



Tagungsband

Geosymposium

150 Jahre Geologischer Dienst in Sachsen



Inhalt

- 4 Danksagung
- 6 Grußworte
- 11 Tagungsbeiträge
- 13 Georesourcen & Nachhaltigkeit – Widerspruch oder Chance für die Zukunft?
Jörg Matschullat
- 18 Der Sächsische Geologische Dienst – Tradition und Zukunft
Katrin Kleeberg
- 21 Zukunft der Steine- und Erden-Industrie in Deutschland
Bert Vulpius
- 31 Klufftgrundwasserleiter und Wasserspeicher – Herausforderungen an die Wasserwirtschaft
Traugott Scheytt
- 33 Geogefahren durch die Interaktion von Mensch und Natur
Peter Dommaschk
- 38 Geologie 150 oder 4.0? – keine Zukunft ohne (geistige) Erneuerung
Jens Richter
- 41 Vom Bohrloch zum 3D-Modell – Wie entsteht ein digitales Abbild des geologischen Untergrundes?
Sascha Görne
- 52 Digitalisierung in der Rohstofferkundung: Von der Intuition zu quantitativer hybrider Datenanalyse
Andreas Barth, Martin Köhler, Peggy Hielscher, Hartmut Kühne, Andreas Brosig, Andreas Knobloch, Andreas Kempe,
Peter Bock
- 61 Gastbeitrag
- 62 Lumineszenz eines kulturhistorischen Erbes: Der Topas vom Schneckenstein, Sachsen, Deutschland
Manuela Zeug, Lutz Nasdala, Chutimun Chanmuang N., Manfred Wildner, Christoph Hauzenberger
- 67 Projekte
- 68 Digitales Grafisches Datenmanagement als Kernelement der Erkundungsplanung für die Eisenbahn-
Neubaustrecke Dresden – Prag
Lisa Thiele, Sabine Kulikov
- 74 GeoMAP – Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs-
und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen
Maria Ussath, Axel Rommel, Mathias Hübschmann (Red.), Sylvi Hädecke, Priscilla Ernst, Ralf A. Oeser, Axel Rommel,
Maria Ussath, Mathias Hübschmann, Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky, Lukas Oppelt, Sebastian Pose,
Thomas Grab, Tobias Fieback, Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer
- 80 ResiBil – Wasserressourcenbilanzierung und –resilienzbewertung im Ostteil des Sächsisch-
Tschechischen Grenzraumes
Carsten Schulz, Axel Rommel (Red.), Peter Börke, Carsten Schulz, Ottomar Krentz, Friedrich Mihm,
Robert Junge, Michaela Pohle, Axel Rommel, Sabrina Mittag, Štěpánka Mrázová, Zuzana Skácelová, Roland Nádaskay,
Bedřich Mičoch, Zbyněk Hrkal, David Rozman,
Pavel Eckardt
- 87 Artus – Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen –
Eine tektonische Neugliederung Sachsens
Franz Müller, Leomaris Domínguez-Gonzalez, Uwe Kroner, Klaus Stanek, Louis Andreani, Ottomar Krentz, Ines Görz,
Sebastian Weber

Danksagung



In 150 Jahren hat Sachsens Geologischer Dienst berühmte Geologen wie Prof. Hermann Credner, Prof. Franz Kossmat und Prof. Kurt Pietzsch hervorgebracht. Sie gaben geologische Kartenwerke heraus, systematisierten regionalgeologische Kenntnisse und schafften eine fundierte Grundlage für die Rohstoff- und Grundwassererkundung sowie den Talsperren-, Straßen- und Brückenbau. Ihr Werk wurde von nachfolgenden Generationen von Geologen fortgesetzt, denen ich für ihre Tätigkeit und Einsatzbereitschaft ganz herzlich danke.

Nennen möchte ich vor allem unsere ehemaligen und derzeitigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die gewissenhaft, zuverlässig, fachlich kompetent und mit Kreativität bis zum heutigen Tag ihre Arbeit weiterführen.

So wurden mehr als 200 geologische Kartenwerke erarbeitet, ca. 125 km Bohrkernmaterial aus 25.000 geologischen Bohrungen systematisch archiviert, 670.000 Bohrungs- und Aufschlussdokumentationen digital erfasst sowie ca. 50.000 Berichte und Gutachten archiviert. Jedes Jahr werden zur Politikberatung und zur Unterstützung der sächsischen Vollzugsbehörden mehr als 1.500 Fachstellungnahmen und Expertisen im Rahmen von Verwaltungsverfahren zu den verschiedensten geologischen Fragestellungen verfasst.

Im Wandel der Zeit mussten und müssen sich unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter immer wieder neuen Herausforderungen stellen. Lag in den frühen Jahren der Fokus der geologischen Grundlagenarbeit auf der geologischen Landesaufnahme, dominieren heute Projektarbeiten zu Themen des Umwelt- und Ressourcenschutzes, zur Nutzung erneuerbarer Energien (Erdwärme) sowie zur Erdbeben- und Umweltüberwachung.

Die komfortable und zeitgemäße digitale Bereitstellung von verschiedensten geologischen Daten ist heute die zentrale Serviceaufgabe des Sächsischen Geologischen Dienstes. Damit werden Aktivitäten der Wirtschaft, der Wissenschaft und der Verwaltung vielfältig unterstützt. Dank der weitsichtigen und strategischen Entscheidungen der Sächsischen Staatsregierung können wir auf das Erreichte der letzten 30 Jahre mit Stolz zurückblicken. Hervorzuheben sind insbesondere die umfangreiche Sicherung der wichtigsten analogen Archivbestände im Zeitraum der politischen Wende Anfang der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts und die kontinuierliche Bereitstellung von umfangreichen Ressourcen zu deren Erschließung und Digitalisierung in den letzten 10 Jahren z. B. im Rahmen des Projektes „Rohstoffdaten Sachsen“ – ROHSA 3. Damit konnte eine leistungsfähige digitale Basis geschaffen werden, um anstehende Zukunftsaufgaben effektiv in Angriff zu nehmen.

Die Nutzung von Spezialsoftware, der 3D-Technologie sowie eine verstärkte Einbeziehung von Parametrisierungen und Algorithmen der immensen Anzahl von geologischen Daten wird bei deren digitaler Verarbeitung immer stärker in den Fokus gelangen.

Die organisatorische Einbindung des Sächsischen Geologischen Dienstes dauerhaft am Standort Freiberg in das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) ist die Grundlage für eine breite, abteilungsübergreifende innerbehördliche Zusammenarbeit einerseits, ermöglicht darüber hinaus eine enge, effektive und komfortable Zusammenarbeit und Vernetzung mit den Geoinstitutionen (TU Bergakademie Freiberg, Sächsisches Oberbergamt, Helmholtzzentrum für Ressourcentechnologie, Geokompetenzzentrum e.V., Bergarchiv u.a.) am GeoMontan-Standort Freiberg. Die vereinbarte noch engere Zusammenarbeit des LfULG mit der TU Bergakademie Freiberg auf infrastrukturellem Gebiet (Geobibliothek, Sächsisches Gesteins- und Analytikzentrum in der Stadt Freiberg) werden weitere Synergien erschließen und die Attraktivität des Standortes erhöhen.

Mit freundlichem Glück Auf

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Fischer', with a stylized flourish at the end.

Dr. Frank Fischer

Abteilungsleiter Geologie, Sächsisches Landesamt für
Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Grußworte



Grußwort



150 Jahre – auch wenn diese für die Zeitrechnung im geologischen Sinne nicht mal ein Wimpernschlag zu sein vermögen – so hat der Geologische Dienst in Sachsen in dieser Zeit viel Großes geleistet.

Den Grundstein legte die neue geologische Landesaufnahme. Mit dieser Aufgabe wurde 1872 der

Leipziger Professor Hermann Credner von der sächsischen Landesregierung beauftragt. Um den Erfordernissen der Industrialisierung gerecht zu werden, war das Wissen um den geologischen Untergrund für die Suche nach Rohstoffen sowie den Bau von Brücken, der Eisenbahn und Talsperren unerlässlich.

Bis zum heutigen Tag entwickelte sich aus dem einst königlichen Auftrag der Geologische Dienst zu einer fest etablierten und wertvollen Größe in der sächsischen Verwaltung. In dieser Zeit hat sich die Darstellung des sächsischen Untergrundes von kunstvollen Gemälden in moderne 3D-Modelle gewandelt, welche einen immer besseren Einblick in die Tiefe bieten. Aufgaben wie die Kartierung der sächsischen Geologie und die Beratung für kleine und große Bauprojekte zum Baugrund sind geblieben. Hinzu kamen das Einschätzen von Georisiken, der Geotopschutz sowie die nachhaltige Sicherung unserer Rohstoff-, Wasser- und Energieversorgung.

Neue Zeiten bringen neue Herausforderungen: so wie vor 150 Jahren die industrielle Revolution vorangetrieben werden sollte, stehen wir heute mehr denn je vor der wichtigen Aufgabe, unsere Erde als lebenswerten Planeten zu erhalten. Mit Beiträgen zu einer klimaschonenden Energiegewinnung, dem Schutz unserer natürlichen Ressourcen und dem Voranbringen der Digitalisierung innerhalb der Fachbehörde hat der Geologische Dienst in Sachsen wesentliche Aufgaben auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Lebensweise inne.

In Zukunft heißt es, diese Ziele weiter mit Nachdruck zu verfolgen. Grüne Energie statt fossile Energieträger durch zum Beispiel Erdwärme forcieren. Lokale und umweltverträgliche Rohstoffversorgung und Wertschöpfungsketten in der Kreislaufwirtschaft fördern, statt die Ausbeutung indigener Völker und langer Lieferketten zur Produktion von E-Autos zu unterstützen. Wir müssen uns dieser Verantwortung bewusst werden. Für all diese Bereiche sehe ich das Wissen und die Arbeit unserer geologischen Fachabteilung als einen essenziellen Beitrag, um unseren nachfolgenden Generationen eine Welt zu hinterlassen, auf der es sich zu leben lohnt.

Mit Dank für die bisher geleistete Arbeit für Sachsen und dessen Bürger gratuliere ich dem geologischen Dienst zu seinem 150-jährigen Bestehen und wünsche für das Angehen der neuen Herausforderungen alles Gute.

Mit freundlichen Grüßen

Ihr Wolfram Günther

Sächsischer Staatsminister für Energie, Klimaschutz,
Umwelt und Landwirtschaft

Grußwort



Hermann Credner, erster Direktor der Geologischen Landesuntersuchung des Freistaates Sachsen, beschrieb 1873 eine der Hauptaufgaben seiner Einrichtung als „... die möglichst genaue Erforschung des geologischen Baus, des Mineralreichtums und der Bodenverhältnisse des Königreiches

sowie die Nutzbarma-

chung der gewonnenen Resultate für die Wissenschaft, die Land- und Forstwirtschaft, für Bergbau und Verkehr sowie die übrigen Zweige technischer Betriebsamkeit“.

Schon damals war klar, die Geologie ist nicht nur die Wissenschaft vom Aufbau und der Entwicklung der Erdkruste, sondern spielt für unseren Freistaat in allen Bereichen eine grundlegende Rolle. Alles was wir bauen, bewegen, anpflanzen und was wir aus der Erde gewinnen, fußt auf dem Wissen über die sächsische Geologie. Wir sind darauf angewiesen, dass dieses Wissen bereitgestellt und verwaltet wird. Seit mehr als 150 Jahren erfüllt diese wichtigen Aufgaben der Sächsische Geologische Dienst.

Im Namen des Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft gratuliere ich zu diesem Jubiläum herzlichst. Ich danke jedem Mitarbeiter für seine Leistungen. Bürger, Wirtschaft, Wissenschaft, Verwaltung und nicht zuletzt unsere Umwelt profitieren tagtäglich vom Einsatz unseres Geologischen Dienstes.

Die bereitgestellte fachliche Grundlage ermöglichte es in den vergangenen 150 Jahren in Politik, Verwaltung und Wirtschaft wichtige Entscheidungen fundiert treffen zu können. Dies ist auch in Zukunft weiter von hoher Bedeutung.

Mit verschiedenen Schwerpunktthemen trägt der Sächsische Geologische Dienst heute zur Bewältigung von aktuellen gesellschaftspolitischen Herausforderungen bei.

Hierzu zählen die Klimakrise, die Stärkung des Wirtschaftsstandortes Sachsen oder die Überwachung von Geogefahren. Projekte wie der Geothermieatlas, die Modellierung, Visualisierung und Prognose von Bergbaufolgen, die Schienenneubaustrecke Dresden – Prag oder die Überwachung von Felsstürzen und Erdbeben seien an dieser Stelle beispielhaft genannt.

Für die Zukunft wünsche ich weiterhin viel Schaffenskraft, um aktiv unseren Freistaat mitzugestalten, unsere Umwelt für nachfolgende Generationen zu schützen und Sachsen als lebenswerten Ort zu erhalten.

Mit freundlichem Gruß

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'G. Lippold'.

Dr. Gerd Lippold

Staatssekretär im Staatsministerium für Energie,
Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft

Grußwort



Am 6. April 1872 wurde die Geologische Landesuntersuchung im Königreich Sachsen gegründet. Der heutige Geologische Dienst des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Freiberg ist damit einer der ältesten geologischen Dienste in Deutschland.

Seit 150 Jahren sind wir in Sachsen der Ansprechpartner für alle Fragen zur Nutzung und zum Schutz unseres geologischen Untergrundes sowie zu seinen Wechselwirkungen mit Maßnahmen an der Erdoberfläche.

Die Vergangenheit des Freistaates ist eng mit seiner Geologie verknüpft. Vor allem die Silbererze und das Porzellan, aber auch seine Vielfalt an Landschaften haben Sachsen weltweit berühmt gemacht. Wir blicken auf eine reiche Geschichte - und auf große Aufgaben der Zukunft.

Dabei gibt es viele Themen, die uns über Jahrzehnte hinweg beschäftigen werden. Dies betrifft maßgeblich die als Transformationsagenda bezeichneten fachlichen Felder der Umwelt-,

Klima-, Energie-, Biodiversitäts- und Agrarwende; wobei hier im Speziellen auch der Ausstieg aus der Braunkohleverstromung in der Lausitz und im Mitteldeutschen Revier und die damit verbundene Strukturentwicklung dieser Regionen gehört.

Es sind die ganz großen fachpolitischen Herausforderungen unserer Zeit – die nicht nur für Deutschland bzw. Sachsen Relevanz haben, sondern weltweit – und wir stehen mit unseren vielen Aufgabenfeldern als LfULG mittendrin. Wir können hier maßgeblich in unseren Kompetenzfeldern – für Alle erlebbar – Sachsens Zukunft mitgestalten! Der Geologische Dienst Sachsens hat für diese Aufgaben als geowissenschaftliche Fachabteilung innerhalb des LfULG eine zentrale Rolle inne.

Ich möchte mich an dieser Stelle für das hohe Engagement und die Leistungsbereitschaft unserer Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter herzlich bedanken.

„Von der Tradition zur Moderne“ – das Motto des Jubiläumsjahres repräsentiert 150 Jahre an wertvollen Daten, Erkenntnissen und interdisziplinärem Wissen zum sächsischen Untergrund mit aktuellen geologischen Anwendungen in Wissenschaft, Forschung, Wirtschaft und Verwaltung.

Ich freue mich, mit Ihnen unter diesem Motto unser Jubiläum im Rahmen eines Festaktes und einer anschließenden Fachveranstaltung in Freiberg zu begehen.

Mit freundlichem Glück Auf

A handwritten signature in blue ink that reads "Norbert Eichkorn". The signature is fluid and cursive, written in a professional style.

Ihr Norbert Eichkorn

Präsident, Sächsisches Landesamt für Umwelt,
Landwirtschaft und Geologie

Grüßwort



Lange Zeit waren Rohstoffvorkommen die Grundlage für eine wirtschaftlich erfolgreiche Entwicklung von Staaten. In Freiberg verfolgte man in den letzten Jahrhunderten verschiedene Ansätze, um diese wichtigen – wie wertvollen – Rohstoffe zu erforschen, zu erhalten und zu ersetzen. Am Anfang unserer Stadt stand ein zufälliger Silberfund um 1168. Dass sich darauf einmal der Reichtum Sachsens, seine wirtschaftliche und kulturelle Entwicklung gründete, verdanken wir der mutigen Entscheidung Otto von Wettins. Er räumte Jedem das freie Bergrecht ein. Doch um diesen Reichtum zu sichern und zu erhalten, dazu brauchte es noch zwei weitere Bausteine: Bildung und Forschung. In Freiberg wurde dieser Weg 1765 mit der Gründung der Bergakademie vollzogen, der ältesten montanwissenschaftlichen Universität der Welt. Mit dem Wissen aus der Bergakademie wurde in Freiberg ein Ausgleich zum schwindenden Silberabsatz geschaffen. Die Gründung der Bergakademie steht in einer Reihe mit großen naturwissenschaftlichen Universitäten in St. Petersburg (Staatl. Bergbauuniversität, 1773 gegründet von Katharina der Großen) und Paris (École des mines, gegründet 1783 auf Anordnung von Ludwig XVI.). Neben diesem Ansatz des Rohstoffersatzes durch Wissen, verfolgte man in Freiberg eine weitere Idee: Den nachhaltigen Umgang mit Rohstoffen. Beispielhaft dafür steht Oberberghauptmann Hans Carl von Carlowitz (1645 – 1714), welcher mit seinem Buch „Sylvicultura oeconomica“ als Begründer des Prinzips der Nachhaltigkeit gilt.

Er verfolgte vor 300 Jahren das Ziel einer drohenden Rohstoffkrise im Holz durch planmäßiges Aufforsten, Säen und Heizen entgegenzuwirken.

Vor 200 Jahren setzte sich ein weiterer Prozess in Freiberg in Gang: Flächenhafte geologische Untersuchungen. Der Freiburger Bergrat Abraham Gottlob Werner (1749-1817) sah die Lösung für die Brennstoffkrise in Steinkohle. Sie sollte das Holz ersetzen. Im Auftrag von Friedrich August II. starteten geologische Untersuchungen unter Bergrat Werner. Damit wurde zugleich die Grundlage für den geologischen Dienst in Sachsen gelegt.

Silbererz, Holz, Steinkohle – die Rohstoffe die erforscht, erhalten oder ersetzt werden sollten, wechselten. Die Fragen zur Energie- wende, die Suche nach alternativen Rohstoffen und Brennstoffen setzt sich bis heute fort. Diese Suche ist verbunden mit großen Fragen des 21. Jahrhunderts. Sie sind politischer, ethischer und wissenschaftlicher Natur und müssen ganzheitlich gedacht werden.

Es macht mich als Oberbürgermeister stolz, dass solche Fragen von unserer Stadt aus gelöst werden. Es ist das Fundament aus Geschichte, das Bewusstsein für das Problem, aber vor allem das Vermögen unserer Bürger Lösungen zu finden, was unsere Stadt bis heute prägt. Aber es sind auch das Wissen und der Zuspruch verschiedenster Akteure, die es möglich machen, von hier aus Grundlagen für Antworten auf die großen Fragen dieser Zeit zu suchen. Ich bedanke mich für das Vertrauen in unsere Stadt als Standort des Staatlichen Geologischen Dienstes im Freistaat Sachsen und gratuliere herzlich zu 150 Jahren Bestehen und der erfolgreichen Fortentwicklung.

Mit einem herzlichen „Glückauf“

Sven Krüger

Oberbürgermeister Stadt Freiberg

Tagungsbeiträge



Georessourcen & Nachhaltigkeit – Widerspruch oder Chance für die Zukunft?



Prof. Dr. Jörg Matschullat

TU Bergakademie Freiberg
Professur für Geochemie und Geoökologie
Direktor Interdisziplinäres Ökologisches Zentrum

Werner-Bau, Brennhausgasse 14
09599 Freiberg

E-Mail: Joerg.Matschullat@ioez.tu-freiberg.de

Zum Autor

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Jörg Matschullat ist promovierter Geologe und Mineraloge mit Schwerpunkt Geochemie. Seit 1999 leitet er die Professur für Geochemie und Geoökologie an der TU Bergakademie Freiberg. Seit seiner Promotion arbeitet er zu Umweltfragen auf unterschiedlichen Skalenebenen. Dies umfasst regionale, nationale und internationale Arbeiten zur Bodenchemie einschließlich der Teilnahme an großen pedogeochemischen Kartierungen und reicht bis in die regionale Klimaforschung.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie?

Bereits vor 1999 entstanden erste Kontakte zum LfULG im Rahmen eines größeren DFG-Projektes zur Umweltbelastung im Osterzgebirge. Diese Kontakte wuchsen über die Jahre und führten zu gegenseitiger Wertschätzung und Unterstützung.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Mehr Freiraum für kreatives Arbeiten auch jenseits des unmittelbaren Pflichtenheftes – zum Beispiel bei Forschungsthemen, sowie mehr Mut, auch weniger konventionelle Weg zu beschreiten öffnet stets Chancen auf neue Erkenntnisse, die am Ende sehr wertvoll sind für das Gemeinwesen. Herausforderungen sind keine Mangelware; dies betrifft interne Strukturen ebenso wie die nicht minder realen globalen Herausforderungen, die es auf der regionalen Ebene zu identifizieren und anzunehmen gilt.

Kurzfassung des Vortrages

Der Titel mag in diversen Ohren nach Widerspruch klingen. Das kann daran liegen, dass manchmal eine verengte Wahrnehmung für die Bedeutung des Begriffs „Georessourcen“ vorliegt. Der Terminus „Georessourcen“ schließt alle Ressourcen – mit Ausnahme der Sonnenenergie – ein, die als Basis für das Leben der menschlichen Gesellschaft dienen und deren komplexe Nutzung die menschliche Wechselwirkung mit unserem System Erde voraussetzt. Dies schließt vor allem die natürlichen Ressourcen (Wasser, Böden, Luft, sowie mineralische und energetische Rohstoffe wie geothermische Energie) ein, ebenso wie deren Anwendungsbereiche (Leben in Land und Stadt, Landwirtschaft, Industrie und Wirtschaft, Verkehr, Kreislaufwirtschaft und Entsorgung), sowie in einem weiteren Sinn auch Atmosphäre und Klima.

Georessourcen sind unser aller Lebensgrundlage. Aus diesem grundlegenden Zusammenhang ergibt sich unmittelbar, dass ein bewusster und sehr verantwortungsvoller Umgang mit Georessourcen Voraussetzung dafür ist, dass wir Menschen uns langfristig keine Chancen für die Zukunft verbauen. Und mit dieser Erkenntnis ist letztendlich bereits die Antwort auf die Titelfrage gegeben. Es kann kein gedeihliches (Über)leben der Menschheit geben ohne nachhaltigen Umgang mit den Georessourcen.

Diese Aussage lässt sich an unzähligen Beispielen handfest untermauern – denken wir an Folgen von Extremwetterereignissen, deren Impact sehr oft durch Missmanagement, also nicht nachhaltigen Umgang mit Georessourcen erst in die Katastrophe führt. Hochwasserereignisse mögen als Beispiel dienen – Siedlungsflächen sind in Flussauen fehl am Platz. Manche erinnern sich an den Begriff „Schwarzes Dreieck“ für die größere Grenzregion von Deutschland, Polen und Tschechien. Heute sprechen wir zu Recht von einem „grünen Dreieck“ und doch erinnern sich unsere Böden und Grundwasserleiter noch für viele weitere Jahrzehnte an den fast 150 Jahre währenden industriellen Missbrauch, der die Region zu einer der höchst belasteten Gebiete der Erde machte. Ähnliches gilt für die reiche Bergbaugeschichte unserer Region ebenso wie in anderen Gebieten der Erde. Noch heute, lange nach dem Ende des ehemaligen Bergbaus, zeigt ein Blick auf unsere bodenchemischen und hydrochemischen Daten, wie Jahrhunderte nicht nachhaltigen Bergbaus und daran gekoppelter Industrieprozesse Böden und Gewässer ebenfalls auf Jahrhunderte belastet haben. Dies beschreibt beispielhaft die dunkle Seite falsch verstandener Ausbeutung von

Georessourcen. Dass es auch anders geht, zeigen uns wiederum Beispiele aus der Region. Spätestens seit dem 15. Jahrhundert arbeitet die Grube Niederschlag nach Annaberg-Buchholz. Mit bis heute sichtbaren Folgen. Doch zugleich erlebte die Grube eine radikale Renaissance seit 2010. Ein Bergwerk, das kaum zu sehen ist, keine unmittelbare Wasser-, Boden- und Luftbelastung hervorruft. Saubere Lastwagen verlassen die Grube und transportieren bereits vorkonzentriertes Material zur weiteren Aufbereitung nach Aue. Dort werden aus dem Rohstoff ebenfalls mit modernsten und umweltschonenden Methoden Wertstoffe für die Industrie. Ja, dass sich so etwas rentiert, hängt auch von Marktpreisen ab. Doch eine Gesellschaft, die sich ernsthaft Nachhaltigkeit und Verantwortung für künftige Generationen verpflichtet fühlt, wird Lösungen finden. Analoges gilt für letztendlich alle Bereiche der Nutzung von Georessourcen.

Der Geologische Dienst verfügt über einen wertvollen Schatz von geologischen Daten. Die große Herausforderung ist es, diese weiterhin zu digitalisieren und aufzubereiten, um sie zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist es eine Aufgabe der Zukunft, die Georessourcen in Sachsen zu bewerten und zu überwachen, um eine nachhaltige und umweltschonende Nutzung zu ermöglichen.

Wenn wir nachkommenden Generationen eine für Menschen lebenswerte Welt hinterlassen wollen, dann gilt es, konsequent vom Ende her zu denken – und nicht kurzfristigen Interessen zu folgen. Wasser, Boden und Luft sind DIE Georessourcen, ohne deren Verfügbarkeit bei guter Qualität wir dauerhaft nicht existieren können. Mit dieser Erkenntnis ist die Prämisse gesetzt, der sich alle weiteren unter- und nachzuordnen haben. Und ja, es ist möglich, mit dieser Prämisse gut zu leben UND weiterhin auch primäre mineralische Ressourcen zu nutzen. Es wird vermutlich mehr kosten als heute, doch „reich früh zu sterben“ erscheint vermutlich den meisten als weniger attraktiv im Vergleich zu einem etwas bescheideneren jedoch langen und gesunden Leben.

Der Vortrag wird exemplarisch Kernfragen aufnehmen und diese mit der Zukunft staatlicher Vorsorge verbinden: Wo gehen wir als Gesellschaft hin? Was sind die wesentlichen Herausforderungen für die Zukunft? Wie stellen wir uns Rohstoffverknappungen? Was bedeutet bei alledem Nachhaltigkeit? Welche Rolle spielen erneuerbare Energieformen? Ist unsere Lebensqualität bedroht?



Abbildung1: „Was, wenn es ein großer Schwindel ist und wir umsonst eine bessere Welt schaffen?“ (Joel Pett, 2008).

Referenzen

Pett, Joel (2008): Climate summit. Environmental cartoon,
<https://www.climateactionreserve.org/blog/2012/08/31/environmental-cartoons-by-joel-pett/>

Abstract of the lecture:

Georesources & sustainability – contradiction or opportunity for the future?

The title may sound like a contradiction to some ears. This may be because some carry a narrow perception of the meaning of the term "georesources". The term "georesources" includes all resources – with the exception of solar energy – that serve as the basis for the life of human society and whose complex use requires human interaction with our Earth system. This includes above all natural resources (water, soil, air, as well as mineral and energetic raw materials such as geothermal energy) and their application areas (rural and urban life, agriculture, industry and economy, transport, recycling management and waste disposal), and in a broader sense also the atmosphere and climate.

Georesources are the basis of life for all of us. It follows directly from this fundamental connection that a conscious and very responsible use of georesources is a prerequisite for ensuring that we humans do not block any opportunities for the future in the long term. And this realisation ultimately provides the answer to the title question already. There can be no prosperous (survival) of humankind without sustainable management of georesources.

This statement can be substantiated by countless examples – let us think of the consequences of extreme weather events, the impact of which very often leads to catastrophe in the first place due to mismanagement, i.e., unsustainable use of georesources. Flood events may serve as an example – settlement areas are out of place in river floodplains. Some people remember the term "Black Triangle" for the larger border region of Germany, Poland and the Czech Republic. Today, we rightly speak of a "green triangle" and yet our soils and aquifers remember for many more decades the almost 150 years of industrial abuse that made the region one of the most highly polluted areas on Earth. The same is true of our region's rich mining history, as it is in other areas of the world. Even today, long after the end of former mining, a look at our soil chemical and hydrochemical data shows how centuries of unsustainable mining and industrial processes linked to it have also polluted soils and waters for centuries. This is an example of the dark side of the misunderstood exploitation of georesources. Again, examples from the region show us that things can be done differently. The Niederschlag mine near An-

naberg-Buchholz has been working since the 15th century at the latest. With consequences that are still visible today. Yet at the same time, the mine has experienced a radical renaissance since 2010. A mine that is barely visible, does not cause any immediate water, soil or air pollution. Clean trucks leave the mine and transport already preconcentrated material to Aue for further processing. There, the raw material is also turned into valuable materials for industry using the most modern and environmentally-friendly methods. Yes, that something like this is profitable also depends on market prices. But a society that is seriously committed to sustainability and responsibility for future generations will find solutions. The same applies to all areas of the use of geological resources.

The Geological Survey has a valuable treasure trove of geological data. The great challenge is to continue to digitise and process these in order to make them available. Furthermore, it is a task for the future to evaluate and monitor the georesources in Saxony in order to enable a sustainable and environmentally friendly use.

If we want to leave a world worth living in for future generations, we have to think consistently from the end – and not follow short-term interests. Water, soil and air are THE georesources without whose availability and good quality we cannot exist in the long term. This realisation sets the premise to which all other considerations must be subordinated and followed.

And yes, it is possible to live well with this premise AND to continue to use primary mineral resources. It will probably cost more than it does today, but "dying rich early" probably seems less attractive to most compared to a somewhat more modest but long and healthy life.

The lecture will take core questions as examples and link them to the future of state provision: Where are we going as a society? What are the main challenges for the future? How do we face raw material shortages? What does sustainability mean in all this? What role do renewable forms of energy play? Is our quality of life under threat?



Figure 1: "What, if it's a big hoax and we create a better world for nothing?" (Joel Pett, 2008).

Referenzen

Pett, Joel (2008): Climate summit. Environmental cartoon,
<https://www.climateactionreserve.org/blog/2012/08/31/environmental-cartoons-by-joel-pett/>

Der Sächsische Geologische Dienst – Tradition und Zukunft



Dipl.-Geologin Katrin Kleeberg

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und
Geologie, Abteilung Geologie
Referat Geoarchive, Datenmanagement

Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

E-Mail: katrin.kleeberg@smekul.sachsen.de

Zur Autorin

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Nach dem Studium der Geowissenschaften in Greifswald und Freiberg (1982-1987) war ich bis 1990 als Erkundungsgeologin für Steine/Erden-Rohstoffe und Braunkohle im VEB Geologische Forschung und Erkundung tätig. Anschließend arbeitete ich bis 1997 bei verschiedenen Ingenieurbüros in den Bereichen Lagerstätten erkundung und Bergbauplanung.

Im Jahr 1998 begann meine Tätigkeit als Referentin im Sächsischen Geologischen Dienst, Referat Rohstoffgeologie. Dabei war ich u.a. für die Fachberatung der Behörden und der Industrie im Bereich Rohstoffsicherung/Lagerstättenschutz und die Konzeption des Fachinformationssystems Rohstoffe zuständig.

Von 2013 bis 2016 leitete ich mit dem Projekt ROHSA 3 „Rohstoffdaten Sachsens“ eines der wichtigsten Vorhaben der Sächsischen Rohstoffstrategie. Im Jahr 2017 war ich beim Sächsischen Oberbergamt tätig. Seit Januar 2018 leite ich das Referat Geoarchive, Datenmanagement.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Während meiner beruflichen Tätigkeit habe ich die vielfältige und spannende sächsische Geologie im Gelände erlebt, konnte zahlreiche geologische Daten selbst erheben und die in den Geoarchiven vorhandenen Informationen zum Vergleich nutzen. In den „alten“ Archiv-Daten steckt das Wissen von Generationen erfahrener und fachlich kompetenter Geowissenschaftler und Geowissenschaftlerinnen. Diese Daten haben einen hohen und vor allem bleibenden wirtschaftlichen Wert. Mit der Bereitstellung digitaler „alter“ und neuer Geodaten liefert der Geologische Dienst der Gesellschaft fundierte Grundlagen für die Beantwortung vieler drängender Fragen unserer Zeit.

Kurzfassung des Vortrages

Vor 150 Jahren wurde der Sächsische Geologische Dienst unter dem Namen „Geologische Landesuntersuchung des Königreiches Sachsen“ in Leipzig gegründet. Seine Hauptaufgaben, die detaillierte geologische Landesaufnahme und die damit verbundene Sammlung geologischer Daten und Informationen ergaben sich aus den wirtschaftlichen Erfordernissen der industriellen Revolution in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts.

Heute ist der Geologische Dienst die geowissenschaftliche Fachbehörde des Freistaates Sachsen und damit der zentrale Ansprechpartner für Fragen zur Nutzung und zum Schutz unseres geologischen Untergrundes.

Die Aufgaben des Geologischen Dienstes haben sich im Laufe der Zeit infolge der sich ändernden wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Fragestellungen entsprechend gewandelt. Wichtige Tätigkeitsbereiche sind heute Stellungnahmen zu Fragen des Schutzes, der Sicherung und der Erschließung einheimischer Ressourcen (Rohstoffe, Grundwasser, Erdwärme), der Sicherheit des Baugrundes und der Abwehr geologisch bedingter Gefährdungen wie beispielsweise Felsstürze.

Der Geologische Dienst berät weiterhin zu Vorhaben der öffentlichen Hand und unterstützt diese mit umfangreichen Daten, geologischen Untersuchungen und der Fachkunde seiner Beschäftigten. Beispiele sind die Suche nach einem Endlager für hochradioaktiven Abfall, Sanierungsvorhaben in Bergbaugebieten und herausragende Infrastrukturvorhaben wie die Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag.

Seit der Gründung des Geologischen Dienstes werden in den Geoarchiven und den geowissenschaftlichen Sammlungen systematisch Informationen in Form von Bohrungsdokumentationen, Berichten und Karten sowie Bohrkernen, Belegstücken und Gesteinsproben gesammelt und strukturiert aufbewahrt. Dieses

vielfältige Archiv- und Sammlungsmaterial ermöglicht einen tiefen Blick in den Untergrund Sachsens und ist dabei von hohem volkswirtschaftlichen Wert, denn geologische Daten altern nicht und mit ihrer Hilfe kann beispielsweise der Aufwand für neue Erkundungen deutlich verringert werden. Durch ROHSA 3 (Rohstoffdaten Sachsens), das im Jahr 2013 gestartete Schlüsselprojekt der Sächsischen Rohstoffstrategie, konnte die Erschließung und digitale Verfügbarmachung von Informationen zu sächsischen Bodenschätzen erheblich beschleunigt werden. Die vorhandenen Unterlagen und die stetig neu hinzukommenden Informationen werden seit einigen Jahren systematisch digitalisiert, in Datenbanken abgelegt und zunehmend internetbasiert für die Öffentlichkeit verfügbar gemacht.

Das im Jahr 2020 in Kraft getretene Geologiedatengesetz trägt mit seinen Regelungen zur Übermittlung, dauerhaften Sicherung und Bereitstellung geologischer Daten entscheidend dazu bei, dass zum einen der Geologische Dienst seine vielfältigen und verantwortungsvollen Aufgaben erfüllen kann und zum anderen die Wirtschaft, Hochschulen und Forschungseinrichtungen, Fach- und Genehmigungsbehörden, Öffentlichkeit und Privatpersonen geologische Daten in großem Umfang nutzen können.

Der Staatliche Geologische Dienst muss sich heute und in der Zukunft immer wieder neuen Aufgaben stellen, dazu gehören z. B. die digitale Sicherung und Verfügbarmachung von Daten, die Nutzung innovativer Technologien, Fachexpertise auf hohem Niveau und faktenbasierter Wissenstransfer zu Themen wie Klimawandel, Ressourcenverfügbarkeit und Konflikten bei konkurrierenden Flächennutzungen. Die großen politischen Umbrüche in 150 Jahren deutscher Geschichte bedeuteten auch für den Sächsischen Geologischen Dienst zahlreiche Strukturwechsel und Neuausrichtungen seiner Aufgabenschwerpunkte. Geblieben ist aber immer das Verantwortungsgefühl für das Land Sachsen und das Engagement in Bezug auf Daseinsvorsorge und Tätigkeit zum Nutzen des Freistaates und seiner Bevölkerung.

Abstract of the lecture:

The Saxon Geological Survey - Tradition and Future

150 years ago, the Saxon Geological Survey was founded in Leipzig under the name "Geologische Landesuntersuchung des Königreiches Sachsen" (Geological Survey of the Kingdom of Saxony). Its main tasks of conducting detailed geological surveys of the country and the associated collection of geological data and information resulted from the economic requirements of the industrial revolution in the second half of the 19th century.

Today, the Geological Survey is the geoscientific authority of the Federal State of Saxony and thus the central point of contact for questions concerning the use and protection of our geological subsurface. The tasks of the Geological Survey have changed accordingly over time as a result of shifting economic and social issues. Nowadays, important areas of activity are statements on questions of protection, safeguarding and exploration of domestic resources (raw materials, groundwater, geothermal energy), the safety of the subsoil and the defence against geologically induced hazards such as rockfalls.

The Geological Survey also advises on publicsector projects and supports them with extensive data, geological investigations and the expertise of its employees. Examples include the search for a final repository for highly radioactive waste, remediation projects in mining areas and outstanding infrastructure projects such as the new Dresden-Prague railroad line.

Since the founding of the Geological Survey, information has been systematically collected and stored in a structured manner in the geoarchives and the geoscientific collections in the form of borehole documentation, reports and maps as well as drill cores, specimens and rock samples. This diverse archive and collection material allows a profound insight into the sub-sur-

face of Saxony. At the same time, it is of high economic value, because geological data do not age and with their help, for example, the effort for new explorations can be significantly reduced. The key project of Saxony's raw materials strategy, called ROHSA 3 (Rohstoffdaten Sachsens - Saxony's raw materials data), was launched in 2013. This project has significantly accelerated the development and digital availability of information on Saxony's mineral resources. For several years now, the existing documents and the new information that is constantly being added have been systematically digitized, stored in databases and increasingly made available to the public via the Internet.

In 2020, the Geological Data Act came into force. With its regulations on the transmission, permanent preservation and provision of geological data, it plays a decisive role in enabling the Geological Survey to fulfil its diverse and responsible tasks and in enabling industry, universities and research institutions, technical and licensing authorities, the public and private individuals to make extensive use of geological data.

The State Geological Survey faces everchanging tasks today and in the future. These include, for example, digitally securing and making available data, using innovative technologies, high-level technical expertise, and fact-based knowledge transfer on topics such as climate change, resource availability, and conflicts in competing land uses. The major political up-heavals in 150 years of German history also meant numerous structural changes and realignments of its main tasks for the Saxon Geological Survey. What has always remained, however, is the sense of responsibility for the Federal State of Saxony and the commitment to the provision of public services and activities for the benefit of the state and its population.

Zukunft der Steine- und Erden-Industrie in Deutschland



Dipl.-Geologe, Dipl.-Kaufmann (FH)
Bert Vulpius

Unternehmerverband Mineralische Baustoffe (UVMB) e.V.

Wiesenring 11
04159 Leipzig

E-Mail: vulpius@uvmb.de

Zum Autor

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Seit dem Abschluss meines Geologiestudiums mit Stationen in Greifswald und Freiberg stehen rohstoffgeologische und lagerstättenwirtschaftliche Fragestellungen zur Gewinnung und Nutzung von Steine- und Erden-Rohstoffen im Mittelpunkt meiner beruflichen Tätigkeit. In meiner jetzigen Funktion als Geschäftsführer des Unternehmerverbandes Mineralische Baustoffe (UVMB) e. V. vertrete ich die Interessen der rohstoffgewinnenden und weiterverarbeitenden Steine- und Erden-Industrie in den Ländern Mecklenburg-Vorpommern, Berlin/Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Thüringen und Sachsen.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie?

Zum Geologischen Dienst Sachsen bestehen vielfältige Arbeitsbeziehungen. Hier beschäftigen mich insbesondere Fragen der Rohstoffsicherung, der Lagerstättenbewertung, inhaltliche Beiträge zur Sächsischen Rohstoffstrategie oder gemeinsame Aktionen im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit, z. B. zur Präsentation des Gesteins des Jahres.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Eine Zukunftsaufgabe für die sächsische Geologie besteht darin, die öffentliche Wahrnehmung und die Akzeptanz für die nachhaltige Nutzung von Georessourcen noch stärker in die gesellschaftliche Diskussion einzubringen. Dabei geht es besonders darum, die Leistungen der Geologie für die gesellschaftliche Entwicklung stärker sichtbar zu machen.

Weiterhin sehe ich in der Stärkung der angewandten Geologie und Wirtschaftsgeologie sowie in der weiteren Entwicklung des Berufsbildes des Geologen/Geowissenschaftlers zukünftige Aufgabenschwerpunkte.

Kurzfassung des Vortrages

Zusammenfassung

In jedem Jahr werden in Deutschland stabil zwischen 500 und 600 Mio. Tonnen Steine- und Erden-Rohstoffe gewonnen. Die Steine- und Erden-Industrie stellt damit wichtige Vorleistungen für die Bauwirtschaft und wichtige Grund- und Ausgangsstoffe für zahlreiche Industriezweige zur Verfügung.

Auch zukünftig wird sich ein breites Anwendungsfeld für einheimische Steine- und Erden-Rohstoffe ergeben. Ohne den Einsatz dieser Rohstoffe sind die Ziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie und des Europäischen Green Deals nicht umsetzbar.

Die Sicherung des Zugangs zur Nutzung einheimischer Rohstoffe und ein gesellschaftlicher Konsens über die Nutzung dieser Rohstoffe stellen wichtige Zukunftsaufgaben dar. Die Geowissenschaften können bei der Entwicklung eines Rohstoffbewusstseins einen wichtigen Beitrag leisten.

Die Transformationsprozesse zur Erreichung einer CO₂-Neutralität stellen für die Gips-, Kalk-, Zement- und Ziegelindustrie in Deutschland eine große Herausforderung dar.

Gewinnungsstätten der Steine- und Erden-Industrie bilden Hotspots der Biodiversität und leisten einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der europäischen Artenschutzziele.

Abstract

Every year, between 500 and 600 million tons of aggregates are extracted in Germany. The mineral and building materials industry thus provides important preliminary services for the construction industry and important basic (and starting) materials for numerous branches of industries.

Also in the future, there will be a broad field of application for local aggregate raw materials. Neither the goals of the German Sustainability Strategy nor the European Green Deal cannot be achieved without the use of these raw materials. Securing access to the use of local raw materials and a social consensus on the use of these raw materials are important tasks for the future. Geosciences can make an important contribution to the development of an awareness of raw materials in society.

The transformation processes to achieve CO₂ neutrality represent a major challenge for the gypsum, lime, cement and brick industries in Germany. Extraction sites of aggregates industry are hotspots of biodiversity and make an important contribution to the achievement of the European species protection goals.

Einheimische Rohstoffgewinnung – eine unverzichtbare Säule der nationalen Rohstoffversorgung

Einheimische Rohstoffe bilden eine unverzichtbare Säule der nationalen Rohstoffversorgung, ohne die eine Bewältigung der gesellschaftlichen Herausforderungen von Wohnungsbau, Infrastruktur, Mobilität und Umweltschutz nicht möglich ist. Auch vor dem Hintergrund erstmals aufgetretener Versorgungsengpässe bei heimischen Baurohstoffen setzt sich die Bundesregierung in ihrer Rohstoffstrategie (BMW, 2020) dafür ein, dass die Rohstoffgewinnung in Deutschland gestärkt und die Rohstoffsicherung wirksamer in die Raumordnung eingebunden wird. Im Einsatz von Recycling-Baustoffen als Ersatz für Primärrohstoffe wird eine weitere wichtige Säule einer nachhaltigen Ressourcenwirtschaft gesehen.

In Deutschland sind in den vergangenen 20 Jahren pro Jahr ca. 574 Mio. Tonnen Steine- und Erden-Rohstoffe gewonnen worden (Abbildungen 1, 2). Die Gewinnung liegt mengenmäßig auf einem hohen Niveau. Im Zeitraum 2001 bis 2016 schwankten die Mengen zwischen 538 Mio. und 662 Mio. Tonnen. Von dieser Rohstoffmenge entfallen ca. 45% auf Sand und Kies, ca. 38% auf Naturstein, ca. 11% auf Kalkstein und ca. 4% auf tonige Rohstoffe (BBS, 2019).

Die Menge der Sekundärrohstoffe (Recycling-Baustoffe und industrielle Nebenprodukte) lag im gleichen Zeitraum bei 90 Mio. Tonnen im Jahr und bewegte sich zwischen 79 Mio. und 102 Mio. Tonnen (BBS 2019). Auf Recycling-Baustoffe entfallen davon 66%, auf Aschen aus industriellen Prozessen (Hochofen-, Stahlwerks-, Steinkohleflugasche, HMVA) ca. 24% und auf REA-Gips ca. 8% (BBS, 2019).

Der zukünftige Bedarf ist selbst unter volkswirtschaftlich ungünstigen Rahmenbedingungen bei einem Nullwachstum des Bruttoinlandsproduktes ungebrochen, da auch dann in einem Mindestumfang Erhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Aus den Anforderungen an den Wohnungs- und Infrastrukturbau, die Energiewende, die energetische Sanierung des Gebäudesektors (EU, 2021) und die Sanierung der Abwasser- und Kanalnetze kann von einem anhaltend hohen Rohstoffbedarf über Jahrzehnte ausgegangen werden. Im Moment sind lediglich Grenzen bei den Finanzierungsmöglichkeiten durch die öffentlichen Haushalte auszumachen, die die Nachfrage begrenzen. Der volkswirtschaftliche Bedarf übersteigt seit Jahren den finanziellen Bedarf.



Abbildung 1: Kiesgewinnung aus dem Grundwasser (Foto: UVMB).

Pro Jahr werden in Deutschland ca. 250 Mio. Tonnen Sand und Kies gewonnen, die insbesondere für die Betonherstellung verwendet werden. Kies ist der wichtigste heimische Baurohstoff (Elsner & Szurlies, 2020). (Foto: UVMB)

Auch die Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesrepublik (Breg, 2021) mit ihren komplexen Zielstellungen ist ohne Rohstoffe nicht erreichbar. Unter hohen Umweltstandards gewonnene einheimische Rohstoffe nehmen dabei eine Schlüsselrolle ein.

Eine Ablösung einheimischer Rohstoffe durch Importe ist angesichts der benötigten Mengen kaum vorstellbar und sowohl aus wirtschaftlichen und sozialen Gründen als auch unter ökologischen Gesichtspunkten nicht vertretbar. Bis 2035 ist in Abhängigkeit von der volkswirtschaftlichen Entwicklung ein jährlicher Rohstoffbedarf an Primärrohstoffen zwischen 555 Mio. und 650 Mio. Tonnen zu erwarten. Bei Sekundärrohstoffen kann von 88 Mio. bis 99 Mio. Tonnen pro Jahr ausgegangen werden (BBS, 2019). Durch die eingeleiteten Transformationsprozesse der deutschen Volkswirtschaft wird das Aufkommen an industriellen Nebenprodukten, die an die Verbrennung von fossilen Energieträgern gebunden sind (z. B. REA-Gips, bestimmte Aschen), zurückgehen.

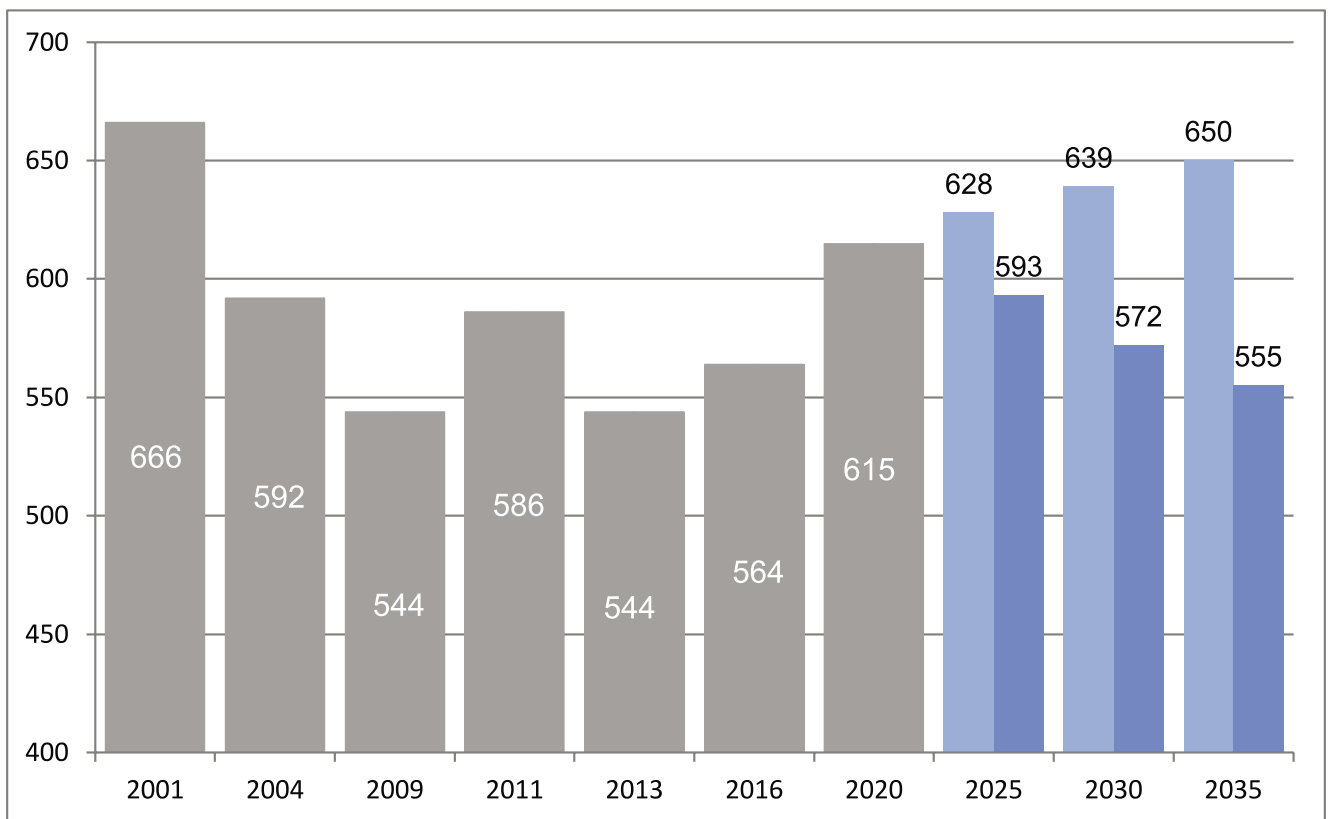


Abbildung 2: Entwicklung der Rohstoffgewinnung in Mio. Tonnen für den Zeitraum 2001 bis 2035 (Datengrundlage: BBS, 2019).

Für den Zeitraum 2025 bis 2035 wurde eine Abschätzung für einen oberen und unteren Pfad vorgenommen. Im oberen Entwicklungspfad wird von einem jährlichen Wachstum des BIP von ca. 1,7% ausgegangen, im unteren Pfad von einer Wachstumsrate von ca. 0,5%.

Sicherung des Zugangs zu einheimischen Rohstoffen

Für die sichere Versorgung der Volkswirtschaft mit Steine- und Erden-Rohstoffen ist es notwendig, dass ein entsprechendes Geopotential zur Verfügung steht, Rohstoffe erfolgreich nachgewiesen und gekennzeichnet, in ausreichendem Maße raumordnerisch für die Rohstoffgewinnung gesichert worden sind sowie ein gesellschaftlicher Konsens über die Nutzung dieser Rohstoffe besteht.

Deutschland ist nach Einschätzung der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Steinbach, 2016) ein rohstoffreiches Land. Das zeigt auch die Monografie der Steine- und Erden-Lagerstätten Deutschlands (Börner et al., 2012). So kann Deutschland bei Steine- und Erden-Rohstoffen seinen Rohstoffbedarf aus eigenen Ressourcen decken. Auch ist davon auszugehen, dass auf Basis des lagerstättengeologischen Potentials für viele Generationen genügend Rohstoffe zur Verfügung stehen. Unter dem Ansatz der Kreislaufwirtschaft und deren Weiterentwicklung ist bei Steine- und Erden-Rohstoffen auch langfristig nicht von einer Verknappung, die auf eine Erschöpfung der natürlichen Ressourcen zurückzuführen ist, auszugehen.

Die Probleme, die bei der Versorgung mit Rohstoffen entstehen können und auch in ersten Fällen schon zu lokalen Versorgungsengpässen mit Baurohstoffen geführt haben (Elsner & Szurliés,

2020), resultieren aus vielfältigen Nutzungs- und Interessenkonflikten, die zwischen der Rohstoffgewinnung und Belangen wie Naturschutz, Wasserschutz, Tourismus, Siedlungsentwicklung, Hochwasserschutz, Land- und Forstwirtschaft auftreten können. Hinzu kommt eine nachlassende gesellschaftliche Akzeptanz gegenüber industriellen Entwicklungen, die auch die Gewinnung von Steine- und Erden-Rohstoffen betrifft. Zukünftig muss es gelingen, diese Nutzungs- und Interessenkonflikte intelligenter aufzulösen und die einzelnen Belange besser aufeinander abzustimmen. Leider hat sich in der Interessensabwägung das Entweder-Oder-Prinzip durchgesetzt, beim dem die Sicherung einheimischer Rohstoffe häufig unterliegt, obwohl durchaus multifunktionale Nutzungsmöglichkeiten bestehen. Hier wird es Aufgabe der Raumordnung sein, im Rahmen der Landes- und Regionalplanung neue Akzente zu setzen und einen sachlich fundierten gleichrangigen Abwägungsprozess zu gewährleisten. Kenntnisse der rohstoff- und lagerstättengeologischen Verhältnisse und der lagerstättenwirtschaftlichen Notwendigkeiten sind dabei unverzichtbar. Über die entsprechende Sachkompetenz verfügen als Fachbehörden die Geologischen Landesdienste, die deshalb in den gesamten Raumplanungsprozess von der Aufstellung der Landesentwicklungspläne bis hin zur Genehmigung der Regionalpläne stärker einbezogen werden sollten (Schröder & Vulpius, 2021b).

Eine Aufgabe wird sein, den geologischen Kenntnisstand ständig zu erweitern.

Kritisch muss an dieser Stelle bewertet werden, dass in den vergangenen drei Jahrzehnten der geologische Erkundungsvorlauf bei Steine- und Erden-Rohstoffen deutlich abgenommen hat. Man muss hier im wahrsten Sinne von einem Substanzverzehr sprechen. Eine systematische Suche und Erkundung von Rohstoffpotenzialen mit öffentlichen Mitteln ist in ganz Deutschland bis auf Ausnahmen (BW, z.T. BY) zum Erliegen gekommen (Schröder & Vulpius, 2021a). Auch die Rohstoffindustrie hat in den vergangenen Jahren im Wesentlichen auf bekannte Lagerstätten zurückgegriffen und nicht in die Suche neuer Lagerstätten investiert. Hierfür gibt es verschiedene Gründe. Auf staatlicher Seite fehlt es an finanziellen und personellen Mitteln und zum Teil auch am Grundverständnis, dass die Sicherung von Rohstoffen Bestandteil der Daseinsvorsorge ist. Durch die föderale Struktur der Bundesrepublik besitzt das Thema in den einzelnen Bundesländern ein unterschiedliches Gewicht. Im Freistaat Sachsen sind die Rahmenbedingungen für die Rohstoffwirtschaft grundsätzlich gut. In den zurückliegenden Jahren hat der Freistaat im Rahmen des ROHSA-Projekts erhebliche Anstrengungen unternommen, geologische Daten zu sichern, digital verfügbar zu machen und neu zu bewerten.

Für Unternehmen ist die Suche nach neuen Rohstofflagerstätten sehr risikoreich. Während das Erkundungsrisiko im Allgemeinen unternehmerisch toleriert wird, liegt das Hauptproblem in der mangelnden Sicherheit, aufgesuchte und erkundete Lagerstätten auch tatsächlich nutzen zu können. Die raumordnerischen Möglichkeiten zur Rohstoffsicherung sind in der Regel zu schwach und stellen keinen ausreichenden Sicherungsmechanismus dar. Die mangelnde Flächenverfügbarkeit verstärkt dieses Problem nochmals. Die raumordnerische Ausweisung von Flächen speziell zur Aufsuchung von Rohstoffen, die auch eine Abbauoption einschließt, wird raumplanerisch kaum praktiziert. Hier fehlt es häufig an dem Verständnis der Raumplaner, dass die Aufsuchung einer Lagerstätte bereits weit im Vorfeld der eigentlichen bergbaulichen Nutzung beginnen muss. Als sehr zweckmäßig hat sich in diesem Zusammenhang in den neuen Bundesländern die Anwendung des Bundesberggesetzes (BBergG) auf die Steine- und Erden-Rohstoffe im Rahmen des Einigungsvertrages erwiesen. So war es bis zur Einführung des Gesetzes zur Vereinheitlichung der Rechtsverhältnisse bei Bodenschätzen im Jahr 1996 möglich, auf der Basis von lagerstättengeologischen Aufsuchungen Bergbauberechtigungen nach dem BBergG zu beantragen. Diese bieten vergleichsweise hohe unternehmerische Sicherheiten und bessere Möglichkeiten für eine anschließende raumordnerische Rohstoffsicherung.

Das gesellschaftliche Umfeld für den Abbau und die Nutzung einheimischer Rohstoffe hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert. Obwohl für Deutschland eine intakte Infrastruktur, moderne Produktionsanlagen und Produktionsstätten sowie

wirtschaftliches Wachstum entscheidende Voraussetzungen für den Fortbestand des Wohlstandes sind, werden Infrastrukturvorhaben, industrielle Projekte oder andere Investitionen zunehmend von einer kritischen Öffentlichkeit begleitet, die diese grundsätzlich in Frage stellen. In diese Projekte ordnen sich in der Regel auch Tagebaue und Steinbrüche der Steine- und Erden-Industrie ein, die auf Grund ihrer Laufzeit von meist mehr als 30 Jahren in einem besonders kritischen Fokus der Öffentlichkeit stehen. Hier müssen sich Unternehmen auf Bürgerinitiativen bis hin zum Auftreten einer professionellen, gut vernetzten, überregional agierenden Protestszene einstellen. Wir haben es hier mit einem echten gesellschaftlichen Zielkonflikt zu tun. Auf der einen Seite wird eine ständige Steigerung des Lebensstandards erwartet, auf der anderen Seite steht man wirtschaftlichen Projekten, die eine ganz wesentliche Grundlage für die Realisierung dieser Erwartungen sind, ablehnend gegenüber (Vulpius, 2016). Die Entwicklung eines Verständnisses für wirtschaftliche Wertschöpfungsprozesse, zur der auch die Ausbildung eines Rohstoffbewusstseins gehört, kann helfen, diesen gesellschaftlichen Zielkonflikt aufzulösen. Die Rohstoffindustrie hat ein großes Interesse an der Vermittlung von Geowissen und der Entwicklung eines Rohstoffbewusstseins, um die Akzeptanz für die Nutzung einheimischer Rohstoffe zu verbessern. Dass dies nicht nur eine Aufgabe der Industrie, sondern eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe ist, zeigt beispielhaft die Rohstoffstrategie des Freistaates Sachsen. Sie widmet dem Thema Rohstoffbewusstsein sogar einen eigenen Abschnitt, in dem es auszugsweise heißt: „Das Hinwirken auf ein ideologiefreies, auf Wissen und nicht auf Ängsten beruhendes gesellschaftliches Rohstoffbewusstsein ist als gesamtgesellschaftliche Aufgabe auszugestalten: ... durch eine solide naturwissenschaftliche Grundlagenausbildung, ... durch gezielte Wissens- und Praxisvermittlung zu rohstoffrelevanten Themen“ (SMWA 2017, S. 32). Im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit engagiert sich die Rohstoffindustrie in den Geoparks und Veranstaltungen wie denen zum Gestein des Jahres oder zum Tag des Geotops.

Hilfreich können in diesem Zusammenhang auch Rohstoffdialoge im Rahmen der Landes- und Regionalplanung sein, die unter Teilnahme der an der raumordnerischen Rohstoffsicherung beteiligten Fachbehörden, der Geologischen Landesdienste, der Rohstoffindustrie, betroffener Bürger und Gemeinden sowie von Umweltverbänden Konflikte abbauen und Konsenslösungen erarbeiten.



Abbildung 3: Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen.

Sekundärrohstoffe wie Recycling-Baustoffe und industrielle Nebenprodukte stellen gegenwärtig eine Substitutionsquote von ca. 15% sicher (BBS, 2019).

Klimaneutralität von Baustoffen

Die Transformationsprozesse zur Erreichung der CO₂-Neutralität stellen die Steine- und Erden-Industrie vor erhebliche Herausforderungen. Überall dort, wo mineralische Rohstoffe in einem Brennprozess verarbeitet werden, bedarf es vernünftiger wirtschaftlicher, energie- und umweltpolitischer Rahmenbedingungen, um eine Deindustrialisierung Deutschlands zu verhindern. Besonders betroffen sind davon die Kalk-, Zement- und Ziegelindustrie.

In den Diskussionen um die Reduzierung von Treibhausgasen stehen Bauweisen mit mineralischen Baustoffen stark im Fokus der öffentlichen Diskussion. An dieser Stelle bedarf es einer ganzheitlichen Betrachtung, die die Möglichkeiten der einzelnen Baustoffe zur Bedarfsdeckung, ihre Materialeigenschaften, Öko-Bilanzen und die Präferenzen der Kunden einbezieht. Bezüglich regionaler Verfügbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Langlebigkeit, Recyclingfähigkeit und der Kombinierbarkeit mit anderen Baustoffen weisen mineralische Baustoffe viele Vorteile auf (Abbildung 3). Die Steine- und Erden-Industrie verfolgt das Ziel, den CO₂-Ausstoß zu minimieren. So hat beispielsweise die deutsche Zementindustrie einen Fahrplan zur Dekarbonisierung bis 2050 aufgestellt (VDZ, 2020). Seit 1990 ist es den deutschen Zementherstellern gelungen, die CO₂-Emissionen sowohl spezifisch als auch absolut in den Größenordnungen zwischen 20 bis 25 Prozent zu reduzieren. Geholfen haben dabei die Verringerung des Klinkeranteils im Zement und der Ersatz von fossilen Energieträgern zugunsten biomassehaltiger alternativer Brennstoffe. Im Moment kann davon ausgegangen werden, dass bis 2030 nochmals eine Minimierung beim CO₂-Ausstoß von ca. 27 Prozent gegenüber dem Jahr 2019 (ca. 55 Prozent gegenüber 1990) erreicht werden kann. Bis 2050 will die Zementindustrie die Klimaneutralität unter Ausschöpfung aller verfügbarer Potenziale sowie der Anwendung externer Effekte, wie beispielsweise der CO₂-Speicherung und geeigneter Verfahren zur Nut-

zung von CO₂, erreichen. Entsprechende Pilotprojekte sind angelaufen. In Baden-Württemberg arbeiten vier Zementhersteller im Projekt „catch4climate“ an der Abscheidung von CO₂ und der klimaneutralen Herstellung synthetischer Kraftstoffe. Auf dem Gelände des Schwenk Zementwerks bei Schwäbisch Hall entsteht eine Demonstrationsanlage im halbindustriellen Maßstab (BW, 2020).

Ebenso haben die deutsche Kalk- und Ziegelindustrie CO₂-Roadmaps zur klimaneutralen Produktion aufgestellt. In Anbetracht der wirtschaftlichen und technischen Herausforderungen, die ein solcher Transformationsprozess benötigt, ist für die energieintensiven Industrien vor allem Entwicklungszeit notwendig. Die Herausforderungen liegen dabei in der ausreichenden Bereitstellung von grünem Wasserstoff zu wirtschaftlich tragbaren Konditionen und in der Schaffung einer Versorgungsinfrastruktur.

Ein wesentlicher Aspekt ist auch die Gewährleistung einer möglichst verbrauchernahen Rohstoffgewinnung. Immerhin entfielen 2019 rund 9,4% der Beförderungsleistung des inländischen Lkw-Güterverkehrs auf Steine- und Erden-Rohstoffe (KBA, 2021). Die raumordnerische Sicherung einer verbrauchernahen Rohstoffgewinnung kann deshalb einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass klimaschädliche Transportaufwendungen geringgehalten werden.

Wenn es um die Baustoffe der Zukunft geht, wird kein Weg an mineralischen Baustoffen mit ihren hervorragenden bautechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften vorbeiführen. Die heute oftmals geführte Debatte um alternative Baustoffe lässt völlig außer Acht, dass sich mittlerweile die Hybridbauweise mit einer Kombination aus verschiedenen Baustoffen durchgesetzt hat. Auch hier bieten sich für mineralische Baustoffe vielfältige Einsatzmöglichkeiten (Seyffert & Vulpius, 2021).

Versorgungslücke Gips-Rohstoffe

Das Aufkommen an Gipsrohstoffen in Deutschland belief sich 2019 auf 10,9 Mio. Tonnen. Davon entfielen 6 Mio. Tonnen und damit ca. 55% auf Rauchgasentschwefelungsgips (REA-Gips) (BGR, 2020). Für 2035 wird der deutsche Bedarf an Gipsrohstoffen je nach wirtschaftlicher Entwicklung auf 9,1 bis 10,7 Mio. Tonnen eingeschätzt (BBS, 2019). Durch die umweltpolitischen Entscheidungen zum Kohleausstieg wird sich die Menge an bisher genutztem REA-Gips laufend verringern und mit der Einstellung der Kohleverstromung ganz entfallen. Das daraus resultierende Defizit muss durch eine entsprechende Erhöhung der Gewinnung von Naturgips ausgeglichen werden (BMW, 2020).

In Anbetracht der bestehenden Nutzungs- und Interessenskonflikte bei der Gewinnung von Naturgips stellt die kontinuierliche Steigerung der Gewinnungsmenge zur Kompensation des Ausfalls des REA-Gipses eine große Herausforderung dar, zumal der Rohstoff anders als Sand und Kies nicht flächendeckend in Deutschland verfügbar ist. Er ist geologisch bedingt auf wenige Regionen beschränkt und konzentriert sich auf relativ wenige Gewinnungsstellen. In den nächsten beiden Jahrzehnten muss zur Bedarfsdeckung die Gewinnungsmenge von gegenwärtig ca. 4,8 Mio. Tonnen Jahresförderung nahezu verdoppelt werden. Im

Rahmen der Kreislaufwirtschaft können auch Recycling-Gipse zur Bedarfsdeckung beitragen. Momentan ist aber festzustellen, dass immer noch deutlich mehr Gipsbaustoffe in den Baukörper eingebaut werden, als im Rahmen des Rückbaus von Bauwerken als mineralischer Bauabfall anfallen. Das jährliche Aufkommen an gipshaltigen Bauabfällen lag in den vergangenen Jahren stabil bei vergleichsweise geringen 0,6 Mio. Tonnen. Selbst bei einer deutlichen Steigerung der Mengen an Recycling-Gips bleiben die zur Verfügung stehenden Potenziale für die Bedarfsdeckung gering und können in keinem Fall den Ausfall an REA-Gips kompensieren (Abbildung 4). Nach Angaben des Bundesverbandes der Gipsindustrie lag die Recyclingrate im Jahr 2021 bei 10% (BV Gips, 2021), was eine deutliche Steigerung gegenüber dem Jahr 2018 darstellt (Abbildung 5). Mittel- bis langfristig wird die Möglichkeit gesehen, Recycling-Gips in der Größenordnung bis 0,3 Mio. Tonnen pro Jahr herzustellen. Aktuell wird das Recycling von Gipsbaustoffen neben kostengünstigen Verwertungsmöglichkeiten innerhalb der EU durch die Anforderungen an die Asbestfreiheit (Null-Faseransatz) erschwert. Eine weitere Schwierigkeit besteht im dezentralen Aufkommen von gipshaltigen Abfällen, dem stehen gegenwärtig drei Recycling-Anlagen in ganz Deutschland gegenüber. Gips-Recycling ist damit auch immer eine logistische Herausforderung.

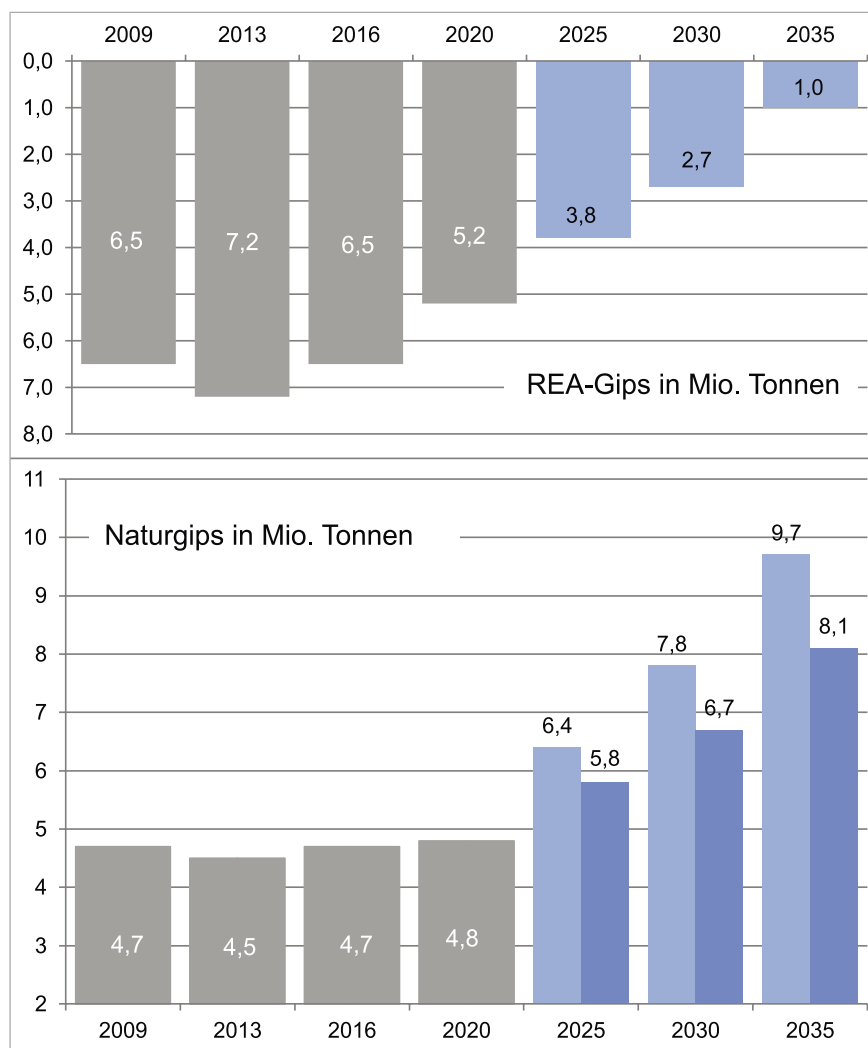


Abbildung 4: Szenario zur Entwicklung der Bedarfsdeckung bei Gips-Rohstoffen in Mio. Tonnen (BBS, 2019).

Oben: Entwicklung des REA-Gips Aufkommens, unten: Entwicklung der Naturgipsgewinnung in einem oberen und unteren Entwicklungspfad für die wirtschaftliche Entwicklung.

Die zukünftige Bedarfsdeckung an Gipsbaustoffen hat eine hohe Bedeutung für die Umsetzung von gesellschaftspolitischen Zielstellungen zur Ressourceneffizienz im Bauwesen. Themen wie der Wohnungsneubau von 400.000 Einheiten pro Jahr (SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP, 2021) oder der Erhalt und die Sanierung alter Bausubstanz sind beim industriellen Bauen ohne Gipsbaustoffe gegenwärtig nicht umsetzbar.

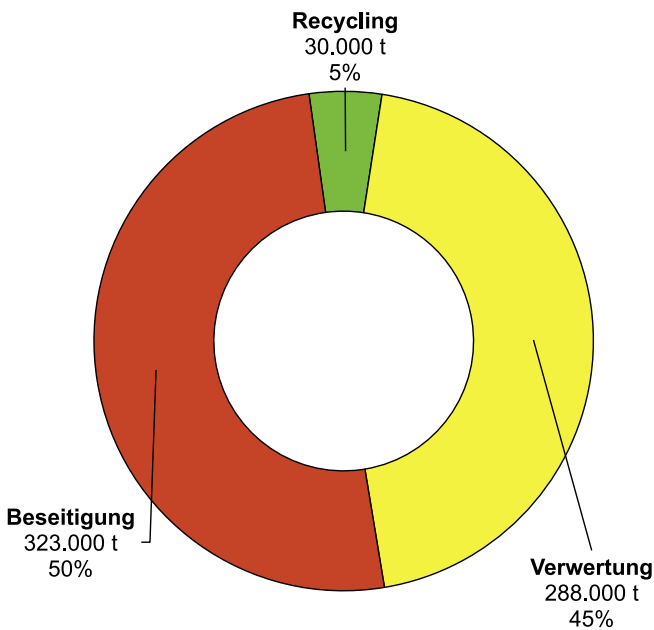


Abbildung 5: Anfall und Verbleib von Bauabfällen auf Gipsbasis im Jahr 2018.

Gegenwärtig werden ca. 50% der gipshaltigen Abfälle deponiert (Kreislaufwirtschaft Bau, 2021).

Biodiversität – ein Nebeneffekt mit gesellschaftlichem Mehrwert

Gewinnungsstätten der Steine- und Erden-Industrie bilden Hotspots der Biodiversität mit einer Reihe von Besonderheiten (Fox & Vulpius, 2018, Abbildung 6):

- Die Rohstoffgewinnung als Eingriff in Natur- und Landschaft stellt einen dynamischen landschaftsverändernden Prozess dar, bei dem Lebensraumtypen in unterschiedlicher Ausprägung und enger Verzahnung immer wieder neu entstehen. Natürliche dynamische landschaftsverändernde Prozesse, die insbesondere Pionierarten benötigen, finden in unserer Kulturlandschaft nur noch sehr eingeschränkt statt. Eine große Bedeutung für derartige natürliche dynamische Prozesse hatten in den zurückliegenden Jahrhunderten Flusslandschaften. Da in Mitteleuropa die Flüsse heute stark reguliert sind, finden solche Prozesse hier nur noch sehr eingeschränkt statt. Mit der Rohstoffgewinnung von Sanden und Kiesen im Tagebau entstehen heute komplexe Ersatzlebensräume für Arten der unregulierten Flusslandschaften. Der Rohstoffabbau tritt hier an die Stelle des frei mäandrierenden Flusses, der unter anderem frische Abbruchkanten, temporäre Kleingewässer sowie vegetationsfreie Sand- und Kiesbänke schafft.
- Mit der Rohstoffgewinnung entstehen nährstoffarme Rohbodenstandorte und oligotrophe Wasserkörper. Aufgrund des hohen Nutzungsdruckes in unserer Kulturlandschaft sind derartige nährstoffarme Lebensräume nur noch selten anzutreffen.
- Geringe Besucherfrequenz und geringer Freizeitdruck ermöglicht in Tagebauen und Steinbrüchen eine ungestörte Entwicklung der Habitate und der daran gebundenen Arten und dies über einen relativ langen Zeitraum, da Bergbauprojekte in der Regel über mehrere Jahrzehnte realisiert werden.
- Im Rahmen der Wiedernutzbarmachung der bergbaulichen Eingriffsfläche besteht die Möglichkeit, zielgerichtet auf die Entwicklung der Folgelandschaft und der Biodiversität Einfluss zu nehmen.
- Gewinnungsstätten sind ein wichtiges Element in der großräumigen Vernetzung von Biotopstrukturen. Bereits kleinere Tagebaue, die ein Mosaik an Lebensräumen aufweisen, wirken in der Kulturlandschaft als Trittsteinbiotope und nehmen damit eine wichtige Funktion im Biotopverbund ein.



Abbildung 6: Die Insektenvielfalt in Gewinnungsstätten als Beleg für die Lebensraumvielfalt (Foto: UVMB).

Z. B. Dünen-Sandlaufkäfer auf offenen, trockenen Sandflächen, Libellen wie die Gemeine Becher-jungfer in unterschiedlichen Gewässern bzw. offenen Bereichen, bei Schmetterlingen typische Wiesenarten wie Schachbrett oder in Wald- und Saumbereichen der Braune Waldvogel. (Foto: UVMB).

Viele Unternehmen engagieren sich in Artenschutzprojekten und tragen zum Erhalt von bedrohten Tier- und Pflanzenarten bei. Die Ergebnisse aus diesen Projekten sind ein wichtiger Baustein, um die Akzeptanz für die Gewinnung einheimischer Rohstoffe zu erhöhen und unterstreichen die Bedeutung der Steine- und Erden-Industrie zur Erreichung der europäischen Artenschutz-ziele. Auch die Europäische Kommission erkennt inzwischen an, dass die Rohstoffgewinnung einen positiven Beitrag zur Erhal-tung der biologischen Vielfalt leisten kann (EU 2011).

Referenzen

- BBS (Juni, 2019): Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V.: Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. – Berlin.
- https://www.baustoffindustrie.de/fileadmin/user_upload/bbs/Dateien/Downloadarchiv/Rohstoffe/Rohstoffstudie_2019.pdf (13.10.2021).
- BGR (2020): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe: Deutschland – Rohstoffsituation 2019, Hannover.
- BMWi (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nicht-energetischen mineralischen Rohstoffen. – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin.
- Börner, A. et al. (2012): Steine- und Erden-Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland. Geologisches Jahrbuch, Sonderhefte, Reihe D Mineralogie, Petrographie, Geochemie, Lagerstättenkunde, Heft SD 10, Hannover. In Kommission: E. Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Stuttgart.
- Breg (2021): Die Bundesregierung: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021. –Berlin.
- <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0261e7a-0bcd8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1>, (02.08.2021).
- BV Gips (12.10.2021): Bundesverband der Gipsindustrie e.V.: Recycling von Gips als Beitrag zur Ressourcenschonung.- Medieninformation 02/21, Berlin.
- https://www.gips.de/fileadmin/user_upload/aktuelles/Medieninfo_BV_Gips_02-2021_-_Recyclinggips.pdf
- BW – Baden-Württemberg (2020): Klimaschutz: Mit CO₂ aus Zementwerken erneuerbare Kraftstoffe herstellen. Pressemitteilung vom 18.11.2020.
- <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/mit-co2-aus-zementwerken-erneuerbare-kraftstoffe-herstellen/> (02.08.2021).
- Elsner, H. & Szurlies, M. (03/2020): KIES – DER WICHTIGSTE HEIMISCHE BAUROHSTOFF!- Commodity TopNews 62, Herausgeber: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover.
- https://www.bgr.bund.de/DE/Gemeinsames/Produkte/Downloads/Commodity_Top_News/Rohstoffwirtschaft/62_kies.pdf;jsessionid=EDE23E2601AA3A129C4E24C21E6C4700.2_cid321?__blob=publicationFile&tv=5
- EU – Europäische Kommission (2011): Leitfaden der Europäischen Kommission zur Rohstoffgewinnung durch die NEEI unter Berücksichtigung der Anforderungen an Natura 2000-Gebiete. Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, Luxemburg.
- EU – Europäische Kommission (2021): Europäischer Grüner Deal: Erster klimaneutraler Kontinent.- https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de
- Fox, O. & Vulpius, B. (2018): Rohstoffgewinnung im Fokus von Biodiversität und Artenschutz.- Rohstoffbericht 2018, Mitteilungen zu Geologie und Bergwesen von Sachsen-Anhalt, Band 19: S. 57-64.
- KBA – Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Anteil von Steine- und Erden-Rohstoffen an der Beförderungsleistung des inländischen Lkw-Güterverkehrs 2019. Telefonische Auskunft am 05.10.2021.
- Kreislaufwirtschaft Bau (2021): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2018 – Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralische Bauabfälle. – Kreislaufwirtschaft Bau, c/o Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e.V., Berlin.
- Schröder, N. & Vulpius, B. (2021a): Aufsuchung und Gewinnung einheimischer Rohstoffe Methodische Gesichtspunkte zur raumplanerischen Rohstoffsicherung.- RaumPlanung 211 / 2-2021: S. 86-91.
- Schröder, N. & Vulpius, B. (2021b): Aufsuchung und Gewinnung einheimischer Rohstoffe Aspekte zur planerischen Umsetzung der Rohstoffsicherung. RaumPlanung 213 / 5 – 2021, S. 57 – 61.
- Seyffert, S. & Vulpius, B. (2021): Zur Materialität des Bauens für die Stadt der Zukunft. RaumPlanung Heft 214 / 6-2021, S. 29 – 34.
- SMWA (2017): Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr: Rohstoffstrategie für Sachsen. Rohstoffwirtschaft – eine Chance für den Freistaat.- 2. Aufl., 8/2017, Dresden.
- SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP (2021): 7. Offensive für bezahlbares und nachhaltiges Bauen und Wohnen. S. 8., 15.10.2021.
- Steinbach, V. (2016): BGR Industrieworkshop – Gewinnung und Verarbeitung von Quarzrohstoffen in Deutschland. Vortrag, Hannover, den 27. Januar 2016.
- VDZ (2020): Verein Deutscher Zementwerke e.V.: Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien. Düsseldorf, 2020.
- <https://www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/dekarbonisierung-von-zement-und-beton-minderungspfade-und-handlungsstrategien> (02.08.2021).
- Vulpius, B. (2016): Kooperation zwischen Rohstoffindustrie und Geoparks – eine klassische Win-Win-Situation.- GeoTop 2016 – Kultur. Wert.Stein, Schriftenreihe der DGG, Heft 88: S. 133-138.

Kluftgrundwasserleiter und Wasserspeicher – Herausforderungen an die Wasserwirtschaft



Prof. Dr. Traugott Scheytt

TU Bergakademie Freiberg /
Professur für Hydrogeologie
und Hydrochemie

Gustav-Zeuner-Str. 12
09599 Freiberg

<https://tu-freiberg.de/geo/hydro>
E-Mail: traugott.scheytt@geo.tu-freiberg.de
Tel.: 03731 / 39-2775

Zum Autor

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Prof. Dr. Scheytt ist aktuell Inhaber des Lehrstuhles für Hydrogeologie und Hydrochemie an der TU Bergakademie Freiberg.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie?

Mit einem Gründungsdatum von 1765 ist die TU Bergakademie Freiberg die älteste noch bestehende montanwissenschaftliche Bildungseinrichtung der Welt. Entsprechend besteht ein großer Erfahrungsschatz zu den vielfältigen Fragestellungen des Untergrundes, insbesondere zur Nutzung von natürlichen Ressourcen. Der Lehrstuhl Hydrogeologie und Hydrochemie ist eng mit der sächsischen Geologie verbunden, was sich aktuell u.a. durch die gutachterliche Einbindung in die Flutung der Urangrube Königstein, durch die Bearbeitung von Fragestellungen zur Wasserwirtschaft in der Lausitz nach dem Braunkohlenausstieg und durch eine Vielzahl an studentischen Abschlussarbeiten (u.a. zum Revier Lugau/Oelsnitz) zeigt. Aktuelle Schwerpunkte der hydrogeologischen-hydrochemischen Forschung am Lehrstuhl liegen u.a. in der experimentellen Untersuchung und modellgestützten Beschreibung des (reaktiven) Stoff-, Wärme- und Partikeltransports, der Optimierung von Methoden für verschiedene geohydraulische und geothermische Problemstellungen sowie hydrochemischen Fragestellungen.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Ein Schwerpunkt der sächsischen Geologie wird zukünftig die Verknüpfung von Informationen und Kenntnissen zum geologischen Untergrund mit Informationen zum Klima, zur Landnutzung und zur Hydrologie sein. Das Ziel ist die nachhaltige Nutzung und der Schutz der Lebensgrundlagen auf Basis belastbarer Prognosen.

Kurzfassung des Vortrages

Die zurückliegenden Jahre führten nicht nur bei vielen Hausbrunnen im Erzgebirge zu einer massiven Absenkung der Grundwasseroberfläche, sondern auch Talsperren und Oberflächengewässer zeigten Niedrigwasserstände. Die erwarteten klimatischen Änderungen in den nächsten Jahrzehnten mit Clusterbildungen von trockenen und feuchten Jahren lassen befürchten, dass auch zukünftig mehrjährige Trockenphasen auftreten werden, die wiederholt zu gravierenden Problemen bei der Wasserversorgung führen können. Damit sind Änderungen der Grundwasserbeschaffenheit und somit der Qualität des Trinkwassers verbunden. Ein großer Anteil der Grundwasserleiter Sachsens, insbesondere im Erzgebirge, sind als Kluftgrundwasserleiter ausgebildet. Kluftgrundwasserleiter haben häufig eine geringe Speicherkapazität und weisen hohe Strömungsgeschwindigkeiten auf. Gleichzeitig ist das Erzgebirge aufgrund der hohen Niederschläge von enormer Bedeutung für die Trinkwasserspeicher und für die Grundwasserneubildung.

Zu den Lösungsansätzen für die Optimierung der Wasserspeicherung gehört zukünftig ein intensives Zusammenspiel zwischen Oberflächenwasser und Grundwasser sowie die Nutzung weiterer Speicher (z. B. aufgelassene Bergwerke). Dazu zählt auch die Nutzung der Grundwasserleiter als Wasserspeicher und die Umwandlung einer eher ungesteuerten Grundwasseranreicherung hin zu einem kontrollierten Rückhalt des Wassers im gemeinsam betrachteten Einzugsgebiet einer Talsperre und dazugehörigem Grundwasserleiter.

Abstract of the lecture:

Fissured aquifers and water reservoirs – challenges for water management

The last years led not only to a significant decrease of the water table in many private wells in the Erzgebirge (Saxony) region but also in the drinking water dams and surface water bodies. The anticipated climatic changes in the next years with clusters of several dry and several wetter years may lead to repeated water shortages in drinking water production. Not only water quantity but also water quality will be affected adversely. A significant number of aquifers in Saxony, especially in the Erzgebirge region, are fissured aquifers. These aquifers exhibit often a low storage capacity and a high flow velocity. However, due to high rainfall, the Erzgebirge is also a source of utmost importance for drinking water reservoirs and groundwater recharge.

The optimization of water storage can only be accomplished if surface water, groundwater, and further storage possibilities (e.g. abandoned mine sites) are managed together. The aquifers have to be an integrative part of the water storage plan. Uncontrolled groundwater recharge should be changed to a managed aquifer recharge scheme within the catchment area taking into account the surface water dams and the aquifers alike.

Geogefahren durch die Interaktion von Mensch und Natur

Dipl.-Ing. Geotechnik Peter Dommaschk

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Abteilung Geologie
Referat Ingenieurgeologie

Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

E-Mail: peter.dommaschk@smekul.sachsen.de

Zum Autor

Nach dem Studium der Geotechnik (Vertiefung Ingenieurgeologie) an der Bergakademie Freiberg (1981 – 1986) war Peter Dommaschk bis 1988 im Braunkohletagebau Schlabendorf Süd in der Abteilung Geotechnik als Technologie für Tagebausicherheit und bis 1990 im Institut für Bergbausicherheit in Freiberg als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig.

Ab 1990 war er als Baugrundgutachter in verschiedenen Ingenieurbüros im Saarland, in Dresden, in Brand-Erbisdorf und in Chemnitz tätig. Im Oktober 1999 begann seine Tätigkeit als Referent im Sächsischen Geologischen Dienst, Referat Ingenieurgeologie. Ein markantes Felssturzereignis am 22.11.2000 im Elbsandsteingebirge führte letztendlich zur fachlichen Spezialisierung auf die Geogefahren. Das führt zu sehr interessanten Arbeiten im Freistaat Sachsen aber auch zu Tätigkeiten insbesondere im Personenkreis Geogefahren gemeinsam mit Ingenieurgeologen

anderer Geologischer Dienste der Bundesrepublik Deutschland. Im Jahr 2019 bis Anfang 2020 war Peter Dommaschk beim Sächsischen Oberbergamt tätig. Hier konnte er maßgeblich an der Vorbereitung und fachlichen Begleitung des Projektes "Erstellung des Sächsischen Natursteinkatasters" mitwirken. Seit März 2020 ist er wieder an seinem alten Arbeitsplatz im Referat Ingenieurgeologie tätig, beschäftigt sich wieder mit den Geogefahren und betreut das Sächsische Natursteinkataster.

Kurzfassung des Vortrages

Zusammenfassung

Dem Drang der Menschen in Regionen zu siedeln, die den Einflüssen von **Naturgefahren** ausgesetzt sind, steht die Sicherung unterschiedlicher Schutzgüter und Flächennutzungen in dicht besiedelten Regionen gegenüber. Das Thema der **geogenen Naturgefahren** ist deshalb eine weitere wichtige Arbeitsaufgabe für den Staatlichen Geologischen Dienst in Sachsen.

Anhand von 3 Beispielen werden die geogenen Naturgefahren im Zusammenhang mit volkswirtschaftlichen Schäden, menschlichen Tragödien, Gerichtsverfahren und darin die Rolle des Staatlichen Geologischen Dienstes in Sachsen zwischen 1866 und der Gegenwart dargestellt.

Abstract

The urge of people to settle in regions that are exposed to natural hazards is contrasted by the need to secure different subjects of protection and land uses in densely populated regions. For this reason, the topic of geogenic natural hazards is one of important tasks for the State Geological Survey in Saxony.

Based on three examples, geogenic natural hazards are presented in context with economic damage, human tragedies, legal proceedings and the role of the State Geological Survey in Saxony between 1866 and the present.

1. Einleitung

Im aktuellen Festband zum Jubiläum 150 Jahre Landesgeologie (Autorenkollektiv, 2022) wird der Geologische Dienst in Sachsen in 11 Fachartikeln dargestellt. Es werden darin die vielfältigen Arbeitsaufgaben umfänglich beschrieben. So wird auch auf Seite 66 bis Seite 77 das Thema der geogenen Naturgefahren und unsere damit im Zusammenhang stehenden Arbeitsaufgaben aufgezeigt.

Der Vortrag soll hier ergänzend den Fokus richten auf volkswirtschaftliche Schäden, menschliche Tragödien und darin die Rolle des Staatlichen Geologischen Dienstes in Sachsen.

Felsstürze, Stein- und Blockschläge, Rutschungen, Murgänge (Geröll- und SchlammLawinen) sind im Freistaat Sachsen die wesentlichen geogenen Naturgefahren, die den Lebensraum des Menschen bedrohen. Sie können Personen, Verkehrswege oder Gebäude gefährden. Um diese **geogenen Naturgefahren** erkennen, beurteilen und abwehren zu können, ist es notwendig, die Ursachen, ihre räumliche Verteilung und die Häufigkeit ihres Auftretens zu kennen. Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Ingenieurgeologie, betreibt dazu ein im Jahr 2004 aufgebautes *Ereigniskataster zur Erfassung von Massenbewegungen* für den Freistaat Sachsen (Abbildung 1).

Darüber hinaus erstellen wir für öffentliche Auftraggeber **Gefährdungseinschätzungen** zur Beurteilung der geogenen Naturgefahren und empfehlen geeignete Schutz- und Vorsorgemaßnahmen für die Bevölkerung und die Infrastruktur.

2. Der wandernde Berg von Falkenau (Bahnstrecke zwischen Freiberg und Chemnitz) – Hangrutschungen zwischen 1866 und 1931

"Dass die Gesteinsmassen im Bereich der Bahntrasse im Einschnitt des durch ihn angeschnittenen Nordhanges am Kuhstein westlich von Falkenau nicht starr liegen und Massenbewegungen den Bahnkörper gefährdeten, wusste man bereits mit Beginn der Bauarbeiten 1866 (Ifd. Nr.: 202 im Ereigniskataster). Einem Brief des Landrates an Richard Beck aus dem Nachlass Beck an der TU Bergakademie Freiberg ist zu entnehmen, dass die Schwierigkeiten mit der Hangrutschung bekannt gewesen sind. Bereits im Jahre 1887 wurden größere Abgrabungen gemacht, um das Problem zu beheben, allerdings mit nur mäßigem Erfolg." Textpassage aus *Der "Wandernde Berg" von Falkenau* von Walter (2020) – Veröffentlichungen Museum für Naturkunde Chemnitz.

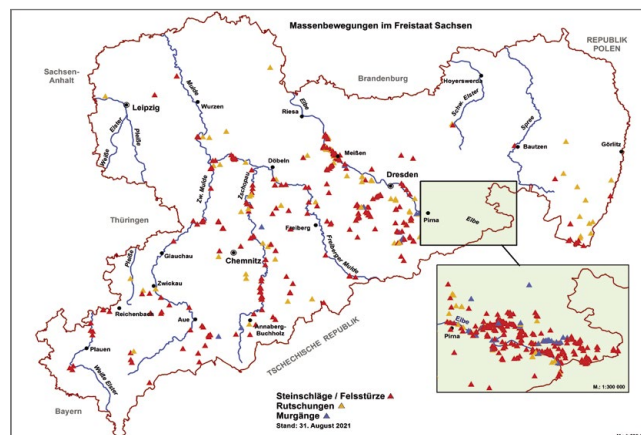


Abbildung 1: Ereigniskataster zur Erfassung von Massenbewegungen. Darüber hinaus erstellen wir für öffentliche Auftraggeber Gefährdungseinschätzungen zur Beurteilung der geogenen Naturgefahren und empfehlen geeignete Schutz- und Vorsorgemaßnahmen für die Bevölkerung und die Infrastruktur.

Mit der Gründung der "Sächsischen Geologischen Landesuntersuchung" im Jahre 1872 in Leipzig begannen Hermann Credner und seine Mitarbeiter mit der geologischen Spezialkartierung in Sachsen (Credner, 1873). Das dabei entstandene, flächendeckende Kartenwerk im Maßstab 1 : 25 000 hätte wichtige

Grundlagen für die Trassenplanung geboten. Bereits in der geognostischen Specialcharte von Naumann & Cotta (1837) wurde das Gebiet kartiert und die durchaus für den späteren Bahnbau relevanten schwierigen Lagerungsverhältnisse korrekt dargestellt (Abbildung 2 und Abbildung 3).

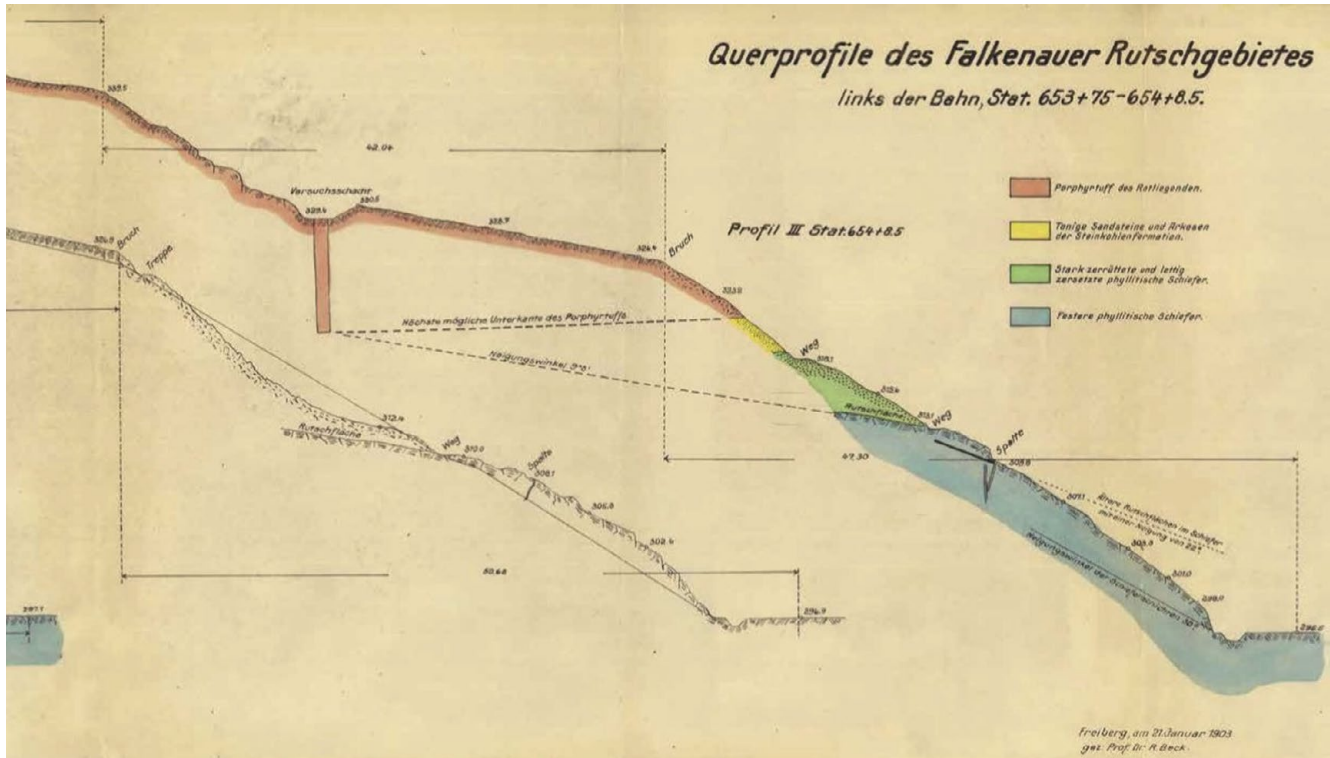


Abbildung 2: Geologischer Schnitt von Richard Beck zu den Lagerungsverhältnissen am "Wandernden Berg" (Archiv, LfULG).



Abbildung 3: Blick vom oberen Westrand der Baustelle nach Osten.

Die Person steht an einer nach Herstellung des Planums erfolgten Rutschung. Foto: K. Pietzsch am 22. April 1932 (Archiv, LfULG).

Im Lauf der Zeit wurden verschiedene Gutachter beauftragt. So wandte sich auch im Juni 1906 die Königliche Generaldirektion der Sächsischen Staatseisenbahnen zur Beurteilung des Problems an Professor Hermann Credner, den Direktor der Königlichen Geologischen Landesanstalt in Leipzig.

In der Schlussphase der Maßnahmen erfolgte im Mai 1931 eine weitere Einbeziehung von Professor Pietzsch (Sächsisches Geologisches Landesamt). Im Herbst 1931 waren plötzlich neue Bewegungen aufgetreten. Letztendlich wurden in 10 Monaten 275.000 Kubikmeter vom "Wandernden Berg" abgetragen, 15.000 Sprengungen waren erforderlich, 250 Arbeiter mit ca. 530.000 Lohnstunden wurden beschäftigt, 1.700 Arbeitszüge mit 120.000 Kippwagen waren im Einsatz.

Die Abtragung des "Wandernden Berges" in einem so kurzen Zeitfenster und bei laufendem Eisenbahnverkehr gehört zu den bedeutenden ingenieurtechnischen Leistungen ihrer Zeit. Das Phänomen des "Wandernden Berges" ist ein deutlicher Beleg für die Wichtigkeit geotechnischer Untersuchungen vor größeren Bauvorhaben. Wie auch beim Eisenbahnbau beriet der Geologische Dienst Sachsen mit seiner Sachkenntnis seit jeher den Talsperr-, Brücken- und Tunnelbau, ab 1935 auch den Autobahnbau bei der Bewertung des Baugrundes.

3. Harrastunnel – Felssturzereignis am 14.12.1913

Am 14.12.1913 ereignete sich ein katastrophales Felssturzereignis am Harrastunnel im Zschopautal auf der Bahnstrecke Niederwiesa – Frankenberg (Ild. Nr.: 185 im Ereigniskataster). Es gab 10 Tote, 11 Schwerverletzte und 42 Leichtverletzte (Abbildung 4 und Abbildung 5).



Abbildung 4: Postkarte vom Harrastunnel vor dem Felssturzereignis (Ansichtskarte aus der Sammlung von Hejkal, Aufnahme vor 1905, Quelle: Wikipedia (04/2022), <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Harrasfelsen.jpg&oldid=100433651>).

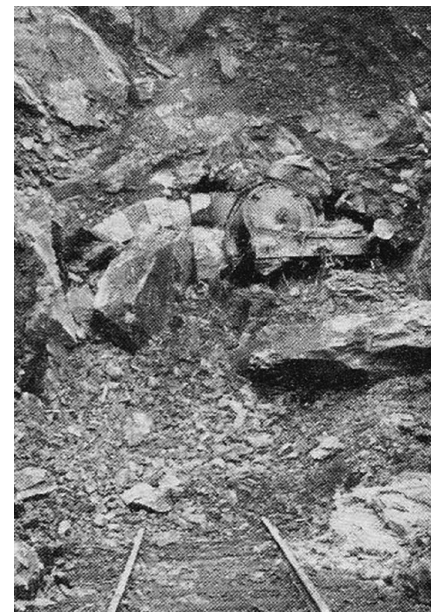


Abbildung 5: Foto am 14.12.1913 nach dem Felssturzereignis am Harrastunnel (Ritzau, 1993).

Von der Königlichen Generaldirektion der Sächsischen Staatseisenbahnen wurde im März 1914 die Königliche Geologische Landesuntersuchung mit einem Gutachten über die Beschaffenheit des Gebirges über und am Tunnel und über etwa dort notwendige Vorsichtsmaßnahmen beauftragt.

Aus Archivunterlagen geht hervor, dass bis Ende 1914 der Staat 23.137,23 Mark an die Hinterbliebenen der zehn Toten zahlte. An die Schwer- und Leichtverletzten wurde insgesamt ca. 23.000 Mark gezahlt. Der Sachschaden bei der Eisenbahn belief sich auf ca. 26.600 Mark. Ein Verletzter war mit einer Abfindung nicht zufrieden und klagte auf Schadenersatz. Der Rechtsstreit mit einem ersten Urteil im Dezember 1914 endete im Dezember 1920

mit einem Vergleich: gegen eine Abfindung von 35.000 Mark und Begleichung aller Prozesskosten durch die Staatskasse verzichtet der Kläger auf weitere Ansprüche.

4. Wartturm im Elbsandsteingebirge – Felssturzereignis am 22.11.2000

Am 22.11.2000 ereignete sich ein Felssturz am Wartturm, wobei 500 m³ (ca. 1.000 t) Sandstein 80 m zu Tal stürzten. Es gab zum Glück keine Personen- und nennenswerte Sachschäden.

Dieses Felssturzereignis ist mit Ild. Nr.:114 im Ereigniskataster des LfULG erfasst (Abbildung 6 und Abbildung 7).

Das damalige StUFA Radebeul (Stelle für Gebietsgeologie) und das LfUG (Referat Ingenieurgeologie) wurden durch die Nationalparkverwaltung Sächsische Schweiz mit der Gefahrenbeurteilung beauftragt.



Abbildung 6: Der Wartturm am 22.11.2016 (Foto: Peter Dommaschk).

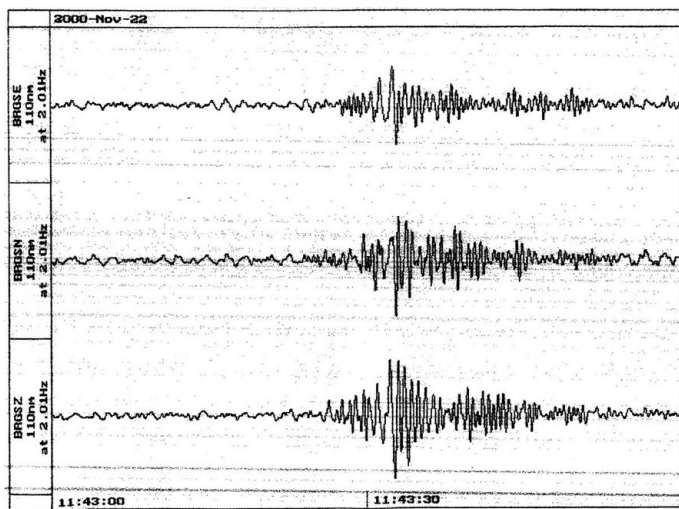


Abbildung 7: Das Seismogramm zeigt den ersten Aufschlag am 22.11.2000 12:43:22 Uhr MEZ in einer Entfernung von ca. 12 Kilometer (Quelle: Seismologisches Observatorium Berggießhübel).

Referenzen

Autorenkollektiv (2022): Der Geologische Dienst in Sachsen – Festband zum Jubiläum 150 Jahre Landesgeologie. Geoprofil, Heft 16, Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Dresden, 2022.

Credner, H. (1873): Die geologische Landesuntersuchung des Königreiches Sachsen. – 10 S.; Leipzig (Verl. Breitkopf u. Härtel).

Naumann, C. F. & Cotta, B. (1837): Geognostische Specialcharte des Königreiches Sachsen und der angrenzenden Länder-Abtheilungen. Maßstab 1:120 000, Hrsg.: Königlich-Sächsische Bergakademie zu Freiberg; Dresden.

Ritzau, Hans-Joachim (1993): Schatten der Eisenbahngeschichte. Bd. 2.: Katastrophen der deutschen Bahnen. Teil 2.: Gesamtchronik 1845–1992, Rotten- und Arbeitsunfälle, Bahn-

anschläge, Zusammenpralle an Bahnüberwegen, SBZ und DDR. 3. Aufl.

Walter, H. (2020): Der "Wandernde Berg" von Falkenau. – Veröffentlichungen Museum für Naturkunde Chemnitz; 43, S. 183 – 198.

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Harrasfelsens.jpg&toldid=100433651>

Geologie 150 oder 4.0? – keine Zukunft ohne (geistige) Erneuerung

Dr. Jens Richter

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Abteilung Geologie
Projektgruppe IT-Modernisierung Geologie

Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

Zum Autor

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

IT-Modernisierung (in) der Abteilung Geologie des LfULG

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie?

Ein Studium, ein Berufsleben und Hoffnungen: ... dass sich jeder Geologe bemüht, Digitalisierung mitzudenken und danach handelt, ... dass es dem sächsischen SGD stets gelinge, der Gesellschaft wahrhaft und überzeugend zu Diensten zu sein, ... dass wir uns immer weniger auf digitalisierte 150jährige Bleistiftstriche stützen müssen.

■ Was ist mir wichtig?

Einen bescheidenen Beitrag zu Vorgenanntem leisten. Dem Geologen beistehen, Digitalisierung zu verstehen, mitzudenken und mitzumachen. Die Sichtbarkeit und Wahrnehmung des sächsischen Geologischen Dienstes in der Gesellschaft verbessern.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Stets am Puls der Gesellschaft zu sein: Aufgaben und Bedürfnisse erkennen, im Bündnis mit den jeweils richtigen Partnern bearbeiten und Ergebnisse in hoher Qualität abliefern.

Flexibel agieren UND das Fundament notwendiger Grundlagen hegen und pflegen. Gesellschaftliche Akzeptanz für die Pflege des Fundaments geologischer Basisdaten schaffen.

Kurzfassung des Vortrages

Geologie und Digitalisierung – Warum?

Das Jubiläum des Staatlichen Geologischen Dienstes (SGD) von Sachsen bietet nicht nur Anlass für eine Schau auf erreichte Arbeitsergebnisse und für eine Standortbestimmung des Dienstes in der Gesellschaft, sondern auch für einen Ausblick auf die künftige Entwicklung im Dienste von Wirtschaft, Bürgern und Verwaltung.

Für die Erfüllung der Arbeitsaufgaben des Dienstes und seine Wahrnehmung in der Gesellschaft wird mehr und mehr die erfolgreiche Digitalisierung zu einem ausschlaggebenden Faktor. Warum? Zum einen sind zahlreiche Arbeitsaufgaben wegen ihres Umfangs im gesetzten Zeitrahmen nur erfüllbar, wenn Daten digital vorliegen, sinnvoll strukturiert sind und Geschäftsprozesse optimal strukturiert und mit IT-Methoden unteretzt sind. Dies sind Voraussetzungen, um manuellen Bearbeitungsaufwand für Routearbeiten und Antwortzeiten zu senken. Zum anderen erwarten die Kunden und Auftraggeber des Staatlichen Geologischen Dienstes nicht nur eine hohe fachliche Qualität seiner Arbeitsergebnisse, sondern auch die in technischer Hinsicht zeitgemäße Bereitstellung seiner Daten, Dienste und Dienstleistungen – zum Teil geknüpft an hohe technische Standards.

Digitalisierung im sächsischen SGD – eine formale Bestandsaufnahme

Wird nach dem Stand der Digitalisierung gefragt, ist das vordergründige Interesse häufig auf eine Inventur vorhandener Fachanwendungen und dem Prozentsatz der Digitalisierung von Fachdaten gerichtet.

Im Vortrag wird dazu ein Überblick gegeben. Diese Bilanz kann aus mehreren Blickwinkeln für Sachsen durchaus positiv bewertet werden.

In vorbildhafter Weise wurden und werden Dokumente mit Relevanz zur sächsischen Geologie systematisch und in erheblichem Umfang nach hohen Qualitätsstandards digitalisiert, langzeitstabil gespeichert und verfügbar gemacht. Die Freischaltung des entsprechenden Systems DiGAS ist in Vorbereitung. Fachdaten werden zum größten Teil in Datenbanken gehalten. Das dem Geologen von Natur aus fremde Wesen Datenmodell hält zunehmend Einzug.

IT-Lösungen unterstützen die Erfüllung aller Fachbereiche der amtlichen Geologie – meist Fachinformationssysteme auf der Grundlage von Datenbanken und Geographischen Informationssystemen (GIS). Die beispielgebende „Elektronische Bohranzeige Sachsen“ ELBA.Sax bündelt die Umsetzung dreier Gesetzlichkeiten (Bergrecht, Wasserrecht, Geologiedatengesetz) in Zuständigkeit der jeweiligen Behörden auf einer Plattform. Diese Bündelung und Schnittstellen zu eGovernment-Basiskomponenten bis hin

zur automatischen Veraktung haben schnell zu Bürokratie-Abbau und breiter Akzeptanz geführt. Weitere Systeme für die anforderungsgerechte Bereitstellung von Bohrungsdaten (BOHRIS) und ein Informationsportal für die Erdwärme-Nutzung sind in Vorbereitung. 3D-Technologien unterstützen immer mehr die Arbeit und sind zu einem festen Bestandteil des Instrumentariums unseres SGD geworden; 3D-Modelle werden als Webdienst im Internet bereitgestellt.

Nicht zuletzt stellt der SGD neben klassischen Downloads Daten zunehmend als Webdienste bereit. (Die europäische INSPIRE-Richtlinie hat hier zu einem segensreichen Aufbruch tradierter Denkweisen und Paradigmen geführt.) Das Portfolio öffentlicher Angebote wird durch eine Suchmaschine für Geologiedaten auf www.geologie.sachsen.de abgerundet.

Digitalisierung ist doch einfach – oder?

Die Technologien sind ja schon da

Sind wir mit Digitalisierung fertig, wenn jeder einen Computer hat, alle geologischen Karten gescannt und alle Daten irgendwie digital sind? Ist es nachhaltig oder verantwortbar, Daten eines abgeschlossenen „Projekts“ in einer digitalen Schublade zu versenken und diese auf lange Sicht dem Vergessen und Verfall preiszugeben? Ist ein Tabellen-Kalkulationssystem ein guter Datenspeicher für Verfahrensdaten oder als Dauerdatenspeicher geeignet? Arbeiten wir wirklich effizient, wenn viele „lokal“ auf ihrem PC arbeiten?

Neben solchen Fragen der Ausrichtung und Ausgestaltung von Digitalisierung sind längst grundsätzlichere Dinge in den Fokus der Diskussion geraten.

Inmitten von Spannungsfeldern muss Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung in der Praxis heute zusätzliche Hürden überwinden. So sind sowohl Fachaufgaben zur Umsetzung gesetzlicher und gesellschaftlicher Aufgaben zu erfüllen, als auch die Regelungen der Datenschutzgrundverordnung zu beachten.

Wenn heutzutage von Fachkräftemangel die Rede ist, trifft dies in hohem Maße auf die Informationstechnologie insgesamt zu. Ganz besonders ist davon die Geoinformationstechnologie betroffen. Inwieweit ist die öffentliche Verwaltung als Arbeitgeber hier konkurrenzfähig im harten Wettbewerb mit der Wirtschaft? Besteht überhaupt die Chance, „fertig“ ausgebildete Fachkräfte für die drängenden Aufgaben zu binden – gerade auch angesichts o.g. Spannungsfelder? Wie kann es gelingen, die öffentliche Verwaltung gegenüber der (auch) leistungs- und ergebnisorientiert arbeitenden Wirtschaft zu einem attraktiven Arbeitgeber werden zu lassen, wenn gleichzeitig die Erfüllung immer zahlreicher werdender formaler Vorgaben das Primat hat?

Ist das Glas halb voll oder halb leer? –

Worauf es (auch) ankommt

An einem Tag der Bilanz muss sich der Sächsische Geologische Dienst mit Blick auf Digitalisierung nicht verstecken. Unverkennbar ist gleichermaßen die noch zu füllende Hälfte des Glases. Hier sei nur eine Auswahl entsprechender Indikatoren aufgezeigt:

Welcher Aufwand war nötig, um zu den erreichten Ergebnissen zu kommen? Wie kann das Aufwand-Nutzen-Verhältnis verbessert werden?

Verwaltungsmodernisierung und Bürokratie-Abbau sind erheblich mehr als Digitalisierung. Die Praxis weist immer wieder deutlich darauf hin: Bevor die Konzeption und Erstellung neuer Software beginnt, müssen fachliche Aufgaben und die Abläufe ihrer Erfüllung im Einzelnen verstanden und ggf. optimiert worden sein.

Nach der reinen Lehre sollten Software-Anwendungen so einfach wie möglich gehalten werden, um den Aufwand für deren Wartung und Pflege im Zaum zu halten. Gleichzeitig zeigt die Praxis, dass vor allem Schnittstellenvernetzte Anwendungen zu Bürokratie-Abbau und massiver Effizienzsteigerung führen (z. B. ELBA.Sax mit Bündelung der Kommunikation von drei Verwaltungsverfahren, automatisierter Veraktung u.v.a.m.). Zum anderen weist auch das sächsische eGovernment-Gesetz den Weg zur Verwendung von Standardkomponenten und damit letztendlich zur Vernetzung. Auch hier kommt es also auf Prüfung und Abwägung mit Erfahrung und Augenmaß an.

In hohem Maße beschäftigen uns Analysen und notwendige Augenmaß-Abwägungen zwischen der Erfüllung von Fachaufgaben im gesellschaftlichen Interesse und im gesetzten Zeit- und Ressourcenrahmen einerseits und der Erfüllung von Vorgaben im Bereich Informationssicherheit und Datenschutz andererseits. Auch hier wird künftig ein hohes Maß an Augenmaß, Fingerspitzengefühl und taktischem Geschick bei der Bewältigung vorgegebener Zielkonflikte gefragt sein.

Ganz abgesehen von den dargestellten harten Nüssen und allem Bemühen, Digitalisierung voranzubringen: Sind wir uns am Ende wirklich noch in jedem Falle bewusst darüber, was wir digitalisieren? Wie gut kann das technisch ausgereifte Endergebnis einer Digitalisierung sein, wenn das Polygon auf einer Karte einem 150jährigen Bleistiftstrich entspricht? Ab wann bedarf im Lichte aktueller Aufgaben auch die geologische Beschreibung einer „originalen“, „historisch gewachsenen“ Legendeneinheit einer fachlichen Prüfung und Überarbeitung? Wie organisieren wir das Zusammenspiel der Erfüllung aktueller Fachaufgaben und der notwendigen Qualitätssicherung für die geologische Datenbasis des Freistaats? Welche Voraussetzungen müssen wir auf dem Gebiet strukturierter Fachdatenhaltung erfüllt haben, bevor wir neue Technologien einsetzen können (die ihre Daten nur strukturiert speichern können)?

Was bedeutet all dies für die Digitalisierung in der Breite des Geologischen Dienstes? Wenn Digitalisierung nicht Selbstzweck ist, sondern Mittel zur zeit- und anforderungsgerechten Erfüllung von Fachaufgaben und gesellschaftlichen Anforderungen – können wir die zahlreichen mit Digitalisierung verbundenen Herausforderungen dann überhaupt nachhaltig bewältigen durch einige „IT-Kollegen“ hier und Geologen da?

Niemals.

Je mehr der Geologe/die Geologin Digitalisierung versteht, mitdenkt und mitmacht, je besser „die IT“ fachliche Aufgaben und Abläufe versteht, je besser die Kommunikation zwischen beiden und mit den gesellschaftlichen Bedarfsträgern, umso besser wird die Qualität des Gesamtergebnisses des Geologischen Dienstes sein, umso höher wird dessen Effizienz sein, und umso besser wird letztlich die Wahrnehmung des Geologischen Dienstes in der Gesellschaft sein. Erfreulicherweise gibt es positive Indikatoren für einen entsprechenden Prozess im Sächsischen Geologischen Dienst.

Digitalisierung kann gelingen und nachhaltig werden, wenn alle zusammen am gleichen Strang ziehen – von jedem einzelnen Mitarbeiter bis zu jedem Angehörigen der politischen Führungsebene.

Vom Bohrloch zum 3D-Modell – Wie entsteht ein digitales Abbild des geologischen Untergrundes?



Dipl.-Geoökologe Sascha Görne

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Abteilung Geologie
Referat Geologische Kartierung, Geophysik

Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

E-Mail: sascha.goerne@smekul.sachsen.de

Zum Autor

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Im Referat Geologische Kartierung, Geophysik beim Sächsischen Geologischen Dienst tragen wir alle Informationen über den geologischen Aufbau Sachsens zusammen, vermessen und kartieren den Untergrund und stellen unsere Daten in digitaler Form zur Verfügung. Ich arbeite daran, mithilfe von aufwändiger Spezialsoftware ein dreidimensionales digitales Abbild des geologischen Untergrundes zu erstellen. Außerdem beschäftige ich mich mit der Ressource Erdwärme, deren Gewinnung aus großen Tiefen und ihrer Nutzung als Bestandteil einer zukünftig klimaneutralen Energieversorgung.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie? Was ist mir wichtig?

Als gebürtiger Freiburger bin ich durch die Bergbau-Vergangenheit und damit auch durch die Geologie der Region geprägt. Während meines Geoökologie-Studiums an der TU Bergakademie Freiberg war die Befassung mit der sächsischen Geologie ein wichtiger Bestandteil der Ausbildung. Durch meine Arbeit in verschiedenen Bereichen des Geologischen Dienstes bin ich seit nunmehr über 15 Jahren eng mit der Geologie Sachsens verbunden. Es liegt mir besonders daran, den heterogenen Aufbau des Erdinneren und die vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten des Untergrundes auch Nicht-Fachleuten anschaulich zu vermitteln.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

In vielen Lebensbereichen spielt die Geologie, bewusst oder unbewusst, eine wichtige Rolle. Dies wird in Hinblick auf die Folgen von Klimaveränderungen, die Ressourcenknappheit, Infrastrukturprojekte sowie Wasser- und Energieversorgung in Zukunft noch mehr an Bedeutung gewinnen. In diesem Kontext wird von staatlichen Geologischen Diensten eine effiziente und unkomplizierte Bewertung und Datenbereitstellung erwartet werden. Dem muss sich durch fortschreitende Digitalisierung und Ausbau von e-Government-Lösungen gestellt werden.

Kurzfassung des Vortrages

Zusammenfassung

Geologische 3D-Modelle unterstützen Geowissenschaftler dabei, den Aufbau des geologischen Untergrundes in seiner Gesamtheit mit allen gegebenen Ungewissheiten zu erfassen, geologische Modellvorstellungen zu überprüfen und Entscheidungen zu treffen. Für die Erstellung von Geomodellen existieren verschiedene Ansätze mit individuellen Vor- und Nachteilen. Die Prozesskette von der Datenerhebung bis hin zur Veröffentlichung von 3D-Modellen ist durch viele Arbeitsschritte und einige Kernprozesse, z. B. die Quantifizierung von Unsicherheiten gekennzeichnet. Typische Anwendungsbereiche sind die Grundwasserversorgung, die Rohstoffproduktion, untertägige Infrastrukturprojekte oder die Geothermie sowie die Wissenschaftskommunikation.

Abstract

Geological 3D models support geoscientists to understand the structure of the geological subsurface in its entirety with all given uncertainties, to verify geological model concepts and finally to make decisions. Different approaches with individual advantages and disadvantages exist for the creation of geomodels. The workflow from data collection to publication of 3D models is characterized by many steps and some core processes, e.g. quantification of uncertainties. Typical applications are groundwater supply, raw material production, underground infrastructure projects or geothermal energy supply as well as science communication.

1. Einleitung

Die Aufgaben von Geologen sind vielfältig: sie müssen die Tragfähigkeit eines Baugrundes bewerten, kosten- und materialschonende Wege durch den Felsen bei Tunnelbauarbeiten finden, Grundwasserschutzgebiete ausweisen, Rohstoffvorkommen erkunden, Erdwärmereservoir erschließen, Konzepte für die Endlagerung von radioaktiven Abfällen und CO₂ erstellen und vor allem den geologischen Untergrund beschreiben und kartieren. Für all diese Aufgaben ist eine möglichst genaue Kenntnis der geologischen Verhältnisse bis in große Tiefen erforderlich. Daten und Informationen über die Gesteinszusammensetzung unter der Erdoberfläche werden seit 150 Jahren durch den Geologischen Dienst von Sachsen zusammengetragen, aufgearbeitet und bereitgestellt.

Technologische und ökonomische Trends führen dazu, dass immer mehr Daten in kürzerer Zeit mit modernen Methoden und über aktuelle Schnittstellen verarbeitet und verfügbar gemacht werden müssen. Dieser Entwicklung stellen sich Geologische Dienste weltweit und haben die Erstellung computergestützter geologischer 3D-Modelle als Schlüsseltechnologie für die Bewältigung dieser vielfältigen Herausforderungen identifiziert. Welche Vorteile 3D-Modelle haben, wie sie entstehen und welche Einsatzmöglichkeiten sie bieten, wird im Folgenden erläutert.

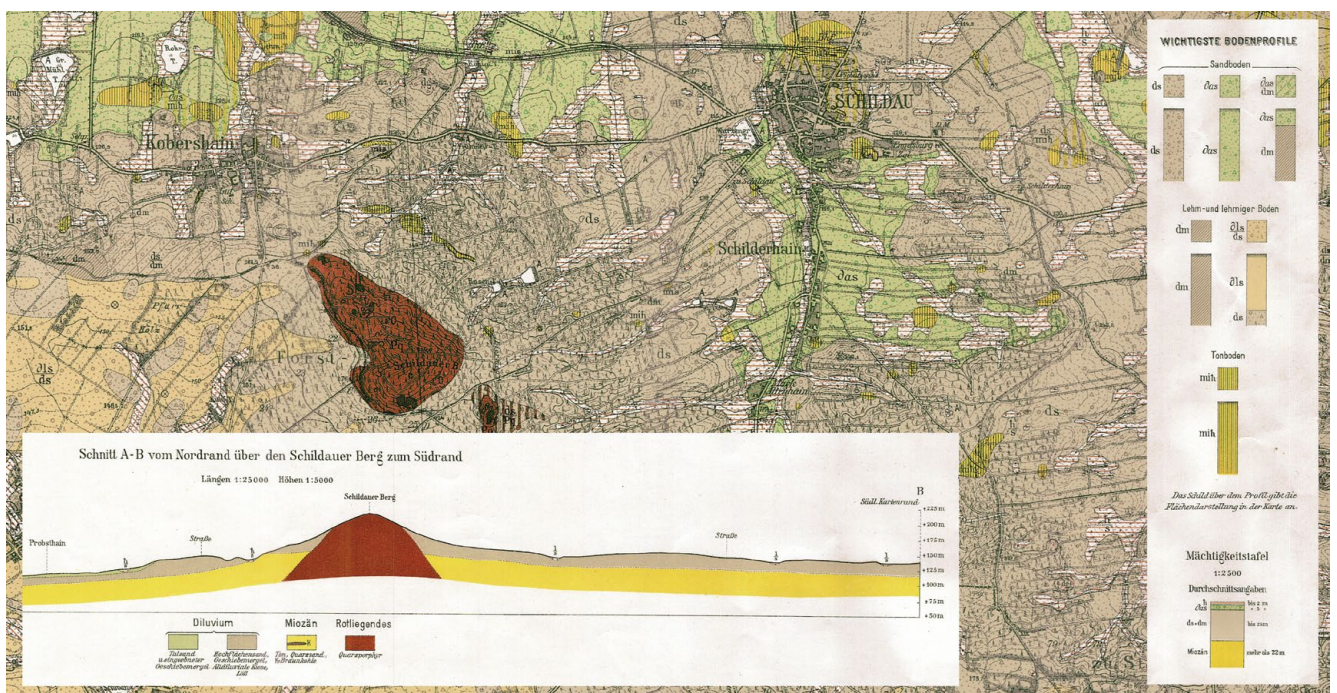


Abbildung 1: Collage von Karten-, Schnitt- und Bohrungsdarstellung der Geologischen Karte von Schildau aus dem Jahr 1931 (Linstow Et Grahmann, 1931).

2. Motivation für die Geomodellierung

Traditionell arbeiten Geologen mit Karten und Schnittprofilen, die im Ergebnis der Auswertung von Fundpunkten im Gelände (Lesesteine, geologische Aufschlüsse), linearer Profile (Schürfe, Grabungen), vertikaler Profile (Sondierungen, Bohrungen), Untertageanschnitten (Höhlen, Bergbau) sowie indirekter Methoden (z. B. geophysikalische Messungen) entstehen. Dabei haben sie stets ein geologisches Modell im Kopf, das die punkt-, linien- und flächenhaften Informationen zu einem möglichen Aufbau der

Gesteinsschichten in den drei Raumdimensionen vereint. Bereits frühe geologische Karten enthalten Tiefeninformationen in Form von Profilschnitten und Bohrprofilen (Abbildung 1), um den dreidimensionalen geologischen Bau des Untergrundes auf zweidimensionalem Papier abzubilden. Darüber hinaus versuchten Autoren geowissenschaftlicher Abhandlungen seit jeher, durch perspektivische Skizzen und geologische Blockbilder einen Eindruck der räumlichen Lage von Strukturen und Gesteinskomplexen im Untergrund zu vermitteln (Abbildung 2).

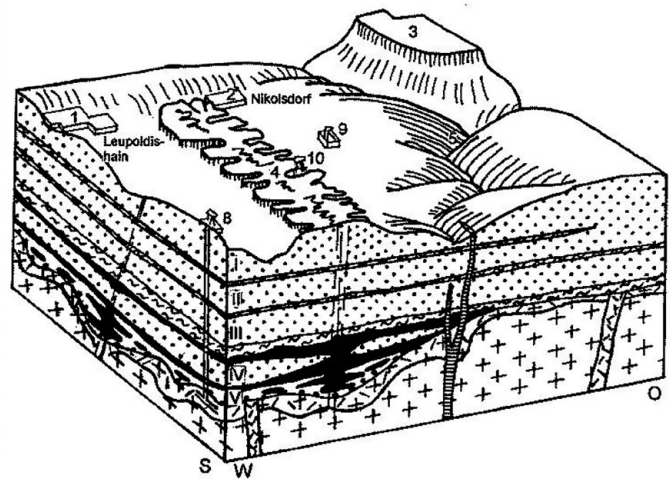
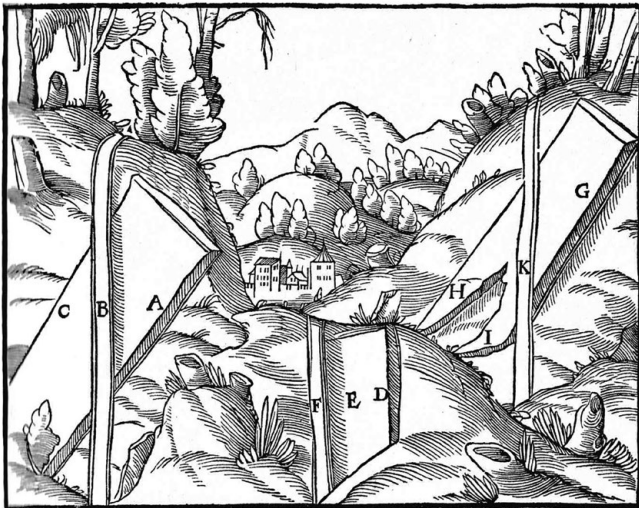


Abbildung 2: Pseudo-3D-Darstellung des geologischen Untergrundes.

Links: perspektivische Skizze sich unter der Erdoberfläche schneidender Gänge (AGRICOLA 1556). Rechts: Blockbild vom Lagerstättengebiet Königstein, nach einem Entwurf von O. Wagenbreth (aus: TONNDORF 2000).

Mit dem Aufkommen Geografischer Informationssysteme (GIS) und computergestützter Konstruktionssoftware (CAD) in den 1970er Jahren ergaben sich auch für die Geologie ungeahnte Möglichkeiten, geologische Modellvorstellungen in Form von interaktiven 3D-Modellen und geografisch referenzierten Datenbanken abzubilden und zu speichern. Durch die Entwicklung spezieller Modellieralgorithmen, wie Discrete Smooth Interpolation (Mallet, 1989) wurde es möglich, natürliche inhomogene Objekte in vergleichsweise kurzer Zeit geometrisch abzubilden.

Zusätzlich stehen durch sich ständig weiterentwickelnde Fernerkundungsmethoden, geophysikalische Messungen und weitere dreidi-

mensionale Erfassungen von Untergrundeigenschaften, enorm umfangreiche räumliche Daten zur Verfügung, die alle in Beziehung zueinander gebracht und interpretiert werden müssen. Die geologische Modellierung erlaubt es, mit solch heterogenen Daten umzugehen und komplexe geologische Strukturen abzubilden, in ihrer Relation zueinander zu erfassen und mit beliebigen Parametern zu attribuieren sowie nach vielfältigen Kriterien automatisiert abzufragen. Diese Möglichkeiten bieten ein hohes Anwendungspotential in der Öl- und Gasindustrie, im Tief- und Verkehrswegebau, in der Klimaforschung und auch für die Aufgaben eines Geologischen Dienstes. 3D-Methoden haben sich somit zu den Standardwerkzeugen in der geowissenschaftlichen Arbeit entwickelt.

3. Definition des Modell-Begriffs

Ein Modell ist immer ein vereinfachtes Abbild der Wirklichkeit, das erstellt wird, um ein bestimmtes Problem zu lösen (Turner et al., 2021). Es ist gekennzeichnet durch die **Abbildung** eines natürlich existierenden Originals und durch **Verkürzung**, indem nur für den jeweiligen Zweck relevante Attribute erfasst werden. Ein weiteres Merkmal eines Modells ist der **Pragmatismus**, d. h. eine selektive Ersetzung des Originals in Abhängigkeit des Zwecks der Modellierung. Die Geologische Modellierung umfasst nach Mallet (2002) alle mathematischen Methoden, die es ermöglichen, die **Topologie**, die **Geometrie** und die **physikalischen Eigenschaften** geologischer Objekte auf einheitliche Weise zu modellieren und dabei alle Arten von Daten zu diesen Objekten zu berücksichtigen.

Die Qualität und Aussagekraft eines Modells hängt in starkem Maße von der Verlässlichkeit der Eingangsdaten, den verwendeten Interpolationsalgorithmen, dem Zweck der Modellierung aber auch seiner Interoperabilität und Verfügbarkeit für Dritte ab. Geologische 3D-Daten schaffen eine umfassende Datengrundlage für geowissenschaftliche Anwendungsbereiche. Die beim Sächsischen Geologischen Dienst erstellten Modelle decken ein breites Spektrum an Aufgaben, Anwendungsbereichen und Maßstäben ab. Es werden unterschiedliche Formen geologischer 3D-Modelle ausgehalten. Dazu gehören die tiefen geologischen Untergrundmodelle sowie die oberflächennahen hydrogeologischen Modelle.

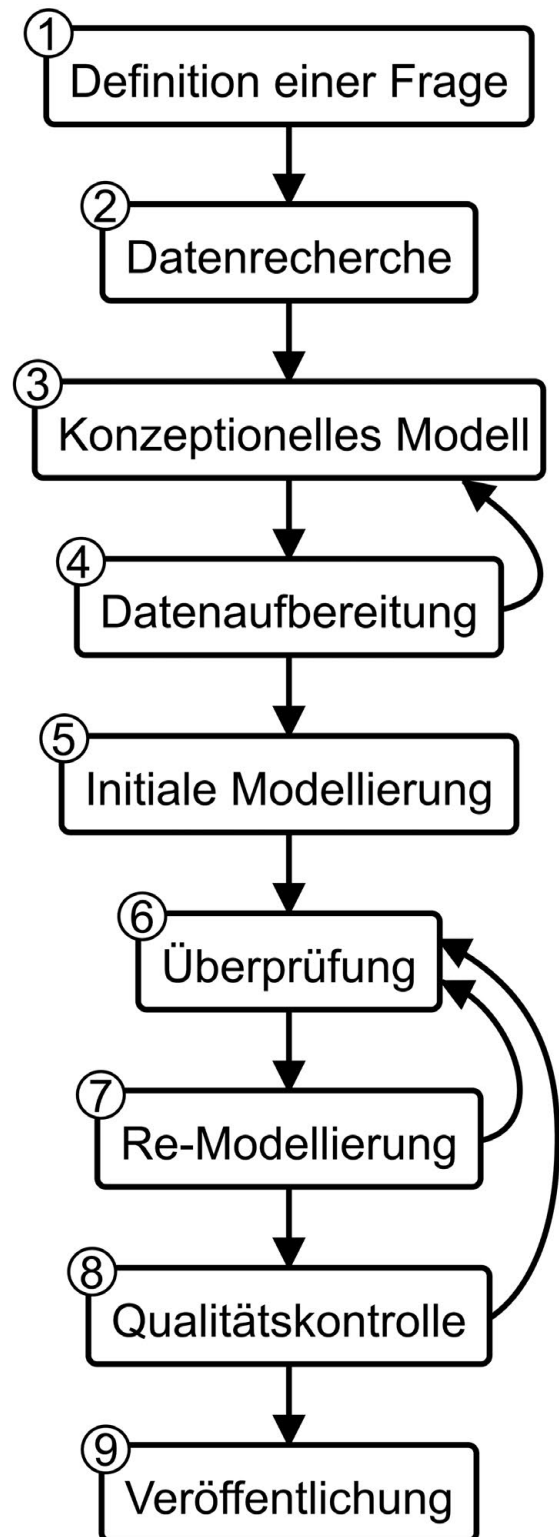


Abbildung 3: Schritte bei der Geomodellierung.

4. Workflow der Geomodellierung

Ein strukturiertes und reproduzierbares Vorgehen ist wesentlich für die Bearbeitung geowissenschaftlicher Fragestellungen. Die Geomodellierung folgt dabei der klassischen wissenschaftlichen Methode und gliedert sich in eine Abfolge von Arbeitsschritten (Abbildung 3):

- ① Definition einer Frage oder eines Problems,
- ② Datenrecherche,
- ③ Erstellen eines konzeptionellen Modells,
- ④ Datenaufbereitung,
- ⑤ Initiale Modellierung,
- ⑥ Überprüfung,
- ⑦ Re-Modellierung inkl. Parametrisierung,
- ⑧ Qualitätskontrolle und
- ⑨ Veröffentlichung.

Einzelnen Arbeitsschritten kommt bei der Geomodellierung eine besondere Bedeutung zu. Diese Kernprozesse, wie z. B. die Datenaufbereitung oder die Qualitätskontrolle, können zu Schleifen in der Prozesskette führen und tragen wesentlich zur Güte des Modellierungsergebnisses dar.

4.1 Datenrecherche und Datenaufbereitung

Die Datenakquise und -aufbereitung nehmen erfahrungsgemäß den größten Zeitanteil des gesamten Prozesses ein, während die Modellierung der rechenintensivste Arbeitsschritt ist.

Bei der Datenrecherche werden sämtliche Daten, die für das Modellgebiet zur Verfügung stehen, zusammengetragen. Diese Eingangsdaten können zunächst in Aufschlussdaten, also Beobachtungen, und Messdaten unterschieden werden. Während Bohrdaten und lokale Aufschlussdaten i.d.R. sehr hochaufgelöst sind, umspannen geringer auflösende geophysikalische und Fernerkundungsdaten größere Gebiete. Im Zuge der Datenaufbereitung werden diese Rohdaten in Form von Karten, Schnitten, Amplitudenstapelungen oder seismischer Reflektoren weiterverarbeitet, womit ihr Interpretationsinhalt ansteigt. Abbildung 4 enthält eine Zusammenstellung möglicher Eingangsdaten für eine Geomodellierung und deren Einordnung nach räumlicher Auflösung und Interpretationsgrad. Nur wenige Datentypen bieten dabei eine umfassende räumliche Abdeckung in allen drei Raumdimensionen (Wellmann & Caumon, 2018).

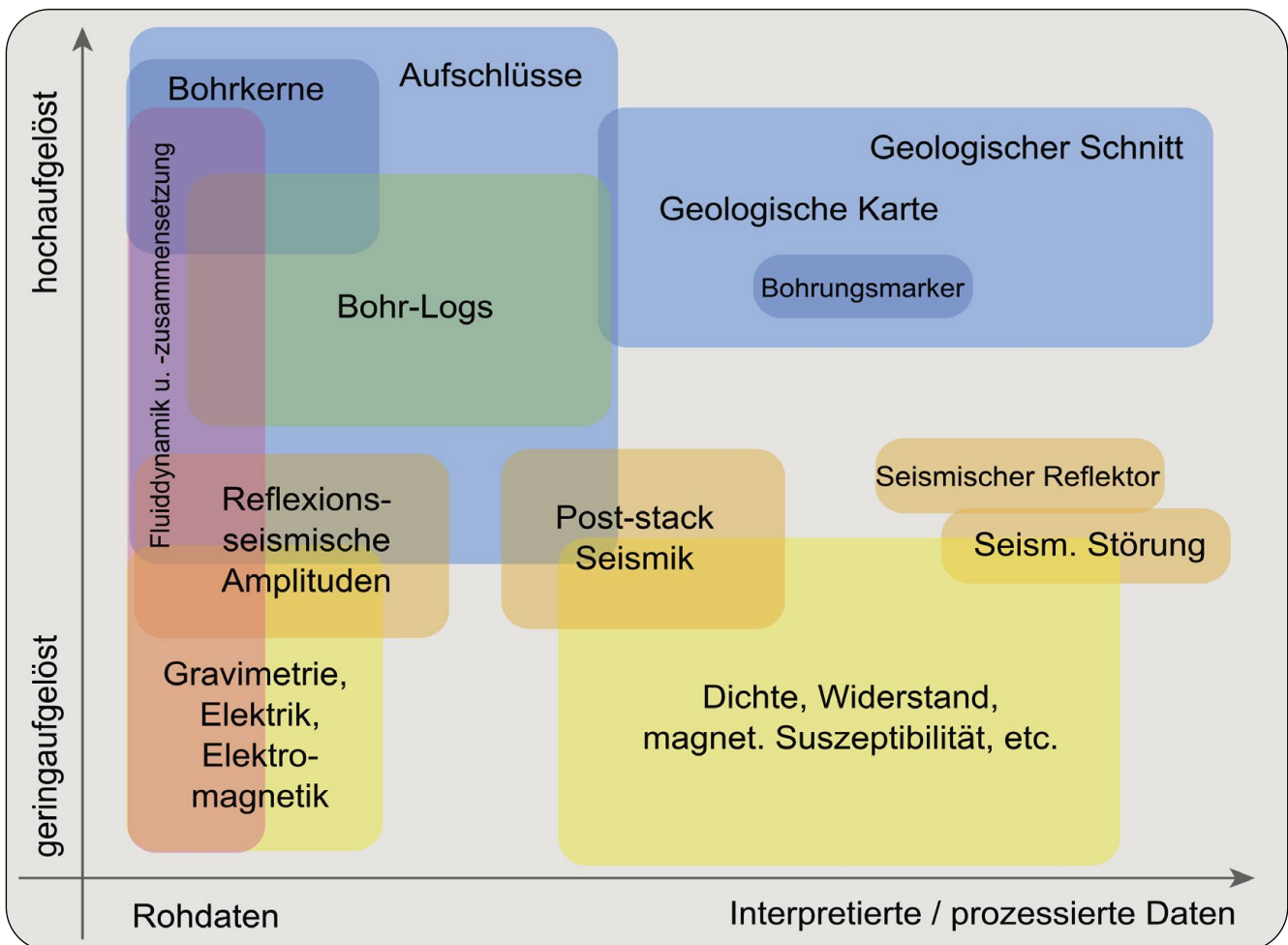


Abbildung 4: Typische Untergrunddaten die für die Geomodellierung verwendet werden.

Alle Daten lassen sich nach dem Grad der räumlichen Auflösung einordnen (vertikale Achse) und weisen einen unterschiedlichen Grad an Verarbeitung und Interpretation auf (horizontale Achse). Die Farben heben die Art der Daten für verschiedene Verarbeitungs- und Interpretationsstufen hervor. (übersetzt aus: Wellmann & Caumon, 2018).

Die Aufbereitung der Eingangsdaten für das jeweilige Modellierungstool kann sehr zeitaufwändig sein und erfordert je nach Art der Daten verschiedene Arbeitsschritte, von der Strukturierung/Formatierung über Formatkonvertierung, Koordinatentransformation und Interpretation bis hin zum Datenimport.

4.2 Geologische Modellbildung

Der eigentliche Prozess der Geomodellierung umfasst alle in einer Spezialsoftware implementierten mathematischen Methoden zur Erstellung von geologischen Schichtgrenzen. Dabei werden alle im Recherche- und Aufbereitungsprozess gewonnenen Eingangsdaten gewichtet und entsprechend berücksichtigt.

4.2.1 Konzeptionelles Modell

Bei der Softwareanwendung ist es wichtig, sich nicht nur auf Interpolationsalgorithmen zu verlassen, sondern stets ein konzeptionelles Modell des Untersuchungsgebietes im Kopf zu haben. Am Beispiel von interpretierten Bohrungsdaten sei dies kurz

verdeutlicht. Mit Hilfe von Bohrungen, vor allem durch die Gewinnung von Bohrkernen, lässt sich der Aufbau des Untergrundes am Ort der Bohrung sehr genau und hochaufgelöst beschreiben. Jedoch stellt eine Bohrung immer nur einen „Nadelstich“ in einen möglicherweise sehr komplex und inhomogen aufgebauten Gesteinskörper dar, der nicht zwingend für seine weitere Umgebung repräsentativ sein muss. Deshalb ist es zunächst wichtig, Bohrungsdaten nicht isoliert, sondern immer im Kontext zu benachbarten Aufschlüssen zu betrachten.

Wie Abbildung 5 verdeutlicht, ist selbst dann der Interpretationsspielraum für den geologischen Bau noch groß. Eine identische Datenlage kann also unterschiedlichste Untergrundverhältnisse widerspiegeln. Um sich einem möglichst realitätsnahen Modell zu nähern ist es deshalb wichtig, alle verfügbaren Datentypen zu berücksichtigen und verschiedene Szenarien zu testen und auf Plausibilität zu prüfen.

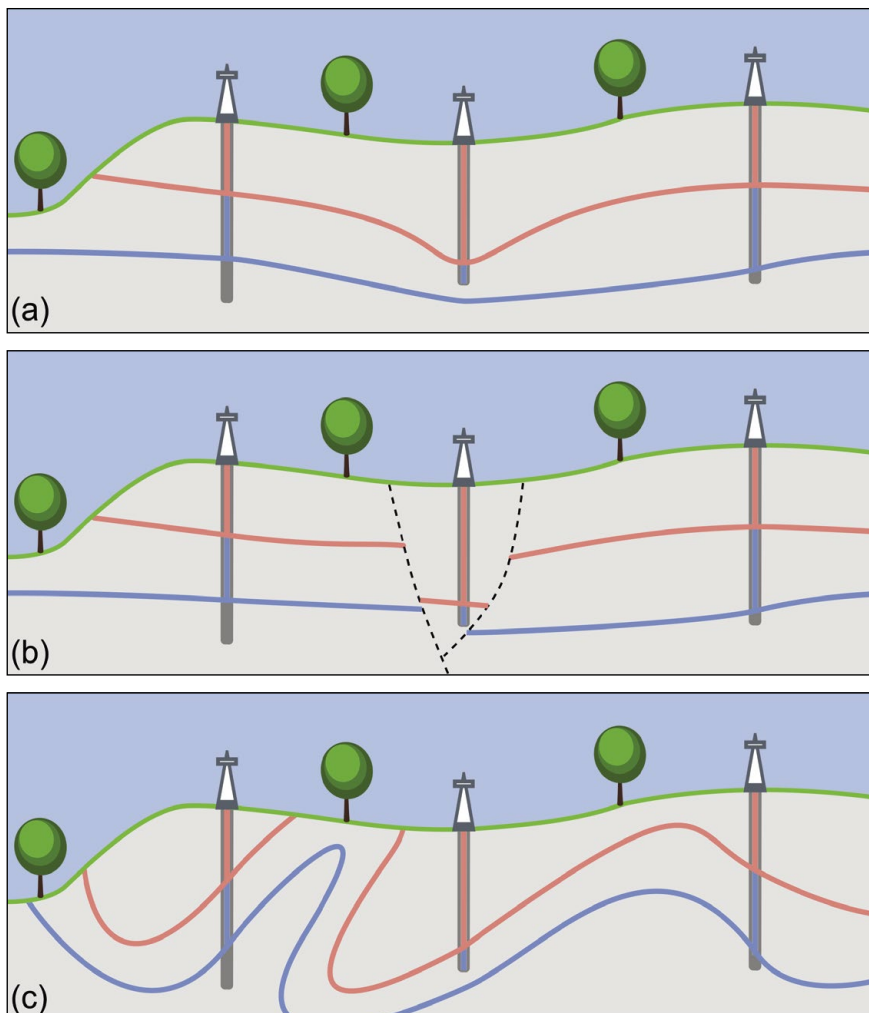


Abbildung 5: Verschiedene Interpretationsmöglichkeiten der gleichen Bohrungsdatenlage:

- (a) horizontale Lagerung der erbohrten Schichten,
- (b) horizontale Schichtung mit tektonisch bedingtem Schichtversatz,
- (c) asymmetrische Auffaltung.

4.2.2 Vom Bohrloch zum 3D-Modell

Um buchstäblich vom Bohrloch zum fertigen 3D-Modell zu gelangen, existieren verschiedene Ansätze mit individuellen Schwerpunkten sowie Vor- und Nachteilen, die oftmals in Kombination miteinander Anwendung finden.

Bei der **Modellierung gestapelter Flächen**, oft auch 2,5-D-Modellierung genannt, werden hauptsächlich bereits interpretierte Daten, wie Isolinienpläne oder Horizontkarten für die Modellierung verwendet. Diese Daten enthalten oft Höheninformationen in Form von Linienattributen oder Grid-Werten, die direkt in einer Modellierungssoftware verwendet bzw. im Zuge der Datenaufbereitung zugewiesen werden können. Gestapelte Flächen entstehen durch direkte Triangulation der Höhenwerte und Zuweisung zu Modelliereinheiten. Im Ergebnis dieses Ansatzes entstehen sogenannte „fliegende Teppiche“, die als Top- oder Basisflächen geologische Schichten begrenzen. Diese Flächen selbst können mit Attributen versehen werden, lassen den Raum zwischen Top und Basis jedoch unparametrisiert.

Die **bohrungsbasierte Modellierung** auf Grundlage von Bohrungen und Schnitten entspricht am ehesten der klassischen Kartierungsmethodik eines Feldgeologen. Mithilfe ausgewählter Bohrprofile werden am Schreibtisch auf Papier, in einer Grafik- oder GIS-Anwendung oder direkt in einer Modelliersoftware sich kreuzende Schnitte konstruiert. In einer Spezialsoftware wie SKUA-GOCAD werden dann wiederum triangulierte Flächen interpoliert, oft unter Anwendung geostatistischer Methoden. Ein spezieller Interpolationsalgorithmus, bei dem versucht wird, sich möglichst nah an in der Natur vorkommende Oberflächenformen anzunähern, indem eine Glättung durch Minimierung der globalen Rauigkeit erfolgt, ist DSI (Mallet, 1989). Der Modellierer hat hierbei einen größeren Einfluss auf das Ergebnis, da dem konzeptionellen Modell (Abbildung 5) durch Setzen von Interpolationsbedingungen, sog. constraints, mehr Gewicht verliehen werden kann. Eine Limitierung dieses Verfahrens ist, dass es in komplexen geologischen Situationen zu ungültigen Überschneidungen von Modellhorizonten kommen kann.

Bei den beiden zuvor genannten Ansätzen werden Top- und Basisflächen kreiert, welche geologische Einheiten, die eine gewisse Gesteinsart oder Stratigraphie repräsentieren, begrenzen. Da in diesen Fällen die Eingangsdaten in der Regel aus Bohrlochdaten bestehen, sind sie für **direkte 3D-Interpolation** nicht gut nutzbar. 3D-Interpolationsmethoden sind jedoch gut geeignet für die Erstellung von geologischen Eigenschaftsmodellen. Oft werden für die geometrische Repräsentation dieser Modelle finite Volumenelemente, sog. Voxel, verwendet. Diese Methoden kommen u.a. für die Parametrisierung von Grundwasserströmungs- oder Schadstofftransportmodellen oder für geophysikalische Eigenschaftsmodelle zur Anwendung.

Die Modellierung auf der Grundlage von Triangulation und Interpolation zwischen „harten“ Eingangsdaten wird auch als Explizite Modellierung bezeichnet. Dem gegenüber steht der Ansatz der **Impliziten Modellierung**, der durch die Anwendung komplexer Softwareprodukte möglich wird (Turner et al., 2021). Sie verwenden eine Kombination aus speziellen Interpolationsmethoden, bei denen aus einem im Volumen interpolierten Skalarfeld geologische Grenzflächen aus Isowerten abgeleitet werden (siehe Abbildung 6c). Zusätzliche geologisch begründete Randbedingungen gewährleisten die geologische Plausibilität der Ergebnisse. Diese Methode ist besonders nützlich für die Modellierung geologischer Settings mit extremer tektonischer Deformation, Intrusionskörpern (Granitplutone, Salzstöcke) und im metamorphen Terrain.

4.2.3 Qualitätskontrolle und Unsicherheiten

Jeder der bisher genannten Prozessschritte beinhaltet Fehlerquellen, sei es die Auswertung und Beschreibung von Bohrkernproben, die Digitalisierung von Archivmaterial, die Koordinaten- oder Dateiformatkonvertierung, die Erhebung und Prozessierung geophysikalischer Daten oder die softwaregestützte Modellierung selbst. Neben technisch begründeten Fehlerquellen ist immer auch die Erfahrung und fachliche Expertise des Modellierers ausschlaggebend für die Güte eines Modells. Daher ist es wichtig, mit möglichst objektiven Methoden die Modelliererergebnisse zu überprüfen und Unsicherheiten zu dokumentieren und zu visualisieren. Ein Test auf Plausibilität der räumlichen Lage eines modellierten Horizontes kann z.B. durch Hinzuziehung bisher nicht verwendeter oder neu hinzugekommener Bohrungsdaten erfolgen. Ein weiterer Ansatz ist die wiederholte Berechnung

unterschiedlicher Realisierungen ein und derselben geologischen Struktur unter randomisierter Variierung bestimmter Interpolationsparameter, wie in Abbildung 6 dargestellt. Der Visualisierung von Modellunsicherheiten hat sich u.a. Zehner (2021) gewidmet. So ist es z. B. möglich, einen Unsicherheitsbereich um eine modellierte Struktur zu definieren und diesen als Umhüllende (siehe Abbildung 6a) zu visualisieren.

Besonders wichtig ist jedoch das Bewusstsein dafür, dass ein Modell immer ein Modell bleibt und, wie in Abschnitt 3 dargestellt, immer nur eine Annäherung an die Wirklichkeit sein kann. Ein gewisser Grad an Abstrahierung und der Modellpragmatismus machen bestimmte Modellanwendungen, wie z. B. die Prozessmodellierung, erst möglich.

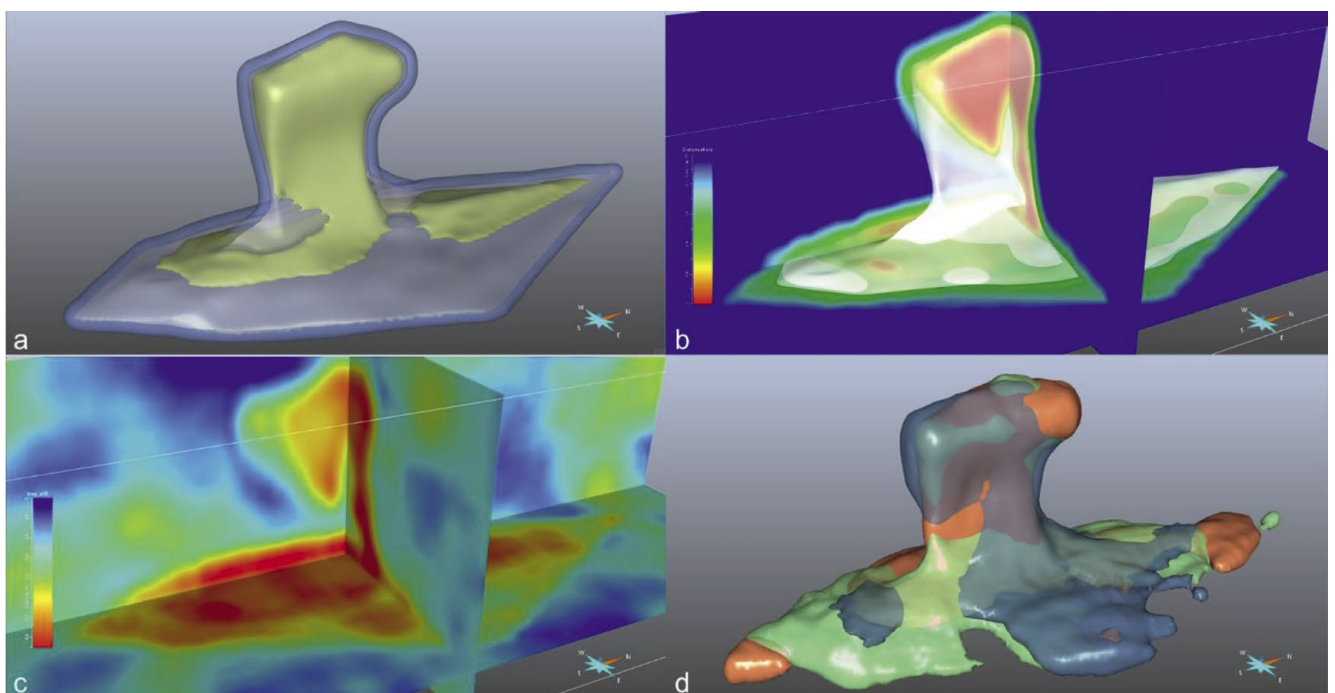


Abbildung 6: Randomisierte Realisierungen einer geologischen Struktur durch Verwendung computergenerierter Zufallsfelder.

- (a) innere (gelb) und äußere (blau) Begrenzung des Unsicherheitsbereichs einer geologischen Struktur (grau),
- (b) Voxet mit einem zwischen -1 (rot) und +1 (blau) normalisierten Maß für die Unsicherheit,
- (c) randomisiertes Skalarfeld für die Ableitung der geologischen Struktur aus dem Isowert 0 (gelb),
- (d) Kompilierung verschiedener Realisierungen (blau, grün, rot) innerhalb des Unsicherheitsbereichs (Görne et al., 2020).

4.3 Auswertung und Veröffentlichung von Modellen

Die Möglichkeiten der Auswertung von Modellen und der Ableitung von Produkten nehmen stetig zu. Traditionell werden aus den Modelldaten Schnittprofile, 2D-Karten, 3D-Blockbilder, Vertikalprofile und Berichte zum Aufbau des Untergrundes abgeleitet. Fortschritte in der 3D-Visualisierung und bei Webtech-

nologien erlauben den zunehmend barrierearmen Zugang zu Untergrunddaten auch für Nicht-Fachleute. So ist es möglich, in der Webanwendung 3D-Portal Sachsen (www.lsnq.de/3d) ohne Spezialsoftware geologische Modelle verschiedener sächsischer Regionen interaktiv zu erkunden, virtuelle Bohrungen abzuteufen und beliebige Profilschnitte zu erzeugen (Abbildung 7).

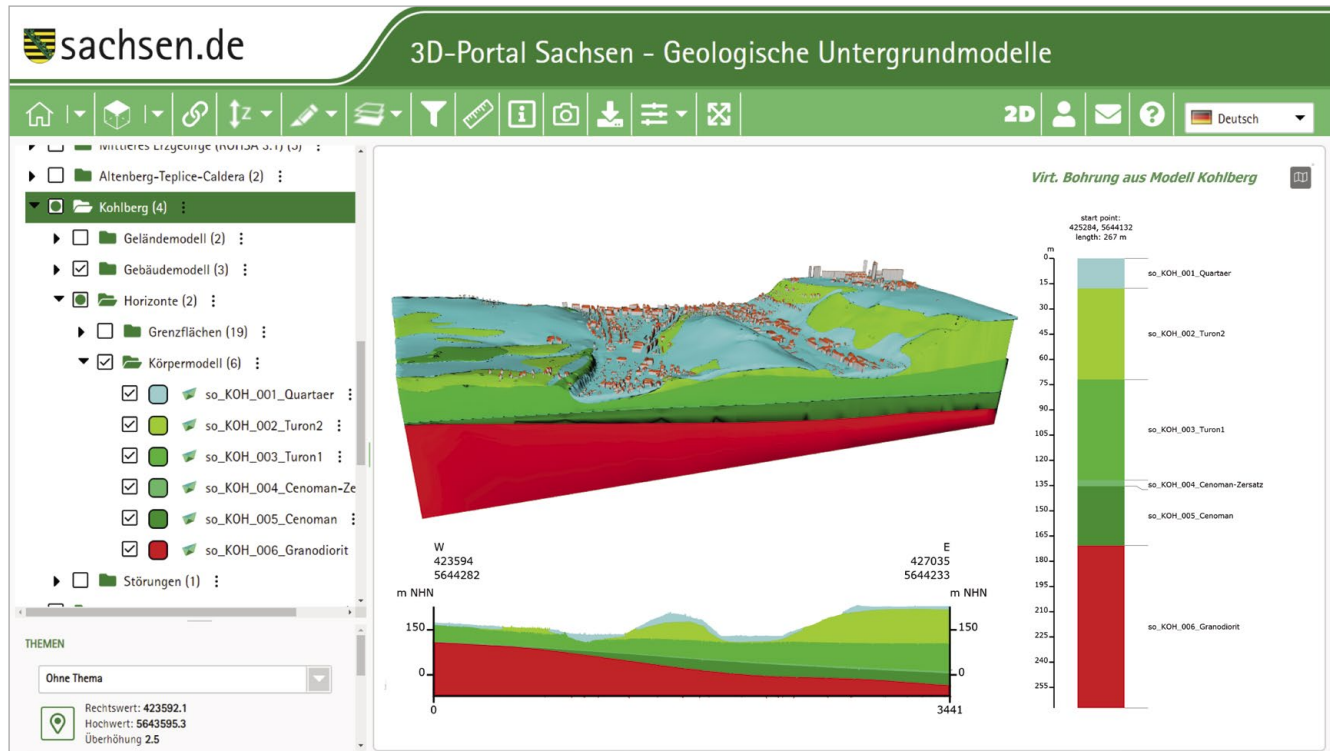


Abbildung 7: Virtuelle Bohrung und Virtueller Schnitt durch ein geologisches Modell der Kohlbergumgebung südlich von Pirna (Quelle: 3D-Portal Sachsen, lsnq.de/3d).

Über den fachlichen Inhalt hinaus wird zunehmend Wert auf die Dokumentation der Modelle und ihrer Eingangsdaten gelegt. Daten über den Untergrund sollten dabei den FAIR Data Principles (Wilkinson, 2016) folgen; FAIR steht hierbei für Findable (Auffindbarkeit der Daten), Accessible (Zugänglichkeit über standardisierte Schnittstellen), Interoperable (Verwendung etablierter Standards) und Reusable (Verwendbarkeit mit klar definierten Nutzungsrechten). Aus diesem Grund ist der Sächsische Geologische Dienst bestrebt, Metadaten zu allen Modellen zu erfassen, zu pflegen und zu veröffentlichen.

Der wissenschaftliche Wert eines Modells kann zudem mit Angaben zum Mengengerüst bzgl. Eingangsdaten und verarbeiteter Datenmenge transportiert werden, z. B. in Form einer Infografik wie in Abbildung 8. In diesem Beispiel wird verdeutlicht, dass das strukturgeologische Modell von Schneeberg auf über 1.000 Bohrungen mit mehr als 50.000 Bohrmeter basierte, viele Jahre an bergbaulicher Tätigkeit zu einem enormen Erkenntnisgewinn geführt haben, bei einer 3D-Seismik-Messkampagne insgesamt über 30 Millionen seismische Spurendaten und 450 GByte Rohdaten anfielen und nicht zuletzt tausende Mausclicks durch den Modellierer in der Modelliersoftware gesetzt wurden.



Abbildung 8: Infografik mit Kennwerten zur Verdeutlichung des Modellinhaltes.

Neben der fachlichen Auswertung bieten sich 3D-Geomodelle auch besonders für die Kommunikation komplexer geologischer Situationen und Zusammenhänge an. Beispielsweise im Rahmen der Öffentlichkeitsbeteiligung bei Infrastrukturprojekten oder der Erschließung geothermischer Ressourcen muss die breite Öffentlichkeit als Zielgruppe angesprochen werden. In diesem Kontext

bieten die bereits erwähnten Web-Viewer (Abbildung 9 a), Smartphone-Apps mit der Möglichkeit geologische Modelle virtuell auf den eigenen Schreibtisch zu stellen (Abbildung 9 b) und physische Reproduktionen in Form von 3D-Drucken (Abbildung 9 c) exzellente Möglichkeiten der Wissenschaftskommunikation.

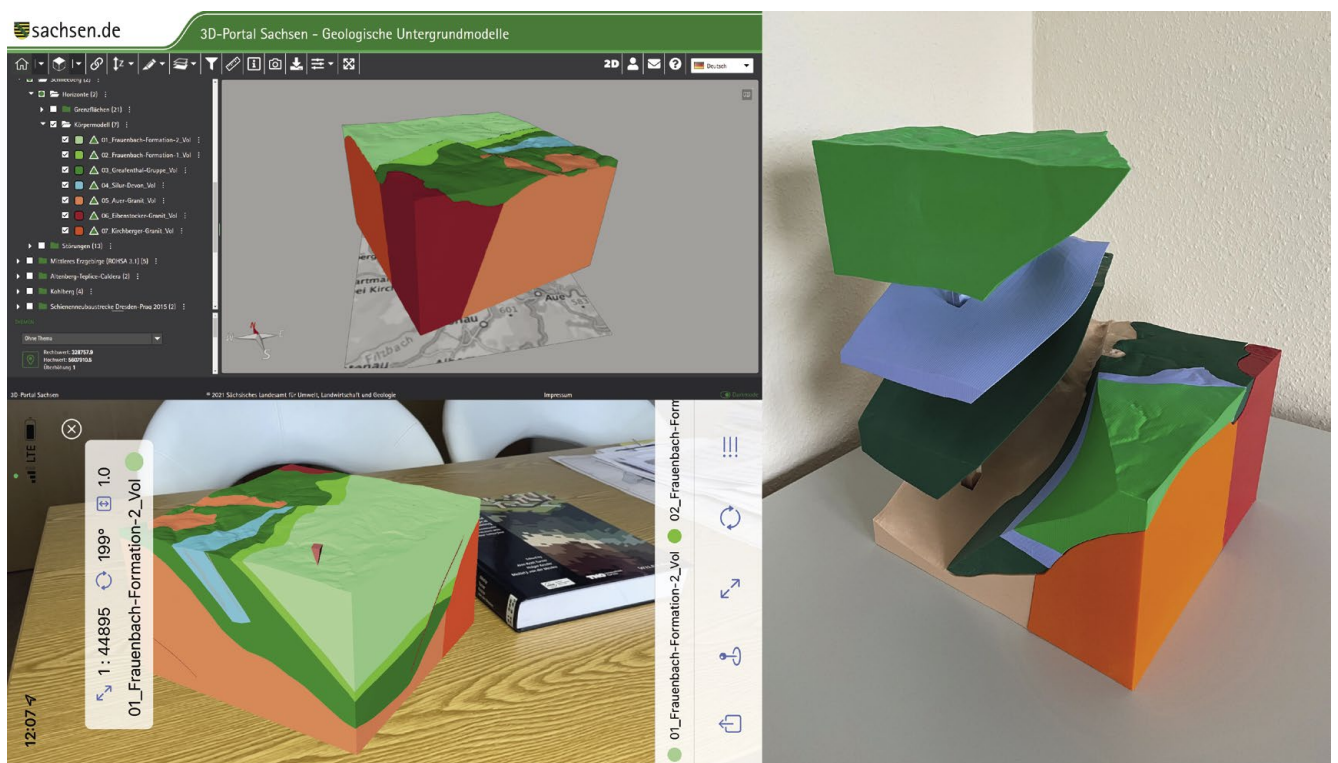


Abbildung 9: Möglichkeiten der Kommunikation von Geomodellen am Beispiel des strukturellen Modells der Region Schneeberg/Bad Schlema.

- (a) interaktive Darstellung in der Webanwendung 3D-Portal Sachsen,
- (b) als Augmented Reality-Repräsentation in der GST[AR]-App, (c) als 3D-Druck im FDM-Verfahren.

5. Anwendung Geologischer 3D-Modelle

Anwendung finden geologische 3D-Modelle bei allen Aufgaben, bei denen zweidimensionale geologische Karten nicht ausreichend Informationen über die Geometrie und die Eigenschaften der Gesteine im Untergrund sowie deren Änderung mit der Tiefe liefern. Typische Anwendungsbereiche sind daher die Grundwasserversorgung, die Rohstoffproduktion, die Bohrplanung, untertägige Infrastrukturprojekte oder die Geothermie. Weitere Einsatzbereiche sind die Modellierung von Bergbauprozessen und Bergbaufolgen und geologischtektonische Strukturmodelle. Letztere stellen die komplexen geologischen Verhältnisse im Untergrund vereinfacht dar und machen sie für jeden einsehbar. Mit Hilfe von geologischen 3D-Modellen ist es möglich schnell Informationen abzufragen, wie z. B.:

- Vorhersagen von Gesteinsabfolgen künftiger Bohrungen,
- Profilschnitte an jeder beliebigen Stelle (Vertikalschnitte),
- geologische Karten in beliebigen Tiefen (Horizontalschnitte),
- Tiefe, Mächtigkeit und Verbreitung von Schichten,
- Ansicht ausgewählter Modellausschnitte,
- Verifizierung digitaler Bohrlochdaten,
- Bereitstellung von Informationen über den geologischen Untergrund für Infrastrukturvorhaben (z. B. Tunnelbau).

6. Zusammenfassung

Traditionelle geologische Karten und Profile sind für Aussagen über die geologische Untergrundbeschaffenheit oft nur bedingt einsetzbar, da sie immer nur ein zweidimensionales Abbild der räumlichen Situation zeigen. Um den geologischen Untergrund unter unseren Füßen möglichst realitätsnah abzubilden, werden in der Geologie zunehmend 3D-Modelle genutzt. Geologische Untergrundmodelle ermöglichen eine dreidimensionale Darstellung von geologischen Körpern und geben einen Einblick in die Verbreitung der Gesteine und tektonischer Strukturen im Untergrund. Die Fragestellung bzw. das Ziel eines geologischen 3D-Modells beeinflusst das resultierende Endergebnis maßgeblich. Geologische 3D-Daten schaffen eine umfassende Datengrundlage für geowissenschaftliche Anwendungsbereiche. Die beim Sächsischen Geologischen Dienst erstellten Modelle liegen in unterschiedlichen Detailstufen vor, decken ein breites Anwendungsspektrum ab und unterstützen verschiedenste Arbeitsfelder.

Darüber hinaus besitzen die geologischen Strukturmodelle einen wichtigen Stellenwert als Instrument zur Datenbearbeitung sowie zur Präsentation von geologischen Daten in der Wirtschaft, in öffentlichen Institutionen sowie in der breiten Öffentlichkeit. Um 3D-Untergrundmodelle zu erstellen, werden Eingangsdaten – wie geologische Karten, Profilschnitte, Bohrungen, geophysikalische Daten oder digitale Geländemodelle – mit spezieller 3D-Software zu Schichtgrenzen verrechnet. Diese repräsentieren geologische Objekte im Untergrund, d. h. geologische Grenzflächen oder Störungen.

Referenzen

Agricola, G. (1556): De Re Metallica Libri XII – Zwölf Bücher vom Berg- und Hüttenwesen. ISBN: 9783865390974, Unveränd. Nachdr. der Erstausg., Berlin, VDI-Verl., 1928. XXXII, 564 (12) Seiten.

Görne, S., Stück, H., Jähne-Klingberg, F. & Bense, F. (2020): Creating multiple realizations of salt structures in the North Sea using the pseudo distance field approach. In: Proceedings of the RING Meeting 2020, 07-11 September 2020, Vandoeuvreles-Nancy, France. P. 101.

von Linstow, O. & Grahmann, R. (1931): Geologische Karte von Preussen und benachbarten deutschen Ländern [1:25 000] / Erläuterungen – Blatt [4543] Schildau, Gradabt. 58/31. – / O. von. – Berlin, – 42 Seiten.

Mallet, J.-L., (1989). Discrete Smooth Interpolation. ACM-Transactions on Graphics, V. 8, No. 2, pp. 121–144.

Mallet, J.-L. (2002): Geomodeling. Oxford University Press, New York.

Tonndorf, H. (2000): Die Uranlagerstätte Königstein. Sächs. Landesamt für Umwelt u. Geologie, Sächs. Oberbergamt (Hrsg.). – Bergbau in Sachsen, 7. – 208 S., Freiberg.

Turner, A.K., Kessler, H. & van der Meulen, M. (2021): Applied Multidimensional Geological Modeling: Informing Sustainable Human Interactions with the Shallow Subsurface – 1. Auflage. – Wiley-Blackwell, 2021. – XXVII, 644 Seiten.

Wellmann, J. F. & Caumon, G. (2018): 3-D Structural geological models: Concepts, methods, and uncertainties. In: Advances in Geophysics. – 59 Amsterdam: Elsevier, Advances in Geophysics 59, 1-121 [DOI: 10.18154/RWTH-2019-0141010].

Wilkinson, M., Dumontier, M., Aalbersberg, I. et al. (2016): The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. Sci Data 3, 160018. <https://doi.org/10.1038/sdata.2016.18>

Zehner, B. (2021): On the visualization of 3D geological models and their uncertainty, ZDGG-Journal of Applied and Regional Geology, Vol. 172 (1), Schweizerbart Science Publishers, p. 83-89. <https://dx.doi.org/10.1127/zdgg/2020/0251> (Open Access).

Digitalisierung in der Rohstofferkundung: Von der Intuition zu quantitativer hybrider Datenanalyse



**Dr. Andreas Barth, Martin Köhler, Peggy Hielscher, Hartmut Kühne,
Andreas Brosig, Andreas Knobloch, Andreas Kempe, Peter Bock**

Beak Consultants GmbH
Am St.-Niclas-Schacht 13
09599 Freiberg

Zu den Autoren

Die Autoren arbeiten seit Jahren an der Entwicklung von innovativen Verfahren und Produkten an den Schnittstellen der Geowissenschaften, Verarbeitung von Massendaten und Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz. Beak Consultants GmbH ist heute national und international ein wichtiger Akteur in der Nutzbarmachung von KI-Verfahren zur Analyse geowissenschaftlicher Massendaten, wie z. B. zur Identifizierung von Explorationszielen und zur Herstellung geowissenschaftlicher thematischer Karten. Diese Tätigkeitsfelder sind z. B. Kernbestandteile der Entwicklung nationaler Bergbaustrategien und sehr hilfreich bei der Einwerbung von Investitionen in den Rohstoffsektor. In Sachsen wurden gemeinsam mit dem LfULG, der TU Freiberg und weiteren Partnern zahlreiche kommerzielle und wissenschaftliche Projekte mit dem Ziel der Untersuchung und Nutzbarmachung der sächsischen Erzlagerstätten ausge-

führt, so z. B. die Erstellung der Metallogenetischen Karte Erzgebirge - Vogtland und des Geochemischen Atlases Erzgebirge - Vogtland. Die komplette Digitalisierung der geowissenschaftlichen Arbeitsprozesse von der Datengewinnung über deren Verbreitung und Nutzbarmachung der Ergebnisse ist integraler Bestandteil der bei Beak entwickelten Technologien. Wir setzen uns gezielt für die Wiederbelebung des sächsischen Erzbergbaus und damit für die Weiterentwicklung des über Jahrhunderte gewachsenen Knowhows in einem stark international geprägten Umfeld ein. Sachsen verfügt über alle Voraussetzungen um eine führende Rolle in dem äußerst innovativen Feld der Anwendung von KI-Verfahren in den angewandten Geowissenschaften einzunehmen. Der Textbeitrag fokussiert auf die bei Beak entwickelten Verfahren zur KI-gestützten Rohstoffprognose.

Kurzfassung des Vortrages

Zusammenfassung

Mit Agricola (1556) begann in Sachsen 1556 die Systematisierung des rohstoffbezogenen geowissenschaftlichen Kenntnisstandes. Über die Jahrhunderte wurde eine gewaltige Menge an Daten angehäuft und Erkenntnisse zu Gesetzmäßigkeiten der Lagerstättenbildung (Minerogenie/ Metallogenie) gewonnen. Heute steigt die Datenmenge schneller denn je; gleichzeitig wächst der Bedarf nach effektiven Verfahren zur Speicherung und Auswertung von großen Datenmengen. Die öffentliche und kostenfreie Verfügbarkeit von Geodaten wird zunehmend zu einem Wettbewerbs- und Wirtschaftsfaktor.

Mit seinem ausgezeichneten rohstoffgeologischen Kenntnisstand und den großen Mengen meist historisch erhobener und allgemein verfügbarer Geodaten bietet Sachsen und speziell das Erzgebirge günstige Voraussetzungen für Entwicklung und Test von KI-gestützten Verfahren der Dateninterpretation für Rohstoffprognosen und zur Identifikation von Explorationszielen. Die in den letzten 10 Jahren von Beak Consultants GmbH ausgeführten F&E Vorhaben führten u.a. zur Entwicklung der advangeo® Prediction Software, welche verschiedene KI-Verfahren (u.a. künstliche neuronale Netze, Random Forests) integriert und für Nichtexperten verfügbar macht. Die Nutzbarmachung von mobilen Geräten führt zur vollständigen Integration der KI-Verfahren in die operative Auswertung von Daten und die optimale Steuerung von Explorationsarbeiten. Die von Beak Consultants GmbH entwickelten Methoden und Produkte, wie z. B. die Generierung von Prognosekarten mit KI-Verfahren unter der Software advangeo®, dienen nicht nur der Attraktivitätssteigerung Sachsens für Explorationsunternehmen, sondern auch dem Export von Technologie als Dienstleistung.

Abstract

Agricola (1556) started the systematic recording of geoscientific knowledge concerning raw materials exploration in Saxony. Over the centuries a giant amount of data was accumulated and principles of the genesis of deposits (metallogeny) were deduced. Today the amount of data increases faster than ever before. At the same time the demand for storage and analysis of large data sets increases. The public availability of geodata is becoming an economic factor.

With its excellent state of knowledge concerning economic geology and the large amount of publically available mostly historical geodata, Saxony and the Erzgebirge in particular offer favorable conditions for the development and testing of AI-based methods of data interpretation for the development of raw materials prognoses and the identification of exploration targets. The R&D projects executed by Beak Consultants GmbH in the last 10 years led to the development of the advangeo® Prediction Software which integrates a number of AI methods (e.g. artificial neural networks, Random Forest) and makes them available to non-experts. The utilization of mobile devices allows for the total integra-

tion of AI methods into operative data analysis and the optimized management of exploration activities. The methods and products developed by Beak Consultants GmbH – such as the AI-generated prognostic maps in the advangeo® Software – serve not only to promote Saxony to raw materials explorers, but also to export knowledge and technology as a service.

Metallogenie und Rohstoffforschung im analogen Zeitalter

Im Jahre 1556 vollzog sich eine Revolution im Bereich der Rohstoffgeologie – Georg Agricola brachte das über Jahrhunderte angesammelte empirische Wissen zu Papier und schuf damit die Voraussetzungen für die systematische Suche, Erkundung und Gewinnung von Rohstoffen (Abbildung 1). Die Voraussetzungen dafür waren hervorragend. Im Erzgebirge und speziell in Freiberg wurden bereits über Jahrhunderte Rohstoffe wie Zinn, Silber, Kupfer und Eisen gewonnen, es gab eine vergleichsweise moderne und effiziente öffentliche Verwaltung, die bergmännischen Arbeiten und die gewonnenen Rohstoffe wurden registriert und die Kosten der Ausbeute gegenübergestellt, die Arbeitsteilung war weit entwickelt. Mit der Fixierung des vorhandenen empirischen Wissens auf Papier waren die Grundlagen der Metallogenie geschaffen: auf den Zeichnungen Agricolas wurde der Rohstoff als Bestandteil des geologischen Umfeldes verstanden. Das metallogenetische Schema als Modellvorstellung existierte damit bereits vor der Karte (Abbildung 1).

Obwohl die älteste eindeutig als Landkarte identifizierbare Darstellung, der auf etwa 1150 v. Chr. datierte Turiner Papyrus, bereits die Lage von Goldlagerstätten und Gesteinsvorkommen im Wadi Hammamat in Ägypten zeigt (Harrell & Brown, 1992), ist die systematische Zusammenführung von Rohstoffen und Geologie in Landkarten eine Erfindung der Neuzeit: Im Jahr 1778 legte der Sächsische Berghauptmann Johann Friedrich Wilhelm von Charpentier seine „Petrographische Karte des Churfürstenthums Sachsen [...]“ vor, die als eine der ersten geologischen Karten im modernen Sinne gelten kann.

Die etwa ab Mitte des 19. Jahrhunderts beginnende systematische geologische Kartierung schaffte schließlich die Voraussetzungen, um den Zusammenhang von geologischen Faktoren und dem Auftreten von Lagerstätten umfassend räumlich korrekt darzustellen zu analysieren: Louis de Launay (1913) prägte in seinem Werk „Traité de métallogénie“ den Begriff und das Konzept der Metallogenie als Studium der Mineralvorkommen und der für ihre Bildung verantwortlichen geologischen Faktoren. Im 20. Jahrhundert wurden metallogenetische Karten zum Standard für die Darstellung räumlicher, zeitlicher und genetischer Zusammenhänge zwischen Lagerstättenbildung und geologischem Umfeld. Wegweisend waren in Sachsen insbesondere die Arbeiten von Tischendorf, Pälchen und Hösel (z.B. Tischendorf, 1989, Hösel & Breiter, 1995, Hösel et al., 1997).

GEORGII AGRICOLAE

DE RE METALLICA LIBRI XII. QVI
 bus Officia, Instrumenta, Machinae, ac omnia denique ad Metallum
 eam specantia, non modo luculentissime describuntur, sed & per
 effigies, suis locis inferas, adiunctis Latinis, Germanicisq; appella-
 tionibus ita ob oculos ponuntur, ut clarius tradi non possint.

E I V S D E M

DE ANIMANTIBVS SVETERRANEIS Liber ab Autore res
 cognitus: cum Indicibus diuersis, quicquid in opere tractatum est,
 pulchre demonstrantibus.



A.A.A.

BASILEAE M. D. LVI.

Cum Privilegio Imperatoris in annos v.
 & Galliarum Regis ad Sexennium.

148. 6.

272. 6.

1 2 0 7

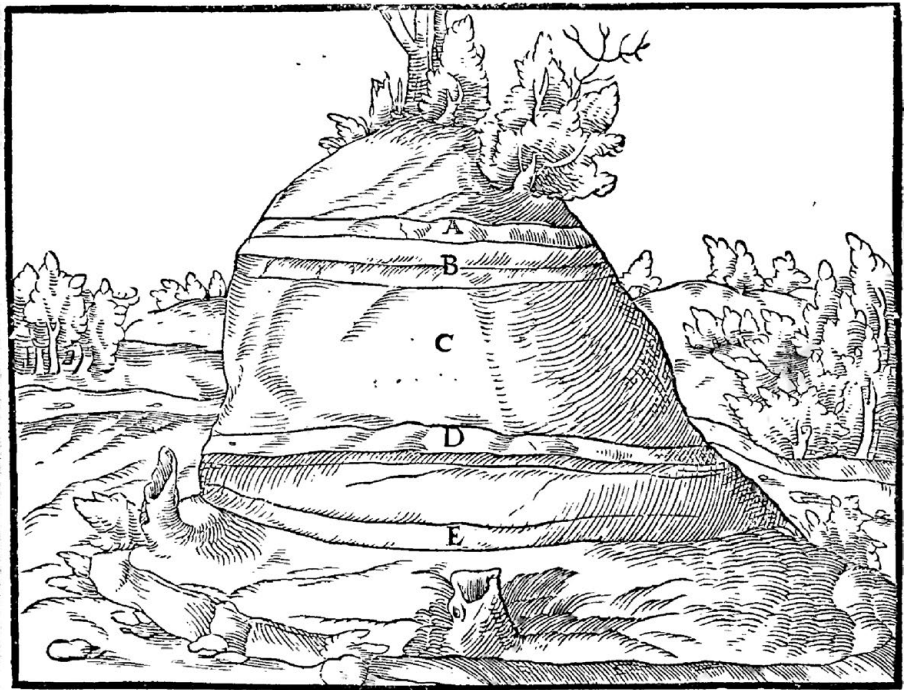


Abbildung 1: Das "metallogenetische Modell" stratiformer Rohstoffkörper bei Georg Agricola (1556, Liber III, S. 32).

Der Weg zur Digitalisierung

Die seit den 70er Jahren stark wachsenden Datenmengen aus der geologischen, geochemischen und zunehmend auch geophysikalischen Kartierung (in Sachsen besonders die Arbeiten von Tischendorf, Pälchen, Ossenkopf und Mitarbeitern sowie des VEB Geophysik Leipzig) stellten neue methodische Herausforderungen an die Dateninterpretation. Da die rechnergestützte Rasterdatenverarbeitung noch nicht zur Verfügung stand erfolgte die Analyse räumlicher Beziehungen analog. Vor dem Computerzeitalter waren Lichttische und Lichtpausen das Mittel der Wahl, man war in der Lage einige wenige Datenebenen übereinander zu legen. Erste Algorithmen zur vergleichsweise einfachen Kombination von Daten kamen zum Einsatz. Geologische Karten, geophysikalische und geochemische Daten wurden manuell auf Kästchenpapier übertragen. Anhand von Trainingsdaten (bekannte Mineralisationspunkte) wurde nach günstigen Merkmalskombinationen gesucht. Diese wurden dann manuell auskartiert.

In den 80er Jahren wurden Computer allgemein verfügbar, Geographische Informationssysteme (GIS) wurden entwickelt, Tabellenkalkulations-, Statistik-, und numerische Algebra-Programme erlaubten die Auswertung geochemischer und geophysikalischer Daten mit zunehmend rechenintensiven Methoden. Es begann der Siegeszug der statistischen Datenanalyse und der nicht überwachten Klassifikation, wie z. B. der Cluster- und Faktoranalyse. Geoinformationssysteme ermöglichten die räumliche Zuordnung großer Datenmengen und deren automatisierte Analyse.

Plotter erlaubten die Ausgabe geochemischer und geophysikalischer thematischer Karten. Diese neuen Möglichkeiten der Dateninterpretation und das zunehmend tiefe Verständnis für die Ursachen und Wirkprinzipien der Erzbildung (z.B. die Arbeiten von Garrels & Christ, 1965 und Evseeva & Perelman, 1962) führten zu neuen Herangehensweisen an die wissenschaftliche Zusammenführung von Daten. Die Grundlagen für die Kombination von wissenschaftlichen und datengetriebenen Prognoseverfahren waren geschaffen (Abbildung 2).

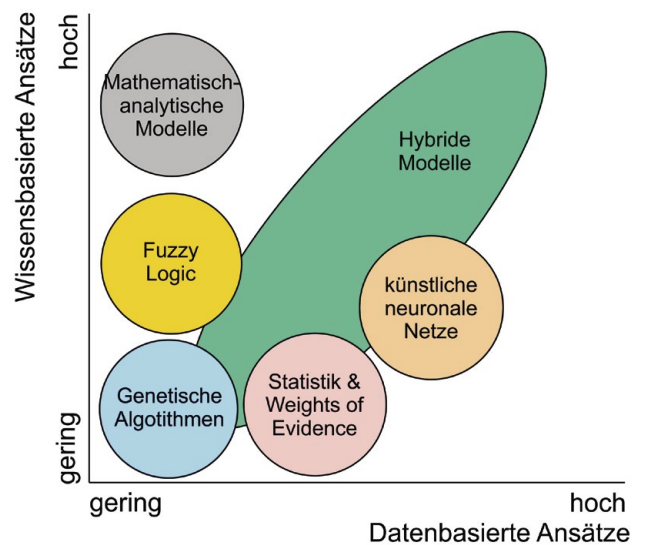


Abbildung 2: Verschiedene Prognoseverfahren und ihre Eignung zur Rohstoffprognose. (Brosig et al., 2020).

Digitalisierung und öffentliche Verfügbarkeit

Der Preis- und Verfügbarkeitschock der Rohstoffe Ende der 2000er Jahre führte zur Formulierung der Rohstoffstrategien der Europäischen Union (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2008), Deutschlands (BMWi 2020) und insbesondere auch Sachsens (SMWA 2017). Die heimischen Rohstoffe rückten wieder in den Mittelpunkt des Interesses. In Sachsen wurde z.B. das Projekt ROHSA initiiert. Dieses Umfeld wurde von Beak konsequent zur zielgerichteten Entwicklung von IT-gestützten Verfahren der Datenerfassung, Datenspeicherung und Datenprozessierung genutzt. Es entstand die advangeo® Produktpalette, bestehend aus der Prediction Software (Abbildung 3) zur Interpretation

großer Datenmengen mit KI-Verfahren im 2D und 3D - Umfeld, der advangeo® Geodatabase zur Speicherung strukturierter und nicht strukturierter Daten und der Software advangeo® FieldCap zur Erfassung von Felddaten (Abbildung 4). Wichtige Grundlage der Entwicklung rohstoffbezogener Interpretationsverfahren waren u.a. die in Sachsen in den 80er Jahren geschaffenen flächenhaften geochemischen und geophysikalischen Datengrundlagen, welche vom LfULG dafür verfügbar gemacht wurden. Die advangeo® Softwareprodukte wurden schnell im In- und Ausland (z.B. Sachsen, Tansania, Mosambik, Namibia, Rwanda, Uganda, Nigeria, Mali) mit großem Erfolg eingesetzt.

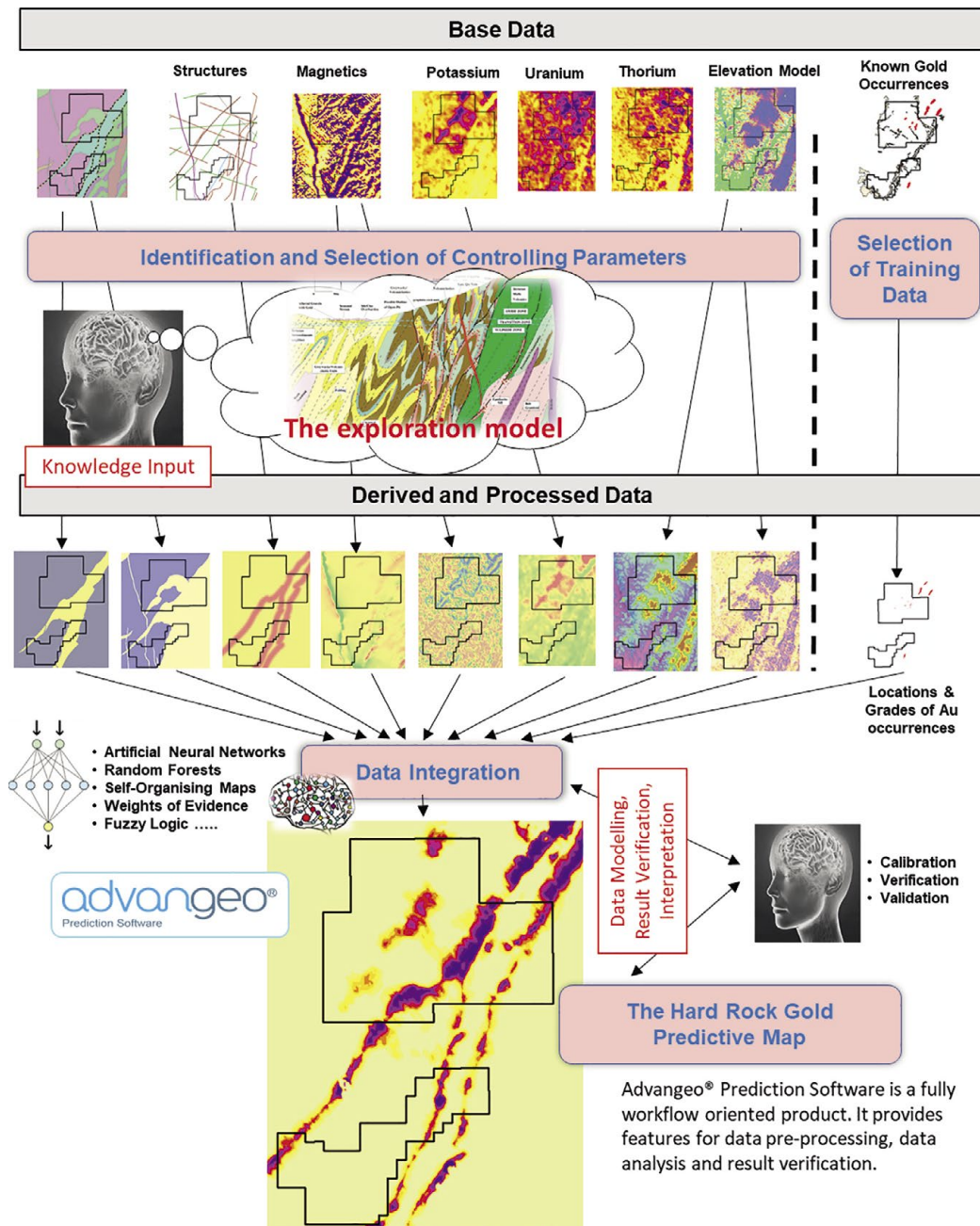


Abbildung 3: Der Datenfluss der KI-gestützten Rohstoffprognose (implementiert in advangeo® Prediction Software).



Abbildung 4: Tablet Computer mit Software zur Erfassung von Felddaten advangeo® fieldCap.

Die Kombination der Faktoren:

- Strategie zur Entwicklung von Innovationen an der Schnittstelle Geowissenschaften, Künstliche Intelligenz und Massendaten,
- Verfügbarkeit von F&E-Mitteln,
- Verfügbarkeit von Geofachdaten (jetzt in Deutschland geregelt durch das Geologiedatengesetz),
- Verfügbarkeit gigantischer Rechen- und Datenspeicherkapazitäten,
- Verfügbarkeit von Algorithmen zum Erkennen nichtlinearer und multivariater Zusammenhänge und die
- stark zunehmende Verfügbarkeit von Fernerkundungsdaten

führte letztendlich zur Entwicklung des heute bei Beak Consultants verfügbaren technologischen Vorsprungs. Die entwickelten Verfahren sind von großem Interesse für die Rohstoffprospektion, lassen sich aber ebenso gut auf viele andere praktische geowissenschaftliche Fragestellungen übertragen (z.B. Bodenschutz, Georisiken, Klimawandelforschung). Diese Kombination von Wissen, Intuition, künstlicher Intelligenz, Gewinnung und Nutzbarmachung von Massendaten revolutioniert gegenwärtig die Geowissenschaften.

**Prognosekarte (Lokalitäten)
Mittleres Erzgebirge (ROHSA 3.1)**
Zinn (Kassiterit) im Endo- und Exokontakt, strukturkontrolliert
1 : 50.000

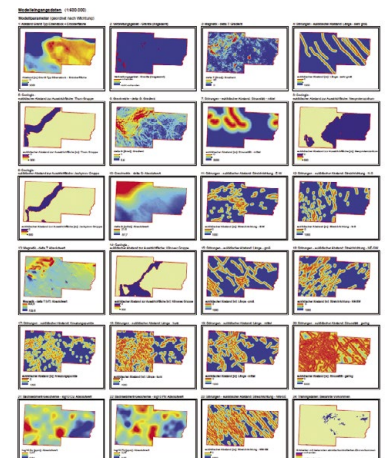
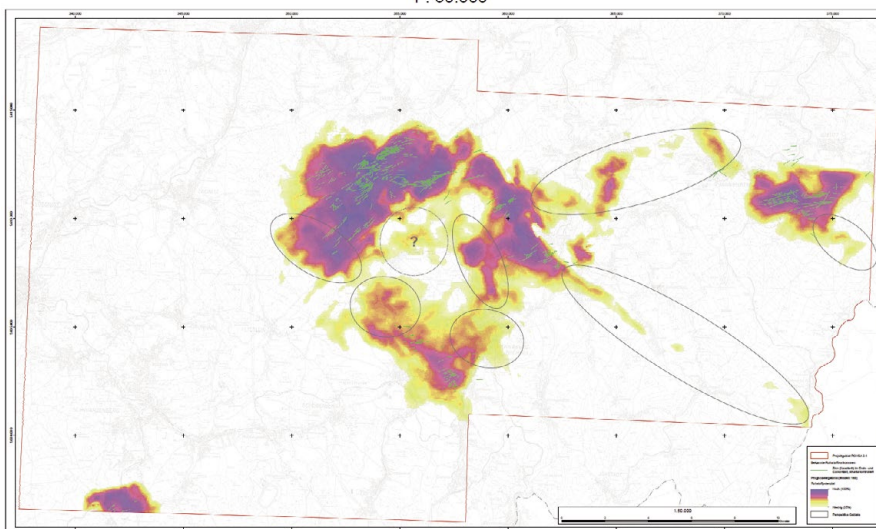


Abbildung 5: Mit KI-Verfahren erzeugte Prognosekarte für Zinn-Ganglagerstätten im mittleren Erzgebirge aus dem Projekt ROHSA 3.1.

Im Bereich der Rohstoffpotentialbewertung brachte der Einsatz von KI-Verfahren neue Impulse, unter anderem in den Projekten ROHSA 3.1, WISTAMERZ (FKZ: 033R133A), NEXT (Horizon 2020 Grant Agreement No. 776804), AFK (FKZ: 033R128), Golden Eye (Horizon 2020 Grant Agreement No. 869398). Der Kenntnisdstand speziell zu Zinn- und Wolfram-Mineralisationen im Erzgebirge wurde zusammengefasst und im Rahmen aktualisierter Explorationsmodelle bewertet. Mit KI-Methoden wurden Prognosekarten und auch prognostische 3D-Modelle für verschiedene Lagerstättentypen dieser Metalle erzeugt (Barth et al. 2019; Brosig et al., 2020; Abbildungen 5, 6). Wesentliche Ergebnisse werden fortlau-

fend auf der Website www.rohstoffe-erzgebirge.de (Abbildung 6) bereitgestellt. Als Ergebnis dieser Arbeiten rückten z. B. die so genannten Zinnlager im mittleren Erzgebirge ins Zentrum des weiteren Forschungsinteresses, da diese einen bisher wenig verstandenen, aber offenbar bedeutenden und weit verbreiteten Typ von metamorphogenen Zinnmineralisationen darstellen. Die zukünftige Entwicklung wird stark geprägt sein von der kompletten Digitalisierung des Prozesses der Datenerhebung, Datenspeicherung, Datenaggregation, Datenbereitstellung und Datennutzung.

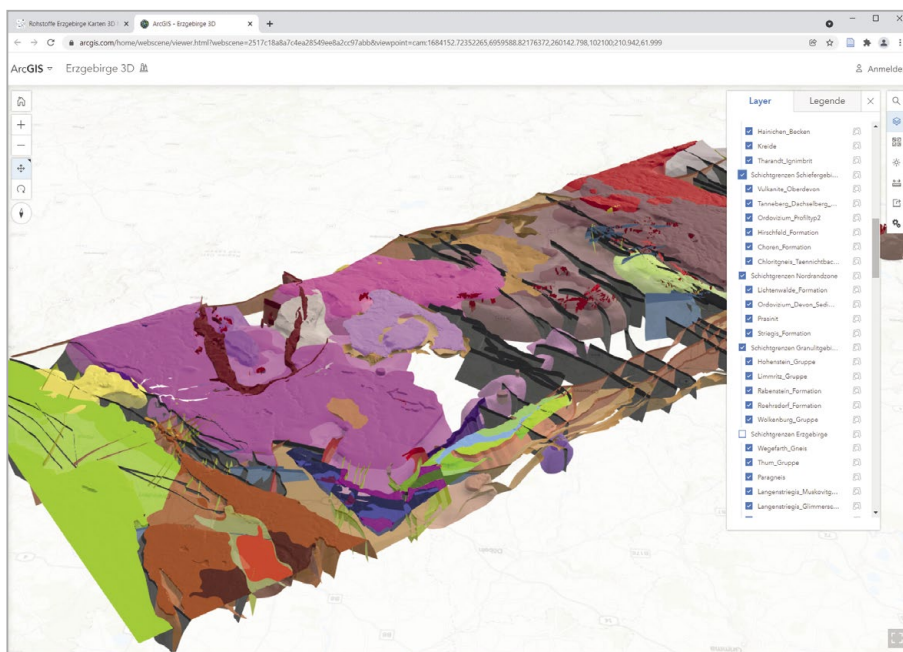
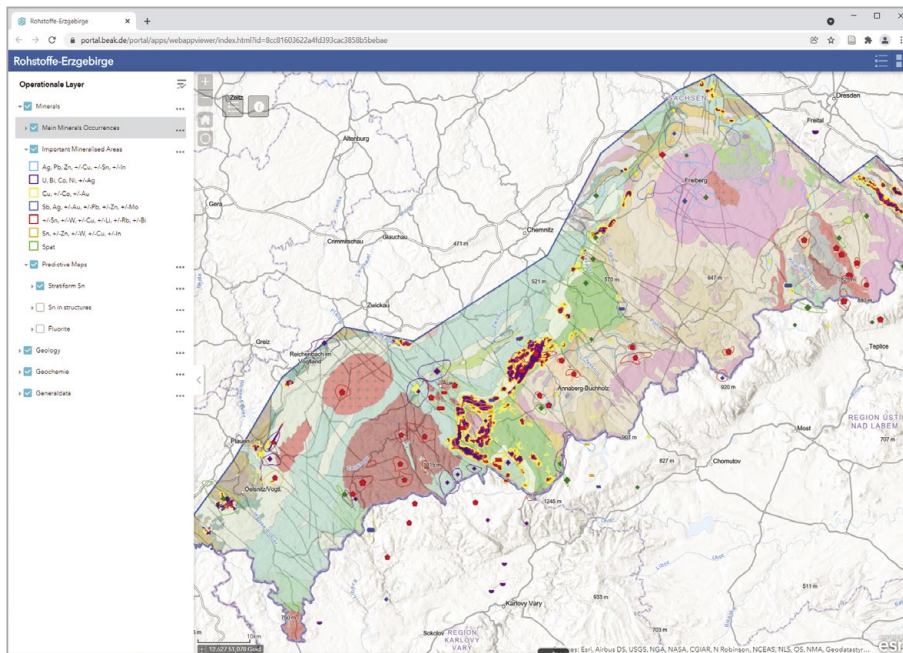


Abbildung 6: Karten- und 3D-Anwendung auf der Website, auf der Beak zahlreiche Ergebnisse der rohstoffbezogenen Forschung im Erzgebirge vorstellt.

Rohstoffe für die Zukunft

Die angestrebte Energiewende erfordert große Mengen an Rohstoffen, die aufgrund des bisher geringen Bedarfs nur unzureichend erkundet wurden und/oder bei denen die Versorgungssicherheit gefährdet ist, da nur wenige Länder diese in nennenswerter Menge fördern. Das betrifft z. B. Metalle wie Lithium und Vanadium für Energiespeicher; Tellur, Indium und Germanium für Photovoltaikanlagen; Platin und Palladium für Brennstoffzellen; Seltene Erden für Permanentmagnete und Kobalt für Energiespeicher, Magnete und Elektrolyse (Angerer et al., 2016). Insofern gewinnen sowohl regionale als auch lokale Prognosen dieser Rohstoffe erheblich an Bedeutung. Zukünftig werden KI-gestützte Verfahren bei der schnellen Potenzialbewertung großer Territorien auf der Basis vorhandener Daten eine wichtige Rolle einnehmen.

Von den genannten Metallen ist in Sachsen gegenwärtig vor allem das Lithium Gegenstand der Untersuchungen. Im Forschungsprojekt LIGHTS untersucht Beak gemeinsam mit dem GeoForschungsZentrum Potsdam und weiteren Partnern aus Frankreich, Spanien und Portugal die Identifikation von Lithiummineralisationen mit Hyperspektraldaten. Perspektivisch soll so z. B. die Ermittlung der Wertstoffgehalte in Zinnwaldit-Greisen direkt beim Abbau durch Daten von Hyperspektralkameras durchgeführt und so eine optimierte Abbauführung ermöglicht werden (Abbildung 7).

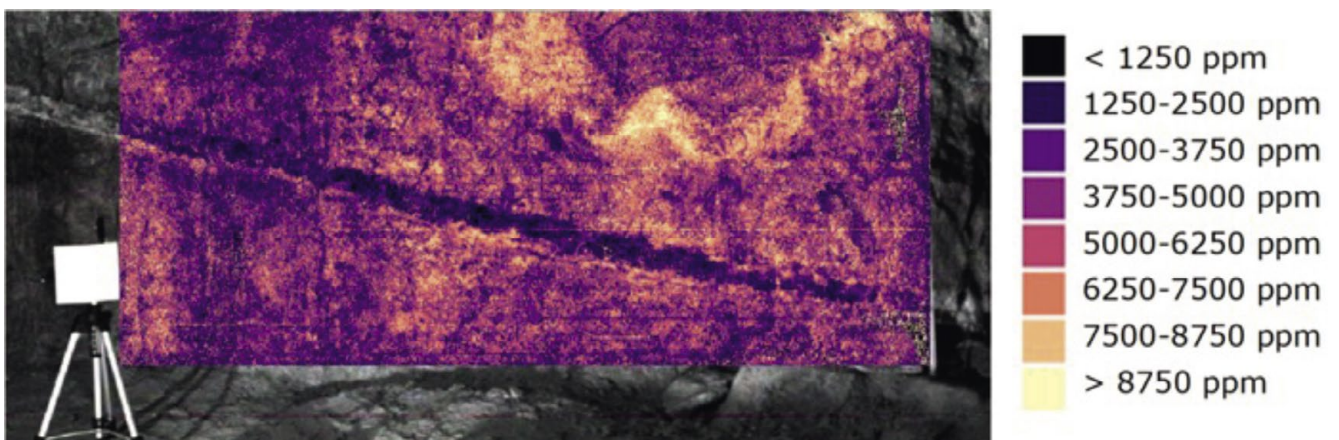


Abbildung 7: Prognose der Lithiumgehalte in einem 2,5 m² großen Ausschnitt eines Stoßes im Greisenkörper von Zinnwald.

Die Li-Gehalte wurden aus Hyperspektralaufnahmen (Quelle: GeoForschungsZentrum Potsdam) mit Hilfe von KI-Verfahren berechnet. Der quer verlaufende lithiumarme Bereich ist ein Quarzgang („Flöz“) im Quarzglimmergreisen.

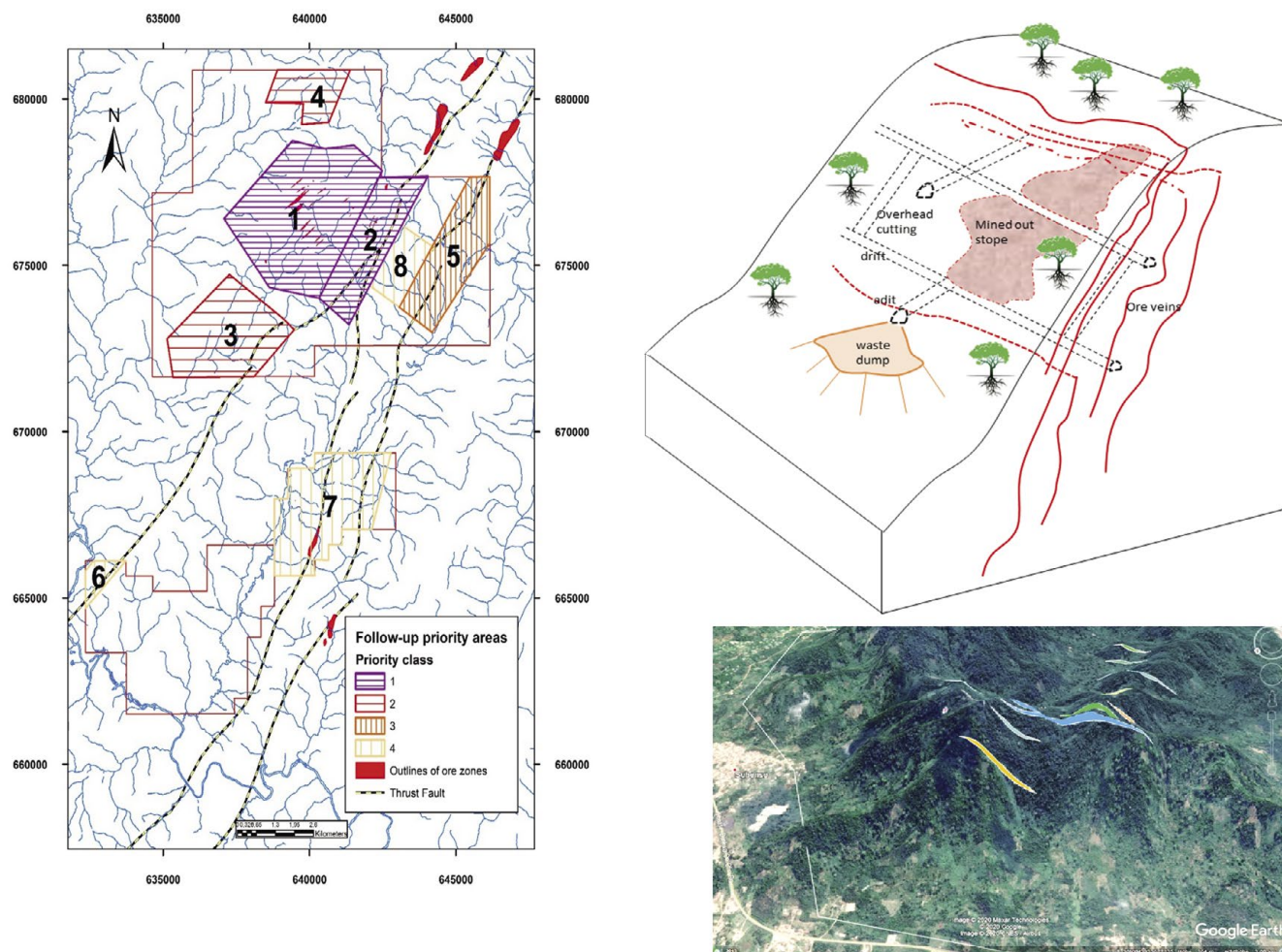


Abbildung 8: Prognose für Goldgewinnung im Kleinbergbau in zwei Konzessionsgebieten bei Dunkwa, Ghana: Links die KI-generierte Höffigkeitskarte, rechts die goldführenden Strukturen und ein Schema zum Abbau mit Methoden des Kleinbergbaus (Barth et al., 2021).

Die in Sachsen entwickelten Technologien werden breit international eingesetzt, so z. B. in Ghana und Burkina Faso zur Identifizierung von neuen Explorationszielen (z. B. BARTH et al. 2021; Abbildung 8) und zur Diversifizierung des Rohstoffsektors als nationale Entwicklungsstrategie. Gleichzeitig geht die Entwicklung der KI-basierten Rohstoffprognose weiter, mit dem Ziel hochauflösender 3D-Prognosemodelle und der Integration der Zeitdimension in die KI-Modelle.

Danksagung

Wir danken unseren Kollegen und Partnern für die langjährige, konstruktive und ergebnisorientierte Zusammenarbeit, insbesondere dem Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, dem Sächsischen Oberbergamt, der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, der Deutschen Lithium GmbH, der Ghana Geological Survey Authority, dem Geological Survey of Namibia, dem Ministry of Mines and Steel Development Nigeria, dem Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (Burkina Faso), dem Ministère du Plan, de l'aménagement du Territoire et du Développement Communautaire (Niger), dem Ministry of Mineral Resources and Energy (Mosambik), dem Geological Survey of Tanzania, dem Directorate of Geological Survey and Mines (Uganda), der Independent Commission for Mines and Minerals (Kosovo), dem Finnischen Geologischen Dienst, dem Bureau de Recherches Géologiques et Minières (Frankreich), sowie dem Bundesministerium für Bildung und Forschung, dem Bundesministerium für Wirtschaft und der Europäischen Union.

Referenzen

- Agricola, G. (1556): De re metallica libri XII. Frobenius, Basel. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/73703#page/48/mode/1up>
- Angerer, G., Buchholz, P., Gutzmer, J., Hagelüken, C., Herzig, P., Littke, R., Thauer, R.K., Wellmer, F.-W. (2016): Rohstoffe für die Energieversorgung der Zukunft - Geologie – Märkte – Umwelteinflüsse. Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft, München.
- Barth, A., Tokorno, S., Boamah, K., Brosig, A., Hannelli, D., Schaefer, S., Bartels, E., Boamah, D. (2021): Exploration Targeting for small-scale Gold Mining Operations in the Dunkwa Area of Ghana. *GeoResources Journal* 2/2021, S. 43-49.
- Barth, A., Brosig, A., Kallmeier, E., Legler, C., Schaefer, S., Bock, P., Knobloch, A., Reißmann, R., Hertwig, T., Volkmer, G., Stanerk, K.-P., Seifert, T. (2019): Metallogenic Map of the Erzgebirge / Vogtland Area. <https://rohstoffe-erzgebirge.de/metallogenic-map>
- Brosig, A., Barth, A., Knobloch, A., Dickmeyer, E. (2020): Rohstoffprognosen für Zinn, Wolfram, Fluss- und Schwespat im Mittel Erzgebirge. *Bergbaumonographie - Bergbau in Sachsen*, Band 19. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/37149>
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) (2020): Rohstoffstrategie der Bundesregierung – Sicherung einer nachhaltigen Rohstoffversorgung Deutschlands mit nichtenergetischen mineralischen Rohstoffen. <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.html>
- Charpentier, J. F. W. v. (1778): Petrographische Karte des Churfürstenthums Sachsen und der Incorporirten Lande / in welcher durch Farben und Zeichen die Gesteinarten, durch die an mehreren Orten beygesetzten Zahlen aber die nach Barometrischen Beobachtungen gefunden Höhen dieser Örter über Wittenberg in Pariser Fuss angegeben worden sind. SLUB Dresden, A19894.
- Europäische Kommission (2008): Die Rohstoffinitiative – Sicherung der Versorgung Europas mit den für Wachstum und Beschäftigung notwendigen Gütern. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008DC0699>
- Evseeva, L.S., Perelman, A.I. (1962): *Geokhimiya urana v zone gipergenezna*. Gosatomizdat, Moskau.
- Garrels, R.M., Christ, L.C. (1965): *Solutions, minerals, and equilibria*. Harper & Row, New York.
- Harrell, J.A., Brown, V.M. (1992): The world's oldest surviving geological map – the 1150 BC Turin papyrus from Egypt. *Journal of Geology* 100, S. 3–18.
- Hösel, G.; Tischendorf, G.; Wasternack, J.; Breiter, K.; Kuschka, E.; Pälchen, W.; Rank, G.; Stempok, M. (1997) Erläuterungen zur Karte „Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory 1:100000“, Karte 2: Metalle, Fluorit/Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt. *Bergbaumonographie Bergbau in Sachsen Band 3*, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Hösel, G., Breiter, K. (Eds.) (1995): *Mineralische Rohstoffe Erzgebirge-Vogtland/Krušné hory – Karte 2: Metalle, Fluorit, Baryt – Verbreitung und Auswirkungen auf die Umwelt*. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- de Launay, L. (1913): *Traité de métallogénie : gîtes minéraux et métallifères : gisements, recherche, production et commerce des minéraux utiles et minerais, description des principales mines*. 3 Bände, C. Béranger, Paris.
- Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA) (2017): *Rohstoffstrategie für Sachsen. Rohstoffwirtschaft – eine Chance für den Freistaat Sachsen*, 2. Auflage. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/16194>
- Tischendorf, G. (Ed.) (1989): *Silicic Magmatism and Metallogenesis of the Erzgebirge*. Veröffentl. Zentralinst. Physik der Erde, 107, Potsdam.

Gastbeitrag



Lumineszenz eines kulturhistorischen Erbes: Der Topas vom Schneckenstein, Sachsen, Deutschland



**Manuela Zeug,
Lutz Nasdala,
Chutimun Chanmuang N.,
Manfred Wildner**

Universität Wien,
Institut für Mineralogie und Kristallographie
Althanstraße 14
1090 Wien, Österreich
E-Mail: manuela.zeug@univie.ac.at

Christoph Hauzenberger

Karl-Franzens-Universität Graz
NAWI Graz Geozentrum
Universitätsplatz 2
8010 Graz, Österreich

Zur Autorin

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Dr. Manuela Zeug ist derzeit Postdoc am Institut für Mineralogie und Kristallographie. Ihr Promotionsstudium innerhalb des Themenfeldes der Festkörperspektroskopie im Bereich der materialwissenschaftlichen Mineralogie hat sie im Dezember 2019 erfolgreich beendet. Ihre Forschungsinteressen umfassen unter anderem die Erforschung der Anwendungsmöglichkeiten spektroskopischer Methoden in den Geowissenschaften mit dem Schwerpunkt auf die Raman Spektroskopie, Photolumineszenzspektroskopie und Anregungsspektroskopie. Des Weiteren beschäftigt sie sich mit der mineralogischen und spektroskopischen Charakterisierung von Edelsteinmaterialien wie dem Schneckenstein-Topas in dem vorgestellten Fachbeitrag. Die Petrologie und Geochemie magmatischer und metamorpher Gesteine gehören ebenso zu ihren Fachkompetenzen.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie? Was ist mir wichtig?

Die sächsische Geologie lernte sie ausführlich während einer Exkursion im Jahr 2014 kennen, wo sie die Möglichkeit bekam Topasproben für ihre Untersuchungen am Schneckenstein zu sammeln. Neben diesen Edelsteintopasen vom Schneckenstein existieren in Sachsen noch weitere interessante Mineralfundstellen, wo weitere Untersuchungen durchaus zu neuen Erkenntnisse führen können.

Projektvorstellung

Zusammenfassung

Der Topas aus dem sächsischen Schneckenstein ist ein historisch bedeutender Edelstein, welcher nicht nur in Deutschland, sondern auch über die Landesgrenzen hinaus bekannt ist. Unter kurz- und langwelligen UV-Lampen scheint der Schneckenstein-Topas inert zu sein. Wird der Topas hingegen mit Licht aus dem violetten bis blauen Bereich des elektromagnetischen Spektrums (Wellenlängen zwischen 385 und 450 nm) beleuchtet, zeigt er eine intensive rosarote Lumineszenz, die auf Spuren von Cr^{3+} (Konzentration 10-40 ppm) zurückzuführen ist. Dieses Lumineszenz-Verhalten wurde mit Hilfe der Anregungs- und Emissionsspektroskopie untersucht.

Abstract

Topaz from the Schneckenstein crag in Saxony, Germany is a historically important gemstone that is famous not only in Germany but also worldwide. Schneckenstein topaz appears inert under short- and long-wave UV lamps. However, when illuminated with light in the violet-to-blue range of the electromagnetic spectrum (wavelengths between 385 and 450 nm), the material reveals intense pinkish-red luminescence caused by trace- Cr^{3+} (concentration 10-40 ppm). This luminescence behaviour was investigated using excitation and emission spectroscopy.

Historischer Abriss

Gewerbsmäßiger Abbau von Topas am Schneckenstein fand nur im 18. Jahrhundert statt. Im Jahr 1727 erhielt der Auerbacher Kürschner und Tuchmacher Christian Kraut vom damaligen Gutsherrn von Trützschler die Erlaubnis zum Abbau. Bereits kurz darauf kaufte der sächsische Kurfürst und Herzog Friedrich August I., bekannt als "August der Starke" (1670-1733; als August II. auch König von Polen und Großfürst von Litauen), den Schneckenstein vom verarmten von Trützschler. Er erlaubte den weiteren Abbau nur unter der Bedingung, dass Kraut die größten und schönsten Exemplare an ihn abtreten würde.

Fortan war der Schneckenstein als "Königskrone" bekannt und die weingelben Topase seinerzeit sehr begehrt. In der Folge wurden, vor allem während der Regentschaft von Friedrich August II. (Kurfürst und Herzog von Sachsen von 1733 bis zu seinem Tode 1763), außergewöhnliche Schmuckstücke und Kunstobjekte geschaffen. Mehrere dieser Objekte mit Schneckensteiner Topas, welche enormen kulturhistorischen Wert besitzen, können heute im Grünen Gewölbe in Dresden besichtigt werden. Ein weiteres historisch bedeutsames Objekt ist eine Krone mit 485 Topaskristallen vom Schneckenstein, welche Georg III. von Großbritannien und Irland (1738-1820) seiner Frau Charlotte anlässlich ihrer gemeinsamen Krönung 1761 anfertigen ließ (vgl. Charpentier, 1778). Es wird vermutet, dass diese Krone inzwischen demontiert und die Juwelen für anderen Schmuck verwendet wurden (Vollstädt & Lahl, 1997).

Ende des 18. Jahrhunderts wurden die Bergbauaktivitäten eingestellt, da die Ausbeutung nicht mehr rentabel war. Hingegen nahm das wissenschaftliche Interesse am Schneckenstein zu. Die erste ausführliche Beschreibung des Vorkommens verfasste Johann Gottlieb Kern aus Freiberg im Jahr 1744, "Umständliche Beschreibung des Schneckensteins"; sie wurde jedoch erst nach seinem Tod im Jahre 1776 veröffentlicht (Kern, 1776). Bis heute hält das wissenschaftliche Interesse an, und es folgten zahlreiche Publikationen (vgl. Schrön, 1968; Seim & Schweder, 1969; Breiter et al., 2013a). Der 1773 in Gernrode (Deutschland) geborene und 1839 in Wien (Österreich) beigesetzte Mineraloge Carl Friedrich Christian Mohs nahm den Schneckenstein-Topas als Referenzmineral für Härte 8 in die heute nach ihm benannte, zehnteilige „Mohs'sche Ritzhärteskala" auf (Mohs, 1822). Seit 1938 ist der Schneckenstein als geologisches Naturdenkmal anerkannt. Der Felsen und seine unmittelbare Umgebung sind heute Landschaftsschutzgebiet, was bedeutet, dass das Sammeln und Graben streng verboten sind, um den Erhalt dieses historischen Denkmals zu gewährleisten.

Regionalgeologischer Rahmen

Der Schneckenstein liegt 890 m über dem Meeresspiegel zwischen Falkenstein und Klingenthal im südlichen Teil des Vogtlandes. Die Bildung des Schneckensteins und seiner Topaskristalle steht im Zusammenhang mit dem Eibenstocker Turmalin-Granit, dessen Kontakt sich etwa 400 m nordöstlich des Schneckensteins befindet (Seim & Schweder, 1969). Der Eibenstocker Granit intrudierte vor ca. $319,8 \pm 1,0$ Ma (Tichomirowa & Leonhardt, 2010) in ordovizische spätkollisionale Granite und wandelte seine innere Kontakt-Aureole zu Hornfels um (Förster et al., 1999, Lahl, 2012). Während der Intrusion kam es auch zur Bildung mehrerer Explosionsschlote, welche mit Quarzporphyren oder mit Brekzien in einer feinkörnigen Grundmasse verfüllt wurden, gefolgt von einer Vergreisung dieser Schlote (Baumann & Gorny, 1964). Der Schneckenstein ist einer dieser Schlote. Heute überragt der noch nicht abgebaute Teil des Schneckensteins auf Grund seiner Verwitterungsbeständigkeit die umliegende Topographie um 24 m (Schröder 1915, Baumann & Gorny, 1964).

Die Bildung von Topas in Edelsteinqualität ist das Ergebnis eines zweistufigen Prozesses. Zunächst führte Infiltration mit Bor zur Bildung von Turmalin-Lagen. In einer zweiten Phase führten fluorreiche Lösungen zur Bildung von Topas, welcher den ehemaligen Turmalin teilweise ersetzt (Lahl, 2012). Die vergreiste Brekzie besteht aus faustgroßen Bruchstücken eines quarzitischen, schieferartigen Turmalin-Gesteins, das durch Topas- und Quarzkristalle zementiert ist (Abbildung 1; Schröder 1915, Seim & Schweder, 1969). Die schönsten Topaskristalle in Edelsteinqualität, die als schleifwürdig gelten, wurden in Drusen gefunden (Schröder, 1915).



Topas vom Schneckenstein zeigt zumeist gelbe Farbtöne, welche von blassgelb bis orangebraun reichen; am begehrtesten ist eine für dieses Vorkommen typische weingelbe Farbe. Auch treten häufig farblose sowie seltener bläuliche, blassviolette oder grünliche Topaskristalle auf (z. B. Schröder, 1915). Letztere Farben sind vermutlich auf Einschlüsse zurückzuführen (Lahl, 2012).

Abbildung 1: Gelber Topas mit Quarz auf Greisen vom Schneckenstein, Sachsen, Deutschland (Fotografie von Manfred Wildner).

Zusammenfassung der Topasstudie

Es wurden die chemischen und spektralen Eigenschaften von 13 Topaskristallen (0,47–3,9 g) vom Schneckenstein untersucht. Sieben Exemplare wurden während einer studentischen Exkursion im Jahr 2014 im Schneckenstein gesammelt, drei Exemplare wurden aus der Museumssammlung des Vogtländisch-Böhmischen Mineralienzentrums Schneckenstein zur Verfügung gestellt und drei entstammen der Sammlung des Instituts für Mineralogie und Kristallographie der Universität Wien. Die Kristalle sind durchsichtig und zeigen verschiedene Gelbtöne. Einige Exemplare sind einschlussreich und weisen gasförmige (hauptsächlich CO₂), flüssige (hauptsächlich H₂O) und feste Einschlüsse auf. Fluideinschlüsse sind häufig zwei- oder mehrphasig. Mineraleinschlüsse in den Topasproben konnten mittels Ramanspektroskopie als Apatit, Quarz, Zirkon, ein Mineral der Xenotim-Gruppe und Rutil identifiziert werden.

Die aus den Ergebnissen von mittels Elektronenstrahlmikrosonde durchgeführten chemischen Analysen berechnete Formel für den Schneckenstein-Topas lautet $Al_{1,99} Si_{1,01} O_{4,00} [F_{0,84} (OH)_{0,16}]_2$. Mittels induktiv gekoppeltem Plasma-Massenspektrometer mit Laserablation wurden die Spurenelementgehalte gemessen. Alle Proben weisen nur geringe Gehalte an Fremdelementen auf. Die

von uns ermittelten Gehalte von Gallium (2–3 ppm) und Germanium (40–70 ppm) stimmen sehr gut mit denen aus früheren Studien überein [~69 ppm Ge von Goldschmidt & Peters (1933); 50–86 ppm Ge von Seim & Schweder (1969); 42–116 ppm Ge und 2–4 ppm Ga von Breiter et al. (2013a)]. Hohe Ge- und vergleichsweise niedrige Ga-Gehalte in den Topaskristallen sind charakteristisch für die Bildung in einem späten hydrothermalen Stadium, welches der Greisenbildung unter pneumatolytischen Bedingungen nachfolgte (Breiter, 2013b).

Im Gegensatz zu einem „Imperial“-Topas ist der Chromgehalt der Schneckenstein-Topasproben mit 10–40 ppm zu niedrig, um als nennenswerte Ursache der Farbe in Betracht zu kommen. Nach Petrov (1977) wird die Färbung des Schneckenstein-Topases hauptsächlich durch defektbedingte Farbzentren hervorgerufen. Es ist bekannt, dass die Ausheilung solcher Defekte durch thermische Behandlung zu einer Farbveränderung, sowohl bei „Imperial“- als auch anderen Topaskristallen führen kann (Schott et al., 2003; Greenidge, 2018). Der Schneckenstein-Topas verliert nach Ausheizen seine gelbe Farbe (Abbildung 2a und b), was darauf hindeutet, dass eine von Cr³⁺ oder anderen Übergangsmetallen bedingte Absorption nicht signifikant ist.



Abbildung 2: Fotos eines Topaskristalls vom Schneckenstein (0,41 g).

a) Natürliche gelbe Farbe des Schneckenstein-Topases. b) Nach Ausheizen der gelben Topasprobe bei 550 °C für 48 h (unter natürlichen Umgebungsbedingungen) verliert diese vollständig ihre Farbe und erscheint im Tageslicht farblos. c) Sowohl der natürliche (nicht abgebildet) als auch der geheizte Topaskristall zeigen unter LED-Beleuchtung bei 390 nm eine ziemlich intensive, rosa-rote Lumineszenz (Fotografien: Manuela Zeug).

Die sichtbare rosarote Emission (Abbildung 2c) wird durch Cr^{3+} verursacht. Sie wird vor allem dann angeregt, wenn der Schneckenstein-Topas mit Licht einer Wellenlänge zwischen 385-450 nm angestrahlt wird. Unter lang- und kurzwelligem Licht (etwa 365 nm bzw. 254 nm Wellenlänge), welches üblicherweise bei der praktischen Edelsteinanalyse zum Einsatz kommt, ist dagegen nahezu keine Photolumineszenz (PL) sichtbar. Dieses

Lumineszenz-Verhalten ähnelt dem von Smaragd, steht aber in gewissem Gegensatz zu dem von Rubin, welcher unter einer langwelligeren UV-Lampe immer noch eine deutliche rote Lumineszenz zeigt. Mineralspezifische Kristallfeldeffekte in Smaragd, Rubin und Topas bewirken Unterschiede in den jeweiligen Anregungseigenschaften des Chroms (Abbildung 3).

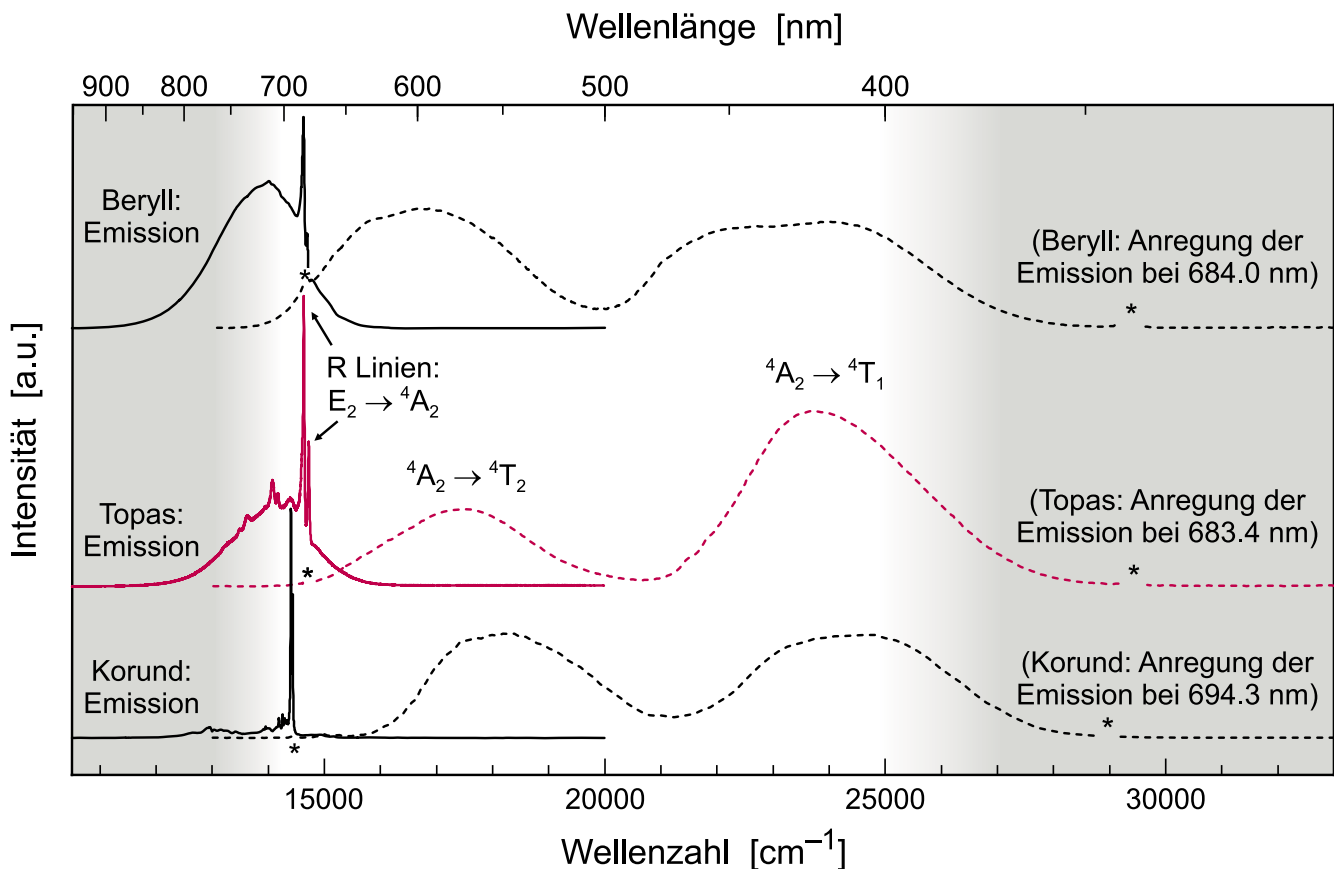


Abbildung 3: Anregungsspektrum (d. h. Intensität der durch Cr^{3+} hervorgerufenen Emission bei $\sim 683,4$ nm in Abhängigkeit von der Anregungsenergie) und das mit 325 nm Anregung aufgenommene Photolumineszenzspektrum vom Schneckenstein-Topas.

Zum Vergleich werden die Anregungs- und Emissionsspektren vom Korund (Rubin) und Beryll (Smaragd) gezeigt. Für das menschliche Auge nicht sichtbare Spektralbereiche sind grau unterlegt. Die mit Sternchen gekennzeichneten Unterbrechungen in den Anregungsspektren sind analytische Artefakte (einfache und doppelte Emissionsenergie). Man beachte die Verschiebung der beiden Hauptabsorptionsbanden zwischen den drei Mineralen. Zur Bandenzuordnung siehe Tarashchan et al. (2006).

Im Vergleich zum Topas zeigt das Anregungsspektrum von Rubin eine Verschiebung einer der Hauptabsorptionsbanden von Cr^{3+} , welche mit ${}^4\text{T}_1$ bezeichnet wird, hin zu höheren Energien bzw. zu niedrigeren Wellenlängen. Für weitere Einzelheiten möchten wir auf die Arbeit von Sugano et al. (1970) verweisen: Das Tanabe-Sugano-Diagramm beschreibt die Aufspaltung und Energieänderung von elektronischen Niveaus in Abhängigkeit von der Kristallfeldstärke.

Abbildung 3 zeigt die Emissionsspektren von Smaragd, Topas und Rubin. Die Verschiebung des ${}^4\text{T}_2$ -Elektronenniveaus von Cr^{3+} in Topas hin zu (im Vergleich zu Rubin) niedrigeren Energien führt bei Raumtemperatur zu einem Gleichgewicht zwischen dem

${}^2\text{E}$ -Niveau und dem ${}^4\text{T}_2$ -Niveau (Gaft et al., 2003). Daher ist die Cr^{3+} -Emission des Schneckenstein-Topases sowohl auf den Spin-verbotenen ${}^2\text{E} \rightarrow {}^4\text{A}_2$ Übergang (zwei schmale R-Linien bei $\sim 683,4$ und $\sim 679,4$ nm Wellenlänge) als auch den Spinerlaubten ${}^4\text{T}_2 \rightarrow {}^4\text{A}_2$ Übergang (darunter liegende breite Bande) zurückzuführen. Die breite Bande ist von einzelnen Banden geringerer Intensität überlagert (~ 710 nm bzw. ~ 694 nm Wellenlänge), deren Zuordnung noch umstritten ist. Sie wurden als Emissionen von Cr^{3+} -Ionenpaaren (Gaft et al., 2003) bzw. vibronische Kopplungen (Tarashchan et al., 2006) interpretiert. Im Gegensatz zu Topas ist die breite Bande des Spinerlaubten ${}^4\text{T}_2 \rightarrow {}^4\text{A}_2$ Übergangs im PL-Spektrum eines Rubins nicht sichtbar, da hier der energetische Abstand zwischen dem ${}^4\text{T}_2$ - und ${}^2\text{E}_2$ -Niveau bei Raumtemperatur

peratur so groß ist, dass sich die Niveaus nicht überlagern (Tarashchan et al., 2006). Die Emission des Schneckenstein-Topases ist angesichts seines doch recht geringen Chromgehalts vergleichsweise intensiv, was letztendlich auch darin begründet sein mag, dass die PL unterdrückende Elemente wie beispielsweise Fe^{2+} in extrem geringer Konzentration vorliegen. Viele andere der von uns untersuchten hellen Edelsteintopaskristalle (Namibia, Pakistan, Ural) lumineszieren praktisch überhaupt nicht.

Ein Manuskript, in welchem die hier auszugsweise zusammengefassten und weiteren Ergebnisse ausführlich diskutiert werden, wurde kürzlich zur Publikation bei einem internationalen geminologischen Journal eingereicht.

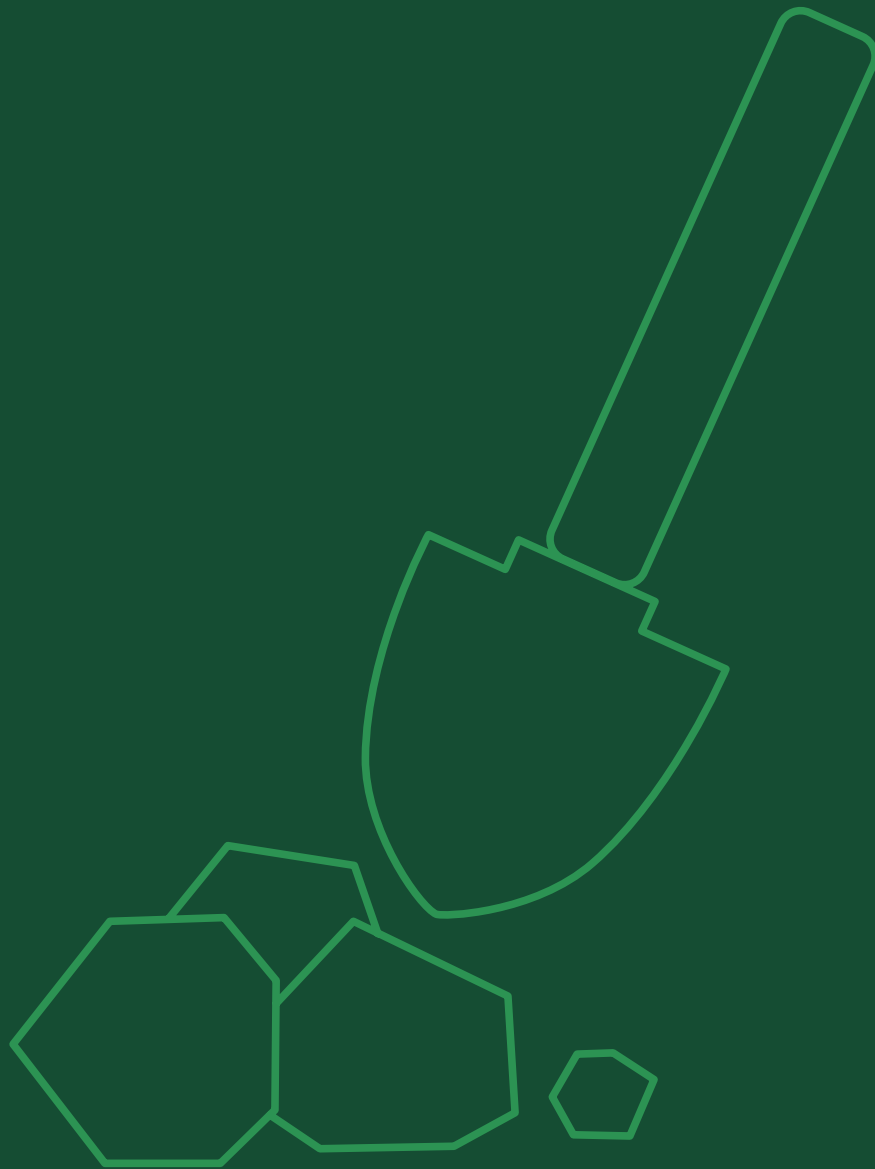
Danksagung

Wir bedanken uns bei Steffen Gerisch (vogtländisch-böhmisches Mineralienzentrum Schneckenstein, Deutschland) für die Bereitstellung von Proben zur Analyse, Andreas Wagner für die Probenvorbereitung, Gerald Giester für experimentelle Hilfe, Wolfgang Zirbs (Universität Wien, Österreich) und Alexander Repstock (LfULG) für die Beschaffung von Literatur. Michael Gaft (Ariel Universität, Israel) danken wir herzlich für hilfreiche Kommentare.

Referenzen

- Baumann, L. & Gorny, S. (1964): Neue tektonische und petrographische Untersuchungsergebnisse in der Zinnerzlagertstätte Tannenberg-Mühlleiten. – Freiberg. Forschungsh. C, 181: S. 89-118.
- Breiter, K., Gardenová, N., Vaculovič, T. & Kanický, V. (2013a): Topaz as an important host for Ge in granites and greisens. – Mineral. Mag., 77, 4: p. 403-417.
- Breiter, K., Gardenová, N., Kanický, V. & Vaculovič, T. (2013b): Gallium and germanium geochemistry during magmatic fractionation and postmagmatic alteration in different types of granitoids: a case study from the Bohemian Massif (Czech Republic). – Geol. Carpath., 64, 3: S. 171-180.
- Charpentier, J.F.W. (1778): Mineralogische Geographie der chursächsischen Lande. – Siegfried Leberecht Crusius, Leipzig.
- Förster, H.-J., Tischendorf, G., Trumbull, R.B. & Gottesmann, B. (1999): Late-collisional granites in the Variscan Erzgebirge, Germany. – J. Petrol., 40, 11: S. 1613-1645.
- Gaft, M., Nagli, L., Reisfeld, R., Panczer, G. & Brestel, M. (2003): Time-resolved luminescence of Cr^{3+} in topaz $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH},\text{F})_2$. – J. Lumin., 102-103: S. 349-356.
- Goldschmidt, V.M. & Peters, C. (1933): Zur Geochemie des Germaniums. – Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Math.-Phys. Kl., Fachgruppe IV, 33: 141-166.
- Greenidge, D. (2018): Investigations of color center phenomena in topaz and quartz through electron spin resonance with reference to optical absorption and nuclear magnetic resonance: Implications for extended mineral applications. – Mal. J. Fund. Appl. Sci., 2018: S. 142-149.
- Kern, J.G. (1776): Vom Schneckenstein oder dem sächsischen Topasfelsen. – Herausgegeben und mit Anmerkungen versehen von I.E. von Born. Wolfgang Gerle, Prag.
- Lahl, B. (2012): Königliche Topase vom Schneckenstein – Edelsteine aus dem Vogtland. – Chemnitzer Verlag: 144 S.
- Mohs, F. (1822): Grund-Riß der Mineralogie. Erster Theil: Terminologie, Systematik, Nomenklatur, Charakteristik. – Arnold'sche Buchhandlung, Dresden.
- Petrov, I. (1977): Farbuntersuchungen an Topas. – Neues Jb. Miner. Abh., 130: S. 288-302.
- Schott, S., Rager, H., Schürmann, K. & Taran, M. (2003): Spectroscopic study of natural gem quality "imperial"-topazes from Ouro Preto, Brazil. – Eur. J. Mineral., 15: S. 701-706.
- Schröder, M. (1915): Erläuterungen zur geologischen Spezialkarte des Königsreiches Sachsen, Nr. 144, Blatt Falkenstein. – Wilhelm Engelmann, Leipzig: 81 S.
- Schrön, W. (1968): Ein Beitrag zur Geochemie des Germaniums. – Chem. Erde, 27: S. 193-251.
- Seim, R. & Schweder, P. (1969): Untersuchungen zum Germaniumgehalt im Topas. – Chem. Erde, 28: S. 83-90.
- Sugano, S., Tanabe, Y. & Kamimura, H. (1970): Multiplets of transition metal ions in crystals. – Academic Press, New York, London: 331 S.
- Tarashchan, A.N., Taran, M.N., Rager, H. & Iwanuch, W. (2006): Luminescence spectroscopic study of Cr^{3+} in Brazilian topazes from Ouro Preto. – Phys. Chem. Miner., 32: S. 679-690.
- Tichomirowa, M. & Leonhardt, D. (2010): New age determinations (Pb/Pb zircon evaporation, Rb/Sr) on the granites from Aue-Schwarzenberg and Eibenstock, Western Erzgebirge, Germany. – Z. Geol. Wiss., 38, 1-2: S. 99-123.
- Vollstädt, H. & Lahl, B. (1997): Der Schneckenstein. – In M. Glas, Ed., Topas – Das prachtvolle Mineral, der lebhafteste Edelstein. extraLapis, 13: S. 26-37.

Projekte



Digitales Grafisches Datenmanagement als Kernelement der Erkundungsplanung für die Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden – Prag



Lisa Thiele

Sächsisches Landesamt für
Umwelt, Landwirtschaft
und Geologie
Abteilung Geologie
Referat Ingenieurgeologie

Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden
E-Mail: Lisa.Thiele@
smekul.sachsen.de



Sabine Kulikov

Sächsisches Staatsministe-
rium für Wirtschaft,
Arbeit und Verkehr

Wilhelm-Buck-Str. 2
01097 Dresden

Zu den Autorinnen

M.Sc. Lisa Thiele

Seit März 2020 koordiniere und begleite ich die unterstützenden geologischen Arbeiten für das LfULG als Kooperationspartner der DB Netz AG und des Europäischen Verbundes für territoriale Zusammenarbeit (EVTZ) für die Eisenbahnneubaustrecke Dresden-Prag (NBS). Das betrifft zum einen die grafische Datenhaltung im GIS und zum anderen auch geologische Fachbeiträge und die Begleitung der Erkundungsmaßnahmen.

Mein Studium der Geowissenschaften an der TU Bergakademie Freiberg und die Masterarbeit zum Abrasivitätsverhalten der Gneise im Osterzgebirge waren der Türöffner für eine Projektstelle am zukünftig längsten Eisenbahntunnel Deutschlands. Seit 3 Jahren arbeite ich im Projektteam mit erfahrenen Geowissenschaftlern zusammen.

Einen Schwerpunkt der Geologie sehe ich im Ausbau der 3D-Strategie. Geologische 3D-Modelle sind der Schlüssel zum Verständnis geologischer Sachverhalte. Sie dienen nicht nur als Diskussionsgrundlage für Fachgespräche, sondern bilden auch die Basis für die Erkundung und Planung von Bauvorhaben.

Dipl-Ing. Geotechnik Sabine Kulikov

Der Schwerpunkt meiner Arbeit beim Europäischen Verbund für territoriale Zusammenarbeit (EVTZ) für die NBS liegt in der Unterstützung der deutschen und tschechischen Bahn in geologischen Fragen sowie in der Koordinierung der Behördenzusammenarbeit und Öffentlichkeitsarbeit für die NBS. Wichtiges Element ist die Vernetzung zwischen Behörden, Wirtschaft und universitären Einrichtungen für eine Planungsbeschleunigung.

Mit der sächsischen Geologie bin ich seit 35 Jahren durch meinen beruflichen Werdegang von der Geologiefacharbeiterin, über das Studium der Geotechnik und die Arbeit in einem Ingenieurbüro in Freiberg und seit über 20 Jahren durch die Tätigkeit beim staatlichen geologischen Dienst Sachsen verbunden. Besonders wichtig ist mir, die Ressourcen der staatlichen Geologie mit all ihren Datenschätzen und Kompetenzen als planungsbeschleunigender Faktor für eine vorausschauende Infrastrukturplanung deutlich zu machen.

Die Geologie der Zukunft wird eine Synthese aus klassischer Geländearbeit und „digitalem Zwilling“ in Form von geologischen 3D-Modellen, gekoppelt an Datenbanken sein. Bereits jetzt zeichnet sich der Vorteil solcher Modelle für ein effizientes interdisziplinäres vorausschauendes Planen und Bauen ab.

Projektvorstellung

Zusammenfassung

Das Handwerkszeug der Geologen waren von je her grafische Elemente – früher handgezeichnet bzw. gedruckt in Form von Karten und Schnitten – heute sind auch wir im Zeitalter der Digitalisierung angekommen. Den Stift haben wir gegen Tastatur und Maus eingetauscht, die Kartensammlung gegen ein Feldtablet. Das heißt nicht, dass die alten Unterlagen ausgedient haben – im Gegenteil. Sie sind jedoch durch die neue Technik einfacher vervielfältigbar und verarbeitbar und durch den Austausch auch großer Datenmengen leichter zugänglich geworden. Statt mit dem Lichttisch arbeiten die Geologen jetzt mit dem Computer, um neue Erkenntnisse zu bestehenden Daten hinzuzufügen.

Geologen sind Schatzsucher – auch für Datenschätze, die sie mit Hilfe des grafischen Datenmanagements zu neuen Produkten verarbeiten und anderen zur Weiternutzung zur Verfügung stellen.

Ein Pilotprojekt des Geologischen Dienstes von Sachsen war die Entwicklung solcher digitaler grafischer Produkte für die Nutzung in einer der größten deutschen Infrastrukturmaßnahmen – der Eisenbahnneubaustrecke Dresden – Prag. Dies ist ein Novum für alle Beteiligten und bisher eine Erfolgsgeschichte, die aufzeigt, wie Planungsbeschleunigung durch ein Miteinander von Behörden, Forschung und Wirtschaft gelingen kann.

Abstract: Digital Graphic Data Management and 3D modeling as a key element of the investigation planning for the new railway line Dresden – Prague

The tools of the trade for geologists have always been graphic elements - in the past hand-drawn or printed maps and sections - today we have also arrived in the age of digitalization. We have

exchanged the pen for a keyboard and mouse, the map collection for a field tablet. This does not mean that the old documents are obsolete – on the contrary. However, the new technology has made them easier to duplicate and process, and the exchange of even large amounts of data has made them more accessible. Instead of using the light table, geologists now work with the computer to add new knowledge to existing data.

Geologists are treasure hunters – also for data treasures, which they transform into new products with the help of graphical data management and make available to other people for further use.

A pilot project of the Geological Survey of Saxony was the development of such digital graphic products for use in one of the largest German infrastructure projects – the new railway line Dresden – Prague. It is a novelty for all parties involved and so far a success story that shows how planning acceleration can succeed through cooperation between authorities, research and industry.

Grafisches Datenmanagement mit GIS

Das Geografische Informationssystem (GIS) ist ein universelles Instrument für jegliche Art von grafischem Datenmanagement. Bei Infrastrukturprojekten wie der Eisenbahnneubaustrecke (NBS) Dresden – Prag ist es unerlässlich für alle Planungsetappen (Abbildung 1). Ob geologische Karten, historische topografische Unterlagen, Flächen aus der Regionalplanung zur Raumordnung, Schutzgebiete, Konzeptionen für Rad- und Wanderwege – alles ist miteinander kombinierbar oder kann einzeln thematisch abgerufen werden. Derzeit befindet sich die NBS Dresden-Prag in der Grundlagenermittlung/Vorplanung. Das Raumordnungsverfahren wurde im August 2020 abgeschlossen.

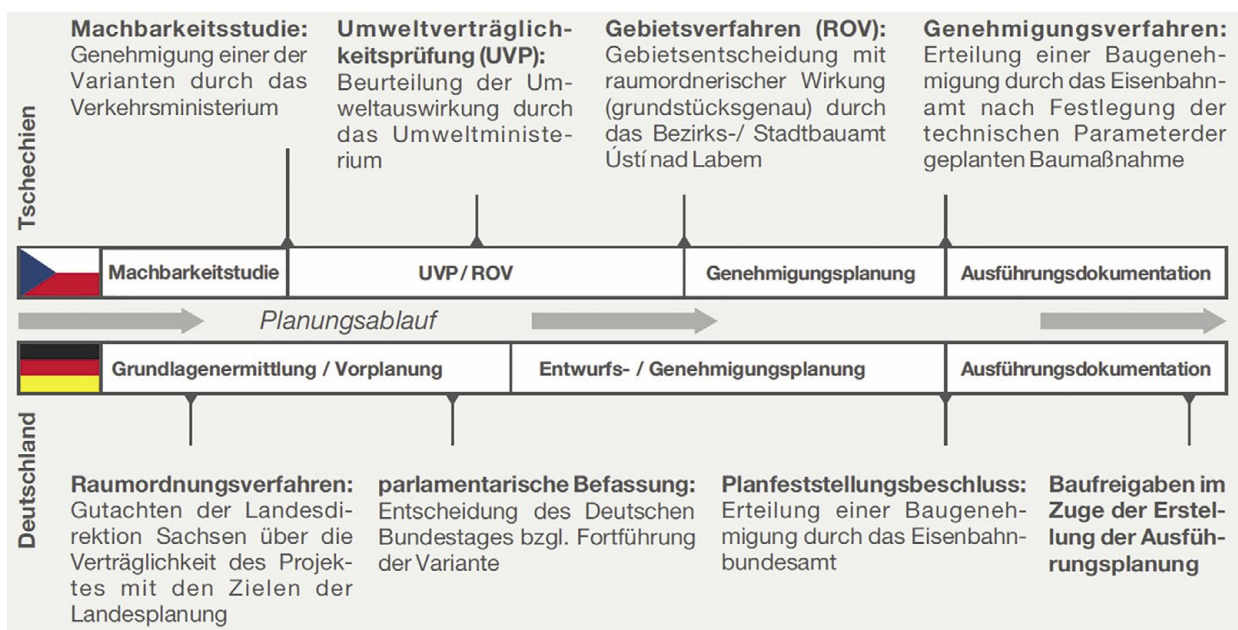


Abbildung 1: Planungsetappen von Infrastrukturvorhaben in Deutschland und Tschechien. Quelle: EVTZ.

Grafisches Datenmanagement mittels GIS eignet sich hervorragend für die Erfassung standortbezogener Daten, deren Darstellung, Analyse, Bearbeitung und Strukturierung. Dabei können sowohl Rasterdaten (Bilder) als auch Vektordaten (Punkt-, Linien- und Flächendaten) verarbeitet werden. Punktdaten sind beispielsweise Bohrungen, Liniendaten sind z. B. Wege und Flächendaten z. B. die Verbreitungen geologischer Körper. Die thematische Strukturierung von Inhalten erfolgt über sogenannte Gruppenlayer. Grafische Daten, die zu einer Themengruppe gehören, können auf diese Weise geordnet und je nach Bearbeitungserfordernis separat sichtbar oder unsichtbar geschaltet werden. Dadurch wird eine Anpassung der Informationsdichte möglich und eine Überfrachtung hinsichtlich der sichtbaren Inhalte vermieden.

Ein allererster Schritt bei der Erstellung eines grafischen Projektes ist die Auswahl der Software sowie des Lagebezugssystems. Zur Anwendung kam für die Neubaustrecke Dresden – Prag das Geoinformationssystem der Firma Esri (ArcGIS Version 10.5.1), mit dem die verfügbaren Daten über alle Phasen des Projektes hin verarbeitet und verwaltet wurden. Eine Herausforderung war der Abgleich der Koordinaten- und Höhensysteme, die in Sachsen und Tschechien voneinander abweichen. Da es sich um ein grenzüberschreitendes Projekt handelte, wurde ein internationales Koordinatensystem für Mitteleuropa – ETRS 1989 – UTM, Zone 33N (WKID: 25833) ausgewählt. Karten, die in anderen Koordinatensystemen vorlagen, mussten transformiert werden. Schwieriger war die Auswahl des Höhensystems, da sich das deutsche System DHHN2016 auf die Ostsee/Nordsee bezieht, das tschechische Höhensystem jedoch auf das Mittelmeer. Daher waren Umrechnungen notwendig, um eklatante Abweichungen in den Höhen und Verzerrungen im digitalen Höhenmodell zu vermeiden.

Es sind folgende Daten im Vektor- und Rasterformat in das GIS-Projekt eingeflossen:

- Digitale Geländemodelle,
- Topografische Karten, öffentliche Datendienste (WMS-Server),
- Geologische Karten,
- Tektonische Karten,
- Hydrogeologische Karten,
- Rohstoffgeologische Karten,
- Bohrungsdaten,
- Geophysikalische Ergebnisse (Profile, Messwerte),
- Trassenverläufe,
- Luftbilder.

Auch Daten, die für raumordnerische Belange von Bedeutung sind, wie Schutzgebiete und Gebiete mit eingeschränkter Nutzbarkeit (Altlasten und Hohlraumgebiete), wurden im Projekt berücksichtigt und sichtbar gemacht.

Durch Kombination von grafischen Daten verschiedener Themenkomplexe können Zusammenhänge oder auch Nutzungskonflikte sichtbar gemacht werden. Ein hervorragendes Werkzeug ist dabei die Transparentfunktion bei sich überlagernden Daten (Abbildung 2). Sollen analoge Daten (z. B. historische Karten) einbezogen werden, ist deren vorherige Digitalisierung durch Scannen oder Vektorisieren erforderlich. Komfortabel ist dabei das Erzeugen neuer georeferenzierter Daten durch einfache Umwandlung von Zeichnungen oder Markierungen in Vektordaten. Auf diese Weise können die Punkt-, Linien- und Flächendaten angepasst werden, sobald neue Erkenntnisse vorliegen. Unterschiedliche Wissensstände können separat abgespeichert und abgelegt werden, sodass auch eine nachvollziehbare Projekthistorie ermöglicht wird, so z. B. für die Entwicklung der Erkenntnisse zu Störungsverläufen oder Risikobereichen, die mit fortlaufendem Projektfortschritt angepasst werden können.

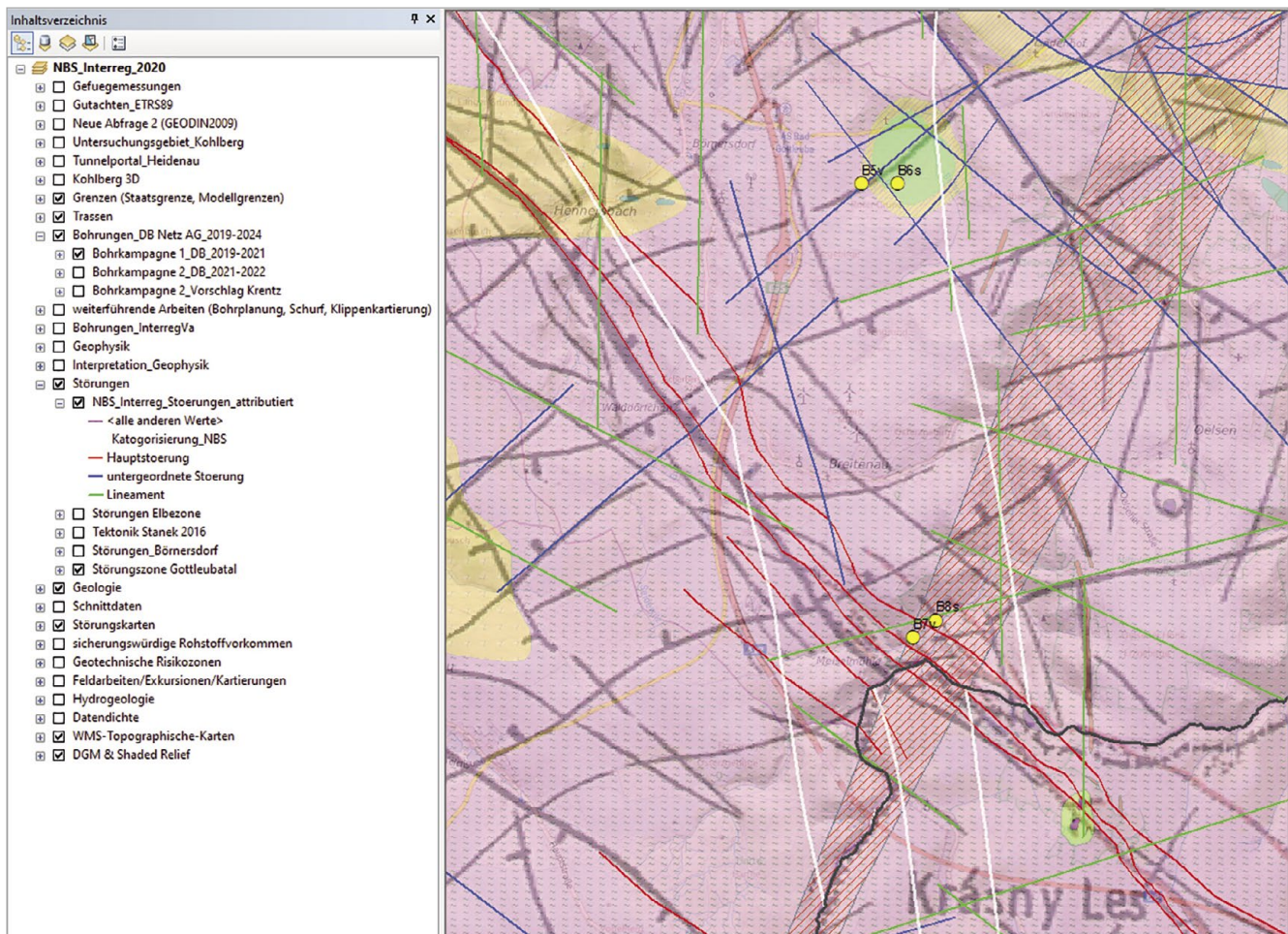


Abbildung 2: Vorteile des grafischen Datenmanagements mittels GIS-Software.

Links: Ordnen nach Themengruppen und separate Aktivierung der einzelnen Layer. Rechts: Überlagerung von Daten durch Transparentfunktion (hier: DGM, Topografie, geologische Karte, gescannte und georeferenzierte Störungskarte, digitalisierte Störungen, Bohransatzpunkte der 1. Bohrkampagne sowie der Gesamttrassenkorridor (Stand 2020)).

Die Datenhaltung mit GIS hat somit viele Vorteile für themenbezogene Darstellung, Auswertung, Interpretation, Strukturierung und Archivierung der im Projekt erzielten Ergebnisse. Insbesondere die Visualisierung der tektonischen Gegebenheiten durch Überlagerung verschiedener Datenquellen und Archivmaterialien ermöglichte die Verifizierung der Störungsverläufe im Projektgebiet. Durch Kombination von Morphologie, geologischen Einheiten und tektonischen Elementen im Kartenbild wurde die Erstellung geologischer Längsprofile entlang der Trassenvorschläge möglich. Durch die Funktionalität des GIS lassen sich themenbe-

zogene, aussagekräftige Karten erstellen, die für die weitere Planung genutzt werden können. So wurden im Rahmen des Projektes eine grenzüberschreitende geologische Karte sowie eine Karte der geologischen/geotechnischen Problemzonen (Abbildung 3) erarbeitet. Letztere war eine der Grundlagen für die Planung der ersten tiefen Bohrkampagne der Deutschen Bahn 2020/2021 (Abbildung 3). Das zweidimensionale GIS-Projekt bildet zudem die Grundlage zur Erstellung eines geologischen 3D-Modells.

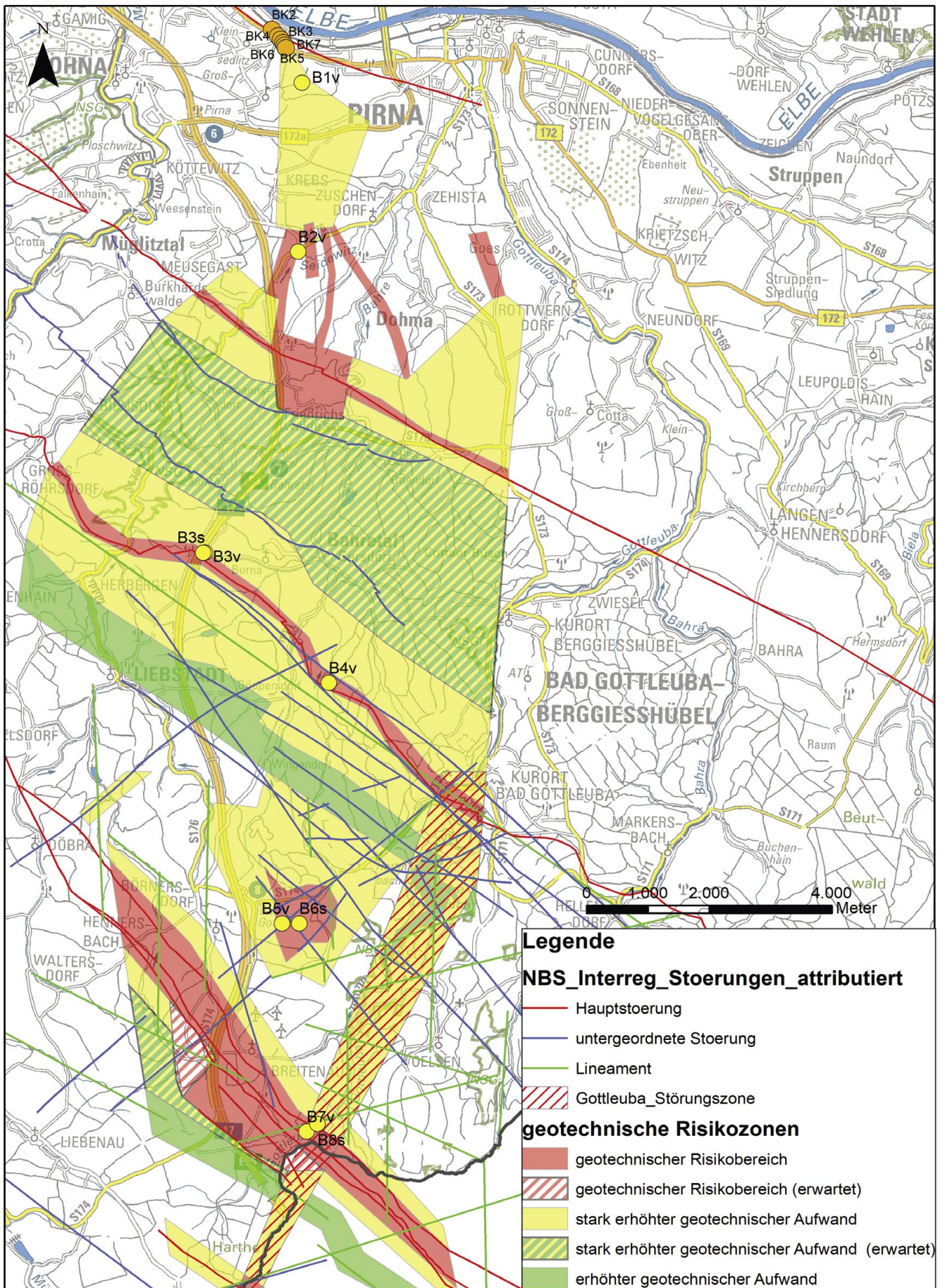


Abbildung 3: Karte der geologischen/geotechnischen Problemzonen mit Störungsnetzwerk.

Die gelben und orangenen Punkte markieren die Lage der Bohrungen der 1. Bohrkampagne (v – vertikale Bohrung, s – Schrägbohrung).

Geologische 3D-Modellierung

Das geologische 3D-Modell gibt Auskunft über den Aufbau des geologischen Untergrunds. Es dient als Hilfsmittel für eine optimierte Tunnelvorerkundung (Bohrungsplanung, Trassenverlauf etc.) und bildet eine Grundlage für die Entwicklung des geotechnischen Modells für die weitere Planung. Die 3D-Modellkonstruktion basiert auf der digitalen Verarbeitung und Interpretation der verfügbaren Daten. Um ein geologisches 3D-Modell zu erstellen, werden sehr unterschiedliche Eingangsdaten, wie geologische Karten, Profilschnitte, Bohrungen, geophysikalische Karten sowie Profile und digitale Geländemodelle mit spezieller 3D Software gemeinsam dargestellt und zur Modellierung einheitlicher geologischer Strukturen wie z. B. Schichtgrenzen genutzt. Das geologische 3D-Modell der Eisenbahnneubaustrecke Dresden – Prag wurde mit den Softwares GoCAD und MOVE erstellt und besteht

aus sogenannten „Fliegenden Teppichen“. Diese repräsentieren geologische Objekte im Untergrund durch geologische Schichtgrenzen oder Störungen (Abbildung 4). Ob ein Modell der realen geologischen Situation entspricht, kann mithilfe konkreter Erkundungsarbeiten wie Bohrungen, geophysikalischen Untersuchungen oder detaillierter Geländekartierungen im Modellgebiet geprüft werden. Wenn die neu erfassten Daten nicht mehr in das aktuelle Modell passen, muss es angepasst werden. Ein 3D-Modell kann in alle Richtungen gedreht, vergrößert und aufgeschnitten werden. Dargestellt werden können nicht nur die modellierten Objekte, sondern auch die verwendeten Eingangsdaten, z. B. geologische Schnitte. Zudem lassen sich, wie bereits beim GIS beschrieben, einzelne Objekte an- und ausschalten, sodass der Betrachter den Detaillierungsgrad und die Informationsdichte selbst bestimmen kann.

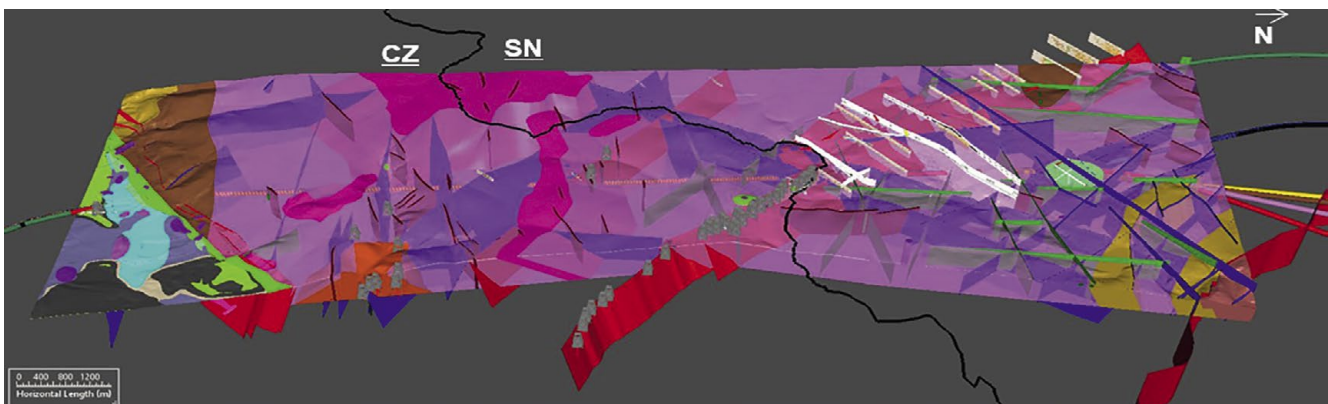


Abbildung 4: Strukturgeologisches 3D-Modell der Gesteinsumgebung in der Nähe der geplanten Erzgebirgstunnelvarianten (Stand 2020).

Die Anwendungsmöglichkeiten sind sehr vielseitig und gewinnen mit zunehmender Digitalisierung im Planungsprozess an Bedeutung. Neben einer anschaulichen Visualisierung der geologischen Verhältnisse im Untergrund für die Öffentlichkeitsarbeit wurde das geologische 3D-Modell der Eisenbahnneubaustrecke Dresden-Prag verwendet, um die Bohransatzpunkte der ersten Bohrkampagne zu platzieren. Die erste Kampagne zielte auf die Erkundung und Charakterisierung der in der Karte der geologischen/geotechnischen Problemzonen ausgewiesenen Störungsbereiche ab. Die Karte wurde in das 3D-Modell übernommen. Damit konnten Lage und Einfallrichtung/-winkel der Bohrungen gezielt ausgewählt werden konnten und dabei auch Schutzzonen oder bestimmte Zuwegungen Berücksichtigung fanden. Das geologische Modell ist außerdem wichtiges Planungsinstrument sowie Grundlage für das noch zu erstellende hydrogeologische Modell.

Des Weiteren ist es wunderbar geeignet, um die Geologie einer Region Laien anschaulich zu erklären. Über die Website des LfULG können Interessierte das NBS-Modell selbst in Augenschein nehmen: <http://lsnq.de/3dnbs2015> bzw. <http://lsnq.de/3dnbs2020>. Geologische 3D-Modelle sind, auch wenn sie sehr realistisch aussehen, vereinfachende Modelle der Realität gemäß unseres

Wissensstandes. Die verwendeten Daten können mitunter mehrdeutig oder mit Unsicherheiten behaftet sein. Dadurch kann es zu einer „Fehlerfortpflanzung“ während der Datenerfassung und -interpretation kommen. Darüber hinaus sind die Daten häufig nicht flächendeckend und heterogen vorhanden. Der Modellierer trifft deshalb verschiedene Annahmen, auf denen er dann die Interpretation der Daten für das Modell des Untersuchungsgebietes aufbaut, z. B. die Annahme eines bestimmten tektonischen Regimes. Letztendlich wird sich bei der Baumaßnahme zeigen, wie gut das Modell die Realität abbildet.

Referenzen

EVTZ (2021): Eisenbahnneubaustrecke Dresden-Prag. Flyer

Thiele, L.; Kulikov, S.; Krentz, O.; Unger, G.; Seidel, E.; Köhler, J.; Sonnabend, L.; Kycl, P.; Rapprich, V. & Franě, J. (2021): Eisenbahn-Neubaustrecke Dresden-Prag (2011–2020). – Schriftenreihe des LfULG, Heft 4/2021, 121 S. Dresden: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie.

GeoMAP – Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen



Zur Autorin

Dipl.–Geoökologin Maria Ussath

Mit dem interdisziplinären Studium der Geoökologie an der TU Bergakademie Freiberg war der Weg bereitet für meine Arbeit in der Technischen Zusammenarbeit der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Sambia, mit Schwerpunkt Grundwasserressourcen und Beschaffenheit.

Darauf folgte eine langjährige, vielfältige Projektarbeit am Institut für Bergbau und Spezialtiefbau der TU Bergakademie Freiberg mit diversen hydrogeologischen und hydrochemischen Fragestellungen in bergbaubeeinflussten Regionen. Gegenwärtig zählt zu meinen aktuellen Arbeitsschwerpunkten als Referentin für Montanhydrogeologie im Referat Hydrogeologie am Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie die fachliche Begleitung des Grubenwasseranstiegs im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz.

Maria Ussath,

Axel Rommel, Mathias Hübschmann (Red.), Sylvi Hädecke, Priscilla Ernst, Ralf A. Oeser, Axel Rommel, Maria Ussath, Mathias Hübschmann

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Geologie, Referat Hydrogeologie
Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden
E-Mail: maria.ussath@smekul.sachsen.de

Fabian Weber, Gunther Lüttschwager, Heinz Konietzky

TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Geotechnik, Lehrstuhl Felsmechanik/Felsbau
Gustav-Zeuner-Straße 1
09599 Freiberg

Lukas Oppelt, Sebastian Pose, Thomas Grab, Tobias Fieback

TU Bergakademie Freiberg,
Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik,
Professur für Technische Thermodynamik
Gustav-Zeuner-Str. 7
09599 Freiberg

Jiří Mališ, Martin Klempa, Jindřich Šancer

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (VŠB),
Technische Universität Ostrava
17. listopadu 2172/15
708 00 Ostrava-Poruba
Czech Republic

Projektvorstellung

Abstract

GeoMAP is an EU project in the Saxon-Czech cooperation programme for the promotion of crossborder cooperation, which was completed in 2021, and was funded by the European Regional Development Fund (ERDF). Under the lead partnership of the State Office for the Environment, Agriculture and Geology (LfULG), the project was initiated together with the project partners TU Bergakademie Freiberg and TU Ostrava. Under the title "Geological, hydrogeological and geomechanical modelling, visualisation and forecasting tools for the representation of mining consequences and afteruse potentials", the partners worked on different focal points in three model regions (Figure 1).

- Lugau/Oelsnitz hard coal district: This model region was worked on by the lead partner LfULG and the project partner TU Bergakademie Freiberg, Geotechnical Institute.
- Mining districts in the Ore Mountains with access to the mine and available mine water: This overarching model region was worked on by the project partner TU Bergakademie Freiberg, Institute of Thermal Engineering.
- Most lignite mining district in North Bohemia (Czech Republic): This model region was worked on by the project partner TU Ostrava.

The GeoMAP project served to exchange experience on geoscientific methods and modelling as an essential basis for wide-ranging observations in postmining areas. The aim of the four project partners was to use new impulses to improve the determination and evaluation of data sets and thus also the forecasting of the various postmining phenomena.

Was ist GeoMAP?

GeoMAP ist ein 2021 abgeschlossenes EU-Projekt im sächsisch-tschechischen Kooperationsprogramm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit und wurde durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert. Unter Leadpartnerschaft des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurde das Projekt gemeinsam mit den Projektpartnern TU Bergakademie Freiberg und TU Ostrava initiiert. Unter dem Titel „Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen“ wurden von den Partnern in drei Modellregionen (Abbildung 1) unterschiedliche Arbeitsschwerpunkte bearbeitet:

- Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz: Diese Modellregion wurde durch den Leadpartner LfULG und den Projektpartner TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik, bearbeitet.
- Bergbaureviere im Erzgebirge mit Zugang zum Grubengebäude und vorhandenem Grubenwasser: Diese übergreifende Modellregion wurde durch den Projektpartner TU Bergakademie Freiberg, Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik, bearbeitet.
- Braunkohlenrevier Most in Nordböhmen: Diese Modellregion wurde durch den Projektpartner TU Ostrava bearbeitet.

Das Projekt GeoMAP diente dem Erfahrungsaustausch über geowissenschaftliche Methoden und Modellierungen als wesentliche Grundlage für weitumfassende Betrachtungen in Bergbaufolgegebieten. Ziel der vier Projektpartner war es, durch neue Impulse die Ermittlung und Auswertung von Datensätzen und damit auch die Prognose der diversen Bergbaufolgerscheinungen zu verbessern.

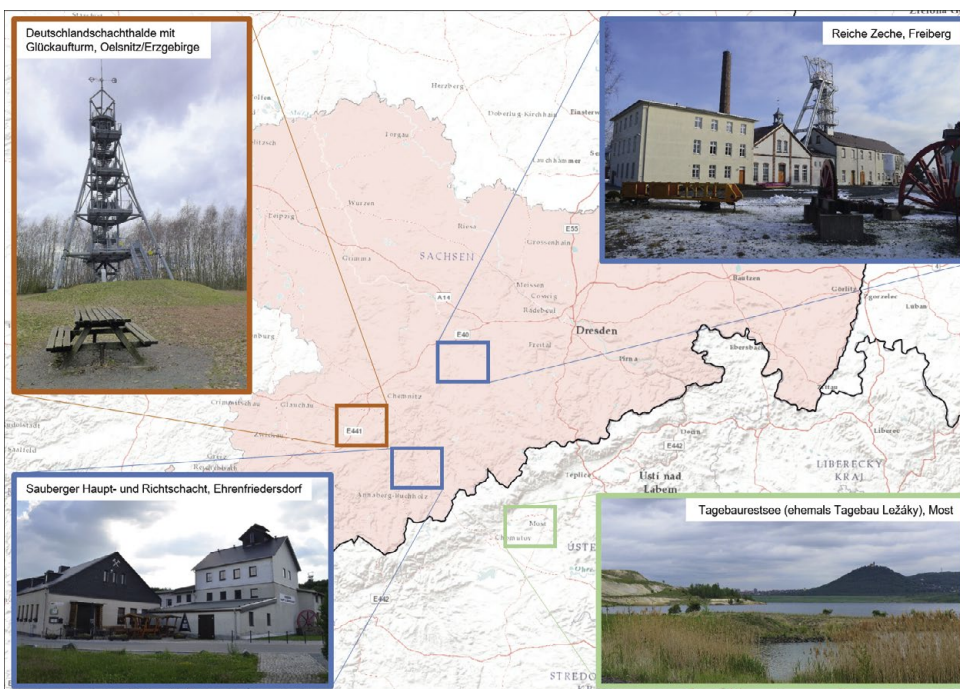


Abbildung 1: Lage der Arbeitsgebiete im Projekt GeoMAP.

(LfULG und der TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik - Raum Lugau/Oelsnitz (brauner Kasten), Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik - Freiberg/Brand-Erbisdorf und Ehrenfriedersdorf (blaue Kästen); TU Ostrava - Moster Braunkohlenbecken (grüner Kasten). Fotos: o. l., u. r. S. Hädecke, u. l., o. r. B. Wenzke, (Rommel et al., 2021)).

Die GeoMAP-Arbeitspakete

GeoMAP hatte das Ziel, die Netzwerkarbeit zwischen Verwaltung, Wissenschaft und den von Bergbaufolgen betroffenen Kommunen in den Projektgebieten zu stärken und zudem die Öffentlichkeit über nachbergbauliche Herausforderungen und ihre Bewältigung zu informieren. Die Umsetzung dieser Ziele wurde in vier Arbeitspaketen (AP) realisiert: Partnerworkshops (AP 1) dienen dem direkten Erfahrungsaustausch zwischen den Institutionen der Projektpartner, wobei jeder Partner am Beispiel seines Modellgebietes für ein spezielles Schwerpunktthema verantwortlich war. In öffentlichen Fachkonferenzen (AP 2) wurden auch Erkenntnisse aus anderen Bergbaulandschaften Deutschlands und Tschechiens integriert. Zur weiteren Veranschaulichung und im Sinne der Nachhaltigkeit des Projektes erarbeitete jeder Projektpartner weiterhin ein Anschauungsobjekt (AP 3), welches wesentliche Problemstellungen seiner Modellregion erläutert und visualisiert. Diese Objekte sind an zentralen Standorten dauerhaft ausgestellt und fungieren als Informationsquelle für die interessierte Öffentlichkeit. Die Netzwerkarbeit (AP 4) dient der Fortführung der Zusammenarbeit.

Inhaltliche Einblicke – Kurzbeiträge der Projektpartner

Die folgenden Kurzbeiträge geben einen Einblick in die Ziele und Arbeitsschwerpunkte der einzelnen Projektpartner:

Neubewertung und Aktualisierung des 3D-Untergundmodells Lugau/Oelsnitz – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Das bereits existierende strukturgeologische 3D-Modell des Steinkohlenreviers Lugau/Oelsnitz visualisiert das Deck- und

Grundgebirge bis in eine Tiefe von etwa 1000 m unter GOK sowie den bergmännisch geprägten Untergrund. Es hilft nicht nur, die komplexen geologischen und tektonischen Gegebenheiten im Modellgebiet zu verstehen, sondern soll auch zukünftig als geometrische Grundlage zur Erstellung belastbarer Prognosen für den stetigen Anstieg des Grubenwassers im Lugau/Oelsnitzer Revier herangezogen werden.

Die Beiträge im Projekt- und Abschlusskonferenzband GeoMAP (ROMMEL et al. 2021) beinhalten eine Bewertung der dem Modell zugrundeliegenden Daten und beschäftigen sich mit Ansätzen der geometrischen und parametrischen Modelloptimierung auf Grundlage dieser Quellen. Die vorgestellten Ergebnisse bilden die Grundlage für kommende Arbeiten an und mit dem 3D-Modell des Lugau/Oelsnitzer Reviers, da ohne fundierte Kenntnis der Datengrundlage eine Bewertung und Modifikation des Modells für den weiteren Einsatz schwierig ist.

Im Zuge der Projektarbeit in GeoMAP wurden die Inhalte für die Medienstation „Folgen des Bergbaus im Lugau-Oelsnitzer Revier“ im Bergbaumuseum Oelsnitz/Erzgebirge bereitgestellt. Diese Medienstation dient der öffentlichkeitswirksamen Präsentation wesentlicher Aspekte von Bergbaufolgen im Revier. Die Projektergebnisse aller Partner sind zudem anschaulich im Projektband GeoMAP (ROMMEL et al. 2021) vorgestellt.

Im Rahmen der Netzwerkarbeit konnte ein Kooperationsvertrag zwischen dem LfULG und dem Bergbaumuseum Oelsnitz geschlossen werden, welcher den Weg für die zukünftige fachliche Zusammenarbeit und die gemeinsame Öffentlichkeitsarbeit ebnet.

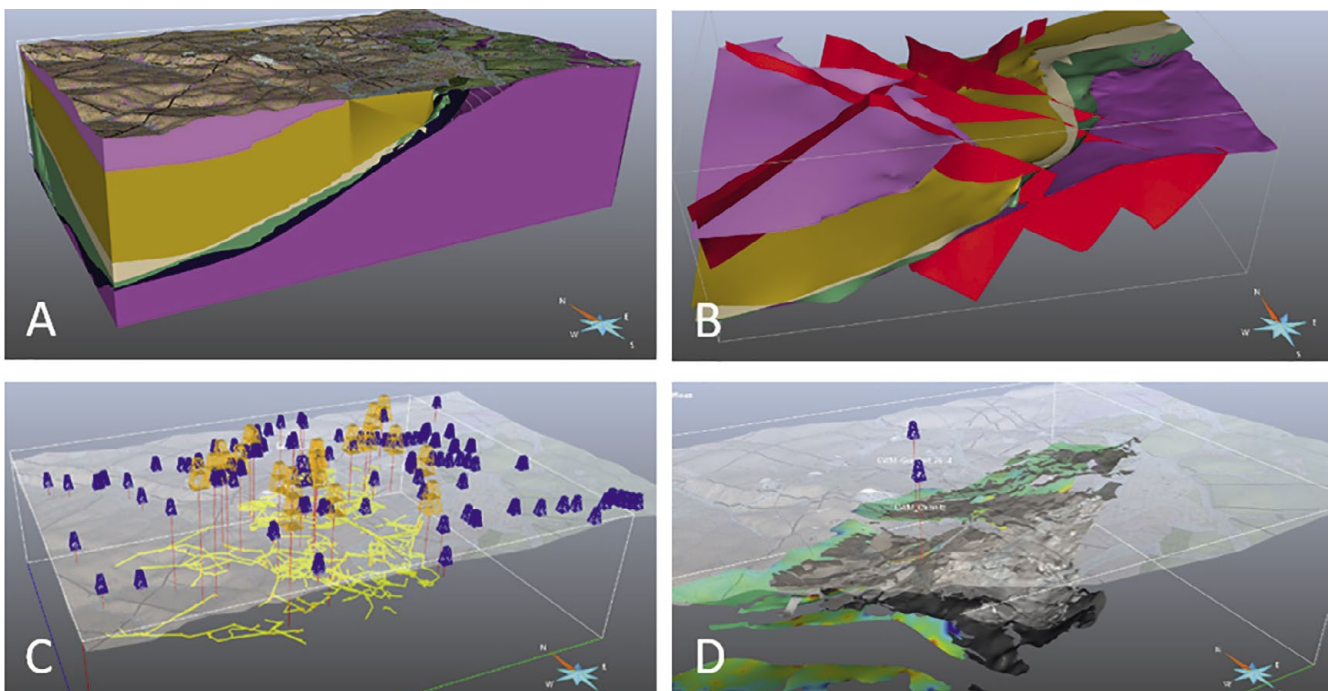


Abbildung 2: Eindrücke des 2006 erstellten 3D-Modells Lugau/Oelsnitz. A: Geologische Einheiten, B: obere Schichtgrenzen der geologischen Einheiten und vier signifikante Störungszonen (rot), C: im Modell erfasste Bohrungen (blau) und Schächte (orange), sowie bergmännische Auffahrungen (gelb), D: Steinkohleflöze (als graue Flächen) sowie die beiden Grubenwassermessstellen Oelsnitz (SW) und Gersdorf (NE) (ROMMEL et al. 2021).

Herausforderungen und Ziele:

Für das ehemalige Steinkohlenbergbaurevier Lugau/Oelsnitz wurden auf Grundlage einer 2007 erstellten Modellierung für das Jahr 2032 Wasseraustritte an der Tagesoberfläche und Vernässungen als Spätfolgen des Bergbaus prognostiziert. Ein Ziel des LfULG im Projekt GeoMAP war es, die Datengrundlage für eine Grundwassermodellierung zu aktualisieren und die im Projekt erworbenen Erfahrungen an Wissenschaft, Wirtschaft und Öffentlichkeit weiterzugeben.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Auf Grundlage einer umfassenden Datenrecherche im sächsischen Bergarchiv und anderen Bohrchiven sollte ein bereits bestehendes 3D-Untergrundmodell des bergbaubeeinflussten Bereiches der Region aktualisiert und weiterentwickelt werden (Abbildung 2). Die Modellierung erfolgte mithilfe der 3D-Software Gocad, die im Freistaat Sachsen bereits vielfach für komplexe, geologische Fragestellungen angewendet wird. Im Unterschied zum Ausgangsmodell sollen im ertüchtigten Modell u.a. 3D-Flözkörper, die geologischen Formationen und das Grubengebäude ergänzt und somit die geometrische Grundlage für eine Modellierung des Grund- und Grubenwasseranstiegs im ehemaligen Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz verbessert werden.

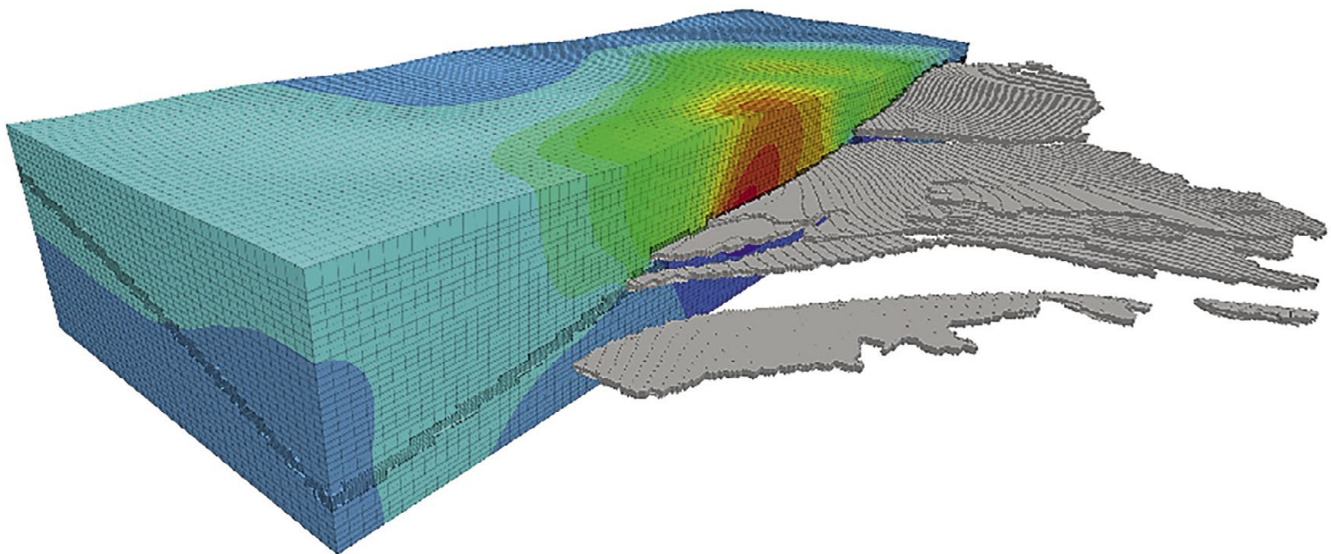


Abbildung 3: Schnitt durch die Modellgeometrie, gleichmäßige Gitterstruktur mit höher aufgelösten Flözbereichen.

Grubenwasser als Energiequelle – Technische Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF), Institut für Wärmetechnik und Thermodynamik

Herausforderungen und Ziele:

Nach der Stilllegung werden Bergwerke oft geflutet. Dieses Grubenwasser bietet Potenziale zur energetischen Nutzung. Aufgrund eines ganzjährig nahezu konstanten Temperaturniveaus, kann es zum Heizen und Kühlen von einzelnen Gebäuden oder ganzen Quartieren eingesetzt werden. Durch im Grubenwasser mitgeführte

Geomechanische Simulation von Hebungsprozessen – Technische Universität Bergakademie Freiberg (TU BAF), Institut für Geotechnik

Herausforderungen und Ziele:

Anhand der aktualisierten Datengrundlage für das ehemalige Steinkohlenrevier Lugau/Oelsnitz ist, aufgrund des Grubenwasseranstiegs im Revier, eine numerische Berechnung und qualitative Prognose zu Hebungsraten an der Geländeoberkante durchgeführt worden (Abbildung 3). Aus den Erkenntnissen dieser numerischen Berechnungen wurden „Handlungsempfehlungen zu geotechnischen Fragestellungen von Bergbaufolgelandschaften“ erarbeitet.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Im Vordergrund stand die Erstellung eines angepassten, dreidimensionalen numerischen Modells des Reviers Lugau/Oelsnitz. Daran schloss sich die Entwicklung eines kontinuumsmechanischen, elastischen Berechnungsansatzes an. Dieser muss sich für Bergwerke des Altbergbaus mit begrenzten geomechanischen und hydraulischen Informationen eignen. Die Hauptherausforderungen waren dabei die Datenaufbereitung, die vereinfachende Erstellung der Abbaugeometrie und die Erarbeitung hebungsrelevanter Mechanismen.

Frachten können jedoch Ablagerungen in Anlagenbauteilen entstehen, wodurch die Effizienz sinkt. Ein wesentliches Ziel war deshalb diese Verunreinigungen zu untersuchen und mögliche Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Ein weiteres Ziel war die internationale Netzwerkbildung und der Informationsaustausch.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Aufbauend auf den Ergebnissen aus VODAMIN II sollte ein mobiler Wärmepumpenversuchsstand entwickelt werden (Abbildungen 4 und 5). Mit diesem konnten bestehende Untersuchungen ausge-

baut und ergänzt werden. Durch die mobile Anlage können Untersuchungen und Optimierungen von Betriebsparametern unabhängig von Anlagenbetreibern an verschiedenen Bergbaustandorten durchgeführt werden. Neben Workshops und einer Fachkonferenz



Abbildung 4: Rotschönberger Stolln (Foto: B. Wenzke).

Herausforderungen und Potenziale der Bergbaulandschaft im Moster Braunkohlenbecken – Technische Universität Ostrava (VŠB)

Herausforderungen und Ziele:

Das Erzgebirge ist seit mehreren Jahrhunderten untrennbar mit dem Bergbau verbunden. Die Bergbauaktivität ist somit fest in die Geschichte der Region integriert und gehört zum wesentlichen Bestandteil der Kulturlandschaft in dem Gebiet. Da die Tschechische Republik in den kommenden Jahren den Kohleabbau einstellen wird, entstehen neue Probleme sowie Herausforderungen, die direkt und indirekt mit dem Rückgang der Bergbautätigkeit zusammenhängen. Ein Schwerpunkt der Bearbeitung lag dabei in der Nutzung der Nachbergaubandschaft und die damit verbundenen Möglichkeiten der wirtschaftlichen Verwendung. Eine rekultivierte Fläche kann etwa zu Erholungszwecken (z. B. See Most, der durch den Grundwasseranstieg entstanden ist) genutzt werden, weiterhin kann Grubenwasser mit seinem energetischen Potenzial (z. B. Nutzung des thermalen Potenzials von Grubenwasser in der Kohinor-Grube) verwendet werden.

zum gegenseitigen Austausch von Erkenntnissen wurde in Zusammenarbeit mit Umweltfachverbänden ein anerkanntes Zusatzzertifikat für Studierende der TU Bergakademie entwickelt.

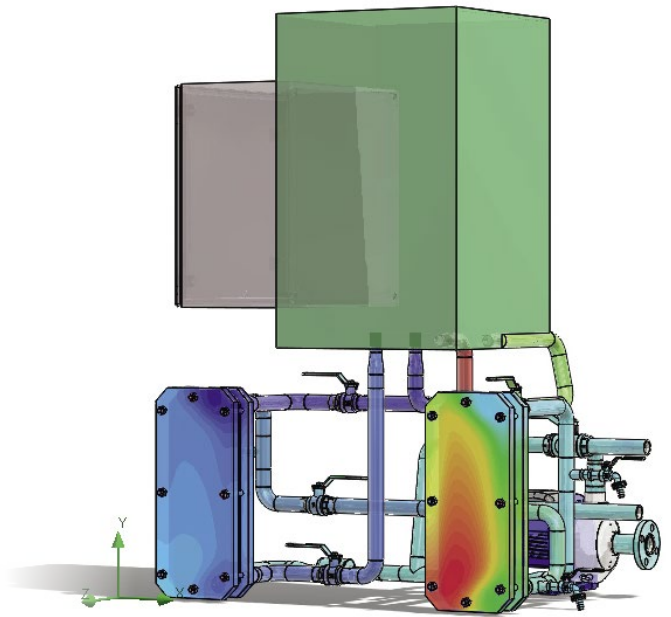


Abbildung 5: Modellierung - Wärmepumpenversuchsstand zur Durchführung von Forschungen zur Reduktion von Fouling in Wärmeübertragern bei der energetischen Grubenwassernutzung.

Inhalt und Arbeitsschwerpunkte:

Im Projekt sollten realitätsnahe Bedingungen zum Monitoring in Bergbaufolgelandschaften mit anschließender Interpretation der daraus resultierenden Ergebnisse in einem Feldlabor untersucht werden. Ein solches "lebendiges Labor", in dem man die Wiederherstellung der vom Bergbau betroffenen Landschaft und ihre Rückkehr zum ökologisch-kulturellen Gleichgewicht beobachten kann, wurde im Rahmen des Projektes im Gebiet des Nordböhmischen Braunkohlenbeckens errichtet (Abbildung 6). Die im Rahmen des Projekts entstandene Infrastruktur (Feldlabor im Zentrum der Bergbaulandschaft, begleitende Lehrtexte) wird sowohl für das Langzeitmonitoring als auch für die Interpretation, Visualisierung und Popularisierung langfristig genutzt.



Abbildung 6: Tagebaurestsee Most (ehemals Tagebau Most-Ležáky) (Foto: VŠB-TU Ostrava).

Referenzen

Rommel, A., Hädecke, S., Ussath, M. & Hübschmann, M. (Red.) (2021): GeoMAP - Geologische, hydrogeologische und geomechanische Modellierungs-, Visualisierungs- und Prognosewerkzeuge zur Darstellung von Bergbaufolgen und Nachnutzungspotenzialen. Hg. v. Sächs. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie; Technische Universität Bergakademie Freiberg; VŠB - Technická univerzita Ostrava. Freiberg



**Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.**

SN CZ
Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014 – 2020



GeoMAP ist ein vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und durch Landesmittel des Freistaates Sachsens unterstütztes, internationales Projekt aus dem Programm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014–2020, registriert unter der Nummer 100348899.

ResiBil – Wasserressourcenbilanzierung und –resilienzbewertung im Ostteil des Sächsisch-Tschechischen Grenzraumes

Carsten Schulz,
Axel Rommel (Red.),
Peter Börke, Carsten Schulz,
Ottomar Krentz, Friedrich Mihm,
Robert Junge, Michaela Pohle,
Axel Rommel, Sabrina Mittag

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
Abteilung Geologie, Referat Hydrogeologie
Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden
E-Mail: Carsten.Schulz@smekul.sachsen.de

Štěpánka Mrázová, Zuzana Skácelová,
Roland Nádaskay, Bedrich Mlčoch

Tschechischer Geologischer Dienst (ČGS)
Klárov 131/3
118 21 Praha 1
Tschechien

Zbyněk Hrkal, David Rozman,
Pavel Eckardt

Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft T.G. Masaryk
(VÚV TGM, v.v.i.)
Podbabská 2582/30
160 00 Praha 6
Tschechien

Zum Autor

Dipl.-Geol. Carsten Schulz

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Carsten Schulz hat Geologie an der TU Bergakademie Freiberg sowie Hydrogeologie an der Universität Fridericiana Karlsruhe, Institut für Angewandte Geologie studiert. Danach war er längere Zeit in der Wirtschaft tätig und beschäftigte sich u.a. mit der Sanierung großer Altlastenfälle in Mitteldeutschland. Seit 2012 ist Carsten Schulz im LfULG in der Abteilung Geologie im Referat Hydrogeologie als Gebietsreferent für die Landkreise Sächsische Schweiz-Osterzgebirge und Meißen sowie für die Landeshauptstadt Dresden tätig und bearbeitet für diese sämtliche auftretende hydrogeologische Fragestellungen als Fachunterstützung für Vollzugsbehörden.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie? Was ist mir wichtig?

Zukünftige Schwerpunkte, gerade im Bereich der Angewandten Fachbereiche der Geologie, sieht Carsten Schulz vor allem in der Ressourcenschonung (Themenfeld Grundwasser) und in regenerativen Energien (Themenschwerpunkt Geothermie).

Projektvorstellung

Zusammenfassung

Das EU-Projekt ResiBil war ein von 2016 bis 2021 laufendes, internationales Projekt aus dem Programm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen der Tschechischen Republik und dem Freistaat Sachsen. Als Leadpartner beteiligte sich auf deutscher Seite das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) und auf tschechischer Seite der Tschechische Geologische Dienst (ČGS/Česká geologická služba) und das Wasserforschungsinstitut (Výzkumný ústav vodohospodářský) T. G. Masaryk, öffentl. Forschungsinstitut (VÚV TGM, v.v.i.). Thema des Projektes war der gemeinsame Schutz der Grundwasserressourcen im sächsisch-böhmischen Grenzraum. Das Ziel von ResiBil war dabei die Bilanzierung und Bewertung der langfristigen Nutzung von Grundwasserressourcen in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. Weiterhin sollte die nachhaltige Bewirtschaftung des Grundwassers unter Berücksichtigung des Klimawandels untersucht werden. Grundlagen dafür waren unter anderem geologische und hydrologische Modellierungen auf Basis abgestimmter geologischer Untersuchungen. Dazu wurden u.a. eine modernisierte, länderübergreifende Stratigraphie, neue geologische und gravimetrische Karten, 3D-Modelle vom Projektgebiet und geophysikalische Messungen angefertigt und diese Erkenntnisse mit Feldarbeiten belegt.

Abstract

The EU project ResiBil was an international project from the program for the promotion of crossborder cooperation between the Czech Republic and the Free State of Saxony, running from 2016 to 2021. The Saxon State Office for Environment, Agricul-

ture and Geology (LfULG) participated as the lead partner on the German side and the Czech Geological Survey (ČGS/Česká geologická služba) as well as the Water Research Institute (Výzkumný ústav vodohospodářský) T. G. Masaryk, Public Research Institute (VÚV TGM, v.v.i.) on the Czech side. The central subject of ResiBil was the bordercrossing protection of groundwater resources in the Saxon-Bohemian border area. The project aims the comprehensibility of fluctuating groundwater levels probably linked with climate change and anthropogenic influence observed in the past decades. Moreover, the project enables conclusions of the longterm economic and agriculture utilization in the investigated area. In this context, an essential geological-hydrogeological model has been established using geophysical surveys, geological mapping, and fieldwork.

Was ist ResiBil?

Das EU-Projekt ResiBil (Wasserressourcenbilanzierung und –resilienzbewertung im Ostteil des Sächsisch-Tschechischen Grenzraumes) war ein vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung unterstütztes, internationales Projekt aus dem Programm der Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen der Tschechischen Republik und dem Freistaat Sachsen (Laufzeit 2014–2020). Als Leadpartner fungierte auf deutscher Seite das Sächsische Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Auf tschechischer Seite beteiligten sich die Projektpartner des Tschechischen Geologischen Dienstes (ČGS) und des Forschungsinstitutes für Wasserwirtschaft T.G. Masaryk, öffentliches Forschungsinstitut (VÚV TGM, v.v.i.) (Abbildung 1).



Abbildung 1: Erstes Treffen der Projektpartner am 17.01.2017 in Dresden Klotzsche (Foto: Friedrich Mihm).

Ziele im EU-Projekt ResiBil

Das Hauptziel des Projekts ResiBil war die Bilanzierung und Bewertung der langfristigen Nutzung von Grundwasserressourcen in der Sächsisch-Böhmischen Schweiz. Weiterhin sollte die nachhaltige Bewirtschaftung unter Berücksichtigung des Klimawandels untersucht werden. Um dies zu erreichen, wurden folgende Zwischenziele gesetzt:

- Erstellung langfristiger Strategien zur grenzüberschreitenden Bewirtschaftung der Grundwasserressourcen,
- Ressourcenbilanzierung und Resilienzbewertung des Grundwassers für die drei Fokusgebiete Dínský Sněžník (Hoher Schneeberg), Hensko/Kinice (Kirnitzschtal) und Lückendorf (Zittauer Gebirge),
- Ableitung zuverlässiger Aussagen zu Grundwasserdargeboten, deren Sensitivität gegenüber dem Klimawandel, ihren Nutzungsmöglichkeiten und Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich eines sich verändernden Landschaftswasserhaushaltes,
- Ableitung von Anpassungsstrategien und Handlungsoptionen.

Damit diese Ziele umgesetzt werden konnten, haben deutsche und tschechische Fachleute aus den Bereichen Geologie, Hydrogeologie und Wasserwirtschaft eng zusammengearbeitet, um die Grundwasserressourcen im sächsisch-böhmischen Grenzraum auch in Zukunft adäquat bewerten und schützen zu können. Vor allem eine umfassende geologische Erkundungsarbeit war nötig, um anschließend eine belastbare Grundlage für die hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Aussagen vornehmen zu können. Eine detaillierte Analyse und Auswertung der Resilienz der Grundwasserressourcen fand in den drei o.g. Fokusgebieten statt.

Aus zuvor durchgeführten Studien (z.B. Projekt „GRACE“; Kalinová et al., 2014a) ergab sich, dass der sinkende Grundwasserspiegel im Arbeitsgebiet sowohl auf klimatische Einflüsse (niederschlagsarme Jahre) als auch auf anthropogene Einflüsse (erhöhte Entnahmen aus dem Grundwasser) zurückgeführt werden kann. Auf Grundlage der bisherigen, bei der Erforschung von Klimaveränderungen und deren Folge für die Umwelt gewonnenen, Ergebnisse ist langfristig mit einem Rückgang der Grundwasserneubildung zu rechnen.

Geologische und hydrogeologische Beschreibung des Arbeitsgebietes

Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich grenzüberschreitend vom östlichen Erzgebirge über das Elbsandsteingebirge, das Böhmisches Mittelgebirge und das Zittauer Gebirge bis zum Berg Jeschken (Ješt d) über eine Fläche von 1890 km². Es liegt im Grenzbereich von drei regionalgeologischen Einheiten: der Erzgebirgisch-Fichtelgebirgischen Antiklinalzone mit ihren hochmetamorphen Gneisen im Nordwesten, dem Lausitzer Massiv mit wenig deformierten Granitoiden im Norden und dem Böhmischem

Massiv mit seinen metamorphen Gesteinen im Süden. Der größte Teil des Gebietes wird jedoch durch Sedimente des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens bedeckt (Voigt & Tröger, 2007; Voigt, 2009). Während des Tertiärs kam es mit der Absenkung des Egergrabens zum verstärkten Auftreten basischer und intermedärer Vulkanite (Cajz et al., 1996).

Die geologischen Einheiten werden von zwei regionalen Hauptstörungssystemen getrennt: der NW-SE-verlaufenden Elbezone und dem NE-SW-streichenden Egergraben. Diese beiden Störungssysteme dominieren das geologische Bild in dieser Region und enthalten auch die Hauptstörungen im Projektgebiet. Dazu gehört die NE-Begrenzung der Elbezone, die vor allem im Känozoikum wirksame Lausitzer Überschiebung, sowie die SW-Begrenzung der Elbezone, die variszisch angelegte Mittelsächsische Störung (Krentz, 2008; Stanek, 2013). Die Lausitzer Überschiebung ist eine der bedeutendsten Störungen in Europa, welche im Arbeitsgebiet die Sedimentgesteine der oberen Kreide des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens im Süden von den granitoiden Gesteinen des Lausitzer Massivs im Norden trennt.

Beim Sächsisch-Böhmischen Kreidebecken handelt es sich um ein mächtiges Sedimentationsbecken mit einem System aus mehreren grobkörnigen Grundwasserleitern, die durch geringmächtigere Grundwasserstauer voneinander getrennt werden. Diese Grundwasserleiter besitzen ein großes Potenzial für die örtliche Wasserwirtschaft. Das Auftreten von Grundwasser ist in den sedimentären Abfolgen an Bruchzonen und Störungen sowie an Poren im Gestein geknüpft. Ein kleiner Teil des Projektgebietes ist wiederum durch oberflächennah anstehende, kristalline Gesteine des magmatischen und metamorphen Untergrunds gekennzeichnet. In diesen Gebieten tritt das Grundwasser hauptsächlich in Bruchzonen, in oberflächlich verwitterten Gesteinsschichten sowie quartären Sedimenten auf.

Die Grundwasserleiter (Aquifere) setzen sich im Sächsisch-Böhmischen Kreidebecken meist aus Sandsteinen und Konglomeraten zusammen, während andere lithologische Typen mit einem höheren Feinkornanteil (Ton und Schluff) Grundwasserstauern und -geringleitern (Aquitarde/Aquiclude) entsprechen. Das hydrogeologische Konzeptmodell im Kreidebecken unterscheidet bis zu vier getrennt vorkommende Aquifere (Abbildung. 2). Die Benennung als auch die räumliche Abgrenzung ist auf deutscher und tschechischer Seite unterschiedlich. In Deutschland werden die Aquifere vom Hangenden zum Liegenden nummeriert (1-4), die tschechische Terminologie klassifiziert die Aquifere wiederum alphabetisch (a-d) in umgekehrter Reihenfolge. Zwischen den Grundwasserleitern treten teilweise markante, meist jedoch nur schlecht ausgebildete Schichten aus feinkörnigen Lagen (Tonsteine, Mergelsteine und Schluffsteine) auf.

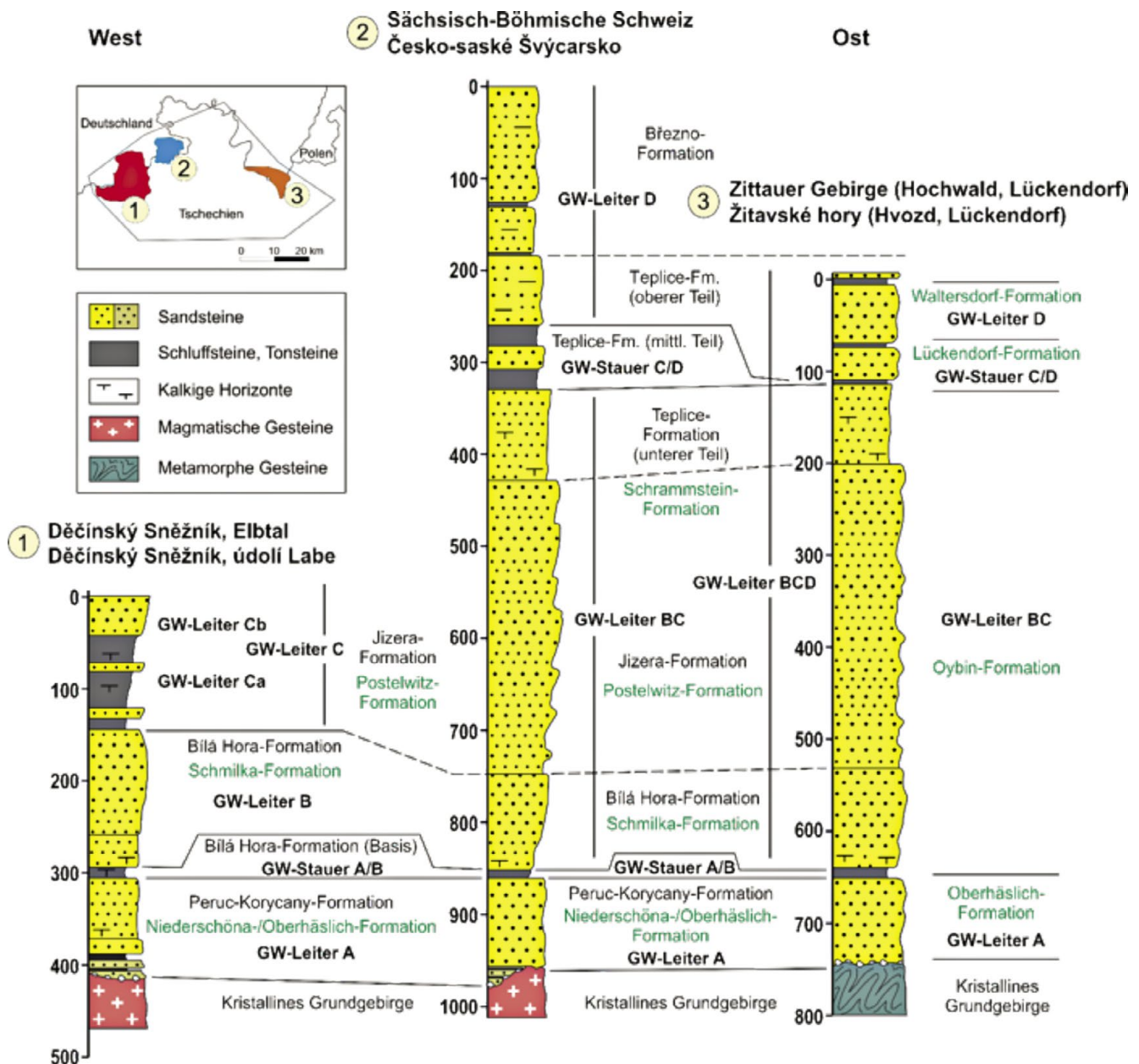


Abbildung 2: Schematisierte geologische Profile für die drei Fokusgebiete mit Bezeichnung der Formationen und Angaben der hydrogeologischen Korrelationen der Einheiten (Nádaský 2020).

Schwerpunkte der Bearbeitung

Ein wichtiges Ziel der geologischen Arbeit im Projekt ResiBil war es, eine gemeinsame geologische Karte zu erstellen, die sowohl den böhmischen als auch den sächsischen Teil des Projektgebietes umfasst (Abbildung 3). Die Arbeiten lieferten unter anderem neue Daten und Informationen über die regionale Geologie, zur Petrographie und zur Tektonik. Diese geologischen Untersuchungen dienten als Basis für die nachfolgenden hydrogeologischen Arbeiten, insbesondere zur Erstellung der konzeptionellen Modelle.

Für die geologischen Untersuchungen der Hauptgrundwasserleiter kamen weiterhin eine Reihe wissenschaftlicher Methoden zum Einsatz. Insbesondere durch geophysikalische Messungen konnten neue Erkenntnisse über die Verbreitung der Gesteine im Projekt-

gebiet gewonnen werden. Ein wichtiges Vorgehen war dabei die Korrelation zwischen den bestehenden geologischen Systemen und die anschließende Überführung in die grenzüberschreitende Karte.

Geophysikalische Untersuchungen, wie gravimetrische, geoelektrische, seismische und elektromagnetische Methoden, ermöglichen es, größere tektonische Störungen (Brüche, Verwerfungen, Überschiebungen) nachzuweisen und zu präzisieren sowie die Tiefenlage von unterschiedlichen Gesteinen zu ermitteln. Vor allem die Charakteristik der Lausitzer Überschiebung konnte im Fokusgebiet Lückendorf detailliert untersucht werden, wodurch der Kenntnisstand zu den geologischen Verhältnissen im Grenzbereich Deutschland–Tschechische Republik verbessert werden konnte.

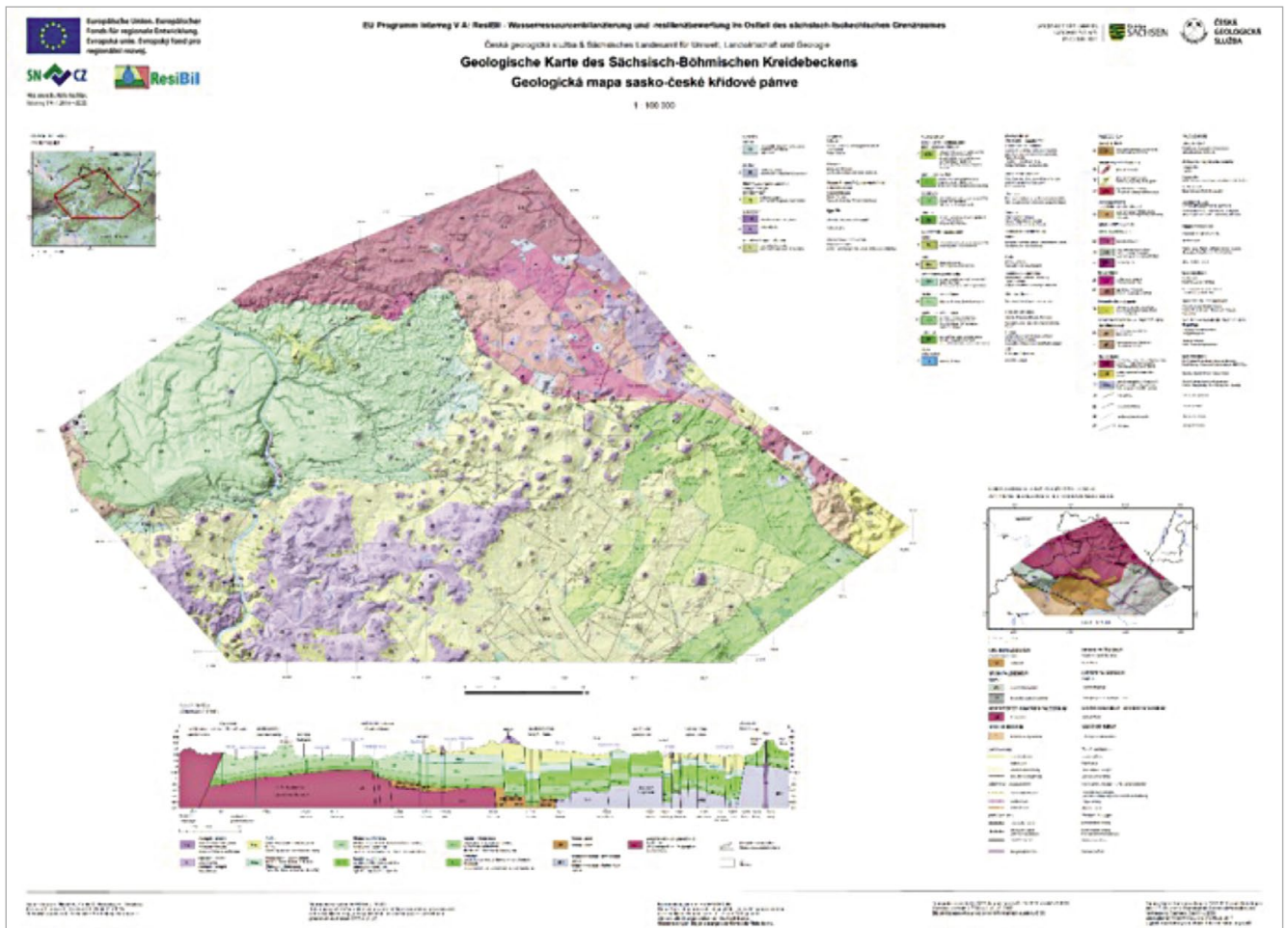


Abbildung 3: Geologische Karte des Projektgebietes im Maßstab 1 : 100 000 (Mitte), mit geologischem Profil (unten), der geologischen Übersichtskarte der präkretazischen Gesteine (rechts) und einer zweisprachigen Legende (Mičoch et al., 2018).

Der Aufbau eines einheitlichen, grenzübergreifenden geologischen 3D-Modells bildete die Grundlage für die hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Analysen. Die Korrelation der zunächst voneinander abweichenden geologischen Modelle auf deutscher wie tschechischer Seite stellte dazu eine notwendige Voraussetzung für die anschließende Erstellung eines konzeptionellen, hydrogeologischen 3D-Modells dar.

Im Rahmen des Projekts wurden zur genaueren Untersuchung der kreidezeitlichen Gesteinseinheiten Geländearbeiten genutzt, die sich auf die geometrische Abgrenzung der Hauptgrundwasserleiter und -stauer sowie auf die Ermittlung der quantitativen Kenngrößen konzentrierten. Für diese Zwecke wurden zwei hydrogeologische Erkundungsbohrungen realisiert (Abbildung 4), die – nach der Auswertung mit komplexen Bohrlochmessmethoden – zu Grundwassermessstellen ausgebaut wurden, um den Grundwasserspiegel kontinuierlich zu erfassen.

Weiterhin erfolgte eine detaillierte Bestandsaufnahme der natürlichen Quellen im Gebiet sowie Durchflussmessungen für ausgewählte Fließgewässer. Für die Erstellung der hydraulischen Modelle wurde eine umfassende Datenbasis aller Grundwassermessstellen, einschließlich der Zeitreihen ihrer Entnahme-

mengen, angefertigt und hydrologische Bilanzmodelle aufgebaut. Mithilfe dieser Datengrundlagen wurden hydraulische Modelle für die jeweiligen untersuchten Fokusgebiete realisiert und anhand historischer Daten kalibriert.

Der letzte Schritt umfasste numerische Simulationen verschiedener Entnahmeszenarien und die Berechnung des nutzbaren Grundwasserdargebots (Abbildung 5).



Abbildung 4: Erstbeschau der Bohrkern durch die Arbeitsgruppe Geologie (Foto: Dr. Ottomar Krentz).

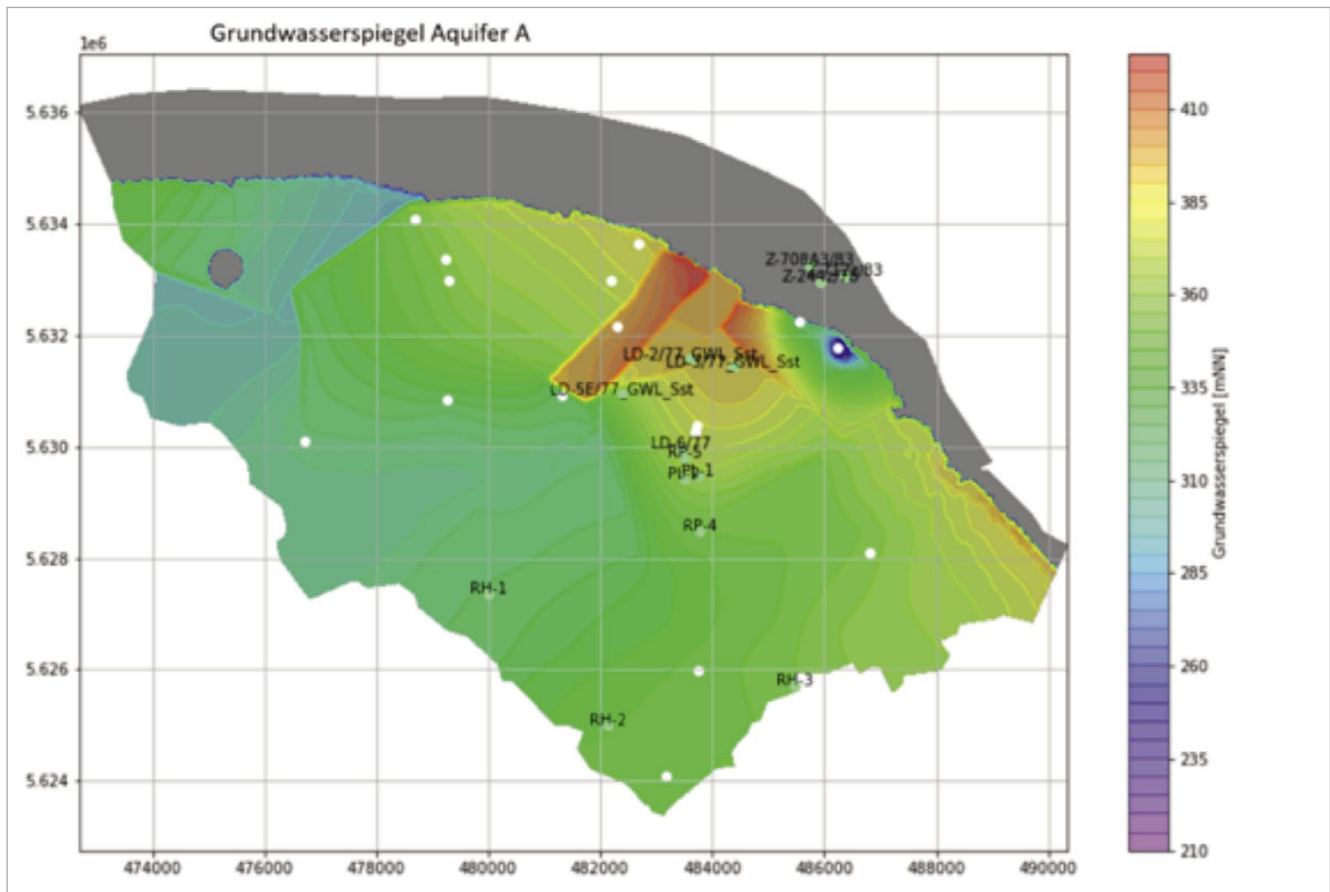


Abbildung 5: Darstellung der modellierten Hydroisohypsen des Grundwasserleiters A im Fokusgebiet Lückendorf für das Jahr 2019 (Hrkal et al., 2020).

Ausführlichere Arbeit

Im Projekt ResiBil wurden mehrere geologische und hydrogeologische Publikationen angefertigt. Diese sind kostenfrei unter www.resibil.sachsen.de einsehbar.

Referenzen

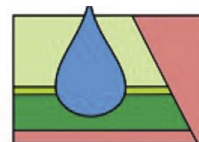
- Cajz, V. (ED.), Miřoch, B., řech, S., Valeřka, J., Kadlec, J., Burda, J., Holý, M., Ulrych, J., Kinský, J. řt Chvátal, P. (1996): řeské řředohoří. Geologická a přírodovědná mapa 1 : 100.000. – řGÚ, 160 S., Prag.
- Hrkal, Z., Rozman, D., Eckhardt, P., Nol, O., Mrázová, ř., Nakládal, V., Pohle, M., Mihm, F., Mittag, S. řt Rommel, A. (2020): Hydrogeologie des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens zwischen Erzgebirge und Jeschken. ISBN 978-80-87402-89-4.
- Kalinová, M., Eckhardt, P., Martinková, M., Simek, P., Bilý, M., Koubková, L., Böhm, A.-K., Börke, P. řt Schulz, C. (2014a): Grundwasserressourcen im Tschechisch-Sächsischen Grenzraum – II. Gebiet Petrovice-Lückendorf-Jonsdorf-Oybin.– Ergebnisse des EU-Projektes „Gemeinsam genutzte Grundwasserressourcen im tschechisch-sächsischen Grenzgebiet (GRACE)“, Wasserforschungsinstitut T.G. Masaryk, Prag; Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft, Geologie, 91 S., Dresden/Freiberg.
- Krentz, O. (2008): Postvariszische tektonische Entwicklung. –In: Pälchen, W. řt H. Walter (eds.): Geologie von Sachsen –Geologischer Bau und Entwicklungsgeschichte. – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 472–478, Stuttgart.
- Miřoch, B., Krentz, O., Nádaskay, R., Valeřka, J., Mrázová, ř., Junge, R., Reinhardt, S. řt Pohle, M. (2018): Geologische Karte des Sächsisch-Böhmischen Kreidebeckens/Geologická mapa sasko-řeske křídove panve M 1 : 100.000. – Czech Geological Survey, Prag; Sächsisches Landesamt f. Umwelt, Landwirtschaft, Geologie, Dresden/ Freiberg.
- Nádaskay, R (2020): (Hydro)geologie. – Roll up; Wanderausstellung Projekt ResiBil; https://www.resibil.sachsen.de/download/ResiBil_Wanderausstellung_de.pdf; 20.12.2021, 09:57 Uhr.
- Stanek, K.P. (2013). Junge (känozoische) tektonische Entwicklung der Kristallingebiete in Sachsen Abschlussbericht 25.11.2013. LfULG, Freiberg.
- Voigt, T. řt Tröger, A. (2007a): Elbtal Gruppe. In: Niebuhr, B., Hiss, M., Kaplan, U., Tröger, A., Voigt, S., Voigt, T., Wiese, F. řt Wilmsen, M. (Hg.): Lithostratigraphie der norddeutschen Oberkreide. Schriftenr. Dt. Ges. Geowiss., 55: 49–51.
- Voigt, T. (2009): Die Lausitz-Riesengebirgs-Antiklinalzone als kreidezeitliche Inversionsstruktur: Geologische Hinweise aus den umgebenden Kreidebecken. –Zeitschr. geol. Wiss. 37, 1/2: 15–39.



**Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.**



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg V A / 2014–2020



ResiBil war ein vom Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und durch Landesmittel des Freistaates Sachsen unterstütztes, internationales Projekt aus dem Programm zur Förderung der grenzübergreifenden Zusammenarbeit zwischen dem Freistaat Sachsen und der Tschechischen Republik 2014–2020, registriert unter der Nummer 100267011.

Artus – Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen – Eine tektonische Neugliederung Sachsens



**Franz Müller,
Leomaris Domínguez-Gonzalez,
Uwe Kroner, Klaus Stanek**

Technische Universität Bergakademie Freiberg,
Institut für Geologie
Bernhard-von-Cotta-Straße 2
09599 Freiberg
E-Mail: f.mueller@geo.tu-freiberg.de

Louis Andreani

Helmholtz-Institut Freiberg für Ressourcentechnologie
Chemnitzer Straße 40
09599 Freiberg

**Ottomar Krentz, Ines Görz,
Sebastian Weber**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie,
Pillnitzer Platz 3
01326 Dresden

Zum Autor

M. Sc. Franz Müller

■ Was ist mein jetziges Arbeitsfeld?

Mein wissenschaftlicher Fokus liegt auf variszischen orogenen Prozessen im Saxothuringikum und Mitteleuropa. Dabei greife ich auf unterschiedliche methodische Ansätze zurück, wie z.B. geologische 3D-Modellierung, Mikrotektonik oder Texturanalyse.

■ Was verbindet mich mit der sächsischen Geologie? Was ist mir wichtig?

Neben einer persönlichen regionalen Verbundenheit, ist es die außerordentliche geologische Vielfalt und Komplexität der geologischen Verhältnisse, die die sächsische Geologie für mich auszeichnet. Von der variszischen Ultrahochdruckmetamorphose bis zur letzten Kaltzeit bietet Sachsens Geologie beste Grundvoraussetzungen für interdisziplinäres Arbeiten.

■ Wo sehe ich die Schwerpunkte der sächsischen Geologie in der Zukunft?

Das herausragende Erbe der geologischen Dokumentationen aus Erkundung und Bergbau in Sachsen bildet einen Grundstein für die Beantwortung aktueller Fragestellungen der sächsischen Geologie. Diesen „Datenschatz“ zu heben, systematisch aufzubereiten und verfügbar zu machen, ermöglicht es modernen wissenschaftlichen Arbeiten von diesem Erbe zu profitieren.

Projektvorstellung

Kurzfassung

Die genaue Lokation von tektonischen Störungen sowie ihre Eigenschaften haben eine hohe Relevanz für zahlreiche praktische Fragestellungen der Hydrogeologie, Rohstoffexploration und für Infrastrukturvorhaben. Deshalb führt das LfULG in Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg im Rahmen der Projektfamilie ARTUS eine Bestandsaufnahme des tektonischen Strukturinventars im geologischen Untergrund Sachsens durch. Die Projektergebnisse werden in eine Datenbank eingepflegt, die Störungsdatenbank Sachsens, welche ein Teil des Fachinformationssystems (FIS) Geologie ist. Dadurch können die Störungen lagegenau dargestellt, ihre Eigenschaften abgefragt und gruppiert werden. Die neu entstandene Störungsdatenbank unterstützt eine moderne und konsistente Bereitstellung geologischer Informationen durch den Staatlichen Geologischen Dienst Sachsens.

Abstract

The spatial location and the specific character of tectonic lines is crucial for numerous practical applications such as hydrogeology, exploration and for infrastructural projects. In order to significantly improve our understanding of the available tectonic data set of Saxony, a series of cooperation projects named ARTUS has been performed by the Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology (LfULG) and the Technical University of Freiberg. The purpose of these projects is to pool the widely scattered tectonic data to a comprehensive tectonic inventory data base. Particularly, the project aims to establish a hierarchically-organized data base, the Saxon Fault Data Base, which is part of the Professional Information System Geology (FIS Geologie). This approach permits an accurate representation of the spatial position of tectonic lines on a geological map as well as querying and grouping their characteristics and properties. The new fault data base supports the Saxon Geological Survey providing geological data in a modern and consistent way.

1. Einleitung

Störungen repräsentieren tektonisch verursachte, strukturelle Veränderungen des primären Gesteinsverbandes. Entlang der Bewegungsbahn einer Störung bildet sich oft eine diskrete Trennfläche zwischen tektonisch unbeanspruchten Gesteinsbereichen aus. Dies verursacht abnormale Gesteinseigenschaften im Untergrund, die sich über unterschiedliche räumliche Distanzen erstrecken können. Die genaue Lokation von Störungen hat praktische Relevanz für zahlreiche angewandte Fragestellungen. Störungszonen stellen in vielen Regionen wichtige Wegsamkeiten sowohl für oberflächennahe Grundwässer als auch Tiefenwässer dar. Die Kenntnis dieser Transportwege im Untergrund hilft belastbare Prognosen für die Ausbreitung von Schadstoffen zu erstellen. Großräumige Störungszonen beeinflussen auch die mechanische Integrität der umgebenen Gesteinsverbände, was

wiederum Implikationen für Infrastrukturvorhaben im tieferen geologischen Untergrund hat.

Obwohl der Freistaat Sachsen auf Grund des Jahrhunderte alten Bergbaus zu den geologisch am besten erkundeten Regionen Europas gehört, enthalten die historischen Kartenwerke häufig nur wenige tektonische Elemente. Die Datensätze liegen in einem Zustand heterogener Datenqualität und maßstäblicher Auflösung vor und sind häufig nicht miteinander kompatibel. Zusätzlich fehlen zumeist, da keine moderne Überarbeitung vorliegt, Angaben zur Kinematik und dem Alter der Störungen. Basierend auf diesem Sachstand gibt das Fehlen eines konsistenten, digitalen Störungsdatensatzes für den Freistaat Sachsen Anlass für das Projektvorhaben ARTUS „Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen“. Im Rahmen dieser Projektfamilie führt das LfULG in Zusammenarbeit mit der TU Bergakademie Freiberg seit 2011 eine Bestandsaufnahme des Strukturinventars tektonischer Störungen durch.

2. Von der Projektfamilie ARTUS zur Störungsdatenbank

Die Arbeiten umfassen eine einheitliche Neubewertung, Qualifizierung und Digitalisierung des Altdatenbestandes. Zur Qualifizierung des Kenntnisstandes aller Störungselemente wird im Projekt ARTUS ein multidisziplinärer Ansatz aus geophysikalischen, petrophysikalischen, geochronologischen, und mikrostrukturellen Befunden herangezogen. Diese Arbeitsweise erlaubt es, einzelne Subelemente von tektonischen Strukturen räumlich zu erfassen und fachlich zu definieren. Zusätzlich wurden Geländearbeiten, isotope-geochemische und palynologische Altersdatierungen sowie geomorphologische Analysen durchgeführt.

Die Arbeiten wurden in zahlreichen Gesteinskomplexen Sachsens vorgenommen (Franke, 2018):

1. in dem cadomisch geprägten Lausitzer Block,
2. in den hochgradig metamorphen, variszischen Einheiten des Granulitgebirges und Erzgebirges,
3. in den variszisch verfalteten und deformierten Schiefergebirgsserien,
4. in den spätvariszischen Pluton-Massiven und
5. in unterschiedlichen Deckgebirgsserien des Perms, Mesozoikums und Känozoikums.

Die Ergebnisse des Projekts werden in die neu entstehende Störungsdatenbank Sachsens eingepflegt, die sowohl Geometriedaten als auch zahlreiche Attribute zur Störungsbeschreibung enthält. Die Geometriedaten werden als Linien einheitlich im

Koordinatensystem ETRS1989 UTM 33 N erfasst. Außerdem enthält die Datenbank für jedes Störungssegment Namen, Alter, Strukturtyp, Versatzart, Streich- und Fallrichtung, Fallwinkel, Versatzbetrag, Materialverhalten und versetzte Einheiten. Zur Beschreibung der Attribute wird überwiegend mit Referenztabelle gearbeitet, so dass die Attribute einheitlich benannt und geschrieben werden. Dies erlaubt es, das vollständige tektonische Inventar, das in der Datenbank enthalten ist, nach individuell wählbaren Eigenschaften zu gruppieren und abzufragen. Zusätzlich enthält die Datenbank Informationen darüber, auf welchen Datengrundlagen die Ausweisung der jeweiligen Störung beruht. Die neu entstandene Störungsdatenbank unterstützt eine moderne und konsistente Bereitstellung geologischer Informationen durch den Staatlichen Geologischen Dienst Sachsens.

Das Projekt ARTUS legt einen besonderen Fokus auf die Identifikation von tektonischen Bewegungen in der jüngeren Deformationsgeschichte Sachsens, da die Zunahme untergrundbezogener Bauvorhaben für verschiedene Nutzungsmöglichkeiten hohe Anforderungen an die Beschreibung von aktiven Störungszonen im geologischen Untergrund stellt. Junge Tektonik wird von Fachleuten auch unter dem Begriff „Neotektonik“ zusammengefasst. Nach der Definition von Steward und Hancock (1994) wird Neotektonik als der Zweig der Tektonik verstanden, der sich mit den Bewegungen und Spannungsfeldern in der Erdkruste befasst, die rezent den vorherrschenden Deformationszustand auf regionalem Maßstab charakterisieren. Diese Definition impliziert, dass neotektonische Aktivität unterschiedlich weit in die Vergangenheit reichen kann. Im Projekt ARTUS wird der Begriff Neotektonik etwas weiter gefasst, da hier vor allem der Begriff der „aktiven Störungszone“ im Vordergrund steht. Als aktive Störungszone werden im Projekt ARTUS Bereiche verstanden, in denen nachweislich oder mit großer Wahrscheinlichkeit in der Stufe des Rupels (unteres Oligozän) bis heute, also innerhalb der letzten 34 Millionen Jahre, tektonische Bewegungen stattgefunden haben.

3. Bedeutende Störungen in Sachsen

In Sachsen werden die prägenden tektonischen Groseinheiten, wie es für Mitteleuropa charakteristisch ist (Reicherter et al., 2005), durch zahlreiche regionale bis überregionale, überwiegend NW-SE sowie NE-SW streichende Störungszonen getrennt. Zu den bedeutendsten Störungszonen dieser Art gehören:

1. die **Elbe-Zone**, die die Grenze zwischen dem Lausitzer Block einerseits und dem Erz- und Granulitgebirge andererseits markiert, wobei die Elbezone nach Südwesten durch die Mittelsächsische Störung und nach Nordosten durch die Lausitzer Überschiebung begrenzt wird,
2. die **Flöha-Zone** als Grenze zwischen dem Osterzgebirge und dem Mittleren- und Westerbirge,

3. die **Gera-Jáchymov-Zone**, die sich am Südwest-Rand des Erzgebirges befindet und die Granitmassive von Kirchberg und Eibenstock östlich begrenzt,
4. das **Zentralsächsische Lineament**, ein NE-SW streichendes markantes Strukturelement, das den Kontakt der allochthonen Einheiten des Erzgebirges und Fichtelgebirges zum restlichen Saxothuringikum darstellt.
5. die **Innerlausitzer Störung/Innersudetische Verwerfung**, welche innerhalb des Lausitzer Blocks gering deformierte cadomische Lithologien von den variszisch deformierten Einheiten des Görlitzer Schiefergebirges trennt,
6. der **Lausitzer Hauptabbruch** als nordöstlichste Grenze des Lausitzer Blocks und
7. der **Erzgebirgsabbruch** der das Erzgebirge nach Südosten zum Egergraben hin begrenzt.

Für diese tektonischen Zonen von (über-) regionalem Charakter bestehen hinsichtlich einer tektonischen Definition erhebliche Datenlücken. Neben diesen prominenten, transregionalen Störungszonen treten in Sachsen unzählige lokale Störungen auf, die im ARTUS-Projekt ebenfalls berücksichtigt werden. Der Kenntnisstand zu diesen Störungen ist teilweise noch lückenhaft.

Zum derzeitigen Zeitpunkt geben die Projektergebnisse der ARTUS-Familie bereits einen guten Überblick über die tektonische Entwicklung in Sachsen (Abbildung 1). Einen Überblick über im Text genannte Störungen gibt Tabelle 1. Probleme gibt es vor allem mit der zeitlichen Einstufung der Hauptaktivität der Störungen. Während variszische und känozoische Störungen recht gut zu identifizieren sind, ist die Einstufung cadomischer und mesozoischer Störungen problematisch. In den folgenden Kapiteln geben wir einen Überblick über den Kenntnisstand zu den verschiedenen tektonischen Phasen und die dabei entstandenen Störungen.

4. Die cadomische tektonische Entwicklung

Die tektonische Entwicklung des sächsischen Grundgebirges begann am westafrikanischen Rand Gondwanas mit der cadomischen Orogenese vor 650 – 540 Millionen Jahren, gefolgt von frühpaläozoischer Dehnungstektonik welche mit der Öffnung des Rheic-Ozeans assoziiert ist (Linnemann et al., 2010). Cadomische Gesteine sind in weiten Bereichen Sachsens nachweisbar und besonders in der Lausitz gut erhalten (Linnemann et al., 2007; Krentz et al., 2000; Kozdrój et al., 2001). Hier ist vor allem die neoproterozoische Lausitzer Grauwackeneinheit zu nennen, in der die Schichtung und die Faltenachsen überwiegend ENE-WSW streichen (Möbus, 1962). Diese Faltung ist genetisch mit cadomischer Deformation verbunden (Kemnitz, 2007), der Metamorphosegrad der Grauwacken ist moderat bis gering (Linnemann et al., 2010). Der cadomische Block der Lausitz wurde während der variszischen Gebirgsbildung nur randlich deformiert und steht damit im Gegensatz zum angren-

zenden Erzgebirge welches durchgreifend von der variszischen Kollisionstektonik erfasst und teilweise hochmetamorph überprägt wurde (Kemnitz und Budzinski, 1991; Tichomirowa et al., 2001). Im Projekt ARTUS sind Störungen cadomischen Alters bisher nicht verzeichnet, da absolute Altersdaten für tektonische Aktivität in diesem Zeitraum fehlen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass tektonische Bewegungen existierten, die mit der cadomischen Orogenese assoziiert waren, entsprechende Strukturen aber durch jüngere Bruchtektonik überprägt und damit maskiert wurden.

5. Die variszische tektonische Entwicklung

Die variszische Orogenese geht mit einer heterogenen Deformation und Metamorphose cadomischer Lithologien, post-cadomischer Schelfsedimente und variszischer synorogener Sedimente einher. Mit Ausnahme des Lausitzer Blocks, prägt die variszische Gebirgsbildung maßgeblich alle Grundgebirgseinheiten Sachsens (Kroner et al., 2007). Dies schließt sowohl die hochgradig-metamorphen Einheiten des Erzgebirges und Granulitgebirges als auch die intensiv deformierten Schiefergebirgseinheiten ein, die einen niedrigen Metamorphosegrad aufweisen.

Die eingangs beschriebenen regionalen Störungen, die den Lausitzer Block und das Erzgebirge durchziehen und/oder umgeben, wurden primär im Spätstadium der variszischen Gebirgsbildung (330 bis 300 Millionen Jahre) angelegt und sind ursächlich für die heute zu beobachtende Architektur der Sächsischen Oberkruste verantwortlich. Für das Lausitzer Gebiet wurden Hinweise auf variszische tektonische Bewegungen entlang unterschiedlicher Störungen nachgewiesen, z.B. die Torgau-Finsterwalde Überschiebung, die den Lausitzer Block nach Nordwesten hin begrenzt (Göthel, 1998). Besonders markant sind variszische Bewegungen entlang der Innerlausitzer Störung, wo allochthone ordovizische, silurische, devonische und unterkarbone Serien des Görlitzer Schiefergebirges auf den Lausitzer Block überschoben wurden (Göthel, 2001). Diese Störung wurde während der alpinen Tektonik reaktiviert.

Im Erzgebirge konnten zahlreiche variszische Störungen in die Störungsdatenbank eingepflegt werden. Hervorzuheben ist hierbei die Flöha-Zone (Sebastian, 1995), die Ost- und Westergebirge trennt. Nach Westen hin schließt sich die Gera-Jáchymov-Zone an, die sich aus einer Vielzahl von Subelementen zusammensetzt (z.B. der „Rote Kamm“ im Westergebirge), und ebenfalls auf einen variszischen Ursprung zurückgeht (Bankwitz et al., 1993). Viele dieser Störungszonen weisen aufgrund ihrer initialen Anlage in der mittleren Kruste duktile Deformationsstrukturen auf (Sebastian, 1995), die oft als grünschieferfazielle, mehrphasige Mylonite ausgeprägt sind (Rauche, 1992). Gerade für Störungen dieses Typus wurde im Projekt ARTUS die Frage nach der genauen räumlichen Lage gestellt, da die Deformation sich nicht auf diskrete Flächen konzentriert, sondern in einem Störungsvolumen nachweisbar ist. Der momentane Arbeitsstand ist, dass diese Verwerfungen in der Datenbank als Linien dargestellt

wurden, da sich die Störungszonen auf Grund der schlechten Aufschlussverhältnisse nur unzureichend abgrenzen lassen.

Im Kern des sächsischen Granulitgebirges wurden duktile variszische Strukturen bereits in älteren Arbeiten nachgewiesen (Kroner, 1995; Rötzler und Romer, 2001). Entlang des Zschopautals bei Waldheim und des Chemnitztals bei Burgstädt konnten im Granulitgebirgskern eindeutig variszische duktile Scherzonen ausgehalten werden. Die Kerngranulite erfuhren ihren Metamorphosehöhepunkt und anschließende isothermale Dekompression zwischen 340 – 330 Millionen Jahren im späten Karbon und wurden als über 800 °C heiße Gesteine an die Basis der Oberkruste exhumiert. Dies bedeutet, dass alle variszischen Strukturen zunächst duktile Verformung abbilden und bruchhafte Verformung erst ab dem obersten Paläozoikum stattfinden konnte. Späte, spröde tektonische Abschiebungen finden sich hauptsächlich im Randbereich des Granulitgebirges (granulitexterne Bruchstrukturen). Weitere Typen von variszischen Bruchstrukturen treten in Form von mineralisierten Brüchen sowie syn- und postkinematischen Granitgängen auf (Müller et al., 2019).

Tabelle 1: Charakteristik wichtiger Störungen in Sachsen.

Der Fallwinkel wird nur grob klassifiziert, da er entlang der Störung mehrfach wechseln kann:
flach - 1-30°, mittel 31°-60°, steil - 61-90°.

Name	Fallrichtung	Fallwinkel	Versatzart	letzte nachweisbare tektonische Phase
Altenburg-Affalter-Störung	SW	mittel	Abschiebung	post-variszische bis rezente Tektonik
Aue-Abbruch	NE	unbestimmt	Abschiebung	rezente Tektonik
Cunewalde-Störung	unbestimmt	unbestimmt	unbestimmt	rezente Tektonik
Erzgebirgs-Abbruch	SE	steil	Abschiebung	Neotektonik bis rezente Tektonik
Flöha-Abbruch	NE	unbestimmt	Abschiebung	rezente Tektonik
Hoyerswerda-Querstörung	saiger	steil	sinistrale Transformstörung	alpine Tektonik
Innerlausitzer Störung	saiger	steil	sinistrale Transformstörung	alpine Tektonik
Lausitzer Hauptabbruch	SW	unbestimmt	Aufschiebung	alpine Tektonik bis Neotektonik
Lausitzer Überschiebung	NE	steil	Aufschiebung	alpine bis rezente Tektonik
Mittelsächsische Störung	saiger	steil	dextrale Transformstörung	variszische Tektonik
Roter Kamm	NE	mittel	Abschiebung	post-variszisches Rifting
Torgau-Finsterwalde-Überschieb.	NW	flach	Aufschiebung	variszische Tektonik
Vorerzgebirgs-lineament	unbestimmt	unbestimmt	unbestimmt	rezente Tektonik
Waldheim-Störung	unbestimmt	steil	Dehnung	rezente Tektonik
Westlausitzer Störung	saiger	steil	dextrale Transformstörung	variszische bis rezente Tektonik

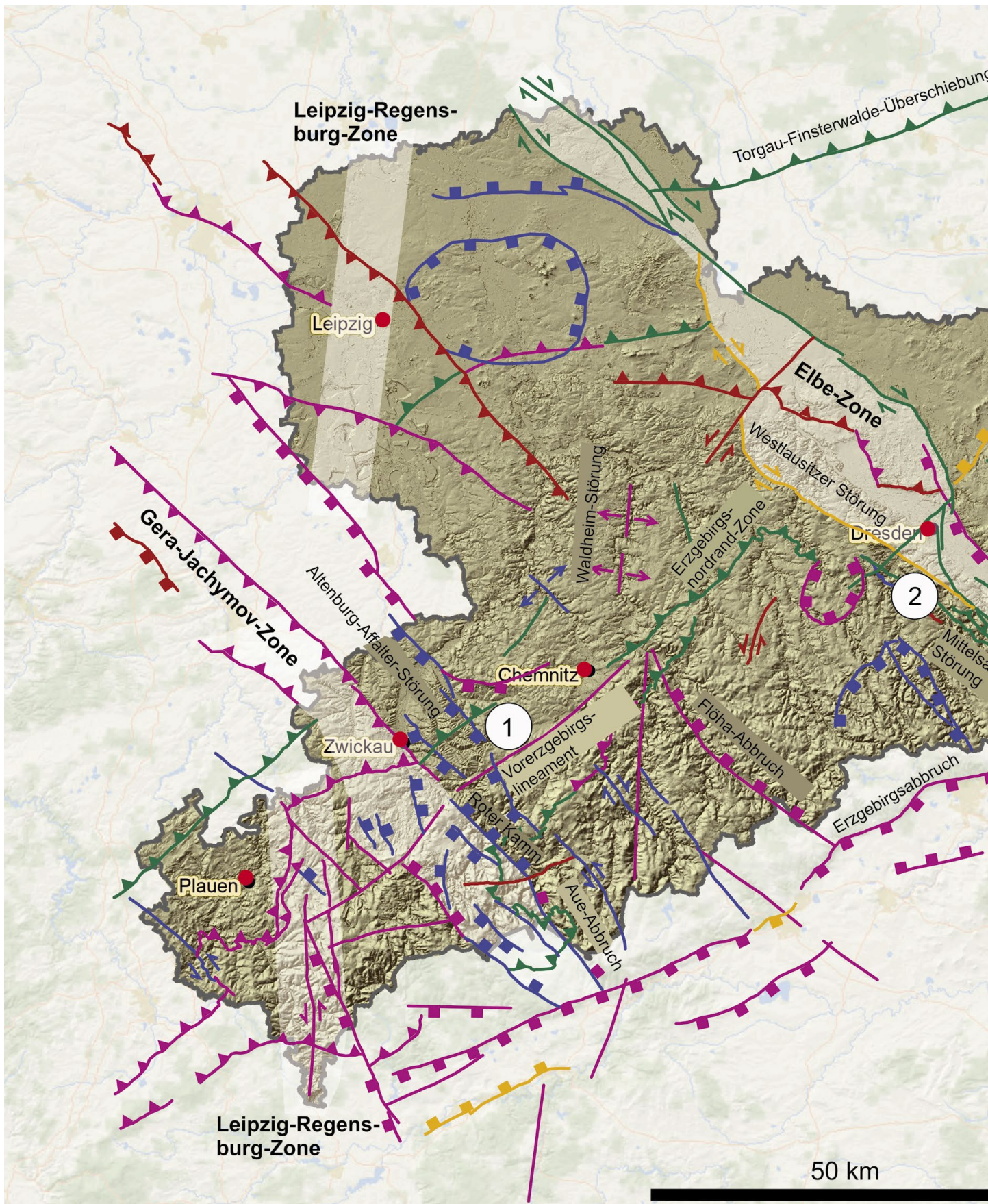


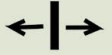



Abbildung 1: Bedeutende Störungen in Sachsen.

Die Gera-Jáchymov-Zone, die Elbe-Zone, der Eger-Graben und die Leipzig-Regensburg-Zone sind hell unterlegt und aus vielen einzelnen Störungen aufgebaut. Farblich wird immer die jüngste nachweisbare tektonische Aktivität dargestellt. Eine nähere Erläuterung der tektonischen Phasen ist im Text zu finden.


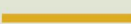





Legende:





Versatzart einer Störung:

-  Dehnungsbruch
-  Transformstörung
-  Aufschiebung
-  Abschiebung

jüngste nachweisbare tektonische Aktivität einer Störung:

-  rezente Tektonik
-  Neotektonik
-  alpine Tektonik
-  postvariszische Extensionstektonik
-  variszische Tektonik

wichtige Becken:

-  1 Chemnitz-Becken
-  2 Döhlen-Becken
-  3 Berzdorfer Becken
-  4 Zittauer Becken

Esri, Garmin, GEBCO, NOAA NGDC, and other contributors

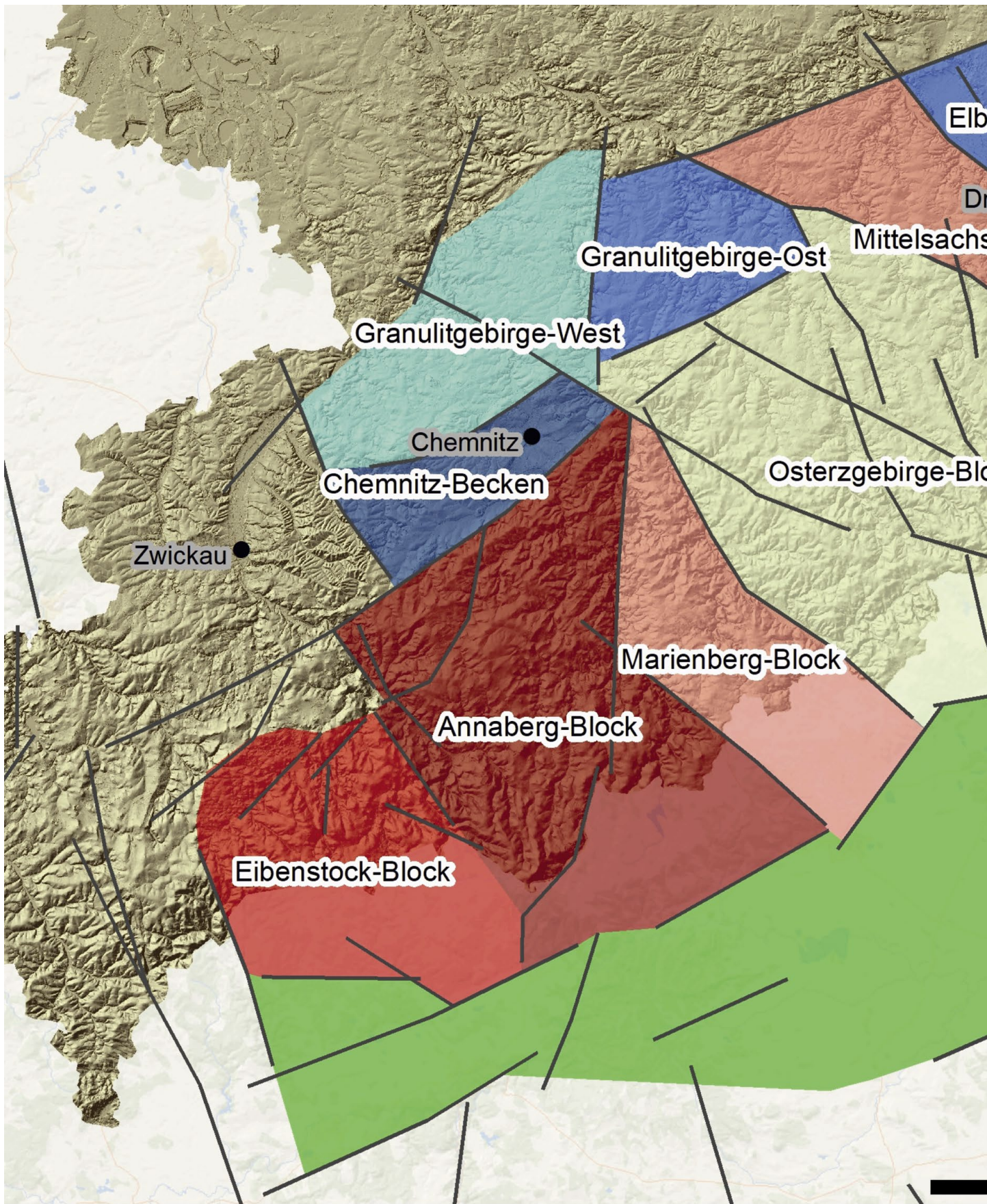
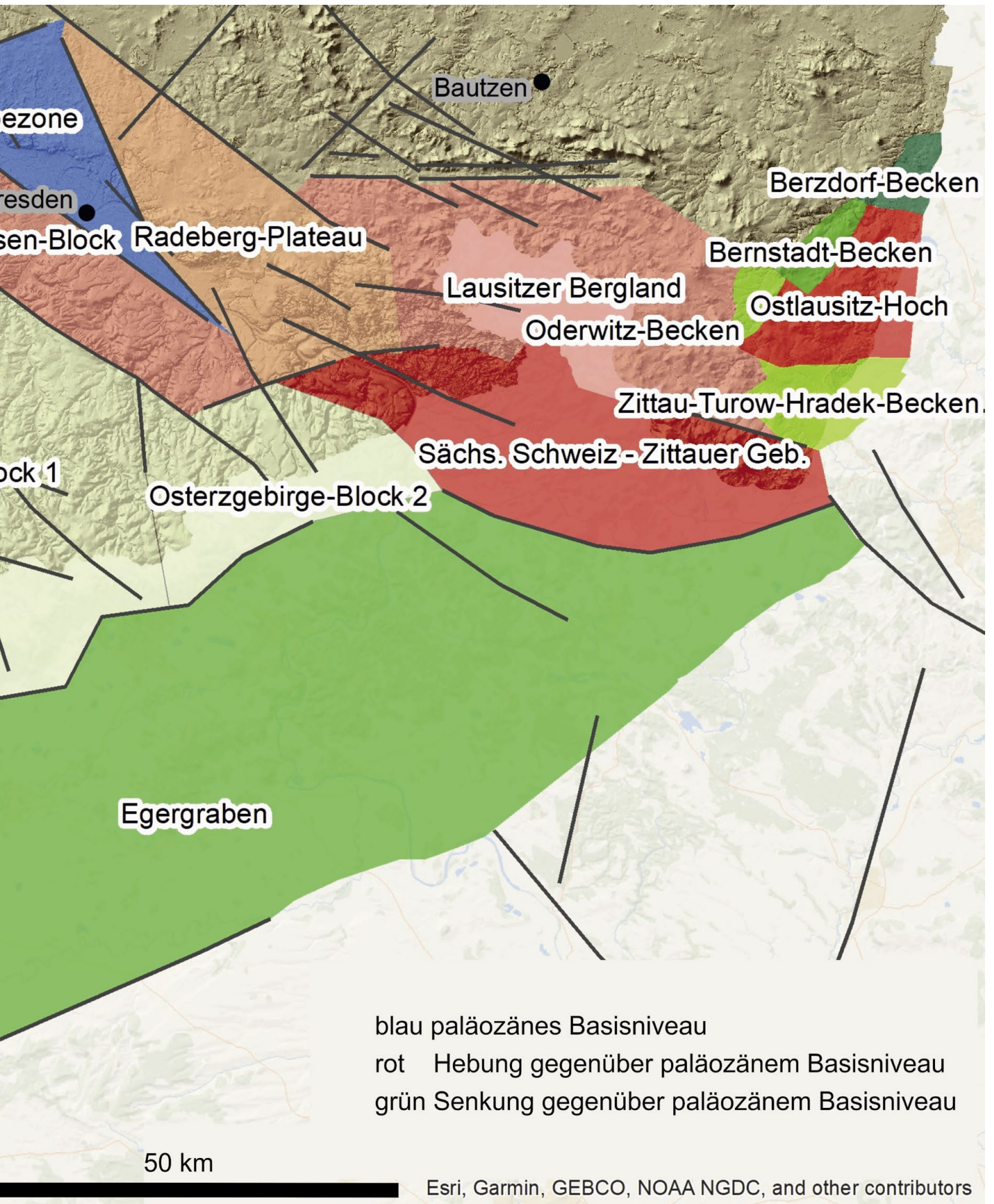


Abbildung 2: Abgrenzung von Bruchschollen entlang geomorphologisch wirksamer Störungen im Känozoikum in Sachsen. Verändert nach Dominguez-Gonzalez et al. (2022) und Stanek et al. (2016b).



6. Die post-variszische Extensionstektonik

Nach der variszischen Orogenese setzte im Perm eine ausgedehnte Extensionsphase ein, die sich bis in die frühe Kreide fortsetzte (300 bis 100 Millionen Jahre). Die Orientierung des Spannungsfeldes änderte sich mehrfach.

Diese tektonische Phase begann mit dem post-orogenen Kollaps bei NW-SE sowie NE-SW orientierter Extension (Reicherter et al., 2008). Anschließend lässt sie sich mit überregionalen Dehnungsbewegungen der mitteleuropäischen Extensionsprovinz (Kroner und Romer, 2013) in Verbindung bringen: mit der Öffnung der Neotethys, der Bildung des Norddeutschen Beckens, der Grabenbildung entlang der Achse des Oslo-Grabens sowie der Spreizung des Zentralatlantiks.

In Sachsen weisen diese Bewegungen einen abschiebenden Charakter auf und haben zur Anlage von Rotliegend-Becken geführt, z.B. vom Chemnitz-Becken und vom Döhlen-Becken. Prominentes Beispiel für eine aktive Störungszone dieser tektonischen Phase ist die Altenburg-Affalter-Störung, die als NW-SE streichendes Element sowohl die Rotliegend Sedimente des Chemnitz-Beckens als auch die Nordwestrandzone des Erzgebirges durchzieht (Stanek, 2016a).

Zu Beginn des Mesozoikums wurde das Grundgebirge der Lausitz, des Erzgebirges und des Granulitgebirges eingeebnet. Es kann davon ausgegangen werden, dass im Anschluss triassische, jurassische und früh-kreidezeitliche Sedimente zur Ablagerung kamen. Sedimente aus dieser Phase sind allerdings bis auf wenige lokale, relik-tische Vorkommen nicht mehr erhalten, so dass tektonische Informationen über diesen Zeitraum nur aus wiederaufgearbeitetem Detritus, Datierung von Mineralisationen entlang von Störungsflächen oder Vulkaniten, die an Störungszonen gebunden sind, abgeleitet werden können (Voigt, 2009; Hofmann et al., 2013). Die post-variszischen hydrothermalen Gänge des Erzgebirges sind ebenfalls Ausdruck der extensionalen Tektonik im späten Paläozoikum und Mesozoikum. Die Verteilung und Orientierung dieser mineralisierten Dehnungsbrüche wird durch präexistente Störungsstrukturen und die überregionale Tektonik gesteuert. Nach Romer et al. (2010) können die Paragenesen der hydrothermalen Erzgänge unterschiedlichen zeitlichen Episoden vom Perm bis zur unteren Kreide zugeordnet werden (Stanek, 2019a).

In der Lausitz kann trotz eines weniger umfangreichen Kenntnisstandes mesozoische tektonische Aktivität dokumentiert werden, z.B. entlang der Hoyerswerda-Querstörung, die in diesem Zeitraum als Dehnungsstruktur reaktiviert wurde (Stanek, 2016a). Ein extensionales, tektonisches Regime während der Unterkreide wird durch Datierungen an ultramafischen Lamprophyr-Gängen im Steinbruch Klunz bei Eberbach für die Lausitz gestützt (Renno et al., 2003; Abdelfadil et al., 2010).

Im Granulitgebirge können Störungen, die im Mesozoikum aktiv waren, nicht sicher identifiziert werden, da ähnlich wie im Erzgebirge und in der Lausitz eine mesozoische Bedeckung fehlt und eine Unterscheidung von meso- und känozoischen spröden Bruchstrukturen nicht möglich ist.

7. Alpine Tektonik nördlich der Alpen

Von der mittleren Kreide bis zum frühen Paläozän (vor 100 bis 55 Millionen Jahren) begann der Einfluss der alpinen Tektonik auf die Europäische kontinentale Kruste im Vorlandbereich des Orogens (Reicherter et al., 2008). Nach den E- bis NE-orientierten Dehnungsprozessen, die bis in die Unterkreide auftraten, wechselte das tektonische Regime in der Oberkreide. Die NE-gerichtete Konvergenz von Afrika, relativ zu Iberia und Europa, hatte die Aktivierung von Überschiebungen in ganz Zentraleuropa zur Folge (Kley und Voigt, 2008). Hierbei wurden bereits angelegte NW-SE streichende Störungen reaktiviert (Brause, 1990), was zu einer Inversionstektonik entlang der Lausitzer Überschiebung führte (Voigt, 2009; Käßner et al., 2020).

Ab dem Eozän (vor 45 bis 35 Millionen Jahren) kam es durch die Spreizung des nördlichen Atlantiks zu einer Rejustierung der Kompression in N-S Richtung (Handy et al., 2010). Im Rahmen des Projekts ARTUS konnte aus geomorphologischen Daten allerdings abgeleitet werden, dass die kretazischen bis früh-paläozänen topographischen Erhebungen bereits im mittleren Paläozän unter tropischem Klima während einer tektonischen Ruhephase vollständig nivelliert worden waren, was einem paläozänen Peneplain-Stadium zugeordnet werden kann (Domínguez-Gonzalez et al., 2022; Tietz und Büchner, 2015).

Ab dem Oligozän bis zum frühen Miozän folgte dann eine extensive Phase vor 35 – 15 Millionen Jahren, die NNW- bis NNE-gerichtete Extension zur Folge hatte. In diesen Zeitraum fällt die initiale Subsidenzphase des Egergrabens (Rajchl et al., 2009; Andreani et al., 2014) als auch in nordöstlicher Verlängerung die Bildung der Zittauer- und Berzdorfer-Becken in der Oberlausitz. Hierbei ist zu beachten, dass der Egergraben südlich des Erzgebirges entlang des Erzgebirgsabbruchs morphologisch gut zu verfolgen ist, während er als südöstliche Grenze des Lausitzer Blockes nach Osten hin morphologisch wesentlich weniger deutlich ausgeprägt ist. Ein ähnliches Bild liegt in der Region der Niederlausitz vor, wo eine Serie von NW-streichenden Grabenstrukturen (Kauscher-Graben, Graben von Weißwasser) den Lausitzer Hauptabbruch nachzeichnen (Krentz und Lapp, 2010). Im nördlichen Niederlausitzer Braunkohle-Revier versetzen alle Abschiebungen, die diese Grabenstrukturen begrenzen, miozäne Kohleflöze (Kühner, 2008). Dies belegt eine spät-miozäne bis pliozäne Aktivität der Störungen.

8. Neotektonik

Der Nachweis von jungen, neotektonisch aktiven Störungen erfolgt im besten Fall direkt durch Kartierung im Aufschluss, wo eindeutig tertiäre und/oder quartäre Sedimente versetzt werden (Stanulla et al., 2018). Diese Voraussetzungen sind in Sachsen vor allem in bergbaulichen Aufschlüssen, besonders in Braunkohletagebauen, gegeben. Bei schlechten Aufschlussverhältnissen muss ein indirekter Nachweis von junger tektonischer Aktivität erfolgen. Im Projekt ARTUS konnten mittels geomorphologischer Analyse subrezent aktive Störungszonen in der Oberlausitz und im Erzgebirge ausgehalten werden. Im Gegensatz dazu wurde in der Niederlausitz aufgrund des glazigen bedingten, geringen Reliefs und der starken anthropogenen Veränderungen durch den Braunkohletagebau auf eine geomorphologische Analyse verzichtet. Im Ergebnis konnten auf der Basis der geomorphologischen Analyse zahlreiche Störungen in Sachsen als aktive Verwerfungen charakterisiert werden (Abbildung 2). In der Oberlausitz liegt mit der Cunewalde-Störung ein exzellentes Beispiel für eine neotektonisch aktive Störungszone vor (Stanek, 2019b), die geomorphologisch wirksam ist. Auch im Erzgebirge, als aktivem Hebungsgebiet, können einige Störungen jungen tektonischen Bewegungen zugeordnet werden, darunter der Flöha-Abbruch entlang der Flöha-Zone, der Aue-Abbruch oder das Vorerzgebirgslineament (Dominguez-Gonzalez et al., 2022). Ebenfalls konnte die Waldheim-Störung im Granulitgebirge als geomorphologisch wirksamer Bruch identifiziert werden. Diese jungen, geomorphologisch identifizierbaren Strukturen haben sich in einem NW-SE orientierten, kompressiven Umfeld gebildet, das sich im späten Miozän (vor maximal 15 Millionen Jahren) etabliert hat. Da sich die kompressiven Bewegungen durch das Pliozän weiter bis in die heutige Zeit fortsetzten, wird diese Periode auch als „Neotektonische Phase“ bezeichnet (Reicherter et al., 2008). Hierdurch wurden die Grabenstrukturen, die sich vom

Oligozän bis frühen Miozän gebildet haben, durch dextrale Transtension reaktiviert und es bildeten sich weitere Grabenstrukturen (Graben von Nochten, Krentz und Lapp, 2010). Im ARTUS Projekt wurde zusätzlich für die Oberlausitz eine SSW- bis S-gerichtete Kompression während des späten Miozäns festgestellt (Adamovič und Coubal, 2009).

Hinweise auf aktive Tektonik können möglicherweise auch aus seismologischen Messungen abgeleitet werden. In der Region des Vogtlandes im Grenzgebiet von Bayern, Sachsen und Thüringen treten entlang der N-S streichenden Leipzig-Regensburg-Zone periodisch Schwarmbeben auf, die auf aufsteigende Fluida und Gase zurückgeführt werden, welche auf rezenten Störungen aufsteigen (Abbildung 1).

9. Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts ARTUS konnten in allen untersuchten geologischen Großeinheiten Hinweise auf junge tektonische Aktivität gefunden und in die Datenbank aufgenommen werden. Eine Herausforderung für das Projekt stellt hierbei die Tatsache dar, dass viele der variszischen Störungen eine mehrphasige Deformationsgeschichte aufweisen. Oft sind Störungen bereits während des Variszikums angelegt, von mehreren Deformationsphasen erfasst und im Anschluss bis ins Neogen mehrfach reaktiviert worden, häufig mit wechselnder Kinematik. Dieser Umstand macht eine sichere Abgrenzung von jungen aktiven Störungen zu känozoischen Störungen, die älter als 34 Millionen Jahre sind, notwendig, um das Potenzial für neotektonische Gefährdung im Freistaat Sachsen besser charakterisieren zu können. Die Resultate des Projekts ARTUS werden derzeit in das Fachinformationssystem Geologie übernommen. Dies wird dem Staatlichen Geologischen Dienst ermöglichen, seinen Dienstaufgaben als zukunftsorientierte Fachverwaltung besser nachzukommen.

Referenzen

Abdelfadil, Kh., Romer, R.L., Seifert, T., Lobst, R. (2010): Geochemistry and petrology of alkaline basalt and ultramafic lamprophyre dikes from Lusatia (Lausitz), Germany. *Mineralogia Special Paper* 37, 17-18.

Adamovič, J., Coubal, M. (2009): Time succession of Cenozoic stress fields in the northern part of the Bohemian Massif. *GeoDresden2009 – Geologie der Böhmisches Masse. Regionale und angewandte Geowissenschaften in Mitteleuropa*. 30.09-02.10.2009, Dresden, Germany.

Adreani, L., Stanek, K., Gloaguen, R., Krentz, O., Dominguez-Gonzalez, L. (2014): DEM-based analysis of interactions between tectonics and landscapes in the Ore Mountains and Eger rift (East Germany and NW Czech Republic). *Remote Sensing* 6, 7971-8001.

Bankwitz, P., Groß, U., Bankwitz, E. (1993): Krustendeformation im Bereich der Finne-Kyffhäuser-Gera-Jáchymov-Zone. *Z. geol. Wiss.* 21, 3-20.

Brause, H. (1990): Beiträge zur Geodynamik des Saxothuringikums. *Geoprofil* 2, 1-88.

Dominguez-Gonzalez, L., Adreani, L., Stanek, K. (2022): Geomorphologische Analyse tektonischer Einheiten in Sachsen. *Schriftenreihe des LfULG*, XXX, 1-94.

Franke, D. (2018): Regionale Geologie von Ostdeutschland – Ein Wörterbuch. www.regionalegeologie-ost.de.

Göthel, M. (2001): Das autochthone und allochthone Paläozoikum des „Görlitzer Schiefergebirges“ (Mitteleuropäische Varisziden, Deutschland). *Z. geol. Wiss.* 29/1-2, 55-73.

Göthel, M. (1998): Geologische Karte der Lausitz, Maßstab 1 : 100.000. LAUBAG, GMB mbH, Cottbus.

Handy, M.R., Schmid, S.M., Bousquet, R., Kissling, E., Bernoulli, D. (2010): Reconciling plate-tectonic reconstructions of Alpine Tethys with the geological-geophysical record of spreading and subduction in the Alps. *Earth-Sc Revs* 102, 121-158.

Hofmann, M., Linnemann, U., Voigt, T. (2013): The Upper Cretaceous section at Schmilka in Saxony (Elbsandsteingebirge, Germany) – syn-tectonic sedimentation and inverted zircon age populations revealed by LA ICP MS U/Pb data. *Geol Saxonia* 59, 101-130.

- Käßner, A., Stanek, K. P., & Lapp, M. (2020). Post-Variscan tectonic and landscape evolution of the Elbe Fault Zone and the Lusatian Block based on apatite fission-track data and geomorphologic constraints. *Geomorphology*, 355, 106860.
- Kemnitz, H. (2007): The Lausitz graywackes, Saxo-Thuringia, Germany-Witness to the Cadomian orogeny. In Linnemann, U., Nance, R.D., Kraft, P., Zulauf, G. (eds) *The evolution of the Rhenic Ocean: From Avalonian-Cadomian active margin to the Alleghenian-Variscan collision*. Geological Society of America Special Paper 423, 97-141.
- Kemnitz, H., Budzinski, G. (1994): Die Grauwacken der Lausitz und ihre cadomische Prägung: Anhandlungen des Staatlichen Museums für Mineralogie und Geologie Dresden, v. 40, 37-98.
- Kley, J.; Voigt, T. (2008): Late Cretaceous intra-plate thrusting in central Europe: Effect of Africa-Iberia-Europe convergence, not Alpine collision, *Geology*, 36/11, 839-842.
- Kozdrój, W.; Krentz, O.; Opletal, M. (2001): Comments on the Geological Map Lausitz-Jizera-Karkonosze (without Cenozoic sediments) 1:100 000. *Panstwowy Instytut Geologiczny, Warsaw*, 1-64.
- Krentz, O.; Opletal, M.; Kozdrój, W. (2000): Geologische Karte Lausitz-Jizera-Karkonosze (ohne känozoische Sedimente) 1:100 000.- Sächs. Landesamt f. Umwelt, Geologie, Freiberg.
- Krentz, O., Lapp, M. (2010): Bruchtektonische Hauptelemente. In Barth et al. (Ed.), *Die geologische Entwicklung der Lausitz*. VATTENFALL Europe Mining AG, 137-146.
- Kroner, U., Romer, R.L. (2013): Two plates – Many subduction zones: The Variscan orogeny reconsidered. *Gondwana Research*. 24/1, 298-329.
- Kroner, U., Hahn, T., Romer, R.L., Linnemann, U. (2007): The Variscan orogeny in the Saxo-Thuringian zone – Heterogenous overprint of Cadomian/Paleozoic Peri-Gondwana crust. *Geological Society of America Special Paper* 423, 153-172.
- Kroner, U. (1995): Postkollisionale Extension am Nordrand der Böhmisches Masse – Die Exhumierung des Sächsischen Granulitgebirges. *Freib. F. H.* C457, 1-114.
- Kühner, R. (2008): Karte der bruchtektonischen und subrosiven Strukturen im 2. Miozänen Flözkomplex des Niederlausitzer Braunkohlereviere, 1:100.000. *Vattenfall Europe Mining AG*.
- Linnemann, U., Romer, R.L., Gerdes, A., Jeffries, T.E., Drost, K., Ulrich, J. (2010): The Cadomian Orogeny in the Saxo-Thuringian Zone. In Linnemann U., Romer R.L. (eds) *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia – From the Cadomian Active Margin of the Variscan Orogen*. Schweizerbart Stuttgart, 37-58.
- Linnemann, U., Gerdes, A., Drost, K., Buschmann, B. (2007): The continuum between Cadomian orogenesis and opening of the Rhenic Ocean: Constraints from LA-ICP-MS U-Pb zircon dating and analysis of plate tectonic setting (Saxo-Thuringian zone, northeastern Bohemian Massif, Germany). *Geological Society of America Special Paper* 423, 61-96.
- Möbus, 1962, *Abhandlungen und Berichte des Naturkundemuseums Görlitz, Leipzig*, 37, 2, 107-116.
- Müller, F., Kroner, U., Buske, S., Hlousek, F. (2019): Geologische Anwendungen und Risiken im Tieferen Untergrund von Sachsen (ARTUS) – Teil 1: Nachweis und Analyse ausgewählter tektonischer Bruchstrukturen im Granulitgebirge und ihre potenzielle neotektonische Gefährdung. unveröffentlichter Abschlussbericht ARTUS – p. 1-45.
- Rajchl, M., Uličný, D., Grygar, R., Mach, K. (2009): Evolution of basin architecture in an incipient continental rift: the Cenozoic Most Basin, Eger Graben (Central Europe). *Basin Research* 21/3, 269-294.
- Rauche, H. (1992): Spätvariszische Spannungs- und Verformungsgeschichte der Gesteine am Südwestrand der Elbezone (östliches Saxothuringikum, Varisziden). (östliches Saxothuringikum, Varisziden). *Dissertation Universität Bochum*, 1-65.
- Reicherter, K., Froitzheim, N., Jarosiński, M., Badura, J., Franzke, H.-J., Hansen, M., Hübscher, C., Müller, R., Poprawa, P., Reinecker, J., Stackebrandt, W., Voigt, T., von Eynatten, H., Zuchiewicz, W. (2008): Alpine tectonics north of the Alps. In McCann, T. (ed) *The Geology of Central Europe, Bd. 2: Mesozoic and Cenozoic*. The Geological Society of London, 1232-1285.
- Reicherter, K., Kaiser, A., Stackebrandt, W. (2005): The post-glacial landscape evolution of the North German Basin: morphology, neotectonics and crustal deformation. *International Journal of Earth Sciences* 94, 1083-1093.
- Renno, A.D., Hacker, B.R., Stanek, K.P. (2003): An Early Cretaceous (126 Ma) ultramafic alkaline lamprophyre from the quarry Klunz. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften* 31, 31-36.
- Romer, R.L., Schneider, J., Linnemann, U. (2010): Post-Variscan deformation and hydrothermal mineralization in Saxo-Thuringia and beyond: a geochronologic review. In Linnemann U, Romer RL (eds) *Pre-Mesozoic Geology of Saxo-Thuringia – From the Cadomian Active Margin of the Variscan Orogen*. Schweizerbart Stuttgart, 347-360.
- Rötzler, J., Romer, R.L. (2001): P-T-t-evolution of ultrahigh-temperature granulites from the Saxon Granulite Massif, Germany. Part I: Petrology. *J. Petrol.* 42, 1995-2013.
- Sebastian, U. (1995): Die Strukturentwicklung des spätorogenen Erzgebirgsaufstiegs in der Flöhazone – Ein weiterer Beitrag zur postkollisionalen Extension am Nordrand der Böhmisches Masse. *Freib. For. Hft. C* 461, 1-114.
- Stanek, K. (2016a): Kenntnisstandsanalyse zum tektonischen Bau von Sachsen. unveröffentlichter Bericht zum Projekt.
- Stanek, K., Dominguez-Gonzalez, L., Adreani, L., Bräutigam, B. (2016b): Tektonische und geomorphologische 3D-Modellierung der tertiären Einheiten der sächsischen Lausitz. *Schriftenreihe des LfULG* 19, 1-86.
- Stanek, K. (2019a): Bruchtektonik in der vogtländisch-erzgebirgischen Antiklinalzone – ARTUS 2. unveröffentlichter Abschlussbericht zum Projekt.
- Stanek, K. (2019b): Bruchtektonik in der vogtländisch-erzgebirgischen Antiklinalzone – ARTUS 2. Ergänzung: Aktive Störungszonen, unveröffentlichter Abschlussbericht zum Projekt.
- Stanulla, C., Rönick, R., Zomack, G., Seibel, B., & Stanek, K. (2018): Die „Flözanomalie Welzow“ – Nachweis einer kleinräumigen Störungsstruktur im 2. Miozänen Flözkomplex im Tagebau Welzow-Süd. *Brandenb. Geow. Beitr.*, 25, 67-75.
- Stewart, I. S., Hancock, P. L. (1994): Neotectonics. – in: *Continental Deformation*, ed. P. L. Hancock, Pergamon Press, Oxford, 370-409.
- Tichomirowa, M., Berger, H.-J., Koch, E.A., Belyatski, B.V., Götze, J., Kempe, U., Nasdala, L., Schaltegger, U. (2001): Zircon ages of high-grade Gneisses in the eastern Erzgebirge (Central European Variscides) – constraints on origin of the rocks and Precambrian to Ordovician magmatic events in the Variscan foldbelt. *Lithos* 56, 303-332.
- Tietz, O. Büchner, J. (2015): The landscape evolution of the Lausitz Block since the Palaeozoic – with special emphasis to the neovolcanic edifices in the Lausitz Volcanic Field (Eastern Germany). *Z. Dt. Ges. Geowiss.* 166/2, 125-147.
- Voigt, T. (2009): Die Lausitz-Riesengebirgs-Antiklinalzone als kreidezeitliche Inversionstruktur: Geologische Hinweise aus den umgebenden Kreidebecken. *Z. geol. Wiss.* 37/1-2, 15-39.

**Herausgeber:**

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des Sächsischen Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und Landwirtschaft (SMEKUL). Diese Veröffentlichung wird finanziert mit Steuermitteln auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushalts.

Redaktion:

Anna Gahlert, Dr. Friedemann Grafe, Dr. Ines Görz, Karina Hofmann, Dr. Tom Jaroka

Abteilung Geologie

Telefon: + 49 3731 294-1001

Telefax: + 49 3731 294-1011

E-Mail: Geosymposium.LfULG@smekul.sachsen.de

Gestaltung und Satz:

Serviceplan Solutions 1 GmbH & Co. KG

Druck:

Harzdruckerei GmbH

Titelbild:

Basaltfächer, Hirtstein,

Ines Görz, LfULG

Redaktionsschluss:

11.04.2022

Auflage:

200 Exemplare

Papier:

Gedruckt auf 100% Recycling-Papier

Hinweis:

Der Tagungsband kann als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de