

Vorderer Deckel (Umschlagdeckel)

Abteilung Entwicklung
Dr. Fritsch GmbH & Co.KG

**„Entwicklung von umweltverträglichen, nicht gesundheitsgefährdenden Metallpulver-
mischungen für die Herstellung von Diamantwerkzeugen“**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 33846 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. (FH) Christian Weiß

Fellbach, Juni 2019

Abteilung Entwicklung
Dr. Fritsch GmbH & Co.KG

**„Entwicklung von umweltverträglichen, nicht gesundheitsgefährdenden Metallpulver-
mischungen für die Herstellung von Diamantwerkzeugen“**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert unter dem Az: 33846 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. (FH) Christian Weiß

Fellbach, Juni 2019

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis von Bildern, Diagrammen, Zeichnungen und Tabellen.....	4
Verzeichnis von Begriffen und Definitionen	5
Zusammenfassung	6
Einleitung	7
Hauptteil.....	10
Fazit	22
Literaturverzeichnis.....	24
Anhänge	25

Verzeichnis von Bildern, Diagrammen, Zeichnungen und Tabellen

Bilder

- Bild 1: Aufbau der Graphitform für die Prüftablette
Bild 2: Gefüge von V22-615, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃
Bild 3: Gefüge von V18-1117, mit Hartstoff B, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃.
Bild 4: Gefüge von V12-318, mit Hartstoff C, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃.
Bild 5: Gefüge der Bindung V11-418, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃.
Bild 6: Grafische Darstellung der gewichteten Lebensdauer und Leistungsaufnahme von V11-418 / VIRIDIS-100 im Vergleich zu 100 % Kobalt extra fein.

Diagramme

- Diagramm 1: Vergleich der relativen Lebensdauer bzw. Leistungsaufnahme von Kobalt extra fein mit dem Testblatt V22-615. Die genauen Werte können der Tabelle A3 im Anhang entnommen werden.
Diagramm 2: Vergleich der relativen Lebensdauer bzw. Leistungsaufnahme von V22-615 mit dem Testblatt V12-318. Die genauen Werte können der Tabelle A4 im Anhang entnommen werden.
Diagramm 3: Darstellung der Sägetest-Ergebnisse

Tabellen

- Tabelle 1: Im Hause befindliche Materialien und deren Eigenschaften
Tabelle 2: Mechanische Werte der ausgewählten Materialien, die eine Bindung verschleißfester machen
Tabelle 3: Eigenschaften der ersten 3 Komponenten Mischungen
Tabelle 4: Vergleich der erzielten Härte und Dichte nach dem Heißpressen und Hartstoff A mit dem Ersatzmaterial
Tabelle 5: Vergleich der erzielten Härte und Dichte nach dem Heißpressen von Mischungen mit Hartstoff bzw. dem Ersatzmaterial
Tabelle 6: Mechanische Werte der ausgewählten Materialien, die eine Bindung verschleißfreudiger machen
Tabelle 7: Ergebnisse der Basisbindung mit 10 Vol.-% des Zusatzmaterials bzw. 15/30 Vol.-% bei Hartstoff
Tabelle 8: Zusammenfassung der Sägeergebnisse
Tabelle 9: Zusammenfassung der externen Testergebnisse (soweit bereits Rückmeldung erfolgte)

Verzeichnis von Begriffen und Definitionen

Abkürzungen (Alphabetisch)

FS	Fugenschneider
α -BN	Alpha Bornitrid
HRB	Härte Rockwell, Verfahren B
HP	Heißpresse
Temp.	Temperatur
T.D.	Theoretische Dichte
V-Nr.	Versuchs-Nummer

Definitionen

Der **In House-Sägetest** ist wie folgt normiert:

Blatt:	Durchmesser = 400 mm Anzahl Segmente = 24 Segmente geräuschgedämmt
Segmentmaße:	Länge x Breite x Höhe 40 x 3,6 x (8 + 0),
Diamantspezifikation:	Konzentration = 22, 100 % SMS 200 (40/50),
Geschnittenes Material:	Granit „Baltic Brown“, Klasse 4 von 5
Schneidbedingungen:	Zeitspanfläche: 625 cm ² /Minute, 9 cm Schnitttiefe in 4 Schnitten, Schneiden sowohl in Hin- wie Rückrichtung
Brückensäge:	BS 600 der Firma Schlatter mit 16 kW Leistung
Auswertung:	Messen des Verschleißes nach 1 m ² , 3 m ² , 5 m ² , 7 m ² , ... bis 2 mm Verschleiß erreicht sind → Berechnung der Lebensdauer. Während des Sägetests wird die Spannung und Stromstärke digital aufgezeichnet → Berechnung der Leistungsaufnahme abzüglich der Leerlaufleistung.
Abbruchkriterium:	Erreichen von 2 mm Verschleiß am Segment und Stabilisierung der Einzelverschleißwerte

Es wird bei den Sägeversuchen nur die Bindung geändert.

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung des Vorhabens: Schneidelemente von Diamantwerkzeugen werden pulvermetallurgisch hergestellt. Nachteil ist, dass der Großteil der Anwendungen von Diamantwerkzeugen keine Binder-Metallpulvermischungen kennt, welche als völlig unschädlich für Mensch und Umwelt eingestuft werden können. So handelt es sich bei Kupfer, Bronze, Messing, Zink und Silber um umweltgefährdende Stoffe. Kobalt wirkt akut inhalationstoxisch. Kobalt und Nickel stehen im Verdacht, krebserregend zu sein. Ziel dieses Vorhabens war die Entwicklung eines Binder-Materials, welches das Gefahrenpotential der klassisch verwendeten bindenden Metalle nicht mehr aufweist. Die angestrebten Eigenschaften des zu entwickelnden Binder-Metalls sollten weder inhalationstoxisch, Allergie auslösend, gesundheitsschädlich, sensibilisierend, umweltgefährdend noch feuergefährlich sein. Ziel war sowohl eine Produkt-, wie auch eine Verfahrensentwicklung: Für die ermittelten Materialkombinationen, muss das Herstellverfahren entwickelt werden, ohne dass dabei die Zieleigenschaften, wie z.B. die Kaltpressbarkeit oder die Sinterfähigkeit wieder verloren gehen.

Als konkreter Anwendungsfall wurde die Entwicklung eines Binder-Metalls zunächst für Diamantwerkzeuge zum Sägen von Granit angenommen, da die Werkzeuge für die Granitbearbeitung oftmals von Einzelpersonen, z.B. Steinmetzen, eingesetzt werden, die den entstehenden Schleifstäuben ausgesetzt sind.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden: Im ersten Schritt wurden Recherchen durchgeführt, die Hinweise darauf geben, welche als Binder geeignete Materialien die geforderten Eigenschaften erfüllen. Bei dieser Recherche lag das Augenmerk auf bereits bekannte oder schon eingesetzte Materialien, die bspw. durch Nachbehandlung oder durch größere erhältliche Teilchengröße die vorhandenen negativen Eigenschaften verlieren. Der zweite Schritt hatte das Finden neuer Materialien zum Inhalt, die ebenfalls als Binder geeignet sind, jedoch noch nicht als solche bekannt sind und eingesetzt werden. Diese zweite Gruppe von Materialien wurde ebenso wie die bereits bekannten Materialien auf ihre Verarbeitungsparameter untersucht. Dabei wurde ermittelt, welche Eigenschaften (Härte, Dichte, Sinterfähigkeit, mechanische Kennwerte) diese neuen Materialien aufweisen. Im dritten Schritt wurden unterschiedliche Materialien miteinander kombiniert und in Versuchen die Verarbeitungsparameter, die Verschleißigenschaften und mechanischen Kennwerte der Materialkombinationen untersucht. Als Prüfmethode der hergestellten Muster wurden Sinterdatenblätter erstellt. Die entwickelten Mischungen wurden mit Kunden extern unter Realbedingungen getestet.

Ergebnis: Die Idee, eine funktionierende Bindung für die Diamantwerkzeugindustrie zu entwickeln, die sowohl verträglich sowohl für die Umwelt wie auch für die Gesundheit des Menschen ist, konnte mit diesem geförderten Projekt umgesetzt werden. Die Bindung basiert zum größten Teil auf Eisen, dem geringe Mengen an Glas und Graphit zugegeben wurden. Das Kaltpressverhalten ist erst durch Zugabe von Presshilfsmittel einigermaßen gut möglich, deshalb wird empfohlen, die Bindung granuliert zu verwenden. Konkret wurden zwei Bindungen entwickelt (V11-418/VIRIDIS-100 und VIRIDIS 200). Das Schneidverhalten der entwickelten Bindung V11-418/VIRIDIS-100 ist auf unserem Sägestand mit dem von reinem Kobalt extra fein vergleichbar. Die Bindung zeigt im Vergleich zum Kobalt extra fein eine vernachlässigbare, gering bessere Standzeit (+ 4 %) bei deutlich geringerer Leistungsaufnahme (- 14 %). Im Gesamtergebnis der Kundentests ergab sich jedoch noch Optimierungsbedarf: Unter anderem soll noch erreicht werden, die Bindung weicher / verschleißfreudiger einzustellen. Alle untersuchten Zusätze senken die Biegefestigkeit und die Kerbschlagarbeit. Natürlich auch die verwendeten Materialien zur Steigerung der Verschleißfreudigkeit. Sie werden in den Bindungen verwendet, jedoch wird weiter nach einem Material gesucht, dass die mechanischen Werte nicht so stark beeinflusst, wie es aktuell der Fall ist.

Einleitung

Diamantwerkzeuge werden seit etwa der Mitte der 1950er Jahre verstärkt im Straßen- und Hausbau eingesetzt. Weiterhin werden Diamantwerkzeuge auch in der Natursteinindustrie, in der Nachbearbeitung von Glas oder Schamott eingesetzt. Die damit hauptsächlich ausgeführten Arbeiten sind Sägen, Bohren, Schleifen und Abrichten. Der Diamant ist der eigentliche Schneidstoff und verrichtet die Zerkleinerungsarbeit am zu zerschneidenden Material, während das Bindermetall die Aufgabe hat, den Diamant zu halten und durch einstellbaren Verschleiß, neue Diamantkörner freizugeben, damit das Werkzeug seine Arbeit weiter fortführen kann (Selbstschärfungseffekt).

Diamantwerkzeuge werden mit Hilfe der Pulvermetallurgie hergestellt. Dabei wird Metallpulver und feiner Diamant miteinander vermischt, anschließend in die benötigte Form kalt vorgepresst und dann durch gleichzeitiges Aufbringen von Temperatur und Druck in einer Graphitform verdichtet (Heißpressen oder auch Drucksintern genannt). Diese Schneidelemente werden dann auf Trägerkörper gelötet bzw. geschweißt, wodurch das Werkzeug entsteht.

Bei den eingesetzten Materialien handelt es sich hauptsächlich um Eisen, Eisenlegierungen, Nickel, Kupfer, Bronze (Cu/Sn), Messing (Cu/Zn), Kobalt, Wolfram, Wolframkarbid und Zinn. Zum Erreichen besonderer Eigenschaften oder Effekte werden noch Silber, Zink, Chrom, Titan, Mangan, Silizium und andere Metalle in kleineren Mengen zugesetzt. Von vielen der eingesetzten Materialien geht eine Gefahr für Mensch und/oder Umwelt aus und sind als Gefahrgut oder Gefahrstoff eingestuft. So sind Kupfer, Bronze, Zink, Zinn und Silber umweltgefährdend. Nickel hat ein großes Potential, sensibilisierend zu wirken und steht im Verdacht, krebserzeugend zu sein. Bei Materialien wie Titan, Magnesium, Mangan und teilweise Eisen besteht die Gefahr der Flammbarkeit. Das in der Vergangenheit sehr stark verwendete Kobalt ist seit 2016 als inhalationstoxisch eingestuft. Es ist aber zusätzlich noch entflammbar und steht im Verdacht, Krebs zu erzeugen (zumindest in Kombination mit Wolframkarbid). Wie man sehen kann, gibt es Effekte, die sowohl die Umwelt aber auch den Menschen betreffen.

Auch der Transport der Pulver wird durch diese Eigenschaften beeinflusst. Es handelt sich durch die Klassifizierung der Metallpulver um Gefahrguttransporte, die entsprechend verpackt sein müssen. Entflammbare Materialien haben eine andere Verpackungsvorschrift als umweltgefährdende Materialien. Neben der Verpackung sind auch die Transportkosten stark abhängig von der Gefahrgutklasse des Materials, das versendet wird. Durch die Klassifizierung als Gefahrgut entstehen höhere Transportkosten.

Während der Prozesskette zur Herstellung der Werkzeuge ist der Mensch den Materialien ausgesetzt. Das fängt beim Mischen der unterschiedlichen Pulver an und geht über das Zumischen des Diamanten weiter. Eventuell wird die Pulver/Diamant-Mischung noch granuliert. Der nächste Kontakt des Personals mit dem Pulver ist das Kaltpressen. Letzter Kontakt ist das Befüllen der Heißpressformen (oder der Schiffchen für die Ofensinterung), bei denen die kaltgepressten Segmente mit Graphit zu einer Form zusammengebaut werden. Anschließend ist das Pulver/Diamant-Gemisch konsolidiert (Heißpressen oder Ofensinterung), wodurch das Gefahrenpotential deutlich herabgesetzt ist. Da die verwendeten Materialien in Pulverform verarbeitet werden, ist das Gefahrenpotential deutlich größer, als wenn solides Material verwendet worden wäre. Auch wenn mit persönlicher Schutzausrüstung gearbeitet wird, kann ein 100 %iger Schutz nicht garantiert werden, da das Pulver durch kleinste Spalte oder Ritze eindringen kann.

Während des Einsatzes des Diamantwerkzeuges auf Beton, Naturstein oder Asphalt entsteht durch das Schneiden, Schleifen oder Bohren feiner „Schleifstaub“. Da in der Regel mit Wasser während des Prozesses gekühlt wird, entsteht dadurch ein Schlamm. Diamantwerkzeuge sind so ausgelegt, dass ein verbrauchter Diamant aus der Bindung fällt und neue, scharfe Kristalle wieder für den Schneidprozess zur Verfügung stehen. Dabei muss die Bindung im gleichen Maße verschleifen wie der Diamant, sonst würden keine neuen Diamanten zur Ver-

fügung stehen. Während der gesamten Nutzungsdauer des Werkzeuges, werden die Schneidelemente nach und nach aufgebraucht. Die verschleißende Metallbindung geht dabei in die Schlämme über. Interne Berechnungen haben ergeben, dass es durch den Abrieb des Metalls während des Einsatzes eine Verunreinigung von bis zu 1200 ppm Metallgehalt in dem Natursteinschlamm geben kann (je nach Lebensdauer des verwendeten Blattes). Italienische Kunden teilten uns mit, dass es in Italien Gegenden gibt, in denen es verboten ist, kupferhaltige Bindungen zu verwenden, damit eine Verschmutzung der Natur verhindert wird. In einigen Anwendungen wird auch ohne Wasser gearbeitet. In diesem Fall wird das Werkzeug entweder durch die Luftbewegung gekühlt (bei Sägeblättern) oder durch Wärmenentzug aus der Schneidzone in den Trägerkörper (Bohren bzw. Schleifen). Im Gegensatz zur Kühlung mit Wasser wird hier der Schleifstaub nicht gebunden. Die Folge ist, dass durch die Rotation des Blattes, der Schleifstaub aufgewirbelt wird und in die Umgebungsluft gebracht wird. Mit dem Schleifstaub gelangt auch Metallabrieb in die Luft. Gerade die feinen Anteile in dieser Staubwolke bleiben lange in der Schwebe. Beim Bohren und Schleifen ist dieser Effekt deutlich geringer, da die Umdrehungsgeschwindigkeiten geringer sind und der Schleifstaub dadurch nicht sehr stark aufgewirbelt wird.

Seit dem Ende 1990er Jahre werden von verschiedenen Herstellern sogenannte Kobaltalternativmaterialien angeboten. Diese Materialien sollte das hauptsächlich zu dieser Zeit sehr stark eingesetzte Kobalt nach Möglichkeit ersetzen. Hintergrund dieser Materialien war nicht der Gesundheits- oder Umweltgedanke, vielmehr war es eine wirtschaftliche Entscheidung, diesen Weg zu gehen. Die Preise von Kobalt waren zu dieser Zeit sehr hoch und sehr stark schwankend. Es war nicht abzuschätzen, wie sich der Preis des Kobalts entwickeln würde. Die Entwicklung dieser Kobaltalternativmaterialien wurde hauptsächlich aus diesem Grund forciert, nämlich den Preis stabiler zu halten. Betrachtet man die verwendeten Materialien, kann von einem Umwelt- oder Gesundheitsgedanken auch nicht ausgegangen werden. Die verschiedenen Materialien basieren auf Eisen-Kupfer-Basislegierungen, die immer noch ca. ¼ Kobalt enthalten. Diese Materialien sind in der Regel umweltgefährdend, entflammbar und durch den vorhandenen Kobaltgehalt zumindest gesundheitsgefährdend.

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Bindermetalls für Diamantwerkzeuge, das die beschriebenen Gefahrenpotentiale der klassisch verwendeten Bindermetalle nicht mehr aufweist.

Das zu entwickelnde Bindermetall soll folgende Eigenschaften nicht mehr aufweisen:

1. Nicht akut inhalationstoxisch
2. Nicht Allergie auslösend
3. Nicht gesundheitsschädlich
4. Nicht sensibilisierend
5. Nicht umweltgefährdend
6. Nach Möglichkeit nicht feuergefährlich

Punkt 1. bis 5. sind ein MUSS, Punkt 6. wäre zusätzlich.

Es soll ein Produkt entwickelt werden, mit dem Werkzeuge produziert werden, die zuerst Beton und Granit schneiden bzw. Bohren können. Danach muss geprüft werden, in welchen weiteren Materialien die Bindung arbeiten kann. Neben den oben beschriebenen, dann nicht mehr vorhandenen Eigenschaften, ist es weiterhin wichtig, dass das Produkt eine gute Sinterfähigkeit zeigt und ausreichende Kaltpressbarkeit. Ebenfalls wichtig sind die mechanischen Eigenschaften, da diese die mechanische Belastbarkeit des Schneidelements definieren.

Zum Erreichen dieses Ziels wird zuerst geprüft, welche Materialien bereits mit den oben genannten Eigenschaften im Hause sind. Anschließend wird recherchiert, welche weiteren Materialien in Frage kommen. Dazu werden Gespräche mit bereits bekannten und neu zu findenden Lieferanten geführt. Die sich daraus ergebenden Muster werden dann im Hause auf

Eignung geprüft. Als Prüfmethode kommt die Erstellung eines Sinterdatenblattes in Frage. Der neue Stoff wird einem Eisenpulver zugemischt und anhand der gemessenen Härte und Dichte an der Probe beurteilt. Gesucht werden Materialien, die den Basiswerkstoff sowohl härter als auch weicher machen (verschleißfester bzw. -freudiger). Sind neue Materialien gefunden, werden die 2-Stoff-Versuche um eine weitere Komponente erweitert (3-Stoff-Versuche). Mit einer Bindung aus diesen 3-Stoff-Versuchen soll ein erster Sägetest durchgeführt werden. Damit soll geprüft werden, ob die Umsetzung dieser Idee überhaupt ein brauchbares Werkzeug hervorbringt (im Sinne von Sägegeschwindigkeit und Lebensdauer des Werkzeugs). Im positiven Fall würde anschließend Fine-tuning durchgeführt, andernfalls würde eine neue Testrunde gedreht werden. Nach der erfolgreichen Prüfung im Hause, wird die Bindung bei ausgesuchten Kunden getestet, um eine verkaufsfähige Bindung anbieten zu können.

Sind die Ergebnisse der externen Test zufrieden stellend, wird mit der Vermarktung angefangen.

Hauptteil

Bei der Durchsicht der vorhandenen Materialien wurde deutlich, dass ein Großteil der im

Materialname	Entflammbar	Giftig	Karzinogen	Umweltgefährdend
Aluminium	■			
Aluminiumoxid				
Bor				
Borkarbid				
Chrom				
Eisen	1			
Eisen-Bor				
Eisen-Kobalt		■	■	■
Eisen-Kobalt-Nickel		■	■	■
Eisen-Kupfer				■
Eisen-Kupfer-Kobalt		■	■	■
Eisenphosphid				
Emaile				
Graphit				
Hartstoff A				
Hartmetall		■	■	■
Kobalt	■	■	■	■
Kryolith				■
Kupfer				■
Kupfer-Mangan				■
Kupfer-Mangan-Nickel			■	■
Kupfer-Nickel			■	■
Kupfer-Phosphor				■
Kupfer-Zink				■
Kupfer-Zinn				■
Kupfer-Zinn-Silber				■
Kupfer-Zinn-Zink				■
Mangan	■			
Molybdän				
Nickel		■	■	
Nickel-Chrom-Bor-Silizium		■	■	
Ruß				
Silber				■
Silberlot				■
Silber-Zinn-Kupfer				■
Silizium				
Titan	■			
Titankarbid				
Wolfram				
Wolframkarbid				
Wolframschmelzkarbid				
Zink				■
Zinn				■

Hause vorhandenen Materialien mindestens eine der genannten Eigenschaften besitzt. Die nebenstehende Tabelle zeigt, dass 22 von 48 vorhandenen Materialien die Kriterien erfüllen würden. Dies entspricht 45 %, was im ersten Ansatz einem überraschend großem Anteil entsprechen würde. Jedoch muss berücksichtigt werden, dass von den Materialien, die ausgeschlossen werden müssen, mehrere Qualitäten vorhanden sind. Diese Qualitäten unterscheiden sich in Teilchengröße und/oder Reinheit voneinander. Berücksichtigt man diese große Vielfalt der Materialien, sinkt der Anteil der zur Verfügung stehenden Materialien auf deutlich über 80 %.

Bei der Recherche nach weiteren potentiellen Materialien, von denen keine der beschriebenen Gefahren ausgeht, wurde in vielen Materialklassen gesucht. Neben weiteren metallischen Materialien wurde auch bei mineralischen, keramischen und organischen Materialien gesucht und viele Kandidaten ausgesucht. Die Suche beinhaltete Materialien, die sowohl verschleißfördernd wie auch verschleißhemmend sein sollen. Damit ist gewährleistet, dass das Basismaterial dem Verschleißverhalten des zu bearbeitenden Materials auch optimal angepasst werden kann. Nach Erhalt eines Musters wurden die neuen Materialien auf Eignung geprüft.

Bei der Prüfung wurde untersucht, welchen Einfluss das Material auf die Härte hat. Verliert das Basismaterial Härte (d.h. die Bindung wird verschleißfreudiger) oder steigt die Härte an (d.h. die Verschleißfestigkeit der Bindung steigt).

1) Sehr feines Carbonyleisen ist entflammbar

Tabelle 1: Im Hause befindliche Materialien und deren Eigenschaften

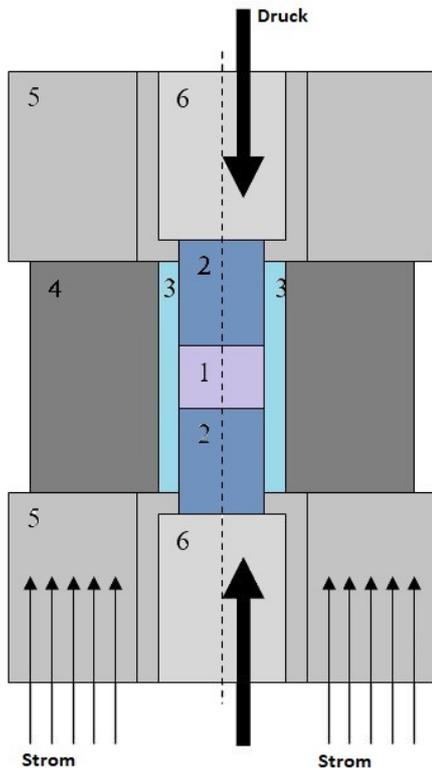


Bild 1: Aufbau der Graphitform für die Prüftablette

- 1 = Pulverprobe
- 2 = Graphitstempel
- 3 = Verschleißteil aus Graphit, Halbschale
- 4 = Graphitform
- 5 = Elektrode 1 – zum Aufheizen der Graphitform
- 6 = Elektrode 2 – zum Übertragen der Kraft

Als Basismaterial wurde ein sauerstoffreduziertes Eisenpulver definiert, da es von den im Hause genutzten Eisensorten, die beste Kaltpressbarkeit hat. Ebenso weist es keine der Ausschlusskriterien auf. Molybdän wäre ebenfalls ein theoretischer Kandidat, da das Material auch noch gute Anbindungseigenschaften zum Diamant besitzt. Jedoch ist gerade diese Eigenschaft beim klassischen Heißpressprozess hinderlich. Molybdän reagiert mit Kohlenstoff (= der Graphit der Heißpressform) unter Bildung von Molybdänkarbid, was eine Verdichtung auf Dichten > 80 % relative Dichte unmöglich macht.

In den ersten Grundlagenversuchen wurden dem Basismaterial Eisen jeweils 10 bzw. 25 Volumen-% des Testmaterials zugemischt und anschließend ein Sinterdatenblatt erstellt. Dieses Procedere wurde sowohl bei härtesteigernden wie auch härtesenkenden Kandidaten durchgeführt.

Das Sinterdatenblatt wird wie folgt erstellt. Eine definierte Menge an Pulvermischung (17 g) wird in eine Graphitform gefüllt und anschließend bei einer Anfangstemperatur heißgepresst (normalerweise 660° C). An der dabei entstehenden Tablette wird die erzielte Härte und Dichte gemessen. Diesen Ablauf wiederholt man bei weiteren Temperaturen, bei denen jeweils eine Temperaturerhöhung von 40 °C stattfindet. Abbruchkriterium zum Beenden des Sinterdatenblattes ist entweder das Erreichen einer Flüssigphase oder ein Absinken der Härte und/oder

Dichte. Ein Beispiel für ein Sinterdatenblatt ist im Anhang zu sehen (Bild B1).

Folgende Materialien zur Verschleißerhöhung („weicher machen“) wurden getestet jedoch wieder verworfen. Hauptgründe hierfür waren ein gegenteiliger Effekt (also eine Härtesteigerung) oder ein nicht eindeutiger Effekt. In geringen Mengen war eine Härtesteigerung zu beobachten und erst bei höheren Gehalten dann tatsächlich eine Abnahme der Härte. Folgende Materialien wurden aussortiert:

- Zucker ($C_{12}H_{22}O_{11}$)
- Gries ($C_6H_{10}O_5$)
- Talkum ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$)
- Molybdändisulfid (MoS_2)
- Kokosnussschalen-Gries
- Hohlkugeln Typ A
- Eisenoxid

Weitere Untersuchungen wurden mit folgenden, positiv getesteten Materialien durchgeführt, da hier eine Härteabnahme zu messen war, was gleichbedeutend mit einer Verschleißerhöhung ist:

- Muskovit/Glimmer ($K_2Al_4(Al_2Si_6O_{20})(OH)_4$)
- α -BN
- Graphit (grob)
- Graphit (fein)

- Hohlkugeln Typ B

Bei den Materialien, die aufhärten sollen, führten alle getesteten Werkstoffe zu einer Härtesteigerung. Getestet wurden folgende Materialien:

- Eisenphosphid (Fe_3P)
- Wolframschmelzkarbid
- Borkarbid (B_4C)
- Silizium
- Chrom
- Steadit
- Hartstoff A
- Glas

Wolframschmelzkarbid ist hierbei stellvertretend auch für Wolframkarbid getestet worden. Wolframkarbid wird in der bekannten Diamantwerkzeug-Metallurgie zum Aufhärten von Kobalt- oder Nickelbasisbindungen eingesetzt. Wolframkarbid wird jedoch in der Regel nicht in Kombination mit reinem Eisen verwendet, da hierbei die Gefahr besteht, dass sich eine spröde, intermetallisch Phase bildet. Diese bildet sich an der Grenzschicht zwischen Eisen und dem Wolframkarbidpartikel und schwächt die Einbindung des Wolframkarbids in Eisen, sodass das Wolframkarbid schneller aus der Bindung fällt und der gewünschte Verschleißschutz nicht stattfinden kann. Abhilfe würde hier die Verwendung von Eisen-Kupfer schaffen, wodurch die Bildung der spröden intermetallischen Phase ausbleibt, da das Eisen bereits mit Kupfer gesättigt ist. Allerdings ist die Verwendung von Kupfer in diesem Projekt „verboten“. Daher wurde ein anderer Hartstoff gesucht. Mit Ausnahme des Wolframschmelzkarbids/Wolframkarbids wurden mit allen oben genannten Hartstoffen weitere Untersuchungen durchgeführt.

Die weiteren Untersuchungen waren die Messung der mechanischen Werte dieser Kombinationen, sowie die Herstellung eines Schliffes. Bei den mechanischen Werten handelt es sich konkret um die Biegefestigkeit und die Kerbschlagarbeit, die an besonders dafür produzierten und präparierten Proben gemessen werden.

Die Herausforderung bei den Materialien, die das Basismaterial weicher machen sollen, ist, dass die Verschleißfestigkeit reduziert werden soll, aber gleichzeitig die Festigkeit der neuen Mischung nicht oder nur gering reduziert wird. Die Festigkeit ist neben dem Merkmal der Steifigkeit einer Bindung auch ein Hinweis dafür, ob der Diamant während des Einsatzes in die Bindung eingedrückt werden könnte und dadurch nicht mehr für den Schneidprozess zur Verfügung steht. Der zweite mechanische Kennwert ist die Kerbschlagarbeit. Mit dem Wert der Kerbschlagarbeit wird die Fähigkeit beurteilt, ob die Bindung spontan auftretende Seitenbelastung (wie es z.B. durch seitliches Auftreffen auf eine Bewehrung im armierten Stahl der Fall ist) absorbieren kann oder im anderen Fall spröde versagt.

Eine Zusammenfassung aller durchgeführten Versuche mit den ausgewählten Materialien (Basismaterial + Kandidat) zeigen die Tabellen A1 (härter = verschleißmindernd) und A2 (weicher = verschleißerhöhend) im Anhang. Kriterien für die dann folgende Auswahl der geeigneter Materialien waren ein guter Kerbarbeitswert und ausreichende Biegefestigkeit. Ein guter Kerbarbeitswert bedeutet hier speziell einen Wert von $> \text{ca. } 1,5 \text{ J/cm}^2$. Hier hat die Erfahrung über Jahre hinweg gezeigt, dass ein solcher Wert genügend Duktilität darstellt. Ausreichende Biegefestigkeit ist im Hause Dr. Fritsch als $> 750 \text{ N/mm}^2$ definiert. Allerdings ist dies auch abhängig von der später verwendeten Korngröße des verwendeten Diamanten. Je feiner der eingesetzte Diamant, desto geringer kann auch die Biegefestigkeit ausfallen. Dies ist darin begründet, dass eine bestimmte Menge an Diamant mit abnehmender Größe eine immer größere Zahl an Einzelkörnern ergibt. Dadurch wird die beim Sägen auftretende

Kraft auf mehr Schneidpunkte verteilt, sodass die individuelle Kraft pro Diamantkorn abnimmt und eine geringere Biegefestigkeit ermöglicht.

Als mögliche Komponenten für eine aufgehärtete Mischung kommen folgende Materialien in Frage.

	Komponente	Gew.% - (Vol.-%)	Kerbschlagarbeit	Biegefestigkeit
Härter	Hartstoff A	9,4 - (10)	0,6 J/cm ²	815 N/mm ²
	Silizium	3,0 - (9,7)	5,3 J/cm ²	730 N/mm ²
	Glas	8,0 - (21,5)	1,4 J/cm ²	485 N/mm ²
	Eisenphosphid	10 - (11,1)	6,2 J/cm ²	1200 N/mm ²

Tabelle 2: Mechanische Werte der ausgewählten Materialien, die eine Bindung verschleißfester machen

Diese Materialien wurden ausgewählt, mit denen weitere Versuche durchgeführt werden sollen. Bei den weiteren Versuchen wurden 3 Komponenten vermischt (2 Komponenten aus der oben stehenden Tabelle plus dem Basismaterial Eisen). Obwohl in der Tabelle Werte vorhanden sind, die nicht den Mindestanforderungen entsprechen, wird bewusst mit den Materialien weiter gearbeitet. Damit sollte hauptsächlich geprüft werden, ob Zusammensetzungen mit niedrigeren Kennwerten einsatzfähig sind.

In der bekannten Diamantwerkzeug-Metallurgie ist eine Anwendung, in der 100% reines Eisen verwendet wird, nicht bekannt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Eisen sehr weich ist (die Festigkeit beträgt nur ca. 550 – 650 N/mm²) und durch die chemische Aktivität des Eisens zum Kohlenstoff, den Diamant stark angreifen kann. Durch den Angriff (= chemische Reaktion) wird der Diamant sehr stark geschwächt und zerbricht schneller, als es der Fall in z.B. einer Kobaltbindung wäre. Daher wird generell dem Eisen etwas zu gemischt. In der Regel sind es 2 Komponenten. Die erste Komponente härtet auf (z.B. Eisenphosphid), über die zweite Komponente wird die Verschleißfestigkeit eingestellt (in der Regel Bronze). Nach diesem Prinzip wurde auch bei der Entwicklung des Förderprojekts gearbeitet.

Der erste Schritt in Richtung einsetzbarer Bindung war, eine Zusammensetzung zu entwickeln, die im Verhalten einer Bindung entspricht, wie sie von reinem Kobalt bekannt ist. Gute Standzeit bei moderater/normaler Schnittgeschwindigkeit. Da das im Projekt verwendete Eisen ebenfalls sehr weich ist, wurde auch hier ein aufhärtendes Material zugemischt. Hierzu wurde das Eisen durch Verwenden von Hartstoff A aufgehärtet. Als dritte Komponente wurden Silizium und Glasperlen ausgewählt. Auf einen Versuch mit Eisenphosphid wurde verzichtet, da bereits geringe Mengen eine sehr starke Härtesteigerung bewirken. In der Kombination mit dem Hartstoff A, würde die Härte zu stark steigen, verbunden mit einer großen Sprödigkeit.

Name	Fe	Hartstoff A	Glas	Si	Härte (HRB)	Dichte (g/cm ³)	Temperatur (°C)	Kerbschlagarbeit (J/cm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)
V22- 615	x	x	x		98-102	7,09-7,20	900-980	1,8	1080
V21- 817	x	x		x	98-99	7,10-7,20	900-940	4,6	760

Tabelle 3: Eigenschaften der ersten 3 Komponenten-Mischungen

Wie man aus den Werten erkennen kann, erreicht man mit den genannten Kombinationen Härtewerte von etwa 100 HRB. Diese Werte sind vergleichbar mit einem groben Kobalt (400 Mesh Material). Auch die Mindestwerte bei den mechanischen Werten wurden erreicht. Aufgrund der leicht höheren Härte wurde entschieden, von der Bindung V22-615 ein Testblatt herzustellen, dass auf unserer Testsäge auf das Schneidverhalten getestet werden sollte. Das Ergebnis ist in Diagramm 1 zu sehen.

Unser Sägetest ist intern „genormt“ (siehe in Definitionen). Wir verwenden immer den gleichen Naturstein, die gleichen Schneidparameter (Vorschub, Absenkung, Drehzahl), Dimensionen von Blatt sowie Schneidkörper und die gleiche Diamantspezifikation (Menge, Größe, Qualität). Um unabhängig von äußeren Einflüssen zu sein (wie z.B. Temperatur), wird immer zuerst ein Referenzblatt gesägt. Alle Ergebnisse der dann folgenden Testblätter, werden zu diesem Ergebnis des Referenzblattes ins Verhältnis gesetzt. Bei den Tests wird die Lebensdauer und die Leistungsaufnahme gemessen. Durch die Berechnung der erreichten Werte ins Verhältnis zum Referenzblatt, erzielt man die relative Lebensdauer sowie die relative Leistungsaufnahme. Das Referenzblatt hat bei beiden Eigenschaften den Wert 100 %. Dadurch können die Werte leichter miteinander verglichen werden.

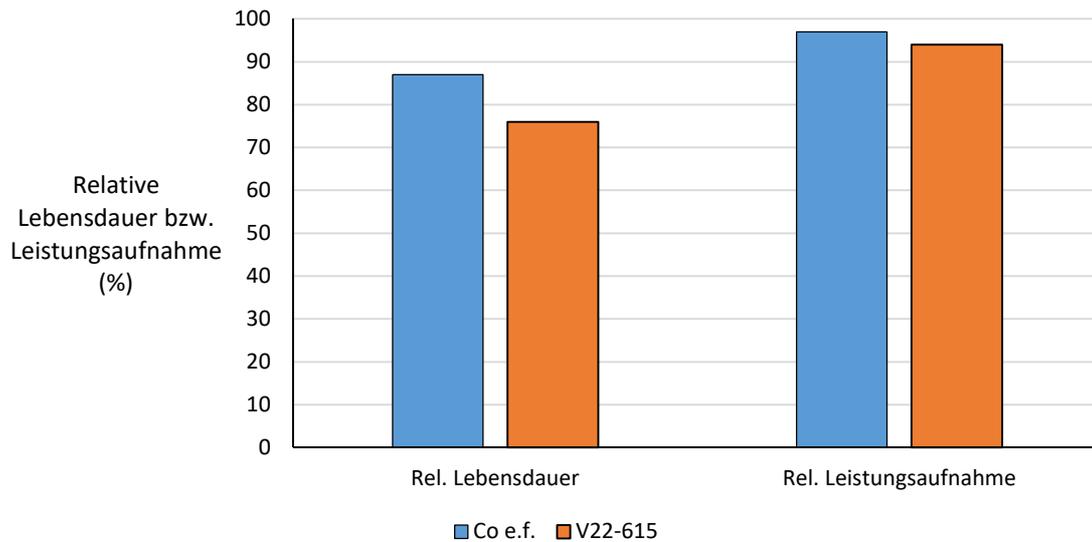


Diagramm 1: Vergleich der relativen Lebensdauer bzw. Leistungsaufnahme von Kobalt extra fein mit dem Testblatt V22-615. Die genauen Werte können der Tabelle A3 im Anhang entnommen werden.

Das Testblatt zeigt eine um 13 % geringere Lebensdauer bei marginal geringerer Leistungsaufnahme (- 3%). Die Leistungsaufnahme wird stellvertretend für die Schnitffreudigkeit verwendet. Je geringer die Leistungsaufnahme, desto höher die Schnitffreudigkeit. Mit diesem Sägetest wurde gezeigt, dass eine aus potentiell „unbedenklichen Bestandteilen“ bestehende Bindung schneiden kann. Basierend auf dieser Bindung, sollte die weitere Entwicklung vorangebracht werden.

Nachdem der Sägetest von V22-615 positiv verlaufen ist, wurde uns bei der Nachbestellung der Komponente „Hartstoff A“ vom Hersteller mitgeteilt, dass dieses Produkt nicht mehr lieferbar war. Es musste nach Ersatz gesucht werden. Durch die Suche nach Ersatz kam das Projekt erst einmal zum Stillstand. Folgende zwei Materialien wurden gefunden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die beiden Materialien im Vergleich zum vorher verwendeten Hartstoff A.

Material	HP-Temperatur (° C)	Härte (HRB / HRC)	Dichte (g/cm ³)
Hartstoff A (Material in V22-615)	940 - 1060	114 – 117 / 48 - 53	max. 7,68
Hartstoff B	> 1100	> 124 / > 64	> 7,39
Hartstoff C (neues Material)	940 - 1020	108 – 113 / 38 - 46	max. 7,36

Tabelle 4: Vergleich der erzielten Härte und Dichte nach dem Heißpressen von Hartstoff A, Hartstoff B und dem Ersatzmaterial (Hartstoff C)

Hartstoff B mit Chrom zeigt erst bei einer Temperatur oberhalb von 1100° C ausreichende Dichte. Die Härte ist mit > 124 HRB/ > 64 HRC extrem hoch. Die Heißpresstemperatur mit dem Hartstoff B ist mit dem Original fast identisch. Härte- und Dichtewerte weichen jedoch

recht stark voneinander ab. Der Härteunterschied ist dadurch zu erklären, dass das zuerst verwendete Material einen höheren Anteil eines härtesteigernden Elements hatte, während das neue Material weniger enthält. Die geringere Dichte ist dadurch begründet, dass das verdünte Material teilweise Gaseinschlüsse im Kern des Pulverteilchen aufweist, das der zuvor verwendete Hartstoff A nicht hatte.

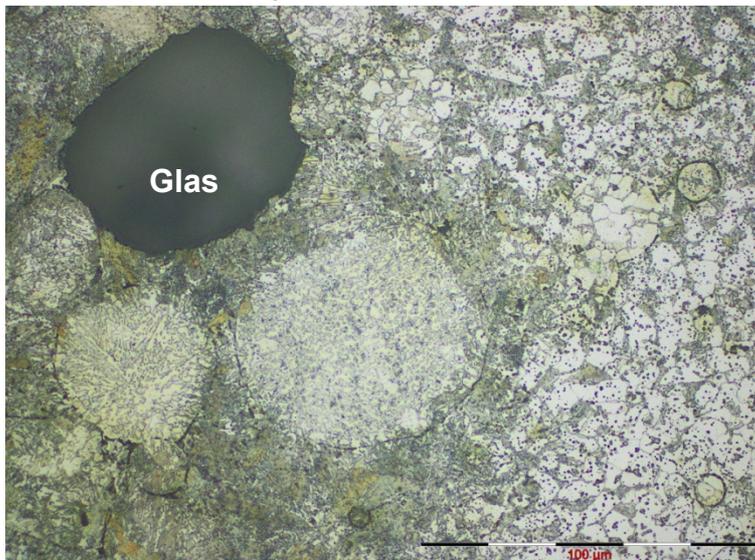
Im nächsten Schritt wurde geprüft, ob sich die Materialien im Austausch mit dem Hartstoff A in der getesteten Mischung V22-615 gleich oder zumindest ähnlich verhalten. Hier die erreichten Werte der Sinterdatenblätter im Vergleich.

Material	HP-Temperatur (° C)	Härte (HRB)	Dichte (g/cm ³)
V22-615 (altes Material / Hartstoff A)	940 - 1020	97 – 103	7,17 – 7,22
V18-1117 (Hartstoff B)	740 - 980	74 - 93	7,14 – 7,19
V12-318 (Hartstoff C)	860 - 1020	91 – 96	7,16 – 7,17

Tabelle 5: Vergleich der erzielten Härte und Dichte nach dem Heißpressen von Mischungen mit Hartstoff A, Hartstoff B und dem Ersatzmaterial (Hartstoff C)

Der Hartstoff B zeigt bereits bei deutlich niedrigeren Temperaturen eine gute Dichte. Im Bereich zwischen 740° und 980° C schwankt die Dichte nur zwischen 7,14 und 7,19 g/cm³ und ist damit sehr konstant über einen weiten Temperaturbereich. Schaut man sich die erreichte Härte der Bindung mit dem Hartstoff B an, kann man über den gesamten Temperaturbereich beim Heißpressen stark schwankenden Härtewerte feststellen. Sehr nachteilig sind hier die sehr niedrigen Härtewerte von nur 74 bis 77 HRB bei Temperaturen oberhalb von 860° C. Der Vergleich der Mischung mit dem neuen Material Hartstoff C zur Originalbindung, zeigt eine niedrigere Härte, aber gleiche Dichte und ein Heißpressverhalten, das bereits bei geringerer Temperatur ($\Delta = 80 \text{ }^\circ\text{C}$) beginnt. Dies ist positiv, da eine niedrigere Heißpresstemperatur eine geringere thermische Belastung für den Diamanten darstellt.

Zum besseren Verständnis, warum bei dem sehr harten Hartstoff B die Härte niedriger ist als beim Hartstoff A, wurden von den 3 Bindungen Schlitze gemacht. Die Schlitze wurden an Probekörpern durchgeführt, die die höchste Dichte im Sinterdatenblatt zeigten.



Im nebenstehenden Bild 2 kann man das Gefüge der Bindung mit dem Hartstoff A im geätzten Zustand sehen. Zu erkennen ist eine dunkle Glasperle und mehrere Partikel einer kugelig Phase. Bei der kugelig Phase handelt es sich um den Hartstoff A. Die Grundmatrix besteht aus den Phasen Ferrit und Perlit. Da in der Mischung reines Eisen verwendet wurde, kann der Perlit nur durch den Kohlenstoff des Hartstoffs A entstanden sein (Aufkohlung).

Bild 2: Gefüge von V22-615, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃

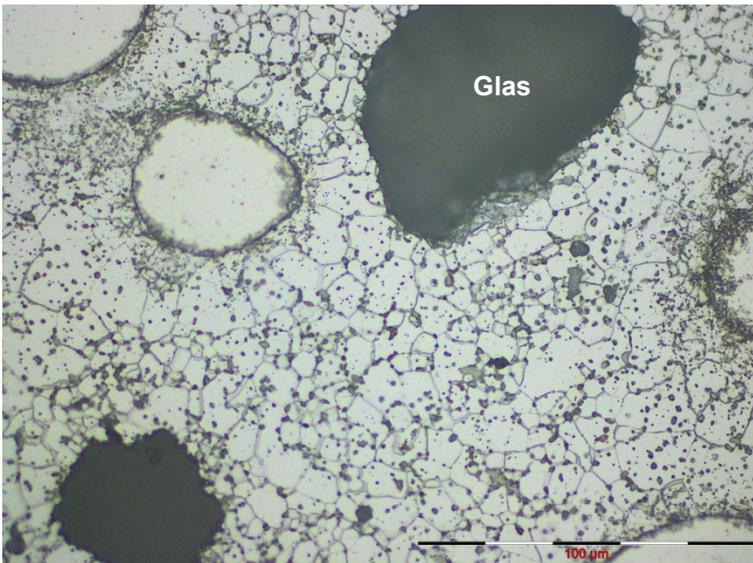


Bild 3: Gefüge von V18-1117, mit Hartstoff B, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO_3 .

Im Schlibfbild kann man den Hartstoff B und Glasperlen im Basismaterial Eisen erkennen. Diese beiden Phasen sind eingebettet in einer einheitlichen Grundmatrix. Im Vergleich zum Bild von V22-615 (siehe Bild 2) kann hier keine Aufkohlung des reinen Eisens festgestellt werden. Es liegt α -Eisen vor. Hartstoff B gibt keinen Kohlenstoff an die Umgebung ab, da der dort enthaltene Kohlenstoff im Hartstoff fest eingebunden ist und nicht mit Eisen zu Fe_3C (Zementit) reagiert. Die dunklen Punkte in der Grundmatrix wurden nicht genauer untersucht, aber vermutlich handelt es sich um Fe -Oxid, da das verwendete Eisen

einen Anteil an Sauerstoff in der Analyse zeigt. Der Sauerstoff liegt als Fe -Oxid. Durch die Wärmebehandlung (= Heißpressen) haben sich die Partikel eingeformt.

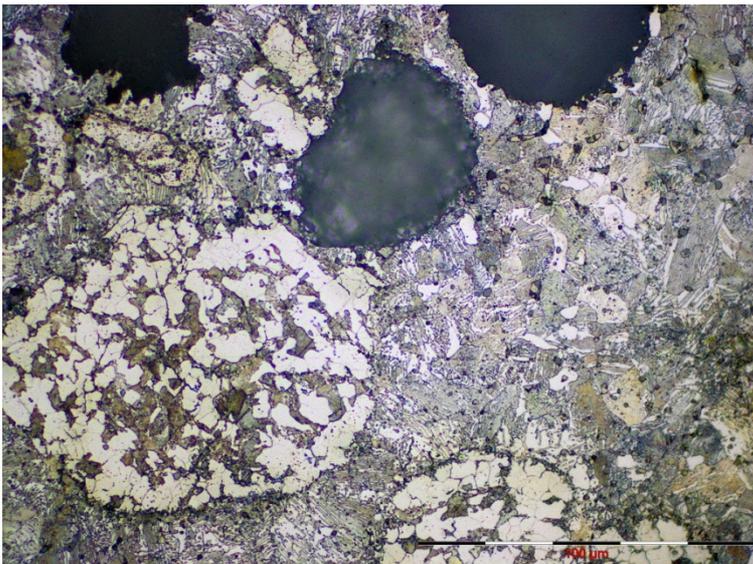


Bild 4: Gefüge von V12-318, mit Hartstoff C, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO_3 .

Das nebenstehende Bild 4 zeigt im Prinzip das gleiche Gefüge, wie die Original-Mischung mit Hartstoff A. Zu erkennen ist eine dunkle Glasperle und mehrere Partikel einer kugeligen Phase. Bei der kugeligen Phase handelt es sich um den Hartstoff C. Die Grundmatrix besteht aus den Phasen Ferrit und Perlit. Da in der Mischung reines Eisen verwendet wurde, kann der Perlit nur durch den Kohlenstoff des Hartstoffs C entstanden sein (Aufkohlung). Da der Hartstoff C jedoch einen geringeren Kohlenstoffgehalt als der Hartstoff A besitzt, ist der Kohlenstoffgehalt der Hartstoffpartikel am Schluss des Heißpressens im Vergleich

zum Hartstoff A geringer. Dies kann auch daran erkannt werden, dass innerhalb des Partikel Ferrit zu finden ist.

Von beiden Mischungen werden Testblätter für Sägeversuche hergestellt. Die Sägeergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

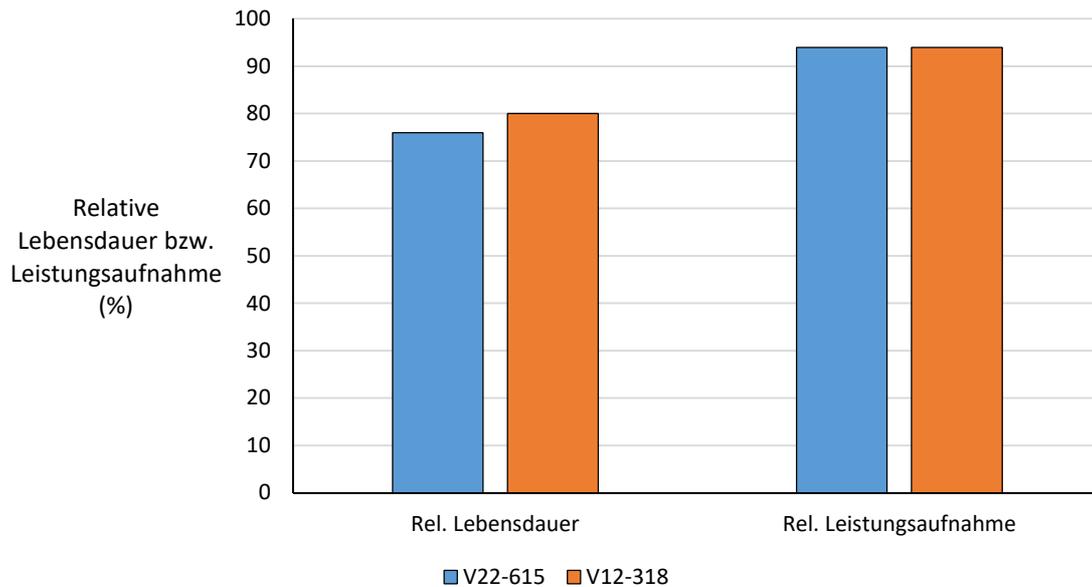


Diagramm 2: Vergleich der relativen Lebensdauer bzw. Leistungsaufnahme von V22-615 mit dem Testblatt V12-318 (Hartstoff C). Die genauen Werte können der Tabelle A4 im Anhang entnommen werden.

Im Diagramm 2 ist ein Ergebnis der Bindung mit dem Hartstoff B nicht aufgeführt. Dies liegt daran, dass die hergestellten Segmente von V18-1117 nicht auf das Stammbblatt gelötet werden konnten. Die Segmente rissen bereits bei sehr geringen Prüfwerten ab. Ein Sägetest war daher nicht möglich. Die Bindung mit dem Hartstoff C hat eine relative Lebensdauer, die mit der Bindung V22-615 vergleichbar ist. Die Werte sind 76 % (V22-615 / Hartstoff A) zu 80 % (V12-318 / Hartstoff C). Die relative Leistungsaufnahme ist gleich. Die Mischung V12-318 ist daher ein gleichwertiger Ersatz zu der zuerst genutzten Bindung.

Damit konnte die Bindung V12-318 als Basisbindung für weitere Versuche verwendet werden. Dieser Basisbindung wurden verschleißsteigernde und verschleißmindernde Materialien zugegeben. Damit sollte der jeweilige Einfluss der Zusätze auf die Basisbindung untersucht werden. Zur Standzeiterhöhung wurde Hartstoff C und Steadit verwendet. Für Hartstoff C wurde sich entschieden, da das Material bereits in der Basisbindung enthalten ist und dadurch nicht mit einer weiteren Komponente gearbeitet werden muss. Für Steadit wurde sich entschieden, da es zum einen eine hohe Härtesteigerung erzeugt und zum anderen chemisch auf Eisen basiert und damit der Basisbindung ähnlich ist. Um die Bindung weicher zu machen, wurden Versuche mit folgenden Materialien durchgeführt:

	Komponente	Gew.% - (Vol.-%)	Kerbschlagarbeit	Biegefestigkeit
Weicher	α -BN	3,1 - (10)	8,6 J/cm ²	575 N/mm ²
	Graphit (grob)	3,0 - (9,7)	7,9 J/cm ²	570 N/mm ²
	Hohlkugeln Typ B	1,0 - (10)	3,7 J/cm ²	720 N/mm ²

Tabelle 6: Mechanische Werte der ausgewählten Materialien, die eine Bindung verschleißfreudiger machen

Beim Graphit wurden das Material (grob) ausgewählt. Beim deutlich feinerem Graphit (fein) besteht zu stark die Gefahr, dass durch Aufkohlung in der Nähe des zugemischten Graphits eine Härtesteigerung eintritt (Bildung von Perlit/Fe₃C), die nicht gewollt wäre. Auch der Einsatz des möglichen Materials Muskovit wurde verworfen. Die Kerbschlagarbeit ist zwar sehr hoch, aber die Festigkeit ist zu gering (maximal 400 N/mm², siehe Tabelle A2 im Anhang). Durch diese geringe Festigkeit wurde Muskovit aussortiert.

Der Basisbindung wurden jeweils 10 Volumen-% der Zusatzmaterialien zugemischt. Ausnahme war hier das Hartstoff C. Hier wurden 15 und 30 Volumen-% der Basisbindung zugemischt (Kennzeichnung „B + Hart15“ bzw. „B + Hart30“). Die erreichten technischen Werte sind der nachfolgenden Tabelle zu entnehmen.

	V-Nr.	HP-Temp. (° C)	Härte (HRB)	Max. Dichte (g/cm ³)	T.D. (g/cm ³)	Rel. Dichte (max.) (%)	Kerbschlagarbeit (J/cm ²)	Biegefestigkeit (N/mm ²)
Basis (B)	V12-318	780-940	90-95	7,18	7,39	97,2	5,6	800
B + HK TB	V7-518	780-860	70-74	6,37	6,50	98,0	2,9	465
B + Graphit	V11-418	920-960	90-92	6,57	6,66	98,6	3,1	575
B + α-BN	V13-418	820-900	77-85	6,54	6,66	98,2	3,3	500
B + Hart15	V6-418	900-980	101-106	7,08	7,15	99,0	3,1	930
B + Hart30	V8-618	900-980	105-107	7,19	7,19	100,0	2,8	670
B + Steadit	V24-418	> 860	> 98	7,14	7,39	96,7	3,3	865

HK TB = Hohlkugeln Typ B

Tabelle 7: Ergebnisse der Basisbindung mit 10 Vol.-% des Zusatzmaterials bzw. 15/30 Vol.-% bei Hartstoff C

Bei allen Zusatzmaterialien wird der Kerbschlagwert reduziert. Die erreichten Werte liegen zwischen 2,8 – 3,3 J/cm², liegen damit oberhalb des selbst definierten Mindestwertes von 1,5 J/cm². Die Werte der Biegefestigkeitsprüfung bei den verschleißfördernden Zusätzen liegen zwischen 465 und 575 N/mm². Damit geringer wie der angestrebte Mindestwert. Die Werte bei den verschleißhemmenden Zusätzen sind entweder leicht gesunken oder haben sich erhöht. Hier ist der niedrigste Wert auch unter dem angestrebten Mindestwert, aber höher als bei den verschleißfördernden Materialien.

Die messbare Härte steigt bei aufhärtenden Materialzusätzen. Dies war auch zu erwarten. Bei weichmachenden Zusätzen bleibt die Härte entweder gleich (Zusatz von Graphit grob) oder sinkt, wie es zu erwarten war (Zusatz von α-BN und Hohlkugeln Typ B). Mit Ausnahme der Hohlkugeln Typ B verschieben alle Zusätze die Heißpresstemperatur zu höheren Temperaturen.

Von allen in Tabelle 7 aufgeführten Pulverkombinationen wurden Sägeblätter hergestellt, die auf unserem Sägestand getestet wurden. Obwohl die Biegefestigkeit einiger Bindungen nicht die Mindestwerte erreicht haben, wurden die Sägeversuche durchgeführt. Damit sollte untersucht werden, ob trotz der geringen Festigkeit die Werkzeuge schneiden und die Diamanten nicht in die Bindung eingedrückt werden bzw. die Festigkeit ausreichend ist, dass die Segmente im Einsatz nicht abbrechen.

	V-Nr.	Rel. Lebensdauer (%)	Rel. Leistungsaufnahme (%)	Mittlere Segmenthärte (HRB)	rel. Dichte (%)	Ver-schleiß (mm)
Basis (B)	V12-318	100	100	92	97,1	2,07
B + KHK	V7-518	88	82	83	103,4	2,37
B + Graphit	V11-418	113	89	94	97,6	2,22
B + hBN	V13-418	85	71	87	98,4	2,40
B + Hart15	V6-418	110	113	103	99,0	2,01
B + Hart30	V8-618	150	152	105	98,6	2,09
B + Steadit	V24-418	135	137	100	96,7	2,18

HK TB = Hohlkugeln Typ B

Tabelle 8: Zusammenfassung der Sägeergebnisse

Alle 6 getesteten Blätter haben auf unserem Teststand geschnitten, ohne dass es zu Problemen während des Scheidens kam. Beim Sägen sind keine Segmente vom Stammblatt abgebrochen/abgerissen, die zu einem Ende des Testes geführt hätten. Auch war kein Säge-

blatt so hart, dass es zum Anhalten des Sägeblattes während des Schneidens geführt hat. Alle Versuche konnten bis zum Abbruchkriterium durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Sägeversuche sind in der Tabelle 8 zusammengefasst.

Zur besseren Vergleichbarkeit wurde bei diesen Sägeversuchen die Basisbindung V12-318 als Referenz definiert und damit bei Lebensdauer und Leistungsaufnahme auf 100 % gesetzt. Die Ergebnisse der Sägetest sind im folgenden Diagramm nochmals graphisch dargestellt.

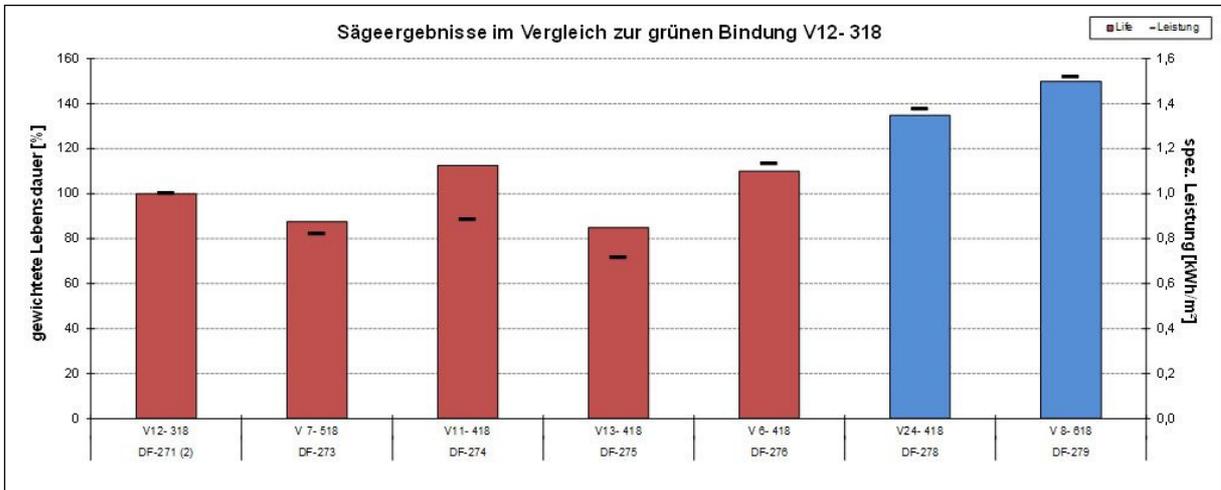


Diagramm 3: Darstellung der Sägetest Ergebnisse.

Durch die Definition des Sägeblattes mit der Bindung V12-318 als Referenz, wurde es möglich, schneller eine Standzeit- bzw. Leistungsaufnahmeveränderung zu erkennen.

Die „Härte steigernden“ Materialien steigern die Standzeit, aber auch die Leistungsaufnahme. Bei den „weicher machenden“ Materialien reduziert sich die Leistungsaufnahme, gleichzeitig findet auch i.d.R. eine Abnahme der Lebensdauer statt.

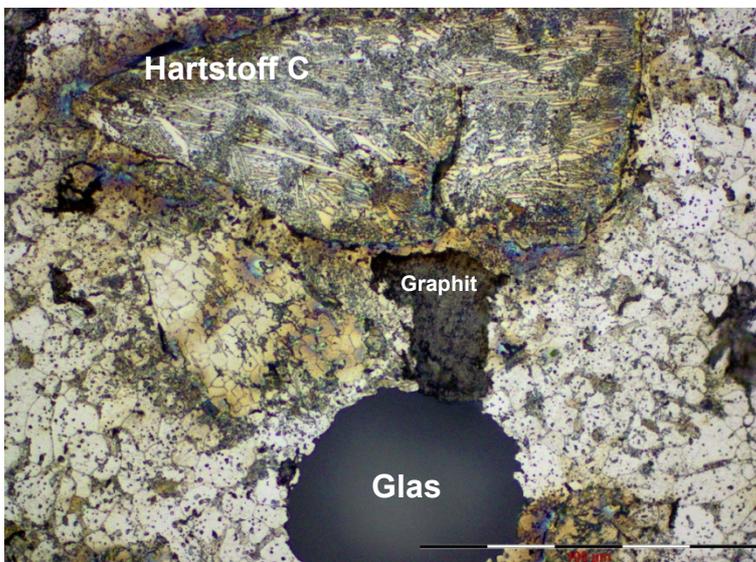


Bild 5: Gefüge der Bindung V11-418, geätzt mit 3 %iger alkoholischer HNO₃.

Ausnahme ist hier der Graphitzusatz, der Bindungsname lautet V11-418. Trotz Abnahme der aufgenommenen Leistung (gleichbedeutend mit höherer Schnittfreudigkeit), kann eine Standzeitzunahme im Vergleich zur Bindung ohne diesen Zusatz gemessen werden (V12-318 / Referenz). Ein Schliff sollte Klarheit schaffen, ob durch den zusätzlichen Graphit eine weitere Aufhärtung durch Fe₃C/Zementit-Bildung (Aufkohlung) stattgefunden hat. Diese Theorie konnte nicht bestätigt werden. Im Bild 5 kann der geätzte Zustand der Mischung beobachtet werden.

Die aus Eisen bestehende Grundmatrix zeigt die Komponenten Glas, Hartstoff C und den Graphit. Im Vergleich zum Bild 4, kann man einen geringeren Effekt der Aufkohlung durch den Hartstoff C in der Matrix erkennen. Es ist viel mehr α -Eisen zu erkennen und deutlich weniger Perlit (α -Eisen/Zementit-Eutektoid). Dies ist eigentlich ein Hinweis darauf, dass die

Grundmatrix weicher sein sollte. Es fällt aber auf, dass die Hartstoff C-Teilchen einen viel geringeren Anteil an internen, weißen Flächen = α -Eisen besitzt. Das deutet wiederum darauf, dass der Hartstoff C nicht so viel Kohlenstoff an die Umgebung abgegeben hat. Das Teilchen selbst ist dadurch härter und hat eine höhere Verschleißfestigkeit. Vergleicht man die erzielte Härte des Referenzsegmentes V12-318 mit der von V11-418, fällt auf, dass die Härte sich nicht großartig unterscheidet. Das Referenzsegment zeigt eine Härte von 90-95 HRB, V11-418 von 90-92 HRB – beide Bindungen sind in etwa gleich hart. Es kann nur vermutet werden, dass die geringere Abgabe des Kohlenstoffs (aus dem Graphit) an die Eisen-Grundmatrix für die höhere Standzeit verantwortlich ist.

Nach den guten, eigenen Ergebnissen von V11-418 wurde intern entschieden, diese Mischung mit Kunden extern unter Realbedingungen zu testen. Getestet wurde diese Bindung in den Anwendungen als Bohrkronen in armierten Beton, als Wandsäge in armierten Beton (bei 2 Kunden), als Fugenschneider in Straßenbeton und als Trennscheibe für gemischten harten Naturstein (wie Granit, Gabbro, etc.). Wichtig bei den externen Test war für uns, dass bei den Segmenten nur die Bindung ausgetauscht werden sollte. Die sonst verwendete Diamantspezifikation des Blattes sollte beibehalten werden. Dies wurde von den Kunden in ihren Testsegmenten auch umgesetzt. Nachfolgende Tabelle gibt die bekannten Ergebnisse der Testwerkzeuge wieder.

Lfd.-Nr. Einsatz	Durchmesser	Heißpress-temp.	Diamant Konz.	Qualität	Größe	Speed	Life	Bemerkung
❶ Fugenschneider	350	780 °C	cc=20	50 % MG400 50 % MG400	35/40 40/45	587 cm³/Min	8,66 m³	Ziel sollte 900 cm³/Min. Weitere Test mit höherer Tempera- tur
❷ Granit-scheibe	180	?	Gew.-% vom Diamant gleich. Durch die andere Dichte der Bindung, ist Konzentration nur 17 statt 19			+	+	Schneidverhalten ist technisch gleich zur Referenz
❸ Granit-scheibe	400		Diamant gleich mit Referenz			?	?	Blatt hergestellt, noch nicht getestet.
❹ Bohrkronen	200	820 °C	Diamant gleich mit Referenz			+	+	ungefähr gleich gut
❺ Sägeblatt	350	820 °C	Diamant gleich mit Referenz			+	+	ungefähr gleich gut. FS nur kleine Leistung
❻ Wandsäge			Diamant gleich mit Referenz			?	?	Blätter hergestellt, noch nicht getestet.
❼ Wandsäge	900		es wurde eine geringe Konzentration und Qualität verwendet, da die Sorge bestand, dass das Blatt nicht schneidet.			18-21 cm/min	~1,7 m²/mm	Verhält sich zum Vergleichsblatt härter / langsamer - ABER es schneidet als Wandsäge

Tabelle 9: Zusammenfassung der externen Testergebnisse (soweit bereits Rückmeldung erfolgte)

Schaut man sich die Testergebnisse in der Tabelle 9 an, kann festgestellt werden, dass die entwickelte Bindung zum einen prinzipiell schneidet bzw. bohrt und zum anderen in vielen Fällen auch als „gleich gut“ durch die externen Tester eingestuft wird. Diese positiven Ergebnisse aus dem Feld ermutigten uns, den nächsten Schritt zu wagen.

Die Tabelle 9 gibt den Rückmeldestand von April 2019 an. Anfang September 2018 waren die hellgrau hinterlegten Rückmeldungen bekannt. Die positiven Rückmeldungen der Testwerkzeuge führte zur Entscheidung, auf der Messe „Marmo+Mac 2018“ Ende September in Verona, die Bindung V11-418 als neues Verkaufsprodukt vorzustellen. Als Produktname für die Entwicklung wurde VIRIDIS-100 gewählt.

Die Reaktion der Kunden war größtenteils positiv. Der Ansatz für dieses Produkt wurde von allen Kunden verstanden und positiv aufgenommen. Das Material zu testen, wurde nur von wenigen Kunden wahrgenommen. Die Gründe der Ablehnung sind vielfältig.

- Die Diamantwerkzeugindustrie ist sehr konservativ. Wenn ein Werkzeug zur Zufriedenheit funktioniert, dann wird ohne Not nicht freiwillig gewechselt.
- Im Moment ist das am meisten verwendete Material Kobalt recht günstig, sodass aus finanzieller Sicht kein Grund für eine Veränderung vorliegt.
- Keine Ambitionen, umweltfreundliche Produkte zu verwenden.

Es konnten aber auch Kunden gewonnen werden, die das ganze Konzept hinter diesem Produkt begrüßten und gezielt unterstützen. Auf die Ergebnisse dieser externen Testwerkzeuge wird noch gewartet.

Bei Gesprächen mit Kunden auf der Messe, wurde von denen angeführt, dass ihnen das Produkt als tendenziell zu hart vorkommt und man eher eine Bindung mit höherer Schnittgeschwindigkeit (weniger Leistungsaufnahme) bevorzugen würde. Daraufhin wurde im Anschluss an die Messe aus dem Ergebnispool der Sägetests, eine zweite Bindung ausgewählt, die eine geringere Leistungsaufnahme als V11-418/VIRIDIS-100 aufweist. Ausgewählt wurde die Bindung V7-518. Die Bindung zeigt etwa eine 10 % geringere Leistungsaufnahme. Für die Bindung wurde der Produktname VIRIDIS-200 ausgewählt. Durch die in der Bau- und der Natursteinindustrie vorhandene Winterpause, wird aktuell die zweite Bindung getestet, sodass noch keine aussagekräftige Rückmeldung vorhanden ist. Erste Rückmeldung betreffen den Einsatz von V7-518 als Bohrkronen in (teilweise stark) armierten Beton. Der Austausch der Bindung durch V7-518 und Beibehalten der Diamantspezifikation hat zu ungenügenden Ergebnissen des Werkzeuges geführt. Im ersten Fall war zwar die Bohrkronen von der Bohrgeschwindigkeit gut, zeigte aber zu wenig Standzeit. Im zweiten Fall konnten Bohrkronen trotz der Verwendung unterschiedlicher Diamantspezifikationen nicht zum Bohren gebracht werden. Segmentanalysen der jeweiligen Bohrkronen zeigten, dass der verwendete Diamant zu gut (bzw. zu viel) war. Aktuell werden weitere Bohrkronen mit geringerer Diamantkonzentration hergestellt und getestet.

Fazit

Die Idee, eine funktionierende Bindung für die Diamantwerkzeugindustrie zu entwickeln, die sowohl verträglich sowohl für die Umwelt wie auch für die Gesundheit des Menschen ist, konnte mit diesem geförderten Projekt umgesetzt werden. Die Bindung basiert zum größten Teil auf Eisen, dem geringe Mengen an Glas und Graphit zugegeben wurden. Das Kaltpressverhalten ist erst durch Zugabe von Presshilfsmittel einigermaßen gut möglich, deshalb wird empfohlen, die Bindung granuliert zu verwenden. Die Temperatur beim Heißpressen der Bindung sollte zwischen 880 und 940 °C liegen, wobei wir die Temperatur von 940° C empfehlen. Das Auflöten der fertigen Segmente auf den Trägerkörper kann mit den üblichen Lotmaterialien geschehen.

Das Schneidverhalten der entwickelten Bindung V11-418/VIRIDIS-100 ist auf unserem Sägestand mit dem von reinem Kobalt extra fein vergleichbar. Die Bindung zeigt im Vergleich zum Kobalt extra fein eine vernachlässigbare, gering bessere Standzeit (+ 4 %) bei deutlich geringerer Leistungsaufnahme (- 14 %). Diese Unterschiede werden in dem Bild unten noch einmal grafisch dargestellt.

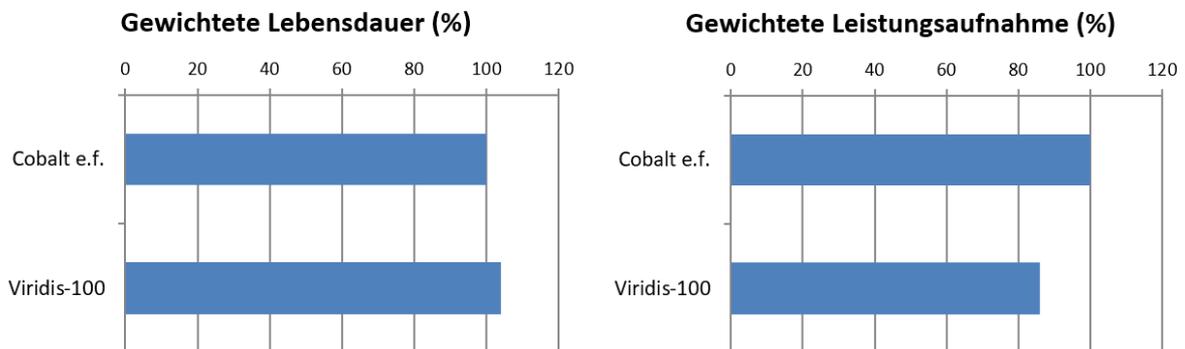


Bild 6: Grafische Darstellung der gewichteten Lebensdauer und Leistungsaufnahme von V11-418 / VIRIDIS-100 im Vergleich zu 100 % Kobalt extra fein

In Anwendungen, die mit dem Schneiden von Granit vergleichbar sind (z.B. laufende Nummer 2 + 5 der Tabelle 9), werden von dem testenden Kunden als vergleichbar mit der Referenz beschrieben. Es gibt aber Anwendungen, bei denen der Wechsel zur Bindung V11-418 zu einem nicht akzeptablen Ergebnis geführt hat (siehe laufende Nummer 1 in Tabelle 9). Das gleiche „Versagen beim Schneiden“ kann aktuell auch bei der zweiten Bindung VIRIDIS-200 festgestellt werden. Ein reiner Austausch des Metallpulvers bei einer bekannten Bindung, führt dabei nicht zum erfolgreichen Einsatz des Werkzeuges. Bei diesen Anwendungsfällen, muss eine Anpassung der Diamantspezifikation erfolgen. Die Verschleißanalyse der eingesetzten Segmente zeigte einen zu großen Anteil an ganzen und zu wenig gebrochenen Kristallen. Die Anpassung sollte zu einem leichteren Zerbrechen der Diamanten führen, damit neue Schneidkanten zur Verfügung stehen. Dieses wird durch eine geringere Diamantqualität oder eine reduzierte Diamantkonzentration erreicht. Es ist davon auszugehen, dass durch die Anpassung des Diamanten an die jeweilige Anwendung, ein großes Anwendungsgebiet abgedeckt werden kann. Diese Theorie muss aber im Laufe der weiteren Testphase überprüft werden.

Um bei der zuerst entwickelten Bindung V11-418 / VIRIDIS-100 eine höhere Härte / Verschleißfestigkeit zu erzielen, ist durch das Zumischen von zusätzlichem Hartstoff C zur Bindung keine Schwierigkeit. Auch könnte Eisenphosphid, Steadit oder grobes Borkarbid verwendet werden. Alle exemplarisch genannten Materialien erreichen den gewünschten Effekt. Bevorzugt werden die auf Eisen basierenden Materialien, da diese nach aktuellem Kenntnisstand keine Gefahr für Mensch und Umwelt darstellen. Auch ist die chemische Gleichheit des Eisens von Vorteil.

Weitaus herausfordernder ist, die Bindung weicher / verschleißfreudiger einzustellen. Alle untersuchten Zusätze senken die Biegefestigkeit und die Kerbschlagarbeit. Natürlich auch die verwendeten Materialien Graphit grob bzw. die Hohlkugeln Typ B. Sie werden in den Bindungen verwendet, jedoch wird weiter nach einem Material gesucht, dass die mechanischen Werte nicht so stark beeinflusst, wie es aktuell der Fall ist. Dies erweist sich aktuell als größte Herausforderung.

Literaturverzeichnis

Für die Diamantwerkzeugindustrie gibt es so gut wie keine Literatur. Vorhanden sind zwei Bücher, die über die Herstellung schreiben und einen kleinen Einblick in die klassische Metallurgie der Diamantwerkzeuge geben. Es werden die üblicherweise verwendeten Metalle wie Kobalt, Kupfer, Nickel, etc. beschrieben. Materialien, die es in diesem Projekt zu vermeiden galt.

Da in diesem Projekt neue Wege beschritten wurden, kann auf keine Literatur zurückgegriffen werden.

Anhänge

Zusatz	Menge		Härte (HRB)	Δ Härte (HRB)	Dichte		Temp.-Bereich (°C)	Kerbarb. (J/cm ²)	Biegefest. (N/mm ² /Nm/%)	Bemerkung
	Gew.-%	Vol.-%			(g/cm ³)	(%)				
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (Zucker)	1	4	80 - 94	0 bis +14	7,61 - 7,64	99,6 - 100	780 - 860			V19-417
	2,2	6	78 - 92	+4 bis +10	7,51 - 7,56	99,3 - 100	740 - 860			V18-317
	8	17	83 - 87	-7 bis +3	6,91 - 6,94	99,5 - 100	740 - 780			V17-217
C ₆ H ₁₀ O ₅ (Gries)	2,5		52 - 72	-13 bis -21	7,49 - 7,51	99,7 - 100	740 - 860			V25-217
	8		76 - 89	0 bis +6	7,03 - 7,09	99,1 - 100	740 - 860			V29-117
Muskovit (Glimmer) K ₂ Al ₄ (Al ₂ Si ₆ O ₂₀)(OH) ₄	3,8	10	78 - 82	-3 bis -7	7,13 - 7,18	97,0 - 97,6	740 - 820	7,9	400 / 0,2 / 0,6	V10-117, 0/4
	13,2	30	68 - 69	-12 bis -47	6,10 - 6,13	96,2 - 96,8	740 - 820	6,8	230 / 0,1 / 0,4	V11-117, 0/4
	3,8	10	51 - 59	-25 bis -31	7,16 - 7,18	97,5 - 97,6	740 - 820	7,8	400 / 0,2 / 0,6	V 8-117; 0/5
Talkum (Stearit) Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	13,2	30	27 - 38	-43 bis -68	6,04 - 6,09	95,3 - 96,1	740 - 820	7,2	235 / 0,1 / 0,4	V 9-117; 0/5
	3,7	10	79 - 89	+2 bis +8	7,20 - 7,25	98,1 - 98,5	740 - 860			V 6-117
α-BN	12,8	30	79 - 82	-12 bis +4	6,16 - 6,18	97,7 - 97,9	740 - 780			V 7-117
	3,1	10	58 - 80	-1 bis -14	7,10 - 7,13	97,3 - 97,7	740 - 860	8,6	575 / - / -	V 5-617
MoS ₂	10,9	30	32 - 45	-40 bis -48	5,97 - 5,99	96,6 - 97,0	780 - 820	6,9	260 / 0,2 / 0,6	V 7-617
	14	20	85 - 86	+5 bis +27	6,89 - 6,95	97,3 - 98,2	820 - 860			V29-117
Kokosschalen	20	28	81 - 83	+11 bis +23	7,15 - 7,16	98,0 - 98,2	860 - 900			V29-217
	1,6	10	71 - 94	-15 bis +12	7,51 - 7,57	102,8 - 103,6	700 - 860			V12-517
Graphit (grob)	5,9	30	69 - 91	-10 bis +9	6,98 - 7,06	113,0 - 114,2	700 - 860			V 5-117
	12,7	50	39 - 54	-27 bis -42	6,39 - 6,44	126,2 - 127,2	780 - 860			V17-117
Graphit (fein)	3	9,7	47 - 79	-1 bis -25	7,13 - 7,16	97,4 - 97,8	740 - 860	7,9	570 / 0,4 / 0,8	V18-217
	6,5	19,5	57 - 65	-7 bis -24	6,67 - 6,71	98,6 - 99,1	820 - 860	8,7	380 / 1,2 / 2,3	V19-217
Hohlkugeln Typ C	3	9,7	62 - 69	-10 bis +11	7,14 - 7,17	97,5 - 98,0	900 - 940	3,5	650 / 1,5 / 2,1	V28-118
	1	10	55 - 76	-7 bis +4	7,48 - 7,50	99,8 - 100	820 - 940	6,9	655 / - / -	V 2-1017
Hohlkugeln Typ B	1	10	62 - 82	-9 bis +4	7,10 - 7,16	99,4 - 100	740 - 900	3,7	720 / 1,1 / 1,4	V13-1117
	3,8	30	44 - 53	-28 bis -33	6,11 - 6,18	98,8 - 100	780 - 860	4	410 / 0,4 / 0,8	V15-1217
Hohlkugeln Typ A	0,6	10	84 - 100	-1 bis +13	7,59 - 7,87	96,4 - 100	740 - 820			V30-118
	2,4	30	78 - 93	+6 bis +20	7,23 - 7,27	99,4 - 100	740 - 900			V31-118
Eisen-Oxid (Typ A)	12	20	88 - 98	+7 bis +19	7,35 - 7,39	99,5 - 100	700 - 860			V10-1217
Eisen-Oxid (Typ B)	12	20	91 - 98	+10 bis +14	7,31 - 7,32	99,9 - 100	700 - 820	2,3	265 / 0,1 / 0,4	V11-1217
Eisen-Oxid (Typ C)	12	20	95 - 102	+12 bis +29	7,27 - 7,28	99,9 - 100	700 - 820			V12-1217
Glas	3,4	10	78 - 90	+1 bis +6	7,17 - 7,21	97,9 - 98,5	740 - 860	0,4	645 / 0,7 / 1,1	V 1-718
	12	30	96 - 100	+10 bis +24	6,15 - 6,16	98,4 - 98,6	740 - 820	0,1	360 / 0,2 / 0,7	V 2-718

Tabelle A1: Tabellarische Zusammenfassung der Versuche „Basismaterial + Verschleißerhöhendes Material“ (weicher werdend)

Zusatz	Menge		Härte (HRB)	Δ Härte (HRB)	Dichte		Temp.-Bereich (°C)	UJ/cm ²	(N/mm ² - Nm-%)	Bemerkung
	Gew.-%	Vol.-%			g/cm ³	(%)				
Hartstoff A	10	10,2	76 - 93	-1 bis +6	7,59 - 7,60	96,8 - 69,9	740 - 860			V26- 317
	25	25,4	98 - 101	> +40	7,52 - 7,61	97,5 - 98,7	> 900			V10- 615
	50	50,6	100 - 103	> +42	7,54 - 7,64	98,0 - 99,3	> 900			V 9- 615
	75	75,4	108 - 110	> +49	7,62 - 7,66	99,2 - 99,7	> 940			V 8- 615
	100	100	117	> +54	7,64 - 7,68	99,5 - 100,0	> 940			DiaHard-1000
Fe ₃ P	5	5,6	85 - 94	+ 2 bis + 13	7,61 - 7,62	97,5	> 740	9,4	880 / - / -	V13- 617
	10	11,1	100 - 103	+ 20 bis + 44	7,54 - 7,56	97,2 - 97,4	> 780	6,2	1200 / 3,5 / 2,5	V14- 617
WSC	20	22	103 - 107	+ 17 bis + 49	7,46 - 7,49	97,4 - 97,8	> 780	5,9	1150 / 1,5 / 1,5	V15- 617
	5	2,4	80 - 93	- 1 bis + 6	7,87 - 7,89	97,5 - 97,8	740 - 820			V16- 617
	15	7,8	84 - 94	+ 3 bis + 7	8,31	97,5	740 - 820			V16- 717
B ₄ C	25	13,7	82 - 90	+ 2 bis + 10	8,85 - 8,87	97,9 - 98,2	> 780			V17- 717
	2	6	77 - 93	- 4 bis + 5	7,36 - 7,38	97,6 - 97,8	> 740			V18- 617
	4	11,5	80 - 94	+ 5 bis + 11	7,07 - 7,15	97,6 - 98,7	> 740			V19- 617
Si	6	16,7	84 - 95	+ 3 bis + 12	6,77 - 6,80	97,1 - 97,6	740 - 860			V20- 617
	3	9,7	86 - 93	+ 14 bis + 30	7,24 - 7,35	98,7 - 100,0	860 - 980	5,3	730 / 1,3 / 1,6	V 1- 318
	7	20,2	102 - 110	+ 21 bis + 47	7,01 - 7,15	98,0 - 100,0	820 - 940	0,7	430 / 0,2 / 0,6	V13- 514 (2)
Cr	11	29,3	111 - 115	+ 41 bis + 51	6,90 - 6,99	98,7 - 100,0	860 - 980	2,2	200 / 0,0 / 0,3	V 2- 318
	10	10,7	77 - 82	- 4 bis + 19	7,46 - 7,52	97,6 - 98,5	780 - 940	3,5	630 / - / -	V19- 218
	19	20,5	72 - 74		7,54 - 7,56	97,8 - 98,1	980 - 1060			
Steadit	28	29,6	72 - 77	+ 18	7,33 - 7,42	97,4 - 98,5	900 - >			V27- 118
	10	11	88 - 95	+ 5 bis + 38	7,58 - 7,62	97,5 - 98,1	780 - 940	4,4	870 / - / -	V21- 418
	25	27	103 - 105	+ 16 bis + 47	7,40 - 7,46	96,8 - 97,6	740 - 900	2,8	770 / 0,7 / 1,1	V22- 418
Hartstoff C	50	52,5	108 - 111	+ 27 bis + 53	7,31 - 7,35	98,1 - 98,6	> 820			V23- 418
	100	100	120 - 121	+ 39 bis + 63	7,02 - 7,05	99,1 - 99,6	> 820			Q20- 418
	100	100	109 - 111		7,28 - 7,37	98,8 - 99,9	> 900			DiaHard-1100
Glas	9,4	10	77 - 94	- 4 bis + 14	7,65 - 7,66	98,0 - 98,1	740 - 860	0,6	815 / - / -	V 3- 718
	23,8	25	87 - 95	+ 15 bis + 30	7,49 - 7,58	96,7 - 97,9	860 - 980	1,2	1050 / - / -	V 4- 718
	48,4	50	102 - 103	+ 2 bis + 40	7,56 - 7,59	99,2 - 99,6	> 940	0,05	1010 / 1,3 / 1,5	V 5- 718
Gips	8	21,5	82 - 90	+ 4 bis + 10	6,61 - 6,63	97,2 - 97,5	780 - 860	1,4	485 / 0,3 / 0,6	V17- 515
	7	20	97 - 99	+ 10 bis + 13	6,96 - 6,97	99,8 - 100,0	740 - 800	0,7	340 / 0,1 / 0,5	V 3- 514

Tabelle A2: Tabellarische Zusammenfassung der Versuche „Basismaterial + Verschleißminderndes Material“ (härter werdend)

	Relative Lebensdauer (%)	Relative Leistungsaufnahme (%)
Kobalt e. f.	87	97
V22-615	76	94

Tabelle A3: Erreichte Werte von Diagramm 1

	Relative Lebensdauer (%)	Relative Leistungsaufnahme (%)
Kobalt e. f.	87	97
V22-615	76	94

Tabelle A4: Erreichte Werte von Diagramm 2

SINTERDATENBLATT

DR. FRITSCH GmbH & Co. KG

Dieselstraße 8
70736 Fellbach
Tel. 0711-518320; Fax 0711-5183210

Pulvername: V11- 418

Hauptbestandteil:	Fe	Bindemittel:	2 % Alkohol	Datum:	15.05.2018
Maschinentyp:	DSP-25	mittl. Korngröße:		Prüfer:	GK
Verwendungszweck:	Neue Bindung				

Erhitzung über:	Matrize:	X	Temperaturmessung mit:	Pyroskop:	
	Stempel:			Thermoelement:	X

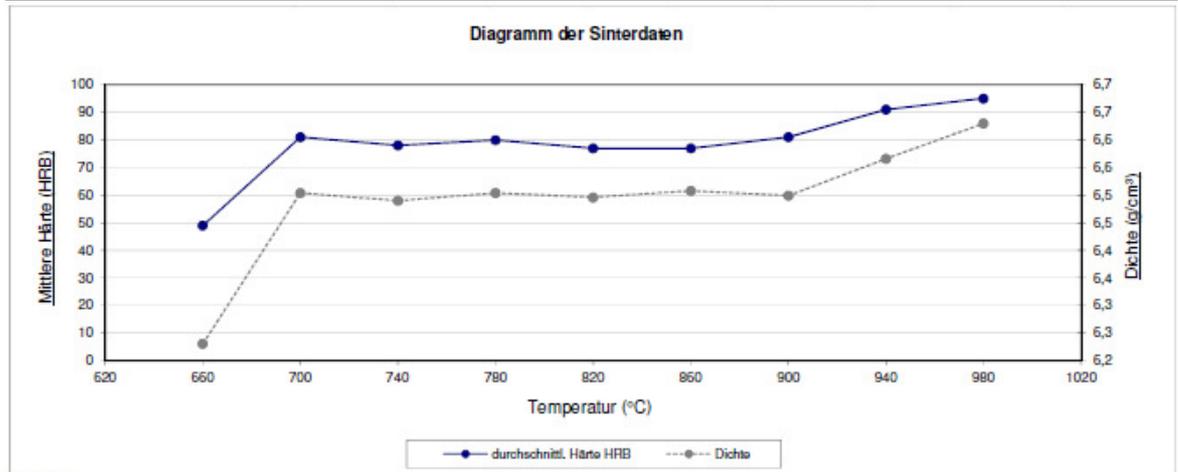
Temperatur	°C	660	700	740	780	820	860	900	940	980
abs. Druck	N/mm ²	35	==>							
Sinterzeit	min	3	==>							

Biegebruchfest.	N/mm ²									
Bruchdehnung	%									
durchschnittl. Härte	HRB	49	81	78	80	77	77	81	91	95
Härtestreuung	HRB	45-52	80-81	77-79	80-81	76-78	76-77	81-82	90-92	95-96
durchschnittl. Härte	HRC									
Härtestreuung	HRC									
Einwaage (Ge)	g	17	==>							
Gew.nach Sintl. (Gs)	g									

Volumen (V = Gs / Gw)	cm ³									
Dichte (D = Gs / V)	g/cm ³	6,23	6,50	6,49	6,50	6,50	6,51	6,50	6,57	6,63

Gew.-Verlust (G = Ge - Gs)	g									
Rel. Gew.-Verlust (Gr = G / Gs)	%									

Bemerkung:



Abhängig von der Sinterformgeometrie, Art und Ort der Temperaturmessung kann sich eine Temperaturerhöhung bis 60 °C ergeben, um das gleiche Ergebnis zu erreichen!
Bei Formen mit vielen Graphitstempeln ist die Reibung des Graphits zu berücksichtigen. Eine Formel, die diese Reibung berücksichtigt, kann auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden.
Die Datenblätter sind Eigentum der Dr. Fritsch GmbH & Co.KG. Sie dürfen nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Geschäftsleitung bzw. der Betriebsleiter weitergegeben werden.

V11- 418.xlsx [deutsch DSP]

Bild B1: Ein Sinterdatenblatt am Beispiel der Bindung V11-418 / VIRIDID-100. Dokumentation von erreichter Härte und Dichte in Abhängigkeit der Temperatur