

Digital Media in Mining Education

Digital technologies are taking over university teaching and changing the ways in which academic knowledge is disseminated. At the Institute of Mineral Resources Engineering (MRE)

of RWTH Aachen University, Aachen/Germany, the transfer of knowledge and principles of professional practice in mining is enriched by using innovative, digital communication media.

Digitale Medien in der Bergbauausbildung

Digitale Technologien erobern die Hochschullehre und verändern die Wege akademischer Wissensvermittlung. Am Institute of Mineral Resources Engineering (MRE) der RWTH Aachen University,

Aachen, wird die Vermittlung von Kenntnissen und Prinzipien der beruflichen Praxis im Bergbau durch innovative, digitale Kommunikationsmedien bereichert.

1 Digitalisation of mining education

Currently, universities are exploring, trying and expanding new digital approaches of teaching and learning in the Covid-19 crisis. However, great progress in the digitalisation of university teaching has already taken place before Covid-19 and associated campus closures at German universities. At the Institute of Mineral Resources Engineering (MRE) of RWTH Aachen University, Aachen/Germany, digital tools such as learning platforms, learning videos, interactive videos, 360° videos and images, e-tests, and lecture hall voting systems have been used for years. Investments have also been made in two real-time training simulators to show students the virtual operation of mining equipment in actual mines and in a safe environment (Figure 1).

1 Digitalisierung der Bergbaulehre

Aktuell sind Hochschulen in der Covid-19-Krise damit beschäftigt, neue digitale Wege des Lehrens und Lernens zu finden, auszuprobieren und auszubauen. Große Fortschritte in der Digitalisierung der Hochschullehre haben jedoch schon vor der Covid-19-Krise und den Campus-Schließungen an deutschen Universitäten stattgefunden. Am Institute of Mineral Resources Engineering (MRE) der RWTH Aachen University, Aachen, werden seit Jahren digitale Werkzeuge wie Lernplattformen, Lernvideos, interaktive Videos, 360°-Videos und -Bilder, e-Tests, sowie Hörsaal-Abstimmungssysteme eingesetzt. Auch wurde in zwei Echtzeit-Trainings simulatoren investiert, um Studierenden die virtuelle Bedienung von Bergbaumaschinen in realen Bergwerken in einem sicheren Umfeld zu zeigen (Bild 1).



Fig. 1. Training simulators at the Institute of Mineral Resources Engineering (MRE) of RWTH Aachen University, giving students a realistic experience with virtual mining equipment.

Bild 1. Trainings simulatoren am Institute of Mineral Resources Engineering (MRE) der RWTH Aachen University, die Studierenden ein realistisches Erlebnis mit virtuellen Bergbaumaschinen geben. Photo/Foto: MRE

Digital media do not serve their own purpose, but they are instruments for achieving strategic goals of university teaching. The principle of learning and teaching at the MRE pursues subject-specific objectives and curricular developments that form the action framework for digitalisation in teaching. In this context, face-to-face courses can be enriched with digital elements, courses can be redesigned into a blended learning (BL) format with a sensible mix of face-to-face and online phases, or courses can be conducted completely online or virtual. This article presents two innovative digital media for mining education that have been independently developed by MRE staff and are used in the curriculum: the VR-Mine and the digital mineral collection.

2 VR-Mine

The rapid development of hardware and software in the field of virtual reality (VR), as well as falling prices for VR equipment, are leading to an increased use of VR applications in higher education, which is also shown by the steadily increasing number of publications on this topic (1). Until now, the affordability of hardware for VR applications has prevented widespread use. With the market launch of Oculus Rift in 2013, so-called head-mounted displays (HMD) became more affordable, enabling immersion in the virtual world (2). With these, complex VR applications are possible and demanding and otherwise potentially dangerous activities can be trained in a safe environment. Dry technical topics, such as occupational safety and especially mine safety, can be internalised in a playful way through experimental learning. Various publications have shown that VR applications in specific scenarios have an advantage over conventional teaching methods, especially when complex contents are to be taught (3, 5). It is pointed out that in most publications on VR in teaching, user satisfaction has been used as evidence higher learning rates than with conventional learning methods. In future, it will be important to clearly demonstrate this added benefit and establish VR in higher education teaching (1).

Mining education requires the ability to visualize space and can require a lot of 3D visualisation. In 2018, with support from EIT RawMaterials, the development of a virtual underground mining environment, the VR-Mine, based on the scheelite deposit in Mittersill/Austria, began at the MRE (4, 6). This teaching tool is currently further expanded, integrated into the teaching and anchored into the curriculum. Such a tool enables students to virtually explore an underground mine and thereby promote spatial process understanding, cooperative forms of learning, as well as self-determined learning. The VR-Mine is an opportunity to get to know practical work in a safe environment. Special focus is placed on the topic of mine safety, as this lends itself to VR applications and is an important component of the training of mineral resources engineers. The developed VR-Mine offers the ideal environment to experience mine safety topics in a safe environment and to sensitise students to safety risks. The focus is on safety-conscious behaviour and risk assessments. This will better prepare students for potential safety hazards that may occur in their future work in underground mining (6).

Digitale Medien dienen dabei nicht zum Selbstzweck, sondern sind Instrumente zur Erreichung strategischer Ziele der Hochschullehre. Das Leitbild des Lernens und Lehrens am MRE verfolgt fachspezifische Zielsetzungen und curriculare Entwicklungen, die den Handlungsrahmen für die Digitalisierung in der Lehre bilden. Dabei können Präsenzveranstaltungen mit digitalen Elementen angereichert, Veranstaltungen zu einem Blended Learning (BL)-Format mit einem sinnvollen Mix aus Präsenz- und Online-Phasen umgestaltet, oder Veranstaltungen vollständig digital bzw. virtualisiert durchgeführt werden. In diesem Beitrag werden zwei innovative digitale Medien der Bergbaulehre vorgestellt, die von Mitarbeitern am MRE eigenständig entwickelt und in Lehrveranstaltungen verwendet werden: die VR-Mine und die digitale Schausammlung von Mineralen.

2 VR-Mine

Die rasante Entwicklung der Hard- und Software im Bereich von Virtual Reality (VR) sowie sinkende Preise für VR-Equipment führen zu einem vermehrten Einsatz von VR-Anwendungen in der Hochschullehre, was auch die stetig steigende Zahl an Veröffentlichungen dieser Thematik zeigt (1). Bis dato hinderte die Erschwinglichkeit von Hardware zur VR-Anwendung den breiten Einsatz. Mit der Markteinführung von Oculus Rift im Jahr 2013 wurden sogenannte Head-Mounted Displays (HMD) erschwinglicher, welche eine Immersion in die virtuelle Welt ermöglichen (2). Mit diesen sind komplexe VR-Anwendungen möglich und es können anspruchsvolle und sonst möglicherweise gefährliche Tätigkeiten in einer sicheren Umgebung trainiert werden. Fachlich trockene Themen, wie z.B. die Arbeitssicherheit und insbesondere die Grubensicherheit, können hiermit spielerisch durch experimentelles Lernen verinnerlicht werden. In verschiedenen Veröffentlichungen wurde gezeigt, dass VR-Anwendungen gegenüber herkömmlichen Lehrmethoden in bestimmten Szenarien im Vorteil sind, insbesondere, wenn komplexe Sachverhalte vermittelt werden sollen (3, 5). Es wird darauf hingewiesen, dass in den meisten Veröffentlichungen zu VR in der Lehre bisher die Nutzerzufriedenheit herangezogen wurde, um höhere Lernraten als mit herkömmlichen Lernmethoden, zu begründen. In Zukunft gilt es diesen Mehrnutzen eindeutig zu demonstrieren und VR in der Hochschullehre zu etablieren (1).

Das Bergbaustudium verlangt räumliches Vorstellungsvermögen und kann viel 3D-Visualisierung erfordern. Im Jahr 2018 begann mit Unterstützung von EIT RawMaterials am MRE die Entwicklung einer virtuellen, untertägigen Bergwerksumgebung, die VR-Mine, welche nach dem Vorbild der Scheelitlagerstätte in Mittersill/Österreich erstellt wurde (4, 6). Die VR-Mine wird aktuell weiterhin ausgebaut, in die Lehre integriert und curricular verankert. Ein solches Angebot ermöglicht den Studierenden ein untertägiges Bergwerk virtuell zu erkunden und dabei das räumliche Prozessverständnis, kooperative Lernformen sowie selbstbestimmtes Lernen zu fördern. Die VR-Mine stellt eine Möglichkeit dar, praxisnahe Arbeit in einer sicheren Umgebung kennenzulernen. Besonderer Fokus liegt auf dem Thema der Grubensicherheit, da sich dieses für VR-Anwendungen anbietet und ein wichtiger Bestandteil der Ausbildung von Rohstoffingenieuren ist. Die entwickelte VR-Mine bietet das ideale Umfeld,



Fig. 2. Live transmission of the first VR exercise as part of an online subject in the MSc European Mining Course at RWTH Aachen University. // Bild 2. Liveübertragung der ersten VR-Übung im Rahmen einer online Lehrveranstaltung im MSc European Mining Course an der RWTH Aachen University. Photos/Fotos: MRE

2.1 Evaluation of the VR-Mine

In the summer semester of 2021, the first VR exercise took place in the VR-Mine, not in presence due to the pandemic, but in live transmission using Zoom (Figures 2, 3). The students could see the transmission of the HMD on their screens, were able to follow the user via an external camera and give hints or instructions. The 15 participating MSc students, who were mainly enrolled in the MSc European Mining Course, were requested to complete a quiz on the demonstrated topic after completion of a VR-Mine sequence and ask questions.

In order to improve the VR exercises and to identify weaknesses and strengths of the teaching format, a two-stage evaluation was carried out. In the first part of the evaluation, at the beginning of the course, the students' interest in new technologies and the content of the mine safety exercise, as well as their expectations of the VR exercise, were surveyed. Statements were to be made about

Durchführenden über eine externe Kamera folgen und Hinweise oder Anweisungen geben. Die 15 teilnehmenden MSc-Studierenden, welche vorwiegend im Studiengang MSc European Mining Course eingeschrieben waren, konnten nach Durchlauf einer VR-Mine-Sequenz mit einem Quiz das zuvor Gesehene festigen und Fragen anbringen.

Um die VR-Übungen zu verbessern sowie Schwächen und Stärken des Lehrformats zu erkennen, wurde eine zweistufige Evaluation durchgeführt. Im ersten Evaluationsteil zu Beginn der Veranstaltung wurden das Interesse der Studierenden an neuen Technologien und dem Übungsinhalt Grubensicherheit sowie ihre Erwartungen an die VR-Übung abgefragt. Es sollten Aussagen über Erfahrungen mit VR-Technologien im privaten und im universitären Bereich getroffen werden. Der zweite Teil der Erhebung folgte am Ende der Veranstaltung und thematisierte die Bewertung der Übung. Des Weiteren war die Angabe von Verbesserungsvorschlägen gewünscht.

Schließlich sollte eine Einschätzung zur erwarteten Entwicklung von Lehrveranstaltungen, insbesondere der Einsatz von VR, getroffen werden. Insgesamt wurden in der Übung vier Quizblöcke mit Single- und Multiple-Choice-Fragen absolviert. Im ersten Abschnitt wurden Informationen zum Bergwerk Mittersill, wie beispielsweise dem dort gewonnen Rohstoff abgefragt, welche zuvor in einem in der VR-Mine gezeigten Video präsentiert wurden. Der zweite Quizblock bezog sich auf einen praktischen Abschnitt der VR-Mine, in welchem die passende Schutzausrüstung für die Arbeit unter Tage ausgesucht werden musste. Die Thematik des dritten Quizblocks behandelte Sicherheitsrisiken im Erzbergwerk Mittersill. Abgefragt wurden z.B. das größte Risiko bei Untertagearbeiten sowie



Fig. 3. Screenshot of the VR-Mine, showing the entrance to the virtual Mittersill mine. Bild 3. Screenshot der VR-Mine mit dem Portal des virtuellen Bergwerks Mittersill. Photo/Foto: MRE

experiences with VR technologies in the private and university sectors. The second part of the survey followed at the end of the event and dealt with the evaluation of the exercise. Furthermore, suggestions for improvement were requested. Finally, an assessment of the expected development of courses, especially the use of VR, was to be made. In total, four quiz blocks with single- and multiple-choice questions were completed in the exercise. In the first section, information about the Mittersill mine, such as the raw material extracted there, was asked, which had previously been presented in a video shown in the VR-Mine. The second quiz block was related to a practical section of the VR-Mine, in which the appropriate protective equipment for working underground had to be selected. The topic of the third quiz block dealt with safety risks in the Mittersill ore mine. They were asked, e.g., about the greatest risk during underground work and the correct use of an oxygen self-rescuer. After completing a practical task in the VR-Mine, the fourth quiz block dealt with identified safety risks.

A selection of the evaluation results is shown in figure 4. Both, before and after the exercise, the majority of students confirmed the importance of practical application for the learning process.

die richtige Anwendung eines Sauerstoff-Selbstretters. Nach Absolvierung einer praktischen Aufgabe in der VR-Mine wurden im vierten Quizblock erkannte Sicherheitsrisiken thematisiert.

Eine Auswahl der Evaluationsergebnisse wird in Bild 4 gezeigt. Sowohl vor als auch nach der Übung bestätigte der Großteil der Studierenden die Bedeutung praktischer Anwendung für den Lernprozess. Da Studierende interessiert an neuen Technologien sind und sich Abwechslung zur üblichen Lehrveranstaltungsstruktur wünschen, besteht die Bereitschaft, aktiv an VR-Übungen teilzunehmen. Zudem wird künftig ein häufigerer Einsatz von VR erwartet. Die Studierenden sind eindeutig am Thema „Grubensicherheit“ interessiert und wünschen sich mehr Informationen über diesen Bereich.

Verbesserungsvorschläge umfassen eine realistischere Darstellung der digitalen Bergwerksumgebung, eine Vergrößerung der Hinweisfelder zur Erhöhung der Benutzerfreundlichkeit und die Integration spezieller Situationen in die VR-Mine, wie beispielsweise akuter Gefahrensituationen oder Unfälle. Für die Zukunft skizzierten die Studierenden eine Entwicklung zu einer stärker auf VR basierten Lehre.

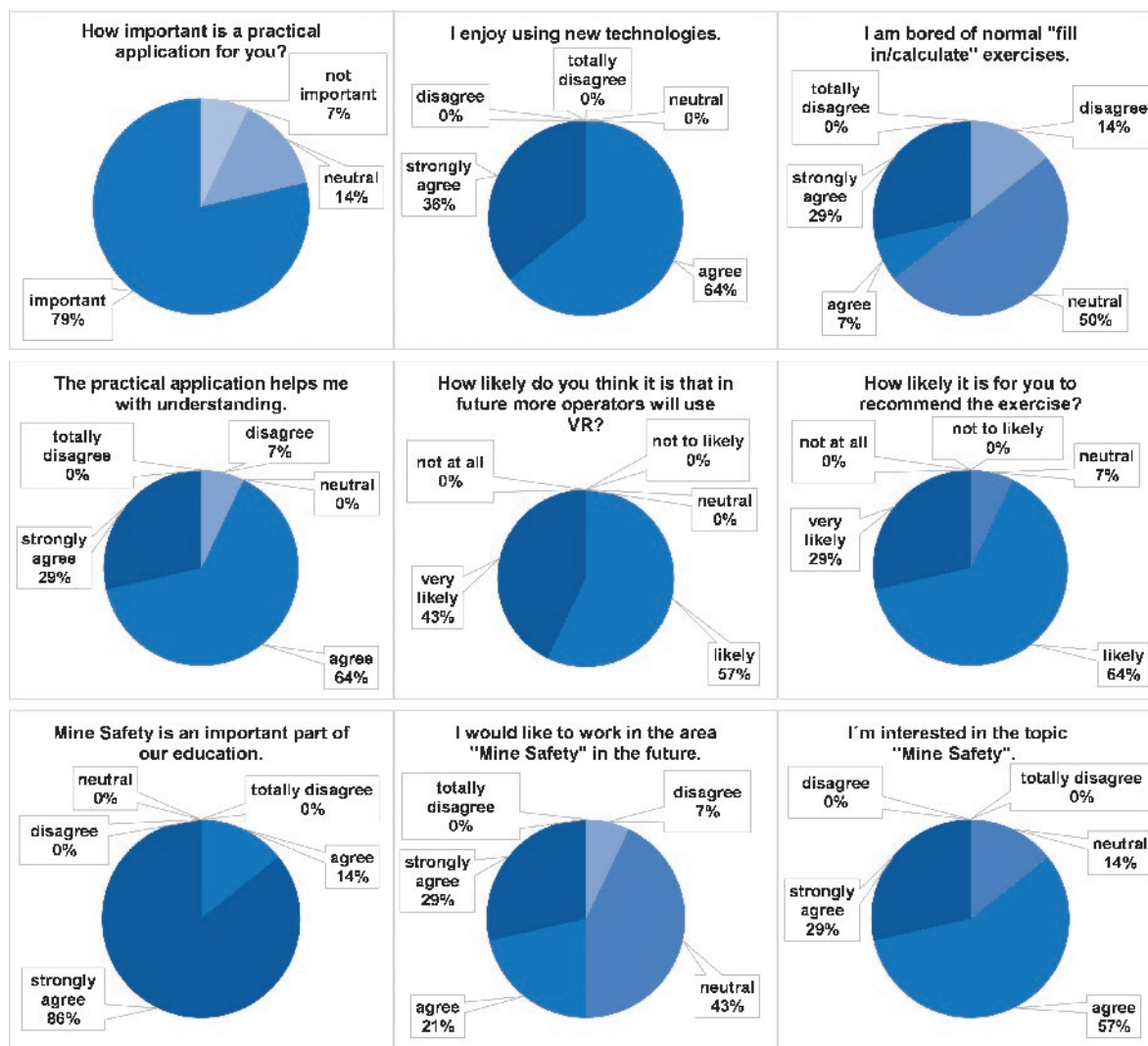


Fig. 4. Selection of evaluation results of the VR exercise at the beginning of the exercise (first line), after the exercise (second line) and on the topic of mine safety (third line). // Bild 4. Auswahl der Evaluationsergebnisse der VR-Übung zu Beginn der Übung (erste Zeile), nach der Übung (zweite Zeile) und zum Thema Grubensicherheit (dritte Zeile). Source/Quelle: MRE

Since students are interested in new technologies and want a change from the usual course structure, there is a willingness to actively participate in VR exercises. In addition, a more frequent use of VR is expected in the future. The students are clearly interested in the topic of "mine safety" and would like more information about this subject area.

Suggestions for improvement include a more realistic representation of the digital mine environment, an enlargement of the information fields to increase user-friendliness and the integration of special situations in the VR-Mine, such as acute danger situations or accidents. For the future, the students outlined a development towards more VR-based teaching.

2.2 Further development of the VR-Mine

Experience shows that some people suffer from cybersickness during VR applications. A well-known effect is motion sickness, which can lead to nausea, and people react differently to VR applications. With a higher resolution and a higher frame rate, the potential for cybersickness is lower (7). Therefore, different models of HMD should be tested to gain experience and apply it to future courses. This would make it possible to target individuals who are particularly susceptible to cybersickness. To reduce this, it is also recommended to limit the duration of VR exercises to a maximum of 15 min (5). The teleportation function implemented in the VR-Mine is also helpful. If longer distances are covered in VR by walking without moving the feet, the effect of cybersickness is particularly strong. This effect is reduced by teleportation (7).

Furthermore, it has been shown that an environment that is as realistic as possible creates the strongest immersion and thus the greatest learning success. A particularly realistic environment is also desired by the students and can be improved in future by expanding it with additional 3D models. Since modelling itself is time-consuming, 3D models offered on online marketplaces are a good alternative. With these, a more appealing environment can be created within a very short time, which in turn strengthens the immersion and thus optimises the course and increases learning outcomes.

Due to the pandemic, the use of the VR-Mine has only been possible to a limited extent so far, which is why further, more detailed evaluations will take place in the future with comparison groups to which only conventional teaching methods are available. Work is also continuing on expanding VR content and integrating it into other subjects. Specifically, the VR-Mine will be expanded to include further scenarios, such as the drilling and blasting cycle.

3 Digital mineral collection

Mineralogical collections traditionally explain the significance of minerals and rocks in specialist exhibitions and hand pieces. Now there are also several national and international web portals, where minerals and rocks can be researched online. These portals provide digital 2D or 3D images of collection specimens and accompanying information. However, these portals are mainly information portals and do not allow interactive learning.

Since 2017, an interactive online display collection of minerals, ores and rocks has been developed at the MRE and is used for online teaching. The aim is to teach students the basics of raw materials using real hand pieces. In the meantime, the first publications

2.2 Weiterentwicklung der VR-Mine

Die Erfahrung zeigt, dass einige Personen bei VR-Anwendungen unter Cybersickness leiden. Ein bekannter Effekt ist die Motion Sickness, die zu Übelkeit führen kann, wobei Personen unterschiedlich auf VR-Anwendungen reagieren. Durch eine höhere Auflösung und einer höheren Bildwiederholrate ist das Potential für Cybersickness geringer (7). Deshalb sollten verschiedene Modelle von HMD getestet werden, um Erfahrungswerte zu sammeln und diese auf zukünftige Lehrveranstaltungen anwenden zu können. Damit wäre es möglich, auf Personen einzugehen, die besonders anfällig für Cybersickness sind. Um diese zu mindern, ist es zudem empfehlenswert, die Dauer von VR-Übungen auf maximal 15 min zu begrenzen (5). Hilfreich ist weiterhin die in der VR-Mine implementierte Funktion der Teleportation. Werden in VR größere Strecken durch Gehen zurückgelegt, ohne dabei die Füße zu bewegen, ist der Effekt der Cybersickness besonders stark. Dieser Effekt wird durch Teleportation reduziert (7).

Des Weiteren hat sich gezeigt, dass eine möglichst realistische Umgebung die stärkste Immersion und damit einhergehend den größten Lernerfolg erzeugt. Eine besonders realistische Umgebung wird auch von Seiten der Studierenden gewünscht und kann in Zukunft durch den Ausbau mittels weiterer 3D-Modelle verbessert werden. Da die eigene Modellierung zeitintensiv ist, sind auf Online-Marktplätzen angebotene 3D-Modelle eine gute Alternative. Mit diesen kann innerhalb kürzester Zeit eine ansprechendere Umgebung geschaffen werden, was wiederum die Immersion stärkt und somit die Lehrveranstaltung optimiert und die Lernergebnisse steigert.

Pandemiebedingt war bisher die Anwendung der VR-Mine nur im eingeschränkten Rahmen möglich, weshalb in Zukunft weitere, ausführlichere Evaluationen mit Vergleichsgruppen stattfinden werden, welchen ausschließlich konventionelle Lehrmethoden zur Verfügung stehen. Auch wird weiter am Ausbau von VR-Inhalten sowie deren Integration in Lehrveranstaltungen gearbeitet. Konkret wird die VR-Mine um weitere Szenarien wie den Bohr- und Sprengzyklus ergänzt.

3 Digitale Schausammlung von Mineralen

Mineralogische Sammlungen erläutern die Bedeutung von Mineralen und Gesteinen traditionell in Fachausstellungen und Handstücken. Es gibt auch mehrere nationale und internationale Webportale, in denen Minerale und Gesteine online recherchiert werden können. In diesen Portalen sind digitale 2D- oder 3D-Abbildungen von Sammlungsexemplaren und begleitende Informationen zu finden. Diese Portale sind aber überwiegend Informationsportale und erlauben kein interaktives Lernen.

Seit 2017 wird am MRE eine interaktive Online-Schau-sammlung von Mineralen, Erzen und Gesteinen entwickelt und für die digitale Lehre nutzbar gemacht. Hier sollen Studierenden Grundlagen zu Rohstoffen anhand echter Handstücke vermittelt werden. Inzwischen finden sich erste Veröffentlichungen ähnlicher Projekte, was die Notwendigkeit einer solchen interaktiven, digitalen Schausammlung nochmals verdeutlicht (8, 9). Die Studierenden erhalten die Möglichkeit, die wichtigsten Minerale, Erze und Gesteine interaktiv auf einer Online-Plattform in 360°-Ansichten zu betrachten (<https://schausammlung.mre.rwth-aachen.de/>). In Bild 5 ist eine Auswahl der freigestellten Mi-



Fig. 5. Selection of minerals chosen for 360° views in the digital mineral collection. From left to right: fluorite, native copper, native silver, wulfenite, zircon, muscovite and quartz. // Bild 5. Auswahl von Mineralen für 360°-Ansichten in der digitalen Mineralsammlung. Von links nach rechts: Fluorit, gediegen Kupfer, gediegen Silber, Wulfenit, Zirkon, Muskovit und Quarz. Photos/Fotos: MRE

of similar projects have appeared, which again illustrates the need for such an interactive, digital mineral display collection (8, 9). Students are given the opportunity to view the most important minerals, ores and rocks interactively on an online platform using 360° views (<https://schausammlung.mre.rwth-aachen.de/>). Figure 5 shows a selection of minerals, for which 360° views, detailed views and descriptive texts can be found on the website. In addition, there are helpful supplements to the methods of mineral and rock identification. Examples are animations on fluorescence (Figure 6) and the presentation of different lustre of minerals (Figure 7).

Learning at virtual exhibits offers the possibility to deal with the handpieces independent of location and time. In addition, by combining the digital collection with the freely available plug-in H5P, collaborative handpiece approach in the Moodle learning room of the RWTH learning platform is possible in the form of visualised, interactive contents. H5P offers, e.g., the possibility of creating visualised content such as assignment tasks, sequence tasks, index cards or cloze texts.

nerale zu sehen, zu denen sich auf der Webseite 360°-Ansichten, Detailansichten und Beschreibungstexte finden. Zusätzlich gibt es hilfreiche Ergänzungen zu den Methoden der Mineral- und Gesteinsbestimmung. Als Beispiele seien hier Animationen zur Fluoreszenz (Bild 6) und die Darstellung unterschiedlichen Glanzes von Mineralen (Bild 7) genannt.

Das Lernen an virtuellen Exponaten bietet die Möglichkeit, sich orts- und zeitunabhängig mit den Handstücken zu befassen. Außerdem ist durch die Kombination der Schausammlung mit dem frei verfügbaren Plugin H5P die kollaborative Handstückansprache im Moodle-Lernraum der RWTH-Lernplattform in Form von visualisierten, interaktiven Inhalten möglich. H5P bietet beispielsweise die Möglichkeit, visualisierte Inhalte wie Zuordnungsaufgaben, Aufgaben zu Reihenfolgen, Karteikarten oder Lückentexte zu erstellen.

Damit kann die Schausammlung mühelos in der digitalen, synchronen Lehre mit direktem Feedback eingesetzt werden und stellt einen guten Ersatz zu Präsenzübungen dar. Des Weiteren

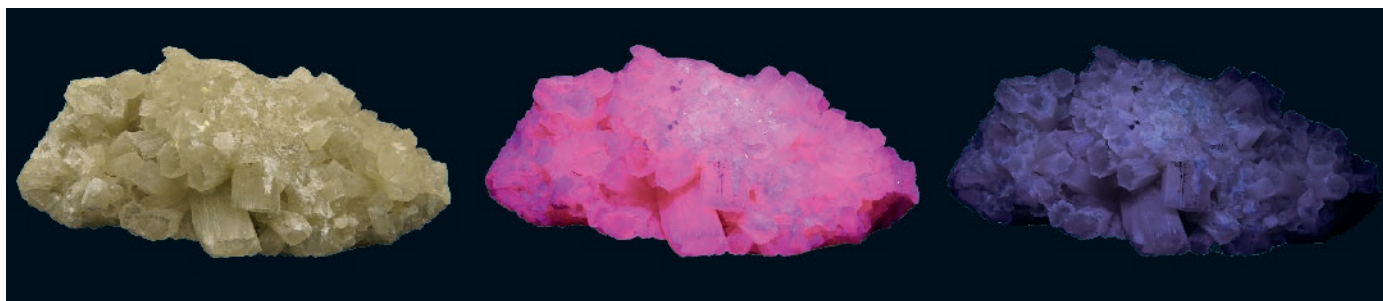


Fig. 6. Effect of fluorescence shown in the digital mineral collection using the example of aragonite. On the left, photographed at daylight, in the middle using long-wave UV light (approximately 365 nm) and on the right placed under short-wave UV light (approximately 254 nm). On the website, you can switch between illuminations using a slider. // Bild 6. Effekt der Fluoreszenz am Beispiel von Aragonit, dargestellt in der digitalen Mineralsammlung. Links fotografiert unter Tageslicht, in der Mitte bei langwelligem UV-Licht (ca. 365 nm) und rechts bei kurzwelligem UV-Licht (ca. 254 nm). Auf der Webseite lässt sich mittels einem Schieberegler zwischen den Beleuchtungen wechseln. Photos/Fotos: MRE



Fig. 7. Representation of different lustre of minerals in the digital mineral collection. From left to right: silk, glass and metal lustre. // Bild 7. Darstellung unterschiedlichen Glanzes von Mineralen in der digitalen Mineralsammlung. Von links nach rechts: Seiden-, Glas- und Metallglanz. Photos/Fotos: MRE

This means that the digital collection can be used effortlessly in online, synchronous teaching with direct feedback and is a good substitute for classroom exercises. Furthermore, asynchronous e-tests, which can be used by the students in a self-determined way, are possible. Students and teachers can use statistics to track learning progress. The use of the digital collection in combination with face-to-face instructions on hand specimen identification will represent considerable added value in future, as students are offered the opportunity to repeat exercise contents at home at their own pace.

3.1 Evaluation of the digital mineral collection

In order to improve the digital collection and especially its use in teaching, was evaluated in two stages in the summer semester of 2021, which made it possible to document developments. In the exercises, students were provided with visualised, interactive content using H5P. 18 students from various Bachelor and Master degree programmes took part in the evaluation. At the beginning of the first evaluation, the students' previous knowledge of analysing rocks and minerals was asked, with over 60% of the students stating that they had already carried out this topic in face-to-face lessons. The aim of the first survey was, among other things, to find out the students' expectations of the digital mineral collection. The students assumed in particular that they would learn about mineral properties through the digital collection and that they would gain a better understanding of theoretical principles. In order to compare the degree of agreement between the students' expectations and their actual experiences, the same statements were asked again during the second evaluation, after completing the exercises. The students especially agreed with the statement that the understanding of theoretical basics could be improved by using the collection.

Another goal was to determine the learning success. The students confirmed above all the deepening of their theoretical knowledge as well as an increased interest in this subject area. Furthermore, an evaluation of the exercise concept was carried out. In particular, the scope of the collection was valued positively. In addition, the students would like to see similar digital learning tools in other courses. The selection of examples considered was praised. However, the students would have liked more support during the analysis of the rocks and minerals, as well as an implementation as a classroom event. The digital implementation was nevertheless considered an adequate substitute. Overall, the work with the digital mineral collection was described as exciting, efficient and forward-looking and was perceived as an innovative and supportive form of learning.

3.2 Further development of the digital mineral collection

Although the mineral collection was used more intensively during the pandemic, it will not be a substitute for teaching with real handpieces, as it does not allow any haptic experiences. The use of identification tools such as hydrochloric acid or a streak plate cannot be implemented using digital tools either. However, the mineral collection is very well suited for asynchronous learning. Students can follow up and comprehend learning content at home, as well as independently educate themselves beyond the course content.

sind somit asynchrone e-Tests, die von den Studierenden selbstbestimmt genutzt werden können, möglich. Studierende und Lehrende können mittels Statistik den Lernfortschritt verfolgen. Der Einsatz der digitalen Schausammlung in Kombination mit Präsenzveranstaltungen zur Handstückbestimmung wird in Zukunft einen erheblichen Mehrwert darstellen, da den Studierenden so die Möglichkeit geboten wird, zuhause selbstbestimmt die Übungsinhalte zu wiederholen.

3.1 Evaluation der digitalen Schausammlung

Um die digitale Schausammlung und insbesondere ihre Anwendung in der Lehre zu verbessern, wurde im Sommersemester 2021 der Einsatz zweistufig evaluiert, wodurch mögliche Entwicklungen dokumentiert werden konnten. In den Übungen wurden den Studierenden mit H5P visualisierte, interaktive Inhalte zur Verfügung gestellt. An der Evaluation nahmen 18 Studierende verschiedener Bachelor- und Masterstudiengänge teil. Zu Beginn der ersten Evaluation wurden die Vorkenntnisse der Studierenden in der Handstückansprache abgefragt, wobei über 60% der Studierenden angaben, bereits eine Handstückansprache im Präsenzunterricht durchgeführt zu haben. Ziel der ersten Erhebung war u.a. die Abfrage der Erwartungen der Studierenden an die digitale Schausammlung. Die Studierenden nahmen insbesondere an, durch die Schausammlung Mineraleigenschaften kennenzulernen, sowie ein besseres Verständnis der theoretischen Grundlagen zu erlangen. Um den Übereinstimmungsgrad der Erwartungen der Studierenden mit ihren tatsächlichen Erfahrungen abzugleichen, wurden die gleichen Aussagen im Rahmen der zweiten Evaluation nach Absolvierung der Übungen erneut abgefragt. Die Studierenden stimmten insbesondere mit der Aussage überein, dass das Verständnis theoretischer Grundlagen durch Verwendung der Schausammlung verbessert werden konnte.

Ein weiteres Ziel war die Ermittlung des Lernerfolgs. Die Studierenden bestätigten vor allem die Vertiefung ihres theoretischen Wissens sowie ein gesteigertes Interesse für dieses Themenfeld. Zudem erfolgte eine Bewertung des Übungskonzepts. Insbesondere der Umfang der Schausammlung wurde positiv bewertet. Zudem wünschen sich die Studierenden ein ähnliches digitales Lerntool in anderen Lehrveranstaltungen. Die Auswahl der betrachteten Beispiele wurde gelobt. Allerdings hätten sich die Studierenden mehr Unterstützung während der Handstückansprache sowie eine Umsetzung als Präsenzveranstaltung gewünscht. Die digitale Durchführung wurde trotzdem als adäquater Ersatz angesehen. Insgesamt wurde die Arbeit mit der Schausammlung als spannend, effizient und zukunftsweisend beschrieben und als innovative und unterstützende Lernform wahrgenommen.

3.2 Weiterentwicklung der digitalen Schausammlung

Obwohl die Schausammlung im Zuge der Pandemie verstärkt eingesetzt wurde, wird sie in Zukunft nicht als Ersatz zur Lehre mit realen Handstücken verwendet, da die Online-Schausammlung keine haptischen Eindrücke erlaubt. Auch ist der Einsatz von Bestimmungswerkzeugen, wie z. B. Salzsäure oder Strichtafel, digital nicht umsetzbar. Jedoch eignet sich die digitale Schausammlung sehr gut für asynchrones Lernen. Studierende können Lerninhalte zu Hause nachbereiten und nachvollziehen, sowie sich selbstständig über den Lehrinhalt hinaus weiterbilden.

4 Summary and outlook

Good teaching is core business of higher education institutions and nowadays needs to be enriched by meaningful digital media. The MRE has been using digital teaching tools such as learning platforms, learning videos, interactive videos, 360° videos and images, e-tests, and lecture hall voting systems for years. Investments have also been made in the virtual representation of mining equipment and actual mines with real-time simulators. In addition, innovative mining teaching tools have been developed independently at MRE: the VR-Mine and the digital mineral collection. Evaluations show that the effective and targeted use of digital media will make learning more varied and interactive for mining students. In future, innovative communication media will continuously reshape academic teaching, learning and knowledge production in mining education.

Acknowledgement

This work was supported by the German Academic Exchange Service and the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF) and is part of the MyScore project 57516716. Preliminary versions of the VR-Mine and the digital mineral collection were initially financed by the Stifterverband, EIT RawMaterials and the state of North-Rhine Westphalia.

We would like to thank Daniel Makschakow (student assistant, MRE, RWTH Aachen University) for his active support during the delivery of the first VR exercise (Figure 2). Johannes Emontsbötz has provided textural information on the VR-Mine for this publication, and former and current MRE staff (Dr.-Ing. Markus Dammers, Dr.-Ing. Felix Lehnen, Dr.-Ing. Tobias Braun, Lars Barnewold, Marjan Knobloch, Rudolf Suppes, Yannick Feldmann, Johannes Emontsbötz) have taken part in the development of the existing VR-Mine and digital mineral collection.

References / Quellenverzeichnis

- (1) Checa, D.; Bustillo, A. (2020): A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications* 79:5501–27, <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9>.
- (2) Jensen, L.; Konradsen, F. (2018): A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *In: Education and Information Technologies* 23, pp 1515–29, <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>.
- (3) Hamilton, D.; McKechnie, J.; Edgerton, E.; Wilson, C. (2021): Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *In: Journal of Computers in Education* 8, no. 1: pp 1–32, <https://doi.org/10.1007/s40692-020-00169-2>.
- (4) Abdelrazeq, A.; Daling, L.; Suppes, R.; Feldmann, Y.; Hees, F. (2019): A virtual reality educational tool in the context of mining engineering – the virtual reality mine. *INTED2019 Proceedings*, pp 8067–73. Valencia, Spain, <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2002>.
- (5) Liang, Z.; Zhou, K.; Gao, K. (2019): Development of Virtual Reality Serious Game for Underground Rock-Related Hazards Safety Training. *IEEE Access* 7: 118639–49, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2934990>.
- (6) Suppes, R.; Feldmann, Y.; Abdelrazeq, A.; Daling, L. (2019): Virtual reality mine: A vision for digitalised mining engineering education. *In: Mining goes digital, 1st ed.*, pp 17–24. *Proceedings in Earth and Geosciences Series*, volume 3. Wroclaw: CRC Press.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Gute Lehre ist ein Kerngeschäft von Hochschulen und muss heutzutage durch sinnvolle digitale Medien bereichert werden. Das MRE verwendet seit Jahren digitale Lehrwerkzeuge wie Lernplattformen, Lernvideos, interaktive Videos, 360°-Videos und Bilder, e-Tests sowie Hörsaal-Abstimmungssysteme. Auch wurden Investitionen in die virtuelle Darstellung von Bergbaumaschinen und realen Bergwerken mit Echtzeit-Simulatoren getätigt. Darüber hinaus sind innovative Werkzeuge der Bergbaulehre am MRE eigenständig entwickelt worden: die VR-Mine und die digitale Mineralsammlung. Evaluationen zeigen, dass der effektive und zielgerichtete Einsatz von digitalen Medien das Lernen für Studierende des Bergbaus abwechslungsreicher und interaktiver werden lässt. In Zukunft werden innovative Kommunikationsmedien das akademische Lehren, Lernen und die Wissensproduktion in der Bergbauausbildung kontinuierlich neuformen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde vom Deutschen Akademischen Austauschdienst sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unterstützt und ist Teil des MyScore-Projekts 57516716. Vorläufige Versionen der VR-Mine und der digitalen Schausammlung wurden durch den Stifterverband, EIT RawMaterials und das Land Nordrhein-Westfalen finanziert.

Wir danken Daniel Makschakow (wissenschaftliche Hilfskraft des MRE der RWTH Aachen University) für die tatkräftige Unterstützung im Rahmen der Durchführung der ersten VR-Übung (Bild 2). Johannes Emontsbötz hat für diesen Beitrag VR-Mine zur Verfügung gestellt und ehemalige und gegenwärtige Mitarbeiter des MRE (Dr.-Ing. Markus Dammers, Dr.-Ing. Felix Lehnen, Dr.-Ing. Tobias Braun, Lars Barnewold, Marjan Knobloch, Rudolf Suppes, Yannick Feldmann, Johannes Emontsbötz) haben die Entwicklung der jetzigen VR-Mine und digitalen Schausammlung mitgestaltet.

- (7) Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (2019): *Virtual und Augmented Reality (VR/AR): Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität*. 2. erweiterte und aktualisierte Auflage. Berlin, Heidelberg.
- (8) Janiszewski, M.; Uotinen, L.; Merkel, J.; Leveinen, J.; Rinne, M. (2020): Virtual Reality learning environments for rock engineering, geology and mining education. *54th US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*.
- (9) Apopei, A.-I.; Buzgar, N.; Buzatu, A.; Maftei, A.-E.; Apostoae, L. (2021): Digital 3D Models of Minerals and Rocks in a Nutshell: Enhancing Scientific, Learning, and Cultural Heritage Environments in Geosciences by using Cross-Polarized Light Photogrammetry. *In: Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* 16, no. 1: pp 237–49, <https://doi.org/10.26471/cjees/2021/016/170>.

Authors / Autoren

Nils Schlatter, M.Sc., Nina M. Küpper, M.Sc., Univ.-Prof. PhD Bernd G. Lottermoser, Institute of Mineral Resources Engineering (MRE), RWTH Aachen University, Aachen/Germany