



Strukturanalyse und lithologische Differenzierung mittels Fernerkundungsdaten für hydrogeologische Fragestellungen

Reinhard Belocky ¹, Robert Faber ², Gerhard Heiß ³, Martin Jung ⁴

¹ *Wien*

² *Wien*

³ *Wien*

⁴ *Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **86** (3), S. 172–177

1998

Bib_TE_X:

```
@ARTICLE{Belocky_VGI_199824,
  Title = {Strukturanalyse und lithologische Differenzierung mittels
    Fernerkundungsdaten f{"u}r hydrogeologische Fragestellungen},
  Author = {Belocky, Reinhard and Faber, Robert and Hei{\ss}, Gerhard and Jung,
    Martin},
  Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und
    Geoinformation},
  Pages = {172--177},
  Number = {3},
  Year = {1998},
  Volume = {86}
}
```



Strukturanalyse und lithologische Differenzierung mittels Fernerkundungsdaten für hydrogeologische Fragestellungen



Reinhard Belocky, Robert Faber, Gerhard Heiß und Martin Jung, Wien

Zusammenfassung

Die Identifizierung von Strukturen und Lithologien bildet eine wichtige Grundlage im Rahmen hydrogeologischer Arbeiten. Im vorliegenden Projekt wurde die Eignung unterschiedlicher Fernerkundungsdaten im Hinblick auf diese Fragestellung getestet und beurteilt. Dabei erwies sich für die Strukturanalyse das digitale Geländehöhenmodell in Kombination mit aerogeophysikalischen Daten als am geeignetsten, während die lithologische Differenzierung unter den in Österreich gegebenen klimatischen Bedingungen eine Kombination unterschiedlicher Daten erfordert. Das Projekt war Teil der österreichischen Projektinitiative MISSION.

Abstract

The identification of structures and lithologies forms an important basis for hydrogeological activities. In the present project the applicability of different remote sensing data for this problem was evaluated. For structural analysis the digital elevation model in combination with aerogeophysical data is most appropriate. For lithological discrimination under Austrian climate conditions a combination of different data is indispensable. This project is part of the Austrian project-initiative MISSION.

1. Einleitung und Problemstellung

Der Einsatz der Methoden der Fernerkundung im Rahmen hydrogeologischer Fragestellungen gewinnt zunehmend an Bedeutung [1], bedingt durch den Vorteil der flächenmäßigen Bearbeitbarkeit eines Gebietes, wodurch Zusammenhänge erkannt werden, die aus der Geländeperspektive nur schwer oder überhaupt nicht auszumachen sind.

Die Zielsetzung des vorliegenden Projektes umfaßt die Evaluierung der Einsatzmöglichkeiten der Fernerkundung für hydrogeologische Fragestellungen. Mittels Satellitenbilddauswertung sollen Erkenntnisse über die hydrogeologische Situation unter besonderer Beachtung (neo)tektonischer Vorgänge gewonnen werden. Außerdem sollen die Möglichkeiten von Fernerkundungsdaten zur lithologischen Differenzierung unter den in Österreich gegebenen klimatischen Bedingungen untersucht werden. [2]

Als Testgebiet wurde der Ostteil der Böhmisches Masse unter Einbeziehung der östlichen anschließenden Molassezone gewählt, da aus diesem Bereich relativ flächendeckend aerogeophysikalische Daten existieren, die in Kombination mit den satellitengestützten Fernerkundungsdaten zu interpretieren waren.

Die Ergebnisse sind vor allem für wasserwirtschaftliche Fragestellungen sowie für die Beurteilung von Deponiestandorten von entscheidender Bedeutung.

2. Geologisch-hydrogeologische Übersicht

Der nördliche Teil von Niederösterreich wird vom variszischen Grundgebirge der Böhmisches Masse aufgebaut, welches in postvariszischer Zeit tiefgehend erodiert und teilweise mit terrigenen und marinen Sedimenten bedeckt wurde. Abb. 1 zeigt eine geologische Übersichtsskizze des Ostteils der Böhmisches Masse in Österreich.

Das kristalline Grundgebirge des Untersuchungsgebietes setzt sich – von W nach E – aus Gesteinen der 3 tektonischen Haupteinheiten zusammen. [3]

1. Südböhmischer Pluton (Weinsberger Granit)
2. Moldanubikum
 - Monotone Serie (einförmigen Biotit-Plagioklas-Gneise)
 - Bunte Serie (Paragneisen, mit Einschaltungen von Marmoren und Amphiboliten)
 - Gföhler Einheit (Gföhler Gneis, Granulit und Hüllserien)
3. Moravikum (Granite, Gneise, Glimmerschiefer und Marmore)

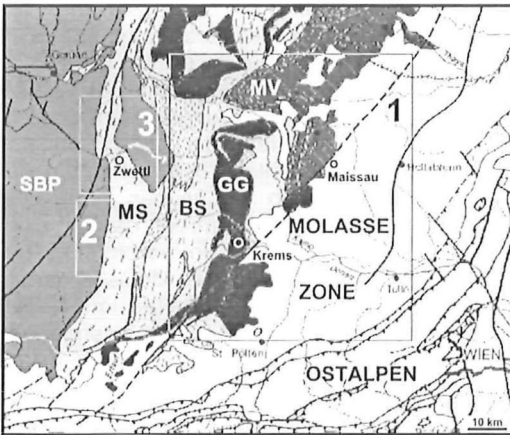


Abb. 1: Geologische Übersichtskarte des Ostteils der Böhmisches Masse [3]: SBP Südböhmischer Pluton, MS Monotone Serie, BS Bunte Serie, GG Gföhler Einheit, MV Moravikum.

Felder 1–3: Untersuchungsgebiete siehe Text:

- 1 Datenintegration: Digitales Geländehöhenmodell, Aeromagnetik, ERS-Radar Lineamentauswertung (Abb. 2)
- 2 Lithologische Differenzierung mittels digitalem Geländehöhenmodell und KFA-1000 (Abb. 4)
- 3 Lithologische Differenzierung mittels Landsat TM Hauptkomponentenanalyse (Abb. 5)

Gegen E wird das abtauchende kristalline Grundgebirge von tertiären Sedimenten der Molasse in Form von Kiesen, Sanden und Schluffen überlagert.

Die tektonischen Lineamente in der Böhmisches Masse zeigen bevorzugte Streichrichtungen von NW-SE und NE-SW. Zwei große NW-SE streichende Störungszonen sind die Vitiser Störung und die Diendorfer Störung. Bei beiden handelt es sich um Linksseitenverschiebungen, wobei die letzere einen Versetzungsbetrag von etwa 25 km aufweist. [4] In der Molassezone sind junge WNW-ESE streichende Störungen häufig, die als Extensionstektonik interpretiert werden.

Über dem kristalline Grundgebirge der Böhmisches Masse treten aufgrund der geringmächtigen Verwitterungsdecke kaum Porengrundwasserleiter auf. Im Allgemeinen besitzen kristalline Gesteine nur eine sehr geringe Wasserleitfähigkeit. Somit findet eine Grundwasserneubildung nur im Bereich von oberflächennahen aufgelockerten Verwitterungszonen, in offenen Klüften der Gesteine bzw. in tektonisierten Bereichen statt, sofern diese nicht durch Feinstmaterial wieder abgedichtet wurden. Im Gegensatz dazu ist die tertiäre Molasse reich an Porengrundwasser.

3. Verwendete Daten

Zur Lösung der oben dargelegten Problemstellung wurde auf ein breites Spektrum von Fernerkundungsdaten zurückgegriffen und deren Eignung für die Kartierung von Störungszonen sowie im Hinblick auf die Möglichkeit zur lithologischen Differenzierung bewertet. Als Ersatz für die nicht verfügbaren MOMS-Stereo Aufnahmen wurden panchromatische SPOT Szenen benutzt.

Sensor	Auflösung	Aufnahmedatum
Landsat TM	30 m	01/09/91
KFA-1000	10 m	25/09/91
SPOT-Pan	10 m	20/04/96
SPOT-Pan	10 m	12/03/97
ERS-1 Radar	12,5 m	20/05/96
ERS-1 Radar	12,5 m	26/07/96
Aerogeophysik	200 m	1994–98

Tab. 1: Im Rahmen des Projektes verwendete Fernerkundungsdaten.

Die Daten wurden geocodiert, wobei die KFA-1000 Aufnahme auf 10 m resampled wurde. Die Radardaten, die unterschiedliche Aufnahmewinkel aufwiesen, wurden mittels Pseudocolor-Intensitätsdarstellung kombiniert.

4. Lineamentanalyse

Die Strukturanalyse wurde flächendeckend für alle Bildprodukte in Form einer visuellen Interpretation am Bildschirm durchgeführt. Anschließend wurden die Lineamente nach lithologischer Einheit getrennt, richtungsstatistisch ausgewertet und in Form von Rosendiagrammen dargestellt.

4.1. Bewertung der Daten

Für die Strukturauswertung erwies sich die Darstellung des digitalen Geländehöhenmodells (DEM) als beleuchtetes Relief als geeignetste. Die Shaded Relief Analyse erfolgte wegen der Geometrieeffekte durch die Beleuchtung in 8 Teilauswertungen, wobei die Beleuchtungsrichtung jeweils um 45° verändert wurde. Eine beliebige Beleuchtungsrichtung ist auf jeden Fall nicht zielführend und verfälscht das Ergebnis.

Die SPOT-3D Auswertung wurde an der Universität für Bodenkultur am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation

durchgeführt. Mittels eines speziellen Computersystems (Intergraph ImageStation Z3000) war es möglich, die Spot-Szenen am Computer stereoskopisch darzustellen und nach Lineamenten auszuwerten. Obwohl dieses Computersystem der letzten Generation angehört, erwies es sich für eine großflächige stereoskopische Strukturauswertung, die ein rasches Wechseln von Bildausschnitt und -auflösung erfordert, im Routinebetrieb zu als langsam.

Die Auffindung und Kartierung geologischer Störungszonen in optischen Aufnahmen in von dichter Vegetation bedeckten und/oder anthropogen stark beeinflussten Gegenden stellt ein relativ schwieriges Unterfangen dar. Die hohe Bodenaufklärung läßt zwar Unterscheidungen in der Vegetation zu, täuscht aber andererseits oft Lineamente vor, die nicht geologisch bedingt sind. Hier ist der Auswerter auf die Fähigkeit angewiesen, dreidimensionale Geländestrukturen aufgrund des Bewuchses sowie der Beleuchtungsverhältnisse zu identifizieren. Flächige Unterschiede in Landform und Bewuchs können Störungszonen in Form von tektonischen Grenzflächen zwischen unterschiedlichen Gesteinsserien anzeigen, genauso gut aber auch auf rein lithologische Unterschiede zurückzuführen sein.

Das Radar-Komposit zeigt, wenn auch im Vergleich zum DEM deutlich abgeschwächt, die meisten morphologischen Charakteristika (vergl. Abb. 2). In Gebieten, wo kein DEM verfügbar ist, bilden solche Radar-Komposits eine brauchbare Alternative.

4.2. Ergebnisse der Lineamentanalyse

Grundsätzlich ergibt die Lineamentauswertung der unterschiedlichen Daten differierende Ergebnisse. Es kann in erster Näherung von einem Gesamtstrukturinventar gesprochen werden, daß durch die Daten des DEM repräsentiert wird. Die Auswertung der anderen Daten ergibt jeweils unterschiedliche Teilmengen dieses Gesamtstrukturinventars, bedingt durch die unterschiedliche Charakteristik der einzelnen Sensoren. Eine Ausnahme bilden teilweise relativ langgestreckte Lineamente, die in den optischen Daten aufgrund unterschiedlicher Landnutzung identifiziert wurden, in den „morphologischen“ Daten jedoch nicht zu erkennen sind. Diese Strukturelemente bilden häufig lithologische Grenzen ab, sind teilweise jedoch auf andere Ursachen zurückzuführen.

Die Lineamente des Weinsberger Granit weisen eine Hauptstreichrichtung von NNE-SSW bzw. N-S, sowie eine Nebenrichtung von NW-SE auf. In der Monotonen/Bunten Serie ist eben-

falls die Hauptrichtung mit NNE-SSW ausgebildet, zusätzlich treten Streichrichtungen bei NW-SE und NE-SW auf. In der Gföhler Einheit, im Moravikum und in der Molasse tritt das NE-SW streichende Diendorfer Störungssystem deutlich hervor, speziell wenn man die längengewichteten Richtungen betrachtet. Zusätzlich tritt in diesen 3 Einheiten noch ein flaches WNW-ESE streichendes Störungssystem auf, das mit einer jungen Extensionstektonik in Verbindung gebracht werden kann, die die Molassezone in das Wiener Becken hinein erfaßte. Im Moravikum ist auch noch eine NW-SE streichende Störungsrichtung zu beobachten.

5. Aerogeophysik

Im Rahmen der geophysikalischen Landesaufnahme wurde in den Jahren 1986 bis 1997 der Ostrand der Bömischen Masse und das angrenzende tertiäre Molassebecken aeromagnetisch vermessen. [5, 6]

5.1. Strukturauswertung

Die Integration der aeromagnetischen Daten mit einer Reliefdarstellung des DEM bietet erste Ansätze zu einer strukturellen Interpretation. Deutlich ist in Abb. 2 die SW-NE verlaufende Diendorfer Störung im Bereich des Dunkelsteiner Waldes und SW davon zu erkennen. Gegen NW wird die Störung von Molassesedimenten überdeckt. Aerogeophysikalische Aufnahmen dieses Gebietes zeigen ebenfalls eine auffällige SW-NE streichende Struktur. In Abb. 2 wurden die aerogeophysikalischen Daten mittels Bildverarbeitungsmethoden so bearbeitet, daß die strukturellen Elemente hervortreten, und als pseudocolorcodierte Intensitätsdarstellung mit dem DEM integriert. Deutlich ist zu erkennen, daß sich die Diendorfer Störung im Bereich der Molasse nördlich der Donau in der Aeromagnetik abbildet.

Die Möglichkeiten zur direkten visuellen strukturellen Auswertung aeromagnetischer Daten ist in der ursprünglichen Form der Datendarstellung als farblich codierte Isolinienplots der magnetischen Totalintensitäten nur eingeschränkt möglich. In dieser Darstellungsart, die vor allem zur Visualisierung und Auswertung flächenhafter Anomalien geeignet ist, ist die Identifikation linearer struktureller Elemente sehr stark von der Farbgebung und Farbabstufung in der Darstellung abhängig. Aufgrund dieser Überlegung wurde die Isoanomalien-Darstellung der Aeromagnetik in eine Darstellung des Aspekts (der „Einfallsrichtung“) des magnetischen Gradienten

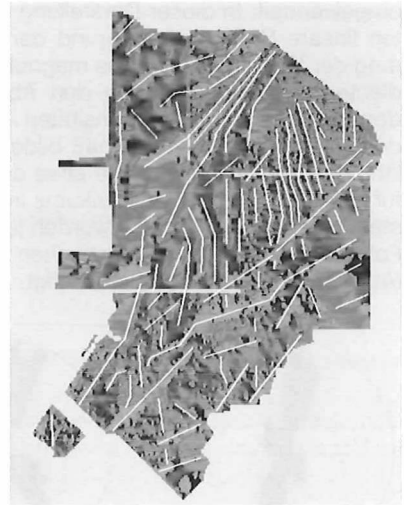
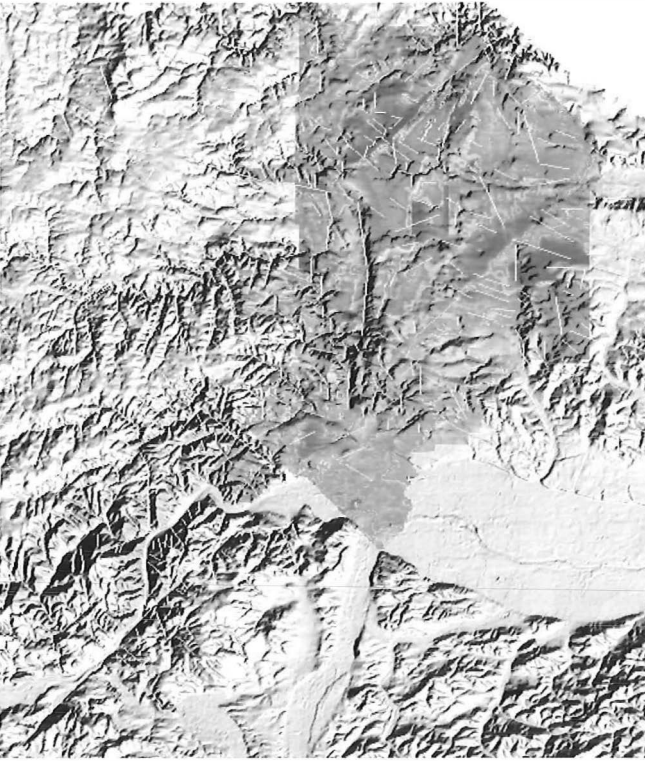


Abb. 2: Datenintegration (Ostrand Böhmiische Masse - Molassezone): Digitales Geländehöhenmodell in Reliefdarstellung, magnetische Totalintensität in Pseudocolor-darstellung und Lineamentausrwertung der ERS Radardaten (links).

Abb. 3: Strukturelle Interpretation des Aspekts der magnetischen Totalintensität (oben).

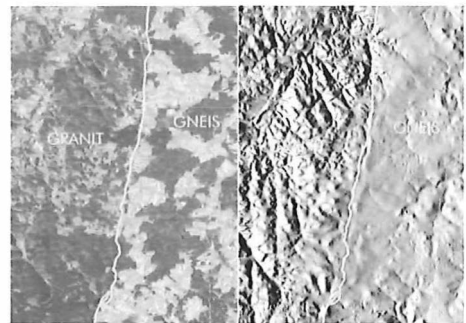
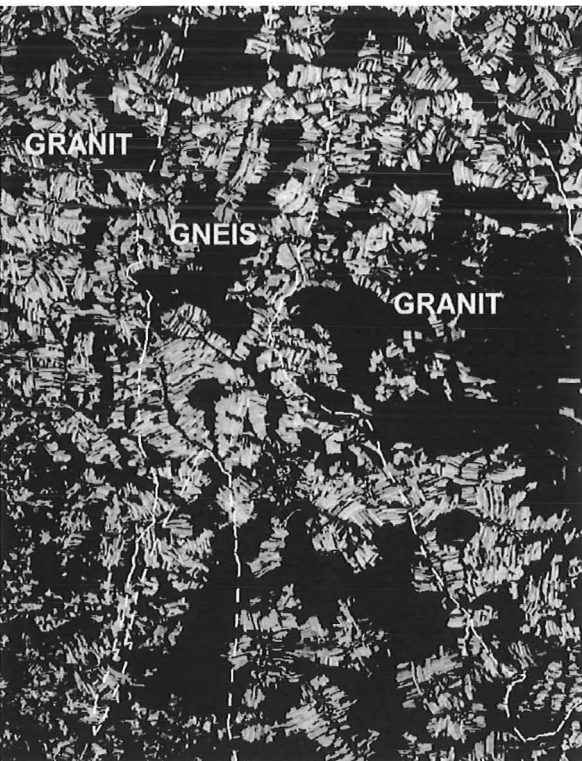


Abb. 5: Differenzierung lithologischer Einheiten (Weinsberger Granit bzw. Gneise der Monotonen Serie) im Gebiet Weinsberg - Rapottenstein über Unterschiede im Hinblick auf Landnutzung (KFA-1000, links oben) und Morphologie (digitales Geländehöhenmodell, rechts oben).

Abb. 6: Differenzierung lithologischer Einheiten (Weinsberger Granit bzw. Gneise der Monotonen Serie) im Raum Zwettl mittels der spektralen Charakteristika des Bodens. RGB Darstellung der Landsat TM Hauptkomponentenanalyse, vegetationsbedeckte Flächen maskiert (links).

umgewandelt. In dieser Darstellung (Abb. 3) treten lineare Strukturen aufgrund der Farbcodierung der Einfallsrichtung des magnetischen Gradienten – unabhängig von den Absolutwerten der magnetischen Totalintensitäten – wesentlich deutlicher hervor. Naturgemäß bilden sich auch lithologische Strukturen, wie etwa die magnetitführenden Serien des Moravikums in dieser Darstellung deutlich ab, diese wurden jedoch in der Folge bei der richtungsstatistischen Auswertung (Abb. 4) nicht weiter berücksichtigt.

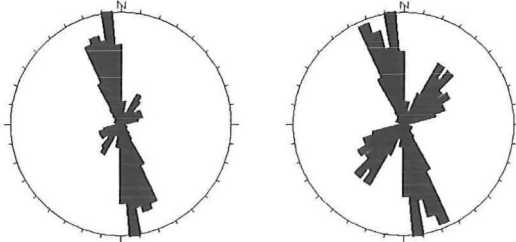


Abb. 4: Rosen-Diagramme (li.: Richtungen, re.: längennormierte Richtungen) der Strukturelemente der aeromagnetischen Vermessung der Molassezone am Ostrand der Böhmisches Masse.

Als Hauptrichtungen treten NNW-SSE und NE-SW gerichtete Strukturen deutlich hervor, wobei die NE-SW gerichteten „Diendorfer“-Strukturen sich aufgrund ihrer geringeren Anzahl aber weitaus größeren Länge von ersteren unterscheiden.

6. Lithologische Klassifizierung

Obwohl eine lithologische Klassifizierung aufgrund der in unseren Breiten dominierenden Vegetationsbedeckung grundsätzlich als schwierig zu bezeichnen ist, wurde im folgenden versucht, mögliche lithologische Unterschiede hinsichtlich Landnutzung (KFA-1000), Morphologie (DEM), sowie spektraler Natur (Landsat TM) herauszuarbeiten.

6.1. Landnutzung und Morphologie

In Gebiet Weinsberg – Rapottenstein treten die Unterschiede zwischen Weinsberger Granit im W und den Paragneisen der Monotonen Serie im E aufgrund der Unterschiede in der Oberflächenstruktur sowie der Landnutzung deutlich zutage (Abb. 5). Das Granitgebiet zeigt mit seiner aufgrund der starken Zerklüftung wesentlich rauheren Geländestruktur eine relativ kleinräumige Landnutzung (Wald-Feld Verteilung), während über Gneis aufgrund der schwächeren Klüftung und stärkeren Verwitterung großräumige

gere Wechsel von land- bzw. forstwirtschaftlich genutzten Flächen auftreten.

6.2. Spektrale Charakteristika

Zum Aufnahmezeitpunkt der verwendeten Landsat Szene waren die meisten Felder bereits abgeerntet, sodaß zu erwarten war, neben der Vegetation zum Teil die spektrale Information des Bodens als Ausdruck der Verwitterung des darunterliegenden Gesteinseinheit mit Hilfe der Landsat Sensors zu erfassen.

Um diese Information möglichst rein zu erhalten, wurden sämtliche vegetationsbedeckten Flächen (Wald, Grünland) sowie Wasserflächen im Testgebiet (Umgebung von Zwettl) mittels nicht überwachter Klassifikation maskiert. Mit den so erhaltenen Daten der brachliegenden Ackerflächen wurde eine Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Die ersten 3 Hauptkomponenten zeigen die spektralen Unterschiede des Bodens über Weinsberger Granit bzw. den Gneisen der Monotonen Serie. Die Differenzierungsmöglichkeiten anhand der einzelnen Hauptkomponenten ist jedoch nur lokal gegeben. Aus diesem Grund wurde in Abb. 5 eine RGB-Darstellung der ersten 3 Hauptkomponenten gewählt. Die Anwendung des Crosta-Verfahrens [7] deutet auf einen höheren Tongehalt des aus den Gneisen hervorgegangenen Verwitterungsproduktes hin.

7. Diskussion der Ergebnisse

Im vorliegenden Projekt wurden Methoden zur Identifizierung und Charakterisierung tektonischer Lineamente unter Einbeziehung einer breiten Palette von Fernerkundungsdaten satellitengestützter sowie hubschraubergestützter Sensoren erprobt. Zusätzlich wurden auch die lithologischen Charakteristika von Morphologie, spezifischer Landnutzung und spektraler Information erfaßt.

Die Ergebnisse der Lineamentanalysen der unterschiedlichen Bildprodukte wurden der Reliefdarstellung DEM mit verschiedenen Beleuchtungsrichtungen verglichen. Hier zeigt sich, daß das DEM aufgrund der verschiedenen Beleuchtungsmöglichkeiten gegenüber den übrigen Fernerkundungsdaten einen nicht zu vernachlässigenden Vorteil besitzt, da die Satellitendaten, seien es Radardaten oder Daten andere Sensoren, deutlich von der Ausrichtung und Neigung der Aufnahmesensoren bzw. der Exposition abhängig sind. Dadurch können manche Richtun-

gen scheinbar dominieren während andere in den Hintergrund treten.

Eine lithologische Differenzierung geologischer Einheiten ist in unseren Breiten mit den momentan zur Verfügung stehenden Fernerkundungsdaten nur bedingt möglich. Alle verwendeten Verfahren waren nur lokal anwendbar, zeigen dort aber Möglichkeiten auf, die auf der Basis der voraussichtlich in den nächsten Jahren zur Verfügung stehenden hyperspektralen Fernerkundungsdaten auch unter den in Österreich gegebenen klimatischen Verhältnissen mineralogisch-lithologische Differenzierungsmöglichkeiten auf der Basis von Fernerkundungsdaten erwarten lassen.

In Gebieten, in denen die als Grundwasserspeicher dienende Lockergesteinsauflage nur geringmächtig ausgebildet ist, beeinflussen Störungszonen aufgrund ihrer bevorzugten Wasserwegigkeit maßgeblich das hydrogeologische Regime. Setzen sich Störungszonen aus den Festgesteinen in Sedimentbecken fort und sind diese (sub)rezent noch aktiv, so ist zu erwarten, daß das hydrogeologische Regime der Sedimentbecken durch diese Störungssysteme beeinflusst wird. Strukturvergleiche zwischen Satellitenbilddaten und aerogeophysikalischen Verfahren in Verbindung mit geologischen Basisdaten ermöglichen die indirekte Identifizierung von

Lithologien und Strukturen unter Sedimentbedeckung. Dies gibt Aufschluß über Wegigkeiten und Speicherkapazitäten oberflächennaher Grundwasserleiter und stellt eine wichtige Entscheidungsgrundlage für die Grundwasserprospektion dar.

Literatur

- [1] Engman, E.T. & Gurney, R.J. (1991): Remote Sensing in Hydrology. – 225 pp., London.
- [2] Belocky R., Heiss G. & Salzer F. (1997): Structural analysis and lithological classification in humid areas using satellite remote sensing and airborne geophysics – a case study from the Bohemian Massif / Lower Austria. – In: Checci G., Engman E.T. & Zilioli E. (eds.): „Earth Surface Remote Sensing.“ – Proceedings of SPIE Vol. 3222, 351–356
- [3] Oberhauser, R. (1980): Der geologische Aufbau Österreichs., Springer, Wien New York, 1980
- [4] Schermann, O. (1965): Über Horizontalseitenverschiebungen am Ostrand der Böhmischen Masse. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. 16
- [5] Seiberl, W. & Heinz, H. (1986): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich der Kremser Bucht. – Bund/Bundesländer-Rohstoffprojekt N-C-006d/81, 42 Bl, 12 Abb., 7 Beil, Geol. B.-A., Wien
- [6] Seiberl, W., Rötzel, R. & Pirkl, H. (1996): Aerogeophysikalische Vermessung im Bereich von Pulkau/NÖ.-Vollzug des Lagerstättengesetzes: Projekt ÜLG-20/94-1, 52 S., 8. Abb., 10 Beil, Geol. B.-A., Wien
- [7] Crosta, A.P. & Moore, J. McM. (1989): Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil: A Prospecting case history in greenstone belt terrain. – Proceedings of the 7th (ERIM) Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, Calgary, 2–6 Oct, pp. 1173–1187



Automatische Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern¹

Heinrich Ebner, Albert Baumgartner und Carsten Steger, München

Zusammenfassung

In diesem Artikel wird ein Ansatz zur automatischen Extraktion von Straßen aus digitalen Luftbildern präsentiert. Der Ansatz beruht auf der Verwendung verschiedener Auflösungsstufen des Luftbildes. Die Straßen werden als Netz modelliert, das aus Kreuzungen und aus Verbindungen zwischen diesen Kreuzungen besteht. Für verschiedene sogenannte „globale Kontexte“, d.h. offene Landschaft, Wald und Siedlung, werden Relationen zwischen Hintergrundobjekten, wie Gebäuden oder Bäumen, und Straßenobjekten, wie Straßenabschnitten, modelliert. Die Relationen, wie z.B. der Schattenwurf von Gebäude auf Straßenabschnitt, bestimmen sogenannte „lokale Kontexte“. Die automatische Unterteilung des Luftbildes in globale Kontexte dient dazu, die Extraktion auf die erfolgversprechendsten Regionen zu fokussieren und ermöglicht Aussagen darüber, in welchen Bereichen des Luftbildes das Ergebnis am zuverlässigsten ist. Für die Straßenextraktion werden Kanten im ursprünglichen Bild hoher Auflösung (0,2 – 0,5 m) und Linien in einem auflösungsreduzierten Bild extrahiert. Unter Verwendung beider Auflösungsstufen und expliziten Wissens über Straßen werden Hypothesen für Straßenabschnitte generiert. Diese werden in einem iterativen Verfahren zu langen Verbindungen gruppiert. Neben reinen Gruppierungsverfahren werden zum Schließen von Lücken auch Wissen über den lokalen Kontext und sogenannte „Ribbon-Snakes“ genutzt. Die Vernetzung der Straßen erfolgt durch die Extraktion von Kreuzungen. Die dargestellten Beispiele und die Ergebnisse einer Evaluierung auf Grundlage manuell erfaßter Referenzdaten zeigen die Leistungsfähigkeit des Verfahrens.

¹ Vortrag von Prof. Ebner anlässlich der Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille am 15. Mai 1998 an der TU-Wien