

## Wirkketten der Energieabsorption

Lutz Berger, Christian Sahr

Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika), Aachen, Deutschland

### **Abstract:**

The occupant protection and especially the pedestrian protection are getting more and more important since several years. The reason is the insufficient safety of the pedestrian against severe injuries during the impact with vehicles. For the reduction of injuries and their severity, design changes within the frontal structure are necessary to absorb energy and to reduce the forces and acceleration acting on pedestrians. Therefore more and more of such structures for energy absorption are considered that are often set-up in multi-material design consisting of highly porous foams as well as energy absorbers with plastic deformation behaviour such as eggbox structures. Combinations of such parts are interacting under crash load. For the layout of new protection systems, it is necessary to predict deformation behaviour and force level of these „interaction chains“.

The main purpose of the present study is, together with IVW in Kaiserslautern, to detect and quantify the interactions among structural components in complicated systems, which take place during low-energy-impact events. Since these interactions often lead to deviation between experimental and simulation results, the accuracy of forecast of the crash simulations will be increased as a consequence of this investigations.

The energy absorbing system, investigated in this study, represents an interaction chain of different constituent components: EPP foam, a polymer eggbox structure, steel and aluminum sheets. This interaction chain and its constituent components are investigated experimentally and further modelled with finite element code LS-Dyna. Own experimental material data is used to validate the material models.

### **Keywords:**

Werkstofftechnik, Verbundwerkstoffe, EPP-Schaum, Eggbox, Numerische Simulation, Energieabsorption, Validierung, Modellbildung, Versuch, Fußgängerschutz, komplexe Stoßvorgänge

## 1 Einleitung

Neben dem Insassenschutz gewinnt vor allem der Fußgängerschutz seit einigen Jahren innerhalb der passiven Sicherheit immer mehr an Bedeutung. So stellen Fußgänger inzwischen mehr als 15 % aller Todesopfer im europäischen Straßenverkehr [1]. Zur Verbesserung der Fußgängersicherheit ist am 01.10.2005 Phase I der EU-Richtlinie 2003/102/EC in Kraft getreten, die eine Prüfung des Strukturverhaltens der Fahrzeugvorderwagen unter Verwendung eines Stoßkörper-Testverfahrens vorschreibt. Zum 01.09.2010 soll die Phase II dieser Richtlinie mit verschärften Anforderungen eingeführt werden. Zur Verringerung der Verletzungen von Fußgängern sind konstruktive Veränderungen in der Fahrzeugfrontstruktur nötig, um Energie zu absorbieren und die Kräfte und Beschleunigungen zu reduzieren, welche auf die Fußgänger bei einem Anprall wirken. Aus diesem Grund ist der Einsatz energieabsorbierender Strukturen erforderlich, die häufig im Multi-Material-Design ausgeführt sind. Neben hochporösen Schäumen werden hier Komponenten mit ausgeprägtem plastischen Verformungsverhalten verwendet, zu denen sogenannte Eggbox-Strukturen zählen. Kombinationen derartiger Strukturen stehen beim Aufbringen von Crash-Lasten in Wechselwirkung. Für die Auslegung neuer Schutzsysteme ist es nötig, das Verformungsverhalten und das Kraftniveau dieser "Wirkketten" vorherzusagen. Obwohl deren Einzelkomponenten in der Simulation validiert wurden und gut beschreibbar sind, sind für die gesamte Wirkkette aufgrund der sehr unterschiedlichen Steifigkeiten der Einzelkomponenten deutliche Unterschiede zwischen Berechnung und Versuch üblich. Vor allem Stoßvorgänge mit Interaktion verschiedener Komponenten auf niedrigem Energieniveau sind in der Berechnung schwer zu beschreiben.

## 2 Motivation

Überall im Fahrzeug finden sich Bereiche, an denen unterschiedliche Werkstoffe gemeinsam zur Energieabsorption beitragen. In diesem Projekt wird unter einer Wirkkette ein Verbund mindestens zweier Komponenten definiert, die in Interaktion stehen. Beispielhaft ist eine Wirkkette bestehend aus vier Komponenten in Bild 1 dargestellt. Diese ist aus EPP-Schaum (Neopolen P von der BASF AG), einem Aluminiumblech, einer Eggboxstruktur aus Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) und einem Stahlblech aufgebaut. Als Beispiel einer realen Umsetzung dient die auf der rechten Seite dargestellte energieabsorbierende Wirkkette bestehend aus einem Stahl-Querträger, einem Schaum und einer Kunststoffabdeckung.

Bei nahezu allen Aufprallszenarien treten die beschriebenen Wirkketten auf, bei denen die einzelnen Komponenten der gesamten Kette teils parallel und teils seriell im Kraftfluss liegen. Während des Stoßvorganges können sich die Anordnungen und somit auch die Interaktionen zwischen den beteiligten Komponenten ändern.

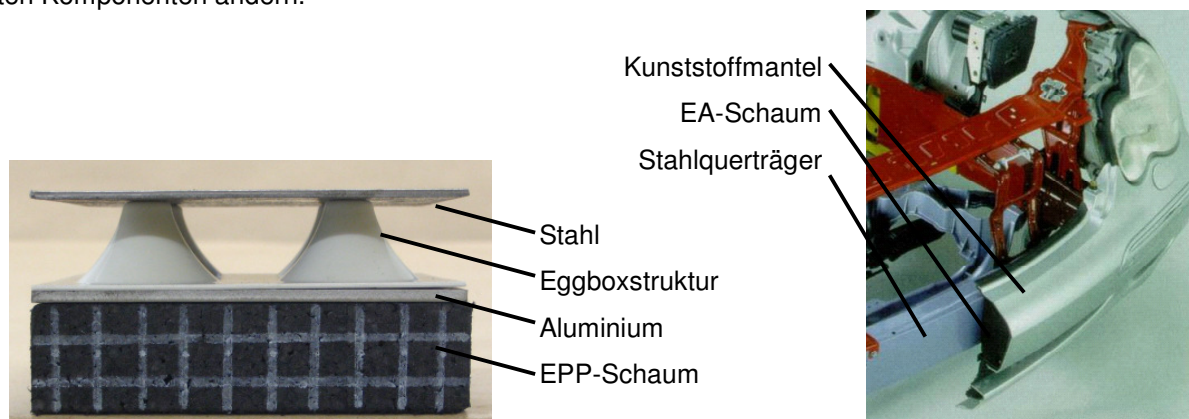


Bild 1: Aufbau einer Wirkkette (links), Beispiel eine Fahrzeugfront [2] (rechts)

Ziel der durchgeführten Forschungsarbeiten im Rahmen des DFG-Projektes "Untersuchung der Wechselwirkungen von Strukturelementen bei komplexen Stoßvorgängen" war es, die bei Stoßvorgängen auftretenden Interaktionen zwischen benachbarten Komponenten zu bestimmen, die Vorhersagbarkeit in FE-Simulationen durch Abgleich mit entsprechenden Versuchen zu verbessern und gleichzeitig die Grenzen der Berechnung für geeignete Vergleichslastfälle zu erfassen. Zur Analyse wurde ein vereinfachtes Szenario herangezogen, wie es in vergleichbarer Weise bei einem Beinaufprall gegen einen Stoßfänger oder bei einem Kopfaufprall auf die Motorhaube vorliegen kann.

### 3 Charakterisierung der mechanischen Eigenschaften

Der heutige Stand der Technik ermöglicht eine Simulation der Materialeigenschaften einer Einzelkomponente mit einer Genauigkeit, die der Messgenauigkeit der Materialprüfung entspricht. Diese Genauigkeit der Abbildung der Materialeigenschaften ist jedoch nicht in den FEM-Programmen direkt enthalten, sondern setzt eine ausreichend genaue Auswahl und Kalibrierung der Materialmodelle voraus, die in den FEM-Programmen zur Verfügung stehen. Für einen Abgleich zwischen Simulation und Versuch sind experimentelle Daten erforderlich. Da in dem beschriebenen Projekt eine sehr genaue Abbildung angestrebt wurde, waren einfache Literaturdaten nicht ausreichend. Stattdessen wurden die einzelnen Materialien mit Hilfe nachfolgend beschriebener Lastfälle gesondert geprüft.

#### 3.1 Materialmodellerstellung

Die Stahl- und Aluminiumwerkstoffkennwerte werden mit Hilfe von Zugversuchen bei verschiedenen Dehngeschwindigkeiten aufgenommen und anschließend mit dem für diese Werkstoffe üblichen Materialmodell 24 "MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY" abgebildet. Die Validierung des Zugversuches erfolgt in einem LS-Dyna Zugversuchsmodell.

Die Eggbox wurde durch Thermoformen aus Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) mit einer dünnen Deckschicht Polycarbonat hergestellt. Als Materialmodell wurde vom Forschungspartner IVW das Material "MAT\_PLASTICITY\_COMPRESSION\_TENSION" gewählt, um Zug- und Druckkurven getrennt von einander abbilden zu können. Die für die Simulation erforderlichen Materialkennwerte für den EPP-Schaum wurden am Ika ermittelt. Die Validierung wird nachfolgend beschrieben.

Zunächst wurden geeignete Materialmodelle zur Simulation des Schaummaterials vorausgewählt und miteinander verglichen. Viele der verfügbaren Modelle in LS-Dyna sind lediglich für sehr spezielle Anwendungen geeignet. Andere hingegen bilden allgemeinere Modelle ab, welche für eine diverse Anzahl an Materialien eingesetzt werden können. Für den EPP-Schaum wurde das LS-Dyna-Materialmodell 83 "MAT\_FU\_CHANG\_FOAM" gewählt. Ein Grund hierfür ist die direkte Eingabemöglichkeit der Spannungs-Dehnungs-Kurven unterschiedlicher Dehnraten. Mit diesem Modell kann die Dehnratenabhängigkeit des Schaummaterials ohne Einschränkungen berücksichtigt werden. Aus den experimentellen Untersuchungen standen Ergebnisse sowohl aus quasistatischen Druckversuche mit den Dehnraten  $0,01 \frac{1}{s}$ ,  $0,1 \frac{1}{s}$  und  $1 \frac{1}{s}$  als auch aus dynamischen Druckversuche mit den Dehnraten  $50 \frac{1}{s}$ ,  $100 \frac{1}{s}$  und  $180 \frac{1}{s}$  zur Verfügung.

Die gemessenen Rohdaten wurden zunächst für die Simulation aufbereitet. Dann wurden die Versuche mit allen sechs Dehnraten simuliert und anschließend validiert. Da die Dehnraten in einem Spektrum quasistatischer und hochdynamischer Lasten gewählt worden sind, konnte die numerische Berechnung mit LS-Dyna durchgeführt werden, das sowohl einen impliziten als auch einen expliziten FE-Solver bereitstellt. Es wurden die Materialkennwerte für ein gemeinsames Modell derart gewählt, dass die Gesamtabweichungen in den einzelnen Simulationen minimal wurden. In Bild 2 sind exemplarisch die Verzögerungsverläufe der Basisvariante vor und der finalen Variante nach der Validierung dem Verzögerungsverlauf im Versuch für eine Dehnraten von  $50 \frac{1}{s}$  gegenübergestellt.

Die Elementgröße ist ein Parameter, der nicht nur Einfluss auf die Stabilität der Rechnung, sondern auch auf die Simulationsergebnisse hat. Es zeigte sich, dass mit einer Konfiguration vollintegrierter Volumenelemente für die gewählten Lastfälle eine weitere Annäherung an die Versuchskurven erreicht werden kann. Zusätzlich konnte so auch das Auftreten von Hourglass-Energie vermieden werden.

Neben dem eingesetzten Elementtyp hat auch die Kontaktdefinition einen bedeutenden Einfluss auf die Stabilität und die Ergebnisse der Simulation. Eine Kontaktdämpfung reduziert die hochfrequenten Schwingungen der Kontaktkräfte. Bei Kontakten mit Schaum treten Instabilitäten wegen derartiger Kontaktschwingungen sehr häufig auf. Durch Benutzung des viskosen Dämpfungskoeffizienten (VDC) können diese verringert werden. Für Schäume wird ein Wert zwischen 40 und 60 empfohlen. Des Weiteren muss der Skalierungsfaktor für den Zeitschritt auf 0,66 reduziert werden [3].

Die in Bild 3 dargestellten Beschleunigungsverläufe zeigen das Ergebnis der Validierung für die dynamischen und quasistatischen Versuche respektive Simulationen. Nach der Validierung zeigen sich insgesamt gute Übereinstimmungen zwischen Versuch und Berechnung.

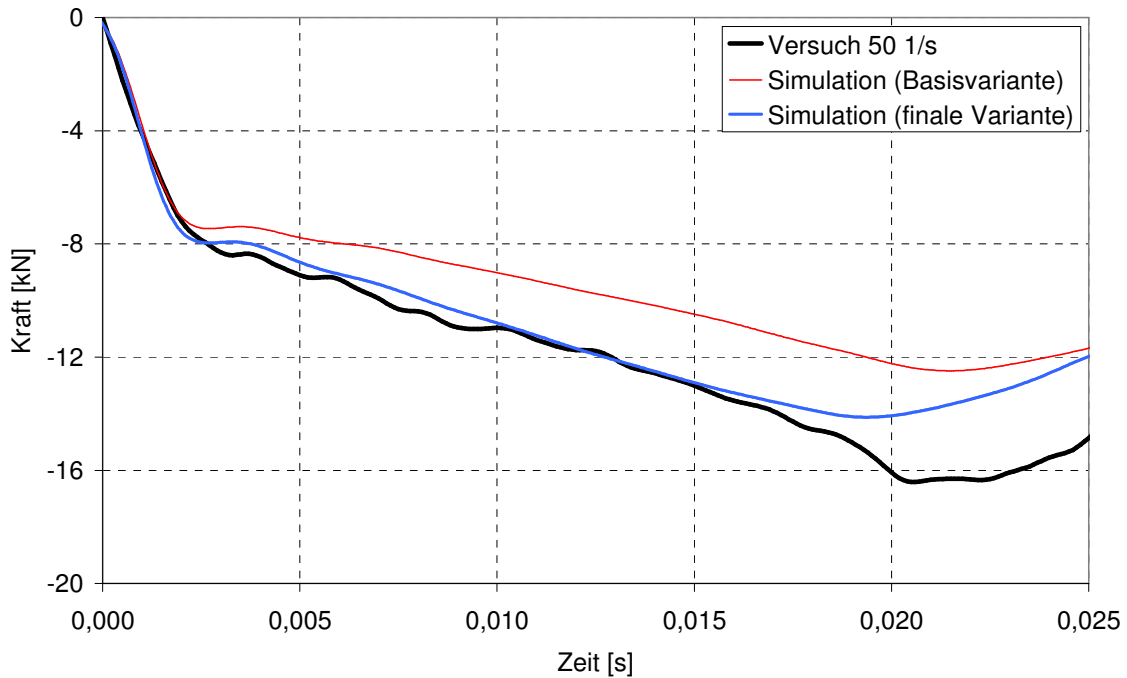


Bild 2: Verzögerung EPP-Schaum Dehnrate 50 1/s

Die Validierung des Schaummodells erfolgte ausschließlich für die Kompressionsphase, da bei der zu Projektstart verwendeten Version von LS-Dyna im Gegensatz zur aktuellen Version 971 die Dekompressionsphase im Modell \*MAT\_FU\_CHANG\_FOAM nicht getrennt definiert werden konnte. Die Entlastungsphase im Materialmodell wird somit durch die niedrigste Dehnratenkurve bestimmt. Es ergibt sich daher in der Simulation ein steiferes Verhalten als in der Realität. Da zur Ermittlung von Verletzungskriterien in Simulationen beispielsweise eines Beinaufpralls für den Schaum lediglich die Belastungs-, nicht aber die Entlastungsphase relevant ist, stellt diese Art der Validierung jedoch keine Einschränkung für das erzeugte Modell dar.

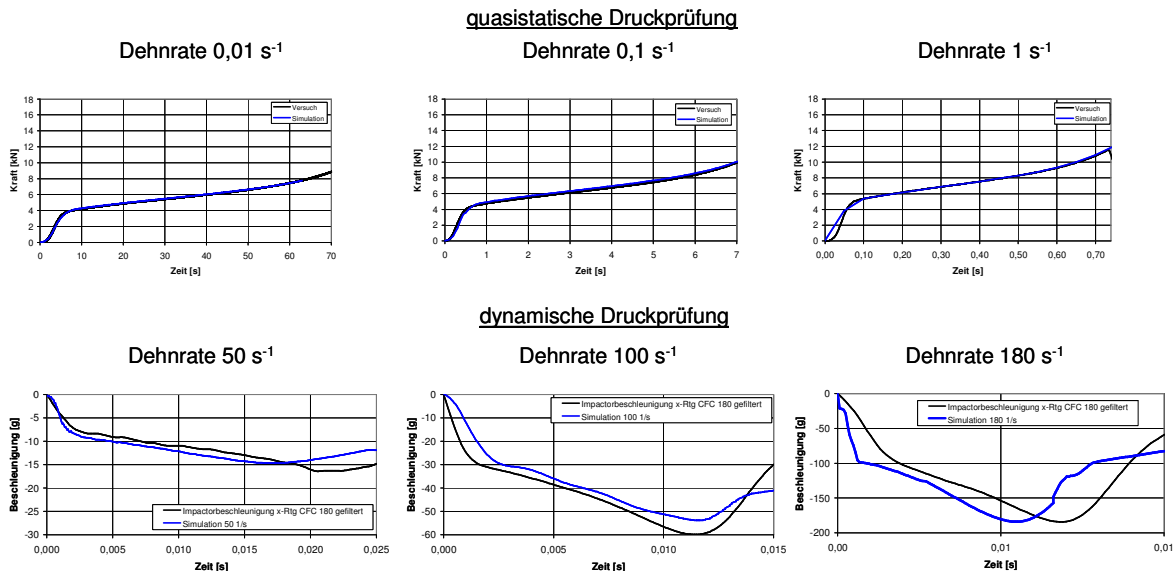


Bild 3: Übersicht der Druckprüfungen

### 3.2 Bestimmung der Haft- und Gleitreibungskoeffizienten durch Reibversuche bei verschiedenen Geschwindigkeiten

Um die Kontakte und somit die zuvor beschriebenen Interaktionen exakt beschreiben zu können, werden die auftretenden Reibkoeffizienten zwischen den verschiedenen Materialpaarungen bei verschiedenen Geschwindigkeiten ermittelt. Es werden die Oberflächen der metallischen Materialien auf folgende drei Arten vorbereitet, um somit verschiedene Vergleichswerte zu erhalten:

- Unbearbeitet: Die Oberfläche des Stahl- und Aluminiumbleches wird verwendet wie geliefert.
- Grob geschliffen: Die Oberfläche der metallischen Komponenten wird mit einem Exzentrerschleifer mit einem Schleifpapier mit einer Körnung von 40 geschliffen.
- Poliert: Die Oberfläche der Bleche wird poliert.

Die Oberfläche des thermoplastischen Absorbers wird im Anlieferungszustand verwendet, da eine Oberflächenbehandlung der Eggboxstruktur sehr aufwendig ist. Beim verwendeten EPP-Schaum wird die durch den Fertigungsprozess entstandene Oberfläche bearbeitet. Es wird aus den gelieferten Schaumblöcken durch Fräsen die Probengeometrie erzeugt. Zur Messung der Haft- und Gleitreibungskoeffizienten steht dem Institut für Verbundwerkstoffe in Kaiserslautern eine spezielle Prüfmaschine zur Verfügung. Die ermittelten Kennwerte werden als Startwerte für die Kontaktdefinition und die Validierung genutzt.

### 3.3 Simulation und Validierung der Wirkketten

Zur Nachbildung der Wechselwirkungen komplexer Systeme in der Simulation ist der schrittweise Aufbau eines Systems mit zunehmender Komplexität notwendig. Beim einfachsten System sollen keine nennenswerten Interaktionen auftreten, so dass eine zuverlässige experimentelle und rechnerische Abbildung gewährleistet ist. Die Komplexität des Systems muss anschließend so weit gesteigert werden, dass die auftretenden Wechselwirkungen in nachweisbarer Quantität auftreten, jedoch noch als Einzelwirkung zu isolieren sind. Die Wirkketten werden entsprechen Bild 4 aufgebaut.

In einem ersten Schritt werden vier 2-Komponenten-Wirkketten untersucht. Anschließend folgen zwei 4-Komponenten-Wirkketten, welche sich aus den zuvor geprüften Verbänden zusammensetzen.

Die dynamische Belastung der Wirkketten erfolgt über Stoßkörper mit ebener, halbzylinderförmiger und halbkugelförmiger Aufprallfläche, um verschiedene Aufprallszenarien widerzuspiegeln. Die gewählte Dehnrage von  $180 \frac{1}{s}$  deckt Bedingungen ab, wie sie bei Kollisionen von Fußgängern auf eine Fahrzeugfront auftreten können.


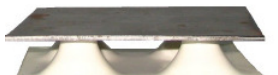


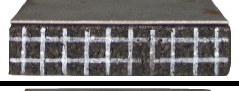

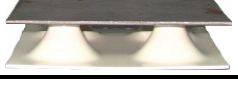

2-Komponenten-Wirkkette		4-Komponenten-Wirkkette	
Aluminiumblech		Stahlblech	
EPP		Eggbox	
Aluminiumblech		Aluminiumblech	
Eggbox		EPP	
Stahlblech		Aluminiumblech	
EPP		Eggbox	
Stahlblech		Stahlblech	
Eggbox		EPP	

Bild 4: Versuchsübersicht

Die einzelnen Versuchsaufbauten werden in der FEM nachgebildet und die zur Verfügung stehenden Variationsparameter dabei so angepasst, dass die Kräfte und Verformungen aus der Simulation mit denen der Versuche möglichst gut übereinstimmen. Ziel der Validierung ist es, mit einem Materialmodell alle Versuche am jeweiligen Material bestmöglich nachzubilden. Gleichzeitig ist zum Beispiel das Aluminiumblech nicht nur im quasistatischen Zugversuch, sondern bei allen betrachteten Prüfungsgeschwindigkeiten und Belastungssituationen richtig abzubilden.

Mit der Modellierung der Einzelkomponenten auf der Basis der finiten Elemente werden verschiedene Ziele verfolgt:

- Die Verifikation der Annahme, dass das mechanische Verhalten der Einzelkomponenten in allen Belastungsbereichen korrekt abgebildet wird.
- Die Vorbereitung zur Simulation der gesamten Wirkkette.

Die Parameter der Materialmodelle werden aus der Einzelmaterialvalidierung übernommen. Auch die geometrischen Informationen werden beibehalten. Ebenfalls unverändert bleiben die Werte der Elementdicke. Statische und dynamische Kontaktreibungskoeffizienten werden aus den Ergebnissen der Reibungsversuche abgeleitet, bleiben aber weiterhin Variationsparameter.

Der Validierungsprozess für die 2-Komponenten-Wirkketten beinhaltet die Variation der LS-Dyna-Kontrollkarten, -Kontaktkarten und die Modellierungstechnik. Mit Modellierungstechnik ist in diesem Fall die Modellierung des Impaktors und des Bodens gemeint. Beide können aus Schalenelementen, Solidelementen oder als Rigidwalls erstellt werden. Wegen der guten Simulationsstabilität wird

schließlich der Impaktor aus Schalenelementen modelliert und der Boden als Rigidwall dargestellt. Bei der Validierung der Wirkketten werden zudem verschiedene Kontakt- und Elementtypen verglichen. In der zweiten Phase wurden die 4-Komponenten-Wirkketten aufgebaut. Unter Zuhilfenahme der Erkenntnisse aus der 2-Komponenten-Wirkkette werden dieselben Parameter wie zuvor variiert. Die Dehnrates des Eggboxmaterials zeigt dabei einen großen Einfluss auf das Verhalten der 2-Komponenten-Wirkketten. Die Wirkkette Eggboxstruktur-Stahl kann ohne Dehnratenabhängigkeit besser reproduziert werden. Im Gegensatz dazu werden die Ergebnisse bei 4-Komponenten-Wirkketten besser mit der Dehnratenabhängigkeit erreicht.

#### 4 Ergebnisse

Der Vergleich zwischen den durchgeführten Versuchen und Simulationen der 2-Komponenten-Wirkketten führt zu folgenden Ergebnissen. Die Wirkketten EPP-Schaum-Aluminium bzw. EPP-Schaum-Stahl zeigen in der Simulation gute Übereinstimmung mit den realen Versuchen. Das Kraftniveau stimmt, wie in Bild 5 dargestellt, sehr gut überein. Der Kraftpeak in der Berechnung bei 1 ms resultiert aus der Kontaktberechnung. Durch eine stärkere Dämpfung kann dieser Peak reduziert werden. Dies hat jedoch Einfluss auf den Beschleunigungsverlauf. Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben wurde, hat die Abweichung in der Entlastungsphase ihren Ursprung im Schaum-Materialmodell. Diese Phase ist für die Simulationskurve in Bild 5 dargestellt. Der Vergleich zeigt die beste Übereinstimmung für den halbkugelförmigen Impaktor. Beim flachen und halbzylinderförmigen Impaktor treten etwas größere Abweichungen auf.

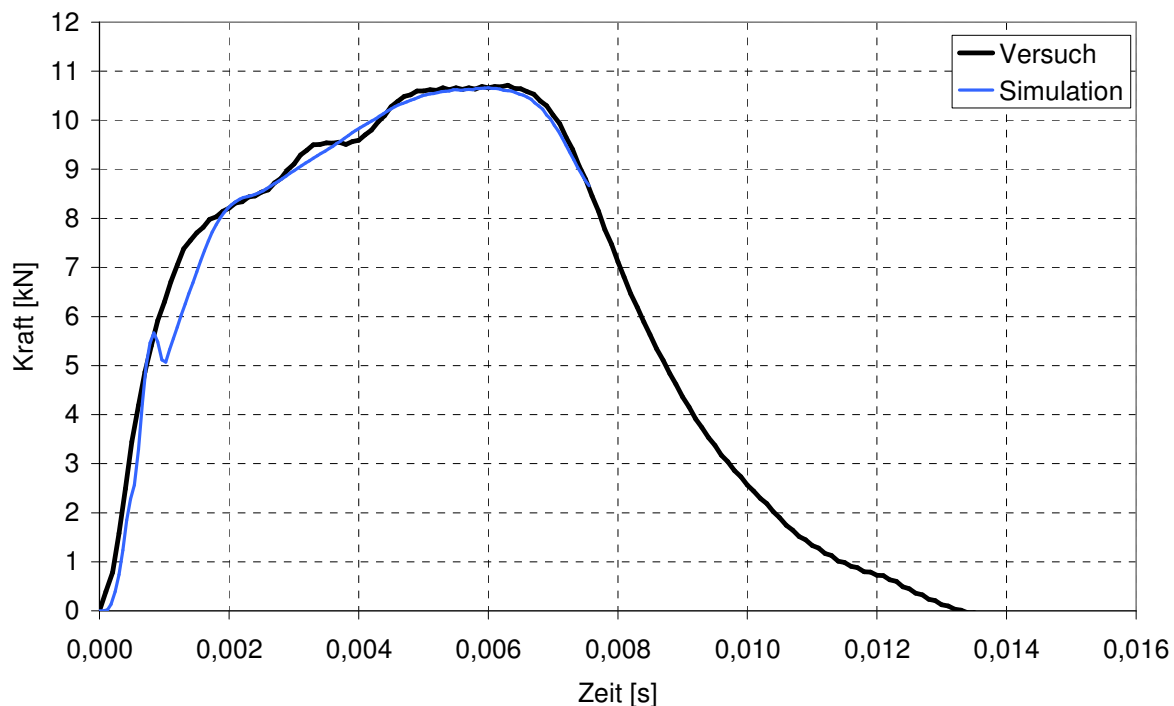


Bild 5: Vergleich Simulation und Versuch für die Wirkkette EPP-Stahl mit kugelförmigem Impaktor

Die Abweichungen bei den Wirkketten Eggboxstruktur-Aluminium und Eggboxstruktur-Stahl in Simulation und Versuch variieren mit der Impaktorgeometrie. Beim flachen Impaktor ergibt sich die beste Übereinstimmung. Dennoch weichen die durch die FE-Simulation erhaltenen Ergebnissen bei halbkugelförmigem und halbzylinderförmigem Impaktor von den experimentell ermittelten Daten ab. Die Wirkkette ist steifer, so dass der Deformationsvorgang insgesamt etwas kürzer ist.

Dieser Unterschied in den Ergebnissen kann abgemindert werden, indem die Eggboxstruktur ohne Dehnratenabhängigkeit modelliert wird. Allerdings zeigt die Analyse anderer Randbedingungen und Systeme, dass die Beachtung der Dehnratenabhängigkeit des Eggboxmaterials grundsätzlich nicht vernachlässigt werden darf und die Abweichung der Ergebnisse aus den Wechselwirkungen des komplexen Systems resultieren, die im Detail während dieser Studie nicht berücksichtigt werden konnten.

In Bild 6 und Bild 7 wird eine Videosequenz aus der Versuchsreihe mit einer 4-Komponenten-Wirkkette unter der Belastung mit dem halbkugelförmigen Impaktor den Simulationsergebnissen gegenübergestellt. Die EPP-Schaum-Aluminium-Eggboxstruktur-Stahl-Wirkkette kann in der Simulation sehr gut

reproduziert werden. Kleine Differenzen in der Kompressionsphase rühren von der Vereinfachung der Eggboxstruktur her. Insbesondere die aus dem Herstellungsprozess resultierenden Materialstärkeunterschiede und Eigenspannungen des Materials werden in der Simulation nicht berücksichtigt. Darüber hinaus ist der Abgleich des Deformationsverhaltens aus den visuellen Informationen einer High-Speed-Videomessung mit den Informationen aus der Berechnung schwierig.

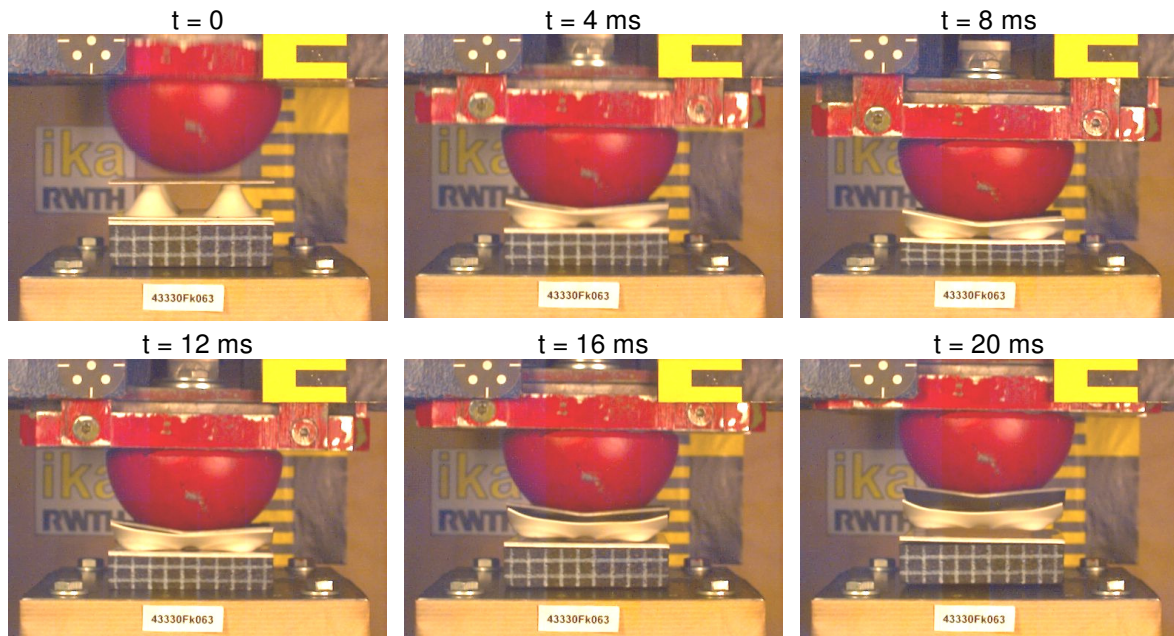


Bild 6: Versuch Wirkkette EPP-Schaum Aluminium Eggboxstruktur Stahl

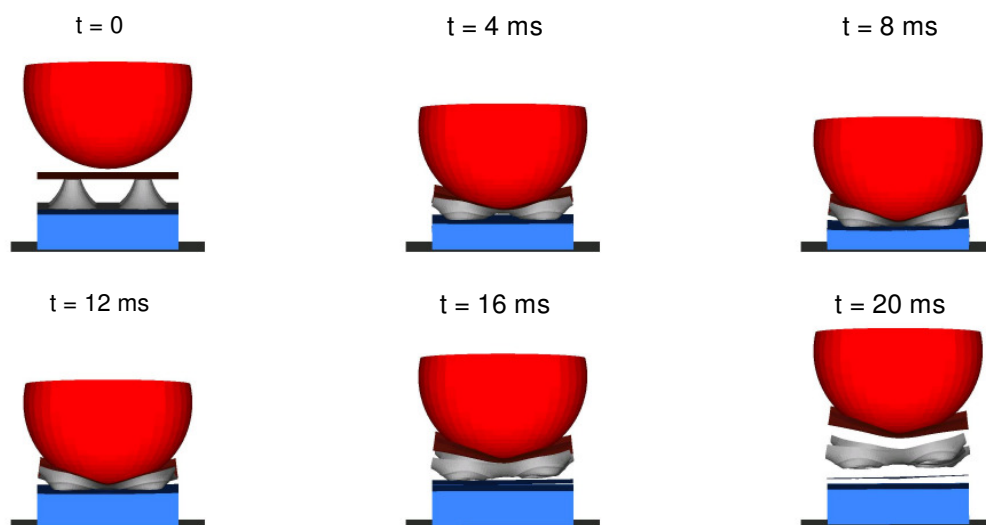


Bild 7: Simulation Wirkkette EPP-Schaum Aluminium Eggboxstruktur Stahl

Als besonders wichtig stellten sich im Verlauf der Validierung folgende Eigenschaften bzw. Parameter heraus:

- Dehnratenabhängigkeit von Eggboxmaterial, EPP-Schaum und Stahl
- Impaktorgeometrie
- Kontaktdefinition (insbesondere Reibungsparameter)

Darüber hinaus zeigte sich deutlich, dass die Reihenfolge der Bestandteile der Wirkketten großen Einfluss auf die Ergebnisse hat.

## 5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Studie wurden Werkstoffe zur Energieabsorption betrachtet, die bei einem Aufprall mit niedriger Energie, beispielsweise einer Fahrzeug-Fußgänger-Kollision, in Wechselwirkung treten.

Um die Möglichkeit der Vorhersagbarkeit dieser Wechselwirkungen unterschiedlicher Deformationselemente zu untersuchen, wurden mit LS-Dyna zuvor real durchgeführte Versuche simuliert.

Dabei wurden insgesamt drei verschiedene Stoßkörper sowie unterschiedliche Anordnungen der in der Wirkkette eingesetzten Materialien Aluminium, Stahl, EPP-Schaum und Acrylnitril-Styrol-Acrylester (ASA) betrachtet.

Der Simulationsprozess umfasste zunächst die Modellierung der Einzelkomponenten und der Wirkketten sowie die Übertragung der in einfachen Zug-, Druck- und Biegeprüfungen ermittelten Kennwerte in geeignete Materialmodelle für jeden der vier Werkstoffe. Die Validierung der Verbünde wurde dann entsprechend der vorhergehenden experimentellen Versuche schrittweise zunächst an 2-Komponenten-Wirkketten und schließlich an 4-Komponenten-Wirkketten ausgeführt.

Als wichtigste Größen für die Validierung wurden die Kontakt- und Reibungsparameter, die dehnratenabhängigen Materialkurven sowie der Einfluss der Impaktorformen identifiziert. Darüber hinaus erwies sich die vereinfachte Abbildung der Eggbox-Struktur in der Simulation als einer der Hauptgründe für Abweichungen zwischen Simulation und Versuch. Die aus dem Herstellungsprozess resultierenden Dickenunterschiede sowie Eigenspannungen wurden in der Simulation nicht abgebildet. Darüber hinaus zeigte sich auch das Versagenverhalten der Eggbox-Struktur als wesentlich, welches in der Simulation nicht ausreichend genau dargestellt werden konnte. Eine Untersuchung dieser Effekte muss im Detail daher erfolgen, um eine noch bessere Übereinstimmung der Ergebnisse zwischen Versuch und Simulation zu erzielen.

Grundsätzlich zeigte sich im Rahmen der Untersuchungen, dass trotz sehr guter Simulierbarkeit der Einzelbausteine bei Materialien sehr unterschiedlicher Steifigkeiten bereits bei Wirkketten aus zwei bzw. vier Komponenten sowohl eine Feinabstimmung ausgewählter Materialparameter als auch eine Anpassung der Kenngrößen für die Kontaktberechnung erforderlich sind, um eine ausreichende Übereinstimmung zwischen Simulation und Versuch zu erzielen. Die Vorgehensweise der zuvor beschriebenen Untersuchungen lässt jeweilige Grenzen der Simulierbarkeit erkennen, was für die Interpretation der Berechnungsergebnisse von entscheidender Bedeutung ist. Trotz heutiger Möglichkeiten zu immer detaillierteren Modellierung von Komponenten sowie neuer oder erweiterter Materialmodelle werden grundlegende Versuche zur Verifizierung der Simulationsergebnisse jedoch weiterhin erforderlich sein, um die Vorhersagegenauigkeit für komplexe, interagierende Systeme erhöhen zu können.

## 6 Literatur

- [1] N.N., Bundesamt für Statistik, Statistisches Jahrbuch 2003
- [2] Ernstberger, U: , "Rohkarosserie und Passive Sicherheit der neuen C-Klasse", ATZ 7-8, Vieweg Verlag, 2000, Seite 508ff
- [3] [http://www.dynasupport.com/Support/helpcenter\\_view](http://www.dynasupport.com/Support/helpcenter_view)