

MÖGLICHKEITEN ZUR VALIDIERUNG VON EES-WERTEN

– SYSTEMATISCHE QUALITÄTSUNTERSUCHUNG EINER FALLSTICHPROBE –

Abschlussarbeit: Dipl.-Ing (FH) Yvonne Gudrun Schmidt

Betreuer: Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf; Dipl.-Ing. (FH) Erik Sinen

Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

VUFO – Unser Unternehmen



gegründet 2005



Dresden



29 Mitarbeiter



30 geringfügig
Beschäftigte



Unfallerhebung



> 23.000
Unfallaufnahmen



Beratung



Weiterbildung



> 280 Publikationen



> 500 Projekte



Partnerunternehmen
der TU Dresden AG



ISO 9001:2015
zertifiziert

Vorstellung Verkehrsunfallforschung – Das GIDAS-Projekt



Vorstellung Verkehrsunfallforschung – Das GIDAS-Projekt

Alarmierung durch die **Polizei** (Führungslagezentren) und **Rettungsleitstellen**

Umfassende **technische Unfalldokumentation** an der Unfallstelle

Medizinische Erhebung & psychologische Befragung vor Ort / im Krankenhaus / per Befragung

Codierung von durchschnittlich **3.500 Einzelinformationen** pro Unfall

Komplett anonymisierte **Datenverarbeitung**; **Rekonstruktion jedes Unfalls** (i.d.R. mit PC Crash®)

Erstellung einer **digitalen Fallakte** mit Ø 150-170 Fotos pro Unfall + weiteren Dokumenten

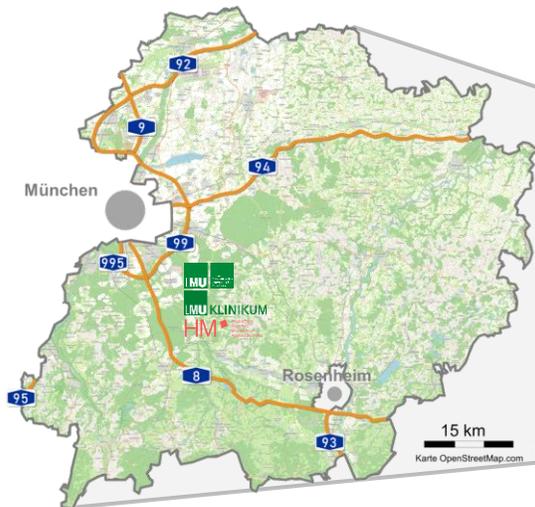


Vorstellung Verkehrsunfallforschung – Das GIDAS-Projekt



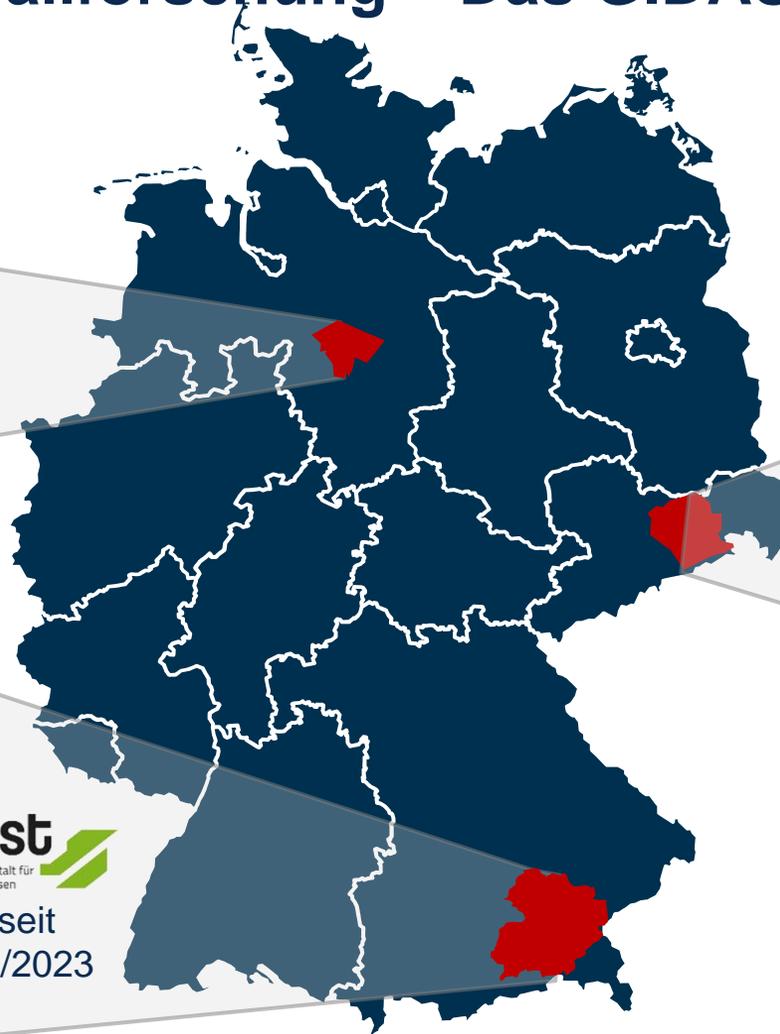
bast
Bundesanstalt für
Straßenwesen

07/1999 – 12/2019
seit 07/2023



bast
Bundesanstalt für
Straßenwesen

seit
07/2023



FAT | Forschungsvereinigung
Automobiltechnik

seit
07/1999



→ Drei Erhebungsgebiete, die
in Summe repräsentativ für
das deutsche Verkehrs-
unfallgeschehen sind.

Vorstellung Verkehrsunfallforschung – Das GIDAS-Projekt

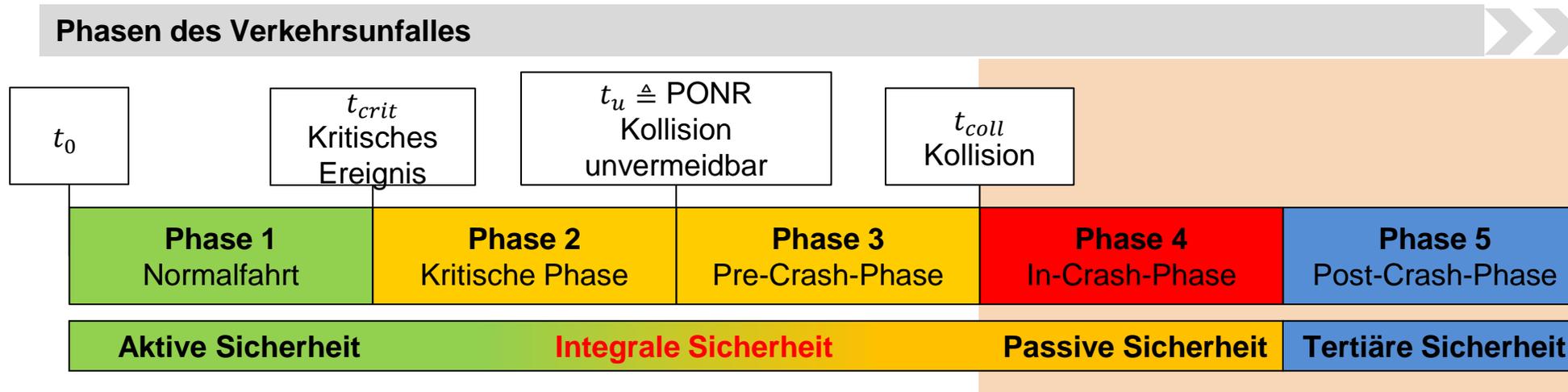
43.306		komplett dokumentierte Verkehrsunfälle	
77.107 Fahrzeuge	105.071 Personen	83.123 Beteiligte	77.107 Rekonstruktionen
48.509 PKW	70.634 Pkw-Insassen	56.064 Verletzte	184.296 Vorgänge
4.720 LKW	5.987 Lkw/Bus/Bahn-Insassen	40.994 Leichtverletzte	64.959 Fzg-Fzg-Kollisionen
15.731 Fahrräder	15.867 Fahrrad-Aufsassen	14.191 Schwerverletzte	24.545 Fzg-Objekt-Kollisionen
6.239 motor. Zweiräder	6.688 Aufsassen motor. Zweiräder	879 Getötete	
1.640 Busse & Straßenbahnen	5.778 Fußgänger	157.193 Verletzungen	

GIDAS – Stand 30.06.2024

Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung



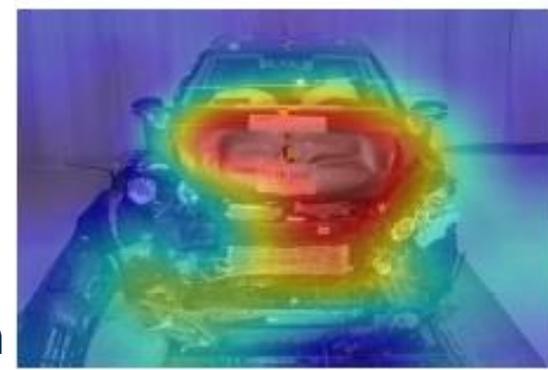
- EES ist eine wichtige Größe für die Analyse der Kollisionsphase
 - Wichtiger Rekonstruktionsparameter
 - Schlüsselgröße zur Ermittlung der Unfallschwere
 - Beschreibung der Deformationsenergien
- In der Unfallforschung ist die EES Ausgangspunkt von Prädiktionsmodellen für Verletzungen
 - Verletzungsrisikofunktionen

Inhalt

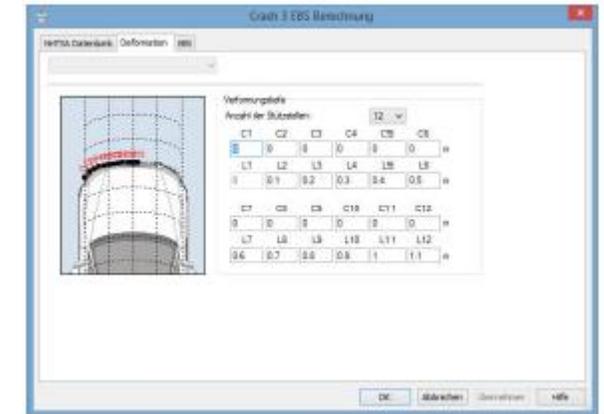
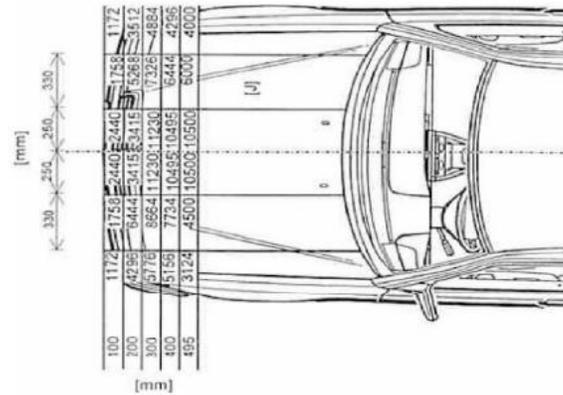
- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Motivation der Arbeit

- Bedeutung der EES-Werte in der Unfallforschung steigt stark
- Einige EES-Methoden sind etabliert und teilweise neue Ansätze vorhanden



- Energieraster
- Faustformel
- FE-Simulation
- Crash3-Methode
- 3D-EES-Modell
- Expertenschätzung
- visueller Vergleich
- EES-CNN



- Untersuchung der Möglichkeiten einer Qualitätssicherung

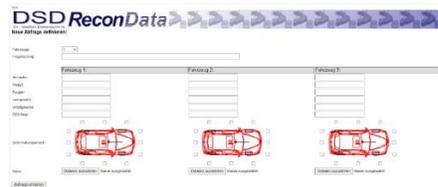
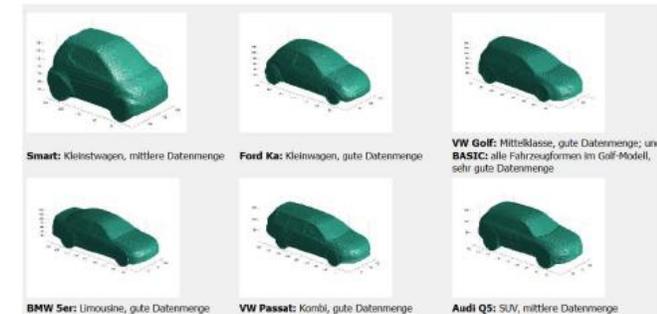


Abbildung 17: Benutzeroberfläche zum Einstellen von Fahrzeugkollisionen auf der Plattform ReconData für eine EES-Schätzung durch Experten [27]

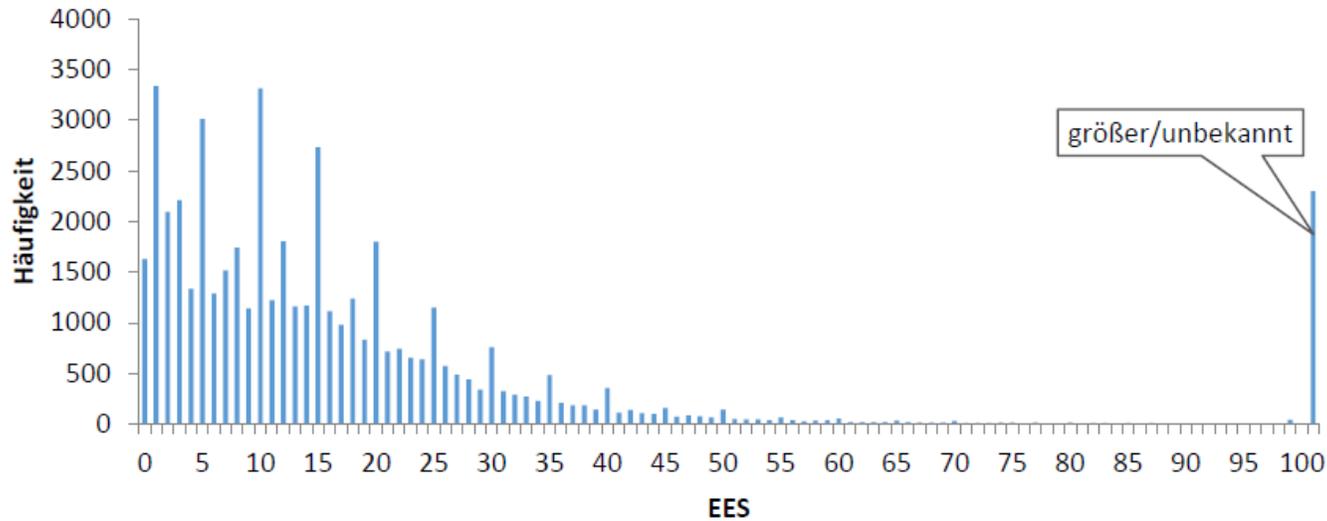


Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Datengrundlage – GIDAS Datenbank

**Histogrammauswertung der GIDAS
EES-Werte aller Falldaten (n=49944)**



- 49.000 grundsätzlich verfügbare EES-Werte (Kollisionen)
- Sehr häufig EES-Werte <50 km/h (Fußgänger, Fahrrad)

Datengrundlage – GIDAS Datenbank

Auswahl der Fahrzeugmodelle - Festgelegte Randbedingungen:

- Deformation im Frontbereich
- 100 % Überdeckungsgrad
- EES-Wert (GIDAS) liegt zwischen $10 \text{ km/h} \leq EES_{GIDAS} \leq 60 \text{ km/h}$
- Aufprallrichtung in Fahrzeuginnenachse
- Keine Kollisionsüberlagerung

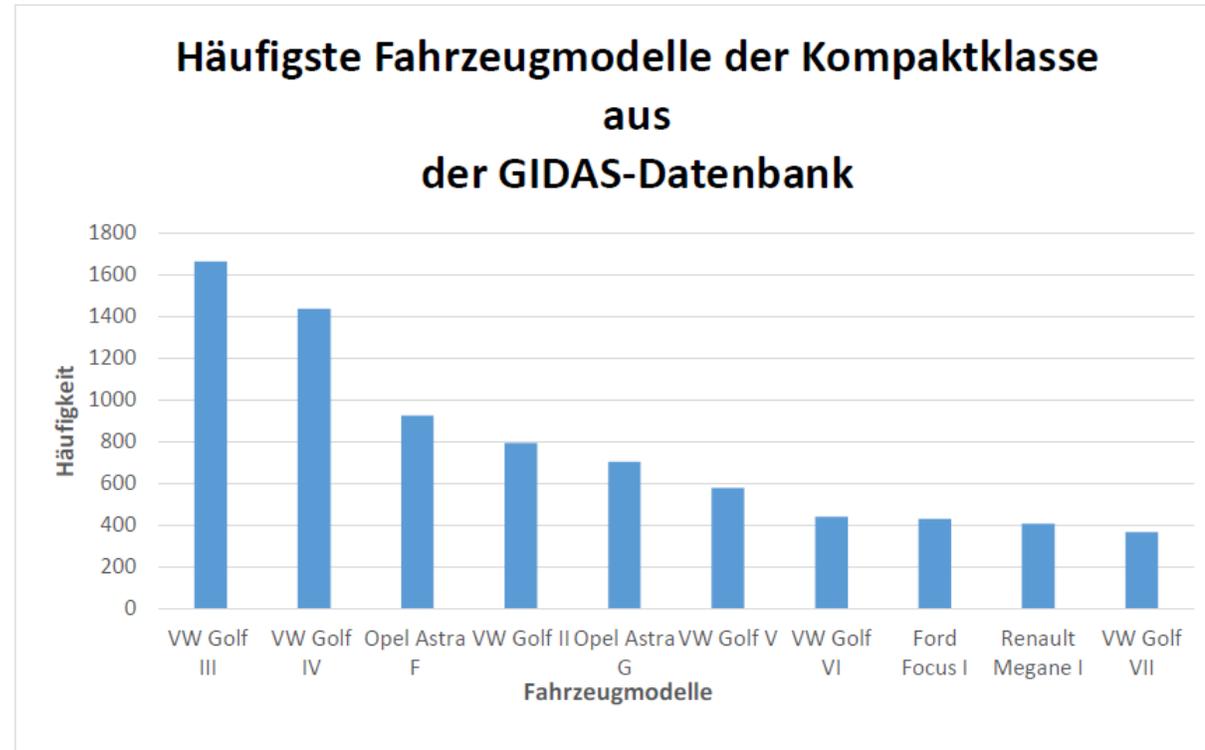
→ Zufällige Auswahl von 40 Datenbankeinträgen

Randbedingungen in der GIDAS-Datenbank	VDI	Verwendete Filter in Excel
Aufprallrichtung 12 Uhr	VDI 1	12
Hauptbeschädigung im Frontbereich	VDI 2	1
100 % Überdeckungsgrad	VDI 3	10
Deformationsbereich von Schweller bis unterkannte Seitenscheibe	VDI 4	1
Deformationsbereich von Schweller bis zum Dach	VDI 4	3
Breiterer Kollisionskontrahent	VDI 5	1
Schmalerer Kollisionskontrahent	VDI 5	2

Datengrundlage – GIDAS Datenbank

Kompaktklasse:

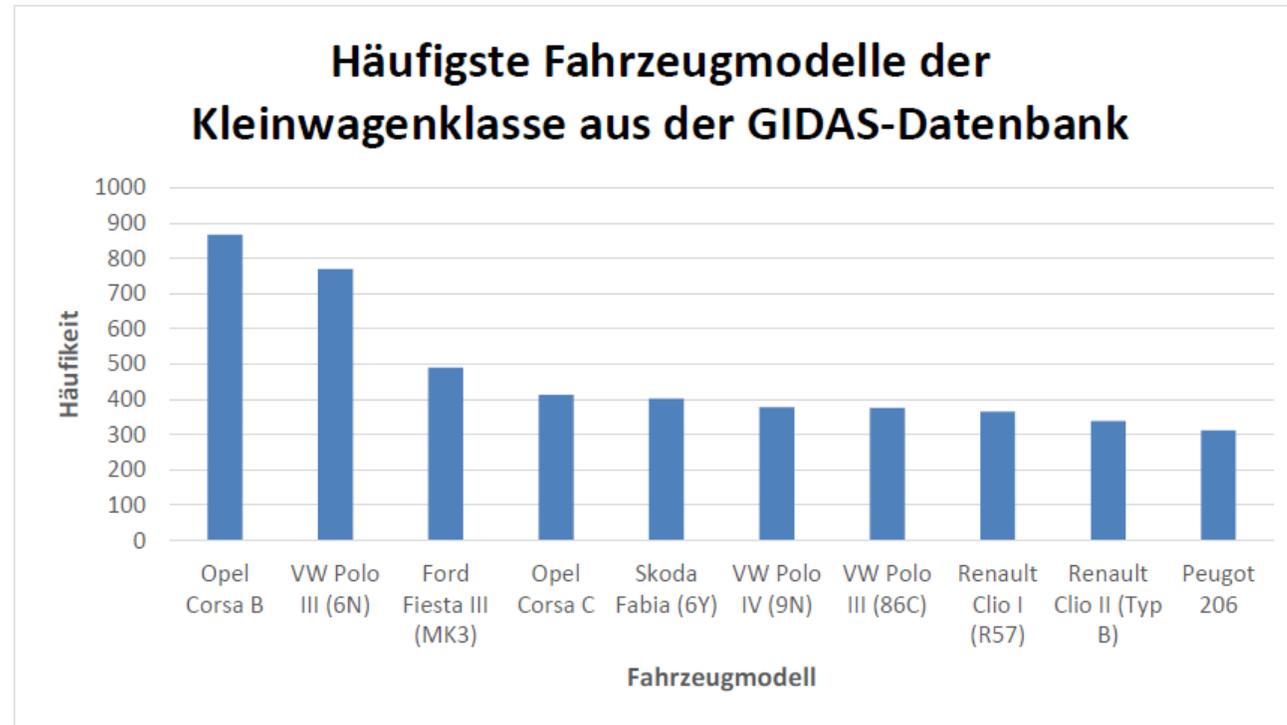
- VW Golf III
- VW Golf VII
- Opel Astra F
- Opel Astra J



Datengrundlage – GIDAS Datenbank

Kleinwagen-Klasse:

- Opel Corsa B
- VW Polo 6N
- VW Polo 9N
- Skoda Fabia 5J



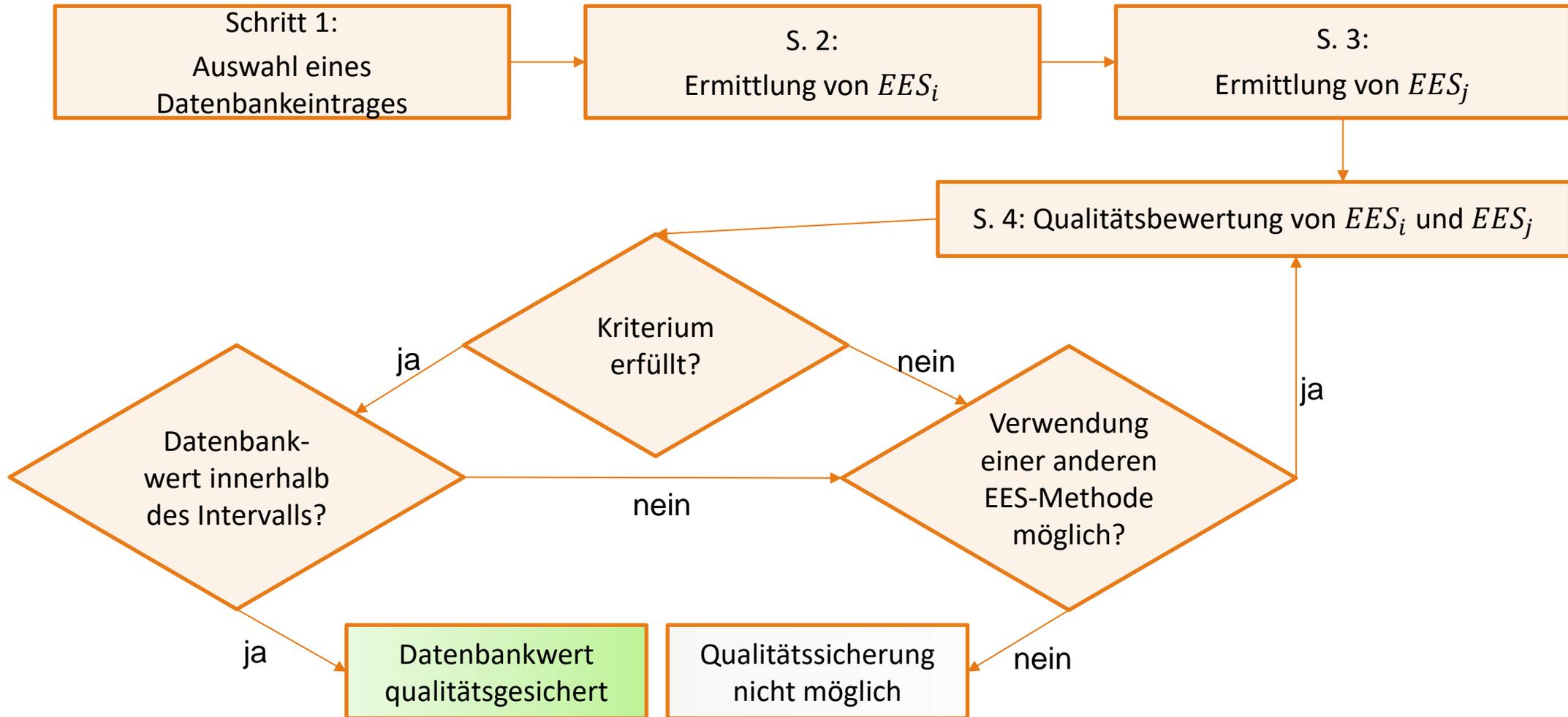
Methodik der Qualitätssicherung

Die akzeptierte Abweichung der EES-Werte, ermittelt mit 2 unterschiedlichen Methoden wird generell festgelegt mit:

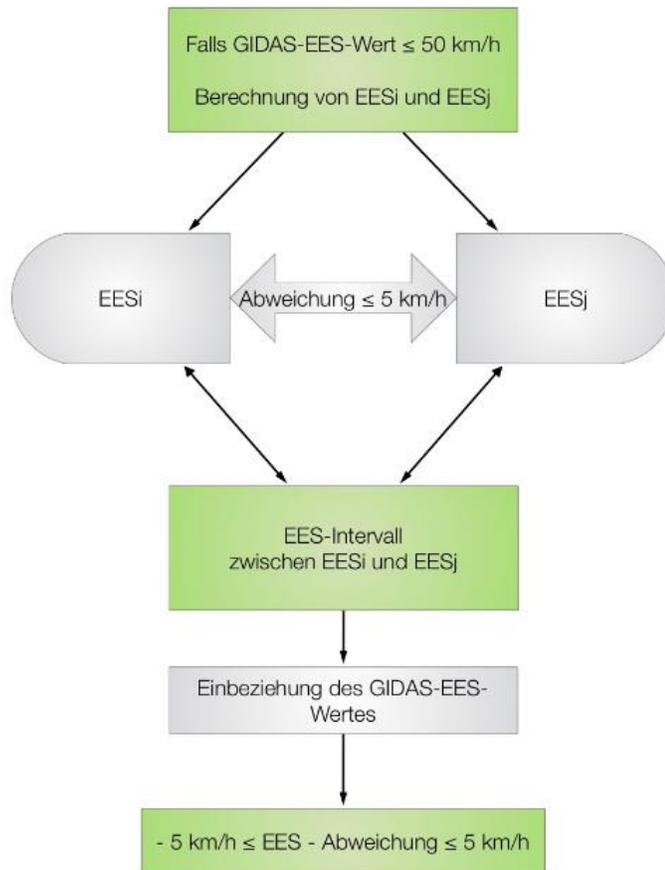
EES-Wert aus GIDAS	Zulässige Abweichung
$0 \text{ km/h} \leq 50 \text{ km/h}$	$\pm 5 \text{ km/h}$
$\geq 50 \text{ km/h}$	$\pm 10 \%$

Quelle: BURG, H., MOSER, A., STEFFAN, H.: Comparison of different impact types regarding velocity change and deformation energy to evaluate occupant loads and damage severity. EVU. Brasov 2012, S. 24

Methodik der Qualitätssicherung



Methodik der Qualitätssicherung

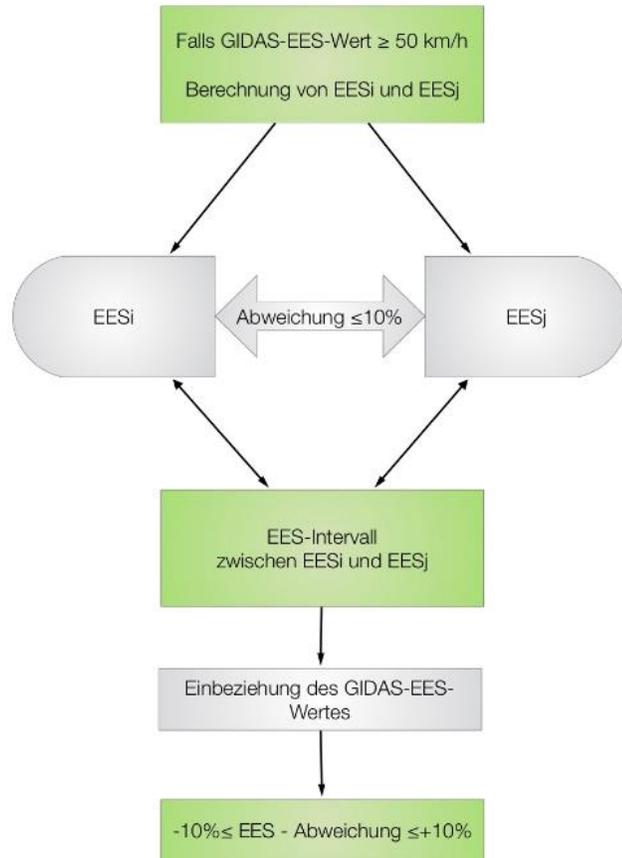


$$5 \text{ [km/h]} \leq |EES_i - EES_j|$$

$$\frac{EES_i + EES_j}{2} = EES_{MW}$$

$$5 \text{ [km/h]} \leq |EES_{MW} - EES_{GIDAS}|$$

Methodik der Qualitätssicherung



$$-10 [\%] \leq \frac{EES_i - EES_j}{(EES_i + EES_j) \cdot 0,5} \cdot 100 [\%] \leq 10 [\%]$$

$$\frac{EES_i + EES_j}{2} = EES_{MW}$$

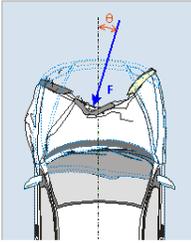
$$-10 [\%] \leq \frac{EES_{MW} - EES_{GIDAS}}{(EES_{MW} + EES_{GIDAS}) \cdot 0,5} \cdot 100 [\%] \leq 10 [\%]$$

Ausgewählte Verfahren

- Crash3-Methode
- 3D-EES-Modell
- Expertenschätzung
- visueller Vergleich

Crash 3 EBS Berechnung

NHTSA Datenbank Deformation EBS



$$EBS = \sqrt{\frac{2 \cdot E_d}{m}}$$

: 12 km/h

Stoßrichtung (-45 to 45°): θ : 0 deg

Deformationsenergie: Ed: 8619 J

$$E_d = \sum_{i=1}^n W_i \left(\frac{B}{6} \frac{c_{i+1}^3 - c_i^3}{c_{i+1} - c_i} + \frac{A}{2} (c_{i+1} + c_i) + C \right) \cdot (1 + \tan^2 \theta)$$

$$W_i = L_{i+1} - L_i$$

EES: 12 km/h

Restitution (k-Faktor): k: 0

Stoßpunktlösegeschwindigkeit: v: 0 km/h

OK Abbrechen Übernehmen Hilfe

Fraunhofer

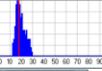
Simulation by Modifikation

Simulation der Deformationsenergie

3D-Modell der Deformationsenergie



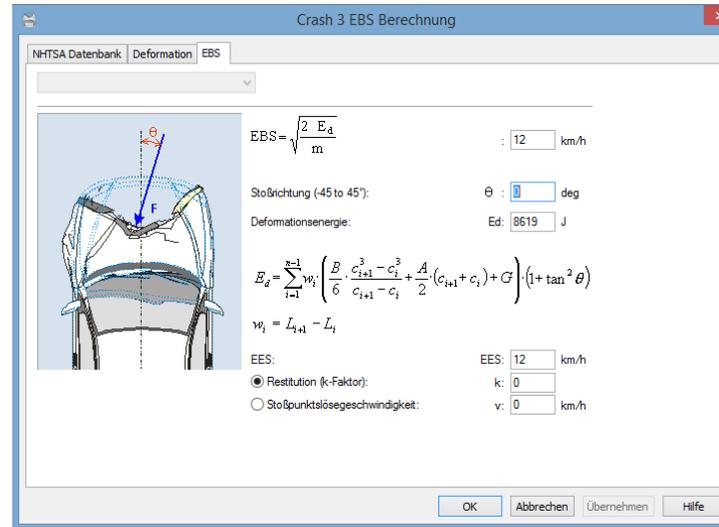
ADMC Strifling

Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung	
1	17-22	15-20	50%	43%
2	20-24	20-24	42%	59%
3	15-25	15-24	63%	47%
4	15-22	17-24	47%	53%
5	19-22	20-24	47%	53%
6	10-15	15-19	38%	62%
7	19-26	20-27	50%	50%
8	15-20	15-20	52%	48%
9	12-20	25-27	29%	71%
10	15-17	13-16	67%	43%
11	10-14	12-16	44%	56%
12	15-18	16-19	49%	51%
13	15-21	17-25	44%	56%
14	16-20	16-20	52%	48%
15	10-13	12-15	44%	56%
16	11-13	14-16	41%	59%
17	8-13	14-19	32%	68%
18	21-28	24-29	46%	54%
19	10-14	14-18	38%	62%
20	15-20	15-20	52%	48%
21	11-15	12-16	48%	52%
22	18-22	17-22	53%	47%
Min/Max	8-26	12-29		
Minwert	16.9	18.9	48%	54%
Median	17.5	17.5	52%	48%
Standardabweichung	3.9	4.1		
Def.Energie Median	13.7	12.6		
Sigma:Median Energieverhältnis	59	52		
Qualitätsindikator	●	●		
Verteilung				
Deformationsbereich				

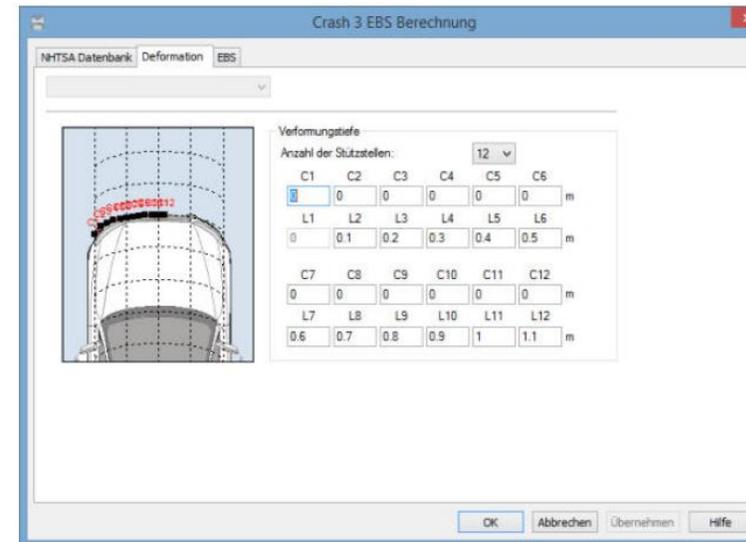
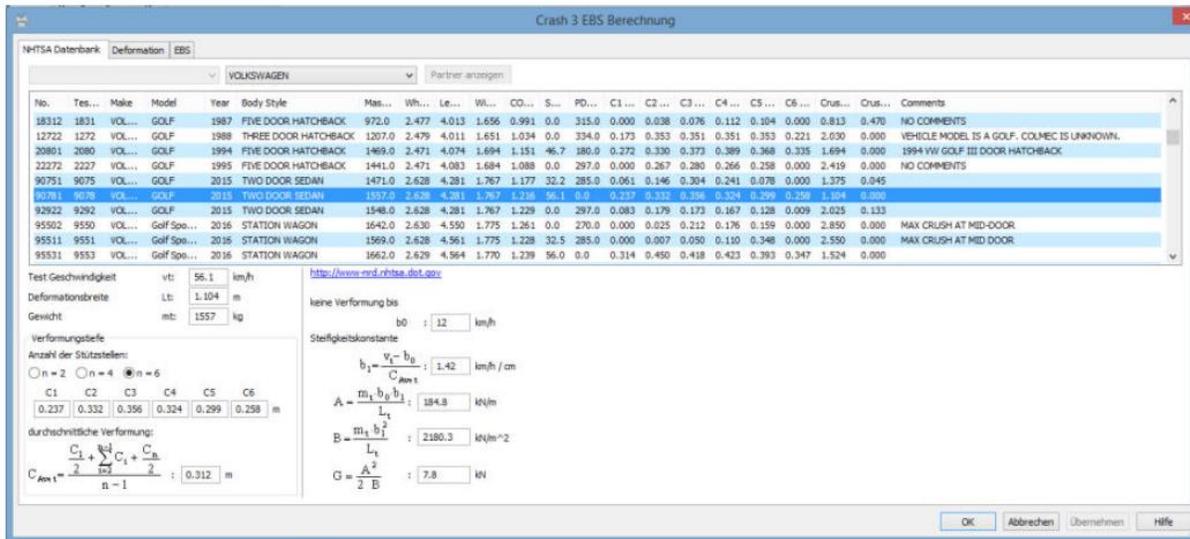


Ausgewählte Verfahren

- **Crash3-Methode**
- 3D-EES-Modell
- Expertenschätzung
- visueller Vergleich



$$EES = EBS \cdot \sqrt{1 - k^2}$$



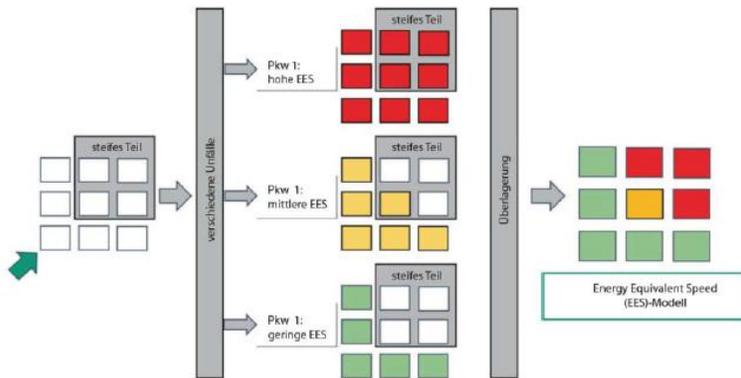
Ausgewählte Verfahren

- Crash3-Methode
- **3D-EES-Modell**
- Expertenschätzung
- visueller Vergleich

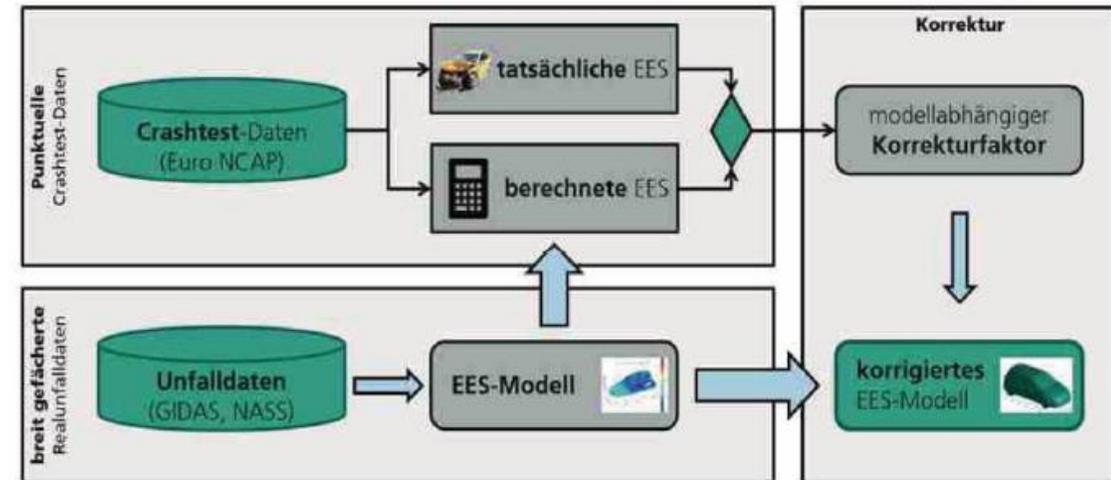
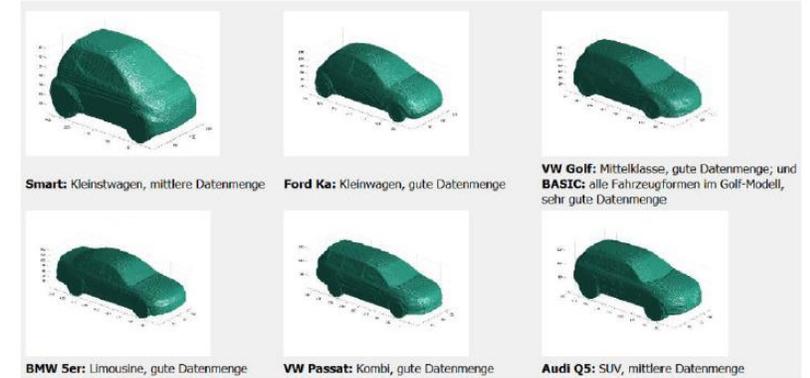
$$W_{Def} = p \cdot \Delta V$$

$$p = \frac{F}{A}$$

$$EES = \sqrt{\sum_{i=0}^{def} EES_i^2}$$

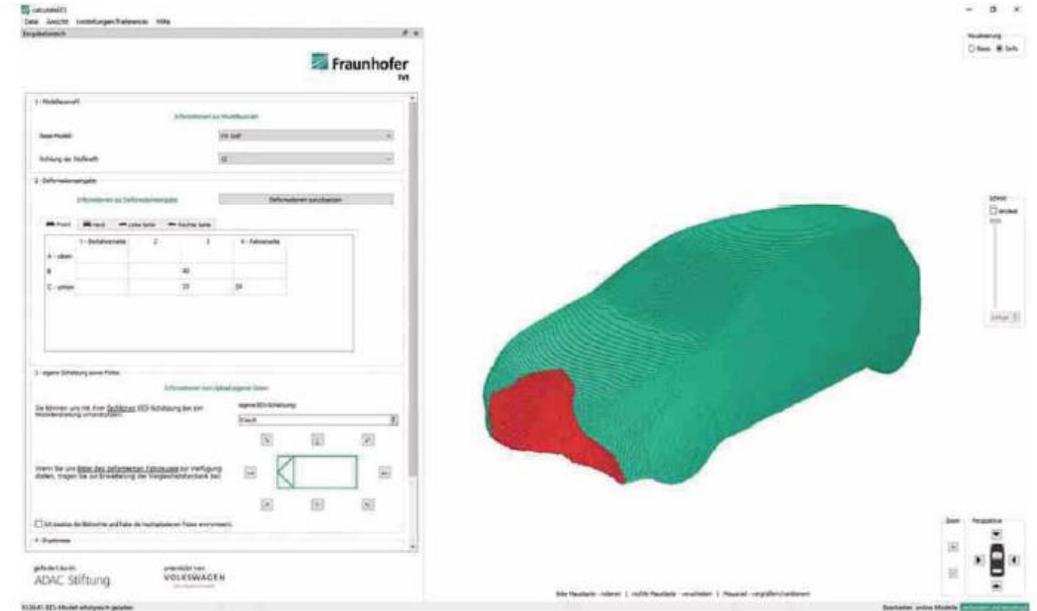
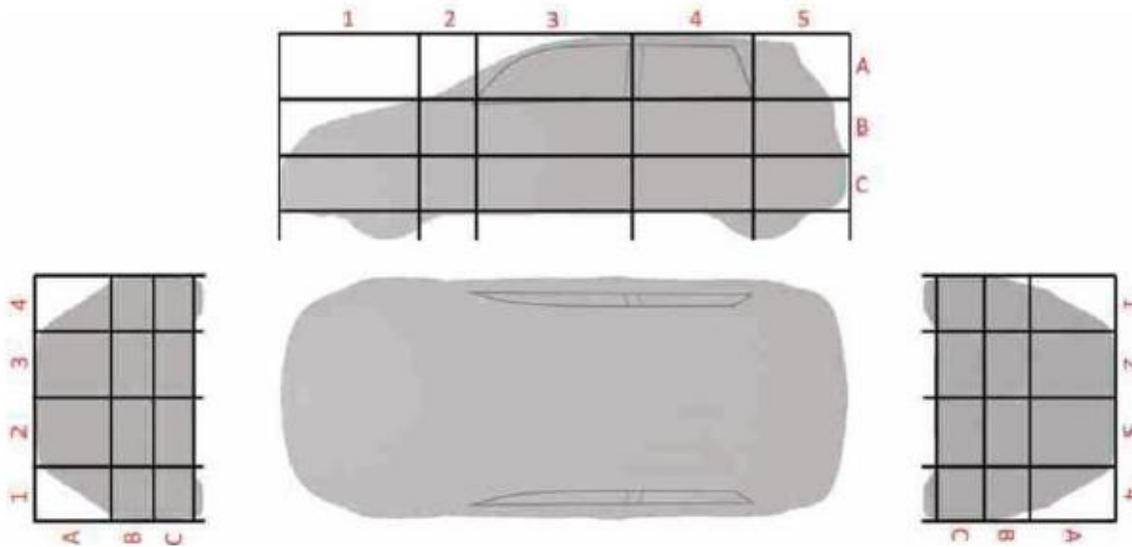


Fahrzeugform	Dargestellter Fahrzeugtyp	Daten
BASIC	Alle Fahrzeugformen dargestellt im VW Golf-Modell	Sehr hohe Datenmenge
Kleinstwagen	Smart ForTwo	Mittlere Datenmenge
Kleinwagen	Ford Ka	Gute Datenmenge
Kompaktklasse/ Mittelklasse	VW Golf	Gute Datenmenge
Kombi	VW Passat	Gute Datenmenge
Limousine	BMW 5er	Gute Datenmenge
SUV	Audi Q5	Mittlere Datenmenge



Ausgewählte Verfahren

- Crash3-Methode
- **3D-EES-Modell**
- Expertenschätzung
- visueller Vergleich



Ausgewählte Verfahren

- Crash3-Methode
- 3D-EES-Modell
- **Expertenschätzung**
- visueller Vergleich

EES-Einstufung:

	Fahrzeug 1	Fahrzeug 2	Fahrzeug 3
Hersteller:	Volkswagen	Peugeot	
Modell:	Golf III	405	
Baujahr:	1991	1991	2023
Leergewicht:	1157	1070	0
ID:	722829	722830	

Fragestellung:

Liebe Kollegen, es wird um die Schätzung von EES-Werten gebeten.

Min [km/h]:

Max [km/h]:

WDef min [kJ]:

WDef max [kJ]:



DSD ReconData

Neue Abfrage definieren:

Fahrzeuge: 1

Fragestellung:

Hersteller: Fahrzeug 1: Fahrzeug 2: Fahrzeug 3:

Modell:

Baujahr:

Leergewicht:

Leertgewicht:

EES-Wert:

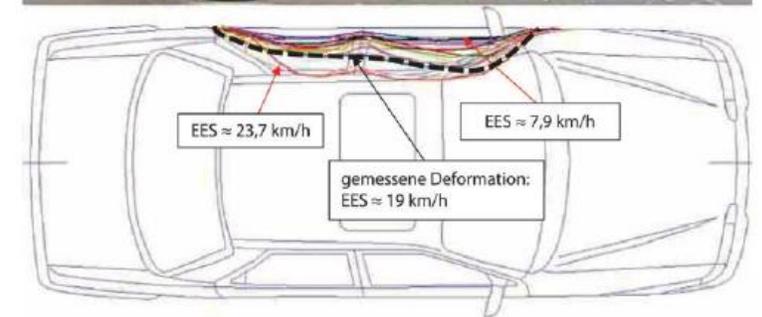
Deformationsbereich:

WDef:

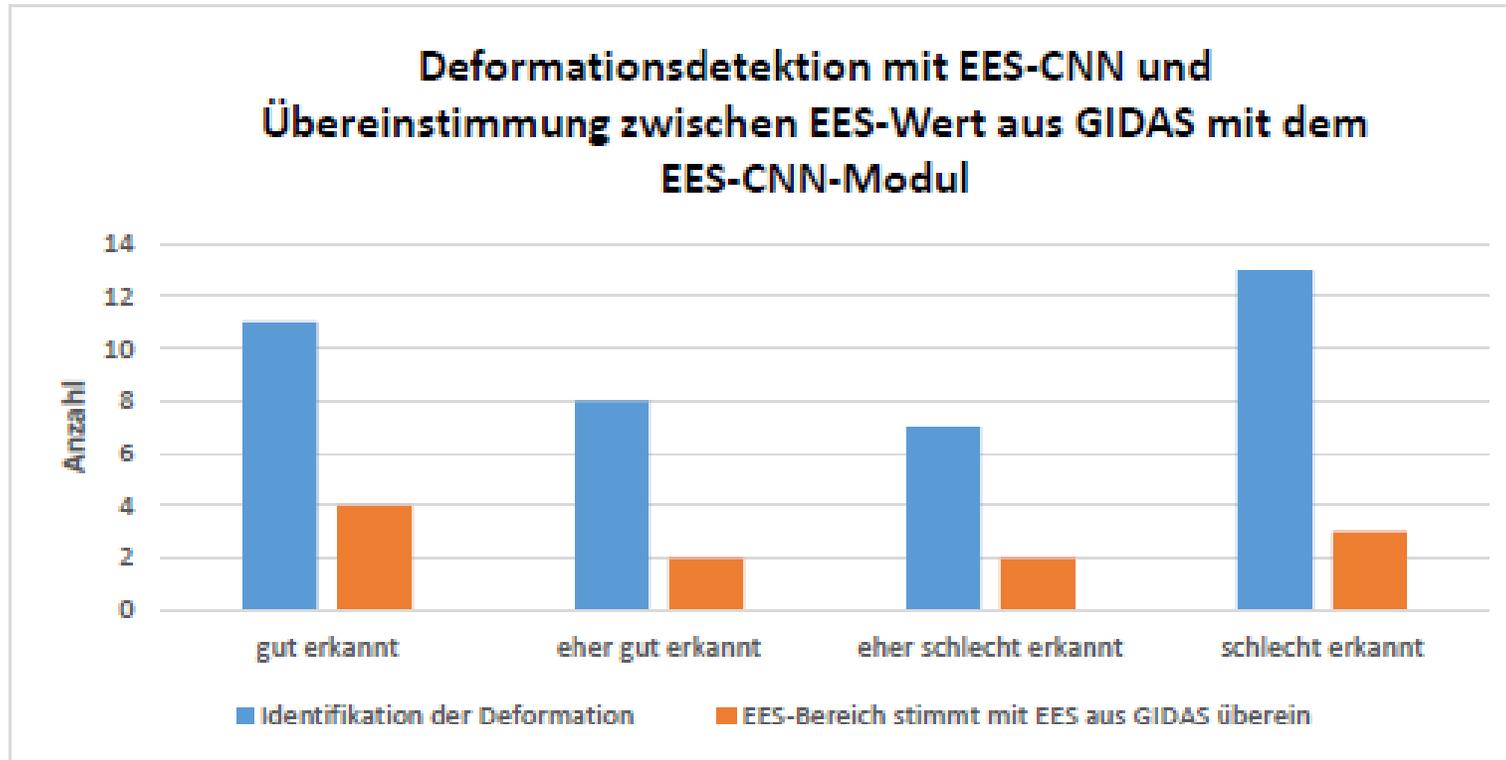
Name	EES 1	EES 2	Energieverteilung
1	17-22	15-20	57% 43%
2	20-24	26-28	42% 58%
3	15-25	15-24	53% 47%
4	15-22	17-24	47% 53%
5	18-22	20-24	47% 53%
6	10-15	15-18	38% 62%
7	19-26	20-27	50% 50%
8	15-20	15-20	52% 48%
9	12-20	25-27	29% 71%
10	15-17	13-16	57% 43%
11	10-14	12-16	44% 56%
12	15-18	16-19	40% 61%
13	15-21	17-25	44% 56%
14	16-20	16-20	52% 48%
15	10-13	12-15	44% 56%
16	11-13	14-16	41% 59%
17	8-13	14-18	32% 68%
18	21-26	24-29	46% 54%
19	10-14	14-18	39% 62%
20	15-20	15-20	52% 48%
21	11-15	12-16	48% 52%
22	18-22	17-22	53% 47%
Min/Max	8-26	12-29	km/h
Mittelwert	16.8	18.8	48% 54%
Median	17.5	17.5	52% 48%
Standardabweichung	3.9	4.1	km/h
Def-Energie Median	13.7	12.6	kJ
Sigma/Median Energieverhältnis	50	52	%
Qualitätsindikator	●	●	
Verteilung			
Deformationsbereich			

Ausgewählte Verfahren

- Crash3-Methode
- 3D-EES-Modell
- Expertenschätzung
- **visueller Vergleich**



Exkurs – EES CNN Modul



Detektion der Deformation	Kriterium
Gut	Deformationsstelle wurde vollständig erfasst
Eher gut	Deformationsstelle wurde zum überwiegenden Teil erfasst
Eher schlecht	Deformationsstelle wurde nur in kleinem Umfang erfasst
schlecht	Deformationsstelle wurde nicht erfasst

Tabelle 14: Zusammenfassung der EES-Bewertung mit dem EES-CNN-Modul [16]

Nr.	EES (GIDAS)	EES-CNN
1	21	10 - 15
2	22	15 - 20
3	12	10 - 15
4	17	5 - 10
5	27	10 - 15
6	23	20 - 25
7	59	65 - 70
8	21	20 - 25
9	15	5 - 10
10	19	15 - 20
11	23	30 - 35
12	15	20 - 25
13	10	5 - 10
14	12	20 - 25
15	15	5 - 10
16	19	25 - 30
17	12	20 - 25
18	38	65 - 70
19	29	25 - 30
20	22	25 - 30
21	13	5 - 10
22	13	5 - 10
23	16	10 - 15
24	30	20 - 25
25	20	15 - 20
26	23	10 - 15
27	12	10 - 15
28	19	15 - 20
29	13	20 - 25
30	31	25 - 30
31	19	35 - 40
32	28	10 - 15
33	11	5 - 10
34	44	35 - 40
35	40	keine hinreichenden Fotos
36	40	30 - 35
37	14	10 - 15
38	40	20 - 25
39	20	10 - 15
40	29	25-30

Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Ergebnisse der Validierung – Beispiel (< 50 km/h)

VW Golf VII Variant

GIDAS EES-Wert: 23 km/h (+/- 5km/h):

$EES_{\text{Methode1}} = 18,5 \text{ km/h}$ (ReconData)

$EES_{\text{Methode2}} = 21 \text{ km/h}$ (3-D-EES-Modell)

$$5 \text{ [km/h]} \leq |EES_{\text{Methode 1}} - EES_{\text{Methode 2}}|$$

$$5 \text{ km/h} \leq |18,5 \text{ km/h} - 21 \text{ km/h}|$$

$$5 \text{ km/h} \leq 2,5 \text{ km/h}$$

$$\frac{18,5 \text{ km/h} + 21 \text{ km/h}}{2} = EES_{\text{MW}}$$

$$EES_{\text{MW}} = 19,75 \text{ km/h}$$



$$EES_{\text{GIDAS(Nr.6)}} = 23 \text{ km/h}$$

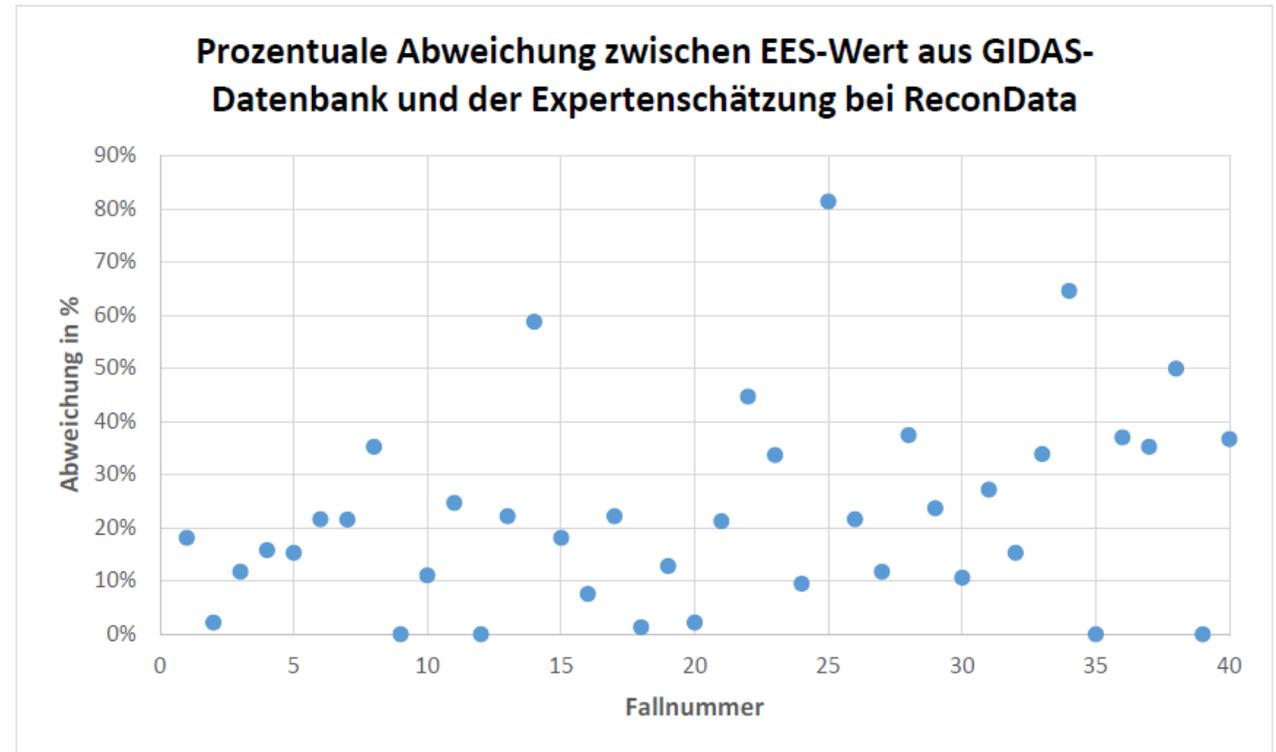
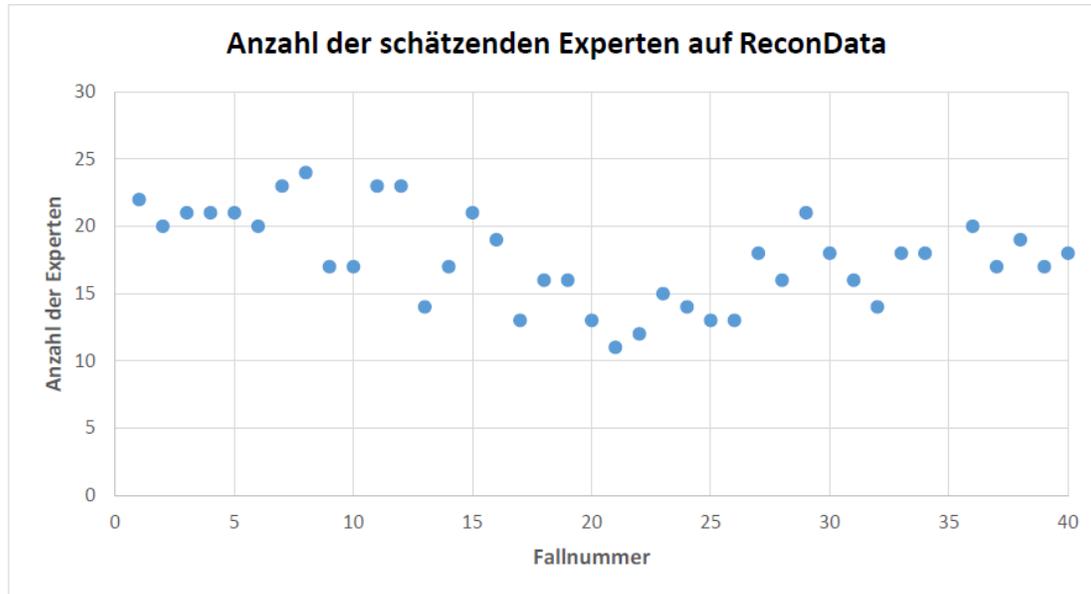
$$5 \text{ km/h} \leq |19,75 \text{ km/h} - 23 \text{ km/h}|$$

$$5 \text{ km/h} \leq 3,25 \text{ km/h}$$

Ergebnisse der Validierung

Expertenschätzung mit ReconData

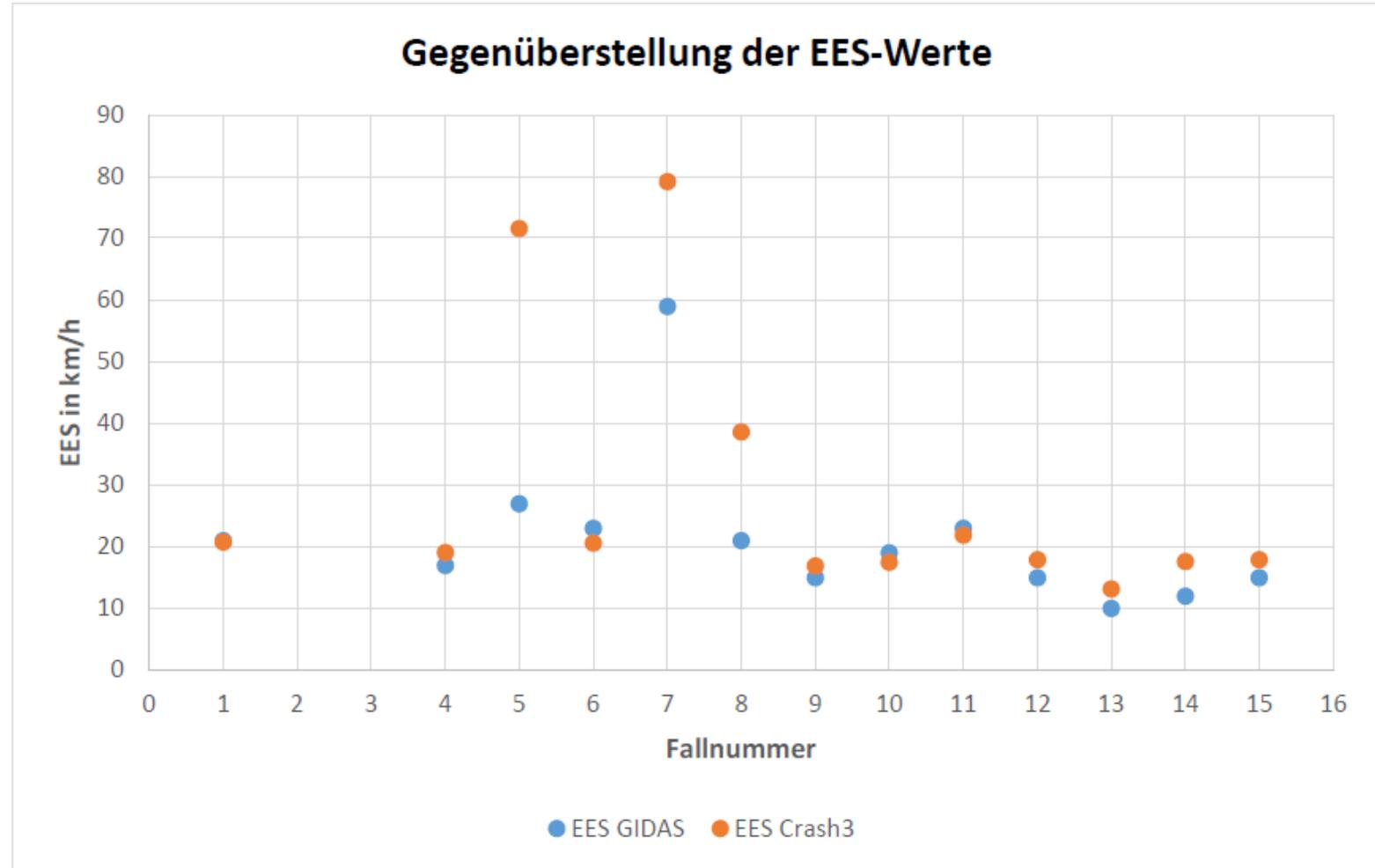
- Abweichung
- Anzahl der schätzenden Experten



Ergebnisse der Validierung

Expertenschätzung mit CRASH 3

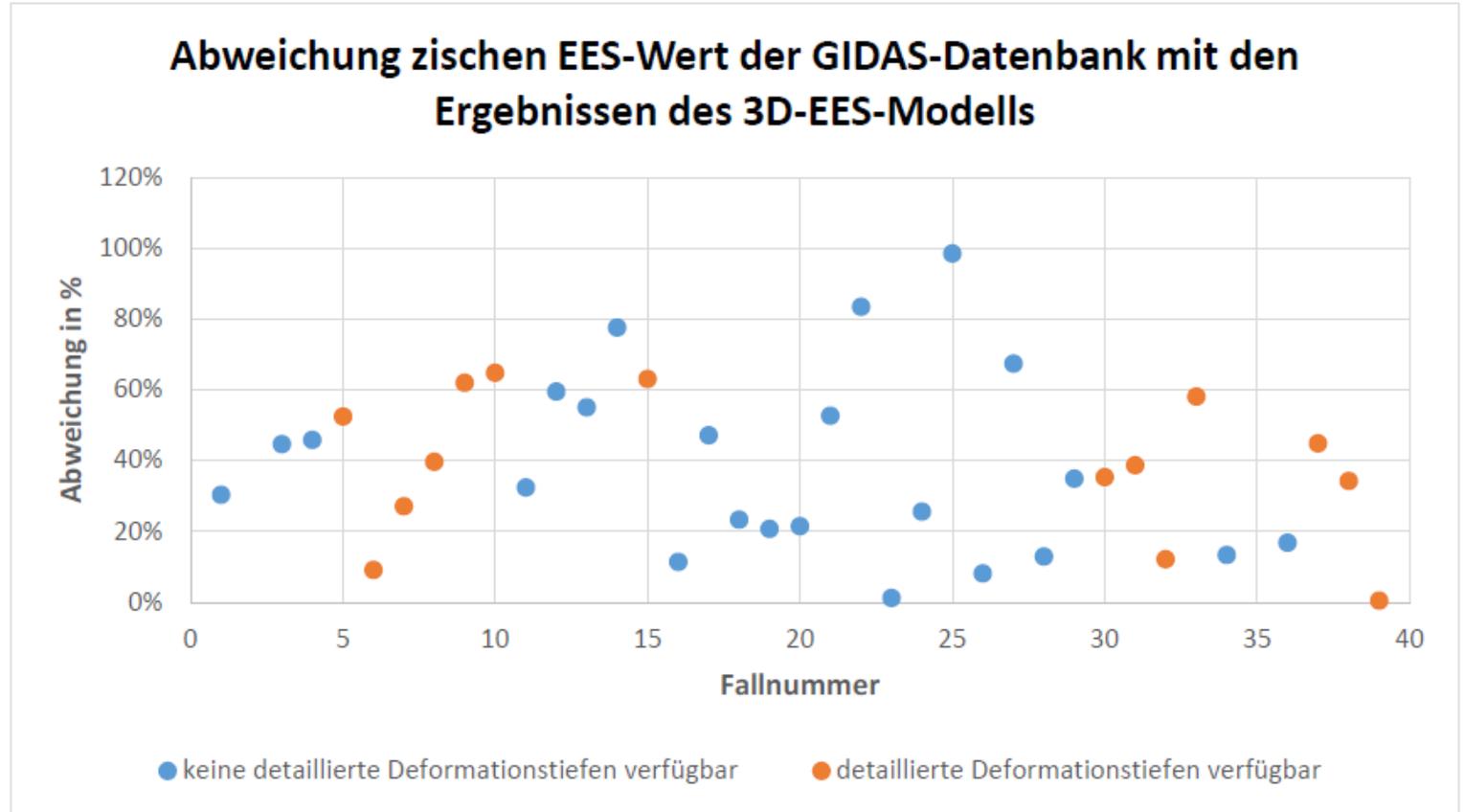
- Abweichung



Ergebnisse der Validierung

Expertenschätzung mit 3D-EES-Modell

- Abweichung



Ergebnisse der Validierung (Auszug)

Nr.	EES (GIDAS) [km/h]	EES_i [km/h]	Methode i	EES_j [km/h]	Methode j	Differenz [km/h]	Bewertung
1	21	17,5	Expertenschätzung	20,8	Crash3-Methode	3,3	+
2	22	22,5	Expertenschätzung	/	/	/	-
3	12	13,5	Expertenschätzung	18,9	3D-EES-Modell	5,4	-
4	17	14,5	Expertenschätzung	19,1	Crash3-Methode	4,6	+
5	27	31,5	Expertenschätzung	46,2	3D-EES-Modell	14,7	-
6	23	20,6	Crash3-Methode	21	3D-EES-Modell	0,4	+
8	21	30	Expertenschätzung	31,4	3D-EES-Modell	1,4	+
9	15	15	Expertenschätzung	16,9	Crash3-Methode	1,9	+
10	19	17	Expertenschätzung	17,5	Crash3-Methode	0,5	+
11	23	39,7	visueller Vergleich	31,9	3D-EES-Modell	7,8	-
12	15	15	Expertenschätzung	17,9	Crash3-Methode	2,9	+
13	10	12,5	Expertenschätzung	13,2	Crash3-Methode	0,7	+
14	12	22	Expertenschätzung	17,6	Crash3-Methode	4,4	+
15	15	12,5	Experten-	17,9	Crash3-	5,4	-

Inhalt

- Einleitung, Vorstellung VUFO + GIDAS
- EES – Anwendung und Bedeutung in Unfallanalytik und Unfallforschung
- Motivation
- Material und Methoden
- Ergebnisse der Validierung
- Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung:

- 40 zufällig ausgewählte GIDAS-Untersuchungsfälle mit festgelegten Randbedingungen
 - 39 x ReconData, durchschnittlich ~23% Differenz
 - 12 x Crash 3, durchschnittlich ~25% Differenz
 - 37 x 3D-EES-Modell, durchschnittlich ~38% Differenz
 - 1 x visueller Vergleich, 54% Abweichung

Methoden	Anzahl	Prozentuale Häufigkeit
Expertenschätzung	37	92,50%
Crash3-Methode	9	22,50%
3D-EES-Modell	29	72,50%
visueller Vergleich	1	2,50%

- Verwendung der Methoden zur Qualitätssicherung in unterschiedlicher Häufigkeit
- 22 Untersuchungsfälle konnten positiv mit 2 unabhängigen EES-Methoden bewertet werden
- 14 Untersuchungsfälle konnten qualitätsgesichert werden → Anteil von 35 %

Ausblick – nächste Schritte:

- Einbindung EES-CNN Moduls in Qualitätsalgorithmus
- Ausweitung der Qualitätssicherung auf weitere Fälle
- Verbesserung der Qualitätssicherung in GIDAS sukzessive aufbauen

Vielen Dank!

Dipl.-Ing. Thomas Unger
Bereichsleiter Datenanalyse und Simulation
Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden GmbH
Semperstraße 2a
01069 Dresden

Tel.: +49 351 438989 35

Mobil: +49 170 2282 654

Email: thomas.unger@vufo.de

<http://vufo.de>