



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg  
*Hamburg University of Applied Sciences*

## **Bachelorarbeit**

Sven Krambeer

# **Konzeption eines reversiblen Airbags für Schlittenversuche**

*Fakultät Technik und Informatik  
Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau*

*Faculty of Engineering and Computer Science  
Department of Automotive and  
Aeronautical Engineering*

**Sven Krambeer**  
**Konzeption eines reversiblen Airbags**  
**für Schlittenversuche**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Fahrzeugbau bzw. Flugzeugbau  
am Department Fahrzeugtechnik und Flugzeugbau  
der Fakultät Technik und Informatik  
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

in Zusammenarbeit mit:  
Autoliv B.V. Co. KG, Werk Nord  
Abteilung ES 2  
Otto-Hahn-Straße 4  
D-25337 Elmshorn, Germany

Erstprüfer/in: Prof. Dr.-Ing. Jens Marsolek  
Zweitprüfer/in : Dr.-Ing. Burkhard Eickhoff

Industrieller Betreuer/in: Dr.-Ing. Burkhard Eickhoff

Abgabedatum: 10.09.2014

# **Zusammenfassung**

**Sven Krambeer**

## **Thema der Bachelorthesis**

Konzeption eines reversiblen Airbags für Schlittenversuche

## **Stichworte**

Reversibler Airbag, Konzeptentwicklung, ECE-R16, Insassenvorverlagerung, Impactortest, Schlittenversuch, TNO-10, Morphologische Analyse, Bewertungsmatrix

## **Kurzzusammenfassung**

In dieser Arbeit wird die Konzeption eines reversiblen Airbags für Schlittenversuche nach ECE-R16 beschrieben. Es wird dabei zunächst auf die Grundlagen der passiven Sicherheit eingegangen. Im Anschluss werden Methoden zur Konzeptentwicklung vorgestellt, mit deren Hilfe die Anforderungen an einen reversiblen Airbag definiert und mehrere Konzepte ausgearbeitet und bewertet werden. Im nächsten Schritt werden die Methoden angewandt und daraufhin ein Konzept ausgewählt, welches die Anforderungen an einen reversiblen Airbag am besten erfüllt. Das gewählte Konzept wird soweit ausgearbeitet, dass sofort mit der Konstruktion begonnen werden kann. Zum Schluss wird ein Fazit bezüglich einer möglichen Umsetzung des Konzepts gezogen und ein Ausblick für weiterführende Untersuchungen gegeben.

## **Abstract**

**Sven Krambeer**

### **Title of the paper**

Development of a reversible airbag for sled tests

### **Keywords**

Reversible Airbag, concept development, ECE-R16 passenger forward displacement, Impactortest, sled test, TNO-10, morphological analysis, rating matrix

## **Abstract**

This paper aims at describing the conception of a reversible airbag for sled tests following ECE-R16. First, basics of passive security are addressed. After that there will be an introduction to several methods of concept development which will serve to define the requirements a reversible airbag needs to satisfy. Moreover, these methods of concept development will help to develop a number of concepts which will be assessed in several terms. Subsequently, the methods of concept development will be employed and the concept which best meets the requirements for a reversible airbag will be chosen. The chosen concept will then be worked out to the extent that construction could start immediately. Finally, a conclusion will be drawn in regard of a possible application of this concept and future prospects will be assessed.

## **Aufgabenstellung zur Erstellung einer Bachelorarbeit**

Bearbeiter: Sven Krambeer, Matr. Nr. 2047968, HAW Hamburg

### **Titel: Konzeption eines reversiblen Airbags für Schlittenversuche**

#### **Allgemeine Projektbeschreibung**

Fahrzeuginsassen werden im Frontalcrash in der Hauptsache durch den Sicherheitsgurt und –auf Vordersitzen- zusätzlich durch ein Airbagsystem zurückgehalten.

Beide Rückhaltesysteme sind dabei aufeinander abgestimmt, um das Verletzungsrisiko des Insassen möglichst gering zu halten.

Zur Entwicklung und Prüfung von Rückhaltesystemen für Kraftfahrzeuge werden – neben Simulationen- dynamische Versuche durchgeführt. Dabei wird zum einen die Rückhaltewirkung der Systeme hinsichtlich ihres Schutzes für den Insassen beurteilt, zum anderen dienen die Versuche dazu, Entwicklungsstände verwendeter Komponenten abzuprüfen oder deren Haltbarkeit nachzuweisen.

Bei der Entwicklung von Gurtsystemen werden i.d.R. Schlittenversuche mit einem einfachen Aufbau gemäß der ECE R-16 durchgeführt. Dabei wird aber aufgrund des Kostenaufwands zumeist kein Airbag verwendet, mit der Folge, dass wegen der fehlenden Rückhaltewirkung des Airbags das Gurtsystem nicht in seinem späteren Arbeitspunkt arbeitet.

Ziel des Projektes ist ein Entwurf eines reversiblen Airbagersatzsystems, welches kostengünstig die Airbagfunktionalität in diesen Schlittenversuchen nachbildet und dem Gurtsystem damit eine –bezogen auf den späteren Einsatz- realistischere Entwicklungsumgebung bietet.

#### **Inhalt der Arbeit**

Innerhalb der Arbeit sollen zunächst Anforderungen an ein Airbagersatzsystem erarbeitet werden. Im Anschluss daran sind mehrere Konzeptentwürfe zu erstellen, die anhand vorher definierter Kriterien zu beurteilen sind. Das dabei ausgewählte Konzept soll so spezifiziert werden, dass eine konstruktive Umsetzung hinreichend vorbereitet ist. Bei der Arbeit soll insbesondere auf die Methodik und auf eine korrekte wissenschaftliche Darstellung des Projekts geachtet werden.

**Dr.-Ing. Burkhard Eickhoff**

Team Leader System Engineering  
Autoliv B.V. & Co. KG  
Dept. ES2  
Otto-Hahn-Straße 4  
D-25337 Elmshorn  
Germany  
Office Phone: +49-4121-797-5608  
Office Fax: +49-4121-797-5993  
E-Mail: [burkhard.eickhoff@autoliv.com](mailto:burkhard.eickhoff@autoliv.com)  
<http://www.autoliv.com>

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Passive Sicherheit – Definition, Crashtests und Sicherheitssysteme</b>	<b>8</b>
2.1	Definition .....	8
2.2	Crashtests - Durchführung und Testverfahren .....	9
2.2.1	Crashtests allgemein.....	9
2.2.2	Insassenvorverlagerung – ECE-R16.....	13
2.3	Dummys – Funktion, Geschichte und der TNO-10 .....	18
2.4	Sicherheitsgurt - Geschichte und Funktion heute .....	23
2.5	Airbags – Geschichte und Kennwerte .....	24
<b>3</b>	<b>Methoden der Konzeptentwicklung.....</b>	<b>28</b>
3.1	Vorgehensweise .....	28
3.2	Dimensionierung und Anforderungen .....	28
3.3	Die morphologische Analyse.....	30
3.4	Die Bewertungsmatrix .....	31
3.5	Konzeptdiskussion .....	32
<b>4</b>	<b>Bestimmung von Auslegungsparametern und Anforderungen.....</b>	<b>33</b>
4.1	Definition der Auslegungsparameter .....	33
4.1.1	Auslegungsparameter nach ECE-R16 .....	33
4.1.2	Auslegungsparameter anhand eines Impactortests .....	44
4.1.3	Auslegungsrahmen .....	49
4.2	Weitere Anforderungen und Randbedingungen .....	50
<b>5</b>	<b>Konzeptentscheid – Vorstellung, Bewertung und Diskussion .....</b>	<b>52</b>
5.1	Vorstellung der Konzepte.....	52
5.2	Bewertungsmatrix .....	61
5.3	Diskussion der Konzepte .....	63
5.4	Auswahl und Planung eines Konzepts .....	74
<b>6</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>79</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>Symbolverzeichnis.....</b>	<b>83</b>
<b>Anhang A:</b>	<b>Diagramme Impactortest .....</b>	<b>85</b>
<b>Anhang B:</b>	<b>Konfiguration von Zukaufteilen .....</b>	<b>87</b>
<b>Anhang C:</b>	<b>Aufnahme Druckluftkonzept.....</b>	<b>91</b>
<b>Anhang D:</b>	<b>Autosequence DIAdem .....</b>	<b>92</b>

# 1 Einleitung

Beim Kauf eines neuen Automobils spielt heute die Bewertung der Sicherheit eines Fahrzeuges eine wesentliche Rolle für die Kaufentscheidung. Innerhalb der europäischen Union sind dem Kunden vor allem die Ergebnisse aus den Tests des Euro NCAP (European New Car Assessment Program) geläufig. Beim Euro NCAP handelt es sich um eine Gesellschaft, welche Crashtests mit neuen PKW durchführt und daraufhin ihre Sicherheit bewertet. Ziel des Euro NCAP ist es, Verbrauchern eine realistische und unabhängige Beurteilung der Sicherheit einiger der meist verkauften Fahrzeuge in Europa zu bieten und Anreize zur Verbesserung der Fahrzeugsicherheit für die Hersteller zu schaffen [EuNc14]. Im Bereich des Insassenschutzes werden die Fahrzeuge anhand der auftretenden Belastungen für die Insassen während eines Crashtests beurteilt. Die Belastungen bestehen dabei aus Beschleunigungen und Eindrückungen aufgrund der wirkenden Rückhaltekräfte und/oder dem Kontakt der Insassen mit der Fahrzeugkarosserie. Durch die Auslegung der Rückhaltesysteme und der Karosserie eines Fahrzeugs können die auftretenden Belastungen beeinflusst werden. Die Hauptkomponenten des Rückhaltesystems innerhalb eines Fahrzeugs sind der Sicherheitsgurt und der Frontairbag. Mit der Entwicklung und Auslegung von Sicherheitsgurten, sowie deren Abstimmung mit anderen Sicherheitssystemen innerhalb eines Automobils, befasst sich der Standort AUTOLIV Elmshorn.

[EuNc14]

## **Zielsetzung und Gliederung der Arbeit**

Um die Funktionalität eines neuen Gurtsystems zu überprüfen, werden unterschiedliche Versuche durchgeführt. Zu diesen Versuchen zählen auch dynamische Test, bei denen unter anderem die maximale Vorverlagerung der Insassen während eines Frontalcrashes gemessen wird. In einem solchen Test ist der Airbag am Energieabbau des Insassen beteiligt und muss daher für die Auslegung von Sicherheitsgurten auf den Vordersitzen mit berücksichtigt werden. Soll also ein Gurtsystem seinem normalen Arbeitsumfeld entsprechend getestet werden, so muss bei jedem gefahrenen Frontalcrash, zusätzlich zum Gurtsystem, ein Airbag verwendet werden.

In Versuchen, bei denen das Verhalten des Gurtautomaten untersucht werden soll, stellt die Zündung eines realen Airbags einen nicht notwendigen Kostenfaktor dar. Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, ein wiederverwendbares System zu entwickeln, dessen Rückhaltewirkung einem herkömmlichen Airbag gleichkommt, ohne dass ein pyrotechnischer Treibsatz verbraucht wird. Auf diese Weise kann das Gurtsystem in seinem späteren Arbeitspunkt arbeiten, ohne dass zusätzliche Kosten verursacht werden. Dazu wird zunächst auf den theoretischen Hintergrund von Sicherheitsgurten und Airbags, sowie Crashtests und den dort verwendeten Dummies, eingegangen. Im Anschluss werden die Methoden der Konzeptentwicklung zunächst vorgestellt und daraufhin angewandt. Hierbei werden die Durchführung und Auswertung von praktischen Versuchen sowie die Vorstellung, Bewertung und Diskussion von Konzepten berücksichtigt. Im letzten Schritt werden ein Fazit und ein Ausblick für zukünftige Untersuchungen erstellt.

## 2 Passive Sicherheit – Definition, Crashtests und Sicherheitssysteme

In diesem Kapitel werden die theoretischen Grundlagen der passiven Sicherheit erklärt sowie ein Einblick in die verschiedenen Sicherheitssysteme und Crashtests gegeben. Außerdem wird auf die Geschichte und die Funktion der Crashtestdummys eingegangen.

### 2.1 Definition

Wird in der Automobilindustrie von Fahrzeugsicherheit gesprochen ist zu beachten, dass sich die Fahrzeugsicherheit in zwei unterschiedliche Klassen einteilen lässt – die passive und die aktive Sicherheit [Kra98,3].

Bei der aktiven Sicherheit handelt es sich um Systeme, die aktiv in das Fahrverhalten des Fahrzeugs eingreifen und somit einen Unfall verhindern können. Zu den aktiven Sicherheitssystemen gehören zum Beispiel: Das Anti-Blockier-System (ABS), welches bei einer Vollbremsung das vollständige Blockieren der Räder verhindert, die Dynamische-Stabilitäts-Control (DSC) zur Vermeidung des Ausbrechens eines Fahrzeugs bei abrupten Ausweichmanövern oder ein Spurwechselassistent, welcher den Fahrer bei einem Spurwechsel warnt, falls damit ein Unfallrisiko einhergehen würde.

[Bmw14]

Die passive Sicherheit beschreibt alle konstruktiven Maßnahmen, die dazu dienen, die Fahrzeuginsassen vor Verletzungen zu schützen bzw. die Unfallauswirkungen zu vermindern [Vol14]. Der Unfall selbst kann mit Hilfe von passiven Sicherheitssystemen nicht verhindert werden. Beispiele für passive Sicherheit sind: Die Knautschzone eines Fahrzeugs, welche für die Energieabsorption während eines Crashes zuständig ist, eine verformungssteife Fahrgastzelle, um einen Überlebensraum für die Insassen zu schaffen, Airbag-Systeme zum Schutz der Insassen vor dem Aufprall mit dem Fahrzeuginnenraum oder die Sicherheitsgurte für die Rückhaltung und eine frühzeitige Kopplung der Insassen an die Verzögerung des Fahr-

zeugs [Vol14]. Inzwischen gibt es aber auch viele Systeme, bei denen eine Unterscheidung zwischen aktiver und passiver Sicherheit nicht mehr ohne weiteres möglich ist. So greift ein Notbremsassistent zwar aktiv in das Fahrverhalten ein und kann bei geringeren Geschwindigkeiten möglicherweise einen Unfall komplett verhindern, bei höheren Geschwindigkeiten hat dieser jedoch lediglich eine Unfallfolgen mindernde Wirkung.

[Kra98,3], [Vol14], [Bmw14]

## 2.2 Crashtests - Durchführung und Testverfahren

In diesem Abschnitt wird zunächst auf Crashtests und deren Ablauf im Allgemeinen eingegangen. Im Anschluss werden die während dieser Arbeit verwendeten Crashvorschriften beschrieben und anhand einer Beispielrechnung der Einfluss eines Airbags auf die Belastung der Insassen aufgezeigt.

### 2.2.1 Crashtests allgemein

Crashtests werden bereits seit über 50 Jahren verwendet um die Sicherheit von Fahrzeugen zu beurteilen. Der erste offizielle Crashtest wurde 1959 bei Mercedes durchgeführt [AxSp14].

Heute werden bei Mercedes-Benz und anderen großen OEMs<sup>1</sup> rund 500 Crashtests pro Jahr durchgeführt. Ein einzelner Test wird über viele Wochen geplant und beschäftigt mit Vorbereitung, Durchführung und Auswertung ca. sechs Versuchingenieure. In manchen Fällen müssen das Fahrzeug und die Dummies bis zu zwölf Stunden lang klimatisiert werden, da für einige Crashversuche Temperatur und Luftfeuchtigkeit exakt vorgeschrieben sind. Doch bevor heute der Prototyp eines Fahrzeugs für den Crash gebaut wird, laufen im Vorfeld über 100.000 Simulationen mit einem virtuellen Fahrzeug. Am Computer lassen sich die Bewegungen der Dummies und die Funktionen von Gurt, Gurtstraffer und Airbag simulieren. So lassen sich heute viele Crashtests einsparen, da die Ingenieure die Bauteile so

---

<sup>1</sup> In der Automobilindustrie versteht man unter einem OEM (Original Equipment Manufacturer) ein Unternehmen, das Produkte unter seinem eigenen Namen in den Handel bringt.

lange virtuell optimieren, bis das gewünschte Ergebnis erzielt wird. Dennoch bleiben reale Crashtests unverzichtbar, auch wenn sie heute vor allem einer Validierung der Computerberechnung und als Voraussetzung für die amtliche Zulassung eines neu entwickelten Modells dienen.

[AxSp14]

Für den Aufbau und die Durchführung von Crashtests existieren gesetzliche Vorschriften. Auf diese Weise können die Crashtests unterschiedlicher Fahrzeuge verglichen werden und es wird ein Anreiz für die Hersteller zur Entwicklung von sichereren Fahrzeugen geschaffen. Innerhalb der europäischen Union oder auch Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft (EWG) gelten sowohl nationale Vorschriften, als auch die Bestimmungen aus dem 1991 in Kraft getretenen EWG-Vertrages. Ziel des Vertrages ist der Abbau von Handelshindernissen und die Durchführung einer gemeinsamen Verkehrspolitik. So wird das Automobil nicht nur als Ware, sondern auch als Verkehrsmittel betrachtet, mit dem Personen und Waren sicher transportiert werden sollen. Zusätzlich zu den nationalen Richtlinien und denen der Europäischen Union, gelten innerhalb der Europäischen Union die Regelungen der ECE (Economic Commission for Europe). In den USA bilden die 1966 festgelegten Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) das Gegenstück.

[Kra98,217]

Die Tabelle 01 vergleicht die Gesetze zum Insassenschutz in den USA mit denen in Europa anhand der FMVSS Vorschrift 208 bzw. der ECE Regelung 94. Deutlich wird, dass der Aufwand zur Beurteilung des Insassenschutzes, in den USA sehr viel größer ist. Während der Frontaufprall in Europa beispielsweise mit Hilfe nur eines Tests, mit 56 km/h, 40% Überdeckung und 2 Hybrid III Dummies durchgeführt wird, gibt es in den USA gleich 4 unterschiedliche Tests mit voller Überdeckung (Full Width Frontal Crash) und einen mit 40% Überdeckung, welcher sich allerdings von dem europäischen Test unterscheidet.

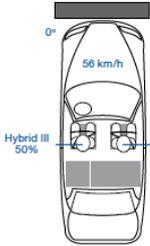
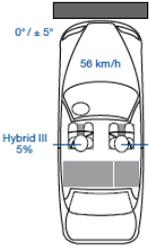
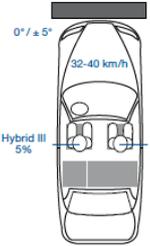
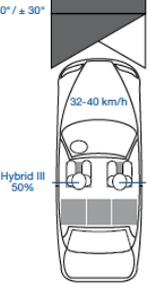
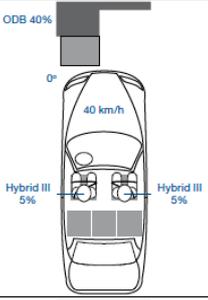
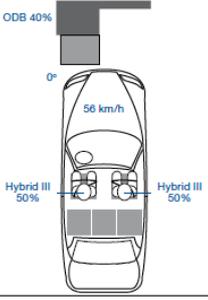
		<b>Full Width Frontal</b>			
<b>USA</b> 	<b>FMVSS 208</b>				
<b>Europa</b> 					
		<b>Offset Frontal</b>			
<b>USA</b> 	<b>FMVSS 208</b>				
<b>Europa</b> 	<b>ECE R94</b>				

Tabelle 01: Gesetze zum Insassenschutz 2014 [SaCo14,25]

Abgesehen von der USA und der EU gibt es auch noch die gesetzlichen Anforderungen von Japan, China, Indien, Südkorea und Australien. Alle Tests unterscheiden sich in mehr oder weniger großen Details, so dass neue Crashtests durchgeführt werden müssen, um ein Fahrzeug in dem jeweiligen Land verkaufen zu können. Da gerade der asiatische Markt ein starkes Wachstum verzeichnet, ist es für die Automobilhersteller wichtig, auch die Anforderungen in diesen Ländern zu erfüllen.

Neben den gesetzlichen Anforderungen an ein neues Fahrzeug gibt es auch noch die in der Einleitung bereits erwähnten Verbraucherschutztests des NCAP. Auch hier unterscheiden sich die Testverfahren je nach Nation und lassen sich in Verbraucherschutztests in Europa und Amerika (Euro NCAP, USNCAP, IIHS, Latin NCAP) und Verbraucherschutztests in Asien und Australien (JNCAP, C-NCAP, KNCAP, ASEAN NCAP, ANCAP) einteilen. Da all diese Tests nicht allein anhand von Simulationen durchgeführt werden können, sind reale Crashtests auch nach wie vor von großer Bedeutung.

[SaCo14,35]

### 2.2.2 Insassenvorverlagerung – ECE-R16

Da nicht für die Entwicklung aller sicherheitsrelevanten Komponenten innerhalb eines Fahrzeugs ein Crashversuch mit einem vollständigen Fahrzeug von Nöten ist, gibt es auch weniger aufwendige Versuchsaufbauten. Für die Auslegung von Gurtsystemen werden beispielsweise in der Regel Schlittenversuche mit einfachem Aufbau gemäß der ECE R-16 durchgeführt. In dieser Regelung sind für jedes verwendete Bauteil eines Gurtsystems Vorschriften, bezüglich ihrer Leistungsdaten, Lebensdauer usw., festgehalten. Für dieses Projekt interessant sind allerdings nur die Kriterien zur Bewertung der Rückhaltung, da der reversible Airbag nur für Crashversuche genutzt wird und nicht im Straßenverkehr zum Einsatz kommen soll. Bei diesen Versuchen handelt es sich um Überlasttests, bei denen das Gurtsystem eine höhere Belastung erfährt, als dies bei den meisten Unfällen der Fall ist. Der Versuchsaufbau dieser Crashtests besteht aus einem einfachen Dummy ohne Messelektronik auf einem Stahlsitz, einem gemäß genau definierter Fahrzeuganbindungspunkte befestigtem Gurt, ggf. einem Airbag und Messinstrumenten für die Bestimmung der Gurtkraft und der Vorverlagerung des Dummys. Die Schlittenversuche nach ECE-R16 ermöglichen eine Vergleichbarkeit aller Fahrzeuge, sowie eine genaue Untersuchung des Verhaltens von Gurtsystemen im Crashfall. Um die Rückhaltung eines Systems zu bewerten, wird die maximale Vorverlagerung eines (in Abschnitt 2.3 beschriebenen) TNO-10 Dummys während eines Crashversuchs gemessen. Die Vorverlagerung wird dabei anhand von Referenzpunkten im Bereich der Brust und im Bereich des Beckens gemessen. Die genaue Lage der Referenzpunkte ist in der Abbildung 01 zu erkennen. Bei der Verwendung eines Beckengurts muss, im Bereich des Beckens, die Vorverlagerung des Dummys zwischen 80 und 200 mm liegen. Bei der Verwendung von anderen Gurtsystemen, wie etwa dem Dreipunktgurt, soll die Vorverlagerung im Bereich des Beckens ebenfalls 80 bis 200 mm betragen und im Bereich der Brust zwischen 100 und 300 mm liegen. Bei der Verwendung von Fünfpunktgurten sollten sich diese Werte um etwa die Hälfte reduzieren.

[Ece10,75]

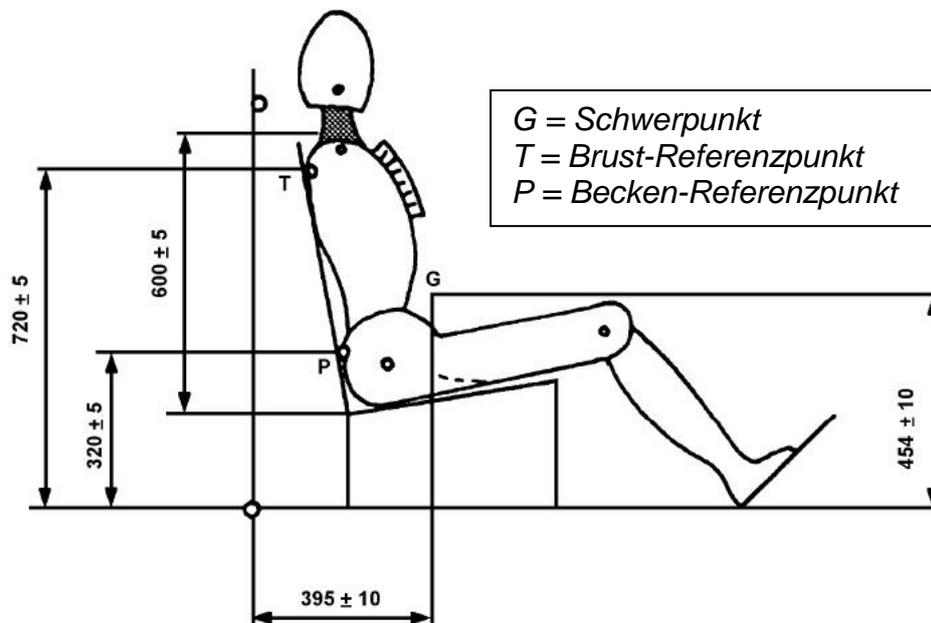


Abbildung 01: Position der Referenzpunkte in mm [Ece10,75]

Eine heute gängige Ausnahmeregelung betrifft die Auslegung von Gurtsystemen auf den Vordersitzen, wenn zusätzlich ein Frontairbag verwendet wird. Hier darf die maximale Vorverlagerung der Brust mehr als 300 mm betragen, wenn dabei eine Geschwindigkeit von 24 km/h nicht überschritten wird. Das Gurtsystem bremst den Insassen in diesem Fall nicht vollständig ab, sondern lässt den Airbag einen Teil der Arbeit übernehmen. Eine Geschwindigkeit von 24 km/h darf allerdings nicht überschritten werden. Welchen Einfluss die Verwendung eines Airbags damit auf die Belastung hat, die der Insasse aufgrund der Rückhaltung erfährt, zeigt das folgende Beispiel.

Ein airbagloses System wird so ausgelegt, dass statt der vollen 300 mm nur eine Vorverlagerung von beispielsweise 240 mm erreicht wird, um die ECE-R16 zu erfüllen und einen Aufprall von Dummy und Lenkrad auszuschließen. Bei Verwendung eines Airbags hingegen kann eine Vorverlagerung von zum Beispiel 310 mm angestrebt werden, ohne dass die Erfüllung der ECE-R16 gefährdet ist. Bildet man die Differenz ergibt sich eine um 70 mm längere Vorverlagerung für ein System inklusive Airbag. Die Belastung des Systems erfolgt durch einen ECE-R16 Puls mit  $v = 50 \text{ km/h}$ . Aus Gründen der Vereinfachung werden der Verzögerungsverlauf als linear und bei Verwendung eines Rückhaltesystems aus Airbag und Sicherheitsgurt eine gleich starke Verzögerung beider Komponenten angenommen. Es wird zunächst die Beschleunigung ohne und danach unter der Verwendung

eines Airbags berechnet. Für die Berechnung der Beschleunigung muss zusätzlich zum Vorverlagerungsweg der beiden Systeme noch der Verzögerungsweg des Schlittens beachtet werden. Dieser liegt nach ECE-R16 (Deceleration Test Device 7.7.4.1) bei  $400 \pm 50 \text{ mm}$ . Für diese Berechnung ergibt sich daher ein Gesamtverzögerungsweg von:

$$S1 = 400 \text{ mm} + 240 \text{ mm} \text{ bzw. } S2 = 400 \text{ mm} + 310 \text{ mm}.$$

### Belastung der Insassen in Abhängigkeit des Verzögerungsweges:

<p>1. Schritt: Umformung der Geschwindigkeitsgleichung:</p> $V = V_0 + a * \Delta t$ $V = 0$ $0 = V_0 + a * \Delta t$ $\Delta t = -\frac{V_0}{a}$	<p>2. Schritt: <math>\Delta t</math> einsetzen in die Bewegungsgleichung:</p> $S = S_0 + V_0 * \Delta t + \frac{1}{2} * a * \Delta t^2$ $S_0 = 0$ $S = V_0 * \Delta t + \frac{1}{2} * a * \Delta t^2$ $S = V_0 * \left(-\frac{V_0}{a}\right) + \frac{1}{2} * a * \left(-\frac{V_0}{a}\right)^2$ $S = \frac{V_0^2 - 2V_0^2}{2a}$ $a = \frac{V_0^2}{2S}$
<p>3. Schritt: <math>S1 = 400 \text{ mm} + 270 \text{ mm}</math> in Geschwindigkeitsgleichung einsetzen (ohne Airbag):</p> $a1 = -\frac{\left(13,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 0,64 \text{ m}}$ $a1 = -150,7 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$	<p>4. Schritt: <math>S2 = 400 \text{ mm} + 310 \text{ mm}</math> in Geschwindigkeitsgleichung einsetzen (mit Airbag):</p> $a2 = -\frac{\left(13,89 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 0,71 \text{ m}}$ $a2 = -135,87 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

Zu erkennen ist, dass durch eine Verlängerung des Verzögerungswegs mit Hilfe eines Airbags eine um ca. 9% geringere Beschleunigung auftritt.

Während der Verzögerung baut der Insasse seine kinetische Energie durch die Verrichtung von Arbeit ab. Die Arbeit besteht aus der Summe der Kräfte von Gurtsystem, Airbag und Sitz, die während der Vorverlagerung auf den Insassen einwirken. Nach dem Multiplizieren der Beschleunigung  $a_1$  bzw.  $a_2$  mit der Masse des Insassen zur Berechnung der Rückhaltekraft  $F_r$ , kann die Arbeit  $W$  berechnet werden. Für die Masse des Insassen wird ein Gewicht von 76 kg angenommen.

$$W = \int F_r * ds \quad (\text{Formel 1})$$

$$\begin{aligned} W_1 &= 150,7 \frac{m}{s^2} * 76kg * 0,64 m \\ &= 7331,55 J \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_2 &= 135,87 \frac{m}{s^2} * 76kg * 0,71 m \\ &= 7331,55 J \end{aligned}$$

In beiden Fällen ergibt sich eine verrichtete Arbeit von 7331,55 J, da die identische kinetische Energie umgesetzt wird. Unterschiede zeigen sich jedoch beim Vergleich des Kraft-Weg- und Geschwindigkeit-Zeit-Verlaufs der Versuche.

Die Diagramme 01 und 02 zeigen den Zusammenhang zwischen der Höhe der Verzögerung und der Belastungszeit. Da die Höhe der verrichteten Arbeit  $W$  am Ende der Versuche gleich ist, muss der Versuch mit der höheren Verzögerung eine geringere Belastungszeit aufweisen. Eine hohe Verzögerung ist allerdings mit einer hohen Belastung für den Insassen gleich zu setzen. Daher wird in der Regel ein geringes Kraftniveau angestrebt, um den vorhandenen Vorverlagerungsraum möglichst komplett zu nutzen.

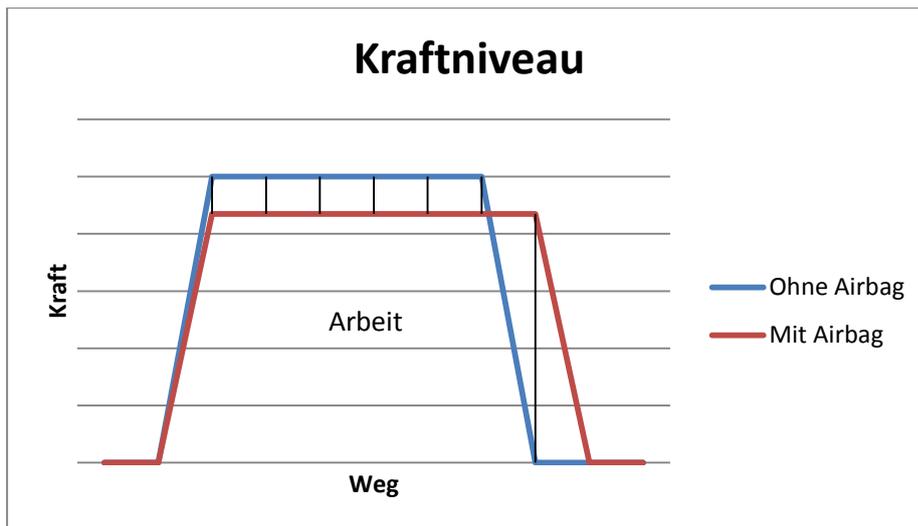


Diagramm 01: Vergleich der wirkenden Kräfte

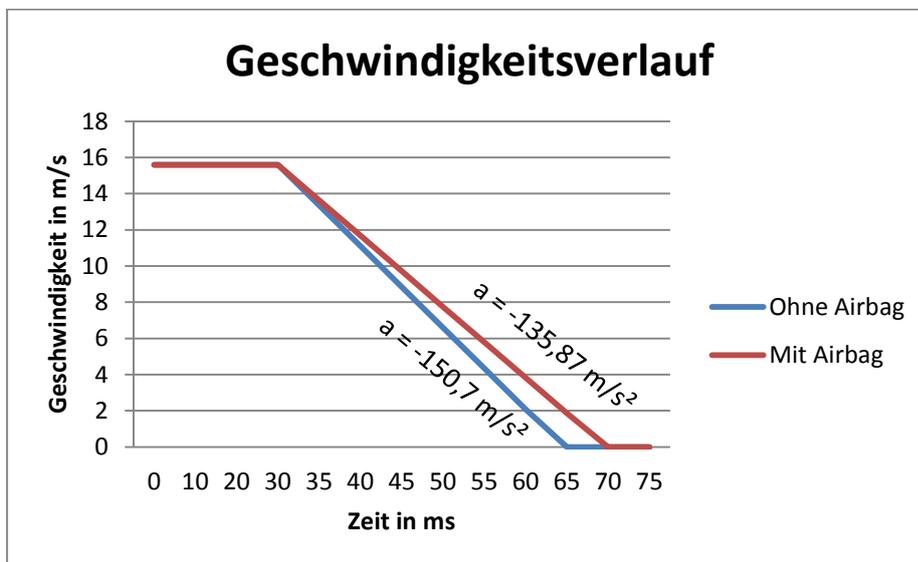


Diagramm 02: Vergleich der Geschwindigkeiten

## 2.3 Dummies – Funktion, Geschichte und der TNO-10

In diesem Abschnitt wird die Entwicklung der Dummies sowie deren Funktion in der Fahrzeugauslegung beschrieben. Des Weiteren wird näher auf den heute aktuellen Hybrid III Dummy und den in dieser Arbeit verwendeten TNO-10 Dummy eingegangen.

### Funktion

Das wesentliche Kriterium für die Beurteilung von Sicherheitssystemen ist die zu erwartende Verletzungswahrscheinlichkeit und die Verletzungsschwere von Verkehrsteilnehmern bei Unfällen, welche durch das Auswerten von Crashtest bestimmt werden.

Da sich die Verwendung von lebenden Menschen aus ethischen Gründen klar verbietet, werden Leichen- und Tierversuche durchgeführt um biomechanische Grenzwerte zu ermitteln. Diese Grenzwerte ermöglichen den Einsatz von Dummies, welche das körperliche Verhalten eines Menschen während eines Unfalls möglichst genau abbilden sollen. Sie bestehen normalerweise aus einem Skelett aus Metall oder Kunststoff, dessen Körperteile gelenkig miteinander verbunden sind. Muskeln und Weichteile werden durch einen Kunststoffschaum nachgebildet und die Körperoberfläche besteht aus einer abnehmbaren Kunststoffhaut [Kra98,259]. Die innerhalb eines Crashtests, von einem Dummy aufgenommenen, physikalischen Größen wie zum Beispiel Beschleunigungen, Kräfte und Verschiebungen können mit den biomechanischen Grenzwerten verglichen und so Aussagen über die Verletzungsschwere bzw. Verletzungswahrscheinlichkeit getroffen werden. Lediglich bei geringen Geschwindigkeiten, bei denen Verletzungen ausgeschlossen werden können, werden freiwillige Probanden in der Unfallforschung eingesetzt. Ein großer Vorteil der Verwendung von Dummies ist die Reproduzierbarkeit und damit die Vergleichbarkeit von Messergebnissen bei gleichen Versuchsbedingungen. Zu beachten ist allerdings, dass aufgrund der Verwendung von Metall und Kunststoff anstelle von Knochen, Muskeln und Gewebe sowie der begrenzten Dauerhaltbarkeit, ein Dummy die Realität nur bedingt abbilden kann.

[Kra98,259]

## Geschichte der Dummys

Der erste Dummy wurde 1949 von der Firma Sierra Engineering Co. für die US-Luftwaffe gebaut und für das Testen von Schleudersitzen und Gurten verwendet. Mit einer Größe von 1,85 m entsprach Sierra Sam dem *95 Prozent-Mann*, also dem 95-Perzentil der männlichen Bevölkerung, was bedeutet, dass nur 5 % der Männer größer und schwerer waren.

Nur wenige Jahre später entwarf Samuel W. Alderson die VIP-50-Serie für *General Motors* und Ford, welche durch das *National Bureau of Standards* übernommen wurde. Auch *Sierra* entwarf ein Konkurrenzmodell, welches den Namen *Sierra Stan* trug. Doch keiner der beiden Entwürfe konnte den Ansprüchen von *General Motors* gerecht werden. Deshalb entwickelten die Techniker von *General Motors* ein eigenes Modell mit dem Namen *Hybrid I*, welches die positiven Eigenschaften aus beiden Modellen in sich vereinen sollte. Dieses Modell hatte die Durchschnittswerte in Körpergröße, Gewicht und Körpermaßen der männlichen Population und wurde deshalb *50-Prozent-Mann* genannt. 1972 folgte das Modell *Hybrid II*, welches bereits eine verbesserte Schulter-, Wirbelsäulen- und Knie-Mechanik besaß. Der nur wenige Jahre später entwickelte *Hybrid III* kam bereits 1976 auf den Markt und wird von der Automobilindustrie bis heute als Stellvertreter für Testpersonen bei Frontalzusammenstößen eingesetzt. Die Modellreihe des *Hybrid III* Dummys wurde sogar zu einer ganzen *Hybrid-Dummy-Familie* ausgebaut, welche ständig weiterentwickelt und modernisiert wurde. Die Familie besteht aus einem männlichen 50% Dummy, einem weiblichen 5% Dummy und 3 Kinderdummys im Alter von drei, sechs und zehn Jahren.

[Wik14]

## Der TNO-10 Dummy

Da nicht bei jedem Test aufwendige Messinstrumente und das möglichst lebens-echte Crashverhalten eines Hybrid III Dummys benötigt werden, gibt es auch einfachere, auf eine spezielle Testsituation angepasste Modelle. Ein Beispiel ist der TNO-10 Dummy, welcher entwickelt wurde, um Fahrzeugsicherheitsgurte innerhalb eines dynamischen Versuchs zu testen. Mit Hilfe dieser Versuche wird das Gurtsystem bewusst überlastet, um das Verhalten im Extremfall zu betrachten. Der Dummy repräsentiert einen durchschnittlichen männlichen erwachsenen Mann in Bezug auf Größe und Gewicht. Ein Bild des TNO-10 Dummys ist in Abbildung 02 zu erkennen. Da die Bewegung der Arme und Beine eines Dummys für die Auslegung von Sicherheitsgurten nicht von Bedeutung sind, besitzt dieser Dummy keine Unterarme und nur einen Unterschenkel, welcher an beide Oberschenkel angebunden ist. Ähnlich verhält es sich mit den Gelenken dieses Dummys. Im Gegensatz zu den aufwendigen Konstruktionen der Hybrid III Familie, sind die Gelenke eines TNO-10 nur durch einfache Stahlrohre realisiert. Eine genauere Beschreibung der Bestandteile des Dummys befindet sich in der Tabelle 02 und der Abbildung 03. Des Weiteren kommt dieser Dummy komplett ohne eigene Messtechnik aus und ist dennoch für seinen Einsatzzweck völlig ausreichend dimensioniert, da er ausschließlich als Testpuppe in der ECE-Regulierung 16 eingesetzt wird. Die ECE-R 16 ist als Zulassungskriterium von Sicherheitsgurten für erwachsene Insassen von motorbetriebenen Fahrzeugen vorgeschrieben.



Abbildung 02: TNO-10 Dummy [Hum14]

Bestandteile eines TNO-10 Dummys	Beschreibung	Gewicht in kg
Kopf	Bei dem Kopf handelt es sich um einen mit Polyurethanschaum (1) aufgefüllten Hohlraum, welcher durch einen Polyester Schädel (2) verstärkt wird. Über ein Axial-Drehgelenk (3) ist der Kopf mit dem Genick verbunden.	4,6 ± 0,3
Genick	Das Genick besteht aus 6 verstärkten Polyurethanscheiben (4), welche sich auf einem Stahldraht befinden.	
Torso	Das Grundgerüst des Torsos bildet ein mit Polyurethan überzogenes Stahl-Skelett, welches aus einem Stahlrohr (5) für die Hüfte einer Stahlkette (6) für die Wirbelsäule, einem Stahlrahmen (7) für die Rippen und einer weiteren Stahlkonstruktion, die das Brustbein (8) repräsentiert, besteht. Zusätzlich gibt es 6 Ausgleichgewichte (9) aus Polyurethan, welche je ein Kilo wiegen und für das Austarieren des Dummys genutzt werden können.	40,3 ± 1,0
Oberschenkel	Die Oberschenkel bestehen aus einem Polyurethan überzogenen Stahlrahmen (10), welcher an beiden Enden mit Rohren für die Anbindung von Hüfte (11) und Unterschenkel (12) versehen ist. Die Hüftanbindung bietet genügend Platz um 6 Ausgleichgewichte (13) aus Stahl unterzubringen.	16,2 ± 0,5
Unterschenkel	Der Unterschenkel ist ein mit Polyurethan überzogenes Stahlrohr (14) mit einer Stahlplatte für den Fuß (15) auf der einen und einem Stahlrohr für die Anbindung an die Oberschenkel (16) auf der anderen Seite.	9,0 ± 0,5
Overall	Dem Dummy wird ein spezieller einbeiniger Overall angezogen. Der Overall ist aus Baumwolle und durch einen 200 mm breiten Streifen im Bereich des Beckens verstärkt.	-
Brust Kissen	Um die Steifigkeit der Dummy-Brust zu kompensieren, muss ein weiches Polyethylen-Kissen (17) unter dem Overall platziert werden.	-

Tabelle 02: Bestandteile TNO-10 [Ece10,69]

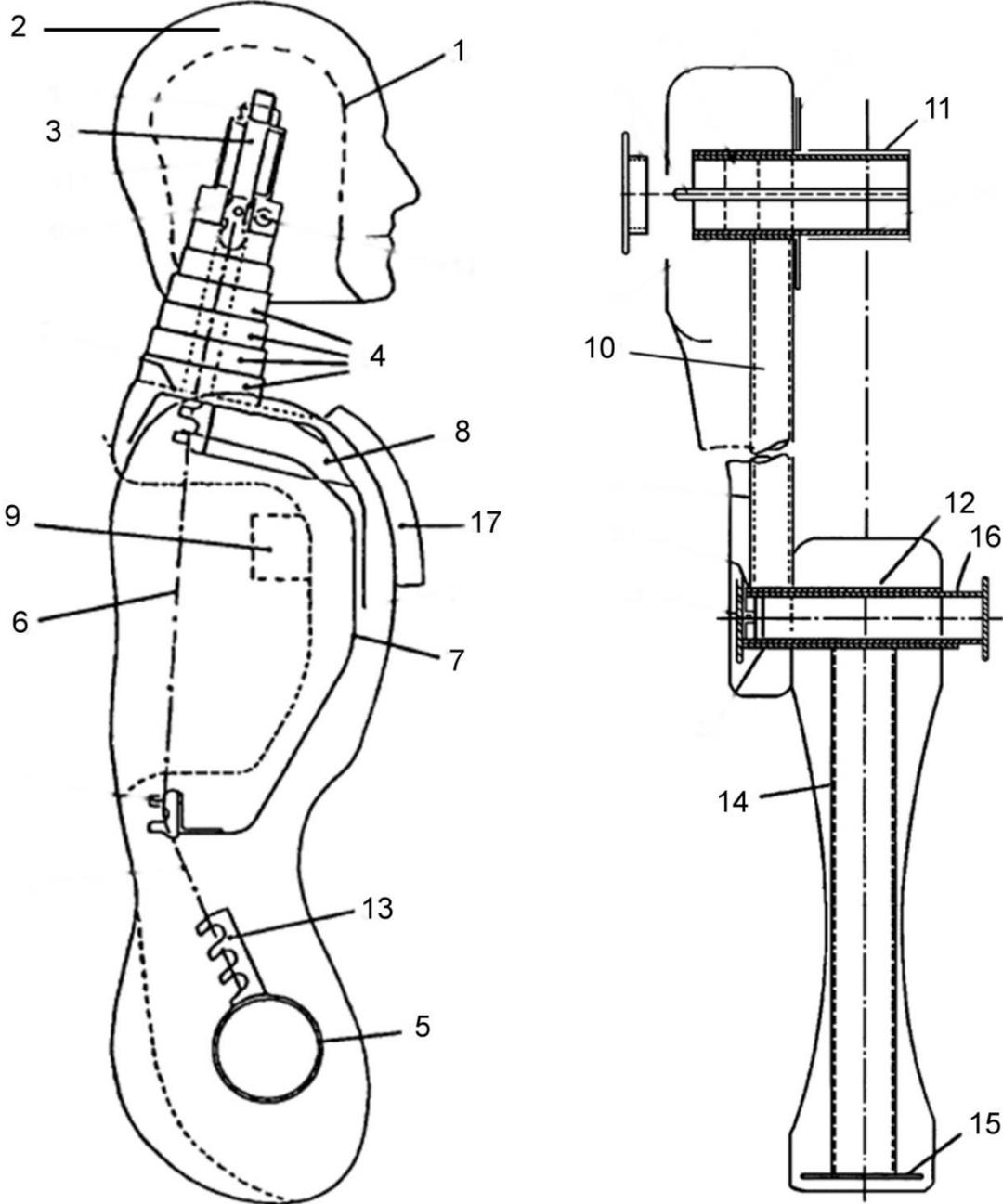


Abbildung 03: Bestandteile TNO-10 [Ece10,71]

## 2.4 Sicherheitsgurt - Geschichte und Funktion heute

In diesem Abschnitt werden die Geschichte des Sicherheitsgurtes und die Form in der er heute zum Einsatz kommt beschrieben.

### **Geschichte des Sicherheitsgurtes:**

Für den Dreipunktgurt, wurde bereits am 14. August 1959 von Nils Bohlin das Patent angemeldet. Noch im selben Jahr wurde der Volvo PV 544 ausgeliefert, welcher das weltweit erste Automobil mit serienmäßiger Ausstattung von Dreipunktgurten auf den Vordersitzen war [DeVe11,4]. Doch mit einem Dreipunktgurt, wie er heute üblich ist, hatte dieser Gurt nur die drei Anbindungspunkte im Fahrzeug gemeinsam. Der deutlichste Unterschied bestand vor allem darin, dass der damals verwendete Statikgurt, vor dem Anlegen zunächst auf den Umfang des Insassen bzw. auf seine Sitzposition einzustellen war. Dies war umständlich und führte häufig dazu, dass der Gurt zu lose angelegt wurde und seine Schutzwirkung nur unzureichend erfüllen konnte. Verbessern konnte dies erst der Dreipunkt-Automatikkurt, welcher sich im ungenutzten Zustand aufrollt und beim Anlegen die benötigte Länge Gurtband ausgibt. Dieser Gurt war zwar seit 1962 verfügbar, verbreitete sich aber aufgrund der geringen Akzeptanz des Sicherheitsgurtes nur sehr zögerlich [DeVe11,5]. Während das Anlegen des Sicherheitsgurtes heute bei nahezu allen Verkehrsteilnehmern eine Selbstverständlichkeit ist, gab es früher viele Diskussionen über die Verwendung des Sicherheitsgurtes. Der Sicherheitsgurt wurde primär mit den Gefahren eines Unfalls und dessen Folgen assoziiert, anstatt mit seiner eigentlichen Funktion [DeVe11,9]. Häufig wurde der Gurt sogar als eine zusätzliche Gefahrenquelle angesehen, die die Fahrzeuginsassen in dem verunfallten Fahrzeug gefangen hält. Trotz intensiver Bemühungen war es allein durch Werbemaßnahmen und Aufklärungsaktionen nicht möglich, die Gurtanlegequoten auf ein akzeptables Maß zu bringen. Erst mit der Einführung eines Verwargeldes beim Verstoß gegen die Benutzungspflicht stieg die Anlegequote im September 1984 auf 92 Prozent an [DeVe11,15].

[DeVe11]

### **Sicherheitsgurt heute:**

Auch heute noch findet sich der Sicherheitsgurt in Form eines Dreipunktgurtes in den Fahrzeugen wieder und, obwohl die Erfindung bereits über 50 Jahre alt ist, hat sich der Sicherheitsgurt erst in den letzten Jahren sehr verändert. Heute befinden sich in den Gurtsystemen zum Beispiel Gurtkraftbegrenzer, welche die maximal anliegende Kraft innerhalb des Sicherheitsgurtes auf einen bestimmten Wert begrenzen, um so unter anderem die Brustindrückung zu verringern. Des Weiteren werden Gurtstraffer verbaut, welche kurz vor dem eigentlichen Crash etwas Gurtband einziehen, um den Insassen früher an der Gesamtverzögerung des Fahrzeugs teilnehmen zu lassen und somit die auftretenden Beschleunigungen zu verringern. Zusätzlich wird der Insasse in eine aufrechtere und damit für den Crash günstigere Position gebracht. Auch die Abstimmung mit den Airbag Systemen innerhalb eines Fahrzeugs spielt heute eine große Rolle. Im Bereich von Millisekunden wird die Zündung von Gurtstraffern und Airbags aufeinander abgestimmt, um eine optimale Rückhaltung der Fahrzeuginsassen zu gewährleisten.

## **2.5 Airbags – Geschichte und Kennwerte**

In diesem Abschnitt werden die Entwicklung des Airbags und die Eigenschaften der heute verwendeten Airbagtypen beschrieben.

### **Geschichtliches und Eigenschaften von Airbags:**

Die Idee eines sich automatisch aufblasenden Luftkissens gibt es schon lange. Bereits 1953 bzw. 1952 wurden die entsprechenden Patente (John Hetrick, USA und Walter Lindner, Deutschland) erteilt. Als problematisch galt damals allerdings noch die erforderliche kurze Aufblaszeit eines Airbags. Um diesen überhaupt rechtzeitig füllen zu können wurden Hochdruck-Gasflaschen verwendet, welche sich vor allem durch ein hohes Gewicht, großes Bauvolumen und eine unzureichende Funktionszuverlässigkeit auszeichneten [Kra98,178].

Der Durchbruch gelang erst Anfang der 70er Jahre durch die Verwendung eines Feststoff-Gasgenerators aus dem Militärbereich. Nach Jahren der Entwicklung bot Mercedes-Benz im Jahr 1980 als erster Automobilhersteller einen Airbag in Form eines Fahrerairbags an. Die weltweite Entwicklung des Airbags verlief allerdings unterschiedlich. Auf dem amerikanischen Markt wurde der Airbag als alleiniges

Rückhaltesystem entwickelt, da zu diesem Zeitpunkt keine Gurtpflicht in Amerika bestand. In Europa hingegen wurde der Airbag als eine zusätzliche Sicherheitseinrichtung entwickelt und verwendet. Diese unterschiedlichen Verwendungszwecke führten dazu, dass die Airbags auf dem amerikanischen-Markt deutlich größer als die Airbags auf dem europäischen-Markt waren. Man spricht daher von **Euro size-Airbags** (Fahrer-Airbag: 25 – 35 Liter, Beifahrer-Airbag: 60 Liter) und **Full size-Airbags** (Fahrer-Airbag: 65 – 80 Liter, Beifahrer-Airbag: 150 -160 Liter). In der heutigen Zeit haben sich die Volumina der Airbags etwas angeglichen, was vor allem mit der heute geltenden Gurtpflicht im amerikanischen Raum zusammen hängt. Die so entstandenen Airbaggrößen (Fahrer-Airbag: 45 – 60 Liter, Beifahrer-Airbag: 80 – 120 Liter) werden als **Mid size-Airbags** bezeichnet [Kra98,178].

Neben der Größe unterscheiden sich die unterschiedlichen Airbagtypen innerhalb eines Fahrzeuges auch in ihrer **Form** (Fahrerseitig: Rotationssymmetrische, kreisrunde Form; Beifahrerseitig: Prismatische, rechteckige Form) und der **Entfaltungszeit** (Fahrerseitig: 30 – 40 ms; Beifahrerseitig: 40 – 60 ms; Seitenairbag: 12 -18 ms). Während der Entfaltung des Airbags entstehen Temperaturen von 1100 °C - 1350°C innerhalb der Brennkammer. Durch die schnelle Expansion kühlt sich das beinahe reine Stickstoffgas allerdings auf rund 150 °C innerhalb des Airbags ab, so dass bei Kontakt zwischen der Hautoberfläche und dem Airbagmaterial nicht mit starken Verbrennungen gerechnet werden muss. Ab einer Differenzgeschwindigkeit  $\Delta v$  von  $20 \text{ km/h} \leq \Delta v \leq 30 \text{ km/h}$  werden bei einem Frontalcrash in der Regel die Airbags ausgelöst [Kra98,178]. Um den benötigten **Airbag-Innendruck** von ca. 0,15 – 0,3 bar zu erzeugen [Gol11], werden hauptsächlich Rundgeneratoren ( $\varnothing$  75 – 100 mm, Höhe: 20 -35 mm) oder Rohrgeneratoren ( $\varnothing$  50 mm, Länge: 230 mm) genutzt. Die Wahl des Gasgenerators hängt dabei stark vom Einsatzort ab. Während sich Rohrgeneratoren vornehmlich in Beifahrer-Airbags finden, werden Rundgeneratoren aufgrund ihrer günstigen Geometrie vor allem in Lenkrädern verbaut. In der Tabelle 03 sind die Daten unterschiedlicher Airbags übersichtlich zusammengefasst.

[Kra98,178],[Gol11]

<b>Datenblatt Airbags</b>	
<b>Volumina (früher):</b>	<p><b>Euro-Airbags (Euro size-Airbags):</b>            Fahrer-Airbag: 25 – 35 Liter            Beifahrer-Airbag: 60 Liter</p> <p><b>US-Airbags (Full size-Airbags):</b>            Fahrer-Airbags: 65-80 Liter            Beifahrer-Airbags: 150 -160 Liter</p>
<b>Volumina (heute):</b>	<p><b>Mid size-Airbags:</b>            Fahrer-Airbag: 45 – 60 Liter            Beifahrer-Airbag: 80-120 Liter            Seiten-Airbag: &lt; 15 Liter</p>
<b>Formunterscheidung:</b>	<p><b>Fahrerseitig:</b>            Rotationssymmetrische kreisrunde Form</p> <p><b>Beifahrerseitig:</b>            Prismatische, rechteckige Form</p>
<b>Entfaltungszeit:</b>	<p><b>Fahrerseitig:</b>            30 - 40 ms</p> <p><b>Beifahrerseitig:</b>            40 - 60 ms</p> <p><b>Seitenairbag:</b>            12 - 18 ms</p>

<b>Auslösegeschwindigkeit:</b>	<b>Frontalcrash:</b> 20 – 30 km/h
<b>Gasgeneratoren:</b>	<b>Rundgeneratoren:</b> ∅ 75 – 100 mm, Höhe: 20 -35 mm <b>Rohrgeneratoren:</b> ∅ 50 mm, Länge: 230 mm
<b>Temperaturen:</b>	<b>Innerhalb der Brennkammer:</b> 1100 – 1350 °C <b>Innerhalb des Airbags:</b> 150 °C
<b>Druckverläufe:</b>	<b>Brennkammer-Druck (0-45ms):</b> 3500 – 4000 PSI <b>Brennkammer-Druck(45-60ms):</b> 3500 – 2500 PSI <b>Kannendruck (10-50ms):</b> 38 – 45 PSI <b>Kannendruck (60-70ms):</b> 20 – 10 PSI (290 – 145 Bar)
<b>Airbag - Innendruck:</b>	<b>Fahrerseitig:</b> 0,15 – 0,4 bar <b>Beifahrerseitig:</b> 0,15 – 0,4 bar

Tabelle 03: Airbagdaten [Kra98],[Gol11]

## 3 Methoden der Konzeptentwicklung

In diesem Kapitel wird die Methodik beschrieben, die bei der Entwicklung des reversiblen Airbags genutzt wird. Es wird dabei genauer auf die Anforderungen und die Ideenfindung für die Erstellung unterschiedlicher Konzepte, sowie auf die Bewertung dieser eingegangen.

### 3.1 Vorgehensweise

Vor der eigentlichen Entwicklung des reversiblen Airbags werden die Rahmenbedingungen mit Hilfe von Vorversuchen und der Definition von Anforderungen festgelegt. Erst danach werden Ideen zur Konzeptentwicklung aufgenommen und durch die Verwendung einer Kreativitätstechnik mehrere Konzepte entwickelt. Anschließend durchlaufen die Konzepte ein Bewertungssystem, welches die Konzepte anhand von vorher festgelegten Bewertungskriterien beurteilt. Parallel zu der Bewertung, werden die Konzepte aufgrund ihrer technischen Realisierbarkeit untersucht. Anhand der Ergebnisse aus beiden Verfahren wird anschließend das beste Konzept ausgewählt.

### 3.2 Dimensionierung und Anforderungen

In diesem Abschnitt wird beschrieben, anhand welcher Methoden die Parameter für die Auslegung und die Anforderungen festgelegt werden.

#### Bestimmung der Dimensionierungskriterien

Um einen geeigneten reversiblen Airbag zu entwickeln, bedarf es zunächst der Daten, über die auftretenden Verschiebungen, Kräfte und Beschleunigungen, bei der Verwendung eines herkömmlichen Airbags.

Um diese Daten zu erhalten werden unter anderem Referenzversuche mit und ohne Airbag durchgeführt. Auf diese Weise lässt sich die Höhe der zusätzlichen Rückhaltung, durch die Verwendung eines Airbags bestimmen. Für das Erreichen einer Vergleichbarkeit der Ergebnisse müssen identische Versuchsbedingungen vorliegen. Um dies zu gewährleisten, werden, die Regelungen der ECE-R16 verwendet (vgl. Abschnitt 2.2.2). Zusätzlich wird ein Impactortest (Standard Airbag-

test, beschrieben in Abschnitt 4.1.2) ausgewertet. Bei diesem Test werden die wirkenden Kräfte und Beschleunigungen, die bei der Verwendung eines Airbags auftreten, gemessen. Anhand der Daten aus beiden Testverfahren zusammen wird ein Auslegungsrahmen erstellt, in dem der reversible Airbag liegen muss.

### **Definition der Anforderungen**

Neben der Festlegung von Dimensionierungskriterien anhand von Daten ist es vor der Entwicklung eines Konzepts sinnvoll, sich zunächst Gedanken über die Anforderungen zu machen, die das zu entwickelnde System erfüllen soll. Diese Anforderungen können über unterschiedliche Techniken wie etwa das Brainstorming, das Mindmapping oder mit ähnlichen Kreativitätstechniken gefunden werden. Bei dieser Arbeit wird das Brainstorming als Technik verwendet. Da sich die Anforderungen eines Projekts hinsichtlich ihrer Priorität und ihrer Art stark unterscheiden, werden die Anforderungen zusätzlich in Festforderungen, Mindestanforderungen, wirtschaftliche Anforderungen und Sicherheitsanforderungen unterteilt.

Bei den Festforderungen handelt es sich um Anforderungen, die auf jeden Fall erfüllt werden müssen, um die Funktion eines Systems zu gewährleisten. Sie sind gekennzeichnet durch quantitative Angaben wie zum Beispiel die Anzahl von Verschraubungen oder durch beschreibende Angaben, wie zum Beispiel der aussetzende Betrieb im Störfall. Damit im Vorfeld keine Lösungsmöglichkeiten ausgeschlossen werden, darf es sich bei den Festforderungen nur um grundlegende Anforderungen handeln, die die Kreativität in der Konzeptfindung nicht zu sehr einschränken.

Zu den Mindestanforderungen zählen Anforderungen, die mindestens erfüllt werden müssen, die aber jeweils zur günstigen Seite hin über- oder unterschritten werden dürfen. Dabei geht es um Daten wie zum Beispiel Zeiten, Geschwindigkeiten und Kräfte.

Bei den wirtschaftlichen Anforderungen handelt es sich um Anforderungen, die erfüllt werden müssen, um die Herstellung und den Betrieb eines Systems unter finanziellen Gesichtspunkten rentabel zu halten.

Sicherheitsanforderungen sind Anforderungen, die eine gefähderungsfreie Nutzung eines Systems gewährleisten. Wie die Festforderungen müssen die Sicherheitsanforderungen auf jeden Fall erfüllt werden.

Zu den vier Anforderungspunkten werden im ersten Schritt alle Einfälle aufgeschrieben, die durch das Brainstorming entstehen. Nachdem für jeden Anforderungspunkt genügend Beispiele gefunden sind, werden die tatsächlich relevanten Vorschläge in einer Anforderungsliste zusammengefasst. Zusätzlich zu den Anforderungen eines Systems gibt es auch Wünsche. Als Wünsche bezeichnet man Funktionen oder Eigenschaften, welche das System verbessern, jedoch für den Betrieb nicht zwingend notwendig sind. Wünsche können daher als optional angesehen werden.

Es ist zu beachten, dass es sich bei der Anforderungsliste um ein sogenanntes lebendes Dokument handelt, bei dem auch noch zu einem späteren Zeitpunkt der Entwicklung Kriterien ergänzt werden können, da sich einige Anforderungen häufig erst während der Entwicklungszeit ergeben.

[Sey-11]

### **3.3 Die morphologische Analyse**

Bei den meisten Projekten ist es so, dass bei Bekanntgabe der Problemstellung bereits schnell die ersten Lösungsmöglichkeiten in den Köpfen der Entwickler auftauchen. Um ein Verharren auf einer bestimmten Lösungsmöglichkeit zu verhindern und den Geist für frische Ideen öffnen zu können, werden Kreativitätstechniken angewendet. Generell gilt bei Verwendung von Kreativitätstechniken die Regel, dass es keine falschen oder schlechten Ideen gibt. Jede vorgeschlagene Idee, egal wie unsinnig sie im ersten Moment erscheint, wird aufgenommen. Die morphologische Analyse und der damit einhergehende morphologische Kasten ist eine solche Kreativitätstechnik. Sie wird genutzt um komplexe Problembereiche vollständig zu erfassen und alle gesammelten Lösungsmöglichkeiten vorurteilslos betrachten zu können. Entwickelt wurde die morphologische Analyse von Fritz Zwicky, weshalb sie auch unter dem Namen Zwicky-Box bekannt ist [SMS13]. Um möglichst viel unterschiedliches Wissens- und Ideenpotential zu erhalten, erfolgt sie idealerweise in einer Gruppe von bis zu 7 Personen. Alle Gruppenmitglieder erstellen zusammen einen morphologischen Kasten. Dazu müssen sie zunächst mehrere voneinander unabhängige Teilfunktionen festlegen, die das System leisten muss. Viele der Teilfunktionen lassen sich dabei anhand der in 3.2 beschriebenen Anforderungsliste ableiten. Wäre beispielsweise eine Festforderung für

Schiffe die Schwimmfähigkeit, so könnte *Auftrieb gewährleisten* eine Teilfunktion des zu entwickelnden Systems – Schiff sein. Nachdem alle Teilfunktionen festgelegt sind, werden unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten für diese Teilfunktionen von den Gruppenmitgliedern erarbeitet. Für die Lösungsmöglichkeiten gilt wie oben beschrieben die Regel, dass es keine falschen oder schlechten Ideen gibt. Besonders originelle Lösungen sind sogar erwünscht, da gute Entwicklungen häufig aus zunächst sehr abwegigen Vorschlägen entstehen. Nachdem für alle Teilfunktionen genügend Lösungsmöglichkeiten vorhanden sind, werden Lösungskonzepte aus je einer Lösungsmöglichkeit pro Teilfunktion erstellt.

[Sey-13]

### **Präsentation und Diskussion erster Konzepte:**

Nachdem genügend Lösungskonzepte vorhanden sind, wird eine Präsentation mit Skizzen und einer Auflistung der Lösungsmöglichkeiten erstellt. Auf diese Weise können die Lösungskonzepte noch einmal genauer betrachtet werden. Wichtig ist, dass in dieser Phase noch keine Wertung einzelner Konzepte stattfindet. Es werden keine Ideen verworfen, sondern nur zusätzliche Lösungsmöglichkeiten mit aufgenommen. Gegebenenfalls gewonnene Verbesserungsvorschläge und neue Ideen werden zu den bereits vorhanden Lösungsmöglichkeiten im morphologischen Kasten hinzugefügt und so neue Konzeptideen entwickelt.

## **3.4 Die Bewertungsmatrix**

Da in der Regel jeder Mensch dazu geneigt ist, eine der Varianten zu favorisieren ist es schwierig, eine objektive Bewertung der Konzeptideen zu erstellen. Eine Möglichkeit dies zu erreichen ist die Erstellung einer Bewertungsmatrix. Es handelt sich dabei um eine Bewertungsmethode zum Vergleich mehrerer Lösungsalternativen anhand von unterschiedlich gewichteten technischen Anforderungen. Wenn zuvor eine Anforderungsliste wie in Punkt 3.2 erstellt wurde, kann diese genutzt werden, um auch die technischen Anforderungen zu definieren. Dabei ist zu beachten, dass nur die wichtigsten Anforderungen für die Bewertungsmatrix verwendet werden. Im nächsten Schritt muss eine Gewichtung der einzelnen Anforderungen festgelegt werden und die Lösungskonzepte anhand ihres Erfüllungsgrades bezogen auf die jeweilige technische Anforderung bewertet werden. Nachdem alle

Lösungskonzepte bewertet sind, werden die Gewichtungen mit dem entsprechenden Erfüllungsgrad multipliziert und die Ergebnisse summiert. Die Summe wird daraufhin durch die maximal mögliche Punktzahl dividiert. Die erhaltene Prozentzahl wird auch als technischer Wert bezeichnet. Das Lösungskonzept mit dem größten technischen Wert ist, objektiv betrachtet, die optimale Lösung. Tabelle 04 zeigt eine unausgefüllte Bewertungsmatrix mit dem entsprechenden Wertebereich für den Erfüllungsgrad.

[Sey-14]

Technische Anforderung:	Gewichtung	Optimum:	Variante 1:		Variante 2:		Variante 3:		Variante 4:	
		E <sub>opt</sub> x G	E <sub>1</sub>	E <sub>1</sub> x G	E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> x G	E <sub>3</sub>	E <sub>3</sub> x G	E <sub>4</sub>	E <sub>4</sub> x G
Anforderung A	1 bis 5									
Anforderung B	1 bis 5									
Anforderung C	1 bis 5									
Anforderung D	1 bis 5									
Anforderung E	1 bis 5									
Anforderung F	1 bis 5									
Anforderung G	1 bis 5									
Anforderung H	1 bis 5									
Σ Summe	-									
Technischer Wert [%]										

Grad der Annäherung:	Punktzahl nach Erfüllungsgrad:	
Sehr Gut	4	<i>G = Gewichtung der technischen Anforderungen</i> <i>E = Erfüllungsgrad</i>
Gut	3	
Ausreichend	2	
Gerade noch tragbar	1	
Unbefriedigend	0	

Tabelle 04: Bewertungsmatrix Blanko [Sey-14]

### 3.5 Konzeptdiskussion

Zusätzlich zu der Bewertungsmatrix werden die Konzepte aufgrund ihrer technischen Realisierbarkeit sowie des zu erwartenden Erfüllungsgrades für die jeweilige Teilfunktion untersucht. Auf diese Weise können nicht realisierbare Konzepte ausgeschlossen und gegebenenfalls Verbesserungen zu bereits vorhandenen Lösungsmöglichkeiten hinzugefügt werden.

## **4 Bestimmung von Auslegungsparametern und Anforderungen**

In diesem Kapitel beginnt die Bearbeitung der unter den Abschnitten 3.2 bis 3.5 beschriebenen Methoden der Konzeptentwicklung. Es werden die Durchführung und die Auswertung von praktischen Vergleichsversuchen sowie eines Impactortests beschrieben und ein Auslegungsrahmen aufgrund der erhaltenen Ergebnisse erstellt. Außerdem werden die allgemeinen Anforderungen an einen reversiblen Airbag festgelegt.

### **4.1 Definition der Auslegungsparameter**

In diesem Abschnitt wird die Bestimmung der Auslegungsparameter anhand der durchgeführten Referenzversuche und des Impactortests beschrieben und daraufhin ein Auslegungsrahmen erstellt.

#### **4.1.1 Auslegungsparameter nach ECE-R16**

Nachfolgend werden der Versuchsaufbau und die Durchführung beschrieben, sowie die Ergebnisse aus den Versuchen grafisch dargestellt.

##### **Aufbau der Versuche**

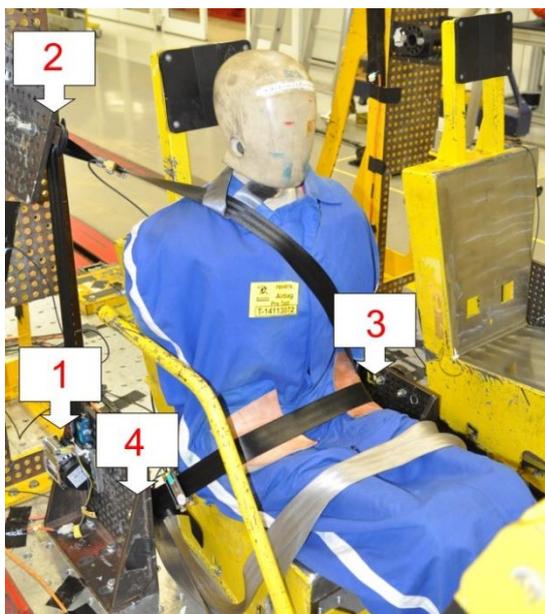
Wie bereits in Abschnitt 3.2 beschrieben, wird die Bestimmung der Parameter für die Auslegung anhand von Referenzversuchen nach ECE-R16 durchgeführt. Es wird dabei ein Versuch mit und ein Versuch ohne einen Airbag durchgeführt. Auf diese Weise lässt sich die Höhe der von dem Airbag ausgehenden Rückhaltung bestimmen. Es wird ein TNO-10 Dummy auf einem Versuchsschlitten mit Stahlsitz positioniert und mit einem Dreipunktgurt angeschnallt. Der Schlitten ist mit einem Rollensystem befestigt, welches nur eine Bewegung in axialer Richtung zulässt. Beschleunigt wird der Schlitten über einen Seilzug, welcher im Boden der Craschhalle verläuft und über eine Kupplung von einem Schwungrad angetrieben wird. Um den Schlitten abzubremsen, befinden sich ein Keil am vorderen Ende des Schlittens und eine entsprechende Aufnahme an einer hydraulischen Bremsanla-

ge am Ende der Crashbahn. Abbildung 04 zeigt ein Bild des Versuchsaufbaus unmittelbar vor der Versuchsdurchführung.



Abbildung 04: Crashbahn und Stempelbremse

Das anliegende Gurtsystem besteht aus einem Retraktor, einem herkömmlichen Gurtband und einem Endbeschlag im unteren Bereich der angedeuteten B-Säule sowie einem Umlenker im oberen und einem Schlosssystem, in Form eines Umlenkers, auf der gegenüberliegenden Seite. Zu erkennen sind die unterschiedlichen Anbindungspunkte in der Abbildung 05. Die genaue Positionierung findet anhand der Vorgaben der ECE-R16 statt.



1. Retraktor
2. Oberer Umlenker
3. Unterer Umlenker
4. Endbeschlag

Abbildung 05: Anbindungspunkte des Gurtsystems

Bei dem verwendeten Retraktor handelt es um ein Standardmodell wie es in ähnlicher Form heute in vielen Fahrzeugen zu finden ist. Es verfügt über eine mechanische Aufrollautomatik, einen pyrotechnischen Straffer und einen Gurtkraftbegrenzer in Form eines Torsionsstabs. Der Straffer besteht aus einem pyrotechnischen Treibsatz, einer bestimmten Anzahl von in einem Rohr gelagerten Metallkugeln hinter dem Treibsatz und einem Zahnrad, welches mit der Welle des Retraktors verbundenen ist. Auf das Gurtband wird ein Messstreifen geklebt, um die Gurtbandausgabe während des Crashes, mit Hilfe von optischen Sensoren, bestimmen zu können. Abbildung 06 zeigt ein Foto des am Schlitten verbauten Retraktors.

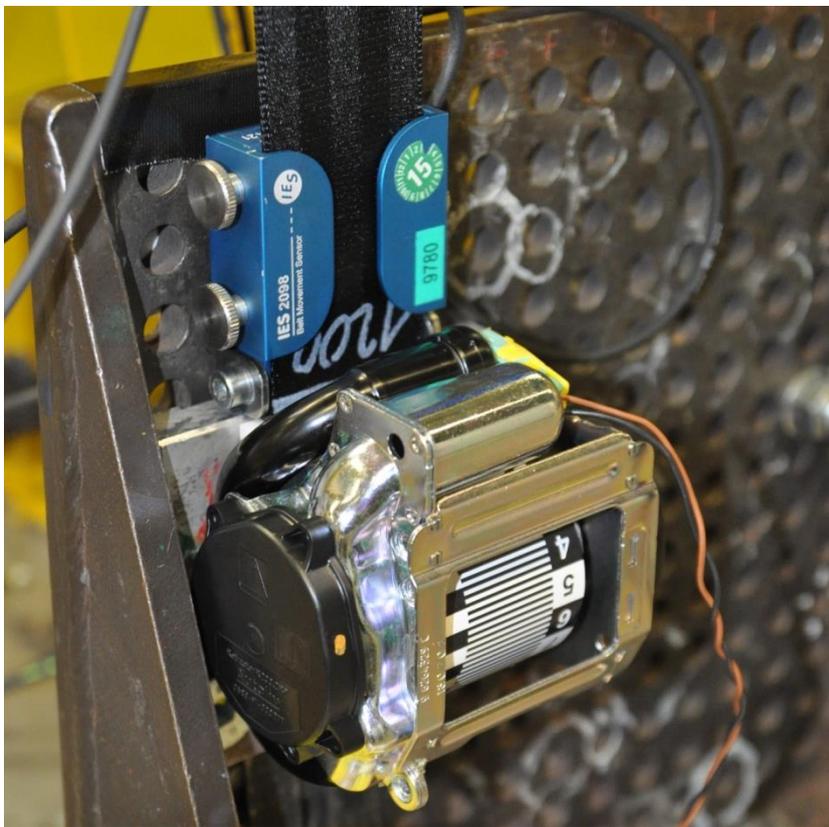


Abbildung 06: Verwendeter Retraktor

Während des Versuchs werden die Brust- und Beckenvorverlagerung, die Gurtbandausgabe und die Gurtkraft am Retraktor, an der Schulter, am Schloss sowie am Endbeschlag gemessen. Die Positionen der Messinstrumente sind der Abbildung 07 zu entnehmen. Um die Vorverlagerung des Dummys zu messen, wird der Draht eines Fadenpotentiometers<sup>2</sup> zwischen den Schulterblättern des Dummys angebracht. Während des Versuchs zieht der Dummy Draht aus, der Widerstand des Potentiometers ändert sich und kann in die entsprechende Vorverlagerung umgerechnet werden. Über einen Gurtkraftsensor wird die Gurtkraft bzw. die Kraft in axialer Richtung des Gurtbandes gemessen. Um eine Verfälschung der Messergebnisse zu vermeiden, müssen die Gurtkraftsensoren so am Gurtband befestigt werden, dass ein Kontakt zu anderen Bestandteilen des Versuchsaufbaus verhindert wird.

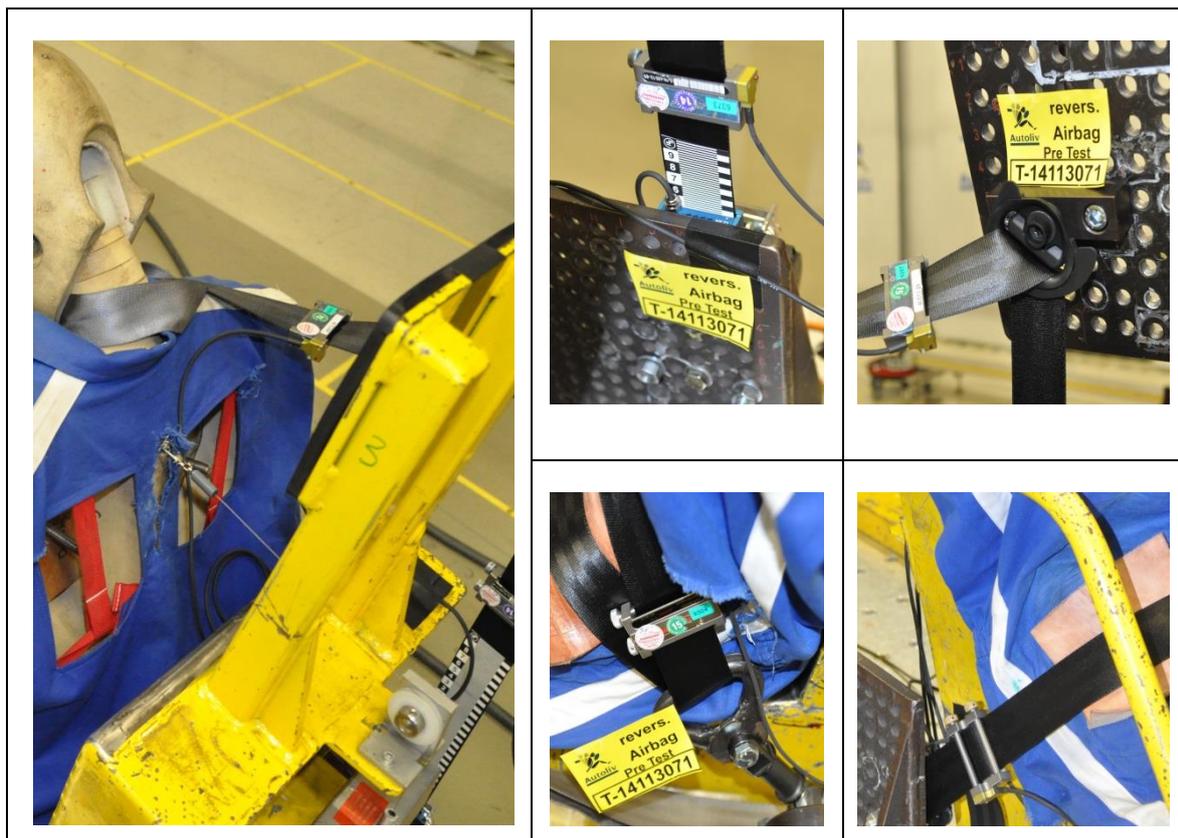


Abbildung 07: Fadenpotentiometer, Gurtkraftsensoren

<sup>2</sup> Mit einem Fadenpotentiometer lässt sich eine mechanische Bewegung in ein elektrisches Signal umrechnen. Es besteht aus einem auf eine Seiltrommel aufgewickelten Draht, welcher mit dem Messobjekt verbunden ist. An der Seiltrommel ist ein Potentiometer angeschlossen, dessen Widerstand sich je nach Auszug des Drahts ändert. Zusätzlich ist eine Rückholfeder an die Seiltrommel angeschlossen, so dass sich der Draht bei Entlastung aufwickelt.

Bei den Versuchen mit Airbag wird der Versuchsaufbau um ein Lenkrad inklusive Airbag ergänzt. Der Airbag ist an einem Gestell auf dem Schlitten befestigt und weist einen Abstand von 340 mm zur Brust des Dummys auf. Bei dem Airbag handelt es sich um einen herkömmlichen Frontalairbag wie er unter Abschnitt 2.5 beschrieben ist. Das Airbaggestell wird auch im Versuch ohne Airbag verbaut, um unterschiedliche Verzögerungswerte aufgrund von ungleichen Gewichtsverhältnissen zu vermeiden. Den Aufbau des Versuchs inklusive Airbag zeigt die Abbildung 08.



Abbildung 08: Versuchsaufbau mit Frontairbag

## Durchführung

Nachdem der Versuch vollständig aufgebaut ist, wird der Schlitten bis zu seiner Startposition zurückgefahren und das Schwungrad der Anlage beginnt sich zu drehen. Hat das Schwungrad seine Arbeitsgeschwindigkeit erreicht, wird ein mit dem Schlitten verbundenes Drahtseil über eine Kupplung mit dem Schwungrad verbunden. So wird der Schlitten bis zu einer Geschwindigkeit von 56 km/h beschleunigt. Kurz vor dem Crash wird der Schlitten ausgekuppelt und bewegt sich von allein weiter mit der vorgegebenen Geschwindigkeit auf das Hindernis zu. Der Ablauf des Crashes ist in Abbildung 09 und 10 mit Hilfe von Momentaufnahmen aus dem Versuch dargestellt.

Zu Beginn des Aufpralls wird der pyrotechnische Treibsatz des Gurtstraffers gezündet, woraufhin die Kugeln innerhalb des Retraktors durch das Rohr getrieben werden und sich das Zahnrad in Bewegung setzt. Durch die Verbindung zum Zahnrad beginnt sich die Welle zu drehen und zieht damit Gurtband ein, so dass die Gurtlose aus dem System entfernt wird. Nachdem der Treibsatz aufgebraucht ist, rastet der Retraktor ein und das Gurtband wird über den Torsionsstab gehalten. Die Trägheit des Dummys führt zu einer Relativgeschwindigkeit von Dummy und Schlitten, so dass der Dummy eine Kraft auf das Gurtband ausübt. Dabei wird das von dem Torsionsstab maximal aufnehmbare Torsionsmoment überschritten, weshalb dieser beginnt sich zu verdrehen und damit Gurtband auszugeben. Auf diese Weise wird die Gurtkraft auf einem bestimmten Niveau gehalten, bis das anliegende Torsionsmoment bzw. die Gurtkraft nicht mehr ausreicht um den Torsionsstab weiter zu verdrehen. Bei Verwendung eines Airbags wird dieser mit einer bestimmten Verzögerung gezündet, so dass er gerade sein maximales Volumen erreicht hat, wenn sich die Vorverlagerung des Dummys auf Höhe des Airbags befindet. Der Dummy taucht daraufhin in den Airbag ein und baut durch die negative Beschleunigung von Airbag und Gurtsystem seine restliche Geschwindigkeit ab. Wird kein Airbag verwendet, erfolgt der Geschwindigkeitsabbau ausschließlich über den Sicherheitsgurt. Aufgrund der leichten Federwirkung des Gurtsystems (auch Rebound genannt) wird der Dummy im Anschluss zurück in den Stahlsitz befördert.

Die aufgenommenen Messergebnisse werden mit DIAdem<sup>3</sup> bearbeitet. Um den Zeitaufwand zu minimieren und gleiche Bedingungen für die Dokumentation der einzelnen Versuche zu schaffen, wird eine Autosequenz geschrieben, welche automatisch alle Gurtkräfte und die Vorverlagerung der Brust und des Beckens in einem Diagramm grafisch darstellt.

---

<sup>3</sup> DIAdem ist ein Programm der Niederländischen Firma National Instruments, zur Analyse und Visualisierung von Messdaten.

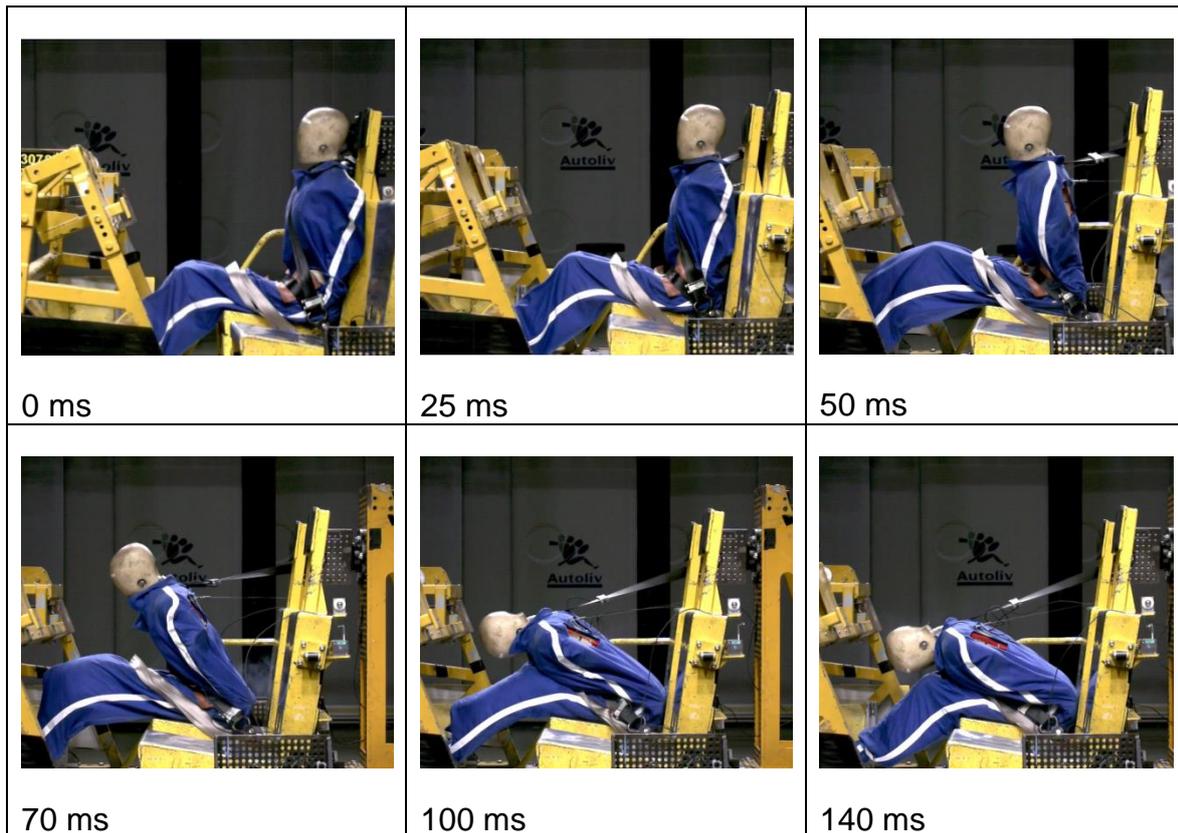


Abbildung 09: Zeitlicher Verlauf ohne Airbag

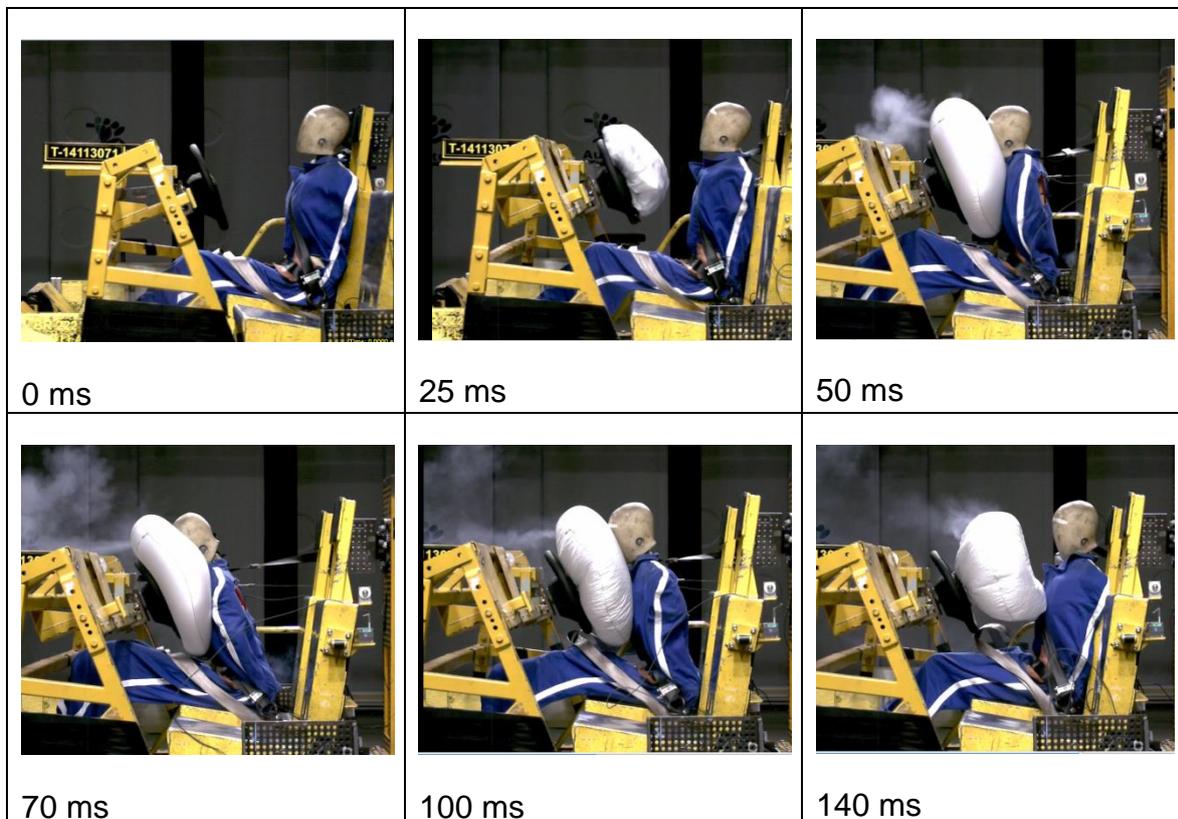


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf mit Airbag

## Beobachtung

Im Folgenden werden die Diagramme anhand ihres Kurvenverlaufes, den auftretenden Maxima und ggf. anderen Auffälligkeiten beschrieben. Die Bezeichnung der Kurven erfolgt durch die Verwendung unterschiedlicher Kürzel, deren Bedeutung in der Tabelle 05 beschrieben wird.

### Referenzversuch ohne Airbag:

Die Kraft- und Verschiebungsverläufe des Versuchs ohne Airbag werden im Diagramm 03 dargestellt. Der Verlauf der Kraft kann dort, im Bereich des Endbeschlags, bis zur 100sten ms als parabelförmig bezeichnet werden. Die Steigung der anderen Gurtkräfte ist deutlich geringer und die Kurven weisen einen kurzzeitigen Kraftanstieg nach 5 ms und 32 ms auf. Die höchste Gurtkraft tritt nach 52 ms, im Bereich des Endbeschlages auf und beträgt 9,65 kN. Etwas geringer, aber ungefähr zeitgleich, fallen mit 5,52 kN und 4,43 kN die maximal gemessenen Kräfte im Bereich der Schulter innen und außen aus. Die geringste, maximale Gurtkraft befindet sich mit 3,28 kN im Bereich des Retraktors.

Ab der 105ten ms liegen die Gurtkräfte der äußeren Schulter und am Retraktor bei 2 kN und fallen bis zu der 170sten ms auf 0 kN ab. Bei der inneren Schultergurtkraft und der Gurtkraft am Endbeschlag liegen die Gurtkräfte von der 105ten bis zur 123ten ms bei 0 kN, steigen dann noch einmal auf 2 – 2,5 kN an und fallen danach ebenfalls bis zur 170ten ms auf 0 kN ab.

Die Vorverlagerung der Brust steigt bis zur 80ten ms, auf einen Wert von ca. 400 mm, nahezu linear an. Danach weist der Verlauf der Kurve eine etwas geringere Steigung auf, erreicht in der 123sten ms einen Höchstwert von 473 mm und nimmt dann konstant ab. Der Verlauf der Vorverlagerung im Bereich des Beckens gleicht einer sehr stumpfen Parabel. Die Steigung ist hier deutlich geringer als bei der Brust und das Maximum von 81 mm wird bereits nach 59,2 ms erreicht.

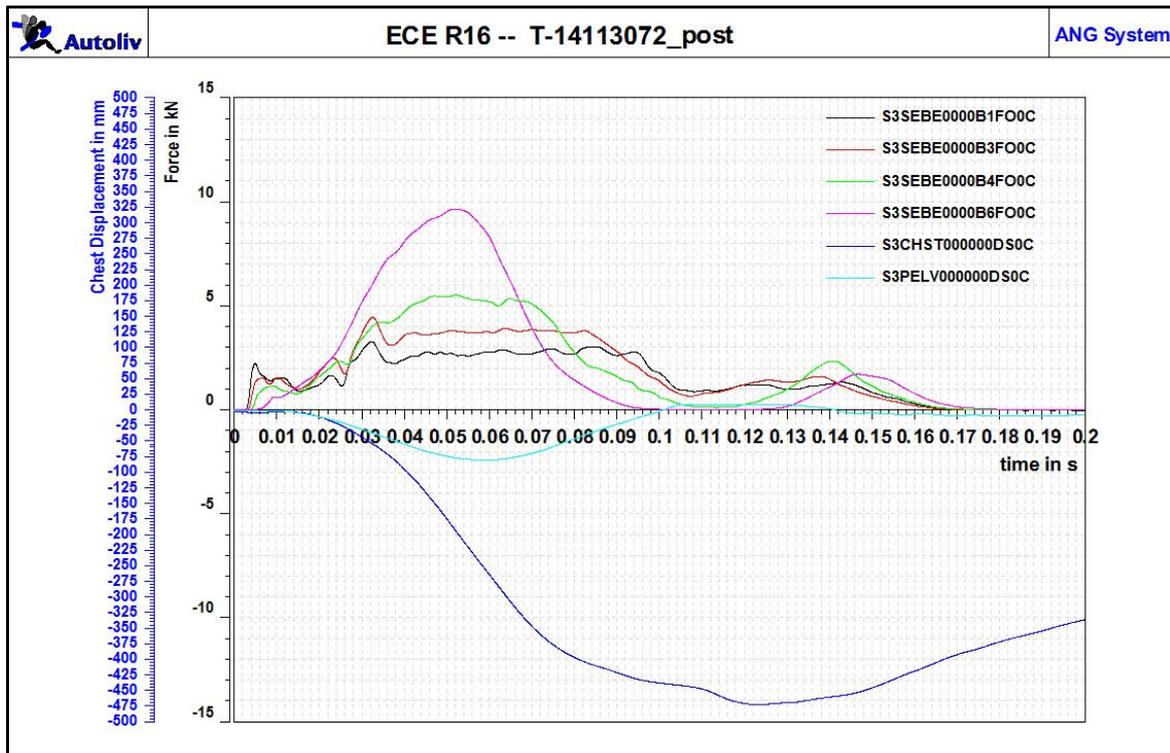


Diagramm 03: Kraft- und Verschiebungsverläufe ohne Airbag

Kürzel/Bedeutung	Test Objekt	Sitzposition	Messort	Messposition	Dimensi-on	Filter-klasse
<b>S3SEBE0000B1FO0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>SEBE</b>	<b>B1</b>	<b>FO</b>	<b>C</b>
Bedeutung:	Schlitten	Dummy vorn rechts	Sicherheitsgurt	Gurtkraft am Retraktor	Kraft	CFC 180
<b>S3SEBE0000B3FO0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>SEBE</b>	<b>B3</b>	<b>FO</b>	<b>C</b>
Bedeutung:	Schlitten	Dummy vorn rechts	Sicherheitsgurt	Gurtkraft Schulter außen	Kraft	CFC 180
<b>S3SEBE0000B4FO0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>SEBE</b>	<b>B4</b>	<b>FO</b>	<b>C</b>
Bedeutung:	Schlitten	Dummy vorn rechts	Sicherheitsgurt	Gurtkraft Schulter innen	Kraft	CFC 180
<b>S3SEBE0000B6FO0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>SEBE</b>	<b>B6</b>	<b>FO</b>	<b>C</b>
Bedeutung:	Schlitten	Dummy vorn rechts	Sicherheitsgurt	Gurtkraft am Endbeschlag	Kraft	CFC 180
<b>S3CHST000000DS0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>CHST</b>	<b>00</b>	<b>DS</b>	<b>C</b>
Bedeutung:	Schlitten	Dummy vorn rechts	Brust	Undefiniert	Weg	CFC 180
<b>S3PELV000000DS0C</b>	<b>S</b>	<b>3</b>	<b>PELV</b>	<b>00</b>	<b>DS</b>	<b>C</b>
Bedeutung	Schlitten	Dummy vorn rechts	Becken	Undefiniert	Weg	CFC 180

Tabelle 05: Bedeutung der Kürzel

### Referenzversuch mit Airbag:

In dem Versuch mit einem verbauten Airbag ist innerhalb der ersten 70 ms kein Unterschied zu den Gurtkräften aus dem Versuch ohne Airbag zu erkennen. Sowohl der Verlauf als auch die Maximalwerte stimmen nahezu überein. Ab der 70sten ms fallen die Kräfte allerdings linear ab und erreichen bei 86 ms einen Wert von 0 kN. Danach ist kein Anstieg mehr bei den Gurtkräften zu verzeichnen.

Bei den Vorverlagerungen ist vor allem im Bereich der Brust, ein deutlicher Unterschied zu erkennen. Die Steigung der Kurve ähnelt zwar zunächst der des zuvor durchgeführten Versuchs, allerdings wird das Maximum bereits nach 71 ms erreicht und beträgt nur einen Wert von 276 mm. Im Anschluss geht die Vorverlagerung deutlich schneller zurück und erreicht bei ca. 140 ms ihren Ausgangswert.

Die Beckenvorverlagerung erreicht ihr Maximum bei 58,8 ms und weist mit 91 mm einen um 10 mm höheren Wert auf als im Versuch ohne Airbag. Der Verlauf gleicht erneut dem einer sehr stumpfen Parabel. Ab der 130ten ms weisen beide Kurven eine leichte Schwankung, bezogen auf die X-Achse, auf. Die grafische Darstellung der wirkenden Kräfte und Verschiebungen ist in Diagramm 04 zu erkennen.

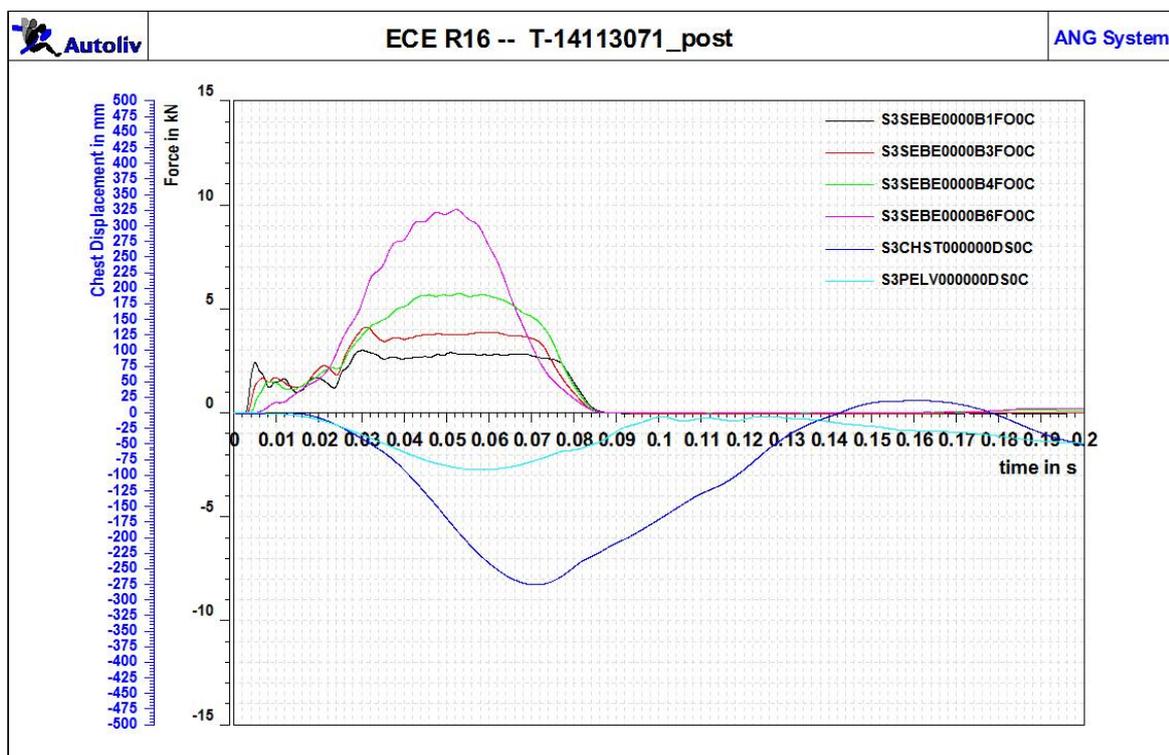


Diagramm 04: Kraft- und Verschiebungsverläufe mit Airbag

### **Auswertung der Versuche:**

Bei der Betrachtung der Gurtkraftverläufe fallen vor allem die, unter der Beobachtung der Referenzversuche ohne Airbag beschriebenen, Kraftspitzen in der 5ten und der 32sten ms auf. Beide Kraftspitzen lassen sich auf die Wirkung einzelner Bestandteile des Gurtsystems zurückführen. Der Anstieg der Gurtkraft in der 5ten ms ist mit der Funktionsweise des Gurtstraffers zu begründen. Dieser wird bereits zu Beginn des Crashes gezündet und zieht daraufhin, wie in der Durchführung beschrieben, Gurtband ein. Die Gurtlose wird aus dem System entfernt und die Gurtkraft wird auf ein Niveau von 1-2 kN angehoben. Der weitere Kraftanstieg kurze Zeit später ist auf Lasteinleitung durch den Dummy zurückzuführen. Die Kraft steigt weiter an bis sie in der 32ten ms durch den, ebenfalls in der Durchführung beschriebenen, Kraftbegrenzer auf einem bestimmten Niveau gehalten wird. Auf die Gurtkraft im Bereich des Endbeschlags haben Vorstraffer und Kraftbegrenzer nahezu keinen Einfluss, da sich dieser Bereich durch den unteren Umlenker von dem restlichen System abgrenzt.

Der erneute Anstieg der inneren Schultergurtkraft und der Gurtkraft am Endbeschlag ist in der Bewegung des Dummys begründet. Von der 105ten bis zur 123ten ms liegt die Gurtkraft an beiden Stellen bei 0 kN, da die Beckenvorverlagerung ebenfalls auf 0 zurückgegangen ist und damit mehr Gurtband zur Verfügung steht. In der 123ten ms steigt die Gurtkraft erneut an, das hinzugewonnene Gurtband ist hier, durch die weitere Vorverlagerung der Brust, erneut aufgebraucht. Bei der Verwendung eines Airbags tritt dieser Effekt nicht auf, da eine weitere Vorverlagerung der Brust, durch den Airbag verhindert wird. Stattdessen baut der Dummy einen großen Teil seiner verbleibenden, kinetischen Energie im Airbag ab und fällt daraufhin aufgrund des Reboundeffekts zurück in den Sitz.

Deutlich werden die Unterschiede der beiden Systeme auch bei der Betrachtung der Brustvorverlagerungskurven. Während das System ohne Airbag seine maximale Vorverlagerung erst nach 123ms erreicht und einen deutlich zu hohen Wert von 473 mm aufweist, erreicht das System mit Airbag lediglich einen Wert von 276 mm nach 71 ms und liegt damit in dem von der ECE-R16 vorgeschriebenen Rahmen. Die leicht erhöhte Beckenvorverlagerung von 91 mm kann als unkritisch betrachtet werden, da hier das Maximum bei 200 mm liegt.

### 4.1.2 Auslegungsparameter anhand eines Impactortests

Wie bereits in Abschnitt 3.2 angekündigt werden neben den Referenzversuchen auch die Ergebnisse aus einem Airbagtest ausgewertet. Diese Daten geben Aufschluss über den Druckverlauf innerhalb eines Frontairbags und lassen eine Bestimmung des Kraftverlaufs in Abhängigkeit zur Eindrückung zu.

#### Aufbau

Der Aufbau des Impactortest besteht im Wesentlichen aus einem auf Schienen gelagerten Testkörper, welcher im Folgenden als Impactor bezeichnet wird, und einem auf einer Vorrichtung befestigten Lenkrad inklusive Airbag. Der Impactor soll die Eindrückung des Airbags während eines Crashes durch einen Menschen simulieren. Seine Kontaktfläche weist die Form eines Trapezes auf, dessen genaue Abmessungen der Abbildung 11 zu entnehmen sind. Abbildung 12 zeigt den Versuchsaufbau, sowie die Simulation zu Beginn des Versuchs.

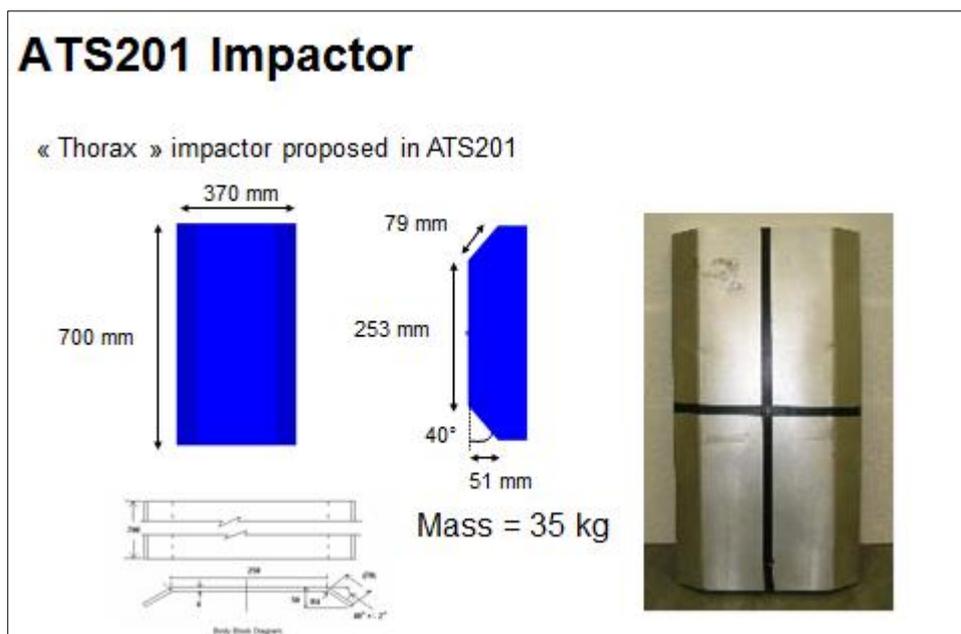


Abbildung 11: Abmaße des Impactors [Ung14]

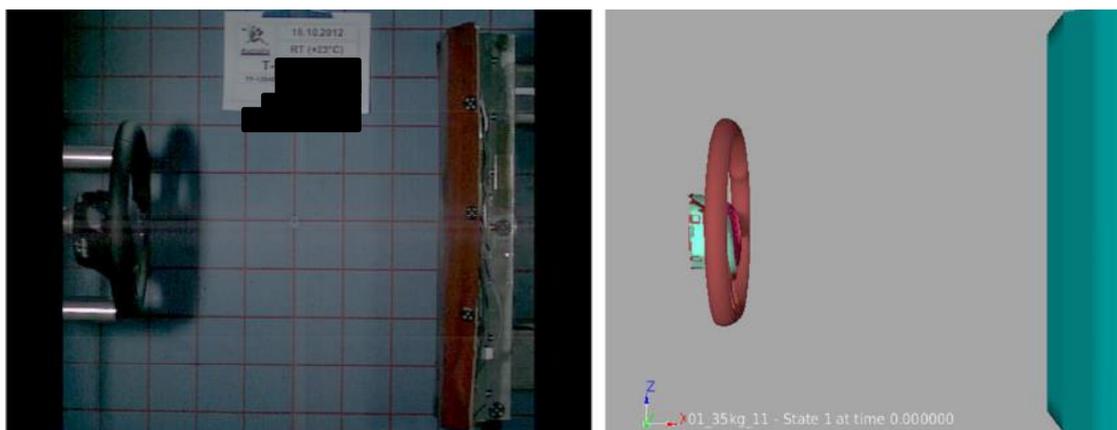


Abbildung 12: Aufbau Impactortest [Ung14]

## Durchführung

Durch den Impactortest wird ein Frontalcrash bei einer Geschwindigkeit von 56 km/h simuliert. Dazu wird der Impactor mit einer Anfangsgeschwindigkeit von  $V = 6,7 \frac{m}{s}$  auf die, mit einem Frontairbag ausgestattete, Vorrichtung geschossen. Die Anfangsgeschwindigkeit entspricht damit der ungefähren Relativgeschwindigkeit vom Insassen zum Fahrzeug während eines Crashes mit 56 km/h. Die Zündung des Airbags findet zu einem genau definierten Zeitpunkt statt. Die daraufhin am Testkörper auftretenden Beschleunigungen und Verschiebungen werden gemessen und mit Hilfe von Diagrammen veranschaulicht (siehe Anhang A: Impactortest Diagramme). Durch die Masse des Testkörpers von 35 kg wird anhand von

$$F = m * a \quad \text{(Formel 2)}$$

ein Kraftverlauf über der Verschiebung des Körpers erstellt, welcher in Diagramm 05 zu erkennen ist. Mit diesem Diagramm lässt sich erkennen, wie groß die von dem Airbag ausgehende Kraft bzw. Beschleunigung bei einer bestimmten Eindrückung ist. Des Weiteren wird die während des Aufpralls verrichtete Arbeit berechnet. Sie ergibt sich aus der Fläche unter der Kurve des Kraftverlaufs und aus der Formel

$$W = \int F * ds \quad \text{(Formel 3)}$$

Auf den Abbildungen 13 und 14 ist der Impactortest zu Beginn der Kollision und bei maximaler Eindrückung des Airbags zu erkennen.

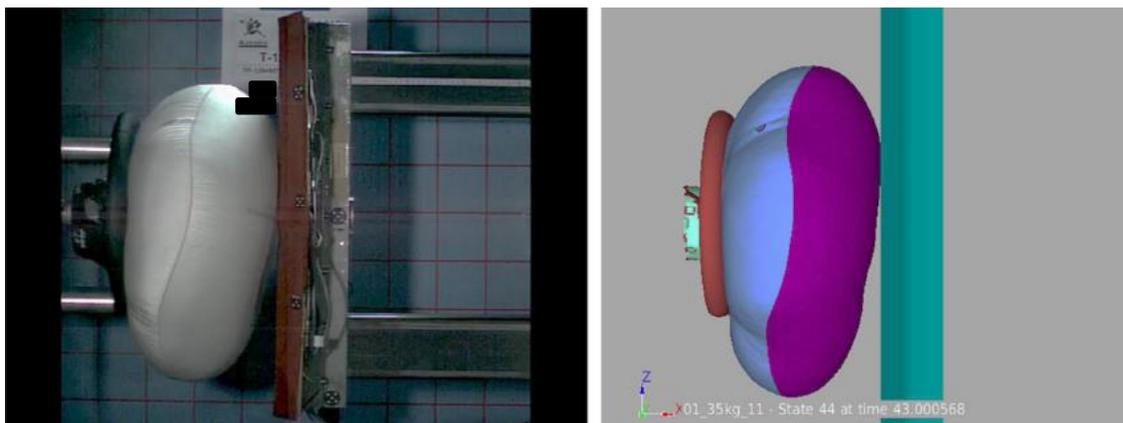


Abbildung 13: Impactortest – Beginn der Kollision (43ms) [Ung14]

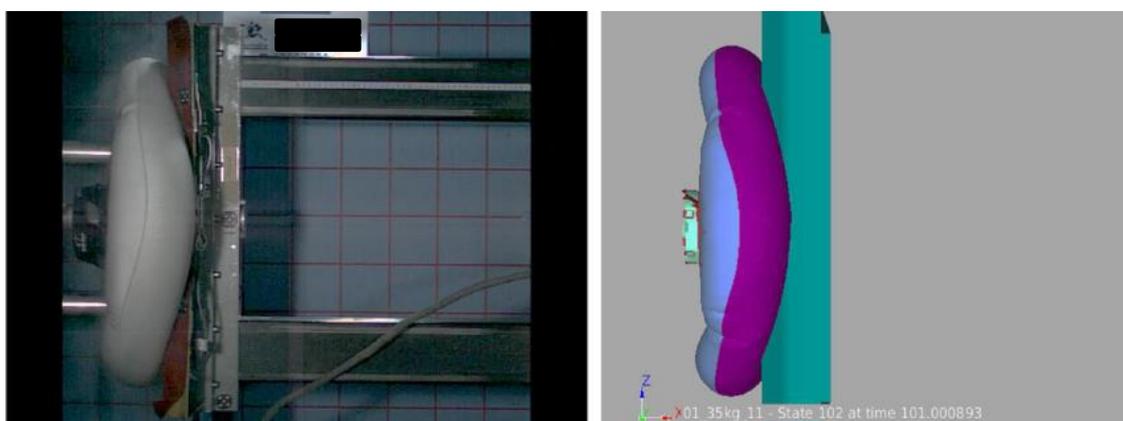


Abbildung 14: Impactortest - maximale Eindrückung (101 ms) [Ung14]

### Beobachtung

In dem Diagramm 05 ist der auf den Impactor wirkende Kraft- und Beschleunigungsverlauf sowie die verrichtete Arbeit  $W$  zu erkennen. Der Verlauf der Kurven kann als identisch bezeichnet werden. Lediglich in der Höhe unterscheiden sich die beiden Kurven, was allerdings auf die Skalierung ihrer Bezugsachsen zurückzuführen ist.

Ab einer Verschiebung von 265 mm steigen die beiden Kurven nahezu linear an. Bis zu einer Verschiebung von 370 mm schwanken die Kurven ein wenig und gehen dann in eine gleichmäßige Steigung über. Bei einer Verschiebung von 440 mm erreichen die Kurven ihren Maximalwert von 697 N bzw. 20 g. Im Anschluss sinken die Kurven zunächst leicht auf einen Wert von 650 N und 18,5 g bei 460 mm Verschiebung und fallen dann schlagartig auf 0 N bzw. g ab. Die von dem Impactor geleistete Arbeit beträgt 788 J.

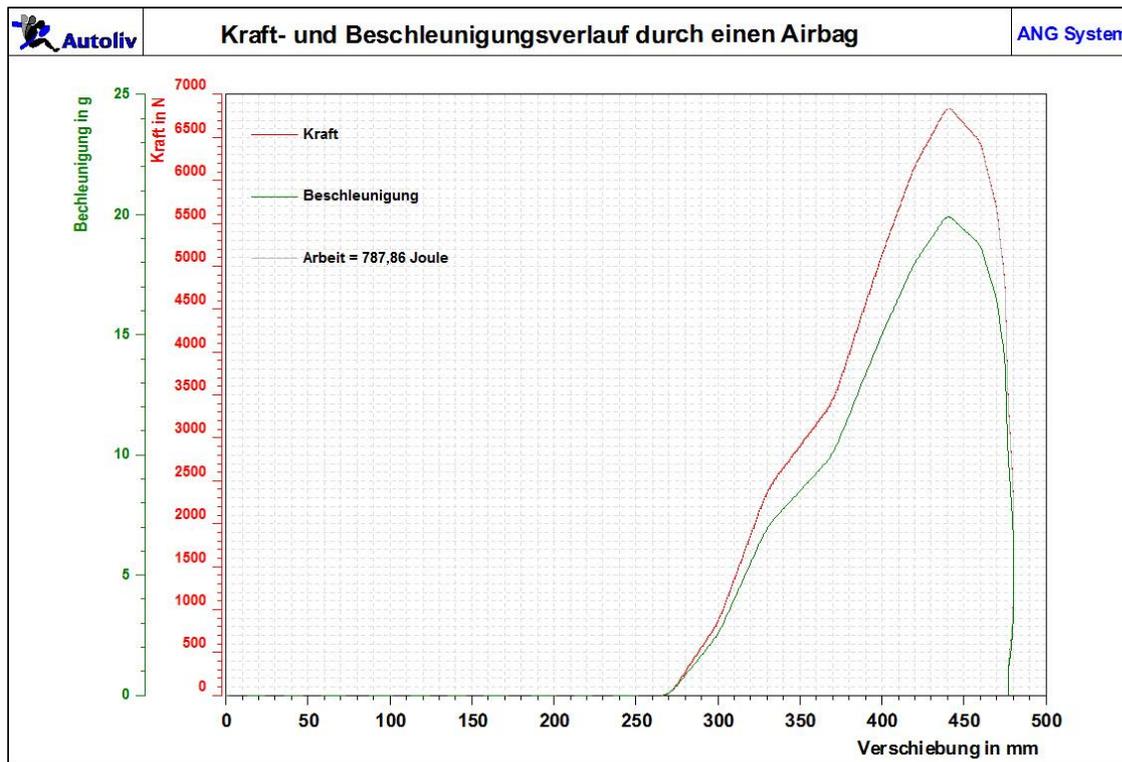


Diagramm 05: Kraft- / Beschleunigungsverlauf Airbag

### Auswertung

Wie der Beobachtung zu entnehmen ist, beginnt der Kraft- bzw. Beschleunigungsverlauf erst ab einer Verschiebung von 265 mm zu steigen. Der zuvor zurückgelegte Weg verzeichnet keinerlei Anstiege, da noch kein Kontakt zwischen Airbag und Impactor hergestellt ist. Der Verlauf der Kraft bzw. der Beschleunigung lässt sich grob in 4 Bereiche aufteilen. Einen Bereich mit leicht schwankender Steigung zwischen 265 und 370 mm, einen mit gleichmäßiger Steigung von 370 bis 440 mm, einem mit leichtem Abfall der Kurven zwischen 440 und 460 mm und den schlagartigen Abfall beider Kurven ab 460 mm.

Die leichten Schwankungen im ersten Bereich sind die Folge des Airbags, der zu Beginn des Kontakts seine ideal symmetrische Form noch nicht erreicht hat, und der noch unregelmäßigen Fluidodynamik innerhalb des Airbags. Zu erkennen ist dies anhand der Abbildung 13 und des ebenfalls unregelmäßig steigenden Airbaginnendrucks zu Beginn der Belastung im Diagramm 06. Erst im zweiten Bereich der Kurven steigen Kraft und Beschleunigung gleichmäßig an, was in der konstanten Volumenänderung des Airbags begründet ist. Der leichte Abfall der Kurven im dritten Bereich ist die Folge des ebenfalls zunächst leicht abfallenden

Airbaginnendruck. Der Gasgenerator fördert zu diesem Zeitpunkt kein zusätzliches Gas mehr und somit nimmt der Druck aufgrund des ausströmenden Gases ab. Ein sofortiges Abfallen des Innendrucks wird allerdings durch die Verkleinerung des Airbagvolumens, in Form eines Eindringens des Impactors, verhindert. Der fehlende Druck durch den Gasgenerator wird also kompensiert, indem ein Fortschreiten des Impactors gewährt wird und ihm somit ein etwas geringerer Widerstand entgegensteht. Im vierten Bereich fallen die Kurven schlagartig ab, die Geschwindigkeit des Impactors ist komplett abgebaut und es wirken damit keinerlei Kräfte und Beschleunigungen mehr.

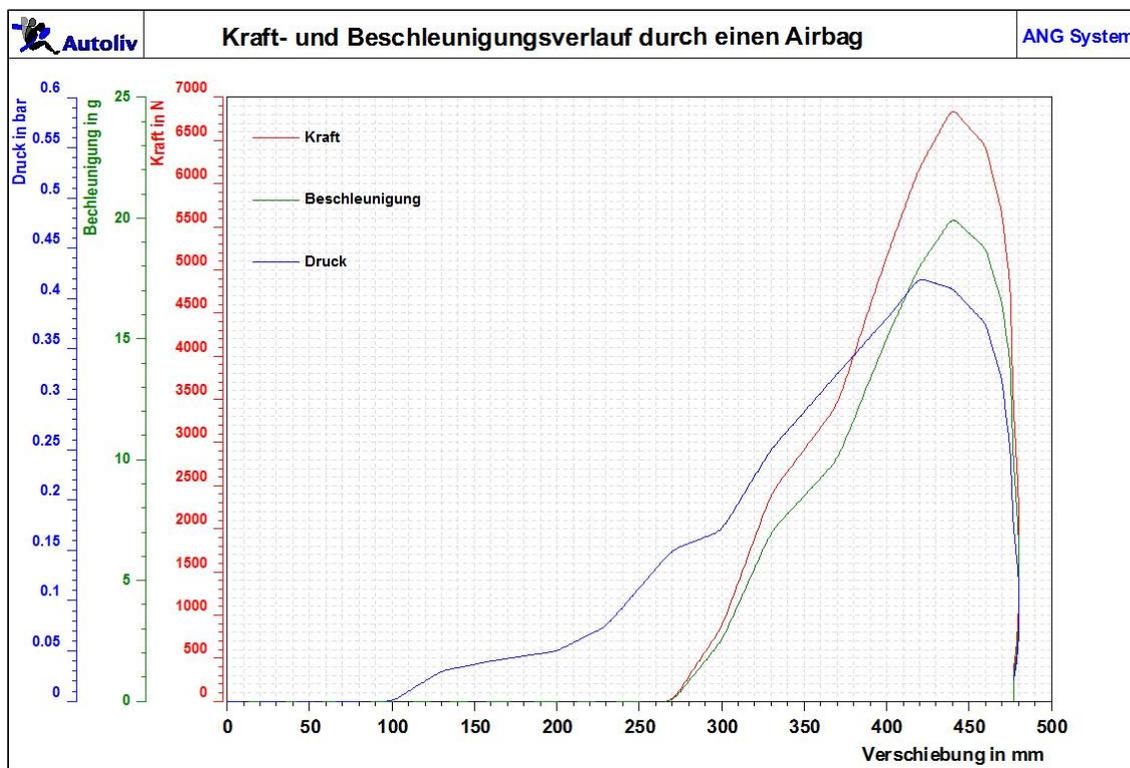


Diagramm 06: Charakteristik Airbaginnendruck

### 4.1.3 Auslegungsrahmen

In diesem Abschnitt wird der Auslegungsrahmen aufgrund der durch die Referenzversuche und den aus dem Impactortest erhaltenen Daten erstellt.

#### **Auslegungsrahmen anhand der Referenzversuche**

Entscheidend für die Bewertung von Versuchen nach ECE-R16 sind vor allem der zeitliche Verlauf sowie die Maximalwerte der Brust- und Beckenvorverlagerung. Wie die Referenzversuche zeigen, hat ein Airbag einen erheblichen Einfluss auf diese Eigenschaften. Für die Erstellung des Auslegungsrahmens aufgrund von Referenzversuchen soll daher die Höhe der Vorverlagerung als Kriterium dienen. Die erreichten Maxima aus den Versuchen betragen 473 mm und 276 mm. Die von dem Airbag geleistete Arbeit ergibt sich aus der Differenz der beiden Vorverlagerungen und beträgt damit 197 mm. Da sich verschiedene Airbagtypen bzgl. ihrer Rückhaltewirkung sowie Form, Größe und ihres Aufblasverhaltens unterscheiden, darf die von dem getesteten Airbag geleistete Arbeit nicht als absoluter Wert betrachtet werden. Aufgrund von Erfahrungswerten wird eine mögliche Abweichung von insgesamt 20% zum Ausgangswert für den reversiblen Airbag angenommen. So ergibt sich eine geforderte Rückhaltung von  $197 \text{ mm} \pm 10\%$ , bzw. einer um 177 bis 217 mm geringeren Vorverlagerung bei Verwendung des reversiblen Airbags. Die maximale Vorverlagerung sollte damit zwischen 256 mm und 296 mm liegen.

#### **Auslegungsrahmen anhand des Impactortests**

Der Impactortest liefert die benötigten Angaben für einen reversiblen Airbag bezüglich der verrichteten Arbeit und der Rückhaltekraft. Dem entsprechend muss ein Aufbau mit reversiblen Airbag innerhalb von 175 mm Eindrückung einen linearen Anstieg der Rückhaltekraft auf ca. 6835 N aufweisen, um dem Verhalten eines echten Airbags möglichst nahe zu kommen. Innerhalb der nächsten 20 mm darf dieser Wert zunächst nur wenig abnehmen, bevor er schlagartig abfällt. Die aufgenommene Energie muss insgesamt ca. 788 J betragen. Wie bereits bei der Erstellung des Auslegungsrahmens aufgrund von Referenzversuchen gilt auch bei diesen Werten eine Toleranz von  $\pm 10\%$ . So ergibt sich eine Rückhaltekraft von

6152 N bis 7519 N und eine aufgenommene Energie von 709 J bis 867 J. Den Auslegungsrahmen anhand beider Versuche zeigt Tabelle 06.

### Auslegungsrahmen:

Kriterium:	Unterer Grenzwert:	Oberer Grenzwert:
Vorverlagerung nach ECE-R16:	256 mm	296 mm
Rückhaltekraft nach 175 mm Eindrückung:	6152 N	7519 N
Aufgenommene Energie:	709 J	867 J

Tabelle 06: Auslegungsrahmen

## 4.2 Weitere Anforderungen und Randbedingungen

Die nach Abschnitt 3.2 definierten Festforderungen, Mindestanforderungen, wirtschaftlichen Anforderungen, Sicherheitsanforderungen und Wünsche, für einen reversiblen Airbag, sind in der Tabelle 07 festgehalten.

<b>Forderungen</b>	<u>Festforderungen:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Werte für Rückhaltung, Beschleunigungen und Kräfte müssen denen eines echten Airbags ähneln und dürfen auch bei wiederholter Versuchsdurchführung nicht stark von diesen abweichen.</li> <li>- Das System muss den auftretenden Lasten standhalten</li> <li>- Dummy darf keinen Schaden nehmen</li> </ul>
	<u>Mindestanforderungen:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Montage / Austausch innerhalb weniger Minuten</li> <li>- Weniger Verschleißteile als bei einem normalen Airbag oder eine längere Haltbarkeit dieser</li> </ul>

	<p><u>Wirtschaftliche Anforderungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ersatzairbag muss wiederverwendbar sein</li> <li>- Einhaltung des Budgets</li> <li>- Reproduzierbarkeit</li> </ul>
	<p><u>Sicherheitsanforderungen:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine separierenden Teile</li> <li>- Kein ungewolltes Auslösen</li> </ul>
<b>Wünsche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vorhandene Materialien nutzen</li> <li>- Verständliche und einfache Bedienung</li> <li>- Schnellverschluss</li> <li>- Kurze Ruhezeiten</li> <li>- Auf unterschiedlichen Schlitten / Sitzplätzen nutzbar</li> <li>- Kostengünstiger Betrieb</li> <li>- Handlich / geringes Gewicht</li> <li>- Recycling</li> <li>- Geringer Wartungsaufwand</li> </ul>

Tabelle 07: Anforderungsliste

## 5 Konzeptentscheid – Vorstellung, Bewertung und Diskussion

In diesem Kapitel werden die in Abschnitt 3.3 bis 3.5 vorgestellten Methoden der Konzeptentwicklung angewandt. Am Ende des Kapitels wird ein Konzept ausgewählt, welches daraufhin etwas genauer betrachtet wird.

### 5.1 Vorstellung der Konzepte

Nachdem die praktischen Bewertungskriterien und Anforderungen des Systems feststehen, werden mit Hilfe der in Abschnitt 3.3 beschriebenen Kreativitätstechnik Konzeptentwürfe entwickelt. Dazu wurden mehrere Mitarbeiter aus den Bereichen Simulation, Versuch, Konstruktion und Entwicklung bezüglich der Teilfunktionen eines reversiblen Airbags und deren Lösungsmöglichkeiten befragt. Bei der Bestimmung der Teilfunktionen wurde zusätzlich die in Abschnitt 4.2 entworfene Anforderungsliste zu Hilfe genommen. Dabei stellten sich die folgenden Teilfunktionen heraus.

#### Teilfunktionen:

- Aufprallschutz in Form eines Kontaktmaterials bereitstellen
- Regulierung einer Gegenkraft
- Bereitstellung einer Gegenkraft
- Befestigungsmöglichkeit
- Wiederverwendbarkeit
- Aufnahme der Aufprallenergie
- Aufbewahrung vor und nach dem Crash
- Einsatzmöglichkeiten am Schlitten

Zusammen mit den aus der Befragung erhaltenen Lösungsmöglichkeiten werden die Teilfunktionen in den morphologischen Kasten eingetragen. Durch die Kombination der einzelnen Lösungsmöglichkeiten ergeben sich insgesamt vier unterschiedliche Konzepte, die mit Hilfe der Zahlen eins bis vier in dem morphologischen Kasten gekennzeichnet sind. Zusätzlich werden die Konzepte mit einer Be-

schreibung und einer Skizze auf den folgenden Seiten vorgestellt. Abbildung 15 zeigt den ausgefüllten morphologischen Kasten.

Teilfunktionen	Lösungsmöglichkeiten				
	Lösungsmöglichkeit A	Lösungsmöglichkeit B	Lösungsmöglichkeit C	Lösungsmöglichkeit D	Lösungsmöglichkeit E
Aufprallschutz (Kontakmaterial)	Schaumstoff (3)	Airbaghülle (2), (4)	Kissen	Polster (1)	
Gegenkraft regulieren	Luftdruck + Ausströmventile (2), (4)	Ausströmventile	Federsteifigkeit (1), (3)	Regelbarer Luftdruck + Ausströmventile	Sollbruchstellen / Reißen des Materials in den Vents
Gegenkraft bereitstellen	Geometriebedingt (1), (3),	Druckluftanlage (4)	Geschwindigkeits - abhängiger Ventilator (2)	Gasbehälter	Luftballon innerhalb der Airbaghülle
Befestigung	Adapterplatte statt Lenkrad (1), (3),	Aufnahme ggf. mit mehreren Verschraubungen am Rahmen (2), (4)	An einem Lenkrad	-	
Wiederverwendbarkeit	Uneingeschränkt (1), (3)	Begrenzte Lebensdauer der Airbaghülle, Wiederauffüllbar (2), (4)	Mit Austauschteilen		
Energieaufnahme	Dissipation durch entweichende Luft (2), (3), (4)	Feder - Dämpfer einheit (1)			
Aufbewahrung	Faltbare Airbaghülle (2), (4)	nicht komprimierbar (1), (3)			
Einsatzmöglichkeiten	Nur Beifahrer	Beifahrer und Fahrerairbag (1), (2), (3), (4)	Nur Fahrer		

Abbildung 15: Der morphologische Kasten

### Variante 1: Feder-Dämpfer-Konzept

Funktion:	Lösung:
Aufprallschutz (Kontaktmaterial):	Polster
Gegenkraft regulieren:	Federsteifigkeit
Gegenkraft bereitstellen:	Geometriebedingt
Befestigung:	Adapterplatte statt Lenkrad
Wiederverwendbarkeit:	Uneingeschränkt
Energieaufnahme:	Feder – Dämpfereinheit
Aufbewahrung:	Nicht komprimierbar
Einsatzmöglichkeiten:	Beifahrer und Fahrerairbag



Abbildung 16: Vorstellung Feder-Dämpfer-Konzept

Bei der ersten Variante handelt es sich um ein System aus einem Polster und einer Feder-Dämpfer-Einheit.

Das Polster übernimmt die Funktion des Aufprallschutzes bzw. des Kontaktmaterials.

Die Gegenkraft wird mit Hilfe der Feder reguliert, welche sich anhand der Windungszahl, der Drahtdicke und des Durchmessers der Feder auf die Kennlinie eines Airbags einstellen lässt.

Die Gegenkraft wird aufgrund der Geometrie der Feder automatisch bereitgestellt.

Für die Befestigung der Feder-Dämpfer-Einheit wird eine Adapterplatte benötigt, welche sich über eine Schraubverbindung mit dem Schlitten verbinden lässt. Der reguläre Anschraubpunkt des Lenkrads lässt sich auch für die Montage der Adapterplatte verwenden. Einen potentiell möglichen Aufbau des Systems zeigt die Abbildung 17, welche mit Hilfe des CAD Programms CATIA v5 erstellt wurde.

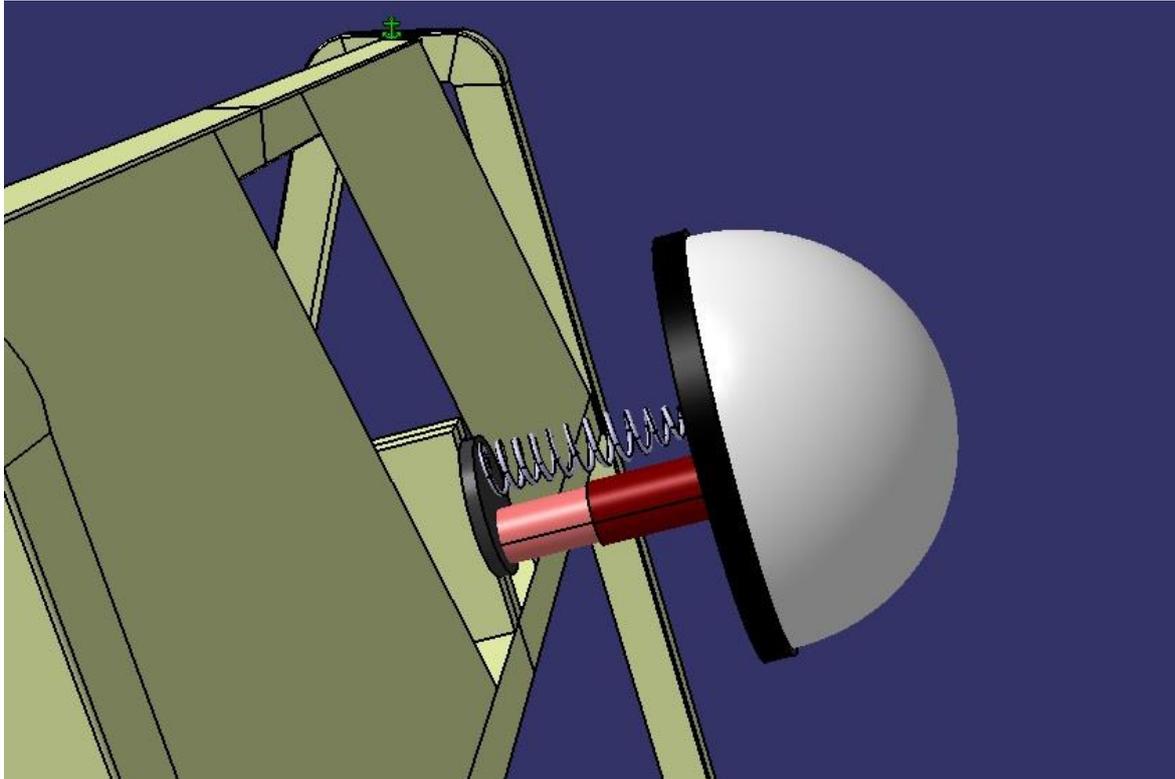


Abbildung 17: Feder-Dämpfer-Konstruktion

Die Wiederverwendbarkeit des Systems ist nahezu uneingeschränkt. Lediglich der Aufprallschutz in Form eines Polsters könnte nach mehrmaligem Gebrauch einen stärkeren Verschleiß aufweisen. Die Energieaufnahme erfolgt durch die Kombination der Feder mit einem Dämpfer. Während die Feder die kinetische Energie des Dummys aufnimmt, verhindert der Dämpfer eine sofortige Rückgabe der Energie. Außerhalb eines Crashversuchs lässt sich das System nicht weiter komprimieren und hat damit einen großen Platzbedarf. Einsetzen lässt sich diese Variante sowohl auf dem Fahrersitz, als auch auf dem Platz des Beifahrers.

## Variante 2: Ventilator-Konzept

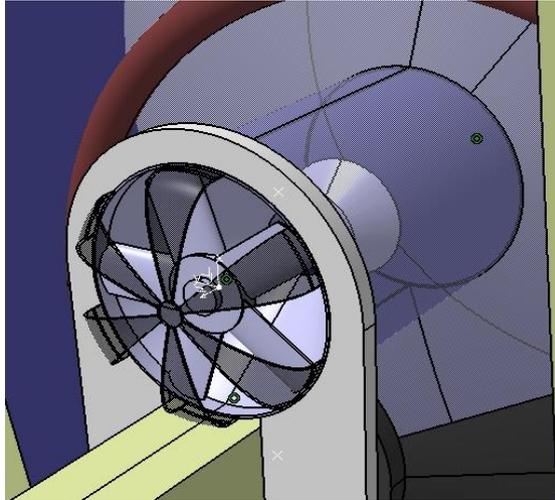
Funktion:	Lösung:
Aufprallschutz (Kontaktmaterial):	Airbaghülle
Gegenkraft regulieren:	Luftdruck + Ausströmventile
Gegenkraft bereitstellen:	Elektrischer Ventilator
Befestigung:	Aufnahme am Rahmen
Wiederverwendbarkeit:	Begrenzte Lebensdauer der Airbaghülle, Wiederauffüllbar
Energieaufnahme:	Dissipation durch entweichende Luft
Aufbewahrung:	Faltbare Airbaghülle
Einsatzmöglichkeiten:	Beifahrer und Fahrerairbag



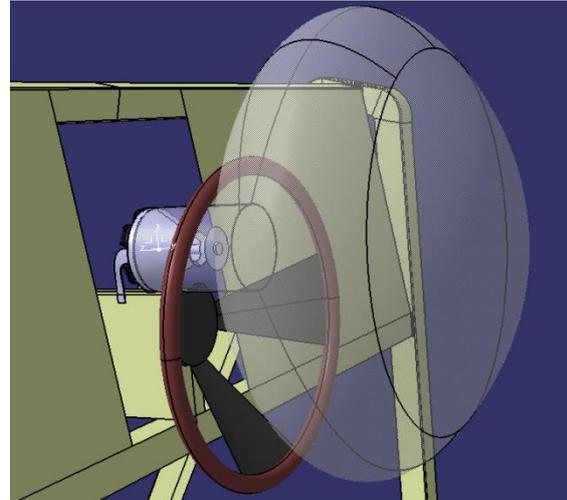
Abbildung 18: Vorstellung Ventilator-Konzept

Bei der zweiten Variante handelt es sich um eine Airbaghülle, welche mit Hilfe eines Ventilators aufgeblasen wird. Der Aufprallschutz entspricht damit dem eines herkömmlichen Airbags.

Die Befestigung bzw. der Platzbedarf dieses Konzepts bedarf einer genaueren Betrachtung. Aus diesem Grund wird mit CATIA v5 ein CAD Modell erstellt, um eine Bauraumuntersuchung durchführen zu können und eventuelle Befestigungsmöglichkeiten zu erkennen. Der Ventilator wird mit Hilfe eines Rahmens verschraubt, welcher mit dem Gestell des Schlittens verbunden ist. Auf diese Weise kann sich das dahinter liegende Ventilgehäuse an dem Rahmen abstützen, so dass der Lastpfad an dem Ventilator vorbei geführt wird. Bei der zusätzlichen Verwendung eines Lenkrads hat dieses System den Vorteil, dass sich der Airbag bei Belastung an dem Lenkrad abstützen kann. Die Abbildungen 19 und 20 zeigen Bilder des CAD-Modells. Zu beachten ist, dass es sich um einen stark vereinfachten Aufbau des Systems handelt, bei dem der Platzbedarf bzw. die Befestigung und nicht die technische Umsetzung im Vordergrund steht.

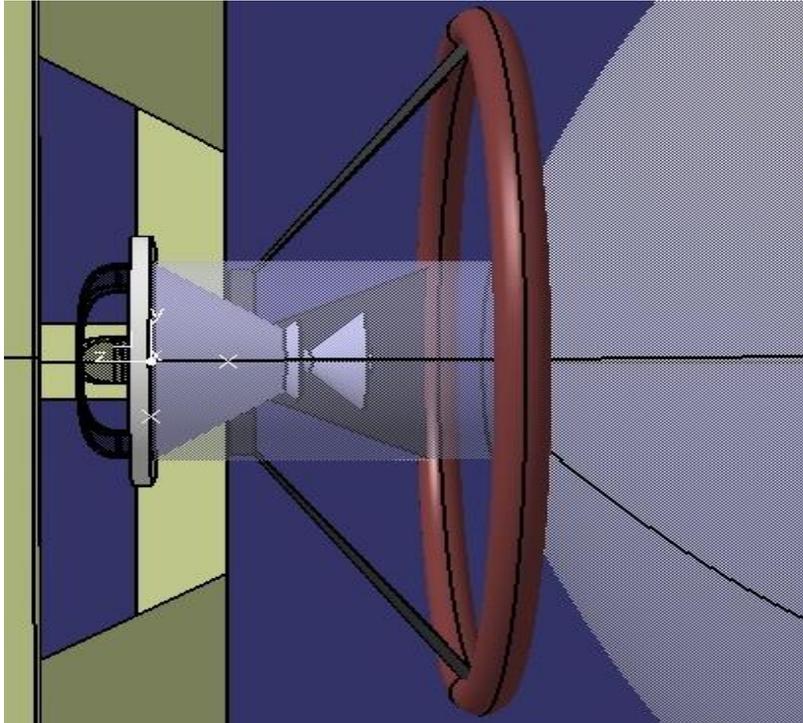


*Abbildung 19: Ventilator-Halterung*



*Abbildung 20: Ventilatorairbag*

Die Regulierung der Gegenkraft erfolgt über die Kombination des, durch den Ventilator erzeugten, Luftdrucks und der Dimensionierung der Ventholes. Bereitgestellt wird die Gegenkraft mit Hilfe eines elektrisch betriebenen Ventilators. Um ein Rücklauf der Luft des Airbags über den Ventilator zu verhindern, befindet sich zwischen dem Ventilator und der Airbaghülle ein trichterförmiges Ventil, das auf einem Metallstab mit einseitigem Anschlag gelagert ist (Abbildung 21). Sobald der Innendruck des Airbags den maximalen Förderdruck des Ventilators übersteigt, schließt sich das Ventil, so dass die Luft ausschließlich über die Ventholes entweichen kann.



*Abbildung 21: Draufsicht Ventilator-Airbag*

Die Airbaghülle lässt sich nach einem Crash mit Hilfe des Ventilators wiederauffüllen. Dennoch muss die Wiederverwendbarkeit als begrenzt bezeichnet werden, da eine herkömmliche Airbaghülle nicht für eine mehrfache Nutzung ausgelegt ist. Die Aufprallenergie des Dummys dissipiert in Form der entweichenden Luft und nach der Verwendung des Systems kann der Airbagsack gefaltet werden, so dass ein geringerer Platzbedarf besteht. Einsetzen lässt sich das System sowohl auf dem Fahrer- als auch auf dem Beifahrerplatz, wobei dort natürlich die Unterstützung des Lenkrads wegfällt.

### Variante 3: Schaumstoff-Konzept

Funktion:	Lösung:
Aufprallschutz (Kontaktmaterial):	Schaumstoff
Gegenkraft regulieren:	Federsteifigkeit
Gegenkraft bereitstellen:	Geometriebedingt
Befestigung:	Adapterplatte statt Lenkrad
Wiederverwendbarkeit:	Uneingeschränkt
Energieaufnahme:	Dissipation durch entweichende Luft
Aufbewahrung:	Nicht komprimierbar
Einsatzmöglichkeiten:	Beifahrer und Fahrerairbag



Abbildung 22: Vorstellung Schaumstoff-Konzept

Bei der dritten Variante handelt es sich um die Kombination von zwei Schaumstoffen unterschiedlicher Festigkeitsklassen.

Das Kontaktmaterial besteht demnach aus dem äußeren Schaumstoff. Die Gegenkraft wird durch die Verwendung von unterschiedlich steifen Schaumstoffen realisiert, wobei der äußere Schaumstoff eine deutlich geringere Steifigkeit aufweist als der innere, um einen starken Anstieg der Kraft zu Beginn der Belastung zu vermeiden. Die beiden Schaumstofftypen werden miteinander und auf einer Adapterplatte verklebt und daraufhin im Bereich des Anschraubpunkts des Lenkrads montiert. Die Wiederverwendbarkeit dieser Variante ist abhängig von der Schaumstoffqualität. Bei Verwendung einer hohen Qualität, zusammen mit einem Überzug für die Schaumstoffe, kann allerdings von einer mehrmaligen Verwendung ausgegangen werden, bevor der Schaumstoff ausgetauscht werden muss.

Die Aufprallenergie des Dummys dissipiert in Form der entweichenden Luft.

Das System ist nicht ohne weiteres komprimierbar da der Schaumstoff immer wieder seine Ausgangsgeometrie anstrebt. Einsetzen lässt sich das System sowohl auf dem Fahrer- als auch auf dem Beifahrerplatz.

**Variante 4: Luftdruck-Konzept**

Funktion:	Lösung:
Aufprallschutz (Kontaktmaterial):	Airbaghülle
Gegenkraft regulieren:	Luftdruck + Ausströmventile
Gegenkraft bereitstellen:	Druckluftanlage / Gasbehälter
Befestigung:	Von Ventillage abhängig
Wiederverwendbarkeit:	Begrenzte Lebensdauer der Airbaghülle, Wiederauffüllbar
Energieaufnahme:	Dissipation durch entweichende Luft
Aufbewahrung:	Faltbare Airbaghülle
Einsatzmöglichkeiten:	Beifahrer und Fahrerairbag

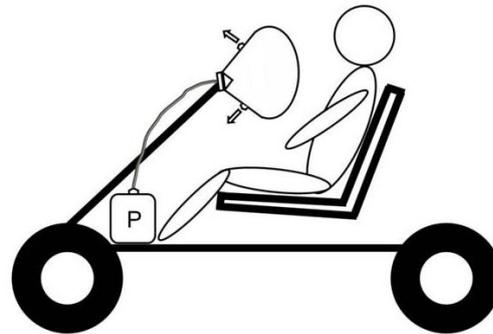


Abbildung 23: Vorstellung Luftdruck-Konzept

Bei der vierten Variante handelt es sich um eine herkömmliche Airbaghülle, welche mit Hilfe von Druckluft aufgeblasen wird. Der Aufprallschutz besteht damit aus einer Airbaghülle. Die Regulierung der Gegenkraft erfolgt entweder durch das stationäre Befüllen eines geschlossenen Airbags bis zu einem bestimmten Druck oder durch die dauerhafte Zufuhr von Druckluft bei geöffneten Ventholes. Bereitgestellt wird die Gegenkraft durch die Verwendung eines transportablen Gasdruckbehälters auf dem Schlitten oder durch das Anschließen an die in der Werkstatt vorhandene Druckluftanlage. Bei der Befestigung des Systems muss eine Anschlussmöglichkeit für den Gasdruckbehälter oder die Druckluftanlage berücksichtigt werden. Zusätzlich muss der potentiell mitgeführte Gasdruckbehälter gesichert werden. Der Airbagsack lässt sich nach einem Crash mit Hilfe der Druckluft wieder auffüllen. Dennoch muss die Wiederverwendbarkeit als begrenzt bezeichnet werden, da eine herkömmliche Airbaghülle nicht für eine mehrfache Nutzung ausgelegt ist. Die Aufprallenergie des Dummies dissipiert in Form der entweichenden Luft. Nach der Verwendung des Systems kann der Airbagsack gefaltet werden, so dass ein geringerer Platzbedarf besteht. Einsetzen lässt sich das System sowohl auf dem Fahrer- als auch auf dem Beifahrerplatz.

## 5.2 Bewertungsmatrix

Für die in Abschnitt 3.4 beschriebene Bewertungsmatrix werden die folgenden technischen Anforderungen eines reversiblen Airbags definiert.

- **Gewährleistung einer hohen Sicherheit**  
Sowohl die umstehenden Personen, sowie der Dummy selbst dürfen durch das System keinen Schaden nehmen.
- **Einfache Bedienung**  
Die Bedienung des Systems muss leicht verständlich sein.
- **Einfache Montage**  
Die Montage des Systems darf nicht übermäßig viel Zeit in Anspruch nehmen.
- **Geringe Kosten**  
Die Kosten des Systems sollen so gering wie möglich gehalten werden.
- **Leicht herstellbar**  
Sowohl der Konstruktionsaufwand als auch die eigentliche Herstellung dürfen nicht zu aufwendig sein.
- **Gute Variationsmöglichkeit**  
Das System soll unterschiedliche Airbagvolumen verwenden können und sich an mehreren Positionen auf dem Schlitten montieren lassen.
- **Hohe Genauigkeit**  
Das Verhalten des Systems soll dem eines echten Airbags möglichst nahe kommen.
- **Lange Haltbarkeit**  
Das System sollte sich durch eine möglichst lange Haltbarkeit auszeichnen.
- **Wiederholbarkeit**  
Das System muss bei mehreren Versuchen ähnliche Ergebnisse liefern.
- **Reproduzierbarkeit**  
Das Verhalten des Systems sollte auch nach längerer Standzeit gleich bleiben.

Nachdem die technischen Anforderungen definiert sind, wird nun die Gewichtung der einzelnen Anforderungen festgelegt. Bei der hier verwendeten Bewertungsmatrix reicht die Gewichtung von einem bis zu fünf Punkten. Die Punkteskala, für die Bewertung der technischen Anforderungen anhand ihres Erfüllungsgrades, reicht von: Sehr gut (4 Punkte) über gut (3 Punkte), ausreichend (2 Punkte), gerade noch tragbar (1 Punkt) bis unbefriedigend (0 Punkte). Die Bewertungsmatrix wurde nach einer Präsentation der Konzepte von 7 Mitarbeitern der Firma Autoliv aus den Bereichen Simulation, Versuch, Konstruktion und Entwicklung ausgefüllt. Die erreichten technischen Werte sind der Tabelle 08 zu entnehmen. Besonders hervorgehoben werden muss dabei das Druckluftkonzept, welches mit 71,3% den höchsten technischen Wert erreicht. Dieses Lösungskonzept ist damit objektiv betrachtet die optimale Lösung.

Technische Anforderung:	Gewichtung	Optimum:	Variante 1:		Variante 2:		Variante 3:		Variante 4:	
		$E_{opt} \times G$	E1	$E_1 \times G$	E2	$E_2 \times G$	E3	$E_3 \times G$	E4	$E_4 \times G$
Hohe Sicherheit:	5	20	2,4	12	2,9	14,5	3,9	19,5	2,9	14,5
Einfache Bedienung:	3	12	3	9	2,1	6,3	3,6	10,8	2,4	7,2
Einfache Montage:	3	12	3,1	9,3	2,1	6,3	3,4	10,2	2,3	6,9
Geringe Kosten:	3	12	2,7	8,1	2,3	6,9	2,9	8,7	2,3	6,9
Leicht herstellbar:	2	8	2	4	2,3	4,6	2,7	5,4	2,3	4,6
Gute Variationsmöglichkeit:	3	12	2,1	6,3	2,6	7,8	2	6	3,1	9,3
Hohe Genauigkeit:	5	20	1,1	5,5	2,4	12	1,6	8	3,6	18
Lange Haltbarkeit:	2	8	3,3	6,6	1,7	3,4	2,1	4,2	2,6	5,2
Wiederholbarkeit:	5	20	2,7	13,5	2,5	12,5	2,5	12,5	3	15
Reproduzierbarkeit:	5	20	3	15	2,5	12,5	2	10	3	15
$\Sigma$ Summe	-	144		89,3		86,8		95,3		103
Technischer Wert [%]	-	100		62,01		60,28		66,2		71,3
Grad der Annäherung:	Punktzahl nach Erfüllungsgrad:	<i>G = Gewichtung der technischen Anforderungen E = Erfüllungsgrad</i>								
Sehr Gut	4									
Gut	3									
Ausreichend	2									
Gerade noch tragbar	1									
Unbefriedigend	0									

Tabelle 08: Ausgefüllte Bewertungsmatrix

## 5.3 Diskussion der Konzepte

### Feder-Dämpfer-Konzept

Für die Verwendung eines Feder-Dämpfer-Konzepts wird eine Führung der Spiralfeder benötigt um ein seitliches Wegrutschen ausschließen zu können. Alternativ können mehrere kleine Federn parallel geschaltet werden, so dass diese sich gegenseitig stabilisieren. Für beide Varianten werden mit Hilfe des Tools zur Federberechnung von der Firma *Gutekunst Federn*, die entsprechenden Federn ausgelegt. Dazu werden die im Auslegungsrahmen festgelegten Werte für die Eindrückung eines Airbags ( $S = 175 \text{ mm}$ ) und Rückhaltekraft verwendet ( $F_r = 6835 \text{ N} \pm 10\%$ ). Die detaillierte Auslegung der Federn ist im Anhang B hinterlegt.

Variante mit einer einzelnen Feder: 			
Windungszahl „n“:	6	Drahtdicke „d“:	15,36 mm
Windungsdurchmesser (außen) „de“:	150 mm	Länge der ungespannten Feder „L0“:	325 mm
Federweg „S2“:	175 mm	Kraft der gespannten Feder „F2“:	6776,37 ± 322,93 N
Variante mit drei Federn: 			
Windungszahl „n“:	13,5	Drahtdicke „d“:	8 mm
Windungsdurchmesser (außen) „de“:	70 mm	Ungespannte Länge der Feder „L0“:	325 mm
Federweg „S2“:	175 mm	Kraft einer gespannten Feder „F2“:	2269,64 ± 105,72 N

[GuFe14]

Neben den Maximalwerten muss auch der Verlauf der Rückhalte­kraft betrachtet werden. Dazu wird ein Diagramm erstellt, welches die Federkraft über der Verschiebung anzeigt. Der Anstieg der Kurven weist einen linearen Verlauf auf und ähnelt damit dem aus dem Impactorversuch. In Diagramm 07 ist außerdem zu erkennen, dass ein schlagartiger Anstieg der Kraft aufgrund einer vollständigen Kompression der Feder/Federn durch eine höhere Belastung als angenommen, ausgeschlossen ist. Durch die Auslegung der Federn anhand der Federkraft  $F_2$  existiert ein Sicherheitsbereich bis zur Höchstkraft „ $F_n$ “ bzw. im Extremfall bis zur Kraft der Feder bei maximaler Kompression „ $F_c$ “, bevor sich die Steigung verändert.

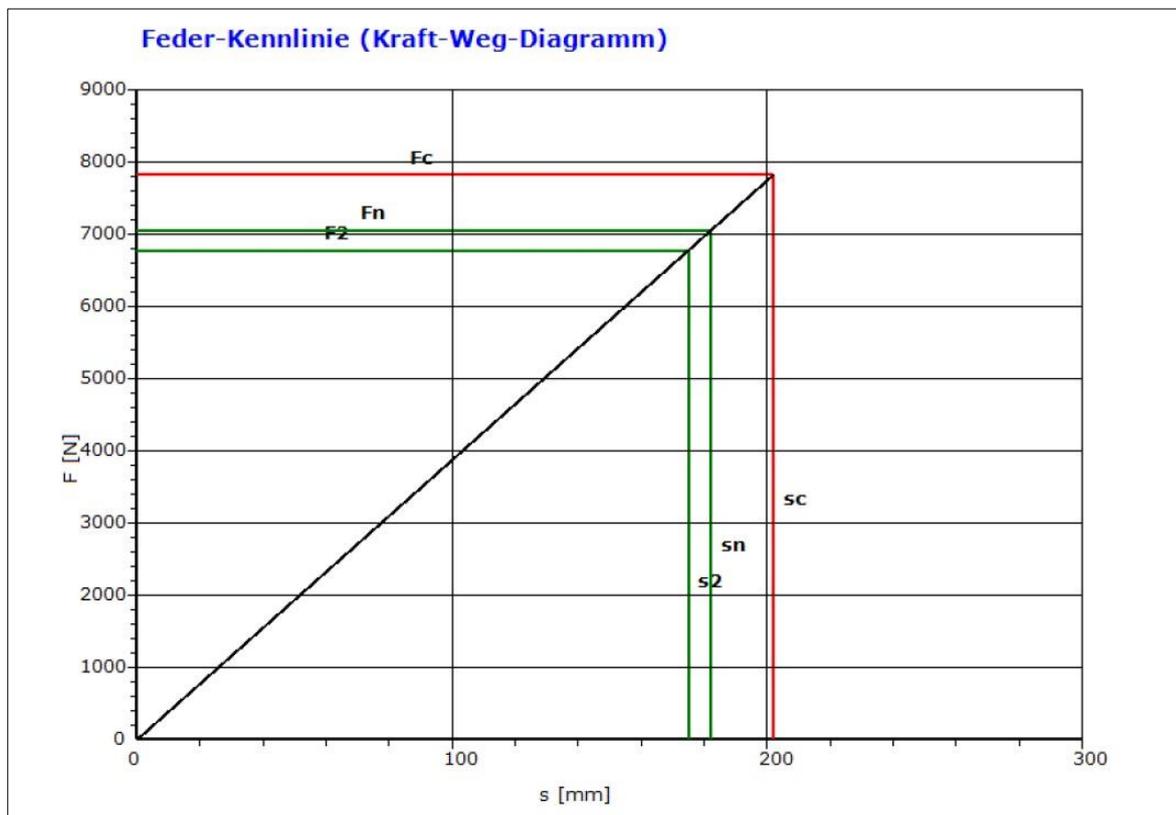


Diagramm 07: Feder-Kennlinie [GuFe14]

**Problematik:**

Trotz des ähnlichen Kraftverlaufs dieses Systems gibt es mehrere Gründe die gegen die Verwendung eines Feder-Dämpfer-Konzepts sprechen. Bei der erstellten Federkennlinie wurde nicht beachtet, dass die Bewegung bzw. die Vorverlagerung des Dummys eine Kreisbahn beschreibt und sich die Belastungsrichtung deshalb stetig ändert. Bei einer nicht axialen Belastungsrichtung ergibt sich allerdings eine völlig andere und nur schwer definierbare Kennlinie. Außerdem besitzt das verwendete Polster ebenfalls eine gewisse Steifigkeit und wirkt sich damit wie eine in Reihe geschaltete Feder auf das System aus. Wird zur Stabilisierung des Systems eine Führung verwendet, kommt es aufgrund der unterschiedlichen Belastungsrichtung des Dummys zur Aufnahme von Querkräften durch die Führung und damit zu einer weiteren Verfälschung der Federkennlinie. Aus diesen Gründen kann die tatsächliche Federwirkung des Systems nur schwer bestimmt werden.

Neben der Feder hat auch die Auslegung des Dämpfers eine erhebliche Auswirkung auf das Verhalten des Systems. So darf der Dämpfer nahezu keine Gegenkraft in der Druckstufe bilden, um die Federkennlinie nicht zu verfälschen, und muss in der Zugstufe einen hohen Anteil der Energie aufnehmen, um ein Rückfedern des Dummys zu verhindern. Aufgrund der vielen Ungenauigkeiten bei der Auslegung der Feder wird der Dämpfer an dieser Stelle allerdings nicht weiter betrachtet und das System als nicht realisierbar eingestuft.

## Ventilator-Konzept

Bei diesem Konzept soll innerhalb des Airbags über den gesamten Zeitraum der durchschnittliche Druck eines Airbags von 0,25 bar herrschen. Zusätzlich soll von der Verwendung eines Lenkrads ausgegangen werden, was zur Folge hat, dass die maximale Größe des Ventilators auf ungefähr 130 mm begrenzt ist. Da auf den Schlitten in der Versuchshalle nur eine maximale Spannung von 12 Volt garantiert werden kann, muss der Ventilator mit einer Spannung von 12 Volt arbeiten. Mit Hilfe dieser Daten kann zum Beispiel der VA31-A101-46S-12 Volt Ventilator der Firma SPAL Automotiv mit einem Durchmesser von 130 mm und einem maximalen Volumenstrom von 0,144 l/ms für das System ausgewählt werden. Diesen Volumenstrom kann der Ventilator allerdings nur leisten, solange er keinen Gegendruck erfährt. Sobald der Ventilator gegen den Innendruck eines Airbags arbeiten muss fällt die Förderleistung stark ab. Bei der genaueren Betrachtung des Datenblatts (vgl. Anhang B) dieses Ventilators fällt schnell auf, dass der Ventilator sogar bereits ab einem Gegendruck von 1,3 inH<sub>2</sub>O bzw. 0,003 bar nicht mehr in der Lage ist den Druck weiter zu steigern. [Spa-130] Auch bei der Verwendung eines größeren Ventilators der Firma SPAL Automotiv mit z.B. 190 mm würde sich dieser Wert nur geringfügig verbessern. [Spa-190] Ein noch größerer Ventilator würde zu Schwierigkeiten in der Montage führen und ist daher auch keine Option. Hinzu kommt, dass es nur möglich ist einen gleichbleibenden Druck innerhalb des Airbags zu erstellen. Eine Annäherung an den charakteristischen Druckverlauf eines echten Airbags wäre selbst mit einem stärkeren Ventilator nicht möglich. Auch die Erstellung eines Ventilgehäuses mit einer luftdichten Anbindung eines Ventils würde einen hohen konstruktiven Aufwand bedeuten. Insgesamt muss dieses Konzept daher als nicht realisierbar bezeichnet werden.

### Schaumstoff-Konzept:

Eine Internetrecherche ergibt als Weichschaum mit der höchsten Eindrückhärte einen Polyether Schaum der Firma AVEK mit einer Eindrückhärte von 220 N. Gemessen wurde diese nach DIN 2439, was einem Problock von 380 x 380 x 50 mm bei 40% Eindrückung und der Verwendung eines Eindrückstempels mit 200 mm Durchmesser entspricht. Um die Widerstandskraft des Problocks mit dem in Abschnitt 4.1.2 ausgewerteten Impactortest vergleichen zu können, wird zunächst die Eindrückhärte des Probestücks auf einen größeren Schaumstoffblock übertragen. Der Abstand zwischen Lenkrad und Brust während der Referenzversuche betrug 340 mm. Daher wird dieser Wert als maximale Blockgröße für den Schaumstoff genommen und entspricht so ungefähr dem Siebenfachen der Problockdicke. Die Eindrückhärte des großen Schaumstoffblocks beträgt damit aber nicht auch das Siebenfache des Problocks. Die theoretisch 7 hintereinander gelegten Problöcke weisen stattdessen das Verhalten von in Reihe geschalteten Federn auf und besitzen somit eine deutlich geringere Eindrückhärte. Zusätzlich muss die im Vergleich zu einem Dummy oder Impactor geringere Oberfläche des Stempels beachtet werden. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass sich die Eindrückhärte proportional zur eingedrückten Oberfläche verhält. Insgesamt berechnet sich die Eindrückhärte daher wie folgt:

[Ave14,SyHe14]

Berechnung:

Federsteifigkeit eines Problocks nach DIN 2439:	$D = \frac{220 \text{ N}}{0,4 * 50\text{mm}} = 11 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$
Verhältnis der eingedrückten Oberflächen:	$A(\text{Imp}) = 0,13915 \text{ m}^2$ $A(\text{Din}) = (0,1 \text{ m})^2 * \pi$ $A(\text{Din}) = 0,03141 \text{ m}^2$ $\frac{A(\text{Imp})}{A(\text{Din})} = 4,43$

Gesamtsteifigkeit von 7 Probestücken:	$\frac{1}{Dg} = \sum_i^n \frac{1}{Di * 4,43}$ $\frac{1}{Dg} = \frac{1}{11 \frac{N}{mm} * 4,43} * 7$ $Dg = \frac{48,73 \frac{N}{mm}}{7} = 6,96 \frac{N}{mm}$
Eindrückhärte bei 40% Kompression:	$F(0,4) = Dg * (0,4 * 350mm)$ $F(0,4) = 974,4 N$

Mit Hilfe der Gesamtsteifigkeit aller Probestücke kann nun ein Kraft-Weg-Diagramm erstellt werden, welches einen Vergleich mit dem Impactortest zulässt. Beachtet werden muss dabei die sogenannte „Plateau-Bildung“ des Polyether Schaumstoffs. Es wird davon ausgegangen, dass die Kraft zwischen 10% und 55% Kompression kaum ansteigt. Ein Großteil der Eindrückhärte von 974,4 N bei 40% Kompression wird also innerhalb der ersten 10% der Kompression erreicht. Erst ab 55% Kompression steigt die Kraft erneut deutlich an. Der Anstieg ist hier allerdings sehr stark, da kaum noch Federweg des Schaumstoffs vorhanden ist. Der ungefähre Kraftverlauf eines Schaumstoffblocks mit 350 mm Dicke ist dem Diagramm 08 zu entnehmen. Da der Schaumstoff schon zu Beginn der Vorverlagerung des Dummies komprimiert wird, beginnt der Kraftverlauf des Schaumstoffs bereits 125 mm vor der Kraftkurve des Impactors. Dieser Wert wurde mit Hilfe des Videos aus dem Referenzversuch mit Airbag bestimmt.

[ScHe14]

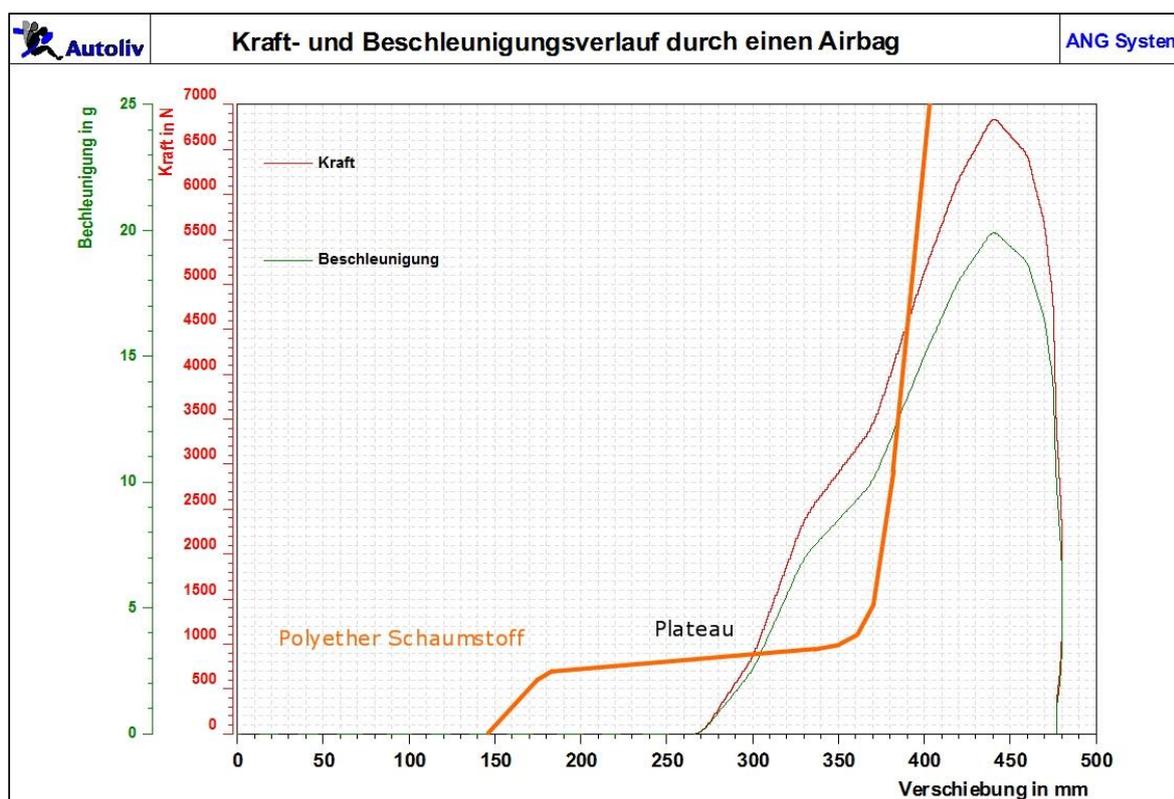


Diagramm 08: Vergleich Schaumstoff – Impactortest

Der Vergleich beider Kurven zeigt, dass eine Verwendung von Schaumstoff anstelle eines richtigen Airbags nicht in Frage kommt. Das Kraftniveau des Plateaus ist mit ca. 974 N viel zu niedrig und bremst einen potentiellen Dummy deshalb nur geringfügig aus. Ab einer Vorverlagerung von 195 mm bzw.  $145 + 195 = 340$  mm gemäß Diagramm, steigt die Kraft exponentiell an und führt damit zu einer deutlich geringeren maximalen Vorverlagerung als bei einem realen Airbag. Es kann also davon ausgegangen werden, dass das Schaumstoffkonzept keine verwertbaren Ergebnisse liefern würde. Zusätzlich kann aufgrund der hohen Kraft von einer größeren Belastung des Dummies ausgegangen werden. Insgesamt muss daher auch dieses Konzept als nicht realisierbar angesehen werden.

**Luftdruck-Konzept:**

Die Regulierung des Drucks kann über unterschiedliche Verfahren erfolgen. Eine Möglichkeit ist es, dem Airbag dauerhaft Luft über die Druckluftanlage innerhalb der Crashhalle oder einem Gasdruckbehälter zuzuführen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Zufluss an Luft ab einem genau definierten Zeitpunkt verschlossen werden muss, da andernfalls eine starke Federwirkung einsetzen würde, sobald der Dummy seine kinetische Energie abgebaut hat. Des Weiteren ist zu beachten, dass die Verlustleistung des Airbags aufgrund von Ventholes und der Durchlässigkeit der Airbaghülle nicht so hoch sein darf, dass der benötigte Druck (ca. 0,3 bar) durch die Druckluftanlage nicht mehr erreicht werden kann. Es ist also eventuell eine Anpassung der Ventgeometrie erforderlich. Da sich allerdings bereits die genaue Bestimmung dieser Verlustleistung und des eingehenden Volumenstroms als schwierig erweist, wird im Folgenden ein Konzept mit verschlossenen Ventholes und ohne eine dauerhafte Luftzufuhr ausgearbeitet. Auf diese Weise lässt sich der Luftdruck bereits vor dem Crash auf das erforderliche Niveau regulieren. Um Druckverluste über die Airbaghülle zu vermeiden werden ein beschichtetes Gewebe verarbeitet und eventuell nachträglich hinzugefügte Nähte abgedichtet.

Für die Regulierung des Airbaginnendrucks werden Ventile verwendet, deren Auslegung in der nachfolgenden Berechnung bestimmt wird. Die dafür erforderlichen Werte und Kurven werden dem bereits in Abschnitt 4.1.2 beschriebenen Impactortest entnommen. Da der echte Airbag zu Beginn des Aufpralls mit dem Impactor seinen maximalen Innendruck noch nicht erreicht hat, soll auch der reversible Airbag einen Druckanstieg zu Beginn der Kollision aufweisen. Dies wird über die Eindrückung des Airbags und somit einer Verkleinerung des Airbagvolumens erreicht. Der Druck soll auf diese Weise von 0,2 auf 0,3 bar ansteigen. Der Airbag weist ein Volumen von 50 Litern auf und ist mit trockener Luft gefüllt. Der Unterschied zwischen einer Stickstofffüllung, wie sie beim Impactortest zum Einsatz kommt, wird vernachlässigt. Des Weiteren wird von einem inkompressiblen Gas mit konstanter Temperatur ausgegangen.

Zu Beginn der Berechnung muss zunächst die Masse des in dem Airbag befindlichen Gases bestimmt werden:

Verwendete Werte:	$p_1 = 20000 \frac{N}{m^2}; V_1 = 0,05 m^3$ $R_s = 287 \frac{J}{kg \cdot K}; T = 293,15 K$
Berechnung der Masse:	$p * V = m * R_s * T$ $m = \frac{20000 \frac{N}{m^2} * 0,05 m^3}{287 \frac{J}{kg * K} * 293,15 K}$ $m = 0,0119 kg$

Im zweiten Schritt wird die erforderliche Volumendifferenz für einen Druckanstieg von 0,2 auf 0,3 bar berechnet.

Verwendete Werte:	$p_2 = 30000 \frac{N}{m^2}; m = 0,0178 kg$ $R_s = 287 \frac{J}{kg \cdot K}; T = 293,15 K$
Berechnung der Volumendifferenz:	$p * V = m * R_s * T$ $V_2 = \frac{0,0119 kg * 287 \frac{J}{kg * K} * 293,15 K}{30000 \frac{N}{m^2}}$ $V_2 = 0,0333 m^3$ $\Delta V = V_1 - V_2 = 0,0166 m^3$

Mit der Volumendifferenz und der Oberfläche des Impactors wird anschließend die Höhe der Eindrückung nach Erreichen eines Drucks von 0,3 bar bestimmt. Betrachtet wird dabei nur die tatsächlich wirksame Oberfläche des Impactors wie sie in Abbildung 24 zu erkennen ist.

Verwendete Werte:	$\Delta V = 0,0166 \text{ m}^3; A(\text{Imp}) = 0,13915 \text{ m}^2$
Berechnung Eindrückung:	$\Delta U = \frac{\Delta V}{A(\text{Imp})} = \frac{0,0166 \text{ m}^3}{0,13915 \text{ m}^2} = 0,119 \text{ m}$

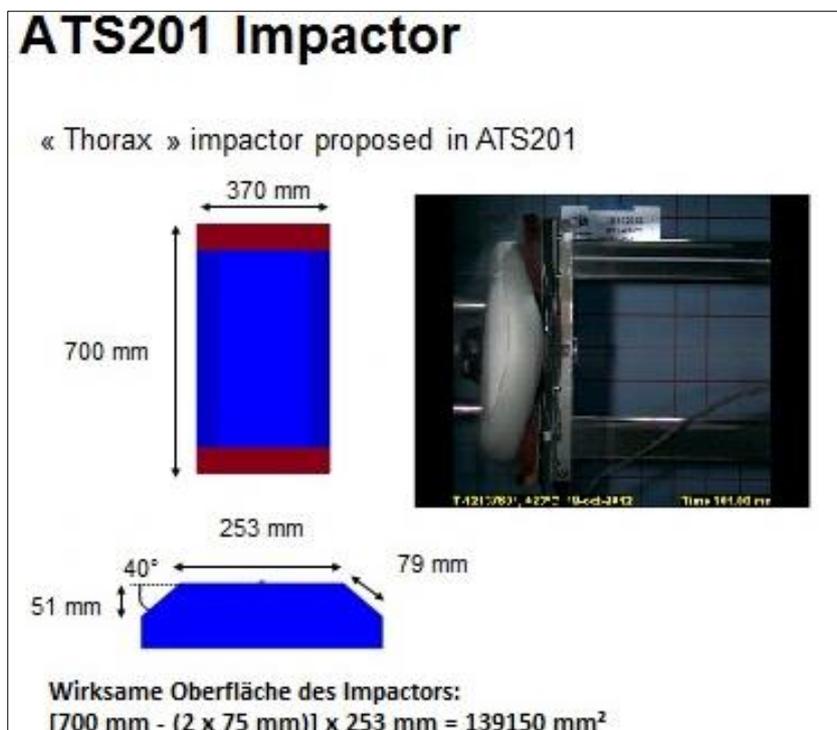


Abbildung 24: Kontaktfläche Impactor [Ung14]

Sobald ein Airbaginnendruck von 0,3 bar erreicht ist, öffnen sich die Ventile, so dass ein weiterer Druckanstieg verhindert wird. Die dafür benötigte Abblasleistung der Ventile ist abhängig von der zeitlichen Änderung des Volumens. Diese ergibt sich durch die Multiplikation der Oberfläche des Impactors mit seiner durchschnittlichen Geschwindigkeit in diesem Zeitbereich. Die dafür erforderlichen Daten werden erneut den Kurvenverläufen des Impactortests entnommen.

Verwendete Werte:	$\varnothing v = 3,25 \frac{m}{s}; A(Imp) = 0,13915 m^2$
Berechnung der Abblasleistung:	$\dot{V} = \varnothing v * A(Imp)$ $\dot{V} = 0,4522 \frac{m^3}{s} = 0,4522 \frac{l}{ms}$

Die Sicherheitsventile L21 der Firma *Timmer Pneumatik* haben eine Abblasleistung von ungefähr 0,073 l/ms bei 0,3 bar. Es werden demnach ca. 6,17 Ventile für den reversiblen Airbag benötigt. Da bei dieser Berechnung die Durchlässigkeit des Airbags nicht berücksichtigt wurde, fällt die Wahl auf 6 Ventile.

Der nächste Schritt dient der Validierung der Berechnung. Dazu wird der Druckverlauf des reversiblen Airbags mit dem des echten Airbags, aus dem Impactortest, verglichen. Die verrichtete Arbeit beider Systeme muss am Ende des Crashes gleich sein. Da sich die verrichtete Arbeit aus der Fläche unter einer Kraftwegkurve ergibt und sich der Airbagdruck proportional zur Kraft verhält, muss auch die Fläche unter der Druckkurve beider Systeme ungefähr gleich sein.

Der Vergleich beider Kurven zeigt, dass zu Beginn der Eindrückung, der Innendruck des reversiblen Airbags doppelt so hoch ist, wie der eines echten Airbags. Aufgrund der unterschiedlichen Drucksteigerung holt der echte Airbag diese Druckdifferenz innerhalb von 110 mm Eindrückung auf.

Im Anschluss ist bei dem reversiblen Airbag kein weiterer Druckanstieg zu verzeichnen, da hier mit 0,3 bar bereits der Arbeitsdruck der Ventile erreicht ist. Der echte Airbag hingegen weist noch einen weiteren Druckanstieg bis zu einer Eindrückung von 170 mm und ca. 0,4 bar auf und fällt dann innerhalb von weiteren 60 mm Vorverlagerung bis auf 0 bar ab.

Es ergibt sich also ein Bereich höheren und ein Bereich niedrigeren Airbaginnendrucks für den reversiblen Airbag. Beide Bereiche weisen ungefähr den gleichen Flächeninhalt auf, so dass die Eindrückung beider Airbags am Ende gleich sein muss.

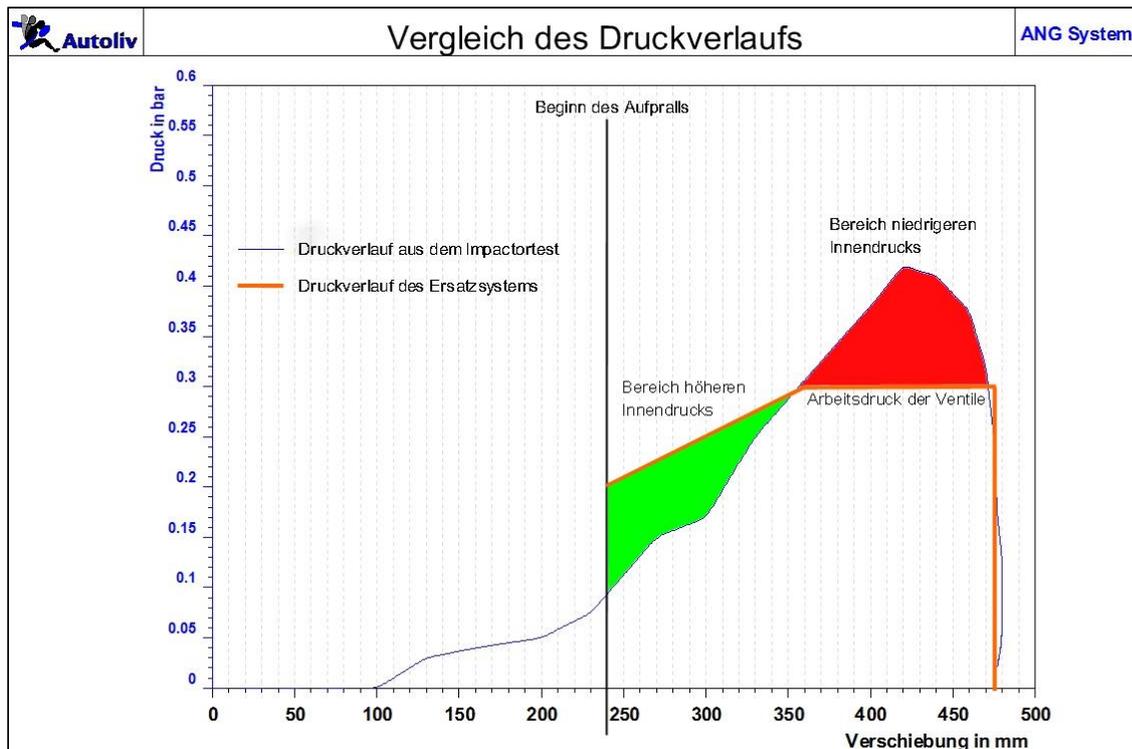


Diagramm 09: Vergleich der Druckkurven

Das Druckluftkonzept erfüllt demnach die Anforderungen an einen reversiblen Airbag im Bereich der Vorverlagerung. Bei Betrachtung der Rückhaltekraft wird zu Beginn des Aufpralls eine etwas höhere Kraft erwartet, da hier ein deutlich höherer Druck herrscht. Insgesamt ist allerdings von einer geringeren Rückhaltekraft auszugehen, da der maximale Airbaginnendruck auf 0,3 bar begrenzt ist.

## 5.4 Auswahl und Planung eines Konzepts

Die Diskussion der einzelnen Konzepte ergab, dass das Druckluftkonzept die einzige Lösungsmöglichkeit ist, die mit einem vertretbaren Aufwand realisierbar ist und dabei ein airbagähnliches Verhalten aufweist.

Zusätzlich wurde diesem Konzept mit 71,3%, bei der Auswertung der Bewertungsmatrix, der höchste technische Wert zugesprochen. Die Bewertung des Druckluftkonzepts aus Abschnitt 5.2 ist in Abbildung 25 erneut dargestellt. Da dieses Konzept allerdings unter Abschnitt 5.3 noch weiter konkretisiert wurde, wird im Folgenden überprüft ob das Konzept noch immer seinem hohen technischen Wert gerecht wird. Die Sicherheit des Konzepts wurde mit 2,9 für gut befunden. Da keine zusätzlichen Gefahrenquellen hinzugekommen sind, ist dieser Wert immer

noch zutreffend. Ähnlich verhält es sich mit der Bedienungsfreundlichkeit, welche mit 2,4 eine etwas geringere Wertung bekommen hat. Dieser Wert ist wohl auf die Regulierung des Innendrucks zurück zu führen und dürfte damit nach wie vor gelten. Die Punkte einfache Montage, geringe Kosten und leicht herstellbar haben mit 2,3 die geringste Wertung erhalten. Hier können für die Montagefreundlichkeit und die Kosten etwas bessere Werte angenommen werden. Das System wird voraussichtlich ausschließlich über den Anschraubpunkt des Lenkrads befestigt (vgl. Abbildung 26: Konstruktion Druckluftkonzept) und bis auf die Aufnahme können einfache Zukaufteile verwendet werden, welche keine oder kaum zusätzliche Bearbeitung benötigen. Da das System allerdings aus vielen Einzelteilen besteht und eine spezielle Halterung für das System entworfen werden muss, ist für die Herstellbarkeit keine Verbesserung anzunehmen. Für die Variationsmöglichkeit und die Genauigkeit wurde ein guter bzw. sehr guter Wert ermittelt. Diese Werte wurden durch die Diskussion des Konzepts bestätigt, da die Aufnahme unterschiedliche Frontairbags aufnehmen kann und in der Berechnung ähnliche Werte wie z.B. im Impactortest erreicht wurden. An der Bewertung der Haltbarkeit hat die Diskussion nichts verändert, da diese keinen Einfluss auf die verwendeten Materialien hatte. Ähnlich verhält es sich mit den beiden letzten Punkten, der Wiederholbarkeit und der Reproduzierbarkeit. Beide Werte können, bei der Verwendung von qualitativ hochwertigen Ventilen, der regelmäßigen Kontrolle und ggf. Austausch der Airbaghülle, weiterhin als gut angesehen werden. Insgesamt hat sich der technische Wert also sogar etwas verbessert, so dass im Folgenden mit der Planung des Konzepts fortgefahren werden kann.

Technische Anforderung:	Gewichtung	Variante 4:	
		E4	E4 x G
Hohe Sicherheit:	5	2,9	14,5
Einfache Bedienung:	3	2,4	7,2
Einfache Montage:	3	2,3	6,9
Geringe Kosten:	3	2,3	6,9
Leicht herstellbar:	2	2,3	4,6
Gute Variationsmöglichkeit:	3	3,1	9,3
Hohe Genauigkeit:	5	3,6	18
Lange Haltbarkeit:	2	2,6	5,2
Wiederholbarkeit:	5	3	15
Reproduzierbarkeit:	5	3	15
Σ Summe	-		103
Technischer Wert [%]	-		71,3

Grad der Annäherung:	Punktzahl nach Erfüllungsgrad:
Sehr Gut	4
Gut	3
Ausreichend	2
Gerade noch tragbar	1
Unbefriedigend	0

Abbildung 25: Bewertung Druckluftkonzept

Wie bereits in der Diskussion der Konzepte beschrieben, wird von einer Konstruktion mit geöffneten Ventholes abgesehen. Um nicht die bereits vorhandenen Ventholes eines Airbags zunähen zu müssen und damit einen Druckverlust aufgrund der Nähte zu verursachen, wird ein unbehandeltes Airbaggewebe verwendet, welches zusätzlich über eine spezielle Beschichtung verfügt, die eine etwas geringere Luftdurchlässigkeit im Vergleich zu einem herkömmlichen Airbag aufweist. Das Airbagvolumen soll wie in der Berechnung während der Diskussion 50 Liter betragen und wird bei dem Autoliv Werk in Dachau in Auftrag gegeben.

Für die Regulierung des Airbaginnendrucks werden, entsprechend der Berechnung aus Abschnitt 5.3, sechs Sicherheitsventile und eine Druckluft-Schnellkupplung verwendet. Um einen zusätzlichen Druckverlust zu vermeiden, werden die Ventile und die Kupplung nicht direkt in die Airbaghülle eingenäht, sondern in ein angeschlossenes Rohr geschraubt und mit einem O-Ring abgedichtet. Bei dem Rohr handelt es sich um ein PVC-Rohr mit 125 mm Außendurchmesser und einer Wandstärke von ca. 4,8 mm. Das Endstück vom Rohr wird mit einer passenden PVC-Klebekappe abgedichtet.

Die Verbindung von Rohr und Airbaghülle erfolgt über eine Muffe, welche sich flexibel auf einen Rohrdurchmesser von 120-136 mm einstellen lässt. Da das PVC-Rohr nur einen sehr geringen Reibwiderstand aufweist und damit möglicherweise ein Durchrutschen des Airbaggewebes auftreten könnte, wird zusätzlich ein selbstverschweißendes Klebeband um das Rohr gewickelt. Zur Befestigung des Systems an dem Gestell wird eine spezielle Halterung entworfen, an der sich der Airbag abstützen kann, ohne das Rohr zu belasten. Diese Halterung wird bei einem Metallbauer in Auftrag gegeben. Die zugehörige Zeichnung für die Aufnahme befindet sich in Anhang C: Aufnahme Druckluftkonzept. Die unterschiedlichen Lieferanten für die benötigten Bauteile sind in der Tabelle 09 aufgelistet.

**Stückliste:**

Bauteil	Anzahl	Beschaffung
Airbag-Gewebe	1	Autolivwerk Dachau
Ausströmventile	6	<a href="http://www.pneumatikkatalog.de/pneumatikzubehoer/timmer-pneumatik-sicherheitsventile-serie-l20.pdf">http://www.pneumatikkatalog.de/pneumatikzubehoer/timmer-pneumatik-sicherheitsventile-serie-l20.pdf</a>
Druckluftanschluss	1	<a href="http://www.tamawa.info/Druckluftleitungssystem-Druckluft-Rohrleitung-Kunststoff-Rohrleitungssysteme-Druckluftleitung-verlegen/18mm-Druckluft-Stecksystem-PVC-Rohr-Alurohr-Montage/Druckluft-Schnellkupplung-Messing-NW7-2-mit-Au-engewinde-1-2-.html">http://www.tamawa.info/Druckluftleitungssystem-Druckluft-Rohrleitung-Kunststoff-Rohrleitungssysteme-Druckluftleitung-verlegen/18mm-Druckluft-Stecksystem-PVC-Rohr-Alurohr-Montage/Druckluft-Schnellkupplung-Messing-NW7-2-mit-Au-engewinde-1-2-.html</a>
O-Ring (∅26 mm)	6	<a href="https://www.hydraulikschlauch24.de/Hydraulik/Schl auchleitung/Armaturen/O-Ringe/O-Ring-31-0mm-x-26-0mm-x-2-5mm-NBR-70::384.html">https://www.hydraulikschlauch24.de/Hydraulik/Schl auchleitung/Armaturen/O-Ringe/O-Ring-31-0mm-x-26-0mm-x-2-5mm-NBR-70::384.html</a>
O-Ring (∅21 mm)	1	<a href="https://www.hydraulikschlauch24.de/Hydraulik/Schl auchleitung/Armaturen/O-Ringe/O-Ring-24-0mm-x-20-0mm-x-2-0mm-NBR-70::376.html">https://www.hydraulikschlauch24.de/Hydraulik/Schl auchleitung/Armaturen/O-Ringe/O-Ring-24-0mm-x-20-0mm-x-2-0mm-NBR-70::376.html</a>
PVC-Rohr	1	<a href="http://www.mcm-systeme.de/PVC-Rohr-grau">http://www.mcm-systeme.de/PVC-Rohr-grau</a>
PVC-Klebekappe	1	<a href="http://www.mcm-systeme.de/PVC-Klebekappe">http://www.mcm-systeme.de/PVC-Klebekappe</a>
PVC-Kleber	1	<a href="http://www.mcm-systeme.de/Tangit-PVC-Kleber">http://www.mcm-systeme.de/Tangit-PVC-Kleber</a>
Muffe	1	<a href="http://www.teich-center.de/Flexible-Muffe-Manschette-120-136mm-Fernco">http://www.teich-center.de/Flexible-Muffe-Manschette-120-136mm-Fernco</a>
Selbstverschweissendes Klebeband	1	<a href="http://www.conrad.de/ce/de/product/542677/Selbstverschweissendes-Klebeband-L-x-B-5-m-x-19-mm-Schwarz-RT195M-3R-Conrad-Inhalt-3-Rollen">http://www.conrad.de/ce/de/product/542677/Selbstverschweissendes-Klebeband-L-x-B-5-m-x-19-mm-Schwarz-RT195M-3R-Conrad-Inhalt-3-Rollen</a>
Aufnahme	1	Eigene Konstruktion wird bei einem Metallbauer in Auftrag gegeben (Zeichnung in Anhang C).

Tabelle 09: Stückliste

Eine mögliche Konstruktion des Druckluftkonzepts zeigt die Abbildung 26.

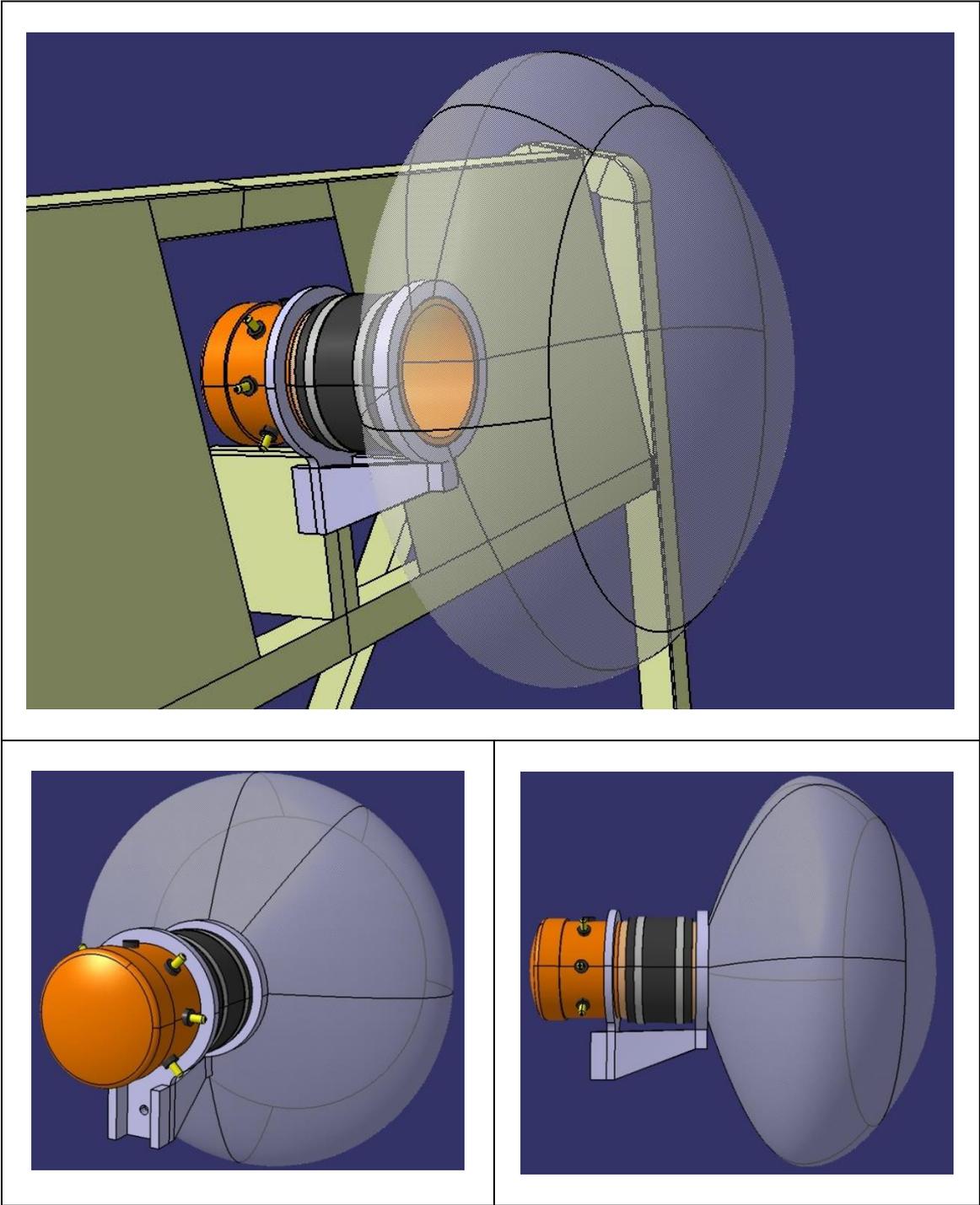


Abbildung 26: Konstruktion Druckluftkonzept

## 6 Fazit und Ausblick

Insgesamt kann die Konzeption eines reversiblen Airbags für Schlittenversuche nach ECE-R16 als gelungen bezeichnet werden. Für die Vorverlagerung des Dummys unter der Verwendung des hier ausgearbeiteten Luftdruck-Konzepts, werden ähnliche Werte wie bei einem echten Airbag erwartet. Aufgrund der hohen Streuung der Ergebnisse, die bei Crashversuchen auftritt, muss der in dieser Arbeit entwickelte, reversible Airbag allerdings als eine nur grobe Annäherung an einen echten Airbag bezeichnet werden. Um das System weiter zu optimieren, müssten im Vorfeld eine deutlich höhere Anzahl von Referenz- und Impactorversuchen durchgeführt werden, so dass Durchschnittswerte für die erwartete Vorverlagerung und den Kraftverlauf erstellt werden können.

Des Weiteren wäre eine Feinabstimmung, durch zum Beispiel die Auslegung der Ventile interessant. Da der Innendruck in der ersten Hälfte des Aufpralls zu hoch und in der zweiten Hälfte zu niedrig ist, wären ein niedrigerer Anfangsdruck und ein höherer Arbeitsdruck für die Ventile eventuell eine noch bessere Konfiguration. Doch, um das System weiter zu optimieren, wären zunächst mehrere Versuche mit dem reversiblen Airbag notwendig um die angenommene Rückhaltung, der Konfiguration aus 5.3, zu bestätigen.

Werden auch nach der Feinabstimmung keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt ist auch eine Neukonzipierung des reversiblen Airbags möglich. Dazu können die unterschiedlichen Varianten miteinander kombiniert werden, so dass ein neues Lösungskonzept entsteht, welches möglicherweise noch bessere Ergebnisse aufweist. Ein Beispiel für eine Kombination wäre die Verwendung einer Airbaghülle, wie sie im Ventilator-Konzept beschrieben wird, mit einer Schaumstofffüllung aus dem Schaumstoff-Konzept. Durch die Kombination zweier Systeme mit unzureichendem Kraftniveau könnte so ein Konzept mit akzeptablen Kraft- und Verschiebungsverläufen entstehen.

Für weiterführende Untersuchungen wäre neben der Vorverlagerung auch eine genauere Betrachtung der wirkenden Kräfte und Beschleunigungen interessant, um das System auch in Versuchen einsetzen zu können, bei denen die Belastung des Dummys gemessen wird. Für diesen Zweck müssten erneut Referenzversu-

che mit einem Dummy durchgeführt werden, der mit Kraft - und Beschleunigungssensoren ausgestattet ist.

Bei Betrachtung der Wirtschaftlichkeit muss dem System ein deutliches Einsparpotential zugesprochen werden. Im Gegensatz zu einem echten Airbag weist es deutlich geringere Kosten auf, da bei Nutzung nahezu keine Materialien verbraucht werden. Zur Bestimmung des genauen Einsparpotentials wären allerdings mehrere Versuche mit dem reversiblen Airbag notwendig, um genauere Informationen über die Lebensdauer der Airbaghülle zu erhalten. Ohne diese Versuche lässt sich nur garantieren, dass die Kosten für die Pyrotechnik und das Lenkrad eingespart werden können. Beide zusammen bilden allerdings bereits den größten Kostenfaktor bei der Verwendung eines echten Airbags. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Konstruktion und der Einsatz eines reversiblen Airbags, wie sie hier erarbeitet wurden, als sinnvoll bezeichnet werden können.

## 7 Literaturverzeichnis

- [EuNc14] EURO NCAP: *Einführung*  
URL: <http://de.euroncap.com/de/about.aspx>  
Aktualisierungsdatum: 04/2014
- [Kra98,3] KRAMER, Florian: *Passive Sicherheit in Kraftfahrzeugen*. – S.3-6, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1998
- [Bmw14] BMW GROUP: *BMW Sicherheitssysteme zur Unfallprävention*  
URL: [http://www.verkehrsirrsinn.de/sicherheitssysteme\\_bmw.html](http://www.verkehrsirrsinn.de/sicherheitssysteme_bmw.html)  
Aktualisierungsdatum: 04/2014
- [Vol14] VOLKSWAGEN: *Technologie – Passive Sicherheit*  
URL: [http://www.volkswagen.de/de/technologie/technik-lexikon/passive\\_sicherheit.html](http://www.volkswagen.de/de/technologie/technik-lexikon/passive_sicherheit.html), Aktualisierungsdatum: 05/2014
- [AxSp14] AXEL SPRINGER: *Beim ersten Crashtest gab es fast einen Toten*  
URL: <http://www.welt.de/motor/article4489160/Beim-ersten-Crashtest-gab-es-fast-einen-Toten.html> Aktualisierungsdatum: 04/2014
- [Kra98,217] KRAMER, Florian: *Passive Sicherheit in Kraftfahrzeugen*. – S.217-218, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1998
- [SaCo14,25] SAFETY COMPANION: *Gesetze zum Insassenschutz 2014*. – S.25, 2014
- [SaCo14,35] SAFETY COMPANION: *Verbraucherschutz-Tests in Europa, Amerika, Asien und Australien* – S.35, 2014
- [Kra98,259] KRAMER, Florian: *Passive Sicherheit in Kraftfahrzeugen*. –S.259-261, Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1998
- [Wik14] WIKIPEDIA: *Crashtest-Dummy*  
URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Crashtest-Dummy>  
Aktualisierungsdatum: 03/2014
- [Ece10,69] ECE-R16: *Safety-Belts and Restraint Systems*. –S.69-70, 05/2010
- [Hum14] HUMANETICS: *TNO-10*. URL: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies/frontal-impact/tno-10> Aktualisierungsdatum: 05/2014
- [Ece10,71] ECE-R-16: *Safety-Belts and Restraint Systems*. –S.71-73, 05/2010 (Veränderte Abbildung)
- [DeVe11] DEUTSCHER VERKEHRSSICHERHEITSRAT: *Schriftenreihe Verkehrssicherheit 15*. Courir Print Media GmbH Co. KG, -S.4,5,9,15 Bonn 2011
- [Kra98,178] KRAMER, Florian: *Passive Sicherheit in Kraftfahrzeugen*. –S.178-182 Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg, 1998

- [Gol11] GOLOWKA, Kai: *Safety Companion, Frontalsicherheitssysteme*. Carhs 2011
- [Sey-11] SEYFRIED, Peter: *Konstruktion Maschinenelemente 2012/2013 - Skript*-S.11
- [Sey-13] SEYFRIED, Peter: *Konstruktion Maschinenelemente 2012/2013 - Skript*-S.13
- [SMS13] SWEDISH MORPHOLOGICAL SOCIETY: *General Morphological Analysis*- S.1, URL: <http://www.swemorph.com/ma.html> Aktualisierungsdatum: 05/2014
- [Sey-14] SEYFRIED, Peter: *Konstruktion Maschinenelemente 2012/2013 - Skript*-S.14
- [Ece10,75] ECE-R-16: *Safety-Belts and Restraint Systems*. –S.75, 05/2010
- [Ung14] UNGER, Hans Johann: *Dokumentation eines Impactortest*. Autolivwerk Dachau
- [GuFe14] GUTEKUNST FEDERN: *Federnberechnung*  
URL:<http://www.federnshop.com/Berechnung/Druckfeder/DruckfederBerechnung.aspx> Aktualisierungsdatum: 07/2014
- [Spa-130] SPAL AUTOMOTIVE: *Axiallüfter 12 Volt*  
URL:[http://www.spalautomotive.com/eng/products/view\\_axial.aspx?id=VA31-A101-46S](http://www.spalautomotive.com/eng/products/view_axial.aspx?id=VA31-A101-46S) Aktualisierungsdatum: 07/2014
- [Spa-190] SPAL AUTOMOTIVE: *Axiallüfter 12 Volt*  
URL:[http://www.spalautomotive.com/eng/products/view\\_axial.aspx?id=VA14-AP11\\_C-34S](http://www.spalautomotive.com/eng/products/view_axial.aspx?id=VA14-AP11_C-34S) Aktualisierungsdatum: 07/2014
- [Ave14] AVEK, Foam International: *Schaumstofftypen*  
URL: [http://www.polyether.nl/avek\\_deutsch/schaumstofftypen.html](http://www.polyether.nl/avek_deutsch/schaumstofftypen.html) Aktualisierungsdatum: 04/2014
- [SyHe14] SYDNEY HEATH & SON: *Polyurethane Foam Test Methods*  
URL: <http://www.sydney-heath.com/materials/polyurethane-foams/test-methods> Aktualisierungsdatum: 07/2014
- [ScHe14] SCHAUMSTOFF HELGERS, *Schaumstoff und seine Eigenschaften*  
URL: <http://www.schaumstoffhelgers.de/blog/schaumstoff-und-seine-eigenschaften-%E2%80%93-rohdichte-und-stauchh%C3%A4rte> Aktualisierungsdatum: 07/2014

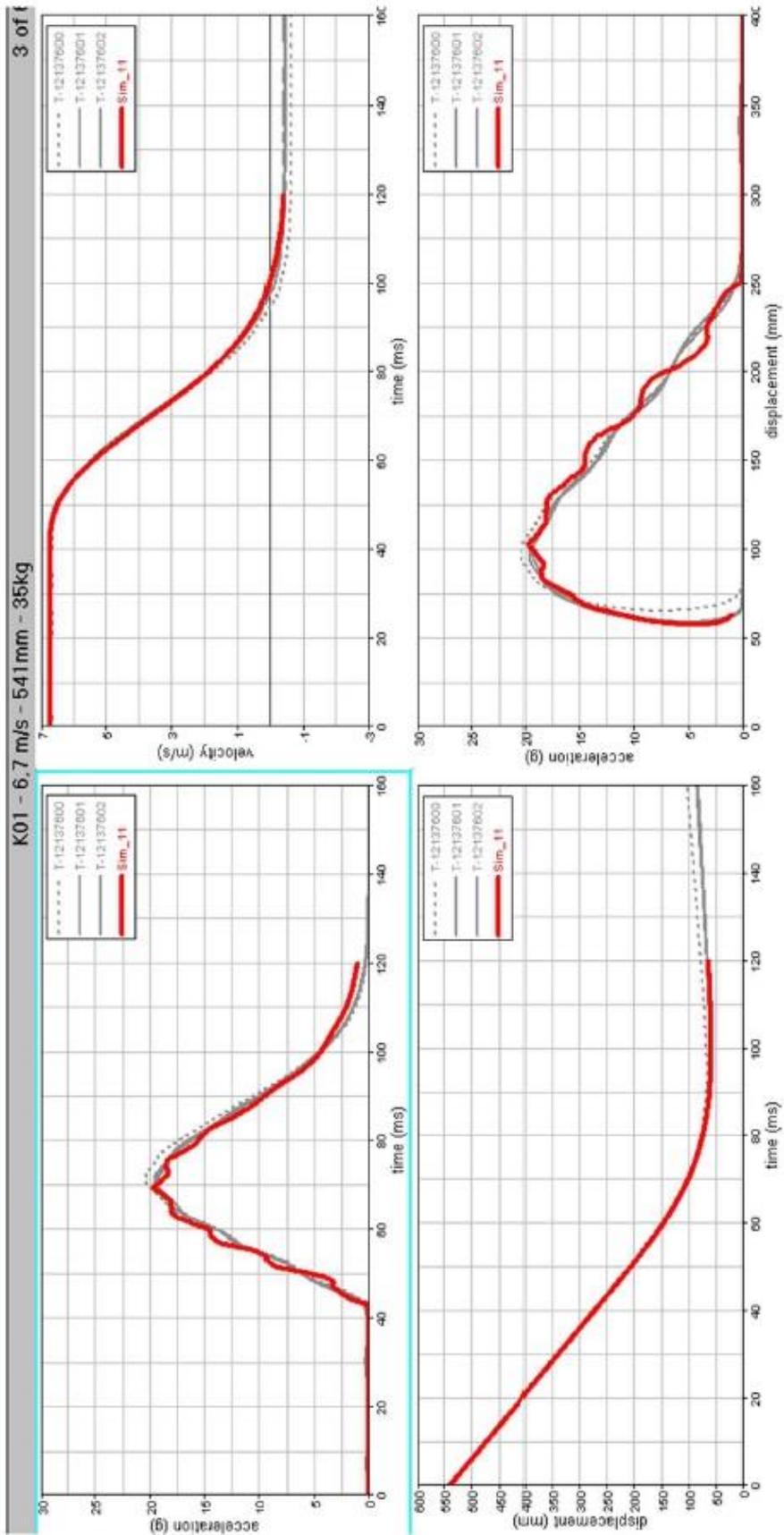
## 8 Symbolverzeichnis

Symbol	Bedeutung
G	Gewichtung
E	Erfüllungsgrad
E <sub>opt</sub>	Optimaler Erfüllungsgrad
a	Beschleunigung
W	Arbeit
v	Geschwindigkeit
V <sub>0</sub>	Ausgangsgeschwindigkeit
$\Delta t$	Zeitdifferenz
S	Verzögerungsweg
m	Masse
ds	Zurückgelegter Weg
F	Kraft
F <sub>r</sub>	Rückhaltekraft
n	Windungszahl
d <sub>e</sub>	Windungsdurchmesser außen
L <sub>0</sub>	Länge der ungespannten Feder
S <sub>2</sub>	Federweg
F <sub>2</sub>	Kraft der gespannten Feder
F <sub>n</sub>	Höchstkraft der Feder
F <sub>c</sub>	Federkraft bei Blocklänge
d	Durchmesser / Drahtdicke
A	Flächeninhalt
p	Druck
c	Gasgeschwindigkeit

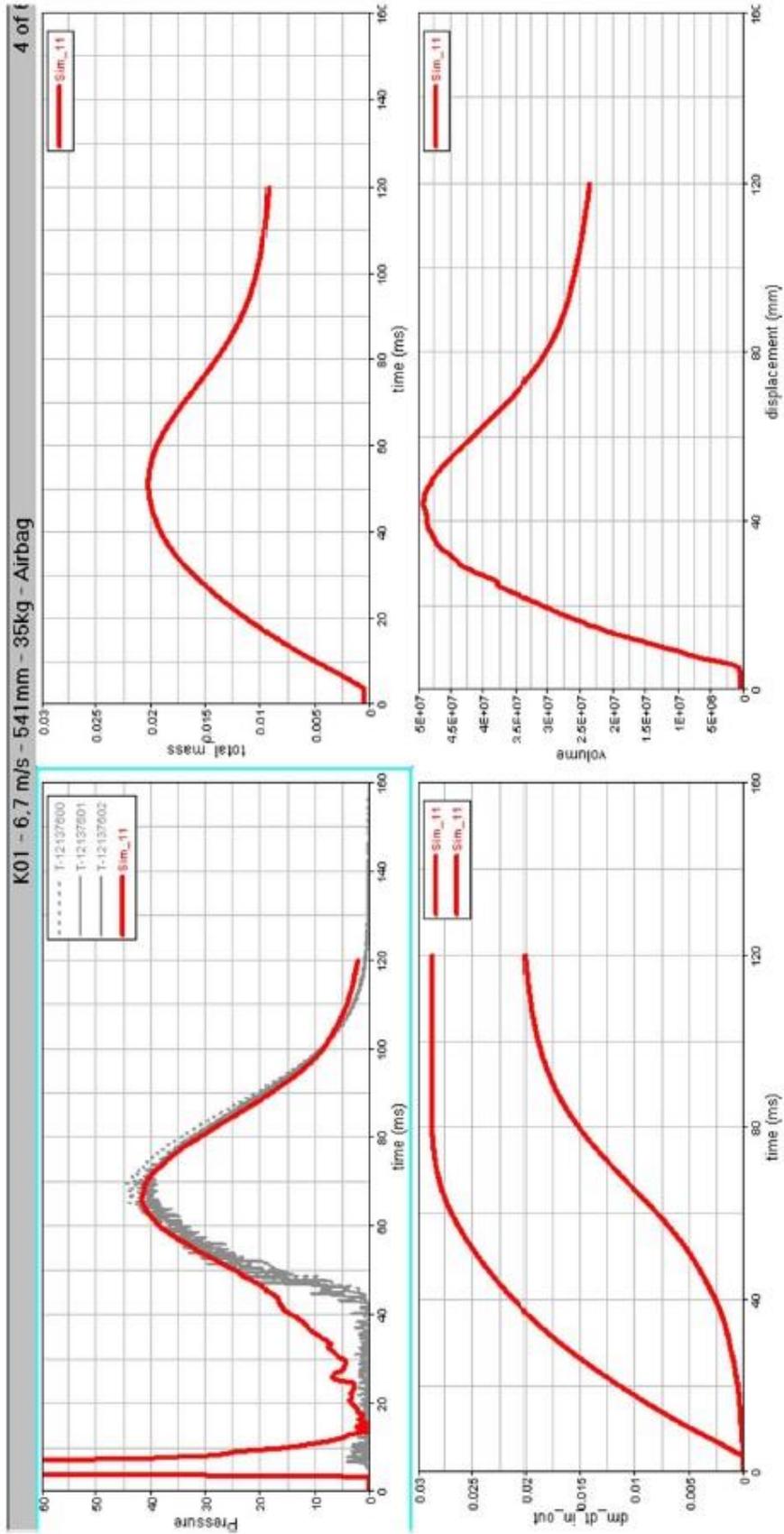
$Z$	Betrachtete Höhe
$\rho$	Dichte
$P_0$	Umgebungsdruck
$\dot{V}$	Volumenstrom
$D$	Federsteifigkeit
$D_g$	Gesamtsteifigkeit
$V$	Volumen
$\Delta V$	Volumendifferenz
$R_s$	Spezifische Gaskonstante
$T$	Temperatur
$\Delta U$	Verschiebung / Eindrückung

# Anhang A: Diagramme Impactortest

## Kurvenvergleich Konfig.01 Impaktor



# Kurvenvergleich Konfig.01 Airbag



# Anhang B: Konfiguration von Zukaufteilen

Feder-Dämpfer-Konzept (Auslegung bei einer einzelnen Feder):

<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width:50%;">Firma/Name</td><td style="width:50%;"></td></tr> <tr><td>Ansprechpartner</td><td></td></tr> <tr><td>Straße</td><td></td></tr> <tr><td>PLZ/Ort</td><td></td></tr> <tr><td>Telefon</td><td>Fax</td></tr> <tr><td>E-mail</td><td></td></tr> </table>	Firma/Name		Ansprechpartner		Straße		PLZ/Ort		Telefon	Fax	E-mail		<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Kd.Nr.</td><td></td></tr> <tr><td>Datum</td><td></td></tr> <tr><td><input type="checkbox"/> Anfrage <input type="checkbox"/> Bestellung</td><td></td></tr> <tr><td>Ref.Nr.</td><td></td></tr> <tr><td>Stück</td><td></td></tr> <tr><td>Termin</td><td></td></tr> </table>	Kd.Nr.		Datum		<input type="checkbox"/> Anfrage <input type="checkbox"/> Bestellung		Ref.Nr.		Stück		Termin		<p><b>GUTEKUNST FEDERN</b></p> <p>Carl-Zeiss-Strasse 15 D-72555 Metzingen Telefon 0 71 23 / 9 60-0 Telefax 0 71 23 / 9 60-195 technik@gutekunst-co.com www.gutekunst-federn.de</p> <p><b>Druckfedern</b></p>
Firma/Name																										
Ansprechpartner																										
Straße																										
PLZ/Ort																										
Telefon	Fax																									
E-mail																										
Kd.Nr.																										
Datum																										
<input type="checkbox"/> Anfrage <input type="checkbox"/> Bestellung																										
Ref.Nr.																										
Stück																										
Termin																										
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;">                 d mm Drahtdurchmesser                  D mm Mittlerer Windungsdurchmesser                  Dd mm Dorndurchmesser                  De mm Äußerer Windungsdurchmesser                  Dh mm Hülsendurchmesser                  e1 mm Abweichung von Mantellinie                  e2 mm Abweichung von Parallelität             </td> <td style="width:33%;">                 F1 N Kraft der Feder vorgespannt                  F2 N Kraft der Feder gespannt                  Fn N Höchstkraft der Feder                  Fc N Theo. Federkraft bei Blocklänge                  k ----- Spannungsbeiwert                  L0 mm Ungespannte Länge der Feder                  L1 mm Länge der Feder vorgespannt                  L2 mm Länge der Feder gespannt                  Ln mm Kleinste Länge der Feder                  Lc mm Blocklänge                  n St. Anzahl federnden Windungen                  nt St. Anzahl der Gesamtwindungen                  R N/mm Federrate                  s mm Steigung der Feder             </td> <td style="width:33%;">                 S1 mm Strecke der Feder vorgespannt                  S2 mm Strecke der Feder gespannt                  Sh mm Arbeitsweg (Hub)                  Sn mm Grösste Strecke der Feder                  tauzul N/mm<sup>2</sup> Zulässige Schubspannung                  tau1 N/mm<sup>2</sup> Schubspannung bei F1                  tau2 N/mm<sup>2</sup> Schubspannung bei F2                  taun N/mm<sup>2</sup> Schubspannung bei Fn                  tauc N/mm<sup>2</sup> Schubspannung bei Fc                  taukozul N/mm<sup>2</sup> Zulässige Oberspannung korrigiert                  taukhzul N/mm<sup>2</sup> Zulässige Hubspannung korrigiert                  tauk2 N/mm<sup>2</sup> Korrigierte Schubspannung bei F2                  taukh N/mm<sup>2</sup> Korrigierte Hubspannung             </td> </tr> </table>			d mm Drahtdurchmesser D mm Mittlerer Windungsdurchmesser Dd mm Dorndurchmesser De mm Äußerer Windungsdurchmesser Dh mm Hülsendurchmesser e1 mm Abweichung von Mantellinie e2 mm Abweichung von Parallelität	F1 N Kraft der Feder vorgespannt F2 N Kraft der Feder gespannt Fn N Höchstkraft der Feder Fc N Theo. Federkraft bei Blocklänge k ----- Spannungsbeiwert L0 mm Ungespannte Länge der Feder L1 mm Länge der Feder vorgespannt L2 mm Länge der Feder gespannt Ln mm Kleinste Länge der Feder Lc mm Blocklänge n St. Anzahl federnden Windungen nt St. Anzahl der Gesamtwindungen R N/mm Federrate s mm Steigung der Feder	S1 mm Strecke der Feder vorgespannt S2 mm Strecke der Feder gespannt Sh mm Arbeitsweg (Hub) Sn mm Grösste Strecke der Feder tauzul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Schubspannung tau1 N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei F1 tau2 N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei F2 taun N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei Fn tauc N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei Fc taukozul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Oberspannung korrigiert taukhzul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Hubspannung korrigiert tauk2 N/mm <sup>2</sup> Korrigierte Schubspannung bei F2 taukh N/mm <sup>2</sup> Korrigierte Hubspannung																					
d mm Drahtdurchmesser D mm Mittlerer Windungsdurchmesser Dd mm Dorndurchmesser De mm Äußerer Windungsdurchmesser Dh mm Hülsendurchmesser e1 mm Abweichung von Mantellinie e2 mm Abweichung von Parallelität	F1 N Kraft der Feder vorgespannt F2 N Kraft der Feder gespannt Fn N Höchstkraft der Feder Fc N Theo. Federkraft bei Blocklänge k ----- Spannungsbeiwert L0 mm Ungespannte Länge der Feder L1 mm Länge der Feder vorgespannt L2 mm Länge der Feder gespannt Ln mm Kleinste Länge der Feder Lc mm Blocklänge n St. Anzahl federnden Windungen nt St. Anzahl der Gesamtwindungen R N/mm Federrate s mm Steigung der Feder	S1 mm Strecke der Feder vorgespannt S2 mm Strecke der Feder gespannt Sh mm Arbeitsweg (Hub) Sn mm Grösste Strecke der Feder tauzul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Schubspannung tau1 N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei F1 tau2 N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei F2 taun N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei Fn tauc N/mm <sup>2</sup> Schubspannung bei Fc taukozul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Oberspannung korrigiert taukhzul N/mm <sup>2</sup> Zulässige Hubspannung korrigiert tauk2 N/mm <sup>2</sup> Korrigierte Schubspannung bei F2 taukh N/mm <sup>2</sup> Korrigierte Hubspannung																								
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:33%;"><input checked="" type="checkbox"/> Form 1: Federenden angelegt und geschliffen</td> <td style="width:33%;"><input type="checkbox"/> Form 2: Federenden angelegt</td> <td style="width:33%;"></td> </tr> <tr> <td>tau zul</td><td>641,4</td><td>tau ko zul</td><td></td><td>tau 2 / tau zul</td><td>1,000</td> </tr> <tr> <td>k</td><td>1,156</td><td>tau kh zul</td><td></td><td>tau n / tau zul</td><td>1,041</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Form 1: Federenden angelegt und geschliffen	<input type="checkbox"/> Form 2: Federenden angelegt		tau zul	641,4	tau ko zul		tau 2 / tau zul	1,000	k	1,156	tau kh zul		tau n / tau zul	1,041									
<input checked="" type="checkbox"/> Form 1: Federenden angelegt und geschliffen	<input type="checkbox"/> Form 2: Federenden angelegt																									
tau zul	641,4	tau ko zul		tau 2 / tau zul	1,000																					
k	1,156	tau kh zul		tau n / tau zul	1,041																					
<b>1 Windungsrichtung</b> <input type="checkbox"/> links <input checked="" type="checkbox"/> rechts	<b>7 Führung und Lagerung DIN EN 13906-1</b> <input type="checkbox"/> Dorn <input type="checkbox"/> Hülse Knicklänge bei Lagerungsbeiwert "v" in mm Fall 1 v=2,0 283,36 Fall 2 v=1,0 Fall 3 v=1,0 Fall 4 v=0,7 Fall 5 v=0,5	<b>11 Oberflächenschutz</b> <input type="checkbox"/> kugelgestrahlt																								
<b>2 Dynamische Beanspruchung</b> <input type="checkbox"/> tau k2 tau kh tau k2 / tau ko zul tau kh / tau kh zul	<b>8 Werkstoff</b> EN 10270-1 SH (C) (Federstahldraht) Schubmodul G 81500,0 Elastizitätsmodul E 206000,0	<b>12 Toleranzen nach DIN EN 15800</b> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Gütegrad</th> <th>De,Di,D</th> <th>L0</th> <th>F1,F2</th> <th>e1,e2</th> <th>Drahtstärke d nach DIN 2076</th> </tr> <tr> <td>1</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> </tr> </table>	Gütegrad	De,Di,D	L0	F1,F2	e1,e2	Drahtstärke d nach DIN 2076	1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Gütegrad	De,Di,D	L0	F1,F2	e1,e2	Drahtstärke d nach DIN 2076																					
1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																					
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																					
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>																					
<b>3 Arbeitsweg Sh</b> 175,00 mm	<b>9 Draht- oder Staboberfläche</b> <input checked="" type="checkbox"/> gezogen <input type="checkbox"/> gewalzt <input type="checkbox"/> spanend bearbeitet	<b>13 Fertigungsausgleich</b> durch Eine Federkraft mit zugehöriger Länge L0 <input type="checkbox"/> Eine Federkraft mit zugehöriger Länge und L0 n, d <input type="checkbox"/> Zwei Federkräfte mit zugehörigen Längen L0, n, d <input type="checkbox"/> L0,n,De,Di <input type="checkbox"/>																								
<b>4 Lastspielzahl N</b>	<b>10 Federn entgratet</b> <input type="checkbox"/> innen <input type="checkbox"/> außen	<b>14 Prüffedern setzen !</b> LS _____ mm Übrige Federn <input type="checkbox"/> setzen <input type="checkbox"/> ungesetzt Ungesetzte Federn dürfen länger sein als L0 !																								
<b>5 Lastspielfrequenz n</b> /																										
<b>6 Arbeitstemperatur</b> °C																										

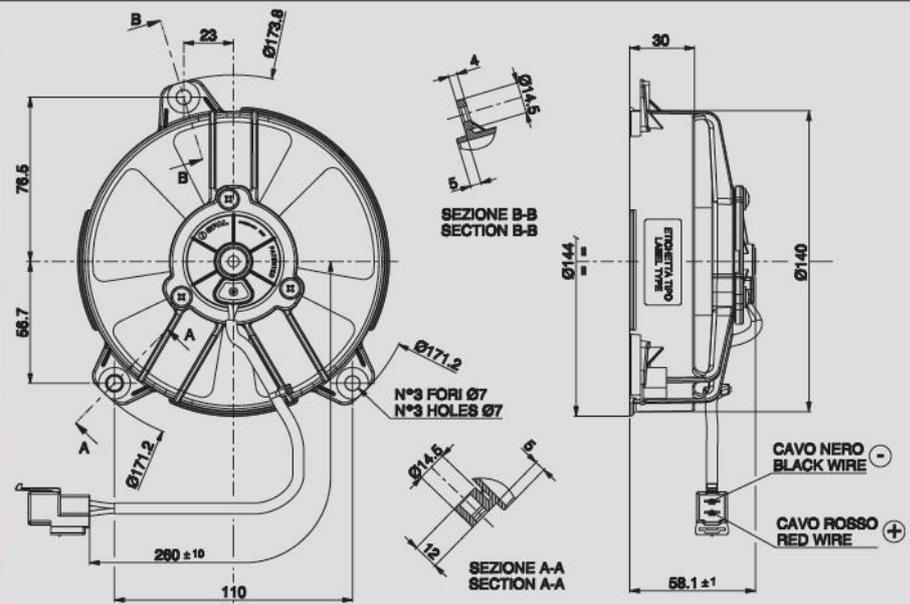


Ventilatorconcept (Auslegung des Gebläses):



VA31-A101-46A  
VA31-A101-46S

**12V C.C. - D.C.**



Ø 130 mm

Ø 5,2"

Connector SUMITOMO Code 6010-2802  
SUMITOMO terminal Code 1800-2093  
Suggested mounting torque: 3(+1/-0) Nm with screw M5  
Weight 0,41 Kg. approx.

Connettore SUMITOMO Cod. 6010-2802  
Terminali SUMITOMO Cod. 1800-2093  
Coppia di serraggio consigliata: 3(+1/-0) Nm con vite M5  
Peso 0,41 Kg. circa

PRODUCT FEATURES  
CARATTERISTICHE PRODOTTO

- Waterproof motor, IP 68  
*Motore chiuso, IP 68* ✓
- Waterproof connector  
*Connettori a tenuta stagna* ✓

✓ = Standard feature  
*Caratteristiche standard*

✓ = Available upon request  
*Disponibile su richiesta*

suction / aspirante      blowing / soffiante

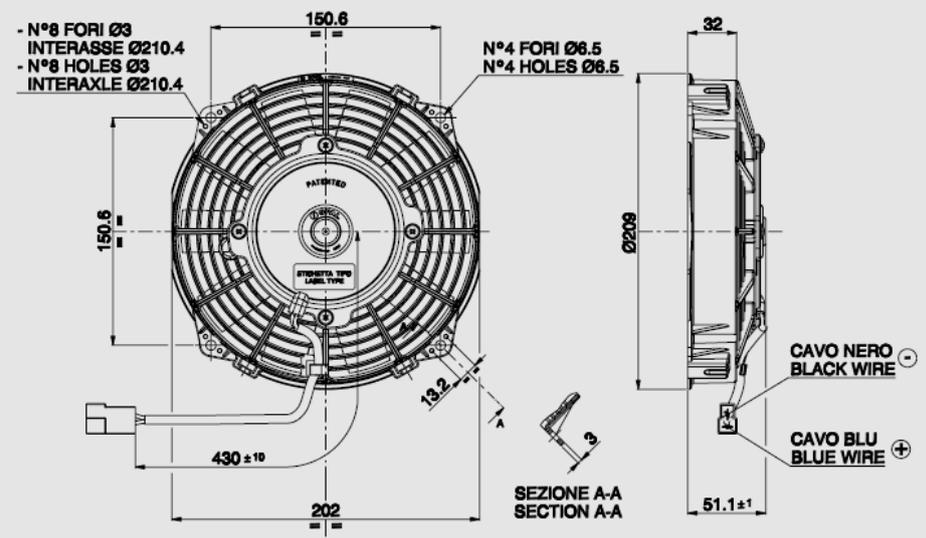
Static pressure Pressione statica mm H <sub>2</sub> O	suction / aspirante			blowing / soffiante			Static pressure Pressione statica in H <sub>2</sub> O
	Airflow Portata m <sup>3</sup> /h	Current input Corrente assorbita A	Airflow Portata CFM	Airflow Portata m <sup>3</sup> /h	Current input Corrente assorbita A	Airflow Portata CFM	
0	579	4,8	342	520	4,3	307	0
2,5	546	5,0	322	500	4,3	295	0,1
5	528	5,0	312	470	4,3	277	0,2
7,5	495	5,1	292	390	4,2	230	0,3
10	465	5,2	274	350	4,2	207	0,4
12,5	413	5,4	244	310	4,4	183	0,5
15	367	5,5	217	240	4,5	142	0,6
17,5	317	5,8	187	200	4,8	118	0,7
20	239	5,8	141	170	5,0	100	0,8
25	157	6,0	93	140	5,1	83	1
30	85	6,2	50	0	5,8	0	1,2
35	0	6,5	0				

Test voltage 13 V. d.c. - Tensione di prova 13 V. c.c.



**VA14-AP11/C-34A**  
**VA14-AP11/C-34S**

**12V** C.C. - D.C.



Technical drawing showing front and side views of the fan. Dimensions include: 150.6 (width), 150.5 (height), 430 ± 10 (cable length), 202 (width to mounting), 32 (depth), 51.1 ± 1 (height to terminal), and Ø209 (outer diameter). Labels include: N°8 FORI Ø3 INTERASSE Ø210.4, N°8 HOLES Ø3 INTERAXLE Ø210.4, N°4 FORI Ø6.5, N°4 HOLES Ø6.5, CAVO NERO BLACK WIRE (-), CAVO BLU BLUE WIRE (+), and SEZIONE A-A SECTION A-A.

Ø 190 mm

Ø 7,5"

AMP connector Code 180908  
AMP terminal Code 42098-2  
Suggested mounting torque: 3(+1/-0) Nm with screw M5  
Weight 0,90 Kg. approx.

Connettore AMP Cod. 180908  
Terminali AMP Cod. 42098-2  
Coppia di serraggio consigliata: 3(+1/-0) Nm con vite M5  
Peso 0,90 Kg. circa

**PRODUCT FEATURES**  
*CARATTERISTICHE PRODOTTO*

suction / aspirante

blowing / soffiante

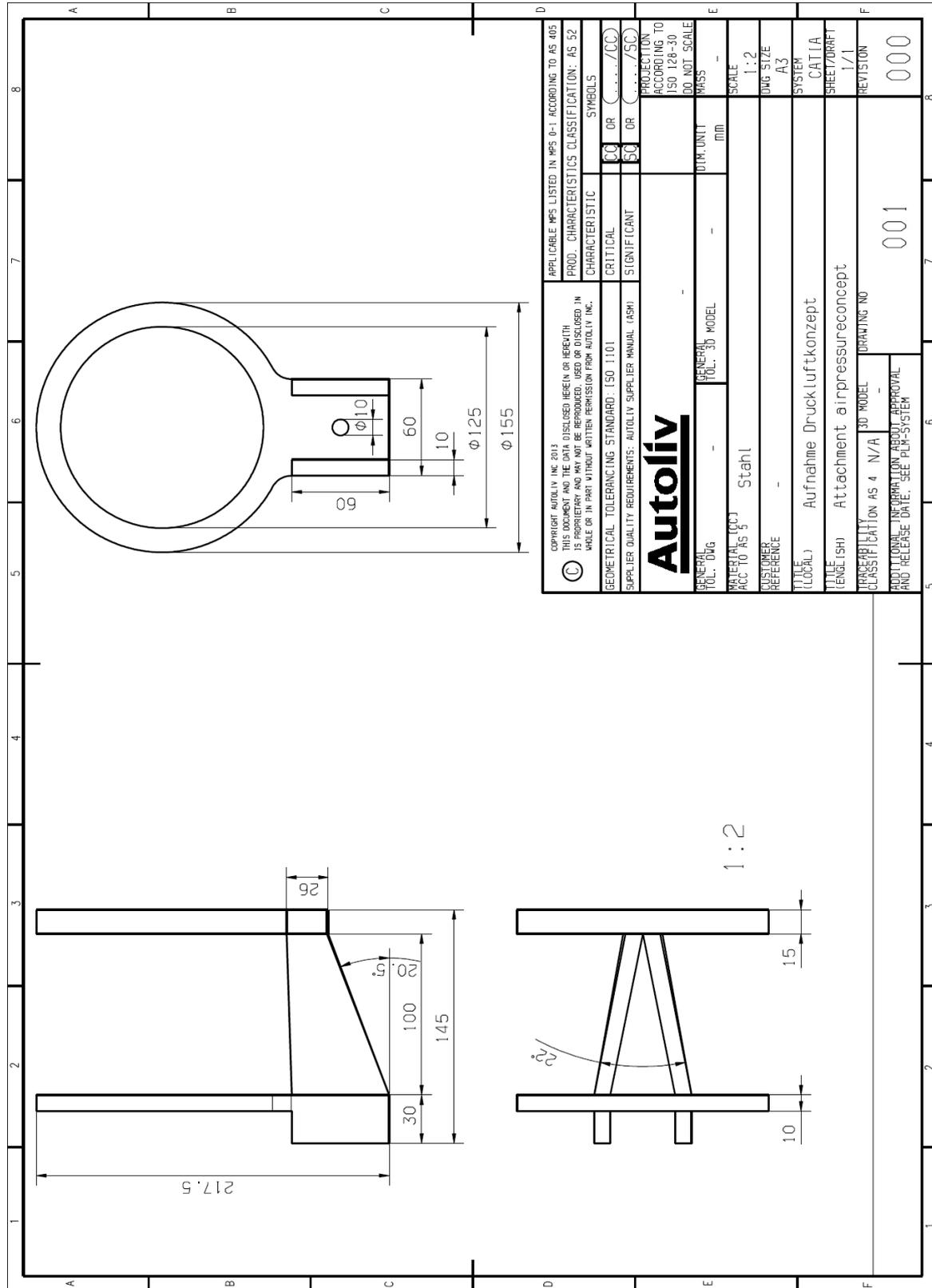
Waterproof motor, IP 68 <i>Motore chiuso, IP 68</i>	✓
Long life / Lunga durata	✓
LL and VLL version* <i>Versione LL e VLL*</i>	✓
Waterproof connector <i>Connettori a tenuta stagna</i>	✓
Accessories: all the fixing kits <i>Accessori: tutti i kit di fissaggio</i>	✓

Static pressure Pressione statica mm H <sub>2</sub> O	suction / aspirante		blowing / soffiante		Current input Corrente assorbita A	Airflow Portata CFM	Static pressure Pressione statica in H <sub>2</sub> O
	Airflow Portata m <sup>3</sup> /h	Current input Corrente assorbita A	Airflow Portata CFM	Airflow Portata m <sup>3</sup> /h			
0	730	6,9	431	690	6,7	407	0
5	650	7,1	384	610	6,8	360	0,2
7,5	610	7,2	360	560	6,9	330	0,3
10	570	7,3	336	510	6,9	301	0,4
12,5	510	7,2	301	450	6,9	266	0,5
15	450	7,3	266	410	6,9	242	0,6
20	330	7,4	195	320	7,6	189	0,8
25	240	7,8	142	200	7,5	118	1
35	0	8,4	0	0	8,0	0	1,4

\* for OEM applications only. ✓ = Standard feature  
\* per applicazioni OEM ✓ = Available upon request  
Disponibile su richiesta

Test voltage 13 V. d.c. - Tensione di prova 13 V. c.c.

# Anhang C: Aufnahme Druckluftkonzept



COPYRIGHT AUTOLIV INC. 2013 THIS DOCUMENT AND THE DATA DISCLOSED HEREIN OR HEREBY IS PROPRIETARY AND MAY NOT BE REPRODUCED, USED OR DISCLOSED IN WHOLE OR IN PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM AUTOLIV INC.		APPLICABLE MPS LISTED IN MPS 0-1 ACCORDING TO AS 405 PROD. CHARACTERISTICS CLASSIFICATION: AS 52	
GEOMETRICAL TOLERANCING STANDARD: ISO 1101 SUPPLIER QUALITY REQUIREMENTS: AUTOLIV SUPPLIER MANUAL (ASM)		CHARACTERISTIC SYMBOLS CRITICAL: $\text{CC}$ OR $\text{CC}(\text{CC})$ SIGNIFICANT: $\text{SC}$ OR $\text{SC}(\text{SC})$	
<b>Autoliv</b> GENERAL TOL.: DMG ACC TO AS 5		PRODUCTION ACCORDING TO ISO 128-30 DO NOT SCALE DIM. UNIT: mm SCALE: 1:2 DWG SIZE: A3 SYSTEM: CATIA SHEET/DRAFT: 1/1 REVISION: 000	
CUSTOMER REFERENCE: - MATERIAL (CC): Stahl GENERAL TOL.: 3D MODEL		TITLE (LOCAL): Aufnahme Druckluftkonzept TITLE (ENGLISH): Attachment airpressureconcept	
CLASSIFICATION AS 4: N/A 3D MODEL: - DRAWING NO: 001		ADDITIONAL INFORMATION ABOUT APPROVAL AND RELEASE DATE: SEE PLM-SYSTEM	

## Anhang D: Autosequence DIAdem

```
'-----  
'-- VBS - Autosequenz - Datei  
'-- Neu erstellt am 11/06/2014 10:22:18  
'-- Ersteller: Sven Krambeer  
'-- Kommentar: Skript zur Auswertung der Referenzversuche  
'-----  
'DIAdem Auswertung ECE-R16:  
  
'-----  
  
'Variablen initialisieren:  
L1=0    'Kanal B1FOP  
L2=0    'Kanal B1FOC  
L3=0    'Kanal B3FOP  
L4=0    'Kanal B3FOC  
L5=0    'Kanal B4FOP  
L6=0    'Kanal B4FOC  
L7=0    'Kanal B6FOP  
L8=0    'Kanal B6FOC  
T1=0    'Speicherort  
'-----  
'Hauptprogramm  
'-----  
  
'Filterung_Force_B1
```

L1=CNo("S3SEBE0000B1FO0P")

L2=CNo("free")

Call CHNCFILTCALC(1,L1,L2,"CFC\_180",0,"EndPoints") '...  
X,Y,E,CFCFILTTYPE,FIR100REMOVEBIAS,CFCPREEVENTTYPE

CN(L2)="S3SEBE0000B1FO0C"

CD(L2)="kN"

'Filterung\_Force\_B3

L3=CNo("S3SEBE0000B3FO0P")

L4=CNo("free")

Call CHNCFILTCALC(1,L3,L4,"CFC\_180",0,"EndPoints") '...  
X,Y,E,CFCFILTTYPE,FIR100REMOVEBIAS,CFCPREEVENTTYPE

CN(L4)="S3SEBE0000B3FO0C"

CD(L4)="kN"

'Filterung\_Force\_B4

L5=CNo("S3SEBE0000B4FO0P")

L6=CNo("free")

Call CHNCFILTCALC(1,L5,L6,"CFC\_180",0,"EndPoints") '...  
X,Y,E,CFCFILTTYPE,FIR100REMOVEBIAS,CFCPREEVENTTYPE

CN(L6)="S3SEBE0000B4FO0C"

CD(L6)="kN"

'Filterung\_Force\_B6

L7=CNo("S3SEBE0000B6FO0P")

L8=CNo("free")

Call CHNCFILTCALC(1,L7,L8,"CFC\_180",0,"EndPoints") '...  
X,Y,E,CFCFILTTYPE,FIR100REMOVEBIAS,CFCPREEVENTTYPE

```
CN(L8)="S3SEBE0000B6FO0C"
```

```
CD(L8)="kN"
```

```
' -----Grafikdateien-Pfad setzen -----
```

```
InputPath=  
("C:\Users\sven.krambeer\Documents\Airbagersatz\Stand_07_08_2014\Vorentwür  
fe und Daten\DIAdem") 'Hier den Vorgabepfad eintragen
```

```
Call PathNameGet("Bitte Grafikdateien-Pfad auswählen", InputPath)
```

```
If (DlgState = "IDOk") Then
```

```
GraphdrvUser= OutputPath
```

```
End If
```

```
Call PICLOAD("Dummy_Drop_Blanko_ECE_R16") '... PICFILE
```

```
Call PICUPDATE()
```

```
Call GRAPHObjOpen("2DAxis1")
```

```
Call GRAPHObjOpen("2DObj1_Curve1")
```

```
D2CCURVETYPE = "Line"
```

```
D2CCHNX = "000000000000TI00"
```

```
D2CCHNY = "S3SEBE0000B1FO0C"
```

```
Call GRAPHObjClose("2DObj1_Curve1")
```

```
Call GRAPHObjOpen("2DObj1_Curve2")
```

D2CCURVETYPE = "Line"  
D2CCHNX = "000000000000TI00"  
D2CCHNY = "S3SEBE0000B3FO0C"

Call GRAPHObjClose("2DObj1\_Curve2")

Call GRAPHObjOpen("2DObj1\_Curve3")

D2CCURVETYPE = "Line"  
D2CCHNX = "000000000000TI00"  
D2CCHNY = "S3SEBE0000B4FO0C"

Call GRAPHObjClose("2DObj1\_Curve3")

Call GRAPHObjOpen("2DObj1\_Curve4")

D2CCURVETYPE = "Line"  
D2CCHNX = "000000000000TI00"  
D2CCHNY = "S3SEBE0000B6FO0C"

Call GRAPHObjClose("2DObj1\_Curve4")

Call GRAPHObjOpen("2DObj1\_Curve5")

D2CCURVETYPE = "Line"  
D2CCHNX = "000000000000TI00"  
D2CCHNY = "S3CHST000000DS0C"

Call GRAPHObjClose("2DObj1\_Curve5")

Call GRAPHObjOpen("2DObj1\_Curve6")

D2CCURVETYPE = "Line"  
D2CCHNX = "000000000000TI00"  
D2CCHNY = "S3PELV000000DS0C"

```
Call GRAPHObjClose("2DObj1_Curve6")
```

```
Call GRAPHObjClose("2DAxis1")
```

```
Call PICUPDATE()
```

```
InputPath= ("P:\es\USER\Krambeer\TO-14015677\")
```

```
Call PathNameGet("Bitte den Speicherort auswählen", InputPath) 'Speicherort
```

```
If (DlgState = "IDOK") Then
```

```
    T1= OutputPath
```

```
End If
```

```
DataDrvUser=T1
```

```
GraphdrvUser=T1
```

```
Call PICEXPORT(DataFile+"Diagramm.JPG", "JPEG", 1, 768, 1024, "RGB 24 YUV  
444", 100, "NoCompression", 0) 'Sicherung_Diagramm
```

```
'Call CHNDELETE("2-15")          '... CLPSOURCE
```

```
Call DATASAVE(DataFile+"_post.dat")      'Sicherung_DAT
```

```
MsgBox("Speicherort: "+T1)
```