

Erfassung geometrischer und semantischer Daten der Kachelotplate mittels Airborne und Terrestrischem Laserscanning

Prof. Dr.-Ing. Manfred Weisensee

Dipl.-Ing. Hillrich Smit-Philipp

Dipl.-Ing. Janine Tast

Dipl.-Ing. Kristina Nebel

cand. Ing. Dennis Marczak

Zusammenfassung

Im Herbst und Frühjahr 2007 wurden geometrische und semantische Daten der Kachelotplate mittels Airborne Laserscanning und Terrestrischem Laserscanning erhoben. Mit einer Helikopterbefliegung konnte die Kachelotplate in ihrer Gesamtheit erfasst werden, während das terrestrische Laserscanning in einem ausgewählten, geomorphologisch relevanten Bereich zum Einsatz kam. Die erhobenen Daten wurden separat ausgewertet, analysiert und in ein Geoinformationssystem übertragen. Da Daten aus mehreren Epochen vorliegen konnten durch Vergleiche stichhaltige Aussagen über Lageveränderungen der Kachelotplate getroffen, sowie Massenberechnungen durchgeführt, Profile und Umringspolygone berechnet werden.

1. Einleitung

Die Kachelotplate liegt im niedersächsischen Wattenmeer zwischen den Inseln Borkum, Juist und Memmert und ist seit dem 17. Jahrhundert bekannt. Der Name leitet sich von "cachalot", das französische Wort für Pottwal ab. Die Lage der Plate ist nicht stabil, in den letzten Jahrzehnten war eine deutliche Verlagerung westwärts in Richtung Memmert zu beobachten, die Fläche dehnte sich dabei von einer Größe von ca. 160 ha auf ca. 230 ha aus. Grund dafür könnten die vergleichsweise seltenen Sturmfluten der letzten Jahre sein, die eine Zunahme von Sedimenten auf der Plate begünstigten. In den höher gelegenen geschützten Bereichen haben sich Pionierpflanzen wie Binsenquecke und Strandroggen angesiedelt, die Dünen waren hier bis zu 2,5 m hoch.

Einschnitte konnten jedoch nach der schweren Sturmflut vom 1.11. 2006 beobachtet werden. Auf der Plate konnten danach massive Sandbewegungen festgestellt werden, die noch vor der Sturmflut

vorhandenen Embryonaldünen waren teilweise eingeebnet.

Eine besondere Bedeutung der Kachelotplate resultiert aus ihrer Eigenschaft als Barriereinsel im niedersächsischen Wattenmeer. Sie spielt somit eine wichtige Rolle beim Schutz der rückseitig liegenden Küsten- und Deichlinie bei Sturmfluten. Im Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer ist sie zudem als Schutzgebiet für Seevögel und Robben ausgewiesen.

In einem interdisziplinären Forschungsprojekt soll die Entwicklung der Kachelotplate exemplarisch für die Bildung von Barriereinsel untersucht werden. Vorarbeiten wurden dabei in einem vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur geförderten Projekt unter Beteiligung von

- Senckenberg Institut, Wilhelmshaven
- Carl von Ossietzky Universität (Institut für Chemie und Biologie des Meeres, Forschungszentrum Terramare)
- Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, Wilhelmshaven

- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Norden
- Institut für Vogelforschung, Wilhelmshaven
- und Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven (Institut für Mess- und Auswertetechnik, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik)

geleistet.

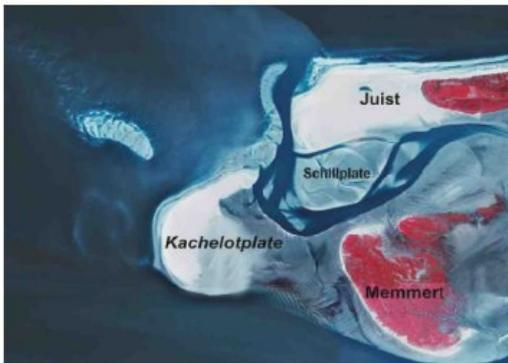


Abb. 1: Lage der Kachelotplate
(Quelle: <http://www.terramare.de/>)

2. Problemstellung

Airborne Laserscanning (ALS) ist ein sehr zweckmäßiges Verfahren zur Erfassung geometrischer und spektraler Daten großer Teile der Erdoberfläche mit hoher Präzision innerhalb kürzester Zeit. Es bietet sich daher an, den Zustand der Kachelotplate in bestimmten Zeitabständen zu erfassen, um den Einfluss jahreszeitlicher, wetterbedingter und anderer Veränderungen (z. B. Sturmfluten) der Oberfläche der Plate zu dokumentieren. Im April 2007 wurde daher eine Befliegung mit Airborne Laserscanning durchgeführt, um die gesamte Kachelotplate innerhalb kürzester Zeit bei Tideniedrigwasser zu erfassen. Durch die hoch aufgelöste Erfassung der Oberfläche im übergeordneten Koordinatensystem der Landesvermessung werden Analysen von Zustand und Veränderung der Kachelotplate in unterschiedlichsten Skalen ermöglicht. Durch Ebbe und Flut ist die Plate einem

andauernden Veränderungsprozess ausgesetzt. Sie „wandert“ durch das Wattenmeer, da ihr der pleistozäne Kern fehlt und verändert ihre Form sehr stark. Die morphologischen Veränderungen werden insbesondere durch die jährlichen Frühjahrs- und Herbststürme sowie durch Sturmfluten hervorgerufen. Weiterhin existieren zahlreiche kleinräumige Oberflächenformen wie Priele, Strandriffe und die ersten Embryonaldünen, welche von besonderem Interesse für multidisziplinäre Untersuchungen der Kachelotplate sind.

Bei der Befliegung wurden Laserscannerdaten und Luftbilder gleichzeitig erfasst. Aus den klassifizierten Laserdaten wurde ein hochpräzises Digitales Geländemodell erstellt und die Luftbilder wurden zu Orthophotos entzerrt. Diese Daten bilden eine wesentliche Grundlage für alle folgenden Untersuchungen und Berechnungen hinsichtlich Status und Veränderungsanalyse der Kachelotplate. Bei nachfolgenden Befliegungen sind die Daten zumindest mit der gleichen Qualität zu erheben, damit sie mit den vorangegangenen Befliegungen verglichen und die Differenzmodelle qualitativ bewertet werden können.

Zusätzlich zum Airborne Laserscanning wurden im September und November 2007 kleinere Bereiche der Plate mit Terrestrischem Laserscanning aufgenommen, um die Veränderungen feiner Oberflächenstrukturen zu dokumentieren.

Das durch das ALS ermittelte hochpräzise digitale Geländemodell und zusätzliche georeferenzierte Daten weiterer Projektbeteiligter sollen über ein zentrales Geoinformationssystem (GIS) den Projektbeteiligten aus den Bereichen der Hydrologie, den Arthropoden und der Bodenkunde für eigene spezifizierte Anwendungen zugänglich gemacht werden.

3. Airborne Laserscanning

Beim ALS wird in einem Helikopter oder Flugzeug ein Multisensorsystem integriert, mit welchem die Bestimmung der Oberflächengeometrie erfolgt (Nebel, 2006). Das Sensorsystem besteht aus drei gekoppelten Messeinheiten, dem Global Positioning System (GPS)-Empfänger, einem Inertialen Navigationssystem (INS) und dem Laserscanner (s. Abbildung 2).

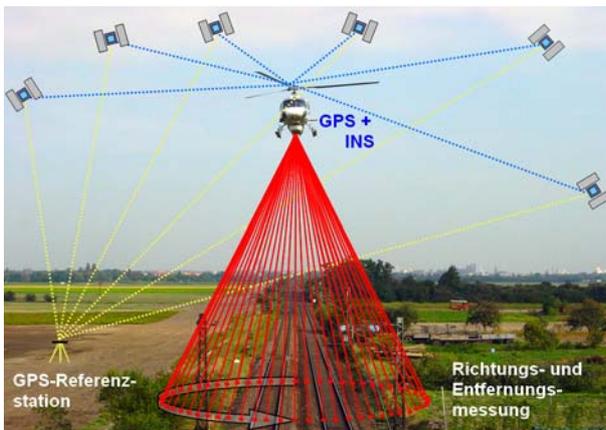


Abb.2: Funktionsweise Airborne Laserscanning (Nebel & Partner)

Der GPS-Empfänger dient zur Positionsbestimmung der Plattform, das INS ermittelt über Beschleunigungssensoren die Orientierung der Plattform während des Fluges und ermöglicht dadurch die Transformation der durch den Laserscanner erfassten Daten in das übergeordnete Landeskoordinatensystem. Der Laserscanner selbst sendet in regelmäßigen Abständen Impulse aus, die an der Erdoberfläche und an darauf befindlichen Gegenständen reflektiert und zur Messeinrichtung zurückgesendet werden. Aus der Zeitdifferenz zwischen dem Aussenden und dem Empfangen des Impulses und der Richtung des ausgesendeten Signals werden die Lage und Höhe der Gelände- und Objektpunkte berechnet.

In Tabelle I werden die relevanten Flugparameter und Daten zur Befliegung im April 2007 aufgeführt.

Flughöhe über Grund	600 m
Streifenbreite	250 m
Anzahl der Flugstreifen	12
Anzahl der Datenpunkte	17 Mio.
Punktdichte	4 Punkte / m ²
Volumen Rohdaten	770 MB
Laserscanner	LMS/Q 560
Kamera	Rollei-AIC

Tabelle I: Parameter Airborne Laserscanning

Das eingesetzte System erfasst während der Laserdatenaufnahme auch gleichzeitig Luftbilder. Zu diesem Zweck befindet sich neben dem Scanner eine hoch auflösende, geometrisch kalibrierte Digitalkamera an Bord. Die Kamera hat nahezu den gleichen Erfassungskorridor wie der Laserscanner, wodurch Laserpunkte und Bilder optimal aufeinander zugeschnitten sind. Für eine reine Interpretation der Laserdaten würden die originären Luftbilder ausreichen. Die Luftbilder sollen jedoch für eine spätere Visualisierung der Daten verwendet werden. Deshalb sind die Luftbilder in ein Orthophoto zu entzerren. Diese Umbildung muss vorgenommen werden, da die Aufnahme der Luftbilder nach den Gesetzmäßigkeiten der zentralperspektiven Abbildung erfolgt und damit perspektivische Verzerrungen im Bild entstehen. In nachfolgender Abbildung wird das Orthophotomosaik der Kachelotplate dargestellt.



Abb. 3: Orthophotomosaik der Kachelotplate

Die einzelnen Orthophotos besitzen, bedingt durch Flughöhe und Kamerakonstante, eine Auflösung von 20 cm. Damit erreichen alle Bilddaten zusammen ein Datenvolumen von ca. 930 MB. Diese Bilder bieten eine hervorragende Interpretationshilfe für großflächige Strukturen wie Lage und Morphologie der Embryonaldünen. Jedoch reicht diese Auflösung nicht aus um Populationen von Tierarten, z. B. Vögel, auf der Kachelotplate zu erfassen oder gar detailliertere Bestimmungen vorzunehmen. Für die Visualisierung des Digitalen Geländemodells (DGM) jedoch eignen sich die Orthophotos sehr gut. Hier kann sogar eine geringere Auflösung ausreichen, wodurch das erforderliche Datenvolumen reduziert wird.

4. Auswertung der Laserscannerdaten

Die Laserscannerdaten liegen zunächst als dreidimensionale Punktwolke vor. Dabei sind von jedem Punkt lediglich die Koordinaten im Raum bekannt. Semantische Informationen liegen jedoch noch nicht vor, z. B. ob es sich um Gelände- oder Wasseroberfläche handelt. Darum werden die Daten in weiteren Bearbeitungsschritten modifiziert, d.h. sie werden einer bestimmten Klasse zugeordnet (Klassifizierung).

Hier werden zunächst die Bodenpunkte von den Wasserpunkten getrennt. Die Befliegung der Plate fand bei Tideniedrigwasser statt, da nur so sichergestellt werden konnte, dass nahezu das gesamte Untersuchungsgebiet trocken gefallen war. Der Laserscanner erfasst die Geländeoberfläche nahezu ausschließlich in trockenen Bereichen. Auf nassen Flächen wie Prielen und Senken entspricht der gemessene Bereich meistens der Wasseroberfläche. Da dieser Bereich nicht mit der Geländeoberfläche gleich gesetzt werden kann, muss er klassifiziert und somit aus den vorhandenen Punk-

ten entfernt werden. Für die Unterscheidung der Wasserpunkte von den tatsächlichen Bodenpunkten wurden Pegelwerte verwendet. Da in direkter Nähe der Kachelotplate kein Pegel installiert ist, mussten für die Klassifizierung anderweitige Pegelwerte verwendet werden. Die Punktwolke wurde mit Hilfe des mittleren Tidemittelwassers klassifiziert, wodurch ein Bezug zu einem wieder herstellbaren Niveau realisiert ist. Nur so kann sichergestellt werden, dass bei weiteren Befliegungen jeweils gleiche Bereiche der Plate erfasst werden und für alle folgenden Auswertungen, Analysen und Darstellungen identische Bezüge hergestellt werden können. Ohne einen festen Bezug können beispielsweise keine Volumenbilanzierungen an der Plate vorgenommen werden.

Zur Kontrolle der Bodenpunkte wurden Vergleichsflächen auf der Plate mittels GPS bestimmt. Nach der Klassifizierung wurde eine automatische Höhenkontrolle der Laserscannerdaten mit den Punkten der Kontrollfläche durchgeführt. Aus den Höhenwerten aller Laserdaten einer vordefinierten Fläche wird ein Mittelwert gebildet, welcher dann mit der Höhe des Kontrollpunktes verglichen wird. Bei dieser Messung stimmen die gemessenen Laserdaten im Mittel mit den Punkten der Kontrollflächen sehr gut überein. Als Standardabweichung wurden bei dieser Messung +/- 3 cm erreicht.

Aus den klassifizierten Bodenpunkten wurde ein regelmäßiges Punktraster für eine weitere Bearbeitung erzeugt. Außerdem wurde aus den Bodenpunkten ein Hochpräzises Digitales Geländemodell, siehe Abbildung 4, generiert, das als Grundlage für anschließende Bearbeitungen dient.

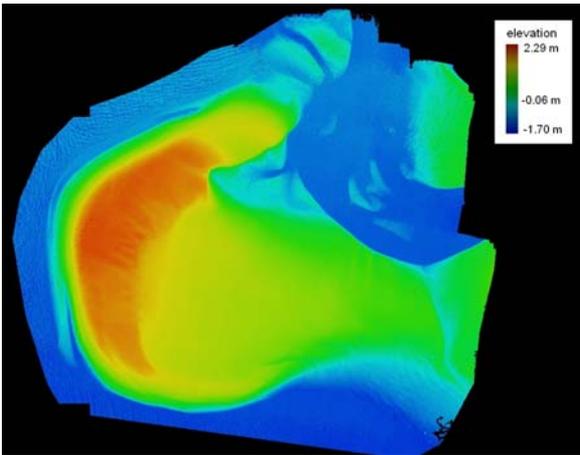


Abb. 4: Digitales Geländemodell der Kachelotplate

Dieses hochauflösende DGM wird unter anderem für Berechnungen und Analysen der Kachelotplate benötigt, um gesicherte Angaben über eventuelle Veränderungen machen zu können.

5. Terrestrisches Laserscanning

Im Rahmen einer Diplomarbeit im Institut für Mess- und Auswertetechnik der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven wurde der terrestrische Laserscanner LS 880 HE 80, Abbildung 5 und Tabelle II, der Firma FARO zur geometrischen Erfassung und Dokumentation der Kleinststrukturen der Embryonaldünenlandschaft auf der Kachelotplate eingesetzt.



Abb. 5: FARO Laser Scanner LS 880 HE 80 auf der Plate

In mehreren Messepochen sollte der Sandauftrag und -abtrag der Dünen erfasst, ausgewertet und dokumentiert werden.

Scandistanz	0,6 m bis 76 m
syst. Distanzfehler	± 3 mm bei 25 m Entfernung
Messrate	120.000 Punkte / Sekunde
Vertikales Sichtfeld	320°
Horizontales Sichtfeld	360°
Stromversorgung	24 V
Gewicht	14,5 kg

Tabelle II: Technische Daten des LS 880 HE 80 von FARO

Die Technologie des terrestrischen Laserscannings hat sich in den letzten Jahren als ein weiteres geodätisches Erfassungsverfahren etabliert und ergänzt die konventionellen Messverfahren Nivellement, Tachymetrie und Satellitengeodäsie. Das terrestrische Laserscanning zeichnet sich besonders durch kurze Aufnahmezeiten aus (Ingensand, Schulz, 2005). Es werden sehr hohe Punktdichten an der zu erfassenden Oberfläche realisiert, und damit auch Kleinstformen vollständig erfasst, siehe Tabelle III. Laserscanning kann auch sehr effizient zur berührungslosen Erfassung von großflächigen und detailreichen Objekten verwendet werden. Messgrößen sind Polarkoordinaten (horizontale und vertikale Richtungen, sowie Strecken), aus denen sich die 3D-Koordinaten mit den dazugehörigen Intensitätswerten, siehe Abbildung 6, ableiten lassen. Diese abgeleiteten 3D-Koordinaten werden allgemein als Punktwolken bezeichnet.

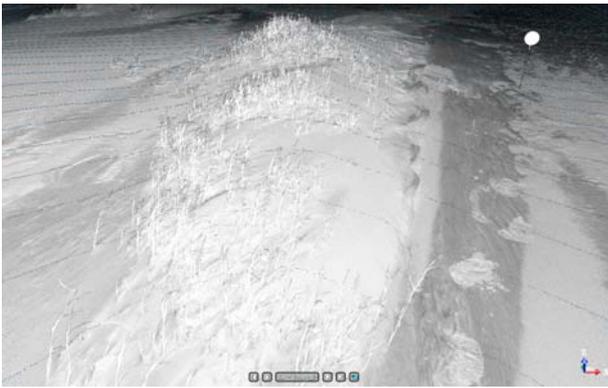


Abb. 6: Falschfarben-Bild (Intensitätswerte) einer Düne

Neben der eigentlichen Aufnahme des Messobjekts und der großen Datenmengen spielt die weitere Verarbeitung der Punktwolke mit geeigneter Software eine wesentliche Rolle. Zu nennen sind hier die Aufbereitung der Messdaten durch Filterung und Selektion, die Transformation der Punktwolke in ein gemeinsames Bezugssystem, sowie anschließend in ein übergeordnetes Landes- bzw. Auswertekoordinatensystem. Als nächster Auswerteprozess folgt die Modellierung des aufgenommenen Objektes oder die Ableitung mathematischer Informationen (Volumen- und Massenberechnungen, Abstandsberechnung etc.).

In der folgenden Tabelle werden alle relevanten Daten zum Messgebiet auf der Kachelotplate dargestellt.

Aufnahmegebiet	40 x 40 m
Scanradius	6,5 m
Anzahl der Scans	13
Anzahl der Datenpunkte	17 Mio. / pro Scan
Punktdichte	40.000 Punkte / m ²
Volumen Rohdaten	650 MB
Laserscanner	LS 880 HE 80
Aufnahmedauer pro Scan	15 Min.
Anzahl der Verknüpfungspunkte (Kugeln)	12

Tabelle III: Daten zum Aufnahmegebiet
Größere Objekte werden von mehreren Standpunkten aufgenommen. Um die einzelnen Standpunkte des Scanners miteinander zu verknüpfen sind gemeinsame Punkte oder Objekte

zu identifizieren. Diese homologen Objekte (Verknüpfungspunkte) können signalisierte oder auch natürliche Punkte sein. Auf der Kachelotplate mussten signalisierte Messkugeln verwendet werden, da keine natürlichen Punkte verwendet werden konnten, die einen hohen Wiedererkennungswert hatten und den Wetterwidrigkeiten und Sturmfluten standhalten konnten. Als Punkte werden bevorzugt mathematisch einfach modellierbare geometrische Formen verwendet (Kugeln, Zylinder, Ebenen, etc.).

Sind alle Punktwolken insgesamt in einem gemeinsamen Bezugssystem vorhanden, können diese in ein übergeordnetes Koordinatensystem transformiert werden. Dazu wurden die Verknüpfungspunkte mittels Global Positioning System (GPS) und dem Satellitenpositionierungssystem der deutschen Landesvermessung (SAPOS) in zwei Epochen bestimmt.

Ein Ziel oben genannter Diplomarbeit ist es, in mehreren Messepochen den Sandauftrag und Sandabtrag der Embryonaldünen zu dokumentieren und zu analysieren. Bisher konnten hier zwei Messepochen realisiert werden. Zum ersten Termin im September 2007 waren auf der Plate noch ausgeprägte Dünenstrukturen vorhanden. Bei der zweiten Messung im November, kurz nach der Sturmflut am 09. November 2007 waren auf der Plate deutliche Veränderungen festzustellen. Die in der ersten Epoche dokumentierten Dünenstrukturen waren kaum noch vorhanden wie sich in der Abbildung VII zeigt. Die gemessenen Höhenunterschiede im untersuchten Gebiet betragen in der ersten Messung (Sept. 2007) ca. 1,65 m, während sich die Beträge nach der Sturmflut am 9. November um ca. die Hälfte auf 0,85 m reduzierten. Die Details sind in Abb. 7 und 8 aufgezeigt.

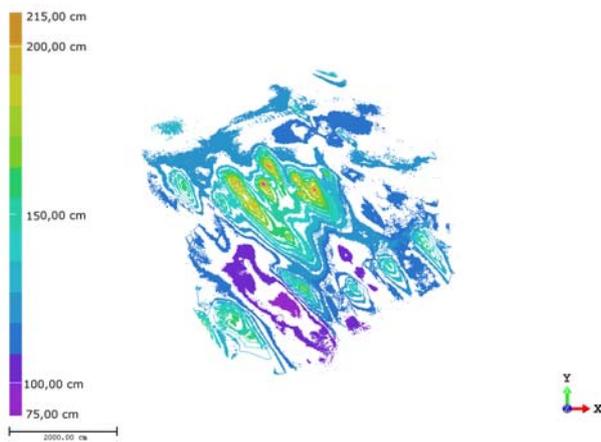


Abb. 7: Dünenstruktur Sept. 2007

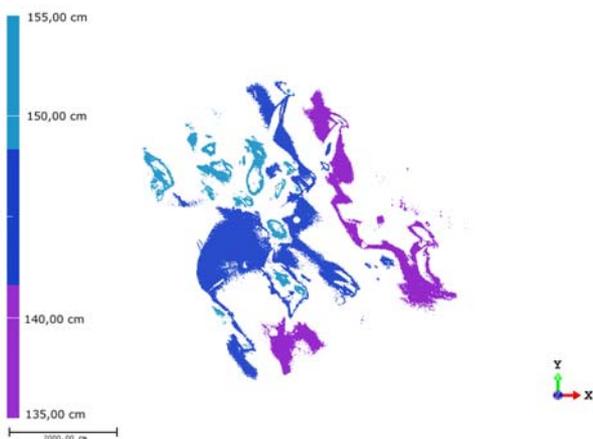


Abb. 8: Dünenstruktur Nov. 2007

6. Gegenüberstellung Airborne Laserscanning und Terrestrisches Laserscanning

Das Airborne Laserscanning eignet sich hervorragend um ein Digitales Oberflächenmodell der gesamten Kachelotplate zu erfassen. Mit einem hoch auflösenden Laserscanner und bei einer niedrigen Flughöhe können bis zu 30 Punkte auf einen Quadratmeter gewonnen werden. Bereits mit 3 Bodenpunkten pro Quadratmeter, wie in vorliegendem Projekt, kann die Kachelotplate detailliert modelliert und analysiert werden. Sämtliche Geländestrukturen werden ausreichend detailliert wiedergegeben. Für die relevanten Kleinformen wie Embryonaldünen, Strandriffe und Priele jedoch sind genauere Erfassungsverfahren besser geeignet. Eine morphologisch wichtige Fläche wurde mit terrestrischem Laserscanning

aufgenommen. Für diesen Bereich wurde eine extrem hohe Punktdichte erfasst. Dies ist derzeit nur für kleinere Bereiche möglich, da bei der Erfassung der gesamten Kachelotplate eine nicht mehr handhabbare Datenmenge entstehen würde. Zudem wäre die erforderliche Erfassungszeit zu groß, wodurch eine solche Aufnahme nicht mehr an einem Arbeitstag realisiert werden könnte. Eine Gegenüberstellung der wesentlichen Parameter von Airborne und Terrestrischem Laserscanning ist in nachfolgender Tabelle dargestellt.

	Airborne Laserscanning	Terrestrisches Laserscanning
Dichte der Bodenpunkte	3 / m ²	40.000 / m ²
Punktabstand	35 cm	0,5 cm
Anzahl der gesamten Datenpunkte	11 Mio.	58,5 Mio.
Datenvolumen	250 MB	900 MB
Höhengenauigkeit	+/- 0,15 m	*1: ± 0,16 cm *2: ± 5 cm
Lagegenauigkeit	gefordert: +/- 0.50 m	*1: ± 0,29 cm *2: ± 5 cm

Tabelle IV: Gegenüberstellung ALS und TLS

*1) Gemittelte Punktgenauigkeit aus 5 Passkugeln (von mehreren Standpunkten) bestimmten repräsentativen Stichproben resultierend aus der Verknüpfung mehrerer Einzelscans zu einem Gesamtmodell.

* 2) durchschnittliche Punktgenauigkeit am Boden, bestimmt durch das Messrauschen des Scanners. Die Punktgenauigkeit variiert von ca. 2 cm (trockener Sand) bis ca. 8 cm (starker Bewuchs).

7. Datenübergabe an ein Geoinformationssystem und deren Anwendungen

Die exakte Vermessung der Kachelotplate ist ein Modul eines multidisziplinären Projekts zur Dokumentation von Status und Veränderungen der Kachelotplate. Ein Geoinformationssystem dient dabei als gemeinsame Datenbasis für die am Projekt beteiligten Fachdisziplinen.

Zudem werden GIS seit einigen Jahren in großem Maße beim Management von Naturkatastrophen

und bei globalen Umweltveränderungen eingesetzt. Besonders volkswirtschaftliche Schäden durch Bodenerosionen, Überflutungen, Erdbeben und andere Naturereignisse rechtfertigen den Einsatz von GIS. Vorrangig haben dessen Anwendungen den Zweck des Monitorings, der Karten- und Datenbereitstellung für Modellrechnungen und Simulationen. Diese Anwendungen reichen nahe an Echtzeitanwendungen heran. Da der Bedarf an schneller Datengewinnung sehr groß ist, ist es unter anderem wichtig, bereits existierende Datenbestände von anderen Datenquellen wie Meteorologie, Vegetation, Topographie und auch Hydrologie mit einzubinden. (Bill, 1999b)

Ein GIS dient weiterhin als Grundlage und Schnittstelle für sämtliche Daten. Hier werden die raumbezogenen Daten zentral gespeichert, modelliert, analysiert und allen Anwendern zugänglich gemacht. Weiterhin zeichnet sich das GIS durch die vielfältigen Arten der Datenanalyse aus. (Bill, 1999a) Auch das Hochpräzise Digitale Geländemodell und die Auswertungen aus der Terrestrischen Laserscannermessung werden hier verwaltet und dienen als wesentliche Grundlage für zahlreiche weitere Anwendungen und Analysen.

Mit Hilfe des GIS können entscheidende Erkenntnisse und Daten aus dem DGM gewonnen werden, indem Oberflächenanalysen und Berechnungen durchgeführt werden. Es lassen sich durch die Ableitung von weiteren Kenngrößen Aussagen über die Wölbung, Neigung und Exposition der Kachelotplate treffen. Dabei ist die Neigungsdarstellung ist besonders anschaulich, siehe Abbildung 9. Sie gibt die Steigung bzw. das Gefälle des Geländes zwischen 0° und 90° in einer Farbkodierung wieder. Aus dieser Darstellung kann direkt abgeleitet werden, an welcher Stelle das Gelände besonders flach ist und somit einer even-

tuellen Gefährdung durch Sandabtrag bei Sturmfluten ausgesetzt ist.

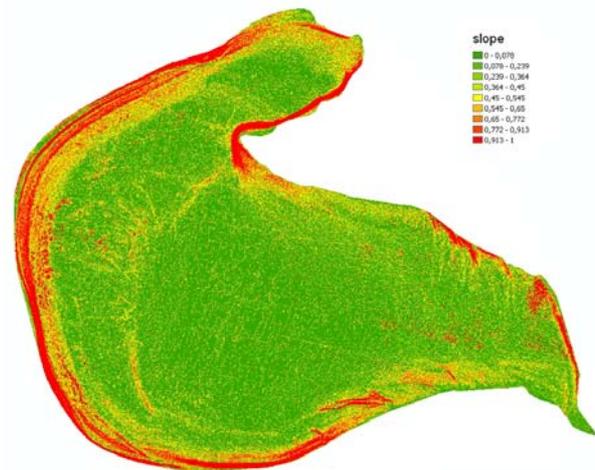


Abb. 9: Neigungsdarstellung der Kachelotplate mittels einer Farbkodierung

Die Darstellung der Geländeoberfläche durch Höhenlinien erleichtert allgemein die Erkennbarkeit von Höhenunterschieden, hier umso mehr da auf der Kachelotplate sehr geringe Höhendifferenzen vorherrschen. Der Abstand der einzelnen Höhenlinien (Äquidistanz) kann beliebig gewählt werden. Aber auch die anschauliche Schichtendarstellung macht die geringen Höhenunterschiede erkennbar.

Des Weiteren können in jedem gewünschten Bereich der Kachelotplate Querprofile bestimmt werden. Hier ist der Bereich zur Insel Memmert besonders interessant, da sich ein Zusammenwachsen der Inseln abzuzeichnen scheint. Lageverschiebung der Plate in Richtung Memmert und eine Verlagerung des erodierten Sandes lassen sich mit Hilfe eines Geoinformationssystems durch das verwendete einheitliche Koordinatensystem nachweisen. An Hand dieser Daten lassen sich auch weitere relevante Entwicklungstendenzen der Kachelotplate aufzeigen.

Auch die Flächen- und Volumenberechnungen sind bei der Kachelotplate von besonderer Bedeutung. Liegen Daten aus mehreren Epochen vor können durch Vergleichsanalysen Auf- oder Abtrag

der Kachelotplate sowie Veränderungen der Größe ermittelt werden. In diesem Zusammenhang ist die Ausweitung des Untersuchungsgebietes auf die benachbarten Inseln wichtig. Nur so kann festgestellt werden, ob sich im gesamten Inselgebiet Veränderungen ergeben haben oder nicht. Dementsprechend lassen sich Aussagen über die Massenbewegungen des Sandes treffen, ob eine eventuelle Umlagerung stattgefunden hat, oder ob ein vollständiger Verlust des Sandes eingetreten ist.

8. Ausblick

Es ist geplant, die Laserscannerbefliegungen zweimal jährlich durchzuführen, um die Auswirkungen der Frühjahrs- und Herbststurmfluten auf die Entwicklung der Kachelotplate erfassen zu können. Die Messkampagnen müssen dabei möglichst in zeitlicher Nähe zu den hydrographischen Messungen erfolgen und sollten neben der eigentlichen Plate auch die Nachbarbereiche im Wattenmeer erfassen, um zur Bilanzierung der Transportvorgänge im Watt beizutragen. Gleichzeitig sollen hyperspektrale Daten im Bereich des sichtbaren Lichtes, im nahen und mittleren Infrarot erfasst werden.

Durch die Abtastung der Oberfläche mit einem Thermalsensor sowie die Auswertung zeitaufgelöster Reflexionsdaten von Laserscannern besteht die Möglichkeit, zusätzliche Attribute (Bodenfeuchte, Bewuchs etc.) weitestgehend automatisiert und in hoher Bodenauflösung zu ermitteln. Der Hyperspektralscanner liefert digitale Daten, mit denen der Zustand und die Zusammensetzung von Objekten an der Erdoberfläche analysiert werden kann. Es können daraus sowohl Parameter der Vegetation abgeleitet werden, als auch Parameter über Zustand und Inhaltsstoffe des Wassers. Des Weiteren können die Daten sehr gut für die Klassi-

fizierung der spärlichen Vegetation auf der Kachelotplate verwendet werden.

Aus der Erweiterung der Befliegung auf den Wattenmeerbereich lassen sich bei entsprechender Auflösung Informationen über die topographische Struktur und deren Veränderung durch meteorologische, tide- und sturmflutabhängige Einflüsse ableiten. Langfristig können diese Erkenntnisse in die Bewertung der Schutzfunktion der vorgelagerten Inseln und des Wattenmeeres bei sich veränderten klimatischen Bedingungen zum Küstenschutz beitragen. Durch die genaue Vermessung der Plate und die Verschneidung mit allen weiteren aktuell erfassten Daten ist eine genauere Interpretation der Entwicklung der Plate möglich.

9. Literaturverzeichnis

- Bill, R. (1999a): Grundlagen der Geoinformationssysteme, Hardware, Software und Daten. Band1, 4. Aufl.
- Bill, R. (1999b): Grundlagen der Geoinformationssysteme, Anwendungen und neue Entwicklungen. Band2, 2. Aufl.
- Nebel, K. (2006): Aufbau eines Geoinformationssystems und Untersuchungen von digitalen Geländemodellen aus Laserscannerdaten für Hochwassersimulationen. Diplomarbeit, Fachhochschule Oldenburg.
- Ingensand H. und Schulz T. (2005): Terrestrisches Präzisions-Laserscanning. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2005 (Hrsg.: Chesi/ Weindl), Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg ETH Zürich
- FARO Laser Scanner LS 880 HE 80 http://www.faro.com/FarolP/Files/File/Techsheets%20Download/de_LASER_SCANNER_LS.pdf.PDF