

Fahrerassistenzsysteme im Kraftfahrzeug

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp



Vorlesungsübersicht

01 Einführung 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	01 Einführung 28.04.2022 – Prof. Lienkamp	01 Übung Einführung 28.04.2022 – Hoffmann
02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp	02 Sensorik / Wahrnehmung I 05.05.2022 – Prof. Lienkamp
03 Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	03 Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	03 Übung Sensorik / Wahrnehmung II 12.05.2022 – Schimpe
04 Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe	04 Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe	04 Übung Sensorik / Wahrnehmung III 19.05.2022 – Schimpe
05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	05 Funktionslogik / Regelung 02.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler
06 Übung Funktionslogik / Regelung 09.06.2022 – Dr.-Ing. Winkler	06 Funktionale Systemarchitektur 09.06.2022 – Prof. Lienkamp	06 Aktorik 09.06.2022 – Prof. Lienkamp
07 Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic	07 Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic	07 Übung Deep Learning 23.06.2022 – Majstorovic
08 MMI 30.06.2022 – Prof. Bengler	08 MMI 30.06.2022 – Prof. Bengler	08 MMI Übung 30.06.2022 – Prof. Bengler
09 Controllability 07.07.2022 – Prof. Bengler	09 Controllability 07.07.2022 – Prof. Bengler	09 Übung Controllability 07.07.2022 – Winkle
10 Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	10 Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Dr.-Ing. Diermeyer	10 Übung Entwicklungsprozess 14.07.2022 – Hoffmann
11 Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	11 Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig	11 Übung Analyse und Bewertung FAS 21.07.2022 – Dr.-Ing. Feig
12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp	12 Aktuelle und künftige Systeme 28.07.2022 – Prof. Lienkamp

Übung Analyse und Bewertung FAS

Dr.-Ing. Philip Feig

Agenda

1. Wiederholung
2. Aufgabe zu Unfallrekonstruktion und Verletzungsrisikofunktionen zur prospektiven Bestimmung von FAS
3. Aufgabe zur retrospektiven Analyse von FAS



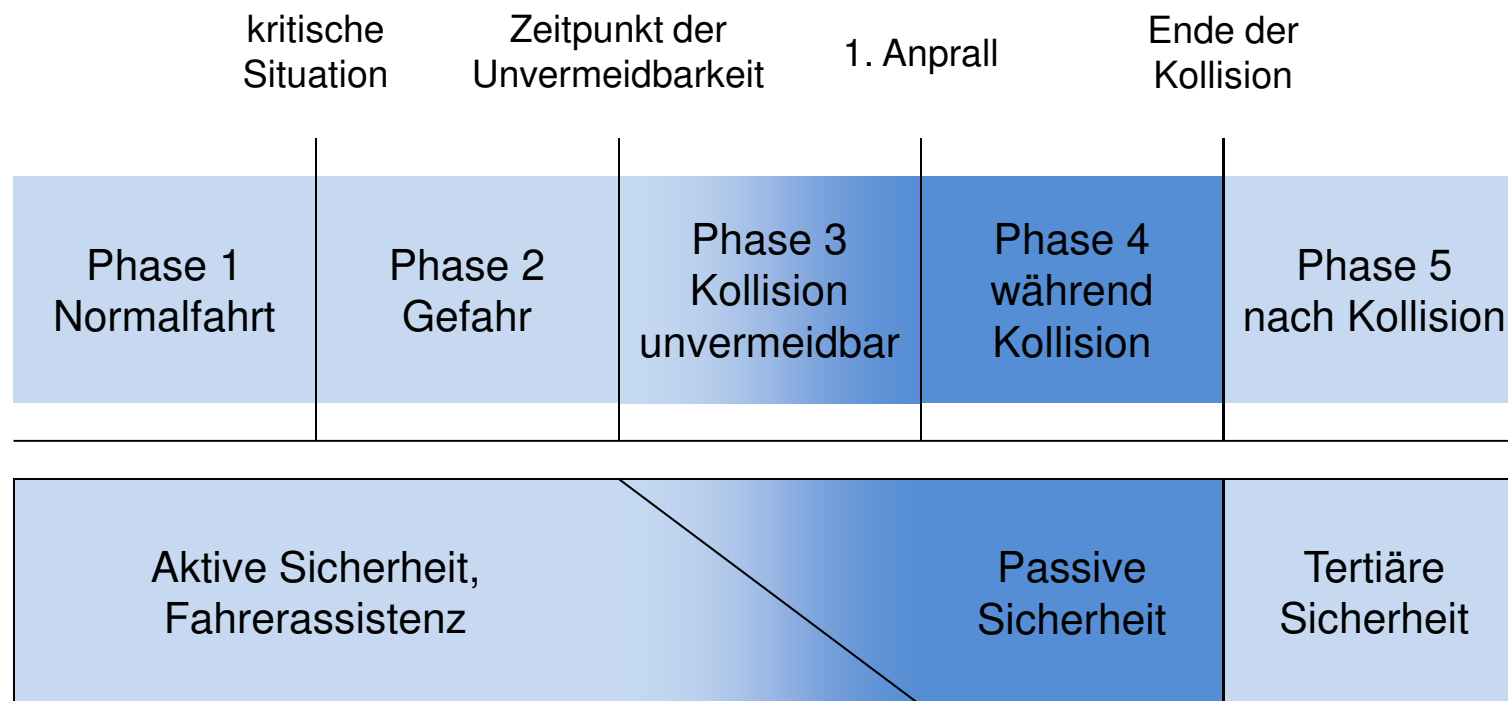
Szenario mit automatischem Notbremsassistenten

ANB mit Längsregelung



Unfallablaufplan nach ACEA

Differenzierung nach aktiver, passiver und tertiärer Sicherheit



Winner 2015, S.66

Kommentarfolie

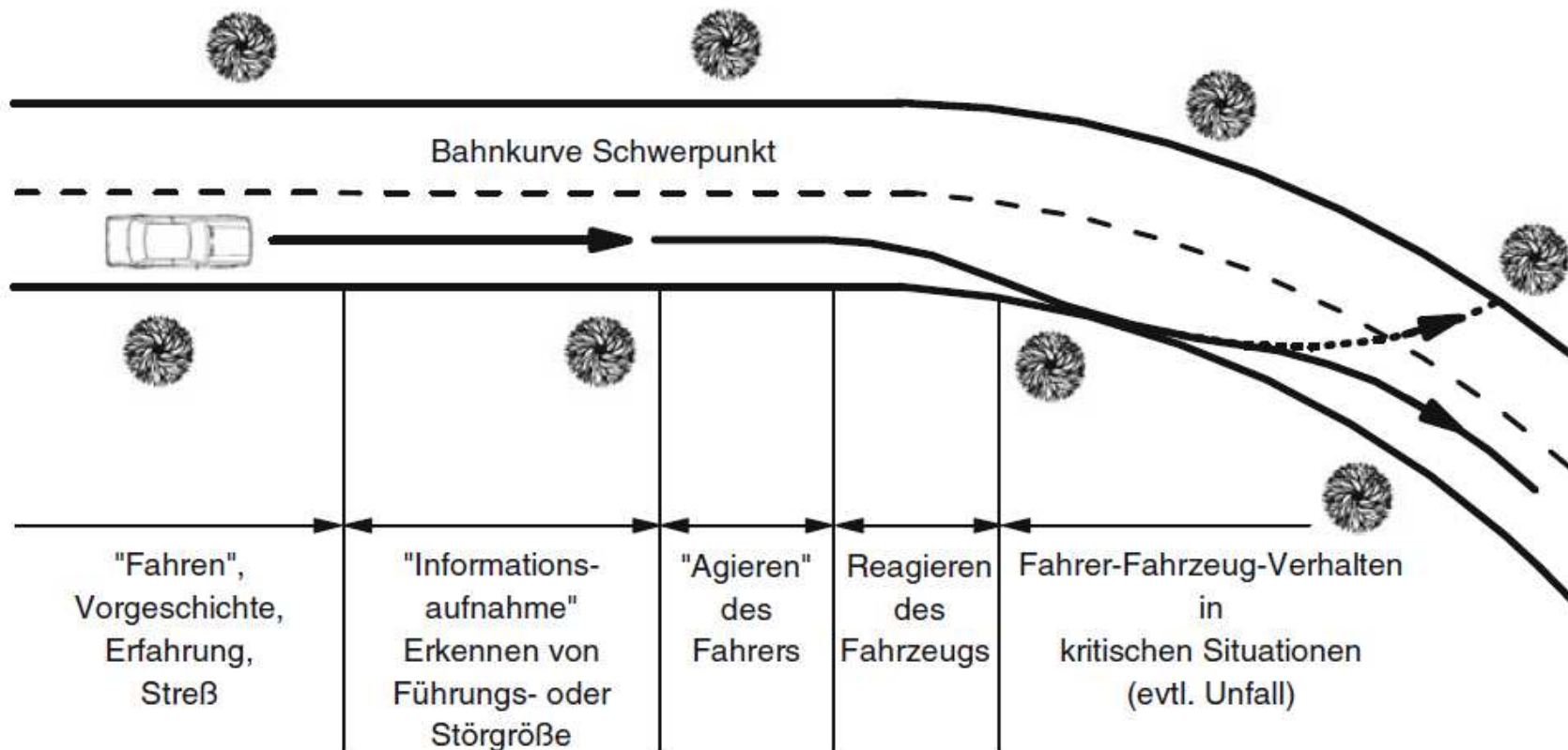
In der Abbildung ist ein Unfallablauf mit seinen einzelnen Phasen schematisch dargestellt. Diese Darstellung wurde vom europäischen Dachverband der Automobilindustrie entwickelt (Association des Constructeurs Europeens d'Automobiles – ACEA).

Demgemäß durchläuft jeder Unfall verschiedene Phasen, beginnend mit der Phase „**Normalfahrt**“, in der der Unfall für den Fahrer zwar noch nicht absehbar ist, jedoch bereits konditionelle Aspekte wie beispielsweise die bisherige Fahrtdauer auf den Fahrer einwirken. Diese Phase endet mit der unfallauslösenden **kritischen Situation**, die jedem Unfall vorausgeht. Diese kritische Situation kann das zu späte Erkennen eines Bremsmanövers des vorausfahrenden Fahrzeugs oder auch ein auf die Straße rennendes Kind sein. Nach Eintreten dieser Situation folgt die Phase der **Gefahr**. Diese zwei Phasen treten im täglichen Verkehrsgeschehen relativ häufig auf, ohne dass dies jedes Mal zwingend zu einem Unfall führt. Die kritische Schwelle eines Unfalls wird erst mit dem Erreichen des Zeitpunkts der **Unvermeidbarkeit**, auch bekannt als „point of no return“, überschritten. Im Anschluss folgt die **Phase vor der Kollision**, die je nach Unfall relativ kurz ist. Nach dem **Anprall** folgt die **Phase während der Kollision**, die mit dem Stillstand aller Beteiligten in Unfallendlage endet – in dieser Phase entstehen üblicherweise die höchsten Belastungen und damit auch die Verletzungen der Beteiligten. Die **Phase nach der Kollision** betrifft dann eventuelle Rettungsmaßnahmen, beispielsweise die Absetzung eines Notrufs.

Man erkennt, dass sich der ereich von aktiven Sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen in den vorkollisionären Phasen 1 bis 3 befindet und mit dem ersten Anprall endet. Je nach Wirkungsbereich des Systems kann erreicht werden, dass keine kritische Situation mehr entsteht (z. B. das Navigationssystem, das die Ablenkung des Fahrers von der Fahraufgabe minimiert; Adaptive Cruise Control, die für die Einhaltung eines ausreichenden Abstands sorgt) oder die bereits eingetretene kritische Situation entschärft (z. B. ESC) oder aber zumindest die Aufprallenergie reduziert wird, wenn der Zeitpunkt der Unvermeidbarkeit bereits überschritten ist (z. B. Bremsassistent).

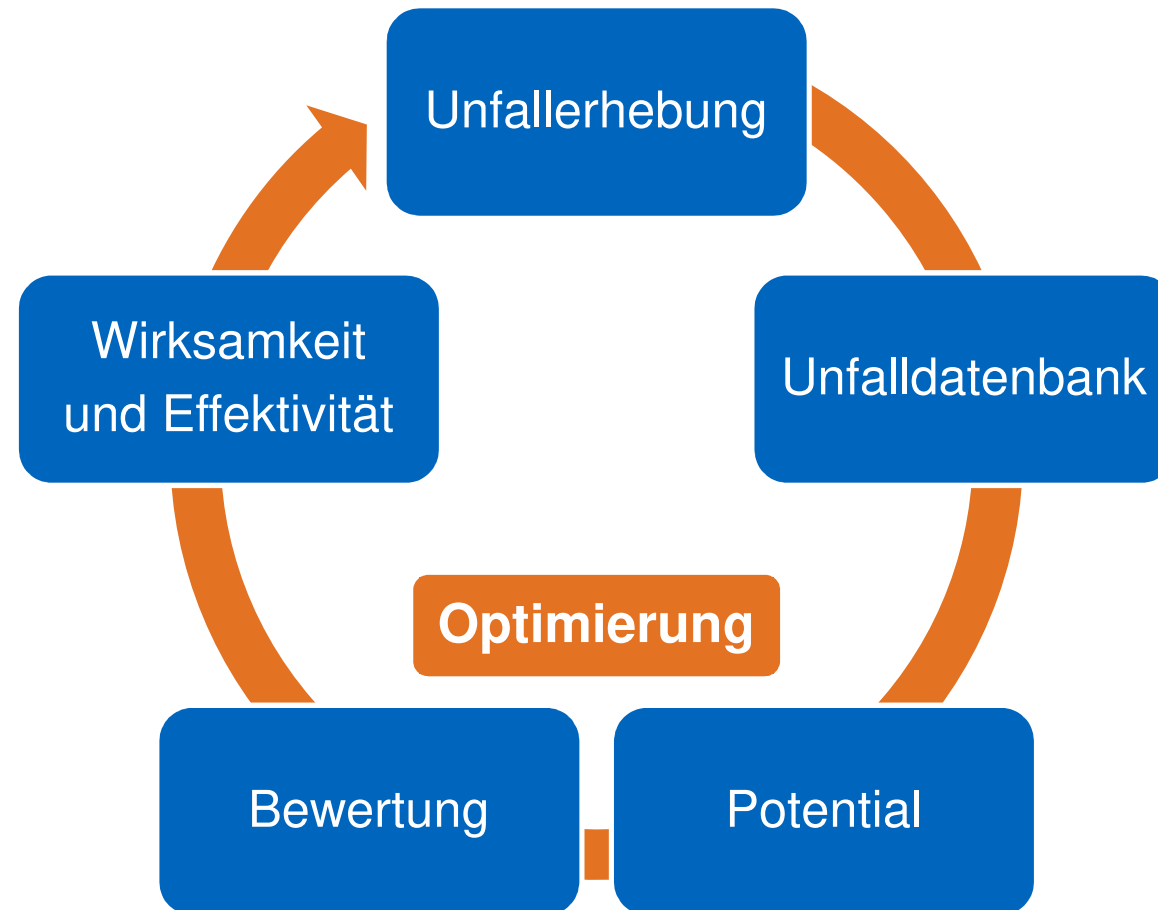
Zeitliche Phasen des Unfalls

Zeitlicher Ablauf einer kritischen Situation am Beispiel einer Kurvenfahrt



Johannsen 2013, S.12

Analyse und Bewertungsprozess



Beispiel Auffahrunfall

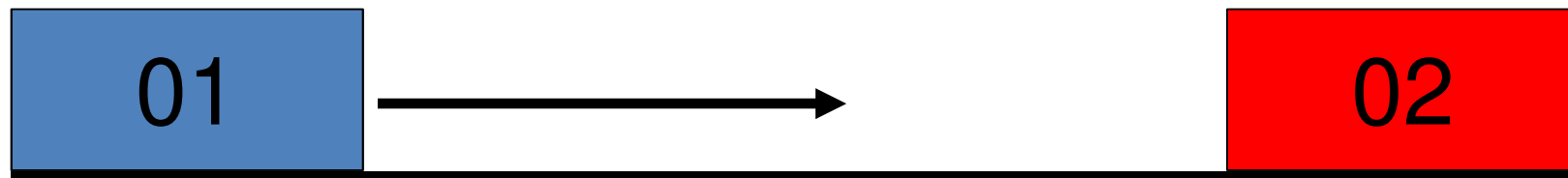
Zebrastreifen U-Bahnstation Garching Forschungszentrum



Unfallrekonstruktion

Rekonstruktion eines Auffahrunfalles

Unfallbeteiligter 01 (blaues Fahrzeug) fährt auf das stehende rote Fahrzeug (02) auf.



Bestimmen Sie den Nutzen eines Notbremsassistenten (AEB), der eine Gefahrenbremsung auslöst, sodass das Fahrzeug noch eine Sekunde vor Kollision maximal verzögert.

Um wie viel niedriger ist die Wahrscheinlichkeit, bei diesem Unfall eine Verletzung zu erleiden?

Rekonstruktion eines Auffahrunfalls

Angaben

- Beteiligter 01:
Fahrzeugmasse $m_{01} = 1180 \text{ kg}$
Ausgangsgeschwindigkeit $v_{0_{01}} = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- Beteiligter 02:
Fahrzeugmasse $m_{02} = 1695 \text{ kg}$
Ausgangsgeschwindigkeit $v_{0_{02}} = 0 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
- Stoßzahl $k = 0,1$
- Haftreibungskoeffizient $\mu = 0,8$

Rekonstruktion eines Auffahrunfalls

Verletzungsrisiko

- Koeffizienten log. Regression

- Tödlich:

$$\begin{aligned}\beta_0 &= -8 \\ \beta_1 &= 0,075\end{aligned}$$

- Schwerverletzt:

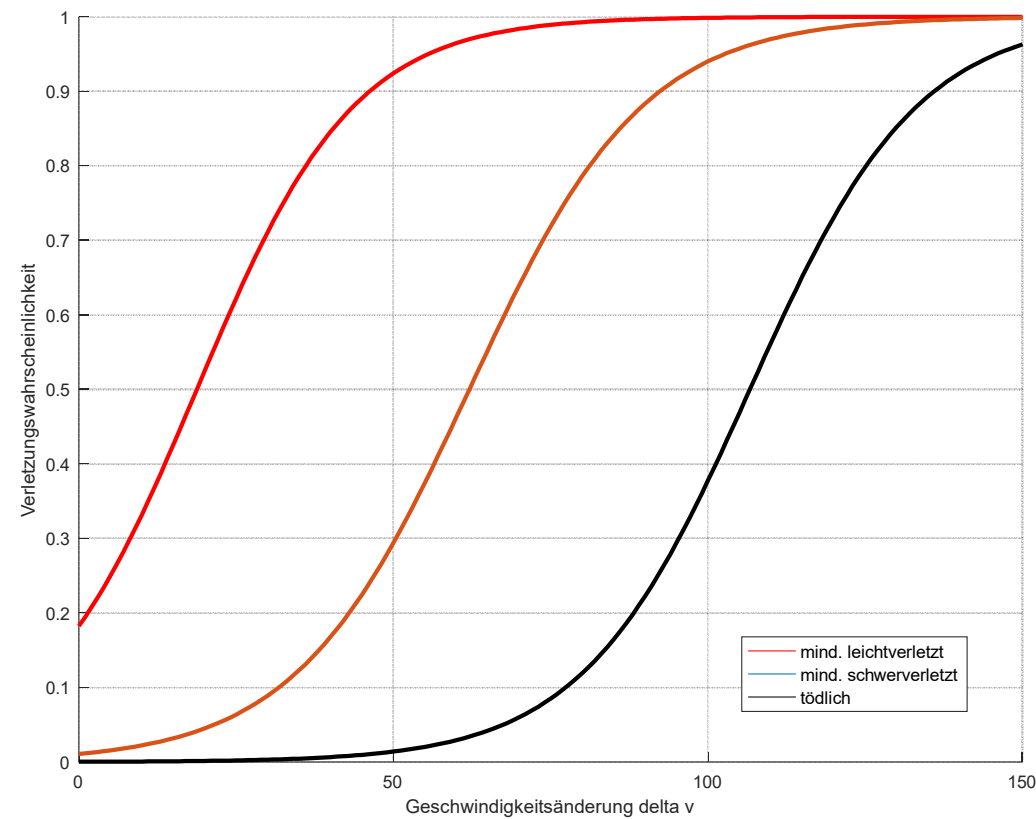
$$\begin{aligned}\beta_0 &= -4,5 \\ \beta_1 &= 0,0725\end{aligned}$$

- Leichtverletzt:

$$\begin{aligned}\beta_0 &= -1,5 \\ \beta_1 &= 0,08\end{aligned}$$

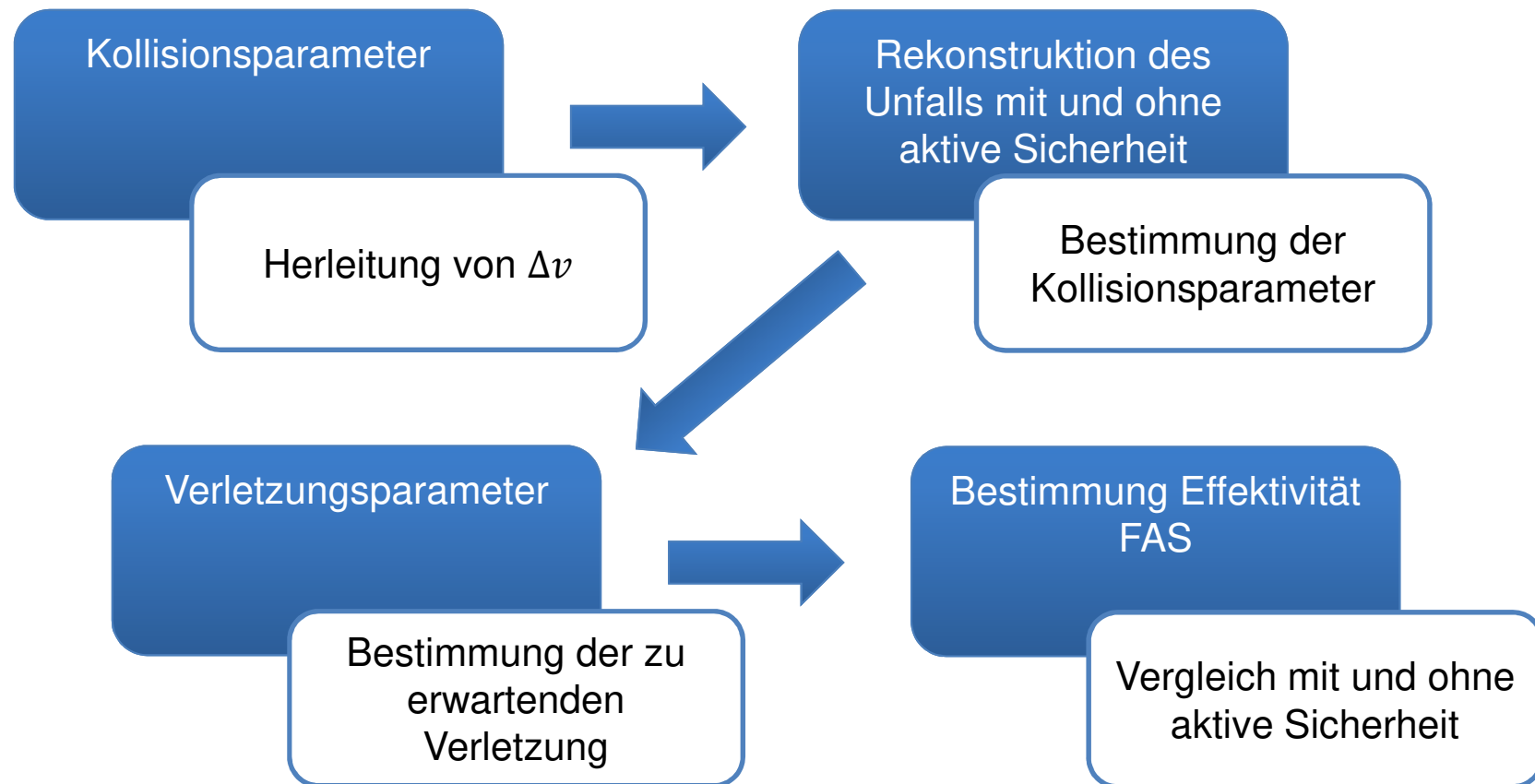
Rekonstruktion eines Auffahrunfalls

Verletzungsrisikofunktion



Rekonstruktion eines Auffahrunfalls

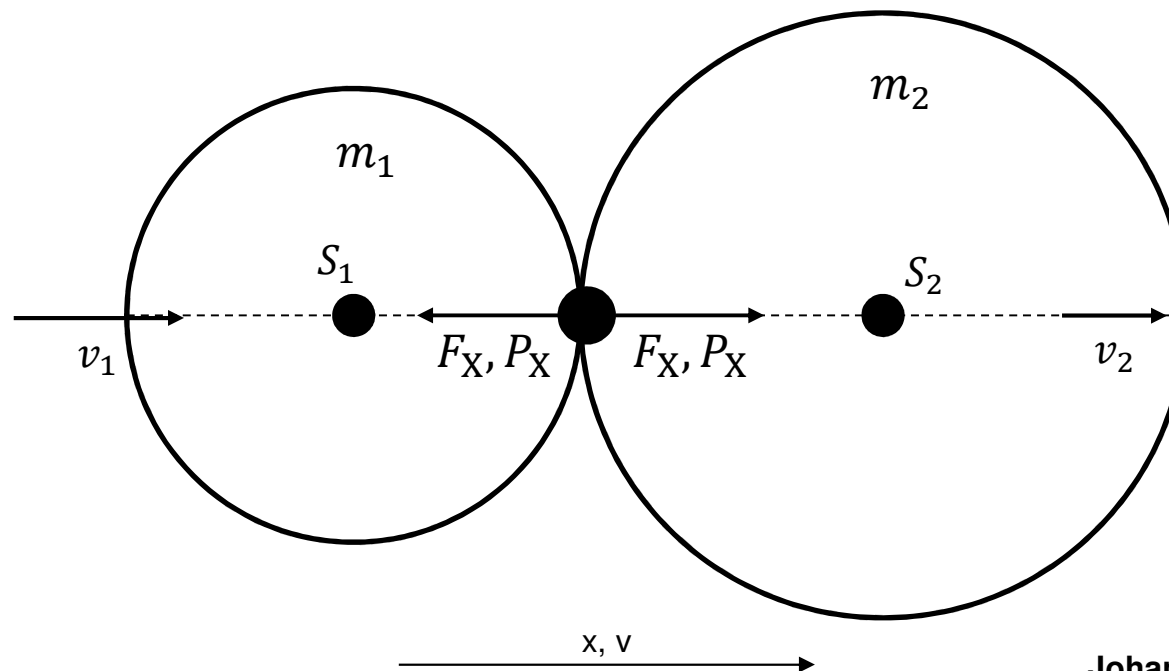
Vorgehen zur Lösung der Fragestellung



Kollisionsparameter

Herleitung gerader zentrischer Stoß zweier Scheiben

- Kollisionsgeschwindigkeit $v_{0_{01}} = v_1$ und $v_{0_{02}} = v_2$
- Geschwindigkeit nach Kollision v'_1 und v'_2



Johannsen 2013, S.108ff

Kollisionsparameter

Herleitung gerader zentrischer Stoß zweier Scheiben

- Aufstellen des Impulssatzes (y-Richtung und Drehrichtung entfallen):

$$(1): m_1 \cdot (v'_1 - v_1) = - \int F_X dt = -P_X$$

$$(2): m_2 \cdot (v'_2 - v_2) = - \int F_X dt = +P_X$$

mit P_X als Impuls.

- Addition der beiden Gleichungen ergibt den Impulserhaltungssatz:

$$(3): m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2$$

Kollisionsparameter

Herleitung gerader zentrischer Stoß zweier Scheiben

- Stoßzahlhypothese nach Newton:
Die Stoßziffer k beschreibt das elastisch-plastische Verhalten der Stoßkontrahenten. Der Grenzfall des elastischen Stoßes ist durch $k = 1$, der des plastischen Stoßes durch $k = 0$ gekennzeichnet.
- Durch den Impulssatz allein ist das System unterbestimmt. Zur weiteren Lösung Annahme der Stoßhypothese nach Newton:

$$(4): k = \frac{P_{\text{Rest}}}{P_{\text{Komp}}} = \frac{\int_{t_u}^{t'} F \, dt}{\int_t^{t_u} F \, dt}$$

- Der Kompressions- und Restitutionsstoßantrieb lauten:
 (5): $m_1 \cdot (v_{1u} - v_1) = -P_{\text{Komp}}$ (6): $m_1 \cdot (v'_1 - v_{1u}) = -P_{\text{Rest}}$
 (7): $m_2 \cdot (v_{2u} - v_2) = +P_{\text{Komp}}$ (8): $m_2 \cdot (v'_2 - v_{2u}) = +P_{\text{Rest}}$

Kollisionsparameter

Herleitung gerader zentrischer Stoß zweier Scheiben

- Aus den beiden ersten Gleichungen ergibt sich mit $v_u = v_{1u} = v_{2u}$ durch Addition die gemeinsame Geschwindigkeit während der größten Annäherung:

$$(9): v_u = \frac{(m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2)}{m_1 + m_2}$$

- Durch Einsetzen der Teilstoßantriebe (Gl.en 5 bis 9) in Gl. 4 und Elimination der „Umkehrgeschwindigkeit“ v_u ergibt sich für k die wichtige und anschauliche Form:

$$(10): k = -\frac{v'_1 - v'_2}{v_1 - v_2} = -\frac{v'_2 - v'_1}{v_2 - v_1}$$

Kollisionsparameter

Herleitung gerader zentrischer Stoß zweier Scheiben

- Die gesuchten Auslaufgeschwindigkeiten können jetzt mit Hilfe der Stoßziffer und der Einlaufgeschwindigkeiten ausgedrückt werden:

$$(11): v'_1 = v_1 - \frac{m_2 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$$

$$(12): v'_2 = v_2 + \frac{m_1 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$$

- Die Geschwindigkeitsänderungen Δv_1 und Δv_2 errechnen sich zu:

$$(13): \Delta v_1 = v'_1 - v_1 = -\frac{m_2 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$$

$$(14): \Delta v_2 = v'_2 - v_2 = \frac{m_1 \cdot (1 + k)}{m_1 + m_2} \cdot (v_1 - v_2)$$

d.h. Δv wächst mit

- der Relativgeschwindigkeit $v_{\text{rel}} = v_1 - v_2$
- dem elastischen Anteil
- der Masse m_2 des Kollisionskontrahenten.

Johannsen 2013, S.108ff

Kommentarfolie

Es ist mit Hinblick auf die Vorzeichen der Ergebnisse (v'_1 , v'_2) unbedingt notwendig, im „Ersatzsystem“ einer Stoßkonfiguration (z.B. Folie 10-16) positive Koordinaten (hier x) festzulegen.

P_x ist wegen $v_1 > v_2$ positiv, wirkt also wie eingezeichnet. Wäre P_x mit umgekehrtem Vorzeichen so eingezeichnet worden, dass er einem „Zugantrieb“ entspricht, wäre das Ergebnis negativ gewesen, d.h. der Pfeil hätte real wiederum in die andere Richtung gezeigt.

Rekonstruktion des Unfalls

Fall 1: ohne aktive Sicherheit

- $$\begin{aligned} \Delta v_1 &= v'_1 - v_1 = -\frac{m_2 \cdot (1+k)}{m_1+m_2} \cdot (v_1 - v_2) = \\ &= -\frac{1695 \text{ kg} \cdot (1 + 0,1)}{\underbrace{1180 \text{ kg} + 1695 \text{ kg}}_{2875 \text{ kg}}} \cdot \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \right) = \\ &= -32,42 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$
- $$v'_1 = v_1 + \Delta v_1 = (50 - 32,42) \frac{\text{km}}{\text{h}} = 17,58 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$
- $$\begin{aligned} \Delta v_2 &= v'_2 - v_2 = \frac{m_1 \cdot (1+k)}{m_1+m_2} \cdot (v_1 - v_2) = \frac{1180 \text{ kg} \cdot (1+0,1)}{1180 \text{ kg} + 1695 \text{ kg}} \cdot \left(50 \frac{\text{km}}{\text{h}} - 0 \right) \\ &= 22,57 \frac{\text{km}}{\text{h}} \end{aligned}$$
- $$v'_2 = v_2 + \Delta v_2 = 0 + 22,57 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 22,57 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Rekonstruktion des Unfalls

Fall 1: ohne aktive Sicherheit

- Verletzungsrisiko: $p = \frac{e^z}{1+e^z}$
 $z(x) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_j x_j \Rightarrow$ 1D-Verletzungsfkt. abh. von Δv :

$$p(\Delta v) = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot \Delta v}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 \cdot \Delta v}}$$
- Für tödliche Verletzungen: $\beta_0 = -8$ und $\beta_1 = 0,075$
 $\Rightarrow p_{\text{tödlich}} \left(32,42 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 0,00380 = 0,38\%$
 $p_{\text{schwerverletzt}} \left(32,42 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 10,44\%$
 $p_{\text{leichtverletzt}} \left(32,42 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 74,91\%$

Rekonstruktion des Unfalls

Fall 2: Mit aktiver Sicherheit

- max. Verzögerung:

$$F = m \cdot a = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g$$

$$a_{\max} = \mu \cdot g = 0,8 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 7,848 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

- Restgeschwindigkeit nach AEB-Bremmung:

$$v(t) = v_0 - a_{\max} \cdot \underbrace{t}_{\text{Verzögerung } 1,0 \text{ s}} = \frac{50 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} - 7,848 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,0 \text{ s} = 6,04 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$= 21,747 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

- $\Delta v_1 = v'_1 - v_1 = \dots = -\frac{1695 \text{ kg} \cdot 1,1}{2875 \text{ kg}} \cdot \left(21,747 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right) = -14,10 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $\Rightarrow v'_1 = +7,64 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

- $\Delta v_2 = v'_2 - v_2 = \dots = +\frac{1180 \text{ kg} \cdot 1,1}{2875 \text{ kg}} \cdot (21,747 - 0) \frac{\text{km}}{\text{h}} = 9,82 \frac{\text{km}}{\text{h}}$
 $\Rightarrow v'_2 = 9,82 \frac{\text{km}}{\text{h}}$

Rekonstruktion des Unfalls

Fall 2: Mit aktiver Sicherheit

- Verletzungswahrscheinlichkeiten:

$$p_{\text{leichtverletzt}} \left(14,10 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 0,4081 = 40,81\%$$

$$p_{\text{schwerverletzt}} \left(14,10 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 0,02995 = 3,0\%$$

$$p_{\text{tödlich}} \left(14,10 \frac{\text{km}}{\text{h}} \right) = 0,000964 = 0,096\%$$

Rekonstruktion des Unfalls

Vergleich Verletzungswahrscheinlichkeiten mit/ohne aktive Sicherheit

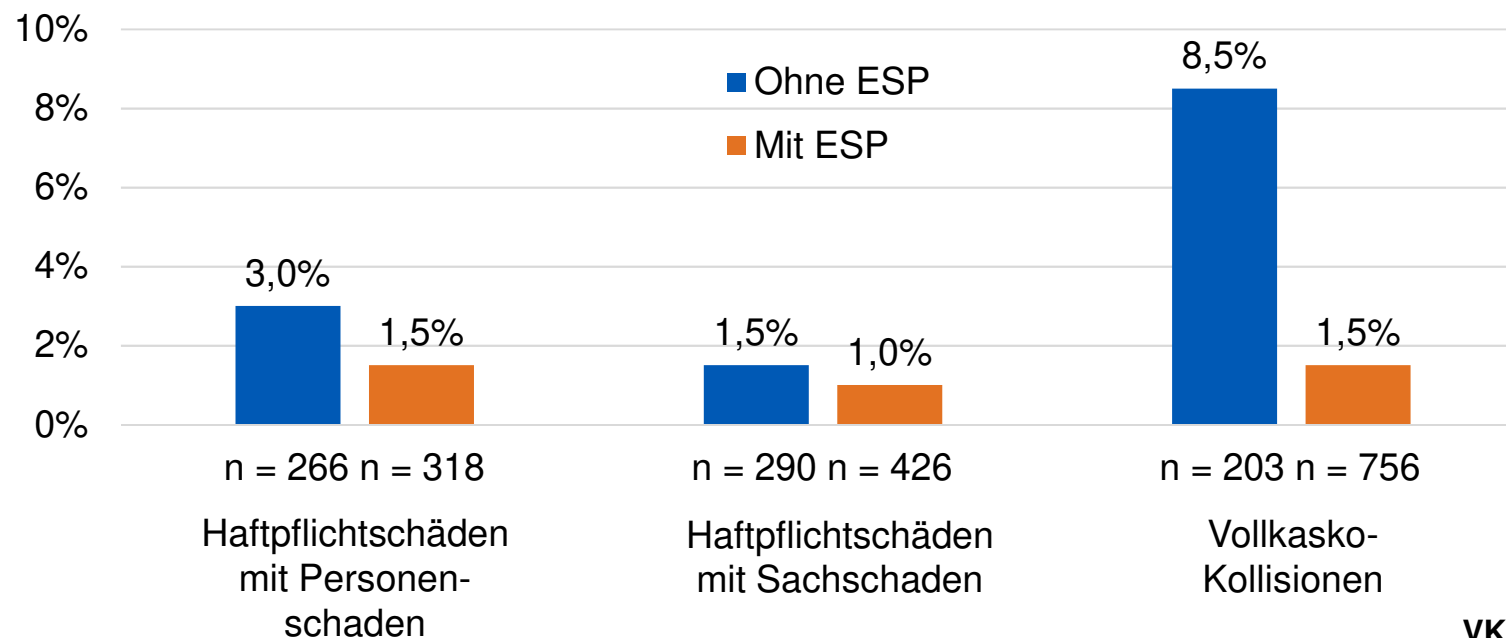
	Ohne FAS	Mit FAS	% Veränderung
Mind. leichte Verletzungen	74,91%	40,81%	-46%
Mind. schwere Verletzungen	10,44%	3,0%	-71%
Tödliche Verletzungen	0,38%	0,096%	-75%

Aufgabe Odds Ratio

Gegeben sei das Verhältnis aus ESP-relevanten Schadenfällen bezogen auf die Gesamtschäden bei Fahrzeugen mit und ohne ESP-Ausstattung für verschiedene Versicherungssparten.

Schätzen Sie den Nutzen eines ESP anhand der FAS-Relevanzen ab.

Relevante Schadenfälle bei Fahrzeugen mit und ohne ESP-Ausstattung



VKU, 2015

Odds Ratio

Definition und Beispiel

Gibt das Verhältnis von tatsächlichen und erwarteten relevanten Unfällen für ein bestimmtes FAS an.

$$OR = \frac{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{mit FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{mit FAS}}}}{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}}$$

$$\text{Nutzen}_{\text{FAS}} = 1 - OR$$

Beispiel: $OR = 1/3$



Ohne FAS wären dreimal so viele FAS-relevante Unfälle erwartet worden wie mit FAS $\rightarrow \text{Nutzen}_{\text{FAS}} = 1 - \frac{1}{3} = 66\%$

VKU, 2015

Aufgabe Odds Ratio

Lösung

	Alle Unfälle ohne ESP	Alle Unfälle mit ESP	Relevante Unfälle ohne ESP	Relevante Unfälle mit ESP
Haftpflicht- schäden mit Personen- schaden	266	318	$266 \cdot 0,03$ ≈ 8	$318 \cdot 0,015$ ≈ 5
Haftpflicht- schäden mit Sachschaden	290	426	$290 \cdot 0,015$ ≈ 4	$426 \cdot 0,01$ ≈ 4
Vollkasko- Kollisionen	203	756	$203 \cdot 0,085$ ≈ 17	$756 \cdot 0,015$ ≈ 11

Aufgabe Odds Ratio

Lösung – Haftpflichtschäden mit Personenschaden

$$OR = \frac{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{mit FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{mit FAS}}}}{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}} = \frac{\frac{5}{318}}{\frac{8}{266}} \approx 0,52 \approx \frac{1}{2}$$

Ohne ESP wären zweimal so viele ESP-relevante Haftpflichtschäden mit Personenschaden erwartet worden wie mit ESP

$$\text{Nutzen}_{\text{FAS}} = 1 - OR = 1 - 0,5 = 0,5 = \mathbf{50\%}$$

Aufgabe Odds Ratio

Lösung – Haftpflichtschäden mit Sachschaden

$$OR = \frac{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{mit FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{mit FAS}}}}{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}} = \frac{\frac{4}{426}}{\frac{4}{290}} \approx 0,68 \approx \frac{2}{3}$$

Ohne ESP wären 1,5 mal so viele ESP-relevante Haftpflichtschäden mit Sachschaden erwartet worden wie mit ESP

$$\text{Nutzen}_{\text{FAS}} = 1 - OR = 1 - \frac{2}{3} = \frac{1}{3} = \mathbf{33\%}$$

Aufgabe Odds Ratio

Lösung – Vollkasko-Kollisionen

$$OR = \frac{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{mit FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{mit FAS}}}}{\frac{\text{Relevante Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}{\text{Alle Unfälle}_{\text{ohne FAS}}}} = \frac{\frac{11}{756}}{\frac{17}{203}} \approx 0,17 \approx \frac{1}{6}$$

Ohne ESP wären sechsmal so viele ESP-relevante Vollkasko Kollisionen erwartet worden wie mit ESP

$$\text{Nutzen}_{\text{FAS}} = 1 - OR = 1 - \frac{1}{6} = 0,83 = \mathbf{83\%}$$