

6 Zusammenfassung

Die Speicherung von Wasserstoff in Typ IV Druckbehältern, bestehend aus einem innenseitigen Kunststoffliner und einer umgebenden Kohlefaserarmierungsschicht, gilt aufgrund des dadurch erzielten Leichtbaus und nicht zuletzt hohen Speicherdichten als Stand der Technik in mobilen Kraftfahrzeuganwendungen. Jedoch verliert der Liner unter zu geringem Innendruck seine Integrität, was zum Versagen dieser Funktionsschicht führen kann. Zur Prävention dessen, wird die Wasserstoffentnahme toleranzbedingt weit oberhalb dieser Druckgrenze beendet. Die Entwicklung eines Sensorsystems, welches den Innendruck des Behälters präzise erfassen kann, würde dazu führen, sich dieser Grenze gezielter nähern zu können. Dies impliziert, dass mehr Wasserstoff aus dem Druckbehälter entnommen werden könnte, was zu einer erhöhten kundenrelevanten Fahrzeugreichweite führen würde.

Hierfür werden Ultraschallprüfköpfe herangezogen, welche unter dem kritischen Einfallswinkel akustische Wellen erzeugen, welche sich unterhalb der Oberfläche einer Kohlefaser ausbreiten. Dadurch ist der Zugang zu lediglich einer Seite des Druckbehälters notwendig, wodurch das Sensorsystem als nichtinvasiv betrachtet werden kann. Durch die Dehnung des Behälters bei Druckbeaufschlagung wird über die Laufzeitänderung empfangener Wellenanteile auf den tatsächlich vorherrschenden Innendruck geschlossen. Das Messprinzip beruht demnach auf dem akustoelastischen Effekt, welcher den wirkenden Dehnungszustand eines Objekts mit der Änderung der Geschwindigkeit akustischer Wellen verknüpft.

Zunächst werden isotrope Metallplatten herangezogen, um das Ausbreitungsverhalten der Schwingungsimpulse zu untersuchen. Hierfür werden verschiedene Vorsatzkeile hergestellt, mit Hilfe derer die kritische Einfallstechnik analysiert wird. Zudem werden Spektren von Transmissions- und Reflexionskoeffizienten aufgezeigt, welche Aufschluss über das Verhalten bei verschiedenen Medienübergängen geben. Ebenfalls wird vorgestellt, wie anhand dieser die kritischen Winkel ablesbar sind.

Als nächstes wird ein Modell in Matlab entwickelt, welches die Wellenausbreitung in isotropen Feststoffmedien vorhersagt. Die hieraus erlangten Erkenntnisse werden auf die Simulation eines isotropen Mehrschichtsystems übertragen. Gleichzeitig wird die Modellvorhersage sowohl für das Einschicht- als auch für das Mehrschichtsystem praktisch untersucht. Hier wird insbesondere die zeitliche Impulsfolge miteinander verglichen, aus der auf die Longitudinal- sowie Scherwellengeschwindigkeit eines Mediums geschlossen werden kann. Die hier erzielten Ergebnisse treffen die Daten aus der Literatur exakt. Ebenfalls stimmt die zeitliche Analyse der Wellenausbreitung zwischen Modell und Experiment überein.

Im Zuge dessen werden aus den praktischen Untersuchungen auf die Schwächungskoeffizienten der jeweiligen Wellentypen geschlossen. Durch starke Störeffekte des verwendeten Koppelgels sind diese jedoch mit einer großen Unsicherheit behaftet. Aus der Signalanalyse geht dennoch hervor, dass Longitudinalwellen stärker gedämpft werden als Scherwellen, was nicht im direkten Einklang mit der Literatur steht. Es wird vermutet, dass die sich unterhalb der Oberfläche ausbreitenden kritisch reflektierten beziehungsweise gebrochenen Longitudinalwellen keine Volumenwellen, sondern Oberflächenwellen sind und demnach stärker geschwächt werden.

Zuletzt dienen alle vorangehenden theoretischen und praktischen Analysen dazu, die angestrebte Wellenausbreitung innerhalb des Druckbehälters zu erzeugen. Es wird gezeigt, dass diese in Richtung einer Kohlefaserlage erreichbar ist. Aufgrund dessen wird ein Prüfstand aufgebaut, welcher einen exemplarischen Typ IV Druckbehälter mit synthetischer Luft beaufschlagen kann. Ein Druckmanometer überprüft dabei den Innendruck des Behälters. Durch die Vielzahl an Versuchsreihen wird ersichtlich, dass eine form- und kraftschlüssige Verbindung der Sensoren mit der Oberfläche des Messobjekts entscheidend ist, um Relativbewegungen zu unterbinden. Außerdem wird durch Beobachtung auf ein instationäres Einschwingverhalten des Druckbehälters geschlossen, welches anschließend für den Befüllungs- sowie für den Entnahmevorgang erforscht wird. Schlussendlich kann durch die Berücksichtigung dieser Fehlerquellen eine Kennlinie an die gemessenen Daten approximiert werden, welche für den überprüften Druckbereich von 0 - 37,5 bar linear zu sein scheint. Nicht zuletzt wird dadurch die Funktionsweise des Messprinzips validiert als auch das Potential in der Minimierung der hierbei auftretenden Messunsicherheiten gesehen.