

Geothermal Energy in Mongolia

Mongolia is a country rich in resources that faces many challenges in order to meet the requirements that were set in the Paris Agreement. The supply of electricity and heat for the cities, which are growing due to rural depopulation, specifically the capital Ulaanbaatar, is largely based on coal combustion in predominantly outdated power plants without flue gas purification systems. While the potential of renewable energy for generating electricity and heat is substantial, they are only seldomly used. Due to the low temperatures in Mongolia, the supply of space heating is particularly important. In view of its economic situation, it is to be evaluated, whether Mongolia can bear such investments without external help. There are plenty of examples for the use of hot geothermic water in

rural areas, both to supply greenhouses and residential buildings, and for balneological purposes. Near-surface geothermic energy, that uses ground coupled heat pump technology, has been used scarcely around Ulaanbaatar for the past couple of years. Studies show three large regions with new and open fault systems that are suitable for hydrothermal projects, based on experiences in Central Europe. In addition, suitable areas for petrothermal projects were discovered in old and compact geological formations. Among other interested international collaborators, the German Mongolian Institute for Resources and Technology (GMIT) would be suited to supervise such projects, as it has been specialized in mining among other things since its foundation in 2013.

Geothermie in der Mongolei

Die Mongolei ist ein rohstoffreiches Land mit großen Herausforderungen, um den Vorgaben des Pariser Klimaabkommens gerecht zu werden. Die Strom- und Wärmeversorgung der durch die Landflucht stetig wachsenden Städte – und hier insbesondere die Hauptstadt Ulaanbaatar – basiert weitgehend auf der Verfeuerung von Kohle in überwiegend überalterten Kraftwerken ohne Rauchgasreinigungsanlagen. Die Potentiale für erneuerbare Energien zur Strom- und Wärmeerzeugung sind groß, werden aber noch wenig genutzt. Besondere Bedeutung kommt bei den vorherrschend niedrigen Temperaturen der Bereitstellung von Raumwärme zu. Ob die Mongolei aufgrund der wirtschaftlichen Situation diese Investitionen ohne ausländische Hilfe allein schultern kann, ist zu hinterfragen. Im ländlichen Raum sind zahlreiche Beispiele bekannt, wo neben der

balneologischen Nutzung heißer Thermalwasserquellen auch Gewächs- und Wohnhäuser versorgt werden. Oberflächennahe Geothermie, die auf erdgekoppelte Wärmepumpentechnik setzt, wird im Raum Ulaanbaatar seit einigen Jahren erst vereinzelt zur Anwendung gebracht. Studien zeigen drei große Regionen mit jungen, offenen Störungssystemen, die für hydrothermale Projekte aufgrund mitteleuropäischer Erfahrungen gut geeignet sind. Auch für petrothermale Projekte wurden in alten, kompakten geologischen Formationen geeignete Gebiete identifiziert. Für die wissenschaftliche Begleitung derartiger Projekte bietet sich in der Zusammenarbeit mit internationalen Interessenten auch das German Mongolian Institute for Resources and Technology (GMIT) an, das seit seiner Gründung im Jahr 2013 u. a. auf Bergbau spezialisiert ist.

Introduction

Mongolia, a relatively young democracy, is known as a large landlocked country – about 4.3 times the area of Germany – between Russia and China with nearly untouched nature and a small population – just under 3.2 million people, i.e. about 1/26 of Germany. Over the past three decades the country has undergone a remarkable political and economic transformation and has consistently experienced high economic growth in recent years. The ever-increasing urbanization combined with the growing industrialization of the country requires a safe, cost-efficient, and sustainable supply of sufficient energy in the form of electricity and heat. Most of this energy supply is generated by the combustion of fossil raw materials, which in turn has led to a significant increase in environmental impacts, especially in the capital Ulaanbaatar.

Einleitung

Die Mongolei als relativ junge Demokratie ist als ein großes Binnenland bekannt – rd. 4,3-fache Fläche von Deutschland – zwischen Russland und China mit nahezu unberührter Natur und geringer Bevölkerung – knapp 3,2 Mio. Menschen, d.h. rd. 1/26 von Deutschland. Das Land hat in den letzten drei Dekaden einen bemerkenswerten politischen und wirtschaftlichen Transformationsprozess durchlaufen und in den letzten Jahren ein kontinuierlich hohes Wirtschaftswachstum erfahren. Die stetig zunehmende Verstädterung in Verbindung mit der wachsenden Industrialisierung des Lands bedingt eine sichere, kostengünstige und nachhaltige Bereitstellung an ausreichender Energie in Form von Strom und Wärme. Der größte Teil dieser Energiebereitstellung erfolgt durch Verbrennung fossiler Rohstoffe, was wiederum bei der heute über-

aanbaatar, with tendency to rise. This is due to the predominantly outdated technology, which largely works without de-dusting, denitrification, and desulfurization units.

More than half of Mongolia's population lives and works in Ulaanbaatar, at least 1.6 million. The distinct continental climate causes Mongolia to endure long and cold winters with average temperatures of $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Under such cold conditions, the outlying districts of the city, which have been growing uncontrollably over the past decade and lack energy infrastructure, have been burning pit coal, dung, and garbage. The government has been fighting air pollution with various measures for decades, e.g., by establishing a free overnight rate and prohibiting the combustion of unsuitable surrogate fuels.

Aside from upgrading and modernizing the existing power plants that work with fossil fuels, there is the possibility of using renewable energy to generate electricity and heat. While wind and sun energy are being used sporadically and the potential for Ulaanbaatar has been assessed (1), the possibilities of near surface and deep geothermal energy are generally unexplored and rarely used.

Relations with Germany

Within the European Community, Germany is Mongolia's most important trade partner and the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) attributes further potential to this economic relation (2). Moreover, bilateral contacts have been existing for an extensive amount of time on a developmental level. There has been a raw material cooperation for over 50 years, which started with a mining collaboration of Mongolia and the, then, German Democratic Republic (GDR) in the 1960s (3). Since 2007 the Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) has been supporting the Central Geological Laboratory of Mongolia through a project regarding the development of certified reference materials, which enables the chemical proof of origin of raw materials. Since 2005 the BGR has been advising the Mongolian mining authority within the scope of the project "Environmental protection in mining", which includes, among others, stipulating regulatory mining requirements. In August 2011, the BGR published a directory of investors to support Mongolia in realistically evaluating the potential of selected raw materials. Thereby, various aspects of the topic were considered, such as deposits, social and environmental acceptance, as well as international marketing. The Integrated Raw Materials Initiative (IMRI) within the project "Sustainable management of raw materials" by the Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (BMZ) in Mongolia is seen as a major flagship project in the field of sustainable economic development. The initiative's three focal points are, firstly, good economic governance in the mineral raw material sector, second, increasing capacities for a sustainable economic policy, and third, promoting collaborations in the mineral raw material sector.

In 2011, the Germany and the Mongolian government signed an intergovernmental agreement regarding cooperation in the fields of raw materials, industry, and technology. As a result, the raw material supply for Germany is secured, and, by extending the value-added chain in Mongolia, it contributes to a sustainable economic development (4). Part of the agreement is encouraging the training, further education and qualification of skilled workers in the field of raw materials. This was implemented by

wiegend veralteten Technologie weitestgehend ohne Entstaubungs-, Entstickungs- und Entschwefelungsanlagen zu deutlich spürbaren Umweltbelastungen, insbesondere in der Hauptstadt Ulaanbaatar, mit stark steigender Tendenz geführt hat.

Mehr als die Hälfte aller Einwohner der Mongolei wohnt und arbeitet in Ulaanbaatar (mind. 1,6 Mio.). Das ausgeprägte Kontinentalklima beschert dem Land lange und kalte Winter, in denen die durchschnittlichen Tagestemperaturen bei $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen. Bei dieser Kälte wird in den im letzten Jahrzehnt unkontrolliert gewachsenen und an Energieinfrastruktur mangelnden Randbezirken der Stadt mit Rohkohle, Dung oder Abfall geheizt. Seit Jahrzehnten kämpft der Staat mit verschiedenen Maßnahmen, aber geringem Erfolg, gegen die Luftverschmutzung, z.B. durch einen kostenlosen Nachtstromtarif und das Verbot der Verfeuerung von ungeeigneten Ersatzbrennstoffen.

Neben dem Weg, die vorhandenen Kraftwerke auf Basis fossiler Brennstoffe aufzurüsten und zu modernisieren, bestünde auch die Möglichkeit der Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme und Stromversorgung. Während Wind und Sonne bereits vereinzelt genutzt werden und das Potential für Ulaanbaatar im Rahmen eines Masterplans abgeschätzt werden konnte (1), sind die Möglichkeiten der oberflächennahen und tiefen Geothermie weitestgehend unerforscht und kaum genutzt.

Beziehung zu Deutschland

Deutschland ist der wichtigste Handelspartner der Mongolei in der Europäischen Gemeinschaft, das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sieht weiteres Potential in dieser Wirtschaftsbeziehung (2). Auch auf entwicklungspolitischer Ebene bestehen schon länger bilaterale Kontakte. Seit über 50 Jahren existiert eine Rohstoffkooperation mit dem Land, die mit der Zusammenarbeit der DDR mit der Mongolei auf dem Gebiet des Bergbaus in den 1960er Jahren begann (3). Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) unterstützt seit 2007 das Geologische Zentrallabor der Mongolei durch ein Projekt zur Herstellung zertifizierter Referenzmaterialien, welche einen chemischen Herkunftsnachweis von Rohstoffen ermöglichen. Seit 2005 berät die BGR im Kontext des Projekts „Umweltschutz im Bergbau“ die mongolische Bergaufsichtsbehörde u.a. bei der Schaffung gesetzlicher Rahmenbedingungen für den Bergbau. Im August 2011 veröffentlichte die BGR ein Investorenhandbuch, um die Mongolei bei der realistischen Abschätzung des Potentials ausgewählter Rohstoffe zu unterstützen. Dabei wurden unterschiedliche Aspekte der Thematik berücksichtigt, beispielsweise die Lagerstätten, die Sozial- und Umweltverträglichkeit und die internationale Vermarktung. Die integrierte Rohstoffinitiative (IMRI) im Programm „Nachhaltiges Rohstoffmanagement“ des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) in der Mongolei gilt als eines der Leuchtturmprojekte im Bereich nachhaltiger Wirtschaftsentwicklung. Die drei Schwerpunkte der Initiative sind erstens gute wirtschaftliche Regierungsführung im mineralischen Rohstoffsektor, zweitens Kapazitätsaufbau für nachhaltige Wirtschaftspolitik und drittens Kooperationsförderung im mineralischen Rohstoffsektor.

Deutschland und der mongolische Staat unterzeichneten im Jahr 2011 ein Regierungsabkommen über die Zusammenarbeit im Rohstoff-, Industrie- und Technologiebereich. Dadurch soll die



Fig. 1. Hard coal surface mine north of the Gobi Desert.
Bild 1. Steinkohlentagebau nördlich der Wüste Gobi. Photo/Foto: Bauer

founding the German-Mongolian Institute for Resources and Technology (GMIT) in March 2013. The close collaboration of the GMIT and German universities – mainly the RWTH Aachen University (RWTH) and the Technical University Bergakademie Freiberg – allows for working up to German standards, as far as possible, and enables a transfer of engineering technologies. Thereby, the requirements of international businesses in Mongolia are being met, which up to now had criticized the lack of skilled graduates with practical experience. Since its foundation, the GMIT has aimed at closely connecting industrial projects and research, in order to generate a larger percentage of the country's value-added chain. Since 2016, the CBM GmbH, located in Bexbach/Germany, which is co-funded by the Federal Ministry for Education and Research (BMBF), is actively researching in Mongolia, in collaboration with both German, and Mongolian partners.

Mining

The country offers numerous and substantial raw material deposits, and their depletion causes this industrial sector to grow rapidly – partially due to external investments, e.g., by the British-Australian mining company Rio Tinto in the copper and gold mine in Oyu Tolgoi (5).

The most crucial deposits are coal, copper, and gold, as well as rare earth elements, molybdenum, ore, and uranium. Currently, seen from an economic point of view, coal is Mongolia's most significant resource. There are over 200 coal deposits in 15 coal-mining areas with over 30 surface mines, which account for nearly 99 % of the country's coal extraction (Figure 1). Between 2009 and 2010, the amount of coal mining had almost doubled and has approximately quintupled by the year of 2019. As of right now, economic growth is stagnant due to fluctuating prices for raw materials. In addition, there are domestic issues regarding external investors.

In order to investigate recent topics, German and Mongolian businesses are collaborating closely within the mining sector as well.

The joint research project ADRIANA (Airborne Spectral Detection of Reusable Industry Materials in Tailings Facilities), consisting of seven German and Mongolian partners in the fields

Rohstoffversorgung von Deutschland gesichert und durch einen Ausbau der Wertschöpfungskette in der Mongolei zu einer nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung beigetragen werden (4). Teil dieses Abkommens ist zudem die Förderung der Aus- und Weiterbildung und Qualifizierung von Fachkräften im Rohstoffbereich. Dies wurde durch die Gründung des German-Mongolian Institute for Resources and Technology (GMIT) im März 2013 umgesetzt. Durch die enge Zusammenarbeit des GMIT mit deutschen Universitäten – vorrangig RWTH Aachen und TU Bergakademie Freiberg – werden dort soweit möglich deutsche Standards angewandt und ein Transfer in Ingenieurwissenschaften ermöglicht. Damit kommt man den Bedürfnissen internationaler Unternehmen in der Mongolei entgegen, da diese bislang das Fehlen gut ausgebildeter Absolventen mit praktischen Erfahrungen beklagten. Seit der Gründung strebt das GMIT eine enge Verzahnung von Industrieprojekten und Forschung an, um einen höheren Anteil der Wertschöpfung im Land zu generieren. Die CBM GmbH, Bexbach, ist seit 2016 – kofinanziert über das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) – mit Forschungsaktivitäten im Verbund mit deutschen und mongolischen Partnern in der Mongolei tätig.

Bergbau

Das Land hat zahlreiche und bedeutende Rohstoffvorkommen, deren Ausbeutung diesen Industriesektor – auch durch ausländische Investitionen, wie z.B. des britisch-australischen Bergbauunternehmens Rio Tinto in die Kupfer- und Goldgrube Oyu Tolgoi (5) – schnell wachsen lässt.

Die wichtigsten Vorkommen sind Kohle, Kupfer und Gold, außerdem Seltene Erden, Molybdän, Eisenerz und Uran. Kohle ist momentan der wirtschaftlich bedeutendste Rohstoff der Mongolei. Es existieren über 200 Kohlelagerstätten in 15 Kohlebecken, die mit mehr als 30 Tagebauen fast 99 % der Kohleförderung des Lands ausmachen (Bild 1). Der Kohleabbau erfuhr von 2009 auf 2010 annähernd eine Verdopplung und ist im Jahr 2019 schätzungsweise auf das Fünffache gewachsen. Bedingt durch die Rohstoffpreisschwankungen stagniert das wirtschaftliche Wachstum derzeit. Hinzu kommen hausgemachte Schwierigkeiten im Umgang mit ausländischen Investoren.

Auch im Bergbausektor arbeiten deutsche und mongolische Unternehmen eng zusammen, um aktuelle Fragestellungen zu erforschen.

Im Verbundprojekt Airborne Spectral Detection of Reusable Industry Materials in Tailings Facilities (ADRIANA – Fernerkundungsbasierte Detektion industrieller Wertstoffe in Bergbautailings) mit sieben deutschen und mongolischen Partnern aus Wissenschaft und Wirtschaft soll unter Mitwirkung der CBM ein neuartiger Ansatz zur kostengünstigen Erkundung von nutzbaren Ressourcen in Bergbautailings erarbeitet werden. Der Ansatz besteht darin, dass reflexionsspektrometrische Methoden und die hyperspektrale Fernerkundung, die sich in der Erkundung natürlicher Lagerstätten bewährt haben, nunmehr erstmals für anthropogene Ablagerungen mit veränderten spektralen Eigenschaften eingesetzt werden sollen. Als Anwendungsbeispiel dient der Bergeteich Erdenet einer der weltgrößten Kupfer- und Molybdängruben im Norden der Mongolei (Bild 2).

Im Ergebnis des Verbundvorhabens soll die Möglichkeit der Nutzung des Tailings einer belastbaren technischen und ökonomischen

of science and economy, aims at developing a new approach for cost-efficient investigation of recoverable resources in tailings facilities in collaboration with CBM. The approach is based on the first-time use of reflection spectrometric methods, and hyperspectral remote sensing, which were proven to be efficient in the investigation of natural deposits, for anthropogenic deposits with altered spectral properties. The tailings pond of Erdenet, one of the world's largest copper and molybdenum mines in northern Mongolia, serves for a case study (Figure 2).

As a result of the joint research project, the possibility of using tailings is supposed to be subjected to a technical and economic evaluation. Thus, a requirement for increasing the raw material efficiency in this location is created, as the technical possibility of processing tailings material by adding them into the material flow of the on-going ore processing has already been confirmed. Aside from an increase in economic efficiency, a reduction of ground and water use is anticipated, since the current location can be used significantly longer, and the tailings water can be used as process water.

Between 2016 and 2019, the goal of the joint research project "Optimizing the Value-Added Chain for Polyminerale Ores of Economically Strategic Metals (OptiWiM)" was to determine methods for winning and processing ores of economically strategic metals with aid of metallurgical methods, and to investigate, which methods allow for cost-efficient extraction, processing, and offering of polyminerale deposits on the markets. It was shown that post-magmatic processes had a substantial impact on the polyminerale element management, and structural complexity. Therefore, singular process chains, that are being used successfully for processing in other deposits, in this case, only allow for the extraction of a fraction of the polyminerale inventory under a relatively high use of energy and material. On that basis, the OptiWiM project by CBM in collaboration with the RWTH started to try and find ways to enable winning any ore mineral phase, and, thereby, an economic use of such complex polyminerale deposits via innovative approaches. Using the deposit of Khalzan Buregtei in the north-west of Mongolia as an example, a corresponding processing system was developed with the Mongolian concessionaire Monnis (Figure 3).



Fig. 3. Complex ore deposit with a percentage of rare earth elements.
Bild 3. Komplexe Erzlagerstätte mit Anteil an schweren Seltenen Erden.
Photo/Foto: Bauer



Fig. 2. Plan view of the tailing of the ore deposit Erdenet, one of the world's largest tailings. // Bild 2. Draufsicht auf den Tailing der Erzlagerstätte Erdenet, einer der weltgrößten Tailings. Photo/Foto: Bauer

mischen Bewertung unterzogen werden. Damit wird eine Voraussetzung der Vergrößerung der Rohstoffeffizienz für den Standort geschaffen, da die technische Möglichkeit der Aufbereitung von Tailingsmaterial durch Beigabe in den Materialstrom der laufenden Erzaufbereitung bereits positiv bestätigt wurde. Im Ergebnis wird neben einer Erhöhung der ökonomischen Effizienz auch eine Reduzierung von Land- und Wasserverbrauch erwartet, da der gegenwärtige Standort deutlich länger genutzt und auch das Tailingswasser als Prozesswasser verwendet werden kann.

Ziel des Forschungsvorhabens „Optimierung der Wertschöpfungskette für polyminerale Erze wirtschaftsstrategischer Metalle (OptiWiM)“ zwischen 2016 und 2019 war es, mithilfe geometallurgischer Methoden Verfahrensweisen zur Gewinnung und Aufbereitung von Erzen wirtschaftsstrategischer Metalle zu bestimmen und zu untersuchen, durch welche Methoden sich polyminerale Lagerstätten zu konkurrenzfähigen Kosten gewinnen, aufbereiten und den Märkten zur Verfügung stellen lassen. Es konnte gezeigt werden, dass postmagmatische Prozesse einen wesentlichen Einfluss auf polyminerale Elementführung und texturale Komplexität haben. Einzelne Prozessketten, die in anderen Lagerstätten erfolgreich zur Aufbereitung eingesetzt werden, erlauben hier daher nur einen Bruchteil des polyminerale Inventars bei relativ hohem Einsatz von Energie und Material zu extrahieren. An diesem Punkt setzte das Projekt OptiWiM der CBM in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen an, um durch innovative Entwicklungen die Gewinnung aller Erzmineralphasen und damit eine wirtschaftliche Nutzung derartiger komplexer polyminerale Lagerstätten zu ermöglichen. Ein entsprechender Aufbereitungsprozess wurde am Beispiel der Lagerstätte Khalzan Buregtei im Nordwesten der Mongolei gemeinsam mit dem mongolischen Konzessionsinhaber Monnis entwickelt (Bild 3).

Energie

Die Hauptenergieträger in der Mongolei sind heimische Kohle zur Wärme- und Stromversorgung in Ulaanbaatar und den Bergbaugebieten sowie importierte Erdölprodukte für Transport und Elektrizitätserzeugung im ländlichen Raum mittels Dieseldgeneratoren. Die Mongolei hat begrenzte Wasserkraftressourcen, die

Energy

The main energy source in Mongolia is domestic coal for supplying Ulaanbaatar and the mining areas with heat and electricity, as well as imported petroleum products for transport, and generating energy with diesel generators in rural areas. Mongolia has limited hydro power resources which are not fully developed. The Mongolian government is considering reducing the country's energy issues by using renewable energy. Frequent disruptions in delivery, or power cut-offs are a daily occurrence.

In 2007, a specific law regarding renewable energy was passed (6), which, among other things, determines refits, and was last revised in 2019. The foundation of the Renewable Energy Fund (REF), which was essentially meant to obtain moneys from international organizations, was also concluded in 2007. The national program for renewable energy from 2005 stipulates both development goals, and the integration of renewable energy into the electrification strategy and highlights the importance of international investors for the development of the sector in Mongolia. In Mongolia, the energy law regulates the structure for generators, suppliers, and consumers of electricity. Despite efforts by the government, the percentage of renewable energy within the energy mix is only at about 5%.

The Paris Agreement from 2015, which Mongolia joined in 2016, stipulates a global frame in which the world can counteract a dangerous climate change. It suggests, to keep global warming significantly below 2 °C, and other efforts should be made in order to decrease the rise in temperature to 1,5 °C. Furthermore, the countries' adaptability to the consequences of climate change should be increased, and they should be supported in their own efforts (7). Since it is one of the agreement's core elements, the member states are obligated to independently work out nationally regulated contributions to reducing emissions that harm the environment and publish them.

Despite the enormous potential of renewable energy, 93% of Mongolia's entire electricity generation is dependent on coal powered plants. Coal is also the main source for heat generation. As a result, the energy sector is the main source of large amounts of greenhouse gas emissions and serious air pollution in the whole country. Air quality in Ulaanbaatar and other cities has become worse than in cities like Beijing and New Delhi. UNICEF is warning that this has become a public health crisis, particularly for children. Still, the use of coal cannot be reduced at such short notice as there is growing demand for electricity and heat coming from the inland. This great demand in electricity is causing the current generation capacity to reach its limits. To reduce blackouts, the country is reliant on exported electricity from Russia. The security of the electricity supply as well as social and economic consequences, have resulted in conflicting and complicated situations (8).

To combat this dilemma, the government has published its federal energy policy from 2015 to 2030, to increase the percentage of renewable energy to 20% by 2023, and to 30% by 2030. Expanding renewable energy in remote and less developed regions and improving air quality, as well as the carbon footprint, is the main priority. The environmental mid-term plan states specific activities for the years of 2019 to 2023 to develop renewable energy sources.

nicht vollständig entwickelt sind. Die mongolische Regierung erwägt, durch den Einsatz von erneuerbaren Energien die Energieprobleme des Landes zu vermindern. Häufige Lieferunterbrechungen oder Stromsperrungen sind an der Tagesordnung.

Ein spezifisches Erneuerbare-Energien-Gesetz, welches u.a. die Einspeisetarife für die verschiedenen Technologien festlegt, wurde 2007 verabschiedet (6) und zuletzt 2019 überarbeitet. Die Einrichtung des Renewable Energy Fund (REF), der im Wesentlichen mit Geldern internationaler Organisationen gefüllt werden sollte, wurde ebenfalls bereits 2007 beschlossen. Das nationale Erneuerbare-Energien-Programm aus dem Jahr 2005 legt neben den Ausbauzielen die Einbindung der erneuerbaren Energien in die Elektrifizierungsstrategie fest und benennt die Bedeutung internationaler Geldgeber für die Entwicklung des Sektors in der Mongolei. In der Mongolei regelt das Energiegesetz die Struktur für Stromerzeuger, -versorger und -verbraucher. Das Erneuerbare-Energien-Gesetz garantiert für diese Energieerzeuger einige Vorteile wie direkten Zugang ins Stromnetz und einen festen Tarif. Trotz großer Anstrengungen der Regierung beträgt der Anteil der erneuerbaren Energieträger im Energiemix gerade ca. 5%.

In dem im Jahr 2015 geschlossenen Übereinkommen von Paris, dem die Mongolei 2016 beitrug, wird ein globaler Rahmen festgelegt, mit dem die Welt einem gefährlichen Wandel des Klimas entgegenwirken kann. Dafür soll der Anstieg der Erderwärmung deutlich unter 2 °C gehalten werden, und es sollen weitere Anstrengungen unternommen werden, um den Temperaturanstieg auf 1,5 °C zu begrenzen. Außerdem soll die Fähigkeit der Länder zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels gestärkt, und sie sollen in ihren eigenen Bemühungen unterstützt werden (7). Zu den Kernelementen des Abkommens gehört die Verpflichtung, dass alle Mitgliedstaaten selbstständig national festgelegte Beiträge zur Reduzierung ihrer klimaschädlichen Emissionen erarbeiten und veröffentlichen müssen.

Trotz des enormen Potentials für erneuerbare Energien ist die Mongolei zu 93% der gesamten Stromerzeugung auf Kohlekraftwerke angewiesen. Kohle wird auch als Hauptquelle für die Wärmeversorgung eingesetzt. Infolgedessen wird der Energiesektor zum Hauptverursacher großer Treibhausgasemissionen und schwerwiegender Luftverschmutzung im Land. Die Luftqualität in Ulaanbaatar und anderen Städten ist schlechter geworden als in Städten wie Peking und Neu-Delhi. Die UNICEF warnte davor, dass dies zur Krise der öffentlichen Gesundheit geworden sei, insbesondere bei Kindern. Dennoch kann der Einsatz von Kohle derzeit kurzfristig nicht reduziert werden, um die wachsende Inlandsnachfrage nach Strom und Wärme zu befriedigen. Der Spitzenbedarf an Elektrizität hat fast die derzeitige Grenze der Erzeugungskapazität erreicht. Um Stromausfälle zu reduzieren, ist das Land auf teuren Stromimport aus Russland angewiesen. Die Energieversorgungssicherheit sowie die sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen haben sich auf widersprüchliche und komplizierte Situationen ausgewirkt (8).

Um das Dilemma zu bewältigen, hat die Regierung die staatliche Energiepolitik 2015 bis 2030 herausgegeben, um den Anteil erneuerbarer Energien bis 2023 auf 20% und bis 2030 auf 30% zu erhöhen. Die Priorität besteht darin, erneuerbare Energien auch in abgelegenen und weniger entwickelten Regionen auszubauen und die Luftqualität sowie den CO₂-Fußabdruck zu verbessern.



Fig. 4. Lignite surface mine in Baganuur, 140 km east of the capital Ulaanbaatar.
Bild 4. Braunkohlentagebau Baganuur 140 km östlich der Hauptstadt Ulaanbaatar. Photos/Fotos: Bauer

New coal-powered generating units are to be built next to the mines of Tavan Tolgoi (coal) and Oyu Tolgoi (copper/gold), as well as in Baganuur, a district of Ulaanbaatar, mainly supplied by the surface mine in close proximity to the city (Figure 4). In addition, two hydropower plants and multiple projects for the use of wind and sun energy are supposed to be constructed. Since 2019, the Asian Development Bank has been investing around 19 M US\$ in a photovoltaics project in Central Mongolia, as well as 100 M US\$ since January 2020 in a pumped storage hydro power station and a near-surface geothermal energy plant (9), which is supposed to supply useful heat via heat pump technology.

Near-surface geothermal energy

Shallow geothermal energy (10) mainly uses well technology to provide heat pumps with the energy content of near-surface layers in depths of usually not more than 100 m (Figure 5). The heat pump relies on a stable electricity supply, which in Mongolia, most of the time, can only be guaranteed by holding a diesel-powered emergency generator available. In case of power failure, even heat deposits can only meet electricity requirements for heating, and hot water to a certain extent. Due to its relatively high investments



Fig. 5. Functionality of near-surface geothermal energy (10).
Bild 5. Funktionsweise der oberflächennahen Geothermie (10).

Der Halbzeitplan der Regierung enthält für 2019 bis 2023 konkrete Aktivitäten für die Entwicklung erneuerbarer Energien.

Neue kohlebefeuerte Kraftwerksblöcke sollen neben den Bergwerken Tavan Tolgoi (Kohle) und Oyu Tolgoi (Kupfer/Gold) sowie in Ulaanbaatars Stadtteil Baganuur entstehen, vorrangig versorgt durch den nahe der Stadt gelegenen Tagebau (Bild 4). Außerdem sollen zwei Wasserkraftwerke und mehrere Vorhaben zur Nutzung von Wind und Sonne errichtet werden. Die Asiatische

Entwicklungsbank investiert seit 2019 rd. 19 Mio. US-\$ in ein Photovoltaikprojekt in der Zentralmongolei sowie 100 Mio. US-\$ seit Januar 2020 in ein Pumpspeicherkraftwerk und eine oberflächennahe Geothermieanlage (9), die Nutzwärme mittels Wärmepumpentechnik zur Verfügung stellen soll.

Oberflächennahe Geothermie

Die oberflächennahe Geothermie (10) nutzt überwiegend mittels Sondentechnik zur Versorgung einer Wärmepumpe den Energieinhalt oberflächennaher Schichten in Tiefen von häufig nicht mehr als 100 m (Bild 5). Die Wärmepumpe ist auf eine stabile Elektrizitätsversorgung angewiesen, was in der Mongolei meistens nur durch die zusätzliche Vorhaltung eines dieselbetriebenen Notstromaggregats sichergestellt werden kann. Selbst Wärmespeicher können den Bedarf bei Stromausfall für Heizung und Warmwasser nur begrenzt decken. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Investitionen und der technischen Anforderungen beschränkt sich diese in Deutschland, Österreich oder der Schweiz immer weiterverbreitende Technik bisher auf wenige Einzelfälle in der Mongolei.

Vorreiter war das Corporate Hotel and Resort im Nationalpark Bogd Khan mit 18 Zimmern in der Nähe von Ulaanbaatar, das 75 % seiner Heizenergie mittels Erdwärmepumpe deckt. Im Mai 2009 eröffnete das Modellhaus Zum Durvum, das seinen Strom mittels Solaranlage und seine Heizwärme mit einer Erdwärmepumpe erzeugt (11). Ein anderes Beispiel ist die Versorgung einer Villa ebenfalls in der Nähe der Hauptstadt auf rd. 1.500 m Seehöhe. Eine Wärmepumpe dient zur Gebäudeheizung, zur Warmwasserbereitstellung und als Poolheizung. Neunzig Bohrungen zu 150 m Tiefe versorgen die 360 kW Heizleistung bringende Wärmepumpe (12).

Im ländlichen Bereich finden sich Beispiele für die zusätzlich Nutzung heißer Quellen neben deren balneologischer Anwendung. Bekannt sind drei Zonen im Westen, im Nordosten und im Zentrum des Lands (Bild 6). Die Informationen über die traditionelle Nutzung der zahlreichen heißen Quellen bilden eine wichtige Grundlage, um das geothermische Potential der Mongolei abzuschätzen.

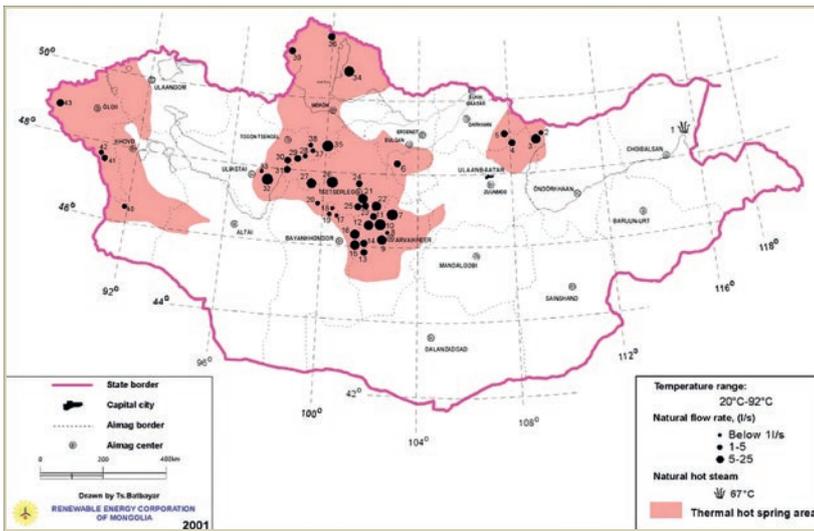


Fig. 6. The three Mongolian regions with hot thermal water springs (13).
 Bild 6. Die drei mongolischen Regionen mit heißen Thermalwasserquellen (13).

and technical requirements, this technology, that is becoming more and more prevalent in Germany, Austria, and Switzerland, is currently limited to few individual cases in Mongolia.

Corporate Hotel and Resort in the national park of Bogd Khan with 18 rooms near Ulaanbaatar was the trailblazer, as it covers 75% of its heating energy by using geothermal energy pumps. In May of 2009, model house Zuun Durvum opened, which generates its electricity by using solar collectors, and its thermal energy by using a geothermal energy pump (11). Another example would be the supply of a villa, also near the capital, on a sea level of 1,500 m. A heat pump is used for heating the building, providing hot water, and heating the pool. Ninety drillings in a depth of 150 m were needed to supply the heat pump, that has a power of 360 kW (12).

In rural areas, there are examples of using additional hot springs, aside from their balneological purpose. There are three regions, one in the West, one in the North-East, and one in the center of country (Figure 6). Information regarding the traditional use of a multitude of hot springs serves as the base for evaluating Mongolia's geothermal potential.

The mountain region of Khangai in the center of the country stands out due to over 40 hot springs with temperatures of up to 96 °C. Since over 300 years, the comforts of a spa can be enjoyed in an altitude of more than 2,000 m in Shargaljuut (14). A fantastical example of geothermal use (Figure 7) can be attributed to Tsenkher (15). Hot water first runs through an inter-basin before it heats a greenhouse, buildings, tents, and a pool, only to be used for watering, eventually.

Deep geothermal energy

Deep geothermal energy (16) defines winning geothermal energy from bore holes with a depth of several thousand meters to generate

Die Bergregion Khangai im Zentrum des Lands zeichnet sich durch mehr als 40 heiÙe Quellen mit Temperaturen bis zu 96 °C aus. In Shargaljuut (14) kann man seit über 300 Jahren auf mehr als 2.000 m Höhe alle Annehmlichkeiten eines Spas genießen. Ein phantasievolles Beispiel geothermischer Nutzung ist aus Tsenkher (15) bekannt (Bild 7). Das heiÙe Wasser durchläuft nach einem Zwischenspeicher nacheinander ein Gewächshaus, heizt Gebäude und Zelte, um nach dem Schwimmbekken noch zur Bewässerung zu dienen.

Tiefe Geothermie

Unter Tiefer Geothermie (16) wird die Gewinnung von Erdwärme aus mehreren tausend Meter tiefen Bohrlochern mittels aus der Kohlenwasserstoffindustrie bekannter Technik verstanden, um Strom und Wärme zu erzeugen. Hydrothermale Projekte sind nicht nur in Deutschland oder Frankreich Stand der Technik und in Regionen mit niedriger Enthalpie zu finden, wo Wasser als Transportmittel für die Energiegewinnung dient (Bild 8). Hierzu werden entweder offene Störungssysteme oder Gesteinsschichten mit geeigneter Porosität und Permeabilität angebohrt, die vorher geophysikalisch erkundet werden. In Regionen mit Hochenthalpie-Lagerstätten wie in der italienischen Toskana, der Türkei, auf Island, in Kenia oder dem pazifischen Feuergürtel wird heißer Dampf gefördert, der direkt die Turbine zur Stromerzeugung antreibt.

Petrothermale Geothermieprojekte erfordern die Herstellung eines Wärmetauschers in einem heißen, trockenen Gesteinskörper und sind noch Gegenstand von Forschung und Entwicklung, wofür sich das GMIT als Partner deutscher Universitäten anbietet. Laut älterer Studien verfügt die Mongolei über ein gutes geologisches Potential zur Tiefen Geothermie (17, 18, 19, 20). Nach koreanischen Informationen (20) sollen in 3.000 m Tiefe Temperaturen bis zu 213 °C möglich sein. Hydrothermale Projekte wären demnach dort möglich, wo junge, offene Störungssysteme mit

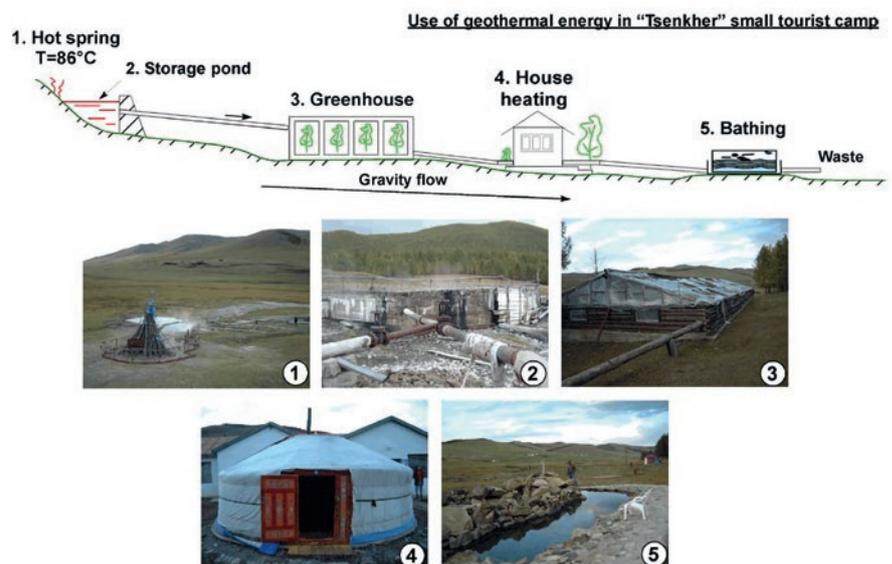


Fig. 7. Use of Tsenkher hot springs (15). // Bild 7. Nutzung der heißen Quellen von Tsenkher (15).

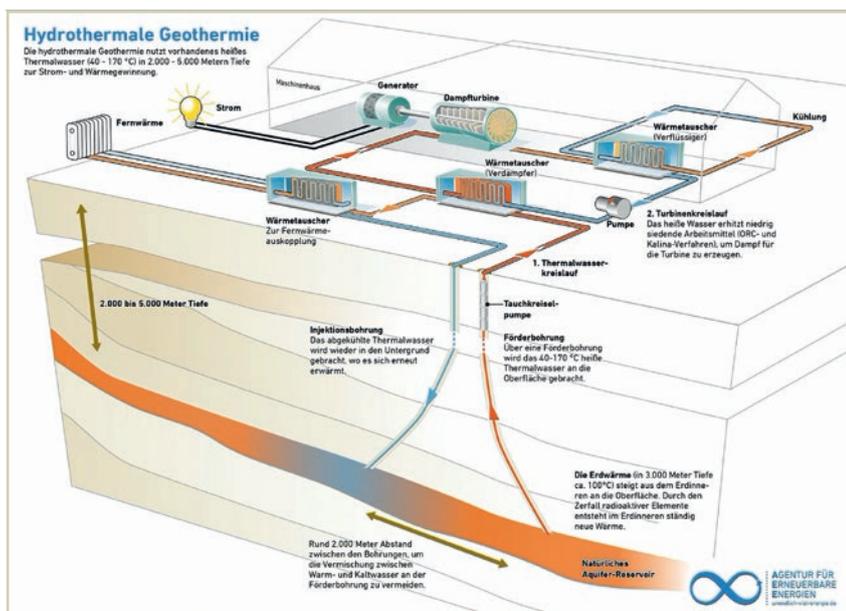


Fig. 8. Functionality of hydrothermal geothermal energy in lower enthalpy deposits (16).

Bild 8. Funktionsweise der hydrothermalen Geothermie bei Nieder-Enthalpie-Lagerstätten (16).

electricity and heat via technology known from the hydrocarbon industry. Hydrothermal projects are not only state of the art in Germany, or France, but can also be found in regions with low enthalpies, where water is used as a means of transportation for generating electricity (Figure 8). For that matter, either open fault systems, or rock beds with suitable porosity, that have been investigated geo-physically, are being spot drilled. In regions with high enthalpy deposits, such as Tuscany (Italy), Turkey, Iceland, Kenya and the Pacific Ring of Fire, hot steam is being pumped, which is used for powering the turbine that generates electricity.

Petrothermal geothermal energy projects require the development of a heat exchanger within hot and dry rock bodies and are still part of current research and development, which the GMIT is suited for, as it cooperates with German universities. According to older studies, Mongolia has a lot of geological potential for deep geothermal energy (17, 18, 19, 20). As per Korean information (20), temperatures of up to 213 °C are possible in a depth of 3,000 m. Accordingly, hydrothermal projects would be possible in locations, where new, open fault systems with suitable water paths are being estimated (Figure 9, regions highlighted in orange). Geologically older regions are being suggested for petrothermal energy generation (Figure 9, regions highlighted in white). In 2017, the Mongolian Ministry for Energy commissioned a pre-feasibility study, which highlighted the government's great interest in deep geothermal energy.

Since 2019, researchers from Switzerland are building the foundation to, in the future, provide the 20,000 inhabitants of the city Tsetserleg (Figure 10) on the Northern rim of the Khangai mountains, known for its countless hot springs, with geothermal energy long-distance heating, and, as a result, significantly improve air quality (22). When the

entsprechenden Wasserwegsamkeiten vermutet werden (Bild 9, orange gekennzeichnete Regionen). Für eine petrothermale Energiegewinnung werden geologisch ältere Gebiete vorgeschlagen (Bild 9, weiß gekennzeichnete Regionen). Im Jahr 2017 wurde durch das mongolische Energieministerium eine Vormachbarkeitsstudie in Auftrag gegeben, die das große Interesse der Regierung an der Tiefen Geothermie verdeutlicht.

Schweizer Forscher schaffen seit 2019 mittels Magnetotellurik die Voraussetzungen, um die 20.000 Einwohner zählende Stadt Tsetserleg (Bild 10) am nördlichen Rand des durch seine zahlreichen heißen Thermalwasserquellen bekannten Khangai-Gebirges künftig mit geothermischer Fernwärme zu versorgen und damit die Luft deutlich zu verbessern (22). Ändert sich durch Schwankungen im Sonnenwind das Magnetfeld der Erde, entstehen im leitfähigen Material der Erdkruste Wirbelströme. Da wasserführende Schichten Strom viel besser leiten als trockene Schichten, kann daraus auf geothermische Fluide aus sehr tief liegenden Schichten geschlussfolgert werden (23).

Neben der Luftverbesserung als ein wesentlicher Beitrag zum Pariser Abkommen war die Reduzierung des Bohrrisikos ein Hintergrund für die mongolisch-schweizerische Zusammenarbeit, nachdem zahlreiche, unzureichend vorbereitete Bohrungen nicht ihr Ziel erreicht hatten (21). Der Reduzierung des Fündigkeitsrisikos kommt gerade bei Geothermieprojekten eine große Bedeutung zu, da heißes Wasser im Gegensatz zu Kohlenwasserstoffen deutlich weniger Energie enthält, was die Kosten treibt. Die im Rahmen der vom Projektträger Jülich seit 2015 bei CBM unterstützten Forschungsprojekte SPE (25) und SYSEXPL (26) entwickelten neuartigen Konzepte zum Einsatz von gravimetrischen und magnetischen Potentialmethoden, die zur Ersteinschätzung bei Planung und Durchführung geothermischer und anderer

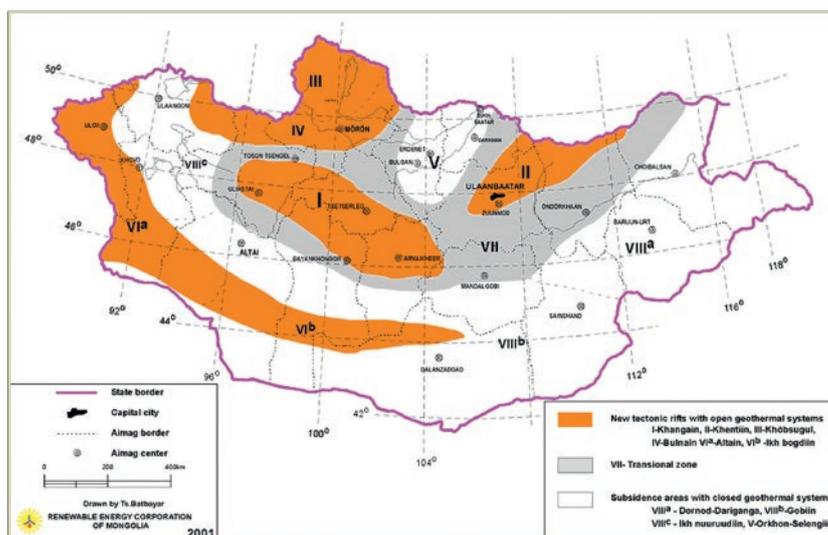


Fig. 9. Mongolian regions suitable for hydrothermal and petrothermal geothermal projects (21). // Bild 9. Für hydro- und petrothermale Geothermieprojekte geeignete mongolische Regionen (21).

Earth's magnetic field changes due to solar wind fluctuations, whirlwinds are caused within the Earth crust's conductive material. Since water-bearing layers conduct electricity better than dry layers, this suggests geothermal fluids within very deep layers (23).

Another reason for the Swiss-Mongolian collaboration, aside from improving air quality as a major contribution to the Paris Agreement, was reducing the risk of drilling, after many, insufficiently prepared drillings did not serve their purpose (21). Reducing the discovery risk is specifically important with geothermal projects, since hot water contains far less energy than hydrocarbons, which increases costs. The new concepts regarding the use of gravimetric, and magnetic potential methods used for the first evaluation while planning, and performing geothermal, and other mining projects, which were developed within the scope of the research projects SPE (25) and SYSEXPL (26) at CBM, promoted by the project sponsor Jülich since 2015, are suitable for use and further development in Mongolia. Geomathematics is a key discipline in both research projects and offers new methods for data analysis.



*Fig. 10. Dense smoke over Tsetserleg, Arkhangai province, at the beginning of the heating period through coal combustion (24).
Bild 10. Dichter Rauch über Tsetserleg, Provinz Arkhangai, schon zu Beginn der Heizperiode durch Kohlefeuerungen (24).*

Bergbau-Projekte dienen und sich für eine Anwendung und eine Weiterentwicklung auch in der Mongolei anbieten. Die Geomathematik ist in beiden Forschungsprojekten eine Schlüsseldisziplin, die neuartige Methoden zur Datenanalyse bereitstellt.

References / Quellenverzeichnis

- (1) <https://tuewas-asia.org/2017/07/05/energy-master-plan-for-ulaanbaatar-mongolia/>; abgerufen am 26.11.2020.
- (2) https://www.bmz.de/de/laender_regionen/asien/mongolei/index.jsp; abgerufen am 26.11.2020.
- (3) https://de.wikipedia.org/wiki/Deutsch-mongolische_Beziehungen; abgerufen am 26.11.2020.
- (4) https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=34effda9-adea-e65d-346f-05716f089546&groupId=252038; abgerufen am 26.11.2020.
- (5) https://en.wikipedia.org/wiki/Oyu_Tolgoi_mine; abgerufen am 26.11.2020.
- (6) <https://www.german-energy-solutions.de/GES/Redaktion/DE/Publikationen/Marktanalysen/Laenderprofile/mongolei.pdf>; abgerufen am 26.11.2020.
- (7) https://ec.europa.eu/clima/policies/international/negotiations/paris_de; abgerufen am 02.12.2020.
- (8) <https://www.adb.org/projects/52240-002/main#project-pds>; abgerufen am 11.12.2020.
- (9) <https://www.gtai.de/gtai-de/trade/branchen/branchencheck/mongolei/branchencheck-mongolei-217362#toc-anchor-3>; abgerufen am 26.11.2020.
- (10) Bauer, M.; Freeden, W.; Jacobi, H.; Neu, T.: Handbuch der oberflächennahen Geothermie. Springer Spektrum Berlin 2018, ISBN 978-3-662-50306-5.
- (11) https://www.dena.de/fileadmin/dena/Dokumente/Pdf/3076_Laenderprofil_Mongolei_REG.pdf; abgerufen am 26.11.2020.
- (12) <http://www.geomatrix.at/index.php?id=303>; abgerufen am 26.06.2020.
- (13) <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/asia/Geothermal/mongolia-thermal-hot-springs-2001.jpg>; abgerufen am 02.12.2020.
- (14) <https://www.tourismongolia.com/destinations/shargaljuut-hot-spa>; abgerufen am 26.11.2020.
- (15) Tseesuren B.: Geothermal Resources in Mongolia and Potential Use. Geothermal training course 2001, <https://orkustofnun.is/gogn/unu-gtp-report/UNU-GTP-2001-15.pdf>; abgerufen am 26.11.2020.
- (16) Bauer, M.; Freeden, W.; Jacobi, H.; Neu, T.: Handbuch der tiefen Geothermie. Springer Spektrum Berlin 2014, ISBN 978-3-642-54510-8.
- (17) Dorj, P.: Geothermal Development in Mongolia – Country Update. Proceedings World Geothermal Congress 2015.
- (18) Sullivan, P.: Geothermal Energy in Mongolia. In: The UB Post 01.04.2014.
- (19) Brignall, G. et al.: Geothermal Resources and Development in Mongolia – Country Update. Proceedings World Geothermal Congress 2005.
- (20) Hahn, J. et al.: A study on deep geothermal energy and potential of geothermal power generation in Mongolia, Seoul 2012.
- (21) <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/asia/Geothermal/mongolia-main-geothermal-structures-2001.jpg>; abgerufen am 02.12.2020.
- (22) Samrock, F. et al.: Saubere Energie für die Mongolei. In: Geothermische Energie, Heft 97, November 2020, S. 14 ff.
- (23) Lorenzen, D.: Magnetotellurik – Himmlische Hilfe für mongolische Erdwärme. Deutschlandradio, 13.11.2020.
- (24) Würsten, W.: Saubere Luft dank Erdwärme. In: Magazin Globe der ETH Zürich, 14.04.2020.
- (25) SPE – Satelliten gestützte Potentialverfahren zur geothermischen Exploration, gefördert vom Projektträger Jülich, FKZ 0324061, Laufzeit Mai 2016 – April 2019; s.a. Freeden, W.; Bauer, B. (Hrsg.): Dekorrelierte Gravimetrie. Springer Spektrum, 2020, ISBN 978-3-662-61907-0.
- (26) SYSEXPL – Systematische Exploration, gefördert vom Projektträger Jülich, FKZ 03EE40002A, Laufzeit Mai 2019 – April 2022.

Authors / Autoren

Prof. Dr.-Ing. Mathias Bauer, Dipl.-Ing. Thomas Neu und Erdenebaatar Byamba M.Sc., CBM Gesellschaft für Consulting, Business und Management mbH, Bexbach