EINSATZ VON LUFTGESTÜTZTEN FERNERKUNDUNGSTECHNOLOGIEN ZUR ÜBERWACHUNG VON DEICHEN

von

Nino Ohle[1]
Anne Elsner[2]
Claus Zimmermann[3]
Frank Lehmann[4]
Sebastian Pless[5]
Hans-Joerg Krickau[6]

ABSTRACT

Riparian and extensive industrial areas at rivers and tidal estuaries in many parts of the world have been protected against regular and extreme floods with a system of dikes and dams for centuries. In Germany approx. 32.000 km of river, estuary and coastal dikes have to be maintained and improved against water level rises and increase of flood events by climate changes. Detection of faulty reaches by local inspections is costly and often ineffective. During storm and flood events it is often impossible to approach endangered parts for quick analysis and prevention of dam breaks and bursts.
Airborne remote sensing before and during events of storms and floods with special High Resolution Stereo Space Cameras together with infrared photographing and GPS and GIS supported surveys are used to assess potential positions of risk for dam or dike failures. To identify basic sets of fault imaging, e.g. specific vegetation from certain seepage configurations or construction methods, a laboratory dike has been erected at the University of Hannover. Images from airborne remote sensing are compared with controlled laboratory conditions and specific programs are under development for near real time dike failure and risk assessment.

1. EINFÜHRUNG

Die Überflutung im Bereich von Flussauen und niedrig gelegen Küstenabschnitten ist ein natürlicher Bestandteil des Wasserkreislaufs und ermöglicht häufig eine Verbesserung der

[1] Dipl.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover, E-Mail: Nino.Ohle@fi.uni-hannover.de
[2] Dipl.-Geogr., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover, E-Mail: elsner@fi.uni-hannover.de
[3] Prof. Dr.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover, E-Mail: zi@fi.uni-hannover.de
[4] Dr.-Ing., DLR, Rudower Chaussee 5, 12489 Berlin, E-Mail: Frank.Lehmann@dlr.de
[5] Dipl.-Ing., DLR, Rudower Chaussee 5, 12489 Berlin, E-Mail: Sebastian.Pless@dlr.de
[6] Ing., Scandat GmbH, Arnfriedstr. 17, 12683 Berlin, E-Mail: hjkrickau@scandat.de

Bodenverhältnisse im Überflutungsbereich, da so Nährstoffe und Feinsedimente dem Boden zugeführt werden.
Im Gegensatz hierzu waren in den letzten Jahrhunderten, vor allem in den Küstenräumen, sehr weite Teile von Überflutungen betroffen, die eine Vielzahl von Menschenleben kosteten. Durch die Industrialisierung und der damit häufig verbunden Verschmutzung der Gewässer und durch die Zunahme der Bevölkerung hat sich der eigentliche positive Prozess der Überflutung ins Negative umgekehrt. Heutzutage zerstören Überflutungen vor allem Siedlungen, Industriekomplexe und Verkehrsinfrastrukturen und verursachen im landwirtschaftlichen Bereich oft starke Bodenverunreinigungen durch den Eintrag von Giftstoffen und Schwermetallen.
Der Bau von Deichen, Dämmen und Hochwasserschutzanlagen hat daher in den betroffenen industrialisierten Regionen der Welt eine lange Tradition. Hieraus folgt jedoch auch, das heutige Deichstrukturen und -profile historisch gewachsen und nicht überall dem derzeitigen Stand der Technik entsprechen. Dies führt bei starken Hochwasserereignissen auch heute noch zu Deichbrüchen und Überschwemmungen im Hinterland.
Fernerkundungstechnologien bieten die Möglichkeit die Folgen von Überschwemmungen auf Infrastruktur und Bevölkerung abzuschätzen (Vermessung von Landflächen, Darstellung der Ausdehnung von Überflutungen) und die Daten mit Hilfe von Geographischen Informationssystemen (GIS) zu analysieren.
In dem hier dargestellten Projekt soll darüber hinaus auch die Analyse und Vermessung von Deichsystemen ermöglicht werden. Hierfür werden neben dem Einsatz von 3d Stereokameras zur Bestimmung der Oberflächen von Deich auch Daten über Vegetationstypen, Bodentypen, -feuchtigkeit und -temperatur benötigt, welche mit den im Folgenden beschriebenen Fernerkundungssensoren aufgenommen werden.

2. FERNERKUNDUNGSSENSOREN

Im Projekt Deichmonitoring werden im Wesentlichen drei verschiedene Fernerkundungssensoren eingesetzt. Wobei es sich bei einem Sensor, der High Resolution Stereo Camera HRSC, um eine multispektrale Kamera handelt. Die HRSC wurde ursprünglich vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt für die Erforschung des Mars entwickelt. Durch die kleinen Abmessungen, dem geringen Gewicht, dem geringen Stromverbrauch und dem robusten Design der HRSC eignet sich die Kamera nicht nur für den Einsatz auf Satelliten sondern ist auch ideal für Anwendungen im luftgestützten Fernerkundungsbereich geeignet. Hierfür wurde die Kamera in einigen Details angepasst und wird heute als HRSC-A (airborne) und HRSC-AX (airborne extended) von der DLR eingesetzt.
Die HRSC-A (Lehmann, F. et al., 1998) verwendet das Pushbroom-Aufnahmeprinzip. Neun CCD-Zeilen-Detektoren sind parallel auf einer Fokalplatte montiert. Es entstehen neun Bildstreifen unter unterschiedlichen Aufnahmewinkeln. Vier der neun CCDs sind mit unterschiedlichen Farbfiltern bestückt, um multispektrale Bilddaten zu erzeugen. Die restlichen fünf CCD-Zeilen sind panchromatische Kanäle und ermöglichen eine photometrische Verarbeitung der HRSC-A Daten und die Erstellung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM). Die mögliche Auflösung des DOMs liegt im Bereich der Bodenauflösung der Stereokanäle der HRSC-A. Aus einer Flughöhe von 3000 m beträgt die x/y-Auflösung 12 cm. Die nach der Prozessierung der Daten liegt die Auflösung bei ± 25 cm Punktgenauigkeit und bei ± 20 cm Höhengenauigkeit (Renourad, L. et al., 1999).
Die Abbildung 2.1 zeigt ein Foto des HRSC-A (links) und des HRSC-AX Sensors mit integrierter Georeferenzierungseinheit (rechts).

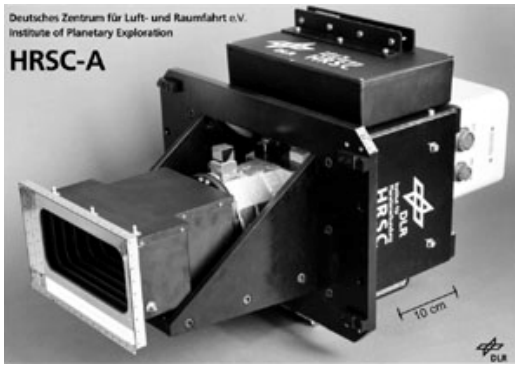

Abb. 2.1: HRSC-A Sensor (links) und HRSC-AX Sensor
mit integrierter Georeferenzierungseinheit (rechts)

Des Weiteren kommt im Projekt Deichmonitoring eine NIKON „Thermal Vision Infrared Camera“ des Typs LAIRD-3AS zum Einsatz. Die Kamera detektiert die thermische Emission im Wellenlängenbereich von 3-5 µm, also im mittleren Thermal-Infrarot-Bereich (TIR). In diesem Wellenlängenbereich treten bei der Messung geringere Störungen durch Wolken, bzw. hohe Wasserdampfkonzentrationen in der Atmosphäre auf, als z.B. bei Thermal-Infrarot Messungen im längeren Wellenlängenbereich von 10-12 µm.
Die Kamera wird hierbei mit Hilfe eines Stirling Cycle Cryocoole Kühlers absolut kalibriert. Die Kamera gibt sowohl ein analoges BNC Signal, wie auch ein digitales RS422 Signal aus. Der Temperaturbereich des digitalen Bildes kann jederzeit auch nachträglich verändert werden und hat eine Auflösung von 764 x 494 Pixeln. Die Abbildung 2.2 zeigt auf der linken Seite ein Bild der NIKON LAIRD-3AS Kamera.

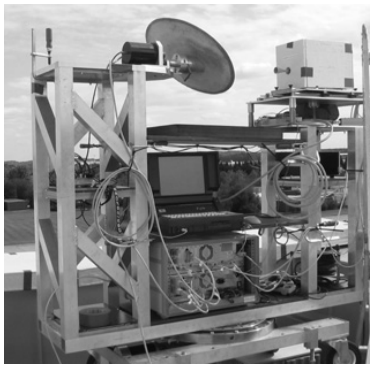

Abb. 2.2: NIKON LAIRD-3AS Sensor (links) und Experimentalaufbau
eines Mikrowellen Radiometers MWR (rechts)

Im weiteren Verlauf des Projekts soll ein modifiziertes Mikrowellen Radiometer (MWR), wie es als Experimentalaufbau bei der DLR in Oberpfaffenhofen existiert (rechte Seite der Abb. 2.2) zumindest am Labordeich getestet werden. Der Vorteil eines Mikrowellensensors liegt vor allem darin, dass ein Einsatz unter unterschiedlichsten meteorologischen Randbedingungen möglich ist (Allwettertauglichkeit). So können in Abhängigkeit der Messfrequenz und des Wellenbands Wolken, Nebel und teilweise sogar Regen in der Atmosphäre durchdrungen werden. Der Vorteil einer Detektion von Sickerwasser mit Hilfe eines passiven Mikrowellensensors liegt aber auch an der guten Erkennbarkeit von Wasser. Da die Dielektrizitätszahl ε von Wasser gegenüber z.B. Boden sehr hoch ist sind Sickerwasserstellen, aber auch Feuchtigkeitsstellen mit Hilfe eines MWR leicht erkennbar.

Um Interferenzen mit anderen Strahlungen zu vermeiden, sendet der gewählte Sensor in verschieden Wellenbändern im Bereich von 18 GHz, 36 GHz und 89 GHz. Da es sich bei dem Sensor um einen Experimentalaufbau handelt können aber auch andere Wellenlängen erzeugt werden.

3. UNTERSUCHUNGEN IM LABOR

Zur Kalibration der Fernerkundungssensoren und zur Ermittlung von Schadensmustern wurde am Franzius-Institut der Universität Hannover in der Außenstelle Marienwerder ein Labordeich im Naturmaßstab errichtet, um verschiedene Durchsickerungsversuche an unbeschädigten und Simulationen von beschädigten Deichen durchzuführen. Der Labordeich entspricht in seinem Profil einem Elbdeich mit einer Kronenhöhe von 3 m einer wasserseitigen Böschung von 1:3 und einer binnenseitigen Böschung von 1:2. Zur besseren Ermittlung von Sickerwassermengen wurde auf eine sonst übliche Berme im Binnenbereich verzichtet. Der Deich kann bis zu einer Höhe von 2,80 m eingestaut werden. Um kostenintensive Befliegungen des Deichs auszuschließen wurde am Deich ein Treppenturm eingerichtet auf dem die Fernerkundungssensoren in 12 m Höhe angebracht werden können.
Im Wesentlichen dient der Labordeich dazu herauszufinden, in wieweit mögliche Damm- und Deichbrüche vor und während einen Hochwasserereignis erkannt werden können. Während eine Belastungssituation in der Natur nur schwer hervorgesagt werden kann, besteht im Labor die Möglichkeit den Deich bei unterschiedlichsten Wasserständen und Belastungsdauern zu untersuchen. Die Abbildung 3.1 zeigt den Labordeich mit seinen verschiedenen Messinstrumenten.

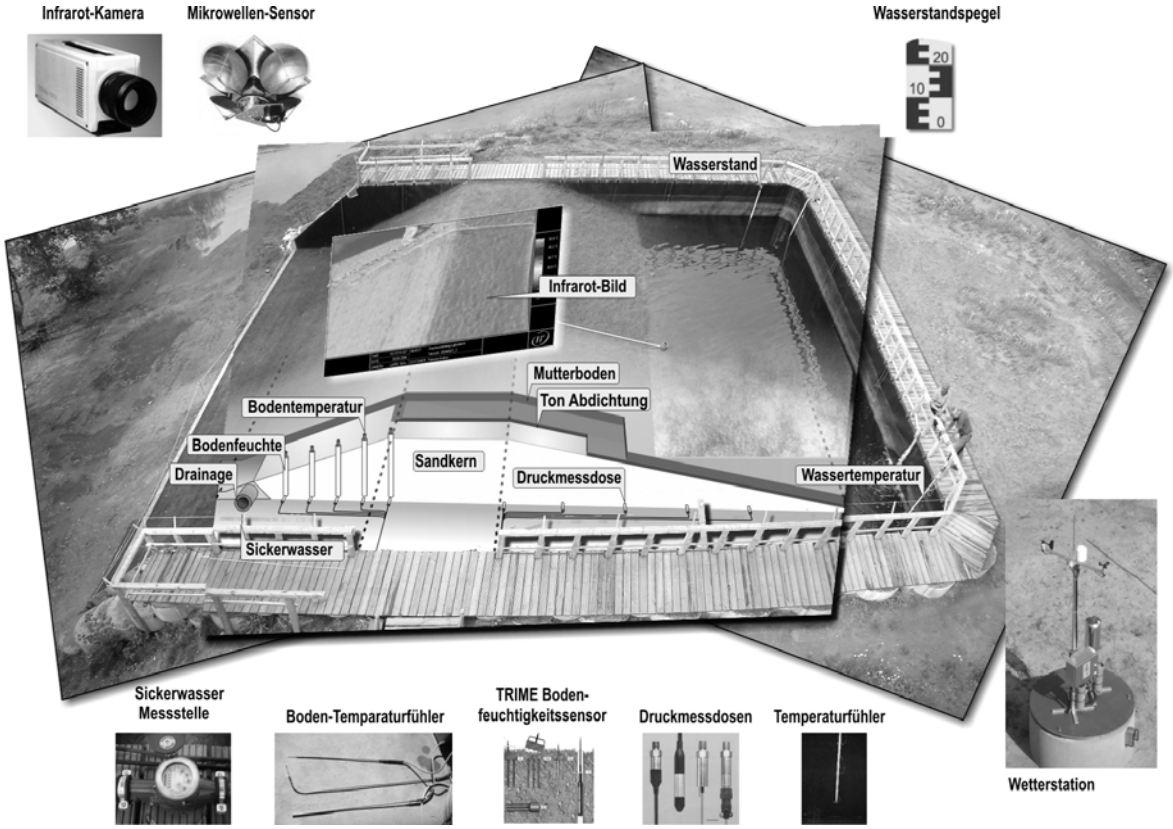

Abb. 3.1: Labordeich am Franzius-Institut der Universität Hannover, Außenstelle Marienwerder mit seinen verschiedenen Messinstrumenten

Im Laborversuch sollen auch die Randbedingungen aufgezeigt werden, unter denen bei unterschiedlichen Vegetationszuständen und meteorologischen Randbedingungen Messungen möglich sind. Bis jetzt kam die Thermalinfrarotkamera NIKON LAIRD-3AS zum Einsatz, die Messdaten im nah- und mittleren Infrarotbereich lieferte. Hierbei zeigte sich, dass die Daten der Kamera stark von Sonnenstand, Nebel- und Taubildung und dem Belastungsereignis vorhergegangen Niederschlagsereignissen abhängig ist. Bei optimalen meteorologischen Bedingungen konnten hingegen sehr gute Ergebnisse zwischen den Labor- und den Fernerkundungsmessungen erzielt werden. Um auch unter nicht optimalen Wetterbedingungen Messungen durchführen zu können, sollen im Weiteren Messungen mit dem modifizierten Mikrowellen Radiometer der DLR durchgeführt werden.

4. NATURUNTERSUCHUNGEN UND AUFBAU EINES GIS

Neben Untersuchungen im Labor werden im Projekt auch tatsächliche Befliegungen mit Fernerkundungssensoren durchgeführt. In der Abbildung 4.1 ist die Lage der Untersuchungsgebiete dargestellt. Die Befliegungen wurden bis jetzt mit der HRSC-A, der HRSC-AX und einer Thermalinfrarot-Kamera im TIR-Bereich durchgeführt. Eine Befliegung mit einem modifizierten Mikrowellen Radiometer MWR ist bis jetzt nicht geplant.
Mit den Befliegungen in der Natur soll aufgezeigt werden, ob es möglich ist, die im Labordeich entwickelten Schadensmuster in den Fernerkundungsdaten wieder zu finden und zu analysieren. Eine automatisierte Auswertung soll es später ermöglichen die Befliegungsdaten zeitnah auszuwerten, um mögliche Deichbrüche frühzeitig zu erkennen und Katastrophenschutzkräfte rechtzeitig zu warnen.

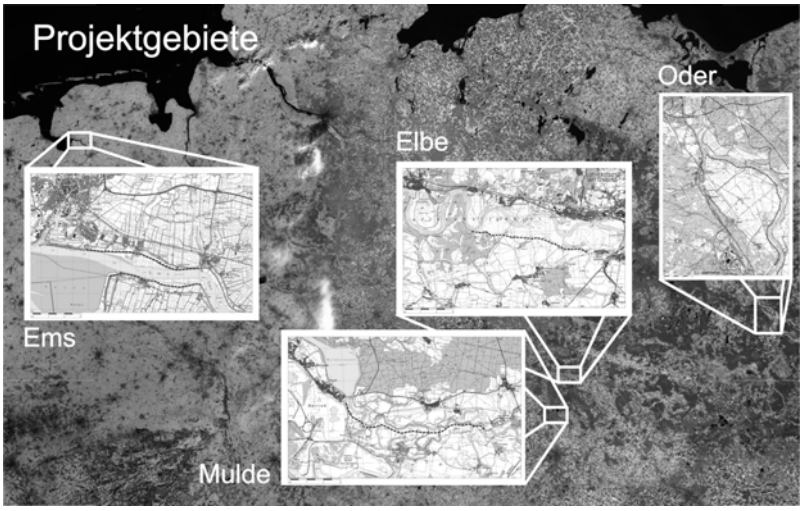

Abb. 4.1: Lage der Untersuchungsgebiete und Naturmessungen

Parallel zu den Befliegungen werden zur gleichen Zeit vor Ort diverse Naturmessungen durchgeführt, um die Interpretation der Fernerkundungsdaten zu erhöhen. Die Abbildung 4.2 zeigt die Untersuchungen, die in der Natur durchgeführt werden.
Schließlich werden alle gesammelten Fernerkundungsdaten, sowie Natur- und Labormessungen in einem Geographischen Informationssystem (GIS) gesammelt und ausgewertet. Dies soll späteren Nutzern ermöglichen schnell und effizient mit den Daten und den Ergebnissen zu arbeiten. Im GIS ist es möglich durch Interpolation, Differenzenbildung und Verschneidung verschiedener Datensätze potentielle Schwach- und Bruchstellen am Deich zu identifizieren und auch in Höhenlage und Position zu lokalisieren.

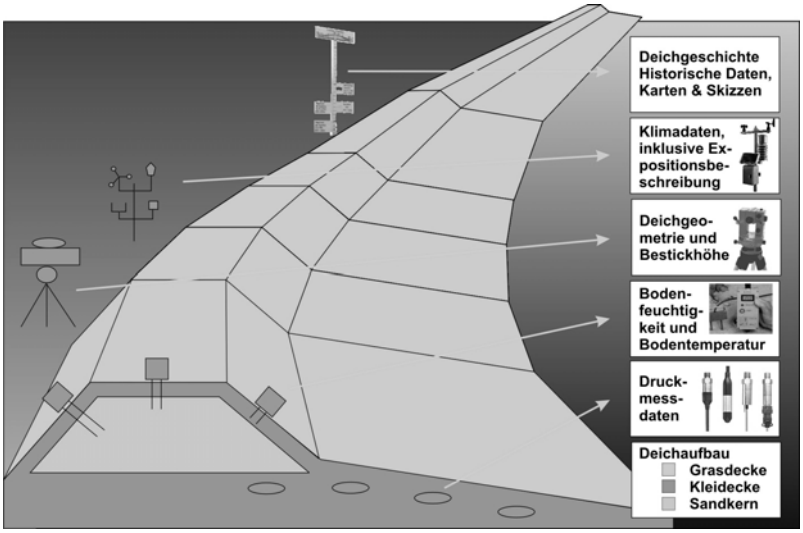

Abb. 4.2: Naturuntersuchungen im Rahmen des Projekts Deichmonitoring

Die Abbildung 4.3 zeigt die Benutzeroberfläche des GIS mit seinen wesentlichen Funktionen und der Darstellung von topographischen Karten, Panchromatischen und falschfarben RGB Bilddaten, sowie des Digitalen Oberflächen Modells DOM für ein Teil der Mulde.

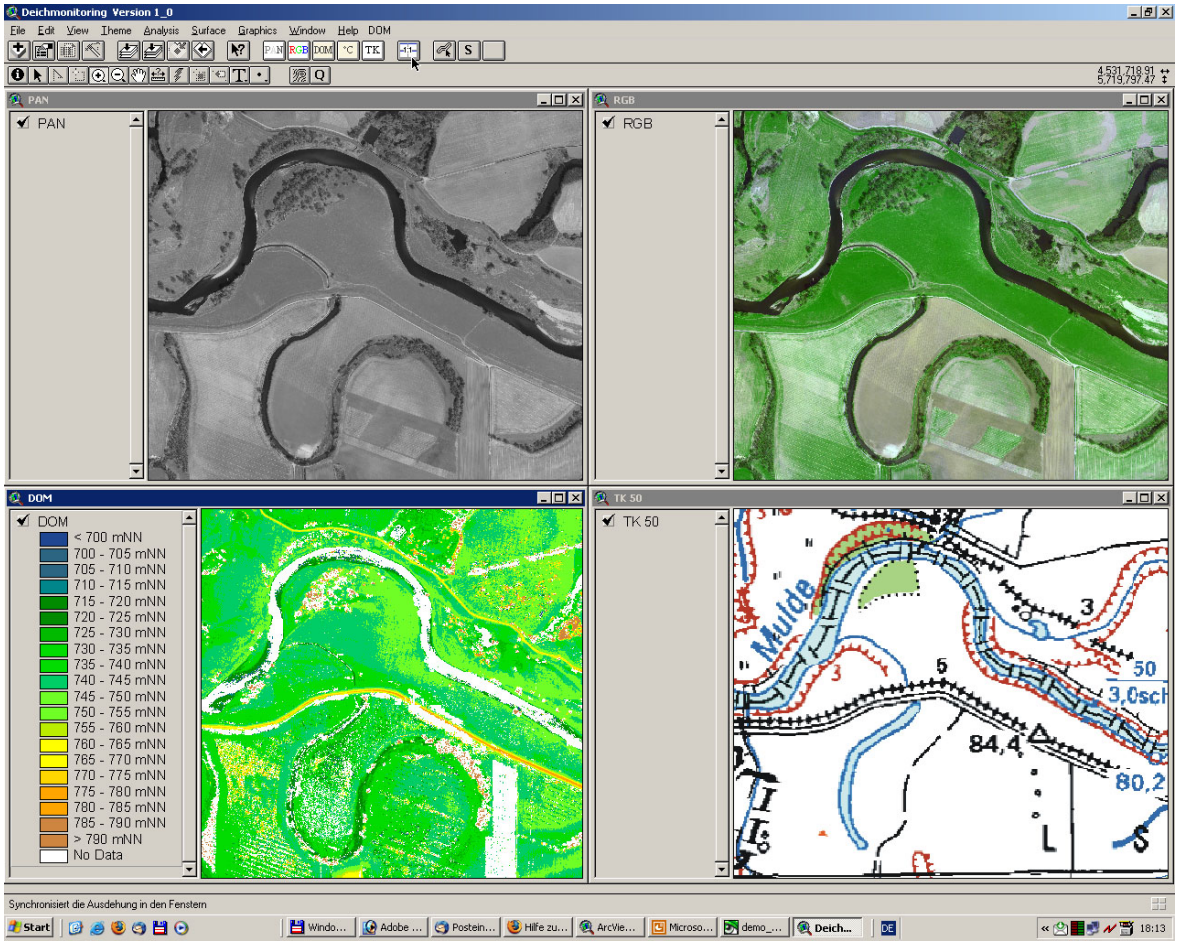

Abb. 4.3: Darstellung von topographischen Karten, Panchromatischen und falschfarben RGB Bilddaten, sowie des digitalen Geländemodells DOM im GIS

Die Kriterien für den Erkennung von möglichen Schwach- und Bruchstellen am Deich ergeben sich aus den Schadensmustern am Labordeich, welche starke Gradienten und Differenzenbildung bzw. -muster zwischen Tag- und Nachtbefliegungen im Thermal-Infrarot Bild, Erosionen und Setzungsanalysen aus den Deichgeometrien des DOM inklusive der Identifizierung von Wühltier- und Fuchsbauten und z.B. der Identifizierung von bestimmten Indikatorpflanzen und Vegetationstypen umfassen (Kühn, F. et al., 1998).
Des Weiteren werden visuelle Eigenschaften des Deichs erfasst, die ebenfalls Schwachstellen im Deich darstellen. Dies umfasst beispielsweise Trampelpfade und Fahrspuren auf dem Deich, Einbauten (Siele, Schöpfwerke, etc.) und Düker, aber auch Zaunpfähle und ähnliches.
Die Erkennung der beschrieben Schwachstellen erfolgt im GIS dabei teilweise automatisiert und teilweise mit der Unterstützung eines Operators. Es wird daran gearbeitet am Ende des Projekts ein Großteil aller Identifizierung automatisiert zu erstellen, wobei auf die Überprüfung durch einen Operator, welcher möglichst ein geologischer, geographischer bzw. Deichexperte sein sollte, auch dann nicht verzichtet werden kann, um Wertungen einzelner Schwachstellen vorzunehmen. Bei dem auftreten mehrer Schwachstellenidentifikationen an einem Ort erhöht sich natürlich dort die Gefahr eine Deichbruchs.
Die Abbildung 4.4 zeigt im Detail die Ergebnisse der stereographischen Vermessung mit der HRSC-A Kamera. Es handelt sich bei den Vermessungsdaten um ein Oberflächenmodell, so dass auch ein möglicher Bewuchs von Deichen identifiziert werden kann. Mit Hilfe der Daten ist es möglich im GIS Querprofile des Deichs an beliebigen Stellen zu erzeugen.

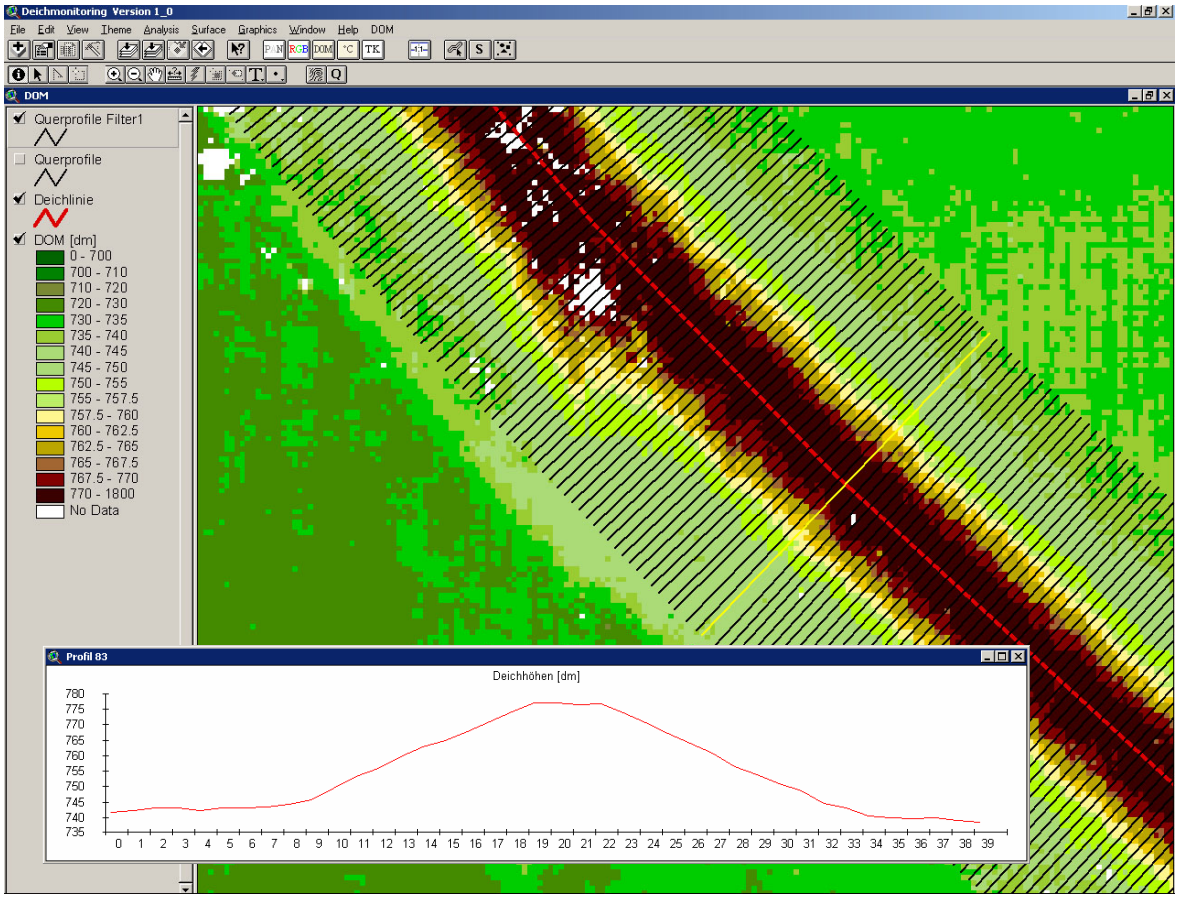

Abb. 4.4: Darstellung des digitalen Geländemodells DOM mit automatisch erstellten Schnitten für Querprofile

5. SCHLUßFOLGERUNGEN

Durch die Kombination von Geographischen Informationssystem, Labor- und Naturuntersuchungen, sowie der Befliegung mit multispektralen Fernerkundungssensoren ist es möglich potentielle Schwach- und Bruchstellen an Deichen in Ihrer Position und Höhenlage zu lokalisieren. Mit Hilfe der Daten können veränderbare Gefährdungskarten und Schwachstellenzonierungen vorgenommen werden. Hierbei ist zwischen akuten Gefährdungen und Aufnahmen während Belastungsereignissen auf der einen und Kartierungen, sowie Analysen im nicht Hochwasserfall auf der anderen Seite zu unterscheiden.
Außerdem haben die bisherigen Untersuchungen im Projekt Deichmonitorring natürliche, physikalische und meteorologische Grenzen aufgezeigt unter denen eine zweifelsfreie Erkennung von Schwachstellen möglich ist. Es wurde auch nachgewiesen, das nicht alle Schadensmechanismen mit Hilfe von Fernerkundungen erkannt werden können.
Weitere Untersuchungen und Arbeit ist noch bei der automatisierten Erkennung von Schwachstellen und Mustern in den Fernerkundungsdaten und im GIS nötigt. Hier sollen im weiteren Verlauf des Projekts Auswertealgorhythmen entwickelt werden, die eine nahezu Echtzeit Verarbeitung und Analyse der Daten zulassen. Des weiteren sollen die Identifizierung von Schwachstellen durch weitere Kalibration bisheriger und die Anwendung neuer (MWR) Fernerkundungssensoren verbessert werden.

6. DANKSAGUNG

Die Autoren möchten sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung-BMBF für die Förderung des Projekts bedanken. Das Projekt Deichmonitoring wird dort als BMBF-Verbundprojekt “Deichmonitoring - Entwicklung und Verifizierung von Einsatzvarianten zur Aufklärung von Schwachstellen an Deichen mit luftgestützten multisensoralen Fernerkundungstechnologien” mit der Kennzeichnung 02 WH 0410 geführt.

7. LITERATUR

Kühn, F. and Brose, F. (1998). Die Auswertung von Fernerkundungsdaten zur Deichzustandseinschätzung, erschienen in Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, Heft 1, Kleinmachnow, Germany.

Lehmann, F., Brand, M., Bucher, T., Hese, S., Hoffmann, A., Mayer, S., Oschütz, F., Sujew, S., Roatsch, T., Wewel, F. and Zhang, Y. (1998). Data Fusion of HYM AP Hyper spectral and HRSC Multispectral Stereo Data: Remote Sensing Data Validation and Application in Different Disciplines, 1st Earsel Workshop on Imaging Spectroscopy, Seiten 105-119, Zurich, Switzerland.

Renouard, L. and Lehmann, F. (1999). A Digital Aerial Survey Data for Telecoms Network Planning: Practical Experience with a High-Resolution Three-View Stereo Camera, OEEPE Workshop on Automation in Digital Photogrammetric Production, Paris, France.