

Diamantwerkzeuge und ihr Einsatz in der Flachbohrtechnik

1. Einleitung

Diamantwerkzeuge sind heute weit verbreitete Schneid-, Bohr- und Schleifwerkzeuge. Bereits die antiken Ägypter waren mit dem Prinzip des Kernbohrens vertraut. Ob sie allerdings bereits Diamanten dazu benutzten, wie vielfach kolportiert wird, ist nicht gesichert. Belegt ist dagegen der Einsatz von Diamantwerkzeugen seit dem 18. Jahrhundert. Oberflächenbesetzte Diamantbohrkronen, wie wir sie kennen, wurden vor über 100 Jahren entwickelt.

Für Explorationsbohrungen im Bergbau werden heute weltweit nahezu ausschließlich Diamantwerkzeuge eingesetzt. Aber auch im Bereich der Brunnenbohrungen, der Baugrunduntersuchungsbohrungen, der Injektionsbohrungen, usw. haben Diamantwerkzeuge große Verbreitung gefunden. Das komplette Bohrwerkzeug, bestehend aus Krone, Räumer und Kernrohr, ist im Laufe der letzten Jahrzehnte bis zu einem hohen Standard entwickelt worden. Die Einführung synthetischer Diamanten, sowie des Seilkernbohrverfahrens haben die Bohrtechnik beträchtlich vorangebracht.

Die Qualität des Bohrwerkzeuges, insbesondere diejenige der Diamantbohrkrone, ist einer der wichtigsten Faktoren für die Qualität der gewonnenen Kerne. Sie beeinflusst direkt das Gesamtergebnis der Bohrung und übt daher einen wesentlichen Einfluß auf die Kosten der gewonnenen Kerne aus.

Das Bohrwerkzeug ist Teil des gesamten Bohrsystems, daß das Gestänge, die Bohrmaschine und die Spülung einschließt. Die gegenseitige Abhängigkeit jedes Teiles des Systems von den anderen Teilen ist wichtig und sollte immer berücksichtigt werden. Nirgendwo wird dies deutlicher, als beim Seilkernbohrsystem. Mit der Möglichkeit der Kernentnahme, ohne den ganzen Bohrstrang ziehen zu müssen, ist die Bohrkronen zum schwächsten Glied in der Kette geworden und bedurfte einer Weiterentwicklung.

Neue Fortschritte beim Tieflochseilkernbohren haben jedes Teil des Bohrsystems, durch dynamische Kräfte und weitere unbekanntere Einflußfaktoren, bis an die physikalischen Grenzen beansprucht und so ihre Weiterentwicklung vorangebracht.

Entwicklungen in der Flachbohrtechnik werden durch die große Vielfältigkeit möglicher Gesteinsformationen, den Wasserdruck und die immer größer werdenden Tiefen, in denen Kerne gewonnen werden sollen, kompliziert.

In diesem Vortrag werden die wichtigsten Teile des Bohrwerkzeuges und damit des gesamten Bohrsystems, nämlich die Bohrkronen und der Räumer beschrieben, sowie deren Einsatz erörtert.

2. Der Diamant

Diamanten bestehen aus Kohlenstoff, der in einem kubischen Kristallsystem kristallisiert ist. Dieser Kristall wächst zumeist als Oktaeder, weniger oft als Dodekaeder und selten als Kubus. Das Oktaeder ist ein Achteflächner mit Flächen in Form gleichseitiger Dreiecke.

2.1 Allgemeine Eigenschaften von Diamanten

Der Diamantkristall ist von geringerer Symmetrie. Daher sind zwischen den einzelnen Kristallflächen teilweise erhebliche Härteunterschiede festzustellen. Trotzdem ist Diamant das härteste bekannte Material. Mit der Ritzhärte 10 steht es am oberen Ende der nichtlinearen Mohs'schen Härteskala, die ein verzerrtes Bild gibt, wenn man die Härten unterschiedlicher Minerale vergleicht. Ein besserer Vergleich ist anhand der Knoop'schen Härteskala möglich, auf der Diamant die Knoophärte 8000 - 8500 hat. Er ist damit circa viermal härter als Korund, mit einer Knoophärte von 1700 - 2200 und dreimal härter als Wolframkarbid.

Die Dichte von Diamant beträgt $3,52 \text{ g/cm}^3$. Diamanten haben eine gute Wärmeleitfähigkeit. Ihre Farbe ist unterschiedlich, reicht aber im Allgemeinen von glasig, über silbrig bis zu grau und schwarz. Andere Farben, wie Gelb, Grün und Blau sind häufig anzutreffen.

2.2 Spaltbarkeit von Diamanten

Die meisten Diamanten, die zum Bohren eingesetzt werden sind Einkristalle. Diese Kristalle haben definierte Spaltebenen, parallel zu den Oktaederflächen. Wenn sie mit Stoßimpulsen oder Schlagbelastungen beaufschlagt werden, können sie abscheren oder splintern. Wenn die richtige Richtung gefunden wurde, können Diamantschichten mit einer harten Spitze abgespalten werden, vergleichbar mit dem Spalten von Holz entlang der Faserrichtung. Wird jedoch ein Spalten quer zur Spaltebene versucht, wird der Diamant zersplintern wie Glas.

2.3 Thermostabilität von Diamanten

Die Kohlenstoffatome im Diamantgitter sind angeregt. Daher erklärt sich, daß Diamant bei normalen Umgebungsbedingungen thermodynamisch nicht stabil ist. Unter Sauerstoffatmosphäre kann Diamant schon bei Temperaturen von $450 - 850 \text{ °C}$ zu Kohlenmonoxid oder Kohlendioxid verbrennen, bzw. graphitisieren. Die Anwesenheit von Wolfram, Wolframkarbid und auch Graphit reduzieren die Oxidation um $50 - 90 \%$.

2.4 Diamanten zum Einsatz in Bohrwerkzeugen

Die Anforderungen, die an Bohrdiamanten gestellt werden, sind besonders hoch. Sie sollten eine gut gerundete bis blockige Form, eine einwandfreie Kristallstruktur, keine Risse und eine glatte Oberfläche haben.

Die heute gemeinhin zum Bohren verwendeten Naturdiamanten stammen hauptsächlich aus Süd-, West- und Südwestafrika, sowie Zaire und Australien. Sie werden unter dem Sammelbegriff "Drillings" in verschiedenen Sorten und Güteklassen gehandelt.

Die Diamantsorten "Ballas" und "Carbonados", die als einzige Naturdiamanten polykristallin sind und im Übrigen gebrochen eingesetzt werden, finden wegen ihrer Seltenheit und ihres hohen Preises nur bei besonderen Bohraufgaben Anwendung. Bei diesen Sorten treten die typischen Nachteile von Diamanten nur in geringerem Maße auf.

Die Qualität der Bohrdiamanten und ihre Eignung für bestimmte Bohraufgaben ist unterschiedlich. Da es keine Normung oder direkte Meßmethode für ihre Güte gibt, legen die Werkzeughersteller die Kriterien und Bezeichnungen für die einzelnen Güteklassen selber fest.

Sieht man von diesen Herstellerbezeichnungen ab, so lassen sich die Hauptkategorien wie folgt zusammenfassen:

2.4.1 Ungebrochene Diamanten

Bohrdiamanten, die höchste Ansprüche hinsichtlich Kristallstruktur, Form und Oberflächengüte erfüllen und daher für den Einsatz in sehr harten und abrasiven Gesteinen geeignet sind, werden von uns ND 1 genannt.

Bohrdiamanten aus dem selben Basismaterial wie die oben genannten, die jedoch in Form und Oberflächengüte nicht ganz die Kriterien für ND 1 erfüllen und daher für den Einsatz in harten und mittelabrasiven Gesteinen geeignet sind, nennen wir WA Premium.

Bohrdiamanten, die eine gute Kristallstruktur und nach Behandlung eine gute Form und Oberflächengüte aufweisen, in diesen Kriterien jedoch nicht die Vorgaben für WA Premium erreichen und daher für den Einsatz in mittelharten Gesteinen, mit geringerer Abrasivität geeignet sind, werden von uns WA Select genannt.

Bohrdiamanten, die die Kriterien zur Auswahl von WA Select nur zu circa 80 % erreichen, aber trotzdem gute Bohrleistungen in weichen, wenig abrasiven Gesteinen erbringen, nennen wir WA Standard.

Diamanten, die die Kriterien zur Auswahl von WA Standard, insbesondere was die Form und die Oberfläche angeht, nicht erfüllen und daher besonders zum Einsatz in Diamanträumern geeignet sind, nennen wir Economy. Ihr günstiger Preis macht es möglich, auch den Räumer zu vertretbaren Kosten mit den Vorteilen eines Diamantwerkzeuges auszustatten. Ihr Einsatz in Bohrkronen ist weniger empfehlenswert.

2.4.2 Gebrochene Diamanten

Dieses Material, auch Grit genannt, wurde früher für imprägnierte Werkzeuge verwendet. Auch bei gebrochenem Material sollen die Einzeldiamanten eine blockige, kompakte Form haben, während die Kanten so scharf bleiben sollen, wie sie sich nach dem Brechen ergeben.

2.4.3 Sonderdiamanten

Hierbei handelt es sich um die schon erwähnten Diamantsorten "Ballas" und "Carbonados". Wir verwenden Carbonados z.B. in Werkzeugen zum Trockenbohren und in Sonderwerkzeugen z.B. zum Überbohren von Gestängestabilisatoren mit den sogenannten washover shoes, oder zum Durchbohren von Verrohrungen mit den sogenannten window mills.

2.4.4 Synthetische Diamantkörnung

Seit mehr als 25 Jahren werden synthetische Diamantkörnungen hergestellt, die wirtschaftlich in der Fertigung von imprägnierten Bohrwerkzeugen angewendet werden können. Bei diesem Diamantmaterial handelt es sich um ein sehr blockiges, schneidfreudiges Korn, daß in der Regel monokristallin vorliegt. Auch die Thermostabilität dieses Materials hat sich in den letzten Jahren stark verbessert.

Im Übrigen kann es, im Gegensatz zum gebrochenen Naturdiamantmaterial, sehr gleichförmig hergestellt werden, was dazu geführt hat, daß es dieses fast vollständig abgelöst hat.

2.4.5 Synset-Diamantmaterial

Hier handelt es sich um thermostabile, polykristalline, synthetische Diamanten, die für nahezu sämtliche Gesteinsformationen geeignet sind. Sie werden auch oft TSD = ThermoStabile Diamanten genannt. Die handelsüblichen Formen dieser Diamanten sind Würfel und Prismen unterschiedlicher Kantenlängen.

Dieses Diamantmaterial erfordert besondere Aufmerksamkeit beim Einsatz. Der Bohrfortschritt pro Umdrehung sollte 0,2 mm nicht unterschreiten, in weicheren Formationen sogar bis zu 1 mm betragen. Werden diese Werte nicht erreicht, so führt dies vor allem in abrasiven Gesteinen schnell zur Verschleißflächenbildung an den Schneidelementen, mit der Folge erheblich geminderter Bohrleistung und Werkzeugstandlänge. Die Schneidkörper werden so gesetzt, daß es bei neuen Werkzeugen zunächst zu einer Punkt- oder Linienberührung mit dem zu bohrenden Gestein kommt. Da aber auch bei optimalsten Einsatzbedingungen mit der Zeit Verschleiß an den Schneidkörpern auftritt, wird die Linienberührung unweigerlich zur Flächenberührung, was zur Folge hat, daß mit zunehmendem Verschleiß der notwendige Andruck zur Aufrechterhaltung des geforderten Bohrfortschrittes immer größer wird.

2.4.6 StrataCut-Diamantmaterial

Alle StrataCut Produkte bestehen aus einer circa 0,7 mm dicken Schicht aus polykristallinen, synthetischen Diamanten, die fest mit einer Hartmetallunterlage verbunden sind. Sie werden oft auch PKD = PolyKristalline Diamanten genannt. Diese geometrisch bestimmten Schneiden haben in Bohrwerkzeugen vielfältige Anwendungen gefunden, wobei zwei Eigenschaften wesentlich zu ihrem Erfolg beigetragen haben.

Zum Einen wird die Schneidfähigkeit des Bohrwerkzeuges über die Einsatzdauer erheblich länger aufrechterhalten als bei Hartmetallwerkzeugen, weil die weit überlegene Verschleißfestigkeit der PKD-Schicht die Ausbildung von Verschleißflächen stark reduziert, diese Werkzeuge also lange scharf bleiben.

Zum Anderen stellt die Hartmetallunterlage eine solide Abstützung der eher spröden PKD-Schicht dar, die es gestattet, Schlag- und Stoßbeanspruchungen in weiten Grenzen zu ertragen, ohne daß es zur Zerstörung der Schneide kommt.

3. Diamantbohrwerkzeuge

3.1 Oberflächenbesetzte Diamantbohrkronen

Diese zeichnen sich dadurch aus, daß in der Oberfläche ihres Schneidbereiches ungebrochene Naturdiamanten in einer Hartmetallmatrize eingebettet sind. In der Flachbohrtechnik werden Diamanten von 5 bis 80 Steinen pro Karat eingesetzt. Obwohl eigentlich ein Maß für die Masse, wird die Angabe von Steinen pro Karat als Größenangabe verwendet, was möglich ist, da auf Grund einer konstanten Dichte, die Masse direkt proportional zum Volumen, also zur Größe ist. Ein Karat entspricht im Übrigen 0,2 Gramm. Für die Größenauswahl der Diamanten kann als Richtschnur gesagt werden, je härter das zu bohrende Gestein ist, um so kleiner sollten die Diamanten sein.

Auch Bohrkronen mit Sonderdiamanten, also solche, die mit Carbonados oder Ballas besetzt sind, zählen zu den oberflächenbesetzten Werkzeugen.

Die einzelnen Diamanten sind so angeordnet, daß eine gute Überschneidung beim Bohren gewährleistet ist, d.h. über die gesamte Lippenbreite des Werkzeuges kommen Diamanten zum Eingriff. Sie sind so in die Matrize eingebettet, daß sie nur mit 1/8 bis 1/3 ihres Durchmesser aus der Werkzeugoberfläche herausragen. Das Maß des Herausragens wird Exposure genannt.

Für weiches bis mittelhartes Gestein wird ein größeres Exposure gewählt. Für hartes abrasives Gestein empfiehlt sich meist ein geringeres Exposure. In klüftigem Gestein sollte man sich mit einem minimalen Exposure begnügen. Bei konstantem Exposure nimmt das in der Matrix eingebettete Diamantvolumen mit zunehmender Diamantgröße auch zu, so daß bei gleicher Besetzungsdichte mit zunehmender Diamantgröße das Gesamtgewicht der eingesetzten Diamanten zunimmt.

Standardmäßig werden die Diamanten einzeln gesetzt, d.h. jeder Einzeldiamant ragt kalottenförmig aus der Matrize heraus. Für Sonderanwendungen, z.B. dem Ablenken oder dem Überwaschen, werden alle Diamanten auf einem Schneidlippenradius in eine von Wasserweg zu Wasserweg verlaufende Rille gesetzt, wobei die Rillen zweier benachbarter Felder um circa einen Diamantradius versetzt sind, um eine Überschneidung zu gewährleisten. Diese Setzmethode, die einen sehr guten Schutz der Diamanten gegen Abscheren und Splintern gewährleistet, aber die Schnittfreudigkeit des Werkzeuges herabsetzt, wird ridge setting genannt.

Die Diamanten verlieren während des Bohrens ihre Wirksamkeit durch Polieren, Splintern, bzw. Abscheren oder Verbrennen, bzw. Graphitisieren.

Hatte man noch bis vor wenigen Jahren verschiedene Matrizen zur Auswahl für oberflächenbesetzte Bohrkronen, so sind wir auf Grund der technischen Entwicklung heute in der Lage, eine einzige Matrize für diese Werkzeuge anzubieten. Diese Matrize ist ausreichend verschleißfest, hat ein gutes Haltvermögen für die Diamanten und neigt nicht zu schädlichen chemischen Reaktionen mit diesen.

Es gibt eine Vielzahl von Lippenformen, doch einige davon, die sich besonders bewährt haben, sind als Standardformen zu bezeichnen. Diese sind:

BY (vollrundes Profil), für harte bis sehr harte und abrasive Formationen;

S (stufenförmiges Profil), für weiche, mittelharte bis harte Formationen;

BN (Profil mit Außenkonus), für weiche bis mittelharte und brüchige Formationen;

KONKAV (Profil mit Innenkonus), Standardprofil für Vollbohrwerkzeuge.

Das Auslösen der Restdiamanten durch Aussäuerung macht häufig die Rückgewinnung eines hohen Prozentsatzes der eingesetzten Diamanten möglich. Das noch einwandfreie Diamantmaterial, daß dabei gewonnen wird, findet Anwendung in der Wiederbesetzung neuer Bohrwerkzeuge.

Alle hier gemachten Aussagen gelten sowohl für oberflächenbesetzte Kernbohrwerkzeuge, als auch für Vollbohrwerkzeuge.

3.2 Imprägnierte Diamantbohrkronen

Bei imprägnierten Diamantbohrkronen wird entweder gebrochenes Naturdiamantmaterial, sogenannter Grit, oder weitaus häufiger unebrochenes, synthetisches Diamantmaterial, sogenannte Körnung, in Größen von 16 bis 60 US-mesh, verwendet. Die Angabe in US-mesh ist eine Siebgrößenangabe, wobei ihr Betrag die Anzahl der Siebgitterlinien pro Zoll angibt. Je kleiner der Betrag der US-mesh Größe, umso größer also der Diamant, da bei kleinerer Gitterlinienzahl der Abstand zwischen den Linien wächst, also größere Diamanten ausgesiebt werden.

Bei imprägnierten Diamantwerkzeugen ist das Diamantmaterial gleichmäßig in der Matrize des imprägnierten Bereiches verteilt. Dieser kann sich beim Bohren abarbeiten, wobei immer wieder neue Diamantpartikel freigelegt werden. Diese Werkzeuge verbrauchen sich also während des Bohrens.

An die Matrize dieser Werkzeuge werden andere Anforderungen gestellt, als bei oberflächenbesetzten Werkzeugen. Sie muß verschleifen, um zum richtigen Zeitpunkt neue Diamanten freizugeben, wobei der richtige Zeitpunkt der ist, zu dem die bis dahin arbeitenden Diamanten durch Verschleiß ihre Wirksamkeit verloren haben. Nicht früher, denn dann wird die Standzeit unnötig reduziert und nicht später, denn dann wird das Werkzeug ohne Bohrfortschritt auf der Sohle reiben. Daraus folgt, daß verschiedene Matrizen mit unterschiedlicher Härte und Abrasionsfestigkeit angeboten werden, die auf die Härte und Abrasivität des zu bohrenden Gesteines abzustimmen sind.

Dabei sind zwei sich teilweise widersprechende Abhängigkeiten zu beachten, nämlich die, daß die Matrize mit zunehmender Gesteinhärte weicher werden sollte und die, daß die Matrize mit zunehmender Gesteinsabrasivität härter werden sollte. Bei der Auswahl der richtigen Matrize sollte auf die Erfahrung des Herstellers zurückgegriffen werden, dem dazu natürlich möglichst viele Informationen über die zu bewältigende Bohraufgabe gegeben werden müssen.

Als Lippenformen sind die Flach-, sowie die V-Form verfügbar, wobei Letztere sich durch radiale Einkerbungen auf der Schneidlippe auszeichnet und für sehr hartes Gestein zu empfehlen ist. Von ihrem Einsatz in brüchigen Formationen ist jedoch abzuraten.

Die Rückgewinnung an Diamanten ist auf Grund der Tatsache, daß diese Werkzeuge sich verbrauchen, natürlich gering, oft wird sogar ganz darauf verzichtet.

3.3 Diamantbohrkronen mit polykristallinen Diamanten

Die für oberflächengesetzte Diamantwerkzeuge gemachten Aussagen gelten im Wesentlichen auch für Synset-Bohrkronen, mit der Ausnahme, daß die Standardlippenform die W-Form, eine leicht gerundete Form, ist.

Für StrataCut-Bohrkronen, die sehr große Schneidkörper mit geometrisch bestimmter Schneide tragen, sind W- und S-Form verfügbar. Bei diesen Werkzeugen ist die, verglichen mit anderen Diamantwerkzeugen, größere Empfindlichkeit gegenüber Stoß- und Schlagbeanspruchungen zu beachten. Ebenfalls ist zu berücksichtigen, daß auf Grund der Größe der Schneidkörper und ihrer Wirkungsweise, die eine scherende ist, große Eindringtiefen der Schneidelemente und damit eine große Vorschubgeschwindigkeit möglich und notwendig sind, um nicht zu polieren, was den Schneidkantenverschleiß begünstigen würde.

Eine Auslösung ist auch bei Diamantbohrkronen mit polykristallinen Diamanten möglich. Inwieweit sie sinnvoll ist, hängt vom Abnutzungsgrad des gebrauchten Werkzeuges ab.

3.4 Diamanträumer

Bei Diamanträumern wird der Stahlkörper von einem geschlossenen Ring aus einer Hartmetallmatrize umgeben. Dieser Ring weist Rippen auf, die entweder parallel zur Bohrachse verlaufen (Ring-Type), oder solche die schräg zur Bohrachse verlaufen (Spiral-Type) und damit eine bessere Anlage an der Bohrlochwand gewährleisten. In der Oberfläche dieser Rippen sind Diamanten bündig eingebettet.

Auch bei Diamanträumern ist eine Auslösung möglich.

3.4 Aufbau von Diamantwerkzeugen

3.4.1 Bauelemente

Bauelemente von Diamantwerkzeugen sind:

die **Matrize** als Träger der eingebetteten Diamanten,

der **Stahlschaft** mit Gewindeanschluß und Bindung zur Matrize.

3.4.2 Funktionselemente

Funktionselemente von Diamantwerkzeugen sind:

der **Gewindeanschluß** zum Verschrauben mit dem Gestänge oder Kernrohr;

die **Räumkante**. Dieser mit Diamanten besetzte zylindrische Teil der Schneidlippe dient zusammen mit dem Diamanträumer zur Führung des Werkzeuges und sichert mit diesem die Maßhaltigkeit des Bohrloches. Kernbohrwerkzeuge haben im Gegensatz zu Vollbohrwerkzeugen auch innen eine Räumkante, die die Maßhaltigkeit des Kernes sichert;

die **diamantbesetzten Felder**. Dies sind die Bereiche der Kronenlippe, die von jeweils zwei Spülkanälen begrenzt werden. Bei imprägnierten Bohrkronen werden diese Felder **Segmente** genannt;

die **Spülkanäle**. Durch die Spülkanäle, die in der Regel von der Innenräumkante über den Schneidbereich bis zur Außenräumkante verlaufen, wird die Spülung vom Gestänge- oder Kernrohrinneren zur Bohrlochsohle und von dort in den Ringraum zwischen Bohrloch und Kernrohr oder Gestänge geleitet und dabei das Bohrklein abgeführt und die Diamanten gekühlt. Vor allem zur Verbesserung des Kerngewinnes können bei dicklippigen Werkzeugen Spülungsbohrungen durch die Lippe eingebracht werden, die die Bepülung des Bohrkernes reduzieren.

3.5 Abmessungen von Diamantwerkzeugen

Es existieren zwei Normungssysteme für den Bereich des Flachbohrens.

Dies ist zum Einen das internationale, oder zöllige System, in den USA als DCDMA-System, in Kanada als CDDA-System genormt. Es ist dadurch gekennzeichnet, daß die genormten Außendurchmesser der Werkzeuge und der dazu passenden Futterrohre mit Buchstabenschlüsseln versehen sind. Die genormten Größen sind R, E, A, B, N, K, H, P, S, U und Z. So bezeichnet die Größe N zum Beispiel einen Werkzeugaußendurchmesser von 3 " = 76,2 mm. In Deutschland werden im Wesentlichen nur einige Seilkernbohrsysteme entsprechend dem Zollsystem verwendet, so z.B. die Q-Serie.

Das andere Normungssystem ist das, in Deutschland viel weiter verbreitete metrische, oder ISO-System. Es sieht zehn Bohrkronendurchmesser von 36 bis 146 mm und dazu passende Futterrohre vor. Die dem metrischen System folgenden Kernrohrsysteme halten sich im Außendurchmesser an die Vorgaben der Norm, wenn sie auch meistens nur einen Teil der möglichen Durchmesser abdecken. Der Kroneninnendurchmesser ist von Kernrohr zu Kernrohr unterschiedlich und im Wesentlichen von der Bauart des Kernrohres bestimmt. So haben Einfachkernrohre in der Regel größere Innendurchmesser als Doppelkernrohre gleichen Außendurchmessers.

Die Einzelteile der unterschiedlichen Kernrohrsysteme, also auch die Kronen und Räumer sind nicht austauschbar. Dieses erklärt die enorme Vielfalt der angebotenen Werkzeuge, die unter Berücksichtigung der großen Zahl der möglichen Variationen für ein und dasselbe Werkzeug, gegen unendlich geht. Eine Lagerhaltung von Diamantbohrwerkzeugen, mit der man alle Erfordernisse abdecken kann, ist daher völlig unmöglich. So müssen Werkzeuge, die exakt auf die Anforderungen des Kunden zugeschnitten sind, in der Regel jeweils extra angefertigt werden.

4. Richtlinien für den Einsatz von Diamantbohrwerkzeugen

4.1 Drehzahl

Wir geben folgende Empfehlungen für die Umfangsgeschwindigkeit des mittleren Durchmessers von Diamantwerkzeugen:

$$v_c = 1,0 - 3,0 \text{ m/s} \quad \text{für oberflächenbesetzte Bohrwerkzeuge}$$

$$v_c = 2,0 - 5,0 \text{ m/s} \quad \text{für imprägnierte Bohrwerkzeuge}$$

$$v_c = 0,5 - 1,5 \text{ m/s} \quad \text{für StrataCut Werkzeuge}$$

$$v_c = 1,0 - 3,0 \text{ m/s} \quad \text{für Synset Werkzeuge}$$

v_c = Umfangsgeschwindigkeit des mittleren Durchmessers in m/s

Die Errechnung der Drehzahl erfolgt nach folgender Formel:

$$n = 38197 * v_c / (od + id)$$

n = Drehzahl in 1/min

od = Außendurchmesser in mm

id = Innendurchmesser in mm

So ergibt sich für eine oberflächenbesetzte Diamantbohrkrone vom Typ T-2 76 x 62 mm eine empfohlene Drehzahl von 276 - 830 1/min.

Durch das geringe Exposure bei oberflächenbesetzten Werkzeugen, von nur wenigen Zehntel eines Millimeters, können nur kleine Eindringtiefen erreicht werden. Die daher limitierte Vorschubgeschwindigkeit wird noch weiter begrenzt, durch die Notwendigkeit einer hinreichenden Bepflügelung der diamantbesetzten Felder, zum Abtransport des Bohrkleins und zur Kühlung der Diamanten.

Grundsätzlich gilt folgender Zusammenhang. Bei weichen bis mittelharten Formationen sind große Drehzahl und schneller Vorschub zu wählen, während bei harten bis sehr harten Formationen kleine Drehzahl und langsamer Vorschub angebracht sind.

4.2 Andruck

Der Andruck und die Vorschubgeschwindigkeit sind in Grenzen direkt proportional. Der Andruck muß mindestens so groß sein, daß der auf jeden Einzeldiamanten entfallende Teil der Vorschubkraft groß genug ist, um den Diamanten in das Gebirge eindringen zu lassen, um es durch Ritzen, Scheren oder Druckentlastung zu zerstören. Er darf aber nicht so hoch sein, daß das Werkzeug mit der Matrice auf dem Gestein aufsetzt.

4.2.1 Andruck bei oberflächenbesetzten Diamantbohrkronen

Unsere Empfehlung für die Vorschubkraft pro Diamant lautet:

$$p = 40 - 60 \text{ N}$$

p = Vorschubkraft pro Diamant in N

Da ungefähr 65 % aller Diamanten in einem Werkzeug an der Gesteinszerstörung teilhaben (der Rest wird als Kaliberschutz verwandt), kann die gesamte Vorschubkraft für ein oberflächenbesetztes Diamantbohrwerkzeug nach folgender Formel berechnet werden:

$$f_a = 0,65 * c * n * p$$

f_a = gesamte Vorschubkraft in N

c = Gesamtgewicht der Diamanten in Karat

n = Diamantgröße in Steinen pro Karat

So ergibt sich für eine oberflächenbesetzte Diamantbohrkrone vom Typ T-2 76 x 62 mm mit 12 Karat Diamanten von 30 - 40 Steinen pro Karat ein empfohlener Andruck von 10.920 - 16.360 N.

4.2.2 Andruck bei imprägnierten Diamantbohrkronen

Als Vorschubkraft pro cm² der Schneidfläche empfehlen wir:

$$s = 800 - 1.000 \text{ N/cm}^2$$

s = Vorschubkraft pro cm² der Schneidfläche

Wenn man vernachlässigt, daß die Wasserwege die Schneidfläche reduzieren, was bei dünnlippigen imprägnierten Werkzeugen mit schmalen Wasserwegen erlaubt ist, dann errechnet sich die gesamte Vorschubkraft nach Formel a. Im anderen Fall ist Formel b anzuwenden:

$$\text{a.) } f_a = 0,007854 * (od^2 - id^2) * s$$

$$\text{b.) } f_a = (0,007854 * (od^2 - id^2) - a * b * (od - id) / 200) * s$$

f_a = gesamte Vorschubkraft in N

od = Außendurchmesser in mm

id = Innendurchmesser in mm

a = Anzahl der Wasserwege

b = Breite der Wasserwege in mm

So ergibt sich für die schon genannte Diamantbohrkrone T-2 76 x 62 mm, diesmal als imprägnierte Krone mit neun 3 mm breiten Wasserwegen, nach Formel b ein empfohlener Andruck von 10.627 - 13.284 N.

4.2.3 Andruck bei Bohrkronen mit polykristallinen Diamanten

Bei StrataCut Werkzeugen empfehlen wir einen Andruck von 2.500 - 3.000 N pro Schneidelement.

Der Andruck pro Schneidelement bei Synset Werkzeugen sollte 400 - 600 N betragen.

4.3 Spülmengemenge

Neben Drehzahl und Andruck ist für die Bohrarbeit eine ausreichende Bepflüchtung der Diamantbohrkronen von ausschlaggebender Bedeutung. Die Spülung hat dabei, wie gesagt die Aufgabe, das Bohrklein von der Bohrlochsohle zu entfernen und es durch den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Gestänge nach über Tage auszutragen, sowie eine ausreichende Kühlung der Diamanten zu gewährleisten.

Die Spülmengemenge oder Pumprate, die für eine Kühlung der Diamanten ausreicht, ist immer kleiner als die, die benötigt wird, um das Bohrklein auszutragen.

Als Ringraumgeschwindigkeit bei Spülung auf Wasserbasis empfehlen wir:

$$v_r = 0,3 - 0,6 \text{ m/s}$$

v_r = Ringraumgeschwindigkeit der Spülung in m/s

Als Ringraumgeschwindigkeit bei Spülung auf Luftbasis empfehlen wir:

$$v_r = 10 - 20 \text{ m/s}$$

v_r = Ringraumgeschwindigkeit der Spülung in m/s

Die erforderliche Pumprate errechnet sich nach folgender Formel:

$$q = (od^2 - gd^2) * v_r * 0,047124$$

q = Pumprate in l/min

od = Außendurchmesser des Werkzeugs in mm

gd = Außendurchmesser des Gestänges in mm

Bei unserer Beispielkrone T-2 76 x 62 mm und einem Gestänge, daß einen Außendurchmesser von 50 mm hat, ergibt sich eine empfohlene Spülmengenge bei Wasserspülung von 46 - 92 l/min und bei Luftspülung von 1543 - 3087 l/min.

Als einfache Faustregel bei Wasserspülung kann gelten, daß es ausreicht sicherzustellen, daß ein steter Spülungsfluß aus dem Standrohr tritt, wobei man versuchen sollte, die Pumprate auf ein Minimum zu begrenzen. Hier gilt "Viel hilft nicht viel". Die Anwendung einer Triplexpumpe oder eines Druckausgleichsgefäßes ist sinnvoll, denn die Druckspitzen einer Duplexpumpe wirken beim Flachbohren, wo üblicherweise keine Schwerstangen zum Einsatz kommen, wie ein Inlochhammer und können die Diamanten zerstören.

Der Spülungsfluß ist während des Bohrens unter ständiger Beobachtung zu halten. Auch kürzeste Unterbrechungen können zur Zerstörung des Diamantwerkzeuges führen, wenn z.B. auf Grund undichter Gestängeverbinder oder eines Loches im Gestänge die Spülmengenzufuhr zum Bohrwerkzeug aussetzt.

Ein Zeichen für das Aussetzen der Spülung oder eine unzureichende Kühlung ist die blaue Anlauffarbe, die man immer wieder an beschädigten Bohrwerkzeugen beobachten kann.

4.4 Hinweise

Alle o.g. Werte sind natürlich nur Richtwerte. Der erfahrene Geräteführer wird beim Einsatz von Diamantwerkzeugen immer versuchen, die besten Bohrleistungen zu erreichen. Hier gilt "Probieren geht über Studieren". So sollte man durch Veränderung der Drehzahl, des Andruckes und der Pumprate selbst die optimalen Einsatzwerte herauszufinden versuchen.

5. Vorgehensweise beim Einsatz von Diamantbohrwerkzeugen

5.1 Vor dem Einsatz

Es ist üblich und sinnvoll, das zu verwendende Werkzeug auf sein Verschleißbild und seine Maßhaltigkeit hin zu überprüfen. Ein vorzeitiges Gestängeziehen, zum Wechsel des Werkzeuges wegen Verschleiß, sollte schon im Vorfeld, durch rechtzeitigen Austausch des Werkzeuges vermieden werden. Auch werden die Rückgewinnungsergebnisse durch einen zu langen Einsatz des Werkzeuges überproportional verschlechtert. Der Einsatz einer untermaßigen Krone vergrößert außerordentlich die Gefahr, daß beim Nachsetzen mit einer neuen Krone, diese schon beim Einbau beschädigt wird.

Eine Bohrdatenkarte sollte angelegt werden, auf der Folgendes zu vermerken ist:

- Serien-Nummer und Hersteller des Werkzeuges
- Größe (Außen- und Innendurchmesser)
- Karatgewicht
- Diamantqualität
- Diamantgröße
- Lippenform
- Matrix (bei imprägnierten Diamantbohrwerkzeugen)
- besondere Eigenschaften (z.B. Spülungsbohrungen)
- gebohrte Bohrmeter nach jedem Einsatz

5.2 Einbau der Diamantbohrkrone

Beim Einlassen des Gestänges sollten die letzten Meter vor Erreichen der Bohrlochsohle behutsam eingefahren werden. Ein hartes Aufsetzen der Diamantbohrkrone auf der Bohrlochsohle kann zu Schäden an den Diamanten führen. Falls die Krone beim Einlassen klemmt, muß vorsichtig aufgefahren werden, um dann drehend mit möglichst geringer Vorschubkraft nachzubohren.

Ist nach dem Einlassen die Sohle erreicht, so sollte diese zunächst freigespült werden. Dazu ist das Gestänge wieder circa 10 cm hochzufahren.

5.3 Während des Bohrens

Es ist zu beachten, daß die Krone erst dann mit dem vollen Andruck beaufschlagt wird, wenn sie sich ein Bett gearbeitet hat und alle Diamanten zum Engriff gekommen sind. Dies kann schon nach wenigen Bohrzentimetern der Fall sein. Diese Vorsichtsmaßnahme gilt besonders in solchen Fällen, wo Diamantwerkzeuge im Anschluß an Hartmetallwerkzeuge benutzt werden.

Wenn während des Bohrens die Vorschubgeschwindigkeit, beim Eintritt in härteres Gestein wesentlich abnimmt, müssen die Drehzahl reduziert, sowie der Andruck erhöht werden, da sonst die Gefahr besteht, daß die Diamanten nicht mehr zerspanen, sondern nur noch polieren.

5.4 Ziehen des Bohrgestänges

Das Ziehen des Bohrgestänges und das Kernbrechen sollten vorsichtig gehandhabt werden. Der Kernfangring darf nicht schlagartig zum Eingriff kommen, da ansonsten die Gefahr besteht, daß die Kernfanghülse und die Bohrkrone beschädigt werden.

5.5 Schadensursachen

Ein beträchtlicher Prozentsatz aller dünnwandigen Bohrkronen werden durch falsche Behandlung vorzeitig zerstört. Typisch sind Matrixausbrüche an der Kronenlippe auf Grund harten Aufsetzens, Matrixausbrüche, bzw. unrund gedrückte Kronenkörper durch ungeeignete Verschraubungswerkzeuge, sowie verbrannte Diamanten wegen Spülungsmangel. Häufig ist die Beschädigung der Diamanten, die durch Polieren angeflacht werden und ihre Schneidfähigkeit verlieren, weil die Bohrkrone mit ungeeigneten Bohrparametern eingesetzt wurde. Oft ist die Zerstörung der Diamanten auf Grund von Schlagbeanspruchungen festzustellen, die aus Unwucht im Gestänge resultieren, wofür wiederum Wanddickenschwankungen im Gestänge oder verbogene Gestängeverbinder, bzw. Gestänge verantwortlich sind. Zu den typischen Versagensursachen zählt auch der vorzeitige Kaliberverschleiß durch unsachgemäßes Einfahren des Bohrstranges in ein untermäßiges Bohrloch. Der vielfach festzustellende einseitige Verschleiß auf der Kronenlippe resultiert oft aus einer mangelhaften Stabilisierung des Bohrstranges. Eher selten ist der vorzeitige Matrixverschleiß auf Grund zu hoher Strömungsgeschwindigkeit der Spülung an der Kronenlippe, bzw. eines zu hohen Feststoffanteiles in der Spülung durch mangelhafte Entsandung.