

Ableitung von 3D-Modellen aus Daten des High Definition Earth Viewing-Experiments (ISS) – Anwendungen für den Schulunterricht

JOHANNES A. SCHULTZ¹, HENRYK HODAM¹, CLAUDIA LINDNER¹,
ANNETTE ORTWEIN¹, FABIAN SELG¹ & ANDREAS RIENOW¹

Zusammenfassung: „KEPLER ISS“ ist das Nachfolgeprojekt von „Columbus Eye – Live Bilder von der ISS im Schulunterricht“ und wird vom Deutschen Luft- und Raumfahrtzentrum (DLR) gefördert (Förderkennzeichen 50JR1701). Ziel ist es, nachhaltig die Fernerkundung von der ISS in den Schulunterricht zu integrieren. Das Projekt ist exklusiver europäischer Partner des „High Definition Earth Viewing Experiment“ (HDEV) der NASA. Im Rahmen dieses Experiments wird die Erde mit HD-Kameras rund um die Uhr von der Internationalen Raumstation (ISS) aus beobachtet. Aus diesen Videos entwickelt das Projekt Materialien für den Schulunterricht. Der Schwerpunkt des Beitrages liegt auf der Erstellung von 3D-Modellen aus Erdbeobachtungsdaten von der ISS.

1 Einleitung

Es ist relativ schwierig, Schülerinnen und Schüler (SuS) nachhaltig für die Naturwissenschaft zu begeistern. Hierfür ist es sinnvoll, Medien, Arbeitsmaterialien und Lernwerkzeuge zu entwickeln, die den Forschergeist und die Faszination für die Naturwissenschaft wecken.

Das „High Definition Earth Viewing“ (HDEV) Experiment der NASA (RUNCO 2015) bietet die einzigartige Möglichkeit, die Faszination für Raumfahrt und für die Erforschung des Weltraumes dazu zu verwenden, die SuS für die naturwissenschaftlichen Schulfächer zu begeistern. HDEV wurde im April 2014 am external payload adapter des Columbus-Labors der ISS befestigt. Die Kameras des Experiments beobachten die Erde rund um die Uhr aus verschiedenen Blickwinkeln.

Das primäre Ziel von „Columbus Eye-Live Bilder von der ISS im Schulunterricht“ bzw. vom Nachfolgeprojekt KEPLER ISS ist es, basierend auf den Videos des NASA HDEV-Experiments Unterrichtsmaterialien zu entwickeln und das Videomaterial für die Bedürfnisse des Schulunterrichts aufzubereiten.

Hierzu betreiben die Arbeitsgruppe Fernerkundung der Universität Bonn und die Arbeitsgruppe Geomatik der Ruhr-Universität Bochum gemeinsam ein umfangreiches Webportal (www.columbuseye.uni-bonn.de), welches sowohl Highlight-Videos, als auch interaktive Lernmodule, Apps und Arbeitsblätter für die SuS und LuL zur Verfügung stellt (RIENOW et al. 2015a, 2016). Die interaktiven Unterrichtsmaterialien und auch die HDEV-Videos werden hauptsächlich in den Schulfächern Geographie, Physik, Biologie, Informatik und Mathematik verwendet.

Über ein Web-GIS besteht die Möglichkeit, die Highlight-Videos sowohl thematisch zu kategorisieren als auch räumlich zu verorten. Die Videos des NASA HDEV-Experiments und Astro-

¹ Ruhr-Universität Bochum, Arbeitsgruppe Geomatik, Universitätsstraße 104,
D-44799 Bochum, E-Mail: johannes.schultz@rub.de

nautenbilder unserer Erde ermöglichen den SuS einen faszinierenden Blick aus dem All auf die natürlichen Prozesse, Phänomene und die auftretenden Wechselwirkungen in einem gekoppelten Mensch-Umweltsystem (VOß et al. 2010).

Im Folgenden wird zunächst kurz das HDEV-Experiment vorgestellt und auch auf die technischen Anforderungen für Empfang, Speicherung, Georeferenzierung und Atmosphärenkorrektur der Daten eingegangen.

Der Beitrag stellt, neben den Anwendungen für den Schulunterricht, auch die Potenziale und Anwendungsmöglichkeiten von Videodaten und Astronautenbildern in Bezug auf die Erdbeobachtung vor. In diesem Zusammenhang liegt der Schwerpunkt der Betrachtung auf der Erstellung von 3D-Modellen aus Erdbeobachtungsdaten von der ISS und deren Verwendung im Schulunterricht. Im Rahmen des Projektes werden verschiedene Lernmaterialien, z. B. Arbeitsblätter, Augmented Reality Apps (erweiterter Realität) oder computergestützte Lernmodule erstellt (ORTWEIN et al. 2017). Exemplarisch hierfür stellt der Beitrag neue Lerneinheiten, die auf Augmented Reality basieren, vor.

Neben diesen wissenschaftlichen und für die Schul-Curricula relevanten Anwendungen wird gezeigt, wie die Daten im Rahmen eines Schulwettbewerbs eingesetzt werden können. Die SuS sollen im Rahmen dieses Wettbewerbes lernen, wie sie interdisziplinäre Projektideen eigenständig auf der Schnittstelle zwischen Kunst, Naturwissenschaft und Ingenieurwesen entwickeln und umsetzen können.

Im Ausblick des Beitrages wird ein neues auf der ISS geplantes thermales Sensorsystem, welches mit einem sehr hochauflösenden Kamerasystem kombiniert ist, vorgestellt.

2 Das HDEV-Experiment

Im April 2014 wurden am Columbus-Modul der ISS vier Standard-Videokameras (commercial off-the shelf, COTS) mit Unterstützung des kanadischen Roboterarms installiert und in Betrieb genommen (RUNCO 2015). Die Kameras nehmen die Erde aus verschiedenen Blickwinkeln rund um die Uhr auf. Die Toshiba Kamera IK-HR1S schaut nadir, während die Hitachi GVHD30 nach vorne schaut. Zwei Kameras, Panasonic AGHMC150 und Sony FCBEH4300, schauen nach hinten (vgl. Abb. 1). Die räumliche Auflösung beträgt für die Nadir-Kamera ungefähr 500 m. Ziel des NASA HDEV-Experiments ist es, verschiedene Standardkameras zu vergleichen und zu überprüfen, ob kommerzielle Videokameras für zukünftige Langzeitmissionen zum Mond und Mars, insbesondere in Bezug auf die auftretende Strahlung, geeignet sind (RUNCO 2015, MURI et al., 2017). Die Kameras wurden in einem stickstoffgefüllten Gehäuse (siehe Abb. 1), welches sie auch vor den starken Temperaturschwankungen schützt, an der Außenseite des Columbus-Moduls der ISS angebracht.

Die ISS bewegt sich in einer durchschnittlichen Höhe von 400 km, jedoch ist die Flugbahn im Vergleich zu erdbeobachtenden Satellitensystemen, sowohl in Bezug auf die Flughöhe, als auch in Bezug auf die Lage der ISS, hoch variabel (STEFANOV et al. 2011). Bei Andockmanövern wird die ISS oft gedreht, die Blickrichtung der Kamera ändert sich somit auch. Darüber hinaus ist im Rahmen des HDEV-Experimentes kein Sternensensor vorhanden und da die Aufnahmezeit nicht mitgespeichert wird, ist eine automatische Georeferenzierung der Videos nicht möglich.

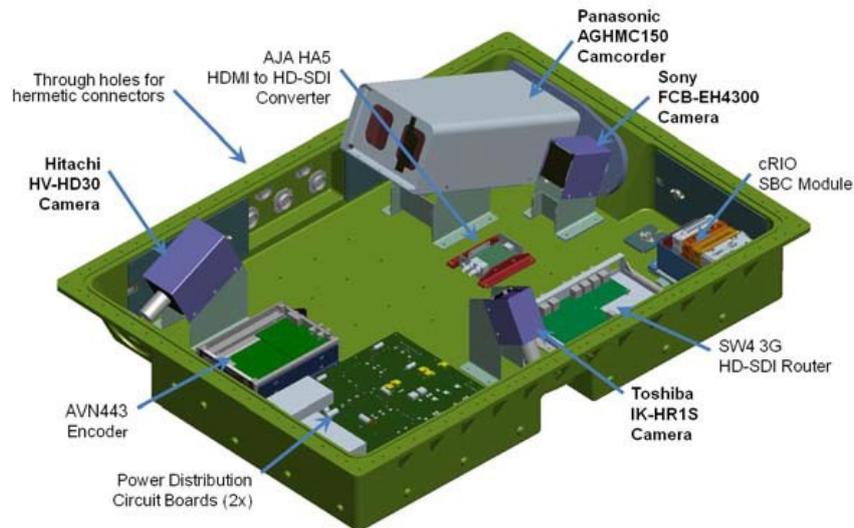


Abb. 1: Anordnung der Videokameras des NASA HDEV-Experiments. Quelle: (MURI et al. 2017)

Die Kameras sind nicht alle gleichzeitig aktiv, sondern ein Kamerazyklus legt fest, welche Kamera gerade ausgewählt wird. Dieser Kamerazyklus kann aber über TReK (Telescience Resource KiT) beliebig modifiziert werden. Die Signale der aktiven Kamera werden über die NASA Tracking und Data Relay Satelliten (TDRS) zum Bodensegment in White Sands, New Mexico und von dort aus an das Payload Operations Integration Center (POIC) am Marshall Spaceflight Center in Huntsville, Texas weitergeleitet. (RUNCO 2015)

Von dort aus werden sie direkt an den Columbus Eye-Server übertragen. KEPLER ISS ist der exklusive europäischer Partner von HDEV und ist auch für die Archivierung und Bearbeitung der Videos zuständig (RIENOW et al. 2016). Da die Daten über KU-Band übertragen werden ist ein kontinuierlicher Empfang nicht immer möglich. Dies ist darin begründet, dass auch andere Experimente das KU-Band verwenden. Durch die geringe Lichtempfindlichkeit der Kameras sind keine Aufnahmen in der Nacht möglich.

Neben dem Videoarchiv, welches derzeit ungefähr 40 Terabyte umfasst, werden auch Astronautenbilder und erdbeobachtende Sensoren der ISS, wie z. B. Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HREP-HICO) (GAO, & LI, 2010) verwendet, um Unterrichtseinheiten für den Schulunterricht zu entwickeln.

3 Lernen mit Erdbeobachtungsdaten von der ISS

Alle Unterrichtsmaterialien der Projekte Columbus Eye und Kepler ISS werden in einem Online-Lernportal der breiten Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt (www.columbuseye.uni-bonn.de) und orientieren sich an den Schul-Curricula der Länder (RIENOW 2015b).

Im Portal steht neben den Unterrichtsmaterialien auch ein Livestream von der ISS zur Verfügung. Die Nutzer haben die Möglichkeit, in einem Web-GIS die aktuelle Position der ISS auf der Weltkarte zu verfolgen. Die Seite stellt auch Hintergrundinformationen zu ISS und zu den Missionen von Alexander Gerst „Blue Dot und „horizons“ zur Verfügung. Das auf der Seite befindliche frei zugängliche Videoarchiv umfasst mehr als 200 Videos. Diese Highlights zeigen spek-

takuläre Aufnahmen von der ISS, z. B. Algenblüten im Ozean, Waldbrände, Städte oder Wetterphänomene wie Hurrikans, Sandstürme oder Schwerewellen.

Durch die atmosphärische Streuung (Mie- und Rayleigh Streuung) zeigen die Highlight-Videos nicht die natürlichen Farben. Ferner sind die Kameras fest eingestellt, sodass sie nicht auf veränderte Belichtungsverhältnisse reagieren können. Dies macht es erforderlich, das Rohvideomaterial entsprechend aufzubereiten. In MATLAB werden hierzu entsprechende Algorithmen zur Anpassung von Helligkeit, Kontrast und Farbe verwendet (SCHULTZ et al. 2017). Für alle Highlight-Videos gibt es auch einen Hintergrundtext und über ein Web-GIS besteht die Möglichkeit, die Videos räumlich und thematisch zu filtern.

Die auf dem Lernportal präsentierten Videos und Hintergrundinformationen sind verbunden mit zahlreichen Lernmaterialien, die ein breites Spektrum von computergestützten Lernmodulen, analogen Arbeitsblättern bis hin zu Smartphone basierten Apps abdecken (ORTWEIN et al. 2017). Aus einfachen analogen Arbeitsblättern werden durch Augmented Reality virtuelle Lernumgebungen. Das didaktische Konzept aller Lernmaterialien basiert auf dem moderaten Konstruktivismus und auf den Erkenntnissen, die mit dem vom DLR geförderten Projekt „Fernerkundung in Schulen“ (FIS) (www.fis.uni-bonn.de) gemacht worden sind (VOß et al. 2011).

Im Folgenden wird auf das Arbeitsblatt Stereoskopie bzw. auf die Erstellung von 3D-Modellen eingegangen. Im Anschluss daran wird kurz die Augmented Reality-App und der Schülerwettbewerb vorgestellt.

3.1 3D-Modelle aus ISS- Erdbeobachtungs-Daten

Die im Rahmen des Projektes Columbus Eye entwickelte Lerneinheit „Stereoskopie“ verwendet sowohl Astronautenbilder der Erde als auch Videomaterial vom NASA HDEV-Experiment für die Erstellung von stereoskopischen Aufnahmen. Darüber hinaus kamen auch 3D-Videos aus dem Innenraum der ISS in der Einheit zur Anwendung. Das übergeordnete Ziel ist es, den SuS die physikalischen Grundlagen der Stereoskopie zu vermitteln und ihnen das Prinzip des räumlichen Sehens zu erläutern. Die Einheit zeigt, wie man aus zweidimensionalen Bildern dreidimensionale Raumeindrücke erzeugen kann.

Die 3D-Modelle wurden mit Agisoft PhotoScan© erstellt. Hierbei hat sich herausgestellt, dass insbesondere bei Landschaften mit hoher Reliefenergie bzw. mit sehr großen Höhenunterschieden erhebliche Fehler in den Modellen entstehen können (SCHULTZ et al. 2017). Die Minimierung von Artefakten im 3D-Modell ist insbesondere bedeutend für die Ableitung von 3D-Modellen aus HDEV-Daten. Hierzu wurden exemplarisch hochauflösende Astronautenbilder vom 3.776 m hohen Fuji verwendet. Für den Fuji stehen sehr viele Aufnahmen im „Gateway To Astronaut Photography of Earth“ (Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center) zur Verfügung. Allein am 8.2.2016 wurden 32 Bilder vom Fuji von der ISS aufgenommen, nur 7 davon wurden für die Erstellung des 3D-Modells verwendet (siehe Abb. 2).

Insbesondere von Vorteil war der sehr geringe zeitliche Abstand zwischen den Bildern, die leicht unterschiedlichen Aufnahmewinkel, die hohe Auflösung (4.928×3.280 Pixel) und die, durch die Verwendung eines 1.150 mm Objektivs, kleine Ground Sampling Distance (GSD) von $\approx 4\text{m}$. Die großen Höhenunterschiede von über 2.600 m, reliefbedingte Schatten, die Bewölkung am Fuß des Fuji, sowie die fehlenden Informationen in Bezug auf Aufnahmewinkel, Flughöhe und Position,

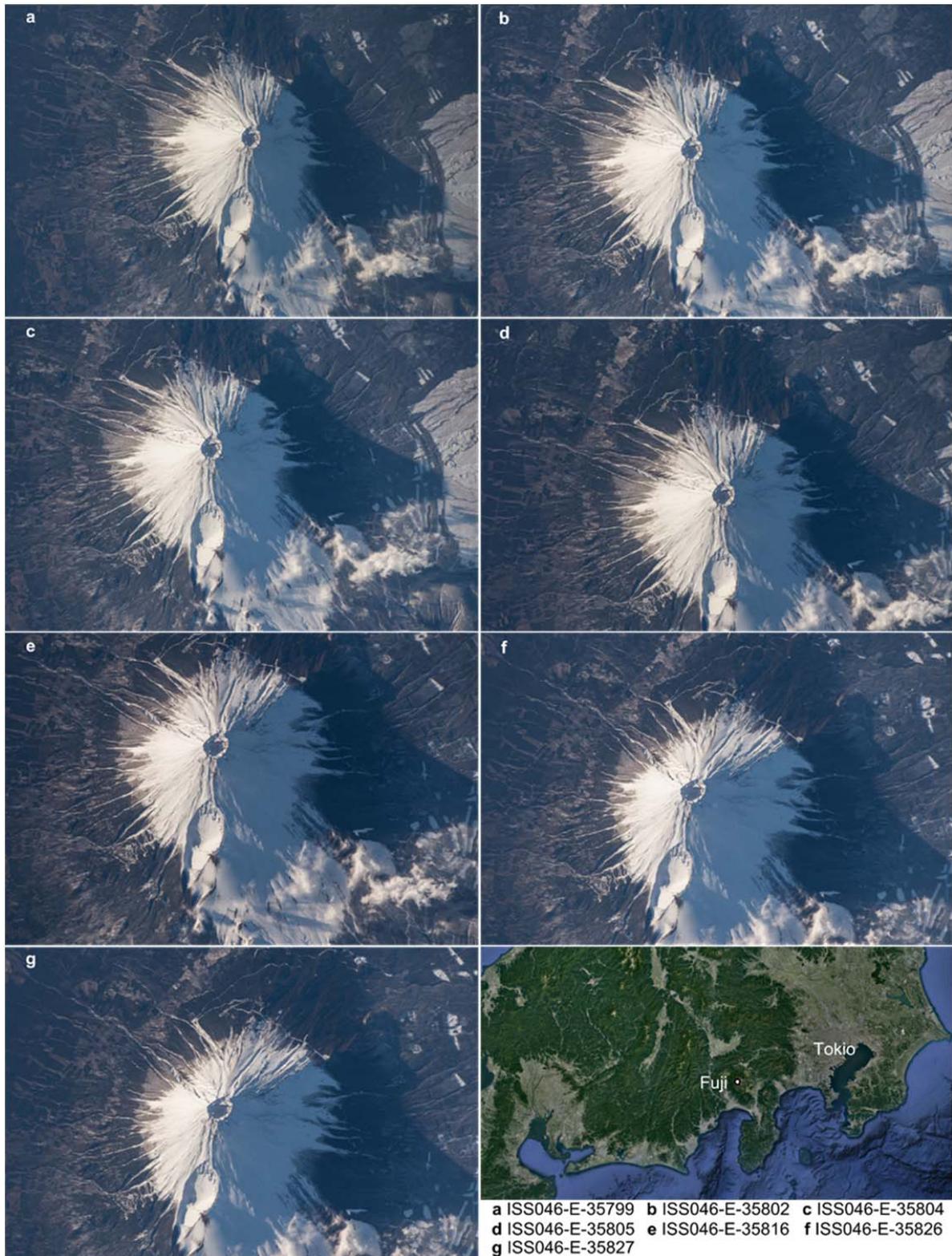


Abb. 2: Der westlich von Tokio gelegene Vulkan Fuji von der ISS aus betrachtet. ISS Bild ID siehe Abbildung. Quelle: Earth Science and Remote Sensing Unit, NASA Johnson Space Center

machen es jedoch schwer, ein georeferenziertes 3D-Modell zu erstellen. Von den 32 Bildern war ein Minimum von 7 Bildern notwendig um ein „visuell ansprechendes“ 3D-Modell zu erzeugen. Im Fuji-Modell traten jedoch relativ viele Fehler auf; diese konnten durch die Verwendung von 5 manuell gesetzten Markierungspunkten deutlich reduziert werden. In Abbildung 3 ist eines der sieben Originalbilder mit blauen Referenzpunkten zu sehen. Diese werden basierend auf den manuell ausgewählten Markierungspunkten (grüne Fähnchen) automatisch vom Programm gesetzt (AGISOFT 2018). Die manuelle Erstellung von Punkten war in diesem Beispiel von geringem Aufwand, da die Gesamtzahl nur 35 (7×5) beträgt. Das Programm errechnet basierend auf der Überlappung der Bilder und der unterschiedlichen Aufnahmewinkel die genaue Position der Kamera. Aus diesen Daten werden eine 3D-Punktwolke und ein Mesh berechnet. Besonders Bildbereiche mit Wolken führen oft zu Fehlern (Abb. 4 Punktwolke).

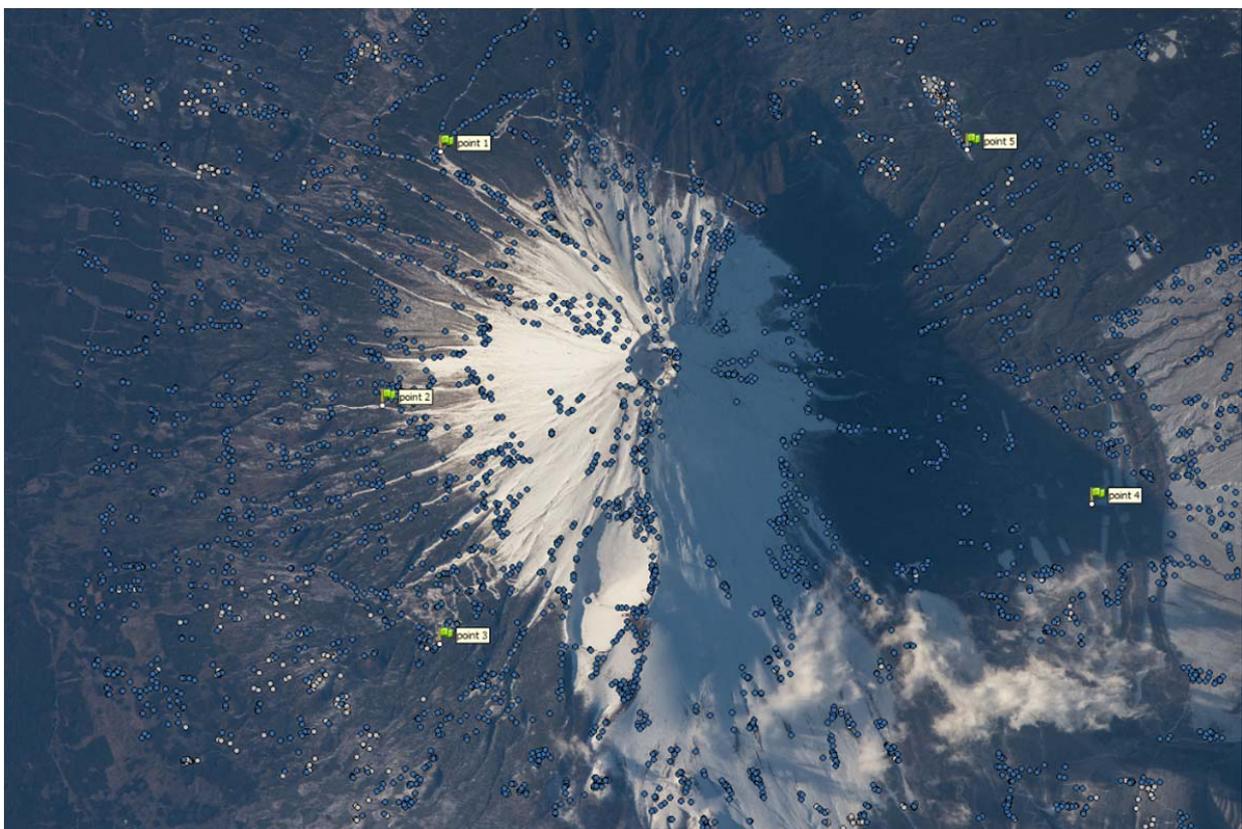


Abb. 3: Astronautenbild vom Fuji mit Referenzpunkten

Auf dieses Mesh werden dann die einzelnen Bilder projiziert und daraus die Textur erzeugt. Die Ergebnisse können als einfaches, frei drehbares 3D-Modell (Abb. 5) dargestellt werden; ergänzend können auch Anaglyphenbilder (MICHEL 2013), die einen dreidimensionalen Seheindruck vermitteln, erzeugt werden. Das vom Fuji erstellte 3D-Modell kann auch als animiertes PDF aus Agisoft PhotoScan© exportiert werden.

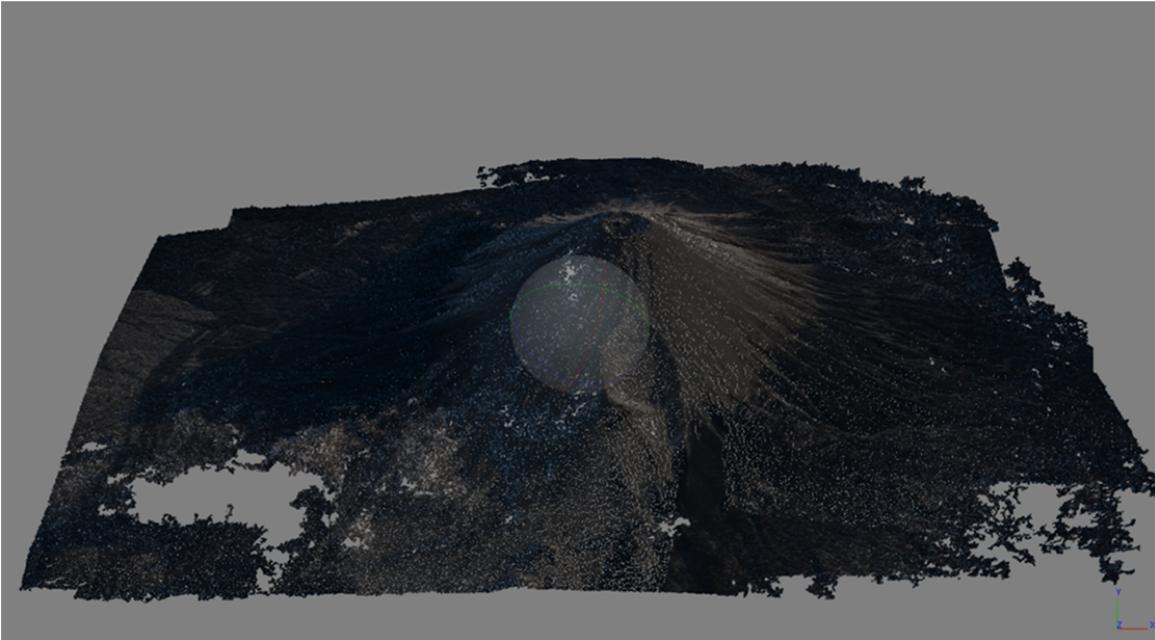


Abb. 4: 3-D Punktwolke

Neben den Astronautenbildern können auch aus HDEV-Videos 3D-Modelle abgeleitet werden (SCHULTZ et al. 2017). Dazu ist es aber zunächst erforderlich, die Videos aufzubereiten.

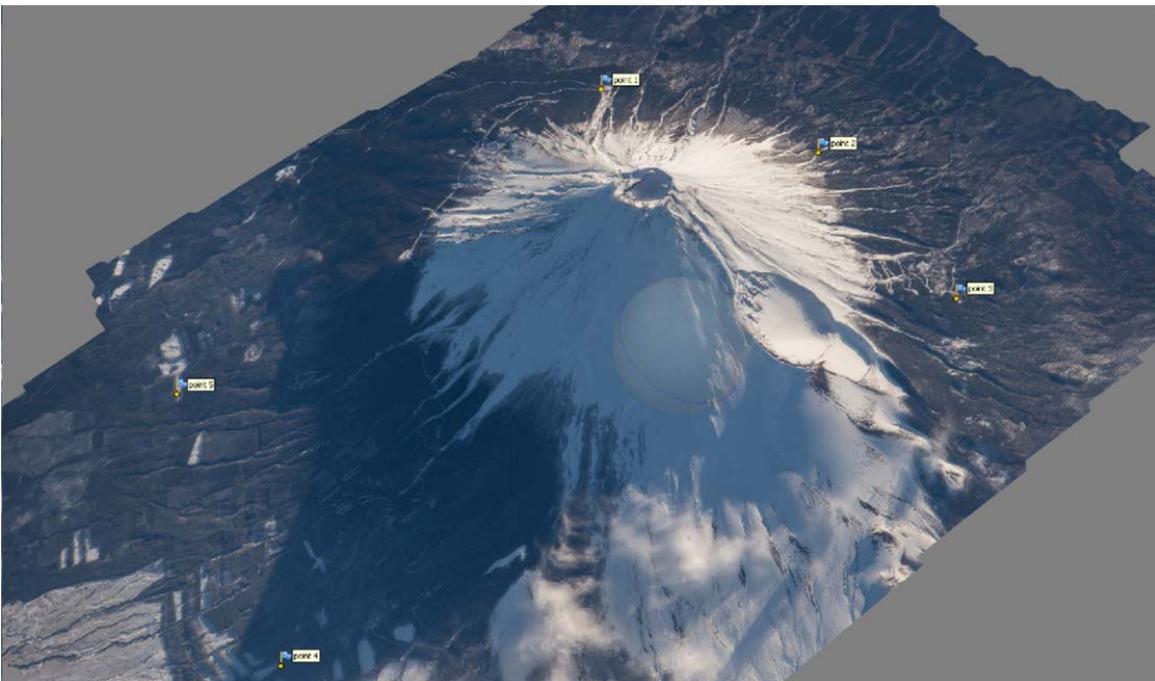


Abb. 5: 3D-Modell vom Fuji, abgeleitet aus Astronautenbildern von der ISS

Insbesondere müssen atmosphärische Einflüsse und der Kontrast verbessert werden. Hierfür werden entsprechende Algorithmen in MATLAB© verwendet (SCHULTZ et al. 2017). Im Anschluss daran werden die Videos in MATLAB in Einzelbilder zerlegt und in Agisoft Photo-

Scan© eingeladen. Die Kameras nehmen die Erde mit einer Framerate von 60 Bilder pro Sekunde auf.

Trotz der hohen Geschwindigkeit der ISS von ungefähr 7.600m/s ist es vollkommen ausreichend, nur jedes zwanzigste Bild für die Erstellung des 3D-Modells zu verwenden, da die Überlappung dann immer noch weit über 95 % beträgt.

Bei der Generierung von 3D-Modellen aus HDEV-Daten haben sich vier Aspekte als besonders schwierig erwiesen:

- die geringe Auflösung der HDEV-Videos, die selbst im Nadir nur bei ca. 500 m liegt,
- Wolken, die oft zum Auftreten von Artefakten in 3D-Modellen führen,
- sich stark ändernde Beleuchtungsbedingungen, wenn sehr große Gebiete abgedeckt werden,
- statische Bildelemente wie Sonnensegel, die immer aus demselben Kamerawinkel betrachtet werden und aus denen somit kein stereoskopisches Bild berechnet werden kann.

Statische Bildelemente können den dreidimensionalen Seheindruck der gesamten Szene negativ beeinflussen. Idealerweise sollten deswegen solche Bereiche aus den einzelnen Bildern herausgeschnitten werden.

Der nächste Schritt ist es, gewonnene Erkenntnisse aus dem 3D-Fuji-Modell (Abb. 5) auf die HDEV-Videos anzuwenden. Bisher wurden aus HDEV-Videos nur 3D-Modelle ohne die Verwendung von manuell gesetzten Markierungspunkten abgeleitet. Für die Visualisierung im Schulunterricht ist die Auflösung von HDEV vollkommen ausreichend. Auf der ISS sind auch schon höher auflösende Kameras und Sensoren im Einsatz und in der Planung, somit erlangt die ISS auch eine immer größer werdende Bedeutung für die Erdbeobachtung (STEFANOV & EVANS 2014, SCHULTZ et al. 2017).

3.2 Augmented Reality Apps

E-Learning ist, sowohl an den Hochschulen, als auch an Schulen, kein neues Konzept, jedoch können interaktive Lernmaterialien den SuS helfen, autodidaktische Kompetenzen zu entwickeln, und ihre Fähigkeiten zur Selbstorganisation stärken z. B. durch computergestützte Lerneinheiten oder durch die selbstständige Internetrecherche (VOß et al. 2011). Relativ neu hingegen ist jedoch der Einsatz von Augmented Reality (AR, erweiterte Realität), mit der analoge Lernmaterialien z. B. durch Smartphone Apps um die virtuelle Welt erweitert werden können. Smartphones bzw. m-learning (KOROCU & ALKAN 2011) Applikationen haben den großen Vorteil gegenüber Computern, dass sie in den Klassenräumen nahezu ubiquitär vorhanden sind und die SuS sehr leicht zu begeistern sind, neue Apps auszuprobieren (NMC 2017, WEISER 1991). AR basiert auf der Aufnahme von Echtzeit-Kamerabildern, die durch eine Applikation erkannt und mit hinterlegten Zusatzinformationen auf dem Display überlagert werden (HÖLLERER & FEINER 2004, DUNLEAVY et al. 2009).

Im Rahmen von Columbus Eye und KEPLER-ISS wurden bisher zwei Arbeitsblätter, die sich auch Augmented Reality (HÖLLERER & FEINER 2004) zu Nutze machen namens „Im Auge des Sturms“ und „Aralkum – vom See zu Wüste“, entwickelt. Die SuS nehmen mit ihrem Smartphone die im Arbeitsblatt platzierten Marker, z. B. ein Satellitenbild vom Aralsee, auf. In ihrem Display wird der Marker durch eine interaktive Zeitreihe von Satellitenbildern (hier Landsat und Sentinel) ersetzt, mit der sie das Schrumpfen des Aralsees anschaulich nachvollziehen können.

Durch die Überlagerung und Bereitstellung von Zusatzinformationen können sie im Arbeitsblatt die verschiedenen Uferlinien einzeichnen und einfache Flächenberechnungen durchführen (Abb. 6). In der App „Im Auge des Sturms“ können die SuS in der Boden- und Höhenwetterkarte die Zugbahn und Zuggeschwindigkeit des Zyklons Maysak nachvollziehen und eigene Prognosen und Berechnungen durchführen.



Abb.6: Aralkum-App

Die Apps wurden mit dem Android Developer© erweitert mit Vuforia© und können über das Columbus Eye-Portal und den Google Play Store© installiert werden. Eine Version für das iPhone ist in Vorbereitung.

3.3 Schülerwettbewerb Self-eSTEAM

Mit dem Schülerwettbewerb Self-eSTEAM ist die Herangehensweise für die Stärkung der MINT Kompetenz bei den SuS eine andere. Hier werden nicht auf Erdbeobachtungsdaten von der ISS basierende Unterrichtsmaterialien für die MINT Fächer entwickelt, sondern die SuS sollen eigene interdisziplinäre Projektideen an der Schnittstelle zwischen Kunst, Naturwissenschaft und Ingenieurwesen entwickeln und umsetzen.

Die Wortschöpfung Self-eSTEAM kombiniert den englischen Ausdruck self-esteem (dt. Selbstwertgefühl) über das e des e-learning mit der englischen Abkürzung STEAM. Sie entspricht in etwa dem deutschen ‚MINT‘ plus Kunst und repräsentiert die naturwissenschaftlichen Fächerschwerpunkte science, technology, engineering, und mathematics in Kombination mit arts. Ziel des Wettbewerbs ist die künstlerische Auseinandersetzung der SuS mit den Naturwissenschaften unter Integration der ISS-Videos und sonstigen Erdbeobachtungsdaten von der ISS. Hierbei können sowohl Kollagen, Filme oder Bilder angefertigt werden. Es besteht auch die Möglichkeit, etwas zu programmieren, z. B. mit einem Raspberry Pie, oder auch politische Fragestellungen mit den Daten zu adressieren. Das Motto „Naturwissenschaft trifft Kunst und Gesellschaft“ kann frei umgesetzt werden. Der Wettbewerb richtet sich an die SuS der Sekundarstufe I, teilnahme-

berechtigt sind ganze Schulklassen, AGs oder einzelne Teams unter der Leitung eines Lehrkörpers. Da der Wettbewerb Alexander Gersts Raumflug im Jahr 2018 begleiten soll, können die eigenständig erstellten Beiträge innerhalb des Zeitraums vom 01.03. bis zum 31.10.2018 eingereicht werden. Im Nachgang werden die Beiträge durch eine Jury begutachtet und prämiert. Die ersten drei Plätze werden zu einem Astronautentreffen eingeladen.



Abb. 7: Teaser des Wettbewerbs Self-eSTEAM

4 Ausblick

Die oben dargelegte Vorgehensweise kann auch auf die vom japanischen Experimentmodul „KIBO“ aufgenommenen 4K-Videos angewendet werden. Die hier verwendete Kamera ist extrem lichtempfindlich, sodass sie selbst in der Nacht Aufnahmen von der Erde machen kann. Da die Kameraeinstellungen hier, im Gegensatz zu den HDEV-Kameras, frei wählbar sind, können auch sehr gute Aufnahmen unter schwierigen Beleuchtungsverhältnissen aufgenommen werden. Ein noch leistungsfähigeres Kamerasystem soll auf der ISS im Rahmen des in der Vorbereitung befindlichen DIEGO-Projektes installiert werden. „DIEGO – Dynamische Infrarot-Erdbeobachtung im ISS-Orbit“ ist eine gemeinsame Initiative der Arbeitsgruppe Geomatik der Ruhr-Universität Bochum und der Remote Sensing Research Group (RSRG) der Universität Bonn. DIEGO wird die einzigartigen Vorteile des ISS-Orbits für die Erdbeobachtung nutzen und erstmals räumlich sehr hochauflösende (<60m) multispektrale Daten im sichtbaren Wellenlängenbereich und nahen Infrarot (VNIR) sowie im mittleren (MIR) und thermalen Infrarotbereich (TIR) von der Erdoberfläche aufnehmen. DIEGO wird die erforderliche räumlich höher auflösende multispektrale Infrarot-Sensortechnologie bereitstellen, die zur Ableitung von essentiellen Klimavariablen wie z. B. „Fire disturbance“ notwendig ist. DIEGO verfügt sowohl über einen Sternensensor zur genauen Georeferenzierung als auch über ein freies schwenkbares hochauflösendes Kamerasystem, welches mit den 11 Bändern im VNIR, MIR und TIR koregistriert ist. Hier besteht somit auch die Möglichkeit, Thermaldaten mit Videomaterial zu verschneiden und sehr hochaufgelöste multispektrale 3D-Modelle zu generieren.

Zudem soll das DIEGO Projekt, neben den Beitrag zur Grundlagenforschung und zur angewandten Wissenschaft, auch das Wissen über die Schlüsseltechnologien Raumfahrt und Erdbeobachtung im Schulunterricht verbreiten und vertiefen, und neue Wege des naturwissenschaftlichen Wissenstransfers in der digitalen Bildung und des erfahrbaren Lernens beschreiten.

5 Literaturverzeichnis

- AGISOFT PHOTOSCAN (2018): User Manual Professional Edition Version 1.4 http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_en.pdf, letzter Zugriff 19.01.2018.
- DUNLEAVY, M., DEDE, C., & MITCHELL, R., 2009: Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *Journal of Science Education and Technology*, **18**, 7-22.
- GAO, B.-C. LI, R.-R. 2010: Spectral calibrations of HICO data using atmospheric bands and radiance adjustment based on HICO and MODIS data comparisons. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*.
- HÖLLERER T, & FEINER S.2004: Mobile augmented reality. In: Karimi H, Hammad A (eds.): *Teleinformatics: location-based computing and services*. Taylor & Francis Books, London.
- KORUCU, A.T. & ALKAN, A., 2011: Differences between m-learning (mobile learning) and e-learning, basic terminology and usage of m-learning in education. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, **15**, 1925-1930.
- MICHEL, B., 2013: *Digital Stereoscopy: Scene to Screen 3D Production Workflows*, Stereoscopy News, Stereoscopy News, Belgien.
- NEW MEDIA CONSORTIUM (NMC) (2017): *NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition*. <http://cdn.nmc.org/media/2017-nmc-horizon-report-he-EN.pdf>, letzter Zugriff 22.1.2018.
- ORTWEIN, A. KREBS, B., MEHRING, J., SCHULTZ J. RIENOW, A. 2017: Neue Dimensionen der Erdbeobachtung im Schulunterricht: Raumfahrt, 3-D und Augmented Reality. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, Band 26, T. Kersten (Hrsg.), 332-341.
- RIENOW, A., GRAW, V., HEINEMANN, S., SCHULTZ, J., SELG, F. & MENZ, G., 2016: *Mathematikunterricht aus dem All – Interdisziplinäre Lernwerkzeuge für den Einsatz von Erdbeobachtung im Schulunterricht*. Dreiländertagung der DGPF, der OVG und der SGPF, Bern, Switzerland, 2016, 7.-9. June, 428-435.
- RIENOW, A., GRAW, V., MENZ, G., SCHULTZ, J., SELG, F. & WEPPLER, J., 2015a: *Experiencing Space by Exploring the Earth – Easy-to-use Image Processing Tools in School Lessons*. IAC-15-E.1.2.2, 66th International Astronautical Congress, Jerusalem, Israel, 2015, 12-16 October.
- RIENOW, A., HODAM, H.; SELG, F. & MENZ, G., 2015b: *Columbus Eye: Interactive Earth Observation from the ISS in Class Rooms*. GI-Forum. *Journal for Geographic Information Science*, Wichmann, Berlin, 349-353.
- RUNCO, S., 2015: *International Space Station – High Definition Earth Viewing (HDEV)*, http://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/917.html, letzter Zugriff 19.01.2018.

- RUPNIK, E., PIERROT DESEILLIGNY, M., DELORME, A., & KLINGER, Y. (2016). Refined satellite image orientation in the free open-source photogrammetric tools APERO/MICMAC. *ISPRS Annals Photogramm Remote Sens Spatial Information Sciences*, **III-1**, 83-90. doi:10.5194/isprsannals-III-1-83-2016.
- SCHULTZ, J., ORTWEIN, A. & RIENOW, A. 2017: Technical Note: Using ISS Videos in Earth Observation - Implementations for Science and Education. In: *European Journal of Remote Sensing*.
- Stefanov, W. & Evans, C.A., 2014: The international space station: A unique platform for remote sensing of natural disasters. *JSC Biennial Research Report*, 108-110.
- Stefanov, W., Evans, C.A., & Dasgupta, R. 2011: NASA Earth observations resources. <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110019797.pdf>, letzter Zugriff 19.01.2018.
- VOß, K., GOETZKE, R., HODAM, H. & RIENOW, A., 2011: Remote Sensing, New Media and Scientific Literacy - A New Integrated Learning Portal for Schools Using Satellite Images. *Learning with GI 2011 - Implementing Digital Earth in Education*. Berlin, 172-180.
- VOß, K., HODAM, H. & GOETZKE, R., 2010: Feuerspuren im Satellitenbild – Mit Fernerkundung die Bewertungskompetenz stärken. *Learning with Geoinformation IV -Lernen mit Geoinformationen IV*, Jekel, T., Koller, A., Donert, K. & Vogler, R. (Hrsg.), Wichmann, Berlin, 171-181.
- VUFORIA DEVELOPER'S GUIDE, 2016: <https://library.vuforia.com/>, letzter Zugriff am 22.01.2018.
- WEISER, M. 1991: The Computer for the 21st Century (1991). *Scientific American*, **265**(3), 94-104.