

Titel

Verbesserung der Flexibilität und der Prozesssicherheit diamantbesetzter Trennschleifscheiben bei der Bearbeitung von Naturstein und Beton

IGF-Nr.: 16809 N

Forschungsstellen

Forschungsstelle 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe,
Remscheid (IFW-RS)

Forschungsstelle 2: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen der
Leibniz Universität Hannover (IFW-H)



Leibniz
Universität Hannover



Institut für Fertigungstechnik
und Werkzeugmaschinen

Ansprechpartner beim IFW-Remscheid:

Dr. Christian Pelshenke
02191 / 5921.0
pelshenke@fgw.de

Ansprechpartner beim IFW-Hannover:

Dr. Jens Köhler
0511 / 762.2563
koehler@ifw.uni-hannover.de

Danksagungen

Die Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit wurde dankenswerter Weise vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen - Otto von Guericke - e.V. (AiF) aufgrund eines Beschluss des Bundestags finanziell gefördert.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



ALLIANZ
INDUSTRIE
FORSCHUNG

Ausgangssituation

Das Einbringen von Fugen in Gesteinswerkstoffe mit scheibenförmigen Werkzeugen ist ein Bearbeitungsprozess, der im Naturstein- und Bausektor eine zentrale Rolle einnimmt. Technologisch betrachtet stellt das Fugenschneiden hierbei einen Trennschleifprozess dar. Als Schneidstoff dient Diamant, der in eine metallische Bindung eingebettet wird. Charakteristisches Merkmal des Schleifprozesses an Gesteinen ist nach wie vor die auf dem Effekt des Selbstschärfens beruhende Einstellung des Schneidkornüberstands h_K . Dieser entscheidet wesentlich das Einsatzverhalten der mehrschichtigen Werkzeuge. Da bislang kein Schärf- oder Abrichtvorgang stattfindet, besteht die Problematik des Trennschleifverfahrens darin, dass zur Gewährleistung eines sicheren und produktiven Schleifprozesses eine genaue Abstimmung von Werkzeugeigenschaften und Prozessparametern auf die Trenneigenschaften des zu bearbeitenden Werkstoffs notwendig ist.

Aktuell ist für die Sicherstellung eines effizienten und prozessstabilen Trennschleifprozesses an unterschiedlichen Natursteingattungen der Einsatz mehrerer Werkzeuge eben mit speziell abgestimmter Stammbblatt- und Schleifsegmentspezifikationen erforderlich. Erhöhte Kosten treten in diesem Zusammenhang durch häufige Werkzeugwechsel und die Bevorratung einer Vielzahl verschiedener Werkzeugen auf. Hierdurch leidet sowohl die Flexibilität als auch die Produktivität deutlich.

Die Nutzung eines universell einsetzbaren Werkzeugs ist aufgrund der unterschiedlichen Anforderungsprofile aus den Werkstücken heraus und unterschiedlichen Prozessparametern zurzeit nicht realisiert. Eine entsprechende Konditionierung von einem, auf unterschiedliche Gesteinssorten hin optimierten Werkzeugs kann dabei zufriedenstellende Bearbeitungs- und Prozessergebnisse liefern. Durch den Wegfall der Neben- und Rüstzeiten resultiert dadurch eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit des Trennprozesses für seriell zu trennende unterschiedliche Gesteinsarten.

Forschungsziel

Ziel des Forschungsvorhabens war es, durch ein geeignetes Verfahren ein Werkzeug im Bearbeitungsprozess für die Bearbeitung unterschiedlicher Gesteinssorten zu konditionieren. Die Konditionierung erfolgte dabei durch ein elektroabrasives Schärfverfahren (*ECDD: **E**lectro **C**ontact **D**ischarge **D**ressing*).

Hierzu sollte ein entsprechendes Anforderungsprofil an die Systemkomponenten erarbeitet werden, diese entsprechend umgesetzt und an die Bearbeitungsmaschine adaptiert werden.

Ziel war es dann, sowohl ein geeignetes Bindungssystem für die Schleifsegmente zu eruieren, als auch dann darauf abgestimmt, entsprechende, effektive und optimierte Prozessparameter für die Kontakterosion zu verifizieren.

Forschungsergebnisse

Als Referenzprozess wurden die Prozesskräfte F_n und F_t und der aufsummierte Radialverschleiß r über die jeweilige Schnittfläche für die Bearbeitung von Granit und Sandstein ermittelt (vgl. Abbildung 1).

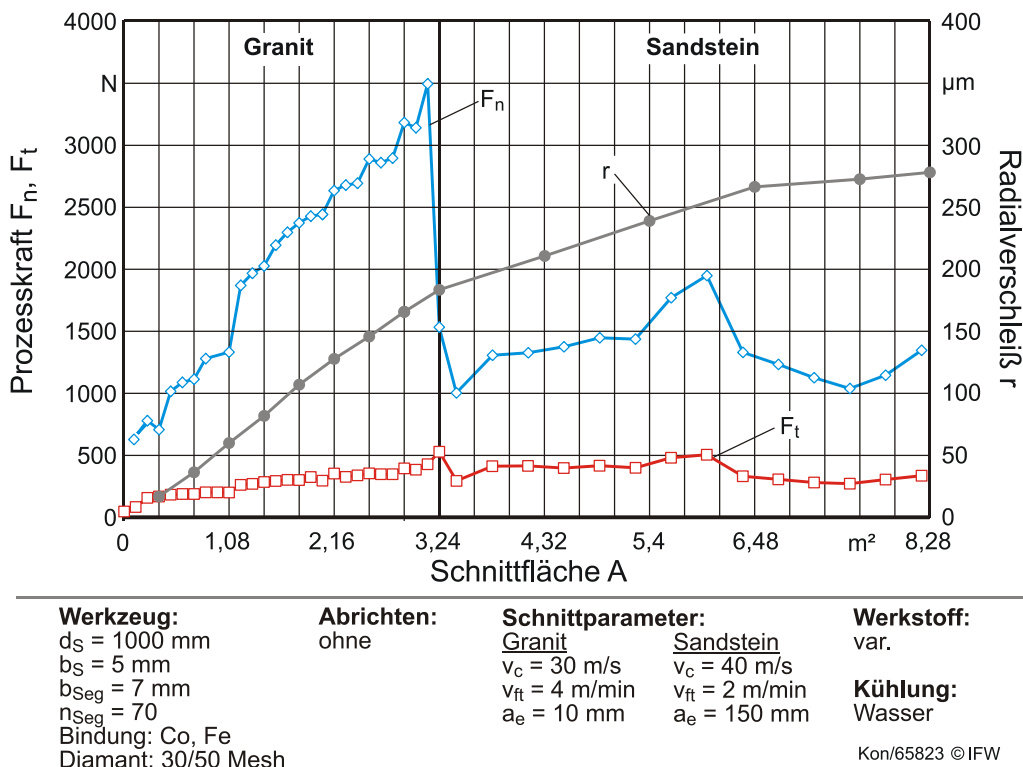


Abbildung 1: Kräfte- und Verschleißentwicklung bei abwechselnder Bearbeitung von Hart- und Weichgestein ohne ECDD

Deutlich erkennt man, dass sich bereits nach zwei Schnittfugen ($0,72 \text{ m}^2$) die Prozesskräfte bereits verdoppelt haben. Dieser steile Anstieg ist für speziell auf harten Granit abgestimmte Segmente durchaus repräsentativ. Beim Wechsel auf den abrasiven Sandstein fällt die Normalkraft wegen des geringeren Widerstands des körnigen Gefüges sprunghaft. Über die weitere Bearbeitungsfläche von fünf Quadratmetern wird ein Selbstschärfzyklus sichtbar. Der abrasive Werkstoff ist mit dem neuen Werkzeug, aufgrund dessen relativ harter Bindungsabstimmung,

prozesssicher bearbeitbar. Jedoch deutet die hohe Normalkraftamplitude auf eine nicht optimale Werkzeugabstimmung hin.

Testreihen mit der neuen ECDD-Vorrichtung und dem neu spezifizierten Werkzeug wurden mit unterschiedlichen Elektrodenstellgrößen im Maschinenleerlauf durchgeführt. Die Verläufe der Entladungsfrequenz in Abhängigkeit des auf einen Millimeter Schleifscheibenbreite bezogenen Elektrodenzeitspanvolumens Q'_{ds} für unterschiedliche Elektrodenspannungen in Abbildung 2 belegen einen nahezu linearen Zusammenhang der beiden Größen.

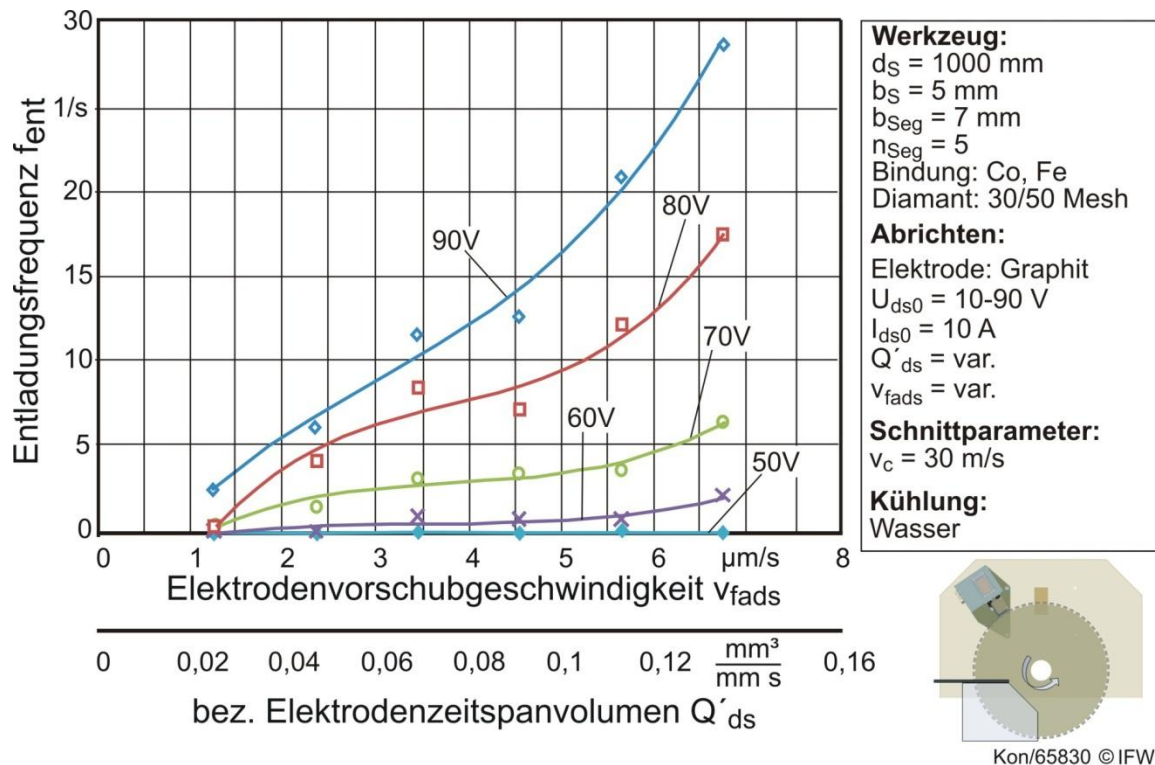


Abbildung 2: Entladungshäufigkeit in Abhängigkeit des Elektrodenzeitspanvolumens und der Leerlaufspannung U_{ds0}

Als zu empfehlender Arbeitsbereich wurden eine elektrische Spannung von 90 V, eine Stromstärke von 10 A und ein Elektrodenvorschub von 1,1 $\mu\text{m/s}$ erarbeitet. Dabei ist unter Berücksichtigung der Arbeitssicherheitsverordnung auf eine angemessene Schutzvorrichtung und besonders geschultes Personal zu achten.

Abbildung 3 zeigt eine Segmentoberfläche vor und nach einer Erodierdauer von 15 min mit hoher Spannung $U_{ds0} = 90 \text{ V}$ im Maschinenleerlauf. Insbesondere die Bindungsrücken der Diamanten werden abgetragen. Auffällig ist zudem der erhöhte Abtrag der Segmentaußenkanten. Es tritt eine Verrundung auf, die über die Versuchsreihen hinweg bis zu einem stationären Wert größer wird. Dies ist durch eine erhöhte elektrische Feldliniendichte im Kantenbereich zu erklären, wodurch der ECDD-Effekt verstärkt wird.

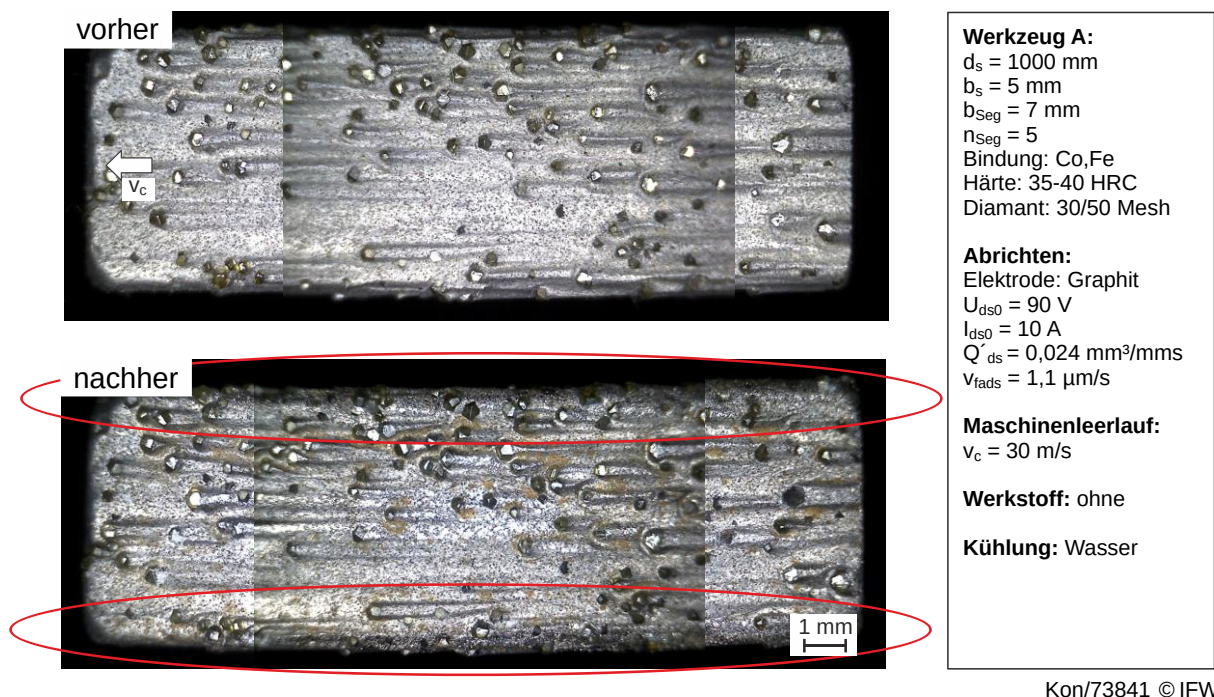


Abbildung 3: Veränderung der Segmenttopographie durch ECDD im Maschinenleerlauf bei $U_{\text{ds0}} = 90 \text{ V}$

Im Folgenden wurde die Wirkung des kontaktersiven Schärfens auf die Einsatzbedingungen des Werkzeugs während des Trennschleifprozesses untersucht. Hierzu wurde das Ausgangswerkzeug zunächst an Granit eingesetzt. Die Schnittparameter entsprachen hier, analog zu den Referenzuntersuchungen ohne ECDD, den für Granit Klasse 3 üblichen Werten. Abbildung 4 stellt die Prozesskräfte sowie die Spindelleistung über die Schnittfläche von drei Schnittfugen dar. Der Werkzeugausgangszustand resultiert aus der Sandsteinbearbeitung der Referenzuntersuchungen.

Es zeigt sich dabei, dass die Normalkräfte unter Einfluss des ECDD-Einsatzes umgehend linear sinken und innerhalb einer halben Schnittfuge ein konstantes Niveau erreichen. Für die weiteren beiden Schnittfugen verharren die Normalkräfte auf diesem Niveau. Die Tangentialkraft und die Spindelleistung verlaufen proportional zur Normalkraft, was auch den Erwartungen entspricht.

Die axiale Werkzeugschwingungsamplitude a_s folgt im Trend ebenfalls den Prozesskräften (Abbildung 5). Der im Mittel zwanzigprozentige Anstieg der Schwingungsamplitude von der ersten bis zur letzten Zustellung je Fuge resultiert aus einer minimalen Verkipfung von Werkzeugachse und Zustellebene.

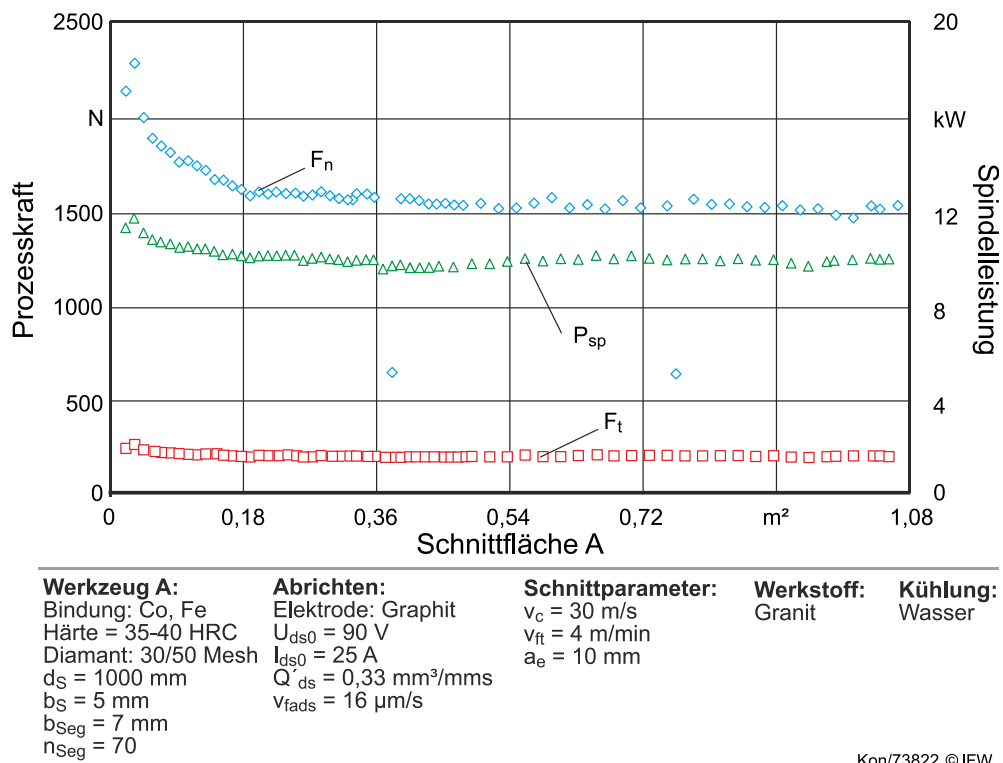


Abbildung 4: Prozesskraft und Spindelleistung bei ECDD-unterstützter Granitbearbeitung

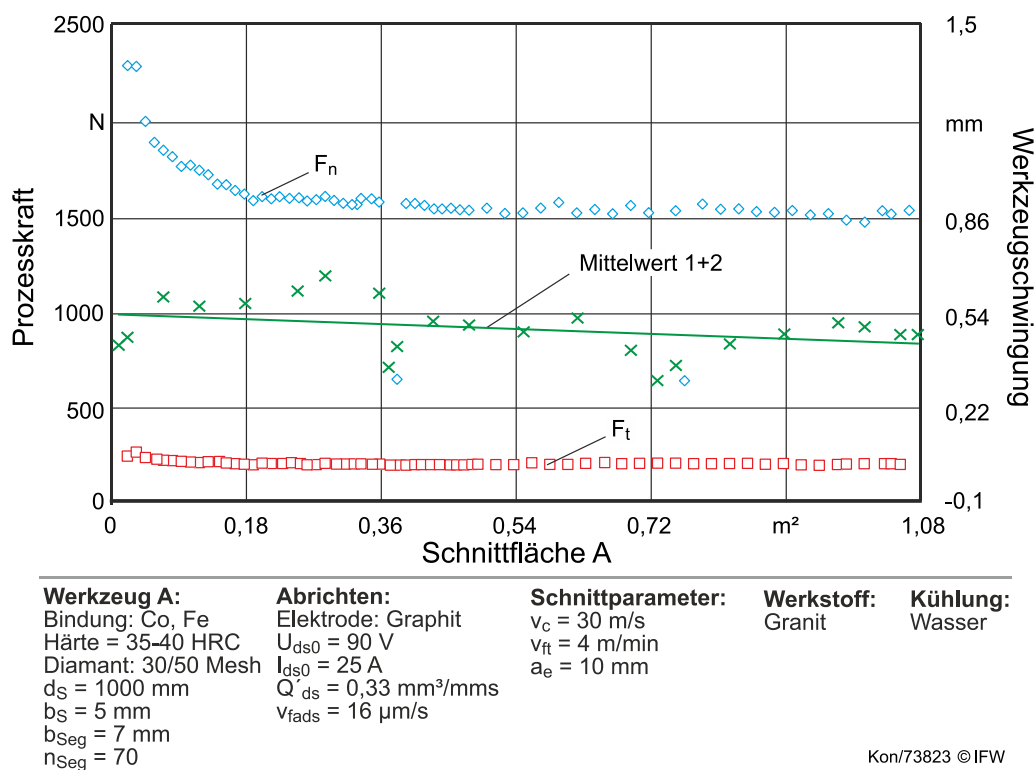


Abbildung 5: Prozesskraft und axiale Werkzeugschwingung bei ECDD-unterstützter Granitbearbeitung

Die Prozesskräfte und die axialen Werkzeugschwingungen bei wechselnder Bearbeitung mit und ohne ECDD-Unterstützung sind exemplarisch in der Abbildung 6 dargestellt. Nach der Bearbeitung von zwei Fugen mit ECDD-Einheit wurde diese deaktiviert und konventionell weiterbearbeitet (ab 0,72 m²).

Aus einem stabilisierten Bereich heraus, steigen die Prozesskräfte und die axialen Werkzeugschwingungen nach Abschaltung der ECDD-Einheit nach einer halben Schnittfuge wieder annähernd linear an (ab 0,9 m²).

Nach insgesamt zwei Fugen ohne ECDD wurde die Schärfvorrichtung für zwei weitere Fugen wieder eingeschaltet, um die Reaktionszeit des Schäreffekts erneut zu beurteilen. Deutlich wird die unmittelbar einsetzende Stabilisierung der Normalkraft auf mittlerem Niveau mit leicht abfallender Tendenz durch Schärfung.

Der Kräfteanstieg wird von den Werkzeugschwingungen in Form einer höheren Amplitudenschwankung je Schnittfuge nachvollzogen. Mit einsetzender Kräftestabilisierung nimmt die Schwingungsamplitude ebenfalls ab.

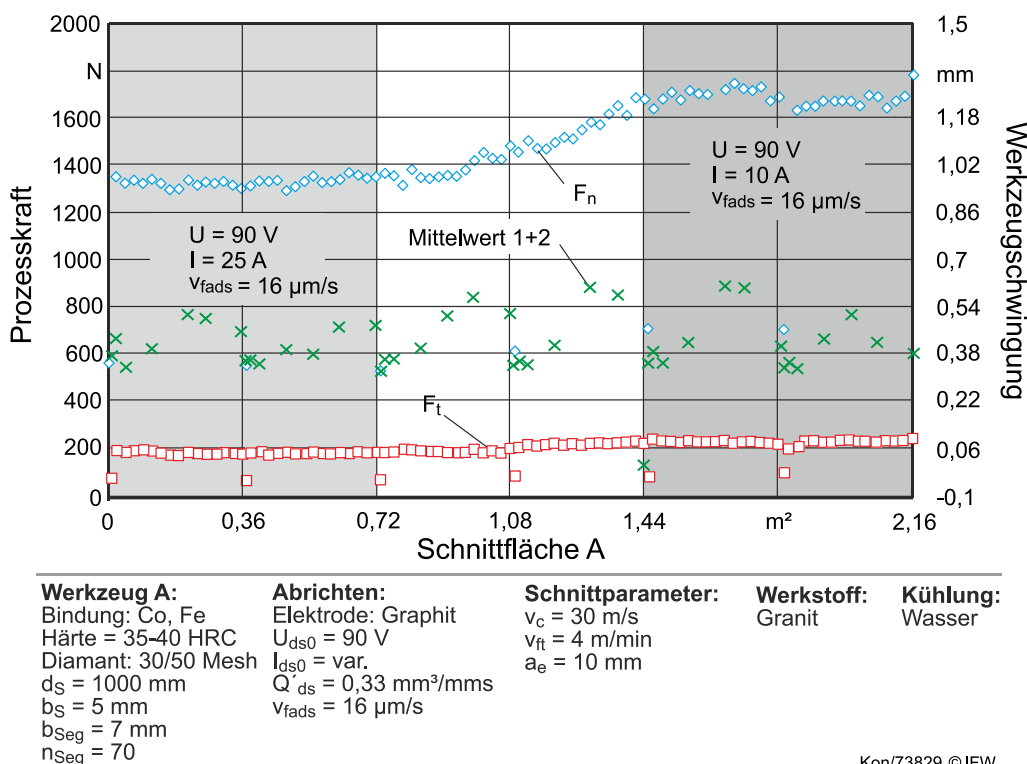


Abbildung 6: Prozesskraft und axiale Werkzeugschwingung bei Granitbearbeitung, zeitlich unterbrochene ECDD-Unterstützung

Abbildung 7 zeigt die Kraftverläufe, Spindelleistung und Stromstärke für Werkzeug C bei der Bearbeitung von Granit. Zu Beginn der Messreihe ohne ECDD-Unterstützung ist der Startwert der Prozesskräfte mit den Werten von Werkzeug A. Über eine Schnittfläche von 9 Fugen ist die gleichmäßige Kraftzunahme bei Werkzeug C jedoch geringer, wie ein Endwert von F_n = 2500 N im Vergleich zu F_n = 3500 N bei Werkzeug A belegt. Trotz der nominell identischen Bindungshärte von 35-40 HRC beider

Werkzeuge ist bei der Bronzebindung die natürliche Abrasionsfähigkeit durch Granitpartikel besser ausgeprägt.

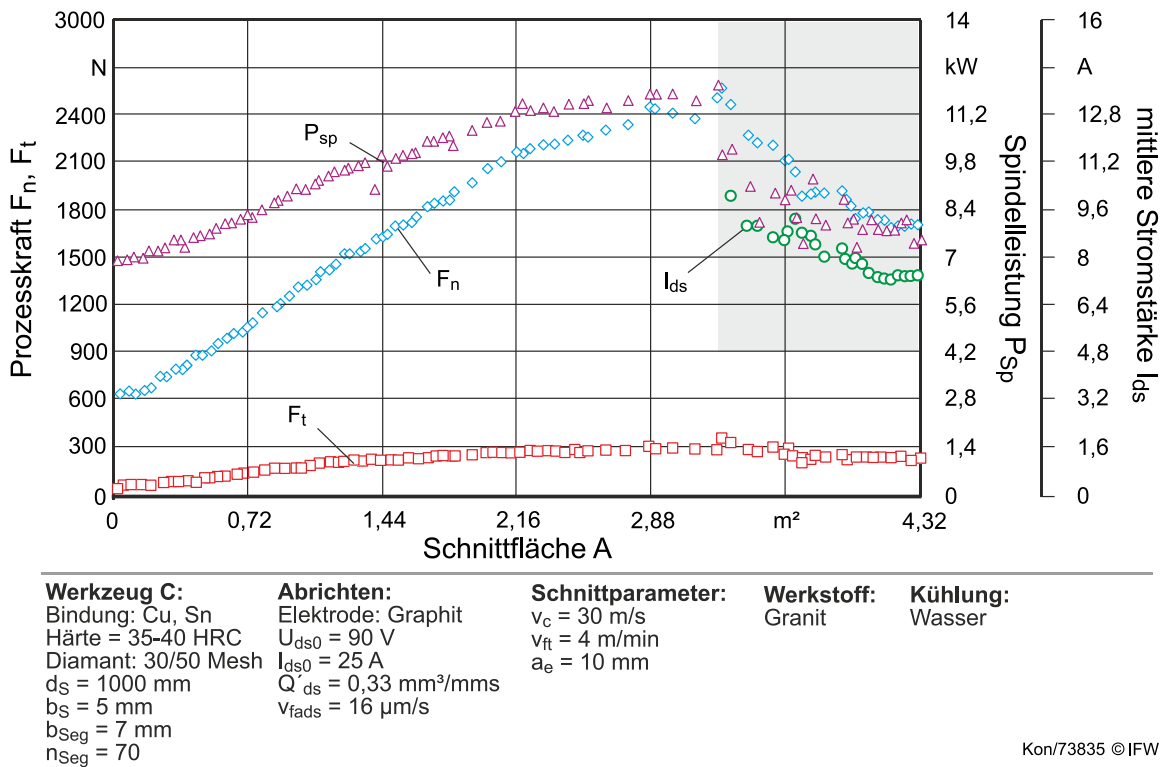
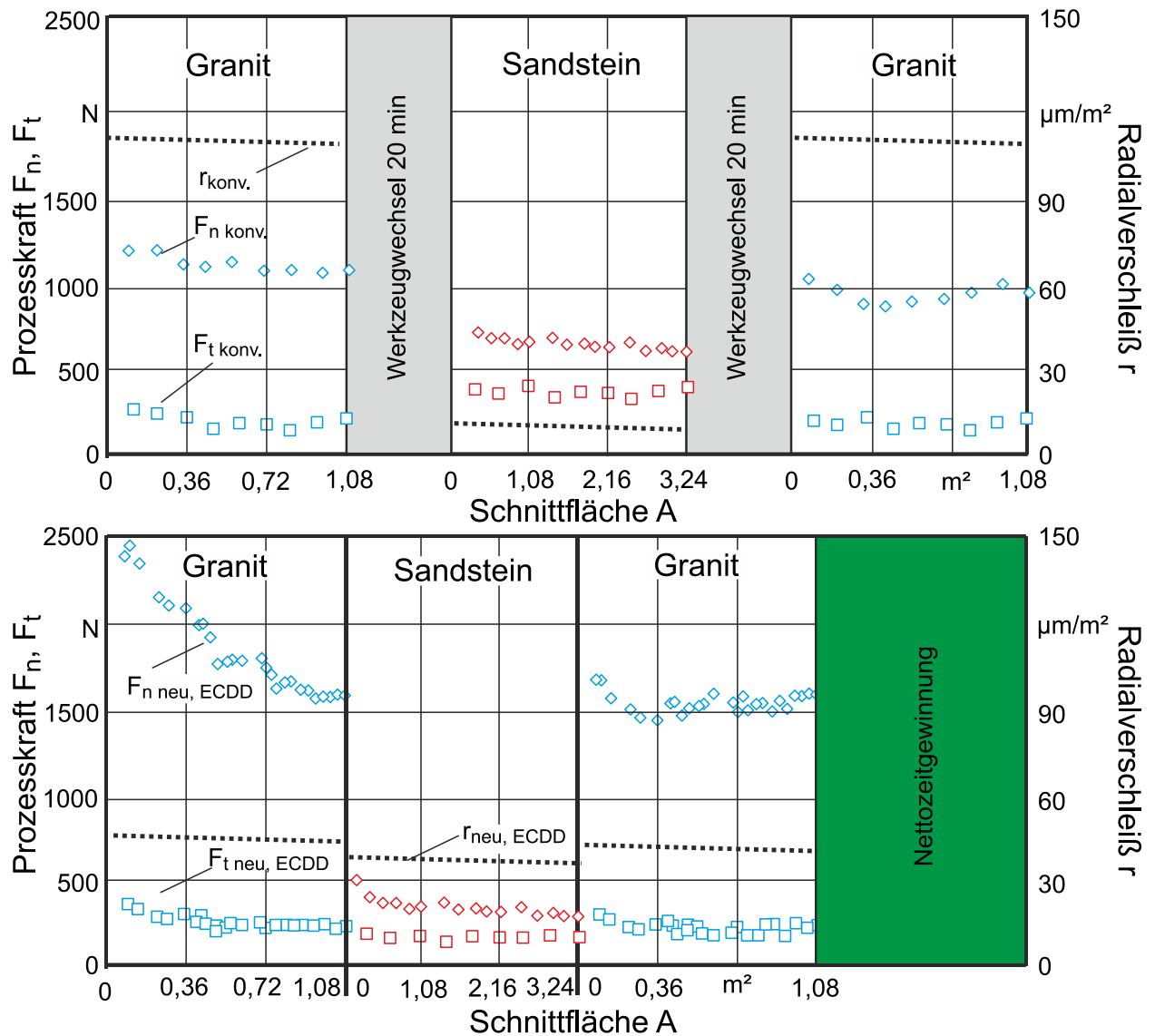


Abbildung 7: Prozesskraft, Spindelleistung und mittlere Stromstärke bei Granitbearbeitung mit Werkzeug C

Der im Anschluss wirkende Einfluss der ECDD-Schärfung ist hingegen mit einer Senkung um 800 N über eine Schnittfläche von 3 Fugen (1,08 m²) identisch zu Werkzeug A. Die mittlere Stromstärke sowie die gemessene Spindelleistung sind ebenfalls vergleichbar.

Eine Gegenüberstellung der drei Werkzeugtypen bei der Bearbeitung von Sandstein belegt ein im Vergleich sehr niedriges Prozesskraftniveau bei Werkzeug C. Die Werte der Eisen-Kobalt-Werkzeuge A und B sind demgegenüber um 75-120 % größer. Der schärfende Abrasionseffekt durch Sandsteinpartikel ist bei der Bronzebindung somit am höchsten. Anhand der Normalkraftsenkung bei den Fe-Co-Werkzeugen um 200 N bei einer Schnittfläche von 1,44 m² ist festzuhalten, dass auch mit diesen eine prozesssichere Sandsteinbearbeitung möglich ist. Aufgrund der mineralischen Ähnlichkeit des Sandsteins mit herkömmlichen karbonatreichen Betonspezifikationen der Bearbeitungsklasse A-B sind die hier verwendeten Werkzeuge an Beton ebenfalls anwendbar.

In einer Nutzwertanalyse konnte dargestellt werden, welches Zeiteinsparungspotential bei einem Bearbeitungswechsel auf eine andere Gesteinsart unter Nutzung des ECDD-Verfahrens vorliegt (Abbildung 8).



	Werkzeug für ECDD:	Werkzeug Granit:	Werkzeug Sandstein:	Schnittparameter:		Abrichten:
Bindung:	Cu, Sn	Fe, Co	Fe, Co	Granit	Sandstein	Elektrode: Graphit
Härte [HRC]:	35-40	25-25	25-25	$v_c = 30$ m/s	$v_c = 40$ m/s	$U_{ds0} = 90$ V
Diamant [Mesh]:	30/50	30/35	20/25	$v_{ft} = 4$ m/min	$v_{ft} = 2$ m/min	$I_{ds0} = 25$ A
d_s [mm]:	1000	1000	1000	$a_e = 10$ mm	$a_e = 150$ mm	$Q'_{ds} = 0,33$ mm ³ /mms
b_s [mm]:	5	5	5			$v_{fads} = 16$ μ m/s
b_{seg} [mm]:	7	7	7			
n_{seg} :	70	70	70	Kühlung: Wasser	Werkstoff: var.	

Kon/73843 © IFW

Abbildung 8: Gegenüberstellung: konventioneller Bearbeitungsprozess mit unterschiedlichen Werkzeugen (oben), Bearbeitung mit neuem Werkzeug und ECDD (unten)

Dieses Potential ist durchaus sehr individuell erreichbar, da es sowohl von den Spanvolumina, als auch den individuellen Bearbeitungsmaschinenparametern abhängig ist. Grundsätzlich konnte aber aufgezeigt werden, in welchem hohen Maße das qualifizierte Verfahren der In-Prozess ECDD-Konditionierung von Trennschleifscheiben für die Gesteinsbearbeitung und deren Anwendungsmöglichkeiten insbesondere für klein- und mittelständische Unternehmen einen innovativen Beitrag zur Wirtschaftlichkeitssteigerung liefert.

Zusammenfassung

Im Rahmen des IGF-Vorhabens wurde ein entsprechendes Anforderungsprofil der zu entwickelnden ECDD-Schärfttechnologie erstellt. Auf dieser Basis erfolgten dann die Konzeptionierung, der Bau der notwendigen Systemkomponenten, die Adaption an die Versuchsmaschine und entsprechende, erfolgreiche Testläufe. Somit konnte in einem ersten Schritt grundsätzlich die Realisierung und die Wirksamkeit des ECDD-Verfahrens an großen Trennschleifscheiben für die Gesteinsbearbeitung nachgewiesen werden. Eine entsprechende Bindungsrücksetzung konnte erzielt werden.

In einem weiteren Schritt konnten geeignete Arbeitsbereiche für die Kontakterosions-Parameter eruiert und festgelegt werden. Im Wesentlichen leistet ein konventioneller 230 V Anschluss in Verbindung mit einem handelsüblichen Netzteil die benötigten 90 V Gleichspannung bei einer Stromstärke von kleiner 10 A. Eine effektive Abtragsleistung stellte sich dabei ab 70 V und ab 5 A ein, welche allerdings auch abhängig von der Bindungslegierung ist.

So konnte ein großflächiger Bindungsabtrag erzielt werden, der vorwiegend im Bereich des Bindungsrückens stattfand. Eine Abtragsleistung konnte an allen untersuchten Bindungssystemen erzielt werden, wobei die mittelharte Bronzebindung aufgrund ihres geringeren Schmelzpunktes leichter abrichtbar ist. Durch das Werkzeugdesign ist damit die Bearbeitung mit jeweils an den Werkstoff angepassten Parametern möglich.

Eine weitere Erhöhung der Abtragsleistung konnte in der Trockenbearbeitung erzielt werden.

Als Fazit dieser Untersuchungsreihe zum Werkstoffwechsel mit einem neu angepassten Werkzeug und ECDD-Unterstützung sind folgende Punkte festzuhalten:

- Die Bearbeitung von Hartgestein ist prozesssicher möglich
- Die Bearbeitbarkeit von Weichgestein ist verbessert, wobei die Prozesskräfte um 50 % und die Prozesskraftschwankung um 80 % reduziert wurden
- Bindungsrücksetzung zeigt positive Effekte auf die Normalkraft F_n und die axialen Werkzeugschwingung a_s
- Der direkte Vergleich zwischen einer Bearbeitung ohne ECDD-Anwendung und mit ECDD-Unterstützung zeigt eine deutliche Prozessstabilisierung durch das Schärfverfahren
- Eine Effizienzsteigerung durch die Anwendung des ECDD-Verfahrens stellt sich ein

Somit konnten unterschiedliche Gesteinsarten nacheinander mit demselben Werkzeug unter Zuhilfenahme des ECDD-Verfahrens effizient bearbeitet werden. Dabei ist ein Wechsel von Hart- auf Weichgestein und umgekehrt in der Bearbeitungsmaschine ohne Werkzeugwechsel prozesssicher realisierbar. Aufgrund der Spezifikationsnähe von Sandstein zu handelsüblichem Beton lässt sich das neu entwickelte Verfahren ebenso außerhalb des Natursteinsektors applizieren.

Neben den direkten Prozessparametern und –eigenschaften ist der quantitative Werkzeugverschleiß ein weiteres Kriterium. Dieser erhöht sich infolge der abrasiven Schärfmethode zwar um bis zu 30 %, allerdings kann dieser bei der Werkzeugherstellung durch höhere Segmente kompensiert werden, so dass Standzeiten vergleichbar bleiben. Die höheren Werkzeugkosten sind dabei marginal zu dem Einsparungspotential durch wegfallende Neben- und Rüstzeiten.

Besonderes Potential bietet hier noch die Anwendung des ECDD-Verfahrens in den Nebenzeiten. Ein elektroabrasives Schärfen ohne den Einfluss von Kühlwasser zeigte erhöhte Abtragsraten. Hier wäre es denkbar, das ECDD-Verfahren während des Rückfahrens der Trennschleifscheibe ohne Kühlwasser anzuwenden. Weitere Versuchsreihen, die über die Inhalte dieses Forschungsvorhabens hinausgehen, sind hier empfehlenswert.

Ein besonderer Dank gilt allen Mitgliedern im projektbegleitenden Ausschuss für die gute Zusammenarbeit und für die Unterstützung bei der Durchführung der Forschungsarbeiten.

Eine Langfassung der Forschungsarbeiten kann in Form eines Schlussberichts bei der Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V., Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid, www.fgw.de, angefordert werden.

Weiter Informationen erhalten Sie bei Herrn Dr. Christian Pelshenke unter 02191 5921.0.