

Brandenburgische Geowiss. Beitr.	Kleinmachnow	5 (1998), 1	S. 59 – 63	5 Abb., 1 Tab., 4 Lit.
----------------------------------	--------------	-------------	------------	------------------------

Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung

FRIEDRICH KÜHN & FRITZ BROSE

1. Einführung

Die Fernerkundung nutzt Sensoren in Flugzeugen und Satelliten zum Erkunden, Beobachten und Bewerten geländebezogener Sachverhalte. Fernerkundungssysteme besitzen die Fähigkeit zur synoptischen Erfassung des generellen Zustandes und von typischen Merkmalen größerer Geländebereiche. Damit trägt die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Klärung von geländebezogenen Sachverhalten bei, bei denen die generalisierende Sicht aus der Position eines Flugzeuges oder Satelliten die Erfassung und Beschreibung der betreffenden Fragestellung erleichtert oder überhaupt erst ermöglicht.

Ein weiterer Vorteil von Fernerkundungsmethoden ist die Anwendbarkeit zur Erkundung von nicht oder nur begrenzt zugänglichen Regionen. Hier ist die Akquisition von Daten auch dann noch möglich, wenn die Begehung eines Geländes auf Grund bestehender Gefahrenpotentiale nicht mehr zu verantworten ist.

Entsprechende Ansätze für die Nutzung von Fernerkundungsdaten sind bei der Erkennung und Bewertung potentieller Problembereiche an Fluß- und Meeresdeichen gegeben. Fern-

erkundungsdaten sind des weiteren ein sehr effizientes Mittel für die Überwachung des zeitlichen und räumlichen Verlaufes von Hochwassersituationen.

2. Methodisch-technische Aspekte

Während ein bodengebunden arbeitender Kartierer lediglich seinen jeweiligen Standort übersieht, erfassen satelliten- und flugzeuggestützte Verfahren mit jeder einzelnen Aufnahme einen größeren Geländeabschnitt. In Abhängigkeit von den räumlichen Auflösungseigenschaften der eingesetzten Sensoren, kann ein einzelner Datensatz Flächen von Bruchteilen eines Quadratkilometers (Luftbilder) bis regionaler Ausdehnung (Satellitenbilder) abdecken.

Häufig genutzte Fernerkundungssysteme sind in Tabelle 1 als Übersicht dargestellt. Flugzeug- und Satelliten-sensoren registrieren entsprechend ihrer jeweiligen technischen Konfiguration die an der Geländeoberfläche reflektierte Sonnenstrahlung (Luft- und Satellitenbilder im sichtbaren und nahen infraroten Bereich), von der Erdoberfläche abgegebene oder emittierte Strahlung (Thermalfernerkundung) sowie re-

Tab. 1
Zusammenstellung häufig genutzter Fernerkundungssysteme (vgl. ALBERTZ 1991, KÜHN & HÖRIG 1995)

System/ Betreiberland	Träger	Aufnahmeprinzip	Fläche eines Bildes	Bodenauflösungs- element (Pixel)
Landsat Thematic Mapper / USA	Satellit	Scanner (multispektral)	180 km x 180 km	30 m x 30 m 120m x 120m thermal
Spot/Frankreich	Satellit	Scanner (multispektral und panchromatisch)	117 km bzw. 60 km Geländestreifen	20 m x 20 m 10 m x 10 m
IRS-1C/Indien	Satellit	Scanner (multispektral und panchromatisch)	142 km bzw. 70 km Geländestreifen	5,8 m x 5,8 m
ERS-1/EU	Satellit	Radarsensor	80 km Geländestreifen	12,5 m x 12,5 m
Meßkammer	Flugzeug	Photokamera	z.B. 4,6 km x 4,6 km für 3 km Flughöhe, 150 mm Brennweite	besser 50 cm
Thermalscanner	Flugzeug	Scanner	500 bis 1500m Geländestreifen (system- und flughöhenabhängig)	2,5 bis 5 m (system- und flughöhen- abhängig)

flektierte Strahlung, welche zuvor von sogenannten aktiven Sensoren auf die Geländeoberfläche eingestrahlt wurde (Radarfernerkundung).

Die Reflexion, Absorption und Emission elektromagnetischer Strahlung ist struktur- und materialabhängig. Damit bilden sich stoffliche und strukturelle Eigenschaften eines Geländes in den von Fernerkundungssensoren gelieferten Daten und Bildern ab. Das sind zum Beispiel typische Gelände-merkmale für die Existenz von tektonischen Störungen, Kluftsystemen sowie für das Vorkommen und die Verbreitung von Gesteins- und Bodenarten. Die für die jeweiligen thematischen Zielstellungen relevanten Bildinformationen sind in einfachen Fällen direkt erkennbar. In der Regel ist aber Interpretationserfahrung und technische Unterstützung erforderlich, um die gewünschten Informationen zu erhalten.

Im Falle der Oderdeiche interessieren in erster Linie die Eigenschaften der liegenden Bodensubstrate. Diese bestimmen maßgeblich die Baugrundeigenschaften des Deichuntergrundes. Das untere Odertal hat den Charakter einer ehemaligen Auenlandschaft mit ständig wechselnden mäandrierenden Flußläufen und typischen Ablagerungen, hauptsächlich

- **Sande/Kiese** in den ehemaligen Uferwällen und Erosionsrumpfen glazifluvialer Terrassen,
- **Torfe/ Mudden** in vermoorten Seen und Altarmen (Stagnationsphasen),
- **Auelehme**, die ältere Ablagerungen abdecken (Hochflutphasen),

Zur Kartierung dieser Substrattypen können bereits konventionelle Luftbilder genutzt werden. Als grundsätzliche Regel gilt, daß Sande und Kiese, als meist „trockene“ und damit optisch helle Bodensubstrate die sichtbare und nahe infrarote Strahlung intensiv reflektieren. Dadurch erscheinen diese in konventionellen Luftbildern meist in vergleichsweise hellen Grautönen. Demgegenüber werden Böden mit hohem Ton- und Lehmenteil, Torfe und Mudden sowie Bodenfeuchteanomalien (z. B. **Sickerstellen**) wegen ihrer grundsätzlich lichtabsorbierenden Eigenschaften zumeist in dunkleren Grautönen abgebildet. Für weiterführende Differenzierungen zwischen unterschiedlichen Substrattypen bietet sich die kombinierte Auswertung von Luftbildern, Multispektral-, Thermal- oder Radarbildern an (vgl. KRONBERG, LANGER & WEGNER 1984 & HÖRIG 1995). Ferner sind von Fernerkundungsdaten (z. B. Luftbilder, digitale Aufnahmen, Laserdaten) hochauflösende digitale Höhenmodelle ableitbar. Damit kann die Voraussage potentieller Überschwemmungsflächen oder die Kartierung von Reliefänderungen nach einem Hochwasser unterstützt werden.

Interpretationsansätze für Beiträge der Fernerkundung zur Beurteilung der Stabilität von Deichen sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Wie zuvor erwähnt, werden Mudden und Torfe wegen der geringen Reflexion (R_x) von sichtbarer (VIS) und naher infraroter (IR) Strahlung in konventionellen Luftbildern in vergleichsweise dunkleren Grautönen abgebildet. Werden bei der Beurteilung eines Deichabschnittes Indikationen für das Vorkommen von Mudden und Torfen im Liegenden festgestellt, dann sollte der Deich an

diesen Stellen auf mögliche Anfälligkeiten sowohl gegenüber seitlichem Druck als auch auf Grundbruchgefahr hin überprüft werden (Abb. 1a). Demgegenüber sind bei einem als sandig erkannten Untergrund (helle Grautöne) Anfälligkeiten gegenüber einer Unterspülung der Deiche in Extremsituationen nicht auszuschließen (Abb. 1b).

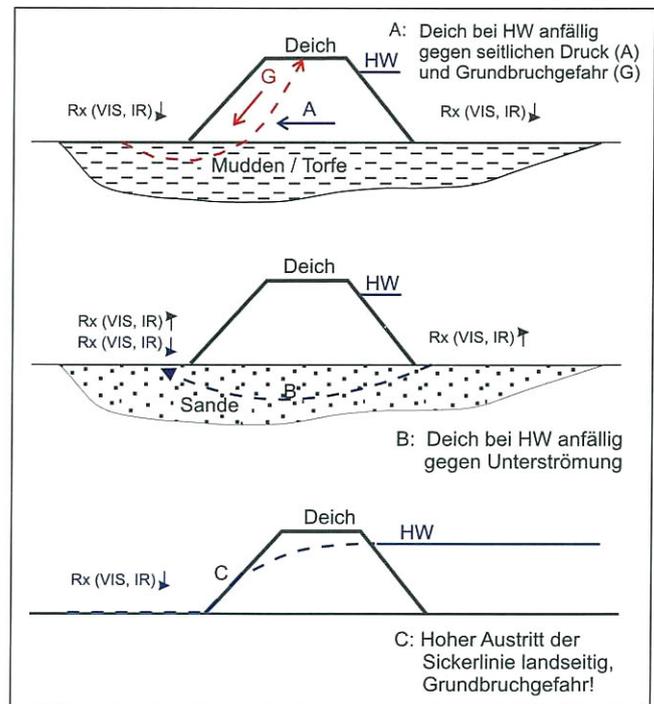


Abb. 1

Schematische Darstellung von Interpretationsansätzen für die Erkennung und Kartierung der Verbreitung von Mudden/Torfen, Sanden/Kiesen sowie Naßstellen im Deichbereich (HW: Hochwasser, Pfeil nach unten: geringe Lichtreflexion (R_x) am Boden, Pfeil nach oben: intensive Lichtreflexion, schwarz: Normalverhältnisse, blau: Verhältnisse bei Hochwasser)

Unabhängig von den geologischen Eigenschaften der Deichauflageflächen können mit Fernerkundungsdaten grundsätzlich auch Problemstellen in Folge der Langzeiteinwirkung von Hochwasser auf einen Deich erfaßt werden. Zum Beispiel ist ein landseitig hoher Austritt der Sickerlinie in Verbindung mit den o.a. Baugrundschwächen (Grundbruchgefahr) durch eine geringe Reflexion von sichtbarer (VIS) und infraroter Strahlung (IR) erkennbar (Abb. 1c). In diesen Fällen können fernerkundungsgestützte Überwachungen in den Hochwasserperioden helfen, Vorortkontrollen der Deiche effizienter anzusetzen.

3. Fallbeispiele

Auswerteansätze zur Bewertung von Bodeneigenschaften werden am Beispiel eines Schwarzweiß-Luftbildes vom Oderbruch, aufgenommen am 9. Mai 1985, vorgestellt (Abb. 2). Das konventionelle Luftbild zeigt eine Vielfalt typischer Texturen und Grautöne, welche die wechselnde Ablagerung von Mudden/Torfen und sandigen Böden anzeigen. Ursache ist

die zyklische Ablagerung von Sedimenten in Verbindung mit ehemaligen mäandrierenden Flußläufen. Die hell erscheinenden Bodenpartien sind typische Bildmerkmale für das Vorkommen von vorwiegend sandigen Bodensubstraten an der Geländeoberfläche (z. B. A). Überschneiden sich derartige Geländeabschnitte mit einem Deich, dann sind Kontrollen bezüglich Anfälligkeiten gegen Unterströmung im Hochwasserfall erforderlich. Im Falle von Planungen neuer Deichbauten sind mögliche Risiken durch Unterströmungen bereits bei der Projektierung zu berücksichtigen. Die dunklen Partien (z. B. B) werden als Merkmal abgelagerter Mudden und Torfe interpretiert.

Allein nach Luftbildern interpretiert, handelt es sich hierbei um Informationen mit Indiziencharakter, deren Stichhaltigkeit in jedem Fall im Gelände zu überprüfen ist. Trotz dieser Einschränkung kann die Interpretation von Fernerkundungsdaten bei professioneller Durchführung den Ansatz von Folgeerkundungen erheblich erleichtern. Traditionelle Erkundungsverfahren (Bohrungen, Sondierungen, Beprobungen, ...) und Sofortkontrollen können nach Ergebnissen von Luftbildauswertungen meist gezielter sowie geologisch und wirtschaftlich effizienter angesetzt werden.

Der geologisch relevante Informationsgehalt von Luftbildern wird maßgeblich vom Zeitpunkt der Aufnahme bestimmt. Das in Abbildung 2 dargestellte Luftbild wurde zu einem optimalen Zeitpunkt, zum Ende des Frühjahrs, bei ausgeglichenen Bodenfeuchteverhältnissen und noch nicht einsetzender Vegetationsperiode aufgenommen. Sommerbilder mit ausgebildeter Vegetationsbedeckungen sind für solche Auswertungen in der Regel weniger geeignet.



Abb. 2
Ausschnitt aus einem Schwarzweiß-Luftbild vom 9. Mai 1985 mit Merkmalen für die Ablagerung von Sanden/Kiesen (z. B. A) sowie Mudden/Torfen (z. B. B)

Am Beispiel eines multispektralen Satellitenbildes vom 1997er Oder-Hochwasser werden Möglichkeiten der Fernerkundung zur Früherkennung potentieller Schwachstellen im Verlauf eines Deiches aufgezeigt. Es handelt sich um eine Landsat Thematic Mapper Aufnahme vom 22. Juli 1997 ca. 20 Stunden vor dem ersten Deichbruch (Aufnahmehöhe: ca. 700 km, Bodenauflösungselement

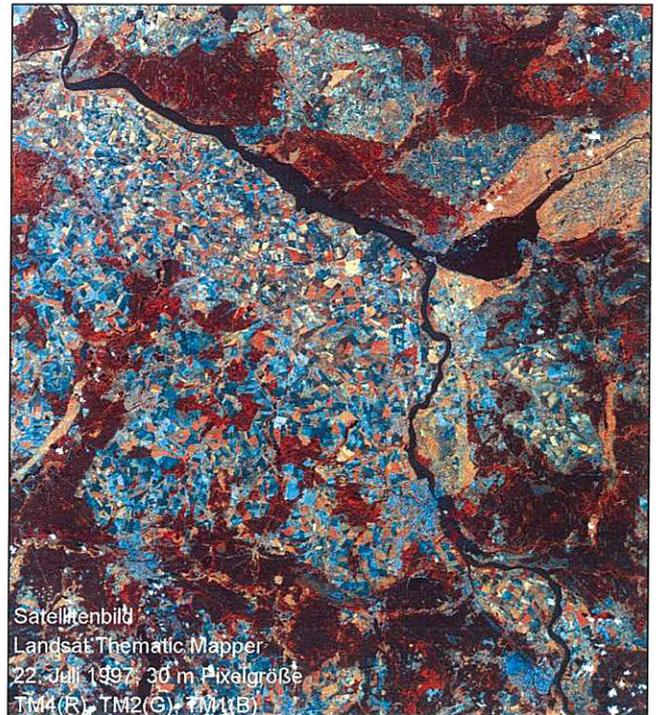


Abb. 3
Ausschnitt aus einer Landsat Thematic Mapper Aufnahme vom 22. Juli 1997 mit dem Verlauf der Oder zwischen Hohensaaten (links/oben) und Eisenhüttenstadt (rechts/unten). (Aufnahmehöhe: ca. 700 km, Szenenausschnitt ca. 60 x 80 km, Bodenauflösungselement 30 m); False Color Composite unter Verwendung der Landsat TM Kanäle TM4 (mit Rot codiert), TM2 (Grün) und TM1 (Blau)



Abb. 4
Ausschnittsvergrößerung der Landsat TM Szene vom 22. Juli 1997 mit der Ziltendorfer Niederung: Durch gezielte Weiterverarbeitung des False Color Composite (TM4, TM2, TM1) werden Wasser- und Sickerflächen in hellem Rot sichtbar gemacht (Dunkelrot: Vegetation); die hellrote Fläche im nord-östlichen Abschnitt der Ziltendorfer Niederung (Kreis) zeigt an, daß bereits vor Bruch des Deiches Drängewasser in die Ziltendorfer Niederung fließt.



Abb. 5
Extremvergrößerung von Abb. 4 mit Oderabschnitt südlich des Ortes Aurith - Ziltendorfer Niederung: hellrote Spots direkt am Deich zeigen erhöhte Feuchtegehalte an (Pfeile), Interpretation als Sickerstellen bzw. Bereiche mit hohem Austritt der Sickerlinie; grüner Pfeil: Stelle des Deichbruches ca. 20 Stunden nach der Aufnahme des Satellitenbildes.

30 m). Abbildung 3 zeigt einen Szenenausschnitt von ca. 60 x 80 km mit der Oder zwischen Hohensaaten (links/oben) und Eisenhüttenstadt (rechts/unten). Dargestellt ist ein sogenanntes False Color Composite unter Verwendung der Landsat TM Kanäle TM4 (mit Rot codiert), TM2 (Grün) und TM1 (Blau). Die Oder quert das Bild diagonal.

Weitere Ausschnitte aus dieser Szene sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Abbildung 4 ist eine Vergrößerung der Ziltendorfer Niederung. Durch entsprechende Kontrastoptimierungen des False Color Composite (TM4, TM2, TM1) konnten Wasser- und Sickerflächen in hellem Rot sichtbar gemacht werden (Dunkelrot: Vegetation). Die hellrote Fläche im nordöstlichen Abschnitt (Pfeil) zeigt an, daß bereits vor dem Brechen der Deiche die Überflutung der Ziltendorfer Niederung infolge einer Unterströmung in wasserwegsamem Sedimenten eingesetzt hat.

Abbildung 5 ist die Extremvergrößerung eines Ausschnittes von Abbildung 4. Der Ausschnitt der Landsat TM Szene zeigt den Oderabschnitt südlich des Ortes Aurith in der Ziltendorfer Niederung. Bei näherer Betrachtung des Bildes fallen direkt am Deich mehrere hellrote Stellen auf, die erhöhte Feuchtegehalte anzeigen (Pfeile). Diese werden als Sickerstellen bzw. Bereiche mit hohem Austritt der Sickerlinie interpretiert (vgl. Abb. 1c). An einer dieser Zonen ist der Deich ca. 20 Stunden nach der Aufnahme des Satellitenbildes gebrochen.

Das Beispiel soll zeigen, daß Fernerkundungsdaten grundsätzlich geeignet sind, mögliche Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen und zur gezielten Abwehr von Katastrophen beizutragen. Im Falle des Deichbruches bei Aurith hätte ein kurzfristiger Zugriff auf diese Daten möglicherweise zur Früherkennung der potentiellen Schwachstellen im Deichverlauf beitragen und damit den Ansatz gezielter Vorort-Kontrollen erleichtern können. Voraussetzung für eine derartige Vorgehensweise ist, daß im Katastrophenfall ein sofortiger Zugriff auf die Daten ermöglicht wird und im Falle von Wolkenbedeckungen alternative Methoden (z. B. Radarverfahren) zur Verfügung stehen.

4. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Nach bisher vorliegenden Erfahrungen bei der Auswertung von Luft- und Satellitenbildern des unteren Odertales sind Fernerkundungsverfahren in der Lage, Informationen zu den Eigenschaften der Auflageflächen von Deichen zu liefern. Die Beurteilung der Standsicherheit von Deichen in Katastrophensituationen kann damit unterstützt werden. Die demonstrierten Interpretationsbeispiele sollten zeigen, daß Fernerkundungsdaten grundsätzlich geeignet sind, mögliche Gefahrensituationen frühzeitig zu erkennen und zur gezielten Abwehr von Katastrophen beizutragen. Voraussetzung ist, daß in Hochwasserperioden ein sofortiger Zugriff auf die Daten ermöglicht wird.

Im Rahmen von Folgearbeiten bieten sich die folgenden methodischen Untersuchungsziele zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von Fernerkundungsmethoden für die Deichzustandseinschätzung unter den Bedingungen des unteren Odertales an:

- Erweiterung des Kenntnistanandes zu den geologischen Eigenschaften der Deichauflageflächen und Feststellung potentieller Schwachstellen entlang der Deiche durch Auswertung vorhandener Daten und von Daten gezielt angesetzter Neubefliegungen,

- Erprobung neuer geeigneter Sensoren zur Verbesserung der Aussagefähigkeit und Aussagesicherheit der Fernerkundung,
- Erarbeitung und Erprobung von Monitoringkonzepten zur Früherkennung von Risiken in Hochwasserperioden (z. B. zur Eingliederung in Frühwarnsysteme zu Erkennung von Gefahrensituationen).

Darüber hinaus sollten vorhandene Daten aus Extremsituationen hinsichtlich weiterer Aussagen zu möglichen Untergrund- und Deichschwächen untersucht und vermutete Schwachstellen vor Ort überprüft werden.

Literatur

- ALBERTZ, J. (1991): Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern: Eine Einführung in die Fernerkundung.- 204 S., Darmstadt (Wiss. Buchges.).
- KRONBERG, P. (1984): Photogeologie, eine Einführung in die Grundlagen und Methoden der geologischen Auswertung von Luftbildern.- 268 S.; Stuttgart (Enke).
- KÜHN F. & B. HÖRIG (1995): Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Bd. 1 Geofernerkundung, 166 S., Heidelberg (Springer).
- LANGER, M. & TH. WEGNER (1994): Methodische Untersuchungen zur Substratanalyse im Oderbruch.- Zentrales Geologisches Institut, Berlin, unveröff. Bericht.

Mitteilung aus dem Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg No. 115

Anschriften der Autoren:

Dr. Friedrich Kühn
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Dienstbereich
Berlin,
Wilhelmstraße 25-30, 13593 Berlin,

Dr. habil. Fritz Brose
Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Brandenburg
Stahnsdorfer Damm 77
14532 Kleinmachnow