

## Reallabor Nivelstein – Sustainable Structures for a Future-oriented Raw Material Supply

A secure and sustainable supply of raw materials is one of the societal challenges of our time. At the same time, the extraction of raw materials itself faces challenges of great complexity. These include, among others, the trend towards lower grade deposits, increasing requirements for carbon neutral raw material extraction and rapid advancements in digital technologies. To meet this complexity, the focus is increasingly on interdisciplinary approaches and the integration and involvement of different actors. Small and medium-sized enterprises (SMEs) in particular do not usually have their own research, development and innovation (RDI) departments to account for increasing demands with

existing capabilities. Universities and other research institutions, in contrast, usually lack access to industry partners and industrial sites in the immediate vicinity as well as to industrial production processes in order to develop and evaluate technologies and solution approaches under relevant, real-world conditions. In the living lab Nivelstein a research, development and innovation infrastructure is currently being created in cooperation between the Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH and RWTH Aachen University, in which solutions for a sustainable raw material supply can be developed and tested in a real environment.

## Reallabor Nivelstein – Nachhaltige Strukturen für eine zukunftsfähige Rohstoffversorgung

Eine sichere und nachhaltige Versorgung der Gesellschaft mit den notwendigen Rohstoffen zählt zu den großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit. Dabei steht die Rohstoffgewinnung selbst vor Herausforderungen mit hoher Komplexität. Beispielsweise zählen hierzu der Trend zur generellen Abnahme der Wertstoffgehalte vieler Lagerstätten, steigende Anforderungen an die Klimaneutralität der Rohstoffgewinnung und rapide sowie teils schnelllebige Entwicklungen digitaler Technologien. Um dieser Komplexität zu begegnen, rücken zunehmend interdisziplinäre Lösungsansätze und die Integration und Einbeziehung verschiedener Akteure in den Fokus. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen verfügen in der Regel nicht über eigene Forschungs-

und Innovationsabteilungen, um den steigenden Anforderungen mit eigenen Ressourcen begegnen zu können. Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen hingegen fehlt häufig meist der Zugang zu Betrieben im unmittelbaren Umfeld und zu aktiven Produktionsprozessen, um Technologien und Lösungsansätze unter relevanten Bedingungen zu entwickeln und zu evaluieren. Im Reallabor Nivelstein entsteht aktuell in Zusammenarbeit zwischen der Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH und der RWTH Aachen University eine Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsinfrastruktur, in der Lösungen für eine zukunftsfähige Rohstoffversorgung in einem realen Umfeld erforscht, entwickelt und getestet werden können.

### 1 Research and development for a future-oriented raw material supply

Germany is a resource-rich country with a large number of high-quality primary deposits and is self-sufficient in some raw materials. (1) In addition, Germany has a distinctive mining equipment and technology supply industry, which develops and produces products that are in demand worldwide in many areas. In the federal state of North Rhine-Westphalia in particular, there is a unique cluster of competencies in the field of raw materials extraction. This cluster relies on a regional concentration of institutions and companies contributing excellence in research, training, innovation and technology embedded in an environment that is open to technology development and promotes innovation. (2) However, the secure and

### 1 Forschung und Entwicklung für eine zukunftsfähige Rohstoffversorgung

Deutschland ist ein rohstoffreiches Land mit einer Vielzahl hochwertiger primärer Lagerstätten und ist bei einigen Rohstoffen Selbstversorger. (1) Darüber hinaus verfügt Deutschland über eine ausgeprägte Bergbauzulieferindustrie, die in vielen Bereichen weltweit gefragte Produkte entwickelt und produziert. Insbesondere in Nordrhein-Westfalen existiert im Bereich der Rohstoffgewinnung eine einzigartige Bündelung von Kompetenzen, resultierend aus einer regionalen Konzentration von führenden Institutionen und Unternehmen, die gleichermaßen exzellente Forschung, Ausbildung, Innovationen und Technologieführerschaft in einer technologieoffenen und innovationsfördernden Umgebung umfassen. (2) Die sichere und nachhaltige Versorgung der Gesellschaft mit Roh-

sustainable supply of raw materials today faces challenges with high complexity. These include, among others, the trend towards lower grade deposits, increasing requirements for carbon neutral raw material extraction and rapid advancements in digital technologies.

Small and medium-sized enterprises (SMEs) in particular do not usually have their own research, development and innovation (RDI) departments to account for increasing demands with existing capabilities. Universities and other research institutions, in contrast, usually lack access to industry partners and industrial sites in the immediate vicinity as well as to industrial production processes in order to develop and evaluate technologies and solution approaches under relevant, real-world conditions. The main reasons for this are the different scale of laboratory compared to industry processes as well as the challenging harsh environmental conditions which are hardly simulated in laboratory. Secondly, high safety requirements in the constantly evolving processes in the field of raw material extraction and processing challenge universities to regularly carry out field testing work.

In order to be able to reconcile demand-oriented raw material extraction with sustainable land, water and energy management as well as quality optimization of the extracted and processed products, new technologies and approaches are required. Through the cooperation of stakeholders from the fields of education and training, research and industry, technological innovations can be fostered and new opportunities can be created through long-term cooperation. In the past, cooperation between education, research and industry has often proved to be a challenge. Differing objectives and approaches, the lack of a common basis for cooperation – such as the point of view on the content or problem or the given infrastructure – as well as often complicated and lengthy paths to public funding for research projects, are frequently mentioned as constraints to efficient and cooperative research and development.

In contrast, cooperative and collaborative research and development projects can offer great potential to all parties involved. Ideally, the mining companies, as well as the numerous suppliers, provide educational and research institutions with insights into current problems and the state of the art of the technology used. In exchange, these industrial companies represent important test fields for education and research. Consequently, education and research provide industrial companies with access to current and future technology developments as well as educate talent. The cooperation outlined above requires trust as well as close and long-term cooperation on the part of all parties involved. Establishing these types of double helix cooperative structures is the intention behind the Reallabor Nivelstein. The Reallabor Nivelstein is a cooperation project between the Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH (NSW), Herzogenrath/Germany, and the RWTH Aachen University, Aachen/Germany, represented by the Institute for Advanced Mining Technologies (AMT, directed by Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen) and the Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung Mineralischer Rohstoffe (AMR, directed by Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hermann Wotruba), which aims to contribute to the future viability and sustainability of domestic raw material supply (3).

stoffen steht jedoch heute vor Herausforderungen mit hoher Komplexität. Beispielsweise zählen hierzu der Trend zur Abnahme des Wertmineralgehalts vieler Lagerstätten, steigende Anforderungen an die Klimaneutralität der Rohstoffgewinnung und rapide sowie teils schnelllebigere Entwicklungen digitaler Technologien.

Um dieser Komplexität zu begegnen rücken zunehmend interdisziplinäre Lösungsansätze und die Integration und Einbeziehung verschiedener Akteure in den Fokus. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen (KMUs) verfügen in der Regel nicht über eigene Forschungs- und Innovationsabteilungen, um den steigenden Anforderungen mit eigenen Ressourcen begegnen zu können. Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen hingegen fehlt häufig der Zugang zu Betrieben im räumlichen Umfeld und zu aktiven Produktionsprozessen, um Technologien und Lösungsansätze unter relevanten Bedingungen zu entwickeln und zu evaluieren. Als Gründe hierfür sind sowohl der unterschiedliche Maßstab von Labor- im Vergleich zu Realprozessen, als auch die herausfordernden rauen Umgebungsbedingungen und hohen Sicherheitsanforderungen bei den sich stetig weiterentwickelnden Prozessen im Umfeld der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung anzuführen.

Um auch in Zukunft eine bedarfsgerechte Rohstoffförderung bei gleichzeitiger Ressourcenschonung hiesiger Lagerstätten mit Aspekten wie nachhaltigem Flächen-, Wasser- und Energiemanagement sowie einer Qualitätsoptimierung der geförderten und aufbereiteten Produkte vereinbaren zu können, bedarf es neuartiger Technologien und Lösungsansätze. Durch die Kooperation von Akteuren aus den Bereichen Aus- und Weiterbildung, Forschung sowie Industrie können technologische Innovationen entstehen und Potentiale genutzt werden. Kooperationen zwischen Bildungseinrichtungen, Forschung und Industrie haben sich in der Vergangenheit nicht selten als Herausforderung dargestellt. Unterschiedliche Zielsetzungen und Arbeitsweisen, das Fehlen einer gemeinsamen Basis zur Zusammenarbeit – aus inhaltlicher und infrastruktureller Sicht – sowie häufig komplizierte und langwierige Wege zur öffentlichen Förderung von Forschungsvorhaben, werden häufig als Hemmnis für eine effektive und kooperative Forschung und Entwicklung genannt.

Dementgegen steht ein großes Potential, welches kooperative und gemeinschaftliche Forschungs- und Entwicklungsvorhaben für alle Beteiligten bieten kann. In der Idealvorstellung eröffnen Industriebetriebe den Forschungseinrichtungen Einblicke in aktuelle Problemstellungen und den Stand der jeweils eingesetzten Technik. Im unmittelbaren Austausch hierzu stellen diese Industriebetriebe wichtige Lehr- und Testfelder dar, und als natürliche Konsequenz ermöglichen die Forschungseinrichtungen wiederum den Industriebetrieben Zugang zu aktuellen und zukünftigen Entwicklungen und bilden hochqualifizierte Absolventen praxisnah aus. Die skizzierte Zusammenarbeit erfordert als Basis eine vertrauensvolle, enge und langfristig ausgerichtete Kooperation. Einen ersten Ansatz zum Aufbau solcher neuartigen Kooperationsstrukturen stellt das Reallabor Nivelstein dar. Das Kooperationsvorhaben zwischen der Nivelsteiner Sandwerke und Sandsteinbrüche GmbH (NSW), Herzogenrath, und der RWTH Aachen University, Aachen, vertreten durch das Institute for Advanced Mining Technologies (AMT, geleitet durch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen) und dem Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung Mineralischer Rohstoffe (AMR, geleitet durch Univ.-Prof. Dr.-Ing.

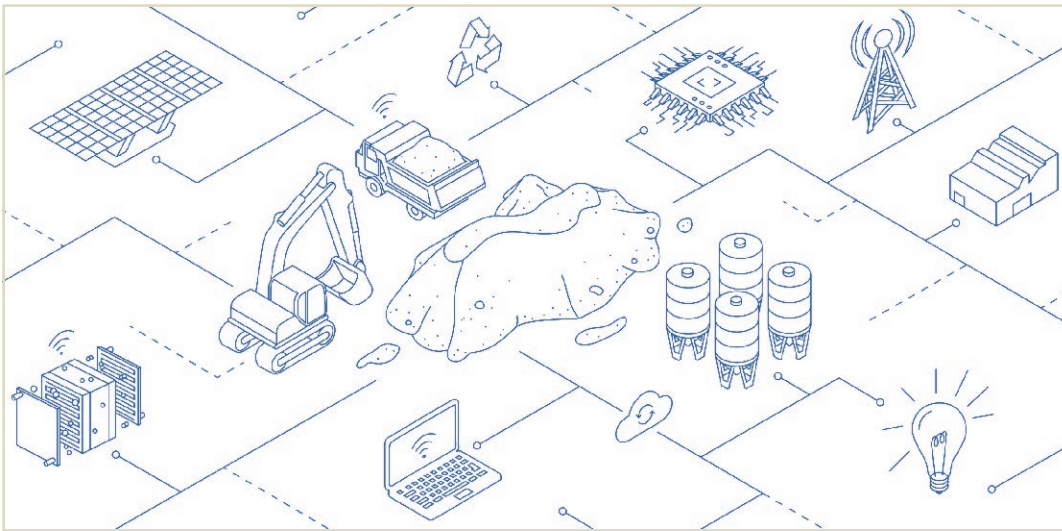


Fig. 1. By holistically linking important key components, the potential of digitalization can be sustainably exploited. Bild 1. Durch eine ganzheitliche Vernetzung wichtiger Schlüsselkomponenten kann das Potential der Digitalisierung nachhaltig genutzt werden. Source/Quelle: RWTH Aachen

The Reallabor Nivelstein is a joint research infrastructure of two partners of RWTH on the premises of NSW, which is described in more detail in the following section. For the activities in the Reallabor Nivelstein, bringing together relevant actors, including future key technologies and develop interdisciplinary solution strategies are key factors for success (Figure 1).

NSW is an innovative medium-sized family business and a producer of high-quality quartz sand and sand and gravel. In addition, one of the largest photovoltaic plants in North-Rhine Westphalia is located on the property of the quarry. The AMT is specialized in research and technology development in the field of automation and digitalization of machines and processes in underground and surface mining and is known for its combination of fundamental research and applied industry-related research and teaching. The AMR is the only university institution in Germany that focuses on the field of mineral processing. AMR's research focuses on technical and economic as well as environmental aspects of mineral processing. Due to the close cooperation between AMT and AMR in the past, excellent research results could already be achieved that even resulted in receiving the German Raw Materials Efficiency Award 2020 for a collaborative project.

## 2 Living lab Nivelstein

Living labs or so-called regulatory sandboxes in general are considered test spaces for innovation and regulation and make it possible to test innovative technologies and business models under real conditions that still face limitations in the general legal framework. (4) The working method of living labs is based on a transdisciplinary and, moreover, transformative approach, which often involves civil society in addition to actors from science and practice. (5) Due to the relevance and diversity of living labs, the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) has published a handbook on the purpose, structure, legal framework and other aspects. (6) At least as important as a clear legal framework and the economic feasibility and promotion of a living lab is the compilation of relevant core partners as well as the development of a common vision and resulting strategic roadmap. Research and development of novel processes and products for a sustainable raw material extraction and processing are at the core of the activities in the living lab Nivelstein. Physically, this liv-

ing lab (led by Hermann Wotruba) hat das Ziel, einen Beitrag zur Zukunftsfähigkeit und Nachhaltigkeit der heimischen Rohstoffversorgung zu leisten (3).

Beim Reallabor Nivelstein handelt es sich um eine gemeinsame Forschungsinfrastruktur zweier Institute der RWTH Aachen auf dem Betriebsgelände der NSW, welche im folgenden Abschnitt näher beschrieben wird. Für den Betrieb des Reallabors Nivelstein spielen die Vernetzung relevanter Akteure, das Einbeziehen zukünftiger Schlüsseltechnologien und die Interdisziplinarität der Lösungsstrategien eine zentrale Rolle (Bild 1).

Die NSW ist ein innovatives mittelständisches Familienunternehmen und Produzent von Quarzsand-, Sand- und Kiesprodukten von höchster Qualität. Darüber hinaus befindet sich auf den Flächen des ehemaligen Abbaus eine der größten Photovoltaikanlagen Nordrhein-Westfalens. Das AMT ist auf die Erforschung und Technologieentwicklung im Bereich der Automatisierung und Digitalisierung von Maschinen und Prozessen im untertägigen und überflächigen Bergbau spezialisiert und zeichnet sich durch die Kombination von Grundlagenforschung und angewandter industrienaher Forschung und Lehre aus. Das AMR ist die bundesweit einzige Hochschuleinrichtung, die sich schwerpunktmäßig mit dem Gebiet der Aufbereitung mineralischer Rohstoffe befasst. Neben technisch-wirtschaftlichen Aspekten stellt die Umweltverträglichkeit der Verfahren einen wichtigen Forschungsschwerpunkt dar. Durch die enge Zusammenarbeit der beiden Forschungsinstitute konnten in der Vergangenheit bereits mehrfach hervorragende Forschungsergebnisse erzielt werden. Ein Beispiel dieser Zusammenarbeit wurde zuletzt mit dem Deutschen Rohstoffeffizienzpreis 2020 ausgezeichnet.

## 2 Reallabor Nivelstein

Reallabore im Allgemeinen gelten als Testräume für Innovation und Regulierung und machen es möglich, unter realen Bedingungen innovative Technologien und Geschäftsmodelle zu erproben, die im allgemeinen Rechtsrahmen noch an Grenzen stoßen. (4) Der Arbeitsweise von Reallaboren wird ein transdisziplinärer und zudem transformativer Anspruch zugrunde gelegt, der nicht selten neben Akteuren der Wissenschaft und Praxis auch die Zivilgesellschaft einbezieht. (5) Der Relevanz und Vielfältigkeit von Reallaboren zufolge, hat das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



ing lab comprises a research laboratory as well as the use of the infrastructure of the existing mining operation

- to link and connect research and industry;
- to carry out joint cooperative research projects;
- to support competence-oriented university teaching and the combination of theoretical content with practical relevance in teaching; as well as
- to support the transfer of technology and knowledge.

As part of this cooperation, NSW is providing the research facility on their premises, which was equipped by RWTH institutes with internal RWTH funding from the Excellence Initiative (7). In addition to AMT and AMR, the Chair of Information and Automation Systems for Process and Materials Engineering (formerly PLT, directed by Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kleinert) was also involved in this Exploratory Research Space (ERS) project. The research facility has a pilot plant area on the first floor and adjacent co-working space on the upper floor. In the living lab, modular pilot plants with process elements of raw material extraction and processing can be set up. The co-working space (Figure 2) with its six open workplaces, a coffee area as well as a meeting area offer the necessary equipment for regular research activities as well as workshops and teaching events. In the past months, a modern IT infrastructure as well as the basic equipment for the office, workshop and laboratory area could be created, so that the living lab Nivelstein is almost ready for work and the first events and project meetings could be organized.

In terms of content and subject matter, the living lab Nivelstein offers ideal opportunities to explore and further develop fundamental research approaches for sustainable and responsible raw material extraction. At the core, this involves:

- the development of autonomous systems for the extraction of primary raw materials;
- the development of resource- and energy-efficient systems; and
- the development of climate-neutral systems, products and services.



Fig. 2. Co-working space on the upper floor of the research facility.

Bild 2. Co-Working Space im Obergeschoss der Forschungshalle. Source/Quelle: AMT

(BMW) ein Handbuch zur Zweckfindung, dem Aufbau, dem rechtlichen Rahmen und vielen weiteren Aspekten veröffentlicht. (6) Mindestens so wichtig wie klare gesetzliche Rahmenbedingungen und die wirtschaftliche Umsetzbarkeit und Förderung eines Reallabors ist die Zusammenstellung relevanter Kernpartner sowie die Entwicklung einer gemeinsamen Zielvorstellung und einer daraus resultierenden strategischen Roadmap.

Im Reallabor Nivelstein stehen die Erforschung und Entwicklung von neuartigen Prozessen und Produkten für eine nachhaltige Rohstoffgewinnung und -aufbereitung im Zentrum der Aktivitäten. Physisch umfasst das Reallabor eine Forschungshalle sowie die Nutzung der Infrastruktur des realen Gewinnungsbetriebs mit dem Ziel,

- Forschung und Industrie miteinander zu verbinden und zu verzahnen,
- kooperative Forschungsvorhaben durchzuführen,
- eine kompetenzorientierte Hochschullehre sowie die Verbindung von theoretischen Inhalten mit praktischer Relevanz in der Lehre sowie
- den Technologie- und Wissenstransfer zu unterstützen.

Auf Basis der Kooperation stellen die NSW die Forschungshalle auf ihrem Betriebsgelände zur Verfügung, welche durch mehrere RWTH-Institute auf Basis RWTH-interner Fördermittel aus der Exzellenzinitiative ausgestattet werden konnte (7). An diesem sogenannten Exploratory Research Space (ERS)-Projekt war neben dem AMT und dem AMR auch der Lehrstuhl für Informations- und Automatisierungssysteme für die Prozess- und Werkstofftechnik (vormals PLT, geleitet durch Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Kleinert) beteiligt. Die Forschungshalle verfügt über einen Technikumbereich im Erdgeschoss und einen angrenzenden Co-Working Space im Obergeschoss. Im Technikum können modulare Pilotanlagen mit Prozessgliedern der Rohstoffgewinnung und -aufbereitung errichtet werden. Der Co-Working Space (Bild 2) bietet mit seinen sechs offenen Arbeitsplätzen, einem Pausen- sowie Besprechungsbereich sowohl regelmäßigen Forschungstätigkeiten als auch Workshops und Lehrveranstaltungen die notwendige Grundausstattung. In den vergangenen Monaten konnten eine moderne IT-Infrastruktur sowie die Basisausstattung für das Büro, den Werkstatt- sowie Laborbereich errichtet werden, sodass das Reallabor Nivelstein nahezu arbeitsfähig ist und bereits erste Veranstaltungen und Projekttreffen ausgerichtet werden konnten.

Inhaltlich und thematisch bieten sich im Reallabor ideale Möglichkeiten, um grundlegende Forschungsansätze für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung zu erforschen und weiterzuentwickeln. Hierbei handelt es sich im Kern um

Inhaltlich und thematisch bieten sich im Reallabor ideale Möglichkeiten, um grundlegende Forschungsansätze für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Rohstoffgewinnung zu erforschen und weiterzuentwickeln. Hierbei handelt es sich im Kern um

- die Entwicklung autonomer Systeme für die Gewinnung von primären Rohstoffen,
- die Entwicklung ressourcen- und energieeffizienter Systeme sowie
- die Entwicklung klimaneutraler Systeme, Produkte und Dienstleistungen.



From AMT's point of view, the living lab Nivelstein offers – among many other aspects – the possibility to tackle the specific challenges of mine automation and digitalization topics in a protected “experimental space”. These challenges, which can be assumed to be in some aspects similar for every mine worldwide but must be technically evaluated individually, are summarized in Figure 3.

Automation and digitalization in the raw materials industry are mostly affected by one or more of the challenges depicted in Figure 3. Many of these challenges can be addressed in the living lab Nivelstein in iterative processes and with novel methods in an environment that cultivates tolerance towards errors to promote learning and innovation. The question arises, e.g., as to which technology can be used to make the 1.5 M m<sup>2</sup> site digitally accessible, which is currently largely not connected to a network infrastructure, or how the data on the mobile and stationary machines and systems of various manufacturers can be utilized. In addition, new approaches to tracking material flows and qualities, or mapping and navigation solutions for the further development of autonomous driving based on novel sensor technologies and algorithms can be developed and tested.

Last but not least, the comprehensive research facility and direct links to the production processes provide an opportunity for small and medium-sized mining companies and machine suppliers, that have often been rather rarely involved in research projects, to work on a specific set of problems. By carrying out these kinds of collaborative research projects, especially those companies that could be particularly negatively affected by structural change in the Rhenish area could benefit from developing their innovation capabilities.

From a processing technology perspective, the living lab Nivelstein offers AMR an excellent infrastructure and starting point for carrying out research projects on a pilot plant scale. In the pilot plant area of the living lab, comminution, classification or sorting processes or any combination of the three process types can be implemented and continuously operated on a pilot scale. On the one hand, this creates an opportunity for validating laboratory results with larger sample quantities, and on the other hand, with appropriate sensor technology equipment, process data can be recorded over longer periods of time in order to identify possible automation potential in the processing area or to support the development of process models. Of course, this does not exclusively refer to the processes of conventional sand and gravel production, but also to novel methods of sensor-based sorting of any processing of mineral primary and secondary raw materials.

Aus Sicht des AMTs bietet das Reallabor Nivelstein – neben vielen weiteren Aspekten – die Möglichkeit in einem geschützten „Experimentierraum“ den besonderen Herausforderungen bergbaulicher Automatisierungs- und Digitalisierungsthemen zu begegnen. Diese Herausforderungen, welche für jedes Bergwerk weltweit ähnlich anzunehmen, jedoch individuell zu bewerten sind, werden in Bild 3 zusammengefasst.

Der Automatisierung und Digitalisierung im Bereich der Rohstoffindustrie stehen zumeist eine oder mehrere der vorgenannten Herausforderungen entgegen. Vielen dieser Herausforderungen kann im Reallabor Nivelstein in iterativen Prozessen und mit neuartigen Methoden in einer Umgebung mit positiver Fehlerkultur begegnet werden. So stellt sich beispielsweise die Frage, mit welcher Technologie das 1,5 Mio. m<sup>2</sup> große, derzeit weitestgehend unvernetztes Betriebsgelände digital erschlossen werden kann oder wie die Daten auf den mobilen und stationären Maschinen und Anlagen verschiedener Hersteller nutzbar gemacht werden können. Darüber hinaus können aber auch neue Ansätze der Verfolgung von Materialflüssen- und -qualitäten oder Kartierungs- und Navigationslösungen für die Weiterentwicklung des autonomen Fahrens auf Basis neuartiger Sensortechnologien und Algorithmen entwickelt und erprobt werden.

Nicht zuletzt bietet die umfassende Ausstattung der Forschungshalle und die unmittelbare Anbindung an die Produktionsprozesse eine Möglichkeit, an konkreten Problemstellungen, insbesondere kleiner und mittelständischer Bergwerksbetreiber und Maschinenzulieferer, die bislang eher selten an Forschungs- und Innovationsvorhaben beteiligt waren, zu arbeiten. Mit der Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten unterschiedlichster Art kann darüber hinaus ein wesentlicher Beitrag zur Innovationsfähigkeit jener Unternehmen geleistet werden, die in besonderem Maße negativ vom Strukturwandel betroffen sein könnten.

Aus aufbereitungstechnischer Perspektive bietet das Reallabor Nivelstein für das AMR eine hervorragende Basis, um Forschungsvorhaben im Pilotmaßstab durchzuführen. In der Forschungshalle des Reallabors können sowohl Zerkleinerungs-, Klassier- oder Sortierprozesse oder eine beliebige Kombination der drei Prozessarten im Pilotmaßstab realisiert und kontinuierlich betrieben werden. Damit wird zum einen eine Option geschaffen, um Laborergebnisse mit größeren Probenmengen zu validieren, zum anderen können mit entsprechender sensortechnischer Ausstattung über größere Zeiträume Prozessdaten erfasst werden, um mögliche Automatisierungspotentiale im Aufbereitungsbereich zu identifizieren oder die Entwicklung

For PLT, the living lab Nivelstein offers a platform for the development and testing of novel automation and digitisation concepts for raw material extraction and processing from systems engineering perspectives. Standardised and mutually compatible metadata, data and information models are developed as a basis for this (8). Based on this, possibilities for the organised and systematic collection, integration and storage of data from different sources, e. g., production plants and equipment, software systems and separately installed sensors, can be researched so that automatic data processing for subsequent data evaluation is possible. Furthermore, the question of which functions and components an autonomous system for raw material extraction and processing should at least contain is a research topic that should not be neglected. This is a necessary first step in system development.

For those involved at RWTH, the possibility of short development and iteration cycles in combination with the inherent interdisciplinaryity of the participating departments and the close connection to the business of raw material production is particularly valuable. Through the research and development infrastructure created, the living lab Nivelstein opens up methodologically innovative types of cooperation with opportunities for value creation by and for all participants.

### 3 Next steps in the living lab Nivelstein

Beside a sensor-based selective extraction of an autonomously acting dredge and demand-driven controlled sand drying fed from PV power, numerous concrete research questions of the cooperation partners as well as other potential partners have already been identified collaboratively. In addition to the opportunities arising from integrating the processes, there are many opportunities for optimizing the process chain. For the integration of renewable energies in energy-intensive mining processes the partners are currently involved in several research proposals that are in the review phase.

In addition to the successful completion of the RWTH internal project to establish the working capability of the living lab (Figure 4), university teaching in the living lab though inhibited by the ongoing coronavirus pandemic – is also beginning to take its first steps. Some of the technical focal points of the living lab outlined

von Prozessmodellen zu unterstützen. Dies bezieht sich selbstverständlich nicht ausschließlich auf die Prozesse der konventionellen Sand- und Kiesproduktion, sondern auch auf neuartige Verfahren der sensorgestützten Sortierung jedweder Aufbereitungsprozesse mineralischer Primär- und Sekundärrohstoffe.

Für das PLT bietet das Reallabor eine Plattform für die Entwicklung und Erprobung neuartiger Automatisierungs- und Digitalisierungskonzepte sowie KI-basierter Ansätze für die Rohstoffgewinnung und -aufbereitung aus systemtechnischen Perspektiven. Als Grundlage dafür werden standardisierte und untereinander kompatible Metadaten-, Daten- und Informationsmodelle entwickelt (8). So können darauf basierend Möglichkeiten zur organisierten und systematischen Erfassung, Integration und Speicherung von Daten aus verschiedenen Quellen, z.B. Produktionsanlagen, Softwaresystemen und separat installierten Sensoren, erforscht werden, damit eine automatische Datenverarbeitung für anschließende Datenauswertung möglich wird. Darüber hinaus ist die Frage, welche Funktionen und Komponenten ein autonomes System zur Rohstoffgewinnung und -aufbereitung mindestens enthalten soll, ein nicht zu vernachlässigendes Forschungsthema. Dies ist ein notwendiger erster Schritt in der Systementwicklung.

Für die Beteiligten der RWTH ist insbesondere die Möglichkeit kurzer Entwicklungs- und Iterationszyklen in Kombination mit der unmittelbaren Interdisziplinarität der beteiligten Fachbereiche und der enge Bezug zur Rohstoffproduktion besonders wertvoll. Das Reallabor Nivelstein eröffnet durch die geschaffene Forschungs- und Entwicklungsinfrastruktur methodisch innovative Arten der Kooperation mit Möglichkeiten zur Wertschöpfung durch und für alle Beteiligten.

### 3 Nächste Schritte im Reallabor Nivelstein

Neben einer sensorgestützten selektiven Gewinnung eines autonom agierenden Saugbaggers oder bedarfsgerecht gesteuerten und aus PV-Eigenleistung gespeisten Sandtrocknung sind bereits zahlreiche konkrete Forschungsfragen der Kooperationspartner sowie weiterer potentieller Partner gemeinsam identifiziert worden. Über die Potentiale hinaus, die sich aus einer Vernetzung der Prozesse ergeben, bestehen vielfältige Möglichkeiten für die Optimierung der Prozesskette. Für die Integration von erneuerbaren Energien in die energieintensiven Prozesse der Rohstoffgewinnung sind die Partner aktuell an mehreren sich in der Begutachtungsphase befindlichen Kooperationsentwürfen beteiligt.

Neben diesem thematischen Start und dem erfolgreichen Abschluss des RWTH-internen Projekts zur Herstellung der Arbeitsfähigkeit des Reallabors, beginnt – wenn gleich gehemmt durch die anhaltende Corona-Pandemie – auch die Hochschullehre mit ersten Schritten im Reallabor (Bild 4). Einige der oben skizzierten fachlichen Schwerpunkte des Reallabors werden aktuell in Form studentischer Abschlussarbeiten erarbeitet. Darüber hinaus dient der Standort Nivelstein als ein Positivbeispiel für einen nachhaltigen Abbau mineralischer Rohstoffe und dessen Folgenutzung als Fallbeispiel in einer Erstsemesterveranstaltung des Studiengangs Nachhaltige Rohstoff- und Energieversorgung (NREV) an der RWTH und ist im Rahmen dessen das Ziel einer Studierendenexkursion.



Fig. 4. Part of the NSW site, view from the co-working space. In the background, a PV plant as a sustainable post mining use case. // Bild 4. Ein Teil des Betriebsgeländes der NSW, Ausblick aus dem Co-Working-Space. Im Hintergrund eine PV-Anlage als nachhaltige Bergbaufolgenutzung. Photo/Foto: AMT



above are currently being developed in the form of student theses. In addition, the Nivelstein site serves as a positive example of sustainable mining of mineral raw materials and subsequent use as a case study in a first-semester course of the B.Sc. Sustainable Raw Materials and Energy Supply (NREV) degree program at RWTH.

It may also be mentioned, that the knowledge gained from the work should help to secure the attractiveness of the region (Nivelstein → Herzogenrath → Aachen → North-Rhine Westphalia → Germany) in the research landscape in the area of sustainable raw material extraction and processing in the long term. Through synergies of the above-mentioned aspects, intended spin-offs can be supported in a targeted manner. This enables the living lab to actively promote a positive start-up culture within the region.

In 2022, the regular operation of research and development in the living lab Nivelstein will start, realized through collaborative research projects, preparation of theses, organization of workshops and courses as well as numerous other formats. The project partners also want to intend the network of the living lab Nivelstein this year and are looking for innovative and interested research and innovation partners.

#### 4 Summary

In the living lab Nivelstein a research, development and innovation infrastructure is currently being established in cooperation between NSW and RWTH aiming at the development and testing of solutions for one of the societal challenges of our time – a secure and sustainable supply of raw materials – in a real environment. A special feature is the cooperative and open approach, which enables industry and research partners to jointly develop and test novel technologies and products, processes or services.

If this article has attracted interest in a potential collaboration in the living lab Nivelstein, please contact the main author Sebastian Graszak (sgraszka@amt.rwth-aachen.de).

#### References / Quellenverzeichnis

- (1) Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland – Rohstoffsituation 2018. Hannover, 2019.
- (2) VDMA Mining: Konjunkturbericht 2020. Frankfurt am Main, 2021.
- (3) Aachener Nachrichten: Pilotanlage zu Qualitätsverbesserung und Ressourceneffizienz, Herzogenrath, 2018.
- (4) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Neue Räume, um Innovationen zu erproben – Konzept für ein Reallabore-Gesetz. Berlin, 2021.
- (5) Beecroft, R.; Trenks, H.; Rhodius, R.; Benighaus, C.; Parodi, O.: Reallabore als Rahmen transformativer und transdisziplinärer Forschung: Ziele und Designprinzipien. In: Transdisziplinär und transformativ forschen. Braunschweig, 2018, S. 75–100.
- (6) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): Freiräume für Innovationen – Das Handbuch für Reallabore. Berlin, 2019.
- (7) R. A. Exploratory Research Space (ERS): Prep for Innovation: Reallabor Nivelstein. 2020. (Online). Available: <https://www.wg.rwth-aachen.de/awca/c.asp?id=cvid>. (Zugriff am 25.11.2021).
- (8) Wahlster, W.; Winterhalter, C.: Deutsche Normungsroadmap Künstliche Intelligenz. DIN/DKE, Berlin, 2020.

Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass die aus den Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse dazu beitragen sollen, die Relevanz des Standorts (Nivelstein → Herzogenrath → Aachen → Nordrhein-Westfalen → Deutschland) in der Forschungslandschaft im Bereich der nachhaltigen Rohstoffgewinnung und -aufbereitung langfristig zu sichern. Durch Synergien der oben genannten Aspekte können geplante Ausgründungen gezielt unterstützt werden. Dies ermöglicht dem Standort Nivelstein, die Implementierung einer positiven Gründungskultur innerhalb der Region aktiv zu fördern.

In diesem Jahr soll der Regelbetrieb von Forschung und Entwicklung im Reallabor Nivelstein aufgenommen werden, welcher durch die kooperative Bearbeitung von Forschungsprojekten, Anfertigung von Abschlussarbeiten, Veranstaltung von Workshops und Abhaltung von Lehrveranstaltungen sowie zahlreiche weitere Formate realisiert werden soll. Ebenfalls soll in diesem Jahr das bestehende Netzwerk des Reallabors Nivelstein erweitert werden. Dafür sind die Projektbeteiligten auf der Suche nach innovativen und interessierten Forschungs- und Innovationspartnern.

#### 4 Zusammenfassung

Im Reallabor Nivelstein entsteht aktuell in Zusammenarbeit zwischen der NSW und der RWTH eine Forschungs-, Entwicklungs- und Innovationsinfrastruktur, in der Lösungen für eine der großen gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit – einer sicheren und nachhaltigen Rohstoffversorgung – in einem realen Umfeld erforscht, entwickelt und getestet werden können. Eine Besonderheit stellt dabei der kooperative und offene Ansatz dar, der es Industrie- und Forschungspartnern ermöglicht, gemeinsam neuartige Technologien und Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen zu entwickeln und zu erproben.

Sollte dieser Beitrag Interesse an einer potentiellen Zusammenarbeit im Reallabor Nivelstein geweckt haben, so besteht die Möglichkeit sich mit dem Hauptautor Sebastian Graszak in Verbindung zu setzen (sgraszka@amt.rwth-aachen.de).

#### Authors / Autoren

Sebastian Graszak, M.Sc., Pablo Muñoz Sánchez, M.Sc., Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), Samuel Viola, M.Sc., Lehr- und Forschungsgebiet Aufbereitung mineralischer Rohstoffe (AMR), Wan Li, M.Sc., Lehrstuhl für Informations- und Automatisierungssysteme für die Prozess- und Werkstofftechnik (PLT), Univ.-Prof. Dr.-Ing. Elisabeth Clausen, Institute for Advanced Mining Technologies (AMT), RWTH Aachen University, Aachen