
Laserscanbasierte Änderungsanalyse am Beispiel der Langen Anna auf Helgoland

Dorit BORRMANN, Helge LAUTERBACH, Hamidreza HOUSHIAR, Angelo ROSSI, Vikram UNNITHAN und Andreas NÜCHTER

Zusammenfassung

Die „Lange Anna“ ist das Wahrzeichen der Deutschen Hochseeinsel Helgoland. Durch seinen Standort an der Nordspitze der Insel ist der Buntsandsteinfelsen durch von Wind und Wasser verursachte Erosionen gefährdet. In einem Zeitraum von fünf Jahren wurden wiederholt an mehreren Standorten um die „Lange Anna“ mit einem Riegl VZ-400 Laserscans aufgenommen. Dieser Beitrag evaluiert Methoden, um die Veränderungen automatisch zu dokumentieren und zu analysieren. Dies beinhaltet zwei grundlegende Arbeitsschritte, die in 3DTK (The 3D Toolkit) umgesetzt sind. Zuerst werden die Daten von mehreren Standpunkten in einem gemeinsamen Koordinatensystem registriert. Anschließend wird die Änderung am Gestein quantitativ erfasst und beschrieben. Dieser zweite Arbeitsschritt stellt den Schwerpunkt des Beitrags dar. Zwei Distanzmaße werden für diesen Zweck evaluiert, Punkt-zu-Punkt und Punkt-zu-Ebene-Distanzen.

1 Einleitung

In der Deutschen Bucht der Nordsee befindlich, 70 km vom Festland entfernt, ist Helgoland die einzige Deutsche Hochseeinsel. Seit 1720, als eine Sturmflut die natürliche Verbindung zwischen der Hauptinsel und der Düne zerstörte, besteht Helgoland aus zwei Inseln. Die Hauptinsel hat eine Fläche von ungefähr 1 km². Seine Kliffküste erreicht eine Höhe von 61 m über dem Meeresspiegel. Während die kleinere Düne mit einer Fläche von 0,7 km² Sandstrände hat, besteht die Hauptinsel hauptsächlich aus dem charakteristischen roten Buntsandstein und bietet den perfekten Untergrund für eine einzigartige Flora und Fauna. Mehr als 400 Vogelarten wurden auf Helgoland bereits gesichtet und im Frühling besuchen pro Brut-saison mehr als 30.000 Seevögel die Insel. Außerdem sind große Robbenkolonien auf Helgoland beheimatet. Von meeresbiologischer Bedeutung ist die Insel, da sich vor ihrer Küste die einzige bekannte felsige Gezeitenzone Deutschlands ausbreitet. Die bedeutendste und weithin bekannte Sehenswürdigkeit auf Helgoland ist die „Lange Anna“, ein freistehender Brandungspfeiler, der in Abb.1 dargestellt ist.

Das Ziel des Laserscanningprojektes auf Helgoland war die Erfassung der Region um die „Lange Anna“ über mehrere Jahre um Veränderungen im zeitlichen Verlauf zu analysieren. Von Interesse ist hierbei einerseits das Wahrzeichen der Insel Helgoland selbst. Die Daten sollen helfen die Erosionsrate der „Langen Anna“ zu verstehen, die biologische Auswirkung der neuen Seevogelkolonie zu quantifizieren sowie mögliche Beschädigungen und die Erosion der künstlichen Betonbasis des Brandungspfeilers zu evaluieren. Andererseits sollen auch quantitative Daten für den Schutz des nördlichen Teils der Insel zur Verfügung gestellt werden. Ende 2014 wurde durch einen Felsabbruch an der nördlichen Felskante eine Aussichtsplattform zerstört, was eine umfassende Umgestaltung des Klippenrandweges und eine Erneuerung der Klippenbefestigung nach sich zog.



Abb. 1: Laserscanning der „Langen Anna“ auf Helgoland. Links: Scanposition auf dem Oberland. Mitte: Scanposition im Felswatt. Rechts: Scanposition auf dem Ufer am Fuße der „Langen Anna“. Die abgebildete Lastenkraxe ermöglicht den Transport des Laserscanners sowie der für die Stromversorgung benötigten Bleiakku durch das Felswatt. Der Scanvorgang wird auf einem Stativ stehend durchgeführt.

Zur Durchführung des Projektes wurden in den Jahren 2014, 2015, 2016 und 2019 jeweils im April Laserscans rund um den berühmten Brandungspfeiler aufgenommen. In diesem Beitrag wird die Datenverarbeitung kurz beschrieben und das Ergebnis der Änderungsanalyse am Beispiel der „Langen Anna“ präsentiert. Ein ähnliches Projekt wurde von LINDSTAEDT & KERSTEN (2005) durchgeführt. Die dort gewählten Scanpositionen dienen als Grundlage für die Auswahl der hier gewählten Scanpositionen, wurden jedoch den neuen Gegebenheiten angepasst. Die Tatsache, dass eine der damaligen Scanpositionen aufgrund von Absturzgefahr aktuell nicht mehr zugänglich ist, bestätigt die Relevanz der durchgeführten Untersuchungen.

2 Geologischer Hintergrund

Die Insel Helgoland verdankt ihre Existenz einer tektonischen Anhebung. Im Norddeutschen Raum haben Massen von Zechsteinsalz zur Bildung von verschiedenen Salzstrukturen, wie Salzkissen, Salzhorsten und Salzstöcken, und zur Verformung des überlagerten Deckgebirges geführt. Zechsteinsalz bildete sich während der Permzeit vor über 250 Millionen Jahren im Norddeutschen Becken als Folge mehrerer Verdunstungszyklen. Darauf bildeten sich während der Trias Schichten aus Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper. Unter der Last begannen die darunterliegenden Salzschieben zu reagieren. (SPAETH 1990)

Helgoland befindet sich auf einem ovalen Salzkissen von 20 km Länge und 12 km Breite, verursacht durch sich im Untergrund anreichernde und allmählich aufsteigende Salzmassen, die den Buntsandstein, der üblicherweise in einer Tiefe von 3000 m zu finden wäre, aufgewölbt haben. Maßgeblichen Einfluss hatte der Aufstieg des spezifisch leichten Salzes auf Schwäche- und Bruchzonen der überlagerten Schichtgesteine. So zeigen sich auf der Insel typische orthogonale Verwerfungen und Bruchpattern. Über dem Meeresspiegel liegend sind

heute ausschließlich Schichten des Mittleren Buntsandsteins zu finden. Durch die Ausrichtung nach Westen stets der Brandung ausgesetzt, wurde durch Gesteinsausbruch der dazwischenliegenden Schichten ein Brandungspfeiler an der Nordwestspitze von der Hauptinsel abgetrennt und so entstand die „Lange Anna“. Generell ist die Ausrichtung der Gesteinschichten auf Helgoland um 16° bis 20° nach Nordosten geneigt (vgl. auch Abb. 1). An der Nordwestspitze der Insel tritt das tiefste Schichtglied des Mittleren Buntsandsteins hervor, dunklere, rotbraune Ton- bis Deinsandsteine der oberen Volprieausen-Folge, aus denen sich auch die „Lange Anna“ größtenteils zusammensetzt. Die Spitze gehört der unteren Detfurth-Folge an, einer rosaroten Folge mit weißen Zwischenlagern. (SPAETH 1990, BINOT, BRAUNER & RÖHLING 2010)

Auch wenn die Insel Helgoland 1947 einen britischen Sprengversuch überstand, so ist dies nicht auf die Robustheit des Gesteins zurückzuführen. Vielmehr hat Buntsandstein eine eher mürbe und wenig verwitterungsresistente Charakteristik. Mit dem Wechsel von tonigen und sandigen Schichten hat der weiche und mürbe Buntsandstein die Explosion stark gedämpft. (SPAETH 1990)

Ein häufiges Trockenliegen hat an der „Langen Anna“ zu Trockenrissen geführt, die zumeist gefüllt und durch Setzung verborgen sind, aber dennoch die Stabilität beeinflussen (SPAETH 1990). Buntsandstein ist bekannt für seine poröse und durchlässige Struktur. Dies führt zu einer guten Speicherfähigkeit von Öl- und Gasvorkommen aber auch zu teilweise spektakulären Verwitterungserscheinungen. Nicht zuletzt belastet auch die Bevölkerung durch Seevogelkolonien das Gestein durch Abbruch kleinerer Steine und Ablagerungen von Exkrementen. Die Untersuchungen sollen zeigen, wie sehr die „Lange Anna“ sich in einem kurzen Zeitfenster verändert. Gleichzeitig wurden die Standpunkte aber so gewählt, dass die Daten auch eine Untersuchung von Teilen der Kliffküste im Nordwesten der Insel ermöglichen.

3 Datenerfassung

Die Datenerfassung erfolgt mit einem terrestrischen Laserscanner VZ-400 (vgl. Abb. 1) der Riegl Measurement GmbH (RIEGL 2020). Der Scanner arbeitet nach dem Impulslaufzeitverfahren im Nahinfrarotbereich. Im verwendeten High Speed Modus verfügt der Scanner über eine Reichweite von 350 m bei einem Reflexionsgrad von 90 %. Die Genauigkeit liegt auf 100 m bei 5 mm und die Präzision bei 3 mm. Der vertikale Öffnungswinkel von 100° ($+60^\circ/-40^\circ$) wird durch einen rotierenden Polygonspiegel erreicht, während der rotierende Scannerkopf zu einem horizontalen Öffnungswinkel von 360° führt. Die Messrate beträgt ca. 122.000 Punkte pro Sekunde. Die Scandauer pro Standpunkt ist abhängig von der gewählten Winkelauflösung. Für Farbfotos kommt eine Canon EOS 1000D Spiegelreflexkamera zum Einsatz, deren Daten aber für die Analyse in diesem Artikel nicht verwendet werden.

Tabelle 1: Anzahl der Scanpositionen pro Epoche

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2019 |
|---------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| Felswatt | 5 | 5+3 | 4+3 | 3+4 |
| Oberland | 4 | 5 | 6 | 5 |
| Gesamt | 9 | 13 | 13 | 12 |



Abb. 2: Google Earth (GOOGLE 2020) Darstellung der Scanpositionen der Jahre 2014, 2015, 2016 und 2019, gemessen mit einem günstigen GPS-Empfänger, im Vergleich zu den Scanpositionen (rote Punkte) von LINDSTAEDT & KERSTEN (2005).

Die Datenerfassung fand in den Jahren 2014, 2015, 2016 und 2019 jeweils im April statt. Abb. 2 zeigt die mit einem günstigen GPS-Empfänger aufgezeichneten ungefähren Scanpositionen aus den einzelnen Epochen. Die Anzahl der Positionen variiert über die Jahre (vgl. Tabelle 1). Als Grundlage wurden die Positionen von LINDSTAEDT & KERSTEN (2005) verwendet. Mit Ausnahme der nächstgelegenen Position von LINDSTAEDT & KERSTEN (2005), deren Zugang wegen Absturzgefahr gesperrt ist, sind die gewählten Scanpositionen auf dem Oberland uneingeschränkt zugänglich, haben aber einen Abstand zur „Langen Anna“ von 150 bis 250 m. Um eine höhere Datendichte zu erreichen, wurde die Anzahl dieser Positionen erhöht. Die Scanpositionen direkt an der „Langen Anna“ sind durch das Felswatt nur bei Ebbe in einem kurzen Zeitfenster erreichbar, das je nach Wasserstand variiert. Da während des Hinwegs das Felswatt sehr feucht und demzufolge rutschig ist, wird für den ca. 400 m langen Weg zur ersten Scanposition ungefähr eine halbe Stunde benötigt. Der 650 m lange Rückweg, von der am weitesten entfernten Scanposition ist in ungefähr der gleichen Zeit zu schaffen, wobei die ca. 150 m auf der Mole kaum Zeit beanspruchen. Da das Wasser aber am letzten Felsvorsprung vor Erreichen des Strandes besonders nah an die Felsen herankommt, ist ein ausreichendes Zeitfenster für den Rückweg einzuplanen, um ausreichenden Sicherheitsabstand zur Felswand einhalten zu können und so vor Steinschlag bestmöglich geschützt zu sein. Deswegen wurde in den Jahren 2015 bis 2019 die Messung an zwei Tagen durchgeführt. Aufgrund der schnelleren Scanrate des VZ-400 im Vergleich zum verwendeten Gerät

aus (LINDSTAEDT & KERSTEN 2005) wurden anstelle einer Scanposition nordöstlich der „Langen Anna“ zwei Positionen gewählt, die aber einen größeren Abstand zum Brandungspfeiler aufweisen. Dies verringert einerseits Verschattungen, ermöglicht aber auch das Erfassen des nördlichen Kliffs der Insel, das stark Abrutschgefährdet ist. Auf die Scanposition auf der Mole, die der „Langen Anna“ nächsten liegt, wurde aufgrund der geringen Abdeckung, insbesondere durch das geringe Sichtfeld der Kamera, verzichtet. Ab 2015 sollen zwei zusätzliche Positionen auf der kleinen Plattform sowie auf dem Geröll südöstlich der „Langen Anna“ Verschattungen verringern.

Zwei Personen werden zum Transport des Equipments benötigt. Der Laserscanner wird mit einem Rucksacksystem getragen, das auch als Personal Laserscanner (LAUTERBACH ET AL. 2015) verwendet werden kann (vgl. Abb. 1). Auf eine Tatonka Lastenkraxe wurde mittels item24-Profilen eine Halterung für den Laserscanner, zwei 12 V Bleiakkus mit 12 Ah sowie die notwendigen Kabel für Stromversorgung und Datentransfer angebracht. Eine weitere Person befördert ein Stativ, das nötige Werkzeug sowie einen Laptop. Der Laptop, auf dem ROS (engl. Abk. Robot Operating System) (ROS 2020) läuft, hilft die Datenaufnahme zu automatisieren. An jeder Scanposition werden ein Übersichtsscan, ein hochaufgelöster Scan, der im Wesentlichen die „Lange Anna“ abdeckt, 10 Farbfotos und die GPS-Position aufgenommen. Die Übersichtsscans ermöglichen die Registrierung der Daten ohne Verwendung von Passmarken. Im Jahr 2014 wurde eine horizontale und vertikale Winkelauflösung von $0,04^\circ$ gewählt, die in den darauffolgenden Jahren auf $0,03^\circ$ korrigiert wurde. Die hochaufgelösten Scans haben jeweils eine Auflösung von $0,01^\circ$ und hatten je nach Standpunkt einen horizontalen Öffnungswinkel von 10° bis 30° . Um dies zu vereinfachen wurde der Scanner stets so ausgerichtet, dass der entsprechende Bereich des Scans die „Lange Anna“ abbildete. Aufgrund des kurzen zur Verfügung stehenden Zeitfensters wurde auf zusätzliche Verortung, beispielsweise durch Passmarken, verzichtet.

4 Registrierung mittels 3D-Scanmatching

Die Datenverarbeitung erfolgt mit 3DTK – The 3D Toolkit (NÜCHTER ET AL. 2020). Im ersten Schritt werden die GPS-Posen in ein lokales East-North-Up-Koordinatensystem übertragen und die Orientierungen manuell angepasst. Dies betrifft hauptsächlich die Drehung um die Hochachse. Teilweise, insbesondere bei den Positionen nahe der „Langen Anna“, konnte aber nur durch eine Schrägstellung des Scanners erreicht werden, dass der Brandungspfeiler vollständig erfasst wird. Diese initialen Posen werden verwendet um die 360° Scans einer einzelnen Epoche miteinander zu registrieren. Aufgrund der großen Abstände zwischen den einzelnen Scanpositionen und da Überlappungen zwischen allen Scans vorliegen, wird anstelle von paarweiser Registrierung global konsistentes Scanmatching (NÜCHTER ET AL. 2008) verwendet. Wegen des geringen Überlappungsbereiches kommen die hochaufgelösten Scans für die Registrierung nicht zum Einsatz. Um alle Scans in ein gemeinsames Koordinatensystem zu übertragen, werden anschließend jeweils die Scans der ersten Position mittels ICP Algorithmus (Abk. engl. Iterative Closest Point, deutsch iterativer Algorithmus der nächsten Punkte) (BESL & MCKAY, 1992) an den Scan aus 2014 registriert. Die resultierende Transformation wird auf die weiteren Scans übertragen. Abschließend erfolgt eine Feinregistrierung aller Punktwolken durch das global konsistente Scanmatching mit einem vollständigen Netz. Die errechneten Posen werden direkt auf die hochaufgelösten Scans übertragen.



Abb. 3:
Eingefärbte Punktwolke der Übersichtsscans aus dem Jahr 2014. Zur besseren Visualisierung wurde ein Teil der Vögel automatisch entfernt.

Abb. 3 zeigt die resultierende Punktwolke aus 2014, eingefärbt mit den Farbinformationen aus den Fotos. Zur besseren Visualisierung wurde ein einfaches Verfahren entwickelt, mit dem die Anzahl der Messpunkte durch Vögel stark verringert wurde. Hierfür wird in einem Für die Änderungsanalyse werden die Scans jeder Epoche zu zwei Punktwolken zusammengefügt, eine bestehend aus den niedrigaufgelösten Scans jeder Scanposition und eine bestehend aus den hochaufgelösten Scans. Diese Punktwolke wird auf einen manuell ausgewählten Quader um die „Lange Anna“ zugeschnitten.

5 Änderungsanalyse

Die Änderungsanalyse basiert auf zwei Verfahren, Punkt-zu-Punkt-Distanz und Punkt-zu-Ebene-Distanz. Für die Punkt-zu-Punkt-Distanz wird zu für jeden Punkt aus einer Epoche der nächste Punkte aus der Punktwolke der anderen Epoche bestimmt und die euklidische Distanz zwischen beiden Punkten berechnet. Bei der Punkt-zu-Ebene-Distanz berechnet sich die Distanz hingegen als Distanz zur Ebene, die durch den Suchpunkt und seine Normale definiert ist. Die Normale eines Punktes ergibt sich durch Least-Square-Ebenen-Fitting mit Hilfe der N nächsten Nachbarn. Die Suchrichtung wird durch folgende Schreibweise angegeben. Wird für jeden Punkt aus der Epoche A der korrespondierende Punkt aus Epoche B gesucht, so wird dies mit $A-B$ bezeichnet, bei umgekehrter Suchrichtung entsprechend $B-A$.

Die Ergebnisse sind in Abb. 4 beispielhaft dargestellt für den Vergleich 2015-2019 zwischen den hochaufgelösten Scans. Man erkennt deutlich kleinere Bereiche mit großen Abständen, die darauf schließen lassen, dass sich dort Felsbrocken gelöst haben. Der große Bereich an der Spitze könnte durch Vogelaktivität verursacht worden sein. Signifikante Änderungen gibt es auch an den Kanten, insbesondere die Kanten im oberen Bereich (mittlere Abbildung, schwarzer Pfeil) weist starke Veränderungen auf. Dies ist, wie im Referenzfoto zu erkennen, auch einer der Bereiche, in dem sich viele Vögel aufhalten. So führen natürlich einerseits die Vögel zu Fehlmessungen, andererseits beanspruchen sie aber auch das Material des Fels. Der Sockel der „Langen Anna“ auf der dem Meer zugewandten Seite hat eine Betonbefestigung. In beiden Ansichten der Punktwolke sticht dieser Bereich durch seine glatte Oberfläche hervor, auf der sich keine Änderungen abzeichnen.

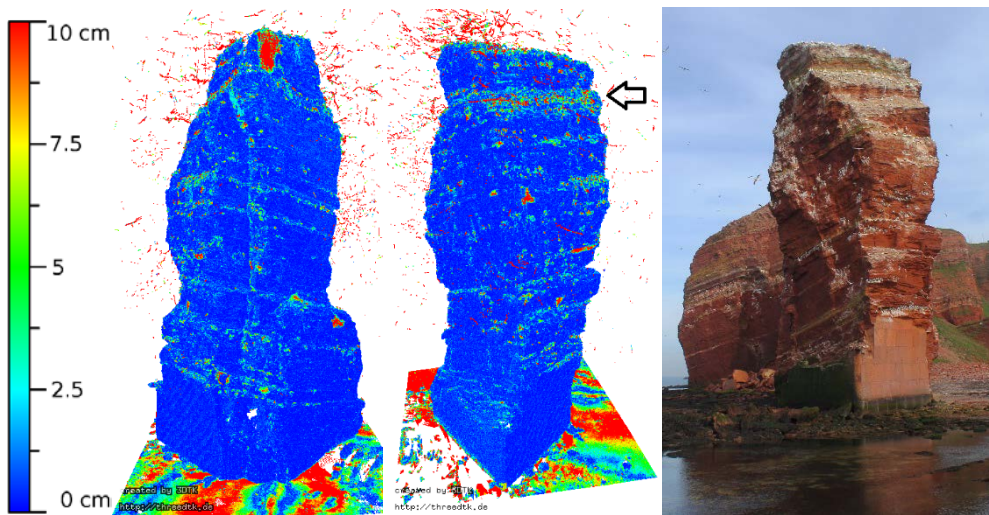


Abb. 4: Ergebnis der Änderungsanalyse für 2015-2019 und Referenzfoto. Die Punkte sind entsprechend der Punkt-zu-Ebene-Distanz eingefärbt. Die Vögel im oberen Bereich der „Langen Anna“ führen zu Fehlmessungen. Aufgrund der Gezeiten ändert sich die Struktur am Boden fortlaufend. Der künstliche Betonsockel dient zur Befestigung der dem Meer zu gewandten Seite. Die Westseite mit dem hohen Betonsockel ist in der linken Punktwolke auf der linken und in der rechten Punktwolke auf der rechten Seite.

Eine 2D Darstellung erlaubt eine detailliertere Analyse. Man stelle sich einen Zylinder vor, der die „Lange Anna“ umschließt und projiziere alle Punkte ausgehend von der Mittelachse auf die Hülle des Zylinders. Die abgerollte Zylinderfläche gibt dann einen Überblick über die Veränderungen. Auf diese Weise werden die Daten auch automatisch von den Vögeln bereinigt, die in Abb. 4 um die „Lange Anna“ zu erkennen sind. Die Oberseite des Brandungspfeilers wird in dieser Darstellung nicht abgebildet. Dies beeinträchtigt die Auswertung nicht, weil die Oberseite ohnehin nur unzureichend erfasst wird, da es keinen Standpunkt gibt, der signifikant höher als der Felsen ist.

Abb. 5 zeigt die Distanzen zwischen den Daten aus 2014 und 2015. Für beide Methoden werden beide Suchrichtungen angewandt. Die geringere Punktdichte der Punkt wolke aus 2014-2015 fällt sofort ins Auge. Betrachtet man die Punkt-zu-Punkt-Distanz, fällt auf, dass die Daten aus 2015-2014 höhere Distanzwerte aufweisen. Dies legt die Vermutung nahe, dass hier die Punktdichte einen wesentlichen Einfluss auf die Messungen hat und die tatsächlichen Änderungen stark verfälscht dargestellt werden. Bei der Verwendung der Punkt-zu-Ebene-Distanz entfallen nicht nur die Unterschiede durch die Suchrichtung sondern die berechneten Distanzen sind insgesamt niedriger. Die Berechnung scheint also die tatsächlichen Änderungen besser darzustellen.

Abb. 6 zeigt ein Histogramm über die prozentualen Häufigkeiten der einzelnen (abgerundeten) Distanzwerte für 2014-2019 und 2019-2014. Hier werden die in Abb. 5 erkannten Effekte bestätigt. Bei Verwendung der Punkt-zu-Punkt-Distanz unterscheiden sich die Häufigkeiten abhängig von der Suchrichtung stark, während die Suchrichtung bei Verwendung der

Punkt-zu-Punkt-Distanz kaum Einfluss hat. Auch die abnehmende Häufigkeit bei wachsenden Distanzen entspricht den Erwartungen, was ebenfalls für die Verwendung dieser Methode spricht.

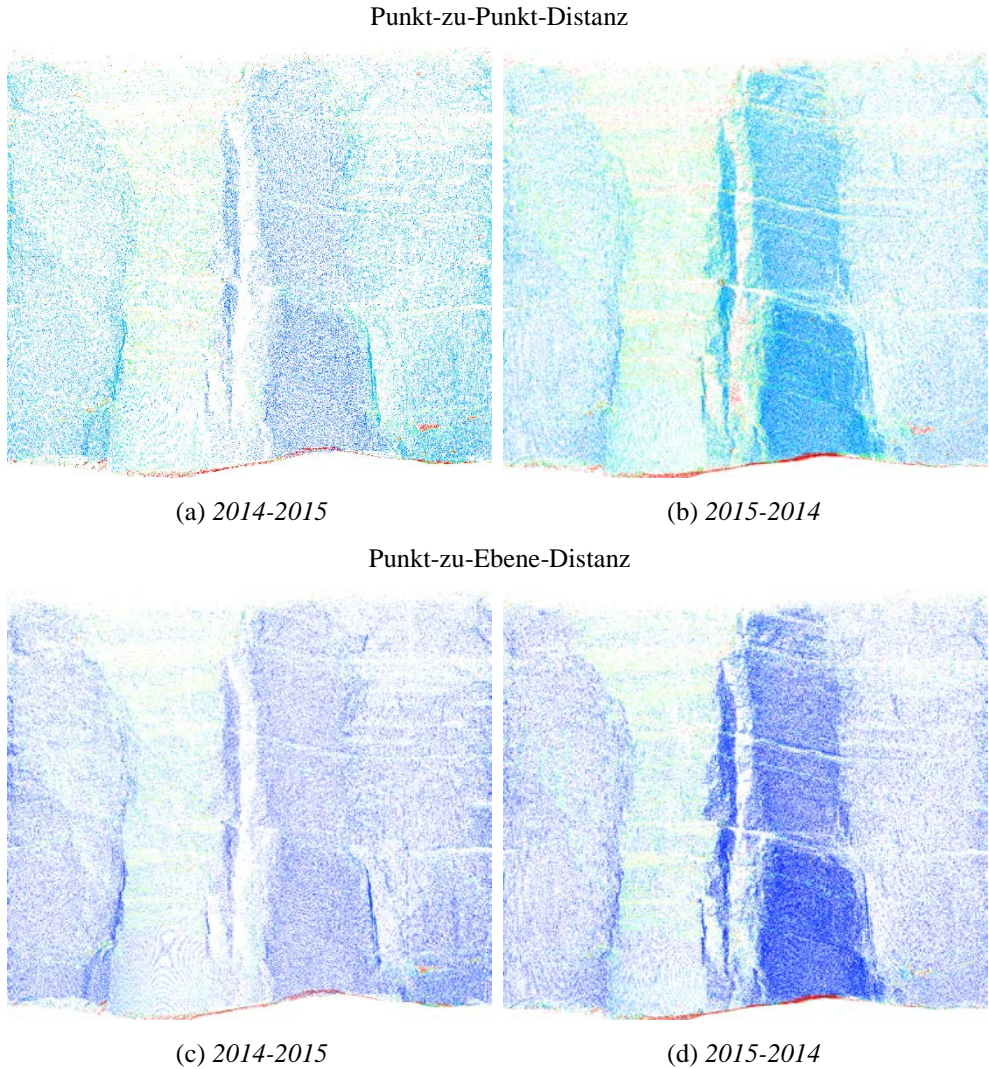
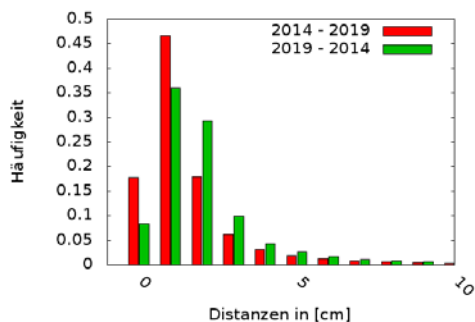
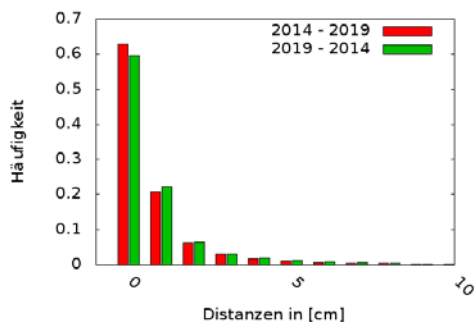


Abb. 5: Darstellung der Distanzen der Punktwolken mit niedriger Auflösung auf einem abgerollten Zylinder unter Verwendung der Punkt-zu-Punkt-Distanz (a)+(b) und der Punkt-zu-Ebene-Distanz (c)+(d). Es wird jeweils für jeden Punkt aus 2014 der nächste Punkt aus 2015 gesucht (a)+(c) und für jeden Punkt aus 2015 der nächste Punkt aus 2014 (b)+(d). Die Einfärbung entspricht der in Abb. 4 dargestellten Skala.

Niedrige Auflösung

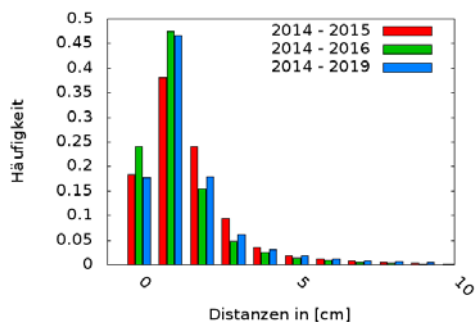


(a) Punkt-zu-Punkt-Distanz

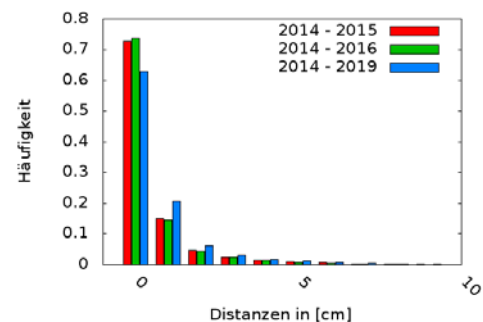


(b) Punkt-zu-Ebene-Distanz

Niedrige Auflösung

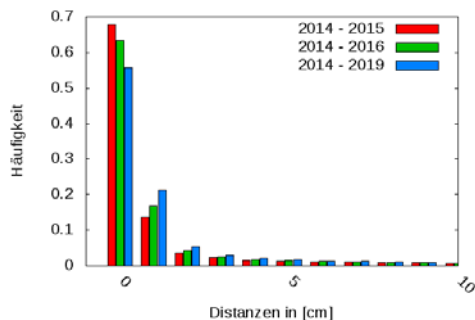


(c) Punkt-zu-Punkt-Distanz

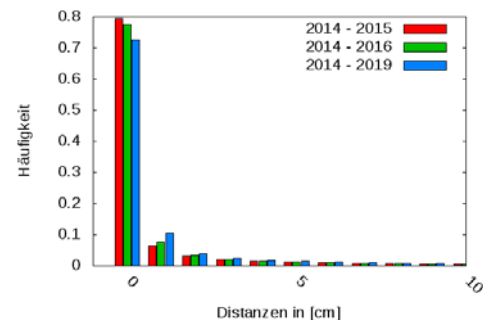


(d) Punkt-zu-Ebene-Distanz

Hohe Auflösung



(e) Punkt-zu-Punkt-Distanz



(f) Punkt-zu-Ebene-Distanz

Abb. 6: Häufigkeiten der abgerundeten Distanzwerte. (a) + (b): Vergleich der niedrig aufgelösten Punktwolken aus 2014 und 2019.

Häufigkeitsverlauf beim Vergleich der Punktwolken von 2014 zu den anderen Epochen: (c) + (d): niedrige Auflösung. (e)+(f): Hohe Auflösung.

Für den Verlauf der Häufigkeiten beschränken wir uns auf eine Suchrichtung, für jeden Punkt aus 2014 wird ein Punkt aus der anderen Epoche gesucht. Dies ist in Abb. 6 sowohl für die niedrig- (c+d) als auch für die hochaufgelösten (e+f) Punktwolken zu sehen. In Abb. 6(c) fällt auf, dass die Häufigkeit der Distanzen von 0 bis 2 cm von 2014-2015 zu 2014-2016 ansteigt. Unter der Annahme einer korrekten Registrierung würde das bedeuten, dass die Änderung zwischen 2014 und 2015 bis zum Jahr 2016 wieder reversiert wurde. Dieser Effekt entfällt bei Verwendung der Punkt-zu-Ebene-Distanz genauso, wie auch hier wiederum abnehmende Häufigkeiten erreicht werden. Die geringe Zunahme bei der Häufigkeit von Distanzen unter 1 cm zwischen 2014-2015 und 2014-2016 kann durch Verschattungen verursacht werden. Insgesamt zeigen sich bei Verwendung der niedrigen Auflösung nur geringe Unterschiede zwischen 2014-2015 und 2014-2016, wohingegen bei 2014-2019 deutlichere Unterschiede sichtbar sind. Auch wenn die Unterschiede zwischen den beiden Distanzmaßen für die dichten Punktwolken geringer ausfallen, zeigen die vorherigen Überlegungen, dass für Schlussfolgerungen die Punkt-zu-Ebene-Distanz verwendet werden sollte. Während von 2014-2015 80 Prozent der „Langen Anna“ nahezu unverändert geblieben sind, verringert sich dieser Wert zu 2014-2019 auf gut 70 Prozent. Die Anzahl der Punkte mit einer Distanz von 1 bis 2 cm steigt auf 10 Prozent. Diese Werte beinhalten jedoch auch die Messungen der Vögel in den Daten sowie den Boden innerhalb des Quaders.

Abb. 7 zeigt anhand der hochaufgelösten Daten die Änderungen von 2014-2016 und von 2014-2019 im Vergleich. Bereits 2016 erkennt man einige herausgebrochene Steinbrocken. Zwischen 2016 und 2019 sind dies mehr geworden. Auch die Änderungen an den Kanten sind größer geworden. Im oberen Bereich sind die Änderungen vermutlich auf die Aktivität von Seevögeln zurückzuführen. Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass große Distanzen im unteren Bereich vermehrt auf der Westseite (schwarzer Pfeil) auftreten, die Wind und Regen stärker ausgesetzt ist. Absolute Angaben über die Änderungen sind mit Vorsicht zu betrachten, da besonders im Bereich der Kanten die Laserscannmessungen größere Unsicherheiten haben. Betrachtet man nun im Vergleich dazu die Punkt-zu-Punkt-Distanz, so erkennt man, dass die wesentlichen Änderungen, d.h., die herausgebrochenen Felsbrocken ebenfalls sichtbar sind. Insbesondere bei der quantitativen Angabe kleiner Änderungen werden die Distanzen jedoch generell überschätzt.

6 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde eine Änderungsanalyse der „Langen Anna“ auf Helgoland basierend auf Laserscannmessungen über einen Zeitraum von fünf Jahren vorgestellt. In 2016 wurden die Messungen durch Niederschläge behindert. Da für die Aufnahmen günstige Zeitfenster abgewartet wurden, konnten in den Daten keine Beeinträchtigungen festgestellt werden. In 2019 erschwerte Nebel insbesondere die Messungen vom Oberland. Bei einer Scanposition führte dies zu sichtbaren Fehlern in der Punktwolke. Eine häufig verwendete Methode zur Bestimmung von Unterschieden verwendet Punkt-zu-Punkt-Korrespondenzen. Insbesondere bei Daten mit niedriger Auflösung zeigt sich, dass dieses Distanzmaß fehleranfällig ist. Auch wenn die Berechnung aufwändiger ist, ist es empfehlenswert für eine Detailanalyse auf die Punkt-zu-Ebene-Distanz zurückzugreifen.

Bezüglich der Änderungen an der „Langen Anna“ zeigen sich im Verlauf vermehrt herausgebrochene Steinbrocken. Auch die Veränderung an den Kanten nimmt stetig zu. Eine generelle Abtragung von Gestein ist in der kurzen Zeit nicht zu erkennen. Hier ist ein Vergleich

mit den Daten von LINDSTAEDT & KERSTEN (2005) geplant. Für quantitative Aussagen bezüglich der Änderungen und insbesondere der Verringerung des Volumens müssen die Daten bereinigt werden. Ebenso soll in weiteren Arbeiten versucht werden, eine Stabilitätsanalyse anhand der Daten durchzuführen und die Fragestellung behandelt werden, ob das Gesteinsmaterial einen signifikanten Einfluss auf die Stärke der Änderungen hat. In diesem Schritt kommen dann auch die Farbinformationen zum Einsatz.

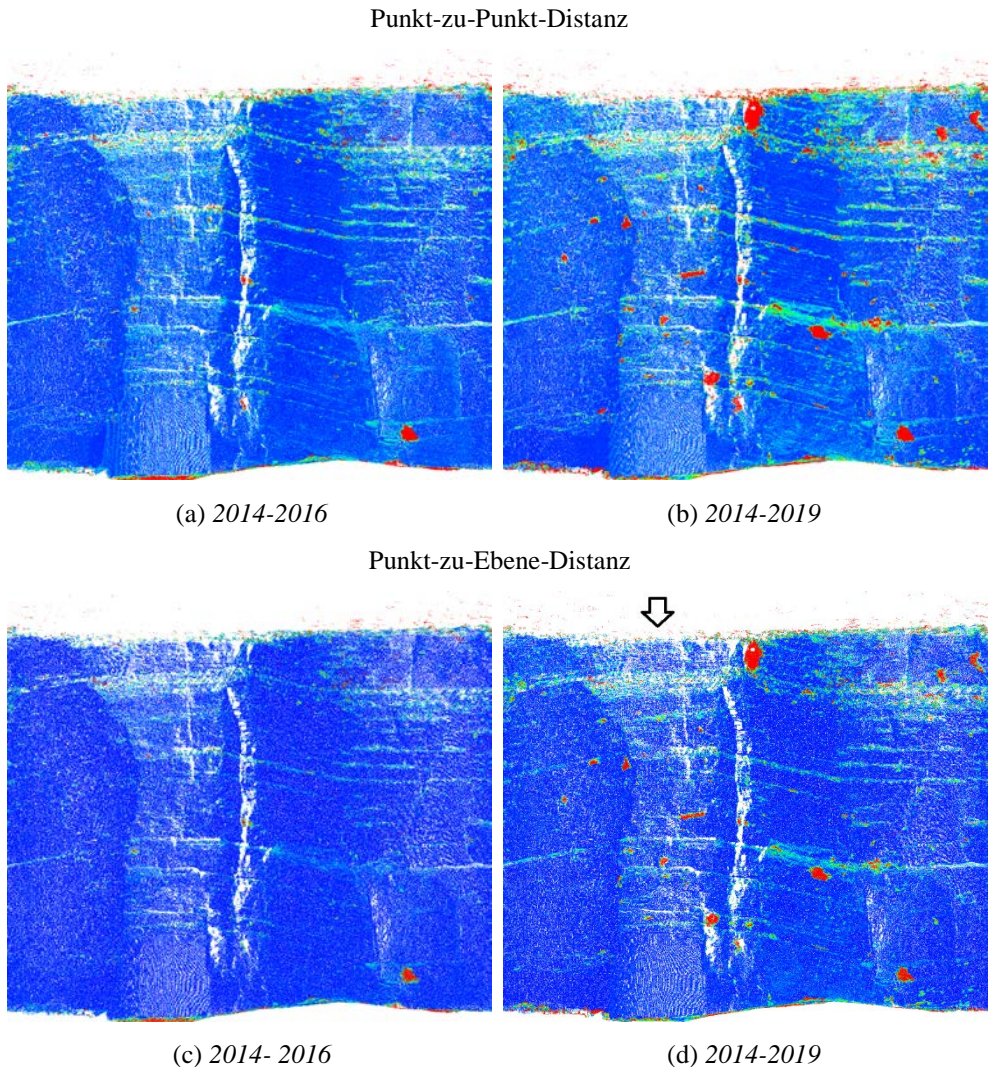


Abb. 7: Darstellung hochaufgelöster Scans auf einem abgerollten Zylinder unter Verwendung der Punkt-zu-Punkt-Distanz (a)+(b) und der Punkt-zu-Ebene-Distanz (c)+(d). Es wird für jeden Punkt aus 2014 der nächste Punkt aus 2016 (a)+(c) und aus 2019 (b)+(d) gesucht. Die Einfärbung entspricht der in Abb. 4 dargestellten Skala.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim AWI Helgoland für den Zugang und die Erlaubnis an der „Lange Anna“ zu arbeiten. Ein besonderer Dank gilt Karen Wiltshire vom AWI und dem Helgoländer Bürgermeister Jörg Singer für ihre andauernde Hilfe und Unterstützung sowie das Interesse an dem Projekt.

Literatur

- Besl, P. J., & McKay, N. D. (1992). *A Method for Registration of 3-D Shapes*. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 14(2), S. 239-256.
- Binot, F., Braune, H.-J., & Röhling, H.-G. (2010). *Der Untergrund der deutschen Nordsee mit Helgoland – Ein Exkursionsführer*. Anlässlich einer Fortbildungsveranstaltung von Geowissenschaftlern des Geo-Support-Centers von RWE-DEA am 5. Und 6. Juli auf Helgoland. <https://www.liag-hannover.de/fileadmin/produkte/20101125160612.pdf>, abgerufen am 10.03.2020.
- Google (2020). *Google Earth*. <http://earth.google.de>. Version 7.3.2.5776. Aufnahmedatum 24.8.2019.
- Lindstaedt, M. & Kersten, T. (2005). *Ein virtueller Klon für Helgolands Lande Anna durch terrestrisches Laserscanning*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 216-223.
- Lauterbach, H.A., Borrmann, D., Hess, R., Ecke, D., Schilling, K. & Nüchter, A. (2015). *Evaluation of a Backpack-Mounted 3D Mobile Scanning System*. Remote Sensing, 7(10), S. 13753-13781.
- Nüchter, A., Lingemann, K., Borrmann, D., Elseberg, J. & Böhm, J. (2008). *Global Konsistente 3D-Kartierung mit Scanmatching*. Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik, Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg. S. 194-201.
- Nüchter, A. et al. (2020). *3DTK - The 3D Toolkit*. <http://threedtk.de>, abgerufen am 01.03.2020.
- ROS (2020). *ROS – The Robot Operating System*. <http://www.ros.org>, abgerufen am 01.03.2020.
- Riegl Laser Measurement Systems (2020). *Datenblatt VZ-400*. <http://riegl.com/nc/products/terrestrial-scanning/>.
- Spaeth, C. (1990): *Zur Geologie der Insel Helgoland*. In: Die Küste 49, Sonderheft. Boyens, Heide, Holstein., S. 1-32.

Bitte geben Sie auf einer separaten Seite zu allen genannten Autoren folgende Informationen:

Borrmann, Dorit

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Robotik und Telematik
borrmann@informatik.uni-wuerzburg.de

Lauterbach, Helge Andreas

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Robotik und Telematik
helge.lauterbach@uni-wuerzburg.de

Houshiar, Hamidreza

Blickfeld GmbH, München
hamidreza.houshiar@gmail.com

Rossi, Angelo Pio

Jacobs University Bremen gGmbH, Department of Physics and Earth Sciences
an.rossi@jacobs-university.de

Unnithan, Vikram

Jacobs University Bremen gGmbH, Department of Physics and Earth Sciences
v.unnithan@jacobs-university.de

Nüchter, Andreas

Julius-Maximilians-Universität Würzburg, Institut für Robotik und Telematik
andreas.nuechter@uni-wuerzburg.de

Diese Angaben werden im Autorenverzeichnis am Ende des Tagungsbandes aufgeführt.