

a. Versuchsbeschreibung

Online-Monitoring von vereinfachten DCB-Versuchen mit unterschiedlichen CFK-Werkstoffen. Analyse des Einflusses des Herstellungsverfahrens auf das Risswachstum unter Beanspruchung der Lamine im Bruchmodus 1.

b. Versuchsbedingungen

Material

Unidirektionale Lamine aus Hexply® M21/T800S hergestellt im Autoclaververfahren (AC) und im Heißpressverfahren (HP):

- AC: Dicke = 3,0 mm ; Flächengewicht = 268 g/m²
- HP: Dicke = 3,0 mm ; Flächengewicht = 268 g/m²

Multidirektionales Gewebe ECG-Carbon 12k [0/90] der Firma von Roll, hergestellt im Heißpressverfahren (HP):

- HP: Dicke = 3 mm ; Flächengewicht = 445 g/m²

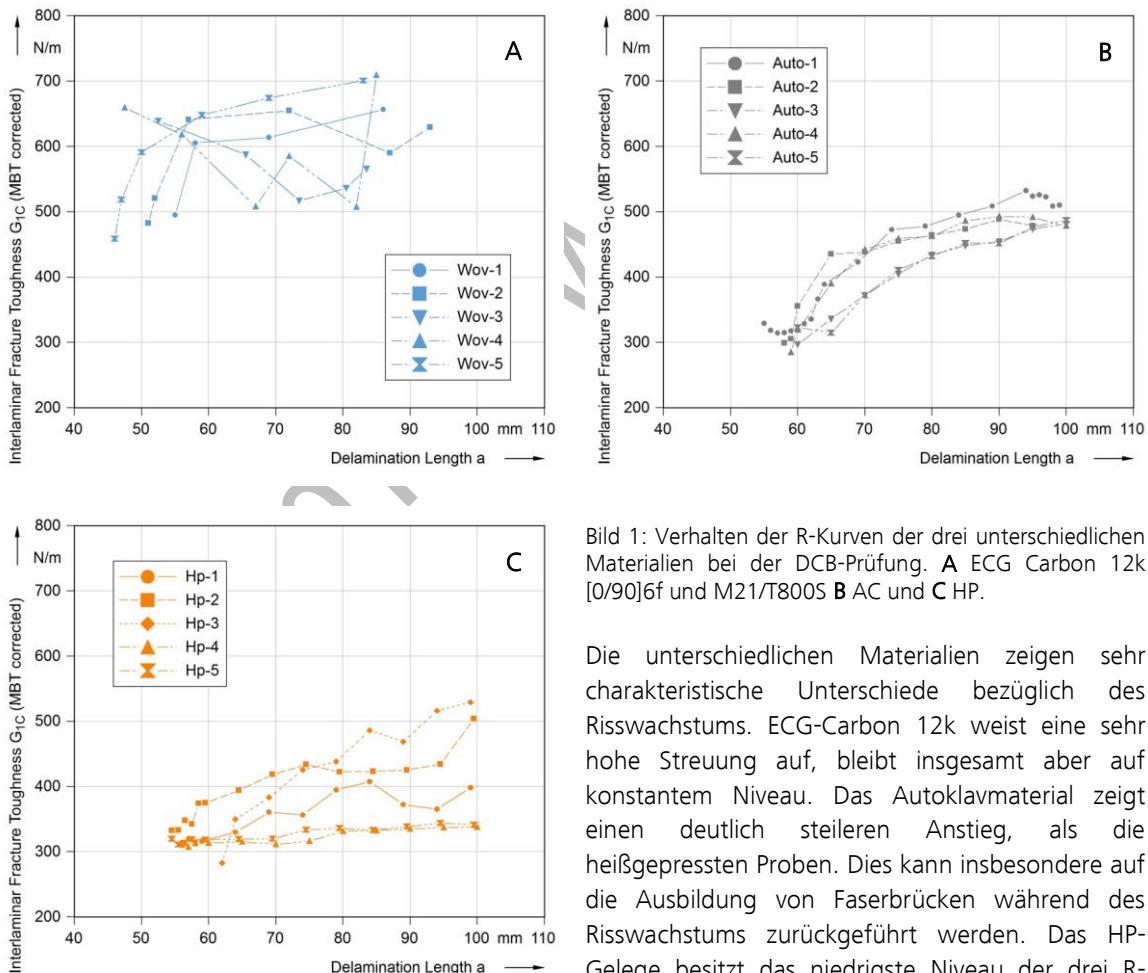


Bild 1: Verhalten der R-Kurven der drei unterschiedlichen Materialien bei der DCB-Prüfung. **A** ECG Carbon 12k [0/90]6f und M21/T800S **B** AC und **C** HP.

Die unterschiedlichen Materialien zeigen sehr charakteristische Unterschiede bezüglich des Risswachstums. ECG-Carbon 12k weist eine sehr hohe Streuung auf, bleibt insgesamt aber auf konstantem Niveau. Das Autoklavmaterial zeigt einen deutlich steileren Anstieg, als die heißgepressten Proben. Dies kann insbesondere auf die Ausbildung von Faserbrücken während des Risswachstums zurückgeführt werden. Das HP-Gelege besitzt das niedrigste Niveau der drei R-Kurven.

Grundsätzlich ist der DCB-Versuch laut ASTM D 5582 nur für UD-Lamine geeignet. Im Zuge der Untersuchungen wurde diese Werkstoffprüfung allerdings zu Vergleichszwecken auch für das Gewebematerial durchgeführt. Die R-Kurven sind an dieser Stelle der Vollständigkeit halber aufgeführt, eine eingehendere Analyse der reinen Werkstoffprüfung findet sich bei den Verweisen in der weiterführenden Literatur.

Versuchsablauf

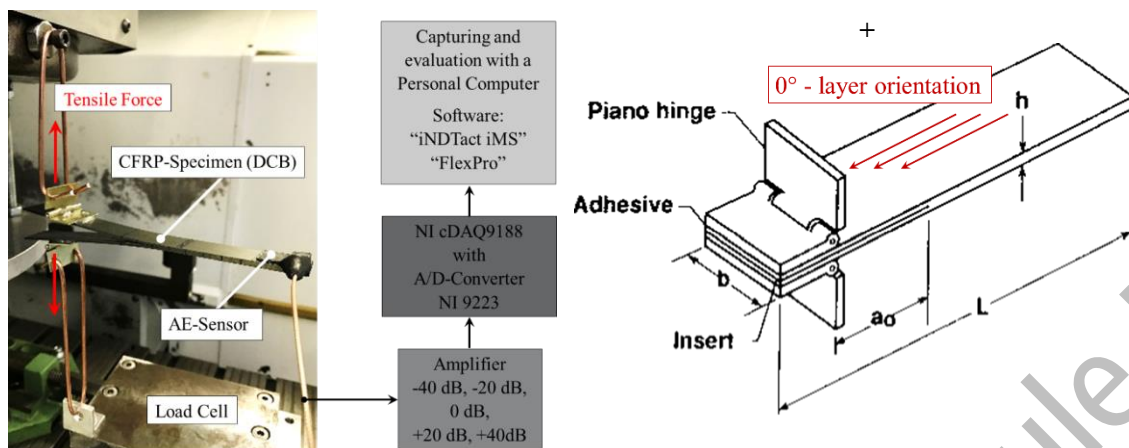


Bild 2: Vereinfachter Versuchsaufbau zur AE-Überwachung einer DCB-Prüfung.

Um das Risswachstum der unterschiedlichen Materialien charakterisieren zu können, wurde ein vereinfachter DCB-Versuch gemäß Bild 2 aufgebaut. Die DCB-Proben sind mittels Kupferdraht in ein CNC-Bearbeitungszentrum eingespannt. Die Untere Fixierung wird mit einer Kraftmessplattform (Kistler 9527 B) verbunden, um auch die Kraftentwicklung messen zu können. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Z-Achse wurde gemäß ASTM-Norm mit 5 mm/min festgelegt. Zur Burstanalyse kommt der piezoelektrische AE-Sensor iMPact XS der Firma iNDTact zum Einsatz. Dieser ist mit doppelseitigem Klebeband mit 0,5 mm Dicke auf den CFK-Proben befestigt. Dabei können Körperschallfrequenzen von bis zu 500 kHz detektiert werden. Je Materialtyp werden 4 Messungen durchgeführt.

Die AE-Analyse des Risswachstums basiert auf einer Burstanalyse des Spannungssignals des AE-Sensors. Für jede Messung wird die Anzahl und die Energie der einzelnen Bursts ausgewertet. Für weitere Informationen zur Burstanalyse sei an dieser Stelle auf die weiterführende Literatur verwiesen.

c. Zusammenfassung der Ergebnisse

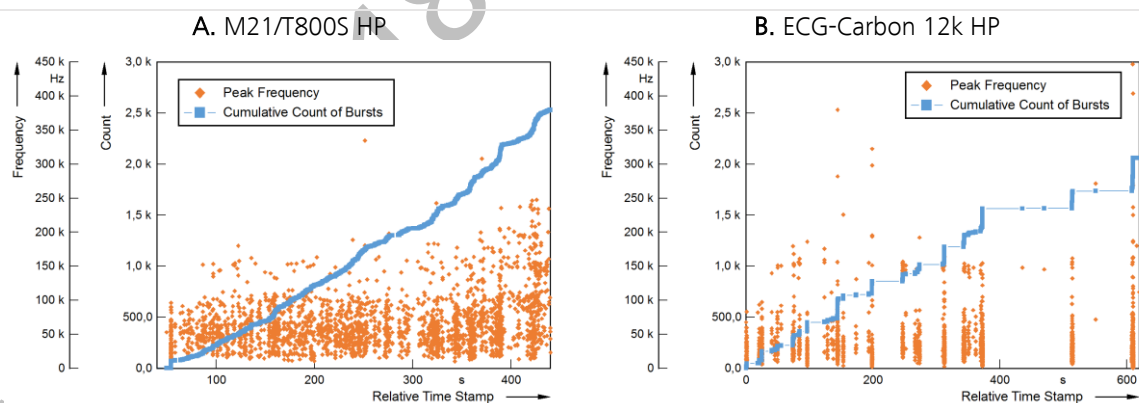
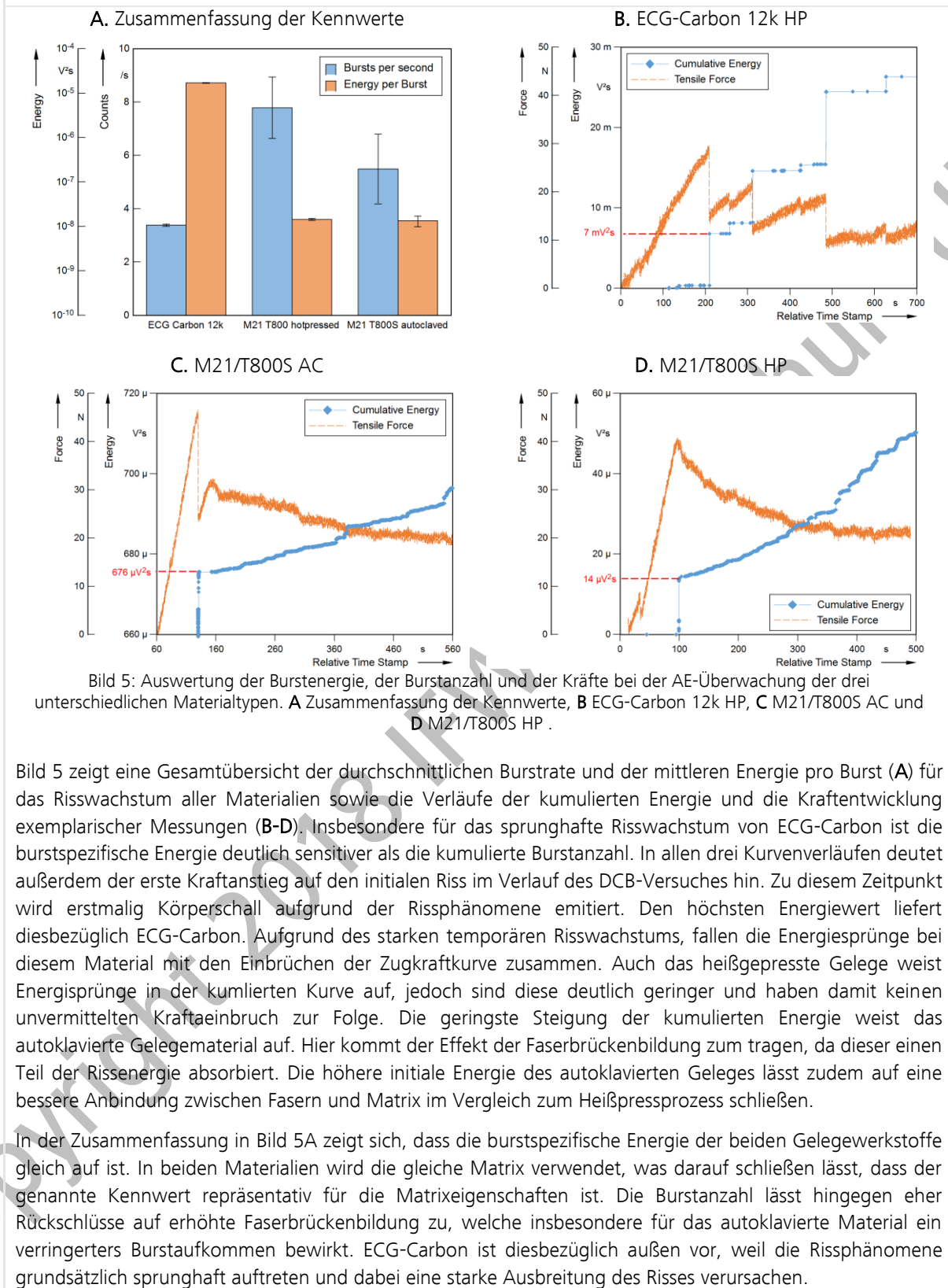


Bild 3: Vergleich der Burst-Frequenzen und der kumulierten Burstanzahl.
A M21/T800S HP B ECG-Carbon 12k HP.

Bild 3 zeigt exemplarisch einen vollständigen DCB-Versuch des heißgepressten Geleges und des Gewebematerials. Für beide Materialien wurden ergänzend die Frequenzen eines jeden Burst-Events während des Risswachstums aufgetragen. Da hauptsächlich interlaminares Matrixversagen während des Prüfprozesses auftritt, kann diesem Phänomen eine Frequenz zwischen 20 und 100 kHz zugeordnet werden. Des Weiteren können auch die kumulierten Kurven der Burstanzahl den unterschiedlichen Materialien eindeutig zugeordnet werden. Während das Gelegematerial einen kontinuierlichen Anstieg der Burstanzahl verzeichnet, kann für das Gewebematerial ein sehr sprunghafter Anstieg der Burstanzahl festgestellt werden. Dies spiegelt direkt die R-Kurven der DCB-Prüfung nach ASTM D 5582 in Bild 4 wieder.

d. Zusammenfassung der Ergebnisse



c. Schlussfolgerung

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Herstellungsverfahren und des Werkstofftypes korrelieren direkt mit den Messdaten der AE-Analyse. Dabei ist die AE-Analyse deutlich sensitiver für einzelne, kurzzeitige Rissphänomene als die Kraftmessung. Diese müssten grundsätzlich auch zu Einbrüchen im gemessenen Kraftsignal führen, können aufgrund der geringeren Empfindlichkeit aber nicht detektiert werden. Die einfachen Kennwerte der Burstanzahl pro Sekunde und der Energie eines einzelnen Bursts sind zur Beurteilung zweier Rissphänomene geeignet. Die Burstrate kann als Maß für die Faserbrückenbildung angesehen werden, wohingegen die frei werdende Rissenergie auf die Matriceigenschaften schließen lässt. Die Neigung zu sprunghaftem Risswachstum kann nur über die zeitabhängige Betrachtung der Messdaten bewertet werden.

d. 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