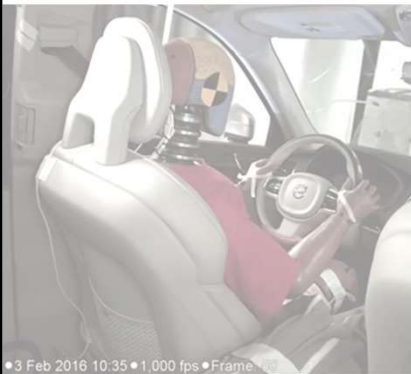


Echtzeitanwendung am Beispiel eines Airbagsteuergeräts

Gustav Willig | 197332

Marvin Köhler | 197327

David Wirth | 197333



Inhalt

1. Funktionsweise und Aufbau
2. Vorstellung der Tasks
3. Vorstellung des Präzedenzgraphen
4. Systemverhalten
5. Vorstellung der Programmcodes

Funktionsweise und Aufbau

Moderne Fahrzeuge kombinieren mehrerer Sicherheitssysteme

Aktive Sicherheitssysteme:

- Assistenzsysteme und Funktionen, welche kritische Situationen weitmöglichst vermeiden

Passive Sicherheitssysteme:

- Systeme, welche während eines Unfalls Fahrzeuginsassen und Unfallgegner schützen

In Fahrzeugen wird zwischen aktiven und passive Sicherheitssystem unterschieden ([3], S. 13):

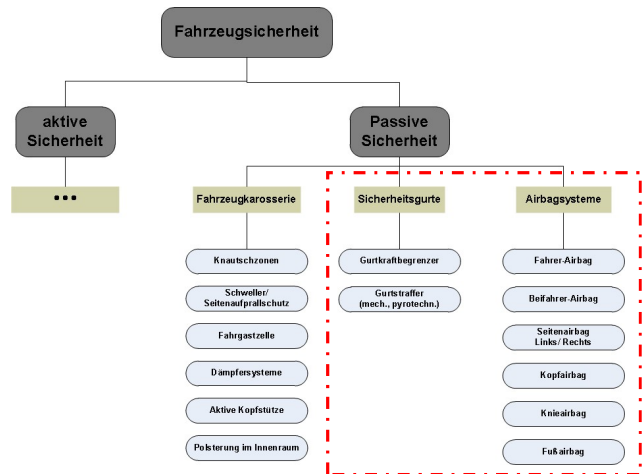
Aktive Sicherheitssysteme bezeichnet hierbei alle Assistenzsysteme und Funktionen, welche kritische Situationen/ Unfälle weitmöglichst zu vermeiden bzw. verhindern.

Passive Sicherheitssysteme bezeichnen alle Systeme, welche während eines Unfalls alle Fahrzeuginsassen und die Unfallgegner vor Verletzungen schützen.

Um ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten, müssen beide Bereiche optimal aufeinander abgestimmt sein. Daraus leiten sich komplexe Sicherheitssysteme für ein Fahrzeug ab. Die Ausarbeitung befasst sich ausschließlich mit den passiven Sicherheitskomponenten des Airbag-Systems. Dazu gehören unter anderem das Airbagsteuergerät, Satellitensensoren sowie Gurtsysteme und Airbag-Aktorik.

Funktionsweise und Aufbau

- Airbagsystem dient als zusätzliches Sicherheitssystem
- Optimale Abstimmung mit Gurtsystem und Karosserie-struktur erforderlich

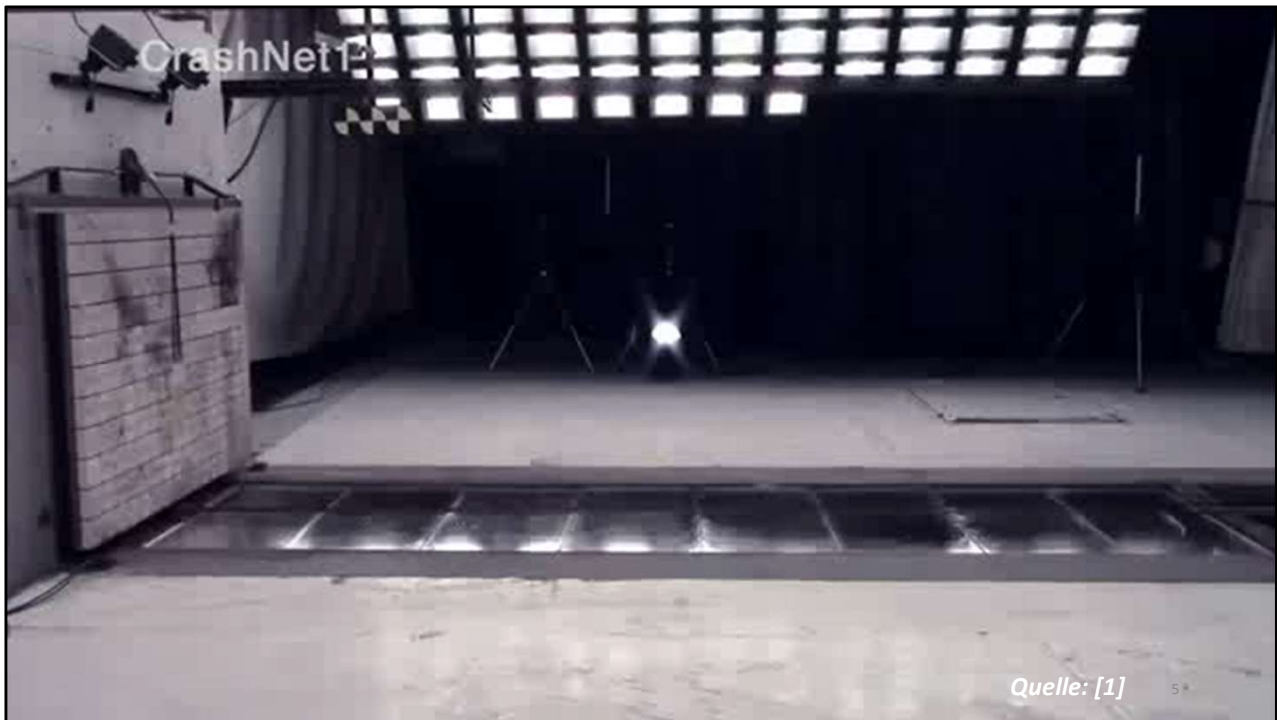


Funktionsweise und Aufbau | Vorstellung der Tasks | Präzedenzgraphen | Systemverhalten | Programmcodes

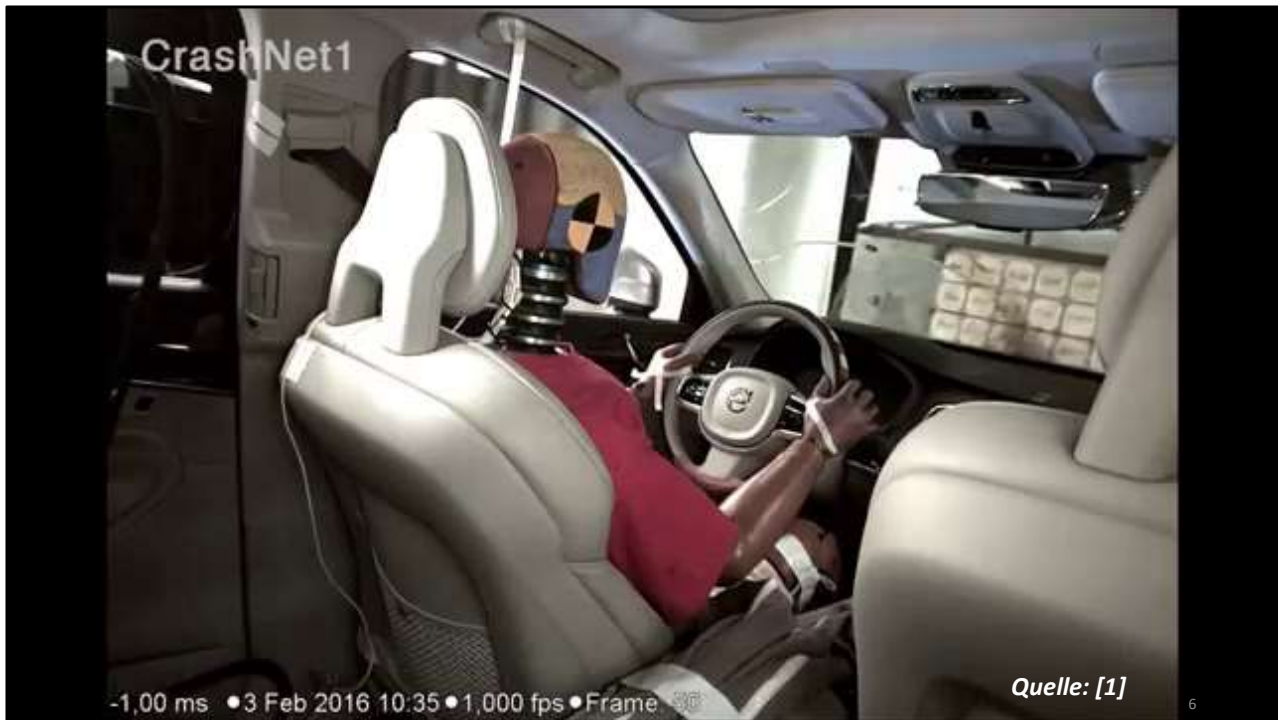
4

Mitte der 70er Jahre wurden ergänzend zum Sicherheitsgurt die ersten Airbag-Systeme in Fahrzeugen der Oberklasse eingesetzt [4]. Der Airbag dient dabei als zusätzliches Sicherheitssystem und unterstützt in seiner Funktion das Sicherheitsgurtsystem und die Karosseriestruktur.

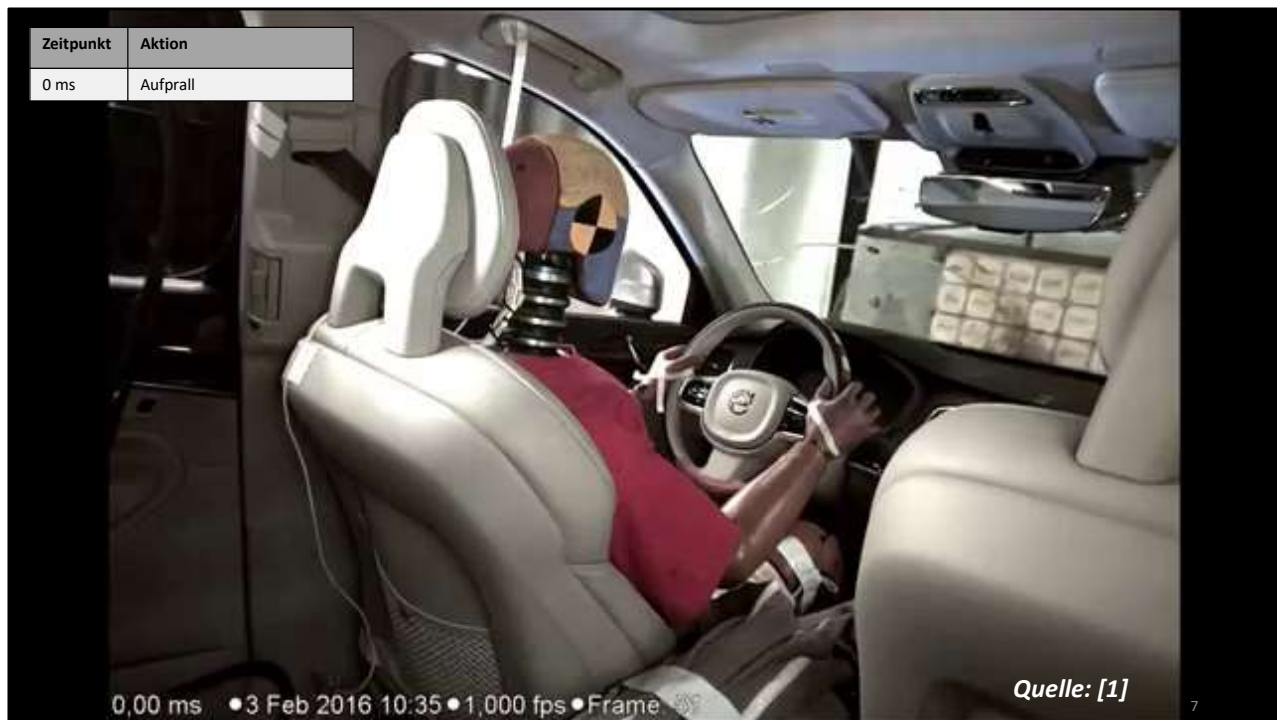
Schritt für Schritt erfolgten weitere Ausführungen und heute gehören 6-8 verschiedene Airbag-Systeme in Fahrzeugen der Mittelklasse zum Standard ([3], S. 5). Ohne angelegte Sicherheitsgurte oder Knautschzonen ist die Wirkung des Airbags beim Frontal-/Seitenaufprall, jedoch relativ gering ([3], S. 47).



Das Video zeigt einen frontalen Crashversuch der Kategorie 1 (Frontalcrash, 56km/h bzw. 35mph). Der Crashversuch entspricht dabei dem NCAP-Standard und ist Bestandteil der europäischen und amerikanischen Sicherheitsnormen ([3], S. 24).



Die Abbildung zeigt den Insassen des Fahrzeugs im Normalzustand kurz vor dem Aufprall.



Zum Zeitpunkt $t=0\text{ms}$ erfolgt der Aufprall des Fahrzeugs. Im Innenraum sind noch keine Aufprallfolgen wahrnehmbar.



Zum Zeitpunkt $t=12\text{ms}$ wurde der Crash vom Airbagsystem erkannt, klassifiziert und die Zündung des Gurtstraffers sowie des Airbags eingeleitet.

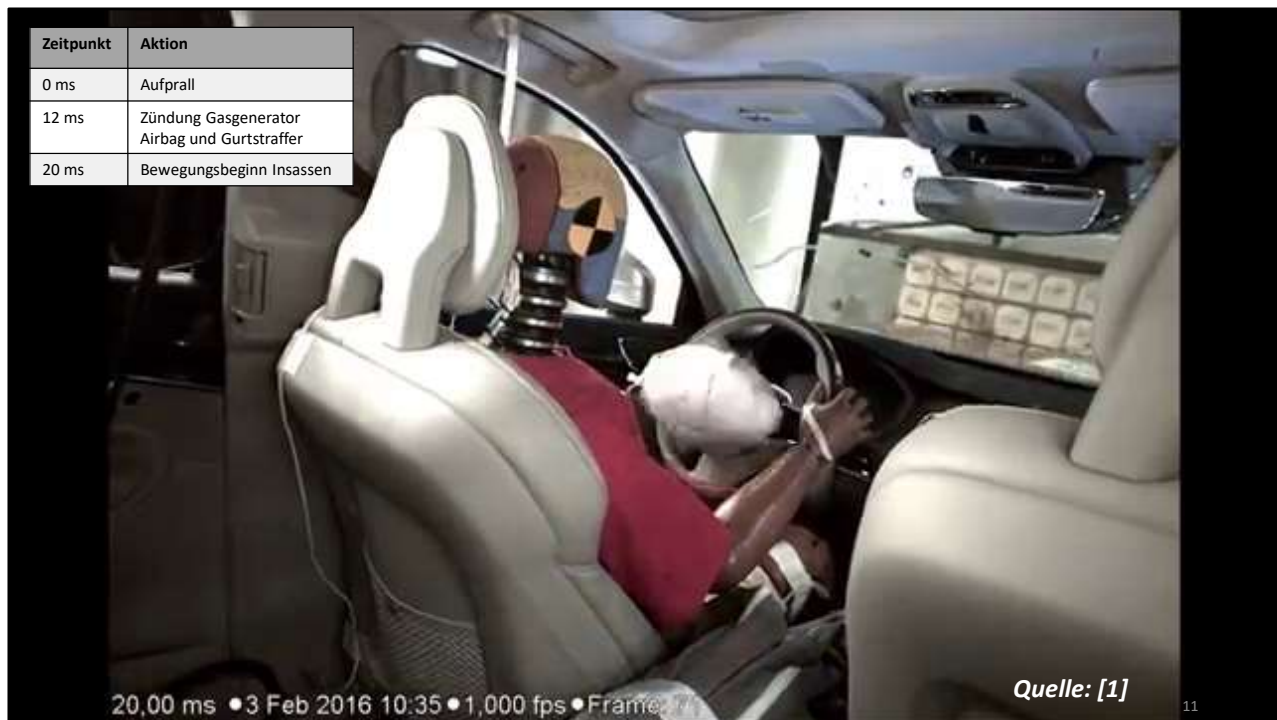
Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer



Quelle: [1]



Nach $t=19\text{ms}$ durchschlägt der Luftsack an einer vordefinierten Sollbruchstelle die Lenkradabdeckung.



20ms nach dem Aufprall beginnt der Insasse sich, dem Lenkrad zu nähern.

Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen



Quelle: [1]

12

Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen



13

Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen



Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen



33,00 ms • 3 Feb 2016 10:35 • 1,000 fps • Frame: 84

Quelle: [1]

15



Nach einer Zeitdauer von $t=40\text{ms}$ ist der Gurt vollständig gestrafft.

Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen
40 ms	Gurt vollständig gestrafft
50 ms	Airbag vollständig aufgeblasen



Nach $t=50\text{ms}$ ist der Airbag vollständig ausgeformt.



Nach einer Zeitdauer von $t=60\text{ms}$ taucht der Fahrer vollständig in den Airbag ein.

Zeitpunkt	Aktion
0 ms	Aufprall
12 ms	Zündung Gasgenerator Airbag und Gurtstraffer
20 ms	Bewegungsbeginn Insassen
40 ms	Gurt vollständig gestrafft
50 ms	Airbag vollständig aufgeblasen
60 ms	Fahrer taucht in Airbag ein



105,00 ms • 3 Feb 2016 10:35 • 1.000 fps • Frame 156

Quelle: [1]

19



Bei $t=145\text{ms}$ ist die maximale Eintauchtiefe des Fahrers in den Airbag erreicht.



Nach einer Zeitdauer von $t=310\text{ms}$ erreicht der Fahrer die ursprüngliche Ausgangsposition.

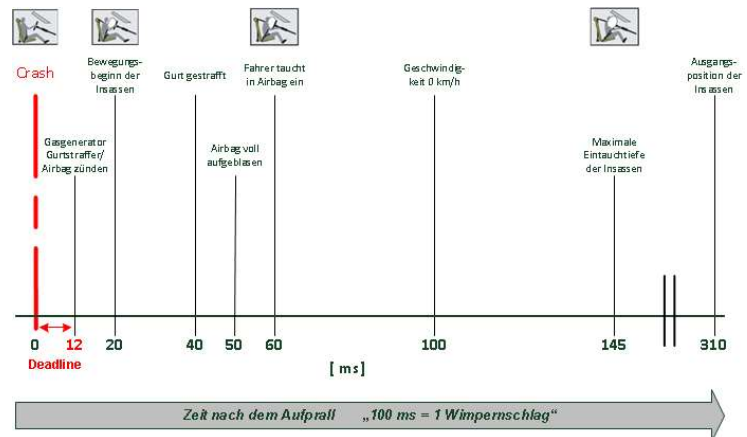
Funktionsweise und Aufbau

Zeitlicher Verlauf Airbagsystem

- Gesamtdauer von Aufprall bis Wiedererreichen Ausgangsposition 250-350 ms
- Gurtstraffer/ Airbag nach max. 12 ms ausgelöst

Deadline $t_D = 12\text{ ms}$ beinhaltet

- Kollisionserkennung
- Crashszenario ermitteln
- Zündzeitpunkt und Zündstufe berechnen
- Ansteuerung Aktorik (Gasgeneratoren Airbag + Gurtstraffer)



Der Graph veranschaulicht die zeitliche Abfolge der geschilderten Ereignisse auf einen Blick. Die Gesamtdauer des Aufpralls beträgt zwischen 250ms und 350ms. Für das zu entwickelnde Echtzeitsystem ist die Festlegung der Deadlines entscheidend. Diese Deadline liegt im hier dargestellten Beispiel bei $t=12\text{ms}$ nach dem Aufprall. Bis zu diesem Zeitpunkt muss das System also den Aufprall erkannt, klassifiziert und Maßnahmen eingeleitet haben. Zu diesen Maßnahmen zählen vor allem die Berechnung der Zündzeitpunkte und Zündstufe sowie die Einleitung des Zündvorgangs.

Echtzeitbedingungen

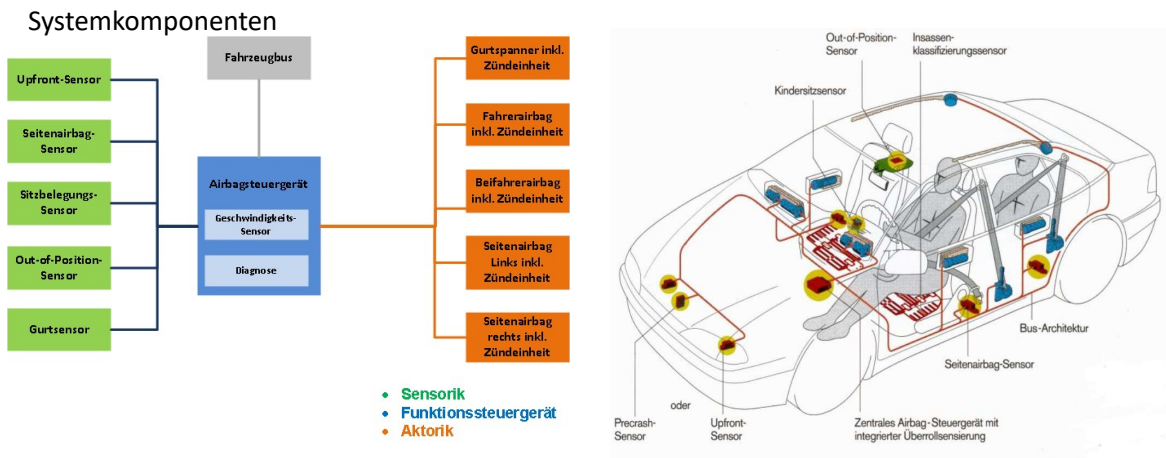
Überschreitung der Deadline

- führt zu unmittelbaren Gefährdung der Insassen
- Folgen: schwere Verletzungen, Verwundung, Tod
- Nichteinhalten der Deadline wird als Versagen des Systems gewertet
- **System besitzt harte Echtzeitanforderung**



Eine Verletzung der Zeitbedingung führt zu einer Katastrophe d.h. die Sicherheit des Fahrgastes ist in Gefahr. Eine Überschreitung der Deadline ist daher nicht tolerierbar. Die Folgen wäre eine schwere Verletzung, Verwundung oder der Tod der Insassen. Deswegen wird ein Nichteinhalten der Deadline als ein Versagen des Systems gewertet, d.h. das System besitzt eine harte Echtzeitanforderung.

Funktionsweise und Aufbau



Funktionsweise und Aufbau | Vorstellung der Tasks | Präzedenzgraphen | Systemverhalten | Programmcodes

24

Diese Abbildung zeigt die relevanten Komponenten des Airbag-Systems, sowie deren Positionierung im Fahrzeug. Die Sensorik befindet sich in Form sogenannter Satellitensensoren an mehreren Stellen im Fahrzeug. Sie ermöglichen eine Unterscheidung, ob es sich um einen Frontalzusammenstoß oder einen Seitenaufprall handelt. Das Airbagsteuergerät dient als zentraler Prozessor und ist neben dem Polling der Sensoren für die Auswertung, Diagnose und Kommunikation mit dem Gateway-Steuergerät verantwortlich. Die Aktorik beinhaltet den Gurtspanner, sowie die unterschiedlichen Airbags inkl. Deren Zündeinheiten.

Funktionsweise und Aufbau

Sensordaten ermitteln:

Upfront-Sensoren

- Geschwindigkeit über Gyroskop-Sensor ermitteln

Seitenairbag-Sensoren

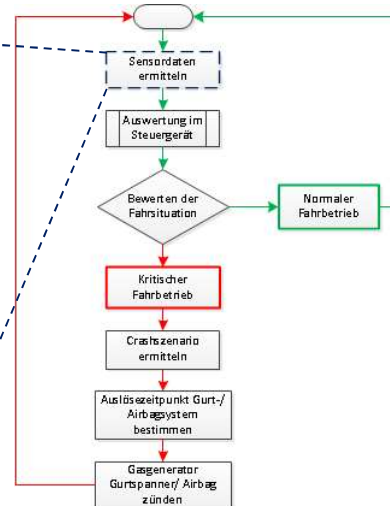
- Deformation in Crashrelevanten Karosserieteilen (Türen) erfassen

Sitzbelegung und Out-of-Position-Sensor

- Sitzbelegung und Sitzposition erfassen

Gurtsensor

- Gurtbelegung und Spannung



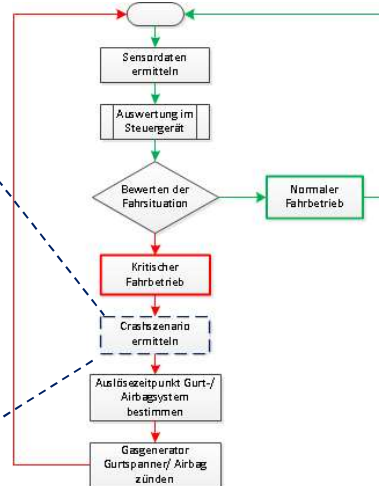
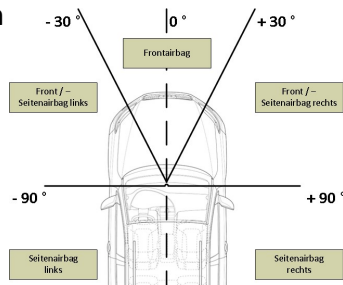
Diese Abbildung zeigt den Ablaufplan des Programms sowie die Erklärung des Tasks „Sensordaten ermitteln“.

Funktionsweise und Aufbau

Crashszenario:

Crashbereich anhand Aufprallwinkel

- Frontalcrash
- Offsetcrash
- Seitencrash



Anhand des Aufprallwinkels wird dann ermittelt welche Art von Crash vorliegt.

Funktionsweise und Aufbau

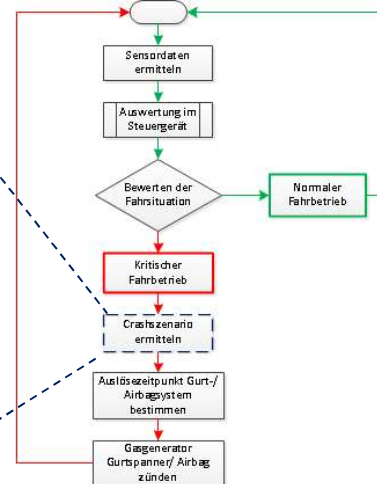
Crashszenario:

Crashschwere anhand
Geschwindigkeit und G-Kräften

leichter Unfall: keine Airbags ausgelöst

mittlerer Unfall: Airbags in der ersten
Stufe ausgelöst

schwerer Unfall : Airbags in der 1.+ 2.
Stufe ausgelöst



Die Beurteilung der Crashschwere erfolgt anhand der Geschwindigkeit und G-Kräfte. Dabei wird bei modernen Airbags zwischen mehreren Zündstufen unterschieden. Dadurch ist es möglich das Volumen bzw. Aggressivität des Airbags an die jeweilige Aufprallsituation anzupassen.

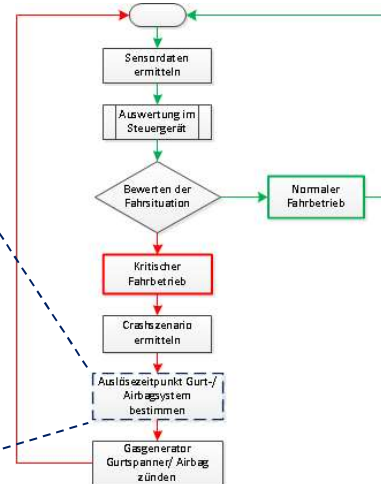
Es wird unterschieden zwischen einem leichten, mittleren und schweren Unfall. Der Gurtspanner wird in jedem Fall ausgelöst.

Funktionsweise und Aufbau

Auslösezeitpunkt bestimmen:

- Auslösezeitpunkt Gurtspanner anhand Sitzbelegung und Sitzposition ermitteln
- Zündzeitpunkt und Zündstufe des auszulösenden Airbags ermitteln

Gurtspanner stellt aufrechte Sitzposition sicher bevor Airbag aufgeblasen ist.

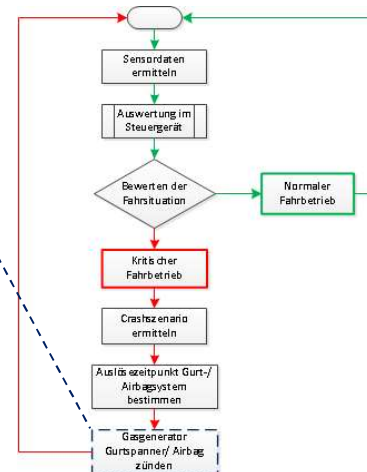


In Abhängigkeit von der Sitzbelegung und –position erfolgt die Ermittlung des Auslösezeitpunkts für den Gurtspanner. Zudem wird auch der Zündzeitpunkt und Zündstufe des auszulösenden Airbags ermittelt.

Funktionsweise und Aufbau

Gasgeneratoren zünden:

- Gurt um bis zu 14 cm gespannt
- Luftsack aufblasen
- Zusammenfallen während des Eintauchens



Durch die Zündung des Gurtspanners wird der Gurt um bis zu 14 cm gespannt. Im nächsten Schritt wird der Gasgenerator des jeweiligen Airbags gezündet. Die Ermittlung des Zündzeitpunkts des Airbags stellt dabei sicher, dass der Luftsack kurz vor dem Eintauchen des Insassen vollständig ausgeformt ist.

Vorstellung der Tasks

Periodische Tasks

- Erfassung der Sensor-Messwerte
- Auswertung der gemessenen Größe
- Sitzbelegung, Sitzposition bewerten
- Diagnosefunktion

Task-Nr

T5
 T4
 T6
 T7

• Auslastung:

$$u_T = \frac{e_i}{p_i} \quad U = \sum_{i=1}^n u_T = 60,0\%$$

Task	Periode	Execution Time	Auslastung
T4	5	1	20,0%
T5	5	1	20,0%
T6	10	1	10,0%
T7	100	10	10,0%
Totale Auslastung:			60,0%

Die zyklische abzuarbeitenden Tasks werden in fest definierten Perioden aufgerufen.
 Bei Echtzeitsystemen muss darauf geachtet werden, dass die Auslastung des Systems unter 100% liegt, um die aperiodische auftretende Tasks abarbeiten zu können.
 Im hier vorliegenden System beträgt die Auslastung $u=60\%$.

Vorstellung der Tasks

Aperiodische Tasks	Task-Nr
▪ Zündzeitpunkt und Zündstufe von Gurtspanner und Airbag ermitteln	T3
▪ Gasgenerator Gurtspanner auslösen	T1
▪ Gasgenerator Airbag auslösen	T2

Hier werden die aperiodischen Tasks vorgestellt. Diese werden vom Scheduler ereignisbasiert eingelastet und verdrängen die periodischen Tasks.

Vorstellung der Tasks

Wirkungsweise von Airbag Systemen bestimmt durch das Zusammenspiel von

- Sensoren und Aktoren
- Prozessor & Peripherie
- Bus-Controller

Airbagsteuergerät als zentraler Controller

Kürzel	Bezeichnung	Anzahl
A	Prozessor & Peripherie	1
B	Buscontroller (CAN-Controller + Tranceiver)	1
C	Satellitensensoren	5
D	Interne Sensoren	1
E	Gasgenerator Gurtstraßer	2
F	Gasgenerator Airbag	4

Ressourcen

In Anlehnung an die vorgestellte Wirkungsweise, lassen sich die verwendeten Sensoren, Prozessoren und Aktoren in die dargestellten Subsysteme einteilen. Diese spiegeln die Ressourcen des hier behandelten Echtzeitsystems.

Vorstellung der Tasks

Kürzel:	T1	T2	T3	T4	T5
Name:	Gasgenerator Gurtspanner auslösen	Gasgenerator Airbag auslösen	Zündzeitpunkt und Zündstufe des Airbags und Gurtspanner ermitteln	Auswertung der gemessenen Größen	Erfassung der Sensormesswerte
Priorität statisch:	1	2	2	3	3
Periodisch:	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Periodendauer T [ms]	-	-	-	5	5
Execution Time t_{WECT} [ms]	1	1	2	1	1
Ressourcen:	A, E	A, F	A	A, C, D	A, C, D
Abhängigkeiten:	T3	T1, T3	T4, T6	T5	-

Die Taskübersicht ist geordnet nach der statistischen Priorität. Deren Zuordnung orientiert sich am Constant Ratio Mapping Verfahren aus der Vorlesung und erfüllt die Anforderung aus der Aufgabenstellung nur halb so viele Prioritäten zu vergeben wie es Tasks gibt.

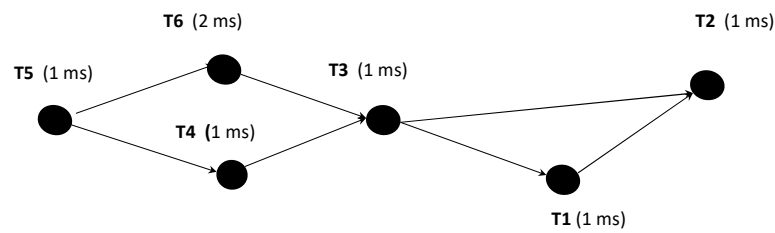
Die Auswahl von Task mit der gleicher statischen Priorität erfolgt durch die Abhängigkeit der einzelnen Ergebnisse.

Vorstellung der Tasks

Kürzel:	T6	T7
Name:	Sitzbelegung, Sitzposition bewerten	Diagnosefunktion
Priorität statisch:	3	3
Periodisch:	Ja	Ja
Periodendauer T [ms]	10	1000
Execution Time t_{WECT} [ms]	1	10
Ressourcen:	A, C	A, B, C, D, E, F
Abhängigkeiten	T5	-

Diese Folie zeigt die restlichen Tasks.

Präzedenzgraph



	Task
Erfassung der Sensor-Messwerte	T5
Auswertung der gemessenen Größe	T4
Sitzbelegung, Sitzposition bewerten	T6
Zündzeitpunkt und Zündstufe des Airbags und Gurtspanner ermitteln	T3
Gasgenerator Gurtspanner auslösen	T1
Gasgenerator Airbag auslösen	T2
Diagnosefunktion	T7

Der Präzedenzgraph zeigt die zeitlichen Abhängigkeiten der Tasks. Voraussetzung für die Ausführung eines neuen Tasks ist demnach das vorliegende Ergebnis des Vorgängers.

Eigenschaften des Scheduler

Online Scheduling

- Zur Laufzeit sind Reaktionen auf externe Ereignisse möglich. Die Verarbeitung erfolgt im darauf folgenden Programmzyklus.
- Neuplanung der Tasks

Zyklisches Verhalten

- Scheduling der zyklischen Tasks erfolgt zeitgesteuert
- Periodischer Auswertezyklus und Diagnosezyklus
- Im Crashfall aperiodische Tasks

Scheduler arbeitet verdrängend

- Externes Ereignis verdrängt periodische Tasks
- Preemptives Scheduling der Diagnosefunktion, restliche Tasks vollständig bearbeitet

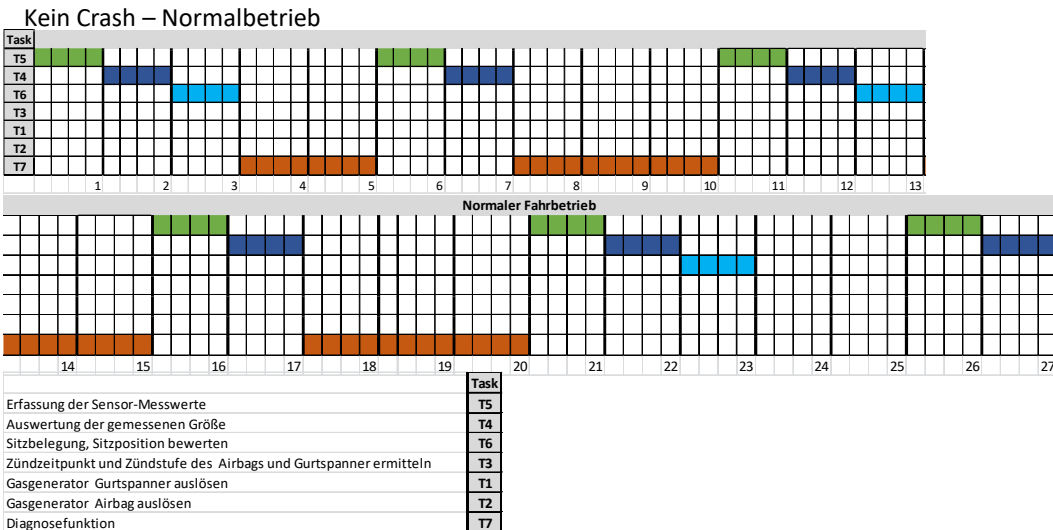
Statische Prioritätenvergabe

- Zuteilung der Ressourcen/ Betriebsmittel erfolgt aufgrund fest vergebener Prioritäten
- Vergabe der Prioritäten nach dem Constant Ratio Mapping

Um die zeitlichen Anforderungen der Echtzeitanwendung gewährleisten zu können, wird ein Scheduler eingesetzt. Es handelt sich hierbei um einen online Scheduler, d.h. die Reihenfolge der abzuarbeitenden Tasks wird während der Laufzeit dynamisch entschieden.

Der Scheduler arbeitet dabei zeit- oder Ereignisgesteuert. Die periodischen Tasks sind dabei zeitgesteuert, die aperiodischen Tasks werden von externen Ereignissen eingeleitet und verdrängen die periodischen Tasks.

Systemverhalten



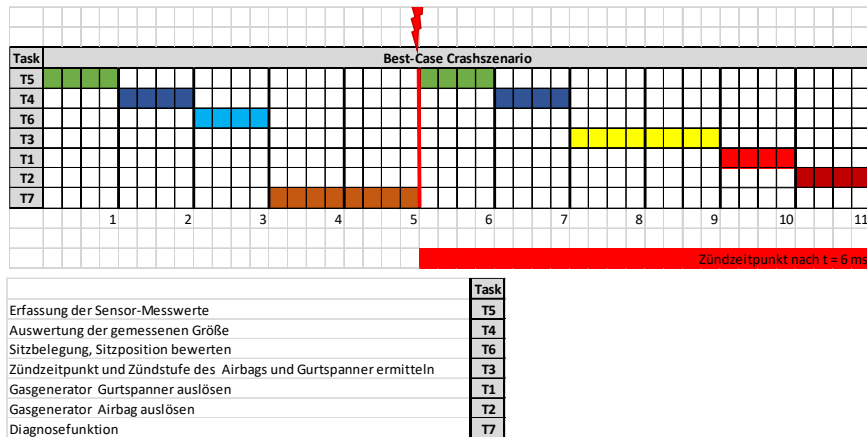
Funktionsweise und Aufbau | Vorstellung der Tasks | Präzedenzgraphen | **Systemverhalten** | Programmcodes

38

Diese Folie zeigt den Ablauf der einzelnen periodischen Tasks im normalen Fahrbetrieb. Gut zu sehen ist, dass die Diagnosefunktion immer wieder verdrängt wird bis zur vollständigen Ausführung. Aufgrund der hohen Periodendauer von 100 ms der Diagnosefunktion hat das System eine geringe Systemauslastung.

Systemverhalten

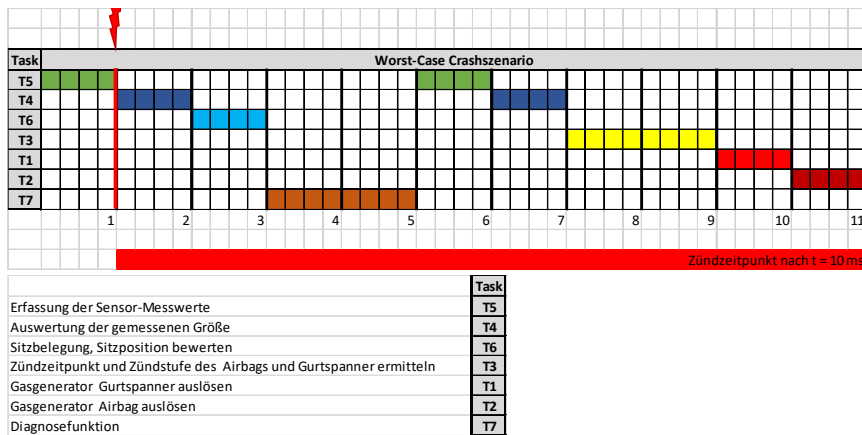
Crash – Best Case Szenario



Diese Folie zeigt den Best-Case im Unfallszenario, d.h. der Unfall erfolgt unmittelbar nach der Diagnosefunktion und vor der Erfassung der Messwerte, dadurch wird der Crash im selben Periodenzyklus erkannt. Der Zündzeitpunkt liegt dann bei $t = 6 \text{ ms}$.

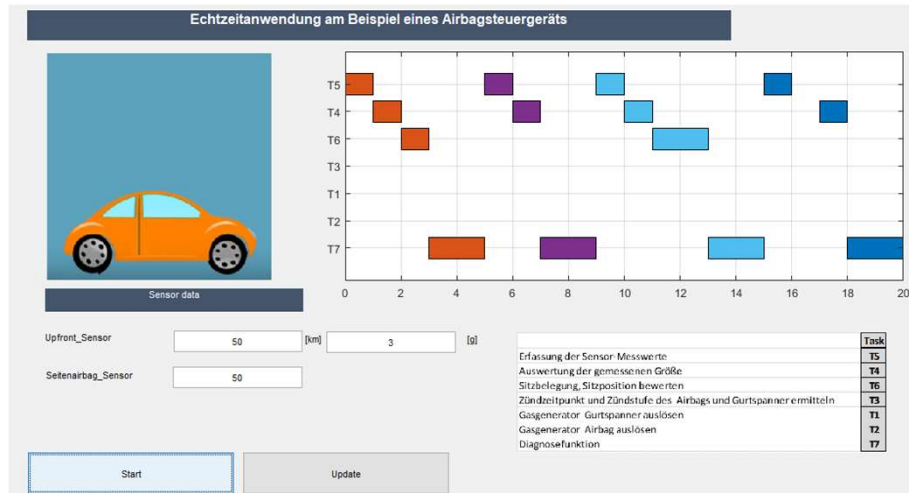
Systemverhalten

Crash – Worst Case Szenario



Im Worst-Case Unfallszenario erfolgt der Unfall kurz nach der Erfassung der Messwerte, dadurch dauert es einen gesamten Zyklus bis der Unfall vom System erkannt wird. Der Zündzeitpunkt liegt dann bei $t=10 \text{ ms}$.

Live - Demonstration



Funktionsweise und Aufbau | Vorstellung der Tasks | Präzedenzgraphen | Systemverhalten | **Programmcodes**

41

Im Nachfolgenden wird der Scheduler für das Airbag-System gezeigt.

Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] CrashNet1, *2016 Volvo XC90 Crash Test (Frontal Crash)*. 2016.
- [2] DasErste, "Fahren ohne Gurt," 2012. [Online]. Available: <http://www.daserste.de/information/ratgeber-service/auto-reise-verkehr/sendung/swr/2012/fahren-ohne-gurt-100.html>.
- [3] U. Rocosch, *Airbag und Gurtstraffer*, 1st ed. Würzburg: Vogel Fachbuch, 2002.
- [4] HELLA GmbH & Co. KGaA, "AIRBAG SYSTEM - AUFBAU & FUNKTIONSWEISE," 2018. [Online]. Available: <https://www.hella.com/techworld/de/Technik/Elektrik-Elektronik/Airbag-System-3083/#>. [Accessed: 14-Jan-2018].
- [5] J. Wiesinger, "KFZ-Tech: Airbag," 2018. [Online]. Available <https://www.kfztech.de/kfztechnik/sicherheit/airbag/airbag3.htm>. [Accessed: 14-Jan-2018].