Alexander Hutwalker
Angela Binder
Oliver Langefeld

Occupational Safety and Health and its Consideration in Higher Education

Safety is the highest goal in a mining operation due to its responsibility towards the involved persons as employees but also in terms of the society. Furthermore, economical risks are closely related to unsafe working standards enhancing the severity of incidents. The mentality for safe and aware behavior needs to be set for all internal stakeholders of mining activities and thus needs to be included in the Engineering education. This paper presents, based on the aim of occupational safety and health, a content-based and conceptual integration in modern higher education as a base for safe mines of the future.

Arbeitsschutz im Bergbau und die Berücksichtigung in der Hochschulausbildung

Die Verantwortung des Bergbaus gegenüber allen Akteuren, sowohl den Mitarbeitenden als auch der Gesellschaft, setzt die Sicherheit als oberste Priorität. Gleichzeitig führt ein unsicheres Arbeiten zu einer Erhöhung der wirtschaftlichen Risiken, da Unfälle zu schwerwiegenderen Konsequenzen auch wirtschaftlicher Natur führen. Daher ist es besonders wichtig, dass Mitarbeitende auf allen Ebenen mit einer sicherheitsbewussten Handlungs- und Denkweise ihren Tätigkeiten nachgehen. Die Grundlage hierfür muss durch die Ingenieurausbildung gelegt werden. Der vorliegende Artikel zeigt daher auf Basis der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes auf, wie dies sowohl thematisch als auch konzeptionell in die moderne Hochschulausbildung integriert werden kann und somit die Grundlage für sichere Bergwerke der Zukunft gelegt wird.

1 Introduction

The aim of university education is to equip young people with the necessary skills and competencies for their professional life. Regardless of the subject area, this means that future developments in the field must already be taken into account when planning the curricula in order to meet the requirements of the labor market. Only in this way it can be ensured that graduates leave the universities with a competence profile that meets the needs of companies and the labor market. It must be considered that a student who currently (2021) starts a university degree will be a part of the workforce until 2065 or longer.

The future cannot be predicted without uncertainty, and so there is always a degree of uncertainty with regard to the relevance of individual courses when creating curricula. However, this can be reduced by intensive observation of the labor market, depending on the respective subject areas, to such an extent that graduates leave the universities well-prepared to start their careers. In order to make a decision for the field of primary raw material extraction, the framework for future raw material projects must first be estimated in order to derive requirements from this.

When these are considered, it can be seen that deeper deposits will be mined in more remote areas in the future, as

1 Einleitung

Das Ziel einer universitären Ausbildung ist es, junge Menschen mit den erforderlichen Fähigkeiten und Kompetenzen für ihr Berufsleben auszustatten. Unabhängig vom jeweiligen Fachbereich bedeutet dies, dass bei der Erstellung der Curricula bereits die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich berücksichtigt werden muss, um die Anforderungen des Arbeitsmarkts zu decken. Nur auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass die Absolventen die Hochschulen mit einem Kompetenzprofil verlassen, welches den Erwartungen der Unternehmen und des Arbeitsmarkts entspricht. Hierbei muss betrachtet werden, dass ein*e Studierende*r, der*die aktuell (2021) ein Hochschulstudium beginnt, bis 2065 oder länger im Berufsleben stehen wird.

Die Zukunft lässt sich nicht sicher vorhersagen, und so ist bei der Erstellung der Curricula stets eine gewisse Unsicherheit in Bezug auf die Relevanz einzelner Veranstaltungen gegeben. Diese lässt sich bei intensiver Beobachtung des Arbeitsmarkts in Abhängigkeit der jeweiligen Fachgebiete jedoch soweit reduzieren, dass die Absolvent*innen die Universitäten gut vorbereitet für den Berufseinstieg verlassen. Um für den Bereich der Primärrohstoffgewinnung eine Aussage zu treffen, sind zunächst die Rahmenbedingungen für zukünftige Rohstoffprojekte abzuschätzen, um daraus Anforderungen abzuleiten.

near-surface deposits near populated areas are finite. In addition, the average size of mines will increase, both for new operations and in currently existing operations due to progressive mining. Regardless of the constraints imposed by the deposit, rapid technological development in areas such as sensors, data processing and communications are having a significant impact on developments in the mining industry. In addition, growing environmental awareness among the general public and, based on this, an increased focus on corporate social responsibility (CSR) are having a strong influence on all operations and decision-making processes.

This paper focusses on these developments and how they can be addressed in the mining engineering curricula in the field of occupational safety and health (OSH) in mining, in order to meet the future labor market requirements. Therefore, it will be defined what is understood by the term OSH in the context of this article, and what the status of integration in the field of raw material extraction is today and what it is based on. With regard to the topics and the integration into the educational framework, the implementation of the topic in academic teaching is shown. For this purpose, examples of the mining courses of the Clausthal University of Technology (TU Clausthal), Clausthal-Zellerfeld/Germany, as well as the project SafeMine – funded by the EU within the framework of EIT RawMaterials – are used.

2 The purpose of higher education

First of all, the areas which are to be understood by the term OSH are defined. The German Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA) defines occupational safety as all measures which ensure and improve OSH protection (1). A similar wording can be found in the Occupational Health and Safety Act (ArbSchG) (2) § 1, which, however, does not apply to companies that are subject to the Federal Mining Act (BBergG) (3). This Act has its own formulations on OSH, and § 61 (1) obliges employers to take the necessary measures and precautions to protect employees and third parties from hazards to life, health and property (2). Further details can be found in the regulations that specify the BBergG. Similar requirements are also applied to companies internationally. In the U.S., e.g., the Occupational Safety and Health Act of 1970 (OSH Act) requires under Section 5(a(1)) employers to "furnish to each of his employees employment and a place of employment which are free from recognized hazards that are causing or are likely to cause death or serious physical harm to his employees" (4). In summary, it can be stated at this point that measures to preserve the life and health of workers fall within the scope of OSH. Furthermore, this brief description of legal situations shows that employers are responsible for compliance with OSH measures. However, it is also true that both nationally and internationally, workers are correspondingly obligated to comply with OSH measures.

In order to be able to assess a hazard to life or health resulting from an activity or environment, there must be intensive knowledge of the processes involved and the characteristics of the environment. It follows from this that only persons who are qualified in the relevant specialist area can

Werden diese betrachtet, kann festgestellt werden, dass zukünftig tiefere Lagerstätten in abgelegeneren Gebieten abgebaut werden, da die oberflächennahen Lagerstätten in der Nähe von bewohnten Gebieten endlich sind. Außerdem wird die durchschnittliche Größe der Grubengebäude zunehmen, sowohl bei neuen als auch durch fortschreitenden Abbau bei aktuell bereits bestehenden Betrieben. Unabhängig von den durch die Lagerstätte gegebenen Randbedingungen haben die rasante technische Entwicklung in Bereichen wie Sensorik, Datenverarbeitung und Kommunikation einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung in der Rohstoffindustrie. Darüber hinaus führen ein steigendes Umweltbewusstsein der Öffentlichkeit und darauf aufbauend eine verstärkte Fokussierung auf die unternehmerische Gesellschaftsverantwortung (Corporate Social Responsibility – CSR) einen starken Einfluss auf alle Abläufe und Entscheidungsprozesse.

Diese Veröffentlichung beschäftigt sich mit den Fragen, was diese Entwicklungen für den Bereich Arbeitsschutz im Bergbau bedeuten, und damit in welcher Form dies in die Curricula im Bereich der Bergbaustudiengänge eingebunden sein kann, um die Arbeitsmarktanforderungen abzudecken. Dazu wird zunächst definiert, was im Rahmen der Veröffentlichung unter dem Begriff Arbeitsschutz verstanden wird, wie der Stand der Einbindung im Bereich der Rohstoffgewinnung ist und worauf dieser basiert. In Bezug auf die Themen und die Einbindung in den Ausbildungsrahmen wird die Umsetzung des Themas in der akademischen Lehre aufgezeigt. Hierzu werden Beispiele der Bergbaustudiengänge der Technischen Universität (TU) Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, sowie das Projekt SafeMine – gefördert durch die EU im Rahmen von EIT RawMaterials – herangezogen.

2 Die Rolle der Hochschulausbildung

Zunächst einmal werden die Bereiche definiert, welche unter dem Begriff Arbeitsschutz zu verstehen sind. Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) versteht unter Arbeitsschutz alle Maßnahmen, „die Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz gewährleisten und verbessern" (1). Eine ähnliche Formulierung findet sich im Arbeitsschutzgesetz (ArbSchG) (2) § 1, welches jedoch keine Anwendung findet auf Betriebe, die dem Bundesberggesetz (BBergG) (3) unterliegen. Dieses verfügt über eigene Formulierungen zum Arbeitsschutz, und verpflichtet unter § 61(1) Unternehmer dazu, „die erforderlichen Maßnahmen und Vorkehrungen zu treffen, um Beschäftigte und Dritte vor Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachgüter zu schützen" (2). Weitere Detaillierungen sind in den Verordnungen zu finden, welche das BBergG konkretisieren. Auch international sind ähnliche Anforderungen an Betriebe gestellt. Beispielsweise in den USA fordert der „Occupational Safety and Heath Act of 1970" (OSH Act) unter Abschnitt 5(a(1)) Arbeitgeber auf, ihren Angestellten Arbeiten und Arbeitsplätze zu geben, welche frei von erkennbaren Gefahren für Leben oder schwere physische Verletzungen sind (4). Zusammenfassend kann an dieser Stelle festgestellt werden, dass Maßnahmen zum Erhalt von Leben und Gesundheit der Arbeiter in den Bereich Arbeitsschutz fallen. Weiterhin zeigt diese Kurzdarstellung rechtlicher Situationen, dass die Arbeitgeber für die Einhaltung der Arbeitsschutzmaßnahmen verantwortlich sind. Es gilt jedoch auch, dass sowohl national als auch international die Arbeitnehmer entsprechend zur Einhaltung der Arbeitsschutzmaßnahmen verpflichtet sind.

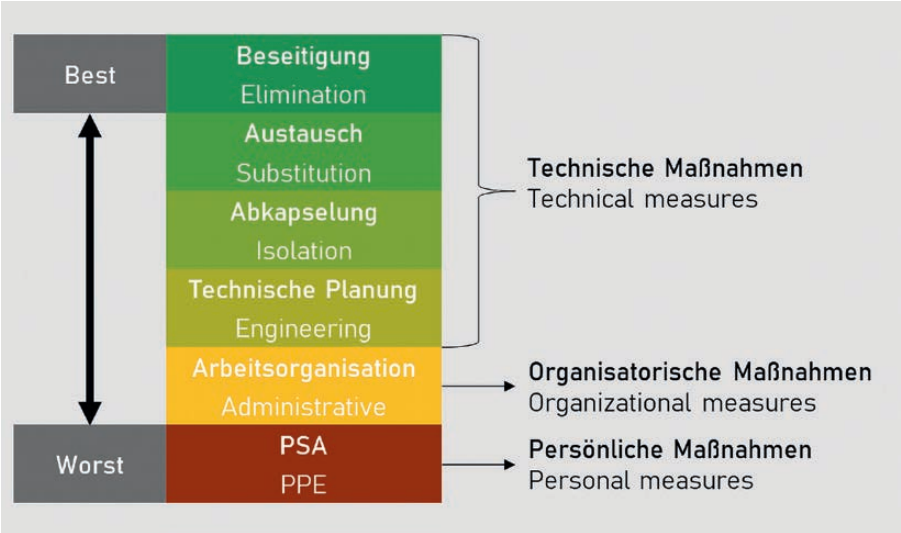

Fig. 1. Hierarchy of controls after (8). // Bild 1. Anwendungshierarchien der Maßnahmen nach (8).

assess the hazards and derive occupational safety measures. This in turn presupposes knowledge of suitable measures and an understanding of their interrelationships. In mining operations, the identification of potential hazards, especially in new processes and technologies, the risk assessment of activities in connection with them, and the development of suitable occupational safety measures are thus the tasks of qualified mining engineers.

The qualification for this is provided by the mining engineering education for which it is necessary to identify the topics relevant for the future and to implement them effectively in study programs. In the following, the topics will therefore first be described and classified, while a second subsequent section deals with their integration into the educational framework.

2.1 Topics and their context

Mining is the systematic extraction of valuable rock mass areas by humans by using machines. Thus, it can be described as the interaction of humans/organization, rock mass and machines. In this interaction, hazards can arise due to the misdirection of energy, so that OSH measures strive for risk minimization. The aim here is to avoid every occupational accident and every injury, however, measures are defined taking into account the feasibility (ALARP concept) (5, 6, 7).

According to the risk assessment procedure, two targets can be defined for this purpose: reducing the probability of occurrence and its impact. Here, both strong short-term impacts, such as accidents, and impacts of long-term exposures and late complications of short-term exposures must be taken into account. Examples include occupational diseases such as lung damage caused by dusts (pneumoconiosis). Measures to minimize the risks can be subdivided according to the hierarchy of controls, as shown in figure 1. Here, technical measures are generally preferred to organizational and personal measures (T-O-P principle).

In terms of the mining engineering curricula, the measures can be located in individual teaching areas, which in turn

Um eine von einer Tätigkeit oder Umgebung ausgehende Gefährdung von Leben oder Gesundheit einschätzen zu können, muss eine intensive Kenntnis über die Vorgänge dabei oder darin vorliegen. Hieraus folgt, dass nur Personen, die in dem entsprechenden Fachbereich qualifiziert sind, die Gefahren einschätzen und Arbeitsschutzmaßnahmen ableiten können. Dieses setzt dabei wiederum die Kenntnis von geeigneten Maßnahmen und das Verständnis von Wirkzusammenhängen voraus. In Bergbaubetrieben sind somit die Identifikation von potentiellen Gefahren, insbesondere bei neuen Verfahren und Technologien, die Gefährdungsbeurteilung von Tätigkeiten in Zusammenhang damit sowie die Erarbeitung geeigneter Arbeitsschutzmaßnahmen Aufgabe qualifizierter Bergbauingenieure.

Die Qualifikation schafft die bergbauliche Ausbildung, für die es gilt, die zukunftsrelevanten Themen zu identifizieren und sie effektiv in Studienangeboten umzusetzen. Im Folgenden sollen daher zunächst die Themenbereiche beschrieben und eingeordnet werden, während ein zweiter anschließender Bereich sich mit der Einbindung in den Ausbildungsrahmen beschäftigt.

2.1 Verortung der Themenbereiche

Die Rohstoffgewinnung ist der systematische Abbau von wertigen Gebirgsbereichen durch Menschen unter Zuhilfenahme von Maschinen. Somit kann es als Zusammenwirken von Mensch/Organisation, Gebirge und Maschinen beschrieben werden. In diesem Zusammenwirken kann es durch die Missleitung von Energie zu Gefährdungen kommen, sodass Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz die Risikominimierung anstreben. Übergeordnetes Ziel ist hierbei, jeden Arbeitsunfall sowie jede Schädigung zu vermeiden, wobei jedoch unter Berücksichtigung der Umsetzbarkeit (ALARP-Konzept) Maßnahmen definiert werden (5, 6, 7).

Nach der Vorgehensweise der Gefährdungsbeurteilung können hierzu zwei Angriffspunkte definiert werden: die Senkung der Auftretenswahrscheinlichkeit bzw. der Auswirkung. Hierbei sind sowohl starke Auswirkungen in kurzer Zeit wie durch Unfälle als auch Auswirkungen von Langzeitexpositionen und Spätfolgen von Kurzzeitexpositionen zu berücksichtigen. Beispiele hierfür sind Berufskrankheiten wie Lungenschädigung durch Stäube (Pneumokoniosen). Maßnahmen zur Minimierung der Risiken lassen sich nach Anwendungshierarchie unterteilen, wie in Bild 1 zu sehen. Hierbei sind technische Maßnahmen grundsätzlich den organisatorischen und persönlichen Maßnahmen vorzuziehen (T-O-P-Prinzip).

In Bezug auf die Themen des bergbaulichen Curriculums können die Maßnahmen in einzelnen Lehrbereichen verortet werden, die wiederum nach dem Zusammenwirken der Bereiche Gebirge, Maschine sowie Mensch zu ordnen sind. Als Grundlage für die Maßnahmendefinition ist eine geowissenschaftliche Ausbildung notwendig, die das Gefährdungspotential durch die Charakteristik des Gebirges einschätzen lässt. Die Kontrolle der Auswirkungen ist Bestandteil der Gebirgsmechanik, welche durch technische

are to be arranged according to the interaction of the areas of rock, machine as well as human. As a basis for the definition of measures, geoscience education is necessary, which allows to assess the hazard potential by the characteristics of the rock mass. The control of the effects is part of the rock mechanics, which guarantees the stability by technical planning. In addition to the load of the rock mass, dusts, gases and heat from the rock mass are potential hazards, which are regulated by ventilation (technical/organizational) measures. Another source of all three factors is machinery. Here, however, the goal of equipment engineering is located in a higher hierarchy level. The design as well as the selection of the equipment aims at a technical risk minimization by elimination, substitution, or isolation, respectively, which is complemented by the technical planning. This planning is deepened by situation-related method selection as well as organizational design with methods of mine planning, which are supplemented in the direction of management by mining economics. In order to correctly select the organizational and personal measures that are often used for redundancy in operational activities and to assess their effect, special courses on the subject of OSH supplement the curriculum.

Also the life cycle of a mine has to be taken into account. The pre-mining phase is already described by the planning. The special characteristics of vertical cavities and their construction require special consideration of hazards and measures in the context of shaft sinking and operation. Long-term safety is addressed by measures for removal and encapsulation of hazards in courses on mine closure and post-mining. Significant cross-disciplinary support for OSH is achieved on the one hand through the fundamental topics of engineering basics, law and economics, and on the other hand through the integration of cross-cutting topics such as digitalization and sustainability.

However, knowledge of the specific subject areas only leads to a limited ability to act on the job. Therefore, it is important to qualify the students by the integration into the educational framework as well as the competence orientation in the topics.

2.2 Integration in the educational framework

At least since the beginning of the Bologna process (9), the aim of the higher education is to qualify for a professional career and the labor market, so that it is necessary to develop the competencies for the assessment of hazards and deriving measures for the processes. However, the requirement to qualify for the labor market also leads to the challenge to prepare graduates for jobs of the future. Since it is difficult to foresee which technologies will be developed and used in the next 40 years, it is important to develop the skills of the students that can be applied under future conditions and to develop even more technologies and methods that will make the supply of raw materials safer and thus more sustainable. Based on the aimed qualification level and the specific job profile, the skills must be graded, so that in German academic education a distinction is made between bachelor's, master's and doctoral degrees.

Planung die Standsicherheit gewährleistet. Neben der Auflast des Gebirges sind Stäube, Gase und Wärme aus dem Gebirge ein Gefährdungspotential, welches durch wettertechnische (technisch/organisatorisch) Maßnahmen reguliert wird. Eine weitere Quelle aller drei Faktoren sind Maschinen. Hierbei ist das Ziel der Maschinentechnik jedoch in einer höheren Hierarchiestufe zu verorten: Die Gestaltung sowie Auswahl der Maschinen strebt eine technische Risikominimierung durch Beseitigung, Substitution, bzw. Abkapselung an, welche durch die technische Planung ergänzt wird. Vertieft wird diese Planung durch situationsbedingte Verfahrensauswahl sowie organisatorische Gestaltung mit Methoden der Bergbauplanung, welche in Richtung des Managements durch die Bergwirtschaftslehre ergänzt werden. Um die organisatorischen und persönlichen Maßnahmen, die häufig zur Redundanz im betrieblichen Alltag eingesetzt werden, korrekt zu wählen und deren Wirkung einzuschätzen, ergänzen Spezialvorlesungen zum Thema Arbeitssicherheit das Curriculum.

Gleichzeitig ist der Lebenszyklus einer bergbaulichen Aktivität zu berücksichtigen. Die Vorbergbauphase ist bereits durch die Planung beschrieben. Die spezielle Charakteristik der seigeren Grubenräume und deren Erstellung erfordert eine besondere Berücksichtigung der Gefährdungen und Maßnahmen im Rahmen des Schachtbaus. Die Langzeitsicherheit wird durch Maßnahmen zur Beseitigung und Abkapselung in Veranstaltungen zu Schließung und Nachbergbau adressiert. Maßgebliche überfachliche Unterstützung der Arbeitssicherheit wird einerseits durch die grundlegenden Themen der Ingenieursgrundlagen, des Rechts und der Wirtschaftslehre und andererseits durch die Einbindung von Querschnittsthemen wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit erreicht.

Die Kenntnis der spezifischen Fachbereiche führt jedoch nur eingeschränkt zu einer beruflichen Handlungsfähigkeit. Daher gilt es, durch die Einbindungen in den Ausbildungsrahmen sowie die Kompetenzorientierung in den Themen die Studierenden zu qualifizieren.

2.2 Einbindung in den Ausbildungsrahmen

Spätestens seit dem Beginn des Bolognaprozesses (9) ist es Ziel der akademischen Ausbildung, für eine berufliche Tätigkeit und den Arbeitsmarkt zu qualifizieren, sodass es gilt, die Kompetenzen zur Einschätzung von Gefährdungen und Ableiten von Maßnahmen für die Prozesse zu entwickeln. Die Maßgabe für den Arbeitsmarkt zu qualifizieren, führt jedoch auch zu der Herausforderung, dass die Absolventen für ihre Arbeitsplätze der Zukunft ausgebildet werden. Da es schwierig abzusehen ist, welche Technologien in den nächsten 40 Jahren entwickelt und eingesetzt werden, gilt es, die Fähigkeiten der Studierenden zu entwickeln, die auch unter den zukünftigen Bedingungen angewendet werden können und noch viel mehr Technologien und Methoden zu entwickeln, welche die Rohstoffversorgung sicherer und damit nachhaltiger gestalten. Hierbei gilt es natürlich auf Basis des Qualifikationsziels, die Fähigkeiten auf Basis des spezifischen Berufsbilds abzustufen, sodass in der deutschen akademischen Ausbildung nach Bachelor, Master und Promotion unterschieden wird.

Diese Maßgaben stellen in der aktuellen Hochschulausbildung ein angestrebtes Ziel, aber nicht den aktuellen Stand dar. Historisch geprägt zielt die Ausbildung häufig immer noch auf eine Vermittlung von Inhalten und weniger auf die Bildung von

These requirements represent an intended goal in current higher education, but not the current state. Historically, education often aimed at teaching content rather than building competencies. However, major changes can also be seen in the field of safety. Curricula that were strongly focused on the technical area are increasingly being supplemented by safety topics. The operational practice, supported by the prevention work of the workers' compensation boards, of learning from accidents and near-accidents, first found its way into companies and was later carried into academic training. In the USA, e.g., the introduction of the MINER Act (10) led to a more intensive inclusion of the topic in the curricula of the programs, so that specific courses are offered. The current status for the USA is represented by criteria of the accreditation agency ABET, which require the integration of the topic "health and safety" in the curriculum (11). In addition to this general involvement, degree programs have also been introduced that address the topic with full scope. The introduction of a Graduate Certificate in Mining Occupational Safety and Health at the University of Arizona represents one example (12). Similar drivers that lead to a change in the study content are, in addition to the changes in the legal basis, such as the occupational exposure limits in Europe, the strengthening of CSR, the VISION ZERO (6) called by the workers' compensation board in 2015, and the introduction of the Mining Principles of the International Council on Mining & Metals (ICMM) (5).

These examples show the possibilities for integrating the topic of OSH into training. On the basis of the analogy with the complex of sustainability, which, like safety, is a cross-cutting issue, the strategies for integration into mining curricula can be transferred so that, according to (13), four approaches can be distinguished:

I. coverage of aspect in existing courses;
II. special courses;
III. intertwining in regular courses; and
IV. deepening in the field.

Kompetenzen. Jedoch sind große Veränderungen auch im Bereich der Sicherheit zu erkennen. Curricula, welche stark auf den technischen Bereich fokussiert waren, werden zunehmend durch Themenkomplexe der Sicherheit ergänzt. Die betriebliche Praxis, die durch die Präventionsarbeit der Berufsgenossenschaften unterstützt wird, aus Unfällen und Beinaheunfällen zu lernen, erhielt zunächst Einzug in den Betrieben und wurde später durch Austausch und Kooperationen in die akademische Ausbildung getragen. In den USA beispielsweise führte die Einführung des MINER Act (10) zu einer Verstärkung des Themas in den Curricula der Programme, sodass spezifische Kurse angeboten werden. Den aktuellen Stand für die USA stellen Kriterien der Akkreditierungsagentur ABET dar, welche die Einbindung der Themen „health and safety" ins Curriculum fordern (11). Neben dieser generellen Einbindung sind außerdem Studiengänge eingeführt worden, die sich dem Thema mit voller Breite widmen, die Einführung eines Graduate Certificate in Mining Occupational Safety and Health an der University of Arizona stellt ein Beispiel hierfür dar (12). Ähnliche Treiber, die zu einer Änderung der Studieninhalte führen, sind neben den Änderungen der rechtlichen Grundlagen, wie beispielsweise den Arbeitsplatzgrenzwerten in Europa, die Verstärkung der CSR, die von der Berufsgenossenschaft 2015 aufgerufene VISION ZERO (6) sowie die Einführung der Mining Principles des International Council on Mining & Metals (ICMM) (5).

Die aufgeführten Beispiele zeigen die Möglichkeiten, das Thema Sicherheit in die Ausbildung zu integrieren. Auf Basis der Analogie zum Komplex der Nachhaltigkeit, welche wie die Sicherheit ein Querschnittthema darstellt, lassen sich die Strategien zur Integration in bergbauliche Curricula übertragen, sodass nach (13) vier Ansätze unterschieden werden können:

I. Abdeckung von Aspekten in bestehenden Kursen,
II. spezielle Kurse,
III. Einflechtung in reguläre Kurse und
IV. Vertiefungsmöglichkeiten.

Zwei spezifische Aspekte der Qualifikationsstufen (Bachelor, Master, Aufbaustudium, Promotion) sind maßgeblich für die Auswahl eines Ansatzes für die Gestaltung bergbaulicher Lehrveranstaltungen: die Rahmenbedingungen der Lehre sowie das Berufsbild der Absolvent*innen. Im folgenden Abschnitt wird die Auswahl für die verschiedenen Stufen dargestellt, welche auch in Bild 2 zusammengefasst ist.

Qualifikationsstufe / Stage	Bachelor	Master	Promotion / PhD
Berufsbild / Occupational profile	Anwender*in Unteres Management / User Lower management	Mittleres Management Entwickler*in / Middle Management Creator	Expert*in Fachberatung / Expert Expert consultant
Fachspezifischer Curricularanteil / Discipline specific share of curriculum	gering / low	hoch / high	fast ausschließlich / almost exclusively
Integrationsstrategie / Strategy of integration	Spezialisierung, Einflechtung / Specialization, Intertwining	Einflechtung, Spezialisierung, Vertiefung / Intertwining, Specialization, Deepening	Vertiefung / Deepening

Fig. 2. Influences on the course design based on qualification stages.
Bild 2. Qualifikationsstufen in Bezug auf Einflüsse der Lehrveranstaltungsgestaltung.

2.2.1 Bachelorstudium

Das Bachelorstudium qualifiziert für eine berufliche Tätigkeit in Rohstoffbetrieben, sodass das Ziel des Studiums sein muss, die Studierenden zu befähigen, anhand des Kennens und Erkennens von Gefährdungen verantwortlich im betrieblichen Umfeld zu handeln. Daher ist im Curriculum die Basis für Gefährdungsbeurteilung durch einen speziellen Kurs (vgl. II) zu legen. Gleichzeitig stellen die fachspe-

Two specific aspects of the qualification levels (bachelor, master, postgraduate) are decisive for the selection of an approach for the design of mining courses: the framework conditions of the teaching and the job profile of the graduates. The following section presents the selection for the different stages, which is also summarized in figure 2.

2.2.1 Bachelor's program

The bachelor's program qualifies students for a job in the raw material industry, so that the goal of the program must be to enable the students to act responsibly in the operational environment based on the knowledge and detection of hazards. Therefore, the basis for risk assessment has to be laid in the curriculum by a special course (cf. II). At the same time, the mining-specific content of the program is only a part of it, since the engineering fundamentals are laid in the course of study. Therefore, special attention is given to the effective integration of OSH-aspects. All other mining-related courses should intertwine the safety aspects (cf. III), since, on the one hand, the necessary mindset can be developed more effectively and, on the other hand, the scope of the subject-specific courses is limited. It should be noted, however, that currently safety is more often addressed in single sections of courses (cf. I) and is not conceptually integrated into the courses.

2.2.2 Master's program

Based on the competencies of the bachelor's program, the master's program qualifies students for the analysis, evaluation and creation of engineering solutions in the most diverse aspects of the mining industry. Specific examples for this are the preparation of risk assessments and the implementation and planning of resulting measures according to the T-O-P-principle in the planning phase of mining activities, and selection of machinery and equipment. The aim is to make safety the motivation for action, to which the integration of digitization and software is increasingly contributing. The range for integration is larger in master's programs, since the mining-specific content predominates in the curriculum. Nevertheless, a conceptual integration (cf. III) in the courses should be aimed at in order to achieve a holistic interconnection of content and a deeper understanding of the interrelationships. In addition, courses on safety-specific topics, such as mine rescue or rock support technology, offer opportunities for a more intensive study of the content (cf. II). Individual elective subjects, voluntary additional subjects and the orientation of study and master's theses can lead to individual in-depth study in the field of safety already in the master's program (cf. IV).

2.2.3 PhD

The PhD represents the third level of the qualification framework and refers to an in-depth examination of a specific field of research. The aim is to demonstrate independent research ability and significant social development through new findings and approaches (14). However, structured doctoral programs are rarely offered to achieve this goal. In Germany, in the field of mining, the proof of qualification is based on the documentation of research activity within the framework of

zifischen Inhalte des Studiums lediglich einen Teil dar, da die ingenieurwissenschaftlichen Grundlagen im Studium gelegt werden. Daher liegt ein besonderes Augenmerk auf der effektiven Integration der Sicherheitsaspekte. Alle anderen bergbaulichen Veranstaltungen sollten die Sicherheitsaspekte einflechten (vgl. III), da einerseits die notwendige Mentalität effektiver entwickelt werden kann und andererseits der Umfang der fachspezifischen Lehrveranstaltungen begrenzt ist. Hierbei ist jedoch anzumerken, dass aktuell häufiger Sicherheit bereichsweise adressiert (vgl. I) und nicht konzeptionell in die Lehrveranstaltungen eingebunden wird.

2.2.2 Masterstudium

Aufbauend auf den Kompetenzen des Bachelorstudiums qualifiziert das Masterstudium zur Analyse, Bewertung und Schaffung von ingenieurtechnischen Lösungen in den verschiedensten Ausprägungen der Rohstoffindustrie. Konkrete Beispiele hierfür sind die Erstellung von Gefährdungsbeurteilung und die Umsetzung und Planung resultierender Maßnahmen nach dem T-O-P-Prinzip auch in der Planungsphase bergbaulicher Unternehmungen sowie in der Planung von Maschinen und Betriebsmitteln. Ziel ist es, die Sicherheit zur Motivation im Handeln zu machen, wozu in zunehmendem Maß auch die Einbindung von Digitalisierung und Software beiträgt. Der Rahmen zur Integration ist in Masterstudiengängen größer, da die fachspezifischen Inhalte im Curriculum überwiegen. Trotzdem ist eine konzeptionelle Integration (vgl. III) in die Kurse anzustreben, um auf die ganzheitliche inhaltliche Vernetzung sowie ein tieferes Verständnis der Wirkzusammenhänge abzuzielen. Zusätzlich bieten Kurse zu sicherheitsspezifischen Themen wie das Grubenrettungswesen oder Ausbautechnik die Möglichkeiten zur stärkeren Auseinandersetzung mit den Inhalten (vgl. II). Durch individuelle Wahlfächer, freiwillige Zusatzfächer sowie der Ausrichtung von Studien- und Masterarbeiten kann es zu einer individuellen Vertiefung im Bereich der Sicherheit bereits im Masterstudium kommen (vgl. IV).

2.2.3 Promotion

Die Promotion stellt die dritte Stufe des Qualifikationsrahmens dar und bezieht sich auf eine vertiefte Auseinandersetzung mit einem spezifischen Forschungsgebiet. Ziel ist der Nachweis der eigenständigen Forschungsfähigkeit und die maßgebliche gesellschaftliche Entwicklung durch neue Erkenntnisse und Ansätze (14). Zur Erreichung dieses Ziels werden jedoch selten strukturierte Promotionsprogramme angeboten. In Deutschland beruht im Fachbereich Bergbau der Qualifikationsnachweis auf der Dokumentation der eigenen Forschungstätigkeit im Rahmen einer (kumulativen) Dissertationsschrift. Der Prozess der Forschungstätigkeit und Qualifikation kann hierbei durch individuelle Kurse ergänzt werden. Weltweit sind strukturierte Promotionsprogramme zwar weiter verbreitet als in Deutschland, jedoch bestehen international keine Programme für den Bereich Arbeitssicherheit im Bergbau. Gleichzeitig wird ein Bedarf für spezifische Weiterbildungsangebote auch auf dieser Ebene von internationalen Führungskräften identifiziert (15).

Zur Entwicklung von Angeboten sind wie auf allen anderen Ebenen die Bedürfnisse der Zielgruppe und die angestrebten Lernergebnisse zu berücksichtigen. Da die bearbeiteten Forschungsthemen sehr spezifisch sind, sind die Angebote kleintei-

a (cumulative) dissertation thesis. The process of research activity and qualification can be supplemented by individual courses. Although structured doctoral programs are more widespread worldwide than in Germany, no programs exist for the field of OSH in mining internationally. At the same time, a need for specific further training courses is also identified at this level by international managers (15).

As at all other levels, the needs of the target group and the intended learning outcomes must be taken into account when developing programs. Since the research topics are very specific, the offers must be designed in small sections so that they can be combined into modular and individual programs. Thus, multi-day workshops with preparation and wrap-up phases to deepen the topic (cf. IV) are appropriate.

Since OSH is a cross-cutting topic, the content of the topic can be selected in such a way that it is conducive to doctoral students from different research fields, so that a larger learning group is created, which also supports the development of competencies. The course design should offer space for the individual development of the learners, which is used for the application in the own research area as well as for the reflection of the process. At the same time, the presentation and discussion of one's own approaches in the group can further develop individual approaches and, at the same time, provide new approaches and ideas for the discussion participants. This approach requires a minimum number of participants, which is often not given for the mining field or its subfields. A cooperation of several universities, also in an international framework, can create such an opportunity, which at the same time strengthens the networking of the doctoral students and thus prepares them for their job.

2.2.4 SafeMine

The structured PhD-program SafeMine largely follows the approach described above. It was launched as a pilot project, funded by the EU within the framework of the EIT RawMaterials Academy as a joint project of four European universities in 2018. The SafeMine objective was to train qualified professionals for the European mining sector in the area of OSH (16). In this program, one doctoral student from each of the participating universities started their research work on OSH-related topics. In addition, in order to create a common framework, multi-day workshops were developed in this pilot project in close cooperation with industrial consortium-partners, in which current and future needs of the labor market are addressed. Examples include special workshops on OSH in tunnelling, ergonomic workplaces in the raw materials industry and ventilation challenges in the context of the electrification of underground mines. To obtain the "SafeMine"-certificate, the PhD-students have to participate in all offered workshops. By opening the courses to master's students and industry representatives, the content has also been made available to a broad professional audience and can be further developed based on feedback from all areas.

After the pilot phase, it was evaluated how the project could be continued. The relevance of the content was confirmed by all target groups, at the same time formal issues lig anzulegen, sodass sie modular und individuell zu Programmen zusammengefügt werden können. Somit sind Mehrtagesworkshops mit Vor- und Nachbereitungssequenzen zur Vertiefung des Themas (vgl. IV) passend.

Da Arbeitssicherheit ein Querschnittsthema ist, können Themen inhaltlich so gewählt werden, dass sie für Promovierende verschiedener Forschungsrichtungen förderlich sind, sodass eine ausreichende Lerngruppe entsteht. Diese ist auch für die Entwicklungen der Kompetenzen notwendig. Hierbei soll das Veranstaltungsdesign genug Raum für die individuelle Entwicklung der Lernenden bieten, der für die Anwendung im eigenen Themenfeld sowie die Reflektion des eigenen Prozesses genutzt wird. Gleichzeitig kann die Vorstellung und Diskussion der eigenen Ansätze in der Gruppe einzelne Ansätze weiterentwickeln und gleichzeitig für die Diskussionsteilnehmenden neue Ansätze und Ideen liefern. Diese Herangehensweise, die aus Promotionkollegs und ähnlichen Einrichtungen bekannt ist, bedarf jedoch einer Mindestteilnehmendenzahl, die häufig für den bergbaulichen Fachbereich bzw. dessen Unterbereiche nicht gegeben ist. Eine Kooperation mehrere Hochschulen auch im internationalen Rahmen kann eine solche Möglichkeit schaffen, die gleichzeitig die Vernetzung der Promovierenden stärkt und sie somit auf ihre berufliche Tätigkeit vorbereitet.

2.2.4 SafeMine

Der Grundstein für ein solches Angebot sollte das strukturierte PhD-Programm SafeMine schaffen, welches weitestgehend den beschriebenen Ansatz verfolgt. Dieses ist als Pilotprojekt, gefördert durch die EU im Rahmen der EIT RawMaterials Academy, als Verbundvorhaben von vier europäischen Hochschulen 2018 gestartet worden. Das SafeMine-Ziel war die Qualifikation von hochqualifiziertem Führungspersonal für den europäischen Bergbausektor im Bereich Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz (16). Dazu starteten an den beteiligten Hochschulen je ein*e Doktorand*in ihr*e Forschungsarbeit an arbeitssicherheitsbezogenen Themen. Zusätzlich, um einen strukturierten gemeinsamen Rahmen zu schaffen, wurden in diesem Pilotprojekt in enger Kooperation mit Industriepartnern im Konsortium Mehrtagesworkshops entwickelt, in denen aktuelle und zukunftsgerichtete Bedarfe des Arbeitsmarkts adressiert werden. Beispiele hierzu sind spezielle Workshops zur Arbeitssicherheit im Tunnelbau, ergonomischen Arbeitsplätzen in der Rohstoffindustrie und wettertechnischen Herausforderungen im Kontext der Elektrifizierung von Untertagebetrieben. Zur Erlangung des Zusatzzertifikats „SafeMine" ist es für die Promovierenden Voraussetzung, an allen angebotenen Workshops teilzunehmen. Durch Öffnung der Kurse für Masterstudierende und Industrievertreter*innen zur beruflichen Weiterbildung wurden die Inhalte außerdem einem breiten Fachpublikum zugänglich gemacht und können auf Basis der Rückmeldungen aus allen Bereichen weiterentwickelt werden.

Nach der Pilotphase wurde überprüft, in welchem Rahmen das Projekt weitergeführt werden kann. Die inhaltliche Relevanz aller Angebote wurde von allen Zielgruppen bestätigt, gleichzeitig stehen einer Weiterführung als strukturiertes Promotionsprogramm formale Gegebenheiten entgegen. Aufgrund der geringen Kohortengröße können Workshops nicht mehrfach in einem Jahr durchgeführt werden, sodass es notwendig ist, dass die Stu-

opposed a continuation as a structured PhD-program. Due to the small cohort size, workshops cannot be held several times a year, so international travel for several days at fixed dates is necessary for students. A complete digitization of the program was excluded in the context of the project, as especially elements of experiential learning are core elements of the courses. Since the program is not supported by an organization with the necessary framework, administrative, uniform processes as well as common learning management systems are not given, so that complex individual solutions have to be developed. To ensure consideration in the European doctoral training programs, the program also needs to be accredited, which requires sponsorship. Thus, the intended full certificate as a goal of the structured program is not sustainable. However, as the content was rated as highly-relevant by the participants, the individual workshops will be continued with individual certificates.

2.2.5 In-service training

In addition to workshop offerings that are open to professionals for life-long-learnig, special advanced education courses and study programs offer an in-depth continuing education opportunity especially for people who are continuing their education while working. In these areas, approaches and offers already presented can also be integrated, taking into account the specificity of the target group.

3 Conclusion and outlook

Future-oriented training integrates OSH-issues both thematically and conceptually in all education levels. It thus contributes to responsible action, a safety-oriented mindset and, fundamentally, sustainable mining practices. In this way, it fulfills the standards of legal frameworks and society's mandate and supports the responsible supply of mineral raw materials to the society.

The engines of mining development do not stand still. Deeper, more complex deposits in remote areas, but also in areas with strong conflicts of interest, require further development of the state of the art. In this context, automation and

dierenden zu festen Terminen mehrtägige internationale Reisen antreten. Eine vollständige Digitalisierung des Angebots wurde im Rahmen des Projekts ausgeschlossen, da besonders Elemente des erfahrungsbedingten Lernens Kern der Kurse sind. Da das Programm nicht durch eine Organisation mit den notwendigen Rahmenbedingungen getragen wird, bestehen Schwierigkeiten in administrativen, einheitlichen Abläufen sowie einer Lerninfrastruktur, sodass komplexe Einzellösungen entwickelt werden müssen, die auch einer verstärkten Digitalisierung entgegenstehen. Um eine Berücksichtigung in den europäischen Promotionsausbildungen zu gewährleisten, ist außerdem eine Akkreditierung des Programms notwendig, die einer Trägerschaft bedarf. Somit ist das angestrebte Vollzertifikat als Ziel des strukturierten Programms nicht zukunftsfähig. Dem identifizierten Bedarf soll jedoch mit Weiterführung der Einzelworkshops mit individuellen Einzelzertifikaten nachgekommen werden.

2.2.5 Berufsbegleitende Weiterbildung

Neben Workshopangeboten, die für Berufstätige zur Weiterbildung geöffnet sind, bieten spezielle Aufbau- und Weiterbildungsstudiengänge eine vertiefende Weiterbildungsmöglichkeit besonders für Personen, die sich berufsbegleitend fortbilden. In diesen Bereichen können auch bereits vorgestellte Ansätze und Angebote unter Berücksichtigung der Zielgruppenspezifität eingebunden werden.

3 Fazit und Ausblick

Eine zukunftsgerichtete Ausbildung bindet die Arbeitssicherheit und den Gesundheitsschutz sowohl thematisch als auch konzeptionell in allen Qualifikationsstufen ein. Somit trägt sie zum verantwortlichen Handeln, einer sicherheitsbezogenen Haltung und grundsätzlich einer nachhaltigen Bergbaupraxis bei. Damit erfüllt sie den gesellschaftlichen Auftrag und unterstützt die verantwortungsbewusste Versorgung der Gesellschaft mit mineralischen Rohstoffen, deren Mindeststandards durch die rechtlichen Grundlagen definiert sind.

Die Motoren der bergbaulichen Entwicklung stehen nicht still. Tiefere, komplexere Lagerstätten in abgeschiedeneren Gebieten aber auch in Gebieten mit starken Interessenkonflikten bedürfen

digitalization reduce the probability of occurrence of hazards. For highly-remote mines, however, the lack of connection to medical infrastructure represents a high motivation to avoid damage by work safety and also to develop effective rescue concepts. The integration of these challenges and the development of situational approaches in academics motivates the students by making them aware of their self-efficacy and strengthens the spirit of innovation, which enables these students to solve tomorrow's tasks.

The further development of the study programs and their contents must take into account the development and research in mining. Therefore, the mapped topics and targeted competencies must be steadily updated and supplemented by the integration of technology-independent, timeless methods and approaches. The incentive for this further development is the societal desire for a safe and sustainable supply of raw materials, which is expressed by legal regulations and industrial standards.

Acknowledgements

The SafeMine project received funding from the EU's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 17115 from the European Institute for Innovation and Technology (EIT).

einer Weiterentwicklung des Stands der Technik. Hierbei senken Automatisierung und Digitalisierung die Auftretenswahrscheinlichkeit von Gefährdungsereignissen. Für besonders abgelegene Bergwerke stellt aber gleichzeitig die fehlende Anbindung an medizinische Infrastruktur eine hohe Motivation zur Vermeidung von Schädigungen durch sicheres Arbeiten und auch zum Aufbau wirksamer Rettungskonzepte dar. Eine Einbindung solcher aktueller Herausforderungen und eine Erarbeitung möglicher Lösungsstrategien in die akademische Ausbildung motiviert hierbei die Studierenden durch die Bewusstmachung ihrer Selbstwirksamkeit und verstärkt den Innovationsgeist, welche diese Studierenden zum Lösen der Aufgaben von morgen befähigt.

Die Weiterentwicklung der Studienprogramme und ihrer Inhalte muss den Entwicklungen der bergbaulichen Praxis und den Ergebnissen der Forschung Rechnung tragen. Daher sind die abgebildeten Themen und angestrebten Kompetenzen dauerhaft zu aktualisieren und diese durch die Integration von technikunabhängigen, zeitlosen Methoden und Ansätzen zu ergänzen. Der Ansporn zu dieser Weiterentwicklung stellt der gesellschaftliche Wunsch nach einer sicheren und nachhaltigeren Rohstoffversorgung dar, welcher durch gesetzliche Regelungen und industrielle Standards Ausdruck findet.

Förderung

Das Projekt SafeMine wurde vom European Institute for Innovation and Technology (EIT) unter der Projektnummer 17115 finanziert. Diese Einrichtung der EU wird im Rahmen des Forschungs- und Innovationsprogramms Horizon 2020 der EU unterstützt.

References / Quellenverzeichnis

(1) Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA): Organisation des betrieblichen Arbeitsschutzes (online). Available from: www.baua.de
(2) Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit. ArbSchG. BGBl. I, 7. August 1996, S. 3334.
(3) Bundesberggesetz. BBergG. BGBl. I, 13. August 1980, S. 1310.
(4) Occupational Safety and Health Act. OSH Act. United States Statutes at Large, 29th December 1970, pp. 1590–1620.
(5) International Council on Mining & Metals (ICMM): Mining Principles. Performance Expectations. 2020.
(6) Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie: VISION ZERO. Null Unfälle – gesund arbeiten! Die neue Präventionsstrategie der BG RCI, 10/2015.
(7) Sørskår, L. I. K.; Selvik, J. T.; Abrahamsen, E. B.: On the use of the vision zero principle and the ALARP principle for production loss in the oil and gas industry. In: Reliability Engineering & System Safety. 2019, 191, 106541. doi 10.1016/j.ress.2019.106541.
(8) New South Wales Government: Risk assessment workbook for mines. Metalliferous, extractive and opal mines, and quarries. 2015.
(9) European Union: The Bologna process: setting up the European higher education area. Bologna Declaration, 19th September 1999.
(10) Mine Improvement and New Emergency Response Act of 2006. MINER Act. United States Statutes at Large, 15th June 2006, pp. 493–505.
(11) ABET: Criteria for Accrediting Engineering Programs. E001 11/30/2019, 30th November 2019.
(12) The University of Arizona: Graduate Certificate in Mining Occupational Safety and Health (online). Viewed 11th February 2021. Available from: https://online.engineering.arizona.edu/online-programs/mining-and-geological-engineering/graduate-certificate-in-mining-occupational-safety-and-health/.
(13) Shields, D.; Verga, F.; Andrea Blengini, G.: Incorporating sustainability in engineering education. In: International Journal of Sustainability in Higher Education. 2014, 15(4), pp 390-403. doi 10.1108/IJSHE-02-2013-0014.
(14) Kultusministerkonferenz: Qualifikationsrahmen für deutsche Hochschulabschlüsse, 16th February 2017.
(15) Weimer, L.; Angeli, V.; Binder, A.; Feyerabend, C.; Galler, R.; Hofer, P.; Hutwalker, A.; Johansson, J.; Langefeld, O.; Lottermoser, B.; Lööw, J.: Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in der Rohstoffindustrie im Kontext moderner Hochschulbildung: das SafeMine-Programm. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. 2019. doi 10.1007/s00501-019-00920-y.
(16) Hutwalker, A.; Binder, A.; Langefeld, O.; Galler, R.; Johansson, J.; Weimer, L.; Braun, T.; Lottermoser, B.: Mine Health and Safety in Postgraduate Education: SafeMine PhD-Programme. In: BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte. 2018, 163(12), pp. 528–531. doi 10.1007/s00501-018-0801-1.

Authors / Autoren

Dr.-Ing. Alexander Hutwalker, Angela Binder M. Sc.,
Prof. Dr.-Ing. Oliver Langefeld, Institut für Bergbau,
TU Clausthal, Clausthal-Zellerfeld