

Das Klassenzimmer im Weltraum – Anwendungen zur Erdbeobachtung zwischen Realität und Virtualität

CLAUDIA LINDNER¹, CHRISTINA MÜLLER², ANNETTE ORTWEIN¹, HENRYK HODAM¹, CARSTEN JÜRGENS¹, JOHANNES SCHULTZ¹, FABIAN SELG¹ & ANDREAS RIENOW¹

Zusammenfassung: Das Projekt Columbus Eye / KEPLER ISS hat sich zum Ziel gesetzt, die MINT-Bildung an Schulen mit Bildern aus dem All zu verbessern, und stellt dafür digitale Lehreinheiten bereit. Diese fördern das wissenschafts-propädeutische Lernen und motivieren Schülerinnen und Schüler, sich stärker mit MINT-Themen auseinanderzusetzen und diese als Berufsfelder für sich zu entdecken. Neben den Lernmodulen werden auch Augmented-Reality-App-unterstützte Arbeitsblätter entwickelt und die Lehre mit Virtual Reality erprobt. In Kooperation mit einem Gymnasium in Nordrhein-Westfalen werden die Lehrmodule in einem eigenständigen Fernerkundungs-Wahlpflichtfach evaluiert. Nach Kursabschluss des ersten Jahrgangs erfolgte kürzlich die erste vollständige Evaluation.

1 Einleitung

„Man erkennt, dass die Erde wirklich nur eine Ansammlung aus kosmischem Staub ist, der sich zu einem Felsen verklumpt hat und über dem eine hauchdünne, zerbrechlich wirkende Atmosphäre liegt. Um das zu begreifen, habe ich den Blick aus dem Fenster gebraucht.“ – so der erste deutsche Kommandant auf der Internationalen Raumstation (ISS), Alexander Gerst. Die Erde im Weltraum schweben zu sehen, ist für Astronauten ein einschneidendes Erlebnis. Es verschiebt den Blick hin zu mehr Nachhaltigkeit im ökologischen wie auch im sozialen Sinne. Ohne tiefgreifende Erkenntnisse in Naturwissenschaft und Technik wäre dieser außergewöhnliche Blick auf unseren Planeten nicht möglich. Und so wird die Notwendigkeit für MINT-Berufe deutlich, die nicht nur die Raumfahrt selbst erst ermöglichen, sondern auch die Grundlage für Erdbeobachtung im Sinne des Umweltschutzes, der Ernährungssicherheit oder der Katastrophenhilfe bilden.

Ziel des Projektes Columbus Eye und seines Nachfolgers „KEPLER ISS – Kompetenzorientiertes, erfahrungsbasiertes, praktisches Lernen mit Erdbeobachtung von der ISS“ ist es einerseits, Schülerinnen und Schülern (SuS) den Blick der Astronauten im Rahmen des regulären Unterrichtes zu vermitteln, andererseits, ihnen mit wissenschafts-propädeutischem Lernen die Naturwissenschaften näher zu bringen und ihre Methodenkompetenzen zu stärken. Das Konzept aus Intermedialität, Interdisziplinarität und Interaktivität hat sich im mehrjährigen Versuch bei SuS bewährt. Dabei verschiebt sich der Fokus mehr und mehr von der Nutzung von stationären Computern hin zu mobilen Smartphones, Tablets und neuerdings VR-Brillen. Mit diesen Geräten lässt sich nicht nur die Realität „erweitern“, indem statische Bilder beispielsweise mit Videos, 3D-Animationen oder

¹ Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Arbeitsgruppe Geomatik, Universitätsstr. 150, D-44801 Bochum, E-Mail: [claudia.lindner, annette.ortwein, henryk.hodam, carsten.juergens, johannes.schultz, fabian.selg, andreas.rienow]@rub.de

² Gymnasium Siegburg Alleestraße, Alleestraße 2, D-53721 Siegburg, E-Mail: christina.mueller@gymnasium-alleestrassen.de

sonstigen Zusatzinformationen angereichert werden, sondern lassen sich auch virtuelle Erlebnisse wie ein Flug über die Erde als wissenschafts-propädeutische Lerneinheit nutzen.

2 MINT-Nachwuchs: Mangelware

Laut dem MINT-Frühjahrsreport 2018 (IW 2018) betrug die Differenz zwischen offenen Stellen und Arbeitslosen mit entsprechender Qualifikation im April 2018 in Deutschland 314.800 Personen, davon 33% im Experten- bzw. Akademikerbereich. Die reale Differenz, die u.a. durch Mobilitätsfaktoren und sonstige Mismatch-Probleme entsteht, liegt mit 485.600 Personen noch deutlich darüber. Gleichzeitig wählen immer weniger junge Menschen eine MINT-orientierte (Aus-)Bildung, obwohl die persönlichen und gesellschaftlichen Perspektiven gut aussehen. Befristung ist sowohl bei MINT-Akademikern als auch bei MINT-Fachkräften geringer als in sonstigen Fachrichtungen, beide sind häufiger in Vollzeitstellen und leitenden Positionen tätig und erzielen höhere Bruttolöhne als Personen mit vielen vergleichbaren Ausbildungs- und Studienabschlüssen anderer Fachrichtungen (IW 2018).

Gründe für die immer seltenere Wahl von MINT-Berufen Deutscher Jugendlicher werden vom Report (IW 2018) mit Blick auf die PISA-Studie von 2015 (OECD 2018) genannt: MINT-Lehrkräfte fehlen in so großer Anzahl, dass 41% der Schulen eine Beeinträchtigung des Unterrichts spüren, 18% eine starke Beeinträchtigung (IW 2018) und für die Zukunft werden durch eine zusätzliche Nachwuchsproblematik in MINT-Lehrfächern noch größere Lücken erwartet (KLEMM 2015); SuS haben zu wenig Freude an MINT-Fächern und daher auch nicht den Wunsch, später einen MINT-Beruf zu ergreifen; Computernutzung findet in zu geringem und teilweise falschen Ausmaß statt, da entsprechende Unterrichtskonzepte und Weiterbildungen fehlen (IW 2018).

Dementsprechend gibt es mehrere Anknüpfungspunkte, um die Zukunft der MINT-Berufe zu sichern. MINT-Bildung muss jedoch schon lange vorher in der frühkindlichen Ausbildung beginnen, und die Kinder anschließend durch ihre Schullaufbahn begleiten. Hierzu muss Infrastruktur auf allen Schulebenen geschaffen oder ausgebaut werden. Vor allen Dingen sollte ein naturwissenschaftlicher Unterricht die SuS durch Lebensnähe und Anwendungsorientiertheit motivieren. Naturwissenschaftliche Wettbewerbe und Arbeitsgruppen wirken sich ebenfalls positiv auf die Kompetenzen der SuS aus. In diesem Zusammenhang muss auch die Arbeit mit Computern in den Schulen verbessert werden. Konzepte zur Nutzung, die sich vorteilhaft auf die technischen und Fachkompetenzen auswirken, müssen erstellt und den Lehrerinnen und Lehrern (LuL) vermittelt werden. V.a. Recherche- und Gruppenarbeit am Rechner führen zu Leistungsverbesserungen. Schließlich muss die Berufsorientierung verbessert werden, die SuS über die vielen Vorteile einer MINT-Ausbildung oder eines MINT-Studiums informiert (IW 2018).

3 Erbeobachtung von der ISS als Anknüpfungspunkt

MINT-Schulmaterialien haben die Aufgabe, komplexe und abstrakte Themen anschaulich und spannend zu vermitteln. Das mangelnde Interesse, das im MINT-Report (IW 2018) identifiziert wurde, weist jedoch darauf hin, dass dies nicht immer gelingt. Eine Möglichkeit, das Interesse zu wecken, ist der bis heute beliebte Kinder-Berufswunsch Astronaut, der bei einer Befragung 2018

(APPINIO RESEARCH 2017) unter den zehn beliebtesten Berufen als Kind rangierten. 2% der Mädchen und 4% der Jungen gaben diesen Berufswunsch an. MINT-Berufe sind in den Befragungsergebnissen rar: Abgesehen vom Wunsch „Astronaut“ haben unter den beliebten Kinder-Berufswünschen nur die medizinischen Berufe einen MINT-Bezug (APPINIO RESEARCH 2017).

Der Beruf des Astronauten mag vordergründig als nicht realistischer Berufswunsch abgetan werden. Doch er bildet den Einstiegspunkt für die Faszination Raumfahrt, die vor allen Dingen eine Ingenieurstechnische Teamleistung ist und ein hohes Maß an Interdisziplinarität bietet. Ihre zahlreichen Anwendungsfelder reichen von der Mathematik über die Physik, und Informatik, aber auch Biologie, Biotechnologie Geowissenschaften und Astronomie zählen dazu. Für nahezu jedes Thema aus den MINT-Fächern der Schullehrpläne findet sich eine Anwendung in der bemannten Raumfahrt. Hierzu gehört auch die Erdbeobachtung, die sowohl von Astronauten mit Fotos und Videos aus der Cupola, als auch mit mehreren Erdbeobachtungssensoren an der Außenhülle der Internationalen Raumstation ISS erfolgt. Insgesamt wurden und werden an der ISS 52 Erdbeobachtungsexperimente durchgeführt und es kommen in Kürze noch weitere hinzu (NASA 2018).

Wie die Raumfahrt ist auch die Erdbeobachtung, bzw. Fernerkundung, vielseitig, was die benötigten MINT-Kenntnisse und Anwendungsgebiete angeht. Themen aus den Curricula aller MINT-Fächer sind notwendig, um Satellitenbilder aufzubereiten und quantitativen Analysen zu unterziehen. Die Ergebnisse fließen in Untersuchungen aller Bereiche der Geowissenschaften ein und lassen sich daher in vielen verschiedenen Lehrthemen einsetzen, vom Kartenlesen in der 5. Klasse bis zur Landwirtschaft nach Klima- und Vegetationszonen am Ende der Qualifikationsphase (MSB NRW 2014). Gleichzeitig sind Satellitenbilder hervorragend geeignet, um Themen gezielt und aktuell zu visualisieren und stellen somit ein sinnvolles Lehrmaterial dar. 13 von 16 der Deutschen Bundesländer haben daher die Benutzung von Satellitenbildern in ihren Lehrplänen verankert (SIEGMUND 2011). Die qualitative und quantitative Analyse der Bilder lehrt die SuS räumliches Denken und Entscheiden sowie Verantwortungsbewusstsein für unseren Planeten. Zudem fördert das empirische Arbeiten mit Satellitendaten die Methodenkompetenz der SuS. In einer zunehmend digitalisierten Welt stellen Fähigkeiten in der Verarbeitung von digitalen Fernerkundungsdaten zudem eine wichtige Qualifikation dar (VOß et al. 2007).

Das Projekt Columbus Eye / KEPLER ISS nutzt Erdbeobachtungsdaten von der ISS um die Faszination für bemannte Raumfahrt mit dem Kompetenzerwerb für MINT-Fächer zu verbinden und so die SuS für eine spätere MINT-(Aus-)Bildung zu begeistern und zu stärken (RIENOW et al. 2015a). Zusätzlich nutzt das Projekt „FIS – Fernerkundung in Schulen“ Fernerkundung von vielen verschiedenen Satelliten für die gleichen Ziele. Alle drei Projekte stellen kostenlos Lehrmaterialien zur Verfügung, die als eigenständige Schulstunden oder als Ergänzung zum regulären Unterricht eingesetzt werden können (RIENOW et al. 2015b). FIS, Columbus Eye und KEPLER ISS werden bzw. wurden vom DLR aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert (Förderkennzeichen 50EE1703, 50JR1307 und 50JR1701).

3.1 Sensoren

Von den 52 vergangenen und laufenden Erdbeobachtungsexperimenten auf der ISS wurden 5 für die Erarbeitung von Lehrmaterialien ausgewählt. Diese stellen ihre Daten frei zur Verfügung, die Daten sind in weit verbreiteten GIS-Programmen zu verarbeiten und nutzbar für Themen aus den Lehrplänen der Deutschen Bundesländer.

Das Columbus-Eye-Projekt startete in 2014 mit den Daten des NASA „High Definition Earth Viewing“-Experiments (HDEV), welches im März 2014 an der ISS angebracht wurde und noch immer andauert. Vier HD-Kameras, die nicht speziell für die Bedingungen im All angepasst, sondern im Handel erhältlich sind, wurden am Columbus External Payload Adapter des europäischen Columbus-Moduls angebracht, um zu testen, wie lange diese unter den Extrembedingungen durchhalten würden (MURI et al. 2017; RUNCO 2011). Die Ergebnisse des Experiments stehen noch aus, da die Kameras weiterhin klare und verwertbare Bilder liefern und die Anzahl der ausgefallenen Pixel im einstelligen Bereich liegt (Stand: Dezember 2018). Die Kameras sind fest auf ihrem Modul angebracht, sodass in der Theorie immer eine Kamera in Flugrichtung nach vorn, eine nach unten (Nadir) und zwei nach hinten gerichtet sind. In der Realität wird die ISS jedoch regelmäßig gedreht, bspw. für Andockmanöver der Sojus-Kapseln, sodass die Kameras gelegentlich von ihren gedachten Sichtrichtungen abweichen. Auch die Einstellungen der Kameras sind fixiert, sodass das Bild weder vergrößert noch die Helligkeit verändert werden kann. Nacht- oder Sternenaufnahmen sind daher nicht möglich. Die Kameras werden immer im Wechsel betrieben und senden in einem kontinuierlichen Zyklus einen Live-Stream. Das Team von Columbus Eye / KEPLER ISS hat die Erlaubnis, in den Kamera-Zyklus einzugreifen, um beispielsweise bestimmte Phänomene wie Vulkanausbrüche, Überflutungen, Waldbrände oder Hurrikane zu verfolgen. Die Videos werden exklusiv auf den Servern des Projektes gespeichert, aktuell liegen 52 TB vor (Stand: Dezember 2018). Die Aufbereitung einer Video-Auswahl findet in Matlab© statt (SCHULTZ et al. 2018). Eine Auswahl von Videos befindet sich auf der Columbus-Eye-Website unter columbuseye.uni-bonn.de/highlights/.

Nachtvideos entstehen im japanischen Projekt METEOR, das ebenfalls eine handelsübliche HD-Kamera an der ISS befestigt hat, welche seit März 2016 läuft und noch aktiv ist. Anders als bei HDEV wird hier kein kontinuierlicher Stream an die Erde gesendet, sondern auf der Station mit einem Algorithmus für das Projekt relevante Video-Ausschnitte identifiziert und nur diese übertragen. Dies hängt mit der niedrigen Datenübertragungsrate von der ISS zusammen. Ziel des Projektes ist die Suche und chemische Analyse von Meteoriten (PERC o.J.). Eines der Videos wird eingesetzt, um die Problematik der Lichtverschmutzung sowie des Energieverbrauchs in Mitteleuropa zu vermitteln, und wurde zu diesem Zweck in zwei Apps zu diesen Themen eingebaut (COLUMBUS EYE; FIS).

Der Hyperspektralsensor HICO (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean, gestartet September 2009, inaktiv seit September 2014) nahm insgesamt mehr als 10.000 hyperspektrale Bilder von Küstengebieten, Seen, Flüssen und Ästuaren auf, die der Untersuchung der Klarheit von Küstengewässern, Bodentypen, Bathymetrie und Küstenvegetation dienen (CORSON et al. 2008). HICO-Aufnahmen vom Eerie-See werden in einer App-gestützten Lehrinheit eingesetzt, die den SuS Wasserverschmutzung und Algenblüte näherbringen soll. Auch Daten des neuen ISS-gebundenen Hyperspektralsensors DESIS (DLR Earth Sensing Imaging Spectrometer) sollen eingesetzt werden, sobald eine Auswahl frei zur Verfügung steht.

ISS RapidScat (gestartet September 2014, inaktiv seit August 2016) nutzte ein Scatterometer, um oberflächennahe Windgeschwindigkeiten und -Richtungen über dem Meer zu messen. Die Daten werden in einer App-gestützten Lehrinheit über die Westwindzone, Winterstürme und ihr Potential zur Windenergieerzeugung eingesetzt, das sich auch mit verschiedenen Atmosphärenmessungen auseinandersetzen soll.

Das LiDAR-Instrument von CATS (Cloud-Aerosol Transport System, gestartet Januar 2015, inaktiv seit Oktober 2017) erstellte Profile der Atmosphäre unterhalb der ISS, um Aerosole und Wolken zu analysieren. Wöchentliche Highlights mit Erklärungen wurden vom CATS-Team bereits während des Projektes erstellt (MICGILL et al. 2015) und werden von KEPLER ISS als Basis für Lehreinheiten genutzt, beispielsweise um Natürliche und Anthropogene Ursachen von Luftverschmutzung und ihre Auswirkungen zu diskutieren.

Am 9. Juli 2018 wurde mit dem ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS) ein vielversprechender multispektraler Erdbeobachtungssensor auf der ISS in Betrieb genommen. Zusammen mit drei weiteren Instrumenten – Global Ecosystem Dynamics Investigation (GEDI), dem Orbiting Carbon Observatory 3 (OCO-3) und der Hyperspectral Imager Suite (HISUI) bildet er ein ISS-basierter Erdbeobachtungskomplex, der für mindestens 12 Monate synchronisierte Beobachtungen in verschiedenen spektralen, zeitlichen und räumlichen Auflösungen zur Analyse von Kompositionen, Strukturen und Funktionen von Ökosystemen liefern wird (STAVROS et al. 2017). In diesem Zusammenhang wurde bereits am 8.2.2018 bekanntgegeben, dass die Firma ‚Airbus Defence & Space‘ im kommenden Jahr die Plattform ‚Bartolomeo‘ am Columbus-Labor der ISS befestigen wird, auf der ebenfalls Erdbeobachtungsexperimente durchgeführt werden sollen.

3.2 Einbindung in den Schulunterricht

Neben den Sachkompetenzen der zahlreichen, mit Satellitenbildern vermittelbaren Schulinhalte und den Methodenkompetenzen der Verarbeitung und Analyse dieser Bilder werden die Lehrmodule auch unter Berücksichtigung der Urteils- und Handlungskompetenzen der MINT-Fächer gestaltet. Interaktivität, sowohl mit technischen Hilfsmitteln als auch zwischen den SuS, ist ein Kernelement der Lehreinheiten. Durch die Verbindung von mathematischen, physikalischen und chemischen Grundlagen mit geographischen und biologischen Anwendungsgebieten in digitalen Umgebungen sind die Lehreinheiten grundsätzlich interdisziplinär. Die verschiedenen Medien, die von klassischen Arbeitsblättern über Videos hin zu kleinen GIS-Anwendungen und Augmented-Reality-Apps reichen, sorgen zudem für eine intermediale Ausbildung der SuS. Interaktivität, Interdisziplinarität und Intermedialität werden in einem moderat-konstruktivistischen, wissenschafts-propädeutischen Ansatz miteinander verbunden und fördern so die verschiedenen Kompetenzbereiche (VOß et al. 2011; ORTWEIN et al. 2016). Hierzu gehören auch Soft Skills, wie die Fähigkeit zum selbstständigen Lernen und Problemlösen, die Anwendung wissenschaftlichen Arbeitens, sowie räumliche Orientierung, Entscheidungsfindung und Verantwortungsbewusstsein (SCHULTZ et al. 2017).

Viele der in den Projekten erstellten Lehrmodule stützen sich auf kleine GIS-Anwendungen, in denen SuS zwischen ein und drei typischen GIS-Methoden auf eingebettete Satellitenbilder anwenden können (LINDNER et al. 2018). Dies erfordert die Arbeit mit Schul-Computern. Die Ausstattung vieler Schulen ist in dieser Hinsicht jedoch mangelhaft. Viele Klassen müssen sich die Nutzung weniger Rechner(-räume) teilen, die Rechner selbst sind oft veraltet und das Internet, wenn es funktioniert, ist langsam (INITIATIVE D21 2016). Dementsprechend sind die digitalen Lehrmodule der Projekte sowohl in ihrer Datengröße als auch in ihrem Ressourcenverbrauch so klein wie möglich gehalten und wurden programmiert, um auch auf veralteten Rechnern laufen zu können. Die Anwendung auf aktueller IT-Infrastruktur gestaltet sich dadurch jedoch schwierig.

Der Fokus der Projekte verschiebt sich daher langsam von Elektronischem Lernen (E-Learning) hin zu Mobilem Lernen (M-Learning), das HTML5 und Javascript auf Webseiten für die Nutzung auf Desktop-PCs genauso wie auf mobilen Geräten einsetzt, sowie Smartphone-Apps, die klassische Arbeitsblätter mit Augmented Reality bereichern und auf den Smartphones der SuS laufen, wodurch der Stand der Schul-IT-Infrastruktur für den Einsatz der Lehreinheiten irrelevant wird.

Insgesamt stehen auf der Columbus-Eye-Website 9 Lehreinheiten zur Verfügung, davon 5 für Geographie, 3 für Physik und 1 für Mathematik. Weiterhin gibt es 4 Observatorien, in denen die SuS annotierte HDEV-Bilder für eine Klassifizierung und somit Kartenerstellung nutzen können (COLUMBUS EYE o.J.). Auf der FIS-Website stehen 23 Lehreinheiten zur Verfügung, davon 12 für Geographie, 4 für Biologie, 3 für Physik, 2 für Mathematik und 1 für Informatik (FIS o.J.). LuL-fortbildungen finden regelmäßig statt und werden kostenfrei auf Anfrage angeboten.

3.3 Augmented & Virtual Reality

E-Learning ist für die Arbeit mit Satellitenbildern unabdingbar. Die digitalen Lernmodule, die bereits seit einigen Jahren in FIS und Columbus Eye eingesetzt werden, benutzen daher eigens programmierte kleine GIS-Anwendungen mit nur wenigen Funktionen, die das Erlernen des Umgangs mit GIS vereinfachen, im Gegensatz zu auf Spezialisten ausgerichteter Software, die auch die LuL Zeit zum Erlernen kostet und/oder kostenintensiv ist bzw. erheblich bessere und mehr Rechner erfordert, als Schulen i.d.R. zur Verfügung stehen (LINDNER et al. 2018).

Mit M-Learning wird das Konzept der hohen Verfügbarkeit und kurzer Anlernphase noch vertieft. Gerade im MINT-Bereich, in dem Experimente oft mit hohen Kosten, Platz- und Zeitverbrauch verbunden sind, bietet sich M-Learning für Experimente an, die dadurch jederzeit, überall und kostengünstig durchgeführt werden können. So kann auch das Lernen selbst mobil und noch interaktiver, als beim E-Learning, gestaltet werden. Augmented Reality stellt einen wichtigen Teil des M-Learnings dar, in dem sie die reale Umgebung mit zusätzlichen Informationen durch Abbildungen, Videos, Karten und vielem mehr erweitert (DUNLEAVY et al. 2009). Derartige Apps werden seit einigen Jahren zu Bildungs- und Forschungszwecken eingesetzt, besonders, seit die notwendigen Geräte wie Smartphones und Tablets für die breite Masse der Bevölkerung zur Verfügung stehen (WOJCIECHOWSKI & CELLARY 2013). MINT-AR-Apps sind besonders beliebt, da sie eine positive Auswirkung auf das Lernverhalten der SuS haben. Sie bleiben länger auf den Unterricht fokussiert und interessieren sich stärker für die vorgestellten Themen. Darüber hinaus lernen sie effizienter, trainieren ihre Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Selbstvertrauen und soziale Interaktion (LI et al. 2017).

Die AR-Apps werden in Unity 5.6 mit der Vuforia-Erweiterung 6.2 erstellt, wodurch sie für Android- und iOS-Smartphones anwendbar werden (VUFORIA 2016). Aktuell stehen die Apps nur für Android zur Verfügung, die Implementierung für iOS wird in Kürze erfolgen.

3.3.1 Im Auge des Sturms

Sturmsysteme, insbesondere tropische Zyklone, sind in vielen deutschen Lehrplänen einsetzbar. Das Arbeitsblatt erläutert den SuS den Aufbau eines tropischen Zyklons. Hierzu wird der Aufbau von Wetterkarten, insbesondere Isobaren, erläutert und verschiedene Beispiele gegeben. Mit Hilfe

der Augmented Reality wird aus einer Wetterkarte eine Animation und aus einem Schaubild ein Video des Taifuns von oben, aufgenommen von der ISS mit dem HDEV-Experiment.

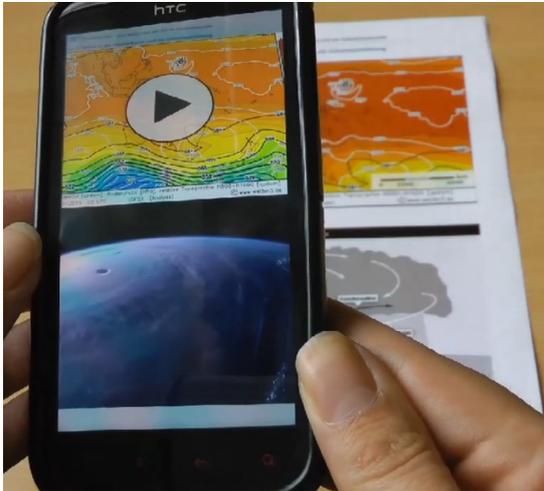


Abb. 1: Ansicht der AR-App „Im Auge des Sturms“. Die Schaubilder werden auf dem Bildschirm zu Animationen und Videos.

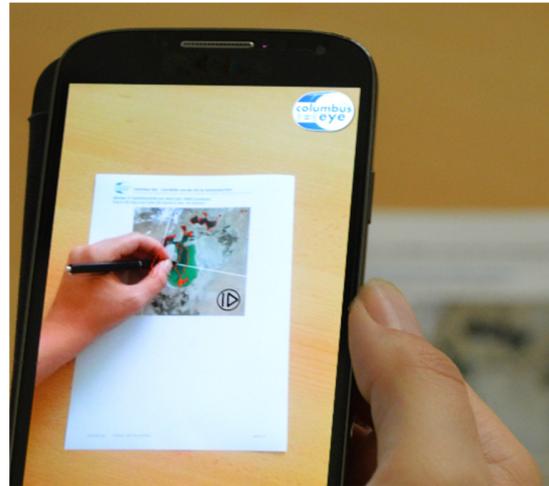


Abb. 2: Ansicht der AR-App „Aralkum“. Die Umrisse des Aralsees zwischen 2000 und 2016 werden animiert über ein Landsat-Bild von 2001 projiziert.

3.3.2 Aralkum – Vom See zur Wüste

Der Aralsee ist schon seit Jahrzehnten das Paradebeispiel von negativem menschlichem Einfluss auf die Umwelt und von Desertifikationsprozessen. Es findet Anwendung in den Lehrplänen vieler deutscher Bundesländer. Im App-gestützten Arbeitsblatt „Aralkum – Vom See zur Wüste“ lernen die SuS nicht nur etwas über die Hintergründe der Entstehung der Aralkum (-kum bedeutet Wüste), sondern auch über die aktuelle Entwicklung. Unterstützt werden sie dabei von einem HDEV-Video, das einen Überflug von September 2016 zeigt, von einer Animation von Landsat- und Sentinel-Bildern des Sees von 2000 bis 2016 sowie einer Animation der Küstenlinien im gleichen Zeitraum, die über eine Aufnahme von Sentinel-2 gelegt wird und anhand derer sie die Seefläche abschätzen sollen.

3.3.3 Erde bei Nacht – Lichtverschmutzung in Mitteleuropa

Die Metropolregion Rhein-Ruhr und das Land Belgien haben viele Gemeinsamkeiten, was Industriegeschichte und heutige Demographie angeht – und ihre Lichtverschmutzung. Der Großraum zählt mit zu den hellsten der Welt (STARE o.J.). Mit Hilfe eines Videos des japanischen METEOR-Projektes, das von London bis nach Frankfurt a.M. reicht und das mit dem Druck eines Virtual Buttons mit Orientierungspunkten versehen werden kann, wird die Lichtverschmutzung im Raum anschaulich vermittelt. Eine Lichtverschmutzungskarte basierend auf Daten des Sensors VIIRS von 2017 zeigt das Problem auf quantitative Weise.

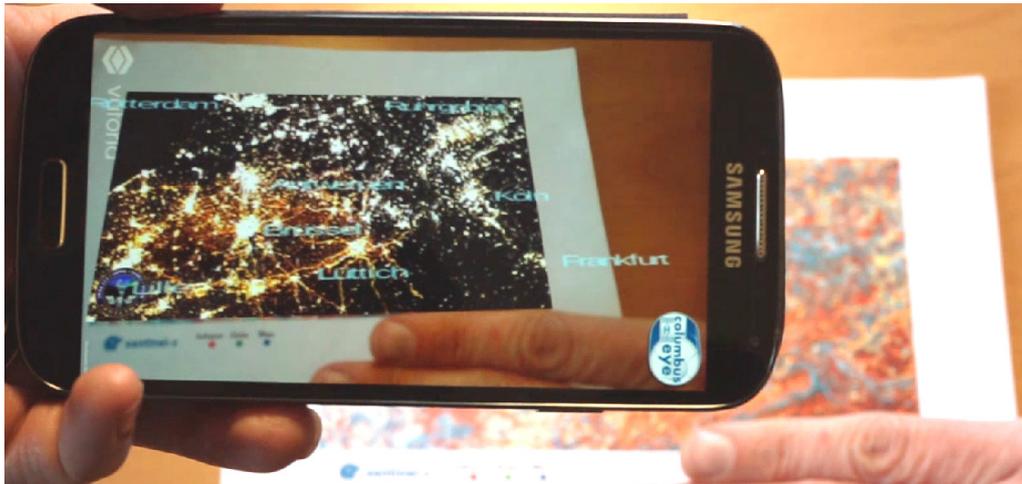


Abb. 3: Ansicht der AR-App „Erde bei Nacht“. Über eine Sentinel-2-Szene des Ruhrgebiets wird ein METEOR-Video gelegt, an das über das Verdecken eines bestimmten Bildteils Städtenamen zur Orientierung gelegt werden.

3.3.4 Das Erde-Mond-System

Als einzige Physik-App beschäftigt sich diese mit Gravitation und Kepler'schen Gesetzen. SuS können anhand des Beispielraums Norddeutsche Bucht experimentieren, wie sich der Tidenhub bei verschiedenen Abständen des Mondes von der Erde auswirken würde. Anhand eines SRTM-Höhenmodells werden Hoch- und Niedrigwasser bei Halbmond simuliert und wahlweise über einem Sentinel-2-Bild oder dem Höhenmodell dargestellt. Durch einen virtuellen Mond, dessen Position relativ zur Kamera berechnet wird, lässt sich nicht nur die Mondrückseite beobachten, sondern auch der Schatten, den dieser auf die Erde wirft, und so kann die Frage nach der Seltenheit von Sonnen- und Mondfinsternissen selbst beantwortet werden.



Abb. 4: Ansicht der AR-App „Erde-Mond-System“. Das Markerbild wird zur Erde, das Smartphone zum Mond. Informationen über Entfernungen zwischen den beiden Körpern und die Auswirkung dieser Entfernung können eingeblendet werden.

Bei Überschreiten der Roche-Grenze, an der die Differenz der Gravitationskräfte zwischen der erdzu- und erdabgewandten Seite des Mondes wird dieser in der App von den Gravitationskräften zerrissen. Zwei Videoausschnitte aus HDEV, die den Mond über der Erde beim auf- und untergehen zeigen, verdeutlichen die große Distanz zwischen den beiden Körpern. Eine 3D-Animation zur Darstellung des Baryzentrums, anhand derer nicht nur Gravitation im Erde-Mond-System, sondern auch im Sonnensystem und Methoden zur Exoplanetensuche diskutiert werden, kann ebenfalls eingeblendet werden.

3.3.5 Virtual Reality

Virtual-Reality-Equipment ist dank des Wettbewerbs führender Hersteller auch für Privatpersonen erschwinglich geworden. Die Auswirkungen dieser Potentiale auf den Lernerfolg sowie die Einbindung der Technik für den Schulunterricht sind jedoch bislang noch vergleichsweise wenig erforscht. Erste Übersichtsarbeiten der „neuen“ VR mit einem Field of View von $100^\circ+$, konstatieren einen Gewinn für den Unterricht im Hinblick auf das Erleben schwer erreichbarer Orte oder Phänomene sowie die Durchführung von Experimenten, die in der realen Welt als gefährlich oder unethisch eingestuft werden (JENSEN & KONRADSEN 2018; OTT & FREINA 2015; MIKROPOULOS & NATSIS 2011). Entlegene Gebiete wie z.B. der Mount Fuji können mit Hilfe von naturgetreuen 3D-Modellen in die virtuelle Realität überführt und mit Animationen (etwa Lawinen, Bergstürze etc.) angereichert werden, die erst bei Kontakt ausgelöst werden. Für die Lernenden bedeutet das realistische Erleben eine größere Identifikation mit der Situation als z.B. in computerbasierten Settings, unter anderem bleibt der Sinn für gefährliche Situationen und die natürliche Reaktion auf diese erhalten (REINERS et al. 2014). Vielen bestehenden VR-Anwendungen ist gemein, dass sie entweder nur einen einzigen Nutzer im Fokus haben, oder einen ganzen Klassenraum im „Second Life“ als Kommunikationsplattform in die virtuelle Realität überführen. Für die aktuelle Situation in Schulen sind beide Konzepte wenig geeignet, da sie entweder eine sehr gute technische Ausstattung benötigen oder das Lernen im Klassenverband vernachlässigen. Somit ist die Herausforderung, eine immersive Virtual-Reality-Umgebung zu entwickeln, in der SuS dennoch mit der Außenwelt in Kontakt bleiben. Die SuS kommunizieren mit dem Expeditionsleiter außerhalb der VR, welche die Expeditionsteilnehmer mit Hilfe von analogem Kartenmaterial zu den zu kartierenden Arealen lotsen. Hier können die Teilnehmer helfen, die weißen Flecken auf der Landkarte zu erforschen und somit eine vollständige Karte des gesamten Mount Fuji zu erstellen. In der VR stehen ihnen dazu ein Lasermessgerät sowie ein Fernauslöser für Lawinen zur Verfügung.

4 Fernerkundung als Schulfach

Unter den zahlreichen Partnerschulen, mit denen Columbus Eye/KEPLER ISS und FIS zusammenarbeiten, findet eine besonders enge Kooperation mit dem Gymnasium Siegburg Alleestraße (GSA) statt. Hier werden die Lehrmodule von LuL und SuS getestet, evaluiert und mit Verbesserungsvorschlägen versehen. An der Schule lernen mehr als 1000 SuS der Jahrgangsstufen 5 bis 12. Seit Oktober 2009 werden die Lehrmodule von FIS regulär im Geographieunterricht eingesetzt. Zusätzlich finden Expertenbesuche und von Experten begleitete Exkursionen statt, die den SuS erste Kontakte zu ESA, DLR und NASA einbringen, beispielsweise bei einem Live-Call mit Astronaut Alexander Gerst an Bord der ISS.

Hauptziel der Kooperation ist die Evaluation und Überarbeitung der Lehreinheiten der Projekte. Diese sollen in ganz Deutschland und darüber hinaus in die Lehrpläne der Bundesländer passen und gut im Unterricht anwendbar sein. Da alle Projektmitarbeiter eine rein wissenschaftliche akademische Ausbildung ohne Pädagogikanteil abgeschlossen haben und die Themen dementsprechend konzipieren, ist der praktische, pädagogische Ansatz der LuL und die Bewertung der SuSunabdingbar für die Anwendbarkeit der Lehreinheiten. Sowohl die Projekte, als auch die LuL und SuS profitieren von der Zusammenarbeit.

Seit dem Schuljahr 2016/17 wird am GSA das MINT-Differenzierungsfach (Wahlpflichtfach) „Geographie-Physik“ angeboten, das sich an die 8. und 9. Jahrgangsstufe richtet und sich in je zwei Halbjahren mit den physikalischen Grundlagen und den geographischen Anwendungsgebieten der Fernerkundung auseinandersetzt. Um die zwei Teilbereiche abzudecken, arbeitet je eine Lehrkraft der Geographie und der Physik eng zusammen, was die Interdisziplinarität des Unterrichts, aber auch der LuL-Fachschaften stärkt.

Zusätzlich zu den Geographie-Physik Lehrkräften werden am GSA regelmäßig LuL-fortbildungen für alle interessierten Lehrkräfte der Fächer Geographie und Physik angeboten. Trotz anfänglicher Skepsis bei einigen Fach-LuL hinsichtlich der Komplexität des Unterrichts, sowie seiner Vorbereitung mit den digitalen Lernmaterialien, konnte durch die Fortbildungen der Kooperationspartner entgegengewirkt werden. Die Bereitschaft der Kolleginnen und Kollegen für den Einsatz als unterrichtende Lehrkraft des neuen MINT-Differenzierungsfaches konnte durch die regelmäßigen Fortbildungen am GSA insgesamt gesteigert werden. Besonders, wenn nur wenig Zeit zur Vorbereitung einer Stunde zur Verfügung steht, sind die digitalen Lehrmodule aufgrund ihrer intuitiven Anwendbarkeit beliebt.

Bei den SuS ist das MINT-Differenzierungsfach beliebt: Im Jahr 2016 starteten 8 Mädchen und 17 Jungen das Fach, 2017 10 Mädchen und 6 Jungen, im Jahr 2018 13 Mädchen und 10 Jungen.

4.1 Vorwissen und Erwartungen der SuS

Die nationalen Bildungsstandards fordern die Nutzung von Satellitenbildern im Unterricht bereits seit zehn Jahren (DGFG 2008; DGFG 2014), doch durch die Befragung der SuS der ersten drei Wahljahrgänge des Kurses „Geographie-Physik“ zeigt, dass dies noch nicht überall umgesetzt wurde: Die SuS beantworten zu Beginn des Kurses in Klasse 8 einige Fragen zu ihrem Vorwissen und ihren Erwartungen. Von 62 SuS aus drei Jahrgängen hatten nur 23 (37%) vorher schon einmal mit Fernerkundungsmethoden gearbeitet, davon jedoch 12 aus dem Jahrgang 2018. 36 der 62 (58%) hatten dagegen schon privat Satellitendaten benutzt, in der Form von Google Earth bzw. Maps oder auch Navigationsgeräten. Diese Zahlen bestätigen den Eindruck, dass zwischen der Alltagswelt der SuS hinsichtlich des Gebrauchs von Satellitenbildern und der Realität im Schulunterricht ein Defizit vorliegt. Die konkrete Realisierung im Schulalltag stellt sich dementsprechend – trotz theoretischer Ambitionen – bis heute nur punktuell ein (STÜMPER 2011; FUCHSGRUBER et al. 2017).

In einer Befragung bezüglich der Erwartungen antworteten fast die Hälfte aller SuS, dass sie Unterricht mit vielen Experimenten und Exkursionen mit dem Kooperationspartner Universität Bonn, aber auch dem DLR erwarteten. Ebenfalls mehrfach genannt wurden die Erwartungen an Expertenbesuche.

4.2 Satelliten- und ISS-Bilder zur Motivation und Verständnisförderung

Die SuS des ersten Jahrgangs „Geographie-Physik“ von 2016 haben den Kurs im Jahr 2018 abgeschlossen und nicht nur die einzelnen Module, sondern auch die Halbjahre in anonymen Fragebögen evaluiert. Die Fragebögen sind an das in Deutschland übliche Benotungssystem von 1 (sehr gut) bis 6 (schlecht) angelehnt und fragen i.d.R. nach Zustimmung zu bestimmten Aussagen, die dann von 1 (trifft völlig zu) bis 6 (trifft überhaupt nicht zu) benotet werden.

Die erste Testgruppe bestätigt, dass Satellitenbilder und Live-Bilder und Videos von der ISS nicht nur interessant (Durchschnittsnoten 2,25 und 2,08, respektive), sondern auch für das gesamte Verständnis hilfreich sind (Durchschnittsnoten 1,88 und 1,84, respektive). Unter der Annahme, dass die SuS sich bei der Betrachtung der Live-Videos in die Perspektive eines auf der ISS lebenden Astronauten hinein versetzen können, lassen die Evaluationsergebnisse auf eine gewisse Faszination sowie dadurch gesteigerte Lernmotivation schließen.

4.3 Auf SuS-Bedürfnisse angepasste GIS-Tools

„Um die Möglichkeiten der Fernerkundung zur Förderung einer naturwissenschaftlichen und geographischen Handlungskompetenz gewinnbringend in den Unterricht einbringen und damit auch den Forderungen der Bildungspläne Rechnung tragen zu können, bedarf es dem entsprechend geeignete Lernumgebungen und SuSgerechte Softwarelösungen“ (DITTER 2013). Auch wenn bereits seit einiger Zeit ein vielfältiges Angebot entsprechender Software zur Verfügung steht, sind diese Applikationen für die Verwendung im Unterricht in der Regel zu komplex (DITTER 2013). Der Einsatz der Bildbearbeitungssoftware LeoWorks 4 im Wahlpflichtunterricht der Jahrgangsstufe 9 zum Themenkomplex Klimawandel im Teilbereich „Geographie“ spiegelt dieses Problem wider. Fast die Hälfte der SuS der Testgruppe (11 SuS) hatte deutliche Probleme bei der Bearbeitung von Satellitenbildern mit der Bildbearbeitungssoftware, die sich eher an die Ausbildung von GIS-Fachkräften richtet (Zustimmungsnoten 5 und 6, Frage: Die Arbeit mit der Bildbearbeitungssoftware LeoWorks4 war einfach..., Durchschnitt: 3,4, n = 24).

Dementsprechend wichtig ist es, die digitalen Fernerkundungsdaten für den Einsatz im Schulunterricht in ein didaktisches Gesamtkonzept zu bringen. Durch den Einsatz der multi-medialen Lernmodule und der interaktive Lernplattform durch Recherche- und Analysetools der Projekte FIS und ColumbusEye/KEPLER ISS in den MINT-Unterricht am GSA ist es möglich, die Fülle an Informationen, die ein multispektrales Satellitenbild bietet, der entsprechenden Zielgruppe anschaulich verständlich zu machen. Im Vergleich zur Arbeit mit der Software LeoWorks 4, die vielmehr für professionelle Nutzer gedacht ist, wird aus der Evaluation deutlich, dass die digitalen FIS-Lernmodule SuS-gerecht aufbereitet sind. Zustimmungsnoten wurden in der Testgruppe (n = 24) für Interesse (Durchschnitt: 2,52), Logischen Aufbau (Durchschnitt: 1,83) und verständliche Aufgabenstellung und Anweisungen (Durchschnitt: 2,08) vergeben.

5 Fazit & Ausblick

Die Erde im bzw. aus dem Weltall zu betrachten, kann unsere Sichtweise auf die Geschehnisse auf der Erde nachhaltig ändern. Diese Änderung auch bei Schulkindern im Rahmen des normalen Unterrichts hervorzurufen ist einer der Ansätze der Projekte Columbus Eye / KEPLER ISS und Fernerkundung in Schulen. Mit Satellitenbildern und ISS-Videos werden SuS motiviert, sich

stärker mit den MINT-Fächern auseinanderzusetzen, dabei fachliche und methodische wissenschaftliche Kompetenzen zu erlangen und weitere Soft Skills zu trainieren. Dies soll ihnen den Weg zu einer MINT-Bildung oder –Ausbildung eröffnen, wo sie hervorragende Chancen auf Arbeitsplätze mit guten Konditionen vorfinden, aber auch langfristig den Arbeitsmarkt stärken, auf dem ein Mangel an MINT-Arbeitskräften aller Ausbildungsstufen herrscht.

Um dies umzusetzen, wird stark auf E-Learning gesetzt, das in der Fernerkundung zur quantitativen Analyse von Satellitendaten unabdingbar ist, und auch die methodischen Kompetenzen der SuS im Umgang mit digitalen Medien stärkt. Die Weiterentwicklung von E-Learning stellt das M-Learning dar, das die oft mangelhafte IT-Infrastruktur an Schulen umgeht, in dem es die hohe Verfügbarkeit von Smartphones bei SuS nutzt. Hierzu werden Apps mit Augmented Reality erstellt, die klassische Arbeitsblätter auf Papier mit Videos, Animationen und kleinen Experimenten erweitern. Zusätzlich wird aus ISS- und weiteren Fernerkundungsdaten eine erste Virtual-Reality-Anwendung entwickelt.

Das neue Fach „Geographie-Physik“ in Zusammenarbeit mit den universitären Arbeitsgruppen erweitert durch die Einbindung von Fernerkundungsmethoden und Live-Bildern von der ISS den MINT-Fächerkanon im Differenzierungsbereich, sowie die MINT-Schulentwicklung des GSA und ermöglicht so eine facherverbindende Zusammenarbeit zwischen Kollegen der Fachschaften Geographie und Physik. Darüber hinaus kann durch die ausgearbeiteten digitalen Unterrichtsmaterialien, sowie einem entsprechenden Lernportal die didaktische Reduzierung hochkomplexer und aktueller Datensätze für den Schulunterricht im Bereich der Fernerkundung erfolgen. Die Einbindung der entwickelten Unterrichtsmaterialien der universitären Projekte, die über eine visuelle Deutung von Echtfarbenbildern hinausgehen (GOETZKE et al. 2014; RIENOW et al. 2015a), erleichtert es den Lehrkräften, motivierenden und gleichzeitig facherverbindenden Unterricht zu gestalten, ohne dass die persönlichen Ressourcen bei der Unterrichtsvorbereitung voll ausgeschöpft werden müssen. Die Kooperation mit außerschulischen Partner in Verbindung mit dem neuen MINT-Fach ermöglicht dabei nicht nur die Chance, das Interesse und die Motivation der SuS für die Fächer Geographie und Physik zu wecken, sondern auch eine praxisnahe Qualifikation für die MINT-Berufswelt anzubahnen.

In Zukunft wird die Evaluation der Lehreinheiten inklusive der neuen AR- und VR-Anwendungen fortgeführt und die mittelfristigen Auswirkungen beobachtet, um zu untersuchen, ob die Projektmaterialien und das Fach Geographie-Physik den Wunsch der heutigen SuS nach einer MINT-Karriere erhöhen.

6 Literaturverzeichnis

APPINIO RESEARCH, 2017: Studie zu Traumberufen: Das sind die Berufswünsche der Kinder von heute. www.appinio.com/de/blog/studie-zu-traumberufenberufsw%C3%BCnsche-der-kinder-von-heute, letzter Zugriff 20.08.2018.

COLUMBUS EYE o.J.: columbuseye.uni-bonn.de/, letzter Zugriff 21.08.2018.

CORSON, M.R., KORWAN, D.R., LUCKE, R.L. & SNYDER, W.A., 2008: The Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO) on the International Space Station. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 4, IV-101.

- DGFG DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE, 2008: Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss, Bonn.
- DGFG DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOGRAPHIE, 2014: Bildungsstandards im Fach Geographie für den Mittleren Schulabschluss, Bonn.
- DITTER, R., 2013: Die Wirksamkeit digitaler Lernwege in der Fernerkundung. Eine empirische Untersuchung zu Lernmotivation und Selbstkonzept bei Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe. Dissertation an der Universität Heidelberg.
- 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.
- FIS: FERNERKUNDUNG IN SCHULEN o.J.: fis.uni-bonn.de/, letzter Zugriff 21.08.2018.
- FUCHSGRUBER, V., DITTER, R. & SIEGMUND, A., 2017: Geographieunterricht mit Satellitenbildern innovativ gestalten. *Praxis Geographie*, **47**(3), 8-9.
- GOETZKE, R., HODAM, H., RIENOW, A. & VOß, K., 2014: Floods. Dealing with a Constant Threat. T. Jekel et al. (Hrsg.): *Learning and Teaching with Geomedia*, Cambridge. Newcastle, 90-102.
- KLEMM, K., 2015: Lehrerinnen und Lehrer der MINT-Fächer: Zur Bedarfs- und Angebotsentwicklung in den allgemeinbildenden Schulen der Sekundarstufen I und II am Beispiel Nordrhein-Westfalens. Telekom-Stiftung.
- INITIATIVE D21, 2016: Sonderstudie "Schule Digital" – Lehrwelt, Lernwelt, lebenswelt. Digitale Bildung im dreieck SchülerInnen-Eltern-Lehrkräfte. initiatived21.de/app/uploads/2017/01/d21_schule_digital2016.pdf, letzter Zugriff 24.08.2018.
- IW: INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT, 2018: MINT-Frühjahrsreport. [www.arbeitgeber.de/www/arbeitgeber.nsf/res/MINTFruehjahrsreport_2018.pdf/\\$file/MINTFruehjahrsreport_2018.pdf](http://www.arbeitgeber.de/www/arbeitgeber.nsf/res/MINTFruehjahrsreport_2018.pdf/$file/MINTFruehjahrsreport_2018.pdf) (Abgerufen am 20.08.2018).
- JENSEN, L. & KONRADSEN, F., 2018: A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, **23**(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0> null.
- LI, J., VAN DER SPEK, E.D., FEIJS, L., WANG, F. & HU, J., 2017: Augmented Reality Games for Learning. A Literature Review. In *International Conference on Distributed, Ambient, and Pervasive Interactions* Springer, Cham, 612-626.
- LINDNER, C., HODAM, H., ORTWEIN, A., SELG, F., SCHULTZ, J. & RIENOW, A., 2018: Sentinel-Daten für digitale und interaktive Anwendungen im Schulunterricht. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, Band 27, 38. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und PFGK18 Tagung in München, 117-128.
- MICGILL, M.J., YORKS, J.E., SCOTT, V.S., KUPCHOCK, A.W. & SELMER, P.A., 2015: The Cloud-Aerosol Transport System (CATS). A Technology Demonstration on the International Space Station. *Proc. SPIE. 9612, Lidar Remote Sensing for Environmental Monitoring XV*.

- MIKROPOULOS, T. A. & NATSIS, A., 2011: Educational virtual environments. A ten-year review of empirical research (1999–2009). *Computers & Education*, **56**(3), 769-780.
- MSB NRW: MINISTERIUM FÜR SCHULE UND WEITERBILDUNG DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, 2014: Kernlehrplan für die Sekundarstufe II Gymnasium/Gesamtschule in Nordrhein-Westfalen. Geographie. https://www.schulentwicklung.nrw.de/lehrplaene/lehrplan/180/KLP_GOSt_Geographie.pdf, letzter Zugriff 06.12.2018.
- MURI, P., RUNCO, S., FONTANOT, C. & GETTEAU, C., 2017: The High Definition Earth Viewing (HDEV) payload. IEEE Aerospace Conference. Big Sky, MT, 1-7.
- NASA: Space Station Research Explorer o.J. www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/explorer/, letzter Zugriff 20.08.2018).
- OECD, 2108: PISA 2015 Results in Focus. www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus.pdf, letzter Zugriff 23.08.2018.
- ORTWEIN, A., GRAW, V., HEINEMANN, S., MENZ, G., SCHULTZ, J., SELG, F. & RIENOW, A., 2016: Pushed Beyond the Pixel – Interdisciplinary Earth Observation Education from the ISS in Schools. Proceedings of the 67th International Astronautical Congress 2016 26-30 September in Guadalajara, Mexico, 1-6.
- OTT, M. & FREINA, L., 2015: A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. Conference proceedings of »eLearning and Software for Education« (eLSE).
- PERC: PLANETARY EXPLORATION RESEARCH CENTER o.J.: ISS Meteor Observation Project "METEOR". www.perc.itchiba.ac.jp/project/meteor/, letzter Zugriff 20.08.2018.
- REINERS, T., WOOD, L. & GREGORY, S., 2014: Experimental study on consumer-technology supported authentic immersion in virtual environments for education and vocational training, Hegarty, B., McDonald, J. & Loke, S. (Hrsg.), Proceedings of the 31st Annual Ascilite Conference (ascilite 2014): Rhetoric and Reality: Critical perspectives on educational technology, Nov 23-26 2014, Dunedin, 171-181.
- RIENOW, A., HODAM, H., SELG, F. & MENZ, G., 2015a: Columbus Eye: Interactive Earth Observation from the ISS in Class Rooms, GI-Forum, Journal for Geographic Information Science, Wichmann, Berlin, 349-353.
- RIENOW, A., GRAW, V., HEINEMANN, S., SCHULTZ, J., SELG, F. & MENZ, G., 2015b: Inspecting the Blue Dot: Goals, Methods, and Developments of the Project Columbus Eye. 64. Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress (DLRK) 2015, September in Rostock.
- RUNCO, S., 2015: International Space Station – High Definition Earth Viewing (HDEV). www.nasa.gov/mission_pages/station/research/experiments/917.html, letzter Zugriff 20.08.2018.
- SCHULTZ, J., LINDNER, C., HODAM, H., ORTWEIN, A., SELG, F., WEPPLER, J. & RIENOW, A., 2017: Augmenting Pupil's Reality from Space – Digital Learning Media based on Earth Observation Data from the ISS. Proceedings of the 68th International Astronautical Congress 2017, 25-29 September in Adelaide, Australia.

- SCHULTZ, J., ORTWEIN, A. & RIENOW, A., 2018: Technical note: using ISS videos in Earth observation – implementations for science and education. *European Journal of Remote Sensing*, **51**(1), 28-32.
- SIEGMUND, A., 2011: Satellitenbilder im Unterricht. Eine Ländervergleichsstudie zur Ableitung fernerkundungsdidaktischer Grundsätze. Dissertation an der Pädagogischen Hochschule Heidelberg.
- STARE, J. o.J.: www.lightpollutionmap.info (Abgerufen am 06.12.2018).
- STAVROS, E. N., SCHIMMEL, D., PAVLICK, R., SERBIN, S., SWANN, A., DUNCANSON, L., FISHER, J.B., FASSNACHT, F., USTIN, S., DUBAYAH, R., SCHWEIGER, A. & WENNBERG, P., 2018: ISS observations offer insights into plant function. *Nature Ecology & Evolution*, **1**, 1-5.
- STÜMPER, C., 2011: Möglichkeiten und Grenzen der Umsetzung der Fernerkundung mit Hilfe der Methode “Lernen durch Lehren (LdL)” im bilingualen deutschfranzösischen Erdkundeunterricht der Jahrgangsstufe 11 für einen Projekttag zum Thema “chances et limites de l’application des méthodes de la télé-détection pour la prévention des catastrophes naturelles” für die Jahrgangsstufe 9. Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der Zweiten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen.
- 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., GOETZKE, R. & THIERFELDT, F., 2007: Integration von Fernerkundung im Schulunterricht. *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.*, **16**, 41-50. <https://www.dgpf.de/src/pub/DGPF2007.pdf>
- VUFORIA, 2016: Developer’s Guide. library.vuforia.com/.
- WOJCIECHOWSKI, R. & CELLARY, W., 2013: Evaluation of learners’ attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Comput. Educ.*, **68**, 570-585.