfüllen, werden umfangreiche Datenbestände benötigt, die stets aktuell und schnell verfügbar sein müssen. Außerdem ist eine Reihe von Methoden erforderlich, um diese Daten erheben und analysieren zu können. Die Technologie der Geoinformationssysteme und die Methoden der Fernerkundung sind hierfür adäquate Werkzeuge, mit deren Hilfe Informationen zur Entscheidungsunterstützung gewonnen werden können.

### **EU-Forschungsprojekt MINEO**

Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen wurde das MINEO-Projekt (Assessing and monitoring the environmental Impact of mining activities in Europe using advanced earth observation techniques - Umweltüberwachung in Bergbaugebieten mit neuen Fernerkundungsmethoden, 2000 - 2003) innerhalb des 5. Rahmenprogramms der Europäischen Union initiiert (6). Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt war eine gemeinsame Initiative der geologischen Dienste von Dänemark (GEUS), Finnland (GTK), Großbritannien (BGS), Frankreich (BRGM), Österreich (GBA), Portugal (IGM) und Deutschland (BGR), dem Joint Research Centre (JRC) der EU, dem dänischen Umweltinstitut NERI sowie der Deutschen Steinkohle AG (DSK) als Vertreter der Bergbauindustrie in Europa.

Wesentliche Zielsetzungen des Projektes MINEO waren die Entwicklung von Methoden für den zukünftigen operationellen Einsatz von hyperspektralen Fernerkundungsdaten (flugzeuggetragener

hyperspektraler Sensor HyMap™, vgl. <http://www.hyvista.com>), der Integration dieser Daten in ein Geo-Informationssystem sowie die Entwicklung von GIS-gestützten Analysetechniken, die eine regelmäßige Beobachtung, Erfassung und Bewertung von Umwelteinflüssen in Bergbaugebieten ermöglichen. Ein wichtiger Punkt war die Entwicklung von Standards für die Auswertung und Bereitstellung dieser fernerkundlichen und weiterer Daten. Damit sollte eine technologische Basis für die Zusammenarbeit zwischen Behörden und Industrie bei der Überwachung und Erfassung bergbaulicher Umwelteinwirkungen sowie bei der Entscheidungsfindung zur Ergreifung von Maßnahmen geschaffen werden. Um die anvisierten Ziele dieses Projektes zu erreichen, wurden sechs europäische Bergbaugebiete als Testareale ausgewählt:

- arktisches Testgebiet „Mestersvig“ (Grönland, Blei-Zink-Lagerstätte),
- nordeuropäisches Testgebiet „Lahnslampi“ (Finnland, Talkum-Lagerstätte),
- westeuropäisches Testgebiet „West Cornwall“ (Großbritannien, Zinn-Kupfer-Lagerstätte),
- zentraleuropäisches Testgebiet „Kirchheller Heide“ (Deutschland, Steinkohlen-Lagerstätte),
- alpines Testgebiet „Steirischer Erzberg“ (Österreich, Siderit-Lagerstätte),
- südeuropäisches Testgebiet „São Domingos“ (Portugal, Zink-Kupfer-Lagerstätte).

Die Wahl der Testgebiete sollte einerseits das breite Spektrum der europäischen Bergbauaktivitäten widerspiegeln und andererseits die verschiedenen geographischen, klimatischen sowie sozioökonomischen Umweltfaktoren in Europa darstellen. Jedes Testgebiet ist charakterisiert durch unterschiedliche Umweltprobleme, die sich aus der Lagerstätte, Abbaumethode und -geschichte ergeben. Die Befliegungen erfolgten jeweils durch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR).

### Die Rolle der Deutschen Steinkohle im MINEO-Projekt

Das DSK-Testgebiet „Kirchheller Heide“ (Bergwerk Prosper Haniel) nimmt eine Sonderrolle innerhalb des MINEO-Projektes ein, da es sich im Gegensatz zu allen anderen Testgebieten um untertägigen Bergbau handelt.

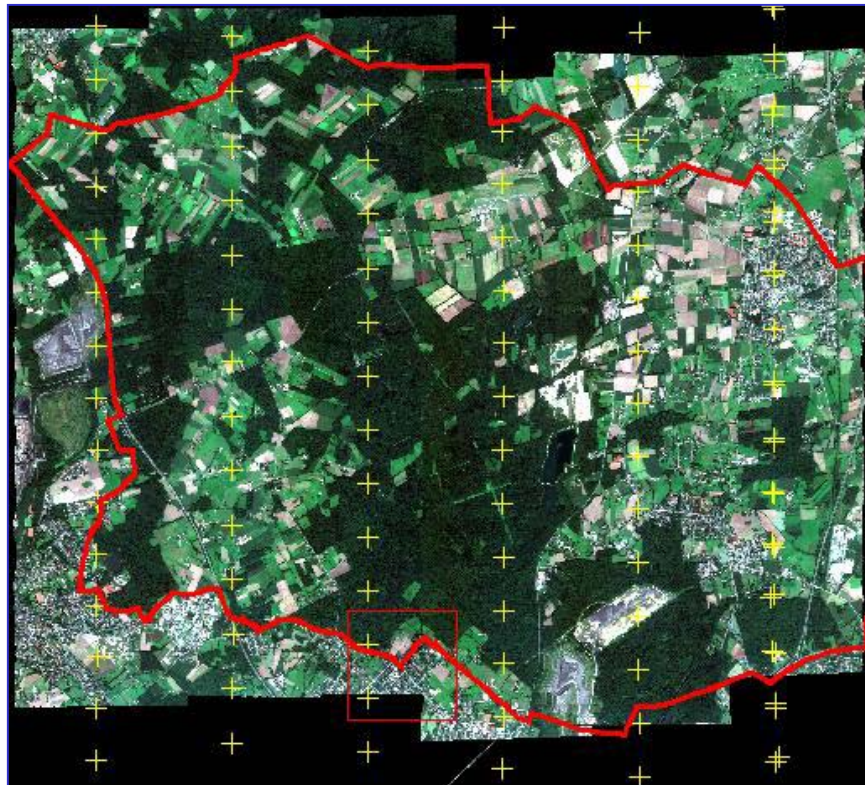


Bild 1. HyMap-Daten Kirchheller Heide 2000. Die gelben Kreuze markieren die sechs Flugstreifen (Nord-Süd). Rot dargestellt ist der Untersuchungsraum der Umweltverträglichkeitsstudie für das Bergwerk Prosper Haniel (Rahmenbetriebsplan bis 2019).

Somit sind nur indirekte Umwelteinflüsse zu beobachten, die sich insbesondere aus senkungsbedingten Veränderungen der hydrologischen Situation (Grundwasserflurabstände, geometrische Veränderung der Vorflutsituation) und den daraus resultierenden Beeinflussungen auf die Vegetation ergeben. Der Schwerpunkt der durchgeführten Auswertungen lag daher auf der Entwicklung von Methoden und Verfahren zur Auswertung der Fernerkundungsdaten, mit denen eine Erfassung und Analyse von Reflexionsanomalien von Waldbeständen durchgeführt werden können.

### Einsatz des hyperspektralen HyMap-Sensors

Im Rahmen des MINEO-Projektes wurde am 24. August 2000 das Gebiet der „Kirchheller Heide“ mit dem flugzeuggestützten hyperspektralen Sensor HyMap befliegen (Bild 1) (2). Dieser Sensor liefert digitale Bilder der Erdoberfläche in 126 Einzelkanälen. Dabei wird die Reflexion der Erdoberfläche im Wellenlängenbereich von 450 nm bis 2480 nm aufgezeichnet (d.h. vom sichtbaren bis zum infraroten Bereich). Neben dieser hohen spektralen Auflösung zeichnet sich der Sensor auch durch eine hohe räumliche Auflösung aus. Die gewählte Flughöhe von 2200 m über NN ergab eine Bodenauflösung von 5x5m pro Pixel. Damit liegen für jeden 25 m<sup>2</sup> großen Ausschnitt der Erdoberfläche, der pro Bildpixel aufgezeichnet worden ist, insgesamt 126 verschiedene Werte über die Reflexionseigenschaften in den unterschiedlichen Wellenlängenbereichen vor. Diese Informationen werden in Form einer kontinuierlichen Reflexionskurve (Spektrum) dargestellt (Bild 2).

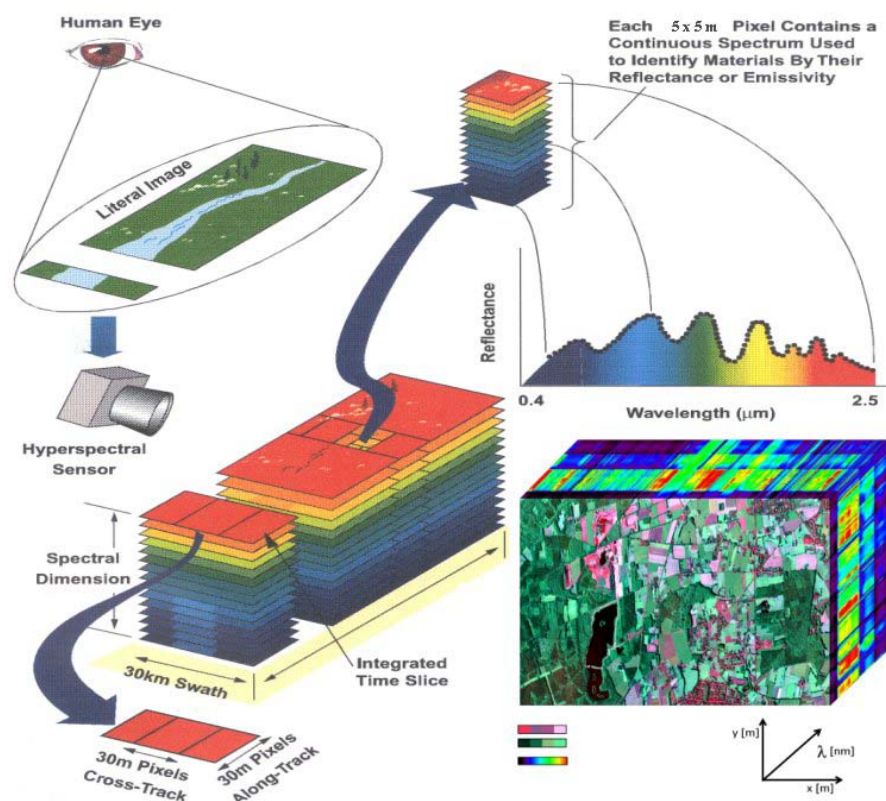


Bild 2. Prinzip der hyperspektralen Datenerfassung  
[n. NEMO, 2005, (7), verändert].

Die individuellen Spektren zeigen je nach Material (z.B. Vegetation, Sand, Asphalt) einen unterschiedlichen Verlauf bzw. unterschiedliche Charakteristika.

### Terrestrische Referenzdaten

Zeitgleich zum HyMap-Flug fand eine Feldkampagne zur Erhebung spektraler Referenzdaten statt. Dazu wurden mit Feldspektrometern an ausgewählten - möglichst homogenen und charakteristischen

- Testflächen Reflexionsspektren gemessen. Diese Referenzdaten dienen einerseits zur Atmosphärenkorrektur der HyMap-Daten, andererseits wurden sie in die MINEO Spektralbibliothek (MSL) eingestellt. Die MSL ist eine von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, im Rahmen von MINEO entwickelte Access-Datenbank. Diese steht als europäische Standard-Datenbank – gefüllt mit Referenzspektren (insbesondere aus Geländemessungen) und entsprechenden Metadaten (u.a. Aufnahmebedingungen, -zeit, -ort, Typ des Spektrometers und das aufgenommene Material) – auch anderen Nutzern zur Verfügung.

### **Datenvorverarbeitung – geometrische und atmosphärische Korrektur**

Die HyMap-Daten wurden vom Sensorbetreiber HyVista systemkorrigiert geliefert. Vor der eigentlichen thematischen Auswertung wurde eine Datenvorverarbeitung durchgeführt, damit die Bilddaten einerseits in das bestehende GIS-System der DSK integriert werden konnten und andererseits mit bereits vorliegende HyMap-Daten aus 1998 verglichen werden konnten.



Bild 3. Ausschnitt geokodiertes HyMap-Bild überlagert mit GIS-Vektordatensätzen (Biotoptypen).

Die Datenvorverarbeitung beinhaltet die geometrische und die atmosphärische Korrektur sowie das Mosaikieren der einzelnen Bildstreifen zu einem zusammenhängenden Bilddatensatz. Für die geometrische Korrektur (Georeferenzierung) und die Beseitigung der atmosphärischen Einflüsse wurden Standardsoftwaretools PARGE (3) bzw. ATCOR4 (1) benutzt.

Anhand von zusätzlichen physikalischen Daten (u.a. Navigationsdaten) und unter Nutzung eines hochauflösenden digitalen Geländemodells (DGM) der DSK wurde die Aufnahmegeometrie der Bilddaten pixelweise berechnet und in das Gauß-Krüger-Koordinatensystem überführt. Die erzielte Genauigkeit variiert zwischen den einzelnen Bildstreifen zwischen 1,5-2 Pixel. Der Lagefehler liegt somit unterhalb von 10 m (Bild 3). Dies ermöglicht eine Erstellung von Bildkarten im Maßstab von ca. 1:10.000 – bis 1:15000.

Wechselnde atmosphärische Bedingungen, Unterschiede in der Sonneneinstrahlung sowie Einflüsse der Topographie wirken sich auf das am Sensor aufgenommene Signal aus. Unterschiedliche Streuungskomponenten der Oberfläche (Nachbarschaftseffekte) und die Geländestrahlung beeinflussen ebenfalls das aufgenommene Signal. Ziel der atmosphärischen Korrektur ist es daher,

diese Beleuchtungseffekte zu korrigieren und die störenden atmosphärischen Einflüsse zu eliminieren. Dies ist insbesondere dann notwendig, wenn Auswertungen in solchen Wellenlängenbereichen erfolgen sollen, die vergleichsweise stark durch die Atmosphäre beeinflusst werden. Dies gilt insbesondere für eine Auswertung von Vegetationsbeständen. Zugleich ist eine Atmosphärenkorrektur eine notwendige Voraussetzung für einen Vergleich von Daten, die zu unterschiedlichen Zeitschnitten aufgenommen worden sind („change detection“).

Die beschriebene Datenvorprozessierung ist sehr wichtig für die Güte späterer Analysen, ist zeitintensiv und erfordert entsprechendes fachliches Know-how. Daher wurden für eine weitere Befliegung in 2003 seitens der DSK bereits vorprozessierte Daten beim DLR beschafft.

### **Datenvorverarbeitung - Mosaikierung**

Die durchgeführte Georeferenzierung und die atmosphärische Korrektur erfolgten streifenweise. Anschließend wurden die einzelnen korrigierten Streifen zu einem Bildmosaik zusammengeführt. In diesem Schritt wurden zugleich auftretende Reflexionsunterschiede an den Streifenrändern benachbarter Flugstreifen korrigiert. Als Ergebnis liegt ein das gesamte Untersuchungsgebiet abdeckender homogener Bilddatensatz vor.

### **Datenanalyse – Erfassung Vegetationszustand und Vegetationsveränderung**

Unter Nutzung vorliegender Biotoptypenkartierungen wurde untersucht, welche charakteristischen Merkmale unterschiedliche Reflexionen verschiedener Vegetationsbestände besitzen. Im Gegensatz zu spektral weitaus geringer auflösenden konventionellen Satellitensensoren, die nur in einzelnen separaten Wellenlängenbereichen aufzeichnen und deren Bilddaten oftmals über statistische Klassifikationsverfahren ausgewertet werden, ist es hier also möglich, die digitalen Bilddaten direkt zu analysieren und mit Referenzdaten zu vergleichen.

Diese Möglichkeit hat zu der Entwicklung von Methoden und Verfahren geführt, die sich auf die Analyse der Reflexionssignale konzentrieren und mögliche auftretende Veränderungen der betrachteten Vegetation durch einen Vergleich dieser Analyseergebnisse erfasst. Neben aus der Literatur bereits bekannten Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Merkmale - wie zum Beispiel des sog. „red edge“ sowie der Berechnung der zugehörigen Werte durch Berechnung der Ableitungen der Reflexionskurven - wurde untersucht, ob sich Methoden aus der Laborspektrometrie für diese Analysen eignen. Dies betrifft insbesondere die Berechnung und Analyse der jeweiligen Flächen unter den Reflexionskurven und deren Ableitungen (insgesamt oder für definierte Wellenlängenbereiche). Insgesamt wurden 18 Parameter für die jeweilige betrachtete Reflexionskurve berechnet und statistisch ausgewertet.

In einem weiteren Schritt wurden unter Nutzung der bei DSK vorhandenen GIS-Daten unterschiedliche Flächen analysiert. Dazu wurden GIS-gestützt die Waldflächen hinsichtlich forstlicher Bestandsparameter (u.a. Baumart, Bestandsalter), bekannter Senkungen sowie berechneter hydrologischer Veränderungen (Grundwasserflurabstand und -veränderungen) analysiert. Es wurde untersucht, ob ein Zusammenhang zwischen der Biotoptypenkartierung und den berechneten Parametern der jeweiligen Reflexionssignale abgeleitet werden kann und ob sich diese Zusammenhänge auf Flächen mit gleichartiger Bestandsstruktur, aber unterschiedlicher bergbaulicher Beeinflussung verändern (Bild 4).

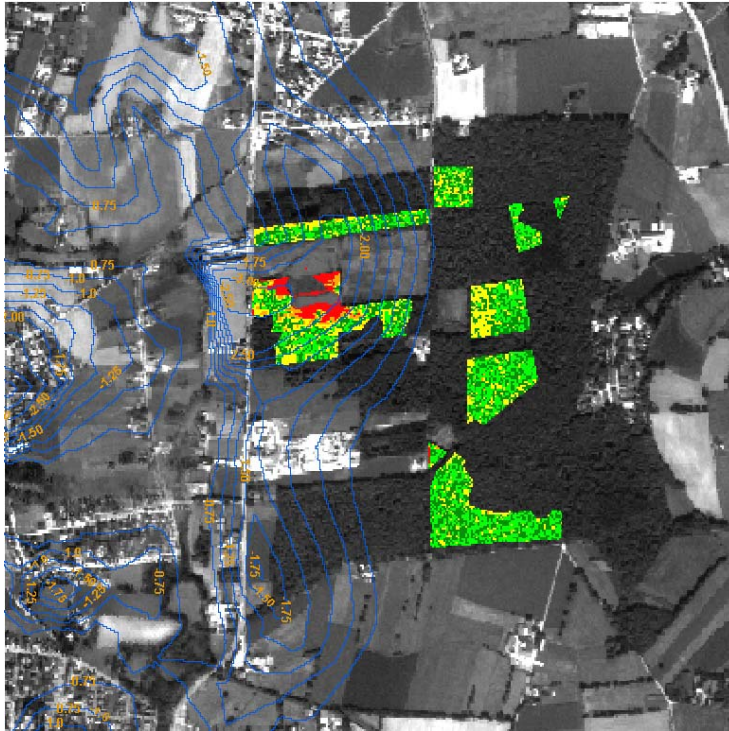


Bild 4. Darstellung von Isolinien der Grundwasserflurabstandsveränderung (in Metern) sowie erfasste Anomalien in den Reflexionsspektren der Kiefernbestände (zunehmend von grün nach rot).

Die Methoden zur Auswertung hyperspektraler Fernerkundungsdaten erlauben es der DSK zukünftig, die Monitoringgebiete (tlw. über 100 qkm pro Bergwerk) flächendeckend zu dokumentieren und auftretende Veränderungen des Pflanzenzustandes sowie Veränderungen der Landnutzung zu erfassen (4).

### Auswertesoftware für hyperspektrale Daten

In einem nachfolgenden internen Forschungsvorhaben der DSK wurde die Software HIFA (Hyperspectral Image Feature Analysis) auf der Grundlage der Fernerkundungsstandardsoftware ENVI/IDL entwickelt, die es eingewiesenen DSK-Mitarbeitern ermöglicht, zukünftig die notwendigen Auswertungen der hyperspektralen Daten selbstständig durchzuführen (Bild 5).

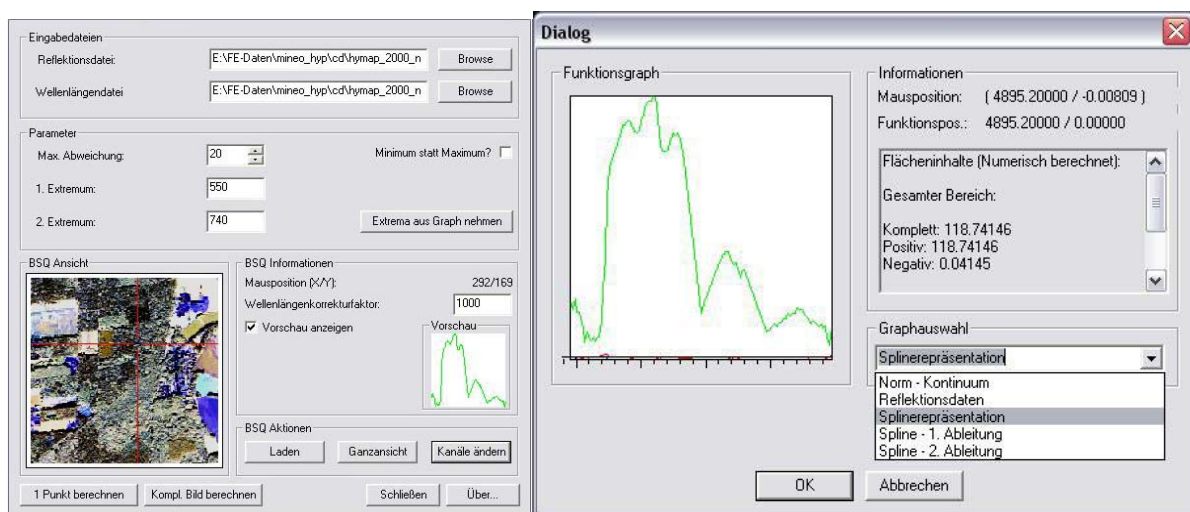


Bild 5. Beispiel für entwickelte Software-Tools zur Analyse der HyMap-Daten.

In HIFA sind alle notwendigen Auswerterroutinen sowie Datenexportroutinen unter einer gemeinsamen Oberfläche vereint. Die Auswerteergebnisse lassen sich in ENVI oder IDL weiterbearbeiten. Die resultierenden Klassifikationsergebnisse stehen zur GIS-Nachbearbeitung bereit.

Damit steht nicht nur eine aktuelle und hochauflösende zusätzliche Datenquelle für das Monitoring bereit, sondern auch der Workflow zur Aufbereitung und Analyse dieser Daten sowie die technischen Voraussetzungen für eine Einbindung der Daten in eine GIS-Umgebung.

### **DSK-Umweltinformationssystem – DSK-UMIS**

Die Teilnahme der DSK am Projekt MINEO und die Aktivitäten im Bereich hyperspektraler Sensoren sind dabei nur Bausteine für das in Entwicklung befindliche Umweltinformationssystem der DSK (DSK-UMIS). Ziel ist es, ein System zur integrierten Nutzung von klassischen, GIS- und Fernerkundungsmethoden für ein Monitoring bergbaulicher Umwelteinwirkungen zu erstellen. Basis sind dabei einerseits die vielfältigen Forschungsaktivitäten auf den Gebieten GIS und Fernerkundung, andererseits das seit Anfang der neunziger Jahre im täglichen Einsatz erworbene Know-how in den Bereichen Photogrammetrie (analytisch und digital) sowie GIS (ESRI-Produkte).

Mit DSK-UMIS wird – auf Basis von ArcGIS - ein benutzerfreundliches System geschaffen, das es ermöglicht:

- sämtliche im DSK-Monitoring anfallenden raum- und zeitbezogenen Daten konsistent zu speichern, zu verändern und zu analysieren,
- GIS-Bearbeitungen über eine benutzerfreundliche Oberfläche durchzuführen,
- Auswertungen fernerkundlich erfasster Daten zu unterstützen,
- auf der Grundlage der gespeicherten Daten Informationen für verschiedene Nutzergruppen unter Berücksichtigung der entsprechenden Sicherheitsaspekte zu generieren und (über Papier, CD, Intranet, Internet) weiterzugeben.

Die als Dokumentations- und Analysegrundlage dazugehörige flächendeckende, detaillierte und multitemporale Datenbasis in den Bereichen Bodenbewegungen, Morphologie der Tagesoberfläche, Ökologie und Hydrologie wird in den zentralen GIS-Datenbestand der DSK (GDZB/Geodatenzentralbank) integriert. Eine Besonderheit ist dabei die Berücksichtigung der Zeit als vierte Dimension in der Datenbank, um die dynamischen Veränderungen in der Natur im Laufe des Monitoringzeitraumes in Form von Versionen abbilden zu können (8).

Die konkreten fachlichen Anforderungen an das DSK-UMIS wurden mit Hilfe einer objektorientierten Anforderungsanalyse ermittelt. Die wesentlichen Anforderungen an das GIS ergaben sich aus der Speicherung der anfallenden Daten, sowie den räumlichen, zeitlichen und raumzeitlichen Analysen der Objekte. Dabei ist die Integration der Zeit in das GIS als zusätzliche Dimension unabdingbar. Sie ermöglicht grundsätzlich die Durchführung räumlicher, thematischer, zeitlicher und raumzeitlicher Analysen. Zur Durchführung dieser Analysen wird die Funktionalität von ArcGIS um neue fachspezifische Methoden mit integrierten Benutzeroberflächen erweitert (z.B. für raumzeitliche Selektionen und Analysen, Objektverfolgung, Bearbeitung von Geländemodellen und Gewässernetzen) (Bild 6).

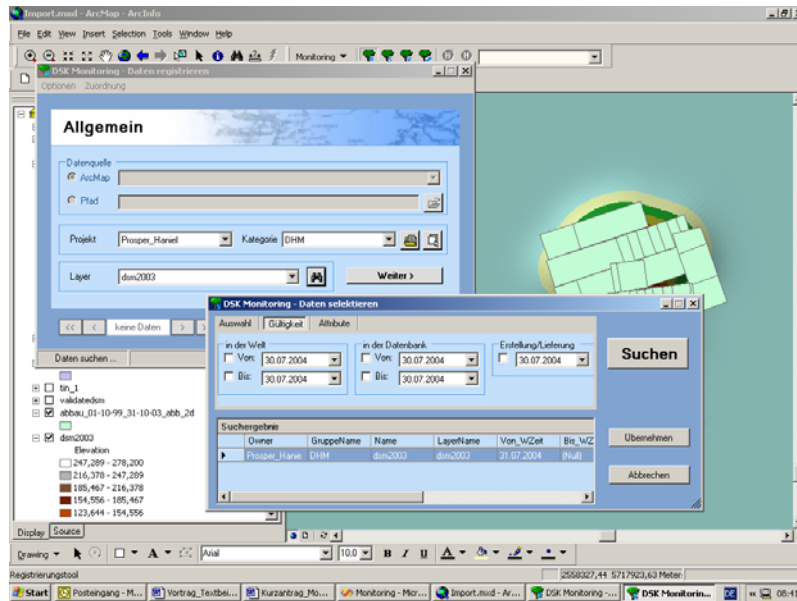


Bild 6. DSK-UMIS - Selektion von Objekten durch Zeitangaben.

Eine Grundlage weiterführender Bewertungen und komplexerer Analysen sind selektive Abfragen über eine bestimmte räumliche und zeitliche Ausdehnung, wie z.B.: Selektiere alle Objekte innerhalb einer bestimmten Region zu einem bestimmten Zeitpunkt (5).

Diese vierdimensionale Monitoring-Datenbasis soll aber nicht nur von GIS-Experten mit entsprechend erweitertem ArcGIS bearbeitet werden können, sondern - wie andere GDZB-Daten auch - per Intranet-Dienst allen interessierten und berechtigten Mitarbeitern der DSK zur Verfügung stehen. Für diesen Zweck wird ein spezieller Kartenserver auf Basis von ArcIMS entwickelt, der zusätzlich Selektionsmöglichkeiten für bestimmte Versionen sowie Themen bietet und entsprechende thematische Karten mit Analysemöglichkeiten zur Verfügung stellt (Bild 7).

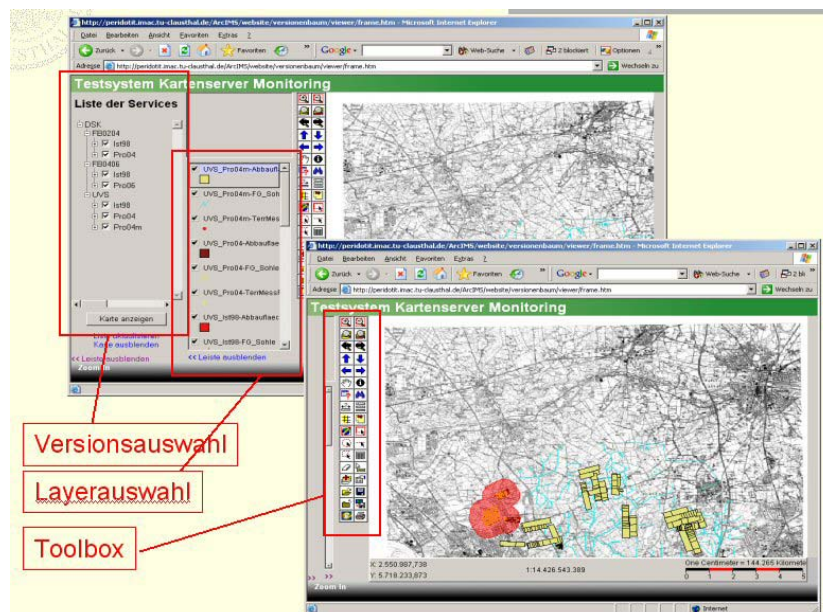


Bild 7. Monitoring-Intranet-Kartendienst (hinteres Fenster: Auswahlmöglichkeit für Versionen und Themen - vorderes Fenster: Darstellung der thematischen Karte mit Analysemöglichkeiten über integrierte Toolbox).

## Schlussbemerkung / Ausblick

Die im Rahmen des EU-Projektes MINEO und nachfolgender interner DSK-Vorhaben erreichten Ergebnisse machen deutlich, dass eine Erfassung des Vegetationszustandes sowie auftretender Vegetationsveränderungen mittels hyperspektraler Fernerkundungsdaten möglich ist. Dies gilt sowohl für den Vergleich von Flächen innerhalb eines Bildes/Aufnahmedatums als auch für Analysen auftretender Veränderungen unter Nutzung von mehreren Aufnahmen/Zeitschnitten. Damit stehen aktuelle und geometrisch sowie radiometrisch hochauflösende Daten mit entsprechenden Auswertemethoden zu einer Überwachung bergbaulicher Auswirkungen zur Verfügung.

Die Auszeichnung des Projektes durch den jährlich zu vergebenden Forschungspreis der Deutschen Steinkohle AG in 2004, verdeutlichen die Besonderheit des EU-Projektes und der entwickelten innovativen Lösungen und macht das Interesse an dieser Themenstellung deutlich.

Allerdings ist dies nur ein Baustein für ein erfolgreiches und umfassendes Monitoring der Auswirkungen des untertägigen Steinkohlenbergbaus auf die Umwelt. Deshalb baut die DSK bis 2006 – unter Nutzung der Ergebnisse interner und externer Forschungsprojekte – ein Umweltinformationssystem auf. DSK-UMIS vereint auf Basis des Geoinformationssystems ArcGIS alle im Rahmen des Monitorings wichtigen Daten und Methoden und stellt diese innerhalb der DSK sowohl als zentralen Geodatenpool als auch – in Auszügen – als Intranetdienst zur Verfügung.

Ein operationeller Einsatz der hier vorgestellten Daten/Verfahren im Rahmen eines abbaubegleitenden Monitorings der DSK ist jederzeit möglich. Die technische Integration der entwickelten Werkzeuge und Methoden wird z.Zt. betrieben, die notwendigen Daten werden Zug um Zug eingestellt. Dank der gesammelten Kenntnisse und Erfahrungen sowohl im Bereich der Fernerkundung als auch der Geoinformationssysteme ist die DSK damit in der Lage, schnell und flexibel auf geänderte Anforderungen zu reagieren.

## Quellennachweis

1. Brunn, A.; Dittmann, C.; Fischer, Chr., Richter, R.: Atmospheric Correction of 2000 HyMap™ data in the framework of the EU-project MINEO. In: Sebastiano Serpico (ed.): Image and Signal Processing for Remote Sensing VII, Proceedings of SPIE Vol 4541, pp. 382-392.
2. Cocks, T.; e.a.: The HyMap™ Airborne Hyperspectral Sensor: the system, calibration and performance. In: Schaepmann, M.; e.a. (ed.): 1st EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, 6. – 8. Oct., Zürich, 1998, pp. 37-45.
3. Dittmann, C.; Vosen, P.; Brunn, A.; et al.: MINEO (central Europe) environmental test site in Germany Contamination/impact mapping and modelling – Final Report. August 2002. Project funded by the European Community under the „Information Society Technology“ Programme, IST-1999-10337.
4. Fischer, Chr.; Brunn, A.; Dittmann, C.; Vosen, P.; Busch, W.: Detection of plant reflectance anomalies in mining areas using imaging spectroscopy. In: Habermeyer, M.; Müller, A.; Holzwarth, S. (ed.): 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, 13 - 16 May 2003, Hersching, pp. 305-312.
5. Matejka, H.; Busch, W.; Gorczyk, J.; Mauersberger, F.; Nickel, S.; Riekeberg, T.; Vosen, P.: Metadatenkonzepte zur Unterstützung der GIS-Bearbeitung im Monitoring bergbaulicher Umweltauswirkungen. In: 25. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und 53. Kartographentag, Publikationen der DGPF, Band 14, 2005, Rostock (in Druck).
6. MINEO 2003: Projekt-Website: <http://www.brgm.fr/mineo>
7. NEMO: Naval EarthMap Observer (NEMO) Program:  
<http://www.wslfweb.org/docs/roadmap/irm/internet/dod/photos/nemoconc.htm>,  
[Zugriff zuletzt am 16.09.05].
8. Roosmann, R.; Busch, W.; Gorczyk, J.; Mauersberger, F.; Nickel, S.; Vosen, P.: Geographic Information Systems support for monitoring environmental impacts caused by deep hard coal mining. In: A. Gnauck, R. Heinrich (ed.): The information society and enlargement of the European Union. 17th

International Conference Informatics for Environmental Protection Cottbus 2003. Part 2, Metropolis Verlag 2003, pp 730-738.