

## Wissenschaftliche Hilfskraft am LNM und AER:

### Zwischenbericht TFSI 26.05.14:

Grundlegend für alle Betrachtungen und Bewertungen ist das Paper von S. Willems, A. Gülhan und B. Esser „Shock induced fluid structure interaction on a flexible wall in supersonic turbulent flow“ aus dem Jahr 2013 [1]. Die Gruppe des DLRs hat sowohl Simulations- als auch Messergebnisse eines Windkanalversuchs in ihrem Paper vorgestellt.

Der prinzipielle Aufbau, der im Überschallwindkanal des Kölner DLRs realisiert wurde, ist in folgender Abbildung 1 dargestellt:

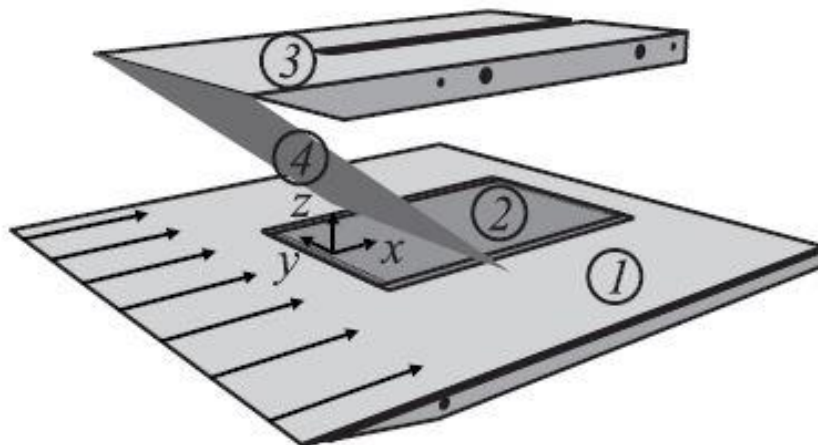


Abbildung 1 - Prinzipdarstellung Versuchsaufbau

Auf der Platte ①, welche in mehreren Versuchen mit unterschiedlichen Geschwindigkeit (hier: Mach 3) angeströmt wird, bildet sich eine turbulente Grenzschicht aus. Am Keil ③ entsteht ein Schock ④, der auf das Panel ② trifft. Untersucht wird die FSI auf dem Panel ②.

Bevor die FSI-Kopplung zwischen BACI und INCA gerechnet wird, sollten wie im Paper des DLRs zuerst Untersuchungen/Simulationen auf Strukturseite mit statischer, uniformer Belastung durchgeführt werden.

Das Panel wird hierfür mit verschiedenen statischen Drücken beaufschlagt und die daraus resultierende maximale Durchbiegung gemessen. Das Panel wird nur in Strömungsrichtung beidseitig eingespannt. Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse der DLR Simulationen und Messungen:

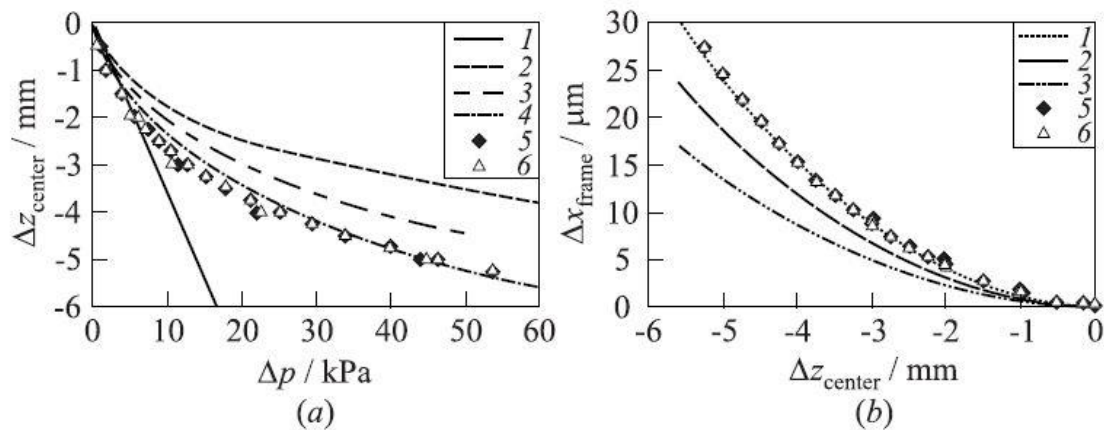


Abbildung 2 – Durchbiegung des Panels infolge statischer Last: (a) Durchbiegung des Panels an der Mitte über verschiedene Druckdifferenzen (1-4 Ansys Simulationen, 5 und 6 Messungen im Windkanal); (b) Verschiebung des Panels an der Einspannung über die Durchbiegungen an der Mitte (1-3 Ansys Simulationen, 5 und 6 Messungen)

Die vorgesehene Einspannung im DLR-Versuch war nicht richtig ausgeführt, da sie den hohen Belastungen nicht standhalten konnte und somit Verschiebungen in x-Richtung (Strömungsrichtung) an der Einspannung hervorrief (Abbildung 2 (b)). Die Lagerung wurde unter Anderem durch Nieten auf ca. 2/3 der x-Länge der Einspannung realisiert.

## Ergebnisse am LNM:

Die in Abbildung 2 (a) gezeigten Ergebnisse sollen nun durch Simulationen mit verschiedenen Einspannvarianten reproduziert werden. Dafür werden fünf verschiedene Fälle für drei unterschiedliche Druckbeaufschlagungen (10 kPa, 30 kPa und 50 kPa) simuliert. Die Geometrie- und Materialdaten wurden aus dem oben genannten Paper entnommen. Der Balken (CK70) hat einen E-Modul von 206 GPa. Zur Vernetzung werden HEX8-Elemente mit „full EAS“ verwendet. In der nachfolgenden Abbildung 3 ist das Strukturnetz gezeigt. Die Einspannungen sind mit jeweils 4+2=6 Elemente in x-Richtung vernetzt. Das Panel, auf dem die Druckdifferenz aufgebracht wird, mit 100 Elementen in Strömungsrichtung. Quer dazu und in Tiefenrichtung sind es jeweils 2 Elemente.



Abbildung 3 - Vernetzung Balken

### Fall 1: Fest eingespanntes Panel

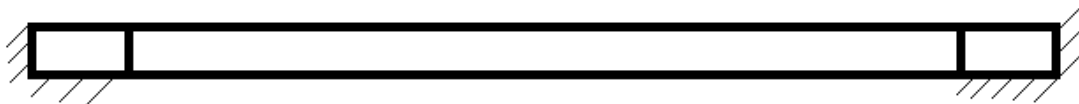


Abbildung 4 - Skizze Balken Fall 1

Im ersten Simulationsfall wurden in Strömungsrichtung beide Seiten des Balkens vollständig eingespannt (Abbildung 4). In der folgenden Abbildung 5 sind die Verschiebungen in der Mitte des Balkens nach Aufbringen dreier verschiedener Drucklasten (10 kPa, 30 kPa, 50 kPa) abgebildet. Die auftretenden Durchbiegungen liegen ca. 30% unter den im DLR-Experiment ermittelten Lasten. In einem weiteren Paper [2], welches auch dieses Problem nachsimuliert, waren die Durchbiegungen ebenfalls um ca. ein Drittel kleiner als im Ausgangsexperiment. Die Begründung für die zu geringen Durchbiegungen ist die als ideal, fest gelagerte simulierte Einspannung, da diese beim DLR-Versuch der Last nicht standhalten konnte und somit Verschiebungen in x-Richtung zuließ.

Um die gemessenen Ergebnisse des DLR-Versuchs besser zu reproduzieren, wurden im den folgenden Fällen verschiedene Varianten der Lagerung betrachtet, welche größere Durchbiegungen erlauben.

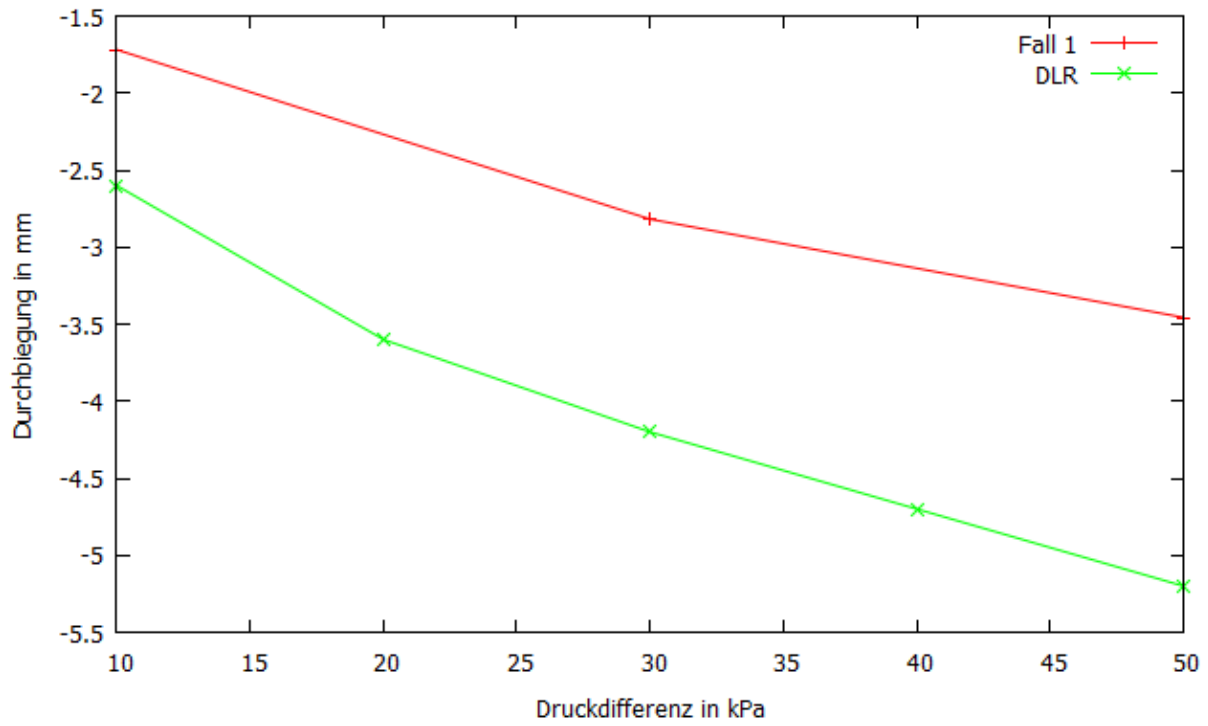


Abbildung 5 - Ergebnisse Fall 1: Durchbiegung der Mitte des Balkens bei verschiedenen Drucklasten auf das Panel

Fall 2: Vorgegebene Verschiebung in x-Richtung an beiden Einspannungen

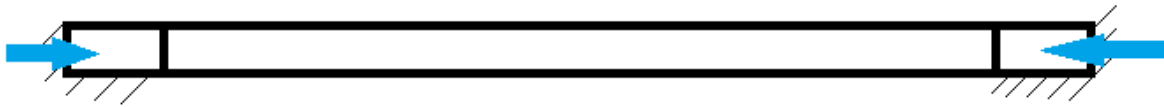


Abbildung 6 – Skizze Balken Fall 2

In dieser Simulation wurden die Lagerungen mit einer festen Dirichlet-Randbedingung in x-Richtung beaufschlagt (Abbildung 6). Es wurden zwei beliebige Werte aus Abbildung 2 (b) gewählt. Die Durchbiegungen der Mitte der Platte bei x-Verschiebungen der Lagerungen von  $10\ \mu\text{m}$  und  $17\ \mu\text{m}$  sind in Abbildung 7 abgebildet und werden mit denen des ersten Falls als Referenz verglichen. Es fällt auf, dass diese Veränderung der Lagerung einen großen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat. Jedoch handelt es sich hierbei um ein inverses Problem, da die Lagerverschiebungen aus der Drucklast resultieren und erst dann zustande kommen. Jedoch kann man die Erkenntnis, dass eine „weichere“ Lagerung größere Durchbiegungen bringt, aus den Ergebnissen ziehen.

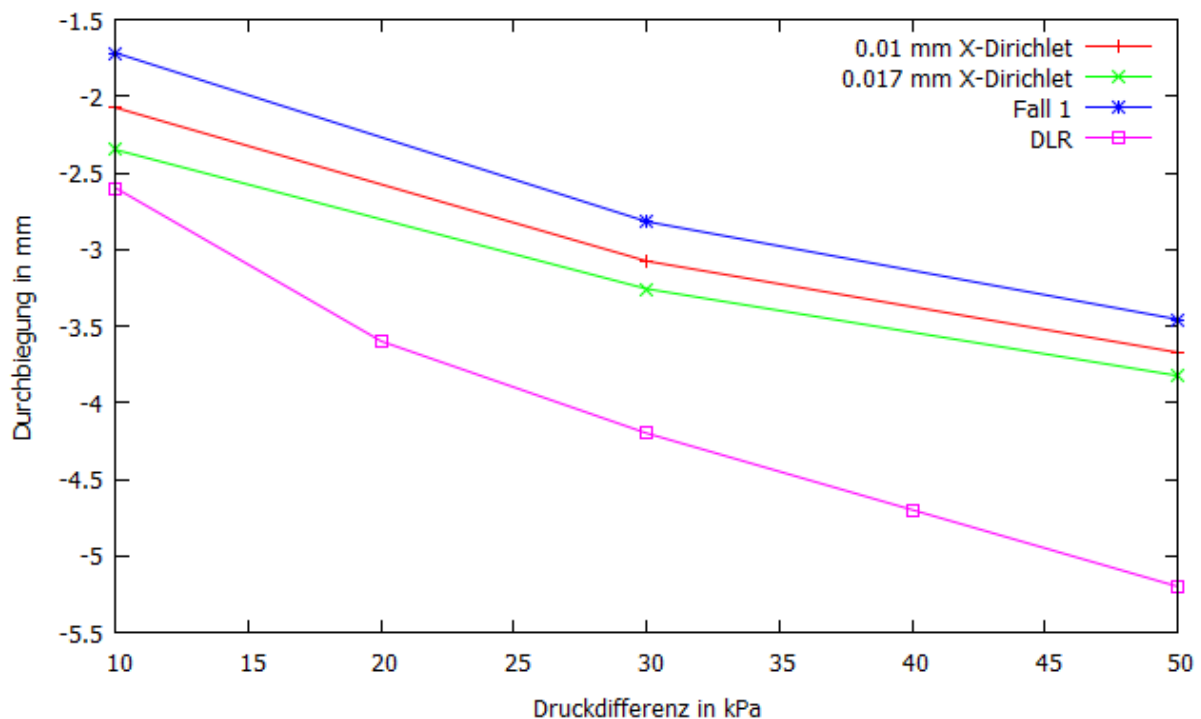


Abbildung 7 - Ergebnisse Fall 2: Durchbiegung der Mitte des Balkens bei verschiedenen Drucklasten auf das Panel

Fall 3: Veränderter E-Modul an der Einspannung

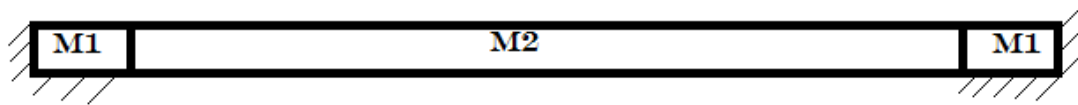


Abbildung 8 - Skizze Balken Fall 3

Eine weichere Lagerung wurde im Fall 3 mittels verschiedener E-Module des Balkens realisiert. Der E-Modul der Balkenstücke der Lagerung (M1) wurden in zwei Simulationen auf die Hälfte bzw. auf ein Viertel des ursprünglichen E-Moduls (M2, Material: CK70) gesetzt (Abbildung 8). In Abbildung 9 erkennt man, dass der Einfluss dieser Veränderung auf das Ergebnis ziemlich schwach ist.

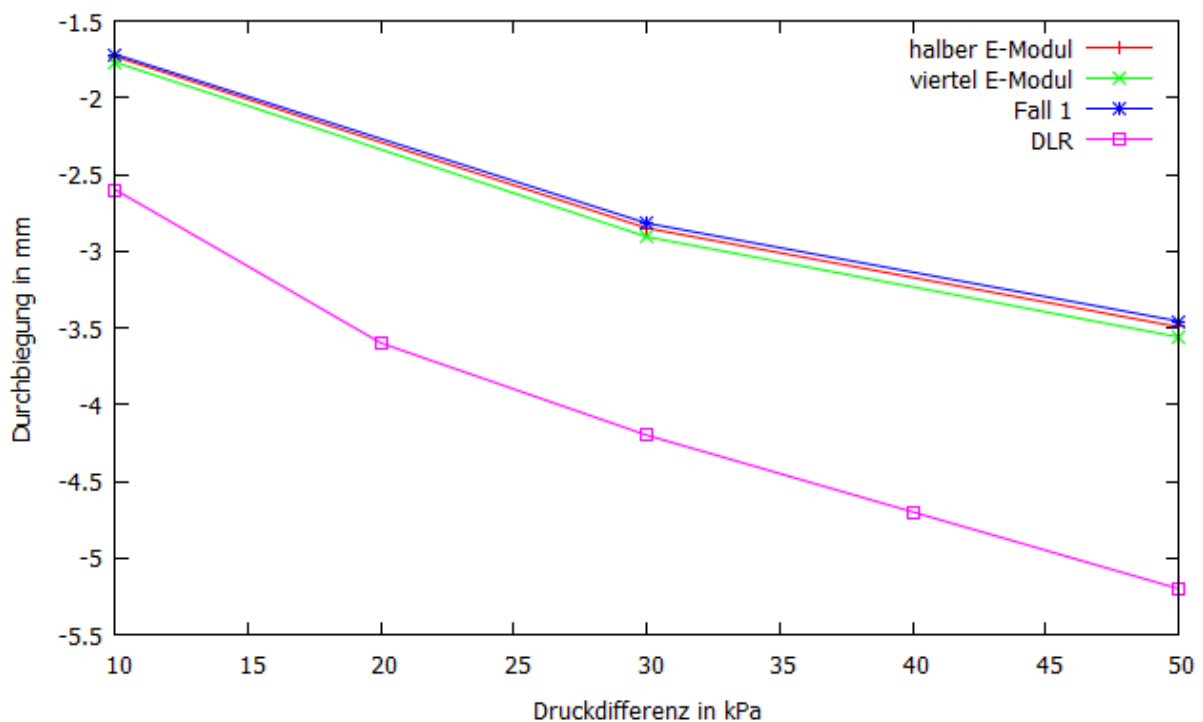


Abbildung 9 - Ergebnisse Fall 3: Durchbiegung der Mitte des Balkens bei verschiedenen Drucklasten auf das Panel

Fall 4: Fest eingespanntes Panel in y- und z-, frei in x-Richtung ab 2/3 der Einspannung

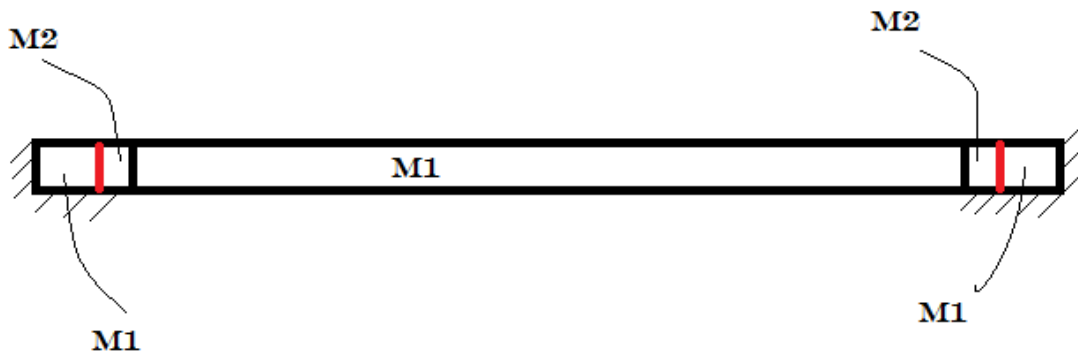


Abbildung 10 - Skizze Balken Fall 4 und Fall 5

In Fall 4 wurde die Lagerung so gestaltet, dass die Schwächung des Materials in der Lagerung durch die Nieten im realen Versuch, durch einen freien x-Freiheitsgrad im Bereich ab 2/3 der x-Länge der Lagerung (Abbildung 10, Material M2) simuliert wurde. Die Ergebnisse in Abbildung 11 zeigen jedoch keine großen Veränderungen in den Durchbiegungen der Mitte des Balkens im Vergleich zu Fall 1.

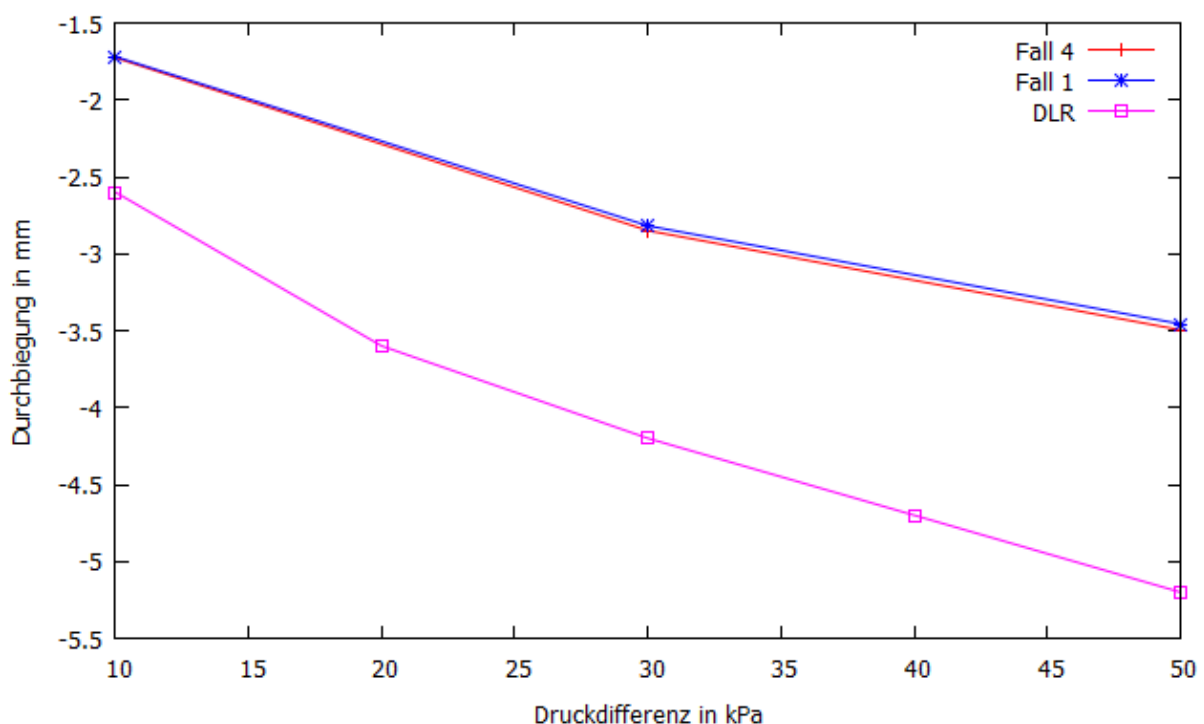


Abbildung 11 - Ergebnisse Fall 4: Durchbiegung der Mitte des Balkens bei verschiedenen Drucklasten auf das Panel

Fall 5: Kombination aus Fall 3 und Fall 4: freier x-Freiheitsgrad bei unterschiedlichem E-Modul

Der letzte simulierte Fall stellt eine Kombination aus Fall 3 und Fall 4 dar. Neben dem freien x-Freiheitsgrad wurden die E-Module dieser Stücke (M2) auf die Hälfte des E-Moduls des restlichen Balkens bzw. in einer zweiten Simulation auf ein Viertel reduziert (Abbildung 10). Das Zusammenspiel dieser beiden Faktoren zeigt nun größere Durchbiegungen, im Vergleich zu den Einzelfällen (Abbildung 12). So große Durchbiegungen, wie im DLR-Experiment, konnten jedoch auch in diesem Testfall nicht reproduziert werden.

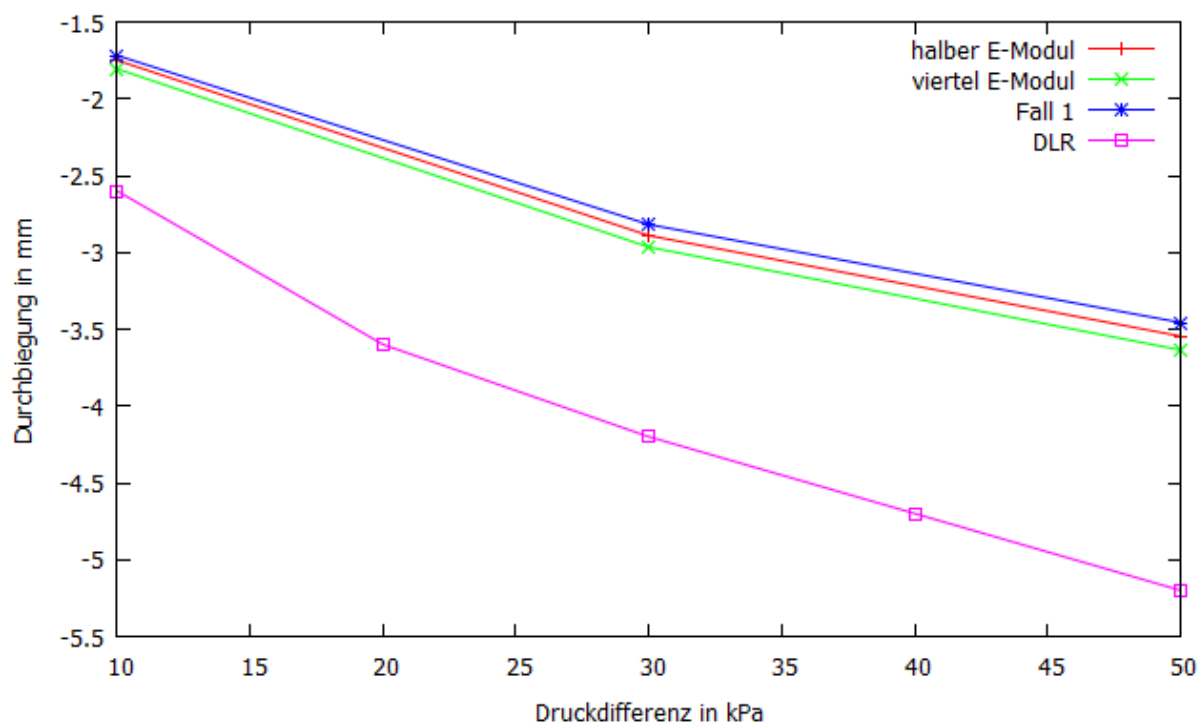


Abbildung 12 - Ergebnisse Fall 5: Durchbiegung der Mitte des Balkens bei verschiedenen Drucklasten auf das Panel

**Fazit und weiteres Vorgehen:**

Die Durchbiegungen des ursprünglichen Experiments konnten nicht reproduziert werden, da die dort auftretenden Abweichungen der eigentlich festen Einspannung nicht auf einfache Weise simuliert werden können.

Andere mögliche Varianten der Einspannung werden weiterhin verfolgt und berechnet. Zudem wird eine Kopplungsrechnung in Bälde angestrebt, um den Code auch für eine komplexere Problemstellung, wie sie in diesem Experiment vorliegt, zu validieren.



## **Literaturverzeichnis**

[1] S. Willems, A. Gülhan und B. Esser, „Shock induced fluid structure interaction on a flexible wall in supersonic turbulent flow“, 2013

[2] N. Hosters, M. Klaus, G. Schieffer, M. Behr und H.-G. Reimerdes „Towards aerothermoelastic simulations of supersonic flow through nozzles“, 2013