

Herzstück des H2-Autos – Die Entwicklung eines kryogenen Tanksystems unter Zuhilfenahme von virtuellen Methoden

*DI Reinhard Hafellner, Dr. Bernd Mlekusch, advanced polymer engineering
Dr. Guenter Krainz, Magna-Steyr Engineering*

Immer mehr Automobilhersteller sind sich darüber einig, dass Wasserstoff einen sehr wichtigen Energieträger der Zukunft darstellt. „Fahren mit regenerativen Treibstoffen“ – das ist dabei eine Vision, die für unsere Zukunft immer mehr Form annimmt. Entsprechend intensive Bemühungen gibt es, diese Vision heute durch Prototypen zu testen um sie morgen in die Serie umzusetzen. Die Speicherung des Wasserstoffes ist ein Herzstück eines solchen Konzeptes. Sicherheit und Reichweite stehen dabei im Vordergrund. Der flüssige Aggregatzustand stellt für den Wasserstoff einen Zustand mit sehr hoher Energiedichte dar.

Magna-Steyr hat sich die Umsetzung des Energiespeichers als kryogenen Tank für den Serieneinsatz zum Ziel gesetzt, und dabei BMW mit dem Clean-Energy Konzept als schlagkräftigen Kunden und Partner gewonnen. **ape** - advanced polymer engineering ist Entwicklungspartner, der sich insbesondere mit der Erstellung und Umsetzung mechanischer und physikalischer Modelle durch Simulation und Versuche mit einem Schwerpunkt in Kunst- und Verbundstoffbereich beschäftigt.

Dieses grundsätzlich neue Konzept des Einsatzes eines kryogenen Tanks in einem dynamisch bewegten Medium erzeugt eine große Reihe an Anforderungen in einem Bereich, in dem nur sehr wenig Erfahrungswerte existieren. Besonders in solchen Fällen stellt der Einsatz von virtuellen Methoden und der Simulation einen enormen Vorteil dar. Die Vorausberechnung des Verhaltens der aufgestellten Konzepte durch die Simulation unter den existierenden Randbedingungen stellt gleichzeitig einen sehr hohen Anspruch an das Niveau des virtuellen Ansatzes. Es gilt einen Tank bei -253°C nach Möglichkeit im Hochvakuum zu lagern und dabei Aufhängung und Leitungssysteme so zu gestalten, dass die Wärmezufuhr von außen minimiert wird. Gleichzeitig muß das Aufhängungssystem ausreichende Steifigkeit und Festigkeit aufweisen, um im Fahrbetrieb nicht in Eigenfrequenz geraten zu können und im Crash-Fall den Belastungen Stand zu halten. Die grundsätzlichen Wärmeübertragungsphänomene Konvektion, Strahlung und Leitung sind dabei in ihrer hohen Nichtlinearität über der Temperatur mit dem nichtlinearen und anisotropen Eigenschaftsverhalten der eingesetzten Materialien zu kombinieren. Die auftretenden Wärmedehnungen durch die dabei entstehenden Eigenspannungen werden von weiteren mechanischen Belastungen überlagert und müssen zusätzlich vom Werkstoff ertragen werden können.

Aus Komfortanforderungen, Sicherheitsanforderungen und gesetzlichen Anforderungen lassen sich entsprechende Randbedingungen ableiten. Im verbleibenden Machbarkeitsfenster gilt es kreativ Konzepte zu entwickeln und zu optimieren. Faserverbundwerkstoffe eignen sich aus Gründen der guten Kombination von hoher Steifigkeit und Festigkeit mit niedrigen Wärmeleitwerten sowie einstellbaren Wärmeausdehnungskoeffizienten.

Zur Lösung dieser Problematik werden im ersten Schritt analytische und numerische Ansätze ohne Verwendung Finiter Elemente umgesetzt. Auf diese Weise können sehr schnell grundsätzliche Zusammenhänge im Bezug auf Wärmeübertragung und Steifigkeit verständlich gemacht werden. Die Einbeziehung der Nichtlinearität bereits in diese analytischen Ansätze ist dabei von wesentlicher Bedeutung, da sich Wärmeleitkoeffizienten, Emissionskoeffizienten, thermische Ausdehnungskoeffizienten, Festigkeiten und zum Teil auch Steifigkeiten im Temperaturbereich zwischen 80°C und -253°C sehr stark nichtlinear verhalten. Nach Auslotung der geometrischen Parameter im Bezug auf die Optimierungsziele werden vorerst bestimmte Abmessungen festgelegt und Finite Elemente Modelle aufgebaut. Dadurch werden nun eine Reihe von Effekten analysiert, die bisher nicht abgebildet werden konnten. Unter Kombination von Mehrkörpersimulation und anisotroper, im ersten Schritt linearer, im zweiten Schritt nichtlinearer impliziter Struktursimulation kann das Verhalten dargestellt und verständlich gemacht werden. Für hochdynamische Vorgänge im Crash Fall ist die Verwendung der expliziten Crashsimulation notwendig.

Der Nachweis für das Niveau der auftretenden Spannungen und Verformungen ist in den gesetzlichen Richtlinien wie beispielsweise durch die Druckgeräteverordnung in einem bestimmten Rahmen vorgesehen und wird durch den TÜV geprüft. Neben der Sicherheitsbetrachtung steht jedoch das Verständnis für die Abläufe in der Konstruktion im Vordergrund.

Neben den Beschleunigungen während des Fahrbetriebes sind zwei weitere Lastfälle von Bedeutung. Zum Einen der Abkühlvorgang während der Erstbetankung, da hier sehr große Temperaturgradienten auftreten, die beachtliche Spannungen verursachen. Zum Anderen unterliegt das Tanksystem Druckschwankungen. Durch Simulationen können bereits in der Konstruktionsphase rasch die Problemstellen ausfindig gemacht und beseitigt werden.

Weiters bestehen Überlegungen für die Simulation thermodynamischer Schwingungen in den Rohrleitungen des Flüssigwasserstoff Tanksystems, die bei ungünstiger Verlegung der Rohrleitungen ein stark erhöhter Wärmeeintrag in den Innentank zu erwarten ist, der ein rasches Verdampfen der tiefkalten Flüssigkeit zur Folge hat.

Die nun existierenden ersten Prototypen spiegeln die durch die Simulation aufgezeigten Verhaltensweisen wider. Durch Einsatz der virtuellen numerischen Methoden konnten eine Reihe von Effekten ermittelt werden, die ohne dieselben nicht entdeckt worden wären sowie Zeitverlust und Kosten verursacht hätten. Einlenkende Maßnahmen konnten früh gesetzt werden. Bis in die Serienreife sind noch eine große Anzahl an Analysen und Versuchen notwendig, wo angestrebt wird die entwickelten Methoden weiter zu verbessern und die Übertragbarkeit auf andere Entwicklungen zu prüfen.

