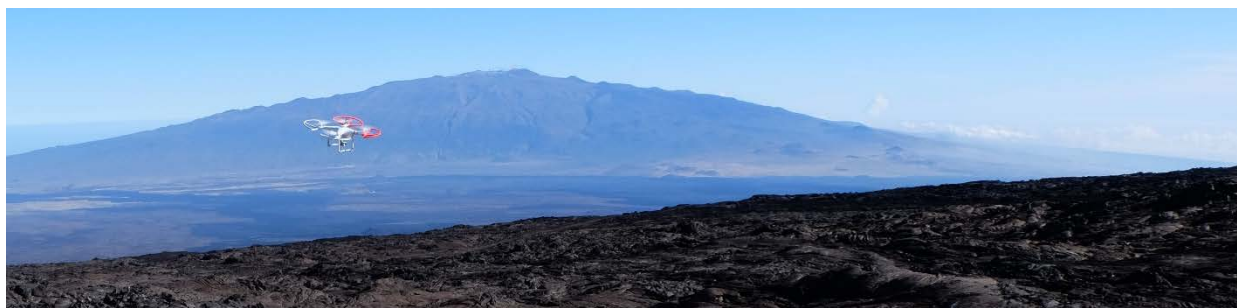


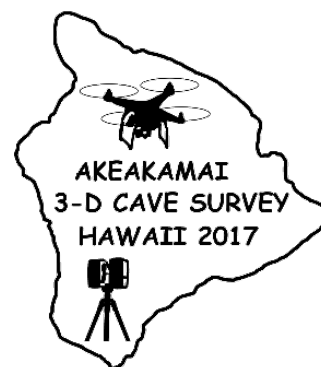
## Akeakamai 3D Cave Survey Hawaii 2017

Ein interdisziplinäres Projektseminar der Technischen Hochschule Nürnberg - Fakultät BI,  
der Ruhr Universität Bochum - Arbeitsgruppe Höhlen- und U-Bahn- Klimatologie  
und der Humboldt Universität zu Berlin - Geographie



**Prof. Werner Krick**  
Fakultät BI  
Technische Hochschule Nürnberg

**Dipl.-Ing.(FH) Thomas Killing**  
Fakultät BI  
Technische Hochschule Nürnberg



### **Kurzzusammenfassung:**

Die Fakultät Bauingenieurwesen hat Anfang März 2017 an einem gemeinsamen Projektseminar der Ruhr-Universität Bochum RUB, der Humboldt Universität zu Berlin und der Technischen Hochschule Nürnberg GSO auf Hawaii teilgenommen. Bei diesem interdisziplinären Projekt haben Studierende der Fachrichtungen Bauingenieurwesen und Geographie gemeinsam drei Lavahöhlen und das darüber liegende Gelände mit einem Laserscanner und einem Multikopter vermessen. Ziel war es, aus den gewonnenen Daten Raummodelle der Höhlen zu erstellen, die nicht nur die Höhlen selbst abbilden, sondern auch deren exakte Lage im Boden. An Hand dieser Modelle wollen die Geographen u.a. den Wärmestrom von der Geländeoberfläche durch das Lavagestein in die Höhlen hinein untersuchen. Da Ingenieure und Geographen mitunter recht unterschiedliche Ansätze haben, Problemstellungen zu lösen, war die erfolgreiche Zusammenarbeit für alle Beteiligten eine Bereicherung. Die entstandenen Raummodelle übertreffen die Erwartungen und bieten eine Grundlage für weiterführende Abschlussarbeiten, die sich mit der erreichbaren Genauigkeit und der Optimierung des Vermessungsverfahrens beschäftigen.

## 1. Projektdaten

|                |   |
|----------------|---|
| Fördersumme    | 4.400,- €<br>davon 4.000,- € Reisekostenzuschuss für die BI-Studenten<br>und 400,- € für die Anmietung eines Leihwagens |
| Laufzeit       | Projektseminar vom 27.02. – 15.03.2017, Auswertung Sommersemester 2017  |
| Fakultät       | Bauingenieurwesen   |
| Projektleitung | Prof. Werner Krick  |
| Kontaktdaten   | werner.krick@th-nuernberg.de  |

## 2. Ausgangslage und Ziele des Forschungsprojekts

Prof. Dr. Andreas Pflitsch, Leiter der Arbeitsgruppe Höhlen- und U-Bahn-Klimatologie an der RUB, betreibt auf Big Island, Hawaii das Akeakamai Forschungszentrum. In verschiedenen Lavahöhlen mit fest installierten Klimasensoren werden grundlegende Daten zur Höhlenklimatologie gewonnen. Um den Wärmestrom durch die Höhlendecken ableiten zu können, benötigt die Arbeitsgruppe 3D Raummodelle ihrer Forschungshöhlen, die nicht nur die eigentlichen Höhlen, sondern auch deren genaue Lage im Boden abbilden.

Im Bereich Bauingenieurwesen findet bei der Planung von Bauwerken ein Paradigmenwechsel von der zwei- zur dreidimensionalen Planung statt. Zur Integration von Bestandsgebäuden oder Geländeteilen in 3D-CAD-Programme müssen diese zuvor örtlich aufgenommen und digital aufbereitet werden.

Seit etwa 4 Jahren ist die Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Hochschule Nürnberg auf diesem Gebiet tätig und verfügt neben der hierfür erforderlichen Ausrüstung (3D-Laserscanner, zwei Drohnen für fotogrammetrische Aufnahmen, 3D-EDV-Hardware, Software) auch über das zugehörige Fachwissen.

So entstand die Idee eines gemeinsamen Projektseminars, an dem nicht nur Studenten der RUB und der TH-Nürnberg teilgenommen haben, sondern auch Studierende der Humboldt Universität zu Berlin.

Bei der 3D-Vermessung finden zwei Verfahren Anwendung. Räumlich abgegrenzte Bereiche (Gebäude, Höhlen) werden mit einem 3D-Laserscanner aufgenommen. Der BI-Scanner ist in der Lage, bis zu 976.000 Punkte pro Sekunde aufzunehmen. Als Ergebnis wird eine räumliche Punktwolke ausgegeben, deren Genauigkeit bei rund 2 mm liegt.

Schlecht einsehbare Bereiche (Dächer) und große Flächen (Gelände) werden mittels luftbildgestützter Fotogrammetrie erfasst. Hier muss die Punktwolke erst mit geeigneten Programmen aus den aufgenommenen Luftbildern errechnet werden. Die erreichbare Messgenauigkeit hängt bei diesem Verfahren von vielen Faktoren ab. Einige davon können nicht verändert werden. Dazu gehören zum einen die „inneren Orientierungen“: Kameraauflösung, Verzerrung der Optik, Lage der optischen Achse zum Bildsensor (Fertigungsungenauigkeiten), Vergütung der Optik (Chromatische Aberrationen). Diese Parameter sind mit Auswahl der Kamera festgelegt. Zum anderen wirkt sich der Kontrast der aufgenommenen Objekte auf das Ergebnis aus. Je mehr Punkte auf sich überlappenden Fotos erkannt werden, desto kleiner sind die Fehler in der Punktwolke. Einfarbige, nasse, durchsichtige oder reflektierende Oberflächen ergeben Lücken in der Punktwolke.

Es gibt aber auch Faktoren, auf die während der Befliegung Einfluss genommen werden kann: Kamerawinkel, Flughöhe, Überlappung der Fotos.

Die Flughöhe legt nicht nur die erforderliche Anzahl der benötigten Fotos fest. Zusammen mit der Kameraauflösung bestimmt sie auch die maximal mögliche Auflösung pro Pixel, welche gleichzeitig die maximal erreichbare Genauigkeit des Verfahrens darstellt.

Das Projektseminar verfolgt verschiedene Ziele. Die Fotogrammetrie bietet durch Verändern der beeinflussbaren Parameter ein experimentelles Forschungsgebiet, bei dem es darum geht, das Verfahren hinsichtlich der Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit zu optimieren. Große Flughöhen bedeuten weniger Fotos, damit weniger erforderliche Rechenzeit, aber gleichzeitig schlechtere Auflösung und somit eine geringere Präzision. Einen ähnlichen Einfluss hat die Überlappung der Fotos in Flugrichtung und seitlich dazu.

Um Grundrisse genau zu erfassen, ist ein Kamerawinkel von  $90^\circ$  (parallel zum Boden) optimal, senkrechte Wände / Fassaden benötigen einen Winkel von  $0^\circ$  (in Flugrichtung). Will man beides aufnehmen, spart man Zeit, indem man mit einem Kamerawinkel von  $45^\circ$  fliegt. Ob das Ergebnis dann aber ebenso genau ist, wie bei zwei Einzelbefliegungen mit  $0^\circ$  und  $90^\circ$ , muss durch Referenzmessungen überprüft werden.

Ziel ist es, die jeweils günstigsten Parameter für verschiedene Einsatzzwecke (Erstellung von Schnitten, Massenermittlung von Erdvolumen, fotorealistische 3D-Darstellung) durch Versuchsreihen zu ermitteln.

Das Zusammenfügen der Punktwolken aus Fotogrammetrie und Laserscanner bietet ebenfalls einen Ansatz zur experimentellen Forschung. Hier gibt es keine Standardverfahren. Beide Systeme liefern Punktwolken, die im Fall der Höhlen einmal die Höhle (Scanner) und einmal das Gelände (Kopter) abbilden. Die Schwierigkeit besteht nun darin, beide Punktwolken an der Schnittstelle „Höhleneingang“ zu einer Gesamtpunktwolke zusammen zu setzen. Dazu müssen in den Punktwolken Punktbereiche erkennbar sein, die in beiden Wolken vorhanden sind. Das können Marker sein, aber auch markante Geländeformationen. Diese Bereiche müssen dann in allen drei Dimensionen exakt übereinander gelegt werden, was in der Regel nur von Hand durchgeführt, zu genauen Resultaten führt.

Ein weiteres Ziel ist es, für die jeweils gewünschten Ergebnisse (Erstellung von Schnitten, Massenermittlung von Erdvolumen, fotorealistische 3D-Darstellung), eine Art Workflow zu erstellen. Die Problematik liegt darin, dass es nicht eine einzelne Softwarelösung zur Bearbeitung gibt, die alle Ergebnisse liefert. Es ist immer eine unterschiedliche Kombination aus geeigneten Programmen erforderlich, um zu einem Resultat zu kommen.

### 3. Herangehensweise und Lehrkontext

Im Bereich des Bauingenieurwesens lernen die Studierenden, Nachweise zur Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit zu führen und Bemessungen anzufertigen. Durch das Forschungsprojekt bekamen sie die Gelegenheit, an wissenschaftliches Arbeiten herangeführt zu werden. Dazu trug besonders das interdisziplinäre Arbeiten mit Studenten der Geographie bei, die ja während ihres Studiums überwiegend forschend tätig sind. Im Gegenzug dazu lernten die Geographen verschiedene Vermessungsmethoden der Ingenieure kennen.

Die Fakultät Bauingenieurwesen hat zur Förderung wissenschaftlichen Arbeitens vor vielen Jahren die Studentische Forschungsgruppe STUFO ins Leben gerufen. In Form eines Wahlfachs können Studierende unterschiedlichste Projekte eigenständig bearbeiten. Auch die gewonnenen Daten aus diesem Forschungsprojekt sollen später im Rahmen eines STUFO Projekts ausgewertet werden.

#### **Vorbereitung:**

Das Wahlfach „3D Gelände- und Gebäudeaufnahme mittels luftbildgestützter Fotogrammetrie und Laserscanner“ vermittelte den beteiligten BI Studenten die erforderlichen Grundlagen beider Vermessungsverfahren.

**3D Laserscann:** Um den sicheren Scannereinsatz in der Dunkelheit der Höhlen zu üben, wurde im Januar 2017 die „Höhle ohne Namen“ auf der Hersbrucker Alb vermessen. Da in dieser Karsthöhle andere Gesteinsoberflächen vorhanden sind, als in Lavahöhlen, wurde im Vorfeld Kontakt mit dem Geologen Prof. Dr. Stephan Kempe von der Technischen Universität Darmstadt aufgenommen. Er hatte bereits mit dem gleichen Scannertyp andere Lavahöhlen auf Hawaii vermessen, allerdings ohne das darüberliegende Gelände zu erfassen. Da er sich während des Projektseminars ebenfalls auf Big Island aufhielt, stand er vor Ort beratend zur Seite.

**Fotogrammetrie:** Auf der hochschuleigenen Baustelle „Neubau Infozentrum“, die sich zu diesem Zeitpunkt noch im Aushubstadium befand, wurden Versuche mit verschiedenen Marker-Typen gemacht, die sowohl vom Kopter als auch vom Scanner erkannt werden mussten. Schachbrettmarker der Größe DIN-A3 erwiesen sich als beste Lösung. Die Flughöhen lagen dabei zwischen 30 m und 50 m.

**Flug-Genehmigungen:** Da unser Kopter im Luftraum der USA eingesetzt wurde, mussten einige rechtliche Punkte bereits vor der Beantragung dieses Forschungsprojekts mit der FAA (Federal Aviation Administration) geklärt werden. Vermessungsflüge mit sogenannten „Unmanned Aerial Systems“ (UAS) werden in den USA grundsätzlich als gewerbliche Einsätze bewertet. Das bedeutete (Stand Mitte 2016), dass neben der schriftlichen Registrierung des Kopters auch der Besitz eines von der FAA anerkannten Drohnenführerscheins erforderlich ist. Gewerbliche Einsätze durch Ausländer erfordern in den USA aber auch, dass diese eine entsprechende Arbeitserlaubnis besitzen. Diese Punkte hätten das Projekt beinahe gefährdet. Da wir als Hochschule unsere Flüge im Rahmen der Studentenausbildung durchführen wollten, hatte die FAA den Einsatz als „Foreign Educational Use“ eingestuft. Damit konnten wir ohne Drohnenführerschein nach einer vereinfachten Online-Registrierung unseres Quadropters auf Hawaii fliegen.

Eine der aufzunehmenden Höhlen liegt direkt im Naturschutzgebiet am Kraterrand des Vulkans Mauna Loa. Dort sind UAS Einsätze streng verboten. Daher wurde beim Hawaiian Volcano Observatory (HVO), einer Unterorganisation der USGS, eine zeitlich beschränkte Fluggenehmigung erwirkt.

**Durchführung:** Höhlen- und Geländevermessungen

**Akeakamai:** Die an das Camp angrenzende Akeakamai-Höhle hat eine Länge von rund 1,2 km. Sie ist teilweise extrem eng. Daher wurde zuerst nur ein ca. 200 m langer Teil um Eingang 1 herum gescannt. In diesem Bereich liegt das Klima-Messfeld der Bochumer Arbeitsgruppe. Da man sich in dieser Höhle meistens nur kriechend fortbewegen konnte, waren zum Scannen immer maximal 2 Personen in der Höhle. In diesem Bereich wurden 30 Scans durchgeführt. Parallel dazu wurde das Gelände über der kompletten Höhle mit dem Multikopter befliegen. Die Scanner- und Kopterdaten dieser Höhle sind Grundlage für die Masterarbeit eines Studenten der RUB. Aus diesem Grund wurde allein der Bereich des eigentlichen Messfeldes 12mal mit verschiedenen Kurs- und Kamerawinkeln abgeflogen. Da keine Georeferenzierung möglich war, wurden zur Steigerung der Genauigkeit Kreuzbefliegungen mit wechselnder Höhe durchgeführt. So entstanden 1.793 Luftaufnahmen. Das erfasste Gelände hat eine Fläche von 15 Hektar. Später wurden noch gut 50 m Höhle im Bereich von Eingang 2 aufgenommen. Dazu waren 14 Scans notwendig.

**Kulakai:** Bei dieser Höhle handelt es sich um eine zum Teil erschlossene Besucherhöhle. Sie bot im Gegensatz zu den beiden anderen vermessenen Höhlen den Vorteil, dass man hier auch einer größeren Anzahl von Geographie Studierenden das Prinzip des Laserscannens zeigen konnte. Im Projektseminar sollten die Studenten eigene Forschungsideen mit einbringen. So möchte ein Student die Scannerdaten dieser Höhle dazu verwenden, sie mit einer VR-Brille virtuell zu begehen. Eine Studentin beschäftigt sich mit dem Biomattenbewuchs in der Kulakai Höhle. Aus diesen Matten werden z.B. Grundstoffe für Arzneimittel gewonnen. Da man wissen möchte, warum diese Matten in manchen Bereichen vorhanden sind, in anderen aber nicht, ist eine genaue Kartierung erforderlich. Hierzu wurden im Bereich der Matten Schachbrettmarker ausgelegt, die beim Scannen mit aufgenommen wurden. Da der Scanner Biomatten nicht erfassen kann, wurden diese mit einer lichtstarken Kamera überlappend fotografiert, um sie fotogrammetrisch ebenfalls in eine Punktwolke zu überführen. Diese soll später über den Höhlenscan gelegt werden. Von der mehrere Kilometer langen Höhle wurde in zwei Tagen ein 500 m langer Abschnitt gescannt. Da die Höhle mit Privathäusern überbaut ist, wurde das Gelände nicht überflogen.

**Mauna Loa Ice Cave:** Die auf 3.800 m über N.N. liegende Eishöhle befindet sich am Kraterrand des Mauna Loa, einem der größten aktiven Vulkane der Erde. Sie hat eine Länge von rund 400 m und darf nur mit Forschungsgenehmigung des HVO betreten werden. Daher war nur ein kleines Team mit 7 Teilnehmern am Berg tätig. Um die Klimamessungen in der Höhle nicht zu beeinflussen, durften sich immer nur maximal 3 Personen im Inneren aufhalten. Trotzdem stieg die Temperatur im Bereich des Messfeldes während des Scanvorgangs um 1,5°C an. Zur Aufnahme der gesamten Höhle waren 47 Scans erforderlich. Diese wurden von zwei Studenten (einem Bauingenieur und einem Geographen) angefertigt, während Prof. Pflitsch als Ortskundiger für die Sicherheit in der Höhle verantwortlich war. Beim Befliegen der Geländefläche wurden 728 Luftbilder gemacht, sie bilden einen Bereich von gut 300 m x 400 m ab. Wegen der fehlenden Möglichkeit der Georeferenzierung wurde auch diese Höhle kreuzweise in zwei Richtungen befliegen.

#### 4. Forschungsergebnisse und Nachhaltigkeit / Verwertung

##### **Auswertung:**

Mit dem ersten Ziel des Forschungsprojekts, dem Einfluss der veränderbaren Parameter auf die Genauigkeit

und Wirtschaftlichkeit der fotogrammetrischen Auswertung von Luftbildern, befasst sich die Masterarbeit eines Studenten der RUB. Hierzu werden die Daten der Akeakamai Höhle ausgewertet, da dort das Messfeld mehrfach mit veränderten Einstellungen befliegen wurde. Der Student absolviert gerade ein Praktikumssemester, daher beginnt die Auswertung erst im Sommersemester 2018.

Das Zusammenfügen der Punktwolken aus Fotogrammetrie und Laserscanner, das Anfertigen von Raummodellen und Geländeschnitten sowie die Erstellung von Videobefliegungen der entstandenen 3D Modelle waren die Ziele, mit denen sich die BI Studierenden im Rahmen des Wahlfachs STUFO im Sommersemester 2017 beschäftigt haben. Dabei hat sich herausgestellt, dass es trotz der Versprechungen einiger Softwarehersteller leider kein Programm gibt, welches den gesamten Workflow zufriedenstellend als „All-in-One“ Lösung liefern kann. Ein Produkt bietet zwar alle Funktionen, scheitert dann aber an der Menge der zu verarbeitenden Daten. Kleine Bereiche mit maximal 70 Luftbildern und wenigen Scans, wie sie bei Gebäuden üblich sind, lassen sich damit als Komplettlösung bearbeiten. Raummodelle in der Größenordnung unserer Höhlen verlangen aber nach einer Lösung, bei der die einzelnen Arbeitsschritte mit unterschiedlichen Programmen bearbeitet werden müssen.

#### **Folgende Arbeitsabläufe haben sich als geeignet herausgestellt:**

- Die Stationierung der einzelnen Scans zu einer Gesamtpunktwolke erfolgte mit *Faro SCENE 6.2*, einem Programm des Scanner Herstellers.
- Aus den Luftaufnahmen wurden mit *Agisoft PhotoScan Professional* eine dichte Punktwolke erzeugt. Dabei war es auch möglich, die 1.793 Luftaufnahmen der Akeakamai Höhle gleichzeitig zu verarbeiten, wobei dann aber mehrere Tage Rechenzeit benötigt wurden.
- Zur Weiterverarbeitung mussten beide Punktwolken in das E57 – Dateiformat überführt werden.
- Da die Punktwolken der Laserscans sehr groß waren, mussten Scanner- und Fotogrammetriewolke vor dem Zusammenfügen mit einem einheitlichen Punkteabstand von 5 mm homogenisiert werden, was zu einer Reduzierung der Punktemengen führte.
- Zusammengefügt wurden die Punktwolken dann mit *Cloud Compare*, einem Open Source Programm.
- Zur Visualisierung des Raummodells ist *AUTODESK RECAP PRO* gut geeignet, da dieses Programm auch große Punktwolken flüssig darstellen kann. Mit diesem Programm wurden auch die virtuellen Begehungen der Modelle erstellt.
- Die Schnitte durch die Raummodelle, aus denen die Geographen die für ihre klimatologischen Fragestellungen wichtigen Größen wie Überdeckung und Geländeneigung ermitteln können, wurden mit *AUTODESK REVIT* erzeugt. Dieses Programm kann die zuvor erstellten *RECAP* Dateien direkt verarbeiten.

#### **Ergebnisse:**

Mit dem zuvor beschriebenen Workflow lassen sich exakte Raummodelle großer Geländeflächen erstellen. Im Rahmen des Wahlfachs STUFO wurde die **Kulakai** Höhle auf Grund fehlender Flugdaten als reines Höhlenmodell zusammengesetzt. Dieses wurde den beiden Studierenden zur Verfügung gestellt, die sich im Rahmen ihres Geographiestudiums mit der Erzeugung eines mit VR-Brille begehbaren Höhlenmodells und der Kartierung der Biomatten beschäftigen.

Von der **Akeakamai** Höhle wurde ein rund 15 Hektar abbildendes Geländemodell erzeugt, welches um die beiden Eingänge herum mit den gescannten Höhlenbereichen zu einem Gesamtmodell ergänzt wurde.

Im Bereich des Messfeldes wurden Längs- und Querschnitte durch die Höhle gelegt. Sie dienen der Bochumer Arbeitsgruppe zur Ermittlung der für sie wichtigen Profildaten zur Klimaforschung.

Da sich im Bereich des Messfeldes eine Bohrung von der Geländeoberkante in die Höhle hinein befindet, konnte über die Bohrlochlänge geprüft werden, wie genau beide Punktwolken räumlich zusammengesetzt wurden.

Die reale Bohrlochlänge betrug 71 cm, im Raummodell ergab ein Schnitt durch das Bohrloch in Nord / Süd Richtung einen Wert von 71,5 cm und in West / Ost Richtung von 71 cm.

Dass die maximale Abweichung hier nur 5 mm betrug, täuscht eine etwas zu hohe Genauigkeit vor. Aus der Flughöhe ergab sich eine Auflösung von 1,3 cm / Pixel als maximal mögliche Genauigkeit, was in der Realität einer Messgenauigkeit von 2-3 cm entsprechen dürfte.

Dennoch zeigt der Wert, dass sich die Punktwolken von Laserscanner und Fotogrammetrie mit Hilfe von Schachbrettmarkern sehr genau zusammenfügen lassen.

Da die **Mauna Loa Ice Cave** auf voller Länge gescannt wurde, konnte sie als vollständiges Raummodell abgebildet werden. Im Modell erkannte man im unteren Drittel eine Auswölbung in der Höhle und eine Einbuchtung

im Gelände. Hier liegt wahrscheinlich der seit langem gesuchte zweite Eingang der Höhle, der bisher nicht gefunden wurde. Da die Bochumer Arbeitsgruppe auch in dieser Höhle ein Klima-Messfeld betreibt, kann sie durch dieses Modell ebenfalls Schnitte zur Profilermittlung legen.

Die beiden Raummodelle der Akeakamai Höhle und der Mauna Loa Ice Cave werden von der Bochumer Arbeitsgruppe Höhlen- und U-Bahnklimatologie genutzt, Profile zu erzeugen, mit denen der Wärmestrom von der Geländeoberkante über die Lavadecke in die Höhlen hinein ermittelt werden kann. Diese Grundlagenforschung dient u.a. dazu, zu erforschen, ob sich in U-Bahnsystemen die Abwärme der Fahrzeuge teilweise unter Nutzung des Wärmestroms durch die Wände und Decke hindurch abführen lässt.

Die Ergebnisse der Masterarbeit zur Optimierung von fotogrammetrischen Aufnahmen durch Verändern der beeinflussbaren Parameter bekommen wir nach Abschluss der Arbeit zur Verfügung gestellt. Sie ermöglichen es uns zukünftig, den jeweiligen Aufgabenstellungen angepasste Fotoserien zu erstellen, um mit möglichst wenigen Aufnahmen (Rechenzeit) ein optimales Ergebnis zu erzielen.

Für die Fakultät Bauingenieurwesen sind die entstandenen Raummodelle der Höhlen zwar nicht direkt verwertbar, der von den Studierenden selbständig erarbeitete Workflow zum fertigen Raummodell dagegen schon. Die am Markt vorhandenen Programme zur Weiterverarbeitung der entstandenen Punktwolken sind darauf ausgelegt, Gebäude und kleinere Geländebereiche zu verarbeiten. Bei den im Projekt erfassten Flächengrößen von 12 bis 15 Hektar sind sie nicht mehr in der Lage, dieses zu leisten. Jedes Programm für sich hat Stärken und Schwächen. Im Rahmen der STUFO haben sich die Studierenden damit beschäftigt, die Stärken der jeweiligen Programme zu nutzen, um damit einzelne Arbeitsschritte abzuarbeiten. Die geschickte Kombination der Programmstärken führt dann zu einem insgesamt überzeugenden Ergebnis.

## 5. Fazit und Ausblick

Mit dem erarbeiteten Ablaufschema sind wir zukünftig in der Lage, großflächige Geländebereiche wirtschaftlich schnell und genau aufzunehmen. Die gewonnenen Erkenntnisse konnten bereits für ein weiteres Projekt aus dem Bereich der Auftragsforschung verwendet werden, bei dem es darum geht, großflächig instabile Böschungsbereiche zu überwachen, die sich auf Grund von Sedimenttransport ständig verändern. Die Untersuchungen und Auswertungen hierzu werden im Rahmen einer Masterarbeit bearbeitet, die ein BI Student anfertigt, der am Projektseminar auf Hawaii teilgenommen hat. Im Rahmen dieser Abschlussarbeit macht er auch weiterführende Versuche zur Messunsicherheit der fotogrammetrischen Geländeaufnahme. Dazu wurde auf dem Segelfluggelände Altdorf bei Nürnberg ein Referenzfeld aus verschiedenen Markern und geometrischen Körpern aufgebaut, welches anschließend befliegen wurde

Sowohl die völlig selbständige Entwicklung eines optimierten Workflows zur Geländeaufnahme im Rahmen der STUFO, als auch diese Masterarbeit zeigen, dass die beteiligten Studenten die sich ergebenden Problem- und Fragestellungen mit wissenschaftlichen Ansätzen bearbeiten und lösen konnten.

Auf dem Fachkongress BauScan 2017 in Magdeburg wurde das Projekt im Rahmen eines Vortrags vorgestellt.

In der Nacht vom 14. auf den 15. Dezember 2017 wird zusammen mit dem Team der RUB und Mitarbeitern des Forschungszentrums Jülich versucht, eine U-Bahnstation in Bochum durch Kopterbefliegung in Kombination mit dem Laserscanner aufzunehmen. Wenn die Resultate dieses Versuchs erfolgsversprechend sind, soll daraus ein gemeinsamer Forschungsantrag entstehen.

Sowohl für die beteiligten Studierenden als auch für die Lehrenden war die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit einer „fachfremden“ Studienrichtung eine wertvolle Erfahrung. Da das Camp nicht mehr Platz bot, war die Gesamt-Teilnehmerzahl auf 20 Studierende begrenzt.

Ein Video des fertigen Raummodells einer Höhle kann durch Scannen des QR-Codes oder über folgenden Link betrachtet werden: <https://vimeo.com/244964996>  
Zum Anschauen benötigen Sie das Kennwort: Lava





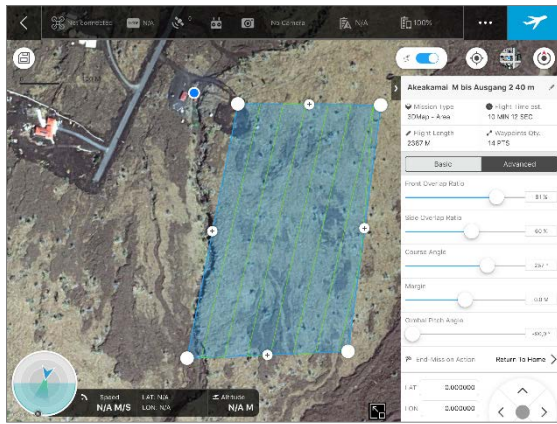
Das Team der TH Nürnberg GSO vor der Kulakai-Höhle



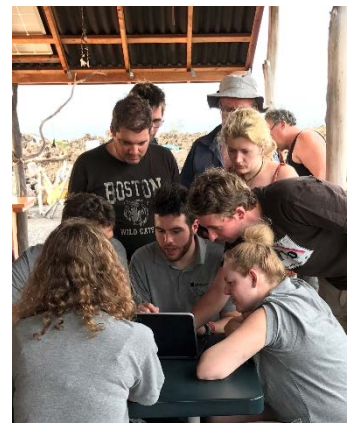
Scannen der Akeakamai-Höhle im Bereich des Klima-Messfeldes



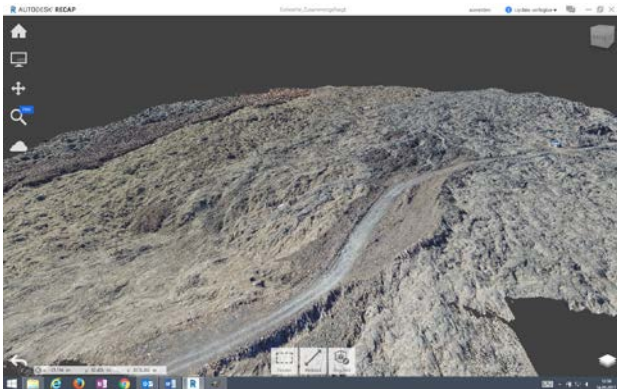
Höhleneingang Akeakamai



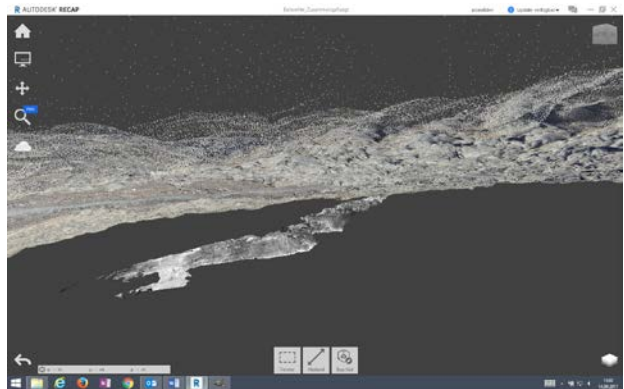
Flugplanung mit der DJI Ground Station Pro



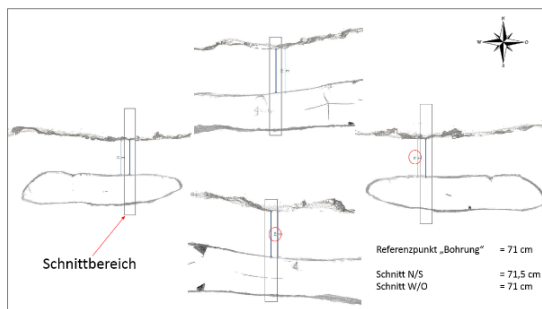
Datenauswertung im Camp



Geländemodell der Mauna Loa Ice Cave aus der Fotogrammetrie-Punktwolke



Zusammengeführtes Geländemodell aus der Fotogrammetrie- und der Laserscanner-Punktwolke



Alle Fotos: Thomas Killing

Schnitte durch die Akeakamai-Höhle