

Versuche zur Stabilität von Stützen und Trägern aus verschiedenen Materialien

Prof. Dr.-Ing. Hugo Rieger
Fakultät Bauingenieurwesen
Technische Hochschule Nürnberg

Zusammenfassung:

Die Untersuchungen zur Stabilität von Stützen und Trägern sollen dazu dienen, anschauliche Ergebnisse zu dem Verhalten von verschiedenen Profilen aus Aluminium, Stahl und Kunststoff, bis zum Verlust der Stabilität zu liefern. Hierzu wurden handelsübliche Profile und spezielle Kunststoffprofile – hergestellt im 3D-Druckverfahren – bis zum Versagen belastet und die maximal auftretenden Kräfte (Knicklasten) messtechnisch erfasst.

Weiterhin wurden die Versuchsdurchführungen gefilmt, um anschließend Videos in den Vorlesungsbetrieb implementieren zu können, welche den Verformungsverlauf infolge der Belastung bis hin zum Versagensfall anschaulich darstellen.

1. Projektdaten

Fördersumme	5.956 Euro
Laufzeit	April bis September 2016
Fakultät	Bauingenieurwesen
Projektleitung	Prof. Dr.-Ing. Hugo Rieger
Kontaktdaten	E-Mail: hugo.rieger@th-nuernberg.de

2. Ausgangslage

Die studentische Forschungsgruppe der Fakultät Bauingenieurwesen hat sich bereits im Wintersemester 2015/2016 mit ersten Versuchen zur Stabilität von Stützen und Trägern auseinandergesetzt. Die aus diesen Versuchen gewonnenen Erkenntnisse sollen nun anhand von Versuchen zu unterschiedlichen Profilgeometrien und unterschiedlichen Materialien erweitert werden.

3. Ziele des Forschungsprojekts

Ziel des Forschungsprojekts ist es das überwiegend theoretisch vermittelte Wissen über die Stabilität von Stützen und Trägern mit kleinen, in sich geschlossenen Versuchsdurchführungen sowie mit Videomaterial und Messdaten zu unterfüttern. Diese Versuche sollen in Zukunft in den Vorlesungen des Bachelorstudiengangs Bauingenieurwesen anhand des erzeugten Videomaterials, der Prüfberichte und der Probekörper implementiert werden.

Die Videoaufzeichnungen werden hierzu am Computer verlangsamt und mehrere Videos unterschiedlicher Profile in einem Video im Split Screen zusammengeschnitten. Dadurch wird es ermöglicht, einzelne Versagensfälle direkt miteinander zu vergleichen und zu beurteilen, welche Kombination aus Profilquerschnitt und Material für einen bestimmten Zweck am geeignetsten ist. Weiterhin sollen die Versuchsdurchführungen messtechnisch erfasst werden sowie die Ergebnisse aufbereitet und als Laborbericht zur Verfügung gestellt werden.

Der angefertigte mobile Versuchsrahmen dient dazu, den Studierenden das Stabilitätsversagen von verschiedenen Profilen aus unterschiedlichen Materialien anhand von, in der Vorlesung implementierten Versuchsreihen zu veranschaulichen.

4. Herangehensweise und Forschungsergebnisse

4.1 Anfertigung des Versuchsrahmens

Um die Versuche durchführen zu können wurde eine mobile Einspannvorrichtung (vgl. Abbildung 1) konstruiert und hergestellt. Hierzu wurde ein *UPN 120* Träger aus *S 235 JR* Stahl als fester Unterbau gewählt. Das vordere Auflager – bestehend aus einem Rechteckprofil – wurde direkt auf den U-Träger aufgeschweißt und ist als Festlager anzusehen. Da die Länge der Prüfkörper variabel sein soll, wurde das Endauflager verstellbar konstruiert. Dies wurde mit Hilfe einer Anschlussplatte und mehreren Rasterlöchern im Endauflager sowie im Unterbau realisiert, die es ermöglichen die Prüfvorrichtung auf die jeweilige Länge des Probekörpers anzupassen.

Zur Lasteinleitung dient eine metrische Spindel, die mit Hilfe einer eingeschweißten Mutter am Endauflager gelagert ist und die Aufbringung von Normalspannungen auf den Probekörper, in Form von Druckkräften ermöglicht. Um Torsionsspannungen im Prüfkörper zu vermeiden, kam eine Führung aus zwei ineinandergreifenden Vierkantrohren zum Einsatz, die ein Verdrehen durch die Spindel verhindert.

Zuletzt wurde die Vorrichtung mit einer roten Rückwand ausgestattet, um einen guten Kontrast für die Videoaufzeichnungen zu gewährleisten.



Abbildung 1: Mobile Prüfvorrichtung

4.2 Auswahl und Herstellung der Prüfkörper

Als Prüfkörper wurden unterschiedliche Profilgeometrien (Abbildung 2) aus unterschiedlichen Materialien (Stahl, Aluminium und Kunststoff) gewählt. Zusätzlich wurden weitere Profilgeometrien mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens erzeugt.

Um eine Abschätzung des Verhaltens von Profilen aus dem 3D-Drucker zu erhalten, wurden die Profile aus Abbildung 2 mit Hilfe des 3D-Druckverfahrens „nachgedruckt“. Hierzu wurden zunächst – unter Verwendung des CAD Programms AutoCAD – zweidimensionale Geometrien erstellt, welche im Anschluss in Längsrichtung extrudiert wurden um 3D Objekt zu erzeugen. Anschließend wurden die Dateien als druckfähige STL-Dateien exportiert, um sie in die dreidimensionale Softwaresprache des Druckers zu überführen, anzupassen und schließlich drucken zu können.

Die Länge der Prüfkörper wurde zu 250 mm festgelegt und die gekauften Stahl-, Aluminium- und Kunststoffprofile wurden auf diese Länge gekürzt.



Abbildung 2: Profilschnitte

4.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Zu Beginn der Versuchsreihen wurden die Kamera zur Videoaufzeichnung und die Fotolichter zur Ausleuchtung platziert. Damit zu einem späteren Zeitpunkt die Videoaufzeichnungen ohne Qualitätsverlust verlangsamt werden können, ist bei der Aufnahme der Videos auf eine möglichst kurze Verschlusszeit der Kamera zu achten. Die kurze Verschlusszeit erfordert jedoch eine überdurchschnittlich helle Ausleuchtung des zu filmenden Bereichs, welche durch zwei leistungsstarke Fotolichter sichergestellt wurde.

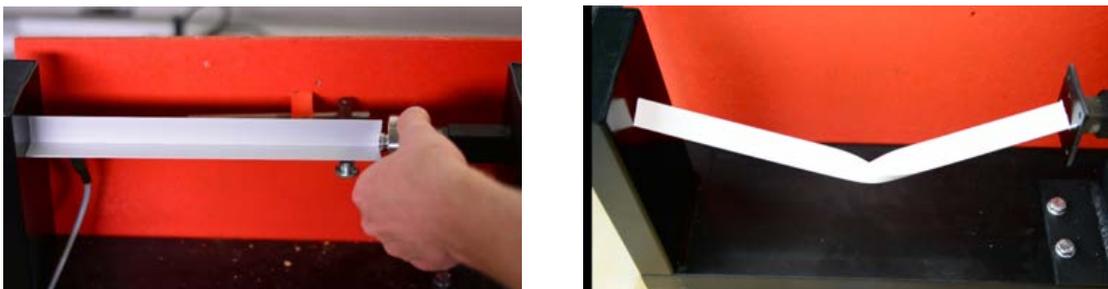


Abbildung 3: Einbau der Prüfkörper und Belastung bis zum Stabilitätsversagen

Die Profile wurden anschließend in die Prüfvorrichtung eingespannt und bis zum Stabilitätsversagen belastet (vgl. Abbildung 3). Dabei wurde die aufgebrachte Kraft – in Form einer Normalspannung – mit Hilfe einer an der Spindel befestigten Kraftmessdose gemessen und die maximal auftretende Kraft (Knicklast) bestimmt.

Da die Normalkraft, welche mit der mobilen Presse aufgebracht werden kann, beschränkt ist wurden Aluminiumprofile mit größeren Querschnitten sowie Stahlprofile in der hydraulischen Presse des konstruktiven Labors der Fakultät Bauingenieurwesen geprüft (siehe Abbildung 4). Diese Presse hat den Vorteil eines kontinuierlichen hydraulischen Vorschubs, der nicht kraft- sondern wegabhängig arbeitet.



Abbildung 4: Aluminium Probekörper eingespannt in der hydraulischen Presse

4.4 Auswertung der Versuche

Zunächst wurden die Versuche zu den einzelnen Profilquerschnitten aus unterschiedlichen Materialein im Hinblick auf ihr Bruchverhalten und ihr Bruchbild analysiert. Während das Bruchbild bei Profilen aus Stahl und Aluminium deutliche Knick- und Bruchstellen aufweist, bleibt bei den Prüfkörpern aus Kunststoff nach Entlastung lediglich eine kleine irreversible plastische Verformung zurück.

In einem weiteren Schritt wurden die messtechnisch ermittelten Knicklasten der unterschiedlichen Profile aus Stahl, Aluminium und Kunststoff in Prüfprotokollen dokumentiert, bewertet und verglichen, um Abschätzungen vernehmen zu können, welche Kombination aus Profilquerschnitt und Material für einen bestimmten Zweck am geeignetsten ist.

In Abbildung 5 und 6 sind die grafischen Auswertungen für zwei Versuche exemplarisch dargestellt.

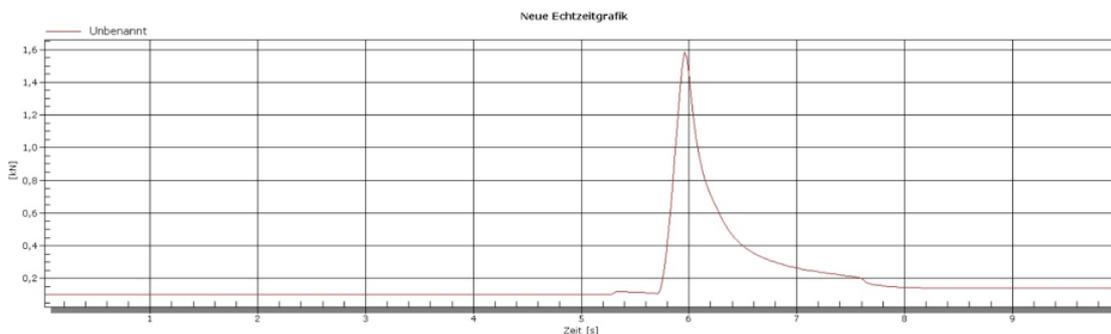


Abbildung 5: Messtechnische Auswertung eines Aluminiumprofils

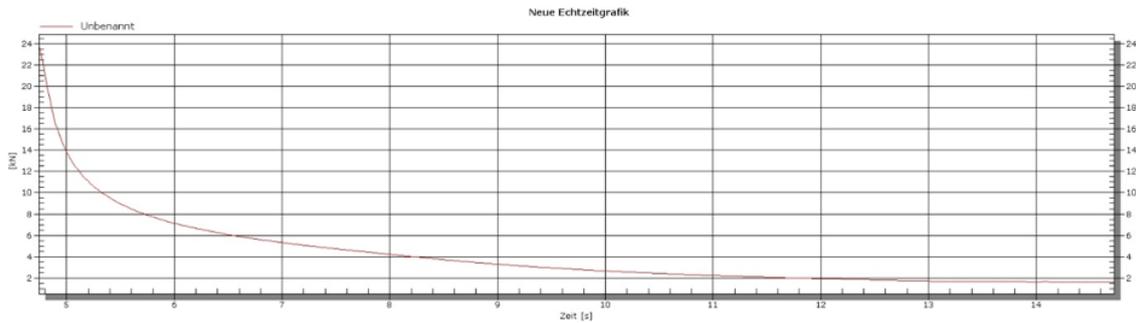


Abbildung 6: Messtechnische Auswertung eines Randstahlprofils

5. Zusammenfassung und Ausblick

Anhand der Versuchsergebnisse lässt sich ein deutlicher Rückschluss auf das Verformungsverhalten unterschiedlicher Profilquerschnitte aus unterschiedlichen Materialien ziehen. Weiterhin ist der Verlust der Stabilität durch das sogenannte Knicken auf den verlangsamteten Videoaufnahmen deutlich zu erkennen. Durch die Auswertung der messtechnischen Erfassungen lassen sich die Profilquerschnitte im Hinblick auf deren Knicklast bewerten.

Im Rahmen des Forschungsprojekts konnte eine erfolgreiche Basis für weitere Versuche zur Stabilität von Stützen und Trägern geschaffen werden. Auf dieser Basis können weitere Überlegungen, z.B. zum Einfluss von Materialfehlern, Temperatur oder Vorverformungen angestellt werden. Ein weiterer Anwendungsbereich für den mobilen Prüfrahm ist die sogenannte Spannungsoptik, bei der durch die Verwendung von polarisiertem Licht die Spannungsverteilung in lichtdurchlässigen Körpern veranschaulicht werden kann.

Die Prüfkörper, Prüfprotokolle und Videoaufzeichnungen können in den Vorlesungsbetrieb mit eingebunden werden um den Studierenden eine anschauliche Darstellung, des ansonsten theoretisch vermittelten Themenbereichs des Bauingenieurwesens zu bieten. Durch interessierte Studierende können im Rahmen der studentischen Forschungsgruppe zukünftig weitere Versuche durchgeführt, und somit eine Fortsetzung des Forschungsprojekts sichergestellt werden.

6. Verwendung der zur Verfügung gestellten Mittel

Für die Bearbeitung des Projekts wurden drei Studierende, die bereits einschlägige Erfahrungen im Bereich der fachgerechten Durchführung von Prüfungen gesammelt haben, als studentische Hilfskräfte über die komplette Projektdauer von insgesamt 20 Wochen zu je vier Stunden pro Woche angestellt. Des Weiteren wurden zwei leistungsstarke Videoleuchten angeschafft. Diese stellen sicher, dass bei der Videoaufzeichnung der einzelnen Versuche, welche mit kurzer Verschlusszeit und kleiner Blende der Kamera aufgenommen werden, genügend Licht vorhanden ist und die Videos somit von guter Qualität sind. Weiterhin wurden von den vorhandenen Mitteln handelsübliche Profile aus Stahl, Aluminium und Kunststoff angeschafft. Die Vielfalt an Probekörpern wurde anhand von weiteren Probekörpern – hergestellt mit Hilfe des 3-D Druckverfahren – erweitert. Hierzu wurden mehrere Spulen des sogenannten Filaments (Druckmaterial) angeschafft.