

Automatisierung des Validationsprozesses in der Insassen-Crashsimulation

Uwe Jasinski^{1*}, Juan Fernández¹

¹ TAKATA-Petri AG, Berlin

Zusammenfassung

Die Validation von Berechnungsmodellen nimmt während der Entwicklung von Insassenschutzsystemen einen erheblichen Anteil der Arbeitszeit des Ingenieurs in Anspruch. Außerdem hängen die Ergebnisse von dessen Erfahrung und vom investierten Aufwand ab.

Mit Hilfe der hier vorgestellten Methode ist es möglich, Airbagmodelle für definierte Lastfälle teilweise automatisch zu validieren. Dazu werden mit dem Programm OptiSLang Werte für Airbag-Parameter identifiziert, für die die Abweichung zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen minimal ist. Auf diesem Weg kann der erforderliche Arbeitsaufwand reduziert und eine höhere Validationsgüte erzielt werden.

Im Vorfeld der Optimierung wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dadurch kann die Größe des Parameterraums und damit die Erreichbarkeit einer zufrieden stellenden Lösung abgeschätzt werden. Außerdem wird die Anzahl der Parameter für die Identifikation eingeschränkt.

Keywords: Optimierung, Parameteridentifikation, Airbag, Validation, Crash

* Kontakt: Uwe Jasinski, TAKATA-Petri AG, Hadlichstr. 19, D-13187 Berlin,
E-Mail: uwe.jasinski@eu.takata.com

1 Grundlagen

Eine zuverlässige Quantifizierung der Insassenbelastungen in der Crashsimulation setzt voraus, dass die Berechnungsmodelle prognosefähig sind. Hierfür werden Modelle mit Daten aus realen Versuchen abgeglichen. Dieses Verfahren bezeichnet man als Validation.

Bevor sie in einem Fahrzeug- oder Schlittenmodell zusammen das Insassenschutzsystem bilden, werden Komponenten wie Airbags oder Gurtsysteme üblicherweise einzeln validiert. Diesem Zweck dienen spezielle Komponentenversuche.

Für die Validation von Airbagmodellen werden Impaktorversuche in mehreren Konfigurationen durchgeführt, um das Kennfeld für das Energie-Absorptionsverhalten des Airbags zu bestimmen. Dabei wird einerseits die in den Airbag eingetragene Energie – in Form von Impaktorgeschwindigkeit und wirksamer Impaktormasse – und andererseits die Kraft-Weg-Charakteristik des Airbags – durch die Größe der Ausströmöffnung – variiert.

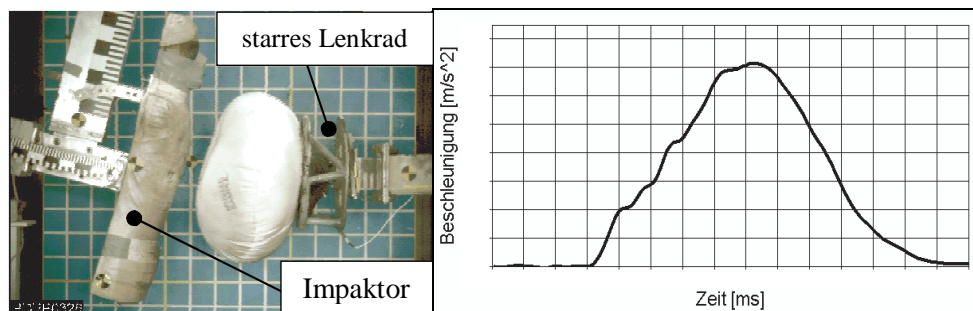


Abbildung 1: Versuchsaufbau (links) und Beschleunigungsverlauf (rechts)

Der Beschleunigungsverlauf des Impaktors ist die charakteristische Größe für das Energieabsorptionsverhalten des Airbags in der jeweiligen Konfiguration. Daher ist die Messung der Beschleunigung essentiell. Zusätzlich kann der Luftsackinnendruck, die Impaktorgeschwindigkeit und der Impaktorweg gemessen werden. Geschwindigkeit und Weg können auch indirekt durch Integration des Beschleunigungsverlaufs gewonnen werden. In Abbildung 1 ist der Aufbau eines Fahrerairbagversuchs und ein typischer Beschleunigungsverlauf dargestellt.

Grundsätzlich liegt allen Validationsversuchen das Bestreben zugrunde, so Al-Samarae (1997), ausschließlich das Verhalten der zu validierenden Komponente zu betrachten. Das heißt, entweder sind die wesentlichen physikalischen Parameter im Versuchsaufbau bekannt, oder deren Einfluss kann minimiert werden. Deshalb werden z.B. Impaktorversuche zur Validation von Fahrerairbags meistens mit starren Lenkrädern durchgeführt. Der Einfluss einer Lenkraddeformation auf die Versuchsergebnisse ist damit weitgehend minimiert und die Messdaten spiegeln maßgeblich das Verhalten des Airbags wider.

2 Problembeschreibung

Als Basis für die Validation werden Versuche in 7 unterschiedlichen Konfigurationen durchgeführt. Durch Wiederholungsversuche mit der gleichen Versuchskonfiguration und Mittelung der Messdaten wird die Streuung der Ergebnisse berücksichtigt.

Es liegt ein parametrisierter Madymo-Datensatz im xml-Format vor, dessen Berechnung im Schnitt 3 Minuten auf einem Linux-PC (3.6 GHz) benötigt. Dank eines Jobverteilingssystems ist es möglich, 5 Rechnungen gleichzeitig durchzuführen. Die Abweichung zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen wird in mathematischer Form mit einer Zielfunktion beschrieben.

Die Aufgabe des Optimierers ist es, diese Zielfunktion zu minimieren, indem er den Parametersatz für jeden Lauf variiert. Abbildung 2 zeigt die Routine, die bei der Berechnung jedes Parametersatzes durchlaufen wird.

Für jede der 7 Konfigurationen muss ein Madymo-Datensatz erzeugt werden. Dies geschieht in zwei Schritten: Zunächst werden alle von der Konfiguration unabhängigen Parameter in den Ausgangsdatensatz „Modell.xml“ geschrieben, dann werden die von der Konfiguration abhängigen Parameter angepasst. Im vorliegenden Fall betrifft dieser zweite Schritt nur die Effizienz der Ausströmöffnung. Das Skript, das diese Anpassung vornimmt, „Konfigurationen.s“, generiert auch die jeweiligen Datensätze für jede Konfiguration. Die Datensätze werden von Madymo gerechnet, wobei Output-Dateien ausgegeben werden. Das Skript „Postprocessing.s“ vergleicht die Versuchsdaten mit den Madymo-Outputs, berechnet die entsprechenden Antworten und schreibt diese in die Ascii-Datei Output_K*.txt.

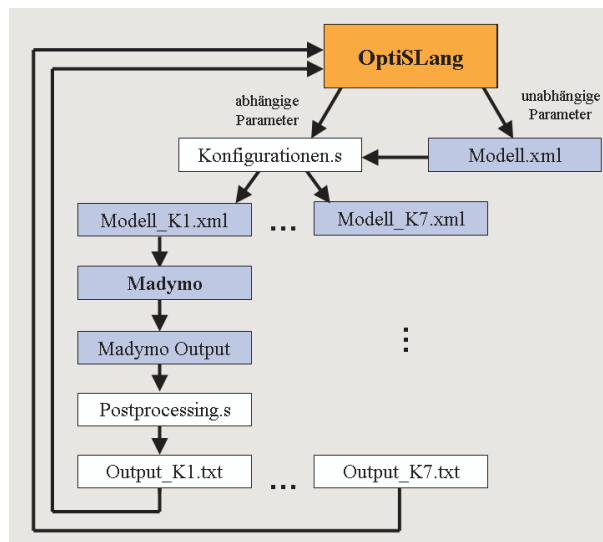


Abbildung 2: Routine zur Berechnung eines Parametersatzes

Bei den Parametern handelt es sich um physikalische Größen, die das Ein- und Ausströmverhalten des Airbags charakterisieren. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

| # | Name | Beschreibung | Art |
|---|------------|---|----------------|
| 1 | gas_temp | Temperatur des aus dem Gasgenerator ausströmenden Gases | kontinuierlich |
| 2 | scale_perm | Skalierung der Nahtdurchlässigkeitsfunktion | kontinuierlich |
| 3 | cdp_x1 | x-Wert Stützstelle 1 der Aufweitungsfunktion der Ausströmöffnung (AÖ) | kontinuierlich |
| 4 | cdp_y1 | y-Wert Stützstelle 1 der Aufweitungsfunktion der AÖ | kontinuierlich |
| 5 | cdp_y2 | y-Wert Stützstelle 2 der Aufweitungsfunktion der AÖ | kontinuierlich |
| 6 | vent_eff | Effizienz der Ausströmöffnung | kontinuierlich |

Tabelle 1: Unbekannte Airbag-Parameter

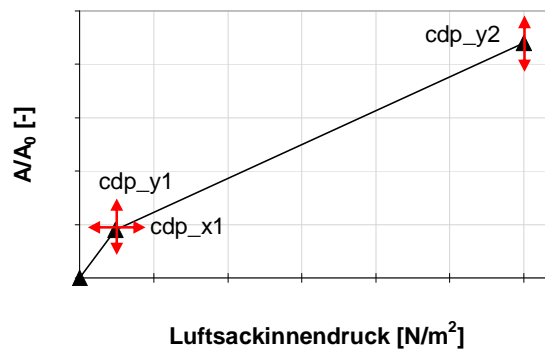


Abbildung 3: Aufweitung der Ausströmöffnung in Abhängigkeit des Luftsackinnendrucks

Für die Stützstellen der Aufweitungsfunktion der Ausströmöffnung wird eine Nebenbedingung definiert, damit die Funktion monoton steigend und dadurch physikalisch sinnvoll bleibt. Insgesamt werden 6 kontinuierliche Parameter betrachtet. Die Variationsbreite der Parameter wird anhand von Erfahrungswerten definiert.

Zur Beschreibung der Abweichung zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen dienen je 3 Antwortgrößen für Beschleunigung, Weg und Druck: Die Differenz der Maxima, die Differenz der Zeitpunkte dieser Maxima, sowie ein Maß für die Abweichung des zeitlichen Verlaufs. Daraus ergibt sich eine Anzahl von 9 Antwortgrößen pro Konfiguration.

3 Sensitivitätsanalyse

Im Vorfeld der Parameteridentifikation wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Dabei wird der Parameterraum mit 100 Stichproben im Latin-Hypercube-Sampling untersucht. Ziel der Analyse ist es, das Modellverständnis zu erhöhen, den Parameterraum zu überprüfen und Parameter, die keinen signifikanten Einfluss auf die Modellantworten haben, zu eliminieren.

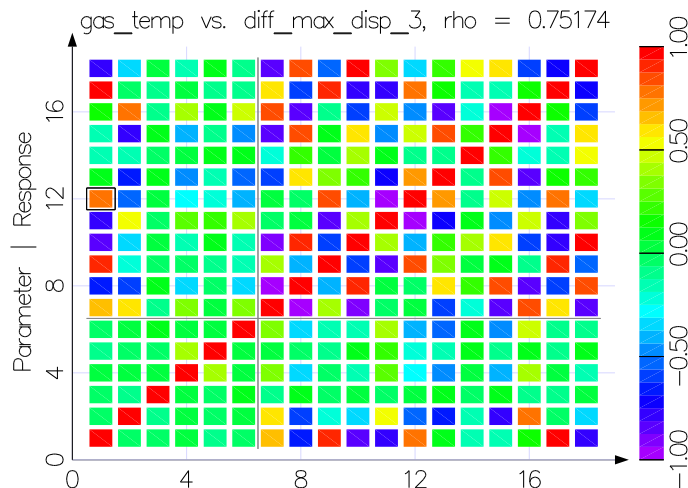


Abbildung 4: Lineare Korrelationsmatrix

Die lineare Korrelationsmatrix in Abbildung 4 zeigt, dass die Gastemperatur (Parameter 1), die Nahtpermeabilität (2), sowie die Vent-Effizienz (6) die Modellantworten dominieren. Die Korrelationen sind physikalisch plausibel und entsprechen den Erwartungen. Auf Variation der 3 Parameter für die Aufweitung der Ausströmöffnung (3 bis 5) reagiert das Airbagmodell weniger sensitiv. Aufgrund des nicht erkennbaren Einflusses von Parameter 3 und 5 werden diese nicht für die Parameteridentifikation berücksichtigt.

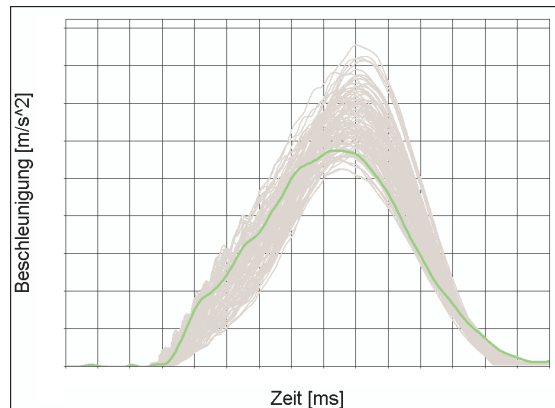


Abbildung 5: Parameterraum (grau) und Beschleunigungsverlauf aus Versuch (grün)

In Abbildung 5 ist der von den 6 Parametern aufgespannte Raum in Form einer Beschleunigungskurvenschar dargestellt. Zusätzlich enthält die Abbildung den Beschleunigungsverlauf der entsprechenden Versuchskonfiguration. Es lässt sich erkennen, dass der Variationsraum des Modells die Versuchskurve einschließt. Damit ist die Möglichkeit einer zufrieden stellenden Lösung gegeben. Bei den anderen Konfigurationen ist ein ähnliches Verhalten zu beobachten.

4 Parameteridentifikation

Nachdem man mit der Sensitivitätsanalyse Kenntnis über den Parameterraum gewonnen hat, sind die Werte der Parameter zu finden, für die die Abweichung zwischen Berechnungs- und Versuchsergebnissen minimal ist. Die Zielfunktion dafür besteht aus drei verschiedenen Termen, die über alle Konfigurationen gemittelt werden; Jasinski (2005):

- Als wichtigster Term wird die Abweichung des Beschleunigungsverlaufs über den gesamten Berechnungszeitraum bewertet.
- Da die Aussagen über biomechanische Schutzkriterien mit dem maximalen Wert der Beschleunigung getroffen werden, legt man zusätzlich Wert auf die Übereinstimmung dieses Bereichs.
- Der Abweichung des Druckverlaufs wird eine geringere Bedeutung beigemessen, weil das Gasmodell stark vereinfacht ist. Aus diesem Grund wird sie auch erst ab dem Zeitpunkt vollständiger Entfaltung berechnet.

Im Hinblick auf die angestrebte Validation von kompletten Insassenschutzsystemen ist eine Optimierungsmethode auszuwählen, die mit einer großen Anzahl von Parametern umgehen kann und mit einer vergleichsweise geringen Wahrscheinlichkeit zu lokalen Minima neigt; Goldberg (1989).

Hierfür sind genetische Algorithmen die geeignete Wahl. Außerdem erlaubt die relativ kurze Rechenzeit des Modells die Anwendung einer rechenintensiven Methode.

Eine Population von 10 Individuen, die sich über 15 Generationen weiterentwickelt, erwies sich als zweckmäßig. Aus der Populationsgröße und der Anzahl von Generationen und Konfigurationen ergibt sich eine Zahl von 1050 erforderlichen Rechenläufen. Es werden 5 Rechnungen parallel bearbeitet, was zu einer Gesamt-rechenzeit von ca. 11 Stunden führt.

In Abbildung 6 ist der Verlauf des Zielwerts dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der Wert innerhalb der ersten 90 Designs relativ stark konvergiert. Danach verbessert sich der Zielwert nur noch geringfügig. Der Parametersatz 104 stellt das Optimum dar. Keiner der als Optimum identifizierten Parameter liegt am Rand seines Definitionsbereichs.

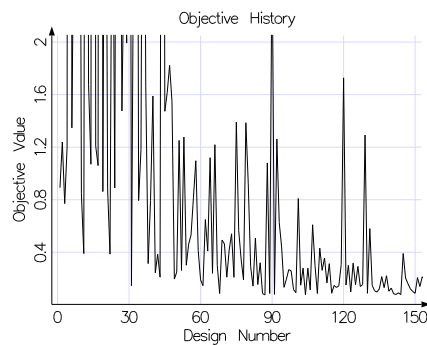


Abbildung 7: Konvergenz des Zielwerts

Abbildung 8 zeigt die Berechnungsergebnisse des optimalen Designs im Vergleich mit den Versuchsdaten. Sowohl die Übereinstimmung der Beschleunigungen, als auch die Übereinstimmung der Drücke kann als sehr gut bezeichnet werden.

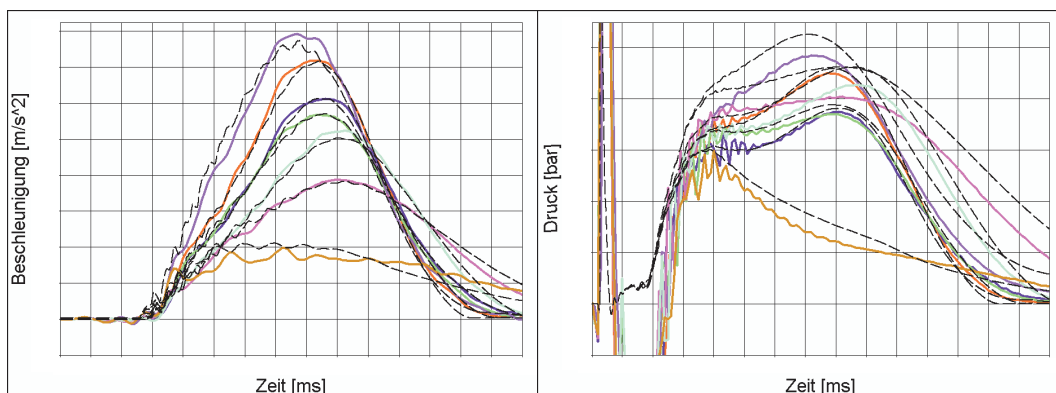


Abbildung 8: Vergleich der Beschleunigungs- und Druckverläufe aus Versuch (farbig, durchgezogen) und Berechnung (schwarz, gestrichelt)

5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Aufgrund des steigenden Anteils der numerischen Berechnung am Entwicklungsprozess von Insassenschutzsystemen und gleichzeitig steigenden Anforderungen an die Systeme muss die Prognosefähigkeit von Berechnungsmodellen gesteigert werden. Mit der hier vorgestellten Methode kann die Bestimmung der physikalischen Eigenschaften des Airbags automatisch erfolgen.

Die Methode soll in Zukunft auf andere Rückhaltekomponenten und schließlich auf komplette Rückhaltesysteme übertragen werden. Eine alternative Optimierungsmethode bei länger rechnenden Modellen stellt die ARSM (Adaptive Response Surface Methode) dar.

Die Anwendung einer Sensitivitätsanalyse bleibt weiterhin ein sinnvoller erster Schritt vor Durchführung einer Parameteridentifikation. Der vorliegende Fall zeigt, dass damit die Anzahl der variierten Parameter reduziert werden kann.

Eine Herausforderung bei der Anwendung von OptiSLang zur Validation ist das z.Zt. noch etwas umständliche Handling. Der Anwender muss zahlreiche Konfigurationsdateien und Skripte auf die individuelle Problemstellung hin anpassen. Insgesamt ist die Methode für die automatische Validation praktikabel, da gegenüber dem herkömmlichen Verfahren mit geringerem Aufwand bessere Ergebnisse erzielt werden können.

Literatur

AL-SAMARAE, S.: *Abschlussbericht Projekt 9715, Petri AG*, unveröffentlicht, 1997

GOLDBERG, D. E.: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Reading MA, USA, Addison-Wesley, 1989

Jasinski, U.: *Automatisierung des Validierungsprozesses in der Insassen-Crashsimulation*, Technische Universität Berlin, Diplomarbeit, 2005

OptiSLang, the optimizing Structural Language for Multidisciplinary Optimization and Robustness Evaluation, Version 2.1, Dynardo, Weimar, Deutschland, 2005