

## 6 Die Auslösealgorithmen

Der Luftsack wird durch ein Programm ausgelöst, das Messdaten in digitalisierter Form einliest, auswertet und bei Bedarf ein Auslösesignal ausgibt. Zur Unterscheidung von anderen „Verfahren“, von denen in dieser Arbeit die Rede ist, wird die Bezeichnung „Algorithmus“ gewählt.

In Kapitel 4 wurde der Algorithmus definiert als eine Funktion  $\text{Algo}$ , die aus einem Kollisionsdatensatz  $c$  des Ereignisraums  $C$  den Auslösezeitpunkt  $t$  berechnet.

$$\text{Algo}(c) : C \rightarrow [0, T_c] \cup \{\infty\} \quad (33)$$

Da sich die Bewertung jeweils auf einen zeitlich begrenzten Datensatz bezieht, war dies eine sinnvolle Festlegung. Die im Fahrzeug verwendeten Auslösealgorithmen arbeiten jedoch auf einem zeitlich unbegrenzten Datenstrom und liefern zu jeder Zeit ein binäres Signal. Nach dieser Betrachtung handelt es sich um eine Funktion

$$\text{Algo}(t) : \text{Zeit} \rightarrow \{0, 1\} \quad (34)$$

Diese Festlegung ist für die Beschreibung der Funktionsweise besser geeignet. Der Zusammenhang zwischen den beiden Funktionen ist:

$$\text{Algo}(c) = \begin{cases} t & \text{wenn } \text{Algo}(t) = 1 \text{ und } \text{Algo}(\tau) = 0 \text{ für } \tau < t \\ \infty & \text{sonst} \end{cases} \quad (35)$$

Dieser Zusammenhang gilt sowohl für das kontinuierliche wie für das diskretisierte Modell.

### 6.1 Algorithmenentwicklung

Die Entwicklung eines Algorithmus kann durch zwei grundsätzliche Vorgehensweisen erfolgen, einer theoretischen und einer praktischen.

Die rein deduktive Entwicklung basiert auf einer Modellierung des Fahrzeugs. Aus ihr lassen sich die zu erwartenden Messsignale und das Wunschverhalten

ableiten. Eingangs- und Ausgangssignale werden in eine mathematische Beziehung gesetzt und der Algorithmus auf diese Weise an das Fahrzeug angepasst. Diese Methode verwendet keine Kollisionsversuche.

Diese Vorgehensweise könnte auch auf der Grundlage der hier vorgestellten Modellierung deduktiv erfolgen (Kapitel 3). Dies wurde aus folgenden Gründen nicht weiterverfolgt:

- Nicht nur das Ergebnis, sondern die Vorgehensweise selbst wird durch die Kennlinie zur Charakterisierung eines Fahrzeugtyps stark beeinflusst. Es gibt daher grundsätzliche Unterschiede zwischen einer konstanten Verzögerung, einer Verzögerung mit linear oder reziprok zum Weg ansteigenden Kraft. Für eine beliebig festlegbare Kennlinie eignet sich nur eine numerische Lösung.
- Da sich die Kennlinien nicht in den Fahrzeugtypen unterscheiden, sondern auch bei einem einzelnen Fahrzeugtyp die verschiedenen Kollisionsarten charakterisieren, müssten alle Fälle getrennt behandelt werden. Für die verschiedenen Kollisionsarten wären dann Fallunterscheidungen zu treffen, für die wiederum Kriterien abgeleitet werden müssten. Ob solche Kriterien überhaupt bestehen, hängt wiederum von den Kennlinien ab.

Die rein praktische Vorgehensweise verwendet ausschließlich Kollisionsversuche. Der Algorithmus wird aufgrund von Beobachtungen des Messsignals so angepasst, dass er dem Wunschverhalten, welches ebenfalls praktisch ermittelt wird, möglichst nahe kommt. Diese Vorgehensweise erfordert sehr hohe Datenmengen.

In dieser Arbeit werden drei Algorithmen zur Auslösung untersucht. Der erste wurde für die folgenden Robustheitsuntersuchungen entwickelt, einer entstammt der Literatur und ein Algorithmus wird bereits in Fahrzeugen eingesetzt.

Der hier entwickelte Algorithmus basiert auf einer Mischung aus praktischer und theoretischer Vorgehensweise. Anhand der physikalischen Modellierung aus Kapitel 3 werden Kriterien abgeleitet, die unabhängig vom Fahrzeugtyp starke Aussagekraft für den Kollisionsverlauf liefern. Diese sind parametrisiert durch Schwellen und Filterbreiten und werden mittels der Messdaten an

einen Fahrzeugtyp angepasst. Die theoretischen Erkenntnisse wurden ausgiebig an praktischen Beispielen validiert.

## 6.2 Beschleunigungsbasierte Algorithmen

Für diese Arbeit standen ausschließlich Beschleunigungsdaten zur Verfügung, die auf einem synchronen Datenstrom arbeiten. Das kontinuierliche Signal über der Zeit wird diskret und mit konstanter Rate abgetastet. Abbildung 47

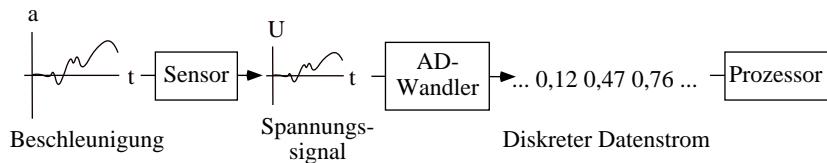


Abbildung 47: Aufbereitung der Beschleunigungsdaten

veranschaulicht die Datenaufbereitung. Die tatsächliche Beschleunigung am Steuergerät wird durch einen Piezo-Sensor in ein Spannungssignal gewandelt. Dieses Signal wird von einem Analog-Digitalwandler (AD-Wandler) in konstanten Zeitschritten abgetastet und in digitaler Form dem Prozessor zur Verfügung gestellt. Die Weiterverarbeitung erfolgt durch Software.

### Algorithmus 1

Der folgende Algorithmus folgt zwei Grundsätzen.

1. Er beschränkt sich auf drei Kriterien, die durch wenige Stellwerte parametrisiert sind. Dadurch wird die Optimierung erleichtert. Außerdem verhindert dies, dass der Algorithmus die Kollisionsdaten und das Wunschverhalten „auswendig lernt“. Eine Abschätzung über die sinnvolle Komplexität erfolgt im nächsten Kapitel.
2. Die Auswahl der Kriterien ist aus der physikalischen Modellierung abgeleitet.

Für den Algorithmus wird ein klassischer Ansatz verwendet. Das Signal wird auf drei verschiedene Arten aufbereitet und jeweils mit einer Schwelle  $S_i$  verglichen. Die Schwellenüberschreitungen werden mit einer bool'schen Funktion zu einem Gesamtkriterium verknüpft. Abbildung 48 verdeutlicht das Schema.

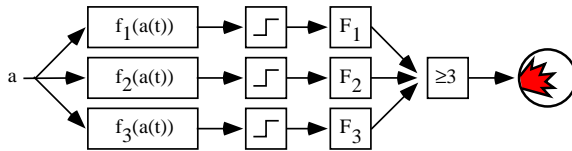


Abbildung 48: Einfacher Auslösealgorithmus (Algorithmus 1)

Die bool'sche Verknüpfung ist parametrisiert durch die Gewichtungsfaktoren  $F_1$ ,  $F_2$  und  $F_3$ . Sie können jeweils die Werte 0, 1, 2 und 3 annehmen. Abbildung 49 zeigt die Gewichtungsparameter und die zugehörige Bool'sche Verknüpfung.

Verknüpfung	Gewichtung		
	$F_1$	$F_2$	$F_3$
$F_1$	3	0	0
$F_1 \wedge F_2$	2	2	0
$F_1 \vee F_2$	3	3	0
$F_1 \wedge F_2 \wedge F_3$	1	1	1
$F_1 \vee F_2 \vee F_3$	3	3	3
$(F_1 \wedge F_2) \vee F_3$	2	2	3
$(F_1 \vee F_2) \wedge F_3$	1	1	2
2 aus 3	2	2	2

Abbildung 49: Bool'sche Verknüpfung

Der Algorithmus lautet somit

$$\text{Algo}(t) = \sum_{i=1}^3 (F_i \cdot (f_i(a(t)) \geq S_i)) \geq 3 \quad (36)$$

Die Wahrheitswerte 0 und 1 werden als natürliche Zahlen behandelt.

Es stellt sich nun die Frage, welche Signalaufbereitung  $f_i$  sinnvoll ist.

Der Algorithmus soll dem einfachen Grundsatz folgen: Je höher die Aufprallgeschwindigkeit  $v_0$ , desto früher muss die Auslösung erfolgen.

Die Schwierigkeit besteht nun darin, aus dem Beschleunigungssignal  $a$  Schlüsse auf  $v_0$  zu ziehen. Um die Information des Beschleunigungssignals bestmöglich zu nutzen, ist es sinnvoll, das kontinuierliche Signal theoretisch mit Hilfe des physikalischen Modells zu betrachten. Die naheliegendste Größe ist natürlich das Beschleunigungssignal selbst. Notwendige Bedingung für eine Auslösung ist sicher eine gemessene Verzögerung. Daher wird die gefilterte Beschleunigung als eine charakteristische Größe verwendet.

$$f_1(a(t)) = \frac{\int_{t-\Delta t_{f_1}}^t a(t) dt}{\Delta t_{f_1}} \quad (37)$$

Allerdings erhöhen sich die Beschleunigungswerte in der Anfangsphase häufig gar nicht oder nur unwesentlich, sondern ändern sich nur in schnellerer Abfolge (Ziehharmonika-Effekt). Dadurch können in vielen Fällen geringe und hohe Aufprallgeschwindigkeiten an Hand dieser Größe nicht direkt unterschieden werden. Weitere Kriterien sind daher notwendig.

Betrachtet man den zeitlichen Verlauf (Gleichung 7), so erkennt man, dass sich durch Ableitung des Signals die Geschwindigkeit extrahieren lässt.

$$\dot{a}(t) = \frac{F'(s(t))\dot{s}(t)}{m} = \frac{F'(s(t))}{m} \cdot v(t) \quad (38)$$

In den ersten Millisekunden des Kollisionsverlaufs, also besonders innerhalb der Auslösezeit, ist  $v(t) \approx v_0(t)$ . Somit ergibt sich eine Proportionalität zu  $v_0$ . Daher besitzt diese Größe eine hohe Korrelation mit  $v_0$  und wird als zweites Auslösekriterium verwendet.

$$f_2(a(t)) = a(t) - a(t - \Delta t_{f_2}) \quad (39)$$

Auch in der Variation des Signals findet sich der Faktor  $v_0$  in ähnlicher Weise. Die Variation bezeichnet den aufsummierten Betrag der Änderungen einer

Funktion:

$$f_3(a(t)) = \frac{\int_{t-\Delta t_{f_3}}^t |\dot{a}(t)| dt}{\Delta t_{f_3}} = \frac{\int_{t-\Delta t_{f_3}}^t \frac{|F'(s(t))|}{m} \cdot |v(t)| dt}{\Delta t_{f_3}} \quad (40)$$

Die Ableitung der Kraftkennlinie und die Geschwindigkeit gehen als Betrag in die Größe ein. Dadurch führen auch negative Änderungen in der Kennlinie zur Vergrößerung von  $f_3$ . Außerdem werden bei Heckkollisionen ähnliche Signale erzeugt wie bei Frontalkollisionen. Durch die Kombination mit den ersten beiden Kriterien ist dies jedoch unerheblich.

Diese genannten Kriterien wurden in diskretisierter Form für den Algorithmus verwendet. Sie wurden an den vorhandenen Datensätzen separat getestet und bestätigen die theoretischen Überlegungen.

Der Algorithmus besteht somit aus neun Parametern: drei Filterbreiten, drei Schwellen und drei Gewichtungen. Er wurde für die Optimierungs- und Robustheitsuntersuchungen verwendet.

### Algorithmus 2: Fuzzyalgorithmus

In verschiedenen Quellen werden Fuzzy-Algorithmen für die Luftsackauslösung untersucht [27] [20] [28] [29]. Stellvertretend wurde einer davon implementiert, siehe Abbildung 50. Dieser Algorithmus arbeitet mit drei Eingängen

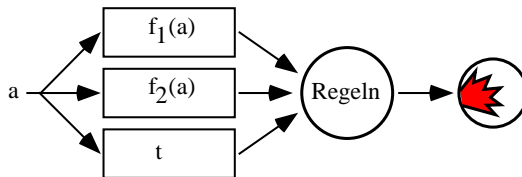


Abbildung 50: Auslöseverfahren mit unscharfer Logik [27]

und einem Ausgang für die Auslösung. Zwei Eingangsgrößen sind Ableitungen des geglätteten Beschleunigungsverlaufs. Ihnen wird ein Grad der Zugehörigkeit zu den unscharfen Wertigkeiten niedrig, mittel und hoch zugeordnet.

Die dritte Größe ist die Zeit seit erstmaligem Überschreiten einer bestimmten Beschleunigungsschwelle, also die Dauer der Kollision. 26 verschiedene Regeln der folgenden Art entscheiden über die Auslösung.

$$\text{if}(f_1(a) = \text{mittel}) \wedge (f_2(a) = \text{mittel}) \wedge (t = \text{mittel}) \text{ then fire}$$

### **Algorithmus 3: Originalalgorithmus**

Für die Optimierung stand auch ein von der Firma BOSCH verwendeter Algorithmus zur Verfügung, der bereits in verschiedenen Fahrzeugtypen eingesetzt wird. Da es sich um ein industrielles Produkt handelt, ist er nicht veröffentlicht. Er lag auch für diese Arbeit nur in maschinenübersetzter Form vor. Der Quelltext konnte nicht eingesehen werden.

Der Algorithmus besteht aus etwa 100 Parametern verschiedener Art. Eingangssignal ist die eindimensionale Beschleunigung. Abgeleitete Größen wie gefilterte Beschleunigung, Variation, Geschwindigkeit und Weg werden mit Schwellen verglichen. Verwendet wird außerdem die Crashedauer nach Überschreiten einer Beschleunigungsschwelle. Anhand des Beschleunigungsverlaufs getroffene Fallunterscheidungen klassifizieren zu Kollisionsbeginn verschiedene Unfallarten. Für verschiedene Unfallarten wählt der Algorithmus verschiedene Auslöseschwellen.

## **6.3 Vergleich der Algorithmen**

Abbildung 51 zeigt die Bewertungen der vorgestellten Algorithmen für die zehn Fahrzeugtypen. Es ist deutlich zu sehen, dass die Unterschiede zwischen dem Verhalten der verschiedenen Algorithmen gering sind, verglichen mit den unterschiedlichen Bewertungen der Fahrzeugtypen. Daraus ist zu folgern, dass die Wahl des Algorithmus kaum Einfluss auf das Auslöseverfahren hat. Alle verwendeten Algorithmen sind durch eine ausreichende Zahl an Parametern hinreichend gut an die Datensätze anpassbar. Eine ausschließliche Verbesserung der Algorithmen, also der Software, verspricht daher keinen großen Nutzen für das System. Stattdessen ist es erforderlich, die Hardware, also möglicherweise die Zahl und die Art der Sensoren und deren Anbringung am Fahrzeug zu ändern.

	Zielfunktion Z		
	Algo 1	Algo 2	Algo 3
Typ 1	0,012	0,015	0,010
Typ 2	0,047	0,012	0,065
Typ 3	0,003	0,005	0,033
Typ 4	0,002	0,003	0,001
Typ 5	0,016	0,039	0,010
Typ 6	0,000	0,006	0,000
Typ 7	0,032	0,042	0,002
Typ 8	0,062	0,042	0,076
Typ 9	0,000	0,007	0,004
Typ 10	0,111	0,088	0,082

Abbildung 51: Optimierungsergebnisse

Die folgenden Robustheitsbetrachtungen werden ausschließlich mit Algorithmus 1 durchgeführt.