

Zeitaufgelöste Untersuchung der Sturzbelastung eines Bergsportkarabiners zur Verbesserung der Normprüfungen

Prof. Dr. Sebastian Walter

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Technische Hochschule Nürnberg

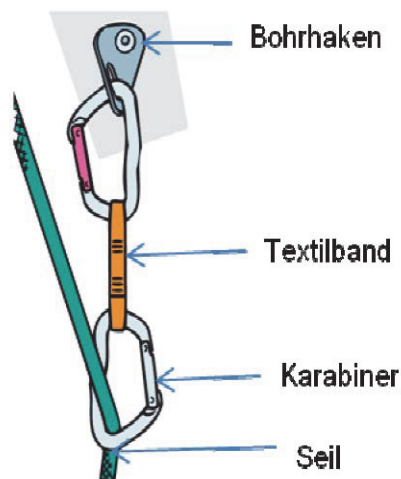
Zusammenfassung:

Das Lehrforschungsprojekt befasste sich mit dem im Klettersport relevanten Problem der geringen Festigkeit von offenen Karabinern bei ungünstiger Krafterleitung. Über sechs Monate hinweg bearbeiteten acht Studierende aus dem Bachelorstudiengang Mechatronik Feinwerktechnik das Thema und untersuchten mit viel praktischer und konzeptioneller Initiative die Aufgabe. Ferner formulierten sie Arbeitshypothesen und Tests, die durch zunächst statische Messungen einer experimentellen Untersuchung unterzogen wurden. Erste quasidynamische Untersuchungen wurden durchgeführt. Nicht alle im Antrag formulierten Ziele (Hochgeschwindigkeitsaufnahmen) konnten realisiert werden, wurden aber durch wichtige Resultate vorbereitet und können z.B. in anschließenden Abschlussarbeiten verwirklicht werden. Die methodischen Grundlagen des wissenschaftlichen Arbeitens und dessen Reiz konnten von den Studierenden beispielhaft erlebt werden.

1. Projektdaten

Fördersumme	4.000 Euro
Laufzeit	März bis Dezember 2015
Fakultät	Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik
Projektleitung	Prof. Dr. Sebastian Walter
Kontaktdaten	E-Mail: sebastian.walter@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage



Sport im Allgemeinen und hier speziell Klettersport ist für ausgewählte Studierende hochgradig positiv besetzt und Teil ihres Alltags. Aspekte dieses Tuns wissenschaftlich zu durchdringen und einen nachhaltigen Beitrag zur Sicherheit zu leisten, ist eine besonders motivierende Anwendung der Studieninhalte. Sicherheitstechnisch relevant sind Karabiner im Bergsport, die die im Fels verankerten Haken mit dem Seil verbinden. Gelegentlich kommt es auch bei bestimmungsgemäßen Gebrauch zu Versagensfällen mit oft gravierenden Unfallfolgen, obwohl bei typischer Belastung Karabiner überdimensioniert sind.

Abbildung 1 : Beispielanordnung. Das Seil läuft nach oben zum Kletterer, unten ist der Sichernde. Bei einem Sturz werden sowohl der seilseitige als auch der hakenseitige Karabiner belastet. Der hier gezeigte Teil der Sicherungskette ist der am stärksten belastete. Jeder Karabiner hat zwei Schenkel, der zu öffnende ist der sogenannte „Schnapper“ [1].

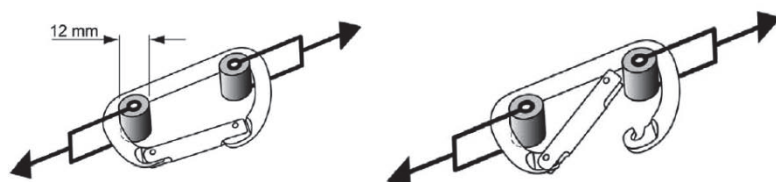


Abbildung 2: Schematischer Normtest nach DIN EN 12275. Links Schnapper geschlossen, rechts Schnapper offen [1].

Problematisch sind Situationen, in denen der Karabiner „offen“ belastet wird, obwohl auch hier die Normfestigkeiten bei idealer und in Prüfungen getesteter Situation selten überschritten werden sollten. Vermutlich ist die Problematik darin begründet, dass der offene Karabiner bei realer dynamischer Belastung die Krafteinleitung an einer ungünstigen Stelle erfährt. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist designabhängig, was aber in den gängigen Normtests nicht abgefragt wird. Da aktuell (2015) die Bergsporthersteller das Gewicht der Karabiner durch (hinsichtlich der Normtests) optimiertes Design nochmals reduzieren, wird dieses Problem an Relevanz zunehmen. Es soll interdisziplinär und mit interessierten internen und externen Kooperationspartnern untersucht werden. Diese waren Dr. Angela Fösel, Physikdidaktik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, und ihre Studierenden sowie der Sicherheitskreis des Deutschen Alpenvereins, des größten Sportvereins Deutschlands. Eine Zusammenarbeit mit einem Bergsporthersteller war informell verabredet (Nutzung des „Sturzstands“), wurde aber aufgrund des Projektverlaufs nicht realisiert.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Bei dem Projekt werden zwei unterschiedliche Klassen von Zielen verfolgt. Einerseits werden Antworten auf eine ingenieurwissenschaftliche Fragestellung gesucht, andererseits ist dies Mittel zum Zweck, Studierende in einem frühen Stadium ihres Studiums Methoden des wissenschaftlichen Arbeitens und Fachwissen zu vermitteln. Da diese Aspekte sich durchdringen, sind sie auch im Folgenden parallel dargestellt.

Das Beschriebene wurde im Rahmen einer im sechsten Semester des Bachelorstudiengangs Mechatronik Feinwerktechnik stattfindenden Projektarbeit bearbeitet, diese wurde an zwei vierköpfige Teams vergeben.

Hier lag das Augenmerk in erster Linie auf der strukturmechanischen Analyse und dem Aufbau der Messtechnik. Außerhalb der TH Nürnberg bearbeitete ein Team von Lehramtsstudierenden im Fach Physik das Thema (betreut von Dr. Angela Fösel) mit dem Schwerpunkt Hochgeschwindigkeitskamera. An der TH Nürnberg erfolgte die Betreuung durch den Autor und Prof. Dr. Dwars.

Idee war es, mittels Messungen eine durch Normtests nicht nachgebildete kritische Krafteinleitung beim offenen Karabiner nachzuweisen und eine realistischere Testmethodik zu konzipieren. Dazu sollen handelsübliche Bergsportkarabiner unterschiedlichen Designs mit Dehnmessstreifen (DMS) und Mess-Instrumentierung versehen und im Sturzfall die auftretenden Spannungen ermittelt werden. Parallel wird der Karabiner im Sturzfall mit einer Hochgeschwindigkeitskamera (300 - 1000 Bilder / s) aufgenommen und so die Krafteinleitung ermittelt. Zur Vorbereitung sind eine statische Kalibrierung der DMS am Zugprüfstand (Labor Werkstofftechnik, Prof. Dr. Dwars) und Finite-Elemente-Simulationen notwendig. Somit sind in dem Projekt Inhalte aus den Lehrveranstaltungen Technische Mechanik, Messtechnik, Mechatronische Komponenten, Finite-Elemente-Simulationen aber auch Mikrocomputertechnik und Bildverarbeitung enthalten.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

Im Lehrforschungsprojekt wurde die Herangehensweise von den Studierenden weitgehend selbständig entwickelt und gesteuert. Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt:

- **Recherche:** Recherche Unfallmuster, Unfallzahlen auch außerhalb des deutschsprachigen Raums. Recherche bestehender statischer Normtests. Sichtung der Literatur und Entwicklung und Darstellung eigener Hypothesen.
- **Präsentation:** Präsentation der Hypothesen bei einem Treffen (12. Mai 2015) der Projektpartner TH Nürnberg, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Deutscher Alpenverein (DAV) an der TH Nürnberg. Beteiligt waren insgesamt 16 Studierende, die beteiligten Dozenten und Dozentinnen und Sophia Steinmüller (DAV). Durch das Engagement des DAV-Sicherheitskreises wurde sichergestellt, dass die untersuchten Fragestellungen nicht nur akademisch sondern auch praktisch relevant sind. Reflektion der Rückmeldungen.
- **Entwicklung einer Kraft-Messmethodik:** Konstruktion und Festigkeitsnachweis einer Aufnahme für die Zugmaschine. Definition der Orte für DMS (Finite-Elemente-Simulation), Applikation der DMS, Einarbeitung und Anwendung in Mess-System (HBM-Verstärker).
- **CAD-Modell:** Mittels 3D-Scanner (Abb. 3). Durch die Generierung des 3D-Modells eines real vorliegenden Karabinertyps sind FEM-Simulationen insbesondere auch des nicht-linearen Verhaltens vorbereitet.
- **Messergebnisse:** Es wurden Tests an einer Zugmaschine durchgeführt. Die erreichbaren Geschwindigkeiten betragen max. 500 mm / min, so dass keine einem Sturz entsprechende Dynamik erreicht werden kann. Wichtige Resultate:
 - Normtests (Abb. 4) können mit der vorliegenden Zugmaschine gut durchgeführt werden. Die angegebenen Festigkeitswerte wurden nie unterschritten (auch bei einer statistischen Auswertung) bei einer typischen Messreihe (Offenbruchlast nominell 7kN) bei einer mittleren Bruchkraft von 8.46 kN bei einer Standardabweichung von 0.3 kN.
 - Real vorkommende ungünstige Lastfälle (Abb. 5) reduzieren die Festigkeit (Offenbruchlast nominell 7kN) so stark, dass auch alltägliche Belastungen zu einem Karabinerbruch führen können (2.72 +- 0.3 kN).
 - Krafteinleitung über gebräuchliche textile Verbindungen („Expressschlingen“) führen zu geschwindigkeitsabhängigen Belastungen. Startet man bei ungünstiger Position der Schlinge (langer Hebel), so rutscht diese bei erhöhten Geschwindigkeiten nicht schnell genug an die günstige Position, so dass hohe Spannungen wirken. Bei kleinen Geschwindigkeiten (50 mm/min) ist das nicht der Fall.

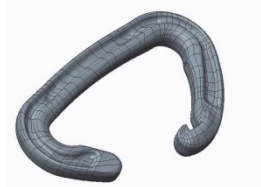


Abbildung 3: Mittels 3D-Scanner generiertes 3D-Modell [3].

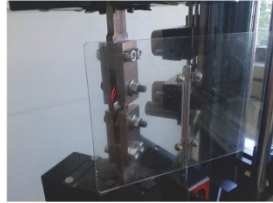


Abbildung 4: Zugversuch nach Norm [2].



Abbildung 5: Ungünstige Kräfteinleitung [2].



Abbildung 6: Kräfteinleitung über Textilie

Noch nicht verwirklicht wurden die durch Hochgeschwindigkeits-Bildgebung begleiteten dynamischen Messungen, da das Bildgebungssystem nicht im Projektverlauf in Betrieb genommen wurde. Direkte Folge daraus ist, dass auch Konzepte für realitätsnähere Normtests nicht entwickelt werden konnten.

5. Nachhaltigkeit / Verwertung / wissenschaftliche Arbeiten

Die wissenschaftlichen Ergebnisse aus diesem Projekt erlauben die direkte Weiterführung verschiedener mit Bergsportkarabinern befasster Fragestellungen, da nun Methoden und Werkzeuge zur Kraftmessung etabliert und erste Erkenntnisse zu dynamischen Tests vorliegen. Insbesondere die Begleitung dynamischer Kraftmessungen durch eine Hochgeschwindigkeitskamera ist geplant und erlaubt eine tiefere Analyse der Sturzbelastung, die zur Konzeption von verbesserten Normtests notwendig ist.

Die Zusammenarbeit mit Dr. Angela Fösel / Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und dem Sicherheitskreis des Deutschen Alpenvereins hat sich als fruchtbar erwiesen und soll weitergeführt werden.

Nicht zuletzt der Charakter des „forschenden Lernens“ des Projekts wird für die beteiligten Studierenden eine nachhaltige positive Wirkung auf ihre Motivation und Haltung bei der Bearbeitung ingenieurwissenschaftlicher Herausforderungen haben.

6. Literatur:

- [1] D. Seider, „Bruchverhalten von Bergsport-Aluminiumkarabinern bei dynamischer Belastung.“, Fachhochschule Kempten, Kempten, 2012.
- [2] K. Herderich, D. Müller, F. Mittelmaier, Ch. Ortner, Projektarbeit TH Nürnberg, 2015.
- [3] D. Haager, T. Klaus, J. Schmidt, M. Zametzer, Projektarbeit TH Nürnberg, 2015.