

Andreas Barth, Thomas Berndt, Andreas Brosig, Delira Hanelli, Ronny Helbig, Peggy Hielscher, Andreas Knobloch, Martin Köhler, Hartmut Kühne, Steffen Schmidt, Mathias Stahl

## advangeo<sup>®</sup> Software and its Application in the Mining Sector

The availability of geo-spatial data and the presence of promising exploration targets are of key importance for mining sector investment decisions. Together with the legal, political and economic framework, they determine the success of national economies in mining sector development. In this environment, Beak Consultants GmbH, Freiberg/Germany, developed its advangeo<sup>®</sup> software products to capture, store, process, utilize and distribute any kind of geo-scientific data. The advangeo<sup>®</sup> software products are based both on powerful commercial products including Microsoft Windows, Microsoft SQL Server and Esri Spatial Data Management Products and reliable open-source solutions mainly for

web services. The advangeo<sup>®</sup> software products cover important features such as data capture, data storage, data distribution and data processing. The integration of artificial intelligence (AI) technologies offers easy to use machine learning software for their application in the 2D and 3D geo-spatial environment. Based on known training points and user experience, e.g., exploration models in case of mineral predictive mapping, AI algorithms learn dependencies and extend this knowledge to large datasets for the creation of value-added products like mineral predictivity maps. This article is based on many years of successful usage of advangeo<sup>®</sup> products in multiple environments.

## advangeo<sup>®</sup> Software und ihre Anwendung in der Bergbaubranche

Die Verfügbarkeit von räumlich-geographischen Daten und das Vorhandensein vielversprechender Explorationsziele sind von entscheidender Bedeutung für Investitionsentscheidungen im Bergbausektor. Zusammen mit den rechtlichen, politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen bestimmen sie den Erfolg der Volkswirtschaften bei der Entwicklung des Bergbausektors. In diesem Umfeld hat die Beak Consultants GmbH, Freiberg, ihre advangeo<sup>®</sup>-Softwareprodukte entwickelt, um geowissenschaftliche Daten aller Art zu erfassen, zu speichern, zu verarbeiten, zu nutzen und zu verteilen. Die advangeo<sup>®</sup>-Softwareprodukte basieren sowohl auf leistungsstarken kommerziellen Produkten wie Microsoft Windows, Microsoft SQL Server und Esri-Produkten zur räumlichen Datenverwaltung als auch auf zuverlässigen Open-

Source-Lösungen hauptsächlich für Webdienste. Die advangeo<sup>®</sup>-Softwareprodukte decken wichtige Features wie Datenerfassung, Datenspeicherung, Datenverteilung und Datenverarbeitung ab. Die Integration von Technologien der künstlichen Intelligenz (KI) bietet eine einfach zu bedienende Machine-Learning-Software für deren Anwendung in der 2D- und 3D-Raumumgebung. Auf der Grundlage von bekannten Trainingspunkten und Nutzererfahrungen, z.B. Erkundungsmodelle bei prädiktiven Mineralkartierungen, lernen KI-Algorithmen Abhängigkeiten und erweitern ihr Wissen zu großen Datenbeständen, um Mehrwertprodukte wie Mineralprognosekarten zu schaffen. Dieser Artikel basiert auf der langjährigen, erfolgreichen Nutzung von advangeo<sup>®</sup>-Produkten in verschiedenen Umgebungen.

### The advangeo<sup>®</sup> Software Solutions

The advangeo<sup>®</sup> Software Solutions include the following products (Figure 1):

- advangeo<sup>®</sup> Field Cap: designed for field data capture using mobile devices and communication with a centralised server database;
- advangeo<sup>®</sup> Geodata Database: a GIS and database system for storage, management and distribution of a wide variety of mining, cadastral, geological and other spatial data;
- advangeo<sup>®</sup> 2D Prediction: an innovative machine learning software using artificial intelligence (AI) for the prediction of

### Die advangeo<sup>®</sup> Software Solutions

Die advangeo<sup>®</sup> Software Solutions beinhalten folgende Produkte (Bild 1):

- advangeo<sup>®</sup> Field Cap: entworfen für die Erfassung von Felddaten mit Mobilgeräten und Kommunikation mit einer zentralisierten Serverdatenbank,
- advangeo<sup>®</sup> Geodata Database: ein GIS- und Datenbanksystem zur Speicherung, Verwaltung und Verbreitung einer großen Bandbreite an Katasterdaten sowie bergbaulicher, geologischer und anderer räumlicher Daten,
- advangeo<sup>®</sup> 2D Prediction: eine innovative Software für ma-

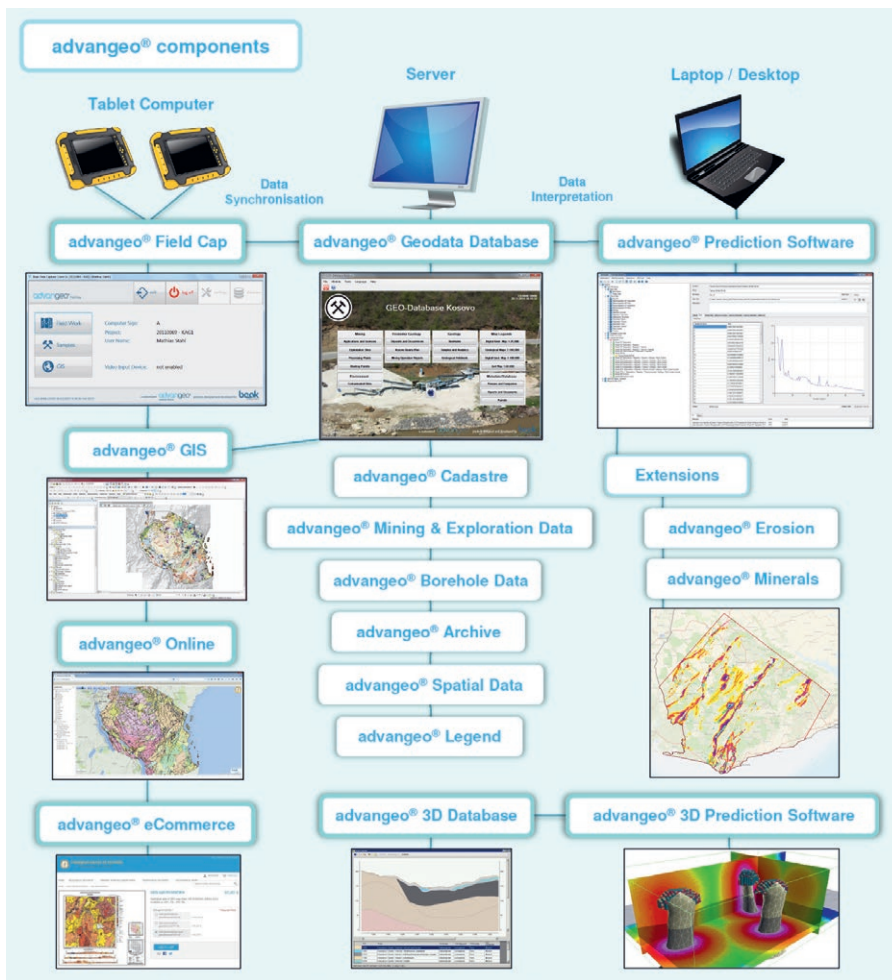


Fig. 1. advangeo® Software Solutions components.

Bild 1. Bestandteile der advangeo® Software Solutions. Source/Quelle: Beak



Fig. 2. advangeo® Field Cap used for capturing general outcrop data and XRF measurements in an underground mine.

Bild 2. Nutzung der advangeo® Field Cap zur Erfassung allgemeiner Ausbissdaten und Röntgenfluoreszenzmessungen in einem untertägigen Bergwerk. Photo/Foto: Beak

spatial events/phenomena, including exploration targeting and geohazard prediction in a 2D environment;

- advangeo® 3D Prediction: for creation of AI based predictive models with 3D voxets for 3D exploration targeting and geohazard prediction;
- advangeo® 3D Database: a raster-based data storage system for big volumes of 3D data;
- advangeo® Online: a web-based user interface for both spatial and tabular data;
- advangeo® eCommerce: a web-based data sales portal for any kind of geoscientific datasets.

### advangeo® Field Cap

advangeo® Field Cap is developed to capture primary field observation data right at its creation point: by the field geologist at the observation point (Figure 2). Usually, field data is recorded in field books or semi-formatted on data capture forms (Figure 3), photographs and field measurements are stored separately, and form a big amount of heterogenous data which needs much attention and cumbersome work for correct organisation and electronic storage. Here, the software advangeo® field cap shows its advantages. Installed on a rugged field tablet computer, it organises straight in the observations themselves, any measurements, photographs and sketches in standardised for-

schinelles Lernen, die künstliche Intelligenz (KI) zur Vorhersage räumlicher Ereignisse/Phänomene nutzt, einschließlich zielgerichteter Exploration und der Prognose von Georisiken in einem 2D-Umfeld,

- advangeo® 3D Prediction: zur Erstellung KI-basierter Prognosemodelle mit 3D-Voxels zur 3D-Tiefenerkundung und Prognose von Georisiken,
- advangeo® 3D Database: ein rasterbasiertes Datenspeichersystem für große Mengen an 3D-Daten,
- advangeo® Online: eine webbasierte Benutzerschnittstelle für räumliche und tabellarische Daten,
- advangeo® eCommerce: ein webbasiertes Datenverkaufportal für sämtliche Arten geowissenschaftlicher Datensätze.

### advangeo® Field Cap

Die advangeo® Field Cap wurde entwickelt, um erste Feldbeobachtungsdaten direkt zu erfassen: vom Feldgeologen am Beobachtungsort (Bild 2). Normalerweise werden Feldbeobachtungen in Feldbüchern oder halbformatiert in Datenerfassungsbögen festgehalten (Bild 3). Fotos und Feldmessungen werden separat gespeichert. So entsteht eine große Menge heterogener Daten, die mit großer Aufmerksamkeit und mühsamer Arbeit korrekt organisiert und elektronisch gespeichert werden. Hier zeigen sich die Vorteile der advangeo® Software Field Cap: Auf einem stabilen Feldrechner



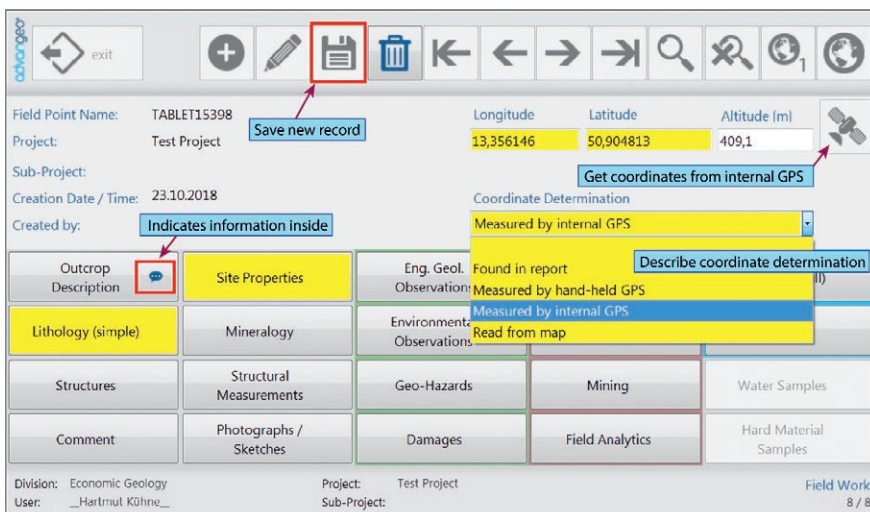


Fig. 3. advangeo® Field Cap client user interface.

Bild 3. advangeo® Field Cap Benutzerschnittstelle. Source/Quelle: Beak

maps. The software provides high resolution imagery and publicly available maps, e.g., open street maps, as background information. Any kind of user provided maps or datasets is useable as well. The use of GPS, GLONASS and Galileo technologies provide spatial accuracies of a few meters, and with post-processing, of several decimetres. Customised modules are available for the recording of geological observations, hard rock, soil and stream sediment sampling, mine site observation and monitoring, hydrogeological sampling and monitoring, geotechnical, environmental and geohazard observations. Field data can be uploaded to a central server and downloaded for further work. Field point numbers and sample numbers are created automatically, avoiding double numbering and other kind of misunderstandings. Field points are displayed immediately in the GIS and the visualisation in combination with thematic maps is possible right in the field.

The client application – installed on the tablet computer – uses a local database and a simple but effective GIS (Figure 4). The server application is interacting with a centralised database, integrating much other data as well (advangeo® Geodata Database). The data in local databases and the central database is synchronised as needed. In addition to the modules for field observations and sampling, the advangeo® Field Work server application provides modules for laboratory results, project information, user management and lookup table management (the legends). It is possible to add further modules or to customize existing modules tailored to specific needs. The client application features a GIS based on the geospatial application framework SharpMap, whereas, the server application communicates with full-scale Esri ArcGIS Software. advangeo® Field Cap is useful for

installiert, werden sämtliche Beobachtungen direkt organisiert und alle Messungen, Fotos und Zeichnungen in standardisierten Formaten abgelegt. Die Software liefert Bilder und öffentlich zugängliche Karten, z.B. Open Street Maps, in hoher Auflösung als Hintergrundinformation. Ebenfalls nutzbar sind alle von Anwendern bereitgestellten Karten oder Datensätze. Der Gebrauch von Technologien wie GPS, GLONASS und Galileo sorgt für Ortsgenauigkeiten bis auf einige Meter, nach der Nachbearbeitung sogar nur einige Dezimeter. Zur Aufnahme geologischer Beobachtungen, Probennahme von Festgestein, Boden und Bachsedimenten, Beobachtung und Überwachung von Bergwerken, hydrogeologischer Probennahme und Überwachung sowie Beobachtungen von Geotechnik, Umwelt und Georisiken sind kundenspezifische Module verfügbar. Felddaten können auf einen Zentralserver hoch- und für weitere Arbeiten heruntergeladen werden. Feldpunkt- und Probennummern werden automatisch erstellt, wodurch Doppelbenennungen und andere Missverständnisse vermieden werden. Feldpunkte werden sofort im GIS angezeigt und die Visualisierung mit thematischen Karten kann noch auf dem Feld erfolgen.

Die auf dem Feldcomputer installierte Kundenanwendung nutzt eine lokale Datenbank und ein einfaches, aber effektives GIS (Bild 4). Die Serveranwendung interagiert mit einer zentralisierten Datenbank, wodurch viele weitere Daten integriert werden (advangeo® Geodata Database). Die Daten in lokalen und zentralen Datenbanken werden nach Bedarf synchronisiert. Zusätzlich zu den Modulen zur Feldbeobachtung und Probennahme bietet die Serveranwendung advangeo® Field Work Module für Laborergebnisse, Projektinformationen, Nutzerverwaltung und die Verwaltung von Umsetzungstabellen (die Legenden). Es ist möglich, weitere Module hinzuzufügen oder bestehende Module an die jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Die Kundenanwendung enthält ein GIS, das auf der raumbezogenen Rahmenanwendung SharpMap basiert, wohingegen die Serveranwendung mit Esri ArcGIS Software kommuniziert.

Die auf dem Feldcomputer installierte Kundenanwendung nutzt eine lokale Datenbank und ein einfaches, aber effektives GIS (Bild 4). Die Serveranwendung interagiert mit einer zentralisierten Datenbank, wodurch viele weitere Daten integriert werden (advangeo® Geodata Database). Die Daten in lokalen und zentralen Datenbanken werden nach Bedarf synchronisiert. Zusätzlich zu den Modulen zur Feldbeobachtung und Probennahme bietet die Serveranwendung advangeo® Field Work Module für Laborergebnisse, Projektinformationen, Nutzerverwaltung und die Verwaltung von Umsetzungstabellen (die Legenden). Es ist möglich, weitere Module hinzuzufügen oder bestehende Module an die jeweiligen Bedürfnisse anzupassen. Die Kundenanwendung enthält ein GIS, das auf der raumbezogenen Rahmenanwendung SharpMap basiert, wohingegen die Serveranwendung mit Esri ArcGIS Software kommuniziert.



Fig. 4. advangeo® Field Cap GIS interface. // Bild 4. advangeo® Field Cap GIS-Schnittstelle. Photo/Foto: Beak

both big organisations with continuous tasks and smaller entities with multiple projects. Application examples are:

- field observation standard at the Geological Survey of Namibia, since 2015;
- field observation standard at the ASM Department of the Ministry of Mines and Steel development of Nigeria, since 2019;
- field data capture at the Mozambique Mining and Gas Technical Assistance Project, since 2021;
- hydrogeological monitoring at the former Schönebeck explosives plant, since 2020;
- geological survey and evaluation of the EUGAL gas pipeline, 2018 to 2020;
- validation and further development of the disposition model and the indicative map on slope and embankment landslides of the German federal highway network, 2018 to 2019;
- mineral occurrence mapping in selected areas of the DR Congo, 2016 to 2018;
- ReMon – Remote Monitoring of Tailings using Satellites and Drones, since 2018;
- LIGHTS – Lightweight Integrated Ground and Airborne Hyperspectral Topological Solution, since 2017;
- Wistamerz – forecast of economically strategic high-tech metals in the Ore Mountains, 2015 to 2018.

### advangeo® Geodata Database

The advangeo® Geodata Database software is a typical client-server solution for management of any kind of geoscientific data, including fieldwork data (created by advangeo® Field Cap), geological maps and their legends, documents (reports, maps, publications) and their metadata, geophysical and geochemical datasets, mineral occurrence data, mining cadastral data, borehole logs and much more (Figures 5, 6). The software is adjustable to almost any local environment, including system requirements, user interface languages and look up tables. The full integration with the advanced Esri ArcGIS software is another advantage.

advangeo® Field Cap ist sowohl für große Organisationen mit kontinuierlichen Aufgaben als auch für kleinere Einheiten mit mehreren Projekten geeignet. Anwendungsbeispiele sind:

- Feldbeobachtungsstandard beim Geological Survey of Namibia, seit 2015,
- Feldbeobachtungsstandard in der ASM-Abteilung des Ministry of Mines and Steel Development (MMSD) in Nigeria, seit 2019,
- Feldbeobachtungserfassung im Mozambique Mining and Gas Technical Assistance Project, seit 2021,
- hydrogeologische Überwachung im ehemaligen Sprengstoffwerk Schönebeck, seit 2020,
- geologische Erkundung und Auswertung der EUGAL-Gaspipeline-Trasse, 2018 bis 2020,
- Bewertung und Weiterentwicklung des Ordnungsmodells und der vorläufigen Karte für Hang- und Dammrutsch der Bundesanstalt für Straßenwesen, 2018 bis 2019,
- Kartierung der Mineralvorkommen in ausgewählten Regionen des Kongo, 2016 bis 2018,
- ReMon – Fernüberwachung von Aufbereitungsrückständen mit Satelliten und Drohnen, seit 2018,
- LIGHTS-Projekt – Lightweight Integrated Ground and Airborne Hyperspectral Topological Solution, seit 2017,
- Wistamerz – Prognose ökonomisch strategischer High-Tech-Metalle im Erzgebirge, 2015 bis 2018.

### advangeo® Geodata Database

Die advangeo® Geodata Database Software ist eine typische Client-Server-Solution zur Verwaltung jeglicher Art von geowissenschaftlichen Daten, einschließlich Feldarbeitsdaten (erfasst von der advangeo® Field Cap), geologischen Karten und ihren Legenden, Dokumenten (Berichte, Karten, Veröffentlichungen) und ihren Metadaten, geophysikalischen und geochemischen Datensätzen, Daten bezüglich Mineralvorkommen, bergbaulichen Katasterdaten, Bohrlochprotokollen und vielem mehr (Bilder 5, 6). Die Software lässt sich in Bezug auf Systemanforde-

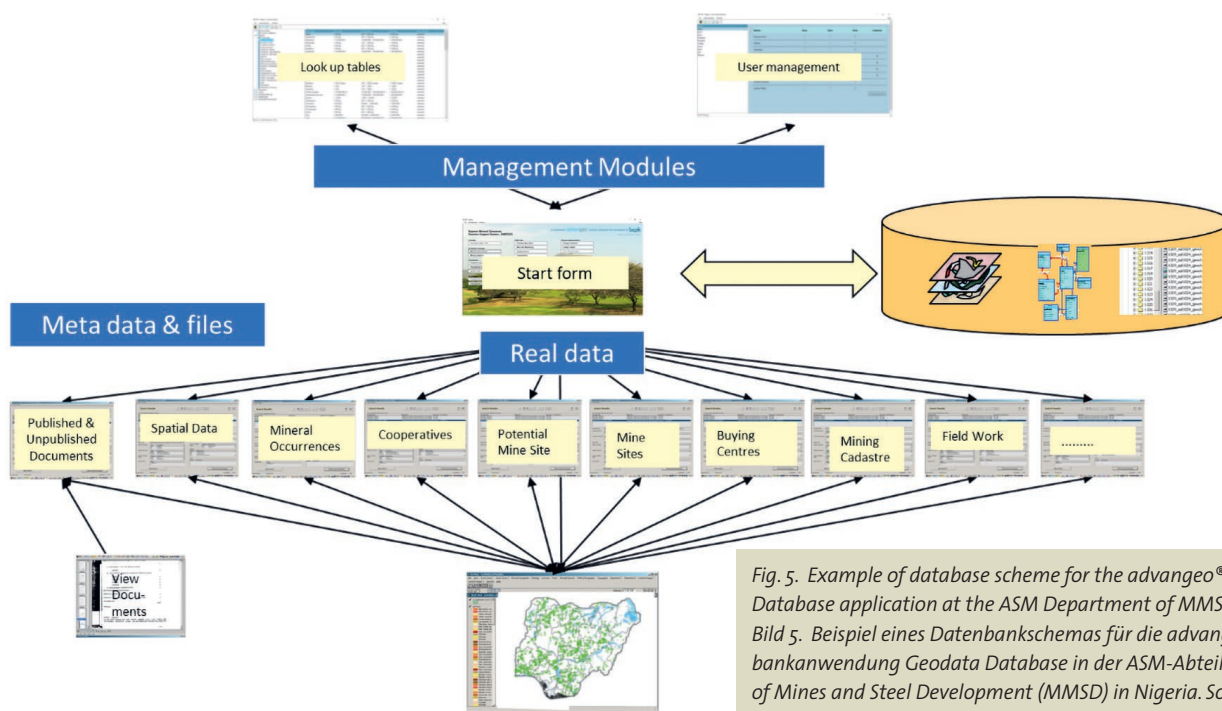


Fig. 5. Example of database scheme for the advangeo® Geodata Database application at the ASM Department of MMSD in Nigeria. Bild 5. Beispiel eines Datenbankschemas für die advangeo® Datenbankanwendung Geodata Database in der ASM-Abteilung des Ministry of Mines and Steel Development (MMSD) in Nigeria. Source/Quelle: Beak



The data storage and data entry system can be complemented with robust web applications for data distribution.

### advangeo® 2D Prediction

advangeo® 2D Prediction is designed to integrate AI methods like Artificial Neural Networks (ANN) or Random Forests (RF) into a common GIS environment (Figure 7). It uses the advantage of AI methods to analyse unsharp multivariate relationships between a dependent variable, e.g., the location of a mineral occurrence, and its controlling factors, e.g., geophysical fields, geochemical fields, geological features, remote sensing patterns.

advangeo® 2D Prediction supports the full workflow of data preparation, data pre-processing, i.e. normalisation, AI modelling, post-processing, result validation and visualisation. Many data pre-processing features are integrated to support common geoscientific tasks, including elevation model processing, creation of distance rasters, analysing geological maps, tectonic patterns, pre-processing of multispectral data.

The integrated meta-data database stores any workflow related data, the features of the configured models, e.g., weights of the ANN, and the used data itself and organises them into pro-



Fig. 6. Example of customised main user interface of advangeo® Geodata Database application for the Ministry of Mines and Steel Development (MMSD) in Nigeria.

Bild 6. Beispiel einer kundenspezifischen Hauptbenutzerschnittstelle der advangeo® Datenbankanwendung Geodata Database für das Ministry of Mines and Steel Development (MMSD) in Nigeria. Source/Quelle: Beak

rungen, die Sprache der Benutzerschnittstelle und Umsetzungstabellen an fast jedes lokale Umfeld anpassen. Ein weiterer Vorteil ist die vollständige Integrierung mit der fortschrittlichen Esri ArcGIS-Software. Der Datenspeicher und das Dateneingabesystem können mit stabilen Webanwendungen zur Datenverteilung ergänzt werden.

### advangeo® 2D Prediction

Die advangeo® 2D Prediction wurde entworfen, um KI-Methoden wie künstliche neuronale Netzwerke (ANN) oder Random Forests (RF) in ein herkömmliches GIS-Umfeld zu integrieren (Bild 7). Sie nutzt den Vorteil der KI-Methoden zur Analyse unscharfer, multivarianter Beziehungen zwischen einer abhängigen Variablen, z. B. dem Standort eines Mineralvorkommen, und deren Kontrollfaktoren, z. B. geophysikalische oder geochemische Felder, geologische Beschaffenheiten und Fernerkundungsmuster.

Die advangeo® 2D Prediction unterstützt den gesamten Arbeitsablauf der Datenvorbereitung, Datenvorbehandlung (beispielsweise zur Normalisierung), KI-Modellierung, Nachbearbeitung, Ergebnisauswertung und Visualisierung. Viele Teile der Datenvorbehandlung sind integriert, um herkömmliche geowissenschaftliche Arbeiten wie etwa die Bearbeitung von Höhenmodellen, die Erstellung von Entfernungsrastern, die Analyse geologischer Karten, tektonische Muster oder die Vorbehandlung multispektraler Daten zu unterstützen.

Die integrierte Datenbank für Metadaten speichert sämtliche arbeitsablaufbezogenen Daten, die Teile des erstellten Modells (z. B. Wichtung der ANN) und die genutzten Daten selbst und organisiert diese in Projekten. Da sie vollständig in das Esri ArcGIS-Umfeld integriert ist, ist auch die gesamte Esri-Software-Palette zugänglich.

Die Software besteht aus folgenden Bestandteilen:

- Data Management Unit,
- Workflow Manager,
- Computational Core und
- GIS-Extension.

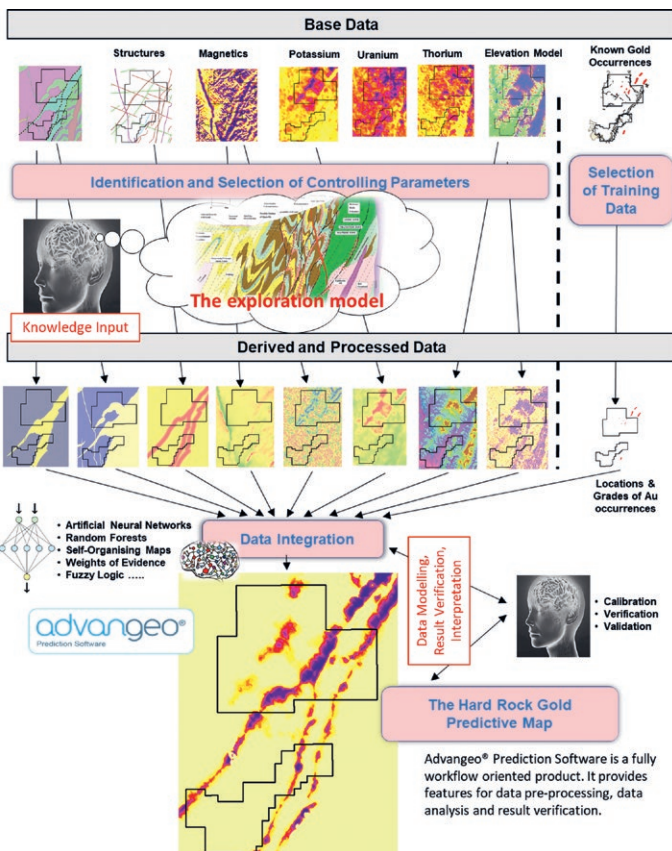


Fig. 7. General data processing scheme of advangeo® 2D Prediction for gold potential modelling in the Dunkwa area (Ghana).

Bild 7. Allgemeines Schema zur Datenverarbeitung der advangeo® 2D Prediction für ein Modell der Goldprognose in der Dunkwa-Region (Ghana). Source/Quelle: Beak

jects. As it is fully integrated into the Esri ArcGIS environment, the full Esri software functionality is available as well.

The software consists of the following components:

- data management unit;
- workflow manager;
- computational core; and
- GIS extension.

Data is managed and organized in layers as follows: the original source data, the derived data, normalised model input data, model output data, the parameters of the neural networks and the metadata of the computational processes. The workflow manager offers the possibility to comfortably create computational projects and to build up step-by-step parameterized models in an iterative process. The workflow is documented in a comprehensible way. The Esri ArcGIS extension provides comprehensive GIS functionalities that support the integration with other data and the creation of predictive maps.

The advangeo® 2D Prediction software systematically maps the steps required to generate an ANN model:

- definition of task, model domain, and base grid;
- compilation and description of the database;
- preparation of the database and statistical pre-processing;
- training, testing and application of the ANN/ RF model scenarios;
- validation of calculation results; and
- presentation of the calculation results and cartography.

Users are guided step-by-step through the individual work steps and specific tools for processing, e.g., converting vector to raster data, scale transformation, normalisation are provided by the software. The generation and calibration of the ANN is conveniently integrated into this process with the “Parametrized Models” module.

The Workflow Manager (Figure 8) displays all object types hierarchically in a tree structure for easy navigation. The workflow is as follows: By creating a project, the user describes the project area extension and its spatial resolution. Subsequently, the project area and various sub-areas – for training, test, and application – can be defined. Data sources (“source data”) can either be referenced or imported into the project. Supported input data formats are shape files, Esri grid, \*.jpg and \*.tiff. The functional/technical preparation of the data and the generation of consistent input data is done by the modules “Processed Source Data” and “Model Input Data”. The actual computational cores are accessed from the “Parametrized Models” module. The software provides extensive support for the parameterization of the ANN and inexperienced users are offered proven stand-

Daten werden wie folgt in Schichten verwaltet und organisiert: originale Ursprungsdaten, abgeleitete Daten, normalisierte Modellierungs-Eingabedaten, Modell-Output-Daten, Parameter der neuronalen Netzwerke und Metadaten des Berechnungsprozesses. Der Workflow Manager eröffnet die Möglichkeit, bequem Berechnungsprojekte sowie Schritt für Schritt parametrisierte Modelle zu erstellen. Der Arbeitsablauf wird nachvollziehbar dokumentiert. Die Esri ArcGIS-Extension liefert verständliche GIS-Funktionsweisen, welche die Integration anderer Daten und die Erstellung prädiktiver Karten unterstützen.

Die advangeo® 2D Prediction erfasst systematisch die nötigen Schritte zur Erstellung eines ANN-Modells:

- Definition von Aufgabe, Modellgebiet und Grundraster,
- Sammlung und Beschreibung der Datenbank,
- Vorbereitung der Datenbank und statistische Vorbehandlung,
- Training, Testung und Anwendung der ANN-/RF-Modellszenarien,
- Auswertung der Berechnungsergebnisse,
- Präsentation der Berechnungsergebnisse und Kartografie.

Nutzer werden Schritt für Schritt durch die individuellen Arbeitsschritte und speziellen Bearbeitungstools (z.B. Vektordaten zu Rasterdaten konvertieren, Maßstabsänderungen, Normalisierung) geführt, die von der Software zur Verfügung gestellt werden. Die Erstellung und Kalibrierung der ANN ist auf praktische Weise mit dem Modul „Parametrized Models“ in diesen Prozess integriert.

Der Workflow Manager (Bild 8) zeigt hierarchisch alle Objektarten in einer Baumstruktur zur leichten Navigation. Der Arbeitsablauf ist wie folgt: Durch das Erstellen eines Projekts beschreibt der Nutzer die Projektbereich-Extension und ihre räumliche Auflösung. Danach können der Projektbereich und die zahlreichen Unterbereiche (für Training, Überprüfung und

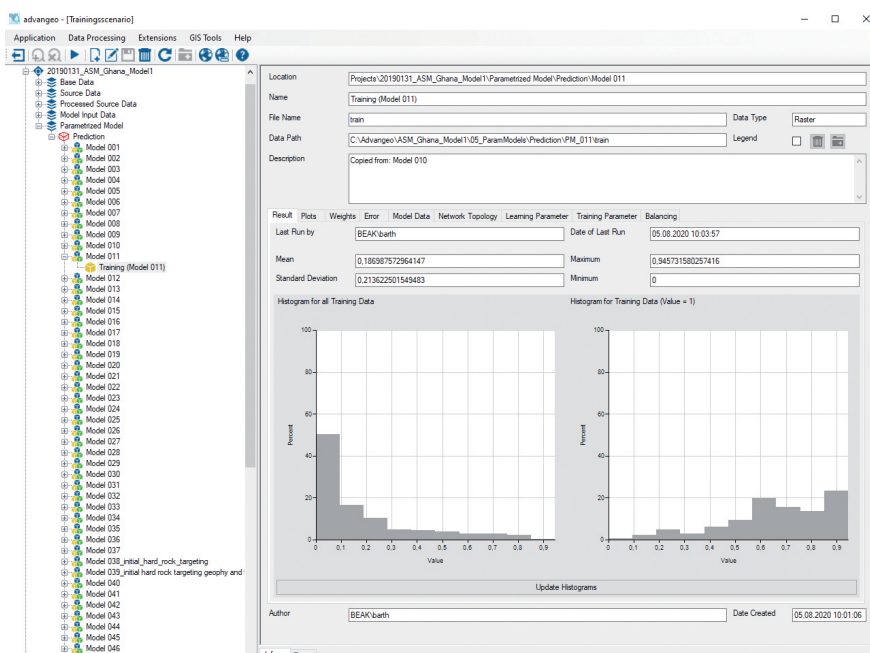


Fig. 8. advangeo® Prediction Software main user interface (here: histograms of AI modelling results). // Bild 8. Hauptbenutzerschnittstelle der advangeo® Prediction Software (hier: Histogramme von KI-Modellergebnissen). Source/Quelle: Beak

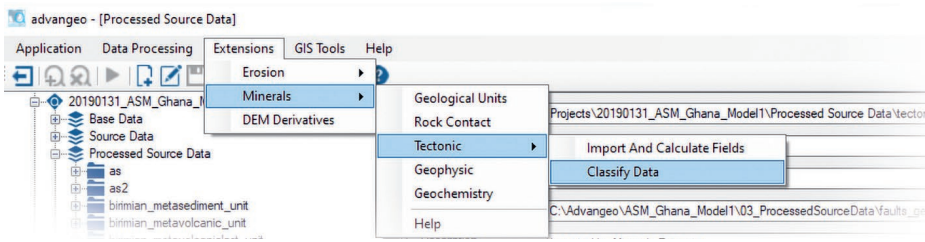


Fig. 9. advangeo® Prediction software with extensions.  
 Bild 9. advangeo® Prognosesoftware mit Erweiterungen. Source/Quelle: Beak

ard values in the default setting. The GIS extension visualises the data (all interim data and calculation results) and allows the automated generation of user-specific maps.

Several extensions (Figure 9) are available, including “Minerals”, “Erosion”, “DEM Derivatives”, “Remote Sensing” and “MAP Wizard”. The extensions offer additional pre-processing routines for typical model input data encountered in mineral predictive modelling and geo-hazard/erosion modelling, additional capabilities for the ingestion of multispectral imaging and a user-friendly implementation of the United States Geological Survey (USGS) developed three-part method, a statistical approach to quantitative mineral prediction. The software has been used in various projects, including mineral predictive mapping (1, 2), SOM clustering of stream sediment geochemistry data, mine site monitoring using time series, geohazard and ground settlement mapping and prediction (3, 4), vegetation classification and forest pest (bark beetle) mapping as well as biodiversity modelling.

### advangeo® 3D Prediction

The software advangeo® 3D Prediction is enabling predictive mapping in the third dimension and supports currently the prediction method of ANN in a 3D environment. Geological, geochemical and geophysical data can be entered as Paradigm Gocad™ Voxets and the results can be displayed in the viewers of Paradigm Gocad™, Geoscience Analyst and Geocando. It is ideal for the solution of innovative tasks like 3D exploration targeting and 3D geohazard prediction. The software was applied to predict tin exploration targets in the Ore Mountains (Figure 10). The advantage compared to 2D prediction maps is that the volume and the depth of the

Anwendung) definiert werden. Auf Datenquellen („Ursprungsdaten“) kann hingewiesen werden und es besteht auch die Möglichkeit, sie in das Projekt zu importieren. Unterstützte Dateneingabeformate sind Shape-Dateien, Esri-Grid, \*.jpg und \*.tiff. Die funktionale/technische Vorbereitung der Daten und die Generierung stetiger Eingabedaten wird von den Modulen „Processed Source Data“ und „Model Input Data“ erledigt. Die eigentlichen

Berechnungskerne werden im Modul „Parametrized Models“ abgerufen. Die Software bietet ausführliche Unterstützung in der Parametrisierung der ANN und unerfahrenen Nutzern werden geprüfte Standardwerte in der Standardeinstellung angeboten. Die GIS-Extension visualisiert die Daten (alle vorläufigen Daten und Berechnungsergebnisse) und ermöglicht die automatisierte Generierung nutzerspezifischer Karten.

Es sind mehrere Erweiterungen verfügbar (Bild 9), einschließlich „Minerals“, „Erosion“, „DEM Derivatives“, „Remote Sensing“ und „MAP Wizard“. Die Erweiterungen bieten zusätzliche Vorverarbeitungsroutinen für typische Modelleingabedaten, die bei der Vorhersagemodellierung von Mineralvorkommen und Geogefahren-/Erosionsmodellierung angetroffen werden, zusätzliche Funktionen für multispektrale Bilddaten und eine benutzerfreundliche Implementierung der vom United States Geological Survey (USGS) entwickelten dreiteiligen Methode (ein statistischer Ansatz zur quantitativen Mineralvorhersage). Die Software wurde in verschiedenen Projekten eingesetzt, darunter mineralische Vorhersagekartierung (1, 2), SOM-Clustering von geochemischen Daten von Bachsedimenten, Überwachung von Bergwerksstandorten mithilfe von Zeitreihen, Kartierung und Vorhersage von Georisiken und Bodensetzungen (3, 4), Vegetationsklassifikation und Kartierung von Waldschädlingen (Borkenkäfer) sowie Biodiversitätsmodellierung.

### advangeo® 3D Prediction

Die Software advangeo® 3D Prediction ermöglicht Predictive Mapping in der dritten Dimension und unterstützt derzeit das Vorhersageverfahren künstlicher neuronaler Netze in einer

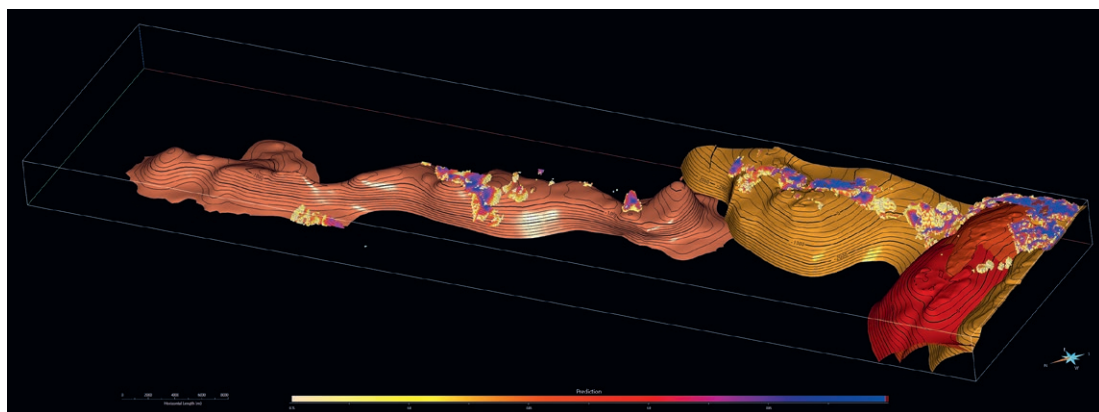


Fig. 10. 3D prediction of tin-skarn deposits at the northern edge of the Ore Mountains in relation to the surfaces of concealed granite intrusions (5). // Bild 10. 3D-Prognose von Zinn-Skarn-Vorkommen am nördlichen Rand des Erzgebirges im Verhältnis zu den Oberflächen verdeckter Granitintrusionen (5).



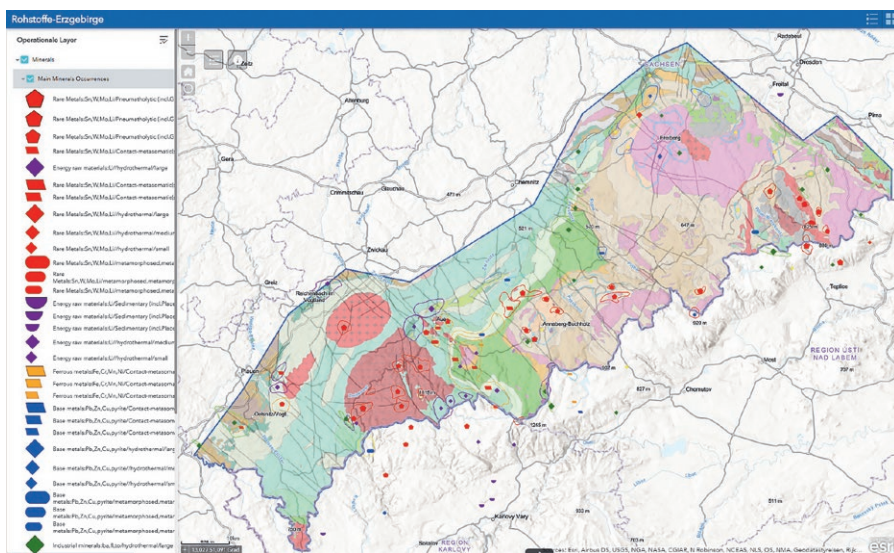


Fig. 11. // Bild 11. Web-Portal [www.rohstoffe-erzgebirge.de](http://www.rohstoffe-erzgebirge.de). Source/Quelle: Beak

predicted resource are determined. Consequently, predicted volumes can be ranked for potential economic viability and further exploration activities can be planned accordingly.

### advangeo® Online

advangeo® Online provides a selection of data to online services using both commercial and free software products (Figures 11, 12). They usually consist of a GIS viewer with comprehensive database access. The structure of the applications follows the logical structure of the data, such as background data (topography, imagery, infrastructure), geology, minerals, predictive maps, library and documents. In some cases, additional data analysis functions are available, such as the identification of distances to infrastructure, location inside/outside of various protected/restricted areas etc.

Data can be made available on demand in the data shop or be downloaded for free depending on the respective policies of the data owner.

### Summary and outlook

The advangeo® software family of Beak Consultants GmbH, Freiberg/Germany, is well suited for capture, storage, processing and distribution of any kind of geo-scientific data and has proven its usefulness throughout the last 20 years in numerous projects. AI based predictive modelling integrates both expert knowledge and any relevant datasets on a very high level. The step-by-step generation of model scenarios allows the identification of the most sensitive ore controlling parameters and their further

3D-Umgebung. Geologische, geochemische und geophysikalische Daten können als Paradigm Gocad™ Voxets eingegeben und die Ergebnisse in den Viewern von Paradigm Gocad™, Geoscience Analyst und Geocando angezeigt werden. Es ist ideal für die Lösung innovativer Aufgaben wie 3D-Explorations-Targeting und 3D-Geofahrenvorhersage. Die Software wurde zur Vorhersage von Zinnexplorationszielen im Erzgebirge eingesetzt (Bild 10). Der Vorteil gegenüber 2D-Vorhersagekarten besteht darin, dass das Volumen und die Tiefe der vorhergesagten Ressource bestimmt werden. Folglich können die prognostizierten Volumina nach ihrer potentiellen wirtschaftlichen Rentabilität eingestuft und weitere Explorationsaktivitäten entsprechend geplant werden.

### advangeo® Online

advangeo® Online stellt Onlinediensten, die sowohl kommerzielle als auch gratis verfügbare Softwareprodukte nutzen, eine Datenauswahl zur Verfügung (Bilder 11, 12). Üblicherweise bestehen diese aus einem GIS-Betrachtungsprogramm mit umfassendem Datenbankzugang. Die Struktur der Anwendungen folgt der logischen Struktur der Daten, wie z.B. Hintergrunddaten (Topographie, Bilder, Infrastruktur), Geologie, Mineralogie, Vorhersagekarten, Bibliotheken und Dokumenten. In einigen Fällen sind zusätzliche Datenanalysefunktionen verfügbar, wie z.B. die Ermittlung von Entfernungen zu Infrastruktur, Standort innerhalb/außerhalb verschiedener Schutz-/Sperrgebiete, usw.

Daten können nach den jeweiligen Richtlinien des Dateneigentümers im Datenshop auf Abruf zur Verfügung gestellt oder kostenlos heruntergeladen werden.

### Zusammenfassung und Prognose

Die advangeo® Software Solutions der Beak Consultants GmbH, Freiberg, eignet sich sehr gut für die Erfassung, Speicherung, Ver-

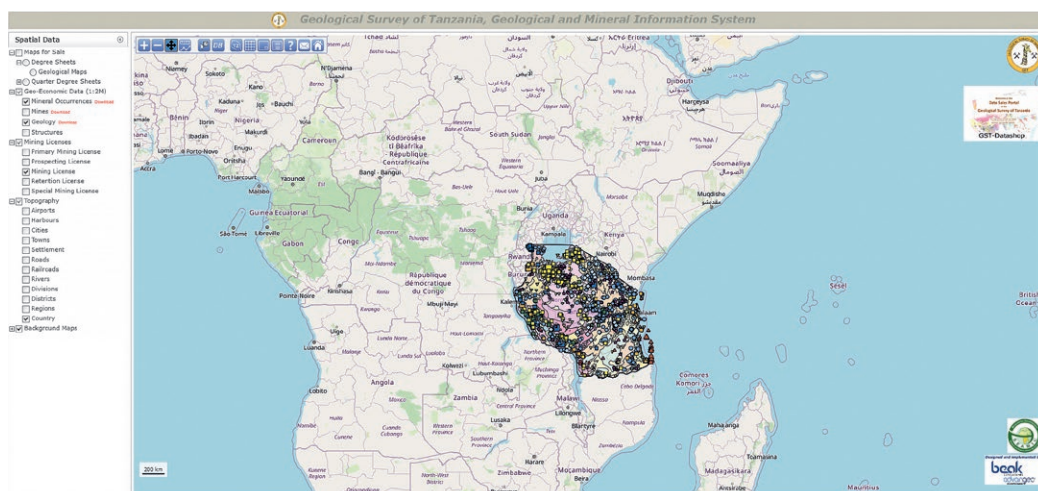


Fig. 12. Web Portal Geological and Mineral Information System (GMIS) of Tanzania based on advangeo® Online. Bild 12. Tansanias Web-Portal Geologisches und Mineralisches Informationssystem (GMIS) basierend auf advangeo® Online. Source/Quelle: Beak



consideration in the exploration process. Excellent results can be achieved with a moderate effort in terms of data preparation, model calibration and computing time. The software *advangeo*® makes AI methods available to a wide range of users in the frame of their familiar Esri ArcGIS environment. Mineral predictive maps are important value-added products and provide both investors and governments with information about potential exploration targets, e.g., for national infrastructure development, and investment planning. Especially for resource-dependent developing countries, this opens up opportunities for a broad publicity of their resource potential, which can also be used by smaller and local exploration companies.

### Acknowledgements

We wish to thank our colleagues and partners for the long lasting fruitful co-operation, especially the Saxon Authority for Environment, Agriculture and Geology (LfULG), the Saxon Mining Authority (SOBA), the Federal Institute for Geosciences and Natural Resource (BGR) of Germany, the Ghana Geological Survey Authority (GGSA), the Geological Survey of Namibia (GSN), the Ministry of Mines and Steel Development Nigeria (MMSD), the Bureau des Mines et de la Géologie du Burkina (Burkina Faso), the Ministère du Plan, de l'Aménagement du Territoire et du Développement Communautaire (Niger), the Ministry of Mineral Resources and Energy (Mozambique), the Geological Survey of Tanzania (GST), the Directorate of Geological Survey and Mines of Uganda (DGSM), the Independent Commission for Mines and Minerals of Kosovo (ICMM), the Finnish Geological Survey (GTK), the Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, France), the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF), and the European Union.

### References / Quellenverzeichnis

- (1) Barth, A.; Tokorno, S.; Boamah, K.; Brosig, A.; Hanelli, D.; Schaefer, S.; Bartels, E.; Boamah, D. (2021): Exploration Targeting for small-scale Gold Mining Operations in the Dunkwa Area of Ghana. In: *Geo-Resources Journal* 2/2021, pp 43–49.
- (2) Köhler, M.; Hanelli, D.; Schaefer, S.; Barth, A.; Knobloch, A.; Hielscher, P.; Cardoso-Fernandes, J.; Lima, A.; Teodoro, A. C. (2021): Lithium Potential Mapping Using Artificial Neural Networks: A Case Study from Central Portugal. In: *Minerals*, Vol. 11, No. 10.
- (3) Roscher, M.; Knobloch, A.; Kallmeier, E.; Barth, A.; Drebenstedt, C.; Lucke, B. (2013): Modellierung und Bewertung der Stabilität von Tagebaukippen mit künstlichen neuronalen Netzen (*advangeo*® prediction software). *Proceedings* 64. Berg- und Hüttenmännischer Tag.
- (4) Barth, A.; Kallmeier, E.; Böhnke, R.; Lucke, B. (2016): Zeitliche und räumliche Prognose der Stabilität von Braunkohletagebaukippen im Nordraum Lausitz mit künstlichen neuronalen Netzen. 17. Geokinematischer Tag, TU Bergakademie Freiberg.

arbeitung und Verbreitung jeglicher geowissenschaftlicher Daten und hat ihren Nutzen in den letzten 20 Jahren in zahlreichen Projekten unter Beweis gestellt. KI-basierte Prognosemodellierung integriert sowohl Expertenwissen als auch sämtliche relevanten Datensätze auf sehr hohem Niveau. Die schrittweise Erstellung von Modellszenarien ermöglicht die Identifizierung sensibler Kontrollparameter und ihre weitere Berücksichtigung im Erkundungsprozess. Mit geringem Aufwand können hervorragende Ergebnisse in Bezug auf Datenvorbereitung, Modellkalibrierung und Berechnungszeit erzielt werden. Die *advangeo*® Software gibt einer großen Nutzerzahl im Rahmen ihres vertrauten Esri ArcGIS-Umfelds Zugang zu KI-Methoden. Mineralprognosekarten sind wichtige Mehrwertprodukte und versorgen Investoren und Regierungen mit Informationen über potentielle Erkundungsziele, z.B. für die Entwicklung nationaler Infrastruktur und Investitionsplanung. Besonders für rohstoffabhängige Entwicklungsländer eröffnet dies Möglichkeiten der breiten Öffentlichkeit ihres Rohstoffpotentials, das auch von kleineren und lokalen Explorationsunternehmen genutzt werden kann.

### Danksagung

Wir möchten uns bei unseren Kollegen und Partnern für die langjährige, erfolgreiche Zusammenarbeit bedanken. Dieser Dank gilt insbesondere dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), dem Sächsischen Oberbergamt Freiberg (SOBA), der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), der Ghana Geological Survey Authority (GGSA), dem Geological Survey of Namibia (GSN), dem Ministry of Mines and Steel Development Nigeria (MMSD), 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 (Mozambique), dem Geological Survey of Tanzania (GST), dem Directorate of Geological Survey and Mines of Uganda (DGSM), der Independent Commission for Mines and Minerals of Kosovo (ICMM), dem Finnish Geological Survey (GTK), dem Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM, Frankreich), dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und der Europäischen Union.

- [https://www.researchgate.net/publication/303522537\\_Zeitliche\\_und\\_raumliche\\_Prognose\\_der\\_Stabilität\\_von\\_Braunkohletagebaukippen\\_im\\_Nordraum\\_Lausitz\\_mit\\_künstlichen\\_neuronalen\\_Netzen](https://www.researchgate.net/publication/303522537_Zeitliche_und_raumliche_Prognose_der_Stabilität_von_Braunkohletagebaukippen_im_Nordraum_Lausitz_mit_künstlichen_neuronalen_Netzen)
- (5) Barth, A.; Brosig, A.; Knobloch, A.; Legler, C.; Hielscher, P.; Etzold, S.; Kaufmann, H.; Franke, D. (2018): Mineral predictive mapping in 2D, 2.5D and 3D using Artificial Neural Networks – Case study of Sn and W deposits in the Erzgebirge, Germany. *IAMG 2018 Conference proceedings*.

### Authors / Autoren

Dr. rer. nat. Andreas Barth, Dipl.-Geophys. Thomas Berndt, Dipl.-Geol. Andreas Brosig, Delira Hanelli M. Sc., Ronny Helbig, Dipl.-Geol. Peggy Hielscher, Dipl.-Geol. Andreas Knobloch, Martin Köhler M. Sc., Dipl.-Geol. Hartmut Kühne, Steffen Schmidt B. Sc., Dipl.-Geogr. Mathias Stahl, Beak Consultants GmbH, Freiberg