

# Erstellung generischer Unfallszenarien für die Effektivitätsbewertung aktiver Sicherheitssysteme am Beispiel Notbremsassistent

Arno Eichberger<sup>1</sup>, Admir Zukancic<sup>1</sup>, Peter Wimmer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität Graz, Institut für Fahrzeugtechnik

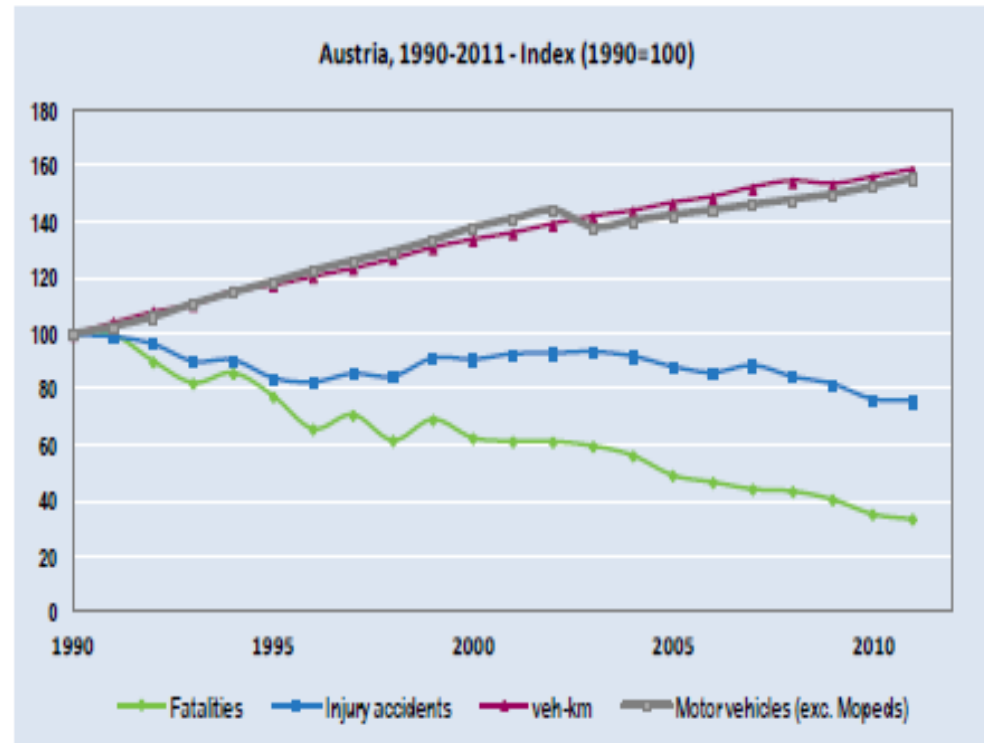
<sup>2</sup> Virtual Vehicle Research and Test Center

# Inhalt

- Motivation
  - Bewertung der System- und Feldeffektivität von aktiven Sicherheitssystemen/Fahrerassistenzsystemen
  - Werkzeug für die Auslegung von Eingriffsstrategien von Fahrerassistenzsystemen
- Methodik
  - Überblick über Testmethoden und Projekte
  - Generierung der Szenarien
  - Überprüfung der Ergebnisse
- Exemplarische Ergebnisse des Gesamtprozesses
  - Auffahrunfall
  - Fußgängerunfall
- Zusammenfassung und Ausblick

# Unfallstatistiken

- Steigende Motorisierung
- Sinkende Anzahl Verletzter/Getöteter u.a. durch
  - Verbesserung existierender (passiver) Sicherheitssysteme
  - Entwicklung neuer Sicherheitssysteme
  - Fahrerassistenzsysteme zunehmende Verbreitung



Quelle: [IRTAD, 2013, IRTAD Annual Report 2013, International Transport Forum, Paris]

➔ Bewertung der System- und Feldeffektivität von Fahrerassistenzsystemen?  
Testen der Funktionalität ?

# Unterschied System- und Feldeffektivität

- Systemeffektivität

Effektivität der Sicherheitssysteme aus standardisierten Tests

FRONTAL IMPACT



Driver

Quelle: [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)  
Landwind CV9, Bewertung 2010

FRONTAL IMPACT



Driver

Quelle: [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)  
VW Golf, Bewertung 2012

Hypothese: Die Systemeffektivität steigt mit sinkender Insassenbelastung

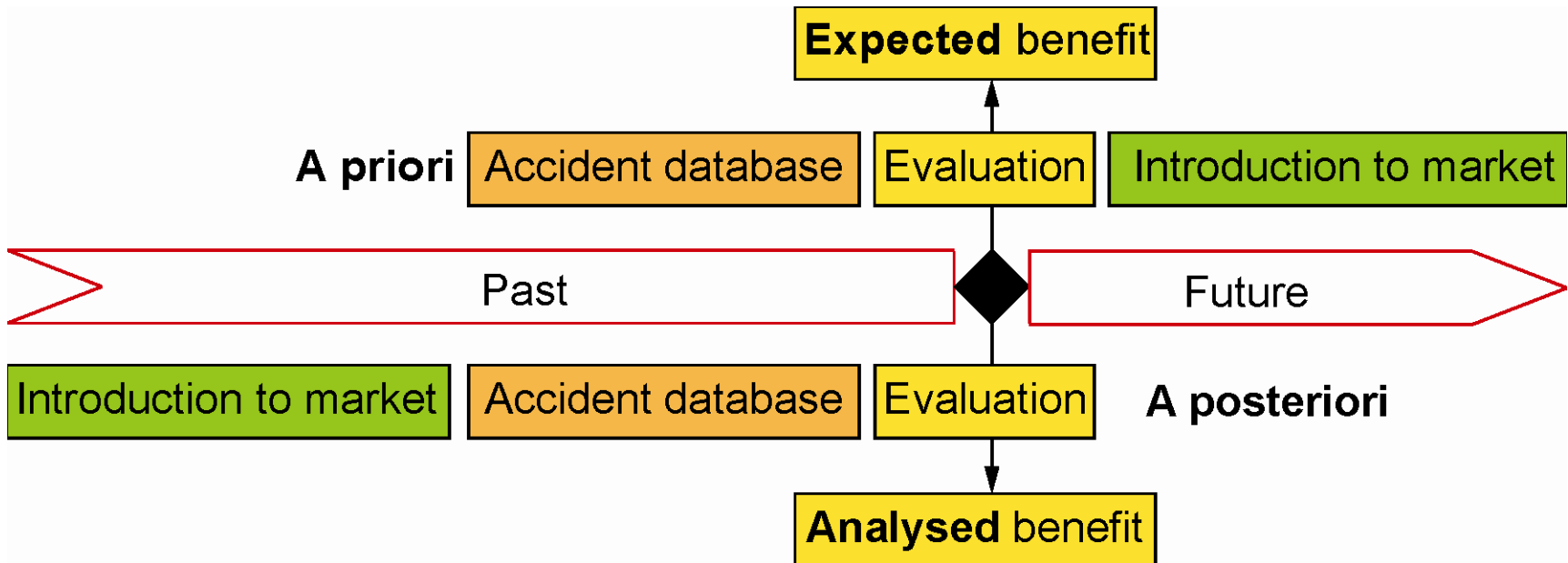
- Feldeffektivität

Effektivität der Sicherheitssysteme aus der Unfallforschung

Hypothese: Die Feldeffektivität steigt mit erhöhter Systemeffektivität und hoher Auftretenswahrscheinlichkeit

# Methoden für Effektivitätsanalysen aktiver Sicherheitssysteme

- A priori Methoden
- A posteriori Methoden



Quelle: Eichberger et al, 2nd Active Test Workshop 2012

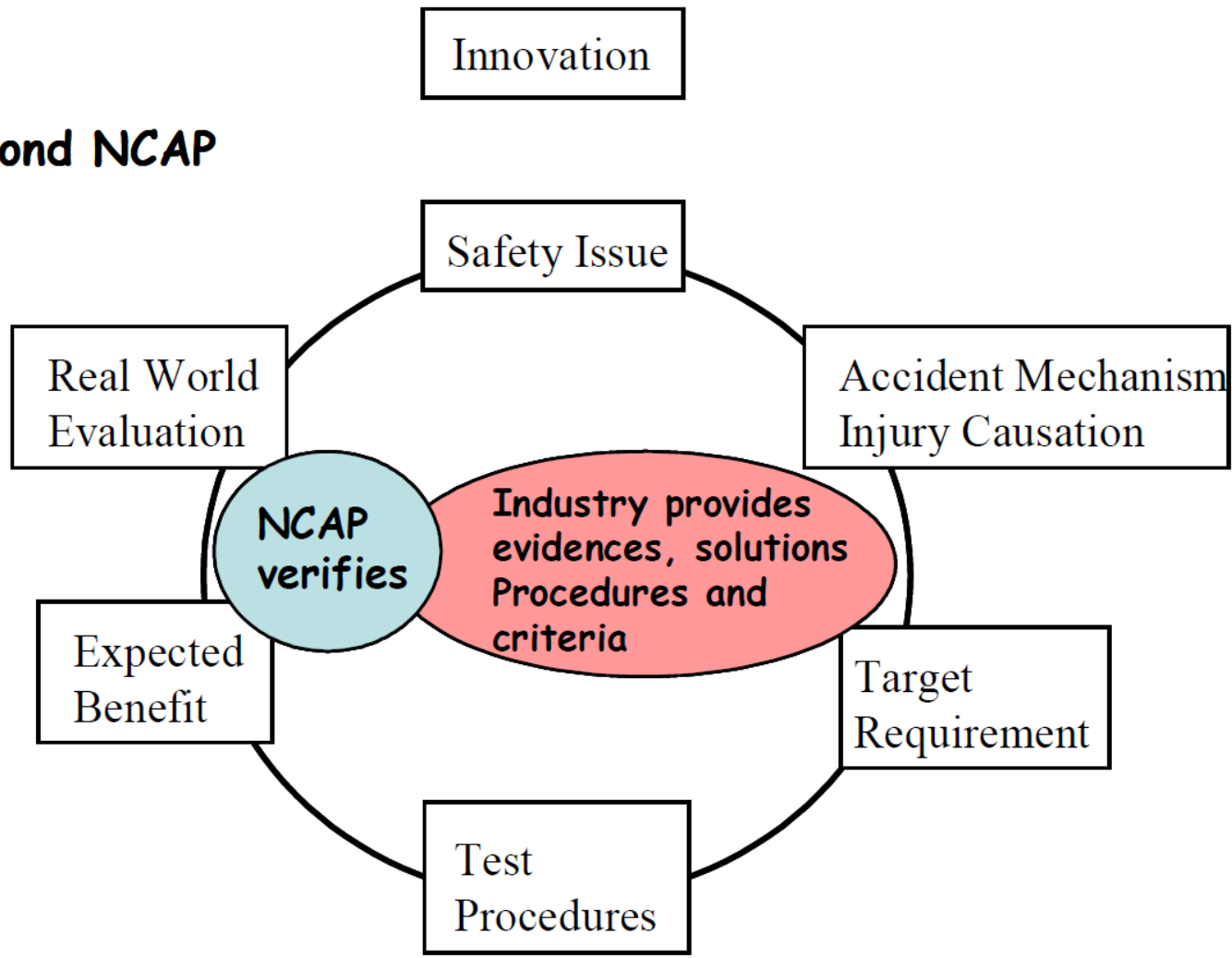
# Methoden zur Effektivitätsbewertung

- A priori Methoden
  - Target population times efficiency approach
  - Automatic case-by-case analysis
  - **Case-by-case analysis within database**
  - Artificial neural networks
  - Decision tree models
- A Posteriori Methoden
  - Comparison between observed and expected numbers of involved vehicles
  - Evaluation of relative crash risk (odds ratio method)

Quelle: V. Karabatsou et al, EU Projekt TRACE, 2006

# Euro-NCAP Ansatz: Beyond NCAP

## Beyond NCAP

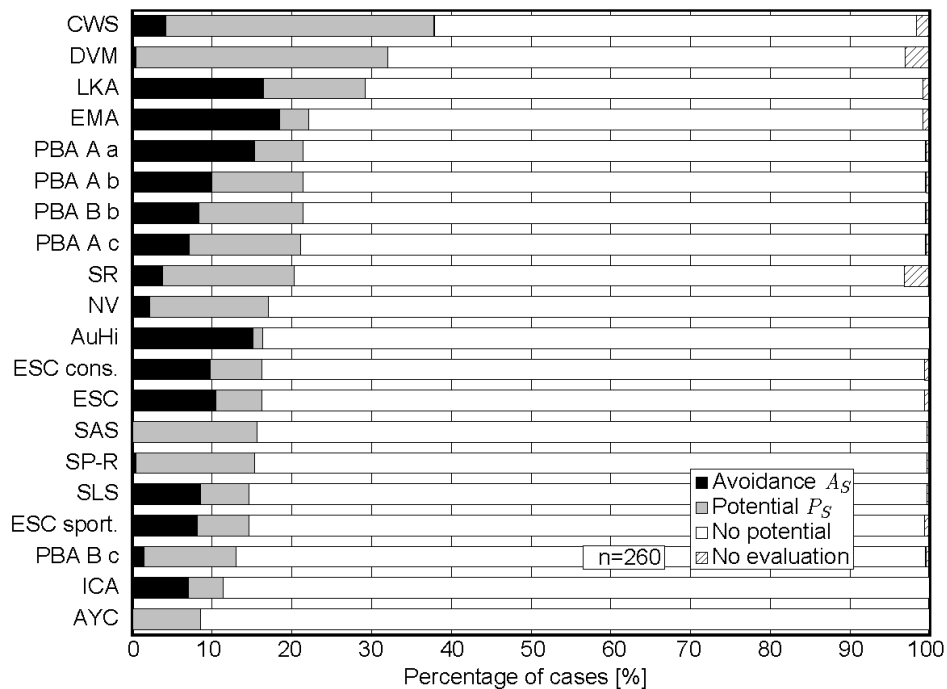
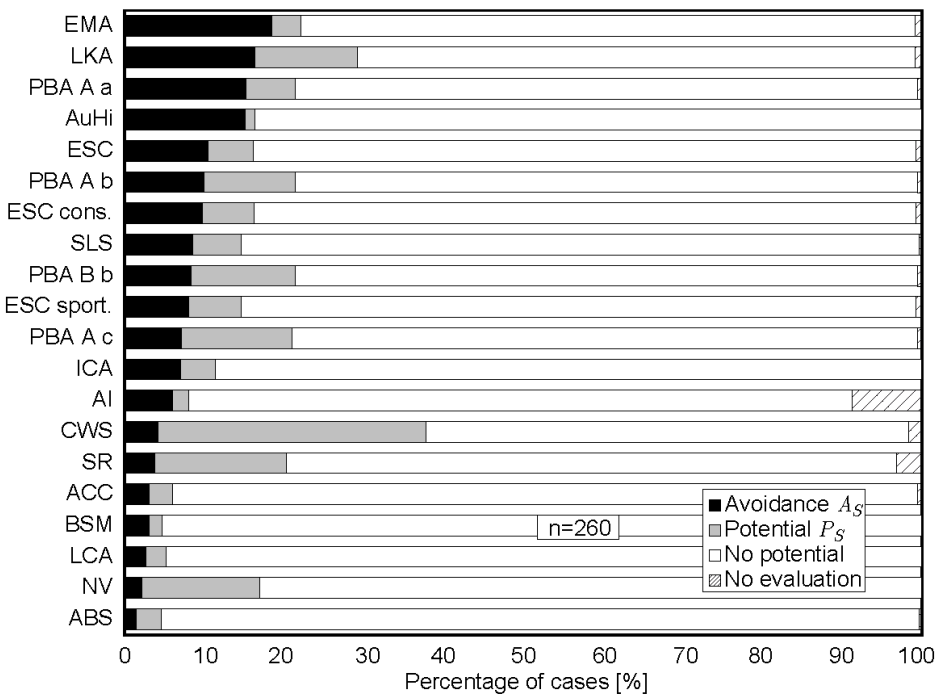


Quelle: Michiel van Ratingen et al.: BEYOND NCAP: PROMOTING NEW ADVANCEMENTS IN SAFETY, 22. ESV Conference, Washington 2011, SAE Technical Paper Number 11-0075

# Beispiel: Case-by-Case Analysis within Database RCS-TUG

Reihenfolge  
"Avoidance"  $A_S$

Reihenfolge  
"Overall Potential"  $A_S + P_S$



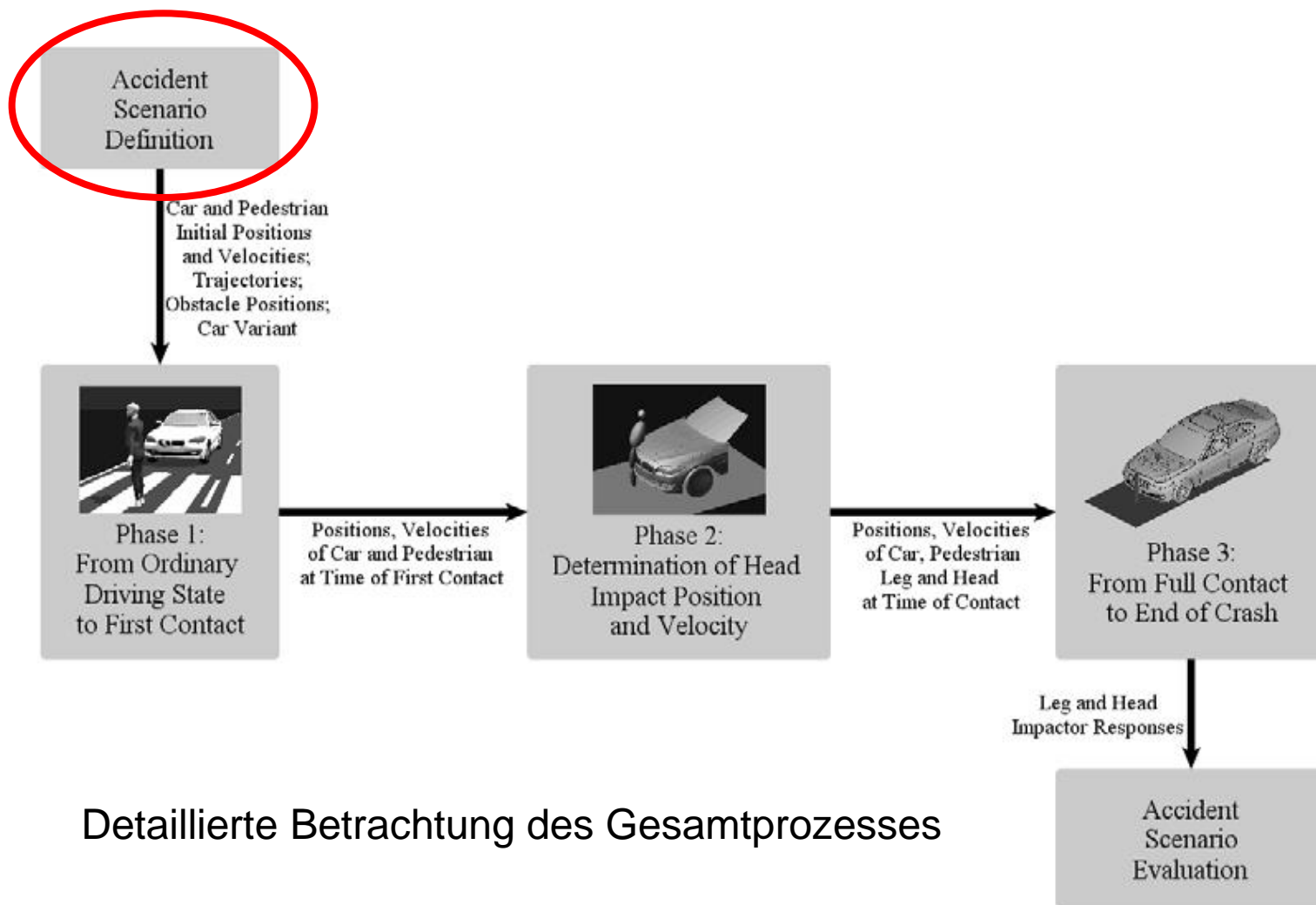
Quelle: Eichberger, ESV 2011



# Nachteile RCS-TUG

- Beschränkt auf ZEDATU (tödliche Unfälle)
- Beschränkt auf Erhebungsgebiet und -zeitraum
- Aufwendige Unfallrekonstruktion notwendig
- Nachweis der Qualität der Unfallrekonstruktion schwierig
- Schwierige Beurteilung der Effektivität bei Verringerung der Unfallschwere (Injury Risk Curves)
- Interaktion Fahrer mit Fahrerassistenzsystem schwierig
- Technische Einschränkung der Systeme (z.B. Lane Detection)
- ...

# Projekt *Toolkette für die Integrale Sicherheit*



Detaillierte Betrachtung des Gesamtprozesses

Quelle: [Wimmer, P. et al., A new simulation method for virtual design and evaluation of integrated vehicle safety systems, Virtual Vehicle Research Center, Graz]

# Neu entwickelte Szenariendefinition

Szenarien in Bewertungsmethode nicht mehr reale Unfälle sondern generisch

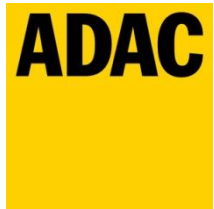
- Parameter aus Unfalldatenbanken identifizieren
- Parameterverteilung aus Unfalldatenbanken ermitteln
- Szenarien künstlich generieren, statistisch richtig verteilen



- Unabhängigkeit von der Unfalldatenbank
- Schnelle und flexible Generierung der Szenarien
- Sehr hohe Fallzahlen möglich für statistisch signifikante Aussagen

# Ausgangspunkt: Bestehende Testmethoden und Projekte

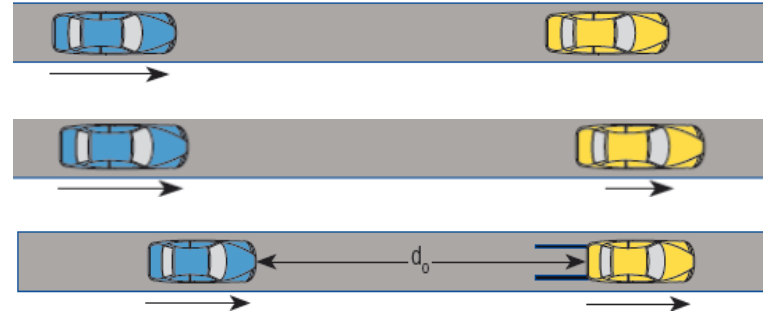
- Auswahl von Szenarien
- Szenarienkongfiguration
- Parameterauswahl zur Szenariendefinition



# Ausgewählte Szenarien

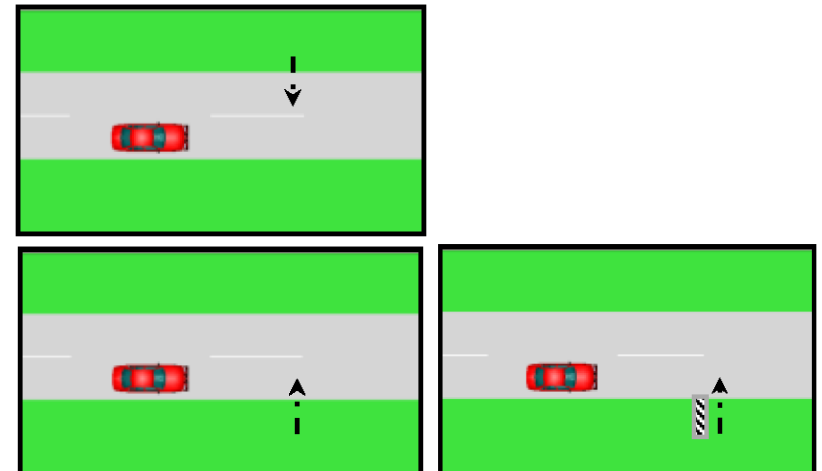
## ■ Auffahrunfall

- Target-Fahrzeug stehend
- Target-Fahrzeug langsamer voranfahrend
- Target-Fahrzeug verzögernd



## ■ Fußgängerunfall

- Fußgänger quert die Straße von links/rechts,
- verdeckt/unverdeckt



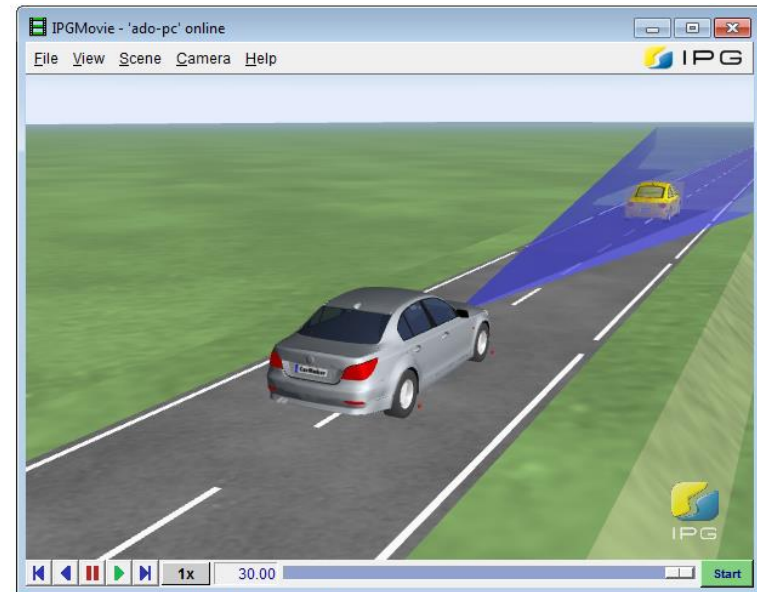
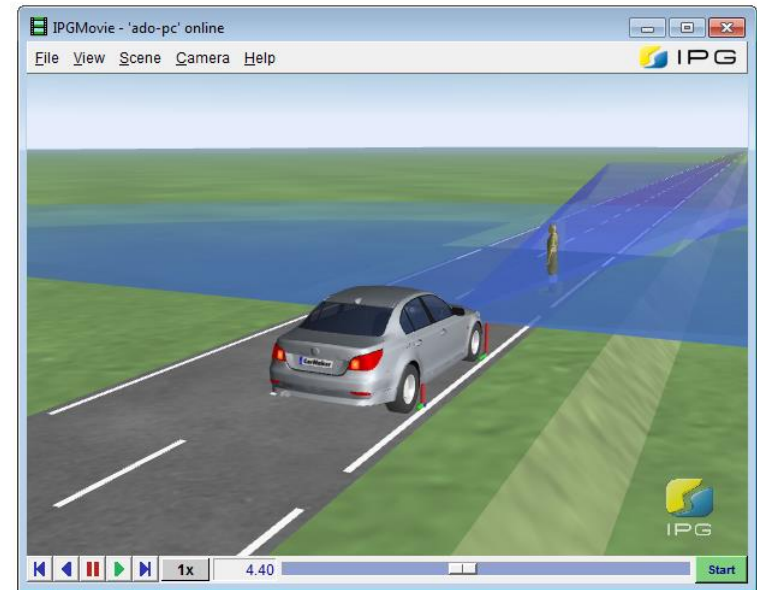
# Parameter aus Unfallstatistiken

- Auffahrunfall
  - Verfügbarkeit von Daten aus globalen Datenbanken ist beschränkt (geringe Detaillierung) → GIDAS
- Fußgängerunfall
  - Daten aus DaCoTa (basierend auf CARE Datenbank) und ASPECSS Projekt
- Umgebungsparameter
- Fahrzeugparameter

# Parameter Umgebung

- Lichtverhältnisse
  - Dunkel
  - Hell
- Sichtverhältnisse
  - Klar
  - Bewölkt
  - Regen
- Straßenoberfläche
  - Trocken
  - Nass
- Gebiet (Fußgängerunfall)
  - Städtisch
  - Ländlich
- Straßenkonfiguration (Auffahrunfall)
  - Gerade
  - Kurvig

64 → 48 → 24 → 20 Kombinationen



# Parameter Fahrzeuge

- Auffahrunfall
  - Ego-Fahrzeug
    - Initialgeschwindigkeit
    - Kollisionsgeschwindigkeit
  - Target-Fahrzeug
    - Initialgeschwindigkeit
    - Relativgeschwindigkeit der beiden Fahrzeug beim Zusammenstoß
- Fußgängerunfall
  - Ego-Fahrzeug
    - Initialgeschwindigkeit
    - Kollisionsgeschwindigkeit



# Klassifikation von Abhängigkeiten

- Verzögerung: Mögliche Verzögerung hängt von der Fahrbahnbeschaffenheit ab
- Fahrbahnbeschaffenheit hängt hauptsächlich von den Wetterbedingungen ab
- Fahrgeschwindigkeit von Eigen- und Zielfahrzeug hängt von verschiedenen Parametern ab.
- ...

# Workflow der Szenariengenerierung

- Definition Umgebungsparameter
- Umgebungsparameter resultieren in Grundszenarien (hier: 20)
- Parameterverteilung Fahrzeug ermitteln(→GIDAS)
- Gesamtverteilung der Fahrzeugparameter durch „Mischverteilung“
- Die generischen Szenarien werden stochastisch erstellt
  - Berücksichtigung Parameterverteilung und Abhängigkeiten
  - Genügend hohe Anzahl generierter Szenarien
  - Szenarien mit teils ungewöhnlichen Konfigurationen, die dennoch in Summe statistisch repräsentativ sind
- Überprüfung der Parameterverteilung mit statistischen Methoden
  - Vergleich mit dem Ergebnis der Mischmethode
  - Plausibilisierung mit (globalen) Datenbanken

Umgebungsparameter

Grundszenarien

Parameterverteilung

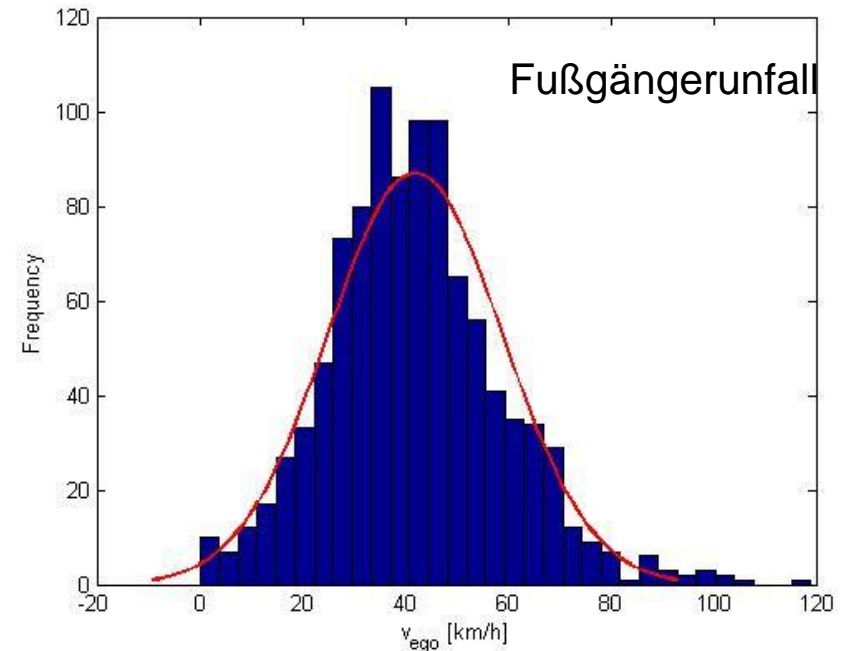
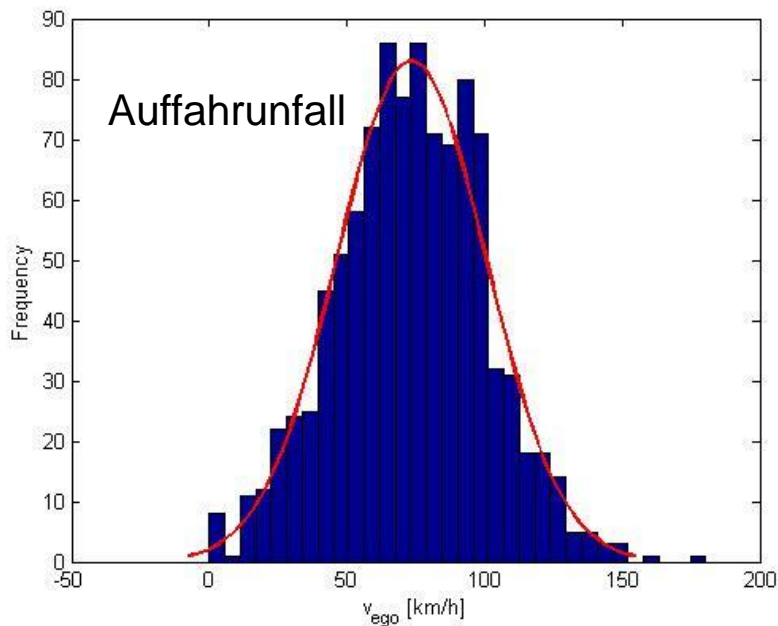
Gesamtverteilung

Generische Szenarien

Überprüfung

# Statistische Auswertung GIDAS

- Beispiel Parameter: Fahrgeschwindigkeit  
Eigenfahrzeug



Ergebnisse plausibilisiert mit Werten aus der Literatur zum Beispiel EU-Projekt ASSESS

# Wahl der Parameter und Klassifizierung von Abhängigkeiten (Auffahrunfall)

Parameter	Description		Distribution/ mean value	Variance
driving speed	ego car	ego speed	70 km/h	29 km/h
driving speed target	target car	target speed	29 km/h	22 km/h
distance/TTC	-	-	set to 5 seconds	-
angle between cars	initial	-	-	-
lateral offset	initial	-	-	-
deceleration	-	target acc	1.17 m/s <sup>2</sup>	2.13 m/s <sup>2</sup>
sex	general fatalities	male	0.76	-
		female	0.24	-

# Wahl der Parameter und Klassifizierung von Abhängigkeiten (Auffahrunfall)

weather	surface	dry	0.53	-
		wet	0.18	-
		unknown	0.29	-
	sight	fine	0.41	-
		cloudy	0.37	-
		rainy	0.18	-
		snowy	0.04	-
road layout	-	straight	0.59	-
	-	curve	0.41	-
light	-	darkness	0.21	-
		light	0.79	-

# Wahl der Parameter und Klassifizierung von Abhängigkeiten (Fußgängerunfall)

Parameter	Description		Distribution/ mean value	Variance
driving speed	-	ego speed	44 km/h	11 km/h
target speed	-	target speed	5.29 km/h	-
sex	pedestrian	male	0.64	-
		female	0.36	-
weather	sight	fine	0.82	-
		not fine	0.14	-
road layout	-	inside urban	0.71	-
		outside urban	0.29	-
light	-	darkness	0.51	-
		light	0.49	-
initial distance	-	-	Set to 5 seconds	-
age	pedestrian	-	-	-

# Szenariengenerator

- Szenarien Generator als ein MATLAB Skript mit einem GUI
- Definition der Anzahl der gewünschten Szenarien
- Verteilung wird überprüft
  - Statistik aus globalen Datenbanken
  - Mischverteilung
- Export von .xml und .txt Dateien für die Simulation



# Parameterverteilung Auffahrunfall 1/2

Parameter	Description		Mean value/distribution from statistics (from mixed distribution)	Mean value/distribution from scenario generator
driving speed	ego car	ego speed	70(72) km/h	74 km/h
driving speed target	target car	target speed	29 km/h	24 km/h
distance/TTC	-	-	set to 5 seconds	100 m
angle between cars	initial	-	-	-
lateral offset	initial	-	-	-



# Parameterverteilung Auffahrunfall 2/2

acceleration	-	target acc	1.17 m/s <sup>2</sup>	1.5 m/s <sup>2</sup>
sex	general fatalities	male	0.76	0.73
		female	0.24	0.27
weather	surface	dry	0.53	0.4
		wet	0.18	0.37
		unknown	0.29	0.23
	sight	fine	0.41	0.4
		cloudy	0.37	0.35
		rainy	0.18	0.21
		snowy	0.04	0.04
road layout	-	straight	0.59	0.56
		curve	0.41	0.44
light	-	darkness	0.21	0.22
		light	0.79	0.78

# Parameterverteilung Fussgängerunfall

Parameter	Description		Mean value/distribution from statistics (from mixed distribution)	Mean value/distribution from scenario generator
driving speed	-	ego speed	44(41) km/h	42 km/h
target speed	-	target speed	5.29 km/h	5.29 km/h
sex	pedestrian	male	0.64	0.64
		female	0.36	0.36
weather	sight	fine	0.82	0.83
		not fine	0.14	0.17
road layout	-	inside urban	0.71	0.72
		outside urban	0.29	0.28
light	-	darkness	0.51	0.5
		light	0.49	0.5
initial distance	-	-	set to 5seconds	58 m

# Exemplarische Ergebnisse (IPG Carmaker)

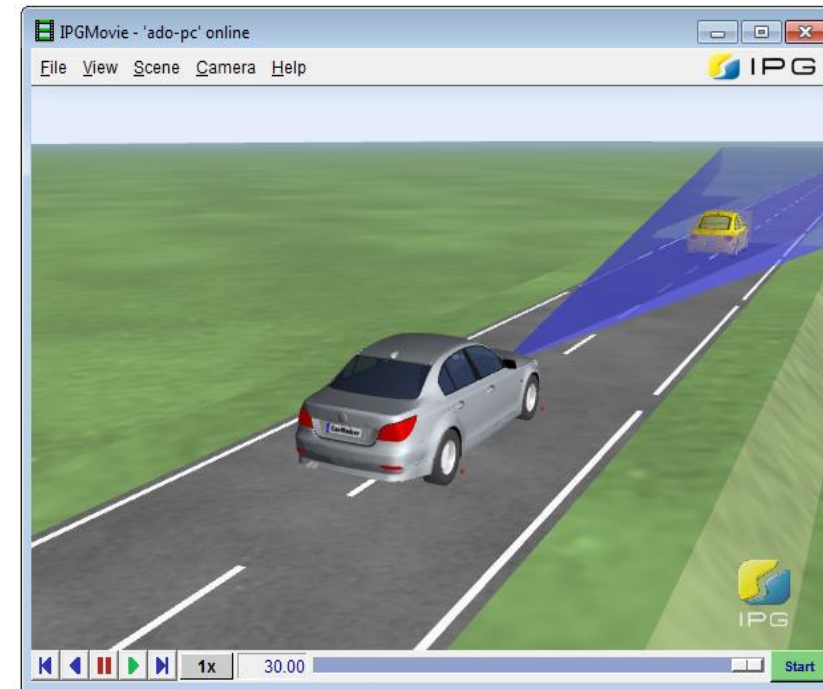
- 2 Beispiele
  - 100 Simulationen mit Standard AEB
    - Wie viele Kollisionen wurden vermieden im Vergleich zu einem nicht reagierenden Fahrer
  - 1 Szenario wird ausgewählt und Änderungen in der Eingriffsstrategie untersucht
    - Untersuchung der Auswirkung
  - Analyse getrennt für Auffahrunfall und Fußgängerunfall

# Konfiguration des Standard AEB Systems

- Fernbereichssensorik
  - Reichweite: 150 m
  - Öffnungswinkel: 16°
- Nahbereichssensorik
  - Reichweite : 5 m
  - Öffnungswinkel : 170°
- AEB Eingriff: bei  $TTC = 3$  s
- Maximale Bremsverzögerung: 2.5 m/s<sup>2</sup>

# Beispiel Auffahrunfall

- Beide Fahrzeuge starten mit der initialen Fahrgeschwindigkeit
- Die Verzögerung des Zielfahrzeugs wird unmittelbar bei Simulationsbeginn eingeleitet
- Ergebnis: Vermeidbarkeit des Auffahrunfalles bei 84%



# Auswirkung der Änderung der AEB Eingriffstrategie, Beispiel

- $V_{ego} = 92.75$  km/h
  - $V_{target} = 0$  km/h
  - $a_{target} = 0$  m/s<sup>2</sup>
  - $s_{init} = 128.82$  m
  - $\mu = 0.5$
- Variation der maximalen Bremsverzögerung des AEB Systems

Name	$a$ [m/s <sup>2</sup> ]	$v_{impact}$ [km/h]
Standard	2.5	26.8
Variation 1	2	47.9
Variation 2	3	avoided

# Beispiel Fußgängerunfall

- Fußgänger überquert die Fahrbahn
- Eigenfahrzeug startet mit initialer Fahrgeschwindigkeit
- 2.5 sec nach Simulationsbeginn quert der Fußgänger die Fahrbahn
  - Ergebnis: Vermeidung 96%
- 3 sec nach Simulationsbeginn quert der Fußgänger die Fahrbahn
  - Ergebnis: Vermeidung 61%



→ Fußgängerbewegung ist ein wichtiger Parameter

# Auswirkung der Änderung der AEB Eingriffsstrategie, Beispiel

- $v_{ego} = 50.72$  km/h
  - $s_{init} = 70.45$  m
  - $\mu = 0.8$
  - Fußgänger startet 3 sec. nach Kollisionsbeginn
- Variation der maximalen Bremsverzögerung des AEB Systems
  - Variation des Eingriffszeitpunktes

Name	$a$ [m/s <sup>2</sup> ]	Start of braking relative to start of pedestrian movement [s]	$v_{impact}$ [km/h]
Standard	2.5	0.5	36.4
Variation 1	3	0.5	avoided
Variation 2	2.5	0.1	avoided



# Zusammenfassung

- Steigende Anzahl primärer Sicherheitssysteme
  - Bedarf an neuen Bewertungsmethoden
  - Entwicklung einer simulationsbasierten durchgehenden Toolkette
  - Definition von Unfallszenarien notwendig
- Ableitung von Parametern aus Statistiken
  - Auswahl von Grundscenarien aus globalen Datenbanken
  - Parameterverteilung aus In-Depth Datenbanken
- Zufallsgenerierte Generierung von Szenarien
  - Szenarien in Summe statistisch repräsentativ
  - Nähe zur Real-Unfallszenarien → Ermöglicht Bewertung der Systemeffektivität und Feldeffektivität
  - Statistisch signifikante Aussagen durch hohe Fallzahlen möglich
  - Methode unabhängig von der Datenbank

# Ausblick

- Betrachtung des Gesamtprozesses durch Aufbau der Simulationskette
  - Fahrereinfluss → Fahrermodelle
  - Fahrzeugeinfluss in Vorkollisionsphase → detaillierte Modellierung von Fahrzeug und Assistenzsystemen (inkl. Sensorik, Regelalgorithmen und Aktorik)
  - Fahrzeugeinfluss in Kollisionsphase: Detaillierte MKS und FEM Modelle zur Quantifizierung der Verletzungskriterien → Systemeffektivität
  - Berechnung der Feldeffektivität durch Einbeziehung von Injury Risk curves und Auftretenswahrscheinlichkeiten (Hochrechnung mit Hilfe globaler Unfalldatenbanken)
- Harmonisierung der Methoden

Danke für die Aufmerksamkeit !