

Helium – wichtiger Rohstoff aus Erdgas und geothermalen Quellen

Helium-Precious Raw Material from Natural Gas and Geothermal Sources

Von G. PUSCH, N. LIERMANN und J. WARSTAT*

Abstract

The noble gas helium shows the most ideal properties as a cooling media in the ultra-deep temperature range and is therefore inevitable for cryogenic technology developments. Helium is recovered as a byproduct of natural gas production. Hence the major gas producers are the global players in the helium market. Principal sources of helium are the decomposition of radioactive elements, uranium and thorium in the earth's crust and primordial helium from the earth mantle. In this article the helium market in the USA is analysed and the need for further development of helium resources is explained. In addition to the crustal helium, geothermal helium sources in volcanic areas become more and more interesting, as it is shown by an example of helium exploration in India.

One of the most favorable areas for crustal helium in the USA, the Colorado Plateau, yields helium concentrations between 1% and 10%. As an example from this area, the development of the helium reserves in the Dineh-Bi-Keyah oil/gas field is presented in the article. The promising economic chances of this project reflects on the potential of helium sources in Germany, based on a study of the Bundesanstalt für Geowissenschaften on deep natural gas resources. However, the provided data base did not cover main areas of geothermal potential and Eastern German sources. The article motivates to renew the study in view of the importance of the rare raw material helium.

Kurzfassung

Helium ist durch seine physikalischen Eigenschaften das ideale Tieftemperatur-Kühlmittel und in der Kryogentechnik unverzichtbar. Es wird hauptsächlich bei der Erdgasförderung gewonnen und daher von den großen Erdgasexportländern vermarktet. Seine Herkunft ist primordial aus dem Erdmantel und innerhalb des Erdzeitalters aus der Kruste, bedingt durch den Zerfall von radioaktiven Elementen Uran und Thorium. In diesem Übersichtsartikel wird die Marktsituation in den Vereinigten Staaten von Amerika, dem derzeit größten Absatzmarkt, beschrieben und die Notwendigkeit zur Erschließung weiterer Reserven

des für die Hochtechnologieentwicklung so wichtigen Rohstoffs begründet. Mit der Einbeziehung der Suche nach geothermal gebildetem Helium in vulkanisch aktiven Regionen erweitert sich das Angebot von Heliumressourcen, wie es ein Beispiel aus Indien zeigt.

Die wirtschaftlich interessante Gewinnung des Heliums aus stickstoffreichen Erdgasen des Colorado Plateaus in den USA mit Heliumkonzentrationen von 1 % bis 10 % wird an einem Beispiel, dem Dineh-Bi-Keyah (DBK) Feld, vorgestellt und die Frage nach dem Heliumpotenzial und den Chancen einer Heliumgewinnung in Deutschland auf der Basis einer unveröffentlichten Studie der Bundesanstalt für Geowissenschaften (BGR) über Tiefengas angesprochen.

Die in der Studie nicht erfassten Quellen für geothermales Helium und die Bohrungsdaten aus Ostdeutschland könnten in einer Neuauflage für ein Gesamtbild des Heliumpotenzials beitragen.

1 Einleitung

Das Element Helium ist im gesamten Universum seit dem »Urknall« vorhanden. Es entsteht natürlich u. a. durch die Verschmelzung von Wasserstoffatomen Deuterium (^2H) und Tritium (^3H) bei hohen Temperaturen, wie auf der Sonne oder anderen Sternen, und durch den Zerfall von radioaktiven Elementen, wie Uran oder Thorium auf der Erde, oder künstlich durch den Beschuss von Lithium Kernen mit Neutronen.

Helium (^4He) besitzt den niedrigsten kritischen Punkt aller Elemente, nahe dem absoluten Nullpunkt bei ca. 5 K. Es liegt daher bei normalen Bedingungen gasförmig (überkritisch) vor und geht keine Bindungen ein, die dauerhaft stabil sind. Der Siedepunkt von Helium liegt bei 4,15 K. Die Fluidphase weist eine relativ hohe Wärmeleitfähigkeit auf [1].

Aufgrund der geringen Teilchengröße eignet sich das atomare Gas hervorragend zur Werkstoffuntersuchung und Bauteildichtheitsprüfung. Die thermodynamischen und chemischen Eigenschaften prädestinieren es als Kühlmittel für Supraleiter und Hochtemperaturreaktoren bzw. in der Medizintechnik für MRT-Analysen, als Schutzgas und Trägergas, sowie als Atemgaszusatz in der Tauchindustrie.

Der Rohstoff Helium wird überwiegend aus natürlichen, gasförmigen Ansammlungen in geologischen Schichten, die

meist als Fallen für Erdgas ausgebildet wurden, gewonnen. Zu den größten Heliumproduzenten zählen daher Länder mit hoher Erdgasproduktion, wie die Vereinigten Staaten von Amerika, Katar, Algerien und Russland [2].

Die Europäische Union hat Helium 2017 auf die Liste der strategischen, raren Rohstoffe gesetzt, deren Versorgungslage eine besondere Förderung erfahren sollte [3]. In diesem Beitrag soll auf die Möglichkeiten und Chancen zur Erschließung weiterer Heliumquellen eingegangen werden.

2 Vorkommen und Verwendung

2.1. Angebotssituation

Helium ist ein weltweit verwendeter Rohstoff. Teilweise hochgradig spezialisierte Unternehmen sorgen in einem komplexen Netzwerk für die Belieferung der Märkte. Hier liegen für die großen Industriegasunternehmen auch die Herausforderungen der Zukunft. Sie müssen durch eine regional diversifizierte Beschaffung des Rohgases, basierend auf einer verlässlichen Zulieferung der Rohgasproduzenten, für ein global gesichertes und stabiles Angebot sorgen. Im Jahr 2017 lag die weltweite Nachfrage für Helium bei ca. 157,7 Mio. m^3 (6 bcf/yr) [2].

Die Nachfrage wird aktuell von einem Angebot in gleicher Höhe gedeckt. Somit befindet sich der Heliummarkt zum jetzigen Zeitpunkt im Gleichgewicht. Geopolitische Veränderungen, wie zum Beispiel die Handelsblockade des Emirats Katar durch seine Nachbarstaaten 2016 können dieses Gleichgewicht allerdings signifikant stören.

In der Vergangenheit konnte die staatliche Heliumreserve des Bureau of Land Management (BLM) der Vereinigten Staaten im Speicher Cliffside bei Amarillo, Texas derartige Engpässe ausgleichen, indem es kurzfristig größere Heliummengen für den privaten Markt bereitgestellt hat. Ab dem Jahr 2018 wird dies nicht mehr möglich sein, da die strategische Heliumreserve nachhaltig für den privaten Markt geschlossen werden soll [2].

Die genaue Höhe der Heliumreserven in den marktbeherrschenden Lieferländern ist nicht bekannt. Der Geologische Dienst der Vereinigten Staaten von Amerika (USGS) schätzt die gewinnbaren Heliumressourcen (Abb.1) als mittelfristig bedarfsdeckend ein. [4].

* Prof. Dr. Günter Pusch, Celle, E-Mail: guenter-pusch@t-online.de, Norbert Liermann, Consultant Celle, Jan Warstat, NASCO Energie und Rohstoff AG Hamburg

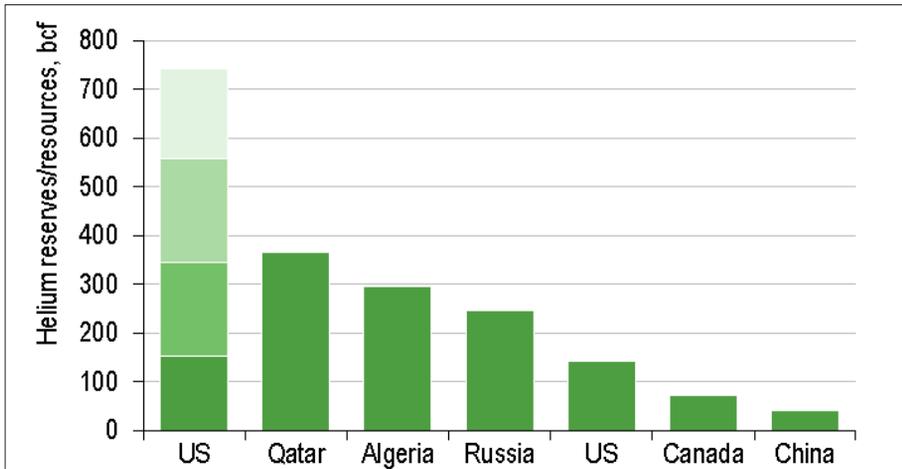


Abb. 1 Reserven/Ressourcen von Helium nach einer Studie des USGS 2016 [4]. Für die USA werden separat auch wahrscheinliche, mögliche und spekulative Reserven ausgewiesen

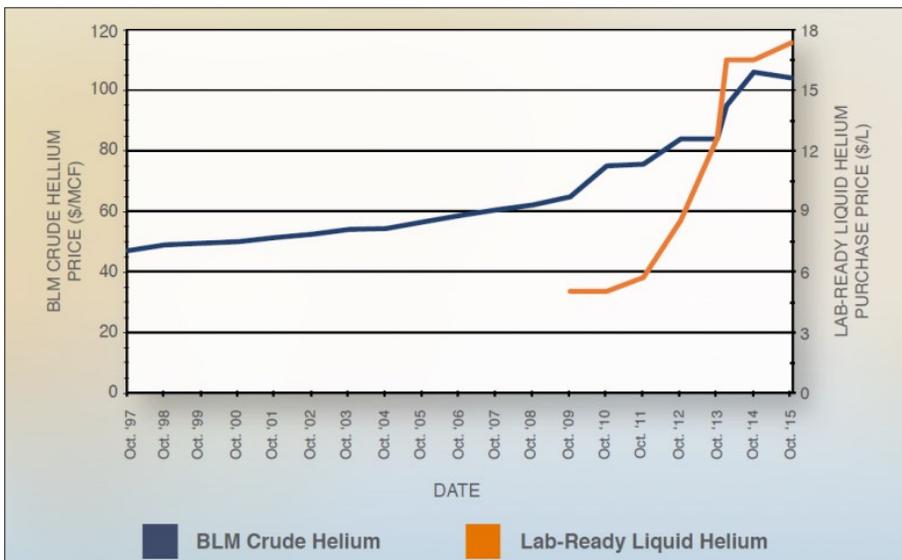


Abb. 2 Helium Preisentwicklung nach [5]

2.2. Regionale Nachfrage

Mit knapp 32 % der Nachfrage bilden die USA derzeit neben Asien den größten Markt für Helium (Tab. 1). Nimmt man Kanada, Mexiko und Lateinamerika dazu sind es insgesamt 45 %. Die Nachfrage in dieser Region ist auf einem stabilen Niveau, allerdings mit geringem Wachstumspotenzial. Kanada, Mexiko und Lateinamerika werden hauptsächlich durch US-Exporte versorgt.

Am schnellsten wächst die Nachfrage aktuell in Asien. Mit einem Gesamtvolumen von 51 Mio. m³ pro Jahr (1,94 bcf/yr) hat der asiatische Markt den US-Markt 2017 knapp übertroffen. Getrieben durch Infrastruktur-Maßnahmen wird Asien auch über die kommenden Jahre für ein nachhaltiges Wachstum bei der Nachfrage sorgen. China ist mit Abstand der größte Markt in Asien, gefolgt von Japan, Russland, Süd-Korea und Taiwan. Hier ist die Nachfrage bei der Datenspeicherherstellung und Glasfaserproduktion als Spül- und Trägergas sowie zur Kühlung von MRT-Scannern am größten. Der asiatische Markt wird sektorenweise durch US-Ex-

porte versorgt, mit steigender Tendenz aber auch aus Katar sowie aus Australien. Mit rd. 30,8 Mio. m³ pro Jahr (1,17 bcf/yr) ist Europa mit ca. 19 % der drittgrößte Markt für Helium. Aufgrund der schwer vorhersehbaren wirtschaftlichen Entwicklung in der Region ist für die kommenden Jahre mit keinem starken Wachstum zu rechnen. Europa bezieht das Helium hauptsächlich aus den USA, Algerien, Katar, Russland und Polen.

Afrika, der Mittlere Osten und Indien bilden mit ca. 4 % der weltweiten Nachfrage nach Helium das Schlusslicht. Die Nachfrage aus dieser Region wächst jedoch stabil mit 1% pro Jahr. Beliefert werden diese Märkte hauptsächlich aus Katar und Algerien.

Die wachsende Nachfrage hat die Preise für Helium nach oben getrieben (Abb. 2). Besonders auffällig ist der Preis für verflüssigtes Helium gestiegen, das schwerpunktmäßig für Forschung und Technologieentwicklungen (Supraleiter und MRT) eingesetzt wird. Dies hat in den USA die Wissenschaften alarmiert, die Einschränkungen in der Innovationsfähigkeit der

US-Industrie befürchten und deshalb von der Politik konkrete Maßnahmen zur Preisstabilisierung für flüssiges Helium fordern [5].

Vor dem Hintergrund eines angenommenen jährlichen Nachfrageanstiegs von 1,5 % ist eine Angebotsverknappung ab 2020 zu erwarten, wenn keine nachhaltigen Entwicklungsprojekte umgesetzt werden. Daraus ändert auch die Entdeckung eines größeren Heliumvorkommens in Tansania 2016, dessen Ressourcen mit 1,4 Mrd. m³ (53 bcf) geschätzt wurden [6], mittelfristig wenig. Für den Nachweis der Förderbarkeit durch Bohrungen, den Aufbau einer Infrastruktur zur Aufbereitung und die Entwicklung von Ressourcen zu Reserven gehen bekanntlich bis zu zehn Jahre.

Langfristig muss ein Anstieg der Nachfrage durch die Entwicklung neuer Lagerstätten gedeckt werden. Der größte Helium-Produzent in den USA ist ExxonMobil. Die Anlage in LaBarge, Wyoming hat im Wirtschaftsjahr 2016 ca. 33,9 Mio. m³ (1,29 bcf) Helium produziert und für 2017 sind ähnlich Mengen zu erwarten [2]. Ein weiteres großes Projekt wird von Air Products vorangetrieben, die Doe Canyon-Anlage in Colorado. Sie soll bis zu 6 Mio. m³ (0,23 bcf) pro Jahr produzieren. Diverse unabhängige Helium-Produzenten beliefern über Spezialunternehmen wie IACX Energy aus Dallas, TX zudem den US-Markt [2].

3 Heliumlagerstätten

Rohstofflagerstätten werden als Ansammlungen von Rohstoffen in der äußeren Kruste der Erde, die durch einen Mindestgehalt an Wertstoffen gekennzeichnet und mit den verfügbaren technischen Mitteln wirtschaftlich gewinnbar sind, definiert. Für Heliumvorkommen bedeutet das ein gasförmiges Speichermedium, mit einer Mindestheliumkonzentration. Diese beträgt derzeit in den USA 0,3 Vol.-% [5]. Wie aber kommt das Helium in die gasführenden Schichten?

Astrophysiker bezeichnen Helium als einen der elementaren Bausteine zur Entstehung der Materie nach dem Urknall, weil daraus durch Verschmelzung mit Beryllium-Atomkernen Kohlenstoff entsteht

Tab. 1 Helium Bedarf nach Regionen in 2017 [2]

Helium Bedarfsstatistik		
Region	Bedarf	
	bcf	%
USA	1,910	32
Asien	1,940	32
Europa	1,170	19
Kanada, Mexiko, Lateinamerika	0,794	13
Afrika, Indien, Mittlerer Osten	0,244	4
Total	6,058	100

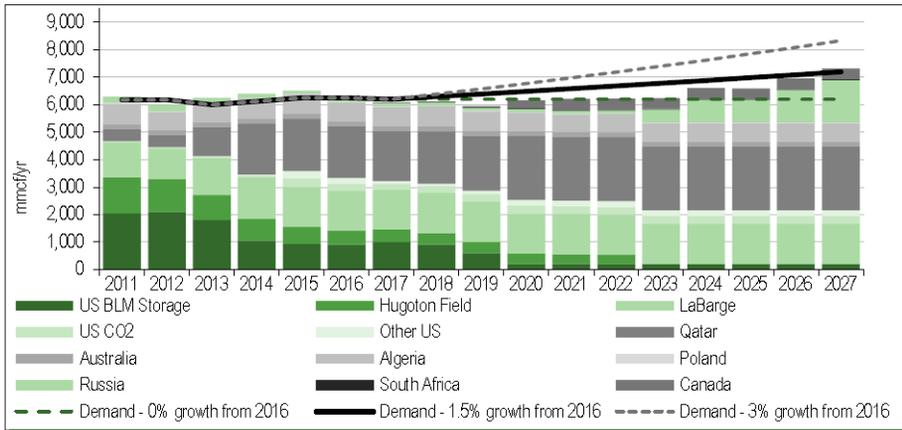


Abb. 3 Schätzung des globalen Heliumbedarfs/-deckung nach [4]

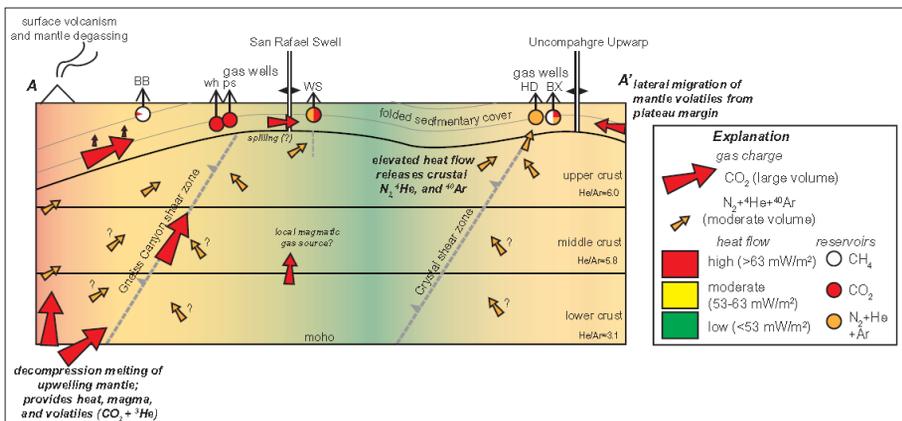


Abb. 4 Beispielhafte Migrationswege von Mantel- und Krusten-Helium nach [7]

hen konnte. Auf der Erde existieren prinzipiell zwei Pfade zur Bildung von Heliumlagerstätten [7]:

- i) Die Emission von Helium aus dem Erdmantel bei hohen Temperaturen im Umfeld von Magmakammern
- ii) die oberflächennahe radiogene Entstehung von Helium bei mittleren Temperaturen in der Erdkruste aus den gleichen Elementen.

Der Zerfall von Uran und Thorium (radiogenes Helium) liefert ausschließlich das ⁴He-Isotop, während das ³He-Isotop durch Kernfusion entsteht. Im Erdmantel wird ein ursprüngliches ³He/⁴He Verhältnis zwischen 2 x 10⁻⁴ und 3 x 10⁻⁴ (Meteoriten) angenommen [8].

In der Atmosphäre gilt ein Mittelwert des Isotopenverhältnisses R_a von 1,38 x 10⁻⁶ der relativ konstant ist [9] und daher als Bezug für spezielle terrestrische Isotopenverhältnisse R genommen wird. Die spezifischen Werte für bestimmte geologische Einheiten oder Gesteine sind als Mischwerte des Isotopenverhältnisses im Mantel und der Kruste anzusehen. Tabelle 2 zeigt die wesentlichen Merkmale dieser unterschiedlichen Quellen.

Das Mantelhelium benötigt für seine Migration in die Speicherschicht tief reichende geologische Bruchsysteme. Die genetische Bindung an vulkanische Prozesse kann sich in einer positiv linearen Korrelation des Heliumgehalts mit der Kohlendioxid-

konzentration im Gas ausdrücken [7]. Das Isotopenverhältnis ³He/⁴He liegt in derartigen Systemen deutlich über dem der Atmosphäre R_a.

Im Gegensatz dazu wächst die Heliumkonzentration beim Krustenhelium mit dem Stickstoffgehalt im Erdgas [7] und das Isotopenverhältnis ³He/⁴He ist niedriger als in der Atmosphäre. Die kürzeren Migrationswege werden durch tektonische Bruchsysteme zwischen dem kristallinen Untergrund und den darüberliegenden Sedimentschichten gebildet.

Die Suche nach Heliumlagerstätten, wie am Colorado Plateau in den USA, konnte sich daher an der Existenz mächtiger kristalliner Grundgebirge mit Wärmestromdichten im Bereich von 50–70 mW/m² im Untergrund der Sedimentablagerungen und nachgewiesenen Bruchzonen (Scherbrüche) oder an geothermalen »Hot Spots« mit Wärmestromdichten > 65 mW/m² in vulkanisch aktiven Zonen orientie-

ren. Wie weit diese Wärmestromdichten auf andere Hebungs- oder Subduktionszonen übertragbar sind, muss erst geprüft werden.

4 Aufsuchung und Gewinnung von Helium

4.1 Erdgasgebundenes Helium-Beispiel aus den USA

Eine gezielte Suche nach Heliumführenden Gaslagerstätten fand in der Vergangenheit nur im geringen Umfang statt. Die Entdeckungen waren meist das Nebenprodukt von Kohlenwasserstoff-Explorationskampagnen.

Die vom BLM veröffentlichten Bohrungsdaten der Heliumkonzentration [5], mit den in Orange ausgewiesenen vielversprechenden Arealen, decken sich mit den oben angeführten Aufsuchungskriterien. Die größten Heliumanreicherungen von 0,3–10 % kommen in Gaslagerstätten von West Texas, Kansas, New Mexico, Arizona, Utah, Colorado und Wyoming vor (Abb. 5). Diese stehen im Zusammenhang mit großflächigen, geologischen Bruchsystemen und sind durch ein mächtiges kristallines Grundgebirge mit direkt aufliegenden, speicherfähigen Sedimentschichten gekennzeichnet.

4.1.1 Heliumlagerstätte Dineh-Bi-Keyah

Das Öl-/Gasfeld Dineh-Bi-Keyah (DBK) gehört zum sogenannten Colorado Plateau in der Nähe der »Four Corners«-Region zwischen New Mexico, Arizona, Colorado und Utah, welches nach einer Studie des USGS landesweit die höchsten Helium-Konzentrationen im Gas aufweist.

Das Feld wurde 1967 durch das Unternehmen Kerr-McGee im sogenannten Paradox-Becken entdeckt und liegt geografisch im Navajo Indianerreservat, Apache County [10, 11]. Die langgezogene Antiklinale befindet sich an der Ostflanke einer mächtigen tektonischen Hebung, des »Defiance Uplift« (Abb. 6).

Ein Unikat ist die Ölführung im sogenannten »Hermosa Sill« (Abb. 7), einem metamorphen Kalkstein, welcher durch eine Magmaintrusion im Tertiär Porosität und Durchlässigkeit erhielt.

Eine Gasführung im DBK-Feld liegt u. a. im McCracken-Sandstein des Karbons, im Aneth-Dolomit (Devon) und im Hermosa Paradox-Sandstein (Karbon, Schnittdarstellung Abb. 7) vor.

Die Gaszusammensetzung und die Isoto-

Tab. 2 Quellen der Helium-Entstehung [7, 8, 9]

Herkunft	Prozess	Temperatur	Geologie	Ausbreitung	Indikation [8]
Kosmisch	Kernfusion	Sehr hoch		Solare, stellare Emission	³ He/ ⁴ He primordial 2 x 10 ⁻⁴ – 3 x 10 ⁻⁴
Terrestrisch aus der Erdkruste	Radioaktiver Zerfall Uran, Thorium	Mittel; Wärmefluss 53–73 mW/m ² [7]	Erdkruste: Kristallines Grundgebirge	Bruchsysteme zw. Kristallin und Sediment	R/Ra = 0,01–0,1; Korrelation mit N ₂
Terrestrisch aus dem Erdmantel	Radioaktiver Zerfall Uran, Thorium	Hoch; Wärmefluss; >65 mW/m ² [7]	Übergang Mantel tiefe Kruste	Tief reichende Bruchsysteme	R/Ra = 5–30; Korrelation mit CO ₂

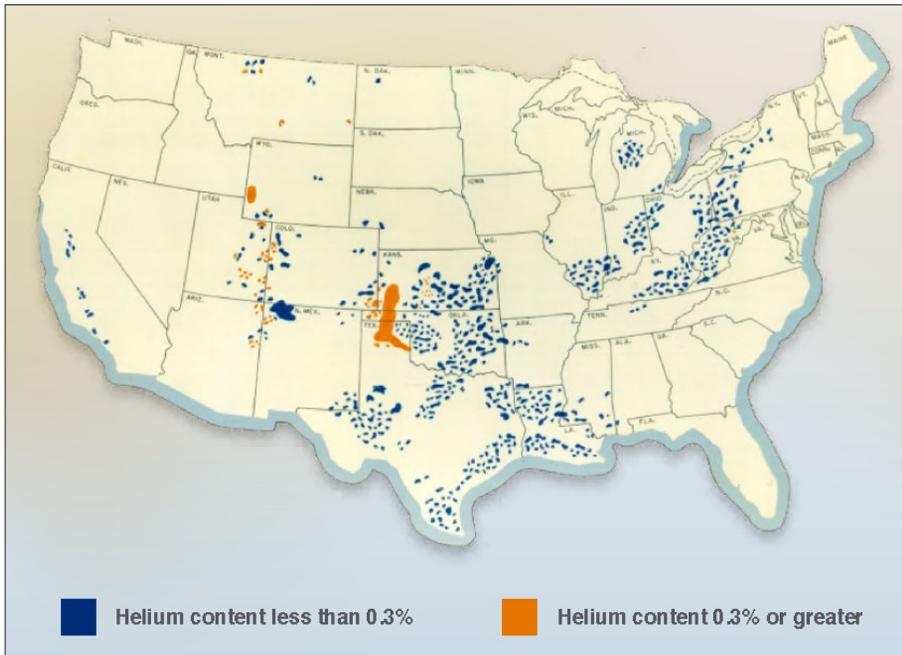


Abb. 5 Lageplan der US-Gasfelder mit Helium-Nachweis (BLM) [5]

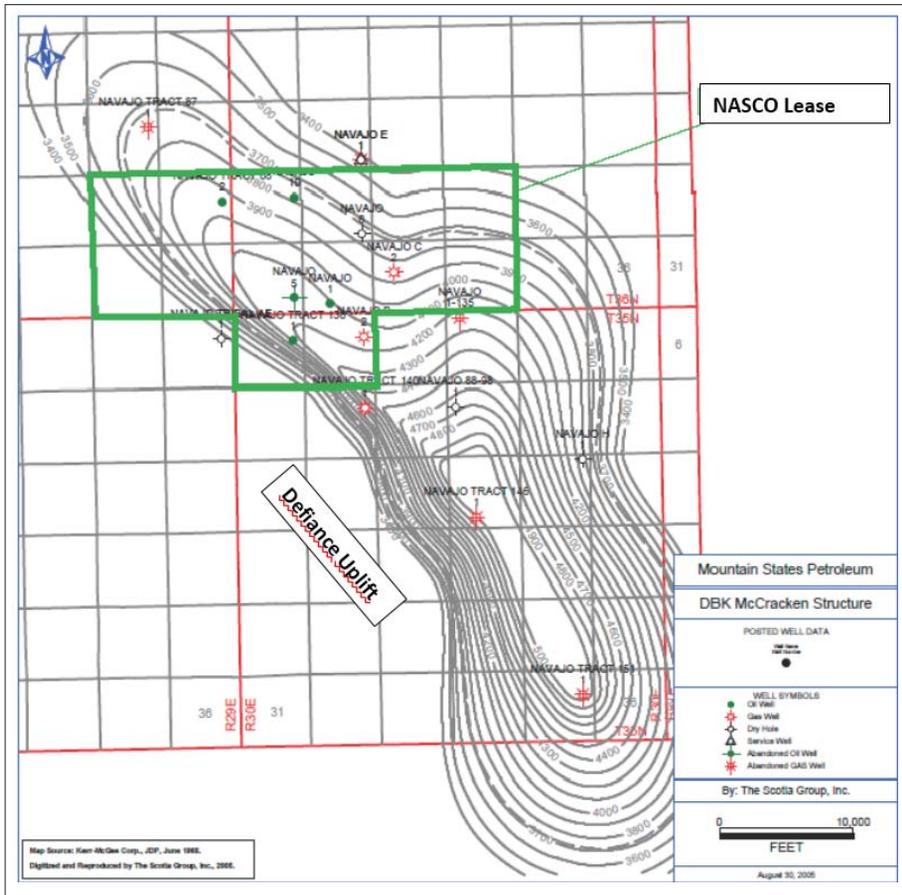


Abb. 6 DBK-McCracken-Strukturkarte nach [10,11]

penanalysen in Verbindung mit den Wärmeflussindikatoren weisen dieses Gas nach einer Untersuchung von Wissenschaftlern des USGS [7] überwiegend als Krustenhelium, welches aus dem mächtigen, präkambrischen Untergrund eingewandert ist, aus. An Stellen von geologischen Gasfallen mit einer undurchlässigen Anhydritabdeckung konnten sich somit La-

gerstätten ausbilden. Der ebenfalls hochkonzentriert vorhandene Stickstoff entstand vermutlich durch den Zerfall von Feldspäten und Glimmern des Granitkörpers.

Feldentwicklung

In der Bohrung Navajo B-2 wurde 1967 ein nicht brennbares, stickstoffreiches Gas

mit 4–6 % Helium nachgewiesen. Zu der Zeit bestand jedoch kein Absatzmarkt in dieser Region, so dass erst im Jahre 1988 eine genauere Ermittlung der Produktionskapazität erfolgte. Anschließend wurde die Bohrung zur Produktion vorbereitet. Im Jahre 2003 konnten geringe Gas-mengen zur Aufarbeitung des Heliumanteils nach Shiprock in New Mexico geliefert werden. Erst mit der Übernahme des Feldes durch Nordic Oil USA (NASCO Energie und Rohstoffe AG), der lokalen Gasaufbereitung durch IACX Energy, Dallas TX und der langfristigen Abnahme des Heliums durch Praxair Inc., Danbury CT, konnte ein regulärer Förderbetrieb 2014 aufgenommen werden.

Die Lagerstättendaten sind in der Tabelle 3 aufgelistet. Sie wurden aus den Logs, einer Bohrkernanalyse der Bohrung B-2 und den Testauswertungen erstellt. Die Lagerstättentemperatur liegt bei 35° C (96°–98° F). Das Inertgas besteht aus ca. 80 % N₂, 12 % CO₂, 3 % CH₄ und 5 % He.

Ab 2014 wurden zwei weitere Bohrungen im Mc Cracken-Sandstein und Aneth-Dolomit komplettiert und hydraulisch stimuliert. Generell werden dazu »Gelfracs«, eingesetzt. Die stimulierende Wirkung der Fracs wird auf die Herstellung von Verbindungswegen zwischen der Bohrung und vorhandenen natürlichen Klüften zurückgeführt. 2016 und 2017 wurden zusätzlich fünf frühere Ölbohrungen des Hermosa Sill in den Mc Cracken und Aneth vertieft, komplettiert und 2017 nach erfolgreicher hydraulischer Stimulation in Betrieb genommen. Die höchste Anfangsproduktion der stimulierten Gasbohrungen betrug ca. 50.000 m³/d (1.761 mcf/d) bei nahezu initialem Lagerstättendruck.

In der Abbildung 8 ist die bisherige kumulierte Rohgasproduktion (rote Linie) und die für den Betrieb der Aufbereitungsanlage geplante jährliche Heliumproduktion (graue Balken) aus dem Mc Cracken und Aneth dargestellt [13].

Die möglichen Fördermengen aus dem Hermosa Paradox Sandstein wurden hier nicht berücksichtigt. Sie sollen dazu dienen den natürlichen Förderabfall der Bohrungen im Mc Cracken und Aneth ab 2026 zu kompensieren. Die Förderkapazitäten der acht Vertikalbohrungen und die Heliumreserven wurde von einem in den USA zertifizierten Gutachter, Degolyer and MacNaughton, auf der Basis von Materialbilanzrechnungen, bohrungsbezogen und nach Vorgabe der für den Betrieb der Aufbereitungsanlage mit Praxair vereinbarten Rohgasliefermengen, ermittelt. Die berechneten Förderleistungen konnten 2017 im Betrieb bestätigt werden. Die Reserven sind zusammen mit Basisdaten des Gutachtens in Tabelle 4 aufgeführt.

Heliumaufbereitung

Das DBK Erdgas enthält lediglich ca. 4 % Kohlenwasserstoffe und kann daher nicht

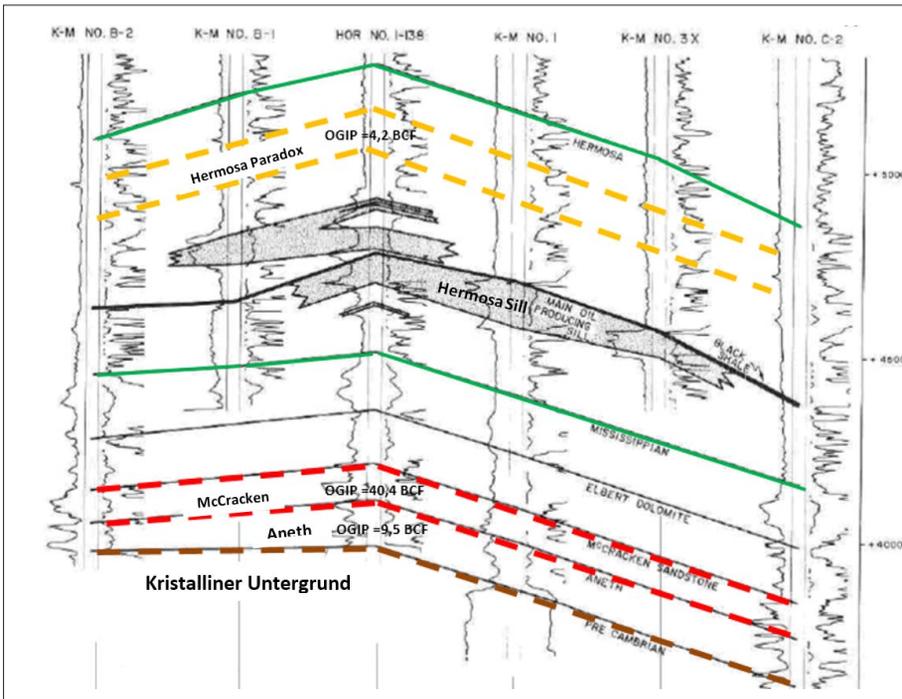


Abb. 7 Schnittdarstellung der DBK-Lagerstätten mit OGIP-Schätzungen nach [12]

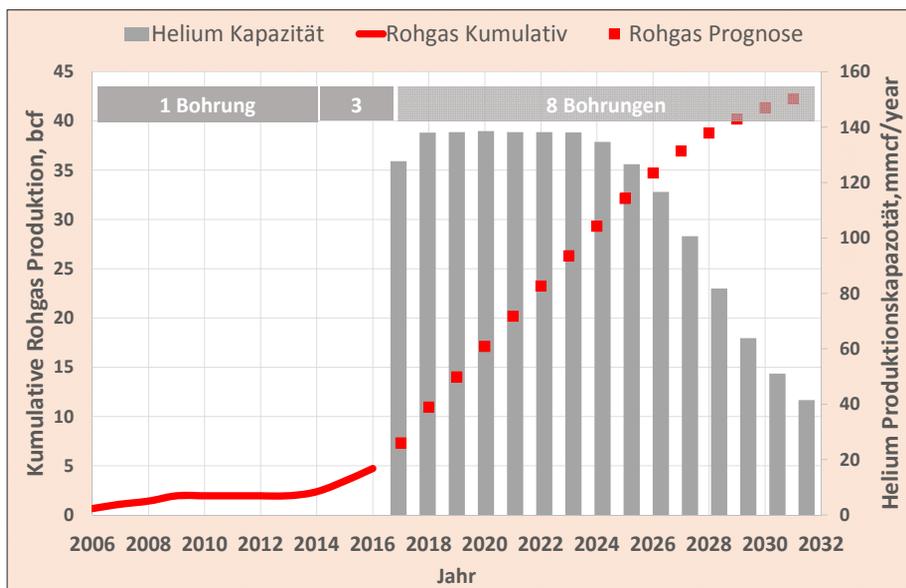


Abb. 8 Produktionsdaten und -prognosen der Mc Cracken und Aneth-Gasvorkommen im DBK-Feld nach [13]

als Brenngas verwendet werden. Die Aufbereitung erfolgt nach einer Vorbehandlung zur Abtrennung von Kohlendioxid, Wasserdampf und intermediären Kohlenwasserstoffen in zwei Stufen- durch Kühlung und Adsorption bis auf eine Helium-Reinheit von 99,9 %. Die hier beschriebene Prozedur entspricht der generellen Schrittfolge zur Aufbereitung von Helium-

haltigen Erdgasen und ist in Abbildung 9 schematisch dargestellt [14].

Vorbehandlung

Das Rohgas wird unter einem Druck von ca. 55 bar in einer Monoethanolamin (MEA)-Wäsche vom Hauptanteil des CO₂ befreit, danach wird in einem Silikagel-trockner der Wasserdampf entfernt. An-

schließend werden die intermediären Komponenten durch ein Aktivkohlefilter adsorptiv abgetrennt. Der Gasstrom enthält nunmehr hauptsächlich Stickstoff, Methan und Helium.

Rohhelium-Erzeugung

Der Gasstrom wird dann durch den Hauptwärmetauscher geleitet, der vom kalten Stickstoff und Methan der kryogenen Aufbereitungsstufe gekühlt wird. Dieser vorgekühlte Gasstrom wird dann über ein Entspannungsventil auf 10 bar Druck reduziert und kühlt dabei soweit ab, dass sich das Methan (Siedepunkt bei 10 bar, -124 °C) zu verflüssigen beginnt. Danach wird der Gasstrom in eine Hochdruck (HD)-Fraktionierungskolonnie geleitet. Das aufsteigende Gas/Flüssigkeitsgemisch wird in der Fraktionierungskolonnie mechanisch separiert. Methan reichert sich als Flüssigkeit im unteren Teil an.

Dieses Flüssigkeitsgemisch wird aus der HD-Kolonnie abgezogen, zwischengekühlt und nach einer weiteren Druckreduktion auf 1,5 bar in eine Niederdruck (ND)-Fraktionierungskolonnie geleitet, wo das flüssige Methan vom gasförmigen Stickstoff getrennt wird. Das Methan wird im Hauptwärmetauscher verdampft und kann dann einer Verwendung zugeführt oder abgefackelt werden.

Die Gasphase vom Top der HD-Kolonnie (Stickstoff) wird in einem Kondensator weiter gekühlt und in Dampfform in den oberen Teil der ND-Kolonnie zugeführt. Sie verliert dabei weitere Methanreste. Die Gasphase aus dem Kondensator wird als Rohhelium bezeichnet. Sie enthält 50-70 % Helium und Reste von Methan und Stickstoff.

Reinhelium-Erzeugung

Das Rohhelium wird in einem weiteren Wärmetauscher auf -193°C gekühlt, sodass der Stickstoff (Siedepunkt bei 10 bar -169,4°C) und das Methan vollständig kondensieren und abgetrennt werden können. Das Helium hat nun eine Reinheit von ca. 90 %. Es wird zur weiteren Anreicherung in eine Druckwechsel-Adsorptionsanlage (PSA), bestehend aus mehreren parallel betriebenen Adsorptionskolonnen, geleitet, die mit einem porösen Adsorbens gefüllt sind. Die restlichen Fremdgasbestandteile, Stickstoff, Methan und eventuelle andere Edelgas-spuren werden hier adsorptiv gebunden. Der Druck wird abgesenkt, um die adsorbierten Fremdanteile zu desorbieren und im Gegenstromverfahren auszuspülen. Dieser Zyklus wird mehrfach wiederholt, bis das Helium eine Reinheit von 99,9 % aufweist.

Mit einer Jahreskapazität der Anlage von knapp 3,7 Mio. m³ (140 mm cf) schließt NASCO Energie und Rohstoff AG damit zu den größten Heliumproduzenten in den USA auf.

Tab. 3 Lagerstättendaten der gasproduzierenden Schichten in DBK [10-12]

DBK Gaslagerstätte, Daten nach Bohrung B-2											
Reservoir	Teufe		Netto-Mächtigkeit		Porosität	Gas-Sättigung	Helium Gehalt	Anfangsdruck		OGIP	
	ft	m	ft	m				psia	bar		bcf
Mc Cracken	4419	1346,9	32	9,8	8	76	4,65	920	63,45	40,4	1143,724
Aneth	4523	1378,6	18	5,5	7,5	75	5,65	940	64,83	9,5	268,945

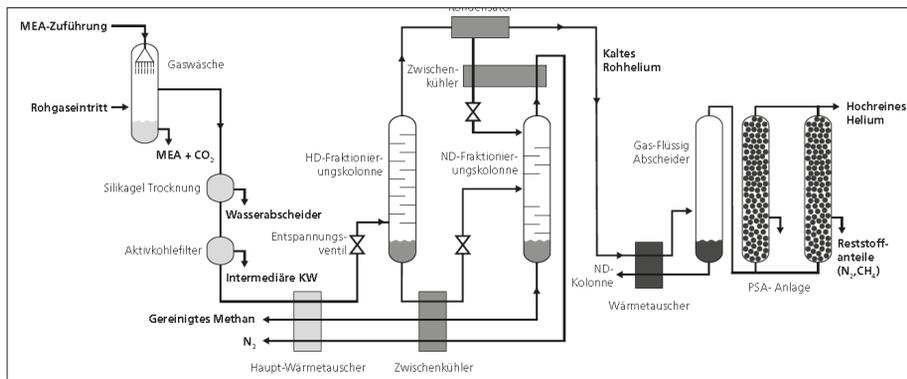


Abb. 9 Heliumaufbereitungsanlage Vorbehandlung Rohheliumstufe Reiheliumstufe

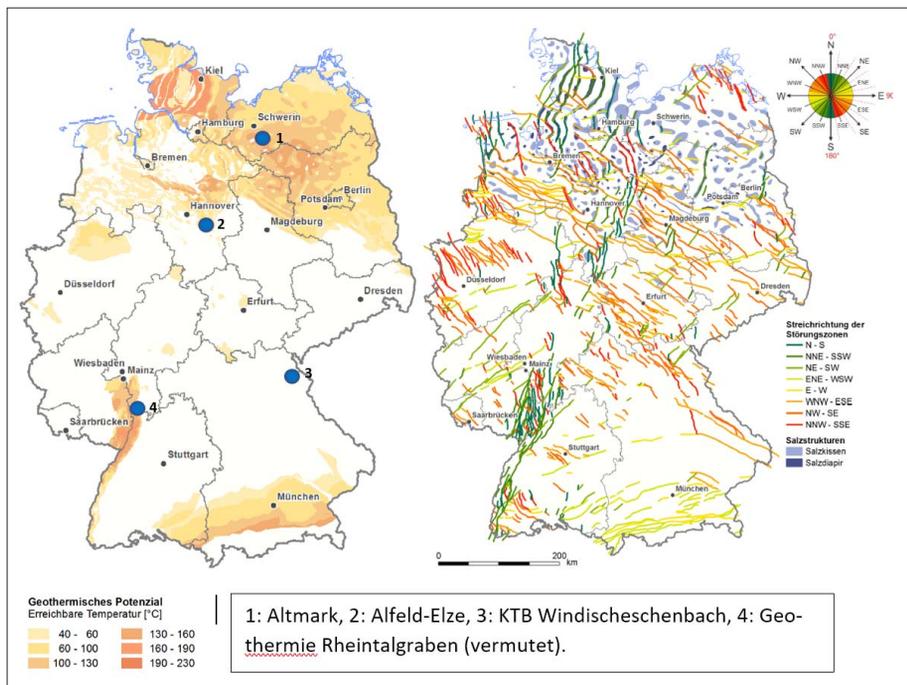


Abb. 10 Hydrothermales Potenzial und Störungszonen aus Geothermie Atlas Deutschland nach [18] und Standorte von Erdgasen mit erhöhten Heliumkonzentrationen.

4.2 Geothermales Helium – Beispiel Indien

Indien besitzt derzeit keine nachhaltige, umweltfreundliche fossile Energierohstoffbasis und setzt daher überwiegend auf Kernenergie zur Energieversorgung der aufstrebenden Industrie. Zur Kühlung von Hochtemperaturreaktoren und zur weiteren Technologieentwicklung benötigt das Land Helium in größerem Umfang und ist dabei auf Importe aus den USA angewiesen. Deshalb hat die Regierung ein Aufsuchungsprogramm für Heliumquellen beschlossen, das sich an den im gesamten Territorium vorhandenen geothermalen »Hot Spots« orientiert [15]. Entlang der

Westküste, im Nordosten der Grenzregion zu Nepal und im Norden der Region zwischen Pakistan und Tibet sind zahlreiche geothermische Quellen bekannt, deren Gasanteil Helium mit Konzentrationen oberhalb von 1 % enthält. Durch Tiefbohrungen sollen die geothermische Energie und das Helium erschlossen werden. Eine der in Frage kommenden Regionen liegt im nordöstlichen Grenzgebiet zu Nepal und ist als Bakreswar-Tantloi Geothermie Region bekannt. Über 60 heiße Quellen werden dort genutzt. Die lokale Geologie ist durch einen Aufstieg des Erdmantels bis 18 km unter die Oberfläche

geprägt. Die Heliumliefernde Schicht ist der Chota Nagpur-Granit, der von mächtigen Gondwana-Sedimenten überlagert wird. Das Quellgebiet ist durch mehrere W-E streichende, tief reichende Störungssysteme gekennzeichnet.

Die geothermischen Gradienten betragen 9 °C/100 m und die Wärmeflussindikatoren wurden mit 200 mW/m² bestimmt. In 2 km Tiefe können also Temperaturen bis zu 180 °C erwartet werden. Das mit dem Heißwasser geförderte Gas enthält 1,8–2,7 % Helium. Die Heißwasserbrunnen liefern im Durchschnitt 500 m³/d mit einer Temperatur von 72 °C aus ca. 500 m Tiefe [15].

Im Auftrag des Ministeriums für Kernenergie soll ein umfangreiches geophysikalisches Untersuchungsprogramm mit Bohrungen von 300–800 m Tiefe durchgeführt und nach Festlegung eines Teststandortes ein Geothermie-Pilotprojekt mit einem Injektor und einer Produktionssonde, jeweils in 1.000 m Tiefe, eingerichtet werden. Die aus Modellrechnungen abgeleiteten Gasfördermengen werden auf ca. 10.000 m³/d je Bohrung (200 m³/d Helium) geschätzt. Zur Aufbereitung des Heliums ist eine kryogene Anlage geplant.

5 Potenzial für Heliumgewinnung in Deutschland

Die Heliumimporte in Deutschland von 2006 bis 2016 betragen nach der Außenhandelsstatistik des Statistischen Zentralamts zwischen 2.000 und 3.500 t pro Jahr (11,2–19,6 Mio. m³). Das entspricht einem Wert von rd. 70–90 Mio. € [16]. Damit gehört Deutschland zu den Großverbrauchern in Europa. Als Hauptlieferländer werden Katar, Algerien und die USA genannt [16]. 2016 wurde in einer für die Erdgasspeicherung ausgelegten Salzkaverne in Epe der weltweit erste Helium-Kavernenspeicher eingerichtet [17]. Nach den uns zugänglichen Unterlagen gibt es in Deutschland, mit Ausnahme einer Luftzerlegungsanlage von Linde, derzeit keine Helium-Erzeugung. Ebenso existiert keine veröffentlichte Studie über das Potenzial von prospektiven Heliumvorkommen, weder aus Erdgasvorkommen noch aus geothermalen Quellen. In diesem Stadium können daher lediglich die Chancen für eine Erschließung von Heliumquellen abgeschätzt werden.

Die Voraussetzungen für Heliumvorkommen, wie massive kristalline Wirtsgesteine im Untergrund (Brandenburg, Sachsen-Anhalt) oder Vulkanite mit hohen Wärmestromdichten (Eifel, Rheintalgraben) und tief reichende Störungszonen sind in einzelnen Regionen gegeben, wie eine Studie über das Geothermiepotenzial in Deutschland des Leibniz Instituts für Angewandte Geophysik (LIAG) am Geozentrum in Hannover zeigt [18]. In Abbildung

Tab. 4 Heliumreserven DBK nach [13]

DBK Gaslagerstätte, Helium Reserven 100 % aus Dez. 2017						
Reservoir	Anzahl Bohrungen	Sichere, entwickelte Helium-Reserven		Betriebs/Erwerbs Investitionen	Helium Preis	Verkaufswert Helium
		bcf	Mm ³			
Mc Cracken	8	1,875	53,081	41	120	225
Aneth						

10 ist das nachgewiesene geothermische Potenzial anhand von in Bohrungen ausgewiesenen Temperaturwerten von Aquiferstrukturen und die Störungslineamente aus geologischen und geophysikalischen Untersuchungen dargestellt [18].

Höfliche Regionen werden in dieser Darstellung im Rheintalgraben, in Schleswig-Holstein, Brandenburg, Mecklenburg, Sachsen-Anhalt und Bayern ausgewiesen. Im Nordosten Deutschlands ist die Tektonik durch ein sogenanntes herzynisches Streichen (WNW–ESE) der Hauptstörungen gekennzeichnet, während im Rheintalgraben die Richtung auf NNE–SSW wechselt. In Bayern verlaufen die Störungen parallel zur Alpenhauptkammrichtung.

Diese Bruchsysteme reichen meist bis in das Paleozän und eröffnen damit potenzielle Fließwege für eine Gasmigration aus dem Kristallingestein, wie es eine Studie der BGR nachgewiesen hat [19].

Interessante geothermische Befunde sind auch aus der »Kontinentalen Tiefbohrung (KTB)« in Windischeschenbach, Oberpfalz bekannt, wo in 4.000 m Tiefe hohe Wärmestromdichten von ca. 80 mW/m² gemessen werden konnten. In den aus einem hydraulischen Test geförderten Fluidmengen wurden Anzeichen von Helium mit 0,5 % ermittelt.

Entlang der Grenze zwischen Bayern und Tschechien verläuft die Fränkische Linie, ein bis an die Grenze des Erdmantels (20–30 km) reichendes Bruchsystem [20, 21], welches den Transportweg darstellen könnte.

Aus Kohlenwasserstoff-Bohrungen sind unregelmäßig Helium-Anzeichen berichtet worden, die mit den prospektiven Regionen dieser Darstellung übereinstimmen. Gerling et. al. [22] haben aus Gasanalysen an mehr als 60 Proben von norddeutschen Erdgasbohrungen Heliumgehalte zwischen 0,01 und 0,5 Vol.-% festgestellt. Die höchsten Werte wurden in der Erdgasprovinz Ostthannover im Erdgasfeld Alfeld Elze mit 0,5 %, südlich einer Störungslinie, die mit dem Bramscher Vulkanismus in Zusammenhang gebracht wird, festgestellt.

Ein erhöhtes ³He/⁴He Isotopenverhältnis wurde nur bei einigen Bohrungen nördlich dieser Störungslinie bestimmt, was zur Quantifizierung eines Anteils von 1–3 % Mantelhelium führte. Allgemein überwiegt für die untersuchten Proben die Typisierung als Krustenhelium [22]. Daten zu Proben aus Erdgasbohrungen aus der früheren DDR und von Geothermiebohrungen im Rheintalgraben oder Bayern fehlen in dieser Studie. Die Erdgasanalysen in Teillagerstätten von Deutschlands größtem Erdgasfeld, der Altmark weisen auf erhöhte Heliumgehalte von 0,2 % hin [23].

Eine weiterführende systematische Untersuchung nach »Helium Hot Spots« auch

im Zusammenhang mit tiefen Geothermieprojekten in Deutschland könnte daher sehr nützlich sein. Entscheidend für die wirtschaftliche Heliumgewinnung aus Erdgasquellen und geothermalen Gasquellen ist nicht allein die Heliumkonzentration des Rohgases, sondern auch die Gaszusammensetzung, welche die Aufbereitungskosten nachhaltig bestimmt, sowie anhaltend stabile Gasförderraten bei möglichst hohen Bohrungskopfdrücken. Erhöhte Wasser/Gas-Verhältnisse schließen meist eine Nutzung der Quelle aus, mit Ausnahme von Geothermiebohrungen, wo die Wasserförderkosten von der Wärmeabgewinnung gedeckt sind.

6 Zusammenfassung

Helium gilt als rarer, strategisch wichtiger Rohstoff, der vor allem bei innovativen Technologieentwicklungen eine große Rolle spielt. Die wichtigste Quelle für die Rohheliumgewinnung ist die Erdgasförderung. Daher haben die förderstärksten Erdgasländer wie die USA, Katar, Russland, Algerien u. a. auch die höchsten Heliumproduktionskapazitäten. Am Beispiel einer Heliumlagerstätte in den USA, die von einem deutschen Betreiber NASCO Energie und Rohstoff AG, Hamburg entwickelt wird, kann die Machbarkeit der Heliumgewinnung aus Erdgasen abgeleitet werden.

Als zweite Heliumquelle gilt das geothermale Helium, das teilweise aus dem Erdmantel stammt und in Regionen mit aktivem Vulkanismus aufgefunden werden kann. Deutschland gehört in Europa zu den größten Heliumverbrauchern. Eine eigene Förderung gibt es nicht. In einer Studie an der BGR in Hannover über das Potenzial von Tiefengas sind Heliumanteile in Gasproben bis zu 0,5 % gemessen und Isotopenanalysen zur Feststellung der Herkunft durchgeführt worden. Eine Erweiterung dieser Untersuchungen wäre auch vor dem Hintergrund, dass die EU Helium auf die Liste der seltenen Rohstoffe gesetzt hat, sehr nützlich und könnte der geothermischen Energiegewinnung eine weitere Perspektive bieten. ■

Referenzen

- [1] Wikipedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Helium>.
- [2] M.D. Garvey; 2017 Global Helium Market-Supply Challenges remain. Gas World, November 1, 2017. <https://www.gasworld.com/2017-global-helium-market/>
- [3] Report on Critical Raw Materials for the EU. Ad hoc Working Group on defining critical raw materials, Brussels, May 2014.
- [4] Helium-Macro View, Published by Edison Investment Research, December 2017
- [5] Responding to the U.S. Research Community's Liquid Helium Crisis; American Physical Society Report, October 2016.
- [6] F. Schmidt; Geht uns bald das Helium aus? Deutsche

Welle, Wissen und Umwelt, 30. 06. 2016. www.dw.com/de/geht-uns-bald-das-helium-aus/a-19368320.

- [7] W.D. Craddock et al.; Mantle and crustal gases of the Colorado Plateau geochemistry, sources and migration pathways, *Geochimica and Cosmochimica Acta* 213 (2017), 346–374.
- [8] J. E. Lupton; Terrestrial Inert Gases-Isotope Tracer Studies and Clues to Primordial Components in the Mantle. *Ann. Rev. Earth Planet. Science Nov.* (11) 1983
- [9] N. F. Holden; Helium Isotopic Abundance Variation in Nature. 37th IUPAC General Assembly, Lisbon, August 5–12, 1993.
- [10] Scotia Group Inc.; Reserves Potential Audit for Dineh-Bi-Keyah, September 2005. Unveröffentlichter Bericht.
- [11] R. E. Davis Associates Inc., Houston; Evaluation of Certain Oil and Gas Assets in Arizona and Utah, Juli 2012. Unveröffentlichter Bericht.
- [12] Kerr-McGee Inc.; Dineh-Bi-Keyah Field Study, September 1977. Unveröffentlichter Bericht.
- [13] Degolyer and MacNaughton, Dallas; Report on Reserves and Revenue of the Dineh-Bi-Keyah Helium Field, Dezember 2017. Unveröffentlichter Bericht.
- [14] C. Cavette; How Helium is made, <http://www.madehow.com/Volume-4/Helium>.
- [15] H. Chaudhuri et al.; Helium from Geothermal Sources. Proceedings of World Geothermal Congress 2015, Melbourne, 19–25 April 2015
- [16] Statistisches Bundesamt; Datenbank Genesis, Außenhandelsstatistik, Warenverzeichnis Helium, WA28042910
- [17] B. Lübbers et al.; Errichtung des weltweit ersten Helium-Kavernenspeichers in Deutschland. *Erdöl-Erdgas-Kohle*, Jg. 2018, Heft 4
- [18] R. Schulz et al.; Geothermie-Atlas zur Darstellung möglicher Nutzungskonkurrenzen zwischen CCS und Tiefengeothermie. Leibniz Institut für Angewandte Geophysik, Hannover, 15. April 2013.
- [19] J.W. Stahl et al.; Tiefengas eine Energie der Zukunft? Jahrbuch 1995 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.79–88.
- [20] T. Wöhr; Ziele und Ergebnisse der KTB-Tiefbohrung in Windischeschenbach. GFZ- Potsdam, 1996.
- [21] J. Lippmann et al.; On the geochemistry of gases and noble gas isotopes in deep crustal fluids-the 4000 m KTB-pilot hole fluid production test, 2002–2003. *Geofluids* (2005) 5, 52–66. Blackwell Publishing Ltd.
- [22] J.P. Gerling et al.; Das Kohlenwasserstoffpotenzial des Präwestfals im norddeutschen Becken-eine Synthese. DGMK-Forschungsbericht 433, Hamburg, 1999.
- [23] Neptune Energy Deutschland; Gasanalysen von Bohrungen des Erdgasfeldes Altmark, 2009–2011.

Danksagung

Die Autoren danken Neptune Energy Deutschland für die Erlaubnis die Helium-Messwerte einiger Bohrungen des Erdgasfeldes Altmark in der Veröffentlichung zu verwenden.

Anmerkung

M=Mega (10⁶) wird bei metrischen Einheiten verwendet. Bei US Einheiten bedeuten m=10³, mm=10⁶ und b= 10⁹. Zur Umrechnung vom US Helium Standard 70 °F auf den Europa Standard 32°F (273,15 K) wurde 1 mcf=26,286 m³ verwendet. Alle metrischen Gasvolumenangaben beziehen sich auf SI-Bedingungen: 273,15 K und 1,01325 bar