

51

DERA Rohstoffinformationen



Rohstoffrisikobewertung – Graphit

Impressum

Editor: Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 226
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

Autor: Sophie Damm

Layout: deckermedia GbR

Datenstand: November 2021

Titelbilder: © BGR
© GK Kropfmühl

Zitierhinweis: DAMM, S. (2021):
Rohstoffrisikobewertung – Graphit. – DERA Rohstoffinformationen, 51:
116 S.; Berlin.

ISBN: 978-3-948532-48-2 (Druckversion)
ISBN: 978-3-948532-49-9 (PDF)
ISSN: 2193-5319

Berlin, 2021



DERA Rohstoffinformationen

Rohstoffrisikobewertung – Graphit



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
Zusammenfassung	8
Executive Summary	10
1 Rohstoff Graphit	12
1.1 Einleitung	12
1.2 Gewinnung und Verarbeitung	14
1.2.1 Natürlicher Graphit	14
1.2.2 Synthetischer Graphit	17
1.3 Ökologische und sozioökonomische Aspekte	18
1.4 Verwendung	19
1.4.1 Natürlicher Graphit	20
1.4.2 Synthetischer Graphit	22
1.4.3 Graphit in Batterien	23
2 Rohstoffrisikobewertung	28
2.1 Preisbildung und Preisentwicklung	28
2.2 Nachfrage	30
2.3 Angebot	34
2.3.1 Natürlicher Graphit	34
2.3.2 Synthetischer Graphit	42
2.3.3 Anodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien	46
2.3.4 Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko	49
2.3.5 Recycling	51
2.4 Derzeitige Marktdeckung	52
2.5 Globaler Handel	54
2.5.1 Nettoexporte	56
2.5.2 Importe Deutschlands	60
2.5.3 Handelsbeschränkungen	63
2.6 Zukünftige Nachfrage	63
2.6.1 Natürlicher Graphit	64
2.6.2 Synthetischer Graphit	65
2.6.3 Graphit für Lithium-Ionen-Batterien für die E-Mobilität	66
2.7 Vorräte	68
2.8 Zukünftiges Angebot	71
2.8.1 Natürlicher Graphit	71
2.8.2 Anodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien	81

2.9 Angebotsszenarien	85
2.9.1 Natürlicher Graphit	85
2.9.2 Synthetischer Graphit	88
2.9.3 Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko des zukünftigen Angebots	89
3 Fazit	91
4 Literaturverzeichnis	92
Anhang	101
Indikatoren und Risikobewertung für Graphit	102
Glossar	115

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Übersicht des Graphitmarkts	12
Abb. 2:	Aufbereitung von natürlichem Graphit	15
Abb. 3:	Spherical Graphite	16
Abb. 4:	Herstellung von synthetischem Graphit	17
Abb. 5:	Verwendung von Graphit im Jahr 2018	20
Abb. 6:	Verwendung nach Graphittypen	22
Abb. 7:	Verwendungen von Graphit	22
Abb. 8:	Graphitanwendungen in der Automobilindustrie	24
Abb. 9:	Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie	25
Abb. 10:	Lithium-Ionen-Batterie im E-Auto	26
Abb. 11:	Anodenmaterialien in Lithium-Ionen-Batterien	26
Abb. 12:	Nominalpreisverläufe für ausgewählte Spezifikationen von Naturgraphit	29
Abb. 13:	Nominalpreisverläufe für ausgewählte Spezifikationen von synthetischem Graphit	31
Abb. 14:	Graphitnachfrage für den Zeitraum 2008–2018	31
Abb. 15:	Bedarf von natürlichem Graphit nach Anwendungen für den Zeitraum 2008–2018	32
Abb. 16:	Die wichtigsten Nachfrageregionen für Flockengraphit sowie synthetischen Graphit im Jahr 2018	33
Abb. 17:	Bedarf von synthetischem Graphit nach Anwendungen für den Zeitraum 2008–2018	33
Abb. 18:	Bergwerksförderung von Flockengraphit im Jahr 2019 für die zehn größten Förderländer sowie deren Länderrisiko für das Jahr 2019	35
Abb. 19:	Weltweite Bergwerksförderung von Naturgraphit für den Zeitraum 1990–2019	36
Abb. 20:	Chinas Naturgraphitförderung für den Zeitraum 1990–2019	37
Abb. 21:	Weltweite Produktion von synthetischem Graphit im Jahr 2018 für die fünf größten Produzentenländer sowie deren Länderrisiko für das Jahr 2019	44
Abb. 22:	Weltweite Produktion von synthetischem Graphit für den Zeitraum 2008–2018	45
Abb. 23:	Länderkonzentration (HHI) und gewichtetes Länderrisiko (GLR) für natürlichen Graphit für den Zeitraum 2008–2018	50
Abb. 24:	Länderkonzentration (HHI) und gewichtetes Länderrisiko (GLR) für synthetischen Graphit für den Zeitraum 2008 – 2018, basierend auf 92 % der weltweiten Produktion	51
Abb. 25:	Marktdeckung von natürlichem Graphit für den Zeitraum 2008–2018	53
Abb. 26:	Entwicklung von Chinas Flockengraphitimporten für den Zeitraum 2016–2019 (Warengruppe 2504.10)	55
Abb. 27:	Exporte Chinas und ihr Anteil an den weltweiten Ausfuhren der Warengruppen 2504.10, 2504.90, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 sowie 8545.11 für das Jahr 2019	56
Abb. 28:	Globale Nettoexporte von natürlichem Graphit im Jahr 2019 (Warengruppen 2504.10 und 2504.90)	57
Abb. 29:	Die weltweit drei bedeutendsten Nettoexportländer für Flockengraphit (Warengruppe 2504.10) und ihre wichtigsten Zielländer im Jahr 2019	57
Abb. 30:	Globale Nettoexporte von synthetischem Graphit im Jahr 2019 (Warengruppen 8545.11, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90)	59
Abb. 31:	Chinas Exporte und wichtigste Zielländer im Jahr 2019 (Warengruppen 3801.10, 3801.30, 3801.90 und 8545.11)	59

Abb. 32:	Importe Deutschlands und ihr Anteil an den weltweiten Einfuhren der Warengruppen 8545.11, 2504.10, 2504.90, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 im Jahr 2019	60
Abb. 33:	Importe Deutschlands der Warengruppe 2504.10 für den Zeitraum 2010–2019	61
Abb. 34:	Importe Deutschlands der Warengruppen 3801.10, 3801.20, 3801.30, 3801.90 sowie 8545.11 für den Zeitraum 2010–2019	62
Abb. 35:	Deutschlands Importe und die wichtigsten Herkunftsregionen der Warengruppen 8545.11, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 im Jahr 2019	62
Abb. 36:	Abschätzung der Anteile der Batterietechnologiezusammensetzung bis 2030	67
Abb. 37:	Entwicklung der chinesischen Graphitreserven und -ressourcen für den Zeitraum 2010–2019	69
Abb. 38:	Ausgewiesene Graphitreserven und -ressourcen weltweit	69
Abb. 39:	Entwicklung des zukünftigen Angebots von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 1	86
Abb. 40:	Entwicklung des zukünftigen Angebots von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 2	87
Abb. 41:	Entwicklung des zukünftigen Angebots von synthetischem Graphit bis zum Jahr 2030	88
Abb. 42:	Veränderung der Länderkonzentration der Bergwerksförderung von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 1 und 2	89
Abb. 43:	Veränderung der Länderkonzentration der Produktion von synthetischem Graphit bis zum Jahr 2030	90

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Graphittypen und typische Eigenschaften	13
Tab. 2:	Marktterminologie von Graphitflocken	13
Tab. 3:	Ausgewählte gehandelte Naturgraphitspezifikationen	28
Tab. 4:	Ausgewählte gehandelte Spezifikationen von synthetischem Graphit	30
Tab. 5:	Weltweite Bergwerksförderung von Naturgraphit	36
Tab. 6:	Jahreskapazitäten chinesischer Flockengraphitproduzenten	38
Tab. 7:	Weltweite Produktion von synthetischem Graphit nach Regionen	43
Tab. 8:	Bedeutende Hersteller von synthetischen Graphitprodukten mit Standorten in Deutschland	46
Tab. 9:	Wichtige Produzenten von synthetischem Graphit und ihre Jahreskapazitäten	47
Tab. 10:	Übersicht der weltweiten Produktionskapazitäten für Anodenmaterialien für das Jahr 2020	48
Tab. 11:	Ausgewählte Warengruppen nach dem Harmonisierten System (HS) der Weltzollorganisation	54
Tab. 12:	Weltweite Importe, Exporte und positive Nettoexporte ausgewählter Warengruppen von Graphit für das Jahr 2019 in Tonnen. Ebenfalls dargestellt sind Herfindahl-Hirschman-Index und gewichtetes Länderrisiko sowie die größten Nettoexporteure	55
Tab. 13:	Graphitimporte Deutschlands in Tonnen für das Jahr 2019	60
Tab. 14:	Angenommenes durchschnittliches Nachfragewachstum pro Jahr (CAGR) für natürlichen Graphit, synthetischen Graphit sowie beide Graphittypen in Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität	64
Tab. 15:	Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten pro Jahr (CAGR) nach Anwendungen für natürlichen Graphit	65
Tab. 16:	Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten pro Jahr (CAGR) nach Anwendungen für synthetischen Graphit entsprechend Szenario	66
Tab. 17:	Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten pro Jahr für Graphit in Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität entsprechend der Shared Socioeconomic Pathways (SSP) 1 und 2	67
Tab. 18:	Weltweite Graphitreserven	68
Tab. 19:	Übersicht der zusätzlich möglichen Jahresförderkapazität für Graphit bis zum Jahr 2030	71
Tab. 20:	Übersicht wichtiger Graphitbergwerke und ihre erwarteten zusätzlichen Jahreskapazitäten	72
Tab. 21:	Übersicht der im Bau befindlichen Graphitbergwerke und ihre erwarteten Jahreskapazitäten	73
Tab. 22:	Graphitprojekte in Australien mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030	75
Tab. 23:	Graphitprojekte in Kanada mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030	77
Tab. 24:	Graphitprojekte in Mosambik mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030	78
Tab. 25:	Graphitprojekte in Tansania mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030	79
Tab. 26:	Graphitprojekte in weiteren Ländern mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030	81
Tab. 27:	Potenzielle zukünftige Produzenten von Spherical Graphite und Anodenmaterialien	82

Zusammenfassung

Die Rohstoffrisikoberichte der Deutschen Rohstoffagentur (DERA) in der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) haben das Ziel, deutsche Unternehmen dabei zu unterstützen, potenzielle Preis- und Lieferrisiken auf den Rohstoffmärkten frühzeitig zu erkennen, um gegebenenfalls geeignete Ausweichstrategien in der Beschaffung zu entwickeln. In der vorliegenden Studie werden die aktuelle Versorgungslage sowie Risiken der zukünftigen Versorgung mit Graphit für den Zeitraum bis einschließlich 2030 betrachtet.

Der Graphitmarkt setzt sich aus den Industriezweigen des natürlichen und synthetischen Graphits zusammen, zwei grundsätzlich verschiedene Rohstoffe mit jeweils etablierten und zum Teil hochspezialisierten Anwendungsbereichen, welche an eine Reihe von unterschiedlichen Industrien gekoppelt sind. Zusätzlich existiert eine Vielzahl an Graphitspezifikationen, welche ihren eigenen Marktdynamiken unterliegen.

Natürlicher Graphit wird wirtschaftlich in makrokristallinen (Flockengraphit, Ganggraphit) und amorphen (mikrokristallinen) Graphit unterschieden. Natürlicher Graphit wird mittels konventioneller Bergbaumethoden gewonnen, die Aufbereitung zu Konzentraten erfolgt zum überwiegenden Teil in unmittelbarer Nähe des Bergwerks. Abhängig von der Beschaffenheit der Lagerstätte und vorhandenen Aufbereitungsanlagen produzieren insbesondere Flockengraphitbergwerke häufig eine bis zu zweistellige Anzahl an unterschiedlichen Konzentratspezifikationen für verschiedene Anwendungsgebiete. Die Spezifikationen unterscheiden sich in ihren Flockengrößen und Kohlenstoffgehalten. Diese Parameter sind lagerstättenabhängig und ausschlaggebend für die erzielbare Produktpalette und damit Wirtschaftlichkeit eines Bergwerks.

Synthetischer Graphit ist eine Form graphitischen Kohlenstoffes und wird durch den Prozess der Graphitierung von nicht-graphitischem kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterial hergestellt. Von besonderer Bedeutung für die Herstellung von synthetischem Graphit sind Petrolkokse und Verkokungsprodukte aus der Erdölverarbeitung. Der Prozess der Graphitierung ist energie- und zeitintensiv, der finale Rohstoff ist ein auf die Endanwendung angepasstes und in Bezug auf Reinheit und Partikelgröße homogenes Produkt. Die Produktion von synthetischem Graphit kann in verschiedene Produktgruppen unterschieden werden, die sich im Herstellungsprozess und den spezifischen Anforderungen an die Ausgangsmaterialien grundlegend unterscheiden und nicht gegeneinander austauschbar sind. Folglich sind auch die verfügbaren Produktionskapazitäten eng an die jeweiligen Produkttypen geknüpft und nicht beliebig verwendbar.

Graphit wird nicht an Börsen gehandelt, die Preisgebung auf dem weltweiten Markt ist relativ opak. Zwar werden Preisinformationen zum Teil durch kommerzielle Anbieter veröffentlicht, sie sind jedoch eher als Referenz für Preisverhandlungen zu betrachten. Insbesondere für Naturgraphit erschwert die große Anzahl verschiedener Spezifikationen die Ausrichtung von Kontrakten an einem einzelnen Preisindex. Preise werden für gewöhnlich, abhängig von den geforderten Produktqualitäten und Spezifikationen, vertraulich und bilateral zwischen Produzenten und Abnehmern über Langzeitverträge ausgehandelt. Generell sind Kohlenstoffgehalt und Flockengröße entscheidend für die Preisgebung des gehandelten Konzentrats; lagerstättenabhängige Verunreinigungen sowie der Grad der Aufbereitung können ebenfalls in die Preisbildung mit einfließen. Die Preise für synthetischen Graphit unterliegen ebenfalls den Verhandlungen zwischen Produzenten und Abnehmern und richten sich nach den geforderten Spezifikationen durch den Kunden.

Im Jahr 2019 wurden weltweit 1,67 Mio. t natürlicher Graphit gefördert; der Anteil von Flockengraphit lag bei 73 %. Die Produktion von synthetischem Graphit betrug im Jahr 2018 rund 1,57 Mio. t. China ist mit einem Weltanteil von knapp 74 % an natürlichem Graphit sowie 49 % an synthetischem Graphit wichtigster Produzent. Weitere wichtige Förderländer von natürlichem Graphit sind Madagaskar, Mosambik und Brasilien. Für die Produktion von synthetischem Graphit sind Japan, die USA, Indien und Europa von Bedeutung.

Die Nachfrage nach natürlichem Graphit wird aktuell von den traditionellen Anwendungsgebieten der Refraktär- und Gießereiindustrie dominiert, während das Hauptanwendungsgebiet für synthetischen Gra-

phit Elektroden für die Stahlindustrie sind. Mit Ausnahme von Graphitelektroden, in denen ausschließlich synthetischer Graphit verwendet wird, teilen sich beide Graphittypen zwar Marktanteile in einem Großteil der Anwendungen, haben jedoch etablierte Anwendungsbereiche und konkurrieren nur in wenigen Anwendungen wesentlich um Marktanteile.

Eine Ausnahme bildet das Anwendungsfeld der Batterien, wo sowohl Flockengraphit in Form von Spherical Graphite als auch synthetischer Graphit als Anodenmaterial eingesetzt werden. Die Herstellung von batterietauglichem Spherical Graphite aus Flockengraphit erfolgt über eine Reihe von Prozessschritten und ist mit Verlusten zwischen 30 und 70 % verbunden. Seine Erzeugung sowie die nachgelagerte Wertschöpfungskette der Produktion von Anodenmaterialien ist aktuell stark auf China konzentriert. Aufgrund ihrer spezifischen Eigenschaften eignen sich beide Graphittypen für unterschiedliche Anwendungsbereiche der Batterien. Im wichtigen Marktsegment der Lithium-Ionen-Batterien (LIB) ist aktuell von einem Verhältnis von natürlichem zu synthetischem Graphit von 40 : 60 gemittelt über alle Anwendungsbereiche auszugehen.

Die zukünftige Nachfrage über alle Anwendungen wird für natürlichen und synthetischen Graphit auf 6,6 % bzw. 4,9 % geschätzt. Für Flockengraphit und synthetischen Graphit sind LIB für die Elektromobilität der wichtigste Nachfragetreiber und werden zukünftig das wichtigste Marktsegment darstellen. Basierend auf den möglichen zukünftigen sozioökonomischen Trajektorien der Rahmenszenarien der *Shared Socioeconomic Pathways*, erstellt im Rahmen des 5. Sachstandberichts des Weltklimarates, ist im Jahr 2030 von einem Bedarf von bis zu 961.000 t Graphit für diesen Sektor auszugehen (KRIEGLER et al. 2012, MARSCH-EIDER-WEIDEMANN et al. 2021). Ausgehend von einem Bedarf von 21.900 t im Jahr 2018 entspricht dies einer durchschnittlichen Steigerungsrate von bis zu 37 % pro Jahr.

Bis zum Jahr 2030 ist mit einem zusätzlichen Angebot von natürlichem Graphit von bis zu 1,2 Mio. t zu rechnen. Vor allem Naturgraphitprojekte in Ostafrika, Kanada und Australien können in den nächsten Jahren substantiell zum zukünftigen Angebot von Flockengraphit beitragen. Aufgrund der erforderlichen spezifischen Eigenschaften von batterietauglichen Graphitspezifikationen ist jedoch anzunehmen, dass trotz der auf den Batteriemarkt fokussierten Marketingstrategien dieser Projekte nur ein Teil der zukünftigen Produktion für die Verwendung als Anodenmaterial geeignet ist. Für synthetischen Graphit ist infolge der nachfrageorientierten Produktion von zusätzlich bis zu 1,15 Mio. t auszugehen. Als kundenspezifisch hergestellter Rohstoff orientiert sich die Produktion von synthetischem Graphit stark an der Nachfrage. Hier setzt die stark steigende Nachfrage für Batterien vor allem die Errichtung neuer Kapazitäten von synthetischem Graphit für Anodenmaterialien voraus.

Bei der nachgelagerten Wertschöpfungskette zur Herstellung von Spherical Graphite sowie Anodenmaterialien auf Basis beider Graphittypen wird aufgrund der angekündigten neuen Kapazitäten durch chinesische Unternehmen weiterhin eine Marktkonzentration auf China bestehen. Der Export von Anodenmaterialien aus China unterliegt zudem einer staatlichen Genehmigungspflicht, woraus sich potenzielle Versorgungs- und Lieferrisiken für europäische Zellhersteller ergeben.

Für beide Graphittypen bleibt China bis zum Jahr 2030 weiterhin wichtigster Produzent. Für natürlichen Graphit ist durch die zunehmende Förderung in Ländern außerhalb Chinas von einer sinkenden Länderkonzentration auszugehen. Durch den Ausbau der chinesischen Produktion von synthetischem Graphit ist mit einer steigenden Länderkonzentration zu rechnen.

Neue Bergbauprojekte sowie geplante Kapazitätserweiterungen für die Produktion von natürlichem Graphit bieten eine Möglichkeit der Diversifizierung außerhalb Chinas. Langfristige Lieferverträge und eine Rückwärtsintegration über bspw. Joint Ventures können zusätzlich Planungssicherheit schaffen und potenzielle Versorgungsrisiken für beide Graphittypen minimieren. Die hohe Zahl an Graphitspezifikationen auf dem Markt, die für natürlichen Graphit lagerstättenspezifischen Variationen und die weiterhin hohe Länderkonzentration auf China können zu vorübergehenden Lieferengpässen für bestimmte Anwendungen führen.

Executive Summary

Mineral raw materials and their availability continue to be a powerful engine of Germany's economy, and their supply chain system that supports economic growth is a critical domestic asset. As a major industrial nation with resource-intensive processing industries and only limited domestic mine production, Germany is reliant on imports.

This report presents a comprehensive review of the natural and synthetic graphite market, its status quo and potential future supply up until 2030. Published by the German Mineral Resources Agency (DERA, as part of the German Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR)), *DERA Rohstoffinformationen* aim to improve market transparency, thus supporting companies in their quest to identify potential price and supply risks and ultimately assist with mitigation strategies.

Graphite is a form of elemental carbon and one of the few elements that occur in nature in its native form. With a high electrical and thermal conductivity, excellent thermal stability and lubricity, graphite combines both metallic and non-metallic properties, making it suitable for a wide range of industrial applications.

Graphite is not a straightforward commodity product, it comes in different forms and specifications. The graphite market is composed of natural graphite and synthetic graphite, two fundamentally different raw materials each with established and in some cases highly specialized applications that are linked to a number of different industries. The considerable number of graphite specifications are subject to their own market dynamics.

Natural graphite is mined via conventional mining operations and processing techniques. There are three types of natural graphite: flake graphite, amorphous graphite, and vein graphite. Flake graphite accounted for over 70 % of the natural graphite market in 2019. Synthetic graphite is a form of graphitic carbon and is manufactured from petroleum-based and coal-based needle coke through the graphitisation process. The graphitisation process consumes substantial amounts of energy and can be tightly controlled to produce graphite grading > 99 % with a strict set of specifications that suit the intended application.

Graphite is not traded on any commodity exchange. Although commercial suppliers publish price information to some extent, it should rather be regarded as a reference for price negotiations. The wide range of graphite qualities makes tying contracts to a single index difficult and prices are typically negotiated on a contract basis bilaterally between producers and consumers. Prices for natural graphite are determined on factors such as graphite content, flake size and level of impurity. Large and jumbo flake sizes typically command the highest prices of all natural graphite. Synthetic graphite commands higher prices than natural graphite because of its higher cost of production. Its relative high prices reflects the typically high-grade nature of synthetic graphite products. Electrodes account for the largest part of synthetic graphite consumption, therefore driving prices.

Global production of graphite is estimated at approximately 3.2 million tonnes; natural graphite accounted for about 1.67 million tonnes (2019), and around 1.6 million tonnes (2018) came from synthetic graphite production. China is the largest supplier of both types of graphite, accounting for around 74 % of global natural graphite production and 49 % of synthetic graphite production. Other important producers include Madagascar, Mozambique and Brazil (natural graphite) and Japan, the United States, India and Europe (synthetic graphite). Downstream processing and anode material manufacturing is also heavily focused on China. The introduction of stricter environmental policies have led to plant closures and production curbs and have affected the entire graphite industry.

Global graphite demand of both natural and synthetic graphite was 2.5 million tonnes in 2018, with 62 % supplied from the synthetic graphite market. The main market for synthetic graphite are electrodes for the use in electric arc furnaces (EAF); no natural graphite is used in this application. Consumption is closely linked to the global steel industry and demand driven by the global demand for EAF steel. The refractory

industry is the main consumer of natural graphite, where it is used in magnesia-carbon and alumina-carbon refractories. Both types of graphite compete for market share in lithium-ion batteries where it is used as anode material.

Future demand is estimated to grow 6.6 % on average per year for natural graphite and 4.9 % per year for synthetic graphite. Anode material for lithium-ion batteries is the major area of competition between natural and synthetic graphite and will continue to be the main driver of future demand for both graphite types until 2030. Driven mainly by the increasing use of lithium-ion batteries in electric vehicles, this market segment is tipped to significantly gain market share by the end of the decade. Natural flake graphite requires processing into spherical graphite to be used in lithium-ion batteries. Important parameters are purity and crystalline structure. Flake size is also an important factor, with typically only small to medium flake sizes used for the production of spherical graphite. It must be noted that around 30 to 70 % of flake graphite is lost as waste during processing. High purity synthetic graphite for use in battery applications can specifically be manufactured by synthetic graphite producers. Due to the generally higher cost, synthetic graphite anode material is primarily used in batteries for high-performance applications, although a mix of both graphite types is common.

Based on the possible future socioeconomic trajectories of the *Shared Socioeconomic Pathways* framework scenarios, established as part of the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, future demand for lithium-ion batteries for electric vehicles is estimated to be up to 961,000 t in 2030 (KRIEGLER et al. 2012, MARSCHIEDER-WEIDEMANN al. 2021). This corresponds to an average annual growth rate for this sector of up to 37 %, based on graphite consumption of 21,900 t in 2018.

Future supply is estimated to be up to 1.2 million tonnes until 2030. Additional capacities are expected from the commissioning of new mines, particularly in Tanzania, Mozambique, Australia and Canada, as well as operational expansions of existing mines. This increasing supply from countries outside China may add to a lower country concentration and help lower reliance on Chinese material. The majority of new projects have a clear focus on the battery sector. It should be noted, however, that owing to the specific requirements needed for a product to qualify as battery-grade, only part of future flake graphite supply will prove suitable. Additional synthetic graphite supply is estimated at 1.15 million tonnes until 2030. As a manufactured material with a customer in mind, synthetic graphite supply is expected to align closely with future demand. However, increasing supply from additional Chinese capacities may contribute to an increasing country concentration for the production of synthetic graphite.

It must be noted that as an industrial mineral, the graphite industry is inherently different in terms of market structure and dynamics compared to, for example, other battery minerals. Owing to the large number of graphite specifications accurately forecasting future market coverage is somewhat difficult and should therefore be treated as an approximation only. Market coverage for specific product grades for both natural and synthetic graphite are subject to their own market dynamics and may vary greatly.

Considering the currently highly concentrated market for natural graphite, increased exploration along with new projects and expansions offer the opportunity for companies looking to diversify their supply. Mitigation strategies such as long-term offtake agreements and a diverse supply chain are recommended in order to help minimise exposure to supply shortages and price hikes. However, while the overall graphite market continues to be in oversupply, owing to the large number of graphite grades and applications this may not necessarily apply to specific product grades.

1 Rohstoff Graphit

1.1 Einleitung

Das Mineral Graphit ist neben Diamant, Fulleren und Graphen eine allotrope Form von Kohlenstoff und ein vielfältig einsetzbares Industriemineral. Eigenschaften wie eine hohe Oxidations- und Temperaturwechselbeständigkeit, gute thermische und elektrische Leitfähigkeit, exzellente Schmiereigenschaften sowie die Fähigkeit zur Bildung von Einlagerungsverbindungen machen es zu einem begehrten Werkstoff in einer Vielzahl von Anwendungen.

Graphitkristalle sind durch schwache Van-der-Waals-Bindungen miteinander verbundene, übereinanderlagernde Schichten mit hexagonaler Kristallstruktur; die einzelnen Schichten bestehen aus kovalent verknüpften Sechsecken aus Kohlenstoffatomen. Bedingt durch diese Richtungsabhängigkeit der Bindungskräfte ist Graphit in Bezug auf seine mechanischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften ausgeprägt anisotrop.

Der Graphitmarkt setzt sich aus den Industriezweigen des natürlichen Graphits und synthetischen Graphits zusammen (Abb. 1). Während synthetischer Graphit über Hochtemperaturprozesse aus graphitierbaren Ausgangsstoffen hergestellt wird, wird natürlicher Graphit im Tage- und Untertagebau gefördert. Beide Rohstoffe verfügen

über spezifische Eigenschaften und obwohl sie in einigen Anwendungen untereinander substituiert werden können, besteht nur eine untergeordnete Konkurrenz in speziellen Anwendungsgebieten und ihre jeweiligen Industrien unterscheiden sich stark in ihrer Struktur und ihrem Aufbau. Eine vollständige Substitution durch den jeweiligen anderen Graphittyp ist aufgrund wirtschaftlicher Faktoren sowie Anforderungen durch die jeweiligen Endanwendungen unwahrscheinlich. Eine Konkurrenz beider Graphittypen besteht zunehmend in Lithium-Ionen-Batterien, in denen Graphit vor allem als Anodenmaterial Verwendung findet.

Natürlicher Graphit ist seit 2011 Bestandteil der Liste der kritischen Rohstoffe der Europäischen Union (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020) und wird auch von der DERA als potenziell kritischer Rohstoff bewertet (DERA 2021).

Natürlicher Graphit

Naturgraphit wird wirtschaftlich in makrokristalline und amorphe (mikrokristalline) Graphite unterschieden. Graphitqualitäten werden im Wesentlichen über den Kohlenstoffgehalt und die Flockengröße definiert; typische Werte für beide Graphittypen sind in Tab. 1 zusammengefasst. Kohlenstoffgehalt und Reinheit sind wichtige preisbildende Parameter für Graphitkonzentrate; typischerweise weisen Graphitlagerstätten mit einem hohen Anteil an großen Graphitflocken höhere

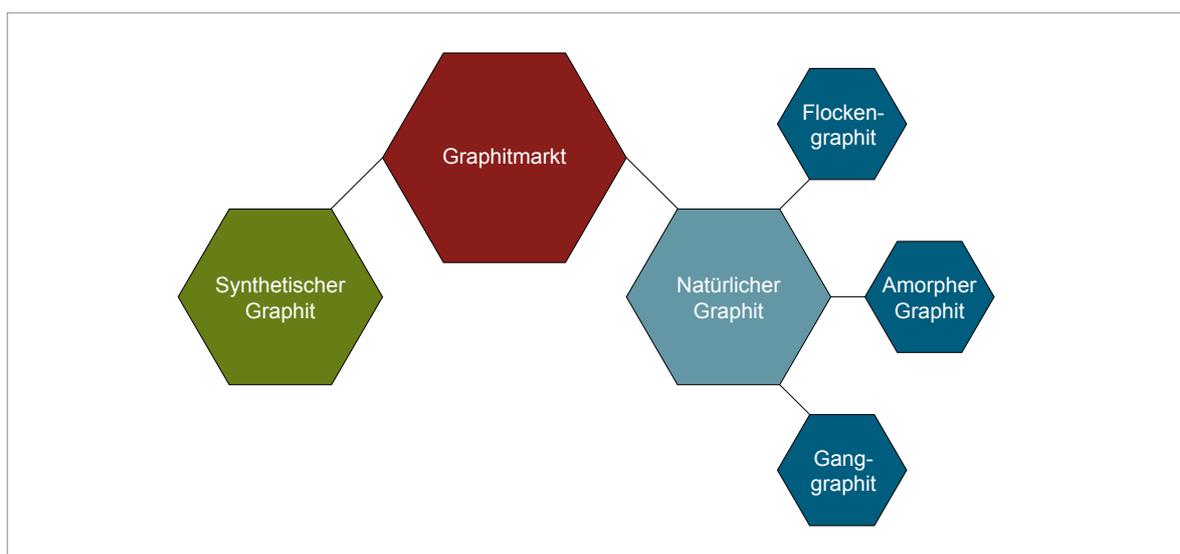


Abb. 1: Übersicht des Graphitmarkts

Reinheiten und Kohlenstoffgehalte auf. Die sog. Flockengrößenverteilung, d. h. der Anteil verschiedener Flockengrößen innerhalb einer Lagerstätte, ist lagerstättenspezifisch und ausschlaggebend für die Wirtschaftlichkeit und den letztendlichen Einsatz der produzierten Graphitkonzentrate. Flockengrößen werden typischerweise in Mesh bzw. Mikron (Mikrometer) angegeben (Tab. 2). Weitere Informationen zu Wirtschaftlichkeit und Flockengrößenverteilung von Graphitlagerstätten befinden sich in Kap. 2.8.

Makrokristalliner Graphit wird in Flockengraphit (eng. *flake graphite*) und Ganggraphit (eng. *vein graphite*) unterschieden und stellt neben synthetischem Graphit den aktuell weltweit wirtschaftlich bedeutendsten Graphittyp dar. Flockengraphit und Ganggraphit unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Genese. Die Bildung von Flockengraphitlagerstätten ist auf die Metamorphose von kohlenstoffreichen Gesteinen zurückzuführen, die Flockengröße liegt typischerweise bei $> 75 \mu\text{m}$ (SIMANDL et al. 2015, SCOGINGS 2015).

Ganggraphite weisen mit bis zu 99 % die höchsten Kohlenstoffgehalte sowie den höchsten Kristallinitätsgrad unter den Naturgraphiten auf. Ihre Entstehung wird auf kohlenstoffreiche Tiefenwässer zurückgeführt, welche in Spalten und Rissen als Graphit ausfallen (LÄMMERER & FLACHBERGER 2017, SIMANDL et al. 2015). Die Mächtigkeiten liegen im cm- bis m-Bereich. Ganggraphite werden selektiv und fast ausschließlich unter Tage gewonnen. Obwohl Ganggraphit weltweit vorkommt, findet ein wirtschaftlicher Abbau derzeit nur in Sri Lanka statt, der Anteil am Gesamtgraphitmarkt liegt bei weniger als 1 %.

Amorpher bzw. mikrokristalliner Graphit zeichnet sich durch seine vergleichsweise feine Korngröße von meist wenigen μm aus. Seine Bildung ist auf Kontakt- oder Regionalmetamorphose von Kohlen oder stark kohlenstoffhaltigen Gesteinen zurückzuführen (SIMANDL et al. 2015). Die weltweit etablierte Bezeichnung von amorphem Graphit für mikrokristalline Graphiterze ist insofern inkorrekt, da alle Graphittypen eine kristalline Ordnung aufwei-

Tab. 1: Graphittypen und typische Eigenschaften (SCHERBA et al. 2018, LÄMMERER & FLACHBERGER 2017, SIMANDL et al. 2015, BGR 2021)

	Makrokristalliner Graphit		Mikrokristalliner (amorpher) Graphit
	Flockengraphit	Ganggraphit	
Genese	Metamorph	Hydrothermal	Metamorph
Flockengröße	$> 75 \mu\text{m}$	$> 75 \mu\text{m}$ bis zu cm	$< 75 \mu\text{m}$
Typischer Kohlenstoffgehalt [%] Erz	5–30	70–99	60–90
Typischer Kohlenstoffgehalt [%] Konzentrat	Bis zu 98	> 90	60–90
Anteil Weltbergwerksförderung 2019 [%]	73	< 1	27

Tab. 2: Marktterminologie von Graphitflocken (modifiziert nach SCOGINGS 2015)

Marktbezeichnung	Mesh	μm	Kohlenstoffgehalte der Konzentrate
Extra large or jumbo flake	+50	> 300	90 bis 97 %
Large flake	–50 bis +80	180 bis 300	90 bis 97 %
Medium flake	–80 bis +100	150 bis 180	90 bis 97 %
Small flake	–100 bis +200	75 bis 150	90 bis 97 %
Fine flake/amorphous	–200	< 75	75 bis 90 %

sen. Marktfähige Konzentratqualitäten werden häufig bereits durch einen selektiven Abbau erreicht, eine zusätzliche Aufkonzentrierung ist häufig nicht erforderlich. Die Kohlenstoffgehalte der hergestellten Konzentrate liegen typischerweise niedriger als für Flocken- und Ganggraphitkonzentrate, da sich die Aufbereitung zu qualitativ hochwertigen Konzentraten aufgrund der häufigen Verwachsungen der kohlenstoffreichen Matrix mit dem umgebenden Ganggestein als schwierig erweist.

Die aktuell wirtschaftlich bedeutendsten im Abbau befindlichen Graphitlagerstätten sind Flockengraphitlagerstätten und befinden sich in China, Mosambik, Brasilien und Madagaskar (BGR 2021).

Synthetischer Graphit

Synthetischer Graphit zeichnet sich durch seine hohe Reinheit aus. Er wird über energie- und zeitintensive Hochtemperaturprozesse auf die jeweilige Endanwendung angepasst hergestellt und ist in Bezug auf seine finalen Materialeigenschaften nur bedingt mit Naturgraphit vergleichbar. Insbesondere Verunreinigungen und Beistoffe wie bspw. Metalloxide, Schwefel, Stickstoff und organische Bestandteile, welche sich negativ auf Qualität und Leistung der Endanwendung auswirken können, können während des Herstellungsprozesses gezielt gesteuert werden. Das Ergebnis ist ein homogenes Produkt in Bezug auf Reinheit (> 99,9 %) und Korngröße. In der Herstellung ist synthetischer Graphit aufgrund der energieintensiven Prozesse im Allgemeinen teurer als Naturgraphit. Seine hohen Reinheiten und die homogene Materialstruktur machen ihn jedoch häufig zum bevorzugten Werkstoff, insbesondere in Anwendungen, in denen z. B. isotrope Eigenschaften erforderlich sind. Für Graphitelektroden für die Elektrostahlerzeugung, dem mit Abstand wichtigsten Anwendungsbereich, kommt aufgrund dieser Eigenschaften ausschließlich synthetischer Graphit zum Einsatz. In Lithium-Ionen-Batterien wird synthetischer Graphit bevorzugt für Hochleistungsanwendungen eingesetzt.

Die Herstellung von synthetischem Graphit erfolgt aktuell durch wenige Unternehmen. Wichtigster Produzent ist aktuell China, weitere Produktionsstätten befinden sich in Japan, den USA, Indien, Europa und Russland.

1.2 Gewinnung und Verarbeitung

1.2.1 Natürlicher Graphit

Flockengraphit und amorpher Graphit werden mittels konventioneller Bergbaumethoden im Tage- und Untertagebau gefördert; Ganggraphit wird aktuell ausschließlich unter Tage abgebaut. Die Aufbereitung des Erzes und die Aufkonzentrierung erfolgen zum überwiegenden Teil in unmittelbarer Nähe des Bergwerks. Auf die jeweilige Graphitlagerstätte abgestimmte Aufbereitungsverfahren sind die Voraussetzung für die Erzeugung hochwertiger Graphitkonzentrate und damit die Herstellung hochwertiger Graphitprodukte. Sie umfassen im Wesentlichen eine Primärzerkleinerung sowie eine angeschlossene Abfolge von Sortier- und weiteren zwischengeschalteten Zerkleinerungsprozessen. Die einzelnen Aufbereitungsschritte hängen vom Graphittyp und den geforderten Konzentratqualitäten ab, wie bspw. Kohlenstoffgehalt und, im Fall von Flockengraphit, Flockengröße und -verteilung. Während Ganggraphit und amorpher Graphit durch eine Reihe von Zerkleinerungs- und Klassierprozessen aufbereitet werden, erfolgt für Flockengraphit zusätzlich eine Anreicherung durch Flotation.

Abhängig von der Beschaffenheit der Lagerstätte und vorhandenen Aufbereitungsanlagen produzieren insbesondere Flockengraphitbergwerke in Bezug auf Flockengröße und Kohlenstoffgehalt häufig eine bis zu zweistellige Anzahl an Konzentratklassen, welche je nach Anforderung und Endanwendung beim Kunden weiterverarbeitet werden.

Abb. 2 zeigt ein vereinfachtes Aufbereitungsschema für Flockengraphit. In einem ersten Aufbereitungsschritt haben Zerkleinerungsprozesse den Aufschluss der einzelnen Graphitflocken und die Abtrennung vom Umgebungsgestein zum Ziel. Da die Flockengröße ein wichtiger wirtschaftlicher Parameter bei der Vermarktung des daraus hervorgehenden Konzentrates ist, stehen eine schonende Zerkleinerung und somit die Erhaltung der ursprünglichen Flockengröße im Vordergrund. Der Aufschluss großer Flocken ist meist leichter zu bewerkstelligen als die Trennung kleiner Flocken von der Gangart, welche häufig enger mit dem Umgebungsgestein verwachsen sind. Als ein natürlich hydrophobes Mineral lässt sich Graphit

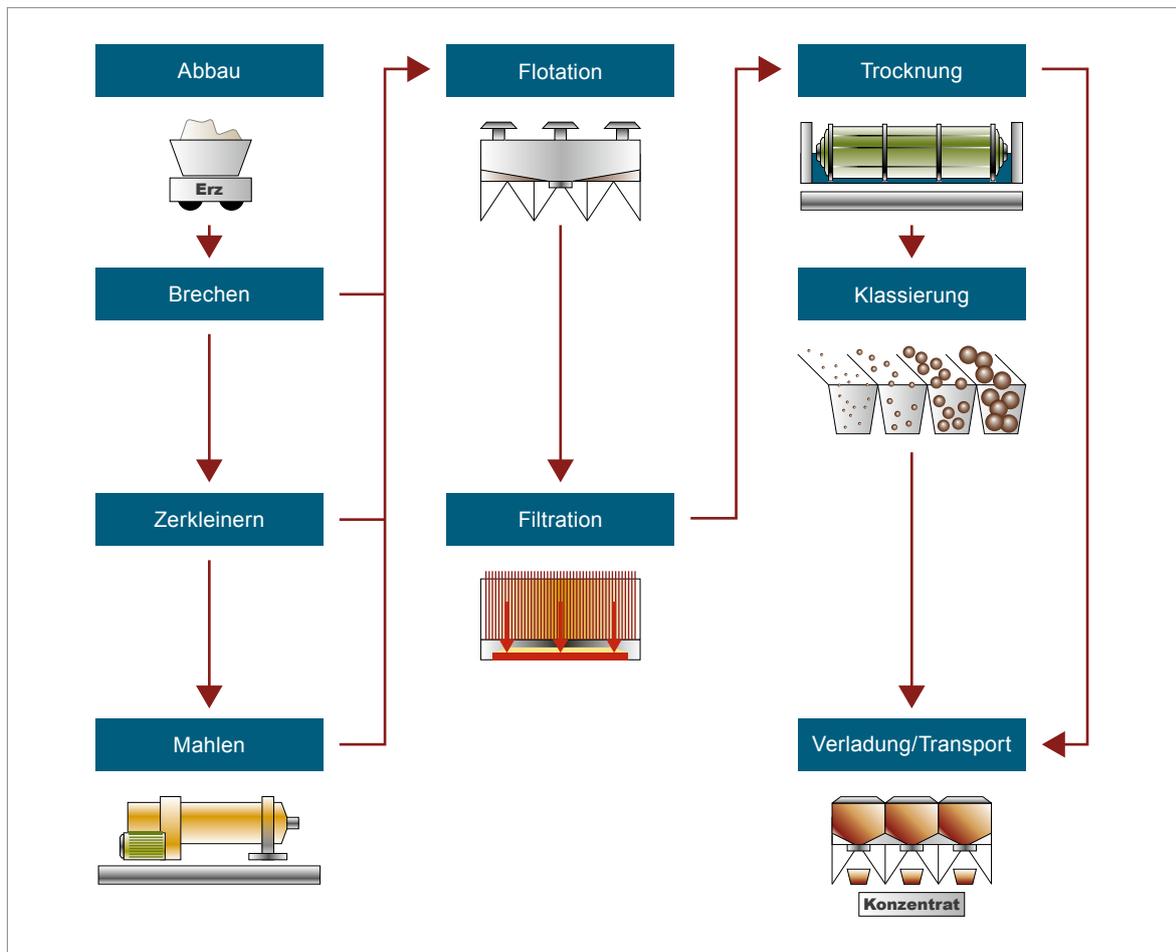


Abb. 2: Aufbereitung von natürlichem Graphit (vereinfacht, eigene Darstellung)

relativ einfach mittels Flotation aufkonzentrieren; eine an die Primärzerkleinerung angeschlossene Flash-Flotation kann die wertvolleren großen Graphitflocken dem weiteren Aufmahlungsprozess entziehen, um eine Zerstörung durch scharfkantige Begleitminerale wie Quarz zu vermeiden. Weitere Aufmahlungsstufen erlauben die Abtrennung der feineren Flocken vom Umgebungsgestein, bevor im Anschluss eine erneute Flotation erfolgt.

Flockengraphit ist aufgrund der größeren Partikelgröße einfacher flotierbar; amorpher Graphit wird selten flotiert. Ganggraphit erfordert aufgrund des selektiven Abbaus der Graphitgänge nur wenig Aufkonzentrierung, welche häufig durch Handklaubung erfolgt (SALGADO 2001). Die erreichten Kohlenstoffgehalte der Konzentrate liegen zwischen 60 und 90 % für amorphes Graphit, 75 und 98 % für Flockengraphit und 90 % und höher für Ganggraphit (Tab. 1) (ROBINSON et al. 2017).

Verwachsungen von Begleitmineralen mit den Graphitflocken können sowohl oberflächlich auf den Kristallflächen als auch zwischen den Kristalllagen auftreten. Art und Intensität der Verwachsungen der Graphitflocken mit der Gangart sind lagerstättenabhängig. Der Anreicherung des maximalen Kohlenstoffgehalts im produzierten Konzentrat sind allein durch Flotationsprozesse je nach Lagerstättentyp und Art der Verwachsungen Grenzen gesetzt. Es werden diverse Arten von Verwachsungen unterschieden, wobei zwischen oberflächlichen und zwischen den Graphitlagen eingeschlossenen Verunreinigungen differenziert wird (KIM et al. 2003). Oberflächlich an den Kristallflächen anhaftende Verunreinigungen können mittels Attritionsprozessen von den Graphitflocken gelöst werden; die Flockengröße bleibt dabei im Wesentlichen erhalten. Verunreinigungen zwischen den Kristalllagen erfordern den Einsatz chemischer oder thermischer Verfahren und sind somit kostenintensiver in der Aufbereitung.

Unter die **chemische Aufbereitung** fällt die Laugung des Konzentrates mittels verschiedener Säuren (HCl, HF, H₂SO₄, HNO₃) bzw. durch warmen Sodaaufschluss. Das Verfahren der Säurelaugung ist insbesondere in China verbreitet und erfolgt in Abhängigkeit von den im Konzentrat vorhandenen Verunreinigungen in Reinform der genannten Säuren oder als eine Mischung. Der warme Sodaaufschluss besteht aus der Röstung mit Natriumhydroxid, Laugung mit Wasser und anschließender Säurelaugung mit Salzsäure oder Schwefelsäure. Durch die chemische Aufreinigung werden Reinheitsgrade von > 99 % erreicht.

Bei der **thermischen Aufbereitung** werden die Graphitkonzentrate auf Temperaturen von bis zu 3.000 °C unter inerter Atmosphäre erhitzt. Verunreinigungen treten hierbei in die Gasphase über und können abgetrennt werden. Die erreichten Reinheitsgrade durch die thermische Aufbereitung liegen bei 99,99 % und höher.

Für den Einsatz von Graphit in einer Reihe von Hochtechnologieanwendungen und als Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien ist neben einem hohen Reinheitsgrad die Partikelform von entscheidender Bedeutung. Aufgrund seiner Anisotropie verfügt Graphit entlang der Basal-

ebene der Graphitminerale über eine sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, während das Mineral quer zur Basalebene eine weniger gute thermische und elektrische Leitfähigkeit aufweist. Diese Anisotropie ist bspw. beim Ladevorgang in Lithium-Ionen-Batterien von Nachteil, da eine Interkalation der Lithiumionen nicht quer zu den Basalebenen erfolgen kann, sondern nur an den Kanten und Defekten der Graphitflocke.

Um die Kantenoberflächen für eine Einlagerung von Lithiumionen zu vergrößern, werden die Graphitflocken durch eine gezielte Vermahlung in ihrer Form verändert. Der als **Spheronisierung** oder **Verrundung** bezeichnete Prozess führt zu einer gerundeten, eingerollten Form der Graphitflocken (Kugelgraphit – eng. Spherical Graphite), welche zu einer Erhöhung der Packungsdichte bei der Anodenherstellung und somit der Kapazität der Batterie sowie zu verbesserten Einlagerungsmöglichkeiten für die Lithiumionen führt (Abb. 3). Die Herstellung von Spherical Graphite ist mit Verlusten zwischen 30 und 70 % verbunden (PROGRAPHITE 2019, SGL CARBON 2019, NORTHERN GRAPHITE 2021a); das anfallende feinkörnige Material kann jedoch zum Teil in anderen Graphitanwendungen eingesetzt werden.

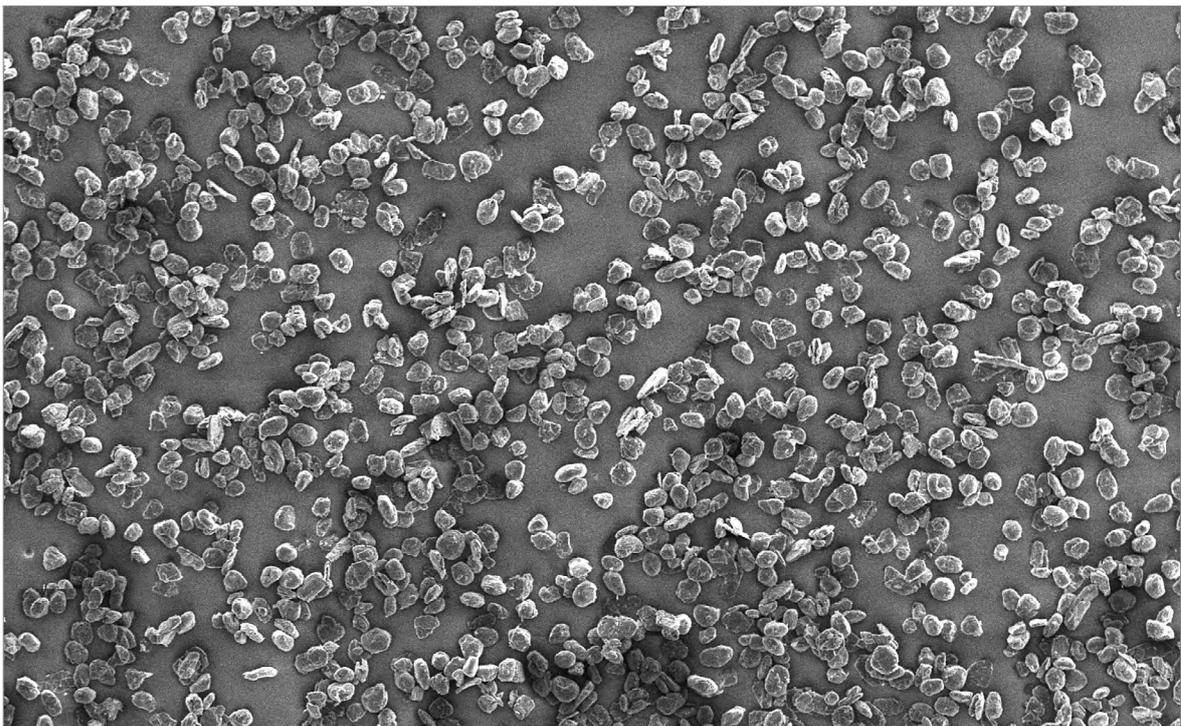


Abb. 3: Spherical Graphite (freundl. Genehmigung GRAPHIT KROPFMÜHL GMBH)

1.2.2 Synthetischer Graphit

Synthetischer Graphit ist eine Form graphitischen Kohlenstoffes und wird durch den Prozess der Graphitierung von nicht-graphitischem kohlenstoffhaltigem Ausgangsmaterial hergestellt. Als nicht-graphitische Kohlenstoffe gelten Feststoffe aus dem Element Kohlenstoff mit zweidimensionaler Fernordnung der Kohlenstoffatome in planaren hexagonalen Netzwerken, jedoch ohne messbare kristallographische Ordnung in der dritten (c-) Richtung. Für die Herstellung von synthetischem Graphit kommen jedoch nur graphitierbare, nicht-graphitische Kohlenstoffe als Ausgangsmaterial infrage, also jene Kohlenstoffe, die durch den Prozess der thermischen Behandlung in graphitierte Kohlenstoffe umgewandelt werden können (KLOSE et al. 2009). Die Ausgangsstoffe werden in petroleumbasierte oder kohlebasierte Rohmaterialien unterschieden und werden durch Verkokungsprozesse zu graphitierbarem Kohlenstoff umgewandelt.

Die am häufigsten eingesetzten Ausgangsmaterialien für die Herstellung von synthetischem Graphit sind verschiedene Arten von Koks. Von besonderer Bedeutung sind Petrolkokse, Verkokungsprodukte aus der Erdölverarbeitung (KLOSE et al. 2009), welchen durch den zusätzlichen Prozessschritt der Kalzinierung bei hohen Temperaturen im Drehrohrofen noch vorhandene flüchtige Bestandteile entzogen werden. Der daraus resultierende kalzinierte Petrolkoks besteht aus fast reinem Kohlenstoff mit nur geringen Verunreinigungen. Abhängig von ihrer Morphologie werden die Petrolkokssorten Needle Coke, Honeycomb Coke, Sponge Coke und Shot Coke unterschieden. Nicht jeder Typ von Petrolkoks ist gleichermaßen für jede Anwendung von synthetischem Graphit geeignet; die jeweiligen Anforderungen an

die Rohmaterialien auf dem spezialisierten Markt sind hoch. Kalzinierter Nadelkoks verfügt aufgrund einer ausgeprägten Vorzugsorientierung der mikrokristallinen Schichtstruktur und seiner besonderen Kornform über besonders gute Graphitiereigenschaften und wird bevorzugt für die Herstellung von Graphitelektroden eingesetzt. Zusammen mit Steinkohlenteerpech, einem Destillationsrückstand von Steinkohlenteer als häufiges Bindemittel, wird der Petrolkoks zerkleinert, gemischt, vermahlen, anschließend zu einem Festkörper gepresst und auf etwa 850–1.200 °C erhitzt (Abb. 4). In diesem Prozessschritt wird das Bindemittel verfestigt, die Erhitzung erfolgt langsam und gesteuert. Die Erhitzung erfolgt nach einem spezifisch ausgewählten Temperatur- und Zeitprofil und nimmt je nach Größe des Formteils, Anwendung und verwendeten Ofentyps einige Tage bis mehrere Woche in Anspruch.

Die anschließende Graphitierung findet in elektrischen Spezialöfen mittels elektrischer Widerstandserhitzung bei etwa 3.000 °C statt. In diesem Prozessschritt ordnet sich der amorphe Kohlenstoff neu und bildet die typische Graphitstruktur der hexagonalen Ringebenen. Das Aufheizen in diesem Prozessschritt erfordert große Mengen elektrischer Energie, weshalb Hersteller synthetischen Graphits häufig mit eigenen Umspannstationen am Stromnetz angeschlossen sind. Der gesamte Prozess der Graphitierung dauert für gewöhnlich mehrere Wochen, wobei die Abkühlungsphase des Graphitblocks die meiste Zeit in Anspruch nimmt.

Als Teil der finalen Qualitätskontrolle werden spezifische Eigenschaften wie Rohdichte, elektrischer Widerstand, Härte, Restaschegehalt und Biegefestigkeit gemessen. Je nach Einsatzgebiet sind Bestimmung von Druckfestigkeit, Oxidationsrate und einer Reihe von weiteren Eigenschaften zusätzlich Teil der Qualitätskontrolle.

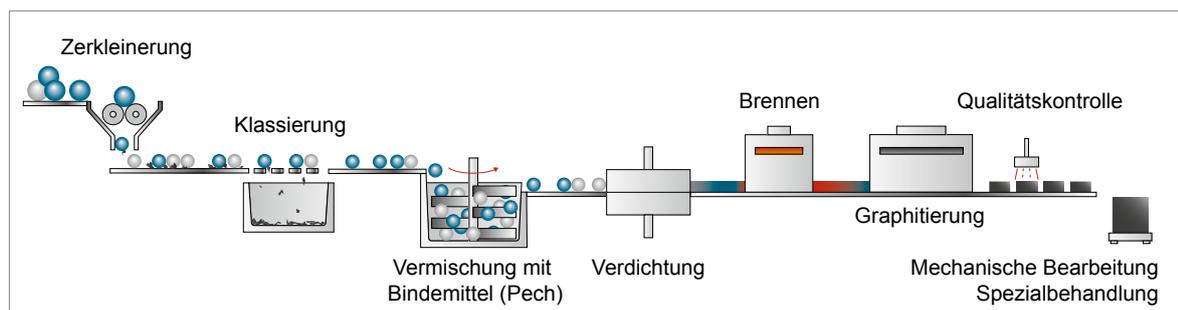


Abb. 4: Herstellung von synthetischem Graphit (vereinfacht, eigene Darstellung)

Die Produktion von synthetischem Graphit kann in die folgenden drei Produktgruppen unterschieden werden, die sich im Herstellungsprozess und den spezifischen Anforderungen an Ausgangsmaterialien grundlegend unterscheiden und nicht gegeneinander austauschbar sind:

- Grobkorngraphite
- Feinkorngraphite
- Graphitpulver

Folglich sind auch die verfügbaren Produktionskapazitäten eng an die jeweiligen Produkttypen geknüpft und nicht beliebig verwendbar.

1.3 Ökologische und sozio-ökonomische Aspekte

Graphit ist als Werkstoff inert und toxikologisch und ökologisch unbedenklich. Allerdings kann es beim Abbau und der anschließenden Weiterverarbeitung von Naturgraphit bzw. der Herstellung von synthetischem Graphit zu einer Reihe von ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen kommen.

Aufgrund der unterschiedlichen technischen Leistungsprofile ist ein direkter Vergleich von natürlichem gegenüber synthetischem Graphit nur bedingt möglich (DOLEGA et al. 2020). Durch einen deutlich höheren Energieeinsatz während der Graphitierung ist davon auszugehen, dass die entstehenden CO₂-Emissionen für die Herstellung von synthetischem Graphit deutlich höher sind als für die Produktion von natürlichem Graphit. Eine etwaige weitere Aufbereitung von natürlichem Graphit zu batterietauglichen Qualitäten ist für einen direkten Vergleich beider Materialien für den Einsatz in Batterieanwendungen ebenso mit einzubeziehen.

Eine vom Unternehmen Leading Edge Materials in Auftrag gegebene Lebenszyklusanalyse für die Herstellung von batterietauglichem Coated Spherical Graphite (CSPG) aus Konzentraten seiner Flockengraphitlagerstätte in Schweden ergab 1,8 Tonnen CO₂-Äquivalent pro Tonne CSPG (LEADING EDGE MATERIALS 2021a). Für sein im Bau befindliches Flockengraphitprojekt Matawinie in Kanada plant das Unternehmen Nouveau Monde Graphite einen komplett elektrifizierten Abbaubetrieb und eine potenzielle Reduzierung der

CO₂-Emissionen des Abbaubetriebes von über 300.000 t über die Lebensdauer der Lagerstätte (NOUVEAU MONDE GRAPHITE 2021a).

Natürlicher Graphit

Beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Naturgraphit sind insbesondere bergbauspezifische Umweltauswirkungen zu nennen. Ein hoher Flächenbedarf durch Gruben und Abraumhalden bei der Förderung im Tagebau und Untertagebau kann zu konkurrierender Landnutzung im Umfeld der Lagerstätte führen. Ausmaß und Flächennutzung sind lagerstätten- und produktionsabhängig; für den Abbau im Tagebau ist der Flächenbedarf im Allgemeinen höher. Die durch Abraumhalden beanspruchten Flächen variieren je nach Bergwerkstyp; das potenzielle Risiko durch Haldenrückstände auf die Umwelt ist abhängig von der mineralogischen Zusammensetzung des Lagerstättentyps und den jeweiligen Aufbereitungsprozessen. Durch natürlich im Graphiterz vorkommende Eisensulfide wie Pyrit und Pyrrhotit kann es durch saure Grubenwässer zu potenzieller Wasserkontamination kommen (ROBINSON et al. 2017).

Staubentwicklung beim Abbau und der Weiterverarbeitung von Naturgraphit kann Auswirkungen auf die Gesundheit von Arbeitern haben. Graphit ist nicht toxisch, allerdings können die im Zuge der Aufbereitung entstehenden Stäube bei dauerhaftem Kontakt zu gesundheitlichen Spätfolgen durch Silikose (Staublunge) führen, was auf die im Graphiterz natürlich vorkommenden Quarzbestandteile zurückzuführen ist (HAERLAND 1957). Die Einhaltung von Arbeitsstandards durch persönliche Schutzausrüstung wie bspw. Atemmasken sowie betriebliche Maßnahmen zur Staubniederhaltung können das Risiko minimieren, soweit in den Abbau und Verarbeitungsländern vorgeschrieben und angewandt. Der hohe Wasserverbrauch für entsprechende Befeuchtungsmaßnahmen bzw. Regenvorhänge sowie in der Flotation für Abtrennung des Graphits vom Gestein als auch beim chemischen Reinigungsprozess wirken sich nachteilig auf den ökologischen Fußabdruck für Naturgraphit aus.

Die Gewinnung und Verarbeitung von Naturgraphit erfolgt überwiegend industriell. Es gilt zu berücksichtigen, dass die ökologischen und sozio-

ökonomischen Aspekte und potenziellen negativen Auswirkungen des Bergwerkbetriebes generell bereits im Explorationsstatus eines Projektes vor Abbaubeginn berücksichtigt werden sollten. Erforderliche Maßnahmen zur Vermeidung bzw. zum Management von potenziellen Risiken sind für gewöhnlich Teil des Genehmigungsprozesses und in vielen Ländern Voraussetzung für die Erteilung einer Abbaulizenz. Darüber hinaus werden auch vor der Inbetriebnahme eines Bergwerkes häufig Maßnahmen und Vorgaben zur Schließung des Bergwerkes und zur Rehabilitation der genutzten Fläche festgelegt. Die Überwachung und Durchsetzung der einzuhaltenden Standards liegen in der Verantwortung der Bergbaubehörden des jeweiligen Landes. Allerdings variieren die einzuhaltenden Standards sowie deren Durchsetzung und Überwachung zwischen den einzelnen Bergbauländern teilweise enorm.

Die Weiterverarbeitung von Naturgraphit zu batterieauglichen Qualitäten für den Einsatz als Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien setzt eine Aufreinigung auf 99,95 % C voraus, häufig verbunden mit dem Einsatz von Chemikalien wie Fluss- und Salzsäure. Werden diese im Zuge der Aufreinigung freigesetzt, können Umweltschäden verursacht werden. Generell sind hier die durch die Betriebe vorgegebenen relevanten Arbeitsschutz- und Sicherheitsstandards sowie die durch die Produktionsländer vorgegebenen Umweltvorschriften einzuhalten. Aktuell ist die Weiterverarbeitung von Graphit zu Batteriequalitäten fast ausschließlich in China konzentriert. Bestrebungen durch die chinesischen Behörden, die im internationalen Vergleich bisher weniger stringenten Umweltauflagen zu erhöhen, haben in den vergangenen Jahren zu vorübergehenden Bergwerks- und Anlagenschließungen und Konsolidierungen geführt.

Synthetischer Graphit

Bei der Herstellung von synthetischem Graphit findet ausschließlich in industriellen Anlagen statt, die entsprechenden landesspezifischen Genehmigungs-, Sicherheits- und Umweltauflagen unterliegen. Ausgangsmaterial für den Graphitierungsprozess sind Nebenprodukte aus der der Petroleum- oder Kohleindustrie. Während die Prozessschritte der Vorbehandlung in mit Gas oder elektrischer Energie betriebenen Öfen stattfinden kann, erfordern die Graphitierungsprozesse Tem-

peraturen von bis zu 3.000 °C über mehrere Tage und findet in speziellen Elektroöfen statt. Hier steht der hohe Energieverbrauch im Fokus. Entscheidend für den resultierende CO₂-Fussabdruck ist die eingesetzte Energiequelle. Hier besteht ein wesentliches Potenzial zur Reduktion des CO₂-Fussabdruckes durch einen höheren Einsatz von erneuerbaren Energie. In Abhängigkeit vom eingesetzten Ausgangsmaterial entstehen als potentielle Emissionen vorrangig CO₂, aber auch NO_x, SO_x und CO. Strikte Auflagen zur Abgasreinigung und ihre konsequente Umsetzung bzw. Kontrolle können diese Umweltbelastung minimieren.

1.4 Verwendung

Zu den kommerziell genutzten Eigenschaften von Graphit zählen seine sehr gute elektrische und thermische Leitfähigkeit, exzellente Schmiereigenschaften, hohe Temperatur- und Oxidationsbeständigkeit sowie seine Interkalationsfähigkeit. Die Anwendungsform wird zum einen vom Graphittyp und zum anderen von den Parametern Reinheit, Kristallinität, Partikelgröße, -form und Oberfläche sowie Porosität bestimmt, welche maßgeblich bei der Produktion bzw. Aufbereitung und Weiterverarbeitung gesteuert werden können (vgl. 1.2).

Der Gesamtbedarf für natürlichen und synthetischen Graphit lag im Jahr 2018 bei rund 2,5 Mio. t (ROSKILL 2019), wichtige Anwendungsbereiche sind in Abb. 5 dargestellt. Die Nachfrage nach natürlichem Graphit wird aktuell von den traditionellen Anwendungsgebieten der Refraktär- und Gießereindustrie dominiert (vgl. 1.4.1), während das Hauptanwendungsgebiet für synthetischen Graphit Elektroden für die Stahlindustrie sind (vgl. 1.4.2). Mit Ausnahme von Graphitelektroden für den Einsatz in der Stahl- und Aluminiumindustrie, in denen ausschließlich synthetischer Graphit verwendet wird, teilen sich beide Graphittypen Marktanteile in einem Großteil der Anwendungen. Beide Graphittypen haben jedoch etablierte Anwendungsbereiche und konkurrieren nur in wenigen Anwendungen wesentlich um Marktanteile. Eine Ausnahme bildet das Anwendungsfeld der Batterien, wo beide Graphittypen als Anodenmaterial eingesetzt werden (vgl. 1.4.3).

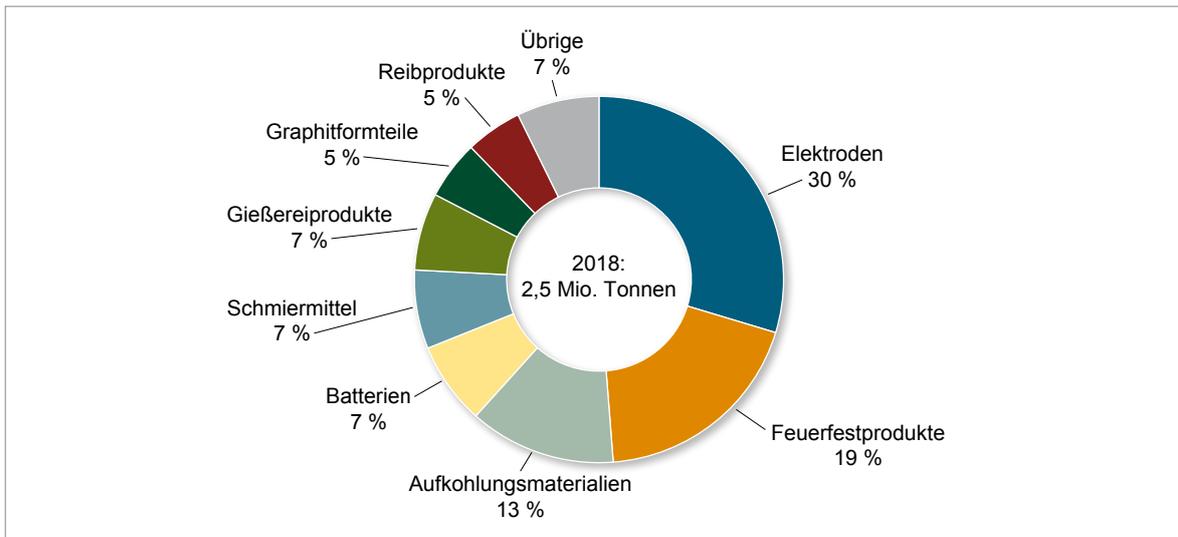


Abb. 5: Verwendung von Graphit im Jahr 2018 (ROSKILL 2019)

Substituierbarkeit

Natürlicher und synthetischer Graphit werden im Regelfall nicht gegeneinander substituiert. Im Falle von Batterieanwendungen ist die Substitution von synthetischem Graphit durch natürlichen Graphit mit Leistungseinbußen verbunden. Aufgrund des steuerbaren Herstellungsprozesses verfügt synthetischer Graphit über verbesserte und reproduzierbare Eigenschaften wie Homogenität, Reinheit und Porosität und Morphologie, welche insbesondere in Anwendungen mit sehr hohen Qualitäts- und Leistungsansprüchen wie bspw. Lithium-Ionen-Batterien und nuklearen Anwendungen u. a. von großer Bedeutung sind. Daher ist eine Substitution von synthetischem Graphit durch natürlichen Graphit insbesondere in diesen Anwendungen unwahrscheinlich bzw. für ihre Funktionalität technisch nicht möglich. Eine vollständige Substitution von natürlichem Graphit durch synthetisch hergestellten Graphit ist aufgrund der höheren Kosten ebenfalls unwahrscheinlich.

Das bei der Herstellung von Spherical Graphite aus Flockengraphit (vgl. 1.2) anfallende feinkörnige Material kann bspw. in der Stahlindustrie als Aufkohlungsmaterial verwendet werden und in Reibbelägen die Verwendung von amorphem Graphit ersetzen.

1.4.1 Natürlicher Graphit

Hauptanwendungsbereich für natürlichen Graphit sind **Feuerfestprodukte**; fast die Hälfte der weltweiten Nachfrage nach natürlichem Graphit im Jahr 2018 entfiel auf Feuerfesterzeugnisse (Abb. 6) (ROSKILL 2019). Sie zeichnen sich durch eine Wärmebeständigkeit bis über 1.500 °C aus und umfassen geformte Produkte wie Magnesia-Kohlenstoff-, Tonerde-Kohlenstoff- und Tonerde-Magnesia-Kohlenstoffsteine zur Auskleidung von bspw. Hochtemperaturöfen als auch ungeformte, monolithische Produkte für die Herstellung von Bauteilen und für Reparatur- und Wartungsarbeiten. Der Graphitgehalt von bspw. Magnesia-Kohlenstoffsteinen wird mit 15–20 % angegeben. Der Einsatz von Feuerfestprodukten ist in den vergangenen Jahren stetig zurückgegangen und liegt heute in der Stahlindustrie bei rund 8 kg pro Tonne Stahl in den USA und Japan und 0,9 kg pro Tonne Zementklinker in der Zementindustrie (HORCKMANS et al. 2019). Ausschlaggebend für die feuerfesten Eigenschaften von Graphit sind Flockengröße und Kohlenstoffgehalt. Es wird bevorzugt Flockengraphit großer Flockengrößen verwendet, welcher aufgrund seiner besseren mechanischen Eigenschaften in der Regel für die Produktion von geformten Refraktärprodukten verwendet wird. In monolithischen graphithaltigen Produkten wird häufig amorpher Graphit eingesetzt. Die Eisen- und Stahlindustrien sind die weltweit bedeutendsten Abnehmer, weitere Anwendungen finden sich in der Nichteisenme-

tallindustrie, Keramik-, Glas- und Zementindustrie, der chemischen und petrochemischen Industrie sowie in der Energietechnik und Müllverbrennung.

In der **Gießereiindustrie** findet Graphit sowohl als Additiv in Gießereisanden als auch als Schlichte in Reinform und in Kombination mit weiteren feuerfesten Rohstoffen, insbesondere in Sandgussystemen, Anwendung. Dauerformen aus Graphit sind für wiederholte Abgüsse vorgesehen und werden beim Abguss nicht zerstört. Sie werden vorrangig für die Fertigung von komplexen Komponenten bspw. für die Automobilindustrie verwendet. Wichtige Anwendungen für Gießereiprodukte sind die Transport-, Bau-, Maschinenbau- und Energieindustrie. Graphitqualitäten wie Flockengröße und Reinheit sind entscheidend für den Einsatz in Gießereianwendungen. Feine Flockenfraktionen finden bevorzugt Einsatz und stellen den aktuell bedeutenderen Anteil gegenüber amorphem Graphit in diesem Marktsegment.

Reibprodukte aus natürlichem Graphit werden vorrangig in Form von Kupplungs- und Bremsbelägen in der Automobilindustrie, in Bau- und Landmaschinen und im Maschinenbau eingesetzt. Der Markt für graphithaltige Reibprodukte wird dem Marktsegment der semi-metallischen Reibmittel zugeordnet, sie enthalten neben Graphit etwa 30–65 % Metall sowie Bindemittel und Füllstoffe. Bei den eingesetzten Graphitqualitäten wird vor allem auf hohe Reinheiten von mindestens 98 % C gesetzt. Ein weiterer wichtiger Auswahlfaktor ist Homogenität mit Blick auf Reinheit und Partikelgröße, weshalb dem Einsatz von synthetischem Graphit in diesem Marktsegment ebenfalls eine bedeutende Rolle zukommt.

Als **Schmiermittel** wird Graphit in Schmier- und Trennmitteln für die Heißmetallumformung, als Spezialschmierstoff in der Feinmechanik und Schmierfett zur Schmierung von bspw. Gleit- und Wälzlagern eingesetzt. Graphitdispersionen finden Anwendung in der Automobilindustrie sowie in Bohrgeräten in der Ölindustrie. Eine gute Abrieb- und Verschleißfähigkeit ermöglichen den Einsatz von selbstschmierenden Graphitbauteilen in einem breitgefächerten Anwendungsbereich. Natürlicher Graphit wird im Vergleich zu synthetischem Graphit nur zweitrangig in diesem Marktsegment eingesetzt. Zwar kann hier neben Flockengraphit auch amorpher Graphit verarbeitet werden. Allerdings findet Flockengraphit aufgrund

der höheren Kohlenstoffgehalte gegenüber amorphem Graphit für gewöhnlich den Vorzug. Um mit den Reinheiten von synthetischem Graphit in diesem Anwendungsbereich konkurrieren zu können, sind jedoch eine Reihe von Prozessschritten zur Aufreinigung unabdingbar.

Als **Aufkohlungsmittel** wird Graphit in der Produktion von Gusseisen und Eisenlegierungen eingesetzt. Neben natürlichem und synthetischem Graphit kommen als Aufkohlungsmaterialien weitere kohlenstoffbasierte Additive wie verschiedene Kokssorten, Kohlenstoffpellets und Anthrazit zum Einsatz. Wichtige Eigenschaften bei der Auswahl des Aufkohlungsmaterials sind u. a. ein hoher Kohlenstoffgehalt, hohe Löslichkeit, ein geringer Schwefelgehalt sowie niedrige Stickstoffgehalte. Natürlicher Graphit wird in diesem Marktsegment insbesondere als feinkörniges Sekundärmaterial eingesetzt, einem Abfallprodukt aus der Herstellung von batterietauglichem Spherical Graphite (vgl. 1.2.1). Der Einsatz erfolgt jedoch untergeordnet zu synthetischem Graphit, welcher aufgrund seiner besseren Materialeigenschaften wie höhere Reinheit und Homogenität das bevorzugte Material ist.

Graphitformteile haben einen breitgefächerten Anwendungsbereich und werden u. a. in der Luft- und Raumfahrt-, Automobil- und Elektronikindustrie sowie im Anlagenbau eingesetzt. Kohlebürsten aus Graphit stellen den größten Anteil in diesem Marktsegment, gefolgt von Elektroden für die Funkenerosion, Hochleistungskühlkörper, Ofenbauteile für Hochtemperaturanwendungen und Formteile für den Anlagenbau. Der Einsatz von natürlichem Graphit für Formteile ist im Vergleich zu synthetischem Graphit untergeordnet.

Weitere Anwendungsbereiche von Graphit sind u. a. sog. expandierbarer Graphit (auch Blähgraphit) für die Verwendung in Graphitfolien und -platten für die Herstellung von Dichtungsringen, -scheiben und -klappen sowie als Flammenschutzmittel. Pulvermetallurgisch hergestellte Bauteile mit variierendem Graphitanteil sind insbesondere in der Automobilindustrie von Bedeutung. Weitere Nischenanwendungen von Graphit sind der Einsatz in Bipolarplatten für Brennstoffzellen und als Additiv in Farben. Der Graphitbedarf für die Verwendung in Bleistiftminen ist ebenfalls von untergeordneter Größenordnung und wird für das Jahr 2018 auf knapp 0,05 % geschätzt.

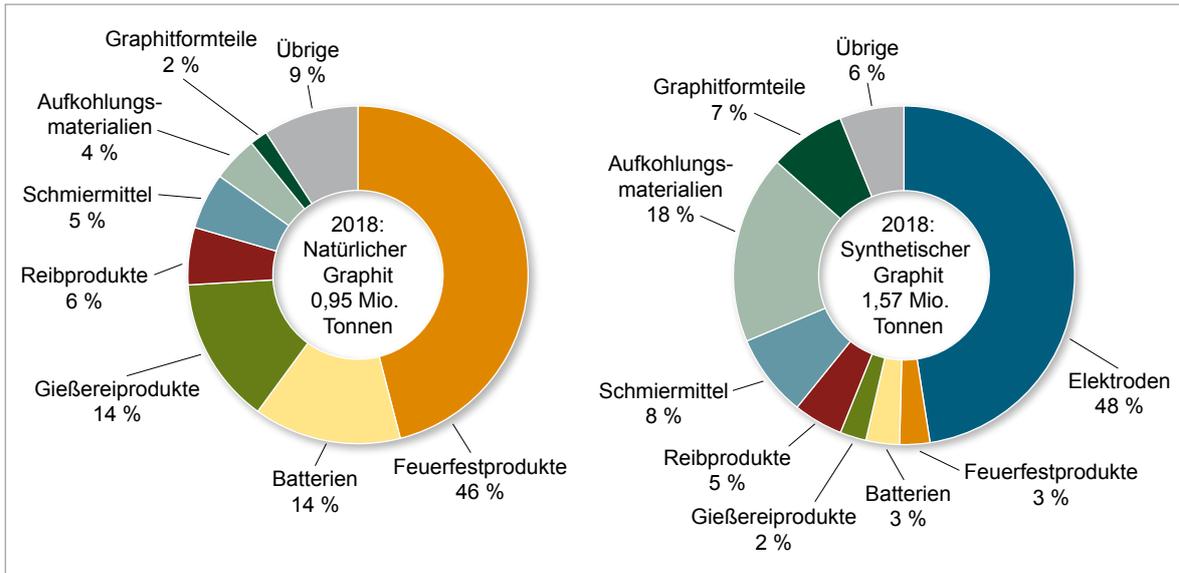


Abb. 6: Verwendung nach Graphittypen (RosKILL 2019)



Abb. 7: Verwendungen von Graphit: Kohlebürsten (o. links), Dispersion (o. rechts), Schmelztiegel (u. links), Bremsbeläge (u. rechts) (freundl. Genehmigung GRAPHIT KROPFMÜHL GMBH)

1.4.2 Synthetischer Graphit

Synthetischer Graphit wird in Form von Elektroden, Formteilen und Spezialgraphiten sowie als Pulver für die Anodenmaterialherstellung eingesetzt. Mit

48 % sind **Graphitelektroden** insbesondere für die Elektrostahlerzeugung im Lichtbogenofen das mengenmäßig mit Abstand bedeutendste Anwendungsgebiet (Abb. 6), pro Tonne Elektrostahl kommen etwa 1,7 kg Graphit zum Einsatz. Außerdem

kommen Graphitelektroden in Pfannenöfen und Schmelz-Reduktionsöfen zum Einsatz. Die geforderten hohen Materialeigenschaften wie eine hohe Reinheit, niedrige Gehalte an Verunreinigungen und eine gleichförmige Konsistenz haben direkten Einfluss auf die Leitfähigkeit und den Verbrauch der Elektroden im laufenden Betrieb. Aufgrund ihrer sehr hohen mechanischen Festigkeit, hohen Dichte und ihres niedrigen elektrischen Widerstands sind Elektroden aus synthetischem Graphit in diesem Verfahren nicht substituierbar. Hergestellt aus Nadelkoksen unterschiedlicher Qualitäten werden Graphitelektroden in die Kategorien UHP (Ultra High Power), SHP (Super High Power), HP (High Power) und RP (Regular Power) unterschieden. UHP-Graphitelektroden verfügen über die höchsten Qualitätsansprüche bezüglich Homogenität und Reinheit und haben einen vier- bis fünffach niedrigeren spezifischen elektrischen Widerstand als Kohlenstoffelektroden. Neben der Elektrosterzeugung werden Graphitelektroden u. a. auch für die Herstellung von Ferrolegierungen und in der Schmelzflusselektrolyse für die Aluminiumgewinnung verwendet.

Synthetischer Graphit wird des Weiteren vor allem dort eingesetzt, wo hohe Reinheiten und Materialhomogenitäten gefordert sind. Als **Aufkohlungsmittel** wird synthetischer Graphit insbesondere für das Carburieren von Stahl zur Erhöhung des Kohlenstoffgehalts genutzt. Die geforderten Qualitäten umfassen neben einem hohen Kohlenstoffgehalt eine hohe Reinheit und Homogenität des Materials, weshalb hier überwiegend sekundärer synthetischer Graphit aus der Elektrodenherstellung eingesetzt wird.

In **Schmiermitteln** wird überwiegend ebenfalls Graphit mit sehr hohen Reinheiten bevorzugt, da dieser einen direkten Einfluss auf die Schmierfähigkeit hat. Synthetischer Graphit dominiert in diesem Marktsegment mit rund 70 % Marktanteil.

Auch bei **Reibprodukten** sind neben Homogenität des Materials hohe Kohlenstoffgehalte von mindestens 98 % C von übergeordneter Bedeutung. Während in diesem Anwendungsfeld häufig auch ein Mix aus beiden Graphittypen eingesetzt wird, dominiert bei der Erzeugung von **Graphitformteilen** der Einsatz von synthetischem Graphit mit etwa 90 % Marktanteil. Zu den benötigten Materialeigenschaften für Kohlebürsten als eines der bedeutendsten Graphitformteile zählen neben hohen Reinheiten

von > 98 % C auch geringe Aschegehalte von weniger als 0,5 % sowie möglichst niedrige Quarz-, Eisen- und Schwefelgehalte.

Rund 96.000 t synthetischen Graphits entfielen auf übrige Anwendungen in Industrien wie bspw. der LED-, Halbleiter-, Photovoltaik- und Glasindustrie sowie in Hochtemperaturanwendungen, in denen synthetischer Graphit entlang der Herstellungsprozesse für deren Produkte zum Einsatz kommen kann. Aufgrund der geforderten sehr hohen Materialhomogenitäten, hohen chemischen und thermischen Beständigkeit sowie der verlässlichen Aufrechterhaltung dieser Eigenschaften über lange Zeiträume wird des Weiteren z. B. in der Nuklearindustrie ausschließlich synthetischer Graphit u. a. für graphitmoderierte Kernreaktoren eingesetzt. Außerdem findet synthetischer Graphit neben natürlichem Graphit u. a. in Brennstoffzellen, in der Herstellung von leitfähigen Polymeren und in der Erzeugung von pulvermetallurgisch hergestellten Bauteilen Anwendung.

1.4.3 Graphit in Batterien

In Lithium-Ionen-Batterien (LIB) werden überwiegend Anodenmaterialien auf Kohlenstoffbasis eingesetzt (Abb. 11). Der aktuelle Stand der Technik im Bereich Anodenmaterial in LIB ist Graphit (MIAO et al. 2019, ASENBAUER et al. 2020). Dieser wird zusammen mit einem Binder auf eine Kupferfolie aufgetragen (Abb. 9). Graphitbasierte Anoden zeichnen sich durch ein niedriges Elektrodenpotenzial aus, wodurch eine hohe Zellspannung ermöglicht wird. Graphite werden in LIB im Verhältnis mit Lithium zwischen 10 : 1 und 30 : 1 eingesetzt. Neben Faktoren wie Verfügbarkeit und Kosten liegt das Hauptaugenmerk bei der Auswahl der Anodenaktivmaterialien auf dem anwendungsspezifischen Leistungsprofil. Das Elektrodenpotenzial von lithiiertem Graphit von 0,1 V vs. Li/Li⁺ ermöglicht eine hohe Zellspannung. Lithiiertes Graphit bildet auf der Anode in einer Reaktion mit dem Elektrolyten der Batterie die sog. Solid Electrolyte Interphase (SEI) aus, eine Schutzschicht, welche einer weiteren Zersetzung der Elektrolytkomponenten entgegenwirkt und für Sicherheit und Leistung der Batterie essenziell ist.

Sowohl synthetischer als auch natürlicher Graphit werden aktuell als Anodenaktivmaterialien in LIB eingesetzt und eignen sich aufgrund ihrer

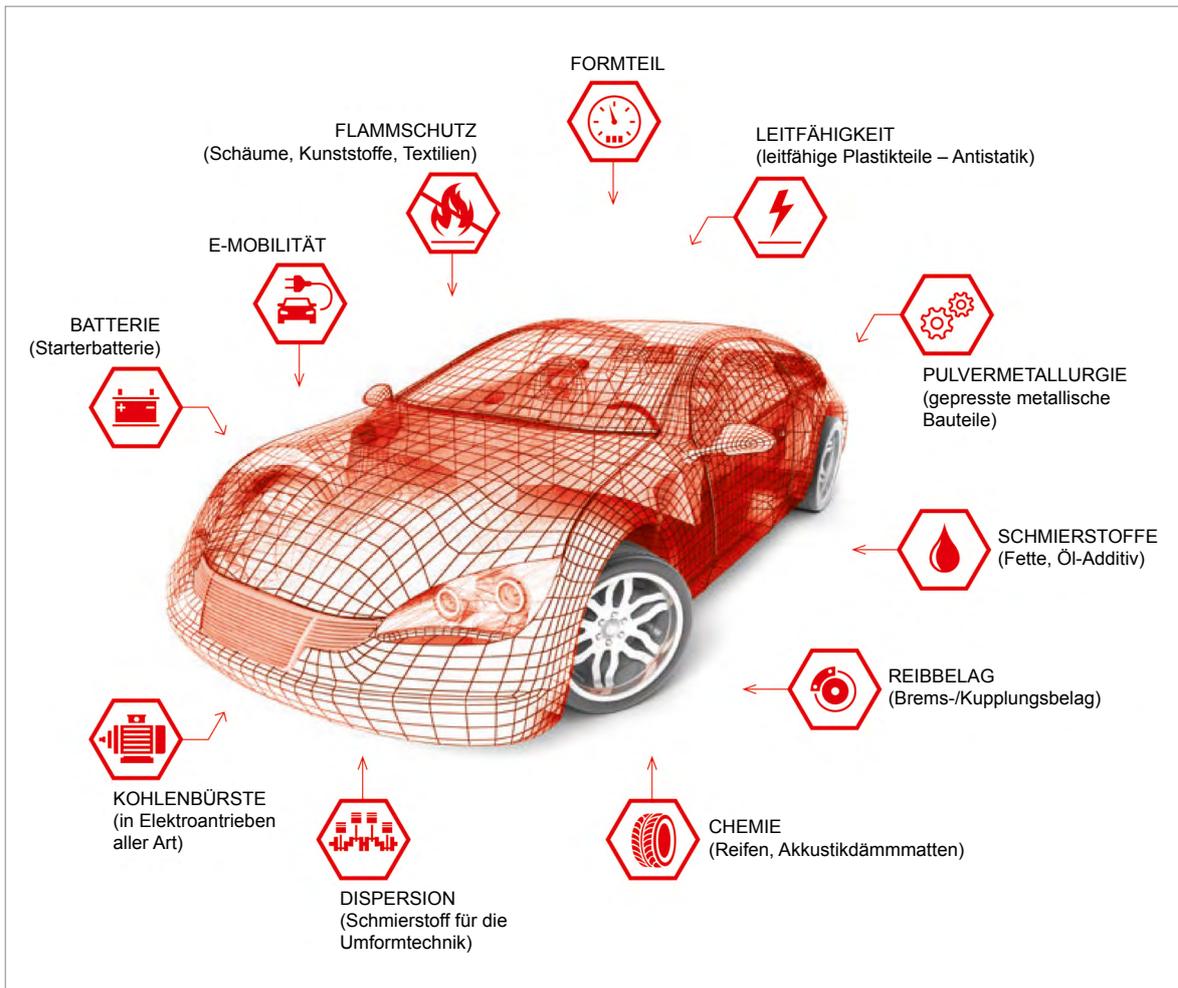


Abb. 8: Graphitanwendungen in der Automobilindustrie (freundl. Genehmigung GRAPHIT KROPFMÜHL GMBH)

spezifischen Eigenschaften für unterschiedliche Anwendungsbereiche. Neben den geforderten Eigenschaften des Materials und geforderten Spezifikationen durch die Endanwendung ist die Auswahl der Rohstoffe nicht zuletzt eine Kostenfrage, was je nach Anwendungsgebiet aktuell und auch zukünftig den Einsatz einer Kombination aus beiden Materialien wahrscheinlich macht. Natürlicher Graphit wird durch eine Reihe von Prozessschritten zu batterietauglichem Spherical Graphite aufgearbeitet (vgl. 1.2.1); abhängig von der Beschaffenheit des Ausgangserzes verteuert diese Aufbereitung die Kosten für das Endprodukt erheblich. Dennoch liegen die Preise für batterietaugliche Qualitäten aus Flockengraphit häufig unter dem Preis für synthetischen Graphit, weshalb Flockengraphit bevorzugt in Batterieanwendungen mit geringeren Leistungsansprüchen eingesetzt wird. Trotz der höheren

Kosten wird synthetischer Graphit aufgrund der besseren Materialeigenschaften wie Homogenität, Reinheit und einheitlicher Qualitäten häufig bevorzugt in LIB in höherwertigen Anwendungen wie bspw. in der Automobilindustrie, Energiespeicherung und für Anwendungen im High-End-Bereich der Unterhaltungselektronik eingesetzt wird. Über alle Marktsegmente für LIB gemittelt ist aktuell von einem Verhältnis von natürlichem zu synthetischem Graphit von 40 : 60 auszugehen (PROGRAPHITE 2019).

Untergeordnet können zusätzlich auch weitere kohlenstoffbasierte Rohstoffe eingesetzt werden, um Eigenschaften wie bspw. Leitfähigkeit, Lade- und Lebensdauer zu optimieren. Dazu gehören amorphe Kohlenstoffe (sog. *hard und soft carbon*) sowie amorpher Graphit und Ruß.

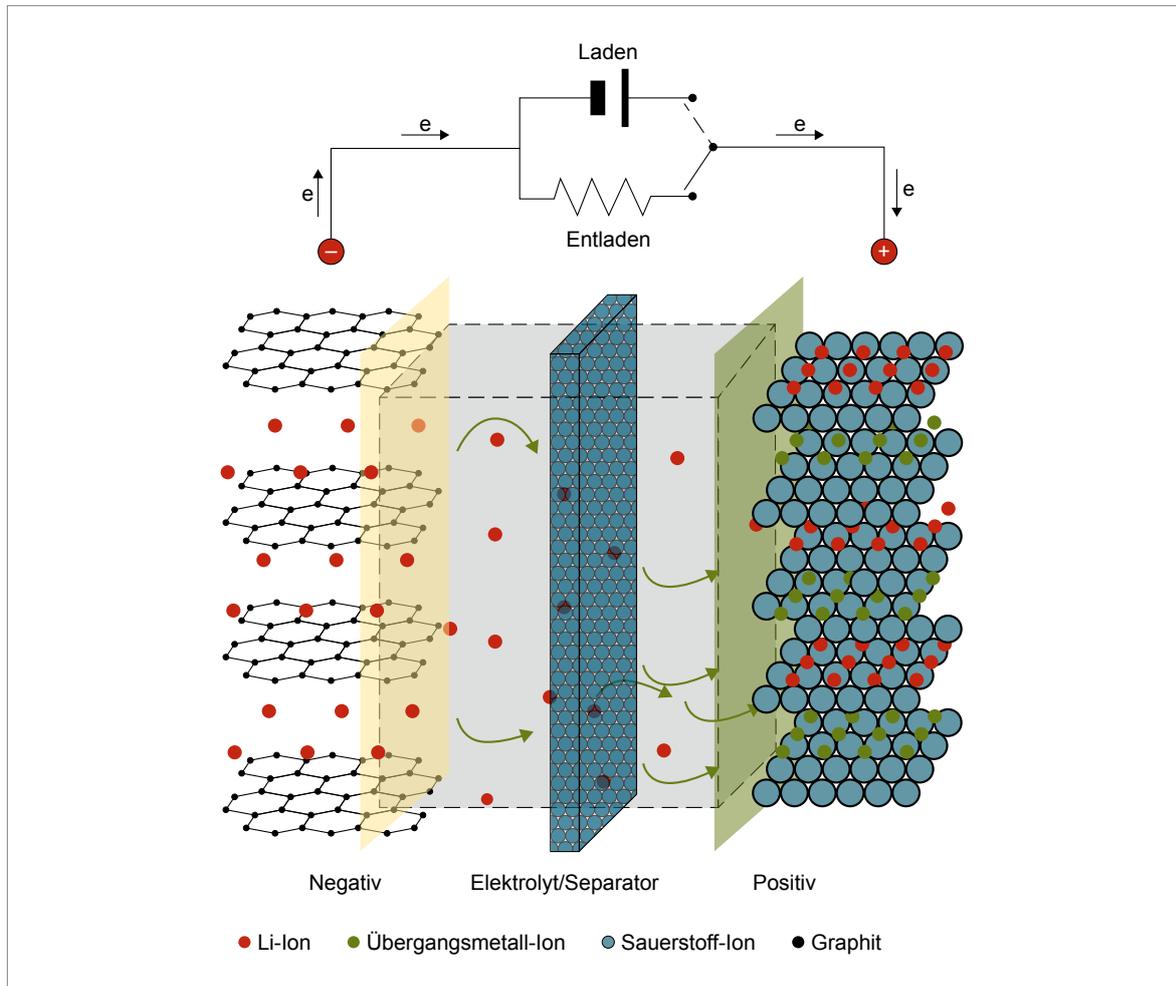


Abb. 9: Schematischer Aufbau einer Lithium-Ionen-Batterie (freundl. Genehmigung GRAPHIT KROPFMÜHL GMBH)

Ein volumenmäßig untergeordneter Einsatz von Graphit in anderen Batterietypen erfolgt als Additiv.

Laut ROSKILL (2019) lag der Bedarf von Graphit für alle Batterieanwendungen bei etwa 182.400 t im Jahr 2018. Mit einem Anteil von 8 % an der Gesamtnachfrage von natürlichem und synthetischem Graphit ist der Einsatz in Batterien im Vergleich zu den traditionellen Anwendungen aktuell noch untergeordnet. Allerdings hat sich die Nachfrage für Batterieanwendungen, getrieben durch hohe Wachstumsraten im Einsatz von LIB in der Elektromobilität, gegenüber dem Jahr 2008 mehr als vervierfacht. In Bezug auf ihren Graphitbedarf stellen LIB mit einem Anteil am Gesamtbatteriemarkt von 84 % (153.600 t) den mit Abstand wichtigsten Batterietyp dar. Knapp 16 % entfielen auf weitere Batterietypen wie bspw. Alkali-Man-

gan-Zellen, Blei-Säure-, Nickel-Cadmium- sowie Nickel-Metallhydridakkumulatoren.

Der Bedarf von natürlichem Graphit für LIB lag mit 77 % (118.200 t) deutlich höher als für synthetischem Graphit (35.400 t). Es gilt jedoch zu beachten, dass dies dem Rohstoffbedarf vor der verlustintensiven Weiterverarbeitung zu batterie-tauglichen Qualitäten entspricht (vgl. 1.2.1). Legt man Materialverluste von 30 bis 70 % zugrunde, war der eingesetzte Anteil von natürlichem Graphit in LIB deutlich niedriger.



Abb. 10: Lithium-Ionen-Batterie im E-Auto (freundl. Genehmigung GRAPHIT KROPFMÜHL GMBH)

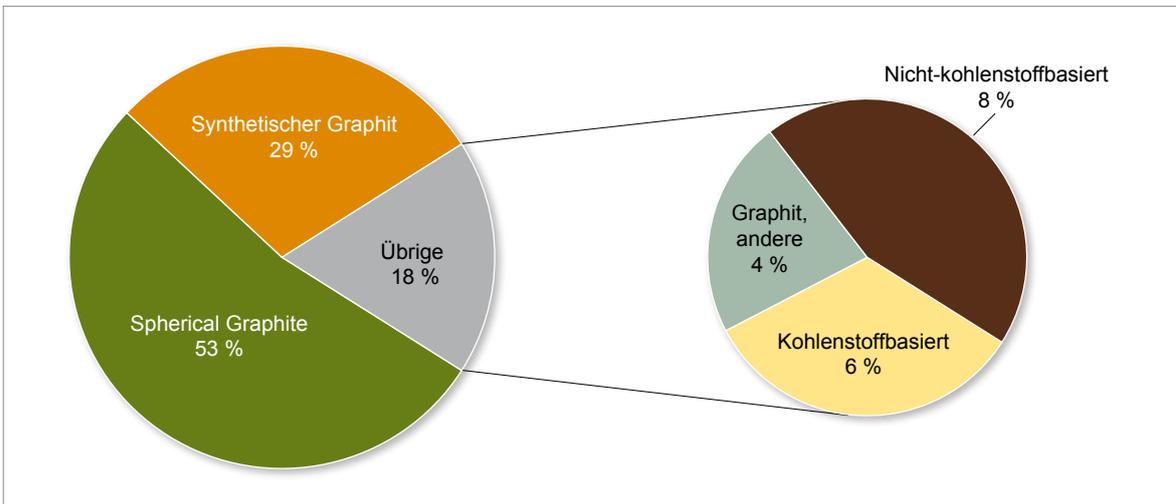


Abb. 11: Anodenmaterialien in Lithium-Ionen-Batterien (ROSKILL 2019)

Forschung und Entwicklung

Neben Verfügbarkeit, Preis und Nachhaltigkeitsaspekten stehen insbesondere anwendungsspezifische Leistungsverbesserungen wie bspw. eine

Erhöhung der Energiedichte, Schnellladefähigkeit sowie Lebensdauer der Batterie im Fokus aktueller Anodenforschung und Entwicklungsbemühungen.

Die Kapazität einer Batterie wird sowohl von der Anoden- als auch von der Kathodenkapazität bestimmt und wird vom Material mit der geringeren Lithiumionen-Speicherfähigkeit limitiert. Dies ist in der Regel die Kathode, so dass Kapazitätserhöhungen der Anode zum Erreichen höherer Zellkapazitäten nur bis zu einem bestimmten Grad sinnvoll sind.

Neben Graphit hat insbesondere Silizium mit einer maximalen Kapazität von etwa 3.500 mAh/g in den vergangenen Jahren ein zunehmendes Interesse als potenziell alternatives Anodenmaterial in LIB erfahren. Seiner breiten kommerziellen Verwendung stehen jedoch nach wie vor Herausforderungen durch starke Struktur- und Volumenveränderungen von bis zu 300 % bei der Aufnahme und Abgabe von Lithiumionen während des Lade- und Entladevorgangs entgegen. Die durch die Schwellung verursachte Degradation des Aktivmaterials durch Rissbildung kann zu Kapazitätsverlusten und ultimativ zu Einbußen bei Ladezyklenstabilität, Lebensdauer sowie zu eingeschränkter Kapazität der Batterie führen. Zwar kann den Nachteilen der Volumenänderung und Materialdegradation durch die gezielte Zugabe von bspw. hochreinem Nanosiliziumpulver und durch eine angepasste Binderchemie entgegengewirkt werden. Allerdings ist ein breiter kommerzieller Einsatz weiterhin durch die Kapazitäten der eingesetzten Kathoden-Aktivmaterialien limitiert. Anodenkapazitäten von mehr als 1.200 mAh/g führen aktuell nicht mehr zu einer signifikanten Erhöhung der Zellkapazität (PLACKE et al. 2017).

2 Rohstoffrisikobewertung

2.1 Preisbildung und Preisentwicklung

Graphit wird nicht an Börsen gehandelt, die Preisgebung auf dem weltweiten Markt ist relativ opak. Preisinformationen werden zwar zum Teil in Fachliteratur und durch kommerzielle Anbieter veröffentlicht (z. B. Argus, Fastmarkets, Benchmark Mineral Intelligence), sind jedoch eher als Referenz für Preisverhandlungen anzusehen. Preise werden für gewöhnlich abhängig von den geforderten Produktqualitäten und Spezifikationen vertraulich und bilateral zwischen Produzenten und Abnehmern über Langzeitverträge ausgehandelt. Insbesondere für Naturgraphit erschwert die große Anzahl verschiedener Produktqualitäten die Ausrichtung von Kontrakten an einem einzelnen Preisindex. Geringe Mengen insbesondere an natürlichem Graphit werden je nach Marktlage auch auf dem Spotmarkt gehandelt.

Natürlicher Graphit

Generell sind Kohlenstoffgehalt und Flockengröße entscheidend für die Preisgebung des gehandelten Konzentrats. Daneben können etwaige lagerstättenabhängige Verunreinigungen sowie der Grad der Aufbereitung ebenfalls in die Preisbildung mit einfließen.

Kommerziell wichtige Konzentratklassen sind die Kategorien *small/fine flake* (–100 Mesh), *medium*

flake (–80 Mesh), *large flake* (+80 Mesh) und *jumbo flake* (+50 Mesh) (vgl. auch Tab. 2). Abhängig von den geologischen Gegebenheiten und der Ausrichtung des Bergwerks produziert eine Lagerstätte oft eine Reihe verschiedener Produktqualitäten, was eine an der Endanwendung orientierte Aufbereitung erlaubt und auf eine Gewinnmaximierung der Produkte abzielt (vgl. 1.2.1).

Tab. 3 zeigt eine Auswahl üblicher gehandelter Produktqualitäten von Naturgraphit. Allgemein erzielen Flockengraphitkonzentrate höhere Preise als amorphe Graphitkonzentrate. Die Reproduzierbarkeit und gleichbleibende Qualität der Konzentrate können typischerweise ebenfalls in die Preisbildung einfließen; Produkte von etablierten Produzenten mit einer ausgereiften und auf die jeweilige Lagerstätte abgestimmten Aufbereitung erzielen typischerweise höhere Preise als die Produkte neuer Marktteilnehmer, deren Aufbereitungsprozesse eventuell noch nicht ausgereift sind.

Flockengraphitqualitäten weisen in der Regel Kohlenstoffgehalte von 94 % und höher auf; amorphe Graphitkonzentrate liegen mit 80–85 % deutlich darunter. Konzentrate der Kategorien *large flake* (+80 mesh) und *jumbo flake* (+50 mesh) mit Kohlenstoffgehalten von 94 % und höher erzielen typischerweise die höchsten Preise unter den unverarbeiteten Naturgraphitkonzentraten. Die Preise für Spherical Graphite als weiterverarbeitetes Produkt lagen zuletzt im Schnitt etwa zweieinhalbfach so hoch wie für Flockengraphitkonzentrate der Kategorie *large flake* (Abb. 12).

Tab. 3: Ausgewählte gehandelte Naturgraphitspezifikationen (FASTMARKETS 2021)

Spezifikation
Graphite amorphous 80 % C, –200 mesh, fob China, US\$/Tonne
Graphite amorphous, 80–85 % C, –200 mesh, FCL, cif China to Europe, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, +100 mesh, fob China, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, –100 mesh, fob China, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, +80 mesh, fob China, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, +100 mesh, cif Europe, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, –100 mesh, cif Europe, US\$/Tonne
Graphite flake 94 % C, +80 mesh, cif Europe, US\$/Tonne
Graphite spherical 99.95 % C, 15 microns, fob China, US\$/Tonne

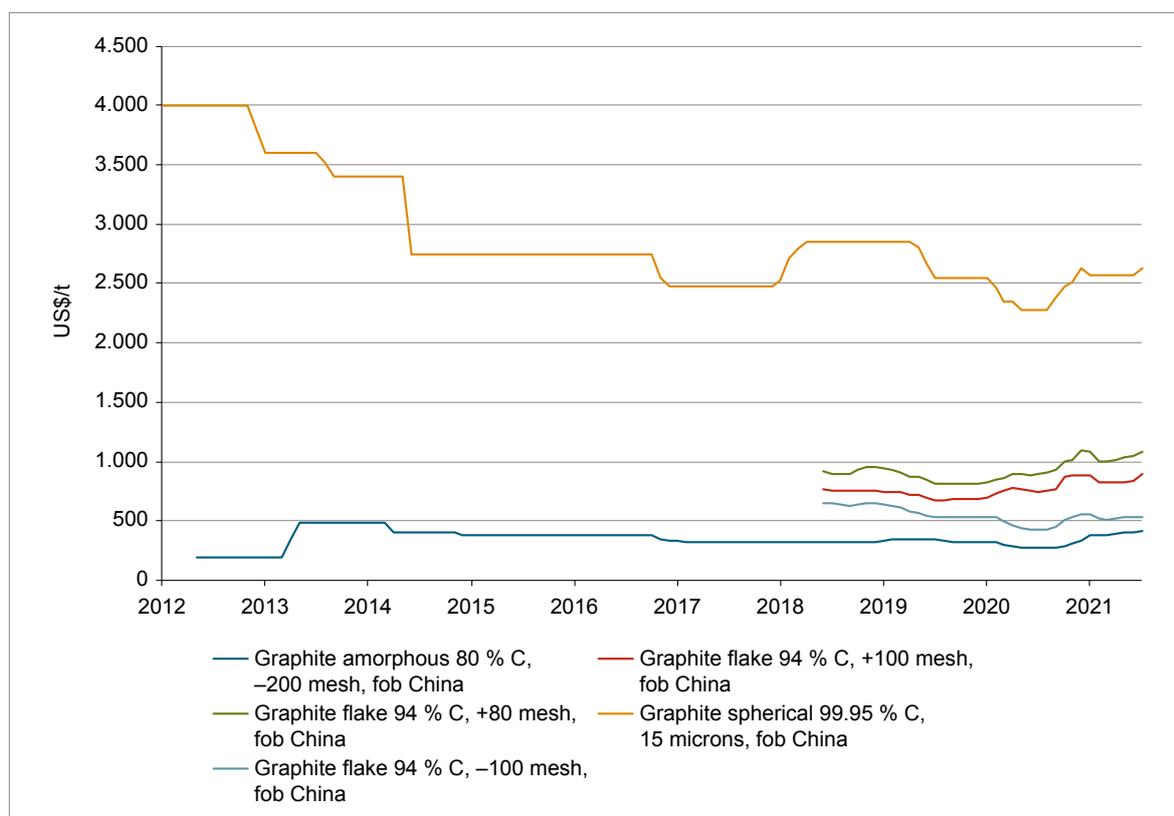


Abb. 12: Nominalpreisverläufe für ausgewählte Spezifikationen von Naturgraphit (FASTMARKETS 2021)

Als wichtigster Bergwerksproduzent und bedeutender Exporteur vieler Graphitspezifikationen hat China signifikanten Einfluss auf die Preise für Graphit. Anfang der 2010er Jahre rückte Graphit mit der steigenden Bedeutung der Elektromobilität zunehmend als Batterierohstoff in den Fokus. Eine relative Hochpreisphase im Jahr 2011 hatte verstärkte Explorationsbemühungen zur Folge, diese führte jedoch im Zuge der weltweit sinkenden Rohstoffpreise in den Jahren 2014/2015 auch bei Graphit zu erneut fallenden Preisen. Durch Überkapazitäten und die Überversorgung des Marktes folgte eine andauernde Niedrigpreisphase. Umweltbedingte Produktionskürzungen und Werksschließungen in China ließen die Preise für Flockengraphit im Laufe des Jahres 2017 kurzfristig erneut ansteigen und eine verstärkte Nachfrage aus der Batterieindustrie führte zu vorübergehenden Preisspitzen im Jahr 2018 insbesondere für Flockengraphitspezifikationen. Seitdem war lediglich eine Seitwärtsbewegung der Preise zu verzeichnen. Bedingt durch Umweltinspektionen und Produktionskürzungen befanden sich die Preise für Flockengraphit und

amorphen Graphit seit Ende 2020 wieder leicht im Aufschwung. Die stark gestiegenen Frachtkosten bei gleichzeitigen Lieferverzögerungen aufgrund der pandemiebedingten anhaltenden Knappheit von Containerkapazitäten wirkten zuletzt jedoch einer weiteren Preissteigerung entgegen.

Für amorphen Graphit wirkte sich zuletzt die hohe Konzentration der Produktion auf die Provinz Hunan preissteigernd aus, wo es neben laufenden Konsolidierungen und der Verschärfung der Umweltinspektionen auch zeitweise zu Produktionsunterbrechungen durch Überschwemmungen kam.

Synthetischer Graphit

Die Preise für synthetischen Graphit liegen generell über den Preisen für Naturgraphit, bedingt durch die aufwändigere Herstellung und den hohen Energieeinsatz bei der Erzeugung des Materials. Die Produktion von synthetischem Graphit richtet sich für gewöhnlich nach der direkten Nachfrage

Tab. 4: Ausgewählte gehandelte Spezifikationen von synthetischem Graphit (ASIANMETAL 2021)

Spezifikation
Graphite Electrode RP D 400 mm, ex works China US\$/t
Graphite Electrode HP D 300 mm, fob China US\$/t
Graphite Electrode HP D 400 mm, ex works China US\$/t
Graphite Electrode HP D 450 mm, fob China US\$/t
Graphite Electrode HP D 500 mm, fob China US\$/t
Graphite Electrode UHP D 500 mm, fob China US\$/t
Graphite Electrode UHP D 600 mm, fob China US\$/t

durch die verarbeitende Industrie und erfolgt auf Bestellbasis; die geforderten Produktqualitäten und damit der Preis unterliegen den Verhandlungen zwischen Produzenten und Abnehmern. Zu den veröffentlichten Preisen für synthetischen Graphit zählt eine Reihe von Elektrodenspezifikationen (Tab. 4). Preise für weitere Produkte aus synthetischem Graphit wie Anodenmaterial und Formteile werden nicht veröffentlicht. Die Preisbildung erfolgt hier unabhängig vom Markt für Graphitelektroden. Als kundenspezifische Produkte liegen die Preise für Spezialgraphite im Allgemeinen höher als für Graphitelektroden, wobei auch innerhalb dieser Kategorie Preisunterschiede bestehen.

Eine relative Tiefpreisphase für Graphitelektroden in den Jahren 2012 bis 2016 war vor allem begründet durch niedrige Preise für Ausgangsmaterialien sowie niedrige Energiekosten. Die Graphitelektrodenproduktion und die weltweite Elektrostahlproduktion zeigen auch für diesen Zeitraum eine Korrelation; die stagnierende weltweite Stahlproduktion und der anteilig sinkende Rückgang der Elektrostahlherstellung insbesondere in China wirkten sich negativ auf die Preise von Graphitelektroden aus. Zusätzlich führten niedrige Preise für Eisenerz zu einem anteiligen Anstieg der Stahlproduktion über den Hochofenprozess. Auch im Jahr 2020 wurden lediglich knapp 9 % der chinesischen Stahlproduktion über die Elektrostahlroute hergestellt; weltweit liegt der Anteil des im Lichtbogenofen hergestellten Stahls bei knapp 26 % (WORLD STEEL ASSOCIATION 2021).

Die Rohmaterial- sowie Energiepreise sind ausschlaggebende Faktoren für die Produktionskosten von Graphitelektroden und fließen ultimativ

in die Preisgebung mit ein. Abhängig von den jeweiligen Produzenten bzw. der globalen Produktionsregion werden als Rohmaterialien vor allem petroleum- oder kohlebasierte Nadelkokse eingesetzt, welche ihren eigenen unterschiedlichen Preisdynamiken unterliegen. Die Energiekosten variieren ebenfalls je nach Produktionsland und eingesetzter Energiequelle und können im Rahmen von bspw. den weltweiten Ölpreisen oder der Energiepolitik des jeweiligen Produzentenlandes schwanken. Eine Kombination dieser verschiedenen Dynamiken zusammen mit neuen Umweltauflagen für kohlebasierte Nadelkokswerke führte im Jahr 2017 zu einem Preisanstieg für Graphitelektroden. Einige Produzenten gaben die erhöhten Produktionskosten durch Preisaufschläge weiter. Zwar entspannte sich die Situation gegen Ende des Jahres erneut, bedingt durch eine typischerweise geringere Nachfrage während der Wintermonate sowie die Wiederaufnahme von aufgrund von Umweltauflagen geschlossenen Werken. Die Preise blieben jedoch weiterhin oberhalb der historischen Niedrigpreisphase des vergangenen Jahrzehnts (Abb. 13).

2.2 Nachfrage

Daten zur Nachfrage von synthetischem und natürlichem Graphit liegen für den Zeitraum 2008–2018 vor. Im Jahr 2018 lag die Gesamtnachfrage nach Graphit bei 2,5 Mio t; hiervon entfielen 62 % auf den Bedarf von synthetischem Graphit (ROSKILL 2019) (Abb. 14). Der Bedarf an Flockengraphit stieg im betrachteten Zeitraum jährlich um durchschnittlich fast 7 %, die Wachstumsrate lag damit mehr als doppelt so hoch wie für den Gesamtgraphitmarkt. Die höchsten Wachstums-

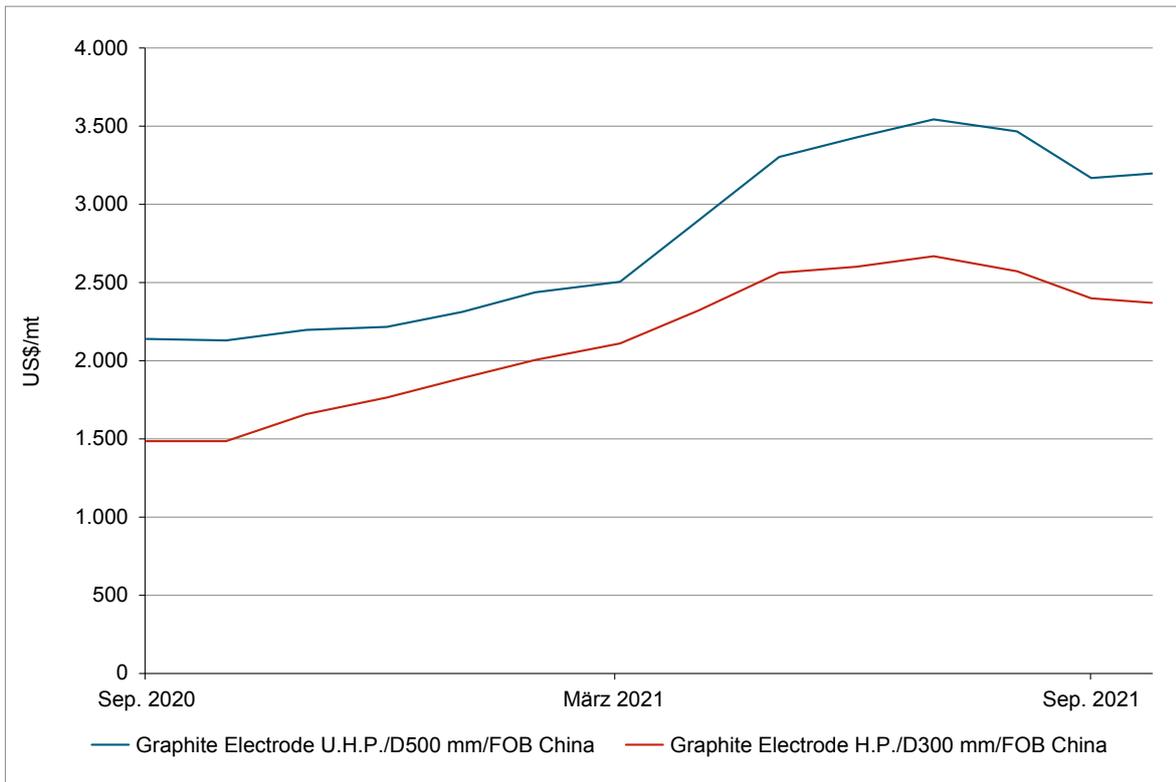


Abb. 13: Nominalpreisverläufe für ausgewählte Spezifikationen von synthetischem Graphit (ASIANMETAL 2021)

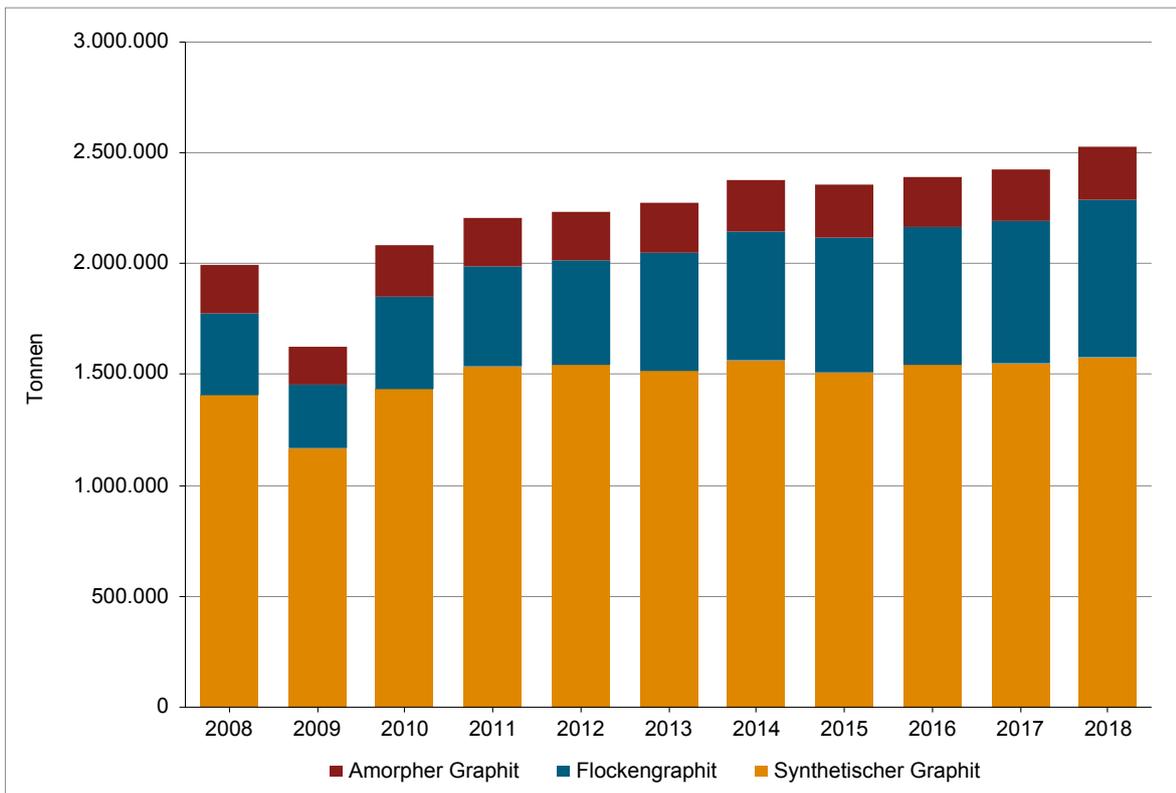


Abb. 14: Graphitnachfrage für den Zeitraum 2008–2018 (ROSKILL 2019)

raten entfielen für sowohl natürlichen als auch synthetischen Graphit auf den Anwendungsbe- reich der Batterien (Abb. 15, Abb. 17). Mit Abstand wichtigste Nachfrageregion ist Asien, hier ist insbesondere China als weltweit größter Graphit- nachfrager zu nennen.

Natürlicher Graphit

Im Jahr 2018 lag die Nachfrage nach natürlichem Graphit bei 947.000 t. Gegenüber einem Bedarf von 583.000 t im Jahr 2008 ist dies ein Zuwachs von im Durchschnitt 5 % pro Jahr (ROSKILL 2019). Mit 709.000 t im Jahr 2018 entfielen geschätzte 75 % des globalen Naturgraphitbedarfes auf Flockengraphit. Für den Naturgraphitmarkt insgesamt sowie für den Flockengraphitbedarf im Einzelnen sind Feuerfestmaterialien das mit Abstand wichtigste Marktsegment. Hier ist insbesondere die chinesische Feuerfestindustrie zu nennen, zwei Drittel der weltweit produzierten Feuerfest-

werkstoffe aus Graphit stammen aus chinesischer Produktion. Die durchschnittlichen jährlichen Wachstumsraten für Feuerfestmaterialien lagen bei 5,6 % (Flockengraphit) bzw. 2,3 % (amorpher Graphit).

Der Bedarf an Naturgraphit für den Einsatz in Batterieanwendungen hat in den vergangenen Jahren enorme Zuwächse erfahren und sich nahezu verfünffacht: von 28.000 t (2008) auf 133.000 t über den betrachteten Zeitraum. Diese Steigerungsrate ist fast ausschließlich auf den Einsatz von Flockengraphit zurückzuführen, welcher im Zuge der Elektromobilität zunehmend in Lithium-Ionen-Batterien in der Automobilindustrie eingesetzt wird. Es gilt jedoch zu beachten, dass sich diese Zahlen auf den Rohstoffbedarf für die Herstellung von batterietauglichen Qualitäten für den Einsatz als Anodenmaterial beziehen. Diese Prozessschritte sind zum Teil mit erheblichen Verlusten verbunden, so dass der letztendliche Materialeinsatz in den Batterien deutlich niedriger liegt (vgl. 1.4.3).

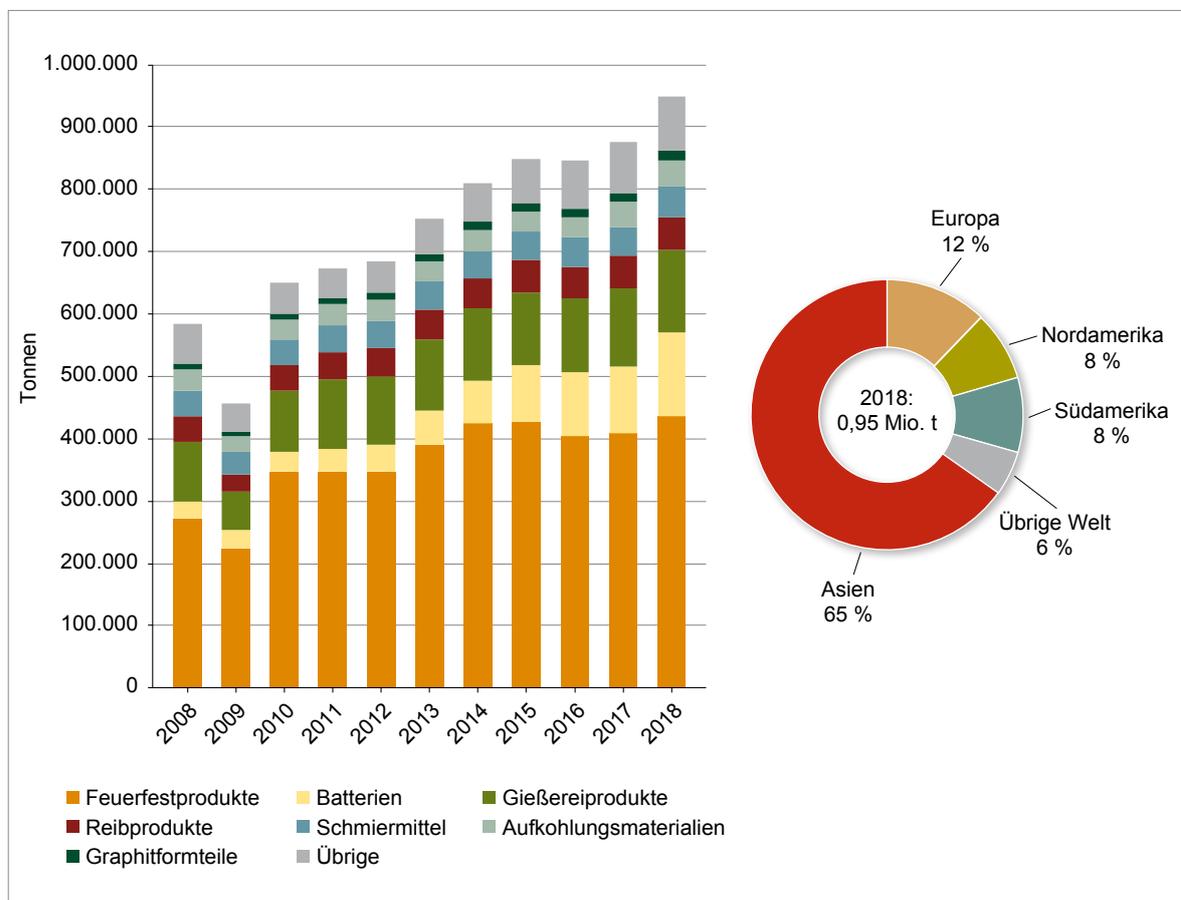


Abb. 15: Bedarf von natürlichem Graphit nach Anwendungen für den Zeitraum 2008–2018 (ROSKILL 2019)

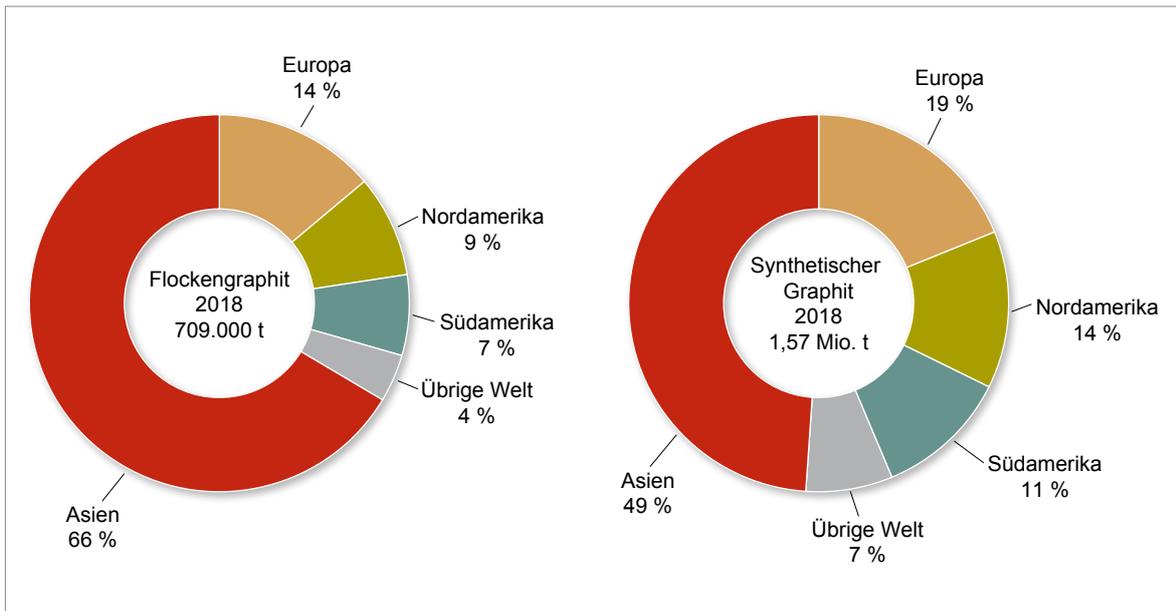


Abb. 16: Die wichtigsten Nachfrageregionen für Flockengraphit sowie synthetischen Graphit im Jahr 2018 (Roskill 2019)

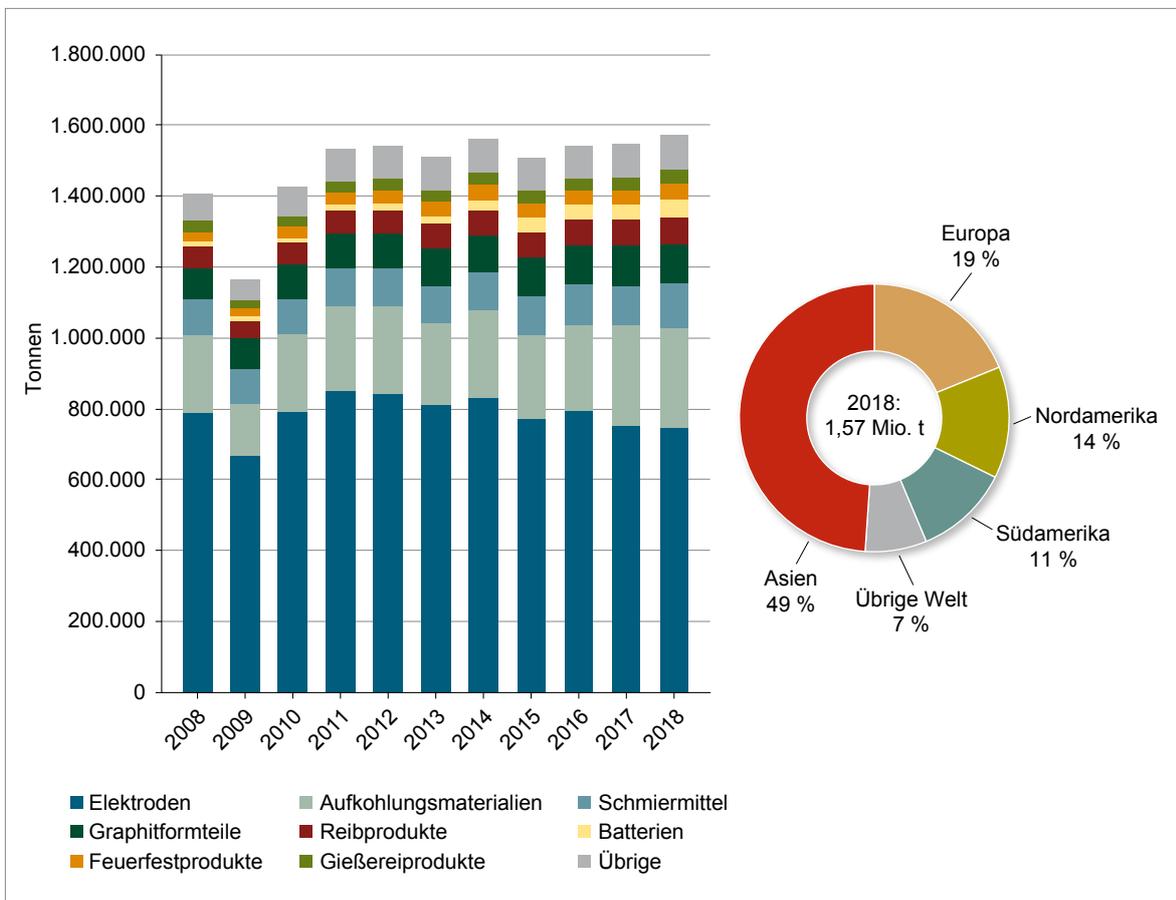


Abb. 17: Bedarf von synthetischem Graphit nach Anwendungen für den Zeitraum 2008–2018 (Roskill 2019)

Synthetischer Graphit

Der Bedarf von synthetischem Graphit entspricht für gewöhnlich der jährlichen Produktion in einem gegebenen Jahr und lag für das Jahr 2018 bei rund 1,57 Mio. t (ROSKILL 2019) (Abb. 17). Die Herstellung erfolgt auf Vertragsbasis und spiegelt somit den ungefähren Verbrauch durch die jeweiligen Anwendungen wider. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate betrug über den betrachteten Zeitraum 1,14 % und liegt damit deutlich unter der durchschnittlichen Wachstumsrate aller Graphittypen. Im Vergleich zum Naturgraphitbedarf wirkte sich die Weltwirtschaftskrise 2008/2009 ungleich stärker auf den Bedarf von synthetischem Graphit aus, u. a. bedingt durch den Rückgang der weltweiten Stahlproduktion. Zwar ging der Verbrauch durch Graphitelektroden als wichtigstes Anwendungsfeld im betrachteten Zeitraum lediglich um rund 0,6 % zurück, ist jedoch aufgrund des hohen Anteils von knapp 50 % von signifikanter Bedeutung für den Markt von synthetischem Graphit und das einzige Marktsegment mit negativen Wachstumsraten.

Mit einer Zunahme von durchschnittlich 14 % pro Jahr von 13.000 t im Jahr 2008 auf 50.000 t im Jahr 2018 verfügte der Bedarf von synthetischem Graphit für Batterieanwendungen als einziges Marktsegment über zweistellige Wachstumsraten. Der Einsatz von synthetischem Graphit in Lithium-Ionen-Batterien verzeichnete mit einer durchschnittlichen Wachstumsrate von knapp 22 % pro Jahr den höchsten Zuwachs im Batteriesegment, die Wachstumsraten für den Einsatz von synthetischem Graphit für weitere Batterietypen wie bspw. Nickel-Cadmium- und Blei-Säure-Akkumulatoren bewegten sich im einstelligen Bereich.

Mit einem Anteil von knapp 50 % im Jahr 2018 ist Asien die Region mit dem höchsten Bedarf an synthetischem Graphit (Abb. 16). Dies ist bedingt durch die bedeutenden Stahlindustrien Chinas, Indiens und Japans. China ist des Weiteren das Zentrum der globalen Batterieindustrie, nahezu die gesamte Wertschöpfungskette ist im Land konzentriert. Auch in den Anwendungsbereichen Gießereiprodukte, Schmiermittel und Graphitformteile hat China in den vergangenen Jahren Marktanteile ausgebaut.

2.3 Angebot

2.3.1 Natürlicher Graphit

Im Jahr 2019 wurden weltweit rund 1,67 Mio. t natürlicher Graphit gefördert. Mit Abstand bedeutendstes Förderland für beide Typen von Naturgraphit ist aktuell China; mit 1,23 Mio. t entfielen fast drei Viertel der weltweiten Förderung auf das Land (Abb. 19, Tab. 5). Mosambik hat durch die Inbetriebnahme des aktuell weltweit größten Bergwerkes Balama seit 2018 enorm an Bedeutung gewonnen. Zusammen mit Brasilien sind diese drei Länder für knapp 89 % der Weltbergwerksförderung von Naturgraphit sowie 87 % der globalen Förderung von Flockengraphit im Jahr 2019 verantwortlich.

Insbesondere der Abbau von Flockengraphit hat in den vergangenen zehn Jahren kontinuierlich an Bedeutung gewonnen und stellt aktuell mit 73 % den bedeutendsten Anteil an der Förderung von Naturgraphit dar.

Der Abbau von Ganggraphit wird dem Flockengraphitabbau zugerechnet. Obwohl Ganggraphitlagerstätten weltweit vorkommen, findet eine Förderung aktuell ausschließlich in Sri Lanka statt. Mit 4.000 t Jahresförderung im Jahr 2019 war der Anteil an der Weltbergwerksförderung jedoch gering.

China

China ist mit Abstand bedeutendstes Förderland für Naturgraphit (Tab. 5). Die Förderung von Flockengraphit lag 2019 mit 800.000 t fast doppelt so hoch wie für amorphen Graphit (430.000 t).

Rund 80 % der chinesischen Graphitförderung entfielen auf sechs Regionen: Jixi, Luobei (Heilongjiang), Pingdu (Shandong), Panshi (Jilin), Chenzhou (Hunan), Xinghe (Innere Mongolei). Mit einer geschätzten Jahreskapazität von fast 700.000 t ist insbesondere die Provinz Heilongjiang von Bedeutung.

Der Abbau von Naturgraphit in China hat in den vergangenen drei Jahrzehnten signifikante Veränderungen durchlaufen (Abb. 20). Während bis Anfang der 1990er Jahre die jährliche Förderung

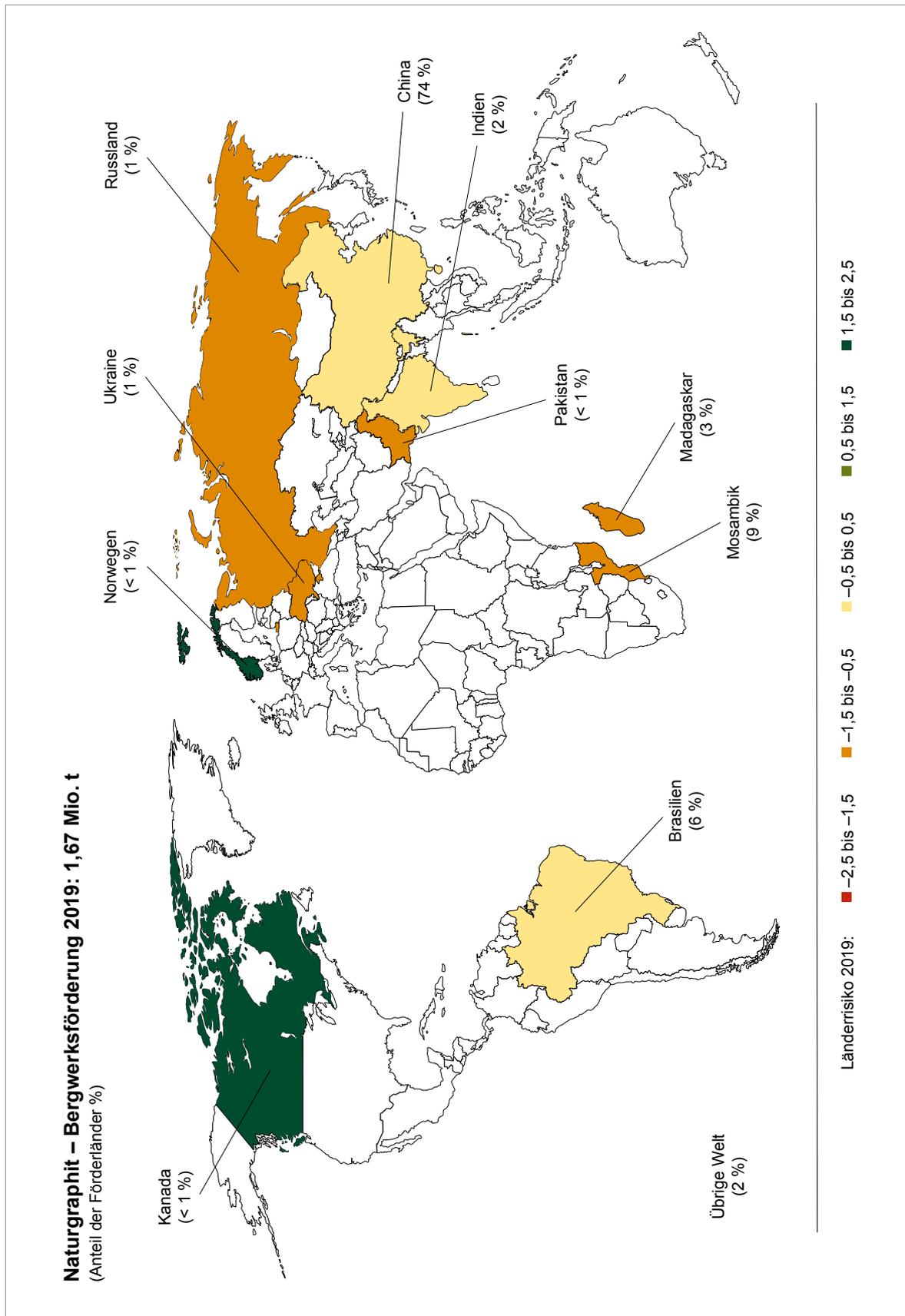


Abb. 18: Bergwerksförderung von Flockengraphit im Jahr 2019 für die zehn größten Förderländer sowie deren Länderrisiko für das Jahr 2019 (BGR 2021, WORLD BANK 2020)

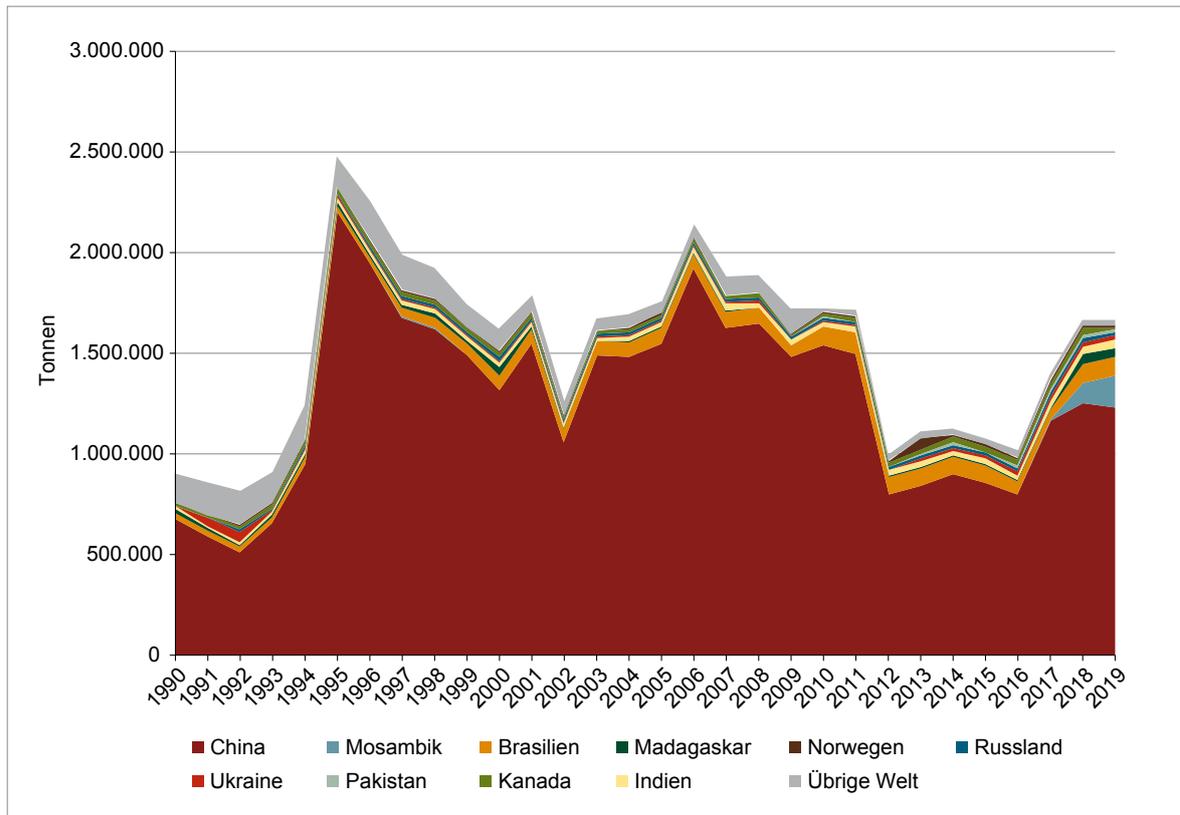


Abb. 19: Weltweite Bergwerksförderung von Naturgraphit für den Zeitraum 1990–2019 (BGR 2021)

Tab. 5: Weltweite Bergwerksförderung von Naturgraphit (BGR 2021, WORLD BANK 2020)

Land	2000	Weltweite Bergwerksförderung Naturgraphit			
		Weltanteil %	2019	Weltanteil %	CAGR 2000–2019
China	1.320.000	81	1.230.000	74	–0,37
Mosambik	0	0	156.800	9	
Brasilien	71.200	4	96.000	6	1,58
Madagaskar	40.300	2	47.000	3	0,81
Indien	25.000	2	39.400	2	2,43
Ukraine	7.400	< 1	20.000	1	5,35
Russland	20.100	1	16.600	1	–1,01
Pakistan	0	< 1	14.000	1	
Kanada	22.600	1	11.000	1	–3,72
Norwegen	8.400	1	9.800	1	0,81
Übrige Welt ¹	106.600	7	25.300	2	–7,29
Weltbergwerks- förderung	1.621.600		1.665.900		0,14
HHI	6.666		5.591		
GLR	–0,37		–0,38		

¹ Mexiko, Vietnam, Simbabwe, Sri Lanka, Türkei, Deutschland, Österreich, Tschechien, Schweden, Namibia, DVR Korea, Tansania

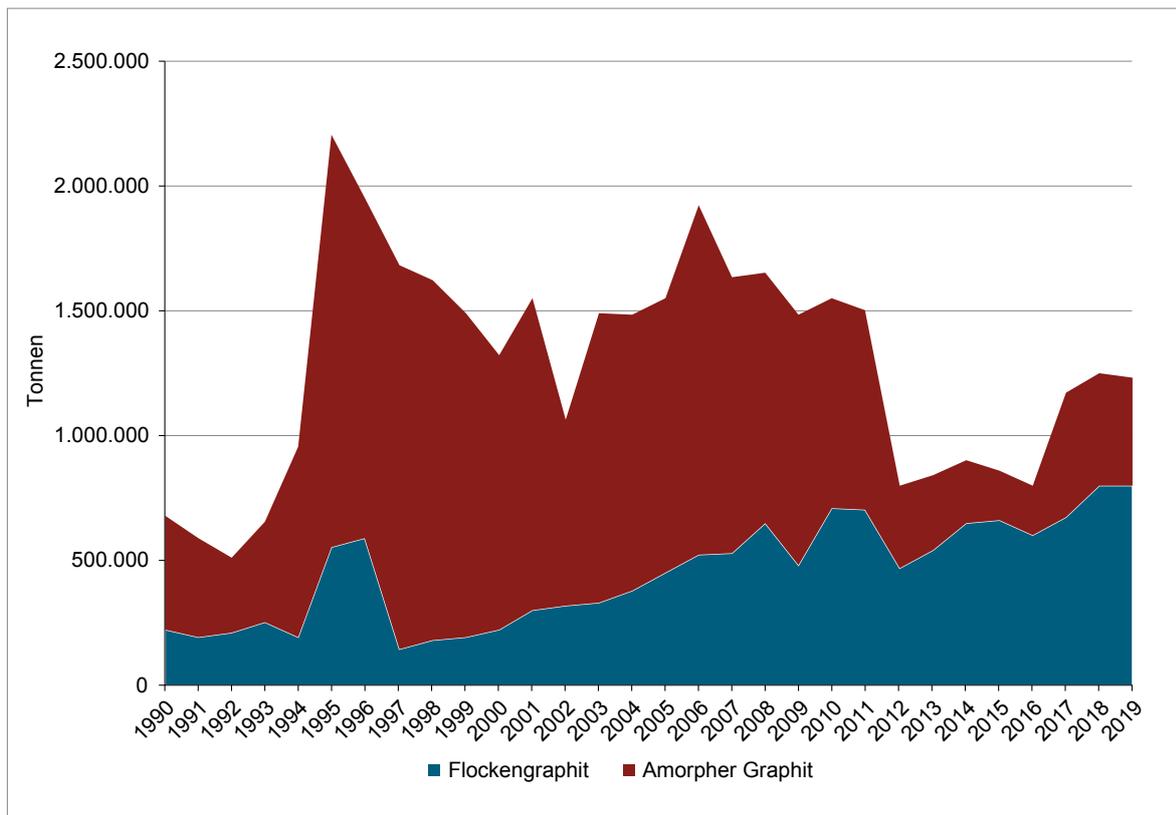


Abb. 20: Chinas Naturgraphitförderung für den Zeitraum 1990–2019 (MNR 2019, ICMNR 2020)

kontinuierlich unter 1 Mio. t lag, verdreifachte sich die Fördermenge Mitte des Jahrzehnts und erreichte einen Höchstwert von über 2,2 Mio. t. Insbesondere der Abbau von amorphem Graphit nahm in diesem Zeitraum sprunghaft zu und hatte bis in die frühen 2000er Jahre zwischen 60 und 80 % Anteil an der Gesamtförderung von Naturgraphit in China. Die Weltwirtschaftskrise und die damit einhergehenden stark fallenden Preise führten zu einer drastischen Drosselung der Förderung beider Graphittypen. Insbesondere der Produktionsrückgang der global stark betroffenen Stahlindustrie als traditionell wichtigstem Nachfragetreiber wirkte sich negativ auf den Graphitbedarf aus und die Förderung ging um knapp die Hälfte zurück. Eine erneut steigende Förderung von Flockengraphit ab 2012 führte zu erstmals höheren Förderraten als für amorphes Graphit. Bestrebungen, den Markt für amorphes Graphit durch Konsolidierungen insbesondere der regional auf die Provinz Hunan konzentrierten Bergwerke wirtschaftlich zu stärken, wurden 2010 eingeleitet, zeigten jedoch erst ab 2017 mit erneut leicht steigenden Fördermengen Erfolg. Konsolidierungen von Unternehmen von Flockengraphit ähnlich der

Zusammenschlüsse von Unternehmen von amorphem Graphit werden aufgrund der weiträumigen geografischen Verteilung der Bergwerke nur begrenzt durchzusetzen sein.

Die aktuell bedeutendsten Förderregionen für Flockengraphit in China sind Jixi und Luobei in der Provinz Heilongjiang; etwa 60 % der chinesischen Flockengraphitförderung kommen aus dieser Provinz. Weitere wichtige Standorte mit jeweils rund 10 % Anteil sind die Region Pingdu in der Provinz Shandong und Xinghe in dem Autonomen Gebiet Innere Mongolei. Geringe Mengen werden außerdem in den Provinzen Hebei, Henan, Sichuan, Shaanxi und Shanxi gefördert. Das aktuell größte Bergwerk gemessen an der Jahreskapazität ist Yunshan in der Provinz Heilongjiang (Tab. 6).

China besitzt einen Anteil von knapp 95 % an der weltweiten Förderung von amorphem Graphit. Der Abbau ist stark konzentriert und aktuell hauptsächlich auf die Region Chenzhou in der Provinz Hunan sowie die Region Panshi in der Provinz Jilin beschränkt. Das staatseigene Unternehmen South Graphite, etabliert im Zuge der

Tab. 6: Jahreskapazitäten chinesische Flockengraphitproduzenten (RosKILL 2019)

Unternehmen	Provinz/ Autonomes Gebiet	Region	Jahreskapazität (t)
Luobei County Yunshan Graphite	Heilongjiang	Luobei	200.000
Aoyu Graphite Group	Heilongjiang	Luobei	120.000
Jixi Changyuan Mining	Heilongjiang	Jixi	100.000
Jixi Pucheng Graphite	Heilongjiang	Jixi	100.000
Qingdao Haida Graphite	Shandong/Heilongjiang	Pindgu, Luobei	100.000
Qingdao Jinhui Graphite	Shandong	Pingdu, Weifang	100.000
Heilongjiang Pride New Material	Heilongjiang	Jixi	80.000
Yixiang Graphite Group	Heilongjiang	Luobei	80.000
Inner Mongolia Rising New Energy	Innere Mongolei	Xinghe	60.000
Qingdao Heilong Graphite	Shandong/Heilongjiang	Pindgu	60.000
Jixi Jinhui Graphite	Heilongjiang	Jixi	50.000
Qingdao Xinghe Graphite	Shandong	Pingdu	50.000
Luobei South Sea Graphite	Heilongjiang	Luobei	45.000
Luobei Fuda Graphite	Heilongjiang	Luobei	40.000
Qingdao Hensen Graphite	Shandong	Laixi	38.000
Qingdao Tiansheng Graphite	Shandong	Laixi	30.000
Qingdao Yanxin Graphite	Shandong	Pindgu	28.000
Aoyu Graphite Group	Heilongjiang	Jixi	20.000
Aoyu Graphite Group	Innere Mongolei		20.000
China Sciences Hengda Graphite	Hubei	Yichang	20.000
Jixi Fenglu Graphite	Heilongjiang	Jixi	20.000
Jixi Tiansheng Nonmetal Industry	Heilongjiang	Jixi	20.000
Luoyang Guangqi Industry & Trade	Henan	Luoyang	15.000
Xinghe Xinyi Graphite	Hebei	Xinghe	15.000
Summe			1.411.000

Konsolidierungen, kontrolliert aktuell den Großteil der Bergwerke und weiterverarbeitenden Betriebe für amorphes Graphit in Hunan. Der Abbau und die Weiterverarbeitung in der Provinz Jilin werden vorrangig durch das Unternehmen Jilin Graphite Industry betrieben.

Mosambik

Mit einer Förderung von 156.800 t war Mosambik zweitgrößtes Förderland von Naturgraphit im Jahr 2019. Das Land verfügt aktuell über zwei aktive

Bergwerke – Balama und Ancuabe – in der Provinz Cabo Delgado im Norden des Landes.

Das Bergwerk Balama in der Provinz Cabo Delgado in Mosambik wird betrieben durch Twigg Exploration and Mining, einer Tochtergesellschaft des australischen Unternehmens Syrah Resources, und ist aktuell das weltweit größte Graphitbergwerk. Die geplante Kapazität von 350.000 t pro Jahr entspricht rund einem Fünftel der aktuellen weltweiten Naturgraphitförderung (SYRAH RESOURCES 2021a). Aus produktionstechnischen Gründen sowie aufgrund widriger Markt-

bedingungen liegt das Fördervolumen jedoch aktuell noch deutlich niedriger. Nach Aufnahme der Förderung im Jahr 2017 verlief das Hochfahren der Produktion schleppend und lag 2018 bei lediglich 73.000 t. Die Förderung lag 2019 bei 163.000 t und wurde aufgrund einer niedrigen Nachfrage sowie Restriktionen infolge der weltweiten COVID-19-Pandemie in der zweiten Jahreshälfte 2020 vorübergehend komplett eingestellt. Im März 2021 erfolgte die erneute Produktionsaufnahme. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Fördermengen für 2021 noch deutlich unter dem Präpandemieniveau liegen werden.

Das Bergwerk Ancuabe ist zu 90 % im Besitz des Unternehmens GK Ancuabe, Teil der Graphitsparte AMG Graphite von Advanced Metallurgical Group mit Sitz in Amsterdam (AMG N.V.). Die verbleibenden 10 % werden vom mosambikanischen Staatsunternehmen Empresa Moçambicana de Exploração Mineira (EMEM) gehalten. Ein Abbau der Lagerstätte findet bereits seit den 1990er Jahren statt, das Bergwerk befand sich jedoch aufgrund schwacher Marktbedingungen zeitweise im Wartungs- und Instandhaltungsmodus. Nach erneuten Investitionen in die Bergbau- und Aufbereitungsanlagen durch GK Ancuabe erfolgte eine erneute Förderungsaufnahme im Jahr 2017. Die Kapazität des Bergwerkes liegt bei 9.000 t pro Jahr (AMG 2020); die Förderung im Jahr 2019 lag mit 3.800 t deutlich darunter. Abnahmeverträge über die gesamte Produktion bestehen mit dem Mutterkonzern und werden zur Verarbeitung und Veredelung zum Tochterunternehmen Graphit Kropfmühl in Deutschland verschifft.

Brasilien

Brasilien ist ein bedeutender Flockengraphitproduzent und war bis zur Eröffnung des mosambikanischen Bergwerkes Balama das bedeutendste Förderland weltweit nach China. Zwei Unternehmen sind aktuell in der Förderung und Weiterverarbeitung von Flockengraphit aktiv.

Das brasilianische Unternehmen Nacional de Grafite als der größte Graphitproduzent des Landes und eines der größten im Graphitabbau tätigen Unternehmen weltweit betreibt die Bergwerke Itapecerica, Pedra Azul und Salto da Divisa im Bundesstaat Minas Gerais, die zusammen über 80 % der brasilianischen Förderung ausmachen

(NACIONAL DE GRAFITE 2020). Zur Produktion gehören Konzentrate unterschiedlicher Flockengrößen, die Kohlenstoffgehalte liegen bei bis zu 94 %.

Das ebenfalls brasilianische Unternehmen Extrativa Metalquímica betreibt das Bergwerk Maiquinique im Bundesstaat Bahia, die aktuelle Förderung wird auf knapp 14.000 t pro Jahr geschätzt.

Indien

Indien förderte 2018 rund 32.000 t Naturgraphit, davon etwa 20.000 t (90 %) Flockengraphit. Im Jahr 2018 befanden sich neun Bergwerke im Abbau; drei Produzenten waren für über 80 % der indischen Förderung verantwortlich (INDIA MINISTRY OF MINES 2020). Der Bundesstaat Odisha ist mit knapp 60 % Anteil an der Gesamtförderung aktuell die wichtigste Förderregion, gefolgt von Jharkhand und Kerala. Ein Großteil der aktiven Graphitbergwerke hat Kapazitäten von weniger als 5.000 t pro Jahr und der Abbau erfolgt meist in relativ kleinen Tagebaubetrieben. Indiens größtes Graphitbergwerk befindet sich in der Region Sivaganga im Bundesstaat Tamil Nadu und wird vom staatseigenen Unternehmen Tamil Nadu Minerals (TAMIN) betrieben. Das Bergwerk hat eine Kapazität von 8.400 t pro Jahr, zuletzt lagen die Förderraten jedoch mit rund 5.000 t deutlich darunter.

Die Erzgehalte der indischen Bergwerke liegen im Durchschnitt bei 10 %, die Kohlenstoffgehalte der Konzentrate liegen nach Angaben des indischen Bergbauministeriums überwiegend zwischen 70 und 80 % und damit deutlich unter den Konzentratgehalten anderer Produzenten weltweit. Einige Produzenten erreichten jedoch nach wiederholter Flotation auch Gehalte von bis zu 92 bis 95 % (INDIA MINISTRY OF MINES 2020).

Kanada

Kanadas Naturgraphitförderung wird für das Jahr 2019 auf etwa 11.000 t Flockengraphit geschätzt, genaue Förderzahlen werden nicht veröffentlicht. Das Bergwerk Lac-des-Îles des internationalen Konzerns Imerys in der Provinz Québec ist für den überwiegenden Teil der Förderung verantwortlich. Das Material wird zur Aufbereitung in das 250 km entfernte Terrebonne transportiert, wo es mit

zusätzlich importiertem Material zu einer Reihe von Graphitprodukten aufbereitet und verarbeitet wird.

Die Lagerstätte Black Crystal in der Provinz British Columbia ist seit den 1960er Jahren bekannt. Ein erneuter Abbau erfolgt seit 2008 durch das Unternehmen Eagle Graphite; die Förderung beläuft sich auf 7.500 t (EAGLE GRAPHITE 2020). Die Kohlenstoffgehalte der produzierten Konzentrate liegen zwischen 94 und 99 %

Madagaskar

Madagaskar ist ein bedeutender Produzent von Flockengraphit. Mit einer Förderung von 47.000 t im Jahr 2019 lag das Land im weltweiten Vergleich an vierter Position. Die madagassischen Lagerstätten sind bekannt für ihre Flockengröße sowie ihre -qualität und für einen relativ hohen Anteil an großen Flockengrößen sowie hohe Kohlenstoffgehalte (CAMERON & WEIS 1960, SCHERBA et al. 2018). Die Erzgehalte liegen für gewöhnlich um die 10 % C, vereinzelt auch höher.

Drei Unternehmen sind im Graphitabbau in Madagaskar aktiv. Etablissements Gallois, auch unter dem Namen Madagraphite bekannt, ist ein lokales Familienunternehmen und betreibt die drei Bergwerke Antsirakambo, Marovintsy und Ambalafokata sowie eine Aufbereitungsanlage an der Nordostküste Madagaskars in der Provinz Tamatave. Das geförderte Material wird durch das Unternehmen Elate Graphite vermarktet und vertrieben. Die jährliche Gesamtfördermenge für alle drei Bergwerke liegt laut Unternehmensangaben bei etwa 10.000 t (ETABLISSEMENTS GALLOIS 2006). Für die beiden Lagerstätten Antsirakambo und Marovintsy sind aktuell Betriebserweiterungen geplant, die eine Förderung von 80.000 t bzw. 60.000 t ab 2020 vorsehen.

Ebenfalls an der Nordostküste Madagaskars befindet sich das Bergwerk Graphmada, betrieben durch das australische Bergbauunternehmen Bass Metals. Die jährlichen Kapazitäten sind mit 20.000 t angegeben. Seit 2020 befindet sich Graphmada im Wartungs- und Instandhaltungsmodus.

Die Lagerstätte Sahamamy, betrieben von Tirupati Graphite, befindet sich seit Januar 2020 erneut im Abbau. Das Bergwerk verfügt über eine Aufbereitungsanlage mit einer Jahreskapazität von 3.000 t,

eine Aufrüstung auf bis zu 18.000 t pro Jahr ist in Planung (vgl. Kap. 2.8.1).

Ukraine

Die Graphitproduktion der Ukraine ist seit 2012 stark gestiegen, im Jahr 2019 wurden rund 20.000 t Flockengraphit gefördert.

Im Bergwerk Zavalivskiy im Zavalye Graphitkomplex in der Zentralukraine wird seit 1934 Graphitabbau durch das Unternehmen Zavalivskiy betrieben. Das Bergwerk ist aktuell für 100 % der ukrainischen Graphitförderung verantwortlich. Der Zavalye Graphitkomplex ist eine der größten Graphitlagerstätten Europas und gehört mit einer Kapazität von 30.000 t Flockengraphit pro Jahr zu einer der größten Förderstätten weltweit. Die Förderung für das Jahr 2019 liegt mit geschätzten 20.000 t jedoch darunter. Der Abbau erfolgt im Tagebau, die durchschnittlichen Graphitgehalte liegen nach Unternehmensangaben zwischen 6 und 10 % (ZAVALIVSKIY GRAPHITE 2012). Insgesamt vertreibt das Unternehmen rund 25 verschiedene Graphitprodukte mit Kohlenstoffgehalten zwischen 85 und 99,5 % und einem breiten Spektrum an Flockengrößen.

Das australische Unternehmen Volt Resources gab Anfang 2021 eine geplante Beteiligung von 70 % am Unternehmen Zavalivskiy bekannt. Volt Resources entwickelt derzeit in Tansania sein Graphitprojekt Bunyu, durch den Einstieg bei dem ukrainischen Bergwerksproduzenten avanciert Volt Resources vom Explorations- zum Bergbauunternehmen.

Russland

Russland ist sowohl im Flockenabbau als auch in der Förderung von amorphem Graphit aktiv. Für das Jahr 2019 wird die Gesamtförderung auf etwa 25.000 t geschätzt. Im Bergwerk Taiginka (auch Taiginsky) in der Oblast Tscheljabinsk wird seit 1942 Flockengraphit im Tagebau abgebaut. Der Betreiber, das russische Unternehmen Uralgraphit (auch Taiginsky Mining and Processing Plant LLC), gibt die jährlichen Kapazitäten mit 15.000 t an (URALGRAPHITE o. J.); zur aktuellen Förderung liegen jedoch keine Angaben vor. Laut Unternehmenswebsite unterhält Uralgraphite mit der

Ural Graphit GmbH eine deutsche Vertriebsdependance (Export Department) in Offenbach am Main.

Amorpher Graphit wird seit 2002 von dem russischen Unternehmen Krasnojarskgrafit in der Lagerstätte Kureyka in der Region Krasnojarsk in Sibirien gewonnen. Der Abbau erfolgt im Tagebau, die Aufbereitung bergwerksnah. Die jährliche Kapazität wird mit 15.000–20.000 t angegeben (KRASNOYARSK GRAFIT 2017); die aktuelle Kapazitätsauslastung liegt jedoch laut Unternehmensangaben mit 30–50 % deutlich darunter.

Pakistan

Die Förderung von Naturgraphit im Jahr 2019 wird für Pakistan auf 14.000 t geschätzt (ROSKILL 2019). Details zu Lagerstätten und Abbaubetrieben liegen nicht vor.

Norwegen

Das Bergwerk Trælen in Nordnorwegen ist eines der wenigen aktiven Graphitbergwerke in Europa und verantwortlich für die gesamte norwegische Förderung. Mit einer jährlichen Förderkapazität von bis zu 16.000 t Flockengraphit ist Trælen das aktuell größte europäische Bergwerk und gehört aufgrund seiner hohen Kohlenstoffgehalte und Flockengröße zu den bedeutenden Graphitlagerstätten weltweit. Nach Auserzung der bisherigen Grube Skaland durch den damaligen Betreiber Skaland Graphite begann 2006 der Abbau im heutigen Bergwerk Trælen, etwa 12 km nordwestlich von Skaland. Im Jahr 2019 übernahm das australische Bergbauunternehmen Mineral Commodities Ltd. die Lagerstätte und ist ebenfalls in bergwerksnaher Exploration aktiv. Die Produktion wird für 2019 vom Unternehmen mit etwa 10.000 t angegeben (MINERAL COMMODITIES 2021).

Mexiko

Die mexikanische Graphitförderung ist auf amorphes Graphit beschränkt und findet im Bundesstaat Sonora in zwei Bergwerken statt. Betreiber ist eine mexikanische Tochtergesellschaft des US-amerikanischen Unternehmens Asbury Carbon, einem Graphitproduzenten mit eigener Weiter-

verarbeitung zu einer Reihe von Graphitspezialprodukten. Die Förderung im Jahr 2019 lag nach Angaben der mexikanischen Behörden bei knapp 2.300 t (SGM 2020).

Übrige Welt

Eine Förderung von Naturgraphit findet in einer Reihe von weiteren Ländern statt; mit einer Förderung von knapp 23.000 t ist die Bedeutung für den Weltmarkt jedoch untergeordnet.

Sri Lanka ist aktuell die einzige Quelle für sog. Ganggraphit. Die Förderung in einer Reihe von aktiven kleinen Bergwerken erfolgt ausschließlich unter Tage, wobei die jeweiligen jährlichen Kapazitäten als gering eingestuft werden. Die gesamte Jahresproduktion für Sri Lanka lag 2019 bei geschätzt 5.000 t. Die Bergwerke Bogala und Aruggquammana werden durch die Bogala Graphite Lanka Plc betrieben, einer Tochtergesellschaft der Graphitsparte der AMG, die 90,4 % Anteile hält. Die jährlichen Kapazitäten werden zusammen auf weniger als 5.000 t Konzentrat geschätzt, ein Großteil des Materials wird zur Weiterverarbeitung nach Deutschland verschifft.

Graphit Kropfmühl betreibt im niederbayrischen Hauzenberg das einzige aktive Graphitbergwerk **Deutschlands** und ist ebenfalls Teil der AMG Graphite. Nach einer über 100-jährigen Abbaugeschichte wurde 2006 die Förderung eingestellt und das Unternehmen wenig später durch den niederländischen Konzern AMG Advanced Metallurgical Group übernommen, welcher mit dem Erwerb der Graphit Kropfmühl sein Portfolio um Graphit erweiterte. Im Jahr 2012 wurde die Förderung erneut aufgenommen und beträgt aktuell um die 1.000 t Flockengraphit pro Jahr. Die angeschlossene Aufbereitungsanlage verarbeitet neben dem vor Ort geförderten Erz ebenfalls Konzentrate aus den Bergwerken des Unternehmens in Mosambik, Sri Lanka und China.

Die **DVR Korea** fördert sowohl amorphes als auch Flockengraphit, Einzelheiten über den Graphitabbau im Land liegen nicht vor. Die Gesamtförderung wird 2019 auf 6.000 t geschätzt und es ist davon auszugehen, dass die gesamte Förderung für die Aufbereitung und Weiterverarbeitung nach China ausgeführt wird.

Der Graphitabbau in **Simbabwe** unterlag in den vergangenen drei Jahrzehnten großen Schwankungen. Während bis Anfang der 2000er Jahre noch bis zu 10.000 t Naturgraphit pro Jahr gefördert wurden, wird die Fördermenge 2019 vom USGS (2020) auf lediglich 2.000 t geschätzt. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die aktuelle Förderung niedriger liegt. Lynx, das einzige Graphitbergwerk des Landes rund 200 km nordwestlich von Harare, befindet sich nach dem Verkauf seiner Anteile durch die Graphit Kropfmühl seit 2017 vollständig im Besitz der Zimbabwe Mining Development Corporation.

Die Förderung der **Türkei** umfasst ausschließlich amorphes Graphit und lag 2019 bei weniger als 1.000 t. Der Abbau erfolgt hauptsächlich in der Lagerstätte Oysu in der Provinz Kütahya durch das türkische Unternehmen Karabacak Madencilik Sanayi ve Dış Ticaret Turizm A.Ş., die jährlichen Kapazitäten liegen bei 54.000 t (KARABACAK 2021).

Österreich ist ebenfalls ein Produzent von amorphem Graphit, mit etwa 1.000 t ist die Förderung jedoch relativ gering. Einziges aktives Bergwerk ist die Lagerstätte Kaisersberg in der Nähe von Leoben, betrieben durch den Grafitbergbau Kaisersberg.

Vietnams Förderung wird auf etwa 5.000 t Flockengraphit pro Jahr geschätzt. Drei Lagerstätten befinden sich im Abbau: Lao Cai, Bao Ha und Mau A.

Namibia verfügte mit dem Bergwerk Okanjande bis 2018 über eine Flockengraphitförderung. Das Bergwerk wurde über ein Joint Venture zwischen Imerys Graphite & Carbon und Gecko Namibia betrieben. Die Förderung wurde 2017 aufgenommen, jedoch führten Probleme im Abbau und der Aufbereitung zu einer Stundung des Bergwerkes.

2.3.2 Synthetischer Graphit

Im Jahr 2018 wurden weltweit rund 1,57 Mio. t synthetischer Graphit produziert; das entspricht einem Anteil von knapp 51 % Anteil am Gesamtangebot von Graphit. Synthetischer Graphit wird überwiegend kundenspezifisch hergestellt, somit bestimmt die Höhe der Nachfrage unmittelbar die Angebotsmenge. Die Produktion von synthetischem Graphit ist heute allgemein eng an die

Entwicklung der weltweiten Stahlindustrie und im Besonderen an die Nachfrage nach UHP-Elektroden für die Herstellung von Elektrostahl gekoppelt; im Jahr 2019 lag der Anteil der Stahlproduktion über die Elektrostahlroute an der Gesamtrohstahlproduktion bei knapp 26 % (WORLD STEEL ASSOCIATION 2021). Die weltweite Kapazität für Graphitelektroden lag im Jahr 2018 bei knapp 1,8 Mio. t (ROSKILL 2019).

Verglichen mit Naturgraphit weist die Produktion von synthetischem Graphit eine geringere Länderkonzentration auf und erfolgt aktuell neben China vorrangig in Japan, den USA und Indien (Abb. 21). Seit 2008 ist die Produktion im Durchschnitt jährlich um etwa 1 % gestiegen, dies entspricht einer Produktionszunahme von 168.000 t zwischen 2008 und 2018 (Tab. 7). Insbesondere China, aber auch Russland und Indien weiteten in diesem Zeitraum ihre Produktion aus, während die Produktion in Ländern der westlichen Welt sowie Japan rückläufig war (Abb. 22).

Die Produktion von synthetischem Graphit wird weltweit von nur wenigen Unternehmen dominiert. Die Markteintrittsbarrieren sind hoch; neben der Verfügbarkeit und der adäquaten Qualität der Ausgangsrohstoffe ist eine exzellente Energieinfrastruktur unerlässlich. Hinzu kommen hohe Investitionen für die Errichtung der Produktionsanlagen sowie ein umfassendes technisches Fachwissen auf dem Gebiet. Wichtige Hersteller von synthetischem Graphit sind in Tab. 9 dargestellt.

China

China ist mit einer Produktion von 826.000 t das aktuell bedeutendste Produktionsland für synthetischen Graphit. Das Land hat zwischen 2008 und 2018 seine Produktion kontinuierlich ausgebaut und seinen Anteil an der Weltproduktion signifikant erhöht, während im gleichen Zeitraum Kapazitäten insbesondere in den westlichen Ländern sowie Japan geschlossen wurden (Abb. 22, Tab. 7). Geringere Produktions- und Energiekosten sowie Umweltauflagen stellten bisher einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Produktionsstandorten im Rest der Welt dar. Mit über 80 % stellen Graphitelektroden den aktuell bedeutendsten Anteil an der chinesischen Nachfrage nach synthetischem Graphit. Der Ausbau der heimischen Stahlindustrie und insbesondere der Elektrostahlkapazitäten

Tab. 7: Weltweite Produktion von synthetischem Graphit nach Regionen (Roskill 2019)

Region	Synthetischer Graphit Weltweite Produktion [t]				
	2008	Weltanteil 2008 [%]	2018	Weltanteil 2018 [%]	CAGR 2008–2018
China	562.000	40	826.000	51	3,9
Japan	323.000	23	299.000	18	–0,8
USA	211.000	15	157.000	10	–2,9
Indien	84.000	6	142.000	9	5,4
Russland	28.000	2	71.000	5	9,8
Europa ¹	183.000	13	79.000	4	–8,1
Übrige Welt ²	14.000	1	47.000	3	12,9
Weltweite Produktion	1.405.000		1.573.000		1,44
HHI ³	3.238		3.676		
GLR ³ der Weltbergwerks- förderung	0,27		0,19		

¹ Österreich, Frankreich, Deutschland, Italien, Polen, Spanien, Schweiz, Ukraine

² Brasilien, Kanada, Malaysia, Mexiko, Südafrika, Südkorea

³ basierend auf 92 % der Weltproduktion (ohne Europa und übrige Welt)

hat zu einem erhöhten Bedarf an UHP-Elektroden und somit einer gesteigerten Produktion von synthetischem Graphit geführt. Neben der Produktion von Graphitelektroden verfügt China über bedeutende Kapazitäten für die Herstellung von Formteilen und Pulvern für Batterieanwendungen aus synthetischem Graphit; das Land bestimmt als weltweit wichtigster Produktionsstandort für Batterieanwendungen die Fertigungskette für Graphit als Anodenmaterial.

Zu den wichtigsten Elektrodenproduzenten Chinas zählen Fangda Carbon New Material und Sinosteel Engineering & Technology mit zusammen über 400.000 t Kapazität.

Japan

Japan ist nach China der zweitwichtigste Produzent von synthetischem Graphit. Die Produktion von Graphitelektroden für den Binnenmarkt sowie den Export haben den größten Anteil an der Produktion. Die heimische Batterieindustrie ist ebenfalls von übergeordneter Bedeutung; mit einem Weltanteil von 14 % gehört sie zu den weltweit führenden Produzenten von graphitbasierten Anoden

für den Einsatz in Batterieanwendungen. Wichtige Unternehmen mit Standorten in Japan und international sind Nippon Carbon, Nippon Graphite Group, SEC Carbon, Showa Denko, Toyo Tanso und Tokai Carbon. Mit einer geschätzten jährlichen Kapazität von 0,28 Mio. t stieg das japanische Unternehmen Showa Denko nach Konsolidierungen und durch die Übernahme des Elektroden-geschäfts der deutschen SGL im Jahr 2017 zum weltweit bedeutendsten Elektrodenhersteller auf.

USA

Als weltweit drittgrößter Produzent waren die USA im Jahr 2018 für knapp 10 % der globalen Produktion verantwortlich. Eine Reihe von US-amerikanischen Herstellern von synthetischem Graphit unterhält Produktionsstätten außerhalb des Landes, zusätzlich haben die japanischen Unternehmen Showa Denko und Tokai Carbon sowie die deutsche SGL ebenfalls Produktionsstätten und Tochterunternehmen in den USA. Zwar sind insbesondere GrafTech International und Superior Graphite weltweit bedeutende Produzenten von Graphitelektroden – im Jahr 2020 erfolgten knapp 70 % der US-amerikanischen Rohstahlpro-

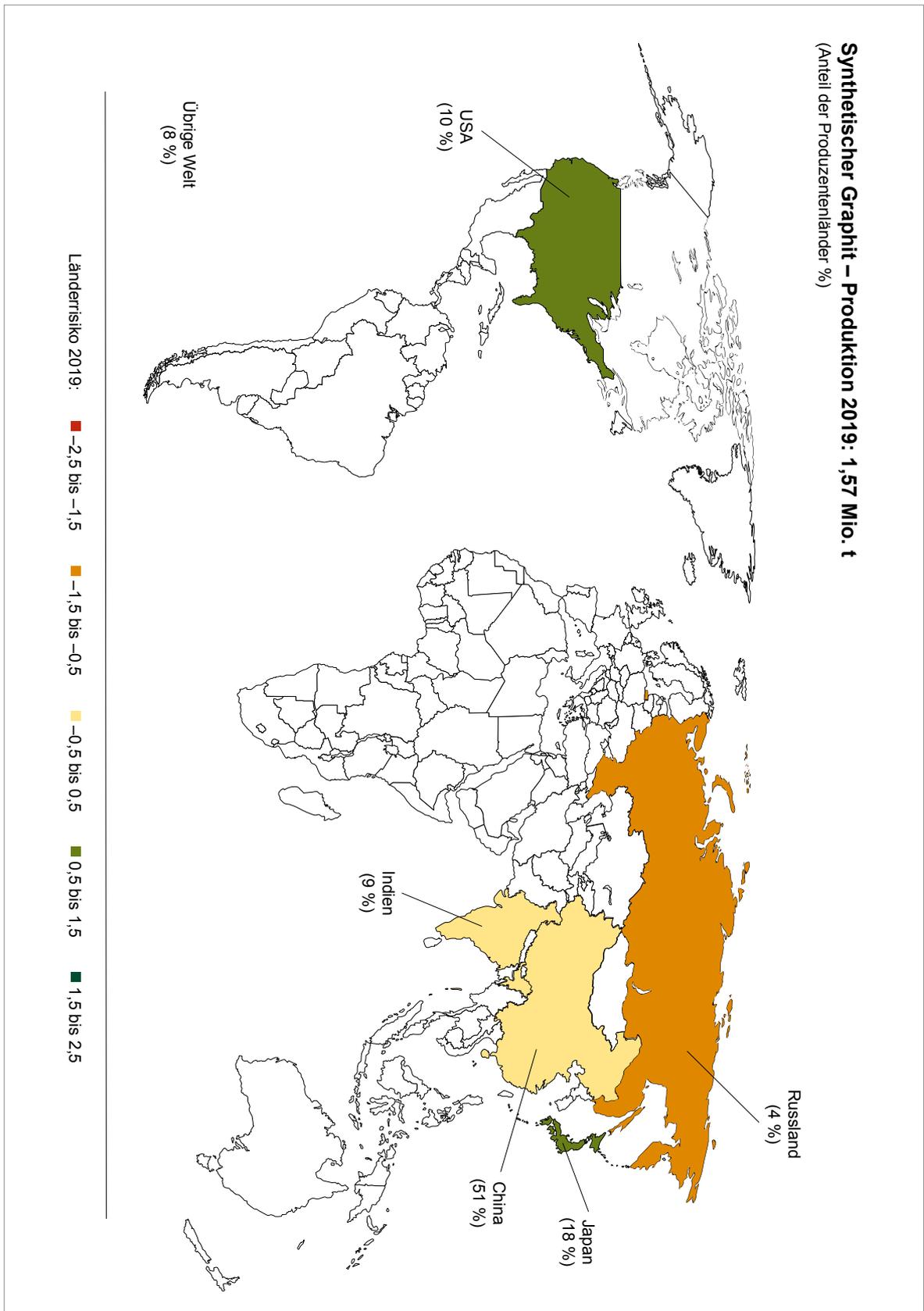


Abb. 21: Weltweite Produktion von synthetischem Graphit im Jahr 2018 für die fünf größten Produzentenländer sowie deren Länderrisiko für das Jahr 2019 (BGR 2021, WORLD BANK 2020)

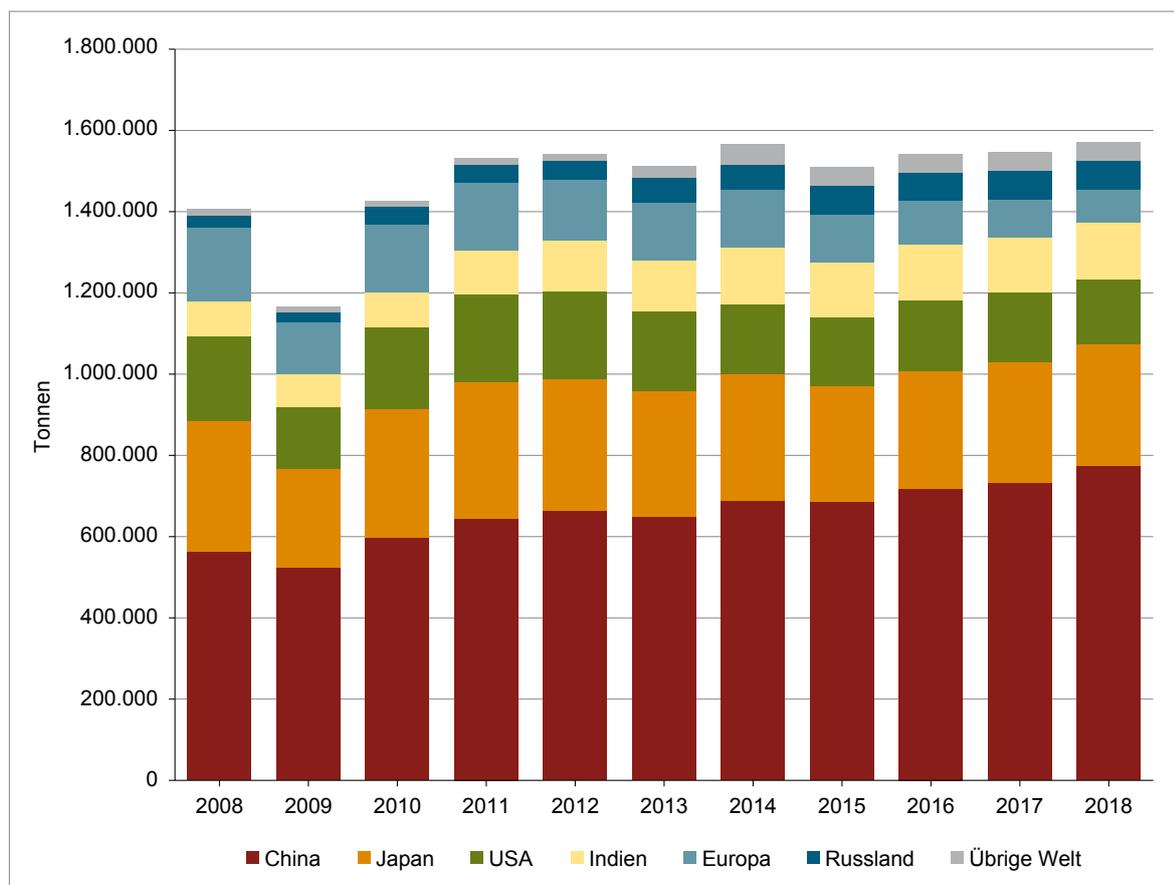


Abb. 22: Weltweite Produktion von synthetischem Graphit für den Zeitraum 2008–2018
(ROSKILL 2019)

duktion über die Elektrostahlroute (WORLD STEEL ASSOCIATION 2021) –, dennoch waren zur Deckung des Bedarfes neben der heimischen Produktion von Graphitelektroden zusätzlich substanzielle Importe erforderlich.

Indien

Die indische Produktion von synthetischem Graphit hat seit 2008 stetig zugenommen und weist mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von über 5 % nach Russland das zweithöchste Wachstum auf. Verantwortlich hierfür ist insbesondere eine zunehmende Graphitelektrodenproduktion als Folge des steigenden heimischen Bedarfs. Mit einer Rohstahlproduktion von 111 Mio. t im Jahr 2020 ist die indische Stahlindustrie nach China die zweitgrößte der Welt. Mit einem Anteil der Elektrostahlproduktion von etwa 56 % zählte Indien nach den USA zu den bedeutendsten Herstellern von Elektrostahl

(WORLD STEEL ASSOCIATION 2021). Die Unternehmen HEG und Graphite India produzieren neben Graphitelektroden eine Reihe von Graphitspezialprodukten und verfügen über jährliche Kapazitäten von 80.000 t bzw. 98.000 t (GRAPHITE INDIA 2021, HEG 2018).

Europa

Die europäische Produktion von synthetischem Graphit belief sich im Jahr 2018 auf etwa 79.000 t und verzeichnete in den Jahren 2008–2018 mit durchschnittlich knapp 8 % pro Jahr den stärksten Rückgang weltweit. International agierende Unternehmen wie GrafTech (USA), Tokai Carbon und Showa Denko (beide Japan) sowie Graphite India (Indien) unterhalten Produktionsstandorte für Graphitelektroden. SGL mit Hauptsitz in Wiesbaden ist mit 16 Standorten europaweit vor allem in den Marktsegmenten Spezialprodukte und Graphitformteile aktiv. Deutschland hat mit geschätz-

Tab. 8: Bedeutende Hersteller von synthetischen Graphitprodukten mit Standorten in Deutschland

Unternehmen	Standort	Produkte
Tokai Erftcarbon	Grevenbroich	UHP-Elektroden
Graphite India	Nürnberg	UHP-Elektroden
SGL Carbon	Wiesbaden (Hauptsitz), fünf weitere Produktionsstandorte	u. a. Graphitprodukte, Carbonfasern, Verbundwerkstoffe

ten 25.000–35.000 t pro Jahr eine der höchsten Kapazitäten Europas mit landesweiten Produktionsstandorten von u. a. SGL Carbon, Tokai Carbon, Graphite India und Showa Denko (Tab. 8). Weitere bedeutende europäische Produzenten sind Frankreich, die Schweiz, Spanien, Polen und Italien.

Showa Denko Carbon Division ist ein Tochterunternehmen des japanischen Chemiekonzerns Showa Denko und seit der Übernahme des Elektrodengeschäfts von SGL Carbon einer der weltweit führenden Hersteller von Graphitelektroden. Anfang 2020 gab das Unternehmen die Schließung des Produktionsstandortes Meitingen bekannt, eine weitere Produktion erfolgt an Standorten europa- und weltweit.

Tokai Erftcarbon GmbH entstand 2006 durch den Verkauf der ERFTCARBON GmbH an die japanische Unternehmensgruppe Tokai Carbon. Die jährliche Produktionskapazität am Standort Grevenbroich wird von ROSKILL (2019) auf 40.000 t geschätzt.

Graphite India Limited ist ein indischer Hersteller von Graphitprodukten und firmiert in Deutschland unter dem Namen Graphite Cova GmbH Unternehmensgruppe mit Sitz in Nürnberg, zu denen die Gesellschaften Graphite Cova GmbH, Bavaria Electrodes GmbH, Bavaria Carbon Specialties GmbH und Bavaria Carbon Holdings GmbH zählen. Unternehmensangaben zufolge gehört Graphite Cova GmbH zu den weltweit fünf größten Anbietern von Graphitelektroden. Der Produktionsstandort in Nürnberg verfügt über eine Kapazität von 18.000 t pro Jahr (ROSKILL 2019).

SGL Carbon unterhält neben dem Hauptsitz des Unternehmens in Wiesbaden fünf weitere Produktionsstandorte deutschlandweit. Zu den Geschäftsfeldern gehören unter anderem Carbon-

fasern und Verbundmaterialien, Spezialgraphite sowie Prozesstechnologien für den Anlagenbau für Industrieanwendungen. Graphitelektroden gehören seit dem Verkauf der Sparte an Showa Denko nicht mehr zu den Unternehmensaktivitäten. Des Weiteren arbeitet SGL intensiv an der Entwicklung und Kommerzialisierung von Batteriequalitäten für eine europäische Produktion (SGL CARBON 2021).

Russland

Der Großteil der geschätzten russischen Produktion von 71.000 t im Jahr 2018 entfällt auf Graphitelektroden. Das Unternehmen Energoprom betreibt drei Werke in Nowocherkassk, Chelyabinsk sowie Nowosibirsk und ist eigenen Angaben zufolge mit einer Gesamtkapazität von 280.000 t einer der fünf größten Produzenten von synthetischem Graphit. Über das Tochterunternehmen Doncarb produziert Energoprom des Weiteren Graphitformteile.

2.3.3 Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien

Im Jahr 2020 betragen die weltweiten Kapazitäten auf dem Markt der Anodenmaterialherstellung über 417.000 t pro Jahr (Tab. 10). Die dynamischen Nachfrageentwicklungen für Lithium-Ionen-Batterien veranlassten eine Reihe der etablierten Produzenten zu Betriebserweiterungen, so dass die weltweiten Kapazitäten für das Jahr 2021 bereits höher ausfallen. Es gilt jedoch zu beachten, dass die von den Unternehmen angegebenen Zahlen Nennkapazitäten sind und basieren z. T. lediglich auf Investitionsankündigungen. Sie entsprechen somit nicht zwangsläufig der tatsächlichen Produktion. Zudem kann es aufgrund von Lieferbeziehungen zwischen einzelnen Herstel-

**Tab. 9: Wichtige Produzenten von synthetischem Graphit und ihre Jahreskapazitäten
(ROSKILL 2019, Unternehmensangaben)**

Land	Unternehmen	Jahreskapazität (t)
China	CIMM Group	70.000
	Dantan Technology Group	100.000
	Fangda Carbon New Material	180.000
	Heilongjiang Xinyuan Carbon	25.000
	Jilin Carbon	150.000
	Kaifeng Pingmei New Carbon Materials	42.000
	Nantong Yangtze Carbon	60.000–100.000
	Sichuan Shida Carbon Group	40.000
	Sinosteel Engineering & Technology	120.000
	Jianglong Carbon Group	60.000
Japan	Nippon Carbon	32.000
	SEC Carbon	27.000
	Showa Denko	247.000 ¹
	Tokai Carbon	60.000
USA	Asbury Carbon	k. A.
	GrafTech International	k. A.
	Superior Graphite	k. A.
	Mersen	k. A.
Indien	Graphite India	98.000
	HEG	80.000
Russland	Energoprom	Ca. 85.000
Deutschland	Tokai Carbon	40.000
	Graphite India	18.000
	SGL Carbon	k. A.
	Showa Denko	k. A.
Frankreich	GrafTech International	k. A.
	SGL Carbon	k. A.
	Mersen	k. A.
Schweiz	Imerys Graphite & Carbon	k. A.
Polen	SGL Carbon	k. A.
	Tokai Carbon	k. A.
Spanien	SGL Carbon	k. A.
	GrafTech International	k. A.
	Showa Denko	k. A.
Italien	SGL Carbon	k. A.
	GrafTech International	k. A.
	Tokai Carbon	k. A.
Niederlande	Asbury Carbon	25.000
Weltweit		> 1.754.000

¹ Weltweit

Tab. 10: Übersicht der weltweiten Produktionskapazitäten für Anodenmaterialien für das Jahr 2020 (Unternehmensangaben).

Land	Unternehmen	Jahreskapazität (t)
China	BTR New Energy Materials	106.000
	Shanshan Technology	60.000
	Jiangxi Zichen Technology	10.000
	Shenzhen Sinuo Industrial Development	40.000
	Hunan Shinzoom Graphite Science and Technology	20.000
	Shenzhen XFH Technology	20.000
	Jiangxi Zhenguo (ZETO)	17.000
	Guangdong Kaijin New Energy Technology	8.500
	Morgan AM&T Hairong	3.000
Japan	Showa Denko Materials	45.000
	Mitsubishi Chemical	12.000
	Nippon Carbon	3.000
	Showa Denko	3.000
	JFE Chemical	2.000
	Nippon Power Graphite	2.000
	Tokai Carbon	1.000
	SEC Carbon	500
	Kureha	k.A.
Südkorea	POSCO	44.000
Deutschland	SGL Group	k.A.
Schweiz	Imerys Graphite & Carbon	2.000
Kanada	Targray	k.A.
USA	3M	k.A.
Summe		> 417.000

lern zu Doppelzählungen kommen. Kapazitätsangaben von Unternehmen außerhalb Chinas werden für gewöhnlich nicht veröffentlicht.

China ist der mit Abstand bedeutendste Produzent für die Herstellung von batterietauglichen Graphitqualitäten. Nahezu 100 % der weltweiten Produktion von Spherical Graphite sowie drei Viertel der globalen Anodenmaterialproduktion entfielen auf chinesische Unternehmen (ROSKILL 2021).

Diese hohe Konzentration auf China ist zum einen begründet durch die ebenfalls auf China konzentrierte Verfügbarkeit von natürlichem Graphit. Zum anderen befindet sich die Weiterverarbeitung

zu batterietauglichen Graphitqualitäten bzw. die Herstellung von Anodenmaterial auf Basis von synthetischem Graphit ebenfalls bis auf wenige Ausnahmen in China. Die hohe Unternehmenskonzentration auf dem Markt für Anodenmaterialien ist bedingt durch die in den vergangenen Jahren hohen Zuwachsraten für Zellfertigung und Batterieanwendungen auf dem chinesischen Markt und die staatliche Förderung der lokalen Batteriewertschöpfungskette als strategisches Industriesegment der chinesischen Wirtschaft.

BTR New Energy Materials (BTR) ist aktuell der bedeutendste Hersteller von Anodenmaterial basierend auf natürlichem Graphit. Das Unterneh-

men ist einer der größten Hersteller von Spherical Graphite und deckt mit einer Rückwärtsintegration über verschiedene Tochterunternehmen bis zum Bergwerk einen wesentlichen Teil der Wertschöpfungskette ab. Abnehmer sind u. a. BYD, Panasonic, Samsung und LG. Die etablierte Kapazität betrug im Jahr 2018 etwa 60.000 t. Die erfolgreiche Umsetzung der geplanten Betriebserweiterungen vorausgesetzt ist von einer Kapazität von bis zu 130.000 t im Jahr 2020 auszugehen.

Shanshan Technology ist neben BTR New Energy Materials der zweitgrößte chinesische Hersteller, die Produktion belief sich auf knapp 61.000 t im Jahr 2020 (ARGUS MEDIA 2021). Der Großteil der Produktion ist auf den Einsatz von synthetischem Graphit ausgerichtet, die Errichtung zusätzlicher Kapazitäten ist geplant. Zu den Abnehmern zählen u. a. LG Chem und Sony.

Shenzhen Sinuo Industrial Development gibt für das Jahr 2019 eine jährliche Kapazität von 40.000 t an und gehört damit zu den vier größten Herstellern von Anodenmaterialien Chinas. Die Produktion ist auf den Einsatz von synthetischem Graphit ausgerichtet.

Neben den in Tab. 10 dargestellten größten Herstellern ist insbesondere in China von einer weiteren Anzahl kleinerer Produzenten mit Kapazitäten von weniger als 10.000 t pro Jahr auszugehen.

Seit der Übernahme durch Showa Denko im Jahr 2020 firmiert der japanische Anodenmaterialhersteller Hitachi Chemical unter dem Namen **Showa Denko Materials**. Mit einer Kapazität von 45.000 t pro Jahr für das Jahr 2018 zählte Hitachi Chemical zu den weltweit größten Anbietern von Anodenmaterialien (ROSKILL 2019). Allerdings führte eine zunehmende Konkurrenz durch chinesische Produzenten zu einem Verlust von Marktanteilen. Die Herstellung der Anodenmaterialien erfolgt überwiegend auf Basis von synthetischem Graphit, Flockengraphit kommt jedoch ebenfalls zum Einsatz. Zu potenziellen Kapazitätserweiterungen seit 2018 liegen keine Informationen vor.

Mitsubishi Chemical ist ein weiterer bedeutender japanischer Hersteller von Anodenmaterialien und ist zusätzlich auch in der Kathoden-, Elektrolyt- und Separatorproduktion aktiv. Die Produktion findet überwiegend auf Flockengraphitbasis statt.

Mit **SGL Carbon** und **Imerys Graphite & Carbon** sind zwei europäische Unternehmen auf dem Markt für Anodenmaterialien aktiv. Die Produktion ist auf den Einsatz von synthetischem Graphit konzentriert.

2.3.4 Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko

Bergwerksförderung Natürlicher Graphit

Mit einem Herfindahl-Hirschman-Index (HHI¹, s. Glossar) von 5.591 lag die Länderkonzentration für Bergwerksförderung von natürlichem Graphit im Jahr 2019 im bedenklichen Bereich (Abb. 23, Tab. 5). Die Drosselung der Förderung beider Naturgraphittypen in China hat zwar in den vergangenen zehn Jahren zu einer leichten Entspannung bezüglich der Länderkonzentration geführt. Dennoch bleibt der Abbau von sowohl Flockengraphit als auch amorphem Graphit hochkonzentriert; China ist für beide Naturgraphittypen mit 69 % bzw. 95 % mit Abstand wichtigstes Bergbauland (vgl. 2.3.1). Das gewichtete Länderrisiko (GLR², s. Glossar) ist für Naturgraphit mit –0,38 insgesamt als mäßig bedenklich zu bewerten (Abb. 23, Tab. 5). Hier ist aufgrund der hohen Konzentration in China die Länderbewertung für China (LR –0,36) maßgeblich.

Die Länderkonzentration für die Bergwerksförderung von Flockengraphit lag 2019 mit einem HHI von 4.722 zwar niedriger als für amorphes Graphit, befindet sich jedoch weiterhin im bedenklichen Bereich (Abb. 23). Die Produktionsaufnahme in Mosambik hat in den vergangenen Jahren zu einer leichten Entspannung hinsichtlich der Länderkonzentration für Flockengraphit geführt. Mit

1 Für die Ermittlung des Konzentrationsgrads wird der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) berechnet (s. Glossar). HHI-Werte zwischen 1.500 und 2.500 werden als mäßig risikoreich bewertet, Werte > 2.500 gelten als bedenklich. Diese Einteilung gilt auch für die Firmenkonzentration (U.S. DEPARTMENT OF JUSTICE 2010).

2 Mittels „Worldwide Governance Indicators“ der Weltbank (WORLD BANK 2020) wird das Länderrisiko bestimmt. Das gewichtete Länderrisiko (GLR) basiert auf den „Worldwide Governance Indicators“ und der Produktionsmenge der Länder. Bezogen auf die Weltbank-Skala für das Länderrisiko (von –2,5 bis 2,5) werden Länder mit einem Länderrisiko zwischen 0,5 und –0,5 als mäßig risikoreich bewertet. Werte < –0,5 werden als bedenklich eingestuft. Diese Bewertungsskala gilt auch für das gewichtete Länderrisiko (GLR).

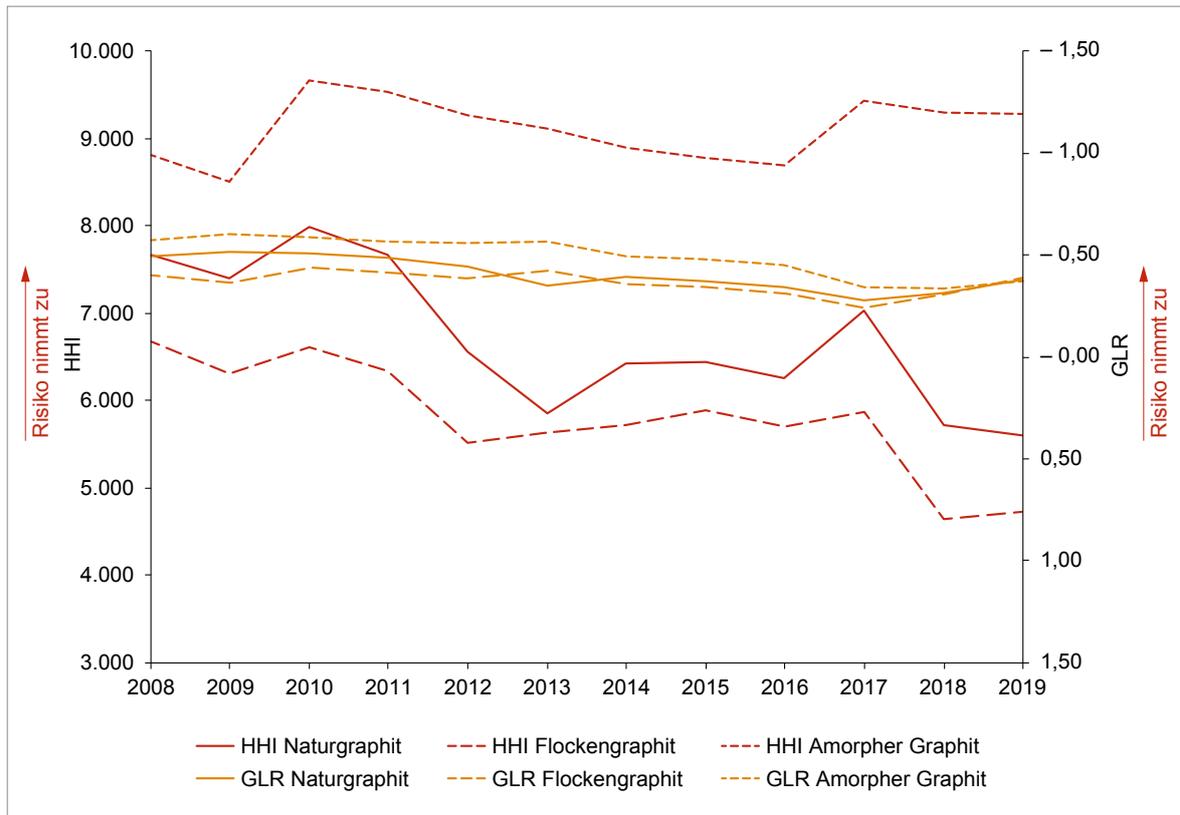


Abb. 23: Länderkonzentration (HHI) und gewichtetes Länderrisiko (GLR) für natürlichen Graphit für den Zeitraum 2008–2018 (BGR 2021)

einem HHI deutlich jenseits des Schwellenwertes von 2.500 Punkten muss der Markt für Flockengraphit als hochkonzentriert betrachtet werden. Das gewichtete Länderrisiko für Flockengraphit ist mit $-0,39$ ebenfalls als mäßig bedenklich zu bewerten.

Trotz Produktionsdrosselung von amorphem Graphit in China ist die Länderkonzentration mit einem HHI von 9.281 weiterhin extrem hoch. Das Land ist weiterhin das mit Abstand bedeutendste Förderland dieses Graphittyps, ein nennenswerter Abbau in Ländern außerhalb Chinas findet nicht statt.

Produktion synthetischer Graphit

Die Länderkonzentration für synthetischen Graphit war im Jahr 2018 mit einem HHI von 3.676 deutlich niedriger als die für Naturgraphit. Diese Berechnung basiert auf 92 % der weltweiten Produktion, detaillierte Produktionsdaten für die Kategorie Übrige Welt liegen nicht vor. Der Markt ist mit einem HHI deutlich jenseits des Schwellenwertes von 2.500 Punkten hochkonzentriert. China domi-

nierte die Produktion von synthetischem Graphit im Jahr 2018 mit einem Weltanteil von knapp 49 %, jedoch trugen mit zusammen 38 % der weltweiten Produktion drei Länder (USA, Japan und Indien) ebenfalls substantiell zu diesem hochkonzentrierten Markt bei.

Aufgrund der relativ hohen Produktionsanteile von Ländern mit als gering (Japan, USA) bis moderat (China, Indien) eingestuftem Länderrisiko lag das gewichtete Länderrisiko für synthetischen Graphit im Jahr 2018 bei $0,19$ und somit im mäßig bedenklichen Bereich (Tab. 7, Abb. 24).

Im Vergleich zu 2008 hat die Länderkonzentration für synthetischen Graphit zugenommen. China baute in diesem Zeitraum seine Produktionsanteile am Weltmarkt von 40 % im Jahr 2008 auf knapp 49 % im Jahr 2018 aus, während über den gleichen Zeitraum insbesondere Länder der westlichen Welt wie die USA und Europa ihre Produktionskapazitäten abbauten. Neben China erlangten auch Indien und Russland an Bedeutung für den globalen Markt für synthetischen Graphit, was

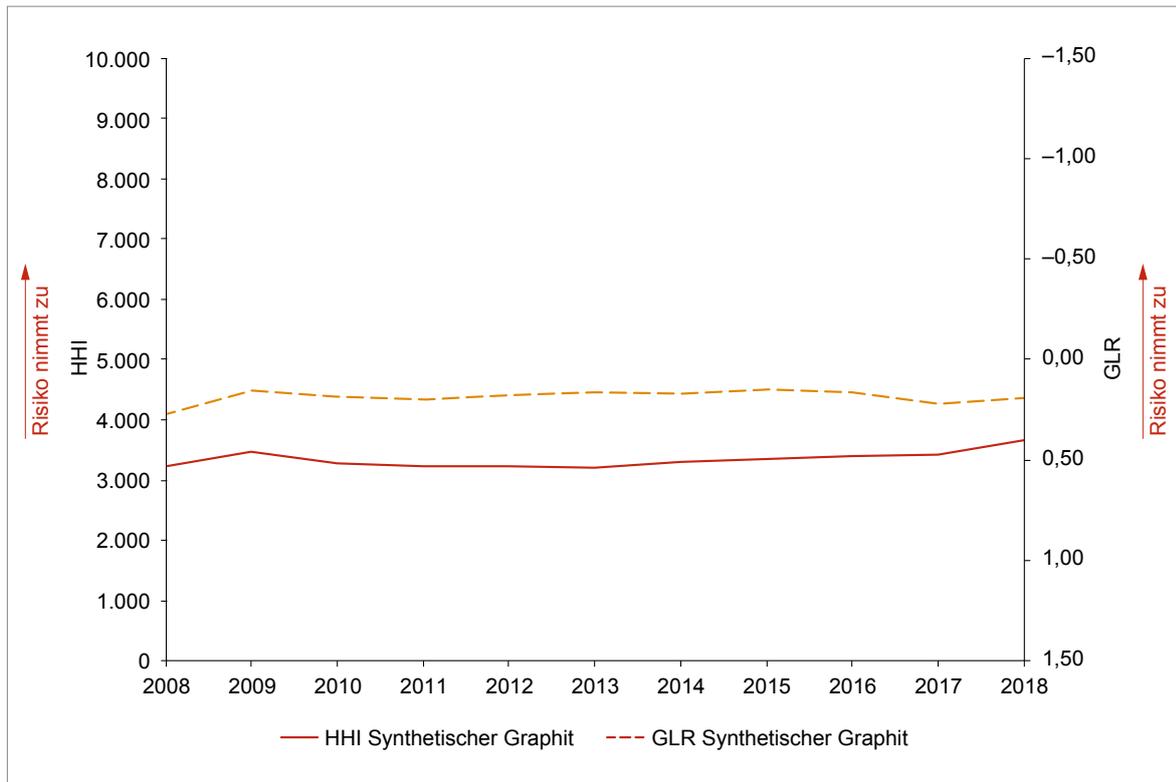


Abb. 24: Länderkonzentration (HHI) und gewichtetes Länderrisiko (GLR) für synthetischen Graphit für den Zeitraum 2008 – 2018 (Roskill 2019), basierend auf 92 % der weltweiten Produktion

sich in einer leichten negativen Entwicklung des gewichteten Länderrisikos niederschlug. Das GLR sank um 0,1 Punkte von 0,3 im Jahr 2008 auf 0,2 im Jahr 2018.

2.3.5 Recycling

Zahlen zum Graphitrecycling liegen nicht vor. Aufgrund seiner guten Verfügbarkeit bei relativ niedrigen Preisen ist das Recycling von natürlichem Graphit jedoch von untergeordneter Relevanz. Des Weiteren macht der Einsatz in verschleißintensiven Anwendungen wie Reibbelägen und Schmiermitteln ein Recycling in diesen Marktsegmenten aufgrund der Materialverluste nicht möglich.

Langfristig weist der Anwendungsbereich von Graphit in Lithium-Ionen-Batterien insbesondere in der Elektromobilität aufgrund des relativ hohen Materialeinsatzes das bedeutendste Recyclingpotenzial auf. Die Rückgewinnung von Graphit aus **Batterien** als dem aktuell wichtigsten Anodenaktivmaterial gewinnt zwar mit einem zunehmenden

Rücklauf an Lithium-Ionen-Batterien aus der Elektromobilität zunehmend an Relevanz; jedoch liegt der aktuelle wirtschaftliche Fokus auf der Rückgewinnung von Kupfer sowie Nickel- und Kobaltverbindungen. Die Recyclingeffizienz einer Lithium-Ionen-Batterie nach heutigem Stand der Technik liegt bei lediglich 32 % (DUESENFELD 2021), wobei die stoffliche Wiederverwertung die Kupferfolie sowie die Kathodenbestandteile Nickel und Kobalt umfasst. Das Recycling erfolgt nach einer mechanischen Vorbehandlung pyrometallurgisch, hydrometallurgisch oder über eine Kombination aus beidem. Die mechanische Vorbehandlung kann verschiedene Verfahren umfassen, als Produkt liegt die sog. Schwarzmasse vor, die neben den Kathodenbestandteilen auch den Graphit enthält. Eine Rückgewinnung von Graphit ist jedoch aktuell noch in den wenigsten Verfahren realisiert und geht als Teil des weiteren pyrometallurgischen Recyclings im Abgasstrom verloren. Allgemein lässt sich sagen, dass sich durch hydrometallurgisches Recycling höhere Ausbeuten erzielen lassen, das Verfahren ist jedoch technisch aufwendiger (ANDERSECK et al. 2020). Eine Kombination der

verschiedenen Recyclingrouten und die dadurch mögliche Rückgewinnung von Graphit und weiteren Bestandteilen der Schwarzmasse wie Mangan- und Lithiumverbindungen können die Anteile der stofflichen Wiederverwertung der Batterien gegenüber ihrer Entsorgung bzw. Deklaration als Baurohstoff somit deutlich erhöhen.

Daten zum Recyclinganteil von Graphit aus **Feuerfestmaterialien** liegen nicht vor. Als bedeutendstes Anwendungsfeld von Graphit haben sie ein erhöhtes Recyclingpotenzial, dennoch ist davon auszugehen, dass der überwiegende Teil der gebrauchten Feuerfestwerkstoffe nicht dem Recycling zugeführt wird, sondern im Straßenunterbau eingesetzt und auf Deponien entsorgt wird (EU-RECYCLING 2019). Ein Recycling von natürlichem Graphit findet untergeordnet aktuell u. a. für Feuerfestwerkstoffe aus der Stahl-, Zement und Glasindustrie statt. Aufgrund der hohen Betriebstemperaturen sind sie extremen Belastungen ausgesetzt und müssen wegen des starken Verschleißes häufig gewartet und ausgetauscht werden. Zwar wird ein Teil als Auskleidung in Hochöfen konsumiert, dennoch können nach Ablauf der Lebensdauer die gebrauchten Materialien ausgebrochen und nach Werkstoff und Größe selektiert und recycelt werden. Der Open-Loop-Recyclingansatz für diese Materialien bedeutet den Einsatz der zurückgewonnenen Graphitbestandteile in anderen Anwendungen wie bspw. Dämmstoffen, Schlackenconditionierern und Bremsbelägen, bzw. können sie aufgrund ihres relativ geringen Graphitanteils (15–20 % in bspw. Magnesita-Kohlenstoffsteinen) für ihre weiteren Bestandteile recycelt werden.

Recycling von synthetischem Graphit findet insbesondere für **Graphitelektroden** als bedeutendster Anwendungsbereich für synthetischen Graphit statt, der Materialbedarf ist mit etwa 30 % am Gesamtgraphitmarkt enorm (ROSKILL 2019). Für ein Recycling kommen zum einen die gebrauchten Elektroden sowie der bei der Herstellung anfallende Frässtaub in Betracht. Beide Produkte können aufgrund ihrer geringeren Reinheiten, Aschegehalte und Morphologien nicht erneut für die Graphitelektrodenproduktion verwendet werden, sondern nur als Sekundärgraphit in Anwendungen mit geringeren Qualitätsansprüchen wie bspw. Aufkohlungsmaterialien eingesetzt werden (vgl. 1.4.2). Auf dem chinesischen Markt wird Sekundärgraphit als Beiprodukt der Elektroden-

herstellung z. T. für Batterieanwendungen im unteren Leistungssegment eingesetzt.

Das bei der Herstellung von Spherical Graphite anfallende feinkörnige Material wird teilweise ebenfalls als Aufkohlungsmaterial verwendet.

2.4 Derzeitige Marktdeckung

Die derzeitige Marktdeckung errechnet sich aus der Differenz von Angebot und Nachfrage. Marktüberschüsse bzw. -defizite werden ins Verhältnis zum Angebot gesetzt und in Prozent angegeben. Das Angebot ergibt sich aus der Bergwerksförderung von Naturgraphit sowie der weltweiten Produktion von synthetischem Graphit, die Nachfrage basiert auf Daten von ROSKILL (2019).

Der Gesamtgraphitmarkt befindet sich seit Jahren im Überschuss, jedoch unterscheidet sich die Marktsituation je nach Graphittyp signifikant und wird aktuell maßgeblich durch die Angebots- und Nachfrageentwicklungen von Flockengraphit bestimmt.

Natürlicher Graphit

Insgesamt befand sich der Markt für Naturgraphit im Jahr 2018 mit knapp 715.000 t im Überschuss, dies entspricht einer Marktdeckung von 43 %. Die Bergwerksproduktion von Naturgraphit war zwar in den Jahren 2008–2018 mit –0,9 % leicht rückläufig, allgemein betrachtet liegen aber die jährlich geförderten Mengen weiterhin weit über dem aktuellen Bedarf. Aufgrund der Datenlage ist an dieser Stelle lediglich eine Übersicht nach Flockengraphit sowie amorphem Graphit darstellbar (Abb. 25); es ist jedoch zu beachten, dass angesichts der Vielzahl an Graphitspezifikationen am Markt die jeweiligen Marktdeckungen unterschiedlich ausfallen.

Bemühungen Chinas, in den vergangenen Jahren durch Produktionsdrosselungen, Schließungen und Konsolidierungen die jährlichen Überkapazitäten zu reduzieren, waren insbesondere auf dem Markt für **amorphem Graphit** erfolgreich. Dies ist vor allem bedingt durch die lokale Konzentration der produzierenden Unternehmen auf die Provinz Hunan, wo zwischen 2010 und 2012 bis zu 190 Bergwerke geschlossen wurden. Zusätzlich kam es zu einem Nachfragerückgang für amorphem

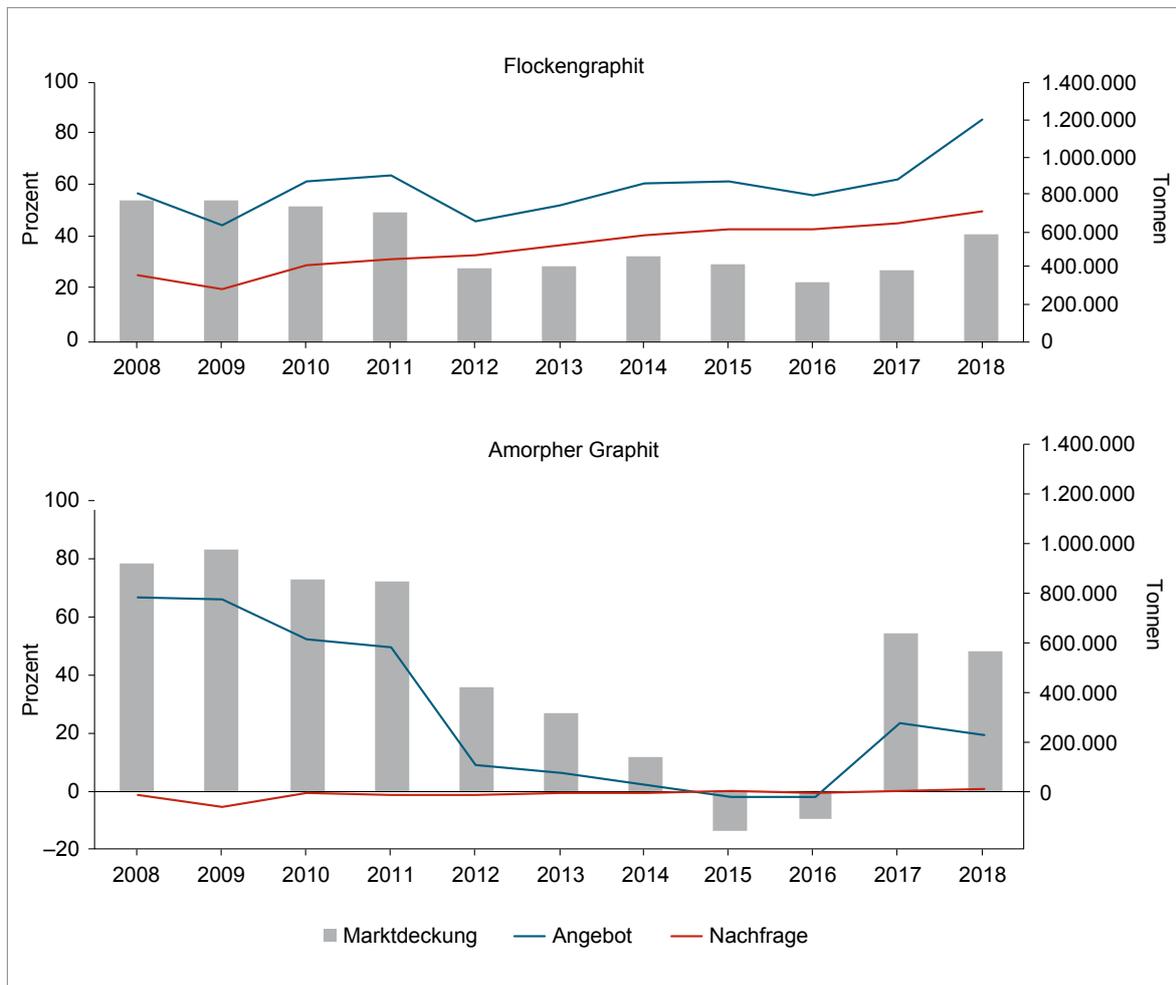


Abb. 25: Marktdeckung von natürlichem Graphit für den Zeitraum 2008–2018 (BGR 2021, Roskill 2019)

Graphit aufgrund einer zunehmenden Verfügbarkeit von Substitutionsalternativen wie synthetischem Sekundärgraphit aus der Herstellung von Graphitelektroden und dem bei der Produktion von Spherical Graphite anfallenden feinkörnigen Material.

Konsolidierungsbestrebungen und Kapazitätsschließungen der vergangenen Jahre wirkten sich auch auf die chinesische Flockengraphitindustrie aus, jedoch in geringerem Maße, was zu einer geringeren Kapazitätsdrosslung insgesamt führte. Die Auswirkungen auf die aktuellen Überkapazitäten der Flockengraphitbergwerke blieben bisher überschaubar. Zum einen ist dies bedingt durch die landesweite Verteilung der Flockengraphitbergwerke auf verschiedene Provinzen. Zum anderen haben eine kontinuierlich steigende Nachfrage sowie steigende Preise vorwiegend

für batterieaugliche Flockengraphitkonzentrate zu einer Ausweitung des Angebots insbesondere auch außerhalb Chinas geführt, so dass sich der **Flockengraphitmarkt** insgesamt weiterhin im Überschuss befindet. Daten zur Marktdeckung einzelner Spezifikationen liegen nicht vor; die dargestellte Gesamtmarktdeckung für Flockengraphit gibt somit keinen Aufschluss über die Marktdeckung der einzelnen Spezifikationen.

Synthetischer Graphit

Die Marktlage für synthetischen Graphit ist relativ ausgeglichen, was an der nachfrageorientierten Produktion nach Bestellungen und Langzeitverträgen mit Konsumenten liegt. Die Produktion spiegelt in den meisten Jahren mehr oder weniger den Bedarf wider.

2.5 Globaler Handel

Natürlicher und synthetischer Graphit werden weltweit in Form verschiedener Produktspezifikationen gehandelt. Grundlage der Warennummern ist das Harmonisierte System (HS), das durch die Weltzollorganisation verwaltet wird. Hierdurch lassen sich Waren weltweit in Positionen (die ersten vier Stellen des Codes) und Unterpositionen (die ersten sechs Stellen des Codes) einreihen. Daten zu ausgewählten HS-Positionen und dem entsprechenden globalen Handel werden im Folgenden für die in Tab. 11 aufgeführten Warengruppen betrachtet. Bezugsjahr ist das Jahr 2019.

Natürlicher Graphit

Graphiterze werden überwiegend in Bergwerksnähe zu Konzentraten aufbereitet und in den zwei Warengruppen 2504.10 (Flockengraphit) sowie 2504.90 (amorpher Graphit) gehandelt. Obwohl insbesondere Flockengraphit in einer Reihe von verschiedenen Produktqualitäten basierend auf unterschiedlichen Kohlenstoffgehalten und Flockengrößen gehandelt wird, erfolgt der Export von Konzentraten lediglich gemäß der o. g. Warenkategorie 2504.10; eine Unterteilung der unterschiedlichen Produktspezifikationen in verschie-

dene Warengruppen findet nicht statt. Insgesamt wurden im Jahr 2019 knapp 653.500 t Naturgraphit exportiert; der Anteil von Flockengraphit lag mit knapp 550.000 t bei 84 % (Tab. 12).

Chinas Anteil an den weltweiten Exporten von Naturgraphit lag bei 48 %; dies spiegelt die hohe Marktkonzentration der Weltbergwerksförderung des Landes wider. Mit 216.300 t bzw. einem Anteil von rund 39 % an den globalen Ausfuhren von Flockengraphit war China bedeutendstes Exportland, gefolgt von Mosambik und Madagaskar. Die wichtigsten aus China importierenden Länder waren Japan (44.400 t, 21 %), Kanada (40.000 t, 19 %) und Südkorea (39.000 t, 18 %). Trotz seiner Bedeutung für den globalen Export von Naturgraphit haben die Flockengraphitimporte Chinas infolge einer stark steigenden Nachfrage nach Lithium-Ionen-Batterien in den vergangenen Jahren stark zugenommen und betragen 2019 mit knapp 190.000 t mehr als das Dreifache im Vergleich zum Vorjahr (Abb. 26). Neben Mosambik war Madagaskar wichtigstes Herkunftsland für chinesische Flockengraphitimporte und die steigenden Exportmengen aus beiden Ländern unterstreichen die zunehmende Bedeutung Ostafrikas als wichtige Förderregion für Flockengraphit, insbesondere im Hinblick auf batterietaugliche Qualitäten.

Tab. 11: Ausgewählte Warengruppen nach dem Harmonisierten System (HS) der Weltzollorganisation (WCO 2021)

Handelsname	HS-Warennummer
Graphit, natürlich, in Pulverform oder in Flocken	2504.10
Graphit, natürlich (ausg. in Pulverform oder in Flocken)	2504.90
Graphit, künstlich (ausg. Retortengraphit oder Retortenkohle sowie Waren aus künstlichem Graphit, einschl. feuerfeste Waren auf der Grundlage von künstlichem Graphit)	3801.10
Graphit, kolloid, und halbkolloider Graphit	3801.20
Pasten, kohlenstoffhaltig, für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen	3801.30
Zubereitungen auf der Grundlage von Graphit oder anderem Kohlenstoff, in Form von Pasten, Blöcken, Platten oder anderen Halbfertigungserzeugnissen (ausg. kohlenstoffhaltige Pasten für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen)	3801.90
Elektroden aus Graphit oder anderem Kohlenstoff, von der für elektrische Öfen verwendeten Art	8545.11

Tab. 12: Weltweite Importe, Exporte und positive Nettoexporte ausgewählter Warengruppen von Graphit für das Jahr 2019 in Tonnen. Ebenfalls dargestellt sind Herfindahl-Hirschman-Index und gewichtetes Länderrisiko sowie die größten Nettoexporteure (IHS MARKIT 2021)

HS-Warennummer	Globale Exporte 2019	Globale Importe 2019	Globale Nettoexporte (NX > 0) 2019	Größte Nettoexporteure	HHI Nettoexporte	GLR Nettoexporte
2504.10	549.297	603.914	275.633	Mosambik (65 %) Madagaskar (20 %) China (7 %)	4.710	-0,69
2504.90	104.177	58.279	101.953	China (97 %)	9.404	-0,33
3801.10	524.900	728.349	293.552	China (81 %) Spanien (8 %) Norwegen (4 %)	6.655	-0,17
3801.20	19.929	18.987	12.852	Deutschland (48 %) Niederlande (25 %)	2.712	1,29
3801.30	355.559	240.117	277.669	China (43 %) Norwegen (16 %) Deutschland (14 %)	2.583	0,3
3801.90	378.280	362.238	256.598	China (91 %) Russland (4 %)	8.341	-0,3
8545.11	1.003.407	787.956	767.515	China (51 %) Niederlande (19 %)	3.154	0,34

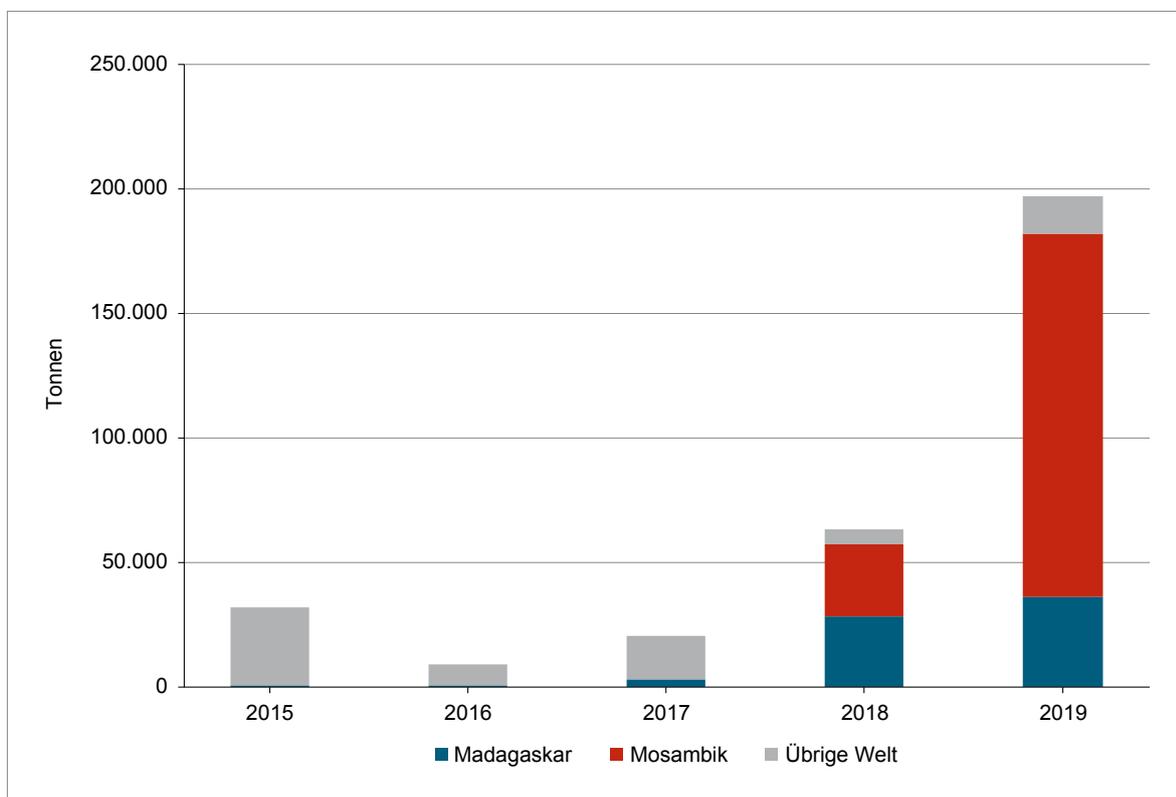


Abb. 26: Entwicklung von Chinas Flockengraphitimporten für den Zeitraum 2016–2019 (Warengruppe 2504.10) (IHS MARKIT 2021)

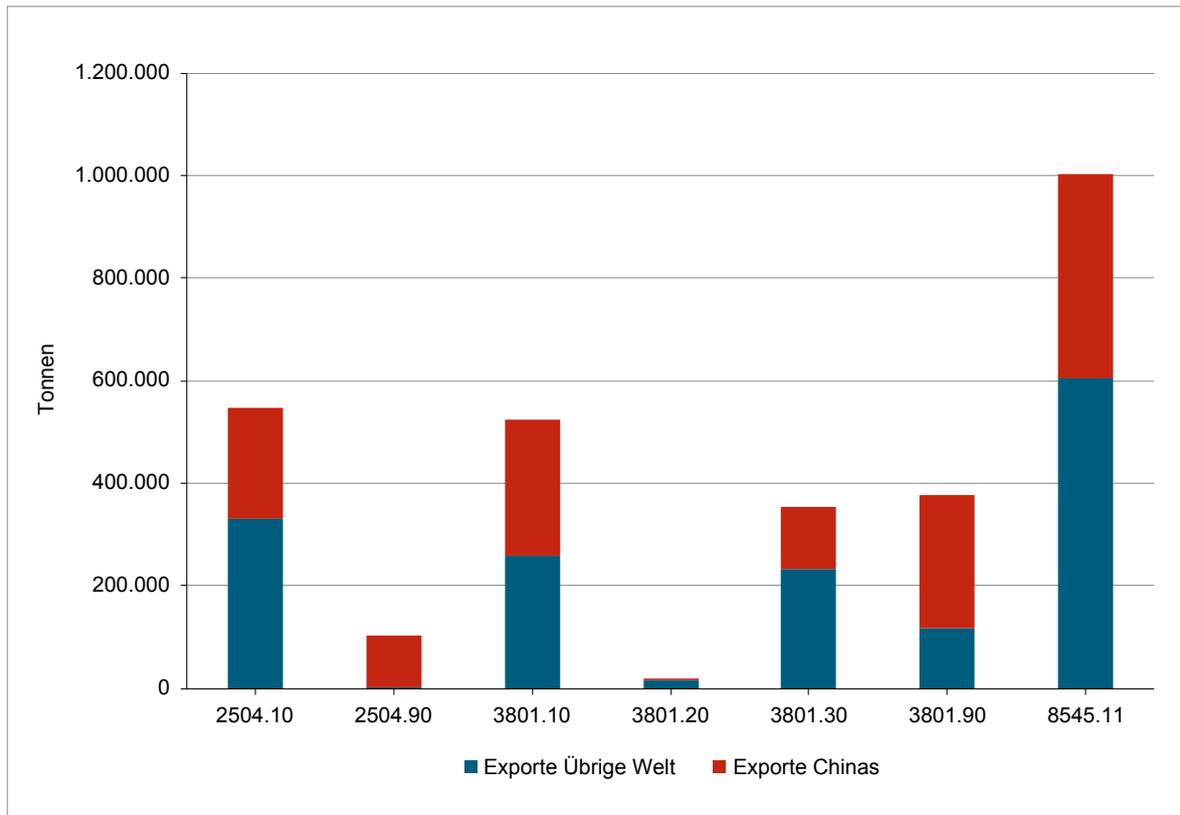


Abb. 27: Exporte Chinas und ihr Anteil an den weltweiten Ausfuhren der Warengruppen 2504.10, 2504.90, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 sowie 8545.11 für das Jahr 2019 (IHS MARKIT 2021)

Wichtigstes Exportland für amorphen Graphit war 2019 ebenfalls China; rund 95 % (99.200 t) der weltweiten Ausfuhren dieser Warengruppe entfielen auf das Land. Wichtigstes Zielland war Japan mit über 90 % der chinesischen Exporte.

Synthetischer Graphit

Für den Handel mit synthetischem Graphit sind die Warengruppen 3801.10, 3801.20, 3801.30, 3801.90 sowie 8545.11 von Relevanz (Tab. 11). Hierunter fallen neben Graphitelektroden eine Reihe von Produkten und Produktzubereitungen aus synthetischem Graphit. Die weltweiten Exporte für das Jahr 2019 beliefen sich auf 2,138 Mio. t. Mit einem Weltanteil von insgesamt 43 % nimmt China als wichtigster Produzent auch bei den globalen Ausfuhren dieser Warengruppen eine Vormachtstellung ein (Tab. 12, Abb. 27).

2.5.1 Nettoexporte

Die im Folgenden angegebenen Daten beziehen sich auf die positiven Nettoexporte (NX > 0) der jeweiligen HS-Warengruppen, da der Fokus dieser Studie primär auf der Angebotsseite liegt (siehe Glossar im Anhang).

Natürlicher Graphit – Waren der HS-Position 2504.10 und 2504.90

Die Gesamtnettoexporte für natürlichen Graphit beliefen sich im Jahr 2019 auf knapp 378.000 t. Mit etwa 73 % (275.600 t) stellten die Exporte von Flockengraphit (**2504.10**) den weitaus bedeutenderen Anteil am globalen Handel mit natürlichem Graphit dar und spiegeln in etwa das Verhältnis beider Graphittypen an der Weltbergwerksförderung wider. Mit knapp 179.000 t war Mosambik mit Abstand größter Nettoexporteur von Flockengraphit, dies entspricht einem Weltanteil von 65 % (Abb. 28). Mit knapp 145.000 t und einem Anteil von 81 %

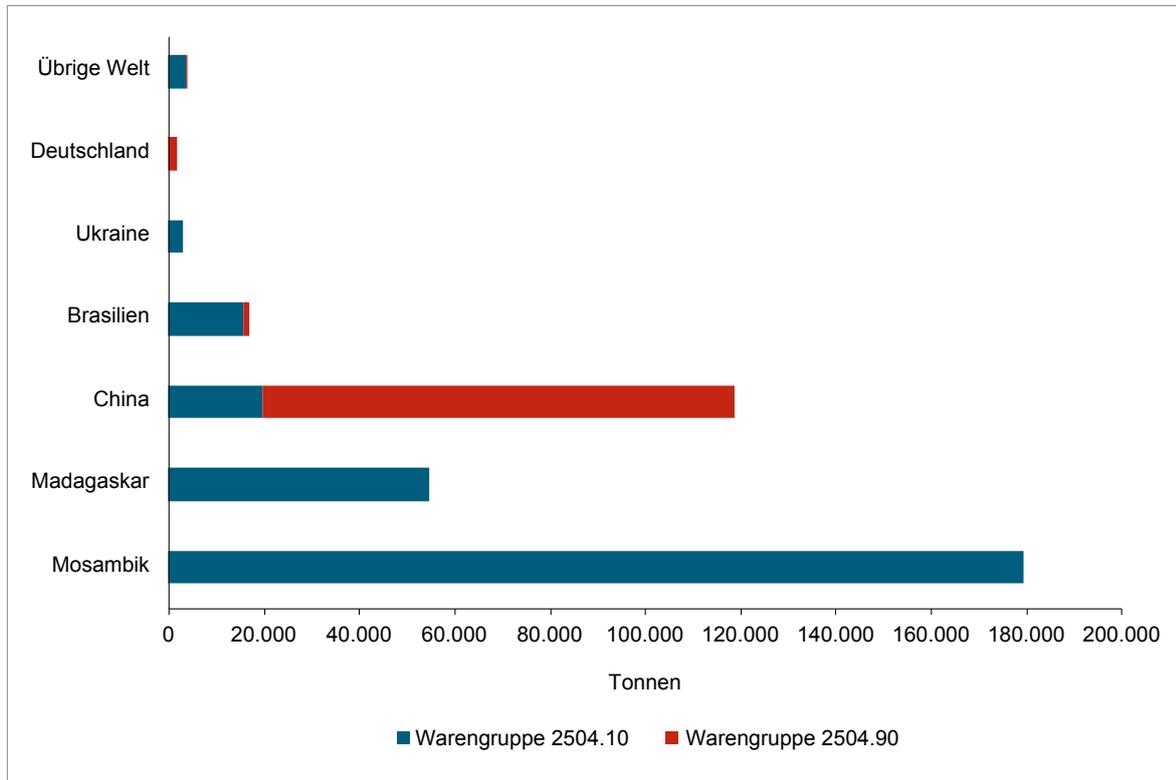


Abb. 28: Globale Nettoexporte von natürlichem Graphit im Jahr 2019 (Warengruppen 2504.10 und 2504.90) (IHS MARKIT 2021)

war China das wichtigste aus Mosambik importierende Land im Jahr 2019, gefolgt von Deutschland (12.500 t, 7 %) und Indien (7.700 t, 4 %) (Abb. 29). Während China als weltweit bedeutendstes Förderland bei den Exporten von Flockengraphit führend ist, belegt das Land bei den Nettoexporten lediglich den dritten Rang. Grund dafür sind die hohen Importe von Flockengraphit, die neben der eigenen Förderung zur Deckung des hohen Bedarfes für die Binnenwirtschaft benötigt werden. Insbesondere die heimische Stahlindustrie sowie der Markt für Lithium-Ionen-Batterien sind wichtige Abnehmer für Flockengraphit. Insgesamt verzeichneten die Nettoexporte Chinas aufgrund der stark gestiegenen Importe sowie leicht gesunkener Exporte im Vergleich zum Vorjahr einen Rückgang von knapp 92 %.

Trotz einer Aufnahme der Produktion bzw. der Erhöhung der Förderraten in einigen Ländern Ostafrikas bleibt der Handel von Flockengraphitkonzentraten stark konzentriert; die Diversifizierung der globalen Nettoexporte ist mit einem HHI von knapp 4.700 als bedenklich zu bewerten. Das gewichtete Länderisiko ist aufgrund des hohen Anteils der Länder mit

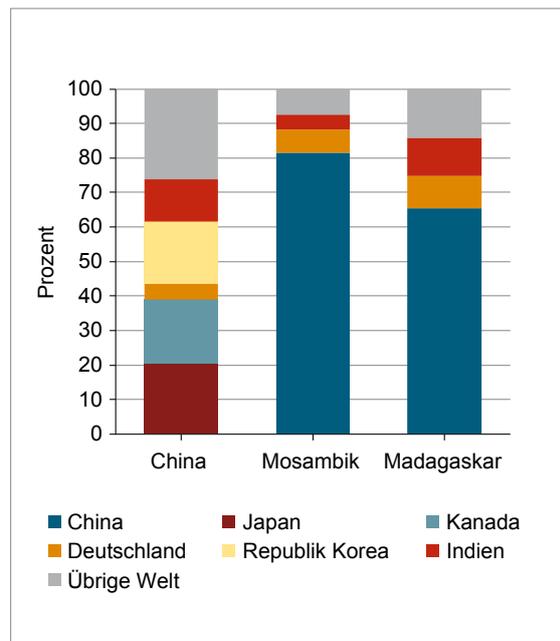


Abb. 29: Die weltweit drei bedeutendsten Nettoexportländer für Flockengraphit (Warengruppe 2504.10) und ihre wichtigsten Zielländer im Jahr 2019 (IHS MARKIT 2021)

einem mäßig bedenklichen Länderrisiko insgesamt ebenfalls als kritisch einzustufen (Tab. 12).

Bei den Nettoexporten der Warengruppe **2504.90** (amorpher Graphit) ist Chinas Vormachtstellung ungebrochen. Mit 99.900 t kamen im Jahr 2019 97 % der globalen Nettoexporte dieser Warengruppe aus China; ein HHI von knapp 9.400 stellt für den Handel mit Graphitkonzentraten dieser Kategorie praktisch ein Monopol dar (Abb. 28, Tab. 12). Das gewichtete Länderrisiko von $-0,33$ reflektiert im Wesentlichen das Länderrisiko Chinas und wird als mäßig bedenklich eingestuft. Mit Abstand wichtigstes aus China importierendes Land im Jahr 2019 war Japan mit knapp 90.400 t (91 %), gefolgt von Indien (4.200 t, 4 %) und Südkorea (1.300 t, 1 %).

Synthetischer Graphit – Waren der HS-Positionen 3801.10, 3801.20, 3801.30, 3801.90 sowie 8545.11

Mit einem Anteil von 48 % stellte die Warengruppe 8545.11 den bedeutendsten Anteil an den weltweiten Nettoexporten der betrachteten fünf Warengruppen von synthetischem Graphit dar, gefolgt von Warengruppe 3801.10 (18 %), 3801.30 (17 %) und 3801.90 (16 %). Warengruppe 3801.20 hatte im Jahr 2019 lediglich 1 % an den weltweiten Nettoexporten und wird an dieser Stelle nicht weiter betrachtet. China ist bei vier der fünf betrachteten Warengruppen der aktuell mit Abstand wichtigste Nettoexporteur (Abb. 30); seine wichtigsten Handelspartner sind in Abb. 31 dargestellt. Die Produktion von synthetischem Graphit ist auf wenige große Unternehmen mit Produktionsstätten in China sowie Europa, Indien, Japan, Russland und in den USA konzentriert, die weltweiten Nettoexporte spiegeln diese Marktsituation deutlich wider. Rund die Hälfte der weltweit in der Produktion von synthetischem Graphit aktiven Unternehmen unterhalten Produktionsstätten in China.

Die Warengruppe **8545.11** umfasst Graphitelektroden insbesondere für den Einsatz in Lichtbogenöfen in der Stahlindustrie. Der hohe Anteil an den weltweiten Nettoexporten zeigt die Bedeutung dieses Marktsegments für den Gesamtmarkt von synthetischem Graphit; Graphitelektroden sind das mit Abstand bedeutendste Anwendungsgebiet (vgl. 1.4.2). Die Produktion von Graphitelektroden ist an den Bedarf der heimischen Elektrostahl-

industrie gebunden und insbesondere China hat seine Elektrostahlkapazitäten in den vergangenen Jahren deutlich ausgebaut sowie neue Anlagen zur Herstellung von Graphitelektroden in Betrieb genommen. Mit einem Anteil von 51 % an den globalen Nettoexporten nimmt das Land eine vorherrschende Stellung auf dem Weltmarkt ein. Die wichtigsten Zielländer, aufgeführt in Abb. 31, verfügen zwar über eine heimische Produktion von Graphitelektroden, sind jedoch auf zusätzliche Importe angewiesen, um den Bedarf ihrer inländischen Industrien, insbesondere der Stahlindustrie, bedienen zu können. Die chinesischen Exporte nach Malaysia lagen mit 17 % (65.900 t) an den Gesamtexporten deutlich über dem Wert von 3 % (11.400 t) vom Vorjahr. Ebenso verdoppelten sich die Exporte nach Südkorea von 4 % (14.700 t) im Jahr 2018 auf 8 % (30.100 t) im Jahr 2019. Allerdings besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen den chinesischen Exportzahlen sowie den Importdaten dieser beiden Länder. Zwar ist laut offiziellen Importstatistiken China für Malaysia wichtigstes Bezugsland bzw. zweitwichtigster Handelspartner für Südkorea für den Bezug dieser Warengruppe, allerdings liegen die absoluten Importzahlen mit knapp 4.200 t (Malaysia) bzw. 9.320 t (Südkorea) z. T. deutlich niedriger.

Zwar verfügen die Niederlande mit einer Produktionsstätte des amerikanischen Konzerns Asbury Carbon in Maastricht über Produktionskapazitäten von 25.000 t synthetischen Graphits. Dennoch ist davon auszugehen, dass die vorliegenden Daten für die Warengruppe 8545.11 vorrangig ein Resultat des Warenumschlags über niederländische Häfen sind. Doppelzählungen sind aufgrund dieser Möglichkeit nicht ausgeschlossen.

Unter die Warengruppen **3801.10** und **3801.90** entfallen u. a. Graphitpulver, Graphitspezialprodukte und Schmiermittel bzw. Zubereitungen basierend auf Graphit in Form von u. a. Pasten, Blöcken und anderen Halbfertigerzeugnissen. Mit einem Anteil von 81 % bzw. 91 % ist China auch bei diesen Warengruppen weltweit mit Abstand bedeutendster Nettoexporteur (Abb. 30). Die wichtigsten drei Zielländer für Ausfuhren beider Warengruppen im Jahr 2019 waren die USA, Japan und Südkorea (Abb. 31). Für den europäischen Markt sind insbesondere Norwegen und Frankreich (Warengruppe 3801.10) sowie Spanien und Polen (Warengruppe 3801.90) von Relevanz.

Zu dem mit Abstand bedeutendsten Nettoexporteur der Warengruppe für kolloiden und halbkolloiden Graphit (**3801.20**) zählten mit einem Anteil von 48 % Deutschland, gefolgt von den Niederlanden und den USA. Für die Warengruppe **3801.30**

gehörten neben China mit einem Anteil von 43 % vor allem europäische Länder zu den wichtigsten Nettoexporteuren (Norwegen 16 %, Deutschland 14 %, Ukraine 14 %, Slowakei 5 % und Polen 4 %).

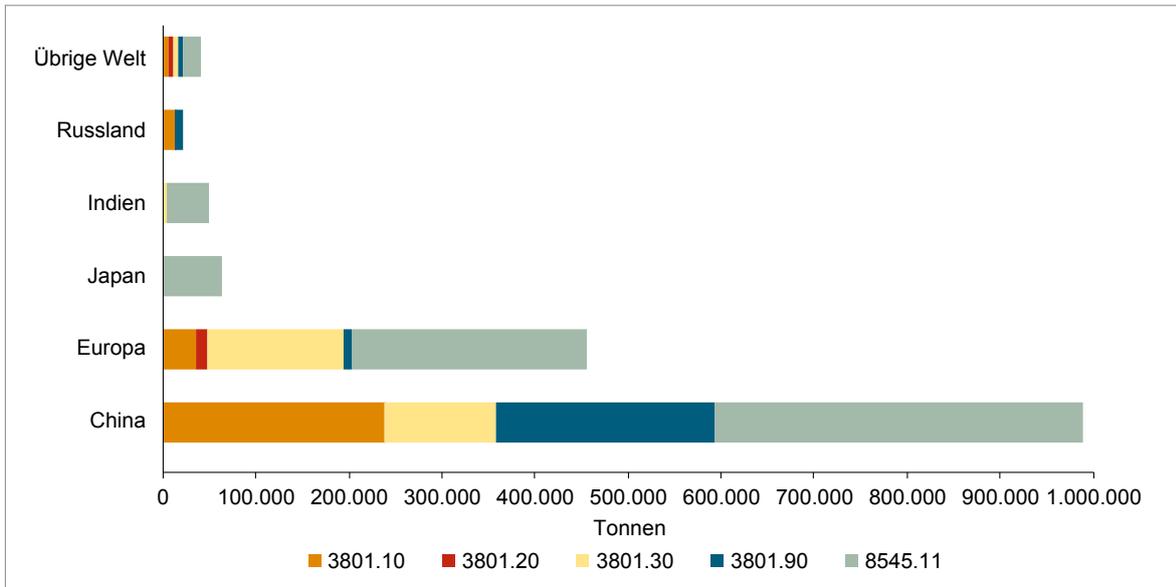


Abb. 30: Globale Nettoexporte von synthetischem Graphit im Jahr 2019 (Warengruppen 8545.11, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90) (IHS MARKIT 2021)

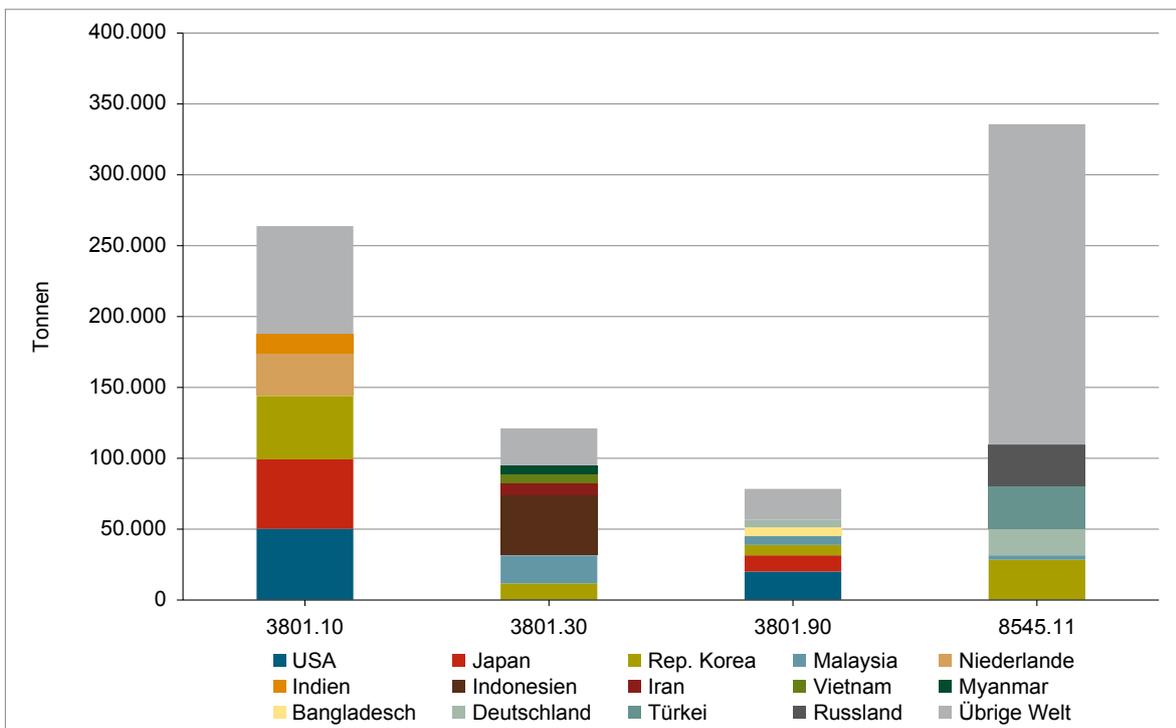


Abb. 31: Chinas Exporte und wichtigste Zielländer im Jahr 2019 (Warengruppen 3801.10, 3801.30, 3801.90 und 8545.11) (IHS MARKIT 2021)

Mit einem HHI von über 2.500 ist die Länderkonzentration für alle betrachteten Warengruppen des synthetischen Graphits als bedenklich zu bewerten. Aufgrund der hohen Anteile von Ländern mit mäßigem bzw. geringem Länderrisiko ist das gewichtete Länderrisiko insgesamt überwiegend als mäßig bedenklich einzustufen.

2.5.2 Importe Deutschlands

Die deutschen Einfuhren und ihr Anteil an den globalen Importen sind in Abb. 32 dargestellt. Deutschland ist ein bedeutender Importeur von sowohl natürlichem als auch synthetischem Graphit (Abb. 29) und war im Jahr 2019 für vier der sieben betrachteten Warengruppen unter den fünf bedeutendsten Importländern beider Graphittypen (Tab. 13).

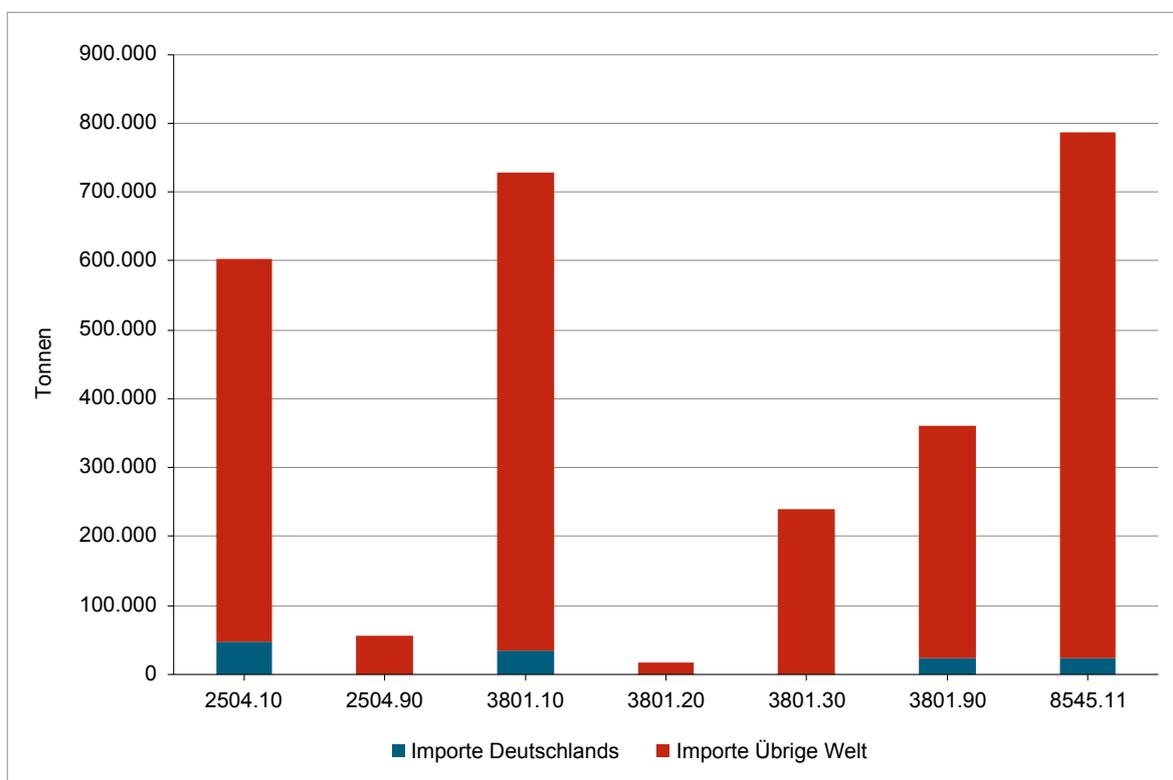


Abb. 32: Importe Deutschlands und ihr Anteil an den weltweiten Einfuhren der Warengruppen 8545.11, 2504.10, 2504.90, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 im Jahr 2019 (IHS MARKIT 2021)

Tab. 13: Graphitimporte Deutschlands in Tonnen für das Jahr 2019 (IHS MARKIT 2021)

HS-Warennummer	Dt. Importe	Weltanteil	Weltrang	HHI Dt. Importe	GLR Dt. Importe
2504.10	48.149	8 %	4	1.517	-0,03
2504.90	438	< 1 %	15	8.467	-0,29
3801.10	35.893	5 %	5	1.520	0,32
3801.20	2.064	11 %	2	4.406	1,44
3801.30	1.333	< 1 %	26	3.771	0,94
3801.90	24.705	7 %	4	2.497	0,98
8545.11	25.354	3 %	11	1.212	0,64

Die deutschen Importe von natürlichem Graphit beliefen sich 2019 auf insgesamt 48.587 t, rund 99 % entfielen auf die Warengruppe **2504.10** (Flockengraphit). Eine Entwicklung der Importe sowie die für Deutschland wichtigsten Länder für den Bezug von Flockengraphit sind in Abb. 33 dargestellt. Im Jahr 2019 war erstmals Mosambik bedeutendster Handelspartner und löste damit China als wichtigstes Bezugsland für Naturgraphit der vergangenen Jahre ab. Dies ist zum einen auf einen Rückgang chinesischer Exporte sowie den Markteintritt Mosambiks als Flockengraphitproduzent und bedeutendes Exportland dieses Graphit-typs zurückzuführen. Deutschland war 2019 nach China der zweitwichtigste Handelspartner für mosambikanische Flockengraphitexporte. Ebenfalls gestiegen sind die Importe aus Madagaskar. Dies zeigt die für Deutschland zunehmende Bedeutung Ostafrikas als Handelspartner für Flockengraphit. Die Importe Deutschlands aus beiden afrikanischen Ländern umfassten in etwa das Doppelte des Handelsvolumens mit China.

Die Flockengraphitimporte Deutschlands sind relativ gut diversifiziert; die Marktkonzentration

wird mit einem HHI von knapp 1.500 als unbedenklich bewertet und weist eine deutlich geringere Marktkonzentration auf als die globalen Nettoexporte dieser Warengruppe. Etwa 68 % der Importe stammten 2019 aus vier Ländern (Mosambik 26 %, China 21 %, Brasilien 11 %, Madagaskar 11 %) (Abb. 33). Die Bewertung der Regierungsführung dieser Länder wirkte sich insgesamt auf ein als mäßig bedenklich gewichtetes Länderrisiko aus (Tab. 13).

Die deutschen Importe der Warengruppe **2504.90** stammten im Jahr 2019 überwiegend aus China (92 %). Mit weniger als 500 t Gesamtimporte ist diese Warengruppe für die deutschen Importe jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Die Gesamtimportmenge der betrachteten fünf Warengruppen von synthetischem Graphit lag 2019 bei knapp 89.349 t, wobei die Importmengen der einzelnen Warengruppen in den vergangenen Jahren zum Teil deutlichen Schwankungen unterlagen (Abb. 34). Bei den Importen von synthetischem Graphit sind insbesondere die Warengruppen **3801.10** und **3801.90** sowie die Warengruppe

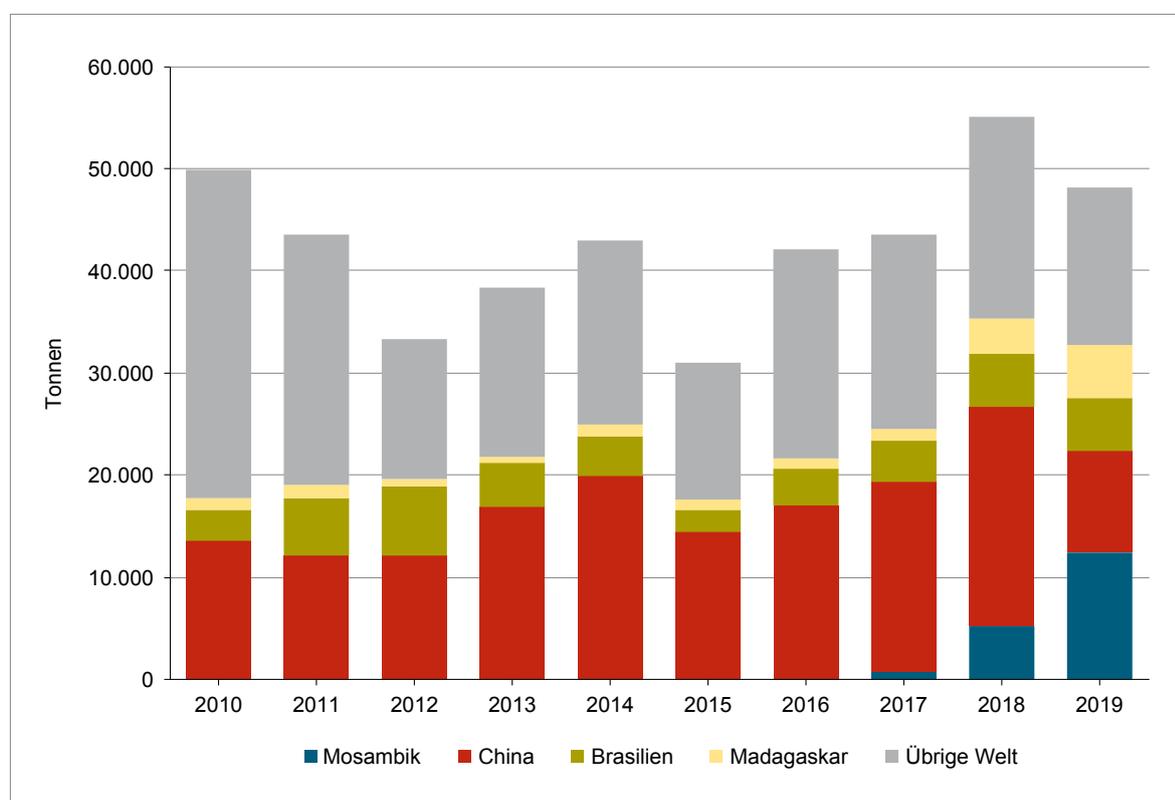


Abb. 33: Importe Deutschlands der Warengruppe 2504.10 für den Zeitraum 2010–2019 (IHS MARKIT 2021)

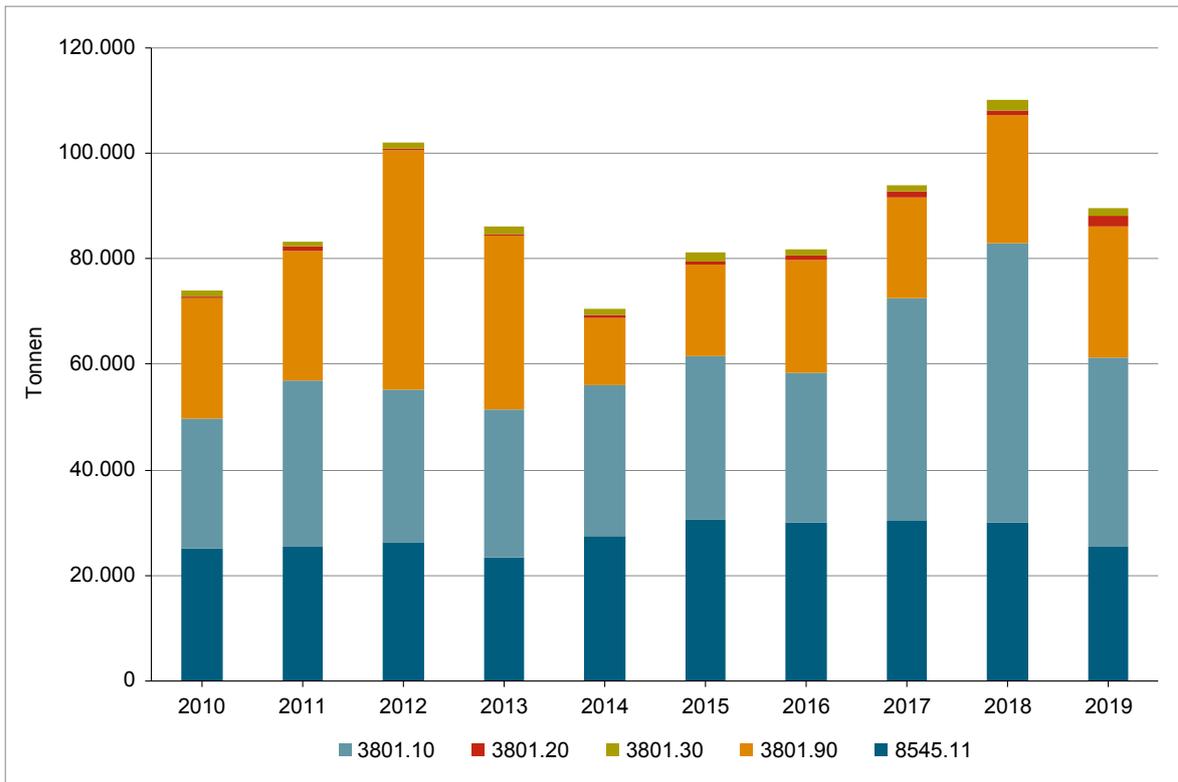


Abb. 34: Importe Deutschlands der Warengruppen 3801.10, 3801.20, 3801.30, 3801.90 sowie 8545.11 für den Zeitraum 2010–2019 (IHS MARKIT 2021)

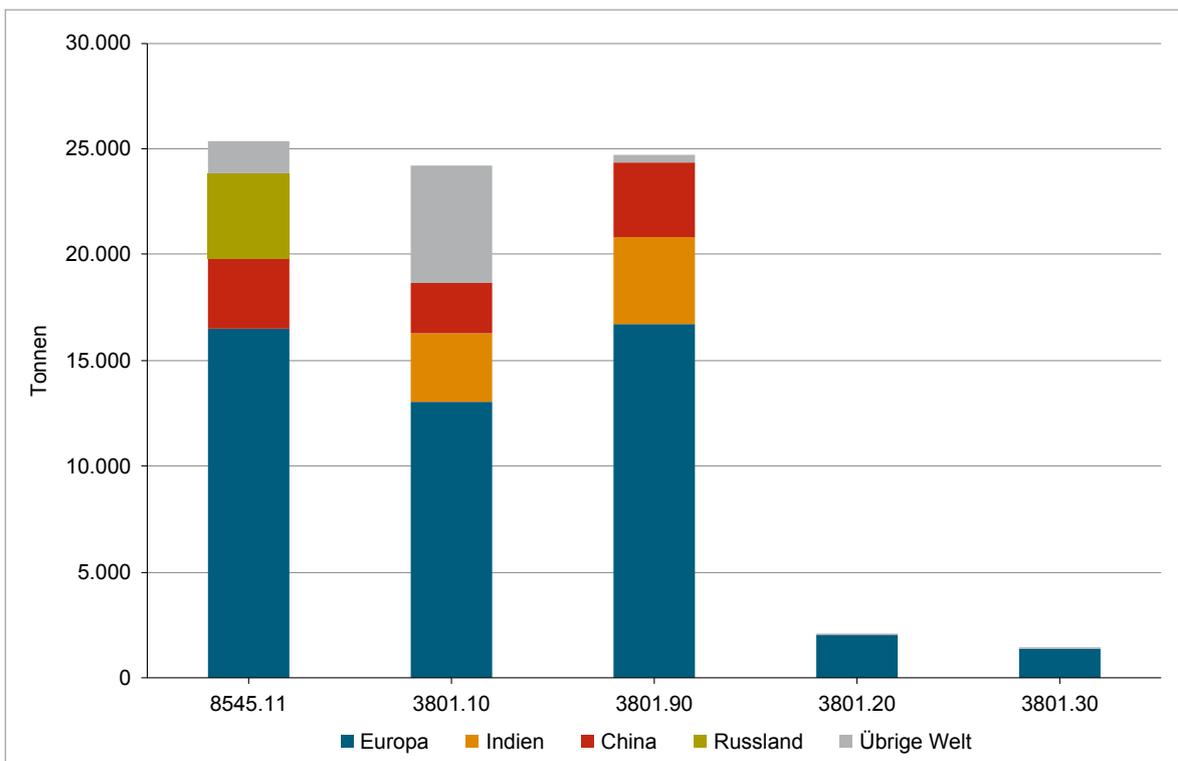


Abb. 35: Deutschlands Importe und die wichtigsten Herkunftsregionen der Warengruppen 8545.11, 3801.10, 3801.20, 3801.30 und 3801.90 im Jahr 2019 (IHS MARKIT 2021)

8545.11 von Bedeutung für Deutschland. Zu den wichtigsten Herkunftsländern gehörten Russland, Frankreich, Indien und China (Abb. 35). Obwohl Deutschland einer der bedeutendsten Produzenten von Graphitelektroden Europas ist, wurden 2019 knapp 25.000 t der Warengruppen 8545.11 importiert. Mit einem HHI von 1.212 sind die deutschen Importe dieser Warenkategorie relativ gut diversifiziert, zudem stammten knapp 66 % aus europäischen Ländern (Abb. 35), wichtigstes Herkunftsland war Frankreich. China als weltgrößter Produzent und Exporteur von Graphitelektroden ist zweitwichtigstes Herkunftsland.

Mit einem Importanteil von 33 % ist Russland das wichtigste Herkunftsland deutscher Importe der Warengruppe 3801.10. Mit einem Anteil von fast 50 % an den russischen Exporten ist Deutschland hier auch wichtigstes Zielland für russische Ausfuhren.

Die Marktkonzentration der betrachteten Warengruppen ist lediglich für die Warengruppe 8545.11 als unkritisch zu bewerten (Tab. 13). Allerdings sind aufgrund der Anteile insbesondere europäischer Handelspartner wie Frankreich, die Niederlande und Spanien die gewichteten Länderrisiken für die betrachteten Warengruppen des synthetischen Graphits mit Ausnahme der Warengruppe 3801.10 als unkritisch zu bewerten. Insgesamt ist China als Herkunftsland für deutsche Einfuhren der betrachteten Warengruppen nur von untergeordneter Bedeutung. Der Anteil Chinas als Ursprungsland lag für die Warenposition 3801.80 mit 14 % am höchsten.

2.5.3 Handelsbeschränkungen

Synthetischer Graphit

Für den Export von Graphitelektroden besteht eine Reihe von Antidumpingzöllen, insbesondere für Ausfuhren aus Indien und China. Zu den aktuell und in der Vergangenheit initiiierenden Ländern gehört neben den USA, Mexiko, Brasilien auch die Europäische Union. Im Februar 2021 leitete die Europäische Kommission ein Untersuchungsverfahren zur Prüfung der Festsetzung von Antidumpingzöllen auf die Einfuhr bestimmter Graphitelektroden-systeme aus China ein (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2021a), eingereicht von den Elektrodenproduzenten Graphite Cova GmbH, einem deutschen Tochterun-

ternehmen der indischen Graphite India, Tokai Erft-carbon, dem deutschen Ableger des japanischen Konzerns Tokai Carbon, sowie dem japanischen Unternehmen Showa Denko mit Produktionsstandorten in Deutschland, Spanien und Österreich. Begründet mit gestiegenen Importen aus China führt den Antragstellern zufolge u. a. eine unangemessene Heranziehung von Inlandspreisen und -kosten bei den chinesischen Exporten bestimmter Graphitelektroden-systeme zu Wettbewerbsverzerrungen für europäische Produzenten. Der Zeitplan für die Untersuchung sieht einen Abschluss spätestens binnen 14 Monaten vor.

Für Einfuhren aus Indien bestehen bis mindestens 2022 Antisubventions- sowie Antidumpingzölle (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2021b, 2021c).

Die Produktion von Anodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien auf Basis von sowohl synthetischem als auch natürlichem Graphit sind aktuell stark auf China konzentriert. Der Export unterliegt einer staatlichen Genehmigungspflicht, woraus sich potenzielle Versorgungs- und Lieferisiken für europäische Zellhersteller ergeben.

2.6 Zukünftige Nachfrage

Zwischen 2008 und 2018 betrug die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate des Gesamtgraphitbedarfs rund 2,4 %. Mit knapp 7 % pro Jahr lag das durchschnittliche Nachfragewachstum für Flockengraphit am höchsten, die Wachstumsraten 1,14 % für synthetischen bzw. 1,06 für amorphen Graphit lagen deutlich niedriger. Für alle Graphit-typen waren die Nachfrageentwicklungen stark anwendungsabhängig (vgl. 2.2) und werden auch zukünftig je nach Verwendungsbereich stark variieren. Vor allem für synthetischen Graphit sowie Flockengraphit werden Batterieanwendungen den mit Abstand wichtigsten Nachfragetreiber bis zum Jahr 2030 darstellen. Die verwendeten Nachfrageszenarien für Naturgraphit (vgl. 2.6.1), synthetischen Graphit (vgl. 2.6.2) sowie für beide Graphit-typen für den Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität (vgl. 2.6.3) sind in Tab. 14 zusammengefasst.

Tab. 14: Angenommenes durchschnittliches Nachfragewachstum pro Jahr (CAGR) für natürlichen Graphit, synthetischen Graphit sowie beide Graphittypen in Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität (BGR 2021, ROSKILL 2019, MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2021)

	CAGR 2018–2030 %	Zukünftiger Bedarf 2030 (t)
Natürlicher Graphit	6,6	2.040.000
Synthetischer Graphit	4,9	2.793.000
Graphit ¹ für die Elektromobilität	37,0 (SSP1)	961.000
	32,0 (SSP2)	613.000

¹ Natürlicher und synthetischer Graphit

2.6.1 Natürlicher Graphit

Die Nachfrage nach natürlichem Graphit stieg zwischen 2008 und 2018 im Jahresdurchschnitt um 5 %. Das höchste Nachfragewachstum mit knapp 17 % in diesem Zeitraum wies das Marktsegment der Batterien auf, gefolgt von den Anwendungsbereichen der Feuerfestprodukte und der Graphitformteile mit jeweils knapp 5 % (ROSKILL 2019).

Für den Zeitraum von 2018 bis 2030 wird von einem Nachfragewachstum von knapp 6,6 % ausgegangen. Batterieanwendungen werden auch zukünftig den größten Nachfragetreiber für natürlichen Graphit darstellen. Die angenommenen durchschnittlichen Wachstumsraten für natürlichen Graphit pro Jahr nach Anwendung sind in Tab. 15 zusammengefasst und wurden basierend auf ROSKILL (2019) bis 2030 fortgeschrieben.

Basierend auf einer Nachfragesteigerung von durchschnittlich knapp 19,3 % werden **Batterieanwendungen** zum größten Anwendungsbereich aufsteigen, wobei Lithium-Ionen-Batterien den mit Abstand bedeutendsten Batterietyp darstellen. Es gilt jedoch zu beachten, dass die hier dargestellte zukünftige Nachfrage von knapp 1,1 Mio. t den Rohstoffbedarf für die Aufbereitung zu batterie-tauglichen Qualitäten darstellt, die mit erheblichen Verlusten einhergeht. Die in den Batterien tatsächlich eingesetzten Graphitmengen liegen deutlich darunter.

Gegenwärtig sind die Bedarfe von natürlichem Graphit für die **Feuerfestindustrie** mit einem Anteil von 46 % von übergeordneter Relevanz für den Naturgraphitmarkt, allerdings werden für dieses Marktsegment negative Wachstumsraten

prognostiziert. Als wichtigste Anwenderindustrien gelten die Eisen- und Stahlindustrie, aber auch die Glas- und Zementindustrie setzen graphithaltige Feuerfestwerkstoffe in ihren Anlagen ein. Ein Rückgang der weltweiten Stahlproduktion als Folge der COVID-19-Pandemie wirkte sich negativ auf weitere Branchen wie die Automobil- und Bauindustrie aus. Der Zeitpunkt einer vollständigen Erholung auf das Niveau vor der Pandemie ist sektorabhängig, bedingt durch eine Reihe weiterer wirtschaftlicher Faktoren, und daher schwer zu prognostizieren. Ein geringerer Materialeinsatz aufgrund effizienterer Anlagen, eine insgesamt stagnierende Feuerfestindustrie sowie eine zukünftig geringere chinesische Stahlproduktion wirken sich nachfragemindernd auf graphitbasierte Feuerfestwerkstoffe aus.

Für die Verwendung graphithaltiger **Gießereiprodukte** werden zukünftige Wachstumsraten zwischen 1,5 und 2,1 % prognostiziert. Die Entwicklung dieses Marktsegmentes ist an die weltweite Metallgussproduktion gekoppelt. Graphit wird hier in einer Reihe verschiedener Gussverfahren eingesetzt, u. a. vor allem für das Sandgussverfahren für die Herstellung von Bauteilen für die Automobilindustrie. Eine stagnierende Produktion aus der weltweiten Eisen- und Stahlproduktion sowie ein zunehmender Einsatz konkurrierender Leichtbaumaterialien, insbesondere für den Automobilsektor, wirken sich nachfragemindernd aus.

Für den Einsatz in **Graphitformteilen, Schmiermitteln** und **Reibbelägen** findet natürlicher Graphit aufgrund hoher Qualitätsansprüche bezüglich Reinheit und Homogenität neben synthetischem Graphit lediglich nachgeordnete Verwendung. Die prognostizierten zukünftigen Wachstumsraten

Tab. 15: Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten pro Jahr (CAGR) nach Anwendungen für natürlichen Graphit (Roskill 2019, fortgeschrieben)

Anwendungsbereich	CAGR (%) 2018–2030	Zukünftiger Bedarf 2030 (t)	Zukünftiger Bedarf 2030 (%)
Feuerfestmaterialien	–0,3	420.000	21
Batterien	19,3	1.104.000	54
Gießereiprodukte	1,9	166.000	8
Schmiermittel	2,6	69.000	3
Reibprodukte	1,3	60.000	3
Aufkohlungsmaterialien	–1,0	36.000	2
Graphitformteile	2,3	21.000	1
Übrige	5,5	164.000	8
Gesamt	6,6	2.040.000	

zwischen 1,0 und 2,8 % liegen insgesamt unter dem prognostizierten weltweiten Wirtschaftswachstum. Für Reibbeläge ist speziell der Transportsektor von Relevanz, obwohl die eingesetzten Graphitmengen insgesamt relativ gering sind. Neben synthetischem Graphit konkurriert natürlicher Graphit in diesem Verwendungsgebiet insbesondere mit anderen kohlenstoff- und keramikbasierten Bremsbelägen.

Im Anwendungsbereich der **Aufkohlungsmaterialien** besteht ebenfalls eine Konkurrenz mit synthetischem Graphit; Materialansprüche umfassen u. a. hohe Kohlenstoffgehalte bei einem geringen Anteil an Verunreinigungen. Der aktuell relativ geringe Anteil an eingesetztem natürlichem Primärgraphit in diesem Marktsegment wird zukünftig weiter als rückläufig eingeschätzt, da zunehmend verfügbares Material aus der Elektrodenherstellung (synthetischer Graphit) sowie der Produktion von hochreinem Spherical Graphite diesem Markt zur Verfügung steht.

2.6.2 Synthetischer Graphit

Die Nachfrage nach synthetischem Graphit stieg zwischen 2008 und 2018 im Jahresdurchschnitt um 1,14 %. Das höchste Nachfragewachstum mit knapp 14 % in diesem Zeitraum wies das Marktsegment der Batterien auf, gefolgt vom Anwendungsbereichen der Feuerfestprodukte mit knapp 5 % (Roskill 2019).

Für den Zeitraum von 2018 bis 2030 wird von einem Nachfragewachstum von 4,9 % ausgegangen. Das größte Nachfragewachstum entfällt mit rund 20 % auch für synthetischen Graphit auf **Batterieanwendungen**. Die angenommenen durchschnittlichen Wachstumsraten pro Jahr nach Anwendung sind in Tab. 16 zusammengefasst und wurden basierend auf Roskill (2019) bis 2030 fortgeschrieben.

Graphitelektroden sind das mit Abstand bedeutendste Anwendungsfeld von synthetischem Graphit und weisen nach den Batterien das zweithöchste Nachfragewachstum auf. Sie werden vor allem in der Herstellung von Elektro Stahl im Lichtbogenofen (electric arc furnace – EAF) eingesetzt. Von der weltweiten Rohstahlproduktion von rund 1,9 Mio. t im Jahr 2020 wurden knapp 26 % über die Elektro Stahlroute hergestellt (World Steel Association 2021). In Europa bzw. in Deutschland lag der Anteil mit 42 % bzw. 32 % etwas höher. China ist weltweit bedeutendster Produzent von synthetischem Graphit, der EAF-Anteil der chinesischen Stahlproduktion lag im Jahr 2020 bei 9 % (World Steel Association 2021). Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil bis mindestens 2025 steigen wird. Die jüngste Fassung des Fünfjahresplans sieht eine Reduktion von Chinas CO₂-Emissionen vor und kann nach Meinung von Industrievertretern zu einer Umstrukturierung der chinesischen Stahlindustrie sowie einem weiteren Ausbau von EAF-Kapazitäten führen (Argus Media 2020).

Tab. 16: Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten (CAGR) pro Jahr nach Anwendungen für synthetischen Graphit (ROSKILL 2019, fortgeschrieben)

Anwendungsbereich	CAGR (%) 2018–2030	Zukünftiger Bedarf 2030 (t)	Zukünftiger Bedarf 2030 (%)
Elektroden	5,5	1.417.000	51
Batterien	19,7	431.000	15
Aufkohlungsmaterialien	1,0	321.000	11
Schmiermittel	2,4	165.000	6
Graphitformteile	2,4	151.000	5
Reibprodukte	0,8	81.000	3
Gießereiprodukte	2,3	51.000	2
Feuerfestmaterialien	0,0	45.000	2
Übrige	2,6	131.000	5
Gesamt	4,9	2.793.000	

Das geschätzte Nachfragewachstum für den Markt für Graphit in **Schmiermitteln** basiert vor allem auf dem prognostizierten Wachstum auf dem asiatischen Markt, während von einer stagnierenden Nachfrage in den etablierten Märkten Europa und Nordamerika ausgegangen wird. Eine ähnliche Entwicklung wird für das Marktsegment der **Graphitformteile** erwartet, wo synthetischer Graphit insbesondere in Form von Kohlebürsten für Turbinen in Windkraftanlagen und Industrieanlagen eingesetzt wird.

Für die weiteren Anwendungsfelder von synthetischem Graphit werden niedrige bis moderate Wachstumsraten von bis zu 2,5 % prognostiziert. Obwohl **Aufkohlungsmaterialien** ein wesentliches Anwendungsfeld für synthetischen Graphit darstellen, ist auch hier eine zunehmende Verfügbarkeit von geeignetem Sekundärmaterial aus der Elektrodenherstellung sowie der Produktion von batterieauglichem Spherical Graphite zu beobachten.

2.6.3 Graphit für Lithium-Ionen-Batterien für die E-Mobilität

Bedeutendster Treiber der zukünftigen Graphitnachfrage ist der Einsatz als Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien (LIB) für die E-Mobilität. Der Batterietyp stellt für beide Graphittypen den wichtigsten Anwendungsbereich bis zum

Jahr 2030 dar. Der zukünftige Graphitbedarf für dieses Marktsegment basiert auf dem Graphitbedarf pro kWh der jeweiligen Batterietechnologien sowie den bis zum Jahr 2030 angenommenen Produktionskapazitäten der etablierten und angekündigten Batteriewerke. Die weltweiten Produktionskapazitäten für LIB für die Elektromobilität lagen im Jahr 2020 bei 300 GWh, während die Produktion 160 GWh betrug (IEA 2021). Die Gesamtproduktionskapazität bis zum Jahr 2030 wird auf bis zu 3.200 GWh geschätzt, davon bis zu 600 GWh in Europa (IEA 2021, EUROPÄISCHE KOMMISSION 2020, THIELMANN et al. 2021).

Die hier dargestellten berechneten zukünftigen Graphitbedarfe für Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität basieren auf den möglichen zukünftigen sozioökonomischen Trajektorien der Rahmenszenarien der *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) 1 und 2 der im Auftrag der DERA veröffentlichten Studie *Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021* (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2021). Fünf SSPs wurden ab dem Jahr 2011 im Rahmen des 5. Sachstandsberichts des Weltklimarates (IPCC) für klimapolitische Fragestellungen erstellt (KRIEGLER et al. 2012) und stellen unterschiedliche globale sozioökonomische Entwicklungen für das 21. Jahrhundert dar. Im Rahmen dieser Studie wurden die folgenden Szenarien verwendet:

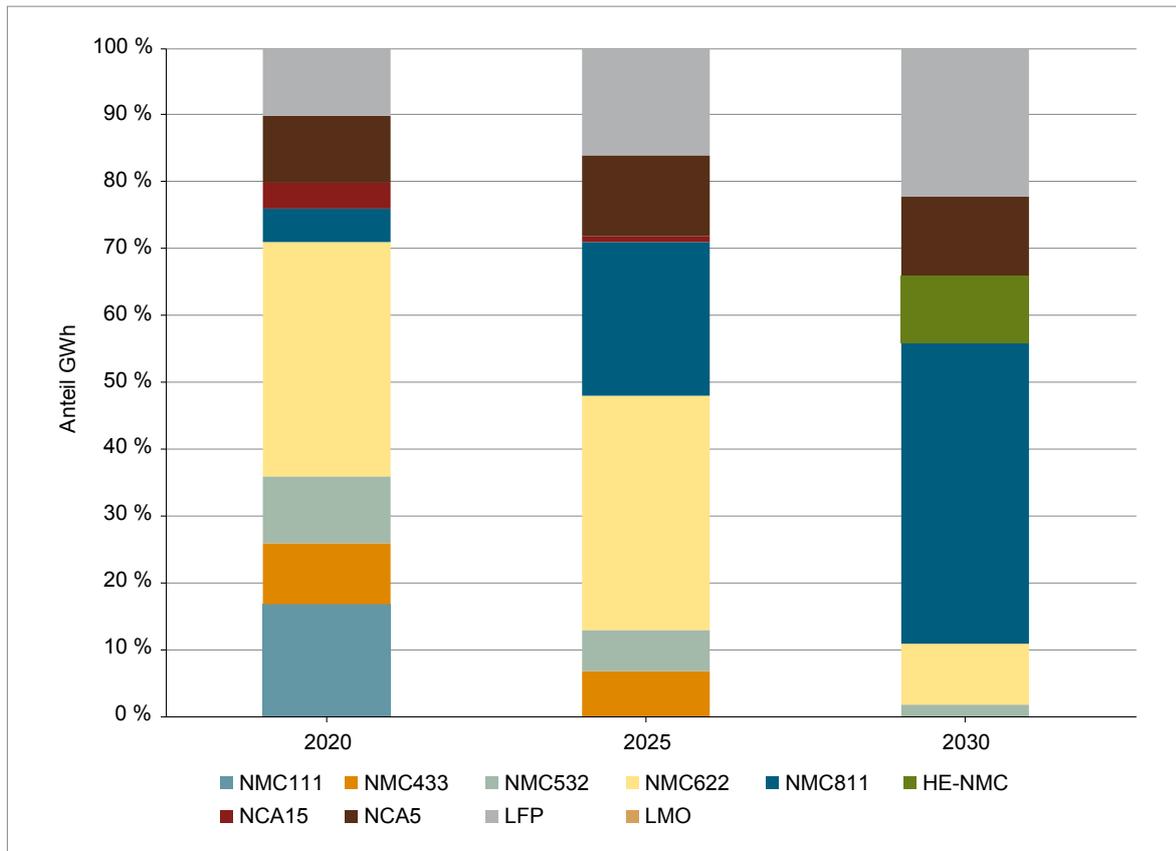


Abb. 36: Abschätzung der Anteile der Batterietechnologiezusammensetzung bis 2030 (modifiziert nach MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2021)

- **SSP1: Nachhaltigkeit** – geringe Herausforderung bei der Minderung und der Anpassung an den Klimawandel: Angenommene Gesamtkapazität von 3.140 GWh bis zum Jahr 2030
- **SSP2: Der Mittelweg** – mittlere Herausforderungen an die Schadensbegrenzung und bei der Anpassung: Angenommene Gesamtkapazität von 2.004 GWh bis zum Jahr 2030

Kapitel 1 in MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. (2021) zusammengefasst. Die Kalkulation des zukünftigen Graphitbedarfs basiert auf den nach MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. (2021) modifizierten angenommenen Batterietechnologiezusammensetzungen (Abb. 36); die jeweiligen zukünftigen Graphitbedarfe für SSP1 und SSP2 sind in Tab. 17 dargestellt.

Zusätzliche Informationen zu den angenommenen Rahmenszenarien SSP1 und SSP2 sind in

Es existiert eine Reihe weiterer Szenarien für den zukünftigen Graphitbedarf. Dabei gilt zu beachten,

Tab. 17: Zukünftige durchschnittliche Wachstumsraten pro Jahr für Graphit in Lithium-Ionen-Batterien für die Elektromobilität entsprechend der Shared Socioeconomic Pathways (SSP) 1 und 2 (MARSCHIEDER-WEIDEMANN et al. 2021, BGR 2021, freundl. Genehmigung FRAUNHOFER IZM 2021)

	CAGR (%) 2018 – 2030	Bedarf 2018 (t)	Zukünftiger Bedarf 2030 (t)
SSP1	37,0	21.900	961.000
SSP2	32,0	21.900	613.000

dass je nach Quelle der Gesamtmarkt für Lithium-Ionen-Batterien betrachtet wird und demnach die zukünftige Nachfrage nach Graphit in LIB für weitere Anwendungen wie stationäre Speichersysteme und Unterhaltungs- und Kommunikations-elektronik einschließt.

2.7 Vorräte

Die bekannten Naturgraphitvorkommen haben eine breite geografische Verteilung und sind auf fünf Kontinenten zu finden, die globalen Reserven werden vom USGS (2021) für das Jahr 2020 mit 320 Mio. t angegeben (Tab. 18), jedoch liegen zu den einzelnen Länderangaben keine weiteren Informationen vor. Es ist weiterhin zu beachten, dass die angegebenen Reserven alle Naturgraphittypen einschließen, jedoch hinsichtlich einer ausreichenden Verfügbarkeit für einzelne Anwendungen aufgrund der Vielzahl an geforderten Produktqualitäten nur bedingt aussagekräftig sind. Aufgrund der z. T. stark variierenden Anforderungen der verschiedenen Graphitanwendungen bspw. in Bezug auf Reinheit und Partikelgröße, wie z. B. für den Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien oder der Refraktärindustrie, reflektiert die Angabe der weltweiten Graphitvorräte als eine einzelne genormte Kategorie die potenzielle zukünftige Verfügbarkeit

nur bedingt. Bspw. überwiegen insbesondere in der Türkei, dem Land mit den weltweit größten Vorkommen an Naturgraphit, Lagerstätten des amorphen Typs (ILHAN et al. 2020). Der Großteil dieser Vorräte würde somit nicht zur Versorgung des Flockengraphitmarktes zur Verfügung stehen. Bei dem überwiegenden Teil der in den letzten Jahren explorierten Projekte insbesondere in den westafrikanischen Ländern Mosambik, Tansania und Madagaskar handelt es sich um Flockengraphitlagerstätten, welche wiederum aufgrund der spezifischen Eigenschaften von Flockengraphit nicht bzw. nur bedingt für Anwendungen von amorphem Graphit infrage kommen (vgl. 1.4.1).

Es ist davon auszugehen, dass es sich bei der Angabe der weltweiten Graphitvorkommen größtenteils um Schätzungen handelt bzw. die globalen Vorkommen deutlich höher liegen, da bspw. für eine Reihe von Förderländern keine Angaben existieren. Zudem findet für eine Ressourcenabgrenzung von Industriemineralen häufig erst relativ zeitnah vor ihrem Abbau statt, typischerweise auch erst, wenn sich eine Lagerstätte bereits im Abbau befindet. Hinzu kommt, dass die Reserven- und Ressourcenausweisung von Industriemineralvorkommen nicht zwangsläufig auf den insbesondere in der Exploration von metallischen Rohstoffen üblichen und vorgeschriebenen internationalen Bewertungsstandards wie z. B. dem australischen JORC und dem kanadischen NI 43-101 basiert. Während für metallische Rohstoffe Faktoren wie Tonnage und bauwürdige Erzgehalte ausschlaggebend sind, sollten für eine aussagekräftige Bewertung von Industriemineralagerstätten zusätzliche Elemente in die Ressourcen- und Reservenabschätzung einer Lagerstätte miteinbezogen werden. Hierzu zählen vor allem physikalische und chemische Charakteristika, Mineralogie und die räumliche Verteilung innerhalb der Lagerstätte, die geplanten verschiedenen Produktqualitäten, aber auch lagerstättenunabhängige Faktoren wie bspw. zu erwartende Transportkosten und vorhandene Expertise und Erfahrung in der Aufbereitung. Zusätzliche Informationen wie Marktkonzentration und -größe sowie die Anwendbarkeit dieser Kriterien auf den zu bewertenden Rohstoff sind ebenfalls von Bedeutung (CIM 2003, AIG 2017).

Die chinesischen Graphitreserven und -ressourcen werden von offizieller Seite mit insgesamt 628 Mio. t für das Jahr 2019 angegeben (ICMNR

Tab. 18: Weltweite Graphitreserven (USGS 2021)

Land	Reserven [t]
Türkei	90.000.000
China	73.000.000
Brasilien	70.000.000
Madagaskar	26.000.000
Mosambik	25.000.000
Tansania	17.000.000
Indien	8.000.000
Usbekistan	7.600.000
Mexiko	3.100.000
Nordkorea	2.000.000
Sri Lanka	1.500.000
Norwegen	600.000
Gesamt	320.000.000

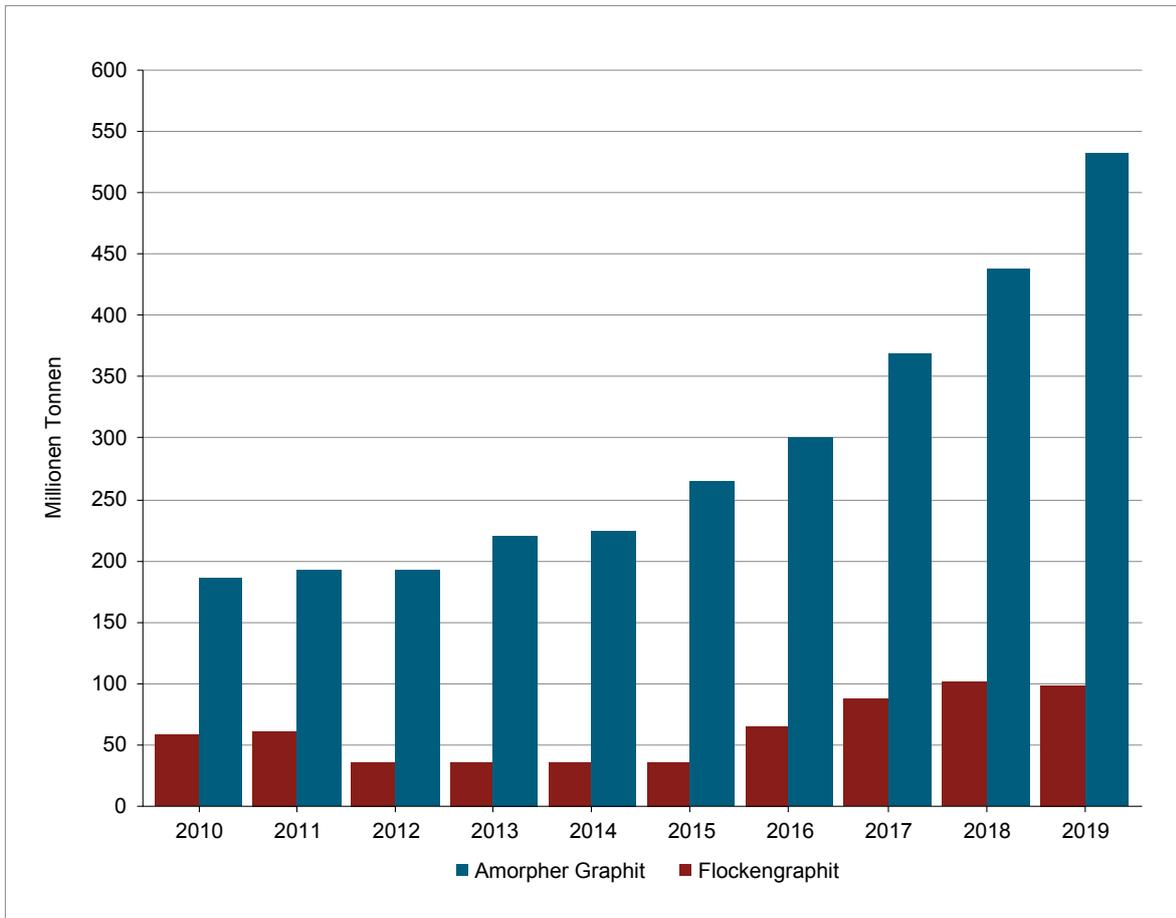


Abb. 37: Entwicklung der chinesischen Graphitreserven und -ressourcen für den Zeitraum 2010–2019 (MNR 2019, ICMNR 2020)

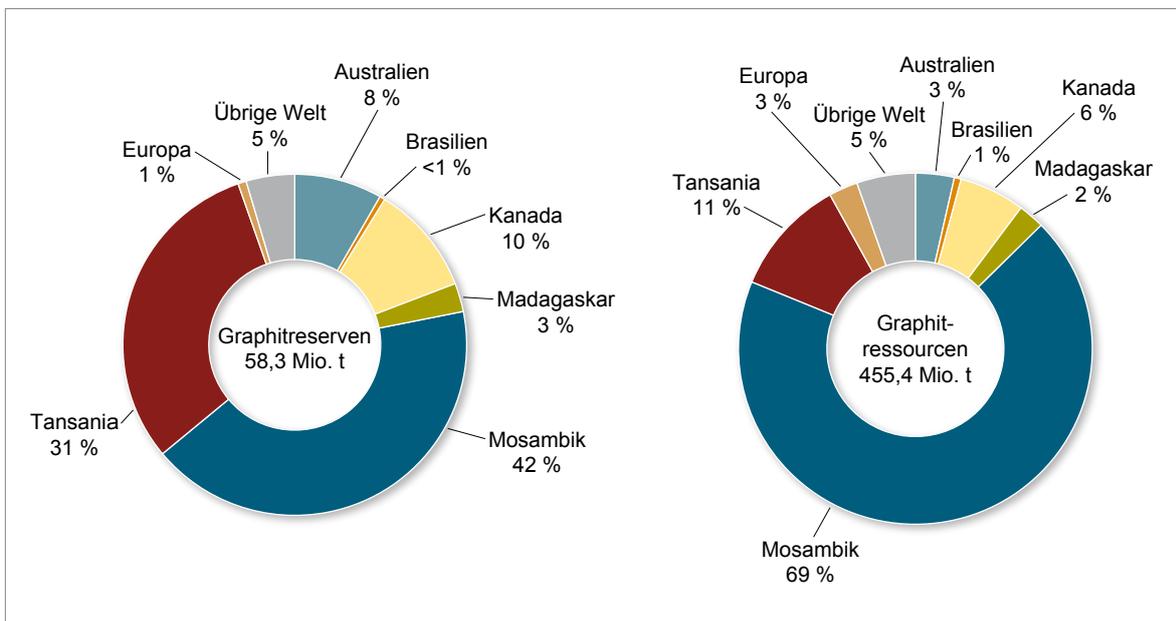


Abb. 38: Ausgewiesene Graphitreserven und -ressourcen weltweit (S & P CAPITAL IQ 2021)

2020). Davon entfielen rund 531 Mio. t auf Flockengraphitlagerstätten (Abb. 37). Insbesondere die Flockengraphitvorräte sind in den vergangenen Jahren stark angestiegen. Obwohl die chinesischen Angaben neben Reserven auch Ressourcen aufführen, ist die Diskrepanz zu den vom USGS (2021) angegebenen Reserven von 73 Mio. t zusätzlich wahrscheinlich auf unterschiedliche Bewertungsstandards zurückzuführen.

Nach einer Auswertung der kommerziellen Datenbank S & P Capital IQ (2021) zu den ausgewie-

senen Reserven von aktuell in verschiedenen Explorations- und Entwicklungsstadien befindlichen Graphitprojekten belaufen sich die weltweiten Reserven auf mindestens 58 Mio. t (Abb. 38). Insbesondere Explorationsbemühungen in Westafrika haben in den vergangenen Jahren zu einer massiven Steigerung der dortigen Reserven geführt. Zudem sind die in diese Berechnung einbezogenen Projekte überwiegend Flockengraphitlagerstätten, die dargestellten Daten sind somit als weltweite Flockengraphitreserven bzw. -ressourcen zu werten.

Exkurs: Parameter zur Bewertung von Graphitprojekten

Die Evaluierung von Graphitlagerstätten erfordert die genaue Betrachtung einer Reihe von Faktoren und unterscheidet sich stark von bspw. metallischen Lagerstätten. Neben Tonnagen und enthaltenen Kohlenstoffgehalten sind insbesondere Eigenschaften wie Flockengrößenverteilung und Reinheit der Graphitflocken von entscheidender Bedeutung für die Preisbildung der vermarkteten Produkte aus der Lagerstätte und bestimmen maßgeblich die potenzielle Verwendung eines Konzentrates in der Weiterverarbeitung zu Graphitprodukten. Die räumliche Verteilung dieser Parameter kann innerhalb einer Lagerstätte deutlich variieren und ein fundiertes Verständnis dieser Eigenschaften und die gezielte Vermarktung einer Lagerstätte abgestimmt auf die vorhandenen Gegebenheiten entscheiden ultimativ über ihren wirtschaftlichen Erfolg auf dem Graphitmarkt.

Für eine bessere Einordnung dieser Parameter sind im Folgenden einige in der Literatur über Graphitexplorationsprojekte geläufige Begriffe kurz erläutert:

Total Graphitic Carbon (TGC) bezeichnet den Graphitgehalt einer Lagerstätte. Kohlenstoff kann im Gestein neben Graphit in verschiedenen Modifikationen vorliegen wie bspw. in Karbonaten und organischen Kohlenstoffverbindungen. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff sowie Kohlenstoff in Karbonaten kann mittels „Loss on Ignition (LOI)“-Tests, der sog. Glühverlustanalyse, bestimmt werden. Während sich Total Carbon (TC) auf den Gesamtkohlen-

stoffgehalt bezieht, steht die Angabe Total Graphitic Carbon (TGC) für den Gesamtgraphitgehalt eines Erzes und ist häufig in der Bewertung von Graphitprojekten durch Explorations- und Consultingunternehmen zu finden. Eine Angabe des Gesamtgraphitgehaltes einer Lagerstätte sagt jedoch nichts über Qualität, Reinheit oder Gewinnbarkeit des enthaltenen Graphits aus. Hierfür sind weitergehende metallurgische Testarbeiten zur genaueren Charakterisierung einer Lagerstätte notwendig.

Unter **Flockengrößenverteilung** (flake size distribution) versteht man das Vorkommen von Graphitflocken unterschiedlicher Größe und ihre Verteilung innerhalb einer Lagerstätte. Sie ist lagerstätten-spezifisch und hat ebenfalls Einfluss auf die Reinheit der Flocken: Generell gilt, je größer die Flockengröße, desto höher ihr Kohlenstoffgehalt. Die Flockengrößenverteilung ist ein wichtiges Element der Marketingstrategie für ein Projekt, da sich die Verkaufspreise für Graphitkonzentrate nach Flockengröße und Kohlenstoffgehalt richten.

Jede Lagerstätte verfügt über einen spezifischen Anteil an Begleitelementen und Verunreinigungen im Erz und erfordert je nach Verwachsung mit dem Erz unterschiedliche Aufreinigungsmethoden. Diese lagerstättenbedingten Verwachsungen von Begleitmineralen mit den Graphitflocken können oberflächlich auf den Kristallflächen als auch zwischen den Kristalllagen auftreten, wobei dem maximalen Kohlenstoffgehalt des produzierten Konzentrates somit je nach Lager-

stättentyp und Art der Verwachsungen durch Flotationsprozesse allein Grenzen gesetzt sind (vgl. 1.2.1). Die in einem finalen Konzentrat vorliegenden Verunreinigungen werden als **Aschegehalt** (ash content) zusammengefasst. Dieser bezieht sich für gewöhnlich zusammen mit der angegebenen **Reinheit** (purity) auf das Aufbereitungsergebnis nach der Flotation, jedoch vor weiteren Aufreinigungsschritten wie thermische und chemische Prozesse. Die genaue Zusammensetzung ist insbesondere für das letztendliche Einsatzgebiet von Bedeutung und ist ein Indikator, ob und in welchem Aus-

maß weitere Aufbereitungsschritte für die Verwendung für ein bestimmtes Anwendungsfeld notwendig sind (vgl. 1.4). So sind bspw. für die Verwendung in Lithium-Ionen-Batterien hohe Reinheiten von typischerweise 99,99 % sowie geringe Eisen-, Aluminium-, Silizium- und Kupfergehalte von Bedeutung, da diese die Funktion der Batterie beeinträchtigen können.

Weitere wichtige Faktoren für die Evaluierung eines Graphitprojektes sind Standort sowie logistische Gegebenheiten und Infrastruktur für den Transport des Konzentrates.

2.8 Zukünftiges Angebot

Aufgrund der nachfrageorientierten Produktion von synthetischem Graphit wird auch zukünftig von einem eng an die Nachfrage gekoppelten Markt ausgegangen. Die Wachstumsrate des zukünftigen Angebots wird auf durchschnittlich 4,8 % pro Jahr geschätzt und basiert auf ROSKILL (2019), fortgeschrieben bis zum Jahr 2030.

2.8.1 Natürlicher Graphit

Die Abschätzung des zukünftigen Angebots basiert auf Informationen über die Produktion von bestehenden Bergwerken sowie über die geplante Produktion neuer Bergwerksprojekte innerhalb des betrachteten Zeitraums. Für Letztere ist die Kenntnis über die Jahresförderkapazität und den geplanten Produktionsbeginn für die weitere Betrachtung von großer Bedeutung. Bei den Angaben zu den Kapazitäten geplanter Bergwerke handelt es sich um Planzahlen der Bergbau- und Explorationsun-

ternehmen. Eine zuverlässige Abschätzung kann nur für solche Projekte erfolgen, die in der Entwicklung weit fortgeschritten oder bereits im Bau sind. Für die Graphitprojekte, welche sich noch in der Planungs- bzw. Genehmigungsphase befinden, sind Angaben zum Produktionsbeginn meist nicht verlässlich oder nicht bekannt; der Zeitraum zwischen Explorationsbeginn und der Aufnahme der Förderung beträgt jedoch üblicherweise durchschnittlich mehr als 15 Jahre.

Die Abschätzung des zukünftigen Angebotes wurde in der vorliegenden Studie bis zum Jahr 2030 durchgeführt und umfasst Projekte mit einem angestrebten Produktionsbeginn vor 2030 oder im Jahr 2030. Die erwarteten zusätzlichen Kapazitäten sind in Tab. 19 zusammengefasst. Vor allem Ostafrika wird aller Voraussicht nach einen Großteil der neuen Förderkapazitäten in Betrieb nehmen. Damit setzt sich der Aufstieg der Region zur zweitwichtigsten Abbauregion nach China fort. Daten zu Betriebserweiterungen bzw. die Produktionsaufnahme chinesischer Projekte lagen nicht vor.

Tab. 19: Übersicht der zusätzlich möglichen Jahresförderkapazität für Graphit bis zum Jahr 2030

Status	Anzahl	Geplante Kapazität bis 2030 (t/Jahr) Angebotsszenario 1	Geplante Kapazität bis 2030 (t/Jahr) Angebotsszenario 2
Betriebserweiterungen	5	194.000	154.000
Im Bau/Wiederaufnahme	4	205.000	170.000
Bergbauprojekte bis 2030	17	763.700	325.650
Summe		1.182.700	649.650

Das prognostizierte hohe Nachfragewachstum speziell für Batterieanwendungen hat in den vergangenen Jahren neben Lithium und Kobalt auch zu erhöhten Explorationsbemühungen für batterieauglichen Flockengraphit geführt. Weltweit befinden sich rund 100 Graphitprojekte in unterschiedlichen Explorationsstadien; knapp 40 davon verfügen bereits über ausgewiesene Reserven bzw. Ressourcen (S & P CAPITAL IQ 2021). Neben den Bergbauländern Kanada und Australien ist insbesondere Ostafrika mit den Ländern Mosambik, Tansania und Madagaskar aktuelles Zentrum von Explorationsaktivitäten durch internationale Unternehmen.

Betriebserweiterungen

Informationen zu geplanten Betriebserweiterungen liegen aktuell zu fünf Bergwerken vor.

Das Unternehmen Tirupati Graphite mit Sitz in London entwickelt mit **Vatomina** und **Sahamamy** zwei Projekte im Westen von Madagaskar in der Provinz Toamasina. Tirupati Graphite ist ein Ableger der indischen Tirupati Group mit bestehenden Produktionsstätten für Flockengraphit in Indien und Madagaskar und seit 2021 fortgeschrittenen Explorationsprojekten in Mosambik. Während in Sahamamy seit Anfang 2020 bereits 3.000 t Konzentrat pro Jahr gefördert werden, wurde in Vatomina im Verlauf von 2021 eine Aufbereitungsanlage mit einer Kapazität von 9.000 t in Betrieb

genommen. Somit belaufen sich die aktuellen Kapazitäten des Unternehmens in Madagaskar auf 12.000 t. Das Unternehmen plant eine Produktion aus beiden Projekten von bis zu 81.000 t pro Jahr über 14 Jahre, davon 60.000 t aus Vatomina (TIRUPATI GRAPHITE 2021).

Balama in Mosambik ist aktuell das weltweit größte Graphitbergwerk (vgl. 2.3.1) und wird vom australischen Bergwerksunternehmen Syrah Resources über seine Tochtergesellschaft Twigg Exploration and Mining betrieben. Seit 2018 im Abbau belief sich die Förderung im Jahr 2019 auf 153.000 t. Im März 2020 wurde die Förderung vorübergehend eingestellt. Nach einer knapp zwölfmonatigen pandemiebedingten Produktionspause wurde der Betrieb in Balama erneut schrittweise aufgenommen, mit einer geplanten Produktion von 15.000 t pro Monat ab April 2021 (SYRAH RESOURCES 2021b). Dies entspricht einer zusätzlichen jährlichen Förderung von knapp 30.000 t im Vergleich zum Jahr 2019. Aktuell wirkt sich eine pandemiebedingte anhaltende Knappheit von Containerkapazitäten auf den Transport von Konzentraten aus, so dass es kurzfristig erneut zu Produktionskürzungen kommen kann. Zwar liegt die Nennkapazität Balamas mit 350.000 t deutlich über den aktuellen Abbauraten. Eine Erhöhung der Jahresförderung über die aktuelle Förderung hinaus ist daher technisch möglich, nach Unternehmensinformationen jedoch nachfrage- sowie marktabhängig (SYRAH RESOURCES 2021c).

Tab. 20: Übersicht wichtiger Graphitbergwerke und ihre erwarteten zusätzlichen Jahreskapazitäten (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Land	Status	Zusätzliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Sahamamy	Tirupati Graphite	Madagaskar	Betriebserweiterung	18.000	2020
Vatomina	Tirupati Graphite	Madagaskar	Betriebserweiterung	Bis zu 60.000	2021
Balama	Syrah Resources	Mosambik	Betriebserweiterung	30.000	2021
Gallois Mine (No. 1 & 2)	Madagraphite	Madagaskar	Betriebserweiterung	Bis zu 80.000	2021
Trælen	Mineral Commodities	Norwegen	Betriebserweiterung	6.000	2022
Summe				Bis zu 194.000	

Das Unternehmen Etablissements Gallois, auch unter dem Namen Madagraphite bekannt, betreibt die Lagerstätte **Gallois Mine** im Osten Madagaskars, bestehend aus den drei Tagebauen Antsirakambo (No. 1), Marovintsy (No. 2) und Ambalafokata (No. 3). Aktuell befinden sich Antsirakambo und Marovintsy im Abbau, die Abbauraten werden auf 10.000 t pro Jahr geschätzt. Nachdem nach Investitionen in Abbau- und Aufbereitungstechnik bereits seit 2016 die jährlichen Kapazitäten auf 60.000 t erhöht wurden, plant das Unternehmen im Laufe des Jahres 2020 durch die Errichtung einer neuen Aufbereitungsanlage eine erneut höhere Jahreskapazität von insgesamt 140.000 t (MADAGRAPHITE 2020).

Mineral Commodities plant für sein Bergwerk **Trælen** in Norwegen einen schrittweisen Ausbau der Förderung von aktuell etwa 10.000 t pro Jahr auf rund 16.000 t ab dem Jahr 2022. Eine Steigerung der Kapazitäten ist Unternehmensangaben zufolge durch eine Erhöhung der Kapazitätsauslastung der bestehenden Aufbereitungsanlage von aktuell 60 % auf 85 % geplant (MINERAL COMMODITIES 2021).

Im Bau/Wiederaufnahme

Informationen zu geplanten Betriebserweiterungen liegen aktuell zu drei Bergwerken vor. Zwei

Bergwerke befinden sich gegenwärtig im Wartungs- und Instandhaltungsmodus.

Molo ist zu 100 % im Besitz des Unternehmens NextSource Materials mit Sitz in Toronto und befindet sich im Südwesten von Madagaskar in der Provinz Toliara. Die Lagerstätte verfügt über eine abgeschlossene Feasibility Study aus dem Jahr 2019; im Frühjahr 2021 verkündete das Unternehmen einen beabsichtigten Baubeginn für eine modulare Anlage für die erste Jahreshälfte 2021. Die Aufnahme der Förderung ist für 2022 geplant. Die initiale Förderung für Phase 1 beläuft sich laut Feasibility Study auf 17.000 t pro Jahr für die ersten drei Jahre; für Phase 2 ist die Erweiterung der modularen Anlage auf eine Jahreskapazität von bis zu 45.000 t geplant (NEXTSOURCE MATERIALS 2020a). Die Lagerstätte zeichnet sich durch einen hohen Anteil an Flocken der Kategorie *large flake* und größer (+80 bis +48 mesh) aus; knapp 46 % entfallen auf Flockengrößen dieser Kategorien. Die mittels Flotation erreichten Kohlenstoffgehalte der Konzentrate werden mit 97–98 % angegeben (NEXTSOURCE MATERIALS 2019). Etwa 20 % gehören zur Fraktion *small flake* bzw. *fine flake* (–200 mesh).

Walkabout Resources legte 2019 für sein zentrales Projekt **Lindi Jumbo** ein Update für die im Jahr 2017 abgeschlossene Definitive Feasibility Study vor. Lindi Jumbo befindet sich etwa 200 km

Tab. 21: Übersicht der im Bau befindlichen Graphitbergwerke und ihre erwarteten Jahreskapazitäten (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Land	Status	Jährliche Kapazität (t)	Geplanter Produktionsbeginn
Molo	NextSource Materials	Madagaskar	Im Bau	45.000 (Stufe 2)	2022
Lindi Jumbo	Walkabout Resources	Tansania	Im Bau	40.000	2022
Matawinie	Nouveau Monde	Kanada	Im Bau	100.000	2023
Aukam	Gratomic/Next Graphite	Namibia	Im Bau/ Wiederaufnahme	20.000	k.A.
Woxna	Leading Edge Materials	Schweden	Wartung und Instandhaltung	14.730	k.A.
Graphmada	Bass Metals	Madagaskar	Wartung und Instandhaltung	6.000	k.A.
Summe				Bis zu 205.000	

von Mtwara entfernt und ist eines der Explorationsprojekte mit den höchsten Kohlenstoffgehalten Afrikas. Das Unternehmen plant eine jährliche Förderkapazität von 40.000 t Konzentrat (95 % C) über einen Zeitraum von 24 Jahren. Knapp drei Viertel der Förderung entfallen laut DFS auf Flockengrößen der Kategorie *large flake* (+80 mesh) und größer. Im August 2021 gab das Unternehmen den Beginn der Baumaßnahmen bekannt, den Zeitraum bis zur Fertigstellung gibt Walkabout Resources mit 9–12 Monaten an. Ein Förderbeginn ist somit frühestens für 2022 vorgesehen (WALKABOUT RESOURCES 2021).

Matawinie in der Provinz Québec, 150 km nördlich von Montréal, ist das zentrale Projekt des kanadischen Unternehmens Nouveau Monde Graphite mit vorliegender Feasibility Study (2018). Die Lebensdauer des Bergwerks ist mit 25 Jahren angegeben, das Unternehmen plant eine jährliche Produktion von bis zu 100.000 t Konzentrat mit Reinheiten > 97 %; eine Aufnahme der Förderung ist für 2023 vorgesehen. Aus vier Spezifikationskategorien von Unternehmensangaben zufolge sind etwa 60 % der Produktion für den Batteriemarkt bestimmt (NOUVEAU MONDE 2021b). Das Unternehmen plant mit Matawinie das weltweit erste vollständig elektrifizierte Bergwerk.

Nouveau Monde Graphite plant mit der Errichtung einer Anlage zur Produktion von Anodenmaterialien den Einstieg in den Batteriemarkt (vgl. Kap. 2.8.2).

Aukam im südlichen Namibia ist ein ehemaliges Graphitbergwerk und befand sich mit Unterbrechungen bis 1974 im Abbau. Die Entwicklung des Projektes wird von Gratomic Inc. mit Sitz in Toronto vorangetrieben, das Unternehmen hält 67 % der Anteile an Aukam. Die verbleibenden Anteile von 37 % werden vom US-amerikanischen Unternehmen Next Graphite gehalten. Für das Projekt liegt ein Technical Report aus dem Jahr 2016 vor, eine Prefeasibility Study ist in Arbeit. Aukam ist eine Ganggraphitlagerstätte, der Abbau im Tagebaubetrieb ist geplant. Gratomic Inc. plant die Produktion von etwa 20.000 t Konzentrat pro Jahr mit durchschnittlichen Kohlenstoffgehalten von 98 % (GRATOMIC INC. 2020); geplant ist außerdem eine potenzielle Kapazitätserhöhung zu einem späteren Zeitpunkt. Die Beantragung einer Abbaulizenz ist in die Wege geleitet, Informationen zu einem geplanten erneuten Produktionsbeginn liegen nicht vor.

Woxna ist ein seit 2015 gestundetes Graphitbergwerk in Zentralschweden und befindet sich über die schwedische Tochtergesellschaft Woxna Graphite AB zu 100 % im Besitz des kanadischen Unternehmens Leading Edge Materials mit Sitz in Vancouver. Die Produktion wurde 2015 aufgrund widriger Marktbedingungen für Flockengraphit eingestellt, die Aufbereitungsanlage befindet sich seitdem im Wartungs- und Instandhaltungsmodus. Leading Edge Materials legte im Juni 2021 einen NI 43-101-konformen Bericht vor, der die Förderung von 14.730 t Konzentrat mit einem Kohlenstoffgehalt von 92,3 % über einen Zeitraum von 19 Jahren vorsieht (LEADING EDGE MATERIALS 2021a).

Das Bergwerk **Graphmada** ist zu 100 % im Besitz des australischen Unternehmens Bass Metals. Die jährlichen Kapazitäten belaufen sich auf 6.000 t, welche im Jahr 2018 erstmals erreicht wurden. Seit Juli 2020 befindet sich Graphmada im Wartungs- und Instandhaltungsmodus, als Grund gibt das Unternehmen pandemiebedingte Marktunsicherheiten an. Informationen zu einer erneuten Produktionsaufnahme liegen nicht vor, dennoch plant Bass Metals eine Fortführung seiner Explorationsbemühungen und den Abschluss einer Updated Feasibility Study. Günstige Marktbedingungen sowie eine positive Pandemieentwicklung vorausgesetzt ist von einer erneuten Förderaufnahme in Graphmada bis 2030 auszugehen.

Bergbauprojekte bis 2030 nach Ländern

Australien

In Australien findet aktuell keine Graphitförderung statt. Das Land verfügt jedoch über eine Reihe von Flockengraphitlagerstätten und mit Uley im Bundesstaat Südaustralien auch über ein sich derzeit im Wartungs- und Instandhaltungsmodus befindliches Graphitbergwerk. Vier Lagerstätten befinden sich aktuell zusätzlich in der Entwicklung und haben eine Definitive Feasibility Study (DFS) bzw. Preliminary Feasibility Study (PFS) vorliegen (Tab. 22). Alle aktiven australischen Graphitprojekte sowie Uley haben Aufnahme in die von der australischen Regierung publizierte Liste von Projekten kritischer Rohstoffe (Critical Mineral Project – Australian Critical Minerals Prospectus 2020) gefunden (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA 2020). Des Weiteren sind eine Reihe australischer Explorations- und Bergbauunternehmen in der Entwick-

Tab. 22: Graphitprojekte in Australien mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030 (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA 2020, Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Status	Tonnage [Mio. t]	Kohlenstoffgehalt [% TGC]	Jährliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Siviour	Renascor Resources	DFS	87,4	7,5	80.000	2023
Munglinup	Mineral Commodities	DFS	8	12,2	14.200–70.000	2025
Uley	Quantum Graphite	FS	6,3	11,1	50.000–60.000	2023
Kookaburra Gully	Lincoln Minerals	FS	2	14,6	35.000	k.A.
McIntosh	Hexagon Energy Materials	PFS	23,8	4,5	80.000	k.A.

lung und im Abbau von Graphit weltweit aktiv, u. a. in Mosambik, Tansania und Madagaskar.

Siviour ist das zentrale Projekt des australischen Explorationsunternehmens Renascor Resources mit Sitz in Adelaide. Die Lagerstätte befindet sich auf der Eyre Peninsula im Bundesstaat South Australia, seit 2019 liegt eine DFS (2019) vor. Mit ausgewiesenen Reserven von 3,8 Mio. t ist Siviour eine der größten Graphitlagerstätten weltweit sowie die größte in Australien. Eine Aufnahme der Förderung ist für 2023 geplant (RENASCOR RESOURCES 2021). Das Unternehmen gibt die jährliche Kapazität für die ersten vier Jahre (Stage 1) mit 80.000 t an, anschließend ist eine Erhöhung auf 144.000 t pro Jahr geplant. Die Lagerstätte befindet sich oberflächennah und wird als Tagebau geplant, die Gesamtkosten liegen mit US\$ 345 pro Tonne Konzentrat für Stage 1 im unteren Bereich, basierend auf einer Verschiffung über den nächstgelegenen Hafen Lucky Bay (RENASCOR RESOURCES 2019a). Etwa 70 % der Lagerstätte entsprechen der Kategorie *small flake* (–150 µm). Die angestrebten Parameter des finalen Produkts sind Reinheiten von mind. 94 %.

Die Marketingstrategie des Unternehmens ist klar auf den Batteriemarkt ausgerichtet, Renascor Resources plant die Weiterverarbeitung der eigenen Konzentrate zu batterietauglichem Purified Spherical Graphite (vgl. Kap. 2.8.2).

Munglinup im Süden des Bundesstaates Western Australia ist zu 90 % im Besitz des australischen Bergbauunternehmens Mineral Commodities Ltd, die verbleibenden 10 % werden vom Joint-Venture-Partner Gold Terrace Pty Ltd. gehalten. Das Unternehmen ist seit der Übernahme des norwegischen Unternehmens Skaland Graphite mit dem Bergwerk Trælen in Nordnorwegen im Jahr 2019 im Graphitbergbau aktiv. Die Lagerstätte wird als Tagebau entwickelt, die abgeschlossene DFS (2020) sieht eine Lebensdauer der Lagerstätte von 14 Jahren bei einer jährlichen Kapazität von anfänglich 14.200 t im Jahr 2025 und bis zu 60.000 t bis 2030 vor (MINERAL COMMODITIES 2020a, 2020b). Trotz der Nähe zum Hafen von Esperance ist die Verschiffung des Materials über den 640 km nordwestlich gelegenen Hafen von Fremantle geplant. Die angestrebten durchschnittlichen Konzentratgehalte werden mit 95 % angegeben.

Die Ausrichtung und Marketingstrategie von Mineral Commodities für die Produktion aus Munglinup ist größtenteils auf den Batteriemarkt ausgerichtet. Das Unternehmen plant mit der Errichtung einer Anlage in Norwegen zusätzlich den Einstieg in die Weiterverarbeitung von Graphitkonzentraten für den Einsatz als Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien (vgl. Kap. 2.8.2).

Kookaburra Gully des australischen Explorationsunternehmens Lincoln Minerals ist neben

Siviour und Uley das dritte Bergwerksprojekt in der Region Eyre Peninsula im Bundesstaat South Australia, rund 35 km nördlich von Pt Lincoln. In der Region befindet sich eine Reihe historischer Abbaustätten für Graphit. Mit 15,2 % TGC gehört das Projekt zu den Lagerstätten mit den höchsten Graphitgehalten weltweit. Eine Feasibility Study aus dem Jahr 2017 sieht eine anfängliche Produktion von 7.000 t im ersten Jahr sowie eine Kapazitätserhöhung auf 35.000 t ab dem vierten Förderjahr vor. Die Lebensdauer der Lagerstätte ist mit zehn Jahren angegeben (LINCOLN MINERALS 2017). Das Unternehmen plant eine Produktion von vier Konzentratklassen (94–97 % TGC), knapp 65 % der Förderung in Kategorie *small flake*.

McIntosh ist das zentrale Projekt des australischen Explorationsunternehmens Hexagon Energy Materials (bis 2019 Hexagon Resources) und liegt im Nordwesten des Bundesstaates Western Australia, etwa 100 km nördlich der Ortschaft Halls Creek. Das Projekt befindet sich aktuell im Feasibility-Study-Status. Eine Prefeasibility Study aus dem Jahr 2016 weist die zweithöchsten Ressourcen aller australischen Projekte auf und sieht die Produktion von rund 88.000 t Konzentrat pro Jahr vor; eine Verschiffung des Konzentrates ist über den 240 km nördlich gelegenen Hafen von Wyndham geplant (HEXAGON ENERGY MATERIALS 2016). Inwieweit das Projekt mittelfristig zur weltweiten Versorgung mit Graphit beitragen wird, bleibt abzuwarten. Nach der Aufkündigung eines Joint Ventures zwischen dem Hexagon Energy Materials und Mineral Commodities im Jahr 2020 zur Weiterentwicklung von McIntosh ist eine weitere Evaluierung des Projektes erst in drei bis vier Jahren vorgesehen (S & P CAPITAL IQ 2021); der Antrag zur Erlangung einer Abbaulizenz wurde 2020 durch das Unternehmen zurückgezogen (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA 2020).

Uley ist ein ehemaliges Graphitbergwerk auf der Eyre Peninsula im Bundesstaat South Australia, rund 20 km entfernt von Pt Lincoln. Der Abbau erfolgte seit 1890 über einen Zeitraum von knapp 100 Jahren, bevor der Betrieb in den frühen 1990er Jahren vorübergehend eingestellt wurde. Die Lagerstätte befindet sich aktuell im Besitz von Quantum Graphite (bis 2016 Valence Industries) und stellt einen Teil des Mikkira Graphitvorkommens dar. Nach einer kurzen Phase einer erneuten Inbetriebnahme von 2013 bis 2015 und der Aufbereitung von existierenden niedrighaltigen

Lagerbeständen strebt Quantum Graphite eine erneute Aufnahme der Förderung als Teil seines Projektes Uley 2 an. Eine Abbaulizenz liegt vor; die geplanten jährlichen Kapazitäten belaufen sich auf bis zu 60.000 t Konzentrat in drei Spezifikationskategorien der vorrangig mittleren und großen Flockengröße (COMMONWEALTH OF AUSTRALIA 2020). Eine Updated Feasibility Study sieht neben der Errichtung einer neuen Aufbereitungsanlage eine Produktionsaufnahme ab 2021 vor. Eine erfolgreiche Finanzierung des Projektes steht weiterhin aus, so dass frühestens ab 2023 von einer Förderung ausgegangen wird.

Kanada

Graphit ist Bestandteil der 2021 veröffentlichten Liste kritischer Rohstoffe Kanadas (NRCAN 2021) und als essenziell für Kanadas wirtschaftliche Sicherheit sowie als Voraussetzung für den Übergang zu einer klimafreundlichen und emissionsarmen Wirtschaft eingestuft. Kanada verfügt neben Lac-des-Iles und Black Crystal als aktive Graphitbergwerke über eine Reihe von Explorationsprojekten überwiegend in den Provinzen Québec und Ontario (Tab. 23). Im Jahr 2011 legte die Regierung von Québec den sog. Plan Nord vor, ein Entwicklungsprogramm für den Norden der Provinz. Das wirtschaftliche Stimulusprogramm ist u. a. auf die Erschließung von Rohstoffvorkommen und die Errichtung von Infrastruktur mit einem Volumen von 80 Mrd. CAD über 25 Jahre fokussiert (GOUVERNEMENT DE QUÉBEC 2015).

Lac Guéret, das zentrale Projekt des kanadischen Unternehmens Mason Graphite, befindet sich etwa 660 km nördlich von Montréal. Das Gebiet zählt zu dem 2011 von der Provinzregierung von Québec ausgerufenen Plan Nord. Das Projekt verfügt über eine abgeschlossene Feasibility Study (2015), ein Update wurde dem Markt 2018 vorgestellt. Demnach strebt das Unternehmen eine jährliche Produktion von rund 52.000 t Konzentrat pro Jahr über eine Lebensdauer von 25 Jahren an, basierend auf Erzgehalten von 27 %. Die Errichtung einer Aufbereitungsanlage ist im 280 km südlich gelegenen Baie-Comeau geplant mit Zugang zu bestehender Infrastruktur sowie Energie aus regenerativen Quellen. Ein Produktionsbeginn des Projektes ist derzeit noch unklar; das Unternehmen gibt, eine erfolgreiche Finanzierung bei gleichzeitiger Besserung der Marktlage vorausge-

Tab. 23: Graphitprojekte in Kanada mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030 (GLOBAL DATA 2021, Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Status	Tonnage [Mio. t]	Kohlenstoffgehalt [% TGC]	Jährliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Lac Guéret	Mason Graphite	FS	4,7	27,8	52.000	k.A.
Lac Knife	Focus Graphite	FS	7,8	15,1	44.000	k.A.
Bissett Creek	Northern Graphite	FS	40,5	1,8	44.000	2022

setzt, einen potenziellen Produktionsbeginn innerhalb von 24 Monaten an (MASON GRAPHITE 2018, MASON GRAPHITE 2021).

Lac Knife befindet sich etwa 500 km nördlich von Baie-Comeau in Québec an der Grenze zu Labrador und Neufundland und liegt innerhalb des Gebietes von Plan Nord. Das Projekt befindet sich seit 2012 im Besitz von Focus Graphite, einem kanadischen Explorationsunternehmen. Für das Projekt liegt eine abgeschlossene Feasibility Study vor (2014). Das Unternehmen plant die Produktion von 44.000 t Konzentrat mit einem durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 96,6 %. Rund 80 % der produzierten Konzentrate entfallen auf die Spezifikation > +200 mesh mit Kohlenstoffgehalten > 98 % (FOCUS GRAPHITE 2019). Die Lebensdauer der Lagerstätte ist mit 25 Jahren angegeben.

Bissett Creek in der Provinz Ontario ist eines der kanadischen Projekte mit dem höchsten Anteil von Flocken der Kategorie Coarse und größer (> +50 mesh). Es befindet sich zu 100 % in Besitz des kanadischen Unternehmens Northern Graphite mit Sitz in Ottawa. Eine 2012 abgeschlossene Feasibility Study für das Projekt sieht eine jährliche Förderung von 25.000 t in Phase 1 vor; ein seitdem veröffentlichtes Preliminary Economic Assessment (PEA) geht von einer Erhöhung der Kapazitäten nach drei Jahren Laufzeit auf 44.000 t in Phase 2 aus (Northern Graphite 2018). Insgesamt ist die Lebensdauer des Bergwerks auf 23 Jahre angelegt. Über 40 % der jährlich produzierten Konzentrate entfallen auf die Kategorie *large flake* (+80 mesh), weitere knapp 40 % entsprechen den Kategorien *small flake* und *medium flake* (–80 bis +150 mesh); nach Unternehmensangaben ist fast die gesamte geplante Förderung für den Einsatz in Batterien geeignet. Eine erfolgreiche Finanzierung vorausgesetzt, plant Northern Graphite den Bau-

beginn 2021 sowie eine Aufnahme der Produktion 2022 (NORTHERN GRAPHITE 2021b).

Mosambik

Verstärkte Explorationsbemühungen für Flockengraphit und die Öffnung des Bergwerkes Balama durch Syrah Resources als eines der größten Graphitbergwerke außerhalb Chinas haben Mosambik in den vergangenen Jahren zu einem bedeutenden Akteur auf dem Graphitmarkt werden lassen. Neben der sukzessiven Kapazitätserweiterung in Balama besteht mittelfristig das Potenzial einer zusätzlichen Förderung aus weiteren Projekten im Land (Tab. 24).

Montepuez war bis Mitte 2021 das zentrale Projekt des australischen Unternehmens Battery Minerals mit Sitz in Perth, im Oktober gab das Unternehmen die Übernahme sämtlicher Graphitprojekte durch Tirupati Graphite bekannt. Montepuez befindet sich in der Provinz Cabo Delgado im Norden von Mosambik, etwa 200 km westlich von der Provinzhauptstadt Pemba. Eine abgeschlossene Feasibility Study aus dem Jahr 2017 sieht eine Förderung von 50.000 t Konzentrat pro Jahr vor; eine Kapazitätserhöhung auf 100.000 t pro Jahr ist nach Unternehmensangaben in einer zweiten Produktionsphase möglich (BATTERY MINERALS 2020a). Die Kohlenstoffgehalte der produzierten Konzentrate werden vom Unternehmen mit 96 % TGC angegeben; der überwiegende Teil der Produktion (57 %) entfällt auf Flockengrößen der Kategorie Fine (–100 mesh) (BATTERY MINERALS 2018). Unternehmensangaben zufolge ist eine Produktion etwa zwei Jahre nach erfolgreicher Finanzierung möglich (BATTERY MINERALS 2020b). Für **Balama Central**, unmittelbar westlich von dem im Abbau befindlichen Bergwerk

Tab. 24: Graphitprojekte in Mosambik mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030 (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Status	Tonnage [Mio. t]	Kohlenstoffgehalt [% TGC]	Jährliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Montepuez	Tirupati Graphite	DFS	42,2	9,3	50.000–100.000	k.A.
Balama Central		FS	32,9	10,2	58.000–110.000	k.A.
Ancuabe	Triton Minerals	DFS	24,9	6,2	60.000	2021
Balama North – Nicanda Hill		Scoping Study	1,43	11,1	k.A.	k.A.

Balama des Unternehmens Syrah Resources, liegt eine Feasibility Study aus dem Jahr 2018 vor. Die geplante jährliche Kapazität liegt bei bis zu 58.000 t über 27 Jahre, eine Erhöhung auf 110.000 t pro Jahr ist im Rahmen einer zweiten Ausbaustufe möglich (BATTERY MINERALS 2020b). Während auf der Unternehmenswebsite noch ein geplanter Produktionsbeginn im Jahr 2021 angegeben ist, ist eine zeitnahe Aufnahme der Förderung aufgrund einer ausstehenden Finanzierung des Projektes unwahrscheinlich. Informationen zur Weiterentwicklung beider Projekte durch Tirupati Graphite liegen nicht vor.

Das australische Unternehmen Triton Minerals mit Sitz in Perth hält mit seinen Projekten **Ancuabe**, **Balama North** und **Balama South** drei Projekte in unmittelbarer Nähe der im Abbau befindlichen Bergwerke Ancuabe (AMG Graphite) und Balama (Syrah Resources) in der Provinz Cabo Delgado. Für **Ancuabe** liegt eine abgeschlossene Definitive Feasibility Study (2017) vor. Darin plant Triton Minerals die Produktion von 60.000 t Konzentrat pro Jahr über 27 Jahre (TRITON MINERALS 2017). Der anvisierte Produktionsbeginn von 2019 wurde aufgrund fehlender Finanzierung mehrmals verschoben, die auf der Unternehmenswebsite angegebene geplante Aufnahme der Förderung in Ancuabe Ende 2021 erscheint zum jetzigen Zeitpunkt ebenfalls unwahrscheinlich (TRITON MINERALS 2021).

Die Projekte Balama North und Balama South befinden in einem früheren Stadium der Exploration. **Balama North** setzt sich aus den Teilgebieten Nicanda Hill, Nicanda West und Cobra

Plains zusammen. Mit Ressourcen von 1,43 Mrd. (11,1 % TGC) ist Nicanda Hill Unternehmensangaben zufolge die weltweit größte Graphitlagerstätte und verfügt ebenfalls über signifikante Vanadiumressourcen. Eine Scoping Study aus dem Jahr 2014 für Nicanda Hill hält eine Förderung von bis zu 210.000 t Graphitkonzentrat pro Jahr über 30 Jahre für möglich (TRITON MINERALS 2017). Informationen zu einem geplanten Produktionsbeginn liegen nicht vor, eine zeitnahe Aufnahme der Förderung ist aufgrund ausstehender Finanzierung jedoch unwahrscheinlich.

Tansania

Das Land war in den vergangenen Jahren neben Mosambik und Madagaskar Zentrum der Graphitexploration. Obwohl das Land aktuell noch nicht zu den Förderländern von Graphit zählt, verfügt es mit sechs Flockengraphitprojekten im PFS- bzw. FS-Status und aufwärts über großes Potenzial und könnte mit über 700.000 t pro Jahr bis 2030 zur Weltbergwerksförderung beitragen (Tab. 25). Der Großteil der Projekte befindet sich im Süden des Landes in der Nähe der Stadt Mtwara nahe der Grenze zu Mosambik. Trotz bestehender Abnahmeabkommen über einen Großteil der geplanten Kapazitäten haben widrige Marktbedingungen und Finanzierungsschwierigkeiten bisher zu Verspätungen von Baumaßnahmen und Inbetriebnahmen der Projekte geführt.

Mahenge ist das zentrale Projekt des australischen Unternehmens Black Rock Mining Ltd. mit Sitz in Perth und befindet sich etwa 250 km west-

Tab. 25: Graphitprojekte in Tansania mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030 (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Status	Tonnage [Mio. t]	Kohlenstoffgehalt [% TGC]	Jährliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Mahenge Liandu	Armada Capital	DFS	59,5	9,8	53.300–121.900	2022
Chilalo	Graphex Mining	DFS	67,3	5,4	50.000	2023
Mahenge	Black Rock Mining	DFS	212	7,8	83.000–340.000	k.A.
Epanko	EcoGraf	BFS	10,9		60.000	k.A.
Nachu	Magnis Energy Technologies	BFS	174	5,4	240.000	k.A.
Bunyu	Volt Resources	FS (Stage 1)	461	4,9	23.700–170.000	k.A.

lich von Mtwara. Für das Projekt liegt eine abgeschlossene Definitive Feasibility Study (2018) vor. In der ersten von vier Ausbaustufen ist die Produktion von 60.000 t pro Jahr über die ersten drei Jahre vorgesehen, in Ausbaustufe 4 ist eine jährliche Kapazität von bis zu 340.000 t pro Jahr geplant (BLACK ROCK MINING 2021). Black Rock Mining plant einen Abbau über 26 Jahre. Unternehmensangaben zufolge ist die Produktion von drei Konzentratklassen beabsichtigt mit Kohlenstoffgehalten von bis zu 98,5 %. Obwohl Black Rock Mining mit Abschluss der Feasibility Study einen Produktionsbeginn bereits Mitte 2020 vorsah, führt eine ausstehende erfolgreiche Finanzierung weiterhin zu Verspätungen bei der Realisierung des Projektes. Informationen zum geplanten Produktionsbeginn liegen nicht vor.

Mahenge Liandu, zu 100 % im Besitz des Unternehmens Armada Capital, mit Sitz in Großbritannien, befindet sich im südlichen Teil Tansanias, etwa 450 km südwestlich von Daressalam. Für das Projekt liegt eine abgeschlossene Definitive Feasibility Study (2020) vor. Geplant ist die Förderung von durchschnittlich 80.000 t pro Jahr in vier Ausbaustufen, die Förderung der ersten Ausbaustufe von 53.300 t soll laut DFS bereits 2022 beginnen (ARMADALE CAPITAL 2020). Der geplante Produktionsbeginn wird vom Unternehmen für zehn bis zwölf Monate nach Baubeginn angegeben. Es liegen jedoch keine Informationen zu einem Baubeginn des Bergwerkes vor, so dass

eine Verschiebung der Produktionsaufnahme wahrscheinlich ist.

Das australische Unternehmen EcoGraf entwickelt über sein Tochterunternehmen TanzGraphite das Projekt **Epanko**, etwa 370 km südwestlich von Daressalam. Eine Bankable Feasibility Study wurde 2015 abgeschlossen, ein Update aus dem Jahr 2017 sieht eine Förderkapazität von 60.000 t vor. Angaben zum Produktionsstart liegen nicht vor.

Nachu ist das zentrale Graphitprojekt des australischen Unternehmens Magnis Energy Technologies (bis 2018 Magnis Resources); eine Bankable Feasibility Study liegt seit 2016 vor. Die angestrebten Kapazitäten liegen bei bis zu 240.000 t pro Jahr über einen Zeitraum von 15 Jahren (MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES 2016). Es ist davon auszugehen, dass die Förderung in mehreren Ausbaustufen erfolgt. Der Großteil des produzierten Materials entfällt auf Flockengrößen der Kategorie *jumbo flake*, geplant ist die Produktion von mindestens drei Konzentratklassen mit Kohlenstoffgehalten zwischen 97 % und > 99 %. Eine Finanzierung für das Projekt steht weiterhin aus, Angaben zum geplanten Produktionsbeginn liegen nicht vor.

Bunyu, etwa 140 km westlich von der Hafenstadt Mtwara im südlichen Tansania gelegen, befindet sich zu 100 % im Besitz des australischen Explorationsunternehmens Volt Resources. Mit

461 Mio. t verfügt das Projekt über die größten Reserven aller Graphitprojekte Tansanias. Eine Feasibility Study aus dem Jahr 2018 über die erste Ausbaustufe des Projektes gibt eine Förderkapazität von 23.700 t pro Jahr an, knapp die Hälfte (46 %) entfällt auf Flockengrößen der Kategorie Fine (VOLT RESOURCES 2018). Angaben zu einem Produktionsbeginn liegen nicht vor; eine erfolgreiche Finanzierung vorausgesetzt, gibt das Unternehmen einen Zeitraum von zwölf Monaten von Baubeginn bis Förderaufnahme bzw. 16 Monate bis Erreichen der vollen Auslastung an.

Im April 2021 gab Volt Resources eine Beteiligung von 70 % am ukrainischen Bergbauunternehmen Zavalivskiy bekannt. Ziel ist neben dem Einstieg in den europäischen Graphitmarkt als aktiver Produzent die Produktion von batterietauglichem Graphit für den europäischen Batteriemarkt (VOLT RESOURCES 2021).

Chilalo im Südosten Tansanias, rund 100 km entfernt von der Grenze zu Mosambik, ist zu 100 % im Besitz von Graphex Mining, seit Anfang 2021 über Evolution Energy Minerals eine Tochtergesellschaft des australischen Goldexplorationsunternehmens Marvel Gold. Die Auslagerung der Graphitlizenzen erlaubt Marvel Gold den Fokus auf sein Kerngeschäft: die Entwicklung seiner Goldprojekte in Mali. Eine von Graphex Mining im Jahr 2020 vorgelegte Feasibility Study für das Projekt sieht eine durchschnittliche jährliche Kapazität von 50.000 t über 18 Jahre (GRAPHEX MINING 2020) vor. Knapp ein Drittel der Förderung entfällt auf Flockengrößen der Kategorie *jumbo flake*. Eine endgültige Investitionsentscheidung sowie Finanzierung stehen weiterhin aus. Das Unternehmen geht ab Baubeginn von rund zwei Jahren bis zur vollen Kapazitätsauslastung aus. Eine nennenswerte Produktion aus Chilalo ist somit frühestens für 2023 zu erwarten.

Übrige Welt

Weitere Graphitprojekte mit einem geplanten Produktionsbeginn bis 2030 sind in Tab. 26 zusammengefasst.

In Europa war insbesondere Fennoskandinavien in den vergangenen Jahren ein Zentrum der Graphitexploration. Erkundungsarbeiten konzentrieren sich aktuell auf bergwerksnahe Gebiete,

entweder von im Abbau bestehenden Lagerstätten (Trælen) oder von gestundeten Bergwerken (Woxna). Das australische Unternehmen Talga Group entwickelt mit **Vittangi** ein fortgeschrittenes Graphitprojekt mit vorliegender Prefeasibility Study, der Abschluss einer Feasibility Study ist für 2021 vorgesehen. Geplant ist die Produktion von 19.000 t Konzentrat ab 2023 über einen Zeitraum von 22 Jahren (TALGA GROUP 2019).

Coosa im Osten des Bundesstaates Alabama in den USA ist ein Graphitprojekt des US-amerikanischen Unternehmens Westwater Resources. Alabama war bis Mitte des vergangenen Jahrhunderts bedeutende Graphitförderregion für den US-amerikanischen Bedarf, als der Betrieb in einer Reihe von Bergwerken sukzessive eingestellt wurde. Westwater Resources übernahm die Lagerstätte 2018 von Alabama Graphite, welches 2013 einen NI 43-101-konformen Technical Report für Coosa vorlegte. Westwater Resources plant einen Abbau in Coosa ab 2028 (WESTWATER RESOURCES (2021a, WESTWATER RESOURCES 2021b), zu jährlichen Kapazitäten liegen keine Angaben vor.

Malingunde, das zentrale Graphitprojekt des australischen Unternehmens Sovereign Metals mit Sitz in Perth, befindet sich im Osten Malawis, nahe des Nahala Logistics Corridor, welcher u. a. die Kohlebergwerke im Westen Mosambiks mit dem Hafen Nacala verbindet und durch Zentralmalawi verläuft. Für das Projekt liegt seit 2018 eine Prefeasibility Study vor, welche die jährliche Produktion von 52.000 t Konzentrat über einen Zeitraum von 16 Jahren vorsieht (SOVEREIGN METALS 2018). Die Lagerstätte zeichnet sich durch einen hohen Graphitgehalt im Saprolith aus; Sovereign Metals plant einen Abbau im Tagebau, wobei aufgrund der verwitterten Gesteinsschichten auf bergmännische Sprengverfahren zum Ausbruch und Lösen des Erzes verzichtet werden kann. Rund 50 % der Produktion entfällt auf die Flockengrößen der Kategorien *large flake* und *jumbo flake*, die angestrebten Kohlenstoffgehalte der Konzentrate liegen bei 96–98 %. Eine Definitive Feasibility Study ist Unternehmensangaben zufolge in Arbeit, der aktuelle Fokus von Sovereign Metals liegt jedoch auf der Weiterentwicklung eines Rutilprojektes. Angaben zu einem geplanten Produktionsbeginn für Malingunde liegen nicht vor.

Maniry ist zusammen mit Ianapera das zentrale Explorationsprojekt des australischen Unterneh-

Tab. 26: Graphitprojekte in weiteren Ländern mit angegebenen jährlichen Kapazitäten und geplantem Produktionsbeginn bis zum Jahr 2030 (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Projekt	Unternehmen	Land	Status	Tonnage [Mio. t]	Kohlenstoffgehalt [% TGC]	Jährliche Kapazität [t]	Geplanter Produktionsbeginn
Vittangi	Talga Group	Schweden	DFS in Arbeit	1,9	23,5	19.000	2023
Coosa	Westwater Resources	USA	PEA	87,3	2,4	k.A.	2028
Malingunde	Sovereign Metals	Malawi	DFS in Arbeit	9,5	9,5	52.000	k.A.
Maniry	Black Earth Minerals	Madagaskar	FS in Arbeit	11,2	7,1	30.000	k.A.
Lola	SRG Mining	Guinea	FS	46	4,09	54.600	k.A.

mens Black Earth Minerals und befindet sich im Süden Madagaskars in der Provinz Toliara, etwa 70 km vom Hafen Tamatave entfernt. Eine Feasibility Study ist aktuell in Arbeit und soll 2021 abgeschlossen werden. Die angestrebten jährlichen Kapazitäten für die erste Produktionsphase liegen bei durchschnittlich 30.000 t über drei Jahre (BLACK EARTH MINERALS 2020). Eine Verdopplung der Kapazitäten auf 60.000 t pro Jahr ist nach vier Jahren für Phase 2 vorgesehen. Die Lebensdauer der Lagerstätte von zehn Jahren bezieht sich aktuell lediglich auf die ausgewiesenen Ressourcen, zu einem geplanten Produktionsbeginn liegen keine Angaben vor. Metallurgische Tests im Rahmen einer Scoping Study ergaben eine Flockengrößenverteilung von rund 50 % der Kategorien *large flake* und größer bei Kohlenstoffgehalten von > 95 % (BLACK EARTH MINERALS 2019). Angaben zu einem geplanten Produktionsbeginn liegen nicht vor.

Lola ist zu 100 % im Besitz des kanadischen Unternehmens SRG Mining und befindet sich im Süden Guineas unweit der Grenzen zu Côte d'Ivoire und Liberia. Das Unternehmen plant ebenfalls die Entwicklung seines Nickel-Kobalt-Scandium-Projektes Gogota als Teil derselben Explorationslizenz. Für Lola liegt eine Feasibility Study aus dem Jahr 2019 vor. Darin plant das Unternehmen die Produktion von 54.600 t pro Jahr über 29 Jahre (SRG MINING 2019). Etwa die Hälfte der Lagerstätte entfällt auf die Flockengröße der Kategorien *large flake* (+80 mesh), knapp ein Viertel auf die Kate-

gorie *jumbo flake* (+50 mesh). Es ist die Produktion von vier Konzentratklassen mit Kohlenstoffgehalten von 94,5 bis 97 % vorgesehen.

2.8.2 Anodenmaterialien für Lithium-Ionen-Batterien

Eine Reihe etablierter asiatischer Hersteller von Anodenmaterialien hat in den vergangenen Jahren ihre Kapazitäten zum Teil deutlich erhöht und auch in den nächsten Jahren ist von zusätzlichen Betriebserweiterungen auszugehen. Eine Verifizierung der Herstellerangaben zu den abseits von Ankündigungen tatsächlich realisierten Erweiterungen ist in der Regel nicht möglich.

So plant bspw. der koreanische Konzern **POSCO** die Erhöhung seiner Kapazitäten von 44.000 t im Jahr 2021 auf 74.000 bis 2022 und auf 260.000 t bis zum Jahr 2030. Die geplante Erhöhung wird gestützt durch eine Rückwärtsintegration des Unternehmens über Anteile an Quingdao Zhongshuo sowie ein MOU der geplanten Produktion aus dem Projekt Siviour des australischen Explorationsunternehmens Rencos Resources. Der aktuell weltweit größte Produzent **BTR New Energy Materials** plant eine Erhöhung seiner Kapazitäten auf insgesamt bis zu 260.000 t bis zum Jahr 2021 (SMM 2021). Mit **Shanshan Technology** und **Jiangxi Zichen Technology** haben weitere bedeutende chinesische Unternehmen zusätzliche Kapazitäten angekündigt.

Tab. 27: Potenzielle zukünftige Produzenten von Spherical Graphite und Anodenmaterialien (Unternehmensangaben, s. Literaturverzeichnis)

Land	Unternehmen	Status	Jahreskapazität (t)	Produkt	Geplanter Produktionsbeginn
Indien	Tirupati Graphite	FS	12.000–24.000	Spherical Graphite	2022
Australien	Renascor Resources	PFS	28.000	Purified Spherical Graphite	2022
Norwegen	Mineral Commodities	DFS in Arbeit	20.000–60.000	Purified Spherical Graphite	2023
Norwegen	Elkem	k.A.	50.000	Anodenmaterial	2023
Kanada	Nouveau Monde Graphite	FS in Arbeit	45.000	Anodenmaterial	2023
USA	Westwater Resources	DFS in Arbeit	15.000	Spherical Graphite	2023
Schweden	Talga Group	DFS	19.500–100.00	Anodenmaterial	2024
USA	Syrah Resources	BFS	10.000–40.000	Anodenmaterial	2024
Australien	EcoGraf	k.A.	5.000–20.000	Spherical Graphite	k.A.
Kanada	Focus Graphite	FS in Arbeit	k.A.	k.A.	k.A.
Schweden	Leading Edge Materials	k.A.	7.000–20.000	Anodenmaterial	k.A.
k.A.	NextSource Materials	k.A.	k.A.	Spherical Graphite	k.A.
k.A.	Lincoln Minerals	k.A.	k.A.	Spherical Graphite	k.A.
Australien	Hexagon Energy Materials	Scoping Study	k.A.	k.A.	k.A.
Kanada	Mason Graphite	k.A.	k.A.	Spherical Graphite	k.A.
k.A.	Magnis Energy Technologies	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.

Neben den angekündigten Kapazitätserweiterungen plant eine Reihe von Bergbauunternehmen den Einstieg in den Markt für Anodenmaterialien auf Basis von natürlichem Graphit (Tab. 27). Es muss darauf hingewiesen werden, dass zwischen Unternehmensankündigungen und tatsächlicher Umsetzung in den vergangenen Jahren eine signifikante Diskrepanz beobachtbar war.

Tirupati Graphite ist ein Bergbaukonzern mit Bergwerken in Madagaskar und Indien. Mit der Errichtung einer Produktionsanlage für Spezial-

graphite sowie eines Forschungs- und Entwicklungszentrums und einer Graphenproduktion in Indien plant Tirupati Graphite eine vollständige Integration vom Abbau über Aufbereitung und Weiterverarbeitung zu hochwertigen Graphit- und Graphenprodukten. Patalganga, die Aufbereitungsanlage für die Herstellung von Blähgraphit für den Einsatz insbesondere in Flammschutzmitteln, befindet sich seit 2019 in Produktion und verfügt über eine aktuelle Kapazität von 1.200 t pro Jahr. Eine Vervielfachung der Kapazitäten auf 4.800 t für eine zusätzliche Herstellung hochrei-

ner und mikronisierter Graphite ist bis Mitte 2021 geplant. Das Specialty Graphite Project (SGP), eine weitere Anlage für die Aufbereitung und Weiterverarbeitung eigener Flockengraphitkonzentrate mit anfänglich 12.000 t Jahreskapazität, ist für 2022 geplant. Eine Verdopplung der Kapazitäten auf 24.000 t wird für 2024 angestrebt. Das Tirupati Graphene & Mintech Research Centre (TGMRC) legt den Fokus auf die Erforschung und Entwicklung von Graphen sowie die geplante Herstellung von bis zu 10 kg Graphen pro Tag bis 2022 (TIRUPATI GRAPHITE 2021). Tirupati Graphite gab im August 2021 die Übernahme sämtlicher Graphitprojekte des australischen Explorationsunternehmens Battery Minerals in Mosambik bekannt.

Renascor Resources ist ein australisches Explorationsunternehmen und plant für sein Projekt Siviour die Produktionsaufnahme für 2023. Ein Teil der geförderten Konzentrate soll Unternehmensplänen zufolge in einer firmeneigenen Anlage zu Purified Spherical Graphite weiterverarbeitet und zu führenden Anodenmaterialherstellern in Asien exportiert werden. Für die geplante Anlage in Port Adelaide mit einer anvisierten Jahreskapazität von 28.000 t liegt eine Prefeasibility Study aus dem Jahr 2019 vor (RENASCOR RESOURCES 2019b).

Mineral Commodities ist ein australischer Bergbaukonzern mit dem aktiven Graphitbergwerk (Trælen) in Norwegen sowie einem fortgeschrittenen Graphitprojekt (Munglinup) in Australien. Eine geplante Ausrichtung auf den Batteriemarkt sieht die Weiterverarbeitung der norwegischen Konzentrate zu batterietauglichen Qualitäten sowie die Produktion von Anodenmaterial vor. Geplant sind die Aufbereitungsschritte Mikronisierung, Spheronisierung sowie Aufreinigung und ein abschließendes Coating. Die modulare Anlage soll mit einer anfänglichen Kapazität von 20.000 t pro Jahr ab 2023 in Betrieb gehen, als Ausgangsmaterial ist laut PFS (2020) für die anfängliche jährliche Kapazität ausschließlich Material aus dem Bergwerk Trælen vorgesehen. Ab dem Jahr 2025 ist der Ausbau auf die Module 2 und 3 geplant, ebenfalls mit einer Kapazität von jeweils 20.000 t. Als Feedstock sind Konzentrate aus Munglinup vorgesehen (MINERAL COMMODITIES 2020c). Der Abschluss einer Definitive Feasibility Study ist für Ende des Jahres 2021 anvisiert.

Über sein Tochterunternehmen Vianode nahm das norwegische Unternehmen **Elkem** im Jahr 2021

den Betrieb einer Pilotanlage zur Herstellung von batterietauglichen Graphitqualitäten auf. Geplant ist die Erweiterung auf den industriellen Maßstab auf bis zu 50.000 t ab dem Jahr 2023 (ELKEM 2021).

Neben der Primärförderung von Flockengraphit aus der Lagerstätte Matawinie beabsichtigt **Nouveau Monde Graphite** die Errichtung einer Weiterverarbeitungsanlage in Bécancour in Québec zur Herstellung von batterietauglichem Spherical Graphite sowie von Anodenmaterial für Lithium-Ionen-Batterien. Phase 1 des Projektes beinhaltet die Errichtung einer Pilotanlage mit 2.000 t Jahreskapazität und befindet sich aktuell im Bau. In der anschließenden Phase 2 ab 2024 ist die Erhöhung der jährlichen Kapazität auf 42.000 t Anodenmaterial sowie 3.000 t hochreines Flockengraphit (Purified Flakes) und 14.000 t mikronisierte Graphitqualitäten (Micronised Graphite) basierend auf 60.000 t Rohmaterial aus Matawinie sowie aus externen Quellen vorgesehen (NOUVEAU MONDE 2021c).

Der Fokus von **Westwater Resources** liegt auf der Entwicklung einer Anlage zur Weiterverarbeitung von Graphitkonzentraten zu Spherical Graphite in den USA. Das Unternehmen entwickelt außerdem das Projekt Coosa. Der Abschluss einer Definitive Feasibility Study ist für 2021 vorgesehen; ein Produktionsbeginn ist für 2023 geplant. In zwei Ausbaustufen sollen bis zu 15.000 t in drei Produktqualitäten pro Jahr produziert werden (WESTWATER RESOURCES 2021a). Bis zur Verfügbarkeit von Graphitkonzentraten aus der firmeneigenen Lagerstätte Coosa plant Westwater Resources den Bezug von geeigneten Graphitkonzentraten aus externen Quellen (WESTWATER RESOURCES 2021b).

Talga Resources plant die Weiterverarbeitung der gesamten Förderung aus seinem Projekt Vittangi in Nordschweden zu Anodenmaterial. Die Errichtung der Anlage ist in Luleå in Nordschweden vorgesehen. Ziel ist die Produktion von anfänglich 19.000 t Anodenmaterial pro Jahr ab dem Jahr 2024. Das Unternehmen beabsichtigt zudem eine Erhöhung dieser Kapazität auf 100.000 t pro Jahr (TALGA GROUP 2021).

Syrah Resources plant mit seinem Projekt Vidalia die vertikale Integration vom Flockengraphitabbau in seinem Bergwerk Balama in Mosambik über die Produktion von Spherical Graphite bis zur Herstellung von Anodenmaterial in einer Anlage in

Vidalia, Louisiana, USA: Eine Bankable Feasibility Study aus dem Jahr 2020 sieht die Produktion von zwei Ausbaustufen von 10.000 t bzw. bis zu 40.000 t pro Jahr vor. Eine positive finale Investitionsentscheidung im Jahr 2021 vorausgesetzt, plant Syrah Resources den Bau der Anlage sowie die Aufnahme der Produktion in Ausbaustufe 1 zwei Jahre später (SYRAH RESOURCES 2021d).

Neben dem Abbau seiner Lagerstätte Epanko in Tansania plant **EcoGraf** die Errichtung einer Anlage zur Produktion von Spherical Graphite für den Einsatz als Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien in Kwinana, Australien. Nach einer anfänglichen Produktion von 5.000 t pro Jahr soll die Kapazität zeitnah auf 20.000 t pro Jahr ausgeweitet werden. Das Unternehmen plant des Weiteren den Bau einer identischen Anlage in Europa. Die finale Investitionsentscheidung steht weiterhin aus (ECOGRAF 2021).

Focus Graphite plant den Abbau von Flockengraphit aus seiner Lagerstätte Lac Knife in Kanada. Zusätzlich laufen seit 2017 Testarbeiten an Konzentraten aus Lac Knife mit dem Ziel, eine Weiterverarbeitung zu batterietauglichen Qualitäten zu etablieren. Hierfür plant Focus Graphite die Errichtung einer Anlage in Sept-Îles. Der Abschluss einer Feasibility Study steht aus.

Leading Edge Materials ist ein kanadisches Unternehmen mit einer Abbaulizenz für das schwedische Graphitbergwerk Woxna, aktuell im Wartungs- und Instandhaltungsmodus. Im Oktober 2021 gab das Unternehmen den Abschluss eines MOU mit dem australischen Unternehmen **Sicona Battery Technologies** bekannt. Inhalt des MOU ist der Abschluss eines Joint Ventures zur Herstellung von Anodenmaterial auf Naturgraphit- und Siliziumbasis aus Graphitkonzentraten aus Woxna für den Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien für den europäischen Markt. Die Anlage soll in Bergwerksnähe in Schweden errichtet werden, die geplanten Kapazitäten sollen sich zwischen anfänglich 7.000 t pro Jahr und 20.000 t belaufen (LEADING EDGE MATERIALS 2021b).

NextSource Materials plant für seine Lagerstätte Molo in Madagaskar eine Aufnahme der Produktion für das Jahr 2022, Aufbereitungsanlage und Infrastruktur befinden sich momentan im Bau. Neben traditionellen Absatzmärkten wie der Feuerfestindustrie ist die Marketingstrategie von NextSource

Materials klar auf den Batteriemarkt ausgerichtet. Das Unternehmen plant die Zusammenarbeit mit einem chinesischen und einem japanischen Partner bei der Errichtung und dem Betrieb einer Anlage für eine eigene Produktion von Spherical Graphite. Eine Absichtserklärung wurde im Jahr 2020 unterzeichnet (NEXTSOURCE MATERIALS 2020b).

Gemäß Feasibility Study für sein Projekt Kookaburra Gully schließt **Lincoln Minerals** eine Weiterverarbeitung seiner Konzentrate zu batterietauglichem Spherical Graphite in der Zukunft nicht aus; Einzelheiten hierzu liegen bisher jedoch nicht vor.

Die Pläne von **Hexagon Energy Materials**, die geförderten Konzentrate aus seinem Projekt McInTosh in Australien zu batterietauglichen Qualitäten weiterzuverarbeiten, liegen momentan auf Eis, der Fokus des Unternehmens liegt bis auf Weiteres auf der Entwicklung seiner Wasserstoffprojekte. Eine Scoping Study zur Errichtung einer Anlage in Australien wurde im Jahr 2019 abgeschlossen (HEXAGON ENERGY MATERIALS 2019).

Neben einem geplanten Abbau seiner Lagerstätte Lac Guéret in Kanada plant das Unternehmen **Mason Graphite** mit dem Markteintritt für Graphitprodukte der höheren Wertschöpfung u. a. die Produktion von Spherical Graphite für den Einsatz in Lithium-Ionen-Batterien. Ausgangsmaterialien sollen neben Konzentraten aus Lac Guéret zugekauftes Material anderer Anbieter sein. Eine Pilotanlage für die Herstellung von batterietauglichen Qualitäten ist seit 2019 in Betrieb, eine Feasibility Study zur Skalierung des Projektes ist in Planung (MASON GRAPHITE 2021).

Magnis Energy Technologies ist Teil eines internationalen Konsortiums mit Plänen für den Bau von zwei Batteriezellwerken in Australien und den Vereinigten Staaten. Eine Feasibility Study für die australische Anlage im Bundesstaat Queensland sieht eine Kapazität von 18 GWh und einen Produktionsstart für 2024 vor (MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES 2020). Für die Anlage im Bundesstaat New York ist eine jährliche Kapazität von 1,8 GWh und ein Produktionsbeginn 2021/2022 geplant (MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES 2021a, MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES 2021b). Angaben zu Produktionskapazitäten für Spherical Graphite oder Anodenmaterial liegen nicht vor.

2.9 Angebotsszenarien

2.9.1 Natürlicher Graphit

Für das zukünftige Angebot von natürlichem Graphit wurden zwei Szenarien erstellt. Es ist zu beachten, dass die Berechnung dieser Szenarien nur einen allgemeinen Überblick geben kann, da es eine Vielzahl an gehandelten Graphitspezifikationen auf dem Markt gibt und ihre Verwendungen stark anwendungsabhängig sind. Ebenfalls ist die Produktion der verschiedenen Spezifikationen lagerstättenabhängig und eine Lagerstätte produziert eine Vielzahl unterschiedlicher Qualitäten, abhängig vom Ausgangserz.

Für beide Angebotsszenarien wird davon ausgegangen, dass die weltweite Bergwerksförderung nicht unter die Mengen aus dem Jahr 2019 zurückfällt.

Angebotszenario 1

Diesem optimistischen Szenario liegen folgende Angebotsparameter zugrunde:

- Die geplanten Betriebserweiterungen der im Abbau befindlichen Bergwerke werden realisiert.
- Die Bergwerke Vatomina und Sahamamy erhöhen schrittweise ihre geplante Kapazität und erreichen eine Gesamtkapazität von 81.000 t ab 2024.
- Das Bergwerk Balama erhöht nach pandemiebedingter Unterbrechung 2021 schrittweise die zusätzliche jährliche Kapazität auf 30.000 t ab 2022.
- Das Bergwerk Trælen fördert zusätzlich 6.000 t ab 2022.
- Die zusätzliche jährliche Förderung aus den Lagerstätten der Gallois Mine wird auf 60.000 t ab 2022 geschätzt, mit einer schrittweisen Erhöhung der Kapazitäten auf 80.000 t ab 2026.
- Für die im Bau befindlichen Bergwerke Molo, Lindi Jumbo und Matawinie wird eine Umsetzung der geplanten Kapazitäten angenommen, wobei für Lindi Jumbo und Matawinie eine Anfangskapazität von 20.000 t bzw. 30.000 t im ersten Förderjahr angenommen wird.
- Eine Wiederaufnahme der Produktion der Lagerstätte Aukam wird frühestens für 2023 angenommen, mit der geplanten Kapazität wird ab 2024 gerechnet.
- Für das Projekt Ancuabe wird mit einer Aufnahme der Förderung frühestens ab 2023 ausgegangen; es wird mit einer schrittweisen Erhöhung der Kapazitäten von initialen 10.000 t auf 60.000 t ab 2026 gerechnet.
- Mahenge Liandu geht frühestens 2023 in Produktion, es wird von einer schrittweisen Erhöhung der Kapazität von 15.000 t auf 53.300 t ab 2026 ausgegangen.
- Bissett Creek geht frühestens 2023 in Produktion, nach einer schrittweisen Erhöhung der Kapazität wird die Ausbaustufe 2 im Jahr 2027 erreicht.
- Der geplante Förderbeginn von 2023 für das Projekt Siviour wird eingehalten, nach einer schrittweisen Erhöhung wird mit der Umsetzung der geplanten Kapazitäten für Ausbaustufe 2 ab 2027 gerechnet.
- Aufgrund der ausstehenden Finanzierungsentscheidung wird von einer Verschiebung des geplanten Produktionsbeginns für Chilalo von 2023 auf mindestens 2024 ausgegangen. Nach einer schrittweisen Erhöhung der Produktion wird mit der geplanten Kapazität ab 2026 gerechnet.
- Für das Projekt Vittangi wird mit der Umsetzung der geplanten Kapazitäten ab 2023 gerechnet.
- Für Uley wird von einer Produktionsaufnahme frühestens ab 2023 ausgegangen; die Umsetzung der geplanten Kapazität erfolgt 2026.
- Der geplante Produktionsbeginn für Munglilup wird eingehalten; es erfolgt eine schrittweise Erhöhung der Kapazitäten von 14.200 t auf 60.000 t im Jahr 2030.
- Der geplante Förderbeginn im Jahr 2028 für das Projekt Coosa wird eingehalten, es wird mit einer Kapazität von 12.000 t gerechnet.
- Für eine Reihe von Projekten liegen keine Informationen zum geplanten Produktionsbeginn vor. Für diese Lagerstätten werden folgende Annahmen getroffen:
 - Kookaburra Gully ab 2028, 7.000 t pro Jahr
 - Lac Guéret ab 2026: anfänglich 20.000 t pro Jahr, 40.000 t ab 2030
 - Lac Knife ab 2026: anfänglich 20.000 t pro Jahr, 44.000 t ab 2030
 - Mahenge ab 2026: anfänglich 20.000 t pro Jahr, 40.000 t ab 2028

Montepuez und Balama Central ab 2026:
anfänglich 30.000 t, 50.000 t ab 2029
Epanko ab 2027: anfänglich 20.000 t, 50.000 t
ab 2030
Bunyu ab 2028: 23.700 t pro Jahr
Nachu ab 2028: 20.000 t pro Jahr.

Für das Jahr 2030 ergibt sich in diesem Szenario gegenüber dem Jahr 2019 ein zusätzliches geschätztes Angebot von natürlichem Graphit von rund 1.182.700 t. Dem Markt stünden somit insgesamt knapp 2,85 Mio. t zur Verfügung. Dies entspricht einer durchschnittlichen Steigerungsrate der Bergwerksförderung von 4,9 % pro Jahr und liegt damit deutlich über dem langfristigen Trend von 0,14 % pro Jahr (2000–2019).

Das zukünftige Angebot ab 2019 durch Betriebs-erweiterungen sowie im Bau befindliche Berg-werke und geplante Projekte stammt ausschließ-lich aus Flockengraphitlagerstätten, so dass sich der Anteil der Förderung von Flockengraphit von

73 % im Jahr 2019 auf bis zu 84 % im Jahr 2030 erhöhen könnte.

Angebotszenario 2

Diesem konservativen Szenario liegen folgende Angebotsparameter zugrunde:

- Die geplante Betriebserweiterung für Trælen wird realisiert.
- Die Betriebserweiterungen für die Bergwerke Vatomina und Sahamamy werden zeitverzögert umgesetzt und bleiben bis 2027 mit 9.000–20.000 t pro Jahr für Vatomina und 7.000 t–12.000 t unter den geplanten Kapazitäten.
- Die Betriebserweiterung des Bergwerkes Balama erfolgt ab 2024.
- Die geplante Betriebserweiterung für die Lagerstätten der Gallois Mine fällt 50 % niedriger aus.

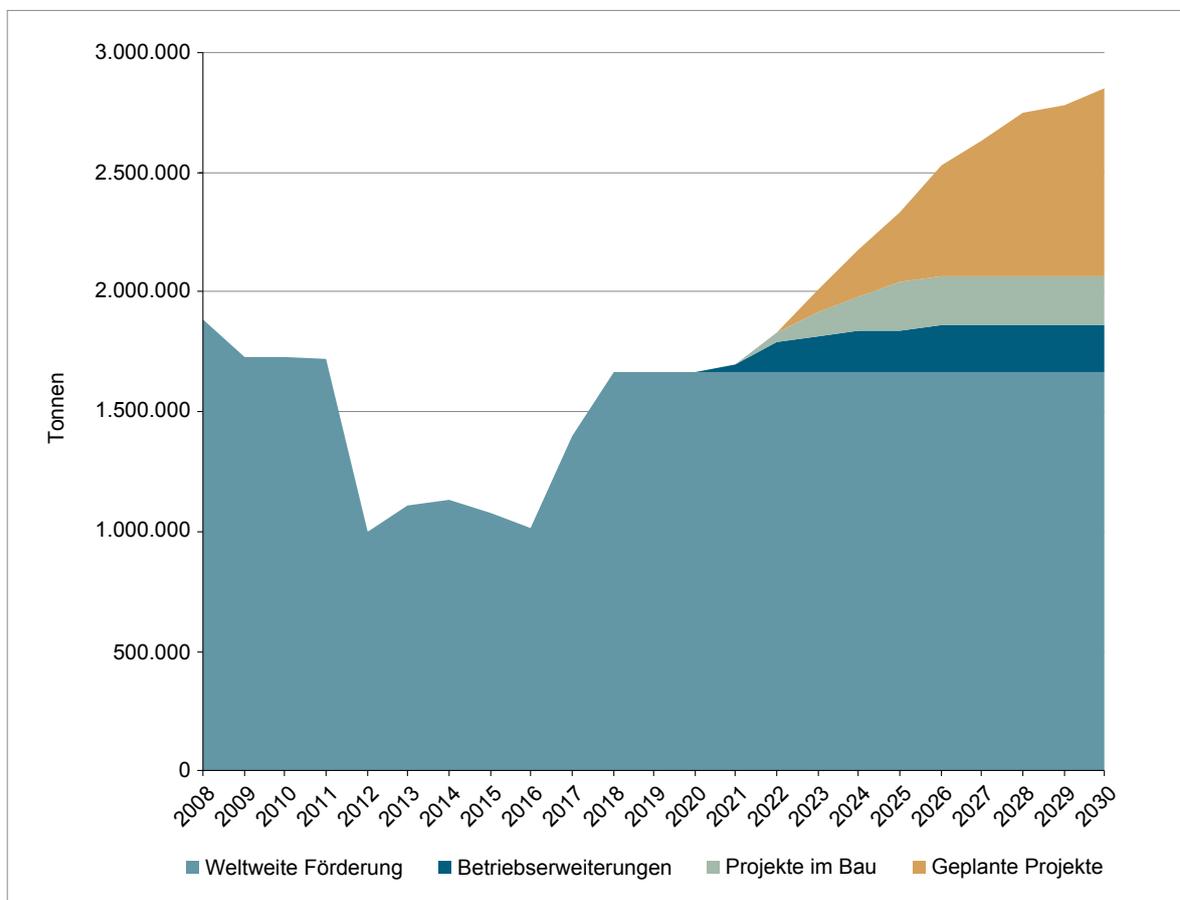


Abb. 39: Entwicklung des zukünftigen Angebots von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 1 (BGR 2021)

- Die Kapazität des im Bau befindlichen Bergwerks Molo wird planmäßig umgesetzt.
- Das Bergwerk Lindi Jumbo nimmt 2023 die Produktion auf, die Auslastung beträgt bis zum Jahr 2027 lediglich 50 %.
- Die Kapazität des Bergwerkes Matawinie wird schrittweise hochgefahren; bis 2027 beträgt die Auslastung 50 % sowie 75 % bis 2030.
- Die Wiederaufnahme der Produktion in Aukam wird frühestens für 2025 angenommen, die jährlichen Kapazitäten liegen bei 10.000 t.
- Die geplante Kapazität für Ancuabe wird ab 2024 schrittweise realisiert und bis 2030 mit 50 % berücksichtigt.
- Für Mahenge Liandu wird von einem Produktionsbeginn im Jahr 2025 ausgegangen und bis zum Jahr 2030 mit 50 % der ersten Ausbaustufe gerechnet.
- Bissett Creek nimmt 2024 die Förderung auf, bis 2030 wird mit der ersten Ausbaustufe von 25.000 t gerechnet.
- Siviour geht wie geplant 2023 in Produktion, nach einer schrittweisen Erhöhung der Kapazitäten wird eine Auslastung der ersten Ausbaustufe bis 2030 erwartet; die Kapazitätserweiterungen im Rahmen der zweiten Ausbaustufe erfolgen nach 2030.
- Für Chilalo wird eine Produktionsaufnahme für 2024 angenommen, die jährlichen Kapazitäten werden mit 50 % berechnet.
- Die Kapazität des Projektes Vittangi wird planmäßig umgesetzt.
- Für Uley wird mit einer Produktionsaufnahme ab 2025 und einer schrittweisen Erhöhung der Kapazitäten auf 60.000 t bis 2028 gerechnet.
- Der geplante Produktionsbeginn für Munglilunup wird eingehalten; es erfolgt eine schrittweise Erhöhung der Kapazitäten von 14.200 t auf 60.000 im Jahr 2030.
- Der Produktionsbeginn für das Projekt Coosa verschiebt sich nach 2030.

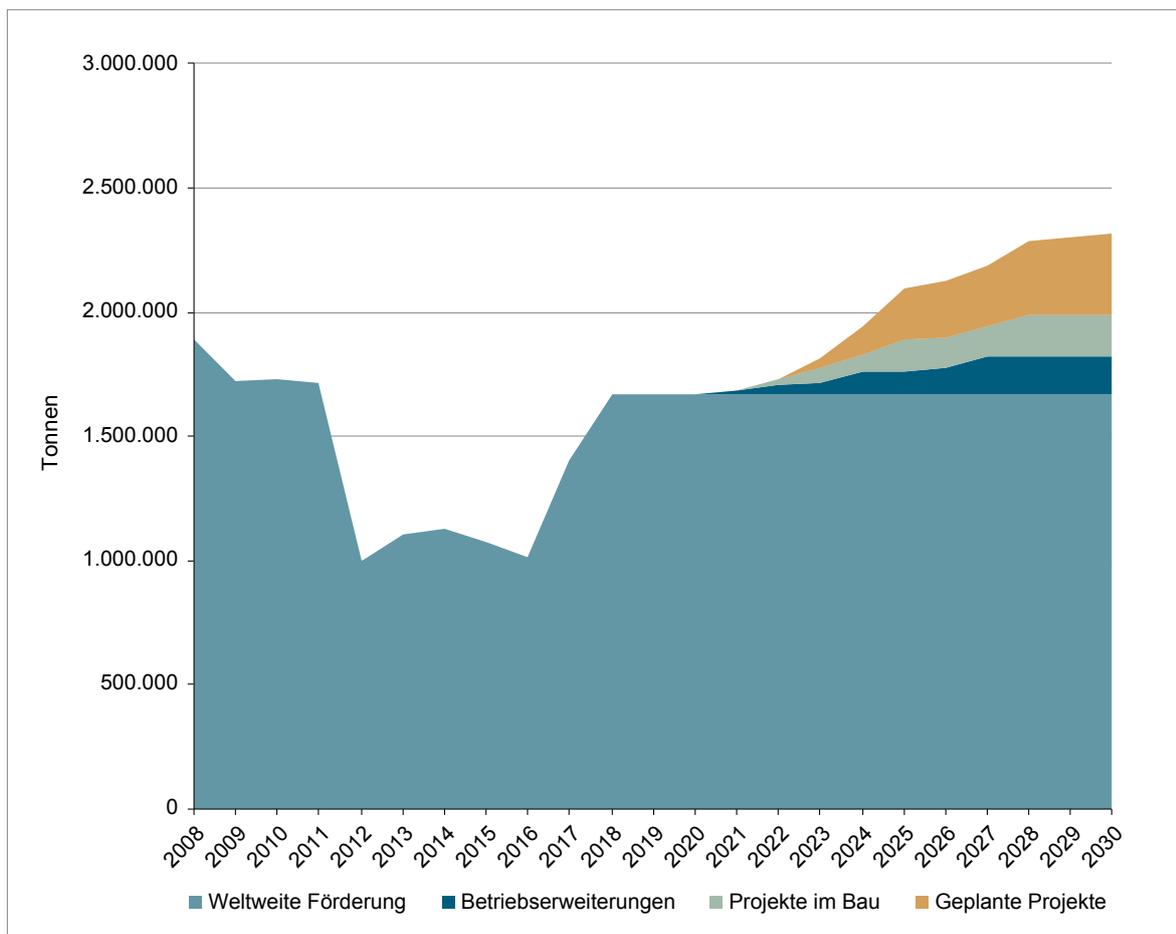


Abb. 40: Entwicklung des zukünftigen Angebots von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 2 (BGR 2021)

- Die folgenden Projekte finden aufgrund der unsicheren Datenlage zum geplanten Produktionsbeginn keinen Eingang in das konservative Szenario: Kookaburra Gully, Lac Guéret, Lac Knife, Mahenge, Montepuez und Balama Central, Epanko, Bunyu sowie Nachu.

Für das Jahr 2030 ergibt sich in diesem Szenario gegenüber dem Jahr 2019 ein zusätzliches geschätztes Angebot von natürlichem Graphit von rund 650.000 t. Dem Markt stünden somit insgesamt knapp 2,3 Mio. t zur Verfügung. Dies entspricht einer durchschnittlichen Steigerungsrate der Bergwerksförderung von 3,04 % pro Jahr und liegt damit über dem langfristigen Trend von 0,14 % pro Jahr (2000–2019).

Das zukünftige Angebot ab 2019 aus Betriebserweiterungen sowie im Bau befindlichen Bergwerken und geplanten Projekten stammt

ausschließlich aus Flockengraphitlagerstätten, so dass sich der Anteil der Förderung von Flockengraphit von 73 % im Jahr 2019 auf bis zu 81 % im Jahr 2030 erhöhen könnte.

2.9.2 Synthetischer Graphit

Aufgrund der nachfrageorientierten Produktion wird auch zukünftig von einem eng an die Nachfrage gekoppelten Markt ausgegangen. Die Wachstumsrate des zukünftigen Angebots wird auf durchschnittlich 4,8 % pro Jahr geschätzt und basiert auf ROSKILL (2019), fortgeschrieben bis zum Jahr 2030 (Abb. 41).

Für das Jahr 2030 ergibt sich gegenüber dem Jahr 2018 ein zusätzliches geschätztes Angebot von rund 1,15 Mio. t (Abb. 41). Dem Markt stünden somit insgesamt knapp 2,7 Mio. t zur Verfügung.

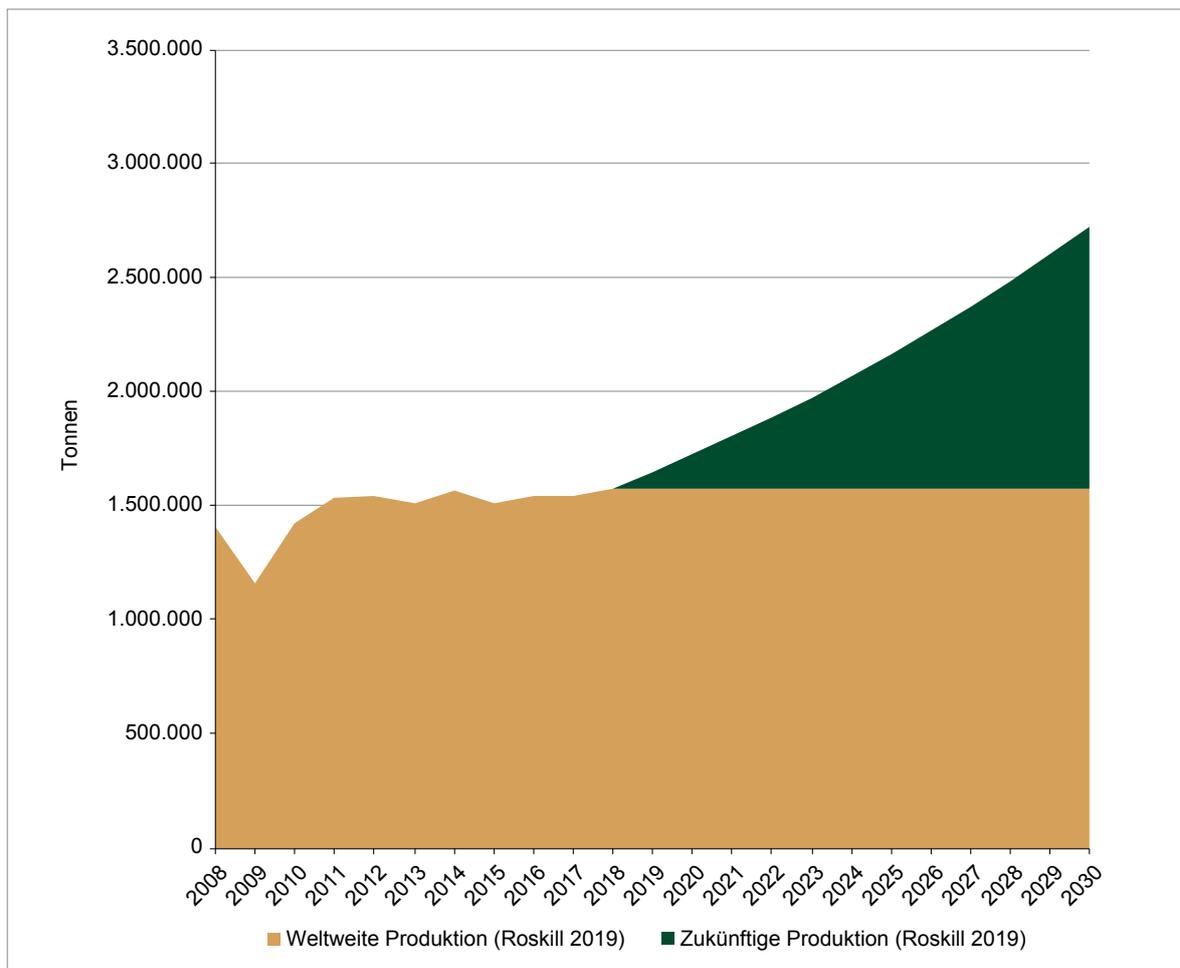


Abb. 41: Entwicklung des zukünftigen Angebots von synthetischem Graphit bis zum Jahr 2030 (Roskill 2019)

2.9.3 Länderkonzentration und gewichtetes Länderrisiko des zukünftigen Angebots

Natürlicher Graphit

Durch die potenzielle Zunahme der Förderung in Ländern außerhalb Chinas verändert sich die Länderkonzentration der Bergwerksförderung von natürlichem Graphit im Vergleich zum Bezugsjahr 2019 (HHI: 5.591). Die Länderkonzentration und damit der HHI fallen auf 2.326 (Angebotsszenario 1) bzw. 3.128 (Angebotsszenario 2) deutlich (Abb. 42).

Geht man von einer unveränderten Förderung Chinas bis zum Jahr 2030 aus, trägt insbesondere die hohe Zahl neuer Projekte in Angebotsszenario 1 zu einer sinkenden Länderkonzentration bei. Der Anteil Chinas geht unter der Annahme dieser neuen Fördermengen auf 43 % Weltanteil zurück. Das Land wäre weiterhin bedeutendster Produzent von natürlichem Graphit, mit knapp 30 %

Weltanteil gewinnen zusätzlich insbesondere ostafrikanische Länder wie Tansania, Madagaskar und Mosambik zunehmend an Bedeutung. Australien und Kanada hätten jeweils 10 % Anteil an der weltweiten Förderung bis zum Jahr 2030, so dass diese sechs Länder für insgesamt 90 % der weltweiten Förderung verantwortlich wären. Mit einem HHI von 2.326 würde die Länderkonzentration als mäßig bedenklich eingestuft werden.

Für Angebotsszenario 2 ist mit einem HHI von 3.128 ebenfalls von einer sinkenden Länderkonzentration auszugehen. Die zu erwartenden Fördermengen aus Ländern außerhalb Chinas werden jedoch als geringer angenommen, so dass der chinesische Anteil an der Weltbergwerksproduktion für das Jahr 2030 auf 53 % geschätzt wird. Die drei wichtigsten Produzentenländer nach China wären entsprechend diesem Angebotsszenario Mosambik, Madagaskar und Australien.

Das gewichtete Länderrisiko (GLR) ist für beide Szenarien mit -0,07 (Angebotsszenario 1) bzw. -0,14 (Angebotsszenario 2) weiterhin als mäßig

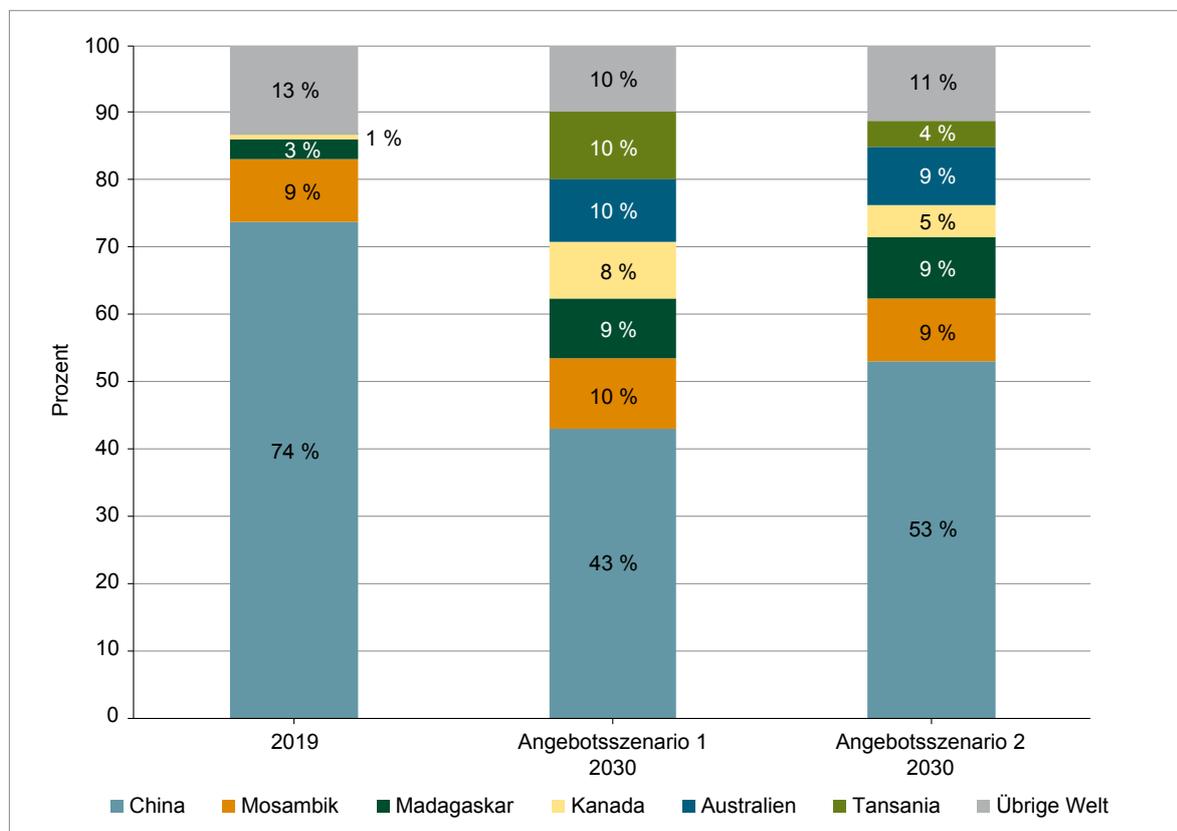


Abb. 42: Veränderung der Länderkonzentration der Bergwerksförderung von natürlichem Graphit bis zum Jahr 2030 entsprechend Angebotsszenario 1 und 2 (BGR 2021)

bedenklich zu bewerten, bedingt durch den weiterhin hohen Anteil Chinas an der weltweiten Förderung. Die zusätzlichen Fördermengen aus den ostafrikanischen Ländern, welche mit Länderrisiken von $-0,77$ (Mosambik), $-0,73$ (Madagaskar) und $-0,56$ (Tansania) als risikoreiche Länder gelten, wirken sich zusätzlich negativ auf das GLR aus. Eine zukünftige Förderung aus Australien und Kanada mit Risikobewertungen von $1,57$ bzw. $1,58$ hätte hingegen positiven Einfluss auf das GLR.

Synthetischer Graphit

Für die Produktion von synthetischem Graphit wird bis zum Jahr 2030 mit einer steigenden Länderkonzentration gerechnet. Mit einem HHI von 4.788 im Jahr 2030 (2018: HHI 3.676) ist die Länderkonzentration als hochkonzentriert zu werten (Abb. 43). Durch den weiteren Ausbau seiner Kapazitäten wird China auch weiterhin der wichtigste Produzent von synthetischem Graphit bleiben. Zusätzliche Produktionskapazitäten in Indien lassen das Land voraussichtlich zum weltweit zweitwichtigsten Produzenten aufsteigen. Die Schließung von Produktionsstandorten in Japan

und den USA trägt weiterhin zu einer zunehmenden Konzentrierung des Marktes bei.

Das gewichtete Länderrisiko für die zukünftige Produktion steigt. Mit einem GLR von $-0,06$ (2018: GLR $0,19$) liegt es zwar weiterhin im mäßig risikoreichen Bereich. Der zunehmende Anteil Chinas und Indiens mit Länderrisiken im mäßig bedenklichen Bereich wirkt sich jedoch negativ auf das gewichtete Länderrisiko aus.

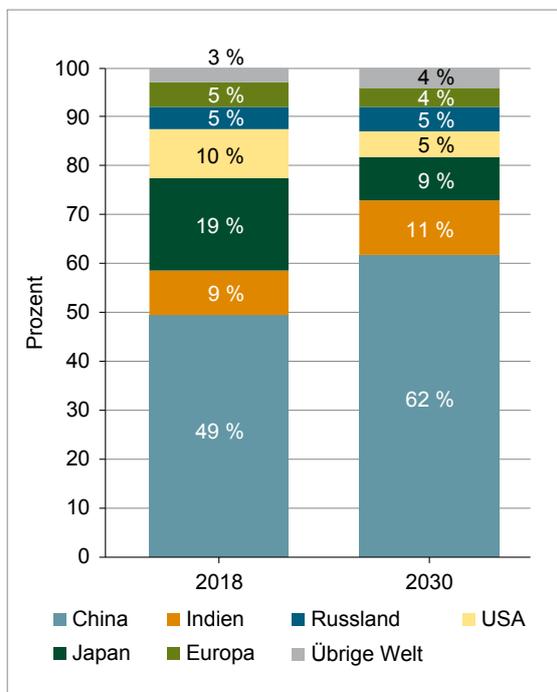


Abb. 43: Veränderung der Länderkonzentration der Produktion von synthetischem Graphit bis zum Jahr 2030 (BGR 2021, ROSKILL 2019)

3 Fazit

Der Markt für Graphit ist vielschichtig und komplex. Synthetischer Graphit wird über Hochtemperaturprozesse aus graphitierbaren Ausgangsstoffen hergestellt; natürlicher Graphit ist ein Bergwerksprodukt und wird im Tage- und Untertagebau gefördert. Beide Rohstoffe verfügen über spezifische Eigenschaften und haben ihre eigenen etablierten Anwendungsgebiete. Eine Konkurrenz beider Graphittypen besteht zunehmend als Anodenmaterial in Lithium-Ionen-Batterien.

Für beide Graphittypen existiert eine Vielzahl an Graphitspezifikationen, deren Verwendung an eine Reihe unterschiedlicher Industrien gekoppelt ist, welche ihren eigenen Marktdynamiken unterliegen. Neben den Kohlenstoffgehalten sind Partikelgröße und Reinheit ausschlaggebende Faktoren für den jeweiligen Anwendungsbereich. Im Falle von natürlichem Graphit sind diese Parameter überwiegend abhängig vom Lagerstättentyp und können über die Aufbereitung begrenzt beeinflusst werden. Daher sind auch keine allgemeinen Aussagen zur zukünftigen Marktdeckungen möglich. Aber auch für synthetischen Graphit lassen sich über eine Erhöhung der Gesamtproduktionskapazitäten nur bedingt Aussagen über die zukünftige Marktdeckung treffen. Die Produktion wird in verschiedene Produktgruppen unterschieden, welche im Herstellungsprozess und den spezifischen Anforderungen an Ausgangsmaterialien grundlegend variieren. Die Produktionskapazitäten sind eng an die jeweiligen Produktgruppen geknüpft und nicht beliebig verwendbar.

Trotz bestehender und zukünftig geplanter hoher Gesamtkapazitäten von natürlichem Graphit können die für bestimmte Anwendungen nötigen Graphitspezifikationen und die weiterhin hohe Länderkonzentration auf China zu vorübergehenden Lieferengpässen für bestimmte Anwendungen führen. Dies hat insbesondere Auswirkungen auf die Verfügbarkeit batterietauglicher Graphitspezifikationen. Im Fall von Flockengraphit ist aufgrund der erforderlichen spezifischen Eigenschaften anzunehmen, dass trotz der auf den Batteriemarkt fokussierten Marketingstrategien der neuen Graphitprojekte nur ein Teil der zukünftigen Produktion für die Verwendung als Anodenmaterial geeignet ist. Die Produktion von synthetischem Graphit orientiert sich als kundenspezifisch hergestellter Rohstoff zwar eng an der Nachfrage.

Die stark steigende Nachfrage aus dem Marktsegment der Lithium-Ionen-Batterien setzt jedoch die Errichtung zusätzlicher Kapazitäten zur Produktion von synthetischen Graphit für eben diesen Markt voraus.

China bleibt bis zum Jahr 2030 für sowohl natürlichen als auch synthetischen Graphit weiterhin wichtigster Produzent. Eine zunehmende Förderung vor allem in Ostafrika, Kanada und Australien könnte die Möglichkeit der Diversifizierung für den Bezug von Flockengraphit außerhalb Chinas bieten. Für synthetischen Graphit ist vor allem durch den Ausbau der chinesischen Produktionskapazitäten mit einer steigenden Länderkonzentration zu rechnen. Auch bei der nachgelagerten Wertschöpfungskette zur Herstellung von Spherical Graphite sowie Anodenmaterialien für die Verwendung in Lithium-Ionen-Batterien auf Basis beider Graphittypen wird aufgrund der angekündigten neuen Kapazitäten durch chinesische Unternehmen weiterhin eine hohe Marktkonzentration auf China bestehen.

4 Literaturverzeichnis

- AIG – AUSTRALIAN INSTITUTE OF GEOSCIENTISTS (2017): Reporting industrial mineral exploration results according to the JORC code. – AIG Journal Paper N2017-002: 8 S. – URL: https://aigjournal.aig.org.au/wp-content/uploads/2017/09/AIG-Notebook-2017-002-Reporting-industrial-mineral-exploration-results-under-JORC_comments-IC-AJS-20170706-1.pdf [Stand 06.2021].
- AMG – ADVANCED METALLURGICAL GROUP (2020): Internetauftritt AMG. – URL: <https://amg-nv.com/about-amg/geology/> [Stand 09.2020].
- ANDERSECK, S., GLIECH, M., GOERS, D., NICKOL, A. (2020): Recyclingpotenziale von Antriebsbatterien in Thüringen. – Potenzial- und Akteursstudie im Auftrag des Thüringer Ministeriums für Umwelt, Energie und Naturschutz (TMUEN): 106 S.; Dresden. – URL: https://www.ikts.fraunhofer.de/content/dam/ikts/downloads/energy_bio_medical_technology/recyclingpotenziale-von-antriebsbatterien_studienbericht_2020-12.pdf [Stand 11.2021].
- ARGUS MEDIA (2020): China's next five-year plan to boost steel scrap use. – URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2154259-chinas-next-fiveyear-plan-to-boost-steel-scrap-use> [Stand 01.2021].
- ARGUS MEDIA (2021): China's Shanshan to expand Inner Mongolia anode plant. – URL: <https://www.argusmedia.com/en/news/2203215-chinas-shanshan-to-expand-inner-mongolia-anode-plant> [Stand 10.2021].
- ARMADALE CAPITAL (2020): Internetauftritt Armadale Capital. – URL: <http://armadalecapitalplc.com/> [Stand 11.2021].
- ASENBAUER, J., EISENMANN, T., KUENZEL, M., KAZAZI, A., CHEN, Z., BRESSER, D. (2020): The success story of graphite as a lithium-ion anode material – fundamentals, remaining challenges, and recent developments including silicon (oxide) composites. – Sustainable Energy Fuels 2020 (4): S. 5487–5416. – URL: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2020/se/d0se00175a> [Stand 10.2021].
- ASIAN METAL (2021): Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <http://www.asianmetal.com/> [Stand 2021].
- BATTERY MINERALS (2018): Increase in Montepuez Graphite Reserve. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.batteryminerals.com/wp-content/uploads/2018/12/Increase-in-Montepuez-Graphite-Reserve-1.pdf> [Stand 03.2021].
- BATTERY MINERALS (2020a): Montepuez Graphite Project. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.batteryminerals.com/wp-content/uploads/2020/02/February-2020-Investor-Presentation.pdf> [Stand 03.2021].
- BATTERY MINERALS (2020b): Update on Victorian Gold Copper Acquisition. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.batteryminerals.com/wp-content/uploads/2020/11/November-2020-Presentation.pdf> [Stand 05.2021].
- BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2021): Fachinformationssystem Rohstoffe. – unveröff.; Hannover.
- BLACK EARTH MINERALS (2019): Maniry Graphite Project Scoping Study. – URL: <https://www.blackearthminerals.com.au/investor-centre/> [Stand 03.2021].
- BLACK EARTH MINERALS (2020): Forging a Future in Critical Commodities. – Africa Downunder Conference 4.–6. November 2020. – URL: <https://www.blackearthminerals.com.au/investor-centre/> [Stand 03.2021].
- BLACK ROCK MINING (2021): Mahenge Graphite Mine, Investor Update. – Firmenpräsentation. – URL: https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://blackrockmining.com.au/wp-content/uploads/InvestorPresentation121MiningInvestmentAfrica01Feb21.pdf&hl=en_US [Stand 05.2021].
- CAMERON, E. N. & WEIS, P. L. (1960): Strategic Graphite – A Survey. Contributions to Economic Geology. – Geological Survey Bulletin 1082-E: 201 – 321; United States Government Printing Office; Washington. – URL: <https://pubs.usgs.gov/bul/1082e/report.pdf> [Stand 01.2021].

COMMONWEALTH OF AUSTRALIA (2020): Australian Critical Minerals Prospectus 2020. – URL: <https://www.austrade.gov.au/International/Invest/Opportunities/Resources-and-energy> [Stand 02.2021].

CIM – CANADIAN INSTITUTE OF MINING, METALLURGY AND PETROLEUM (2003): Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves Best Practice Guidelines – Industrial Minerals. – URL: <https://mrmr.cim.org/en/best-practices/estimation-of-mineral-resources-mineral-reserves/> [Stand 06.2021].

DERA – DEUTSCHE ROHSTOFFAGENTUR IN DER BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2021): DERA-Rohstoffliste 2021. – DERA Rohstoffinformationen 49: 108 S., Berlin. – URL: https://www.deutsche-rohstoffagentur.de/DERA/DE/Produkte/Schriftenreihe/schriftenreihe_node.html [Stand 11.2021].

KLOSE W., KÖCHLING, K.-H., VOGLER, C., VOLL, M., WOLF, R. (2009): Terminologie zur Beschreibung von Kohlenstoff als Feststoff. – Deutsche Keramische Gesellschaft Fachausschussbericht Nr. 33 – 3. Bericht des Arbeitskreises Kohlenstoff. – URL: <https://www.uni-kassel.de/upress/online/frei/978-3-89958-770-8.volltext.frei.pdf> [Stand 11.2021].

DOLEGA, P., BUCHERT, M., BETZ, J. (2020): Ökologische und sozioökonomische Herausforderungen in Batterie-Lieferketten: Graphit und Lithium: 27 S.; Darmstadt. – URL: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Graphit-Lithium-Oeko-Soz-Herausforderungen.pdf> [Stand 10.2020].

DUESENFELD (2021): Internetauftritt Duesenfeld GmbH. – URL: <https://www.duesenfeld.com/recycling.html> [Stand 09.2021].

ECOGRAF (2021): European Battery Anode Materials Facility – Australian and European Facilities Forecast to Collectively Produce 40,000 Tonnes of Battery Graphite per Year. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.ecograf.com.au/wp-content/uploads/2021/02/2181792.pdf> [Stand 05.2021].

ETABLISSEMENTS GALLOIS (2006): Internetauftritt Etablissement Gallois. – URL: <http://ets.gallois.pagesperso-orange.fr/index.htm> [Stand 01.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2020a): Widerstandsfähigkeit der EU bei kritischen Rohstoffen: Einen Pfad hin zu größerer Sicherheit und Nachhaltigkeit abstecken. – Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen, COM(2020) 474 final: 27 S.; Brüssel. – URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474&from=EN> [Stand 05.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021a): Bekanntmachung der Einleitung eines Antidumpingverfahrens betreffend die Einfuhren bestimmter Grafitelektrodensysteme mit Ursprung in der Volksrepublik China. – Verfahren bezüglich der Durchführung der gemeinsamen Handelspolitik. – Amtsblatt der Europäischen Kommission 2021/C57/3: 13 S. – URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC0217\(01\)&from=DE](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC0217(01)&from=DE) [Stand 08.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021b): Bekanntmachung des bevorstehenden Außerkrafttretens bestimmter Antidumpingmaßnahmen. – Verfahren bezüglich der Durchführung der gemeinsamen Handelspolitik. – Amtsblatt der Europäischen Kommission 2021/C226/03: 1 S. – URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:JOC_2021_226_R_0003&from=DE [Stand 08.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021c): Bekanntmachung des bevorstehenden Außerkrafttretens bestimmter Antisubventionsmaßnahmen. – Verfahren bezüglich der Durchführung der gemeinsamen Handelspolitik. – Amtsblatt der Europäischen Kommission 2021/C222/05: 1 S. – URL: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC0611\(01\)&from=DE](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52021XC0611(01)&from=DE) [Stand 08.2021].

EUROPÄISCHE KOMMISSION (2021d): Strategic Research Agenda for batteries. – European Technology and Innovation Platform on Batteries – Batteries Europe: 75 S. – URL: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/batteries_europe_strategic_research_agenda_december_2020__1.pdf [Stand 11.2021].

EAGLE GRAPHITE (2020): Internetauftritt Eagle Graphite. – URL: <https://www.eaglegraphite.com/operations/> [Stand 09.2020].

- ELKEM (2021): Aiming to become a leading solutions provider to the fastgrowing battery industry. – Nordea Battery Seminar. – URL: <https://www.elkem.com/globalassets/corporate/documents/elkem-asa--nordea-battery-seminar--7-april-2021.pdf> [Stand 11.2021].
- EU-RECYCLING (2019): Feuerfeststeine: Besser recyceln als importieren. – EU-Recycling + Umwelttechnik 03/19: 36 - 37. – URL: https://eu-recycling.com/pdf/EU-Recycling_03-2019 [Stand 09.2021].
- FASTMARKETS (2021): Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://www.fastmarkets.com/> [Stand 11.2021].
- FOCUS GRAPHITE (2019): The Essential Material for Low Carbon Economies. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.focusgraphite.com/wp-content/uploads/2019/03/Jan-2019-FMS-Corporate-Presentation-Final-1.pdf> [Stand 03.2021].
- GLOBAL DATA (2021): Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://login.globaldata.com/> [Stand 11.2021].
- GRAPHEX MINING (2020): Definitive Feasibility Study Confirms Chilalo as High Margin Graphite Project. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.investi.com.au/api/announcements/gpx/aa4c1d17-95d.pdf> [Stand 05.2021].
- GRAPHITE INDIA (2021): Internetauftritt Graphite India. – URL: <https://www.graphiteindia.com/> [Stand 08. 2021].
- GRATOMIC INC. (2020): Firmenpräsentation. – URL: <https://secureservercdn.net/166.62.108.229/a99.454.myftpupload.com/wp-content/uploads/2020/12/December-2020-1221-.pdf> [Stand 06.2021].
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2015): The Plan Nord toward 2035: 111 S.; Québec. – URL: https://plan-nord.gouv.qc.ca/wp-content/uploads/2015/04/Long_PN_EN.pdf [Stand 03. 2021].
- HAFERLAND, W. (1957): Graphitstaublunge und Silikose. – Arch. Gewerbepath. 16: 53–62. – URL: <https://doi.org/10.1007/BF00318018> [Stand 01. 2020].
- HEG (2018): Internetauftritt HEG. – URL: <https://hegltd.com/graphite-electrode-nipples/> [Stand 08.2021].
- HEXAGON ENERGY MATERIALS (2016): McIntosh Stage 1 Prefeasibility Study Update. – ASX Announcement. – URL: <https://hexagonresources.com/wp-content/uploads/2018/10/20160608-McIntosh-Stage-1-Pre-Feasibility-Study-update.pdf> [Stand 03.2021].
- HEXAGON ENERGY MATERIALS (2019): Positive Scoping Study for Advanced Graphite Processing. – ASX Announcement. – URL: https://hexagonresources.com/wp-content/uploads/2019/05/20190517-Positive-Scoping-Study-for-Advanced-Graphite-Processing_1930707.pdf [Stand 03.2021].
- HORCKMANS, L., NIELSEN, P., DIERCKX, P., DUCASTEL, A. (2019): Recycling of refractory bricks used in basic steelmaking: A review. – Resources, Conservation & Recycling 140: 297 – 304. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918303586> [Stand 09.2021].
- MNR – MINISTRY OF NATURAL RESOURCES (2019): China Mineral Resources: 68, Geological Publishing House; Beijing, China. – URL: http://www.chinaminingtj.org/images/document/2019/CM_Resources_2019_en.pdf [Stand 06.2021].
- ICMNR – CHINA INFORMATION CENTRE OF THE MINISTRY OF NATURAL RESOURCES (2020): pers. Mitteilung.
- IEA – INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2021): Global EV Outlook 2021. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021> [Stand 11.2021].
- IHS MARKIT (2021): Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://ihsmarkit.com/> [Stand 11.2021].
- İLHAN, A., RAMAZAN, S., YILDIRIM, Y. (2020): Hidden graphite resources in Turkey: A new supply candidate for Europe?. – European Geologist Nr. 49: 32–37. – URL: <https://eurogeologists.eu/sari-hidden-graphite-resources-in-turkey-a-new-supply-candidate-for-europe/> [Stand 06.2021].
- INDIA MINISTRY OF MINES (2020): Graphite. – Indian Minerals Yearbook 2019 – Part III: Mineral Review, 58th Ed., Advance Release: 14-1–14-13. – URL: <https://ibm.gov.in/writereaddata/>

files/07072020143852Graphite_2019.pdf [Stand 09.2020].

KARABACAK (2021): Internetauftritt Karabacak Madencilik Sanayi ve Dış Ticaret Turizim A.Ş. – URL: <http://www.karabacakmaden.com.tr/en/corporate/company-info/> [Stand 02.2021].

KIM, B. G., CHOI, S. K., PARK, C. L., CHUNG, H. S., JEON, H. S. (2003): Inclusion of Gangue Mineral and its Mechanical Separation from Expanded Graphite. – *Particulate Science and Technology* 21. Nr. 4: 341-351.

KRASNOYARSK GRAFIT (2017): Internetauftritt Krasnoyarsk Grafit. – URL: <https://www.graphite-ore.com/en/about-us-en.html> [Stand 01.2021].

KRIEGLER, E., O'NEILL, B. C., HALLEGATTE, S., KRAM, T., LEMPERT, R. J., MOSS, R. H. & WILBANKS, T. (2012): The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: a new approach based on shared socio-economic pathways. – *Global Environmental Change*, 22: 807–822.

LÄMMERER, W. & FLACHBERGER, H. (2017): Wissenswertes zur Charakterisierung und Aufbereitung von Rohgraphiten. – *berg- und Hüttenmännische Monatshefte* Vol. 162 (8): 336–344. – URL: <https://d-nb.info/1142374599/34> [Stand 11.2021].

LEADING EDGE MATERIALS (2021a): NI 43-101 Technical Report – Woxna Graphite. – URL: <https://leadingedgematerials.com/wp-content/uploads/2021/07/NI43-101-Technical-Report-Woxna-Graphite-2021.pdf> [Stand 11.2021].

LEADING EDGE MATERIALS (2021a): Leading Edge Materials Announces Proposed Joint Venture Plans for Advanced Anode Materials Business with Sicona. – URL: <https://leadingedgematerials.com/leading-edge-materials-announces-proposed-joint-venture-plans-for-advanced-anode-materials-business-with-sicona/> [Stand 11.2021].

LINCOLN MINERALS (2017): New Feasibility Study and ore reserve results for Lincoln's proposed \$44 million high-grade Kookaburra Gully graphite mine in SA. – ASX Mitteilung. – URL: https://www.lincolnminerals.com.au/pdfs/2017-11-28-0402052017-11-27_Feasibility_Study_&_Ore_Reserve-Kookaburra_Gully_Graphite.pdf [Stand 02.2021].

MADAGRAPHITE (2020): Internetauftritt Madagraphite. – URL: <http://www.madagraphite.com/> [Stand 09.2021].

MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES (2016): Nachu Bankable Feasibility Study Finalised. – ASX Release. – URL: <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/MNS/01726900.pdf> [Stand 05.2021].

MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES (2020): Queensland State Government Approves Townsville Lithium-Ion Battery Manufacturing Plant Feasibility Study. – ASX Mitteilung. – URL: <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/MNS/02267311.pdf> [Stand 05.2021].

MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES (2021a): Recharged and ready to go. – Firmenpräsentation. – URL: <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/MNS/02339866.pdf> [Stand 05.2021].

MAGNIS ENERGY TECHNOLOGIES (2021b): New York battery plant annual capacity increased to 1.8GWh. – ASX Mitteilung. – URL: <https://wcsecure.weblink.com.au/pdf/MNS/02370536.pdf> [Stand 05.2021].

MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F., LANGKAU, S., BAUR, S.-J., BILLAUD, M., DEUBZER, O., EBERLING, E., ERDMANN, L., HAENDEL, M., KRAIL, M., LOIBL, A., MAISEL, F., MARWEDE, M., NEEF, C., NEUWIRTH, M., ROSTEK, L., RÜCKSCHLOSS, J., SHIRINZADEH, S., STIJEPIC, D., TERCERO ESPINOZA, L. & TIPPNER, M. (2021): Rohstoffe für Zukunftstechnologien 2021. – *DERA Rohstoffinformationen* 50: 366 S., Berlin.

MASON GRAPHITE (2018): Feasibility Study Update of the Mason Graphite Lac Guéret Project, Québec, Canada. – URL: https://www.miningdataonline.com/reports/LacGueret_Feasibility_Study_Update_12112018.pdf [Stand 03.2021].

MASON GRAPHITE (2021): The Mason Graphite Difference. – Firmenpräsentation. – URL: https://a8ef47d2-6707-4c99-828b-0d41724c1e51.filesusr.com/ugd/a53b7c_f8b16dbdc85a4c6196ae9737f41259bd.pdf [Stand 03.2021].

MIAO, Y., HYNAN, P., VON JOUANNE, A., YOKOCHI, A. (2019): Current li-Ion Battery Technologies in Electric Vehicles and Opportunities for Advancement. – *Energies* 2019, 12(6), 1074: 20 S. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/6/1074> [Stand 05.2021].

- MINERAL COMMODITIES (2020a): Robust Munglinup DFS results allow MRC to move to 90 % ownership of Munglinup graphite project. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.mineralcommodities.com/wp-content/uploads/2020/01/Munglinup-DFS-Results-90-ownership.pdf> [Stand 02.2021].
- MINERAL COMMODITIES (2020b): MRC Graphite Anodes Conference. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.mineralcommodities.com/wp-content/uploads/2020/12/08-December-2020-MRC-Graphite-Anodes-Conference-Presentation.pdf> [Stand 05.2021].
- MINERAL COMMODITIES (2020c): MRC completes pre-feasibility study for active anode material plant in Norway, addressing the fast-growing battery market. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.mineralcommodities.com/wp-content/uploads/2020/09/PFS-for-Active-Anode-Plant-in-Norway.pdf> [Stand 02.2021].
- MINERAL COMMODITIES (2021): Firmenpräsentation. – 121 Mining Investment Conference EMEA. – URL: <https://www.mineralcommodities.com/wp-content/uploads/2021/05/1-2-1-Mining-Investment-Conference-Presentation.pdf> [Stand 06.2021].
- NACIONAL DE GRAFITE (2020): Internetauftritt Nacional de Grafite. – URL: <http://www.grafite.com/en/units-and-head-office.php> [Stand 09.2020].
- NEXTSOURCE MATERIALS (2019): Molo Feasibility Study. National Instrument 43 – 101 Technical Report. – URL: https://www.nextsourcematerials.com/static/media/uploads/2019_molo_feasibility_study_report_final.pdf [Stand 03.2021].
- NEXTSOURCE MATERIALS (2020a): NextSource Materials Signs Letter of Intent with Japanese Offtake Partner and Prominent Chinese Graphite Anode OEM Supplier to Collaborate on Battery Anode Plant. – Pressemitteilung. – URL: https://www.nextsourcematerials.com/static/media/uploads/2020_10_28_website_presentation_project.pdf [Stand 03.2021].
- NEXTSOURCE MATERIALS (2020b): Molo Graphite Project. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.nextsourcematerials.com/posts/nextsource-materials-signs-letter-of-intent-with-japanese-offtake-partner-and-prominent-chinese-graphite-anode-oem-supplier-to-collaborate-on-battery-anode-plant/> [Stand 03.2021].
- NORTHERN GRAPHITE (2018): Northern Graphite Updates Project Economics with Current Commodity Prices and Exchange Rates. – URL: http://www.northerngraphite.com/_resources/technical-reports/Economics-Update.pdf [Stand 03.2021].
- NORTHERN GRAPHITE (2021a): Internetauftritt Northern Graphite. – URL: <https://www.northerngraphite.com/about-graphite/graphite-growth-markets/lithium-ion-batteries/> [Stand 10.2021].
- NORTHERN GRAPHITE (2021b): Northern Graphite Corporation: A Mineral Development a Green Technology Company. – Firmenpräsentation. – URL: http://www.northerngraphite.com/_resources/presentations/corporate-presentation.pdf [Stand 03.2021].
- NOUVEAU MONDE GRAPHITE (2021a): Internetauftritt Northern Graphite. – URL: <https://nmg.com/operations/> [Stand 10.2021].
- NOUVEAU MONDE GRAPHITE (2021b): Green Battery Materials to Power the Green Evolution. – Firmenpräsentation. – URL: <https://nouveaumonde.group/wp-content/uploads/2020/12/PRE-Corpo-NMG-Jan-2021-ENG-v2.pdf> [Stand 02.2021].
- NOUVEAU MONDE GRAPHITE (2021c): Pressemitteilung. – URL: <https://nouveaumonde.group/wp-content/uploads/2021/03/CMQ-FEL1-VAP-Becancour-2021.03.11-vFINAL-ENG.pdf> [Stand 03.2021].
- NRCAN – NATURAL RESOURCES CANADA (2021): Canada's Critical Minerals List. – URL: https://www.nrcan.gc.ca/sites/nrcan/files/mineralsmetals/pdf/Critical_Minerals_List_2021-EN.pdf [Stand 11.2021].
- PLACKE, T., MEISTER, P., ROTHERMEL, S., BAR, A., WINTER, M., WEDEL, W. (2017): Elektromobilität – Was uns jetzt und künftig antreibt: Batterie-, Brennstoffzellen- und Hybridantrieb. – BINE Informationsdienst. BINE-Themeninfo I/2017: 24 S. – URL: https://www.researchgate.net/publication/313858909_Elektromobilitat_-_Was_uns_jetzt_und_kunftig_antreibt_Batterie-_Brennstoffzellen-_und_Hybridantrieb [Stand 11.2020].

- PROGRAPHITE (2019): Synthetic vs. Natural: The Eternal Debate, Part 1. – Fastmarkets Graphite Conference, September 2019; Berlin.
- RENASCOR RESOURCES (2019a): Siviour Definitive Feasibility Study. – URL: <https://renascor.com.au/wp-content/uploads/2019/11/20191111-Siviour-Definitive-Feasibility-Study-1996951.pdf> [Stand 05.2021].
- RENASCOR RESOURCES (2019b): PFS Demonstrates Increased Returns for Siviour Through Integration of Spherical Graphite Production. – ASX Mitteilung. – URL: <https://renascor.com.au/wp-content/uploads/2019/02/20190221-Spherical-PFS-Demonstrates-Increased>Returns-for-Siviour-1901390.pdf> [Stand 02.2021].
- RENASCOR RESOURCES (2021): The Siviour Graphite Project. – Firmenpräsentation. – URL: <https://renascor.com.au/wp-content/uploads/2021/05/20210519-Investor-Presentation-May-2021-2213329.pdf> [Stand 06.2021].
- ROBINSON, G. R., JR., HAMMARSTROM, J. M., OLSON, D. W. (2017): Graphite. – in: Schulz, K. J., DeYoung, J. H., Jr., Seal, R. R., II, and Bradley, D. C. (eds.): Critical mineral resources of the United States – Economic and environmental geology and prospects for future supply. – U.S. Geological Survey Professional Paper 1802-J: 24 S. – URL: <https://pubs.usgs.gov/pp/1802/j/pp1802j.pdf> [Stand 06.2021].
- ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2019): Natural and synthetic graphite: Global Industry, Markets & Outlook: 548 S.; London, UK.
- ROSKILL INFORMATION SERVICES LTD. (2021): Graphite: Renascor signs MOU with major Chinese anode producer. – URL: <https://roskill.com/news/graphite-renascor-signs-mou-with-major-chinese-anode-producer/> [Stand 10.2021].
- S & P CAPITAL IQ (2021): Market Intelligence Platform. – Kostenpflichtige Datenbank. – URL: <https://www.capitaliq.spglobal.com/> [Stand 11.2021].
- SALGADO, M. R. (2001): Upgrading graphite by flotation at Bogala Mines in Sri Lanka. – Journal of Central South University of Technology Vol. 8 No.3: 193–196. – URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11771-001-0053-0.pdf> [Stand 06.2020].
- SCOGINGS, A. (2015): Graphite: Where Size Matters. – Australia's Paydirt (2015): 2 S. – URL: <https://www.csaglobal.com/wp-content/uploads/2019/07/PaydirtMarch.pdf> [Stand 06.2020].
- SGM – SERVICIO GEOLÓGICO MEXICANO (2020): Grafito. – Anuario estadístico de la minería Mexicana, 2019. – URL: http://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2019_Edicion_2020.pdf [Stand 02.2021].
- SCHERBA, C., MONTREUIL, J.-F., BARRIE, C. T. (2018): Geology and Economics of the Giant Molo Graphite Deposit, Southern Madagascar. – Chapter 15. – Society of Economic Geologists Special Publications. No. 21: 347-363.
- SGL CARBON (2019): Graphite anode material overview and sustainability. – Fastmarkets Graphite Conference, September 2019; Berlin.
- SGL CARBON (2021): SGL Carbon erhält 42,9 Mio. € Fördermittel unter IPCEI für Graphitanodenmaterialien (GAM) in Lithium-Ionen-Batterien. – Pressemitteilung. – URL: https://www.sglcarbon.com/news/pdf/2021-03-10-SGL-Carbon-erhaelt-42-9-Mio.-EUR-Foerdermittel-unter-IPCEI-fuer-Graphitanoden_01.pdf [Stand 02.2021].
- SIMANDL, G. J., PARADIS, S., AKAM, C. (2015): Graphite deposit types, their origin, and economic significance. – In: Simandl, G. J. and Neetz, M. (eds.): Symposium on Strategic and Critical Materials Proceedings, November 13–14, 2015, Victoria, British Columbia, British Columbia Ministry of Energy and Mines, British Columbia Geological Survey Paper 2015-3: 163–171. – URL: http://cmscontent.nrs.gov.bc.ca/geoscience/publicationcatalogue/Paper/BCGS_P2015-03-19_Simandl.pdf [Stand 05.2021].
- SMM – SHANGHAI METALS MARKET (2021): BTR partnered with Fuan Holding Group to build anode precursor project with annual capacity of 100,000 mt. – URL: <https://news.metal.com/new-content/101585873/BTR-partnered-with-Fuan-Holding-Group-to-build-anode-precursor-project-with-annual-capacity-of-100000-mt/> [Stand 10.2021].

SOVEREIGN METALS (2018): Malingunde PFS delivers lowest operating cost coarse flake graphite project globally. – ASX Mitteilung. – URL: <http://www.investi.com.au/api/announcements/svm/a1603862-e13.pdf> [Stand 06.2021].

SRG MINING (2019): SRG Announces Positive Feasibility Study Results for Its Lola Graphite Project. – Internetauftritt SRG Mining. – URL: <https://srggraphite.com/news/srg-announces-positive-feasibility-study-results-for-its-lola-graphite-project-pre-tax-npv-of-usd-277m-and-irr-of-28-over-a-29-year-mine-life/> [Stand 05.2021].

SYRAH RESOURCES (2021a): Internetauftritt Syrah Resources. – URL: <http://www.syrahresources.com.au/balama-project> [Stand 09.2021].

SYRAH RESOURCES (2021b): Annual General Report 2020. – URL: <http://www.syrahresources.com.au/balama-project> [Stand 10.2021].

SYRAH RESOURCES (2021c): Balama shipping update. – ASX Mitteilung. – URL: <http://www.syrahresources.com.au/investors/downloads/900> [Stand 09.2021].

SYRAH RESOURCES (2021d): Q2 2021m Quarterly Cashflow Report and Presentation. – URL: <http://www.syrahresources.com.au/q2-2021-quarterly-cashflow-report-and-presentation> [Stand 10.2021].

TALGA GROUP (2019): Outstanding PFS results support Vittangi graphite development. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.talgagroup.com/irm/PDF/b22ed921-dc54-4302-9f0e-fe61033a12d5/OutstandingPFSresultsupportVittangigraphite-development> [Stand 06.2021].

TALGA GROUP (2021): EV Battery Anode Technology. – Firmenpräsentation. – URL: <https://www.talgagroup.com/irm/PDF/cd3e4f0b-9b0c-48d7-acc5-2ce096af5daa/TalgaPresentationatRhoMotionEVBatteryTechnologySeminar> [Stand 10.2021].

THIELMANN, A., WIETSCHER, M., FUNKE, S., GRIMM, A., HETTESHEIMER, T., LANGKAU S., LOIBL, A., MOLL, C., NEEF, C., PLÖTZ, P., SIEVERS, L., TERCERO ESPINOZA, L., EDLER, J. (2021): Batteries for electric cars: Fact check and need for action. – URL: <https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/>

[cct/2020/Fact_check_Batteries_for_electric_cars.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cct/2020/Fact_check_Batteries_for_electric_cars.pdf) [Stand 11.2021].

TIRUPATI GRAPHITE (2021): Internetauftritt Tirupati Graphite. – URL: <https://tirupatigraphite.co.uk/pdf/TirupatiProspectus.pdf> [Stand 03.2021].

TRITON MINERALS (2017): Ancuabe Definitive Feasibility Study. – URL: https://www.tritonminerals.com/wp-content/uploads/2018/05/17_12_15_Ancuabe_Definitive_Feasibility_900.pdf [Stand 05.2021].

TRITON MINERALS (2021): Internetauftritt Triton Minerals. – URL: <http://tritonminerals.com/projects/upulo-ancuabe-graphite-project/> [Stand 05.2021].

URALGRAPHITE (o.J.): Internetauftritt Uralgraphite. – URL: <http://uralgraphite.com/en/> [Stand 01.2021]

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2020): Graphite. – Mineral commodity summary 2020: – 72–73 – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf> [Stand 09.2021].

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (2021): Graphite. – Mineral commodity summary 2021: – 72–73. – URL: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021.pdf> [Stand 06.2021].

VOLT RESOURCES (2018): Positive Stage 1 Feasibility Study for Bunyu Graphite Project, Tanzania. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.investi.com.au/api/announcements/vrc/514af0de-b93.pdf> [Stand 05.2021].

VOLT RESOURCES (2021): Binding Share Purchase Agreements Signed to Acquire 70% Shareholding in European Graphite Producer. – ASX Mitteilung. – URL: <https://www.investi.com.au/api/announcements/vrc/e69264b4-445.pdf> [Stand 05.2021].

WALKABOUT RESOURCES (2021): Internetauftritt Walkabout Resources. – URL: https://www.wkt.com.au/wp-content/uploads/2021/06/Webinar_June-22.pdf [Stand 09.2021].

WESTWATER RESOURCES (2021a): Internetauftritt Westwater Resources. – URL: <https://westwaterresources.net/news-releases/2021/02/08/west>

water-resources-begins-definitive-feasibility-study-on-the-coosa-graphite-project/ [Stand 05.2021].

WESTWATER RESOURCES (2021b): Energy Materials for the 21st Century. – Firmenpräsentation. – URL: <https://westwaterresources.net/wp-content/uploads/2021/04/Westwater-Resources-Corporate-Presentation-7-APR-2021-FINAL-for-Print.pdf> [Stand 05.2021].

WORLD BANK GROUP (2020): Worldwide Governance Indicators. – URL: <http://info.worldbank.org/governance/WGI/#home> [Stand 08.2020].

WORLD STEEL ASSOCIATION (2021): World Steel in Figures. – URL: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:976723ed-74b3-47b4-92f6-81b6a452b86e/World%2520Steel%2520in%2520Figures%25202021.pdf> [Stand 10.2021].

ZAVALIVSKIY GRAPHITE (2012): Internetauftritt Zavalivskiy Graphite. URL: <https://zvgraphit.com.ua/en/analytic/5557-the-zavalye-graphite--a-unique-field-the-pride-of-ukraine.html> [Stand 01.2021].

WCO – WORLD CUSTOMS ORGANIZATION (2021): Zolltarifnummern Grafit. – URL: <https://www.zolltarifnummern.de/2021/grafit> [Stand 07.2021].



Anhang

Indikatoren und Risikobewertung für Kupfer	102
Glossar	115

Indikatoren und Risikobewertung für natürlichen und synthetischen Graphit

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Länderkonzentration der Bergwerksförderung von natürlichem Graphit (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der Bergwerksförderung</p> <p>HHI = 5.591</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung:</p> <p>HHI = 5.591</p>	<p>Bergwerksförderung: HHI = 5.591</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der Bergwerksförderung von natürlichem Graphit (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Bergwerksförderung multipliziert mit dem Länderrisiko</p> <p>GLR = -0,38</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 bis -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> -0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung:</p> <p>GLR = -0,38</p>	<p>Bergwerksförderung: GLR = -0,38</p>		
<p>Länderkonzentration der Bergwerksförderung von Flockengraphit (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der Bergwerksförderung</p> <p>HHI = 4.722</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung:</p> <p>HHI = 4.722</p>	<p>Bergwerksförderung: HHI = 4.722</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung unkritisch mäßig bedenklich
Risikobewertung		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der Bergwerksförderung von Flockengraphit (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Bergwerksförderung multipliziert mit dem Länderrisiko</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 bis -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung: GLR = -0,39</p>	 <p>Bergwerksförderung: GLR = -0,39</p>
<p>Länderkonzentration der Bergwerksförderung von amorphem Graphit (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der Bergwerksförderung</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung: HHI = 9.281</p>	 <p>Bergwerksförderung: HHI = 9.281</p>
<p>Gewichtetes Länderrisiko der Bergwerksförderung von amorphem Graphit (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Bergwerksförderung multipliziert mit dem Länderrisiko</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 bis -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Bergwerksförderung: GLR = -0,37</p>	 <p>Bergwerksförderung: GLR = -0,37</p>

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Länderkonzentration der Produktion von synthetischem Graphit (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der Bergwerksförderung</p> <p>HHI = 3.676</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Produktion:</p> <p>HHI = 3.676</p>	<p>Produktion: HHI = 3.676</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der Produktion von synthetischem Graphit (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Bergwerksförderung multipliziert mit dem Länderrisiko</p> <p>GLR = 0,19</p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 bis -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> -0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Produktion:</p> <p>GLR = 0,19</p>	<p>Produktion: GLR = 0,19</p>		
<p>Derzeitige Marktdeckung (Md): Natürlicher Graphit</p> <p>Quotient aus Nachfrage zu Angebot. Md gibt den Anteil von Angebotsüberschuss oder -defizit in Prozent an.</p> <p>Md = 43 %</p> <p><i>Bewertungsskala:</i> < 0 % = <i>bedenklich</i> 0 % – 10 % = <i>mäßig</i> > 10 % = <i>unkritisch</i></p>	<p>Derzeitige Marktdeckung: Natürlicher Graphit</p> <p>Md = 43 %</p>	<p>Derzeitige Marktdeckung: Md = 43 %</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, natürlich, in Pulverform oder in Flocken:</p> <p>HHI = 4.710</p>	<p>HS-Warennummer 2504.10: HHI = 4.710</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, natürlich, in Pulverform oder in Flocken:</p> <p>GLR = -0,69</p>	<p>HS-Warennummer 2504.10: GLR = -0,69</p>		
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, natürlich (ausg. in Pulverform oder in Flocken):</p> <p>HHI = 9.404</p>	<p>HS-Warennummer 2504.90: HHI = 9.404</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, natürlich (ausg. in Pulverform oder in Flocken):</p> <p>GLR = -0,33</p>	<p>HS-Warennummer 2504.90: GLR = -0,33</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, künstlich (ausg. Retortengrafit oder Retortenkohle sowie Waren aus künstlichem Graphit, einschl. feuerfeste Waren auf der Grundlage von künstlichem Graphit):</p> <p>HHI = 6.655</p>	<p>HS-Warennummer 3801.10: HHI = 6.655</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, künstlich (ausg. Retortengrafit oder Retortenkohle sowie Waren aus künstlichem Graphit, einschl. feuerfeste Waren auf der Grundlage von künstlichem Graphit):</p> <p>GLR = -0,17</p>	<p>HS-Warennummer 3801.10: GLR = -0,17</p>		
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, kolloid, und halbkolloider Graphit:</p> <p>HHI = 2.712</p>	<p>HS-Warennummer 3801.20: HHI = 2.712</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Graphit, kolloid, und halbkolloider Graphit:</p> <p>GLR = 1,29</p>	<p>HS-Warennummer 3801.20: GLR = 1,29</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung unkritisch mäßig bedenklich
Risikobewertung		
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Pasten, kohlenstoffhaltig, für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen:</p> <p>HHI = 2.583</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.30: HHI = 2.583</p>
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Pasten, kohlenstoffhaltig, für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen:</p> <p>GLR = 0,3</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.30: GLR = 0,3</p>
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Zubereitungen auf der Grundlage von Graphit oder anderem Kohlenstoff, in Form von Pasten, Blöcken, Platten oder anderen Halbfertigungserzeugnissen (ausg. kohlenstoffhaltigen Pasten für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen):</p> <p>HHI = 8.341</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.90: HHI = 8.341</p>

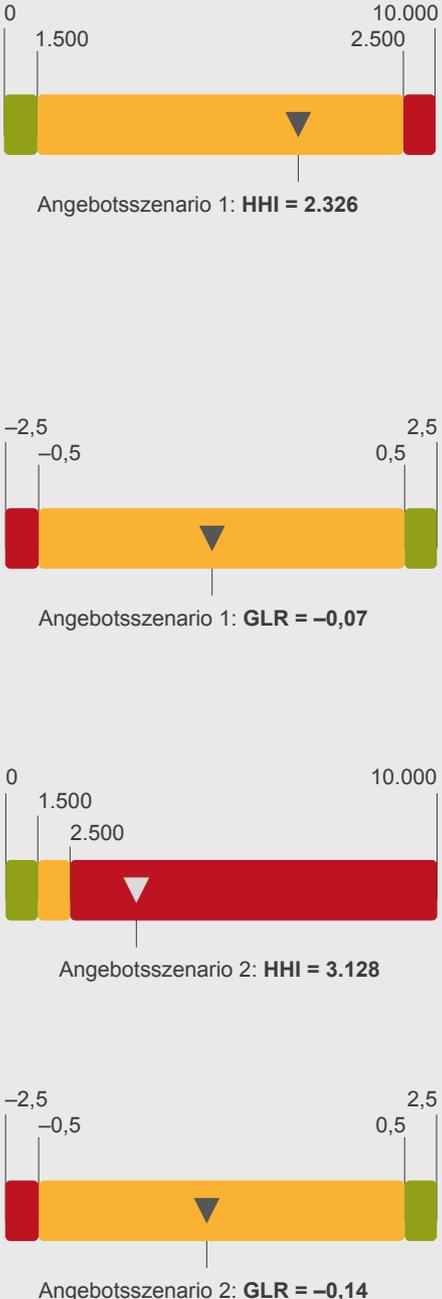
Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Zubereitungen auf der Grundlage von Graphit oder anderem Kohlenstoff, in Form von Pasten, Blöcken, Platten oder anderen Halbfertigungserzeugnissen (ausg. kohlenstoffhaltigen Pasten für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen):</p> <p>GLR = -0,3</p>	<p>HS-Warennummer 3801.90: GLR = -0,3</p>		
<p>Diversifizierung der globalen Nettoexporte (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der Nettoexportländer</p>	<p>Elektroden aus Graphit oder anderem Kohlenstoff, von der für elektrischen Öfen verwendeten Art:</p> <p>HHI = 3.154</p>	<p>HS-Warennummer 8545.11: HHI = 3.154</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der globalen Nettoexporte (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Nettoexportländer</p>	<p>Elektroden aus Graphit oder anderem Kohlenstoff, von der für elektrischen Öfen verwendeten Art:</p> <p>GLR = 0,34</p>	<p>HS-Warennummer 8545.11: GLR = 0,34</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe</p>	<p>Graphit, natürlich, in Pulverform oder in Flocken:</p> <p>HHI = 1.517</p>			
<p>Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p>	<p>Graphit, natürlich, in Pulverform oder in Flocken:</p> <p>GLR = -0,03</p>			
<p>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe</p>	<p>Graphit, natürlich (ausg. in Pulverform oder in Flocken):</p> <p>HHI = 8.467</p>			
<p>Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p>	<p>Graphit, natürlich, (ausg. in Pulverform oder in Flocken):</p> <p>GLR = -0,29</p>			

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI): Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe	Graphit, künstlich (ausg. Retortengrafit oder Retortenkohle sowie Waren aus künstlichem Grafit, einschl. feuerfeste Waren auf der Grundlage von künstlichem Graphit): HHI = 1.520	<p>HS-Warennummer 3801.10: HHI = 1.520</p>		
Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR): Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer	Graphit, künstlich (ausg. Retortengrafit oder Retortenkohle sowie Waren aus künstlichem Grafit, einschl. feuerfeste Waren auf der Grundlage von künstlichem Grafit): GLR = 0,32	<p>HS-Warennummer 3801.10: GLR = 0,32</p>		
Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI): Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe	Graphit, kolloid, und halbkolloider Graphit: HHI = 4.406	<p>HS-Warennummer 3801.20: HHI = 4.406</p>		
Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR): Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer	Graphit, kolloid, und halbkolloider Graphit: GLR = 1,44	<p>HS-Warennummer 3801.20: GLR = 1,44</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung unkritisch mäßig bedenklich
Risikobewertung		
<p>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe</p>	<p>Pasten, kohlenstoffhaltig, für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen:</p> <p>HHI = 3.771</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.30: HHI = 3.771</p>
<p>Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p>	<p>Pasten, kohlenstoffhaltig, für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen:</p> <p>GLR = 0,94</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.30: GLR = 0,94</p>
<p>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe</p>	<p>Zubereitungen auf der Grundlage von Graphit oder anderem Kohlenstoff, in Form von Pasten, Blöcken, Platten oder anderen Halbfertigungserzeugnissen (ausg. kohlenstoffhaltigen Pasten für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen):</p> <p>HHI = 2.497</p>	 <p>HS-Warennummer 3801.90: HHI = 2.497</p>

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p>	<p>Zubereitungen auf der Grundlage von Graphit oder anderem Kohlenstoff, in Form von Pasten, Blöcken, Platten oder anderen Halbfertigungserzeugnissen (ausg. kohlenstoffhaltigen Pasten für Elektroden und ähnl. Pasten für die Innenauskleidung von Öfen):</p> <p>GLR = 0,98</p>	<p>HS-Warennummer 3801.90: GLR = 0,98</p>		
<p>Diversifizierung der Importe Deutschlands (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile der deutschen Importe</p>	<p>Elektroden aus Graphit oder anderem Kohlenstoff, von der für elektrischen Öfen verwendeten Art:</p> <p>HHI = 1.212</p>	<p>HS-Warennummer 8545.11: HHI = 1.212</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der deutschen Importe (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der Nettoexporte multipliziert mit dem Länderrisiko der Lieferländer</p>	<p>Elektroden aus Graphit oder anderem Kohlenstoff, von der für elektrischen Öfen verwendeten Art:</p> <p>GLR = 0,64</p>	<p>HS-Warennummer 8545.11: GLR = 0,64</p>		

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung unkritisch mäßig bedenklich
Risikobewertung		
<p>Länderkonzentration des zukünftigen Angebotes (natürlicher Graphit) (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der angenommenen Bergwerksförderung im Jahr 2025</p> <p>Gewichtetes Länderrisiko der zukünftigen Produktion (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der möglichen Bergwerksförderung 2025 multipliziert mit dem Länderrisiko von 2015</p> <p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000 – 2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500 – 1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> –2,5 bis –0,5 = <i>bedenklich</i> –0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> 0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>	<p>Zukünftige Bergwerksproduktion Natürlicher Graphit</p> <p>Angebotsszenario 1: HHI = 2.326</p> <p>Zukünftige Bergwerksproduktion Natürlicher Graphit</p> <p>Angebotsszenario 1: GLR = –0,07</p> <p>Zukünftige Bergwerksproduktion Natürlicher Graphit</p> <p>Angebotsszenario 2: HHI = 3.128</p> <p>Zukünftige Bergwerksproduktion Natürlicher Graphit</p> <p>Angebotsszenario 2: GLR = –0,14</p>	 <p>Angebotsszenario 1: HHI = 2.326</p> <p>Angebotsszenario 1: GLR = –0,07</p> <p>Angebotsszenario 2: HHI = 3.128</p> <p>Angebotsszenario 2: GLR = –0,14</p>

Indikator	Ergebnisse Datenbasis 2019 (nat. Graphit) 2018 (syn. Graphit)	Bewertung		
		unkritisch	mäßig	bedenklich
Risikobewertung				
<p>Länderkonzentration des zukünftigen Angebotes (synthetischer Graphit) (HHI):</p> <p>Summe der quadrierten Anteile an der angenommenen Bergwerksförderung im Jahr 2025</p>	<p>Zukünftige Produktion Synthetischer Graphit</p> <p>HHI = 4.788</p>	<p>Zukünftige Produktion Synthetischer Graphit: HHI = 4.788</p>		
<p>Gewichtetes Länderrisiko der zukünftigen Produktion (GLR):</p> <p>Summe der Anteile der möglichen Bergwerksförderung 2025 multipliziert mit dem Länderrisiko von 2015</p>	<p>Zukünftige Produktion Synthetischer Graphit</p> <p>GLR = -0,06</p>	<p>Zukünftige Produktion Synthetischer Graphit: GLR = -0,06</p>		
<p><i>Bewertungsskala HHI:</i> 10.000–2.500 = <i>bedenklich</i> 2.500–1.500 = <i>mäßig</i> 1.500 = <i>unkritisch</i></p> <p><i>Bewertungsskala GLR:</i> -2,5 bis -0,5 = <i>bedenklich</i> -0,5 bis 0,5 = <i>mäßig</i> -0,5 bis 2,5 = <i>unkritisch</i></p>				

Glossar

Diversifizierung der Importe	Die Diversifizierung der Importe errechnet sich mithilfe des HHI, wobei die mengenmäßigen Anteilswerte am Import auf Länderebene herangezogen werden.
Firmenkonzentration	Die Firmenkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei Anteilswerte an der weltweiten Gesamtproduktion der Bergbaufirmen herangezogen werden.
Gewichtetes Länderrisiko	Das gewichtete Länderrisiko (GLR) errechnet sich aus der Summe der Anteilswerte der Länder an der Produktion, dem Nettoexport oder dem deutschen Import, multipliziert mit dem Länderrisiko (LR). Das gewichtete Länderrisiko liegt in einem Intervall zwischen +2,5 und –2,5. Bei Werten über 0,5 wird das Risiko als niedrig eingestuft, zwischen +0,5 und –0,5 liegt ein mäßiges Risiko vor und Werte unter –0,5 gelten als kritisch.
Herfindahl-Hirschman-Index (HHI)	Der Herfindahl-Hirschman-Index (HHI) ist eine Kennzahl, die die unternehmerische Konzentration in einem Markt angibt. Sie wird durch das Summieren der quadrierten Marktanteile aller Wettbewerber errechnet. Die Bewertungsskala für den HHI richtet sich nach den Vorgaben des U.S. Department of Justice und der Federal State Commission, die einen Markt bei einem HHI unter 1.500 als gering und zwischen 1.500 und 2.500 Punkten als mäßig konzentriert definieren. Bei einem Indexwert über 2.500 gilt ein Markt als hochkonzentriert.
Länderkonzentration	Die Länderkonzentration wird mithilfe des HHI berechnet, wobei jahresbezogene Anteilswerte der Bergwerksförderung, der Raffinadeproduktion oder der weltweiten Nettoexporte auf Länderebene herangezogen werden.
Länderrisiko	Das Länderrisiko (LR) ergibt sich aus dem Mittelwert der sechs Worldwide Governance Indicators der Weltbank, die jährlich die Regierungsführung von über 200 Staaten weltweit bewertet. Gemessen werden (1) Mitspracherecht und Rechenschaftspflicht, (2) politische Stabilität und Abwesenheit von Gewalt, (3) Leistungsfähigkeit der Regierung, (4) Regulierungsqualität, (5) Rechtsstaatlichkeit und (6) Korruptionsbekämpfung.
Lebensdauer-kennziffer	Die Lebensdauer-kennziffer ergibt sich aus dem Quotienten der derzeitigen Reserven und der aktuellen Weltbergwerksförderung. Die Lebensdauer-kennziffer (statische Reichweite) gibt einen Hinweis auf den Stand der Exploration und darauf, in welchem Maße zukünftig Explorationsaktivitäten notwendig sind. Die Kennziffer sagt nichts über den Erschöpfungszeitpunkt eines Rohstoffes aus.
Marktdeckung	Die Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der Nachfrage (Raffinadeverbrauch) und des Angebots (Raffinadeproduktion).
Nettoexporte	Unter Nettoexporten versteht man die Differenz von Exporten und Importen einer Volkswirtschaft. Nettoexporte können sowohl positive als auch negative Werte annehmen. Im Rahmen der Studie wurden für die einzelnen Handelsprodukte die positiven Nettoexporte ($NX > 0$) verwendet, da der Fokus auf der Angebotsseite liegt. Negative Nettoexporteure sind hingegen Verbraucherländer (Nettoimporteure) der jeweiligen Rohstoffe. Die Summe der positiven Nettoexporte stellt dementsprechend die in den internationalen Handel gelangte Produktionsmenge dar.
Recyclingrate (EOL-RR)	Die End-of-Life Recyclingrate (EOL-RR) ist der Quotient aus der Menge des dem Recycling zugeführten Altschrotts eines Rohstoffs und der Gesamtmenge des theoretisch in den End-of-Life-Produkten angefallenen Rohstoffs.
Reserven	Reserven sind die zu heutigen Preisen und mit heutiger Technik wirtschaftlich gewinnbaren Rohstoffmengen.

Wachstumsraten (CAGR)	Wachstumsraten basieren auf der jährlichen durchschnittlichen Wachstumsrate (engl.: Compound Annual Growth Rate, CAGR). Diese stellt den durchschnittlichen Prozentsatz dar, um den der Anfangswert einer Zeitreihe auf hypothetische Folgewerte für die Berichtsjahre wächst, bis der tatsächliche Endwert der Zeitreihe erreicht ist. Tatsächliche Ausschläge der Folgejahre in der Zwischenzeit wirken sich dabei nicht aus.
Zukünftige Marktdeckung	Die zukünftige Marktdeckung ergibt sich aus dem Quotienten der zukünftigen Nachfrage und des zukünftigen Angebots. Für das zukünftige Angebot sowie die zukünftige Nachfrage werden jeweils zwei Szenarien erstellt. Das zukünftige Angebot errechnet sich aus der Summe der derzeitigen Bergwerksförderung und einer zusätzlichen Jahresförderkapazität aus neuen Bergbauprojekten.

**Deutsche Rohstoffagentur (DERA) in der
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)**

Wilhelmstraße 25–30
13593 Berlin
Tel.: +49 30 36993 211
dera@bgr.de
www.deutsche-rohstoffagentur.de

ISBN: 978-3-948532-37-6 (Druckversion)
ISBN: 978-3-948532-38-3 (PDF)
ISSN: 2193-5319