

Titel

Mechanisches Abrichten von Trennschleifscheiben in der Bauindustrie

IGF-Nr.: 20331 N

Forschungseinrichtungen

Forschungseinrichtung 1: Institut für Werkzeugforschung und Werkstoffe

Remscheid (IFW)

Forschungseinrichtung 2: Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen

Hannover (IFW)



Ansprechpartner beim Institut 1:

M. Sc. Timo Koll
02191 / 5921 121
koll@fgw.de

Ansprechpartner beim Institut 2:

M. Sc. Lennart Köhler
0511 / 762 18850
Koehler@ifw.uni-hannover.de

Danksagungen

Das IGF-Vorhaben 20331 N der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Werkzeuge und Werkstoffe e.V. – FGW, Papenberger Straße 49, 42859 Remscheid wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung des Forschungsprojekts.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ausgangssituation

Deutschland hat es sich zum Ziel gesetzt, seine kerntechnischen Anlagen bis zum Jahr 2022 vom Netz zu nehmen. Im Anschluss an die Stilllegung ist der vollständige Rückbau dieser Anlagen vorgesehen. Dafür müssen großvolumige Strukturen aus Beton und Stahl in transportfähige Teile zerlegt werden. Die Zerlegung dieser großen Strukturen erfordert lange Schnitte und stellt eine große Herausforderung für die eingesetzten Werkzeuge und Prozesse dar. Klassischerweise werden in der Bauindustrie segmentierte Trennschleifblätter mit Diamantkörnern und einer weichen Bindung verwendet. Letztere ermöglicht eine konstante Selbstschärfung der Trennschleifscheiben, was den Einsatz für ein breites Anwendungsgebiet ermöglicht. Damit ist jedoch ein vergleichsweise hoher Verschleiß, bedingt durch das frühzeitige Ausbrechen der Schleifkörner aus der Bindung, verbunden. Eine Möglichkeit, den Verschleiß zu beeinflussen, ist die Verwendung einer härteren Schleifscheibenbindung, das zum Anstieg der Kornhaltekräfte führt. Dies führt dazu, dass die Schleifkörner auch bei großen Belastungen in der Bindung gehalten werden. So wird der Verschleiß der Scheibe reduziert und der Materialabtrag maximiert. Die hohe Festigkeit der Bindung führt jedoch auch dazu, dass die abrasive Wirkung der unterschiedlichen Werkstückmaterialien nicht mehr ausreicht, um die Bindung abzutragen und neue Schleifkörner freizulegen. Diese Schleifscheiben müssen deshalb in regelmäßigen Abständen nachgeschärft werden.

Forschungsziel

Das Ziel dieses Vorhabens war die Verfügbarkeit eines an die Belastungssituation angepassten mechanischen Abrichtverfahrens zur Leistungssteigerung von Trennschleifscheiben.

Hierbei waren im Wesentlichen fünf Teilziele zu erreichen. Im ersten Teilziel stand die Bestimmung der Leistungsgrenzen und Versagensmechanismen aktueller Standardwerkzeuge bei der Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffzusammensetzungen im Vordergrund. Das zweite Teilziel umfasste die Realisierung eines mechanischen Abrichtprozesses, der anschließend auf den Verschleißfortschritt im Schleifprozess abgestimmt wird. Das dritte Teilziel beinhaltete die Entwicklung eines abrichtbaren Trennschleifwerkzeuges, dessen Eigenschaften hinsichtlich der Bindungszusammensetzung gezielt für das mechanische Abrichten angepasst sind. Das vierte Teilziel war die Kenntnis über den Einfluss des Abrichtprozesses auf das Trennverhalten der Werkzeuge in Bezug auf die Bearbeitungskräfte, die Schnittleistung sowie die Stabilität des Trennschnittes. Durch In-Prozess-Abrichten sollten kontinuierlich scharfe Werkzeuge erzeugt werden. Als fünftes Teilziel stand die Validierung der gewonnenen Erkenntnisse an einem Demonstrator unter Realbedingungen.

Vorgehensweise und Forschungsergebnisse

Für die Untersuchungen zur Wirksamkeit des konventionellen Schärfprozesses und des prozessparallelen Schärfens beim Trennschnitt von armiertem Beton wurde eine Brückensäge der Fa. Dr. Schulze eingesetzt (Bild 1). Diese verfügt über eine Leistung von 12,6 kW und einer maximalen Drehzahl von 2.820 min^{-1} .

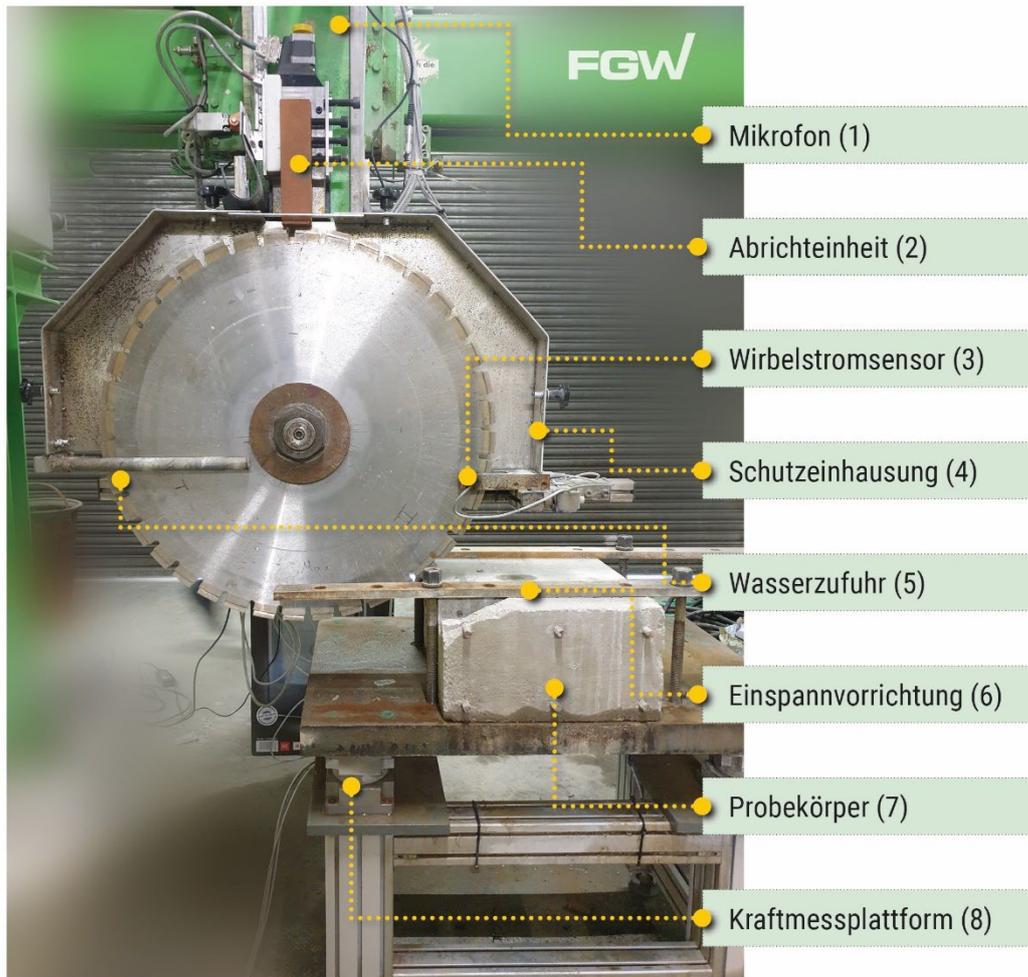


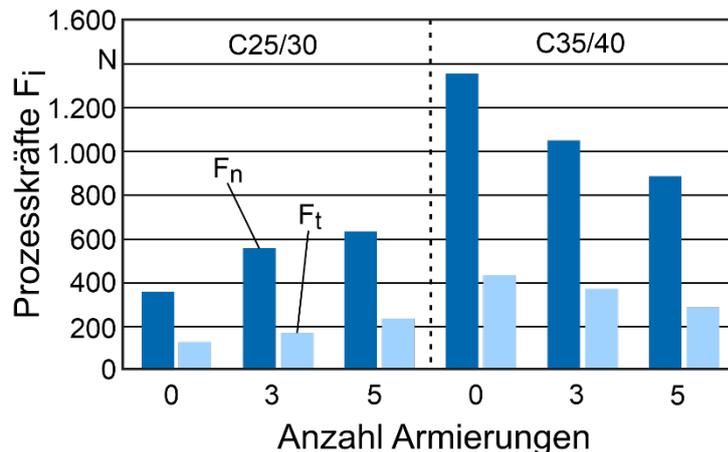
Bild 1: Versuchsaufbau

Der Probekörper (7) wurde mittels der Einspannvorrichtung (6) auf den Maschinentisch fixiert. Über die Kraftmessplattform (8) erfolge die Messung der Prozesskräfte. Ein Mikrophon (1) diente zur akustischen Analyse des Prozesses und Wirbelstromsensoren (3) zur Schwingungsanalyse. Die Abrichteinheit (2) für das In-Prozess-Schärfen (IPS) besteht aus einer Linearachse mit zugehöriger Aufnahme für einen Schärstein. Der Verfahrensweg der Linearachse beträgt 50 mm. Hierdurch wird ein kontinuierlich oder gepulster Schärfprozess im Trennschnitt ermöglicht. Für den Schärfprozess wurden drei verschiedene Schärsteine auf Korundbasis mit einem Mesh von #46, #60 und #80 untersucht. Beim IPS wird der Schärstein über die Abrichteinheit (2) vertikal in Richtung des Achsenmittelpunkts des Werkzeugs bewegt. Für den konventionellen Schärf-

prozess wird ein Schärstein längs auf dem Maschinentisch mittels der Einspannvorrichtung (6) gespannt und durchfahren. Das Schärfvolumen wird für das IPS und konventionelle Schärfe gleichgehalten.

Die Untersuchungen wurden mit den folgenden Parametern durchgeführt: Zustellung $a_e = 70$ mm, Schnittgeschwindigkeit $v_c = 40$ m/s und Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 100$ mm/min. Im konventionellen Schärfeprozess wurde die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 100 mm/min und 1000 mm/min variiert, für das IPS wurde zwischen kontinuierlicher und gepulster Zustellung unterschieden. Als Probekörper dienten zehn verschiedene Ausführungen aus Stahlbetonquadern (500 x 370 x 200 [mm]). Die Überdeckung (Abstand zwischen der Betonoberfläche und der Außenkante des vom Beton umhüllten Bewehrungsstahls) beträgt 3,5 – 4 cm. Die Betonquader sind mit einer zweilagigen Rundarmierung versehen. Es wurden fünf verschiedene Armierungsvarianten für zwei unterschiedliche Betonfestigkeiten, C25/30 und C35/40, untersucht.

Zu Beginn galt es die Kenntnis über das Verschleißverhalten industrieller Standardtrennschleifwerkzeuge zu gewinnen. Diese Werkzeuge weisen eine weiche Bindung der Schleifsegmente auf, durch die eine Selbstschärfung des Werkzeugs im Beton erreicht wird. Um das Verschleißverhalten zu charakterisieren, wurden experimentelle Zerspanuntersuchungen durchgeführt, bei denen der Einfluss des Verschleißes auf die Prozesskräfte und die Werkzeugschwingungen ermittelt wurden. Die Prozesskräfte wurden piezoelektrisch über eine Kraftmessplattform, die Schwingungen mittels Wirbelstromsensoren erfasst. Zusätzlich wurde in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss ein Mikrofon an der Säge installiert, um die akustischen Signale des Prozesses aufnehmen und analysieren zu können.

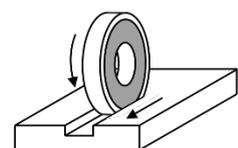


Werkzeug

Trennschleifscheibe C1
weiche Bindung
Korngröße D400
Stahlbeton

Prozessstellgrößen

Schnittgeschwindigkeit $v_c = 40$ m/s
Zustellung $a_e = 70$ mm
Vorschub $v_f = 100$ mm/min
Schnittlänge $l = 370$ mm



Kö/102472 © IFW

Bild 2: Prozesskräfte bei unterschiedlichen Armierungsvarianten

Unter Verwendung von Kühlschmierstoff wurde festgestellt, dass beim Trennschnitt von armiertem Beton mit den Festigkeitsklassen C25/30 und C35/40 in Abhängigkeit der Anzahl der Armierungen ein gegenläufiger Trend des Kraftverlaufs entsteht. Für die Festigkeitsklasse C25/30 steigt die Normal- und Tangentialkraft mit zunehmender Anzahl und Stärke der Armierung, wohingegen diese bei C35/40 fällt (Bild 2).

Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das Trennen der Armierung beim Beton der höheren Festigkeit durch die geringeren Kräfte einen geringeren Aufwand zur Trennung bedeuten. Im Trockenschnitt der ersten Versuchsreihe war dieser Trend nicht sichtbar, da die Kräfte mit steigender Armierung angestiegen sind. Bei den Versuchen mit Kühlung konnten, aufgrund der Kühlschmierbedingungen und damit einhergehenden Vermeidung von kritischen thermischen Lasten, alle untersuchten Armierungen und Betonfestigkeiten getrennt werden.

In Bild 3 ist der Einfluss der Werkstoffzusammensetzung auf die Spitzenhöhe für die konventionelle Trennschleifscheibe sowie drei repräsentative Aufnahmen von Segmenten dargestellt. Die Betrachtung der Segmente zeigt, dass die qualitativen Unterschiede nach dem Trennen von Beton mit unterschiedlicher Armierung nur gering sind. Diese Beobachtung wird durch die Analyse der Spitzenhöhe unterstützt. Die Höhe der Körner beträgt im Mittel 60 μm , unabhängig davon, welche Betonsorte und wie viele Armierungsstäbe getrennt wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass es aufgrund der abrasiven Wirkung des Betons zu einem gleichmäßigen Verschleiß von Schleifkorn und Bindung kommt. So ist gewährleistet, dass zu jedem Zeitpunkt während des Trennschnitts die gleiche, schnittfähige Topographie vorliegt.

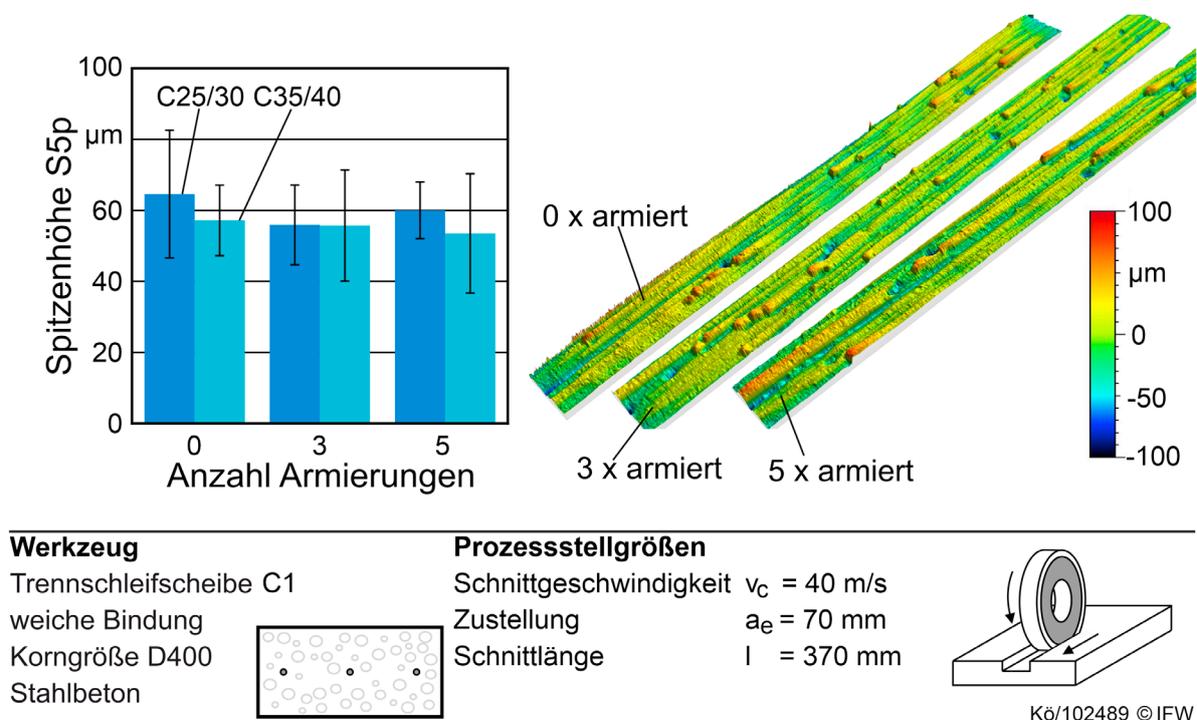


Bild 3: Einfluss der Werkstoffzusammensetzung auf die Topographie des Referenzwerkzeuges.

Bild 4), so wird ersichtlich, dass die Schwingungen im Leerlauf

zwischen 1.000 und 1.500 Hz liegen. Sobald die Trennschleifscheibe im Einsatz ist, werden weitere Frequenzen angeregt. Das Hauptspektrum liegt zwischen 2.500 und 4.000 Hz. Die Anregung des gesamten Frequenzspektrums beim Trennen der drei Armierungen (3x rot gekennzeichnet) wird ebenfalls deutlich. Die Analyse des akustischen Signals zur Bewertung der Werkzeugschwingung hat sich im Gegensatz zu den Wirbelstromsensoren aufgrund der starken Maschinenschwingungen als zielführender herausgestellt.

Eine aufgrund von Verschleiß auftretende Frequenzverschiebung konnte im Laufe der Versuche nicht beobachtet werden. Um die Untersuchungen eines möglichen Effekts des Verschleißes auf die Eigenfrequenzen zu intensivieren, wurden Versuche in reinem Stahl und keramischen Material (Dekton) durchgeführt.

Tribologisch beeinflusste Phänomene, wie z.B. Verschleiß, können frequenzspezifisch untersucht werden. Durch die im Verschleißfall auftretende Veränderung am Segment, Verrundung und Einebnung der Körner, kann es im Körperschall zu Amplitudenverschiebungen und Pegelveränderungen kommen. In der Praxis kann ein erfahrener Maschinenbediener anhand des Schleifgeräuschs oftmals bestimmen, wie schnitthaltig die Trennschleifscheibe ist.

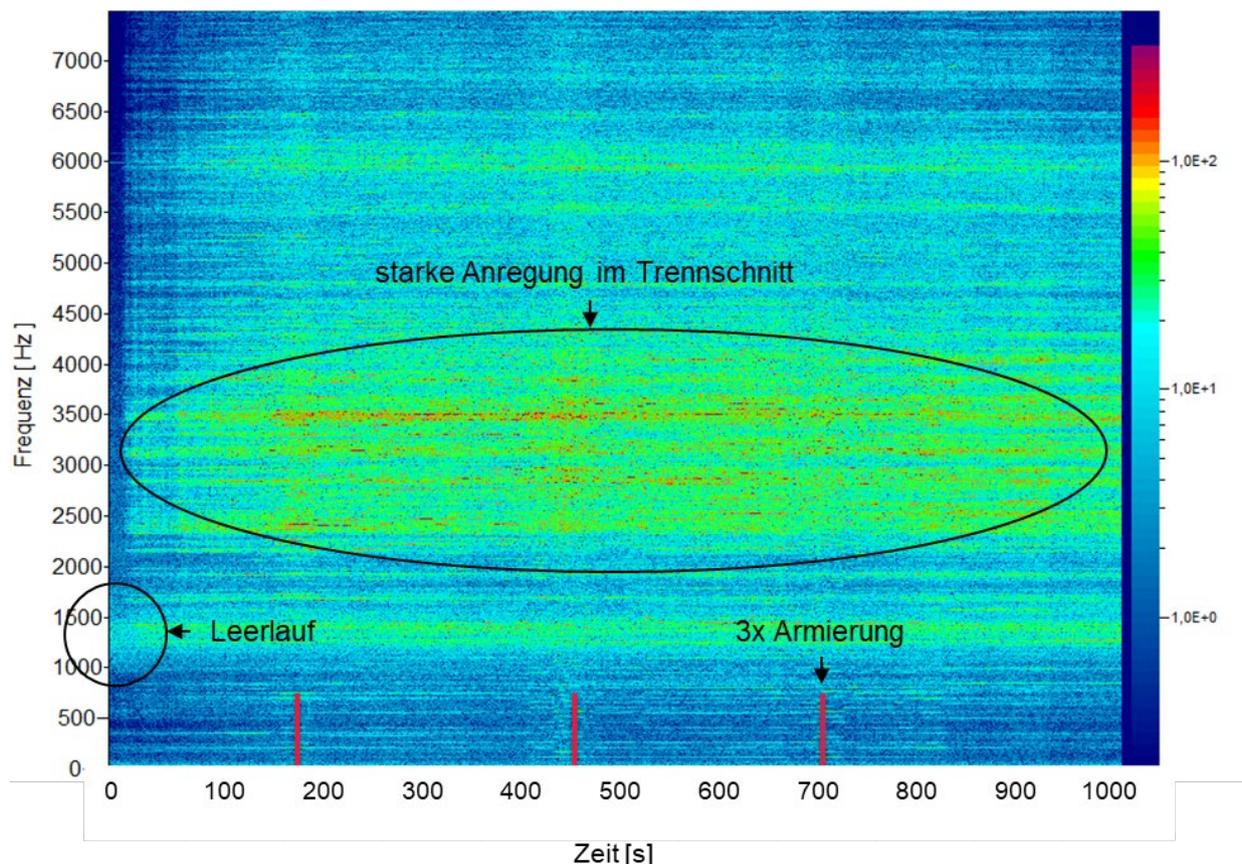


Bild 4: Auswertung der Schwingungsanalyse des akustischen Signals.

Im nächsten Schritt sollten verschiedene Abrichtverfahren im Hinblick auf ihre Eignung zur Herstellung einer einsatzfähigen Schleifscheibenoberfläche geprüft werden. Die metallische Bindung der eingesetzten Schleifscheibe war härter als die Bindung der konventionellen Trennschleifscheibe, sodass kein ausreichender Bindungsrücksatz

durch den Beton stattfindet. Die Freilegung der Schleifkörner musste in diesem Fall durch ein separates Schärfverfahren erfolgen. Im Rahmen dieses Projektes wurde das Schärfen mittels stehender und rotierender Abrichtwerkzeuge untersucht. Um den Effekt der verschiedenen Prozessstellgrößen beim Schärfen beurteilen zu können, wurde zunächst ein Referenzwerkstück getrennt, um einen vergleichbaren Ausgangszustand einzustellen. Anschließend wurde die Trennschleifscheibe geschärft. Als stehende Abrichter kamen Schärfsteine aus Korund in keramischer Bindung mit drei verschiedenen Korngrößen (F46, F60 und F80) zum Einsatz. Es wurde jeweils dasselbe Zerspanvolumen des Schärfsteins unter eingeschalteter Kühlung getrennt. Dabei wurde zusätzlich die Vorschubgeschwindigkeit in zwei Stufen (100 und 1000 mm/min) variiert. Als rotierendes Abrichtwerkzeug kam eine SiC-Formrolle mit der Korngröße F46 zum Einsatz. Es wurde der rotierende und stehende Abrichter hinsichtlich der Eignung und Effektivität für den Einsatz des Abrichtens untersucht.

Auf der linken Seite von Bild 5

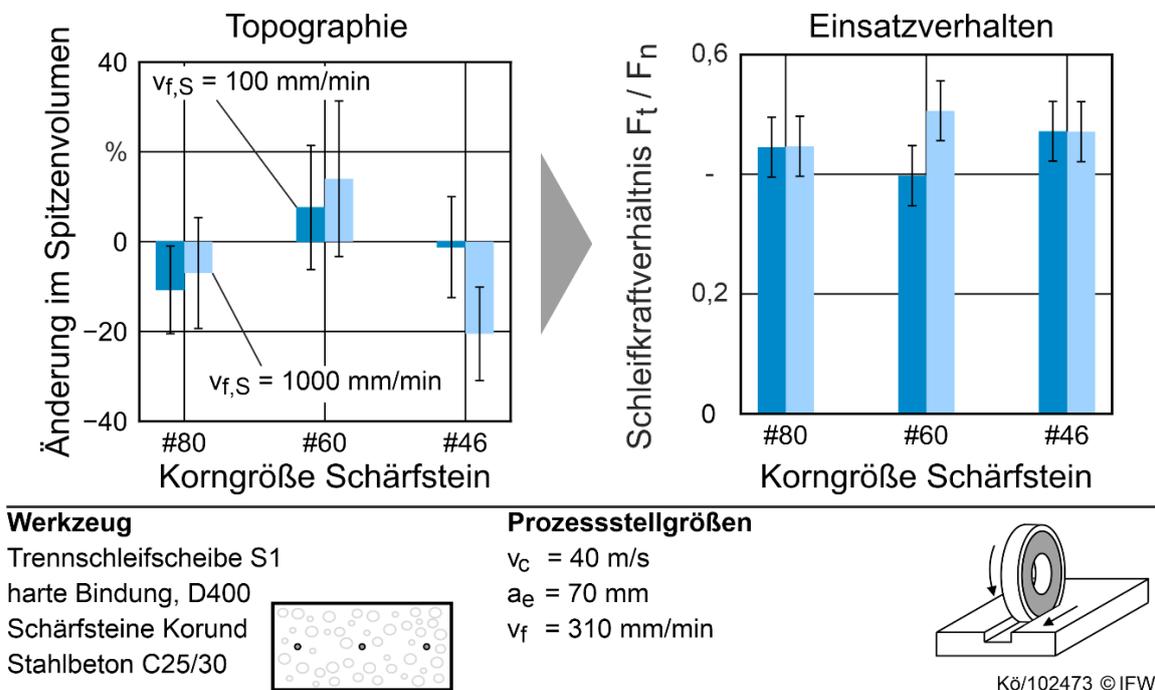


Bild 5: Einfluss der Schärfsteinkorngröße auf die Topographie und das Einsatzverhalten

Die anderen beiden Schärfe steine verursachen eine Verringerung des Spitzenvolumens. Dabei hängt die Effizienz des Schärfe prozesses stark von den Prozessstellgrößen ab. Insbesondere der Schärfe stein mit der größten Korngröße (#46) bewirkt in Kombination mit einer hohen Vorschubgeschwindigkeit eine starke Verringerung des Spitzenvolumens. Dies deutet daraufhin, dass bei dieser Parameterkombination vermehrt Körner aus der Bindung ausbrechen. Einzig mit dem Schärfe stein mit mittlerer Korngröße wird die Bindung effizient zurückgesetzt und die Schleifkörner freigelegt. Eine höhere Vorschubgeschwindigkeit verursacht ein größeres Spitzenvolumen, da mit der Vorschubgeschwindigkeit auch die Einzelkornspannungsdicke steigt. Die Körner der Schärfe steine dringen entsprechend tiefer in die Schleifscheibenbindung ein. Dies ermöglicht einen effizienteren Bindungsabtrag

Im letzten Schritt war das Ziel die Kenntnis des Einsatzverhaltens kontinuierlich scharfer Trennschleifwerkzeuge durch In-Prozess-Abriechen. In experimentellen Untersuchungen an den zu Beginn genannten Werkstoffzusammensetzungen wurde ein In-Prozess-Schärfe n während des Trennschnitts durchgeführt. Dabei wurden Versuche mit kontinuierlichem und gepulstem Schärfe n durchgeführt. Eine Aufnahme der Spindelströme ermöglichte Rückschlüsse auf die auftretenden Schnittkräfte und erlaubt die bedarfsgerechte Anpassung des Abriechprozesses. Über die Auswertung der Prozesskräfte, der Werkzeugschwingungen und des eintretenden Verschleißes wurden optimale Parameter für das In-Prozess-Schärfe n identifiziert.

Zur ersten Annäherung der Effektivität des In-Prozess-Schärfe ns (IPS) wurde Baustahl verwendet, da dieser beim armierten Beton zu den auftretenden Leistungsspitzen führt. Der Versuch wurde über eine Schnittlänge von 25 cm durchgeführt. Diese Leistungsspitzen sollen zukünftig durch das In-Prozess-Schärfe n kompensiert werden. Es wurden Schärfe steine aus dem zweiten Arbeitspaket verwendet und die Zustellgeschwindigkeit variiert. Die Schärfe steine wiesen eine Korngröße von #46, #60 und #80 auf. Es zeigte sich, dass Schärfe steine mit einer feinen Körnung bei möglichst hoher Zustellgeschwindigkeit (42 mm/min) die Stromaufnahme der Antriebsspindel um 0,5 A reduzierten (Bild 6). Hier ist die feinste und gröbste Körnung dargestellt und es konnte die Stromaufnahme der Spindel im Prozess für den Zeitraum der Zustellung des Schärfe steins um bis zu ca. 1 A reduziert werden. Nach dem Schärfe vorgang kann dann wieder eine kontinuierliche Erhöhung der Stromaufnahme beobachtet werden.

Aufgrund der Ergebnisse im stationären Schärfe n wurde der Schärfe stein mit der Korngröße #60 für die Untersuchung des In-Prozess-Schärfe ns verwendet. Außerdem wurden zwei verschiedene Strategien für das prozessparallele Schärfe n untersucht: Die kontinuierliche Zustellung des Schärfe steins über den gesamten Trennschnitt mit einer Vorschubgeschwindigkeit von 0,2 mm/s und die gepulste Zustellung. Bei letzterer wurden im Trennschnitt 5 x 10 mm Schärfe stein mit einer hohen Vorschubgeschwindigkeit zugestellt. Die Zustellgeschwindigkeit wurde außerdem auf drei Stufen variiert: 9, 12 und 16 mm/s. Als Referenz diente ein Trennschnitt ohne prozessparalleles Schärfe n.

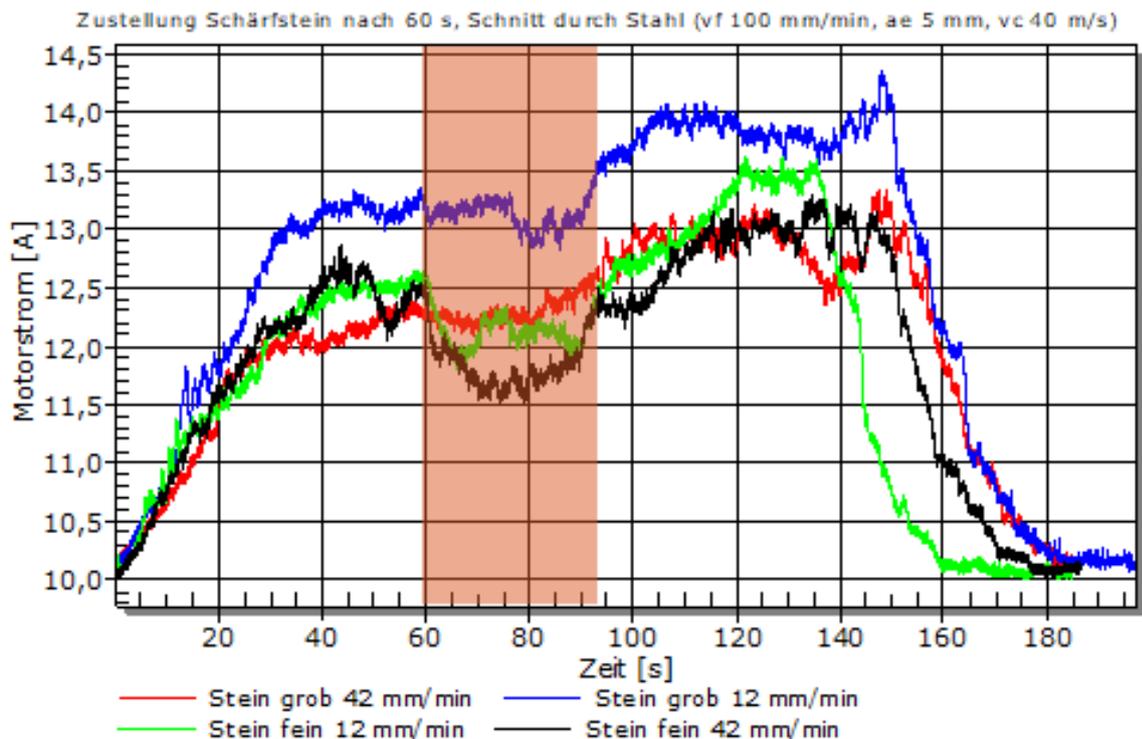


Bild 6: Stromaufnahme der Spindel beim IPS im Versuchsschnitt durch Flachstahl

In Bild 7 ist der Einfluss der verschiedenen Varianten des In-Prozess-Schärfens auf die Topographie der Schleifscheibe dargestellt. Es zeigt sich, dass das Spitzenvolumen ohne In-Prozess-Schärfen nach dem Trennschnitt bei $1,34 \text{ mm}^3/\text{m}^2$ liegt. Nach Trennschnitten mit gepulstem In-Prozess-Schärfen wurde im Mittel ein Spitzenvolumen von $1,65 \text{ mm}^3/\text{m}^2$ gemessen. Das entspricht einer Erhöhung von 23 % gegenüber dem Prozess ohne Schärfen. Im Gegensatz dazu resultiert die kontinuierliche Zustellung des Schärffsteins während des Trennschnittes in einer Verringerung des Spitzenvolumens um 32 % auf einen Wert von $0,93 \mu\text{m}$.

Der Grund dafür lässt sich auf den Abbildungen der Segmenttopographie auf der rechten Seite von Bild 7 erkennen. Nach der kontinuierlichen Zustellung des Schärffsteins sind vermehrt tiefe Täler auf der Segmentoberfläche sichtbar. An diesen Stellen sind Schleifkörner aus der Bindung gebrochen. Des Weiteren haben die Versuche zum stationären Schärfen gezeigt, dass hohe Vorschubgeschwindigkeiten notwendig sind, um die neue, härtere Bindung effizient abzutragen. Dies ist für das kontinuierliche In-Prozess-Schärfen nicht gegeben. Aufgrund der geringen Zustellgeschwindigkeit ist die Eindringtiefe der Schärffsteinkörner zu gering, sodass überwiegend die Kornspitzen abgetragen werden. Dies führt zu einer zusätzlichen Verringerung des Spitzenvolumens.

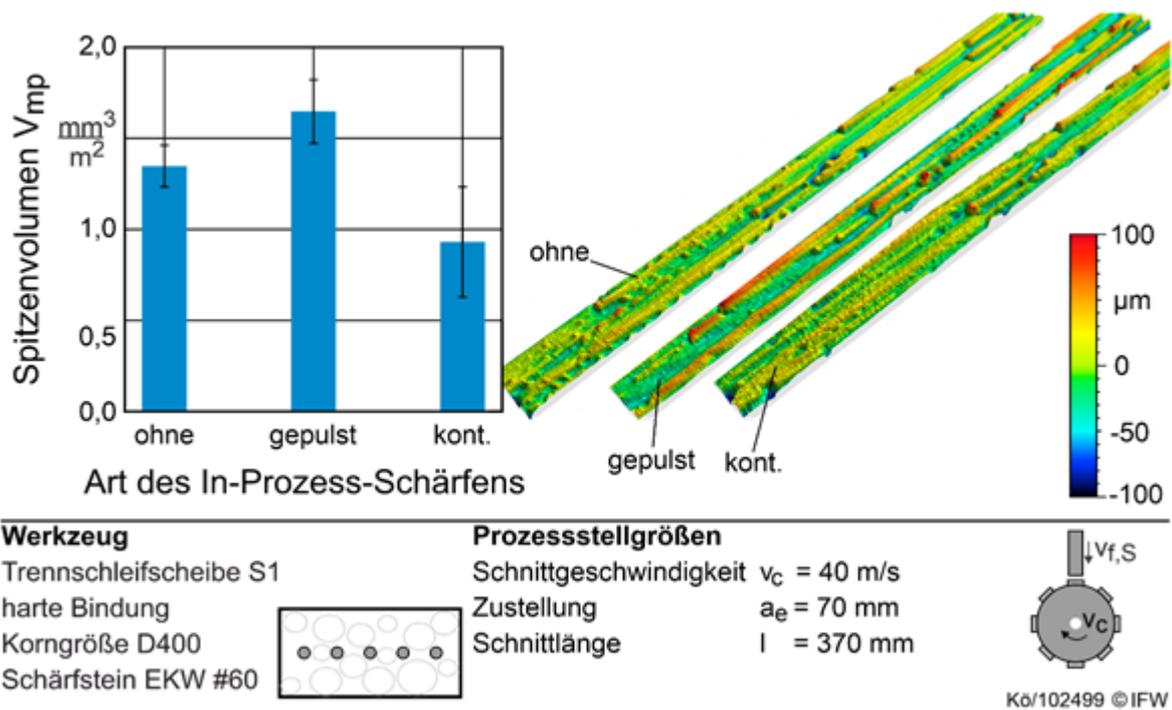


Bild 7: Einfluss verschiedener Arten des prozessparallelen Schärfens auf die Schleifscheibentopographie.

Zusammenfassung

Neue, härtere Bindungen für Trennschleifscheiben haben das Potential, die Produktivität beim Trennen von schwer zerspanbaren Materialien gegenüber konventionell erhältlichen Universaltrennschleifscheiben zu erhöhen. Aufgrund ihrer geringen Selbstschärfung müssen diese neuen Schleifscheiben in regelmäßigen Abständen nachgeschärft werden. Als Alternative zu bereits bestehenden Verfahren wurde in dieser Arbeit die Wirksamkeit des mechanischen Schärfens mit keramischen Schärfein auf die segmentierten Trennschleifscheiben untersucht.

Es konnte gezeigt werden, dass die Korngröße des Schärfeins und die Prozessstellgrößen beim Schärfen maßgeblich die Effektivität des Schärfens beeinflussen. Der größte Bindungsrücksatz konnte für den Schärfein festgestellt werden, dessen Korngröße um ein Viertel kleiner war als die Körner der Schleifscheibe. Aufgrund der harten Schleifscheibenbindung ist eine hohe Vorschubgeschwindigkeit beim Schärfen notwendig, um die Bindung effektiv abzutragen.

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Demonstrator zum prozessparallelen Schärfen entwickelt und zwei Strategien für die Zustellung des Schärfeins untersucht. Es zeigte sich, dass durch mehrere kurze Zustellungen des Schärfeins mit hoher Vorschubgeschwindigkeit die Schnittfähigkeit der Schleifscheibe prozessparallel wiederhergestellt werden konnte. Somit konnte die Machbarkeit und Wirksamkeit des

prozessparallelen Schärfens nachgewiesen werden und bietet zukünftig eine Alternative zum konventionellen Schärfprozess.

Die technische Umsetzung eines Im-Prozess-Schärfens für sich nicht selbst rücksetzende Bindungen im Einsatz bei Trennschleifmaschinen konnte aufgezeigt werden. Die Wirksamkeit des IPS konnte in der Topografie der Segmente der Trennschleifscheibe nachgewiesen werden. In der Bauindustrie, die bis auf wenige Ausnahmen durch KMU abgebildet wird, und hier in der Anwendung von Trennschleifscheiben wirkt sich Abrichten der Werkzeuge sowohl positiv auf das Schleifergebnis als auch auf die Produktivität beim Trennschnitt von hochfesten Werkstoffen aus. Werkzeugstandzeiten erhöhen sich und Nebenzeiten für das außer-Prozess-Schärfen entfallen. Dadurch entsteht einer Vielzahl von KMU ein wirtschaftlicher Nutzen.

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 M. Sc. Timo Koll unter 02191 5921 121.