

Crashsicherheit des Niedrigenergie- fahrzeugs „Schluckspecht City“

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg

Fakultät Maschinenbau
und Verfahrenstechnik (M+V)
Stellvertretender Leiter
Institut für Angewandte Forschung (IAF)

Badstraße 24
77652 Offenburg
Tel. 0781 205-351
E-Mail: ulrich.hochberg@fh-offenburg.de

1953: Geboren 28.7. in Stuttgart
1974–1979: Studium an der Universität Karlsruhe (TH)
1979–1984: Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technische Thermodynamik des FB Maschinenbau, 1984 Promotion
1985–1992: Leiter der Forschungsabteilung der GEA Wiegand GmbH
1992–1994: Produktionsleiter Werk Barby der Cerestar Deutschland GmbH
1994–2003: Produktfeldentwicklung / Anlagenbau
Seit 2003: Professor an der Hochschule Offenburg für Mess- und Regelungstechnik sowie Grundlagenfächer des Maschinenbaus
Seit 2006: Mitglied des Instituts für Angewandte Forschung (IAF) der Hochschule Offenburg



Forschungsgebiete: Regelungstechnik, Messtechnik, Thermodynamik

1.7 Crashsicherheit des Niedrigenergiefahrzeugs „Schluckspecht City“

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Hochberg
Sebastian Sinz
Frank Huberth [1]

Abstract

Die Experimentalfahrzeuge des Teams „Schluckspecht“ der Hochschule Offenburg nehmen seit über 10 Jahren am Wettbewerb „Shell Eco-marathon“ teil. Nach ersten Plätzen in den Klassen „Prototyp Diesel“ 2005 und „Prototyp Brennstoffzelle“ 2008 wurde 2009 ein straßennahes Fahrzeug, der „Schluckspecht City“ (Abbildung 1.7-1), entwickelt. In Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI) in Freiburg wurden Crashsimulationen am „Schluckspecht City“ Strukturrahmen durchgeführt [2]. Eine

Fortführung dieser Arbeit durch weitere gemeinsame Projekte ist vorgesehen. Beim „Schluckspecht City“ wurde insbesondere der seitliche Pfahlaufprall angelehnt an Euro NCAP (European New Car Assessment Program [3]), simuliert, da dieser besonders kritisch ist. Mit den Ergebnissen kann die Insassensicherheit im nächsten Schritt bereits durch einfache konstruktive Maßnahmen deutlich erhöht werden.

Einleitung

Der für den Shell Eco-marathon entwickelte „Schluckspecht City“ soll als straßenzugelassene Variante weiterentwickelt werden. Dabei spielt das Verhalten des Fahrzeugs im Crashfall eine entscheidende Rolle. Um die Fahrzeugsicherheit zu überprüfen und zu optimieren, wurden Crashsimulationen des Aluminiumrahmens, angelehnt an Euro NCAP [3], durchgeführt. Beim simu-

lierten seitlichen Pfahlaufprall trifft das Fahrzeug mit 29 km/h auf einen feststehenden Pfahl mit einem Durchmesser von 25,4 Zentimetern.

FE-Modell

Aus dem CAD-Modell des Rahmens wurde ein Finite-Elemente-(FE-) Modell erstellt. Der Rahmen besteht aus Vierkant-Aluminiumprofilen und ist als Schweißkonstruktion ausgeführt. Abbildung 1.7-2 zeigt das vernetzte FE-Modell mit Impaktor.

Die Vierkantprofile wurden mit zweidimensionalen Schalenelementen vernetzt. Schalenelemente werden bevorzugt für dünnwandige Bauteile verwendet und haben ihren Vorteil in einer deutlich kürzeren Rechenzeit im Vergleich zu Volumenelementen.

Anbauteile wie die Räder und das Fahrwerk, die für das Verhalten des Rahmens



Abb. 1.7-1: „Schluckspecht City“

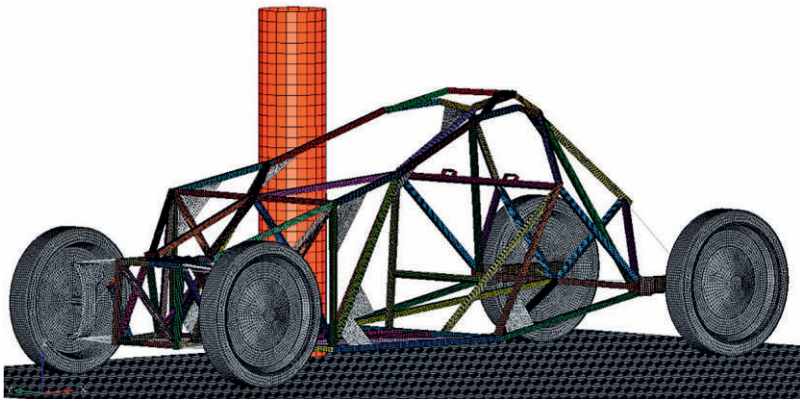


Abb. 1.7-2: Gesamtmodell aus Schalelementen

eine untergeordnete Rolle spielen, wurden als Starrkörper simuliert. Auch der Impaktor wurde als Starrkörper definiert und verformt sich damit nicht.

Kontaktdefinition

Für eine realitätsnahe Simulation haben die Kontaktdefinitionen im FE-Modell eine große Bedeutung. Abbildung 1.7-3 zeigt ein Beispiel zur Verwendung einer als Surface-to-Surface-Kontakt bezeichneten Verbindung zwischen zwei Flächen unterschiedlicher Komponenten. Dieser Kontakt kann nur Druck- und Reibkräfte übertragen und wurde z. B. zwischen den Rädern und dem Untergrund sowie zwischen dem Impaktor und dem Rahmen verwendet.



Abb. 1.7-3: Surface-to-Surface-Kontakt zwischen Walze und Fläche

Die Schweißnähte des Rahmens wurden als sogenannte Tied-Kontakte ausgeführt. Diese übertragen Zug- und Druckkräfte sowie Torsion. Für die Simulation wurde das Versagen der Schweißnähte in den Kontakten nicht berücksichtigt, sondern in das angrenzende Material ausgelagert. Versuche während der Fertigung haben gezeigt, dass tatsächlich Versagen nicht in den Schweißnähten auftritt [4], sondern im angrenzenden Material, vermutlich weil der Schweißzusatzwerkstoff höherwertig ist als das Aluminiumprofil. Abbildung 1.7-4 stellt ein Beispiel für einen Tied-Nodes-to-Surface-Kontakt zwischen zwei Profil-

stücken dar. Die Knoten des rechten Profils sind fest mit der Oberfläche des linken verbunden. An Stellen, an denen

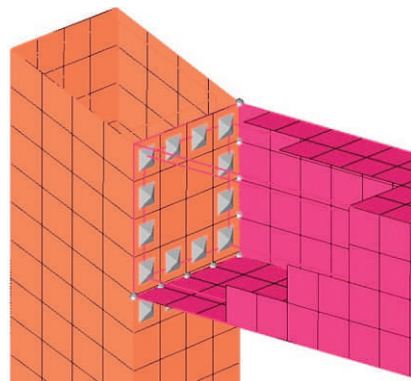


Abb. 1.7-4: Tied-Nodes-to-Surface-Kontakt

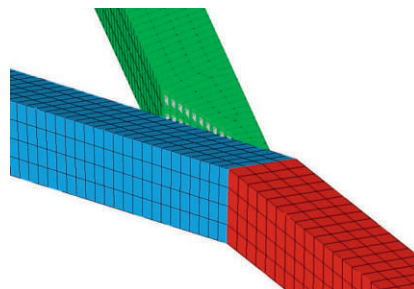


Abb. 1.7-5: Tied-Surface-to-Surface-Kontakt

die Profile nicht ideal aneinanderstoßen, wird die Schnittfläche vernetzt und ein Tied-Surface-to-Surface-Kontakt definiert (siehe Abbildung 1.7-5).

Materialdefinition

Um ein Materialmodell für den Aluminiumwerkstoff der Vierkantprofile zu erstellen, wurden mehrere Drei-Punkt-Biegeversuche an entsprechenden Profilen durchgeführt. Parallel dazu wurde der Biegeversuch simuliert und das Materialmodell iterativ an die Versuchsergebnisse angepasst. Abbildung 1.7-6 zeigt die optische Auswertung des Biegeversuchs. Das Verhalten des Materials wurde von zwei Hochgeschwindigkeitskameras erfasst und die Materialdehnung durch Bildanalyseverfahren ermittelt. Das Versagenskriterium des Materialmodells wurde anhand der Versagensdehnung des experimentellen Biegeversuchs festgelegt. Um das Materialverhalten vor dem Versagenszeitpunkt zu definieren, wurden die Kraft-Weg-Kurven der Experimente herangezogen. Ziel der iterativen Anpassung des Materialmodells war es, die Kraft-Weg-Kurve des Experiments durch die Simulation möglichst genau abzubilden [5]. Abbildung 1.7-7 zeigt das Ergebnis der Anpassung. Der Versagenszeitpunkt ist durch den stärkeren Lastabfall der Kurven gekennzeichnet. Er liegt im Streu-

Abb. 1.7-6: Drei-Punkt-Biegeversuch mit optischer Dehnungsanalyse

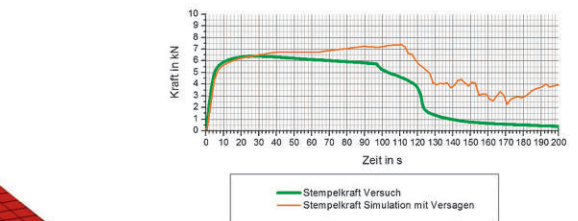
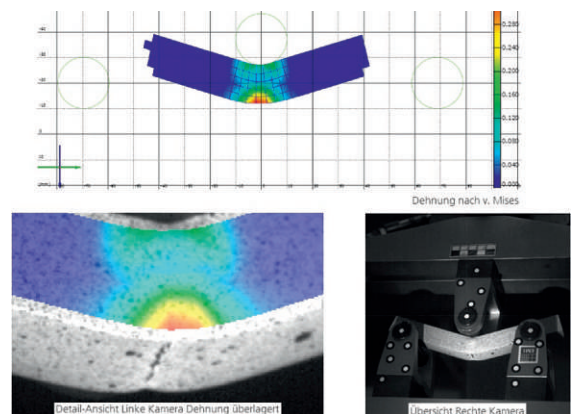


Abb. 1.7-7: Vergleich Biegeversuch-Experiment zu Simulation



bereich der Versuche. Das erstellte Materialmodell wird für die Simulation des Rahmens verwendet.

Simulation und Auswertung

Die Berechnung des Modells erfolgte mit dem LS-DYNA-Simulationspaket. LS-DYNA ist ein expliziter FE-Solver, der weltweit in der Automobilindustrie eingesetzt wird. In der Simulation trifft der Impaktor auf das ruhende Fahrzeug. Für den seitlichen Pfahlaufprall wurden mehrere Aufprallpositionen simuliert. Abbildung 1.7-8 zeigt die Animation der Simulation für die Aufprallposition entsprechend der Kriterien nach Euro NCAP. Hierbei kann ein Ausknicken der Querstrebe, die parallel zur Impaktrichtung steht, beobachtet werden. Von größerer Bedeutung ist hier aber das Versagen der beiden vorderen Streben am Profilknoten. Diese reißen ab und ermöglichen so ein fast ungehindertes Eindringen des Impaktors. Dieses Profilversagen ist eine Folge des Ausknickens.

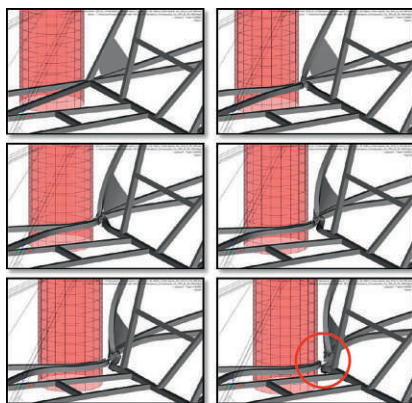


Abb. 1.7-8: Animation der Simulation des seitlichen Pfahlaufpralls

Optimierung und Ausblick

Um das Ausknicken der Querstrebe und das Versagen des Profilknotens zu verhindern, wurden mehrere Ansätze zur Optimierung untersucht. Ziel war es hierbei, die Änderungen so durchzuführen, dass sich das Gewicht des Fahrzeugs möglichst nicht erhöht.

Eine Möglichkeit besteht darin, die äußeren Streben der Bodengruppe aus höherfestem Material herzustellen. Dadurch wird die Durchbiegung minimiert und die Kraft, die auf die Querstreben wirkt, erhöht. Weiter kann durch eine veränderte Knotengeometrie das Abreißen der Streben im Crash Fall verzögert

werden. Auch der Umbau der Bodengruppe als Leiterraum kann die Fahrzeugsicherheit verbessern. Je nach Ausführung wiegt die neue Bodengruppe jedoch 10 Prozent bis 30 Prozent mehr als die Ausgangsbodengruppe.

Seitliche Crashabsorber können die Insassensicherheit bei Pfahlaufprall erhöhen [6], gehen aber mit einer Gewichtszunahme des Fahrzeugs einher. Deutliche Verbesserungen in der Simulation zeigte die gewichtsneutrale Substitution der parallel zur Impaktrichtung stehenden Querstrebe. Hierbei wird die Querstrebe durch ein dünnwandiges Rohrprofil mit großem Querschnitt er-

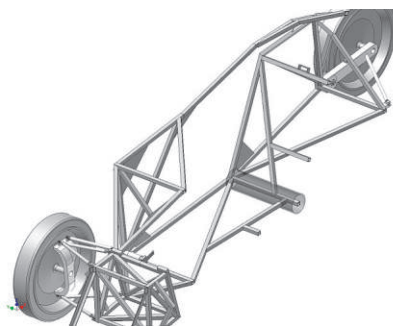


Abb. 1.7-9: Substitution des Vierkantprofils durch ein dünnwandiges Rohrprofil

setzt. Abbildung 1.7-9 zeigt die Verwendung des dünnwandigen Rohrprofils im Rahmen des „Schluckspecht City“.

Die Simulation eines Teilmodells mit der optimierten Variante (Abbildung 1.7-10) macht deutlich, dass das Rohrprofil nicht ausknickt, sondern gezielt faltet. Diese Faltung hat den Vorteil, dass mehr und länger Energie absorbiert werden kann und die Stabilität weiterhin gewährleistet ist. Weiterhin wird das frühe Abreißen der Streben am Profilknoten verhindert. Bei einer Eindringtiefe von 200 mm kann von der Rohrvariante nahezu doppelt so viel Energie absorbiert werden, wie es mit der ursprünglichen Ausführung möglich ist.

Gewichtsreduktion ist auch über eine teilweise Substitution des Aluminiumrahmens durch eine selbsttragende Kohlefaserstruktur möglich [7]. Eine stringerverstärkte Außenhaut kann ebenfalls durch den Einsatz von Crashelementen für die Anforderungen an die Fahrzeugsicherheit optimiert werden.

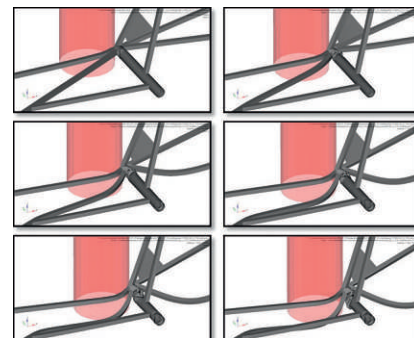


Abb. 1.7-10: Verhalten des Rahmens mit dünnwandigem Rohrprofil

Referenzen/References

- [1] Fraunhofer EMI, Freiburg
Frank.huberth@emi.fraunhofer.de
- [2] Sinz, Sebastian: „Erstellung und Validierung eines Crashmodells für den Aluminiumrahmen des Niedrigenergiefahrzeugs „Schluckspecht City“ der Hochschule Offenburg“, Bachelor-Thesis, Hochschule Offenburg, Fraunhofer EMI, 2010
- [3] Euro-NCAP, <http://www.euroncap.com/> Stand Dezember 2009
- [4] Hoffmeister Robin: Persönliche Mitteilungen, 2009
- [5] Huberth Frank: Material Models for Polymers under Crash Loads, Existing LS-DYNA Models and Perspective, 4. LS-DYNA Forum Bamberg, 2005
- [6] Bröckerhoff Markus: „Strukturauslegung für den seitlichen Pfahlaufprall“, in: Automobiltechnische Zeitschrift vom 17.07.2007, Seiten 674-681
- [7] Huberth Frank: „Werkstoffe für den Leichtbau unter besonderer Berücksichtigung schlagartiger Beanspruchungen“, Tagungsband Simulation von Verarbeitungsprozessen und prozessgerechter Bauteilgestaltung, Fürth 2005