

Extraktion geologisch relevanter Strukturen auf Rügen in Laserscanner-Daten

JOACHIM NIEMEYER¹, FRANZ ROTTENSTEINER¹, FRIEDRICH KÜHN² & UWE SÖRGEL¹

Zusammenfassung: Am Kreidekliff der Insel Rügen treten Hangabbrüche und -rutschungen auf, welche Personen und Einrichtungen der örtlichen Infrastruktur gefährden können. Zur Erkennung potenzieller Geogefahrengebiete erfolgen aufwändige Feldbegehungen. In diesem Beitrag wird untersucht, inwieweit ergänzend dazu mittels luftgestütztem Laserscanning eine flächenhafte Überwachung möglich ist, die auch schwer zugängliche Bereiche einschließt. Dazu erfolgt zunächst eine Filterung des Oberflächenmodells, um Gebäude und Vegetation aus den Daten zu entfernen. Aus dem so abgeleiteten Geländemodell werden geologisch relevante Strukturen extrahiert. Die Ergebnisse sollen Hinweise auf potentielle Gefahrenstellen liefern und damit die Ingenieurgeologen bei der Auswertung unterstützen.

1 Einleitung

Auf der Halbinsel Jasmund im Nordosten der Ostsee-Insel Rügen befindet sich der Nationalpark Jasmund, der insbesondere durch die berühmten Kreidefelsen überregional bekannt ist. Getriggert durch Schneeschmelze und anhaltende Regenfälle sowie durch abrasive Prozesse im Übergangsbereich Kliff/Meer kommt es in Abhängigkeit vom Durchtrennungsgrad zu einer Auflockerung der Kreide-Sedimente, in deren Folge lokal begrenzte Abbrüche der Steilküste auftreten können. Solche potentiell gefährdeten Bereiche werden üblicherweise durch Begehungen identifiziert, was allerdings sehr aufwändig und gerade in schwierigem Gelände nicht immer flächendeckend möglich ist. Ergänzend zu ingenieurgeologischen Untersuchungen des Landesamtes für Umwelt und Geologie (LUNG) des Landes Mecklenburg-Vorpommern und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) wurde im Frühjahr 2007 eine Befliegung des entsprechenden Küstenbereiches sowie eines Teils des daran angebundnen Hinterlandes mit einem luftgestützten Laserscanner durchgeführt.

Dieser Beitrag behandelt methodische Fragen der Verarbeitung und Auswertung der Laserdaten für bewaldete Gebiete sowie Kliffbereiche. Weiterhin werden die Ergebnisse einer ersten vorläufigen Auswertung dieser Daten vorgestellt. Das Ziel ist es festzustellen, welche Möglichkeiten luftgestütztes Laserscanning zur Erkennung und Beurteilung geologisch relevanter Geländemerkmale sowie potentiell instabiler Kliffbereiche bietet. Solche Merkmale können beispielsweise Geländestufen und -kanten sein, die besonders in der Nähe des Kliffs Hinweise auf die Orte möglicher weiterer künftiger Abbrüche der Kreidefelsen sind.

1) Joachim Niemeyer, Franz Rottensteiner, Uwe Sörgel, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Straße 1, 30167 Hannover; E-Mail: {niemeyer, rottensteiner, soergel}@ipi.uni-hannover.de

2) Friedrich Kühn, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Geozentrum Hannover, Stilleweg 2, 30655 Hannover; E-Mail: friedrich.kuehn@bgr.de

1.1 Grundlagen der Geologie im Untersuchungsgebiet

Die Entwicklung Rügens begann vor 70 bis 80 Millionen Jahren, als das Weltmeer der Oberkreide auch das Gebiet des heutigen Rügen bedeckte. Es lagerten sich große Mengen von Foraminiferen-Kalkschalen ab, welche über Jahrmillionen hinweg Mächtigkeiten von bis zu 400 m erreichten.

Das heutige Rügen ist erst durch die Gletscher der jüngsten Eiszeit entstanden. Die Gletscher formten bei ihrem Vorstoß über das damalige Festland End- und Grundmoränen, Gletscherzungen- und Toteisbecken, Sölle, Oser und Schmelzwasserrinnen. Obwohl die Ostsee zu dieser Zeit noch nicht existierte, wurde damit die Basis für das heutige Rügen geschaffen. Der schräge Verlauf der im Kreidekliff vorhandenen Feuersteinbänder belegt die Verkippung und Aufpressung der Kreideschollen durch die Gletscher der letzten Eiszeit.

Dort, wo durch das Eis besonders große Mengen des Geschiebemergels abgelagert wurden, war der Druck auf den Untergrund so groß, dass die Kreideschollen an nicht belasteten Gebieten nach oben gewölbt und verworfen wurden. Die letzte Eiszeit stauchte aus diesen Materialien die Inselkerne Rügens. Besonders stark aufgewölbt und mit viel Kreide durchsetzt wurde dabei der Inselkern Jasmund mit seinem nach Osten hin steil abfallenden Kreidekliffs. Die durch die Brandung entstandenen Steilufer unterliegen ständigen Küstenabtragungen, Uferausbrüchen und damit verbundenen Landversetzungen. Diese Küstenabbrüche werden durch anhaltende und extreme Niederschläge begünstigt. Eine weitere Ursache für Abbrüche sind sogenannte Frostsprengungen, welche vor allem im Frühjahr erfolgen. Durch die Abfolge von Auftau- und Gefrierprozessen wird das Gestein zusätzlich gelockert und verstärkt die Gefahren von Uferausbrüchen. Diese Prozesse bzw. ihre Früherkennung ist Gegenstand des hier vorgestellten methodischen Tests mit hochauflösenden Fernerkundungsdaten. Diese sehr skizzenhafte Darstellung der geologischen Entwicklung im Untersuchungsgebiet „Jasmund“ beruht auf Beschreibungen von [SCHERENEWSKI ET AL.] und [DUPHORN ET AL., 1995].

1.2 Beschreibung der Daten

Vor dem Einsetzen der Vegetationsperiode wurde am 16. April 2007 ein Teil des Nationalparks Jasmund mit dem luftgestützten Laserscanner Optech ALTM3100 dreidimensional erfasst. Das beflogene Gebiet hat eine Ausdehnung von etwa 9 km x 4.5 km und deckt eine Fläche von ca. 30 km² ab. Große Teile des Nationalparks sind mit einem dichten Buchenwald bedeckt, nur im Norden in der Nähe der Ortschaft Lohme überwiegt eine landwirtschaftliche Nutzung (vgl. Abb. 1). Am östlichen Rand der gleichnamigen Halbinsel befindet sich die 11 km lange Kreide-Steilküste, welche bei einer geringen räumlichen Ausdehnung Höhenunterschiede von bis zu 120 m aufweist. Während der Befliegung wurden das erste und das letzte Echo des ausgesandten Impulses sowie die Intensität des zurückkommenden Signals mit einer mittleren Auflösung von ca. 0.5 m erfasst. Die resultierende Punktwolke des Gebiets,

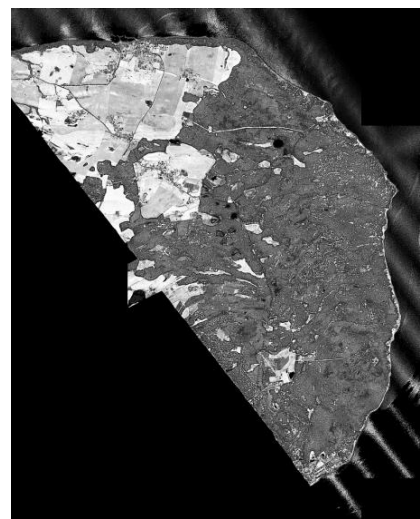


Abb. 1: Intensitätsbild des erfassten Gebietes

deren Intensitätswerte in Abb. 1 dargestellt sind, umfasst insgesamt 12.1 Millionen Punkte. Zusätzlich zur dreidimensionalen Erfassung mit dem Laserscanner wurden 300 Luftbilder mit einer Vexcel Imagine UltraCamD aufgenommen. Die vierkanaligen Bilder (RGB+NIR) haben jeweils eine Auflösung von 11500 x 7500 Pixeln.

2 Verfahren zur Detektion geomorphologischer Strukturen

In den folgenden Abschnitten wird die Methodik zur Detektion der geomorphologischen Strukturen vorgestellt. Das Verfahren basiert ausschließlich auf einer Analyse der Laserdaten, so dass die optischen Luftbilder nur für die unterstützende visuelle Interpretation der Ergebnisse (Abschnitt 3) verwendet werden. Mit der Filterung des digitalen Oberflächenmodells (DOM) und der anschließenden Merkmalsextraktion lässt sich die Vorgehensweise in zwei wesentliche Schritte einteilen.

2.1 Filterung des Oberflächenmodells

Die Punkte der gegebenen Laserdaten liegen zum Teil auf dem Gelände und zum Teil auf über dem Gelände befindlichen Objekten. Für die Analyse geomorphologischer Strukturen wird jedoch ausschließlich die Form des Geländes benötigt, so dass die Objektpunkte mittels einer geeigneten Filterung eliminiert werden müssen. Das Ziel des zum Einsatz kommenden Filteralgorithmus besteht in einer Klassifikation aller Laserpunkte in Gelände- und Nichtgeländepunkte, um aus den extrahierten Geländepunkten ein digitales Geländemodell (DGM) durch Interpolation eines Rasters $z(x,y)$ ableiten zu können. Das punktbasierte Verfahren betrachtet dabei nur die dreidimensionale Koordinate jedes Punktes, während der Intensitätswert und die Informationen über das erste oder letzte Echo unberücksichtigt bleiben.

Grundlegend für den Algorithmus ist die Annahme, dass das Gelände durch zusammenhängende Gebiete mit geringer lokaler Rauigkeit der Oberfläche repräsentiert wird. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das Gelände lokal tiefer liegt als die Objekte und dass es zwischen Gelände und Objekten zu einem Höhengsprung kommt. Für jeden Laserpunkt wird ein Rauigkeitsmerkmal bestimmt, das aus einer Ebenenschätzung durch die k nächsten Nachbarn dieses Punktes hervorgeht. Liegen diese k Nachbarn in einer glatten Fläche, so wird der mittlere Gewichtseinheitsfehler s_0 dieser Ebenenschätzung sehr klein sein; er ist daher direkt als Rauigkeitsmerkmal des betrachteten Punktes interpretierbar. Nach Berechnung dieses Merkmals erfolgt eine Einteilung in „raue“ und „glatte“ Punkte durch Schwellwertbildung sowie unter Berücksichtigung eines maximal zulässigen Neigungswinkels der ausgleichenden Ebene. Anschließend werden durch Bereichswachstumsverfahren zusammenhängende Gebiete von „glatten“ Punkten gesucht. Die Zuordnung der "glatten" Punkte zu einem Segment erfolgt nur dann, wenn der Höhenunterschied zu den nächsten Punkten des Segments klein ist.

Neben dem eigentlichen Gelände werden auch Gebäudedächer und -wände als Segmente von "glatten" Punkten detektiert. Um in diesem Fall eine korrekte Trennung in Gelände- und Nichtgeländesegmente vornehmen zu können, werden die Segmente auf Basis des mittleren Abstands der Punkte des Segments von einem genäherten DGM klassifiziert: liegt dieser unterhalb eines Schwellwerts, so wird das Segment als Geländesegment angesehen. Die Klassifikation erfolgt iterativ. Die erste Näherung für das DGM wird zu Beginn in einem

Vorverarbeitungsschritt aus einem interpolierten DOM durch morphologisches Öffnen erstellt, wobei das Strukturelement groß genug sein muss, damit das größte Gebäude in der Szene eliminiert werden kann [ROTTENSTEINER, 2008]. Nach einem ersten Durchlauf des oben beschriebenen Klassifikationsalgorithmus kann aus den Punkten der als „Gelände“ klassifizierten Segmente ein verbessertes DGM interpoliert werden, das sich als Grundlage für einen weiteren Klassifizierungsschritt verwenden lässt. Durch diese iterative Vorgangsweise kann dem Problem begegnet werden, dass die erste Näherung für das DGM ggf. sehr grob ist. Die Iteration wird beendet, wenn kein neues Segment mehr als Geländesegment klassifiziert wird.

Da bei der Segmentierung und somit bei der Erstellung des genäherten DGM nur „glatte“ Punkte verwendet werden, muss noch eine abschließende Klassifikation der Punkte in Gelände- und Nichtgelände-Punkte erfolgen, denn es können auch Bodenpunkte als „raue“ Punkte klassifiziert werden, wenn ihre Nachbarn sich nicht auf dem Boden befinden. Es wird daher auf Basis des genäherten DGM ein Toleranzband bestimmt und anschließend iterativ unter Verwendung aller Punkte innerhalb dieses Toleranzbandes das endgültige DGM durch robuste Interpolation [ROTTENSTEINER & BRIESE, 2002] bestimmt, wobei jedoch als Modell für die Interpolation nicht die lineare Prädiktion, sondern eine Interpolation mit gleitender Horizontalebene [KRAUS, 2000] verwendet wird.

Das für Jasmund abgeleitete Geländemodell hat eine Rasterauflösung von 0.5m. Eine manuelle Nachbearbeitung ist nicht erforderlich. Nachfolgend ist für das Gebiet um den Königsstuhl in Abb. 2 das Klassifikationsergebnis in Geländepunkte (grün) und Nichtgeländepunkte (rot) dargestellt. Es zeigt sich, dass sowohl die Bäume als auch das Gebäude korrekt als Nichtgeländepunkte detektiert werden. Das resultierende Geländemodell ist in Abb. 3 zu sehen.

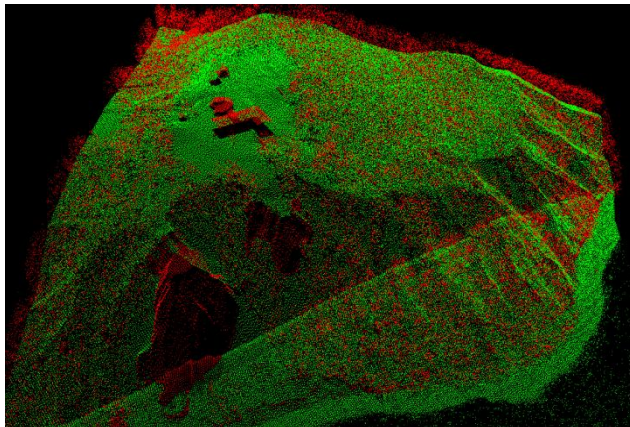


Abb. 2: Klassifizierte Punkte in Gelände- (grün) und Nichtgeländepunkte (rot) beim Königsstuhl

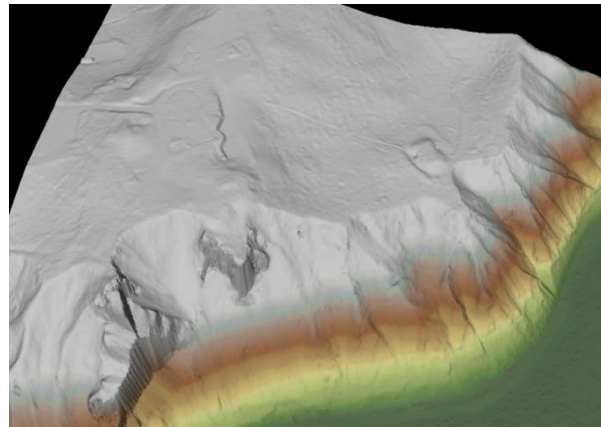


Abb. 3: finales Geländemodell des Königsstuhls

2.2 Geländekantenextraktion

Geomorphologische Strukturen sind charakteristische, im Gelände auftretende Formen wie etwa (Bruch-) Kanten oder abrupte Höhenänderungen [KRAUS, 2000]. Sie lassen sich über eine

Analyse der Krümmungen des Geländemodells detektieren, welches somit die Datengrundlage für deren Extraktion darstellt. Dabei liegt das DGM in einem Raster der Form $z(x,y)$ vor.

Das in diesem Abschnitt beschriebene Verfahren basiert weitestgehend auf der in [FÖRSTNER, 1991] vorgestellten polymorphen Merkmalsextraktion, die wie in [ROTTENSTEINER, 2008] gezeigt auf die ersten Ableitungen eines DOM bzw. in diesem Fall des DGM angewandt wird. Zunächst werden anhand der ersten Ableitungen der Geländeoberflächengradienten (und somit anhand der zweiten Ableitungen des DGM) alle Rasterpunkte in homogene und nichthomogene Punkte klassifiziert. Dazu wird die in Gleichung (1) dargestellte Matrix \mathbf{N} für die lokale Nachbarschaft jedes Rasterpunktes aufgestellt. Zur Unterdrückung von Rauscheffekten werden die Ableitungen mit einem Tiefpassfilter \mathbf{L} geglättet.

$$\mathbf{N} = \mathbf{L} * \begin{pmatrix} \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}\right)^2 & \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right) \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}\right) \\ \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2}\right) \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right) + \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right) \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}\right) & \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}\right)^2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$R = \text{spur}(\mathbf{N}) \quad (2)$$

$$D = 1 - \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}\right)^2 = \frac{4 \cdot \det(\mathbf{N})}{\text{spur}^2(\mathbf{N})} \quad (3)$$

Mit den Gleichungen (2) und (3) lassen sich aus der Matrix \mathbf{N} Texturparameter für jeden Punkt des Höhenmodells ableiten. Dabei sind λ_1 und λ_2 die Eigenwerte von \mathbf{N}^{-1} . Die Größe R entspricht der geglätteten Quadratsumme der zweiten Ableitung des DGM an der Position (x,y) , sie wird hier als Maß für die Krümmung des Geländes genutzt. Mit Hilfe eines Schwellwertes R_{thr} können Pixel als „homogen“ oder „nicht homogen“ klassifiziert werden. An Geländekanten ändern sich die Geländeneigungen, weshalb die Quadratsumme der zweiten Ableitungen und somit R groß wird; als Kandidaten für Kantenpunkte kommen nur noch die nicht homogenen Pixel in Frage. Von großer Bedeutung ist die Wahl der Schwellwertes R_{thr} , da R in Abhängigkeit der Krümmungsverhältnisse des vorliegenden Geländes sowie der Stärke der Glättung deutlich differierende Werte annehmen kann. Wie in [FÖRSTNER, 1991] beschrieben, kann dieser Schwellwert aus der Gesamtverteilung aller R abgeleitet werden, indem der Median aller mit einem konstanten, vom Benutzer vorgegebenen Faktor j multipliziert wird. Im konkreten Beispiel wird zur Festlegung des Schwellwertes R_{thr} der Faktor $j=1$ gesetzt, um auch weniger starke Kanten extrahieren zu können, d.h. $R_{\text{thr}} = \text{Median}(R)$.

Der mittels Gleichung (3) berechnete Parameter D ist ein Maß für die "Rundheit" der lokalen Textur mit dem Wertebereich $[0;1]$ und beschreibt das Verhältnis der beiden Eigenwerte der Matrix \mathbf{N}^{-1} . Sind diese gleich groß, so liegt keine dominante Richtung für die Änderung der Gradienten des DGM vor und die Rundheit D beträgt eins. Punkte länglicher Strukturen wie Kanten hingegen haben eine geringe Rundheit mit Werten kleiner als 0.5, da sich die beiden Eigenwerte deutlich voneinander unterscheiden. Es werden daher im Binärbild der "nicht homogenen" Pixel alle Pixel mit $D > 0.5$ unterdrückt. In dem so erhaltenen Binärbild der Kantenkandidaten erfolgt nun eine subpixelgenaue Nicht-Maxima-Unterdrückung, um lediglich die Punkte mit maximalem R senkrecht zur Kantenorientierung, welche sich aus der Richtung

des zum größeren Eigenwert von N^{-1} gehörenden Eigenvektors ergibt, zu detektieren. Im abschließenden Schritt werden diese durch einen Kantenverfolgungsalgorithmus zu Polygonen zusammengefasst, wobei eine Generalisierung mit dem Douglas-Peucker-Algorithmus [DOUGLAS & PEUCKER, 1973] möglich ist.

3 Ergebnisse

Bei der Merkmalsextraktion wurden die Schwellwerte sehr niedrig eingestellt, so dass auch schwache Kanten detektiert werden. Dies hat allerdings den Nachteil, dass dadurch die False-Positive-Rate deutlich steigt. Dennoch werden bei der 2D-Betrachtung aller Kanten in einem Übersichtsmaßstab viele geologisch-relevante Strukturen sichtbar.

Im Rahmen dieses Beitrags werden drei kleinere Testgebiete entlang der Steilküste hinsichtlich des Nutzens der extrahierten Geländekanten untersucht. Dazu erfolgt eine visuelle Interpretation des dreidimensionalen Geländemodells mit überlagerten Orthofotos der jeweiligen Szene. Weiterhin werden die als Vektordaten gespeicherten extrahierten Kantenstrukturen rot dargestellt. Auffällige Kanten von im Text erläuterten Strukturen sind zur besseren Veranschaulichung gelb markiert.

3.1.1 Nördliches Saßnitz

Im Norden von Saßnitz zwischen den geographischen Punkten "Komplex I-1" und "Streifen 1" befindet sich eine kleine, aus sechs Häusern bestehende Siedlung in unmittelbarer Nähe zu einem potentiell rutschungsgefährdeten Gebiet.

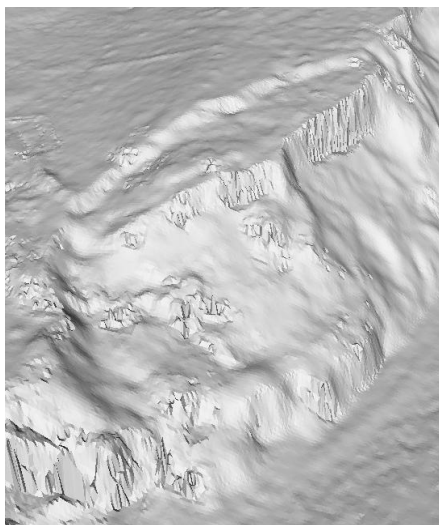


Abb. 4: Geländestufe im Geländemodell



Abb. 5: extrahierte Kanten (rot, Geländestufe gelb) im Norden von Saßnitz.

Es handelt sich um eine 70 m lange und bis zu 20 m breite Stufe, welche sich bereits um etwa 2 m von der ursprünglichen Höhe gesenkt hat. In Abb. 4 ist deutlich zu sehen, dass die obere Bruchkante halbkreisförmig die Geländestufe abtrennt. Die diese Bruchkante beschreibenden extrahierten Kanten sind in Abb. 5 gelb dargestellt, alle anderen rot. In der linken unteren Ecke

sind die Gebäude zu erkennen. Der auffällige Verlauf der geomorphologischen Struktur deutet auf eine Zerklüftung der Kreidesedimente an dieser Stelle hin und kann als Hinweis auf weitere bevorstehende Rutschungen ausgelegt werden. Ein Vergleich mit dem Geogefahrenkataster des LUNG bestätigt, dass es sich hier um ein potenzielles Rutschungsgebiet handelt.

3.1.2 Kieler Bach

Etwa 50 bis 150 m südlich der Mündung des Kieler Baches in die Ostsee ereignete sich an der Steilküste am 28.06.2007 ein Kreideabbruch "mittlerer Größe". Da dieser Zeitpunkt nach der Befliegung im April 2007 stattfand, lässt sich anhand der vorliegenden Laserdaten und Bilder eine Beurteilung der vor dem Abbruch extrahierten Geländekanten durchführen.



Abb. 6: Kieler Bach - einzelner, horizontal über das Kliff ragender Baum vor dem Hangabbruch



Abb. 7: Aufnahme nach der Rutschung [Foto: Tiepolt]

In Abb. 6 ist eine Aufsicht auf die Steilküste dargestellt. Es lässt sich erkennen, dass ein Baum in der Bildmitte (grün markiert) nahezu horizontal über das Kliff ragt. Dieser Baum ist neben ca. 5000 m³ Kreideabbruch mehr als 50 m in die Tiefe gestürzt. Das rechte Bild zeigt die Situation im Oktober 2007 nach der Hangrutschung. Deutlich ist hier der heruntergefallene Baum (grüner Pfeil) rechts neben dem Schuttfächer aus abgerutschtem Kreidematerial (blauer Pfeil) zu sehen. Eine Untersuchung der in Abb. 8 dargestellten Kantenstrukturen vor dem Abbruch zeigt, dass sich der Baum (grüner Kreis) am Ende einer senkrecht zur Küste verlaufenden Struktur befand, welche durch parallele Kanten zu erkennen ist (blauer Pfeil). Dabei handelt es sich um einen kleinen Einschnitt ins Gelände, der als Hinweis auf die Existenz einer linearen Schwächezone dienen könnte. In Abb. 9 ist dieser Einschnitt in einer Profilsansicht dargestellt. Da sich das Gelände zum Tal des Kieler Baches hin senkt, fehlt aus dieser Richtung der Halt und es könnte zu einer Auflockerung und Bewegung des Blockes gekommen sein, an dessen oberen Rand sich der Baum befand. Seine horizontale Lage über das Kliff deutet zusätzlich auf vorherige Erosionsprozesse hin. Eine in-situ Verifikation einer solchen Interpretation ist noch erforderlich. Eine weitere küstenparallele Struktur umschließt einen kleinen Küstenabschnitt halbkreisförmig (blaue Pfeile, Abb. 10) und trifft in der Nähe der Baumposition vor dem Abbruch auf den

senkrecht zur Küste verlaufenden, zuvor beschriebenen Einschnitt. Dies kann ebenfalls auf ein potentiell abbruchgefährdetes Areal hinweisen.

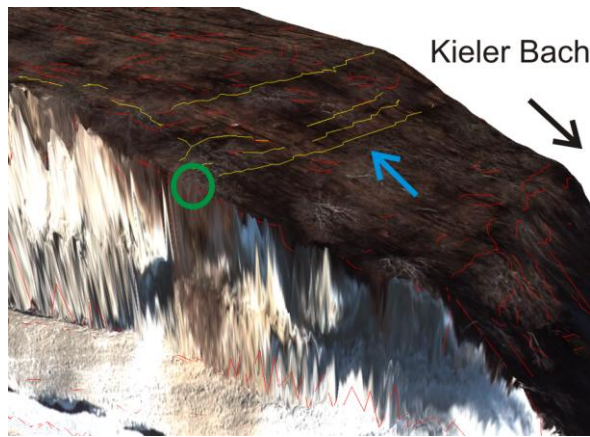


Abb. 8: 3D-Ansicht mit extrahierten Kanten (vor Abbruch)

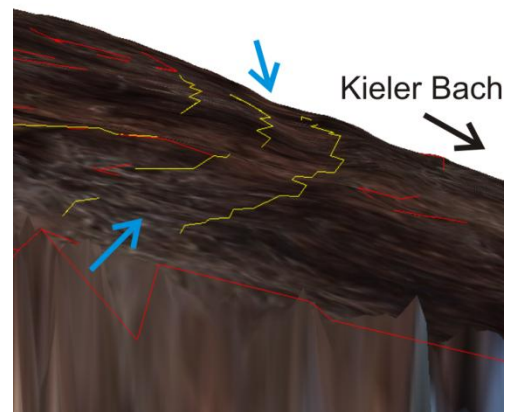


Abb. 9: Profilansicht des senkrecht zur Küste verlaufenden Einschnitts (vor Abbruch)

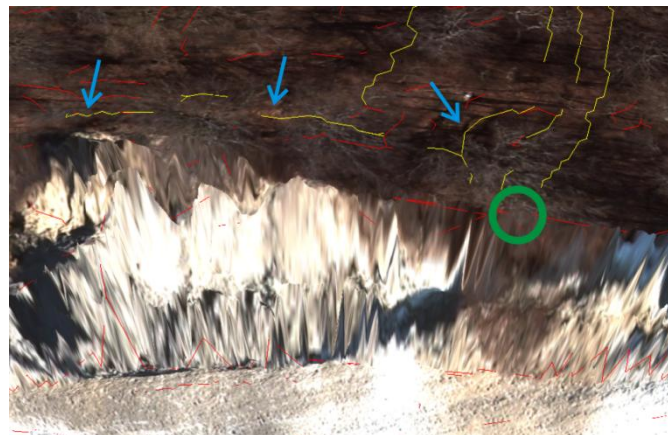


Abb. 10: Küstenparallele Kanten (vor Abbruch)

3.1.3 Burgwall "Hengst"

Südlich der Mündung des Lenzer Baches zwischen den geografischen Punkten "Streifen 2" und "Hengst" befindet sich eine wallförmige Struktur mit einem Durchmesser von ca. 15 m, die in Nord-Süd-Richtung halbkreisförmig eine 100 m lange und bis zu 50 m breite Geländestufe vom Hinterland abtrennt (Abb. 11). Das Höhenniveau des umgrenzten Gebietes ist um 5 m höher als das des Hinterlandes, so dass die Höhe des Walls seeseitig 1 m und landeinwärts 6 m beträgt.

Diese Struktur repräsentiert einen Teil einer ehemaligen Burgwallanlage aus vorslawischer Zeit, welche als "Sattel auf dem Hengst" bezeichnet wird. Die seeseitigen Teile der ehemaligen Burginnenfläche sind bereits durch die Erosionsprozesse an der Kreideküste abgebrochen. Die extrahierten Kanten (Abb. 12, gelb markierte Kanten) markieren in diesem Fall eine frühgeschichtliche, von Menschen gemachte Struktur. Die insbesondere in Abb. 12 sichtbaren

linienartigen Spuren sind vermutlich ehemalige Wege. Inwieweit hier abbruchgefährdete Bereiche existieren muss durch weiterführende Auswertungen geklärt werden.

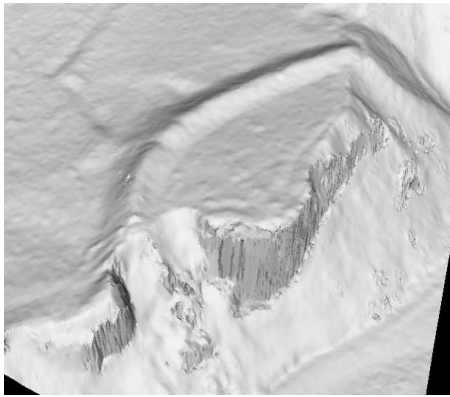


Abb. 11: Burgwall "Hengst" im Geländemodell

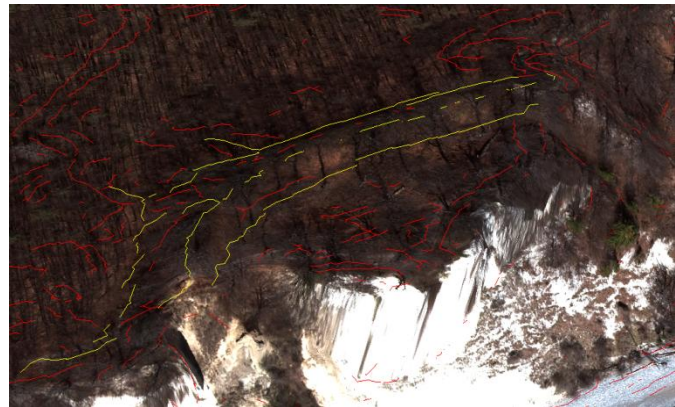


Abb. 12: Burgwall "Hengst" mit Kantenstrukturen und überlagertem Orthophoto

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die Zielsetzung dieses Beitrags besteht darin, geomorphologische Strukturen wie Bruchkanten oder abrupte Neigungsänderungen aus Laserscandaten der Insel Rügen zu extrahieren, welche Indizien für potentielle Hangrutschungsareale an der Steilküste sein können. Bei der Filterung des Oberflächenmodells wird unter Zuhilfenahme der Punktrauigkeit ein digitales Modell des Geländes erstellt, welches die Datengrundlage für die Extraktion der geomorphologischen Strukturen in Form von Geländekanten darstellt. Die Auswertung zeigt, dass die gefundenen Merkmale die konventionelle Kartierung der Ingenieurgeologen deutlich unterstützen können, da sie wichtige Strukturen sichtbar machen. Vor allem küstenparallele, halbkreisförmige oder senkrecht zum Kliff extrahierte Kanten, welche Einschnitte, Stufen oder Wälle im Gelände repräsentieren, sind dabei von besonderer Bedeutung, da sie Hinweise auf lineare Schwächezonen oder Zerklüftungen liefern können. Auf diese Weise lassen sich potentielle Gefahrenzonen schneller lokalisieren. Für deren weitere Interpretation erwies sich eine dreidimensionale Visualisierung des Geländes bei Überlagerung mit den Orthofotos und den extrahierten Geländekanten als besonders effizient. Die hier präsentierten Ergebnisse haben vorläufigen Charakter, da eine abschließende Verifizierung im Gelände noch aussteht.

5 Danksagung

Herrn Dr. Lars Tiepolt vom Staatlichen Amt für Umwelt und Natur (StAUN) Mecklenburg-Vorpommern möchten wir herzlich für die Luftbilder danken. Weiterhin gilt unser Dank Herrn Dr. Karsten Schütze vom Geologischen Dienst des Landesamtes für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) Mecklenburg-Vorpommern für die Bereitstellung des Geogefahrenkatasters, sowie Herrn Dipl.-Ing. Martin Wiedeking für die tatkräftige Unterstützung bei der Verarbeitung der Daten.

6 Literaturverzeichnis

DUPHORN, K.; KLIWE, H.; NIEDERMEYER, R.-O.; JANKE, W.; WERNER, F., 1995: Die deutsche Ostseeküste, Sammlung geologischer Führer, Stuttgart, Gebr. Bornträger.

DOUGLAS, D. & PEUCKER, D., 1973: Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *The Canadian Cartographer* 10, S.112-122.

FÖRSTNER, W., 1991: Statistische Verfahren für die automatische Bildanalyse und ihre Bewertung bei der Objekterkennung und –Vermessung. Habilitationsschrift, Deutsche Geodätische Kommission DGK C-370, München.

KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie Band 3. Topographische Informationssysteme. Dümmler Verlag, Köln, 1. Auflage.

ROTTENSTEINER, F., 2008: Automatic Extraction of buildings from airborne laserscanner data and aerial images, Habilitationsschrift, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, In: *Geowissenschaftliche Mitteilungen* 83, 128 S.

ROTTENSTEINER, F. & BRIESE, C., 2002: A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV-3A, S. 295-301.

SCHERNEWSKI, G.; BOCK, S.; STERR, H: Küste, Meer und Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM), <http://www.ikzm-d.de> (Informations-, Lern-, und Lehrmodule), Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (Stand 4.6.2010).