

Untertage – eine unbekannte Welt

Gero Steffens und Nicolas Schimerl

Bergwerk, Höhle, Tunnel, Stollen, Strecke, Gang, Schacht – auch wenn diese Begriffe im normalen Sprachgebrauch zwar selten, aber durchaus vorkommen, so schwierig tun sich die meisten Menschen mit deren Abgrenzung zueinander. In ihrer Wahrnehmung bedeuten eigentlich alle: dunkel, nass, gefährlich, geheimnisvoll. Höhlen beispielsweise sind natürliche, von der Natur geschaffene Hohlräume. Hier soll es aber primär um Bergbau gehen, also um künstliche, von Menschen gebaute Hohlräume. Bergbau, der Abbau mineralischer Rohstoffe, ist ein Themenkomplex, welches im Verhältnis zu dem enormen Einfluss auf unseren Lebensalltag eine gleichzeitig erstaunlich geringe Wahrnehmung in der Bevölkerung erfährt. Das ist eigentlich auch nicht verwunderlich, ist doch die (untertägige) Bergbau-Welt den allermeisten Menschen weitestgehend unbekannt. Die allerwenigsten Menschen haben je einen Bergmann selbst live bei der Arbeit gesehen. Anders als bei z. B. Gärtnern oder Dachdeckern, hier haben die meisten von uns nicht nur deren Arbeit live gesehen, sondern auch das »Produkt« deren Tätigkeit ist allgemein bestens bekannt. Diese Aussage trifft natürlich auf eine Vielzahl von Berufen oder Tätigkeiten zu, gleichzeitig schwingen beim Thema Bergbau zunehmend Gedanken betreffend Umweltzerstörung/-Verschmutzung mit, was dem Ganzen zusätzlich einen zumindest latent negativen Anstrich verleihen mag. Seit dem Beginn der Aneignung mineralischer Rohstoffe durch den Menschen vor über 30.000 Jahren (Ocker/Rötel) (► Video), sind bergbaulich gewonnene Produkte heute aus unserem täglichen Leben überhaupt nicht mehr wegzudenken. (Bergbaulich gewonnene) Rohstoffe waren ausschlaggebend für die Bildung zahlreicher Industriezentren: Harz, Erzgebirge, Ruhrgebiet und auch das Siegerland beispielsweise verdanken ihre Bedeutung den dort einst gefundenen und abgebauten Bodenschätzen und prägen die Industrie und die Menschen vor Ort bis heute.

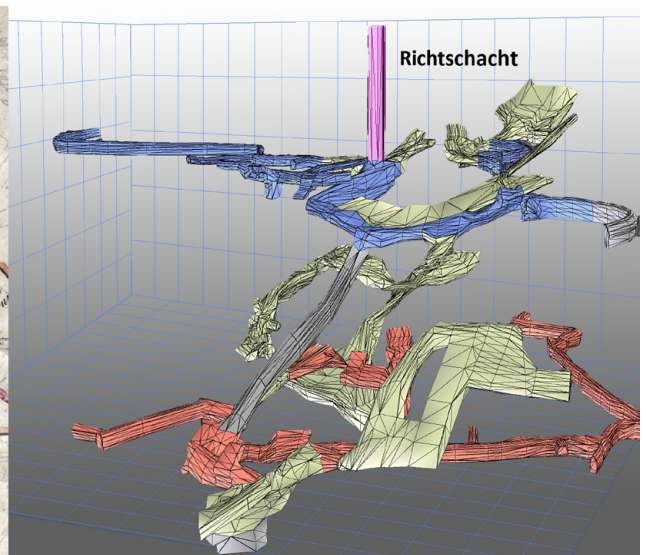
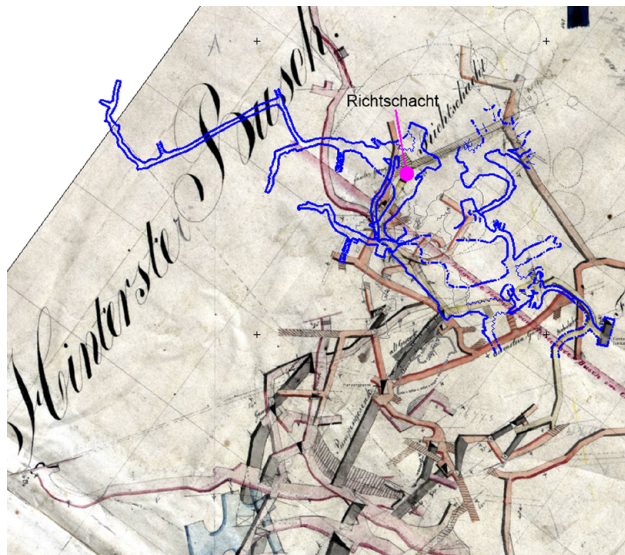
Der Forschungsbereich Montanarchäologie im Deutschen Bergbau-Museum Bochum beschäftigt sich überwiegend mit dem Bergbau früherer Epochen, bis zur Neuzeit. Bergwerke aus diesen alten Zeiten haben zumeist eine extrem unregelmäßige Geometrie, womit sie oftmals eher natürlich entstandenen

Höhlen ähneln als (modernen) Bergwerken. Sie erstrecken sich entlang geologisch-mineralogischer Strukturen, verlaufen manchmal aber auch völlig »unverständlich« im Fels. Unverständlich auch deshalb, weil der Abbau des gesuchten Minerals oftmals so vollständig erfolgte, dass eine Bestimmung, um welchen Rohstoff es sich gehandelt haben mag, nur mittels Analytik erfolgen kann.

Ein Kernelement der Dokumentation (und späteren Vermittlung) untertägiger Hohlräume ist die Vermessung und daraus folgend ein Plan. Seit weit über tausend Jahren erfolgt die Abbildung derlei Objekten in Form von (zweidimensionalen) Grundrissen und Schnittdarstellungen, sogenannten Rissen. Für viele Belange ist diese klassische Form einer (2D-) Plan-darstellung sehr gut geeignet und auch völlig ausreichend. Während einige Bergwerke aber bereits durch eine einfache Skizze zufriedenstellend dargestellt werden können, so kann für andere Bergwerke selbst ein 3D-Scan noch zu wenig sein. Je komplexer und dreidimensionaler nämlich das abzubildende Objekt ist, beispielsweise wenn ein Bergwerk auf mehreren Ebenen (Sohlen) sich mehrfach überlagert, kommt diese Darstellungsform an ihre Grenzen – zumindest was die Lesbarkeit derlei Pläne für den Laien angeht (G. S).

In einem dunklen, verwinkelten Hohlraum mehrere hundert Meter unter der Erdoberfläche stehen die Archäologinnen und Archäologen des Deutschen Bergbau-Museums Bochum. Mit ihren Stirnlampen erhellen sie einen kleinen Ausschnitt des prähistorischen Bergbaus, den das Team erforscht hat. Der Blick auf das gesamte Bergwerk jedoch bleibt ihnen vorerst verschlossen. Erforschen, das heißt ausgraben. Schicht für Schicht wird das Material abgetragen, bis nur noch der umgebende Fels stehen bleibt. Doch jede Grabung zerstört systematisch die zu erforschenden Orte. Daher werden die Grabungsschritte vermessen sowie fotografisch und dreidimensional dokumentiert.

Eine seit den 1990er Jahren vermehrt eingesetzte Technologie hat die untertägige Dokumentation revolutioniert: das terrestrische 3D-Laserscanning. Bei dieser Dokumentationsmethode sendet der Scanner von einem festen Standpunkt Laserstrahlen aus, die



Grube Hinterster Busch/ Siegen. Die mit teilweise weniger als 5 m Überdeckung oberste Sohle (blau) ist im originalen Grubenriss gar nicht vorhanden. Plan und 3D-Modell: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, G. Steffens.

von der umgebenden Oberfläche reflektiert werden. Bei diesem aktiven Messverfahren erfasst der Scanner die Zeit, die zwischen dem Aussenden und dem Empfangen der Strahlen vergeht. So kann die Position der reflektierenden Oberflächen berechnet werden. Um ein Objekt von allen Seiten zu dokumentieren, wird die Messung von verschiedenen Positionen aus so oft wiederholt, bis das zu dokumentierende Objekt vollständig abgedeckt ist. Auf diese Weise lassen sich binnen kurzer Zeit Millionen von Messdaten in Form von Punkten generieren. Mit diesen können selbst hochkomplexe Geometrien akkurat abgebildet werden. Das Laserscanning scheint daher auch für die Dokumentation unterirdischer Hohlräume geeignet zu sein – wären da nicht zwei Faktoren, die den Vorgang erschweren: Erstens werfen nasse oder feuchte Oberflächen die Laserstrahlen anders zurück als trockene Oberflächen. Dieses schlägt sich im Modell später in irregulären Geometrien nieder, sodass das Modell ungenau wird. Ebenso gibt es einige Materialien, die transluzent – also lichtdurchlässig – sind, beispielsweise Marmor. Auch hier kommt es zu Messungenauigkeiten, die keine akkurate Repräsentation der Oberfläche ermöglichen. Der zweite Faktor ist die bereits eingangs erwähnte komplexe Geometrie. Die vom Deutschen Bergbau-Museum Bochum dokumentierten (meist prähistorischen) Bergwerke sind eng und verwinkelt – stellenweise mit einer Ausdehnung von weniger als 30 Zentimetern in der Höhe oder Breite. Dies erschwert oder verunmöglicht sogar die Platzierung des Laserscanners.

Eine Methode, mit der diese Limitationen umgangen werden können, ist ein passives Verfahren aus der Photogrammetrie: das sogenannte Structure from Motion oder kurz SfM. Anders als bei sogenannten Dokumentationsfotos, die den jeweiligen Arbeitsstand festhalten, fotografieren die Forschenden das zu dokumentierende Objekt von allen Seiten. Wichtig ist, dass der Überlappungsbereich zwischen den einzelnen Fotos 70 Prozent oder mehr beträgt. Je nach Größe und Komplexität des Objekts rangiert die Anzahl der Fotos daher zwischen einer geringen zweistelligen Zahl bis hin zu tausenden Fotos bei hochkomplexen Geometrien wie in prähistorischen Bergwerken. Anschließend werden diese Fotos in einer Software verrechnet. Hierbei detektiert ein Algorithmus in den einzelnen Fotos Bildbereiche und gleicht diese mit anderen Fotos ab. Anhand dieses Abgleichs werden die individuellen Kamerapositionen rekonstruiert und auf dieser Basis erfolgt die Berechnung der detaillierten 3D-Oberfläche. Während SfM insgesamt das zeitintensivere Verfahren ist, zeichnet es sich in der Datenakquise durch die geringen technischen Anforderungen an die Kamera aus. Auch die Limitationen des Laserscannings greifen bei SfM nicht: Reflektierende Oberflächen können durch den Einsatz eines Polfilters von ihrem Glanz befreit werden, transluzente Oberflächen stellen kein Problem dar. Durch den im Vergleich zu Laserscannern kleinen Formfaktor von Kameras können auch enge und schlecht zugängliche Bereiche in untertägigen Hohlräumen dokumentiert werden (N. S.).

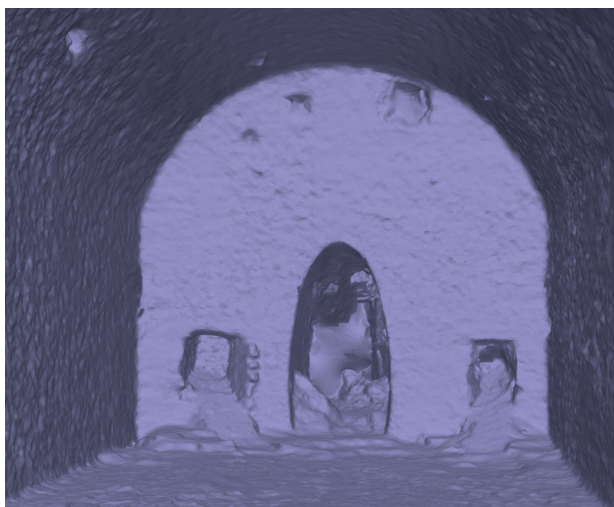
Neben der Geometrie verfügen Objekte auch über Farbeigenschaften. So lassen sich Gesteinsarten, Mineralisation, Materialunterschiede oder Schichtverläufe in der reinen Geometrie nicht auffinden. Diese sind für die Montanarchäologie besonders relevant, um die Schichtverläufe und damit die historischen Abläufe interpretieren zu können. Ein weiterer wichtiger Bestandteil einer umfassenden dreidimensionalen Dokumentation ist daher die lagerichtige Darstellung dieser Farbeinformationen – die sogenannte Textur. Bei aus Laserdaten generierten 3D-Modellen wird diese aus externen Fotos erstellt und den einzelnen Flächen des 3D-Modells ein Farbwert auf Grundlage dieser Fotos zugewiesen. Bei SfM-Modellen bilden Fotos die Datengrundlage, sodass für jeden Punkt und jede Fläche des Modells bereits ein Farbwert vorhanden ist. Im Vergleich zu gescannten Modellen resultiert diese Methodik in deutlich höher auflösenden, nahezu fotorealistischen Texturen. Damit kann auch ein höheren Detailgrad erreicht werden. SfM hat sich aufgrund der mobileren Datenakquise, der höheren maximalen Texturauflösung und der guten Geometriequalität als Standard für 3D-Dokumentation unter Tage etabliert.

Einen limitierenden Faktor gibt es dennoch: Unter Tage gibt es kein natürliches Licht, sodass künstliche Lichtquellen zum Fotografieren benötigt werden. Die Kunst besteht darin, das künstliche Licht so einzusetzen, dass die Fotos möglichst gleichmäßig und schattenfrei ausgeleuchtet werden. Dies ist insbesondere in engen oder sehr großen Hohlräumen eine Herausforderung.



Mittelalterliche Strecke in der Grube Viktoria/Siegerland.
Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, G. Steffens.
► <https://www.youtube.com/watch?v=01rUj-BL-bA>

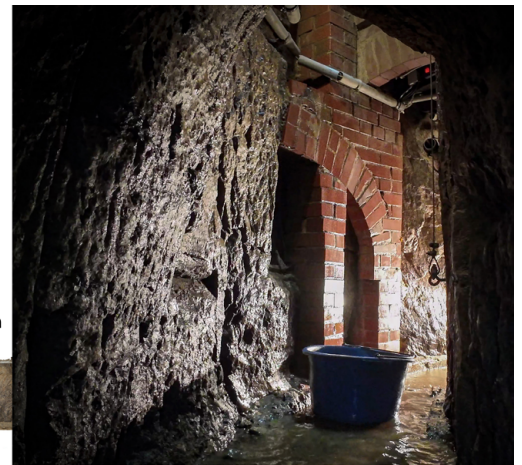
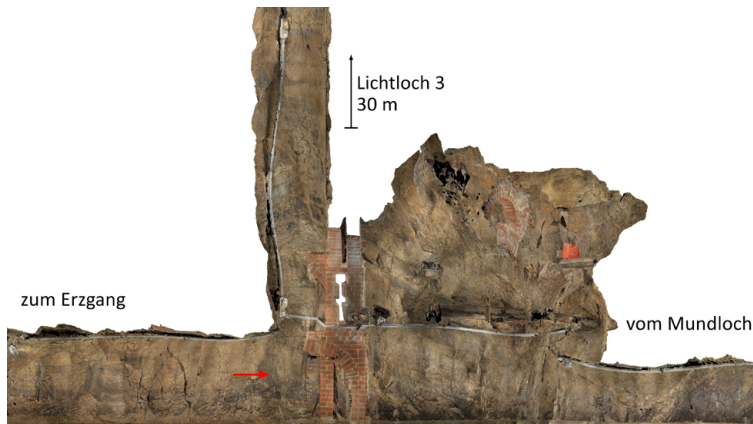
Diese 3D-Dokumentation wird im Anschluss unterschiedlich genutzt. Einerseits eignen sich die Modelle zur wissenschaftlichen Untersuchung, etwa zur Dokumentation von Werkzeugspuren oder zur Berechnung von abgebauten Volumina, sowie zum Monitoring von strukturellen Veränderungen im Berg. Andererseits eignen sich diese 3D-Modelle auch für die Vermittlung montanarchäologischer Forschungs-



Mehrwert einer 3D-Dokumentation mit Texturerfassung. Grube Landeskrone, Wilnsdorf. 3D-Modell: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, N. Schimerl. ► <https://sketchfab.com/3d-models/grube-landeskrone-wilnsdorf-im-siegerland-nrw-c38c06b2e8be4d909bdo4c282faa58f1>



Wenn über hunderte Jahre hinweg Bergbau betrieben wurde, können gewaltige Hohlräume entstehen. Region Schwaz/Brixlegg, Österreich. Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, P. Thomas.



Grube Wolfskuhle/ Remscheid: aus dem 3D-Modell erstellte Seitenansicht und Foto der gleichen Stelle (roter Pfeil). 3D-Modell und Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, G. Steffens. ▶ <https://youtu.be/hb9gySqymkI>

ergebnisse (▶ Video) unter anderem in Museen, in Dokumentationen, in virtuellen Umgebungen (beispielsweise mittels »Augmented« oder »Virtual Reality«) wie Spielen und in Publikationen.

War zu Beginn der Forschung für die Archäologinnen und Archäologen des Deutschen Bergbau-Museums Bochum nur ein kleiner mit der Stirnlampe beleuchtete Teil des Bergwerks zu se-

hen, können sie nun mit Hilfe der verschiedenen Dokumentationsmethoden den größeren Zusammenhang betrachten. (N. S.)

Weitere wichtige Elemente bei der Dokumentation, neben der (3D-) Vermessung, sind Fotos, Videos oder auch (Kugel-) Panoramen. Ein Hohlraum wird völlig unterschiedlich wahrgenommen, wenn er von »au-



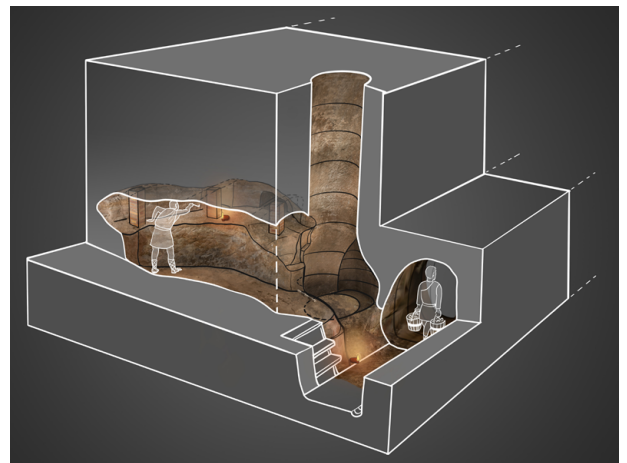
Unterschiedliche Wahrnehmung eines Hohlraums bei Verwendung unterschiedlicher »Bezugselemente«. Hier eine über 4.000 Jahre alte (bronzezeitliche) Streckenkreuzung im Kupfererzbergwerk Arthurstollen bei Bischofshofen/ Österreich. Fotos: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, J. Cierny.

ßen« (3D-Modell, Plan) oder von innen heraus (Foto, Video, Kugelpanorama) betrachtet wird. Der in der Realität unmögliche Blick von außen auf den Hohlraum ermöglicht dabei ein Verständnis der Zusammenhänge: wie lang/groß sind einzelne Bereiche und wie liegen sie zueinander? Der Blick von innen zeigt indes den Ist-Zustand. Diese beiden Elemente ergänzen sich perfekt bei der Vermittlung solcher unbekanntener untertägiger Welten.

Wie bereits einleitend angesprochen, mangelt es Untertage zumeist an Bezugselementen, die der Betrachter kennt und die es ihm erlauben, das Gezeigte größen- und ausrichtungstechnisch einzuordnen. So kommt es durchaus vor, dass auf einem Untertagefoto, Oben von Unten kaum unterschieden werden kann. Bei der Dokumentation (und späteren Vermittlung) solcher oftmals komplexen, untertägigen Objekte ist es also essentiell wichtig, solche Anknüpfungspunkte zu schaffen, die quasi die Schnittstelle zur Lebenswelt des Betrachters bilden. Hierzu eignet sich besonders gut eine Person, schafft sie doch nicht nur einen Größenbezug, sondern sorgt direkt auch für eine Orientierung im Raum.

So wie Fotos sehr gut spezielle Aussagen visualisieren können, so liegen die Stärken bei Videos in der Verknüpfung von Informationen und Zusammenhängen, diese lassen sich aber nicht in Publikationen abdrucken. Daher soll hier noch ein drittes Element im Rahmen der Dokumentation und Darstellung untertägiger Welten angesprochen werden: das Hybridbild, eine Kombination aus 3D-Modell, Foto und Interpretation.

Durch Hinzufügen visueller Elemente in ein Foto, Video oder 3D-Modell (► Video) können Eindrücke und Informationen vermittelt werden, die so in der Realität gar nicht existieren. Dies können z. B. die Verläufe von (bereits abgebauten) Erzadern sein, Re-



Unterschiedliche Hybriddarstellungen eines römerzeitlichen Bergwerks in Wallerfangen/ Saar, in dem Azurit für die Herstellung blauer Farbe abgebaut wurde. 3D-Modell und Foto: Deutsches Bergbau-Museum Bochum, G. Steffens, Grafische Umsetzung: D. Relic. ► <https://sketchfab.com/3d-models/stollen-bruss-70c48160a04649fcb60deeb54c68acae>

konstruktionen von längst verfallenen Einbauten, oder die Lebens- und Arbeitswelt der Menschen, die diese Hohlräume einst schufen.

Die untertägige Welt, egal ob Höhle oder Bergwerk, gleicht einer »Zeitkapsel« in der ein gewisser Zustand über viele 100, ja auch viele 1.000 Jahre, relativ unverändert überdauern kann. Anders als an der Erdoberfläche, wo (archäologische) Objekte oftmals bis zur Unkenntlichkeit erodiert oder überprägt sind, befinden wir uns Untertage in genau

dem Hohlraum, in dem die Menschen vor 200, 2.000 oder auch 20.000 Jahren gearbeitet haben und sehen auch heute noch das gleiche Bild (wenn auch vermutlich deutlich heller). So entsteht doch vor Ort, Abseits aller Bestrebungen nach Dokumentation und Vermittlung, ein Gefühl von Respekt und Ehrfurcht, ähnlich der Bilderhöhlen Spaniens oder Frankreichs, wo der Besucher genau an der Stelle steht, wo auch der Zeichner selbst, vor über 30.000 Jahren gestanden hat. (G. S.)

L I T E R A T U R

G. Körlin, mit Beiträgen von M. Doll/M. Ecker/M. Haardt/C. Höpken/D. Jaensch/C. Keßler/T. Kirnbauer/R. Matolat/B. Matthes/B. Sikorski/G. Steffens, Das Imperium macht Blau. Zum römischen Azurit-Bergbau in Wallerfangen/Saar. Der Anschnitt, Beiheft 52 (= Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum Bochum, Nr. 259) (Bochum, 2023).

N. Schimerl, 3D im Bergwerk von Douzlahk. In: Th. Stöllner/A. Aali/N. Bagherpour Kashani, Tod im Salz. Begleitbuch, Katalog und Graphic Novel (Bochum 2020) 131–132.

N. Schimerl/P.P. Weber/T. Stöllner, Rethinking the Analogue – From Virtual Archaeology to a Digital Exhibition. In: Virtual Archaeology. Revealing the Past, Enriching the Present and Shaping the Future. Proceedings of the International Forum (Krasnoyarsk 2021) 29–37.

N. Schimerl/P.P. Weber/T. Stöllner, Resilient Rethinking – How Virtual Archaeology Helped Transforming the Special Ex-

hibition »Death by Salt« into the Digital Space. Digital Documentation and Exhibition of the »Salt Men of Zanjan«. In: Proceedings of the 26th Conference on Cultural Heritage and New Technologies (Wien 2022).

G. Steffens/N. Schimerl, 3D-Untertage – Wie kommen die Bergwerke in den Computer? 23. Internationaler Bergbau- und Montanhistorik-Workshop (Wilnsdorf/Siegerland 2021) 11–18.

G. Steffens, Das Bergwerk Wolfskuhle in Remscheid – von der Dokumentation zum Erlebnis. In: 25. Internationaler Bergbau- und Montanhistorik-Workshop 2024, Weltkulturerbe Harz: Gestern-Heute-Morgen, Tagungsband, Hrsg. Förderverein Weltkulturerbe Erzbergwerk Rammelsberg Goslar/Harz e. V. (Salzgitter /Goslar, im Druck).

M. Zeiler/S. Hucko/G. Steffens et al., Stilvoll in die Krise – Die Grube Landeskrone bei Wilnsdorf im Siegerland. Der Anschnitt 6, 2020, 2–20.