

a. Versuchsbeschreibung

Online-Monitoring von linearen Wasserstrahlschnitten in CFK (M21/T800S) anhand einer Burstanalyse unter Variation der Maschineparameter (Vorschub, Druck, Abrasivmenge).

b. Versuchsbedingungen

Material

Quasiisotrope Laminate aus Hexply® M21/T800S [-45/90/45/0]_{3s} hergestellt im Autoclavverfahren (AC) und im Heißpressverfahren (HP):

- AC: Dicke = 4,6 mm ; Flächengewicht = 196 g/m²
- HP: Dicke = 6,0 mm ; Flächengewicht = 268 g/m²

Versuchsablauf

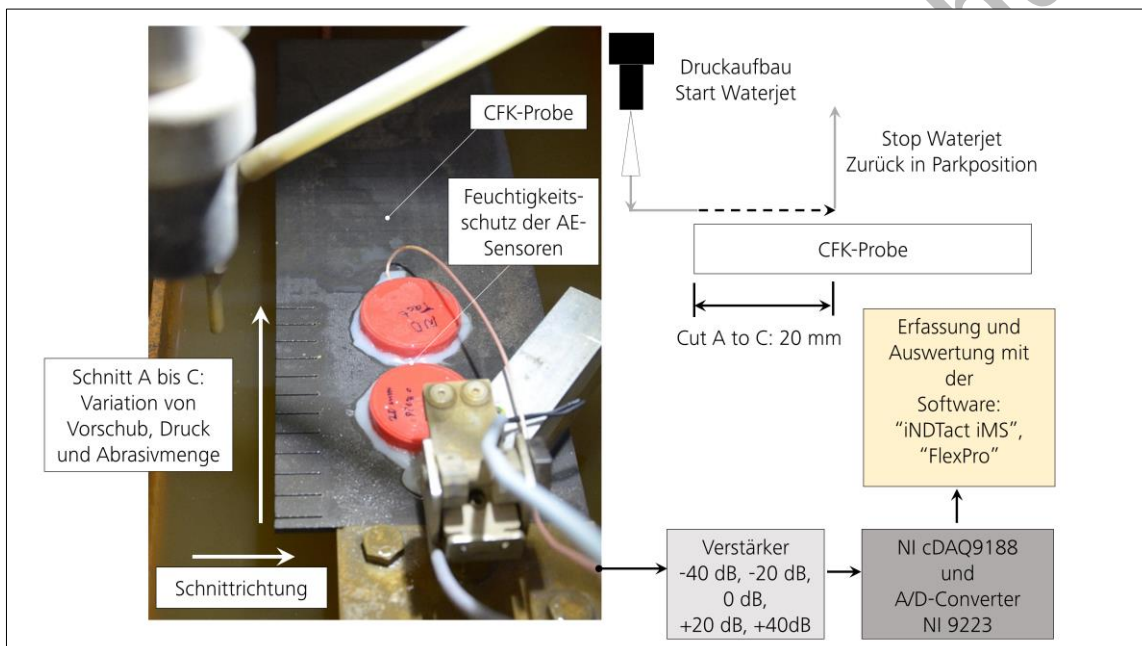


Bild 1: Versuchsablauf zur AE-Überwachung von linearen Wasserstrahlschnitten in CFK bei variierenden Maschinenparametern.

In die CFK-Proben wurden lineare Wasserstrahlschnitte gemäß Bild 1 eingebracht. Das selbstentwickelte Bearbeitungszentrum stellt einen maximalen Druck von 4000 Druck zur Verfügung. Für die Versuchsreihen wurde ein Düsendurchmesser von 0,28 mm verwendet. Der Granatsand kann dem Wasserstrahl mit einer Fördermenge zwischen 100 g/min und 700 g/min zugeführt werden. Die AE-Sensoren wurden für die Versuchsreihen versiegelt und der Druckaufbau erfolgte stets mit einem Sicherheitsabstand von 25 mm zum Werkstück. Die Messungen wurden mit dem piezoelektrischen AE-Sensor iMPact XS der Firma iNDtact durchgeführt.

Insgesamt wurden 12 Wasserstrahlschnitte pro CFK-Probekörper hergestellt, wobei jedem der Schnitte eine andere Maschinenparameterkombination gemäß Tabelle 1 zugrunde liegt. Jeder Schnittparameter wurde insgesamt drei mal pro Material angewandt.

Die Analyse des Schneidprozesses basiert auf einer Burstanalyse des Spannungssignals des AE-Sensors. Für jeden Schnitt wurde eine Qualitätsbeurteilung des linearen Wasserstrahlschnitts in 12 Qualitätsstufen sowie die Anzahl und die Energie der einzelnen Bursts ausgewertet. Für weitere Informationen zu den Bewertungskriterien und der Burstanalyse sei an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen.

b. Versuchsbedingungen

Versuchsparameter

Tabelle 1: Maschinenparameter und Messeinstellungen zur AE Überwachung von linearen Wasserstrahlschnitten in CFK bei variierenden Maschinenparametern.

Messeinstellungen iNDTact iMS	Messeinstellungen Pre-Amplifier	Schritt	Maschinenparameter		
			Vorschub mm/min	Druck bar	Abrasivmenge g/min
Highpass 9. Order Freq. 20 kHz	Gain 0 dB Freq low 16 kHz Freq high 2,1 MHz	A1	600	2400	90
		A2	1400		
		A3	2200		
		A4	3000		
		A5	600		
		B1	600	2400	283
		B2	1400		
		B3	2200		
		B4	3000		
		B5	2200		
		B6	3000	2400	530
		C1	2200		

c. Zusammenfassung der Ergebnisse

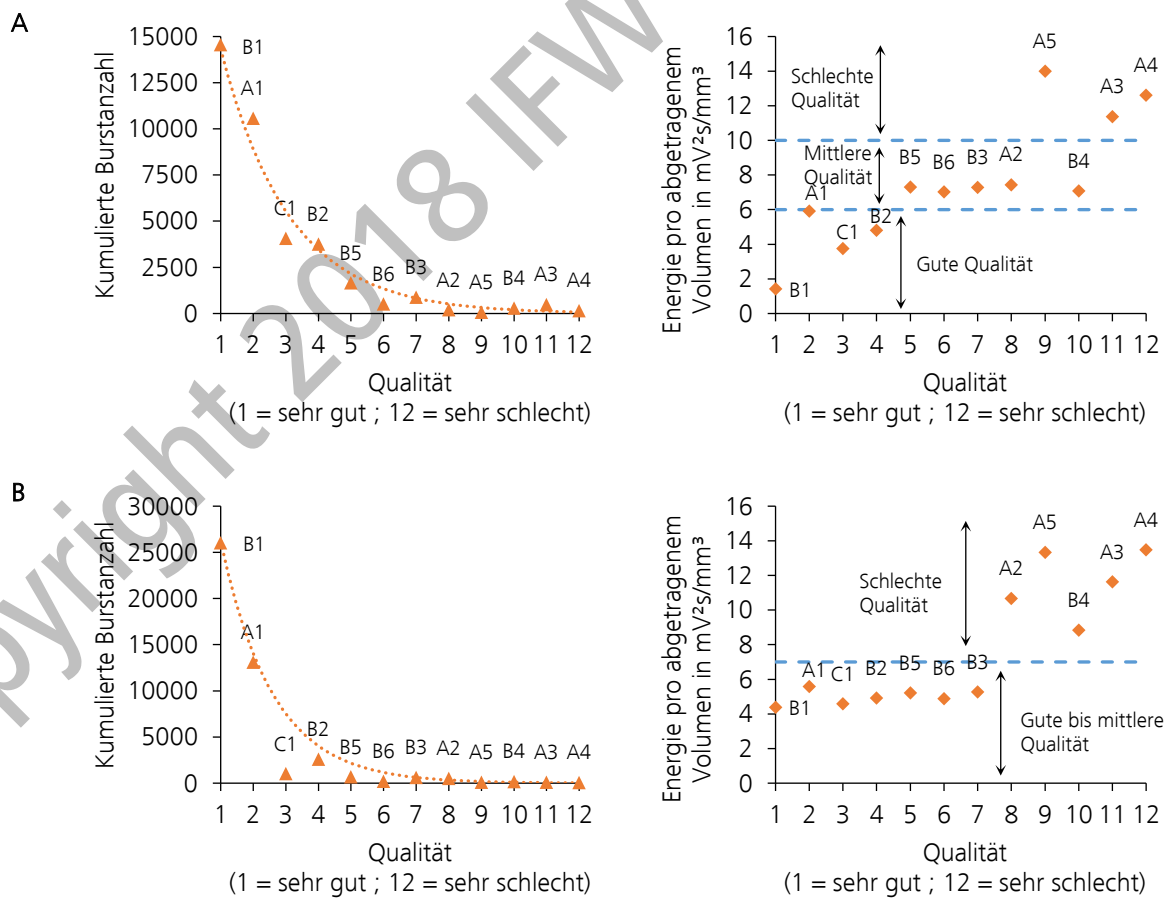


Bild 2: Klassifizierung von linearen Wasserstrahlschnitten unter Berücksichtigung der Burstanzahl und der Energie des abgetragenen Volumens. **A.** M21/T800S (AC) **B.** M21/T800S (HP).

c. Zusammenfassung der Ergebnisse

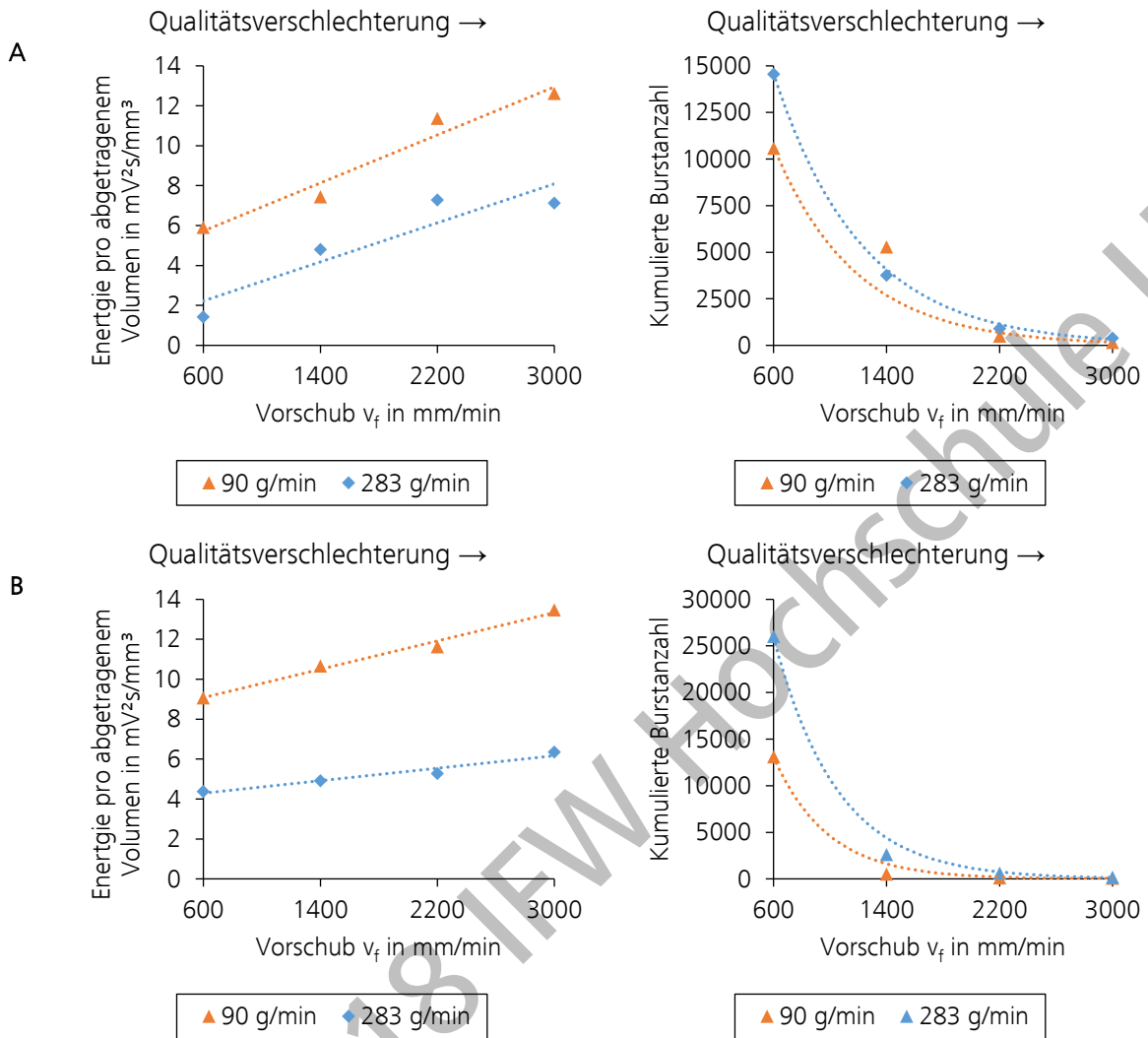


Bild 3: Einfluss der Abrasivmenge auf die AE-Kennwerte während des Wasserstrahlschneidens von CFK bei 2400 bar. **A.** M21/T800S (AC) **B.** M21/T800S (HP).

In Bild 2 ist die kumulierte Burstanzahl sowie die Energie pro abgetragenem Werkstoffvolumen in Abhängigkeit der Schnittqualität für beide Materialtypen dargestellt. Die Datenbeschriftung der einzelnen Messpunkte verweist auf die entsprechenden Maschinenparameter aus Tabelle 1. In beiden Fällen verringert sich die Burstanzahl exponentiell mit abnehmender Schnittqualität. Die zugehörigen Burstenergien verhalten sich genau gegenläufig. Insbesondere bei hohen Vorschüben resultiert eine schlechtere Schnittqualität. Gleichzeitig ändert sich damit auch das Impact-Verhalten der Sandkörner auf das Material, was eine hohe Burstenergie zur Folge hat. Niedrige Vorschübe hingegen ähneln einem Schleifprozess, was letztlich in niedrigen Burstenergien resultiert.

Bild 3 zeigt die Entwicklung der AE-Kennwerte in Abhängigkeit des Vorschubes für zwei unterschiedliche Abrasivmengen und verdeutlicht dementsprechend den negativen Einfluss eines höheren Vorschubs auf die Schnittqualität. Gleichzeitig kann eine lineare Zunahme der Burstenergie und eine exponentielle Abnahme der kumulierten Burstanzahl mit zunehmendem Vorschub aufgezeigt werden. Zusätzlich sind die unterschiedlichen Kennwert-Niveaus charakteristisch für die beiden unterschiedlichen Herstellungsverfahren. Das heißgepresste Material weist eine höhere Porosität auf und verursacht dementsprechend hochenergetische Burstsignale aufgrund des stärkeren Risswachstums. Weiterführende Informationen bezüglich der Porosität der Materialien und den Auswirkungen auf mechanische Eigenschaften können den Datenbankeinträgen zu Schwerpunkt 4 des Forschungsprojekts und der unten aufgeführten Literatur entnommen werden.

c. Zusammenfassung der Ergebnisse

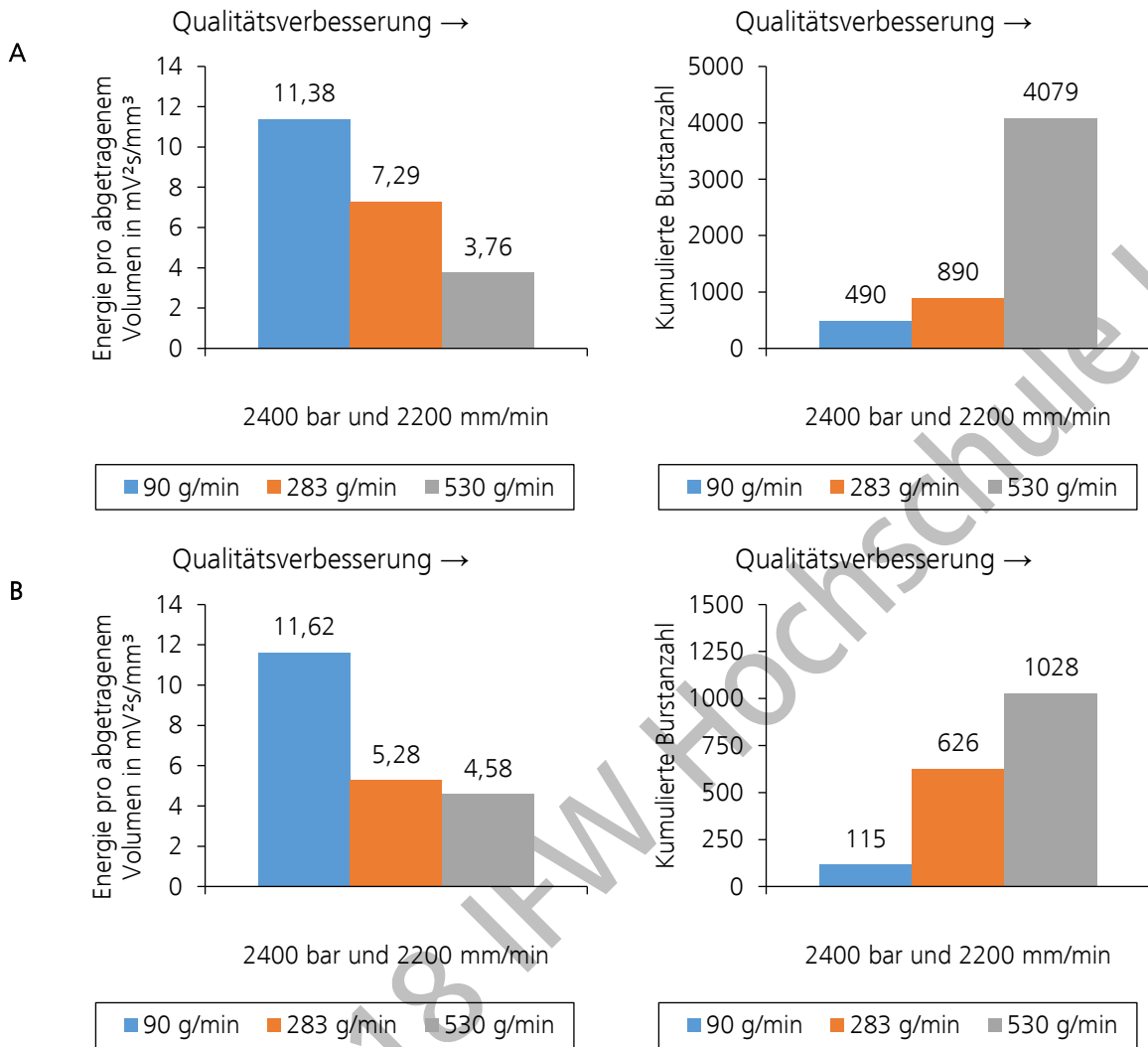


Bild 4: Einfluss der Abrasivmenge auf die AE-Kennwerte während des Wasserstrahlschneidens von CFK bei 2400 bar und $v_f = 2200$ mm/min. **A.** M21/T800S (AC) **B.** M21/T800S (HP).

Bild 4 vergleicht lineare Wasserstrahlschnitte bei konstantem Druck und Vorschub aber variierender Abrasivmengen. Unter Beibehaltung konstanten Maschinenparamer verbessert die Erhöhung der Abrasivmenge die Bearbeitungsqualität grundsätzlich. Die Korrelationen bezüglich der Burstanzahl und der Burstenergie unterstreichen die Ergebnisse aus Bild 2 und Bild 3.

d. Schlussfolgerung

Tabelle 2: Zusammenfassung der Wechselwirkungen zwischen den Schnittparametern, der AE-Kennwerte und der Schnittqualität.

Schnittparameter			Ergebnisse		
Druck	Vorschub	Abrasivmenge	Σ Bursts	Energie pro abgetragenem Volumen	Qualität
↑	const.	const.	-	-	↑
const.	↑	const.	↓	↑	↓
const.	const.	↑	↑	↓	↑

Die Betrachtung der einfachen Bewertungskennwerte der Burstanalyse von AE-Signalen ist dazu geeignet Änderungen bzgl. der Prozessparameter im abrasiven Wasserstrahlschnittverfahren online zu detektieren. Da die Maschinenparameter auch direkt mit der Schnittqualität korrelieren, ist damit indirekt auch eine Beurteilung der zu erwartenden Schnittqualität während des Bearbeitungsprozesses auf Basis der AE-Messungen möglich. Ausgenommen davon ist die Änderung des Drucks, welcher keinen eindeutigen Einfluss auf die Entwicklung der AE-Kennwerte hat, wohl aber auf die Bearbeitungsqualität selbst. Tabelle 2 stellt die systematischen Wechselwirkungen zusammenfassend dar. Voraussetzung für die Überwachung ist, dass ein Referenzschnitt mit den zugehörigen Maschinenparametern und den resultierenden AE-Signalen durchgeführt wurde.

e. Weiterführende Dokumente

Lissek, F., Haeger, A., Knoblauch, V., Hloch, S., Pude, F., & Kaufeld, M. (März 2018). Composites Part B: Engineering. *Acoustic emission for interlaminar toughness testing of CFRP: Evaluation of the crack growth due to burst analysis*, 136, 55-62. doi:10.1016/j.compositesb.2017.10.012

Lissek, F., Kaufeld, M., Tegas, J., & Hloch, S. (12. Juli 2016). Procedia Engineering. *Online-monitoring for Abrasive Waterjet Cutting of CFRP via Acoustic Emission: Evaluation of Machining Parameters and Work Piece Quality Due to Burst Analysis*, 149, 67-76. doi:10.1016/j.proeng.2016.06.640