

6. Rohstoff Graphit

In diesem Kapitel werden zuerst die Eigenschaften, Bildung und Verwendung von Graphit im Allgemeinen besprochen und dann auf den Graphit aus Kropfmühl im Besonderen eingegangen.

6.1 Das Besucherbergwerk und Museum Graphit Kropfmühl

Das Besucherbergwerk und Museum „Graphit Kropfmühl“ ist für Besucher und Schulklassen jeder Jahrgangsstufe zugänglich. Das Museum ist von März bis Oktober von Dienstag bis Sonntag geöffnet (Stand 2018) und es werden regelmäßig Führungen – auch für Schulklassen – in das Besucherbergwerk angeboten. Aktuelle Informationen hierzu und ein Onlinereservierungsformular finden sich unter <https://graphit-bbw.de/>. Informationen können auch telefonisch unter (08586) 6 09-147 eingeholt werden.

6.2 Eigenschaften, Bildung und Verwendung von Graphit

6.2.1 Eigenschaften von Graphit

Graphit ist eine von drei stabilen kristallinen Erscheinungsformen des reinen Kohlenstoffs. Das chemische Element C (Kohlenstoff) ist ein essentielles Element der Biosphäre der Erde und nach Sauerstoff das Element mit dem höchsten Masseanteil in allen Lebewesen. In der Biosphäre liegt Kohlenstoff stets in Verbindung mit anderen chemischen Elementen vor. In der Natur kommt Kohlenstoff aber auch in völlig reiner Form vor, und zwar als die drei Minerale Diamant, Fulleren* und Graphit (Abb. 6-1).

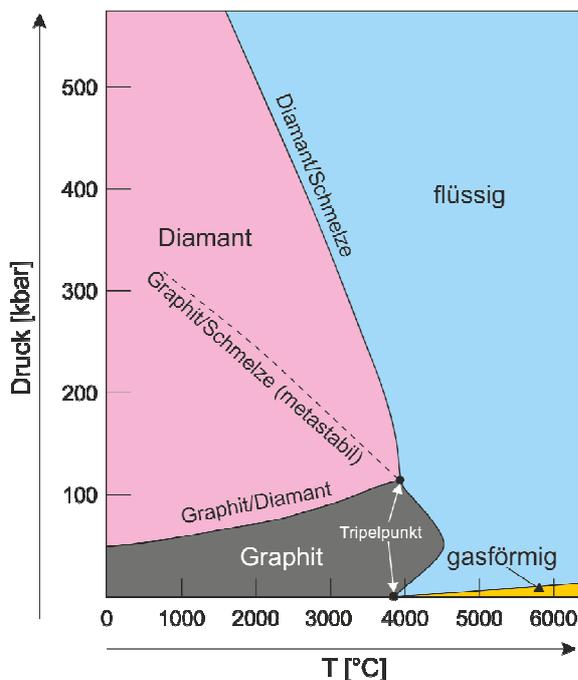


Abb. 6-1: Diamant entsteht unter höheren Drücken als Graphit. Fulleren* als Modifikation von Graphit fällt im Druck-Temperatur-Diagramm mit Graphit ins gleiche Feld.

* Fulleren ist nicht offiziell als Mineral anerkannt. Er besteht aus dem sphärischen Graphitmolekül Fulleren.



Abb. 6-2: Zwei Beispiele für das Vorkommen von Graphit in Kropfmühl. – Links: Tonhaltiges Graphiterz (Foto: GK); rechts: Graphit-Kristall, Bildbreite 22 mm (Foto: ©Joachim Esche).

Sie unterscheiden sich in ihrem physikalischen Aufbau, wobei der Diamant ausschließlich bei Drücken über 50 kbar entstehen kann.

Das bei weitem häufigste der drei Kohlenstoff-Mineralen ist der Graphit (Abb. 6-2). Sein Name stammt vom griechischen „graphein“ (schreiben), da Graphit so weich ist, dass man ihn zum Schreiben verwenden kann. Auf der Härteskala von Mohs erhält der Graphit deshalb den Wert 1-2 und ist damit den am wenigsten harten Mineralen zugeordnet. Die Dichte von Graphit beträgt $2,3 \text{ g/cm}^3$. Durch seinen hohen Schmelzpunkt von 3.700 °C ist Graphit sehr hitzebeständig und gegen Säuren und Laugen sehr widerstandsfähig. Zudem weist Graphit auch eine gute Wärme- und elektrische Leitfähigkeit auf und reduziert die Bewegungsenergie der bei Kernspaltungen freigesetzten Neutronen. Ganz nebenbei hat Graphit auch eine enorme Färbekraft und er bricht schwerer als Glas.

Im Detail besteht Graphit aus ebenen Schichten (Abb. 6-3). Innerhalb jeder Schicht wird jedes Kohlenstoff-Atom von drei weiteren Kohlenstoff-Atomen im gleichen Abstand von $0,142 \text{ nm}$ umgeben. Die Schichtstruktur hat dadurch eine [3]-Koordination. Somit spannen die Kohlenstoff-Atome Sechsecknetze auf, an deren Ecken sich jeweils ein Kohlenstoff-Atom befindet. Die einzelnen Atome sind innerhalb der Sechsecknetze durch starke kovalente Bindungen verknüpft. Die übereinander liegenden Schichten sind derart gegeneinander verschoben, dass ein Atom der zweiten Schicht

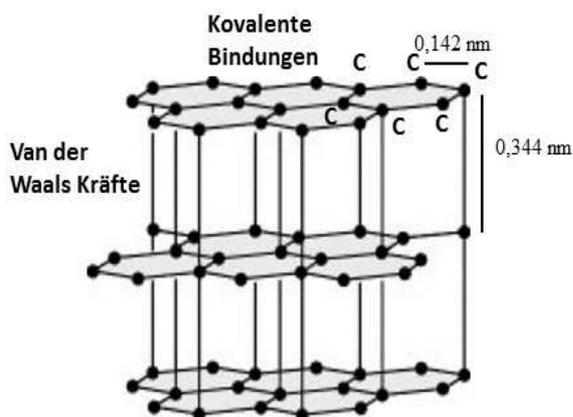


Abb. 6-3: Die Kristallstrukturzeichnung des Graphits verdeutlicht seinen schichtigen Aufbau.
exakt über der Mitte eines Sechsecks der

ersten Schicht zu liegen kommt. So befindet sich die dritte Schicht in identischer Lage mit der ersten. Der Abstand von Schicht zu Schicht ist mit 0,344 nm bedeutend größer als derjenige zwischen benachbarten Kohlenstoff-Atomen innerhalb einer Schicht. Das ist darauf zurückzuführen, dass nur schwache van-der-Waals-Kräfte zwischen den Schichten wirken. Dadurch können die einzelnen Schichten sehr leicht gegeneinander verschoben werden, wodurch sich die sehr geringe Härte des Graphits erklärt.

6.2.2 Bildung von Graphit

Die Entstehung von Graphit benötigt stets organischen Kohlenstoff, hohe Temperaturen und Drücke und sehr viel Zeit. So entsteht Graphit im Laufe von Millionen von Jahren durch die Veränderung von biologisch gebildeter und zunächst an der Erdoberfläche zu Lande oder zu Wasser abgelagerter Substanz wie zum Beispiel Pflanzen oder Algen. Das Ausgangsmaterial des Graphits benötigt somit ein Umfeld, in dem Sedimente gebildet werden. In den meisten Fällen sind es Landpflanzen, die zunächst den Prozess der Inkohlung über die Stadien Torf, Braunkohle, Steinkohle bis hin zur Anthrazitkohle durchlaufen. Ähnlich verläuft die natürliche Anreicherung von Kohlenstoff aus Faulschlämmen, die in stehenden Gewässern unter Abwesenheit von Sauerstoff entstehen. Dabei wird der enthaltene Kohlenstoff (ca. 50 % der Pflanzen- bzw. Faulschlammmasse) auf bis zu 90 % in der Anthrazitkohle angereichert. Nun liegt er in einer so genannten amorphen Form vor. Bis hierhin kann der Anreicherungsprozess unter relativ niedrigen Drücken und Temperaturen ablaufen. Für die endgültige Entstehung von Graphit bedarf es dann aber hoher Temperaturen und Drücke, um den amorphen Kohlenstoff in kristallinen Kohlenstoff umzuwandeln. Solche Bedingungen können ausschließlich durch metamorphe oder magmatische Prozesse erreicht werden, sofern kein Sauerstoff zutreten kann, da bei erhöhten Temperaturen der Kohlenstoff Verbindungen mit Sauerstoff eingeht und als gasförmiges Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid entweicht. Graphit kommt daher bevorzugt in metamorphen Gesteinen vor, die in plattentektonischen Kollisionsgebieten während der Gebirgsbildung im Laufe von Millionen von Jahren aus sedimentären Ausgangsgesteinen entstanden sind.

Es gibt drei verschiedene Arten von Graphit, Flockengraphit (flake graphite), amorpher Graphit (amorphous graphite) und Ganggraphit (vein graphite). Flockengraphit, die häufigste Graphitvariante, besteht aus Plättchen und kommt in metamorphen Gesteinen, wie z.B. Marmor, Gneis oder Schiefen, vor. Amorpher Graphit ist ein sehr feinkörniger Graphit, der in Kohleflözen, Tonsteinen und Schiefen vorkommt. Wenn amorpher Graphit mit Kohleflözen assoziiert ist, dann ist er aus Meta-Anthrazit durch Kontakmetamorphose von Kohle entstanden. Ganggraphit ist sehr selten. In Pegmatitgängen und Spalten, in denen bei bereits relativ niedrigen Temperaturen von etwa 500-600 °C verschiedene Minerale kristallisieren, kommt der Ganggraphit vor. Seine Entstehung ist noch umstritten, jedoch ist die Lösung von kohlenwasserstoffhaltigem Material durch wässrige Fluide mit der anschließenden Kristallisation von Graphit am wahrscheinlichsten. Graphit lässt sich außerdem auch synthetisch aus kohlenstoff-

haltigen Materialien durch den energieintensiven Prozess des Verkokens mit anschließender Graphitierung herstellen.

6.2.3 Verwendung des Graphits

Graphit wird aufgrund seiner speziellen Eigenschaften in verschiedensten industriellen Bereichen eingesetzt. Etwa 40 % des weltweit geförderten Graphits geht in die Feuerfest- und Gussindustrie sowie in den Hochofenbau. Etwa 30 % werden als Zusatzstoff bei der Stahlherstellung benötigt. Jeweils etwa 10 % werden zur Produktion von Batterien und Akkus sowie als Trockenschmiermittel verwendet. Weitere 10 % gehen in die Herstellung von Bremsbelägen, von Kohlebürsten für Elektromotoren und von Bleistiften. Geringe Mengen werden in Atomkraftwerken als Strahlungsschutz verwendet. Der jährliche Verbrauch von Graphit liegt bei insgesamt etwa 600.000 Tonnen. Die größten Förderländer sind China (65%), Indien (14,2%), Brasilien (3,3%), die Türkei (2,7%) und Nordkorea (2,5%) (Stand 2018). Die nach gegenwärtigen Marktbedingungen wirtschaftlich abbaubaren Reserven an Graphit werden auf 250 Millionen Tonnen geschätzt und die vorhandenen, aber wirtschaftlich noch uninteressanten Ressourcen auf >800 Millionen Tonnen.

6.3 Entstehung des Graphit in Kropfmühl

Kropfmühl liegt im Bayerischen Wald. Damit gehören die im Bergwerk Kropfmühl vorkommenden Gesteine geologisch gesehen zum mitteleuropäischen Grundgebirge. Dieses entstand bei der variszischen Gebirgsbildung in der Zeit des Karbons und Perms vor etwa 350 bis 280 Millionen Jahren. Weltweit führte die Kollision einer Vielzahl von kleineren und größeren Kontinenten zur Entstehung des Superkontinents Pangäa. In allen Kollisionszonen wurden Erdkrustenplatten übereinander geschoben, so dass an der Erdoberfläche breite Gebirgszüge hoch empor ragten. In der Tiefe wurden die gestapelten Erdkrustenplatten aber auch in Bereiche hinabgepresst, in denen viel höhere Drücke und Temperaturen herrschen. Diese Bedingungen bewirkten eine massive Veränderung der Gesteine, d.h. eine Metamorphose, bei der die ursprünglichen Gesteine in neue umgewandelt wurden. Die in Kropfmühl aufgeschlossenen metamorphen Gesteine sind Teil des Moldanubikum *sensu stricto*. Es handelt sich im Einzelnen um Gesteine der „Bunten Gruppe“. Unter relativ hohen Temperaturen und Drücken von ca. 500-600 °C und ca. 3-8 kbar waren während der variszischen Gebirgsbildung die ursprünglichen seit dem Neoproterozoikum (~550 Millionen Jahre) in einem Meeresgebiet abgelagerten Sedimente zu Amphiboliten, Marmoren, Paragneisen und Kalksilikatgesteinen umgewandelt worden. Mit diesen vergesellschaftet ist der Graphit. Er tritt in den Gneisen und Marmoren auf, wobei nur in den Gneisen wirtschaftlich interessante Graphitgehalte von 20-30 % erreicht werden. Das Ausgangsmaterial des Graphits sind in diesem Fall Faulschlämme mit sehr hohen Anteilen von einzelligen marinen Algen, die wie alle Lebewesen zu einem großen Teil aus Kohlenstoff bestehen. Seit dem Neoproterozoikum wurden über Millionen von Jahren wechselweise Algen-Faulschlämme, Tone, Sande und Kalke abgelagert.

gert. Das Sedimentpaket wurde dabei mehrere tausend Meter mächtig und allmählich immer tiefer versenkt. Die Faulschlämme wurden so zu Ölschiefern verdichtet. Weiter allmählich steigende Drücke und Temperaturen wirkten auf das organische Material der Ölschiefer. Es durchlief den Prozess der Inkohlung, wodurch der Kohlenstoff kontinuierlich angereichert wurde und der ursprüngliche Faulschlamm letztlich in Anthrazitkohle überführt wurde. Während der anschließenden variszischen Gebirgsbildung wurden sämtliche Sedimentgesteine verfaltet und metamorph umgewandelt zu Paragneisen, Marmoren und Amphiboliten und auch der ungeordnete Kohlenstoff der Anthrazitkohlen wurde metamorph in kristallinen Graphit überführt.

Viele Millionen Jahre später, als in einer weiteren Gebirgsbildung die Alpen entstanden, wurden die zuvor versenkten Gesteine gehoben, zerbrochen und über die Jahrmillionen der Verwitterung ausgesetzt. Schließlich gelangte auch der Graphit an die Erdoberfläche und ist damit für den Menschen erreichbar.

Im ganzen Aufschlussgebiet des Moldanubikum *sensu stricto*, d.h. in Österreich, in Tschechien und in Deutschland tritt Graphit auf. Die meisten Vorkommen bestehen aus Flockengraphit, der hier in Korngrößen von <500 µm vorliegt. Daneben kommt auch amorpher Graphit vor, lediglich der Ganggraphit fehlt im Bayerischen Wald.

6.4 Abbau von Graphit in Kropfmühl

Der historische Abbau des Graphits erfolgte seit Mitte des 13. Jahrhunderts in der bäuerlichen Struktur der Region als Zusatzerwerb im Winter. Mit Spaten und Pickel wurde das an der Oberfläche verwitterte Gestein in offenen Gruben abgebaut. Bis etwa 1910 dominierte der so genannte „Bauernbergbau“ die Graphitgewinnung. Erst danach entwickelte sich im Laufe von 50 Jahren ein bis heute andauernder industrieller Rohstoffabbau, der dem steigenden Rohstoffbedarf der Industrialisierung folgte.

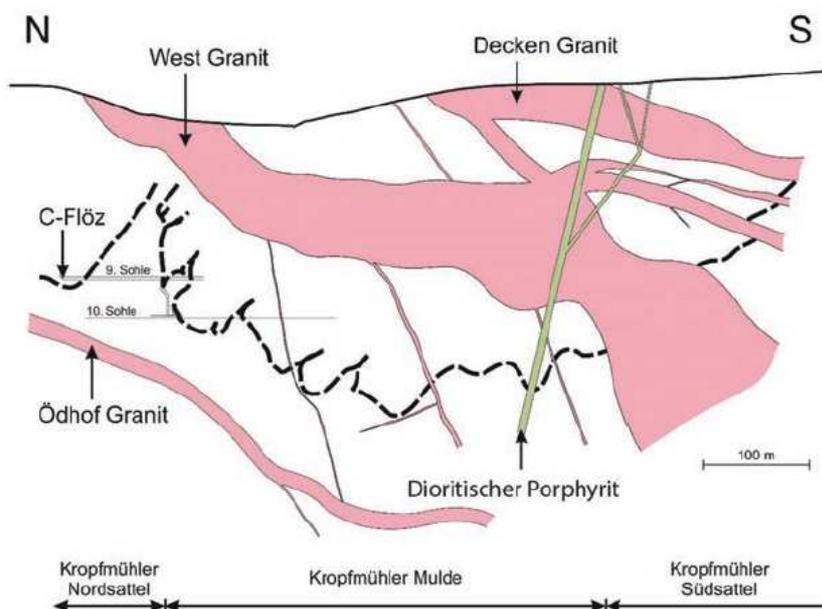


Abb. 6-4: Nord-Süd-Profilschnitt durch die Graphitlagerstätte Kropfmühl (vereinfacht nach Kartenmaterial der Graphit Kropfmühl GmbH in KRÜGER et al. 2017).

Nachdem die Vorkommen des Nichtmetalls/Halbmetails Graphit im südlichen Bayerischen Wald erkannt worden waren, erfolgte ein initialer Graphitabbau ausschließlich als Kleinbergbau vor Ort. Allmählich kam es zur ökonomischen Konzentration der Abbaubetriebe und letztlich wurde 1910 das Graphit-Bergwerk Kropfmühl gegründet. Steigender Bedarf und steigende Ansprüche an die Qualität des Rohstoffs im Zuge der industriellen Entwicklung führten zur räumlichen Expansion, zur effizienteren Produktion und zur Internationalisierung mit dem Zukauf von Bergwerksbeteiligungen im Ausland. Daraus resultierten in Kropfmühl veränderte Sozialstrukturen durch die Anpassung der Arbeitsbedingungen vor Ort, die Verlagerung von geringer qualifizierten Arbeitsplätzen ins Ausland sowie die Schaffung von höher qualifizierten Arbeitsplätzen in der Rohstoffaufbereitung und -veredlung am Standort Kropfmühl. Auch 2018 wird in Kropfmühl mit insgesamt 7 Bergleuten noch aktiver Abbau von Graphit betrieben (Abb. 6-4).

6.5 Verwendung des Graphits von Kropfmühl

Früher wie heute ist der Einsatz des Graphits durch seine hervorragenden Materialeigenschaften bestimmt. Bis ins 20. Jahrhundert wurde der Graphit aus Kropfmühl fast ausschließlich für die Schmelztiegelherstellung für Alchimisten, Gold- und Kupferschmiede oder Münzwerkstätten verwendet. Seit der Industrialisierung wurde der Einsatz von Graphit zunehmend spezialisierter, bleibt aber auch als Bleistift im normalen Alltag präsent. Heute wird der Graphit aus Kropfmühl kaum in seiner dort abgebauten Form vermarktet. Vielmehr erfordern die zahlreichen Anwendungen des Graphits eine marktgerechte Aufbereitung, was oftmals eine Mischung mit anderen Graphitqualitäten erfordert. Für Schmelztiegel werden große flockenförmige Graphite verwendet, synthetischer Graphit wird für maßgeschneiderte Graphit-Formteile genutzt. Die Autoindustrie verwendet Graphit für eine Vielzahl von Anwendungen, unter anderem in metallurgischen Prozessen zur Herstellung von Sinterteilen oder als Reibbelag von Kupplungen und Bremsen. In Elektromotoren aller Art ist Graphit ein Bestandteil der Kohlebürsten. Er kommt zum Einsatz in Batterien und Akkus, als Schmiermittel, als feinsten Überzug zum Beispiel von Eisenbahnweichen oder Saatgut, als Wärmedämmung in Gipskartonplatten oder in Vorwanddämmblöcken. Zudem wird heute aus dem Graphit das ultradünne und superharte Material Graphen gewonnen, dessen Anwendungsmöglichkeiten noch gar nicht vollständig abgesehen werden können.

6.6 Erkundungsrallyes durch das Besucherbergwerk Graphit Kropfmühl

Als Ergänzung zu einer Untertageführung durch einen Bergmann stehen drei unterschiedlich anspruchsvolle Rallyes zur Erkundung des Grafiteum Kropfmühl zur Verfügung.

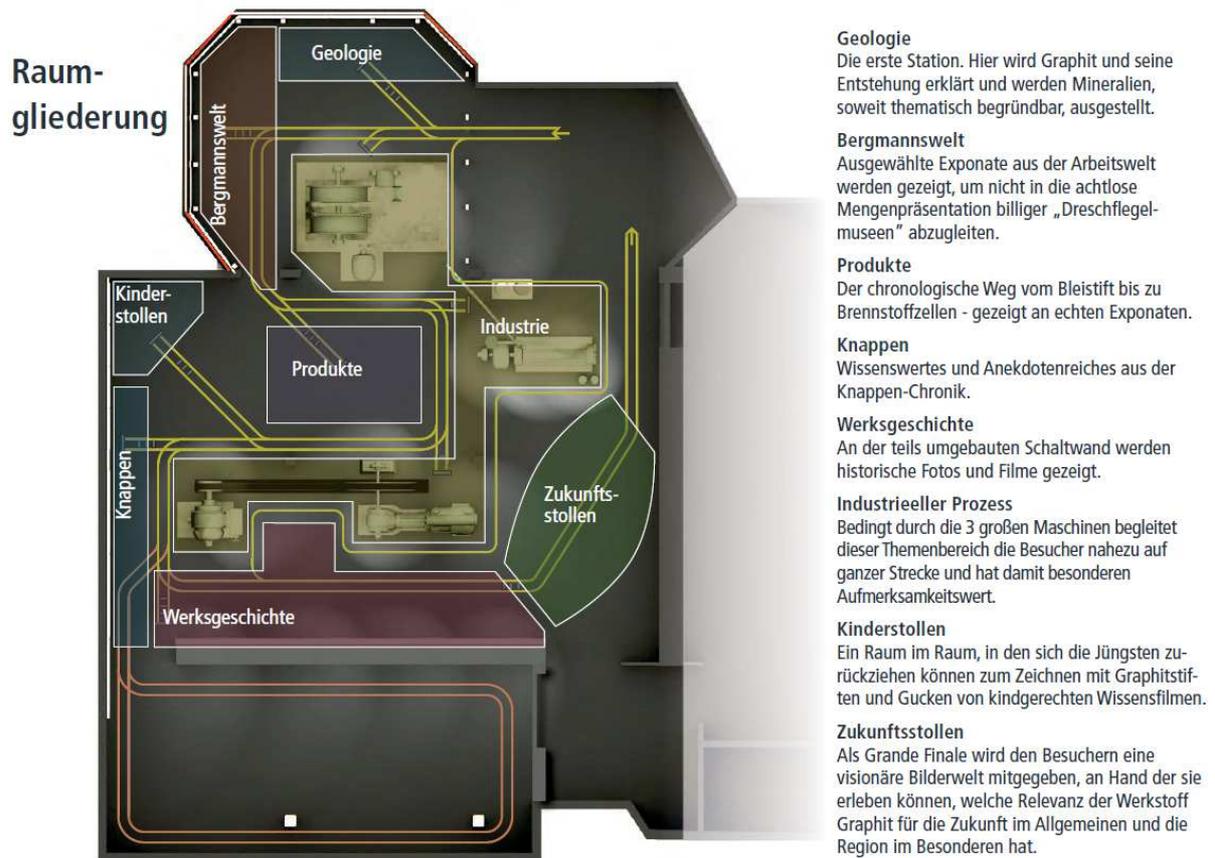


Abb. 6-5: Orientierungsplan für das Grafiteum Kropfmühl.

6.6.1 Rallye für die 3. und 4. Jahrgangsstufe

[Link zur Rallye](#) — [Link zur Musterlösung](#)

6.6.2 Rallye für die 5. und 6. Jahrgangsstufe

[Link zur Rallye](#) — [Link zur Musterlösung](#)

6.6.3 Rallye für die 9. und 10. Jahrgangsstufe

[Link zur Rallye](#) — [Link zur Musterlösung](#)