Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 95 (2006)

Artikel: Diamanten : vom Schmuckstein zum Werkstoff

Autor: Jenny, Titus A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308865

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Diamanten – Vom Schmuckstein zum Werkstoff

TITUS A. JENNY

Fragen und Antworten

Auf die allgemeinen Fragen, woher kommt der Diamant, woher stammt sein Name, woher stammen die sich um ihn rankenden Legenden gibt eine kurze chemische Einführung ebenso Antworten wie auf die mehr spezifischen Fragen "woraus besteht er?" und "warum ist er so hart und durchsichtig? ".

Das eigentliche Thema eröffnet sich über die Frage: „wozu dient er nebst seiner Schönheit? ", weil diese die Beziehungen zwischen Eigenschaften und Verwendungszweck näher erläutert. Die gezielte Erweiterung des Verwendungszwecks weg vom reinen Schmuckgegenstand hin zum modernen Material führt dann zur zentralen Frage, wie der Diamant verändert werden kann und vor allem, wie er künstlich hergestellt werden kann.

Daraus ergeben sich dann die eher praktischen Fragen wie „wann kommen diese Materialien", „wer wird sie herstellen", „wie viel werden sie kosten" bis schliesslich zur nach wie vor offenen gestalteten Frage an der Forschungsfront „was werden sie leisten".

Herkunft

Antike Diamanten stammen ausnahmslos aus Indien, wo aus dem 4. Jahrtausend v. Chr. eine erste Überlieferung eines Diamantfundes belegt ist. Bereits damals sagte man Diamanten magische Wirkungen nach, weshalb man sie als Talismane benutzte. Im Gegensatz zu den um die Diamanten rankenden Legenden wird die Sanskrit-Bezeichnung (vajra) vom westlichen Abendland allerdings nicht übernommen. Ethymologisch leitet sich das abendländische Wort Diamant vom griechischen adamas ab. Die ursprüngliche Bedeutung dieses Wortes ist allerdings unklar: bei Homer ist Adamas in der Bedeutung „der nicht bezwungen werden kann" noch Eigenname. Für Hesiod steht Adamas dann für ein sehr hartes mythisches Metall. Theophrastos, ein Schüler Aristoteles, scheint Adamas erstmals im Sinne von Diamant zu gebrauchen, aber noch Platon bezeichnet mit Adamas ein sehr

hartes Nebenprodukt von Waschgold, das aus heutiger Sicht entsprechend seiner Farbe und Härte wohl eher ein Platinerz meint. Erst der kaiserzeitliche römische Dichter Manilius verwendet in seinem Lehrgedicht den Vergleich: „Verachte nicht deine, wenn auch in kleinem Körper verborgenen Kräfte... So ist auch der Diamant, der winzige Stein, wertvoller als Gold". Das Wort *Diamant* leitet sich aus dem spätlateinischen *diamantem*, Akkusativ von *diamas* ab, einer gräzisierenden Abwandlung des griechischen *adamas*.

Plinius der Ältere unterscheidet in seiner ‚Naturalis historia' nicht weniger als sechs verschiedene Arten von Diamanten, worunter aus heutiger Kenntnis einzig der indische und arabische Diamant tatsächlich als Diamanten anzusehen sind, denn bis 600 n. Chr. wurden Diamanten ausschliesslich in Indien gefunden und gelangen unter anderem über Arabien nach Europa. Plinius beschreibt auch erstmals die Verwendung von Diamanten als Werkzeug und ordnet ihnen nebst zutreffenden auch völlig falsche Eigenschaften zu:

- Kristallartige oktaedrische Struktur: tatsächlich weisen vor allem kleinere ungeschliffene Rohdiamanten häufig eine oktaedrische Gestalt auf.
- Ausserordentliche Härte: Diamant steht auf der 10teiligen Mohsschen Härteskala nach wie vor am obersten Ende.[1] Selbst der ebenfalls sehr harte Korund besitzt eine 140-mal geringere Schleifhärte. Für das Schleifen von Diamanten muss daher Diamantpulver verwendet werden, einer der Gründe, weshalb die gezielte Bearbeitung von Diamanten erst als Folge dieser Entdeckung im 13. Jahrhundert aufkommt.
- Widerstandsfähigkeit selbst gegen Feuer: Diamant ist tatsächlich chemisch äusserst widerstandsfähig, aber nicht gegen Feuer. Allerdings beweist Lavoisier erst im 18. Jahrhundert, dass Diamant aus Kohlenstoff besteht und deshalb in Luft ab 800 °C (in reinem Sauerstoff ab 720 °C) verbrennt, indem er einen Diamanten mit Hilfe eines Brennglases zu reinem CO_2 umsetzt.
- Hammer und Amboss können ihm nichts anhaben: Diamanten sind zwar hart, aber auch spröde und lassen sich vor allem unter Zuhil-

[1] Die Härte von Diamant wird einzig von den vor Jahresfrist entdeckten ADNRs (*Aggregated Diamond NanoRodsw2*) übertroffen, der dichtesten Form von Kohlenstoff und die Materie mit der geringsten Kompressibilität. ADNRs werden aus Fulleren bei hoher Temperatur (2500 K) und hohem Druck (20 GPa) hergestellt und besitzen ein Kompressionsmodul von 491 GPa, Diamant erreicht hingegen nur 442 GPa. (http://www.uni-bayreuth.de/presse/mitteil/59-hart)

fenahme von organischen Lösungsmitteln[2] verhältnismässig leicht spalten, eine andere Entdeckung des 13. Jahrhunderts, welche ebenfalls seiner Bearbeitung Vorschub leistete.

- Diamanten werden durch frisches Bocksblut zerstört: merkwürdigerweise hielt sich diese eher abstrus anmutende Legende hartnäckig und wurde selbst von Albertus Magnus noch weitergegeben.
- Schwächt die Kraft von Magneten: es wird wohl für immer unklar bleiben, wie diese unzutreffende Aussage ursprünglich zustande kam, denn defektfreie Diamanten sind völlig diamagnetisch.
- Hilft gegen Gift und krankhafte Geisteszustände: Diamant hat keinerlei Absorptionsvermögen und ist unter Normalbedingungen chemisch völlig inert. Seine Seltenheit und seine extremen Eigenschaften verleihen ihm jedoch eine wohl einzigartige Suggestivkraft.

Diamant als Edelstein

Diamant ist ein völlig ungewöhnlicher Edelstein. Er ist zwar hart und selten wie andere Edelsteine, besteht aber im Gegensatz zu diesen aus einem einzigen Element und ist – oder enthält – kein Metalloxid oder Silikat wie alle anderen Edelsteine. Er ist deshalb – ebenfalls im Gegensatz zu allen anderen Schmucksteinen – brennbar, auch wenn dafür sehr hohe Zündtemperaturen erforderlich sind. Seine Stellung im Periodensystem erklärt, weshalb Kohlenstoff als einziges Element einen derartigen aussergewöhnlichen Festkörper bildet. Kohlenstoff steht in der Mitte der ersten Periode. Die Elemente der ersten Periode weisen alle eine schlecht abgeschirmte Kernladung auf, weil die gefüllte innere Edelgasschale aus lediglich zwei Elektronen besteht. Die Stellung des Kohlenstoffs auf halbem Weg zwischen zwei Edelgasen machen Kohlenstoff aber weder zu einem ausgeprägten Elektronenakzeptor, d.h. er ist deutlich weniger elektronegativ als Stickstoff, Sauerstoff oder gar Fluor, noch zu einem guten Elektronendonor wie die vor ihm stehenden Elemente Lithium, Beryllium und Bor. Kohlenstoff füllt daher seine Valenzschale vorzugsweise durch Ausbildung von kovalenten, d.h. gerichteten Bindungen zu anderen Atomen auf und existiert nur unter ausserordentlichen Bedingungen in ionischer Form.

---

[2] Die Funktion von organischen Flüssigkeiten erklärt sich aus dem Umstand, dass beim Spalten von Diamant Kohlenstoff-Kohlenstoff Bindungen gebrochen werden, die wieder abgesättigt werden müssen. Diese Sättigung wird am leichtesten durch Wasserstoffabstraktion aus organischen Stoffen erreicht.

Vergleicht man Kohlenstoff mit dem nächsten schwereren Element in der Gruppe 14, dem Silizium, wird diese Einzigartigkeit noch augenfälliger.

X-Y	F	H	O	C	Cl	Br	Si	N
C	**485**	**416**	**358**	**331**	**328**	289	287	278
Si	**540**	293	**368**	287	**360**	289	176	280

Tabelle 1: Bindungsenergien (in kJ/Mol) von Kohlenstoff und Silizium mit anderen Elementen

Kohlenstoff geht nicht nur mit allen Elementen des Periodensystems kovalente Bindungen ein, sondern zeigt bei diesen eine vergleichsweise geringe Varianz der Bindungsstärken. Auffällig ist auch die ungewöhnlich starke Bindung zu Wasserstoff[3] sowie der Umstand, dass Kohlenstoff nur gerade mit 3 Elementen eine stärkere Bindung aufweist als mit sich selbst.

Silizium verhält sich in dieser Hinsicht typischer: eine ausgeprägte Vorliebe zu Bindungen mit bestimmten Elementen (Fluor mit grossem Abstand vor Sauerstoff und Chlor, und diese beiden wiederum mit grossem Abstand vor anderen Elementen), keine besonders starke Bindung mit Wasserstoff und eine vergleichsweise schwache Bindung mit sich selbst.

Kohlenstoff verbrennt mit Sauerstoff zu gasförmigem Kohlendioxid, weil beide Elemente als typische Vertreter ihrer Periode zur Ausbildung von Mehrfachbindungen befähigt sind, während Silizium in Ermangelung dieser Eigenschaft mit Sauerstoff ein kovalentes unendliches Gitter (Quarz) und damit einen harten Festkörper bildet.

Allotrope Formen von Kohlenstoff

Diamant ist aber nicht die einzige Form, in welcher Kohlenstoff elementar auftreten kann. Im Gegenteil, Diamant bildet in eigentlicher Weise eine Ausnahme, denn unter Normalbedingungen (Raumtemperatur und eine Atmosphäre Druck) ist Graphit, eine andere allotrope Form, stabiler als Diamant. Nebst amorphem Kohlenstoff, der aber nicht als eigentliche allotrope Form angesehen wird, sind seit geraumer Zeit zwei weitere allotrope Formen erkannt worden: Fullerene und Nanoröhren (nanotubes). Fullerene sind sphärische Moleküle, die nur aus Kohlenstoff bestehen. Der wichtigste Vertreter, C_{60}, besitzt eine Struktur, welche an den geodätischen Dom des Architekten RICHARD BUCKMINSTER FULLER oder einen Fussball

[3] Wasserstoff bildet nur mit drei anderen Elementen (F, O, Cl) stärkere Bindungen als mit Kohlenstoff

erinnert, weshalb ihm seine Entdecker kurzerhand den Namen Buckminsterfulleren oder kurz Fulleren gaben.

Die etwas später entdeckten Nanotubes bilden eine strukturell offene Familie von Gebilden, deren gemeinsames Merkmal der graphitartige Aufbau der Rohrwand darstellt und deren Durchmesser im Bereich eines Nanometers liegt. Auf diese allotropen Formen des Kohlenstoffs soll an dieser Stelle aber nicht näher eingegangen werden, weil damit der Umfang dieser Abhandlung gesprengt würde.

Damit stellt sich die Frage, woher denn Diamanten stammen, wenn sie unter Normalbedingungen nicht gebildet werden können, weil eine andere allotrope Form stabiler sind.

Diamanten bilden sich im Erdmantel unter hohem Druck und hohen Temperaturen (1200 bis 1400 °C), die typischerweise in einer Tiefe von 140 bis 150 km vorherrschen. Die Muttergesteine der Diamanten sind Erdmantelgesteine wie Peridotit und Eklogit. Gasreiche vulkanische Gesteine, so genannte Kimberlite oder Lamproite transportieren Bruchstücke des Erdmantels mit den enthaltenen Diamanten bei ihrer Eruption an die Oberfläche, wo man sie in den Pipes, den erstarrten vulkanischen Eruptivschloten, findet. Die Transportgeschwindigkeit aus der Tiefe wird auf wenige Stunden geschätzt, so dass aufgrund der Schnelligkeit keine Phasenumwandlung zu Graphit stattfindet. Diamanten sind Xenokristalle in Kimberlit und Lamproit und in diesen Magmen chemisch nicht stabil. So kann man an natürlichen Diamanten immer Auflöseerscheinungen beobachten.

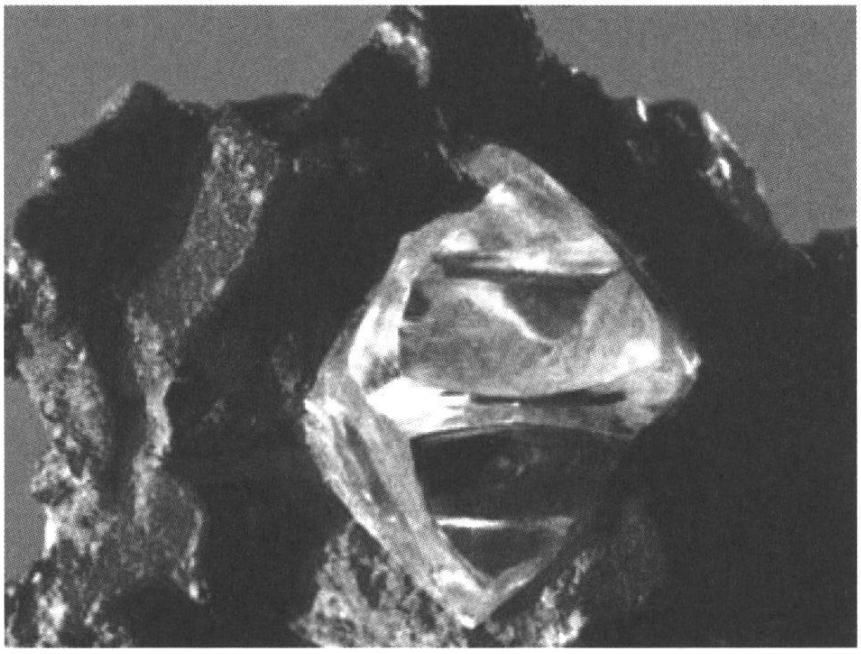


Abb. 1: Rohdimant im Muttergestein

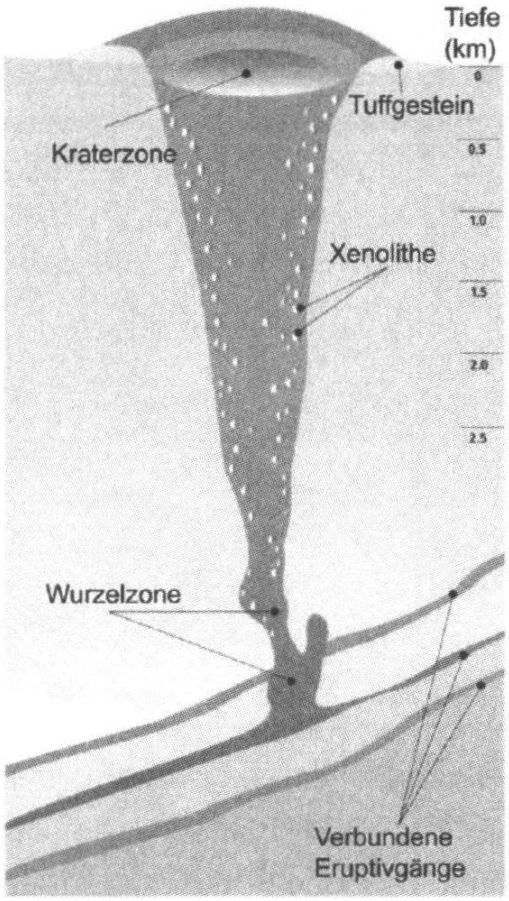


Abb. 2: Schema einer Kimberlitröhre

Von ihrem Vorkommen in Pipes können die Diamantkristalle durch natürliche Verwitterungsprozesse, bei denen sie aufgrund ihrer Härte intakt bleiben, abtransportiert werden und reichern sich dann in alluvialen Sedimentgesteinen an, was heute auch nach der Erschöpfung der Funde in Indien, nach wie vor eine der Hauptquellen des Minerals darstellt, weil nach und nach neue Lagerstätten entdeckt wurden; so ab dem 6. nachchristlichen Jahrhundert in Borneo und seit dem 18. Jahrhundert auch in Brasilien. Alternativ werden sie nach ihrer Entdeckung 1869 in Kimberley in Südafrika auch in den senkrechten Pipes der erloschenen Kimberlitvulkane abgebaut werden, jeweils zuerst im Tagbau, dann unter Tage.

Für die Gewinnung von 1 g Diamanten müssen in der Ekati-Mine in Kanada (**Abb. 3**) etwa 14'000 Tonnen Gestein abgebaut, zerkleinert und durchsucht werden. Ähnliche Minen (Fördermengen von 2003 in Mio. Karat[4] in Klammern) finden sich auf je einem Gürtel der nördlichen (Kanada (11.2), Russland und Sibirien (36)) und südlichen Hemisphäre (Brasilien (0.8), Südafrika (10.8), Angola (6.2), Namibia (1.7), Botsuana (30), Demokratische

[4] Das Karat bezeichnet bei Edelsteinen ein Gewicht: 1 Karat = 200 mg

Republik Kongo (23), Ghana (1) und Australien (24.3)) auf nahezu den ganzen Erdball verteilt.

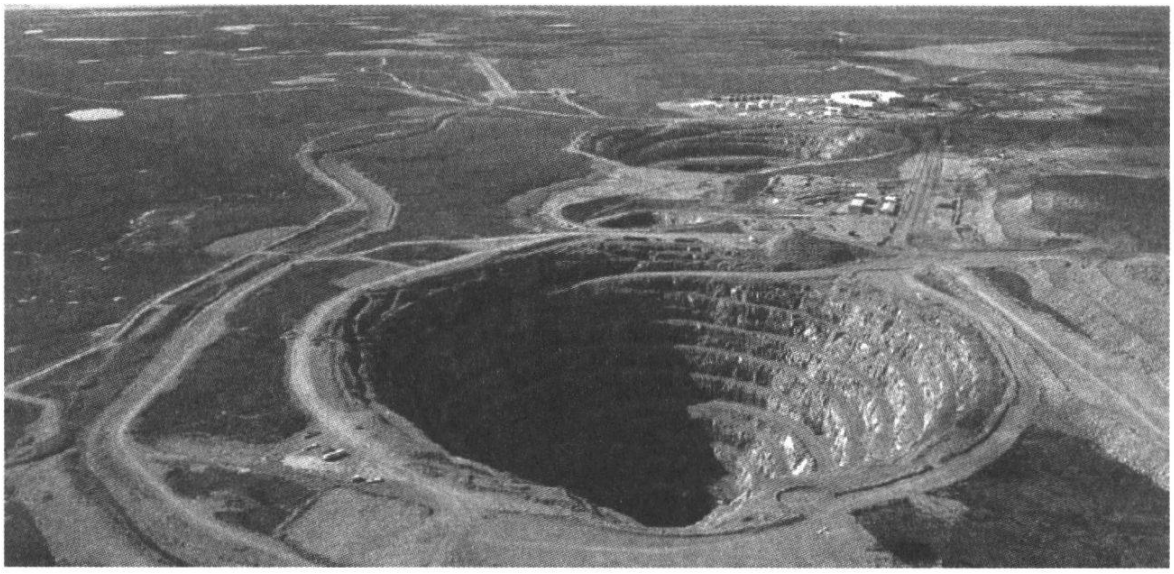


Abb. 3: Tagbau in der Ekatimine in Kanada

Dennoch deckt die Jahresproduktion von knapp 30 Tonnen den weltweiten Bedarf nur zu etwa 20%. Daher füllen in steigenden Masse synthetisch erzeugte Diamanten, deren Eigenschaften wie Zähigkeit, Kristallhabitus, Leitfähigkeit und Reinheit genau bestimmt werden können, diese Nachfragelücke, wie in einem späteren Kapitel ausgeführt werden soll.

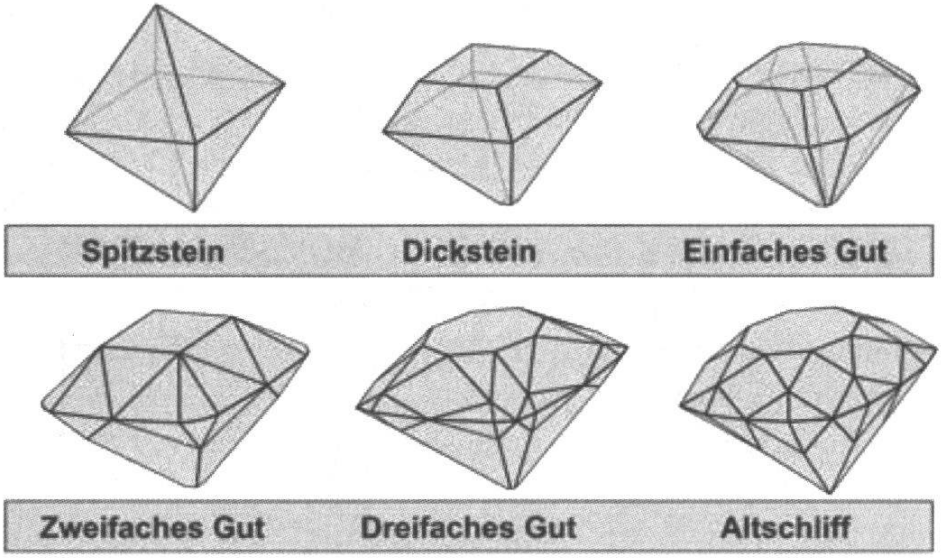
Schmuckstein

Der Diamant findet bereits seit mindestens 2000 Jahren als Schmuckstein Verwendung, doch eine gezielte Bearbeitung setzt erst im 14. Jahrhundert ein. Zunächst wurden hier nur zur Erhöhung des optischen Effekts die natürlichen oktaedrischen Kristallflächen poliert, eine Entwicklung welche in Indien abgelehnt wurde, weil dadurch angeblich die von diesem Mineral ausgehende magische Kraft zerstört würde.

Da die Härte des Diamanten auf seinen einzelnen Kristallflächen leicht variiert, ist es möglich wird, Diamant mit Diamant zu schleifen, da in dem dazu verwendeten Diamantpulver jeder Härtegrad vorkommt.

Der noch weitgehend in seiner natürlichen Form belassene erste Diamantschliff wurde seiner Charakteristik entsprechend, Spitzstein genannt. Durch Abspalten einer Oktaederspitze erzeugte man zusätzlich auf der Oberseite eine grosse Fläche, genannt Tafel und auf der Unterseite als Gegenstück eine kleine, genannt Kalette oder Rippe, was zum so genannten Dickstein

oder Tafelstein führte. Ende des 15. Jahrhunderts legte man, vor allem dank der Entwicklung der Schleifscheibe, immer mehr zusätzliche Facetten an (einfaches Gut). Um 1650, der Überlieferung nach auf Anregung von Kardinal Mazarin, wurde erstmals ein Stein mit 32 Facetten plus Tafel und Kalette sowie schwach gerundetem Grundriss (Rundiste) geschliffen. Diese Mazarin-Schliff oder zweifaches Gut genannte Form erhielt Ende des 17. Jahrhunderts durch den venezianischen Edelsteinschleifer Peruzzi seine Steigerung im Peruzzi-Schliff (dreifaches Gut). Dieser wies bereits alle Facetten und auch ähnlichen Proportionen des späteren Brilliantschliffs auf.[5] Aber auch beim Altschliff, dem unmittelbaren Vorläufer des modernen Brillianten, ist der kreisrunde Körper noch nicht konsequent umgesetzt, weil man immer noch versuchte, unter möglichst geringem Materialverlust einen möglichst grossen optischen und damit wertsteigernden Effekt zu erzielen.



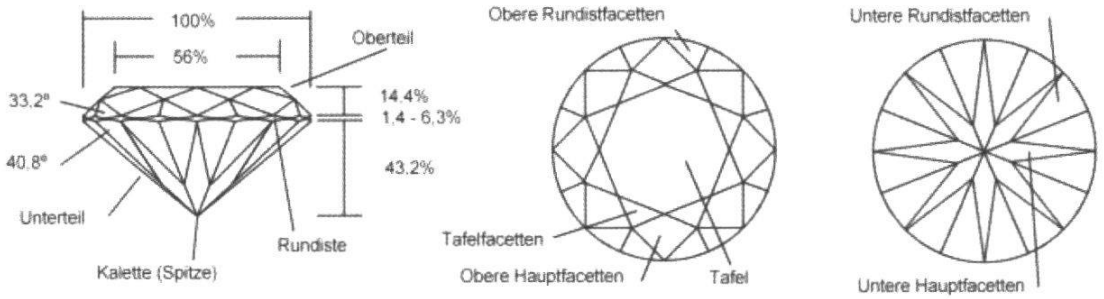
Um 1910 entwickelte sich aus diesem Altschliff der heute gültige Brilliantschliff mit seinen genau festgelegten Proportionen,[6] der eine Ermittlung des Gewichts allein anhand des Durchmessers erlaubt.[7]

---

[5] Der Brilliantschliff weist nebst der charakteristischen oktagonalen Tafel im oberen Teil 32 Facetten auf: 8 dreieckige Tafelfacetten, 8 nahezu quadratische (obere) Hauptfacetten und 16 dreieckige (obere) Rundistfacetten sowie kleine seitliche Facetten in der Rundiste. Im unteren Teil schliessen sich als Gegenstück die 16 dreieckigen unteren Rundistfacetten sowie die 8 drachenviereckigen unteren Hauptfacetten und eine möglichst kleine Kalette an.

[6] Verschiedene Länder verwenden hier jeweils geringfügig voneinander abweichende Referenzmasse.

[7] Durchmesser (Karat): 11.2 mm (5.0), 8.3 mm (2.0), 6.3 mm (1.0) 5.1 mm (0.5), 3.0 mm (0.1), 2.0 mm (0.03), 1.3 mm (0.01).



Der Diamantglanz beruht auf der vollkommenen Transparenz, als Folge der hohen Kristallinität, und extrem hohen Brechkraft von reinem Diamant. Der Brechungsindex beträgt 2.417 bei 590 nm. Zum Vergleich weist das billige Diamantimitat Zirconia[8] lediglich 2.2 auf, was aber immer noch einer sehr hohen Brechkraft entspricht. Einzig Anatas (2.52) und Rutil (3.10) (beides Titandioxid-Modifikationen) sowie Bleisulfid (3.90) übertreffen den Diamanten in dieser Hinsicht, Materialien die sich aber nicht als Schmucksteine eignen.

Berühmte Diamanten

Eine Besprechnung des Diamanten als Schmuckstein wäre aber ohne Erwähnung von berühmten Diamanten nicht vollständig. Für Berühmtheit sorgen nicht nur aussergewöhnliche Grösse und Farbe, sondern auch Legendenbildung. Spitzenreiter ist in dieser Hinsicht der Hope-Diamant, auch wenn hier Wirklichkeit und Legende sehr weit auseinander klaffen. Um den ausserordentlichen blauen Diamanten ranken sich die unterschiedlichsten Legenden. Nachfolgend ein Beispiel.

[8] Zirconia, durch entsprechende Zusätze kubisch stabilisiertes Zirkonoxid (ZrO_2), ist pro Karat für weniger als 2 € zu haben, während für Brillianten etwa 3'000 € pro Karat auszulegen sind.

Legende

In einer Version hat der französische Kaufmann und Diamantenexperte Jean-Baptiste Tavernier den Stein in einem indischen Tempel aus einer Wishnu-Statue gestohlen und nach Europa gebracht. Gott Wishnu soll persönlich den Dieben den Fluch, der von nun an den Diamanten begleitet, nachgesandt haben. Nachdem er den Stein an den Sonnenkönig Ludwig den XIV. verkauft hat, geht Tavarnier bankrott. Auf einer weiteren Reise nach Indien wird er von wilden Hunden zerrissen. Der Sonnenkönig stirbt der Legende nach an Pocken, weshalb Ludwig XV. nicht wagt, den Stein zu tragen, leiht ihn aber seiner Mätresse Gräfin Dubarry, die später auf dem Schafott endet. Ludwig XVI. trägt ebenso wie seine Gemahlin Marie Antoinette den Stein; beide enden bekanntlich während der französischen Revolution ebenfalls auf dem Schafott.

Was wirklich geschah

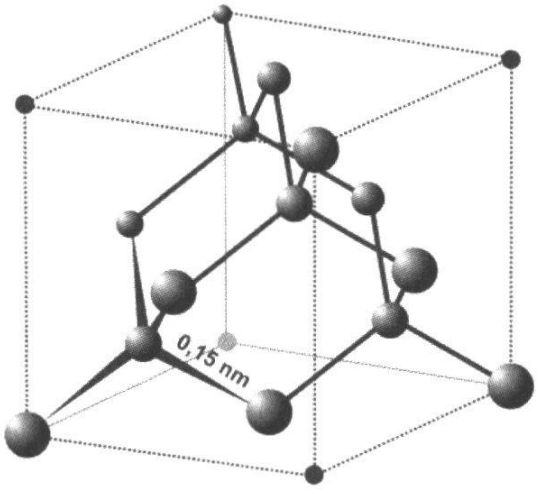
In Wirklichkeit hat Jean-Baptiste Tavernier, der Sohn eines Antwerpener Kaufmanns diesen Diamanten nicht gestohlen, sondern in Indien in einem Nebenfluss des Kooleron gefunden. Tavernier unternahm Mitte des 17. Jahrhunderts mehrere Reisen in den Orient und nach Indien. Von dort brachte er grosse Mengen an Diamanten nach Europa, darunter allein 20 Steine zwischen 30 und 50 Karat. Tavernier starb mit über 80 Jahren auf einer Reise in Moskau an einer Erkältung. Ludwig XIV. lebte nach dem Kauf des Diamanten noch 46 Jahre. Als er 1715 starb, waren die Pocken nicht die Ursache dafür. 1749 wird der Blaue Diamant zusammen mit anderen Steinen in den Orden vom Goldenen Vlies gefasst, der aber wie alle Ritterorden nur von Männern getragen werden durfte. Am Schicksal der Königin hat der Stein somit keinen Anteil.

Grosse Diamanten sind selten, solche mit einem Rohgewicht über 100 g (= 500 Karat) sogar sehr selten. Solche Diamanten wurden in der Regel in eine Reihe kleinerer Steine aufgespalten, wie der mit Abstand grösste je gefundene Cullinan-Diamant mit einem Rohgewicht von 620 g (3106 Karat) und einer sehr unregelmässigen Rohform, benannt nach dem Minenbesitzer Sir THOMAS CULLINAN, der in nicht weniger als neun grosse (530 bis 4.4 Karat) und 96 kleine Teile gespalten wurde. Die neuen grossen Diamanten, die nach Bearbeitung noch 34% des ursprünglichen Rohgewichts ausmachen, sind heute Teil der britischen Kronjuwelen und befinden sich im Tower von London.

Ungewöhnlich sind auch farbige Diamanten, denn reiner Diamant ist vollkommen farblos. Fremdatome im Gitter anstelle von Kohlenstoff erzeugen Farben, so verleiht Bor dem blauen Hope die ungewöhnlich schöne blaue Farbe, während der seit dem 1. Weltkrieg verschollene gelbe Florentiner Stickstoff enthält; je grösser der Stickstoffgehalt, desto intensiver der Gelb- oder auch Grünton, wobei Grüntöne viel seltener als Gelb und Blau sind. Andere Farben (braun, rot, pink, schwarz usw.) entstehen durch Gitterdefekte. Reine rote Diamanten sind die seltensten unter allen Diamanten und stammen zu 90 % aus der australischen *Argyle* Mine.

Wertsteigernd sind aber nur gut ausgeprägte Farben, denn leicht getönt sind die meisten Diamanten, was sich aber wie Einschlüsse in der Regel wertmindernd auswirkt.

Kristallographisch gesprochen ist das Diamantgitter kubisch-flächenzentriert, in dem die Hälfte der Tetraederlücken besetzt sind.



Allgemeinverständlich ausgedrückt besteht das Diamantgitter aus endlos aneinander gereihten Würfeln, in welchen alle Würfelecken und alle Würfelflächen je mit einem Atom besetzt sind. Jede Ecke bildet zusammen mit den Zentren der angrenzenden Würfelflächen ein imaginäres Tetraeder. Von diesen 8 möglichen Tetraedern pro Würfel besitzen deren 4 ein weiteres Atom in ihrem Zentrum. Damit erhält jedes Kohlenstoffatom 4 nächste Nachbarn im Abstand von 154 pm.[9] In diesem Gitter sind alle Elektronen in kovalenten Bindungen lokalisiert und deshalb unbeweglich, was Diamant zu einem perfekten elektrischen Isolator

[9] Ein Picometer (pm) ist der billionste Teil eines Meters.

macht. Auf der anderen Seite sind alle Atome mit hohen Bindungsenergien starr miteinander verbunden, wodurch sich Gitterschwingungen optimal ausbreiten können, was die ungewöhnlich hohe thermische Leitfähigkeit erklärt: mehr als 5mal höher als Silber, dem sonst besten Wärmeleiter. Diamant als Wärmeleiter wird nur von ebenfalls aus Kohlestoff bestehenden Nanotubes übertroffen, welche im Vergleich zu Silber gar eine 14fache Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Bei Gitterdefekten und/oder geeigneten Fremdatomen wird Diamant allerdings zum Halbleiter oder gar elektrisch leitend.

Diamant als Werkstoff

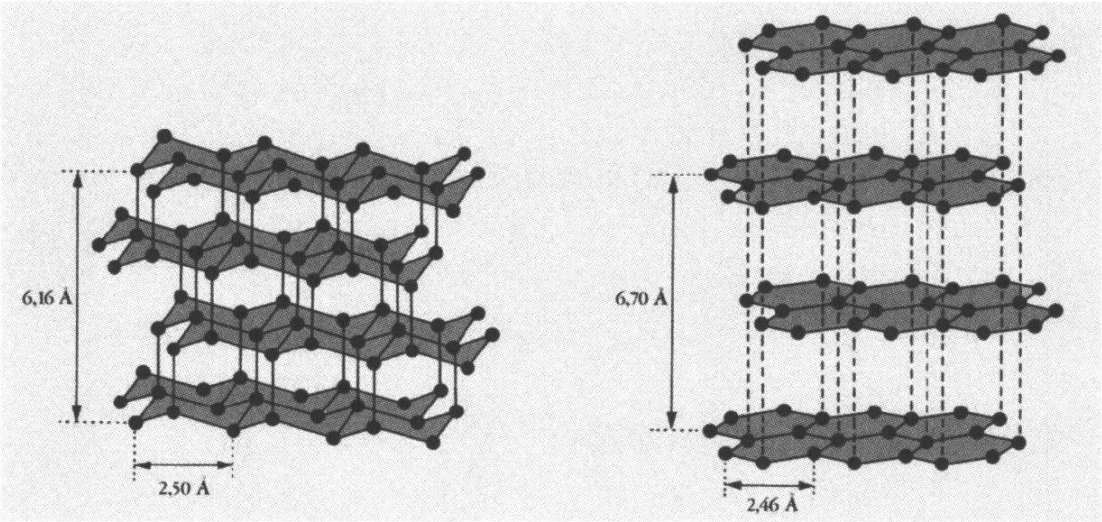
Diamanten gehören auch noch heute zu den begehrtesten Schmucksteinen, auch wenn sie rein optisch von ihrem Imitat, dem kubischen Zirkonia, auch vom Fachmann optisch nicht unterschieden werden können.[10] Dennoch rührt die hohe Nachfrage nicht von der Schmuckindustrie her, sondern von Anwendungen des Diamanten als Schneidewerkzeug. Nachdem auf der Weltausstellung in Philadelphia 1876 erstmals mit Diamanten besetzte Steinsägen einer breiten Öffentlichkeit gezeigt wurden, lassen sich heute diamantbesetzte Schneidewerkzeuge aus der Bearbeitung von Materialien aller Art nicht mehr wegdenken und finden sich gar in Standardausrüstungen von Hobbyhandwerkern.

Über 80% dieser meist sehr winzigen Diamanten werden heute mit verschiedenen Verfahren künstlich hergestellt, seit es General Electrics 1955 erstmals gelang, mit Hilfe des so genannten HPHT-Verfahrens[11] künstliche Diamanten herzustellen. Bei diesem Verfahren wird Graphit (Dichte 2.3 g/cm^3) in einer hydraulischen Presse bei Drücken bis zu 6 Gigapascal (60'000 bar) und Temperaturen von über 1500 °C zusammengepresst. Unter diesen Bedingungen ist Diamant (Dichte 3.52 g/cm^3) die thermodynamisch stabilere Form von Kohlenstoff. Der Umwandlungsprozess wird durch Zugabe von Katalysatoren (Nickel, Cobalt oder Eisen) stark beschleunigt, kann aber die entstehenden Diamanten auch verunreinigen, was für industrielle Anwendungen aber nicht von Belang ist. Ein Vergleich der Diamant- und Graphitgitter zeigt, dass die bienenwabenförmigen Graphitschichten einen verhältnismässig grossen Schichtabstand von 335 pm aufweisen, der im Diamanten auf 212 pm verkürzt wird. Andererseits werden die ebenen Graphitschichten im Diamanten mit Doppelknicken gewellt und die Sechsecke um 4 pm

[10] Zur Unterscheidung muss auch der Experte auf die stark unterschiedliche Wärmeleitfähigkeit zurückgreifen: Diamant ist mit Abstand der beste Wärmeleiter unter den bekannteren Materialien, während Zirconia als typisches Keramikmaterial sich wie ein thermischer Isolator verhält.

[11] HPHT steht für *high pressure high temperature.*

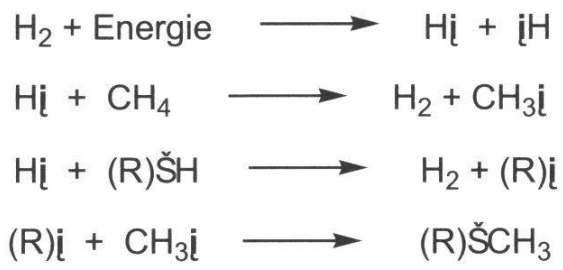
vergrössert, weil sich die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Abstände signifikant von 140 pm in den Graphitschichten auf 154 pm im Diamanten erhöhen. Gleichzeitig verschwindet die hohe elektrische Leitfähigkeit von Graphit vollständig.



Betrachtet man die Stapelung der Schichten im Graphit fällt auf, dass jede Schicht gegenüber der darunter- oder darüberliegenden verschoben ist. Bei a-Graphit ist die Schichtfolge ABAB, d.h. jede zweite Schicht liegt in identischer Position. Wird a-Graphit, die weitaus häufigste Graphitmodifikation durch Kompression direkt in Diamant umgewandelt, beispielsweise durch einen Meteroriteneinschlag, entsteht Lonsdaleit, eine äusserst seltene Modifikation des Diamanten, auch als hexagonaler Diamant bezeichnet. Lonsdaleit hat ebenfalls einen hohen Brechungsindex (ca. 2.4), aber eine um 10% geringere Dichte und deshalb eine erstaunlich niedrige Härte von 3. Für die direkte Umwandlung in Diamant müsste daher der Graphit in der weitaus selteneren b-Modifikation (Schichtfolge ABCA) vorliegen. Der Katalysatorzusatz umgeht dieses Problem, indem er Graphit unter den HPHT-Bedingungen zum Schmelzen bringt und die Diamanten aus einer Schmelze entstehen können.

Bei einem alternativen, kommerziell sehr erfolgreichem Verfahren, der Schockwellendiamantsynthese, werden unter höchsten Drücken und sehr hohen Temperaturen, wie sie bei Explosionen auftreten, auch ohne Katalysatoren Diamantpulver in verschiedenen Feinheiten hergestellt, weil Graphit unter diesen Bedingungen (> 4’000 °C) schmilzt und unter den nach wie vor hohen Drücken leichter als Diamant wieder kristallisiert.

Einen völlig anderen Weg beschreitet das dritte Herstellungsverfahren, wo Diamant durch chemische Abscheidung aus der Gasphase gebildet wird. Dieses *chemical vapor deposition* oder CVD-Verfahren verwendet als Ausgangsstoff Methan oder eine andere gasförmige Kohlenstoffquelle in einer Wasserstoffatmosphäre. Die Wasserstoffatmosphäre ist notwendig, weil bei diesem sehr unselektiven Abscheidungsverfahren vor allem amorpher Kohlenstoff nebst Graphit und wenig Diamant entsteht. Die Aufgabe des durch Mikrowelleneinstrahlung in Atome gespaltenen Wasserstoffs ist, das Methan in das reaktive Methylradikal umzuwandeln, die Oberfläche der gebildeten Kohlenstoffstruktur durch Wasserstoffabstraktion zu aktivieren, und die eben gebildeten Kohlenstoffstrukturen wieder abzubauen. Dabei reagiert Graphit rascher als amorpher Kohlenstoff, Diamant hingegen nur sehr langsam.

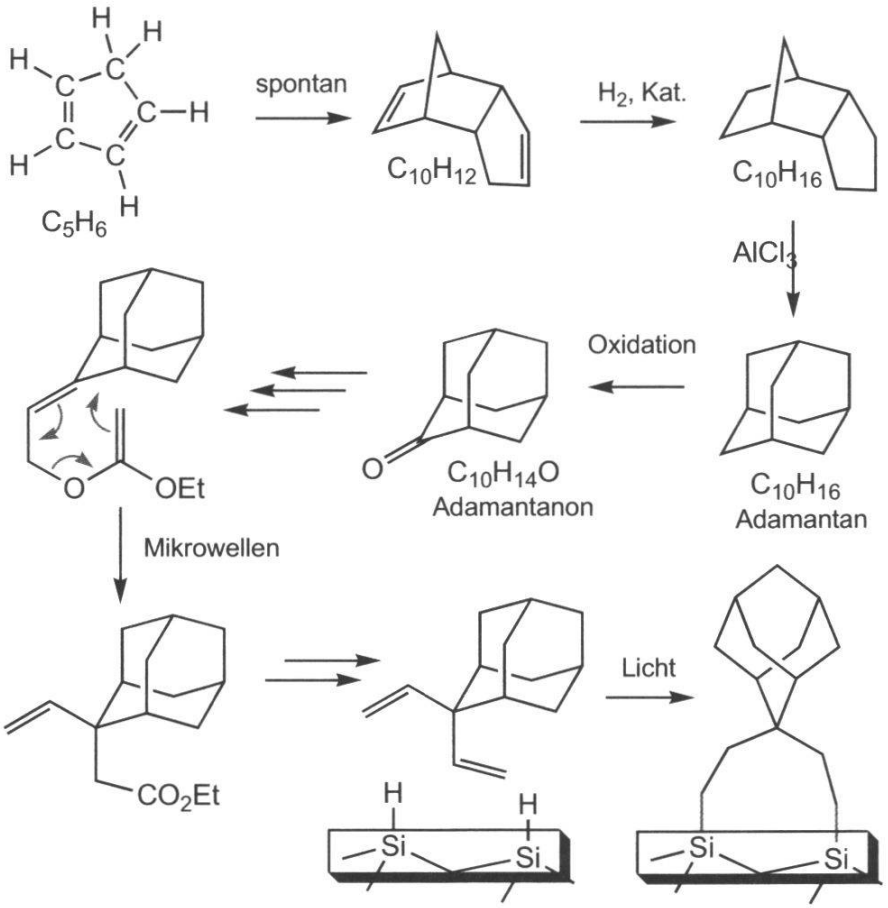


Chemische Bildung von Diamant

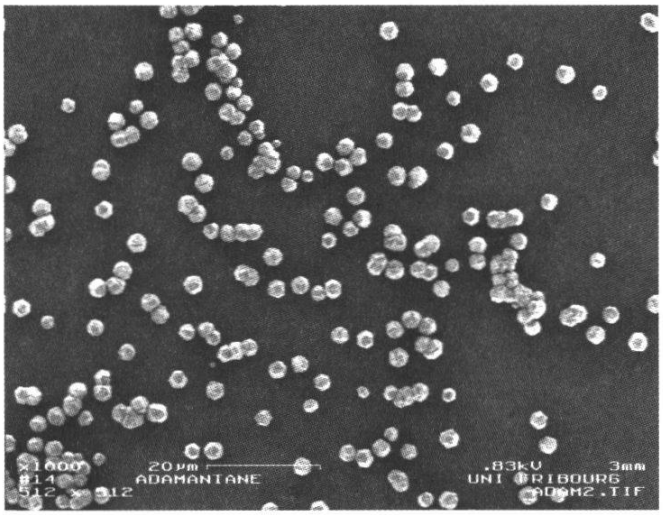
Das Symbol R steht für ein kohlenstoffhaltiges Gebilde

Bei richtig eingestellten Bedingungen kann somit nur Diamant wachsen, wenn auch mit etwa 1 mm Schichtdickenzuwachs pro Stunde sehr langsam. Im Gegensatz zu den übrigen Verfahren lassen sich hier aber zusammenhängende abriebfeste Diamantschichten auf einer Vielzahl an Substraten herstellen.

Weil aber kein Substrat kommensural mit dem Diamantgitter ist, ergibt sich ein Nukleationsproblem, denn bei der Abscheidung der ersten Kohlenstoffatome ist eine zufällige Anordnung der Atome in Form des sehr regelmässigen Diamantgitters extrem unwahrscheinlich. Aus diesem Grunde kann eine geeignete Oberflächenvorbehandlung die Bildung der ersten Diamantkeime um Stunden beschleunigen. Die nachstehende Abbildung illustriert eine erfolgreiche chemische Synthese eines Moleküls, das sich mit Licht auf einer speziellen Siliziumoberfläche kovalent befestigen lässt.



Die Kohlenstoffatome dieses Moleküls mit dem chemischen Trivialnamen ‚Adamantan' sind wie im Diamanten angeordnet, weshalb es nicht erstaunt, dass auf einer mit diesem Molekül belegten Oberfläche ohne Verzögerung Diamantkristalle zu wachsen beginnen. Die einheitliche Grösse von 2 mm nach zwei Stunden Abscheidungsdauer (nachstehende Abbildung) belegt diesen Umstand anschaulich.



Da die Befestigung der oberflächenmodifizierenden Moleküle mit Licht erfolgt, kann diese Methode bei Verwendung von Lasern als Lichtquelle auch zur gezielten Herstellung von Oberflächenstrukturen verwendet werden, was in einer zukünftigen Diamanttechnologie von grossem Nutzen sein wird. Es darf erwartet werden, derart Diamant die heutige Siliziumhalbleitertechnik ersetzen wird. Diamant isoliert besser als Silizium und leitet die

Wärme erheblich besser ab. Dadurch werden viel höhere Betriebstemperaturen für Computerchips möglich, was eine wesentlich dichtere Belegung mit elektronischen Bauelementen erlaubt. Eine technische Hürde liegt heute noch bei der Dotierung von Diamant für die Erzeugung von Halbleitern.

Als Ausblick noch eine weitere Zukunftsperspektive: unter der Internetadresse www.wissenschaft.de findet sich am 16.09.2005 in der Rubrik 'Physik' die Mitteilung

Wie Diamanten noch anziehender werden

Magnetische Nanodiamanten könnten in der Mikroelektronik und der Biotechnologie eingesetzt werden

Wenn nur wenige Nanometer kleine Diamantkristalle [5 nm, ca. 20'000 Atome, 0.4 ag *] mit Ionenstrahlen [100 keV] beschossen werden, werden sie magnetisch. Das haben Forscher des Rensselaer-Instituts für Nanotechnologie herausgefunden. Da auf Kohlenstoff basierende Materialien in großem Maße bioverträglich sind, könnten die winzigen Magneten in medizinischer Diagnostik und bei Therapien eingesetzt werden.

Womit sich unter anderem die Frage stellt, *warum* sie magnetisch werden können....

*) ag steht für Attogramm = 10^{-18} Gramm