

*Petrich, Martin; Kletzin, Ulf; Weimann, Tom-Luis; Feld, Julius:*

**Ilmenauer Studenten entwickeln Carbon-Feder für MTB-Dämpfer**

**DOI:** [10.22032/dbt.51015](https://doi.org/10.22032/dbt.51015)

**URN:** [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200022](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200022)

---

*Zuerst publiziert als Blogbeitrag*

*Erschienen in:* mtb News / News / MTB Dämpfer

*Erstveröffentlichung:* 31.08.2021

*URL:* <https://www.mtb-news.de/news/tu-ilmenau-carbon-feder/>

*Zuletzt gesehen:* 26.01.2022

---



Gastbeitrag aus der Forschung

## Ilmenauer Studenten entwickeln Carbon-Feder für MTB-Dämpfer

Ein Gastbeitrag von Martin PETRICH, Ulf KLETZIN, Tom-Luis WEIMANN und Julius FELD

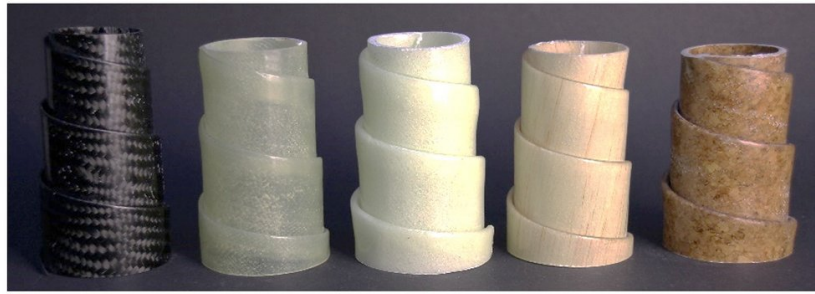
 [Gastautor](#)

31. August 2021

[MTB Dämpfer](#)

**Am Fachgebiet Maschinenelemente der Technischen Universität Ilmenau wurde das Konzept einer neuen Carbon-Evolutfeder für das Bike-Segment erprobt. In einer Studie, durchgeführt von zwei Fahrzeugtechnik-Studenten, wurde eine Metallfeder durch eine Carbon-Feder mit deutlich geringerem Einbaugewicht ersetzt. Der Beitrag von Martin Petrich, Ulf Kletzin, Tom-Luis Weimann und Julius Feld gibt einen Einblick in die wissenschaftliche Arbeit der Federauslegung, der Fertigung und den Einsatz im Bike.**

Martin Petrich, wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Professor Ulf Kletzin am Fachgebiet Maschinenelemente der TU Ilmenau, forscht seit einigen Jahren im Rahmen seiner Promotion an einem Entwicklungsprozess für sogenannte Evolutfedern aus Faserverbundwerkstoffen (#1). Zu diesem Prozess zählen Anforderungsprofile und Auslegungskriterien, analytische und numerische Berechnungen zu Werkstoffmechanik und Federauslegung, ein Fertigungsverfahren und Versuchsreihen an Prototypen bis hin zur Lebensdauerprüfung und -abschätzung.

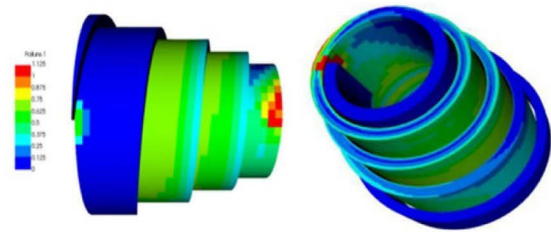
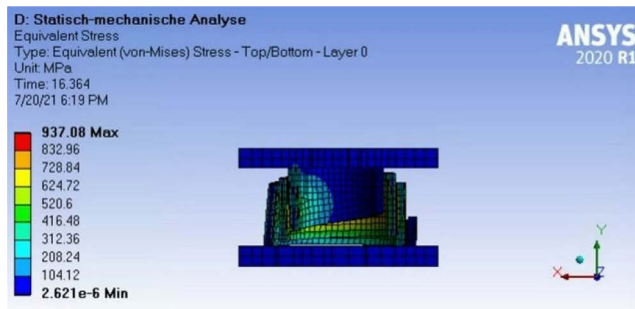


## **#1 Evolutfedern aus Faserverbundkunststoffen (hier teilw. mit Kern aus Schaum, Holz oder Kork im Band)**

Bekannt ist die Evolutfeder z.B. als Stoßfänger beim Rangieren von Eisenbahnwagons und als quetschsichere Feder in Gartenschere, wird aber auch in der Gebäudetechnik eingesetzt. Der Federtyp eignet sich hervorragend für eine Umsetzung mit faserverstärkten Kunststoffen (FVK), da die Feder aus Band, also flächigen Halbzeugen, gewickelt wird. So können die vielfältigen Vorteile der FVK, wie bspw. Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit oder Leichtbaupotential zum Tragen kommen.

Zur Erprobung der neuartigen FVK-Evolutfeder konnten die beiden Ilmenauer Studenten Tom-Luis Weimann und Julius Feld 2020 eine Projektarbeit durchführen. Es sollte eine Evolutfeder für Mountainbikes entwickelt werden. Der Entwicklungsprozess begann bei der Auswahl des Versuchsträgers. Das MTB, ein Cannondale Habit 3, wurde freundlicherweise von Frank Hedwig (Rad-Art Ilmenau) zur Verfügung gestellt. Zuerst widmeten sich Tom und Julius den Anforderungen an die Feder und steckten die Rahmenbedingungen ab. Besonders der Bauraum war von Interesse, da leichtere Werkstoffe für gleiche Aufgaben mehr Volumen benötigen.

Serienmäßig ist im Habit 3 ein Fox-Luftfedersystem verbaut. Dieses war jedoch nicht für eine direkte Substitution durch die Composite-Feder geeignet, weshalb ein zur Rahmengeometrie passender DNM RCP-2S beschafft wurde. Zunächst wurde die mitgelieferte Feder vermessen und die Kraft-Weg-Kennlinie aufgenommen. Die Federrate beträgt  $R = 350 \text{ lbs/inch} = 61 \text{ N/mm}$ . Anschließend wurde mittels des Anforderungsprofils und eines Excel-Auslegungstools eine Auswahl der Materialkombination, der Federgeometrie und des nötigen Laminataufbaus getroffen. So konnte der am besten geeignete Werkstoff, kohlenstofffaserverstärktes Epoxydharz (ugs. Carbon), ermittelt werden. Bei der Auswahl wurden bspw. der Bauraum und die erforderliche Federsteifigkeit betrachtet. Zur Validierung der Parameter wurde eine numerische Finite-Elemente-Simulation in ANSYS ACP mit dem Carbon-Laminat modelliert und analysiert.



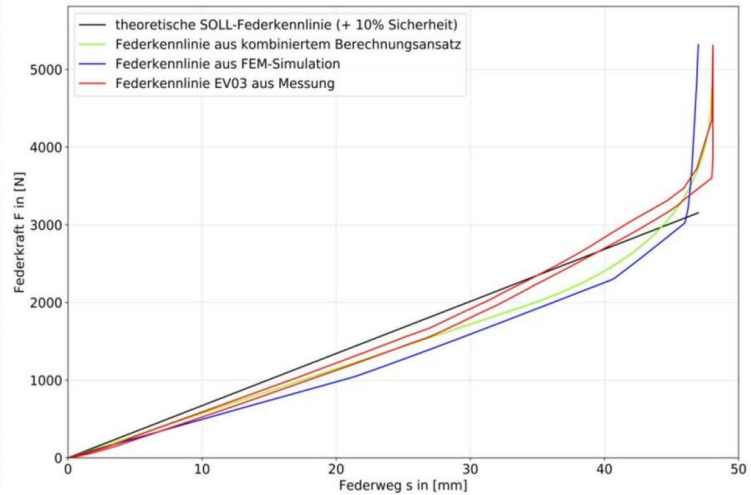
## #2 Finite-Elemente-Simulationen zur Validierung der Federauslegung

Durch den simulierten Eignungsnachweis konnte das Federdesign festgelegt und die nötigen Werkzeuge, wie z.B. ein 3D-gedruckter Wickelkern, angefertigt werden (#3). Tom und Julius wickelten zahlreiche Testfedern, die zuerst im Uni-Labor geprüft wurden, um die mechanischen Eigenschaften zu bestimmen. Dafür wurden Federkennlinien aufgezeichnet.



## #3 3D-Druck des Wickelkerns zum Aufwickeln des Faserbandes sowie fertige Fahrradfeder

Die Ziele waren ein zur Metallfeder vergleichbarer Federweg und eine vergleichbare Federrate. Die Messwerte der Carbon-Feder in #4 (rote Kennlinie) zeigen, dass die anvisierten Kennwerte der Metallfeder (schwarze Kennlinie) von den Studenten erreicht wurde. Durch die nichtlineare (progressive) Kennlinie der Evolutfeder kann dies freilich nicht über den gesamten Federweg von 47 mm erreicht werden. Darum sollte die neue Feder zu Beginn der Einfederung eine etwas geringere Federrate aufweisen. Bei großer Einfederung steigt die Kraft überproportional an, was schließlich in einer maximal nutzbaren Federkraft von 3.840 N resultiert. Die Vorteile des progressiven Kraftverlaufs zeigten sich bei den Testfahrten.



#### #4 Messung der Kraft-Weg-Kennlinie auf einer Zug-Druck-Prüfmaschine und Vergleich mit Berechnungen

Ergänzend wurde vor den Testfahrten ein Lebensdauertest zur Einschätzung der Ermüdungseigenschaften durchgeführt. Bei diesen Schwingversuchen wurde eine Feder auf einer servohydraulischen Prüfmaschine etwa 25.000 Mal vollständig eingefedert, bis der Versuch mit einem Windungsbruch beendet wurde. Die Ursache dafür war nicht die Materialermüdung, sondern eine Berührung und die damit verbundene Reibung zweier Windungen, welche den Bruch letztlich auslöste. Aus anderen Veröffentlichungen ist bekannt, dass die reine Materialermüdung von Carbon im Regelfall wesentlich später einsetzt.

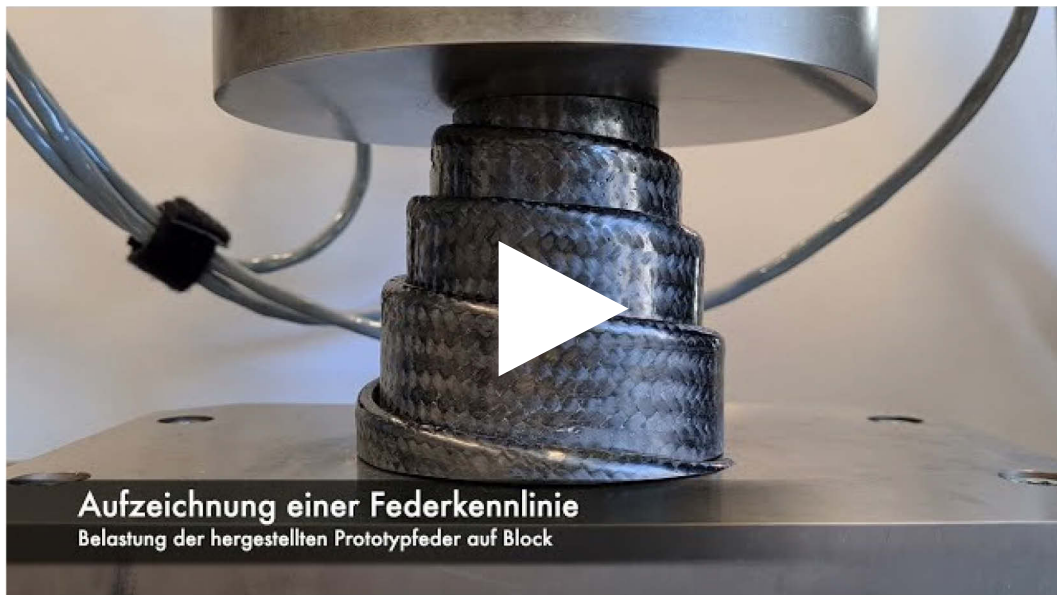
Nach den verschiedenen Voruntersuchungen wurde schließlich die Metallfeder des DNM RCP-2S durch die entwickelte Carbon-Evolutfeder ersetzt. Da die neue Feder bei gleichem Federweg deutlich kürzer, aber dafür größer im Durchmesser ist, musste ein Alu-Adapter angefertigt werden, um eine Berührung des Druckausgleichsbehälters zu verhindern. Die FVK-Feder wiegt 220g, was gegenüber der Stahlfeder (460g) eine Einsparung von rund 50 % bedeutet. An der Stelle muss betont werden, dass es sich um eine reine Substitution der Feder in einem gegebenen System handelt. Mit einer umfassenderen Optimierung und Anpassung des Rahmens bzw. des Dämpfers sind durchaus weitere Einsparungen im Gewicht und auch eine Optimierung des Bauraums möglich.



## **#5 Feder-Dämpfer-Einheit und Einbau im Habit 3 vor dem Laborgebäude der Fakultät Maschinenbau**

Die Erprobungsfahrten wurden durch die MTB-Profis von Rad-Art auf MTB-Trails in der Umgebung von Ilmenau auf einer Strecke von 60 Kilometern durchgeführt. Es zeigte sich ein feines Ansprechverhalten, welches durch die leicht progressive Kennlinie und die hohe Maximalkraft entsteht. Dies ist besonders für Mountainbikes von Nutzen, deren Rahmengenometrien hohe Federraten erfordern, um bei großen Fahr- und insbesondere Stoßbeanspruchungen eine Einfederung auf Blocklänge zu vermeiden. Gegenüber den häufig verwendeten Stahlfedern zeigt sich somit ein klarer Vorteil.

Tom und Julius stellten die Evolutfedern in drei verschiedenen Federsteifigkeiten her, wovon die härteren beiden im Habit 3 gefahren wurden. Die Federn unterscheiden sich nur in der Anzahl der eingesetzten Faserlagen. Bei den Testfahrten wurde die härteste Variante favorisiert. Durch das dickere Carbon-Band verringerte sich allerdings der Windungsabstand, welcher letztlich als Hauptursache für das vorzeitige Federversagen im Laborversuch identifiziert werden konnte. Um dem entgegenzuwirken und zusätzlich Reibgeräusche zu minimieren, wurde die Feder eingefettet. Regen und Matsch erwiesen sich als Herausforderungen für das Design, da sich ohne Einhausung Ablagerungen zwischen den Windungen bilden können. Die Einfederung war trotzdem jederzeit gewährleistet.



Video: Prototyp einer MTB-Carbon-Federung  
DOI: [10.22032/dbt.51016](https://doi.org/10.22032/dbt.51016)  
URN: [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200033](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200033)  
Zuerst erschienen auf: <https://youtu.be/r6T73wG5uMo>

Auf Basis ihrer Berechnungen und Simulationen konnten die Studenten nicht nur einen Funktionsnachweis erbringen, sondern mittels Praxistest auch die Fertigung und die Designparameter optimieren. Tom und Julius sind für den Studiengang Fahrzeugtechnik an der TU Ilmenau eingeschrieben. Sie stehen inzwischen am Ende ihres Master-Studiums und blicken auf die Projektarbeit zurück.

Tom sagt: „Von der Idee bis zur Umsetzung hat mir das Thema super gefallen. Ich konnte mein Fachwissen über Faserverbundwerkstoffe vertiefen, was mir noch heute bei der Masterarbeit sehr hilft und wir hatten viele Freiheiten in der Umsetzung der Aufgabe“.

Auch Julius ist begeistert: „Ich fahre schon eine Weile hobbymäßig Mountainbike, so wie es in Ilmenau fast eine Pflichtsportart ist. Das Studium mit einem Projekt zu schmücken, das so praxisnah ist und nicht aus trockenen Datenreihen besteht, das hat mir auch für andere Fächer Motivation gegeben. Das Thema ist echt spannend und ich bin froh, es trotz ungewissem Ausgang umgesetzt zu haben. Danke!“

Auch der wissenschaftliche Betreuer Martin Petrich und sein Chef, Ulf Kletzin, zeigen sich erfreut: „Bei dieser Projektarbeit konnte eine Innovation erfolgreich erprobt werden. Die durch die Studenten gewonnenen Erkenntnisse bringen das ganze Vorhaben einen großen Schritt voran. Beide waren äußerst engagiert und haben mit Ihrer Initiative und eigenen Ideen zum Gelingen beigetragen. Nicht zuletzt sind wir auch sehr dankbar, dass Frank Hedwig von Rad-Art uns als MTB-Profi vor Ort mit Rad und Tat unterstützt hat!“

Frank Hedwig, Sieger der iXS Pro Masters 2015, führte die Testfahrten mit dem Habit 3 durch und bestätigt die guten Fahreigenschaften: „Wir haben die Stahlfeder-Dämpfer-Einheit durch die neue Carbon-Feder sinnvoll ersetzt und vergleichbare Fahreigenschaften erzielt. Damit wird der Gewichtsvorteil, den eine Luftfeder-Dämpfer besitzt, greifbar, ohne Nachteile

beim Fahren zu haben. Ich freue mich, dass wir an der Stelle unterstützen konnten und die Community durch neue Ideen vorankommt. Die erste Erprobung war vielversprechend und wir sind auf die Optimierungen gespannt!“



**#6 Tom-Luis Weimann, Julius Feld und ihr Betreuer Martin Petrich (v.l.n.r.) mit dem Cannondale Habit 3**

Kontakt zur Uni gibt's hier:

*Martin Petrich*

[martin.petrich@tu-ilmenau.de](mailto:martin.petrich@tu-ilmenau.de)

*Fachgebiet Maschinenelemente*

*Fakultät Maschinenbau*

*Technische Universität Ilmenau*

[www.tu-ilmenau.de/maschinenelemente](http://www.tu-ilmenau.de/maschinenelemente)